



SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

MULTİDİSİPLİNER BAKIŞ AÇISIYLA
TÜRKİYE'DE
ENERJİ

Editörler

Prof. Dr. Hilmi ATASEVEN

Dr. Öğr. Üyesi Derya Betül ÜNSAL

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI NO: 243

12/05/2022 Tarih ve 7 Toplantı Sayılı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yayın Kurulu Kararı ile 18/05/2022 Tarih ve 15 Toplantı Sayılı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yönetim Kurulu Kararına istinaden basımı uygun görülmüştür.

İNCELEME KOMİSYONU:

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN

Prof. Dr. Turhan KURŞUN

Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, SİVAS

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, SİVAS

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, KONYA



SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

MULTİDİSİPLİNER BAKIŞ AÇISIYLA "TÜRKİYE'DE ENERJİ"

ISBN

978-605-7902-64-1

Editörler

Prof. Dr. Hilmi Ataseven

Dr. Öğrt. Üyesi Derya Betül Ünsal

Kapak ve İç Düzen

Abdulkadir Kocatürk

Baskı

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Rektörlük Matbaası

Sertifika No: 40954

Sivas 2022

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI: BOR, JEOTERMAL, NÜKLEER ENERJİ ve VERİMLİLİK GELİŞMELERİ

Bor Bileşiklerinde Hesaplamalı Kimya Metodlarıyla Enerji Verimliliği	
Sultan Erkan, Ceylan Alkaya	13
Nükleer Yakıt Çevrimleri	
Meryem Seferinoğlu	25
Yeni Nesil Reaktörler	
Ali Tiftikçi	35
Füzyon Reaktörleri	
Hüseyin Şahiner	47
Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli: Sivas İli İncelemesi	
Sinan Sarp	57
Jeoenerjinin Sağlıkta Kullanımı: Balneoterapi	
Musa Polat	63
Sivas'ın Termal Sağlık Turizmi Potansiyeli	
Nurperihan Tosun	75

BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE SAĞLIK İLİŞKİSİ

Enerji Kaynaklarının Sebep Olduğu Hava Kirliliğinin Akciğer Sağlığı Üzerine Etkileri	
Serdar Berk	83
Hastanelerde Enerji Verimliliği ve Tasarrufu Uygulamaları	
Hilmi Ataseven	91
Enerji Kaynaklarının Sebep Olduğu İklim Değişikliğinin Sağlığa Genel Etkileri	
Şeyma Taştumur	101
Enerji Kaynakları Tüketimiyle Artan Hava Kirliliğinin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri	
Şeyma Kıbrıslıoğlu Baykan	115

BÖLÜM 3

ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU, PİYASA VE MEVZUATLAR

NARX ANN ile Sivas Organize Sanayi Bölgesi Elektrik Talep Tahmini	
Yunis Torun, Uğur Atıcı, Seyit Keklikçi	125
Enerji Verimliliğine Yönelik Teşvik Uygulamaları	
Sinan Dündar	137

Yapay Zeka Yaklaşımlarının Verimlilik Amaçlı Kullanım Yöntemleri	
Serkan Akkoyun	143

Verimlilik Amaçlı Yeni Bir Sıvı Seviyesi Ölçüm Tekniği	
Hüseyin Canbolat	149

BÖLÜM 4

ENERJİ VERİMLİ BİNALARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR TEKNOLOJİLER

Isı Yalıtım Uygulamalarının Enerji Tasarrufuna Etkilerinin İncelenmesi	
Ferhat Kılınc	157

Yapı Elemanlarındaki Isı Kayıplarının Enerji Tasarrufu Açısından Değerlendirilmesi	
Koray Karabulut, Ertan Buyruk	163

Farklı Bina Kurulumları Etrafındaki Akış Yapıları	
Deniz Gölbaşı, Ertan Buyruk, Koray Karabulut	171

Güvenli Yeşil Binalar	
Yusuf Gökşen	177

BÖLÜM 5

ENERJİDE KARBON AYAK İZİ AZALTILMASI

Anaerobik Membran Reaktörler: Kullanım Alanları ve Enerji Eldesinin Değerlendirilmesi	
Meltem Sarıoğlu Cebeci, Berk Köker	187

Biyometanizasyonda Son Gelişmeler	
Öznur Begüm Gökçek, Hamdi Muratçobanoğlu, Fatma Muratçobanoğlu, Ruhullah Ali Mert, Bilal Yıldırım, Sevgi Demirel	203

Akıllı Çamurları ve Evsel Atıkların Anaerobik Stabilizasyonundan Enerji Eldesi	
Turgay Bişgin, Meltem Sarıoğlu Cebeci	213

BÖLÜM 6

YENİ NESİL, AKILLI, ELEKTRİKLİ SİSTEMLER

Akıllı Şebeke Haberleşme Teknolojileri ve Enerji Verimliliğine Katkıları	
Zeynep Hasırcı Tuğcu	225

Akıllı Bina Sistemlerinde IOT Uygulamaları ile Enerji Yönetimi	
Derya Betül Ünsal, Zeynep Ceran Çamayaz	233

Akıllı Şebekelerde Kullanılan Bina Sistemleri ve Erişilebilirlik Yönüyle AFAD Sivas Ofisi Uygulaması	
Derya Betül Ünsal, İsmail Güneş	251

ÖZET

Son yıllarda, nüfusla birlikte gelişen teknolojiye paralel olarak artış gösteren enerji ihtiyacı, tükenen kaynakların yerine kendini yenileyebilen enerji kaynaklarının kullanımını gündeme getirmiştir. Günümüz şartlarında kullanılan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların tükenen kaynaklar olduğu gerçeği dikkate alındığında bu durum, alternatif, kendini yenileyebilen, rüzgar, güneş gibi enerji kaynaklarının keşfini ve kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir.

Bu kitap, ilk defa bu kadar kapsamlı bir şekilde yenilenebilir enerji alanındaki yetkin kişileri, konuyla ilgili önemli çalışmaları bulunan akademisyenleri ve bu alandaki çalışmaları önemseyen bütün ilgilileri bir araya getirmeyi hedeflemektedir. Karbon izi ile çevreye zarar veren enerji üretimi yerine yenilenebilir, sürdürülebilir ve daha temiz bir enerji kaynağı olan rüzgâr, güneş, jeotermal gibi enerji kaynaklarının kullanımı hakkında okuyucuları bilinçlendirmeyi, çevreye dost elektrikli araçlar ile ilgili bilgiler vermeyi, dünya ve ülkemiz açısından enerji potansiyelini değerlendirmeyi, bu alandaki yatırımlara dikkat çekerek geleceğimize ışık tutmayı amaçlanmaktadır. Bunun yanı sıra son yıllarda yenilenebilir enerji teknolojisinin gelişimi ve yapay zeka teknolojisi ile geleceğe ışık tutan uygulama alanları ele alınmıştır.

Türkiye'nin de içerisinde bulunduğu OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ülkeleri başta olmak üzere birçok ülke, yenilenebilir enerji konusunda gerekli yatırımların yapılabilmesi için yeni devlet politikaları oluşturarak yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımını teşvik etmektedir. Türkiye'nin de son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımı konusunda yaptığı yasal düzenlemeler, bu alanda yapılan ve yapılacak olan yatırımları destekleyici niteliktedir. Bu yeni yasal düzenlemeler ve yatırımlar kısa sürede etkisini göstererek teşvik ve yatırımların da önünü açmıştır. Yapılan tüm bu çalışmalar; doğadaki kaynaklarla üretilebilen yenilenebilir enerjinin, ülkelerin artan enerji ihtiyacını karşılamak için vazgeçilmez olduğunu ortaya koymuştur. Her sektörün kendi alanına ait ihtiyaçları karşılayabilmesi ve gelişebilmesi için, enerjinin üretimi, kullanımı ve etkileri konusunda bilgi ve tecrübe paylaşımı son derece önemlidir.

ABSTRACT

In recent years, the need for energy, which has increased in parallel with the developing technology with the population, has brought the use of self-renewable energy resources to the agenda instead of exhaustible resources. Considering the fact that fossil fuels such as coal, oil and natural gas used in today's conditions are exhaustible resources, this situation necessitates the discovery and use of alternative, self-renewing energy sources such as wind and sun.

Many countries, especially OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) countries, including Turkey, encourage the production and use of renewable energy resources by creating new government policies in order to make the necessary investments in renewable energy. The legal regulations made by Turkey on the production and use of renewable energy resources in recent years support the investments made or to be made in this field. These new legal regulations and investments showed their effect in a short time and paved the way for incentives and investments. All these studies; revealed that renewable energy, which can be produced with natural resources, is indispensable to meet the increasing energy needs of countries. It is extremely important to share knowledge and experience on the production, use and effects of energy so that each sector can meet the needs of its own field and develop.

Although this book has dealt with the studies in the field of renewable energy in such a comprehensive way for the first time as a multidisciplinary one, it aims to bring together the competent people related to the subject chosen as the target group, the academicians who have important studies on the subject and all those who care about the studies in this field.

Prof. Dr. Hilmi ATASEVEN

1968'de Sivas'ta doğdu. 1985'de Sivas Kongre Lisesi'nden, 1991'de ise Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi'nden mezun oldu. 1997 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak girdi. 2002 yılında İç Hastalıkları uzmanı oldu. 2003 yılında Türkiye Yüksek İhtisas Hastanesi Gastroenteroloji Kliniğinde Gastroenteroloji yan dal ihtisasına başladı ve 2007 yılında Gastroenteroloji uzmanı oldu. Erzurum'da mecburi hizmetini tamamladıktan sonra 2009 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalı Gastroenteroloji Bilim Dalında öğretim üyesi olarak göreve başladı. 2011'de İç Hastalıkları (Gastroenteroloji) doçenti oldu. 2012'de Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Uygulama ve Araştırma Hastanesinde başhekim yardımcılığı; daha sonra da Tıp Fakültesi dekan yardımcılığı; 2014 yılında Sivas Numune Hastanesi Yöneticiliği/Başhekimliği; 2015 yılında Malatya Kamu Hastaneleri Genel Sekreterliği; 2016 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı görevlerinde bulundu. Halen Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi İç Hastalıkları Anabilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapan Dr. Hilmi Ataseven Cumhuriyet Üniversitesi Rektör Yardımcısı görevini yürütmektedir.

Dr. Öğr. Üyesi Derya Betül ÜNSAL

2011 yılında tamamladığı Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Lisans Programı'ndan onur, 2014 yılında tamamladığı İngilizce Tezli Yüksek Lisans Programı'ndan yüksek onur, 2018 yılında tamamladığı Elektrik ve Elektronik Mühendisliği İngilizce Doktora programından ise bölüm birincisi dereceleriyle mezun olmuştur. "Akıllı Elektrik Şebekeleri Haberleşme Teknolojileri" konusunda tamamladığı yüksek lisans boyunca Tübitak Öncelikli Alan Çalışmaları desteği almıştır. Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Selçuk Üniversitesi ve Abdullah Gül Üniversitesi ile ortak çalışmalar içerisinde yürütülen, Tübitak Öncelikli Alan Çalışmaları Desteği aldığı doktora çalışmalarını ise "Akıllı Elektrik Şebekelerine Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dağıtık Üretim ile Entegrasyonu'nun Haberleşme Teknolojileri ile Kontrolü" üzerine tamamlamıştır. Mühendislik bakış açısına disiplinlerarası katkılar sağlayabilmek amacıyla aldığı İşletme Lisans Eğitimini de 2013 yılında tamamlamıştır. 2015 yılında C.Ü Robot Programlama Eğitmeni ve 2020 yılında Bilkent Üniversitesi Yapay Öğrenme Eğitimlerini de tamamlayan Dr. Ünsal, interdisipliner bakış açısını geliştirebilmek amacıyla halen Felsefe Yüksek Lisans Eğitimine de devam etmektedir. 2011 yılında lisans mezuniyeti ile Cumhuriyet Üniversitesi'nde başladığı akademisyenlik hayatına, 2019 yılından itibaren Enerji Bilimi ve Teknolojisi ABD'de Doktor Öğretim Üyesi olarak devam etmektedir. 30'u aşkın bilimsel çalışması bulunup, 2021 yılı Ocak ayından itibaren Yenilenebilir Enerji Araştırma Merkez Müdürlüğü görevini yürütmektedir. Çeşitli uluslararası indexli dergilerde hakemlik ve yayın kurulu üyeliği görevleri bulunmakta, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Savunma Teknolojileri ve Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği bölümlerindeki Yüksek Lisans ve Doktora öğrencilerine danışmanlık yapmaktadır. Uzmanlık ve ilgi alanları, Akıllı Şebekeler, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Elektrik Şebeke Güvenliği, Güç şebekelerini saldırlardan koruma yöntemleri, Güç Hatları İleşimi Haberleşmesi ve Mikro Şebekeler'dir. 2007 yılından beri IEEE-Women in Engineering, IEEE Communication ve Power System Society üyesidir.

ÖN SÖZ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi olarak, Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı dahilinde, göreve geldiğim ilk günden itibaren kendi enerjisini kendi üreten bir üniversite olabilmek hedefiyle çalışmalar gerçekleştirerek çalışmaktayız. Ülkemizde, enerji ihtiyacını karşılamada kullanılan fosil yakıtlara erişim, kullanım noktasında karşılaşılan sıkıntılar ve olumsuzluklar, ülkelerin enerji politikalarına yansımakta ve ülkeleri alternatif enerji kaynakları kullanmaya yönlendirmektedir.

Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik, hidrojen ve biyokütleden elde edilen enerjinin, çevre dostu, sürdürülebilir ve düşük maliyetli olduğu görülmüştür. Nükleer enerji de bu kapsamda yenilenebilir enerji kategorisi içerisinde yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, asla tükenmeyecek olmasıyla, çevreye zararının olmamasıyla ve maliyetinin fosil yakıtlara oranla çok çok daha az olmasıyla önem kazanmaya başlamıştır. Enerji ihtiyacını karşılama konusunda sadece kaynakların var olması değil, ayrıca kaynakların güvenilir, çevre dostu, sürdürülebilir ve düşük maliyetli olması da çok önemlidir.

Dünya üzerinde birçok ülke enerji sektörüne gün geçtikçe daha büyük yatırımlar yapmaya başlamıştır. İçinde bulunduğumuz salgın sürecinin olumsuz etkilerine rağmen Enerji sektörü, ülkemizde de böyle bir dönemden büyüyerek çıkmıştır.

Uluslararası Enerji Ajansı 2020 Mayıs Ayı Enerji Piyasası raporunda enerji sektöründeki artış oranını %7 olarak öngörüyordu ancak yıl sonu raporlarında bu oran revize edilerek %18 olarak düzenlenmiştir. Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan 2021 yılı elektrik kurulu gücümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının yüzde 52,3'e ulaştığını ve bu oranla Avrupa'da 6, dünyada 13'üncü sırada yer aldığımızı açıklamış ve ülkemiz bu sayede yenilenebilir enerjide dışa bağımlılıktan kurtulmak üzere olduğunu belirtmiştir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerjide bu şekilde hızlı adımlarla büyümesi, Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedefleri için de hayati önem arz etmektedir.

"Sayın Cumhurbaşkanımız, 2023 yılında 66,6 milyon ton karbondioksit emisyonu azaltımı hedefini ortaya koymuş, ve benzer ekonomik seviyedeki ülkelerle eşit şartlarda olmak kaydıyla küresel iklim eylemine katkı sunmaya devam edeceğimizi açıklamıştır.

Bu gelişmeler, yenilenebilir enerji sektöründe motivasyonu daha da artırmıştır. "Biz de Sivas Cumhuriyet Üniversitesi olarak, ülkemizin daha yeşil bir ekonomi hedefine ulaşabilmesi noktasında çalışmalarımızı sürdürüyoruz"

Covid-19 Salgınına rağmen elde edilen başarının gelecek yıllarda da artarak devam edeceği beklentisi içerisindeyiz. İnşallah ülkemiz ve üniversitemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında çok daha büyük adımlarla, daha hızlı bir şekilde ilerlemeye devam edecektir.

Prof. Dr. Alim Yıldız

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Rektör

BÖLÜM 1

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI: BOR, JEOTERMAL, NÜKLEER ENERJİ VE VERİMLİLİK GELİŞMELERİ

BOR BİLEŞİKLERİNDE HESAPLAMALI KİMYA METODLARIYLA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Sultan Erkan^a, Ceylan Alkaya^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü

ÖZET

Son yıllarda, bor nitrürler, nükleer teknoloji, yarı iletken endüstrisi, çelik endüstrisi vb. alanlarda çeşitli teknik uygulamalara sahip olduklarından, mekanik, termal ve elektriksel özelliklerinin yanı sıra kimyasal inertliklerinden de yararlandıkları için çok dikkat çekmiştir. Hem teknoloji alanında hem de sağlık alanında çeşitli uygulamaları ile geniş bir çalışma alanına sahiptir. Karbon kümeleri ile izoelektronik olan oldukça büyük bor nitrür kümelerine olan ilgi hala artmaktadır. Bazı küçük boyutlu bor nitrür kümeleri de esas olarak elektronik, geometri yapıları ve spektroskopik özellikleri üzerinde deneysel ve teorik araştırmalara konu olmuştur. Çeşitli yöntemlerle deneysel olarak üretilmiş ve üst düzey ab initio ve yoğunluk fonksiyonel teori (DFT) hesaplamaları ile sistematik olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor Nitrür bileşikleri, Hesaplamalı Kimya

ABSTRACT

In recent years, boron nitrides have been widely used in nuclear technology, semiconductor industry, steel industry, etc. They have attracted much attention because they have various technical applications in fields, benefiting from their mechanical, thermal and electrical properties as well as their chemical inertness. It has a wide working area with various applications both in the field of technology and in the field of health. There is still growing interest in rather large boron nitride clusters, which are isoelectronic with carbon clusters. Some small boron nitride clusters have also been the subject of experimental and theoretical research, mainly on their electronic, geometrical structures and spectroscopic properties. It has been produced experimentally by various methods and has been systematically studied with high-level ab initio and density functional theory (DFT) calculations.

Keywords: Boron Nitride compounds, Computational Chemistry

Bor Bileşikleri

Boron-azot kovalent bağlarından oluşan bor nitrür (BN) bileşikleri sp^2 hibritleşmesine sahiptir. Bor nitrür bileşikleri yapısal olarak kübik formda elmas benzeri kristal yapısına sahiptir. Ayrıca yapısal olarak bor ve azot atomlarının düzenine göre farklılık gösteren çok sayıda formu mevcuttur. BN bileşikleri dört temel ana sınıfa ayrılır. Amin boran-

lar, $R_3B-NR'_3$ formundadır. B-N bağında her iki elektronu da sağlayan nitrojen atomuna sahiptir; bunlar alkanlarla ($R_3C-CR'_3$) izoelektroniktir [1]. Aminoboranlar, $R_2B=NR'_2$, B ve N arasında kovalent bir bağa sahiptir. Aminoboranlar alkenlerle, $R_2B=NR'_2$, izoelektroniktir, İminoboranlar, $RB=NR'$, azot ile üçlü bağ oluşturarak etkileşen iki koordinatlı bir boron içerir ve Alkinlerle, $RB=NR'$, izoelektronik. Borazinler, denklem resmi alternatif üç koordinatlı bor ve nitrojen atomları içeren halkalı bileşiklerdir. Borazinler ($-RB-NR_2-$), benzen (C_6H_6) ile izoelektroniktir. Amin-boran eklentileri genel bir formüle sahiptir, R_3NBX_3 , burada $R=H$, alkil, vb. ve $X=alkil, H, halojen, vb.$ Bor ve nitrojen arasında koordine kovalent bağ ile karakterize edilen bu bileşikler, geniş bir indirgeme potansiyeli spektrumuna sahip bir indirgeme ajanları sınıfını oluşturur. Amin boranlar, saf olduklarında keskin erime noktaları ve termal kararlılık sergileyen genellikle renksiz, kristalli bileşiklerdir. Aminoboranlar, her atomdan bir elektronun paylaşıldığı bor ve nitrojen arasında normal bir kovalent bağ ile karakterize edilir. Çok çeşitli aminoboran bileşikleri mevcuttur; bunlar arasında monoaminoboranlar X_2BNR_2 , bisaminoboranlar $XB(NR_2)_2$ ve trisaminoboranlar $B(NR_2)_3$ bulunmaktadır. X ve R sübstituentleri büyük ölçüde değişebilir, ancak genel olarak R, bir alkil veya aril grubu veya hidrojenidir, oysa X oldukça geniş bir atom veya grup çeşitliliğini temsil edebilir. Aminoboranların sentezi için daha yaygın yollardan biri, uygun bor halojenürün aminolizini içerir. Monoaminoboranlar kolayca birleşmeye uğrarlar. Monomerler genellikle sıvılar veya düşük erime noktalı katılardır, oysa dimerler ve trimerler kristal katılardır. Aminoboranlar, geçiş metalleri ile komplekslerde ligand olarak kullanılmıştır. Hidrit reaktifleri kullanılarak (alkilamino) haloboranların indirgenmesi, (alkilamino) boranlar için uygun bir yol sağlayabilir. İminoboranlar, SBNR, alkinler, $XC\equiv CR$ ile izoelektroniktir. B-N bağının polaritesi, iminoboranları benzer SCCR türlerinden çok daha reaktif hale getirir. Polar bileşikler iminoboranlara eklenir, $RB=NR'$. Hidroborasyon reaksiyonuna benzer bir şekilde, çeşitli bor içeren substratlar iminoboranlar ile reaksiyona girer. Boron-azot bileşiklerinin en geniş ve en kapsamlı olarak incelenen ailesi, alternatif bor ve nitrojen atomları içeren altı üyeli bir halka sistemi ile karakterize edilen borazinlerdir. Borazin izoelektronik ve benzen ile yapısal olarak benzer olduğu için inorganik benzen olarak adlandırılmıştır. Borazinler, ikame modeline bağlı olarak sıvı veya kristal katılardır. Çoğu neme karşı hassastır ve atıl bir atmosferde ele alınmalıdır. Borazin, ortam sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda su ile yavaşça borik aside hidrolize edilir. Borazinlerin çeşitli reaksiyonları, fotoliz ve kompleks oluşumunu içerir. Organik bor-azot bileşikleri geniş bir kullanım alanı bulamamıştır ve bu nedenle çok azı büyük ölçekte üretilmektedir. Borazinler, özellikle polimerik bileşikler, termoliz üzerine bor nitrür kaplamalarının ve liflerinin üretilebildiği preseramik malzemeler olarak kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. B-Aril ve halojeno-amino borazinlerin, pamuklu ve naylon tekstillerde alev geciktirici olarak kullanıldığı bildirilmektedir. Borazinler için bildirilen diğer kullanımlar, epoksi reçine katalizörleri, doymamış alkollerin ve esterlerin polimerizasyon inhibitörleri ve alkenlerin polimerizasyonu için katalizörlerdir.

Hesaplamalı Kimya

Hesaplamalı bilim, matematiğin karmaşıklığı, ilgili çok sayıda hesaplama veya bu ikisinin birleşimi nedeniyle daha önce yapılması çok zor olan şeyleri yapmalarına olanak tanır. Hesaplamalı kimya bilim adamlarının laboratuvarında neler olabileceğine dair tahminlere izin veren modeller oluşturmasına olanak tanır.

Moleküllerin modellenmesinde hesaplamalı kimyanın teknikleri ve araçları uygulanabilir. Moleküler modelleme hızla öğrenilmesi gereken önemli araçlardan biri haline gelmektedir. Moleküler modelleme, kullanıcının bir molekül veya molekül sistemi ile ilgili üç temel öğeyi belirlemesine olanak tanır:

- Molekülün yapısı veya geometrisi
- Molekülün spektroskopik özellikleri
- Bir molekülün veya molekül sistemi özelliği veya özellikleri, bir molekül veya molekül sistemi aktivitesi veya reaktivitesi.

Bu özelliklerinde belirlenmesinde kullanılan temel yaklaşımlar:

a. Born-Oppenheimer yaklaşımı: Moleküllerdeki çekirdeklerin hareketini göz ardı ederek hesap yapar

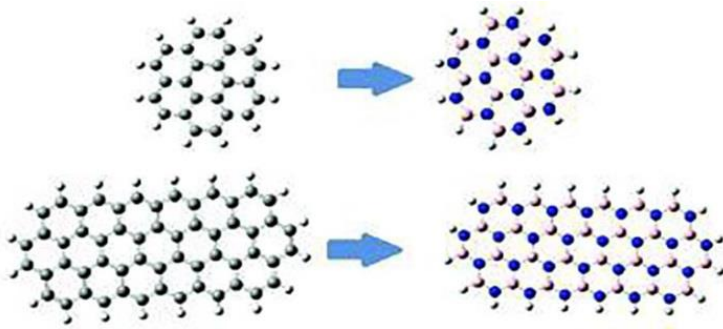
b. Hartree-Fock (HF) yaklaşımı: elektronların hareketini toplayarak veya birleştirerek hesaplamalarımızı basitleştirebilir.

c. Atomik Orbitalerin Doğrusal Kombinasyonu (LCAO): Hesaplanmış atomik orbitalerin nispeten basit bir şekilde eklenmesiyle moleküler orbitaler oluşturularak hesaplamalar yapar.

Bazı bileşiklerin normal mod analizi, bilgisayar paketleri yardımıyla belirli anahtar kelimeler kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Bileşiklerin IR spektrumlarının bilgisayar destekli spektral simülasyonu, normal mod analizi temelinde yapılabilir [2-4].

BN Bileşiklerinin Hesaplamalı Kimya Uygulamaları

Cappellinive arkadaşları 2019 yılında Boron-nitrür çevrelerin elektronik ve optik özellikleri üzerine hesaplamalı bir çalışma gerçekleştirdi. Bu çalışmada, karbon yapımı sirkumacenlerin boron-nitrür yapımı (BN) muadillerinin elektronik ve optik özellikleri üzerine karşılaştırmalı ve sistematik bir hesaplama analizini rapor ettiler. Son zamanlarda, bu düzlemsel moleküller, yoğun madde fiziği alanındaki uygulamalar için ilgi çekmiştir. İncelenen tüm sistemler için, tüm elektron Yoğunluğu Fonksiyonel Teorisi (DFT) ve Zamana Bağlı-DFT (TD-DFT) hesaplamalarını gerçekleştirerek farklı elektronik özellikleri ve optik absorpsiyon spektrumlarını hesaplamıştır. Şekil 1' de verilen karbon analoglarına kıyasla alternatif bir malzeme veya tamamlayıcı olabilecek BN küme özelliklerinin olası etkilerini tartışmışlardır. Özellikle, optik özelliklerle ilgili olarak, BN moleküllerinin C-yapımı ebeveynlerde olduğu gibi görünürde değil, UV'de absorbe edilmesi ile olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, BN kümelerinin elektronik ve optik gözlemlenebilirliklerinin, karbonlu meslektaşları için olanın aksine, küme boyutundan neredeyse bağımsız olduğunu göstermişlerdir [5].

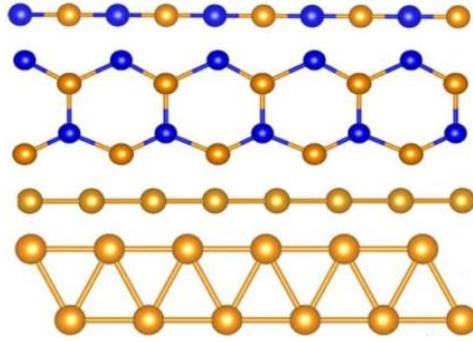


Şekil 1. Karbon analoglu BN kümeleri.

Shakerzadeh ve çalışma arkadaşları Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) hesaplamaları ile $B_{12}N_{12}$ ve $B_{16}N_{16}$ nanokümelere elektro-optik özelliklerini Li atomu yoluyla kompleksleştirerek incelemiştir. Sonuçlar, kompleksleşme sürecinin enerji açısından elverişli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kümelerin elektronik özellikleri, Li atomu ile etkileşime karşı güçlü bir şekilde hassastır. Bu nanokümelere HOMO-LUMO boşlukları, Li atomu yoluyla kompleksleşme nedeniyle önemli ölçüde daralmıştır. Ayrıca, Li kompleksleşmesinin $B_{12}N_{12}$ ve $B_{16}N_{16}$ nanokümelere ilk hiperpolarize edilebilirliklerini arttırdığı göstermiştir. İlk hiperpolarize edilebilirlikler 2975 ila 130.837 a.u. aralığında dikkat çekici bir şekilde artmaktadır. Ayrıca, ilk hiperpolarize edilebilirliklerin kökenini araştırmak için TD-DFT hesaplamaları da yapılmıştır. Sonuç olarak, bu BN kümeleriyle Li atomu kompleksleşmesinin, elektronik ve doğrusal olmayan optik özelliklerinin ayarlanmasında önemli bir rol oynadığı bulunmuştur. Bu sistemlerin umut verici yenilikçi elektro-optik BN tabanlı malzemeler olarak tanımlanabileceği öngörülmüştür [6]. Rivard ve Alex Brown çalışma grubu ile Bor nitrid bileşiklerini stabilize etmede donör-alıcı etkileşimlerini incelemiştir. Lineer ve siklik $(BN)_n$ ($n = 1-3$) bileşiklerinin N-heterosiklik karbon ($ImMe_2$; $ImMe_2 = [(HCNMe)_2C:]$), N- heterosiklik olefin ($ImMe_2CH_2$) ve Wittig (Me_3PCH_2) verici grupların eklenmesi ile kararlılıkları M05-2X/cc-pVTZ hesaplamaları kullanılarak incelenmiştir. Bağların gücü ve doğası, doğal bağ orbitali (NBO) ve moleküllerdeki atomlar analizleri (AIM) kullanılarak araştırılmıştır. BP86/TZ2P hesaplamalarına dayalı olarak tamamlayıcı enerji ayrıştırma analizi (EDA-NOCV) gerçekleştirilmiştir. NBO ve AIM analizleriyle uyumlu olarak, EDA'dan elde edilen yörünge etkileşim enerjisi, büyük ölçüde kovalent yapısını gösteren karbon-bor bağları için toplam çekici etkileşimlere en az %50 katkıda bulunmuştur. Bir verici/alıcı protokolü kullanarak monomerik $(BN)_n$ birimlerini izole etmenin fizibilitesi de genel formdaki bir dizi eklentide araştırılmıştır. Farklı grupların eklenmesi ile bağların ve yapıların gücü araştırılmıştır. Esas olarak, elektrostatik/ yörüngesel çekim terimlerindeki bir artıştan ziyade Pauli itme miktarındaki bir azalmadan kaynaklandığını ortaya koymaktadır [7].

Showkat H. Mir, 2021 yılında tek boyutlu borun (B) ve bor nitrid (BN) allotroplarının (zincirler ve şeritler) fiziksel, elektronik, termal ve taşıma özellikleri Yoğunluk Fonksiyono-

nel Teorisi kullanarak araştırmıştır. BN zincirinin enerjik olarak BN şeridinden daha kararlıyken, B şeridinin B zincirinden daha kararlı olduğu bulunmuştur. BN sistemlerinin B bazlı malzemelere kıyasla daha büyük sertlik sergilediğini göstermiştir. Elektronik özelliklerini inceleyerek, sadece BN zincirinin 3.97 eV’lik bir bant boşluğu ile yarı iletken doğa gösterdiğini ortaya koymuştur. Fonon dağılımı yöntemi ile BN zincirinin ve B şeridinden dinamik olarak kararlı olduğunu, buna karşılık, BN şeridi dinamik olarak kararsız olduğunu gösteren negatif fonon frekansları sergilediğini ortaya koymuştur. Ek olarak, calcurtermal özelliklerin lasyonunun mevcut teorilerle tutarlı olduğu bulunmuştur. Taşıma özellikleri gibi Seebeck katsayısı, elektriksel iletkenlik ve güç faktörünü de araştırmıştır. Sonuçlara göre B zincir mükemmel termoelektrik özellikler sergiler ve temiz enerji uygulamaları için umut verici bir aday haline getirir [8].



Şekil 2. Showkat H. Mir’in çalıştığı sırasıyla BN zinciri, BN şeridi, B zinciri ve B'nin kristal yapısı.

Chen ve çalışma arkadaşları organik kirleticilerin bor nitrür nano tabakaları üzerine adsorpsiyonunun in silico teknikleri ile tahmin edilmesi üzerine DFT ve QSAR hesaplamaları ile çalışma yapmıştır. Organik kirleticilerin bor nitrür nano tabakaları üzerine adsorpsiyonunun araştırılması, kirleticilerin çevreden uzaklaştırılması için yeni bor nitrür adsorbanlarının tasarlanması için çok önemlidir. Bu amaçla çalışmalarında, 28 aromatik bileşiğin bor nitrür nano tabakaları üzerine adsorpsiyonunu araştırmak için yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) hesaplamaları yapmışlar ve adsorpsiyon denge sabitinin logaritmasını ($\log K$) tahmin etmek için dört kantitatif yapı-aktivite ilişkisi (QSAR) modeli geliştirmişlerdir. Hem gaz fazda hem de sulu ortamlarda bor nitrür nano tabakalarına adsorbe edilen organik kirleticilerin $\log K$ değerlerini tahmin etmek için DFT hesaplamaları ile adsorpsiyon enerjileri elde edildi. Sonuçlar, bor nitrür nano tabakalarının grafenden daha güçlü adsorpsiyon kabiliyeti sergilediğini gösterdi. QSAR analizleri sonuçları, van der Waals etkileşimlerinin gazlı adsorpsiyonda baskın roller oynadığını, van der Waals ve hidrofobik etkileşimlerin ise sulu adsorpsiyonda ana itici güçler olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışma, in silico QSAR modellerinin, bor nitrür nanomalzemeler üzerine adsorbe edilen organik kirleticiler için $\log K$ değerlerinin yüksek verimli tahmini için verimli araçlar olarak hizmet edebileceğini göstermektedir [9].

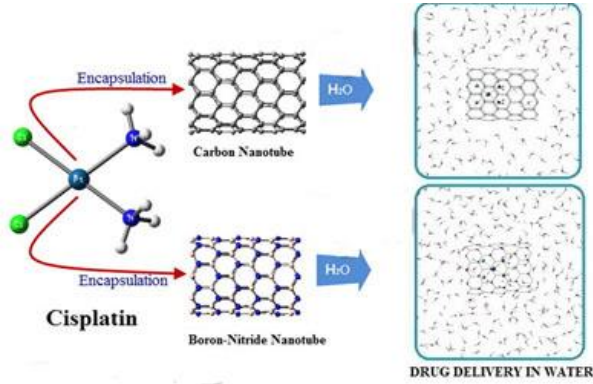
Faller ve Shaa çalışmalarında gaz adsorpsiyonu için bor nitrür nanotüp/ nanolevhaları üzerine kuantum kimyasının etkisini araştırmak için kuantum kimyası hesaplamaları yapmışlardır. Bir Bor Nitrür (BN) nanotüpünün/nanolevhanın gaz adsorpsiyonu üzerindeki yüzey eğriliği kavisli BN katmanları, etkileşime giren grub göre bir dizi farklı eğriliklere sahiptir. Hem dışbükey hem de dışbükey gazlarında soy gazlar, oksijen ve su dâhil olmak üzere farklı gazlar yüzeylerinin içbükey tarafları yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) ile incelenmiştir. Gazın potansiyel enerji yüzeyleri seçilen BN yüzeyleri ile etkileşime giren moleküller araştırılmıştır. Ayrıca Seçilen BN yüzeylerinin yük dağılımı ve elektrostatik potansiyel konturu tartışılmıştır. Sonuçlar, BN yüzeylerinin eğriliğinin gazı nasıl etkilediğini ortaya koymaktadır [10].

Mikko Linnolahti ve çalışma arkadaşları perhidrojene bor nitrür fullerenlerin yapısal prensipleri kuantum kimyasal hesaplamalarla belirlemiştir. Oktahedral bor nitrür fullerenler, sistematik olarak incelenen yapısal ailelere göre sınıflandırılmıştır. Her aile, $B_{444}N_{444}H_{888}$ 'e kadar bir dizi kafes halinde geliştirilmiştir ve onları perhidrojenasyona tabi tutmuşdur. Kiral, T-simetrik nanoyapılar, $B_{228}N_{228}H_{456}$ moleküler formülüne karşılık gelen, yaklaşık 2,8 nm'lik bir optimal çapa sahip olan enerjide optimize olmuşlardır. Oktahedral nano yapıların yüzeyleri, dışbükey tarafa B-H bağları ve içbükey tarafa N-H bağları yerleştirecek şekilde açıkça kavisli olarak bulunmuştur. Eğrilik, hidrojen atomlarını polarize eden B-N bağının kısmen iyonik karakterinden kaynaklanmaktadır. Perhidrojene bor nitrür fullerenlerin açıklanan yapısal ilkelerinin, grup 13-15 ikili bileşiklere dayalı yeni nanomalzemelerin yapısal özellikleri ve özellikleri hakkında yeni bilgiler sağlamışlardır [11].

Xu ve Qiu ve çalışma grubu, BN-segmentinin N-bağlantı paterni, karbon-bor-nitrür heterojunction nanotüplerinin statik ilk hiperpolarize edilebilirliğini (β_0) arttırmak için uygun bir strateji olarak gösterilmiştir [Zhong, R. L., Sun, S. L., Xu, H. L., Qiu, Y. Q., & Su, Z. M. (2013). BN segment doped effect on the first hyperpolarizability of heteronanotubes: focused on an effective connecting pattern. The Journal of Physical Chemistry C, 117(19), 10039-10044.]. Çalışma grubu ise modifikasyon mekanizmasını daha da ortaya çıkarmak için litiasyon etkisi üzerine kuantum kimyasal bir araştırma sunmuştur. İlginç bir şekilde, litiasyon etkisi, heterojunction nanotüplerinin aktive edici segmentine önemli ölçüde bağlı olduğu anlaşılmıştır. BN-segmentindeki litiasyon için, Li_5 -BN-1a'nın β_0 'ı (3.22×10^4 au), Li_5 -BN-2a'ninkinden (1.42×10^4 au) daha büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. C-segmentine bağlanan BN-segmentinin N-bağlantı deseninin, heterojunction nanotüplerinin β_0 'ını arttırmanın etkili bir yolu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, C segmentindeki litiasyon için, Li_5 -BN-1b'nin β_0 (6.03×10^4 au) Li_5 -BN-2b' den (6.97×10^4 au) biraz daha küçük değerlerde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, sonuçlar C-segmentini aktive etmenin, karbon-bor-nitrür heterojunction nanotüplerinin β_0 'ını litiasyon yoluyla arttırmak için BN-segmentini aktive etmekten daha etkili bir strateji olduğunu göstermektedir. Heterojunction nanotüpler hakkındaki yeni bilgiler, doğrusal olmayan tasarımlar için önemli bilgiler sağlayabilir [12].

Barsukov ve çalışma arkadaşları Bir B/N₂ karışımında yüksek sıcaklık sentezi sırasında bor nitrür nanotüp (BNNT) öncülleri için kimyasal oluşum yollarının entegre modellemesini gerçekleştirmiştir. Entegre modelleme, kuantum kimyası, kuantum-klasik moleküler dinamik, termodinamik modelleme ve kinetik yaklaşımları içerir. BN bileşiklerinin, moleküler azotun daha az reaktif sıvı bor ile etkileşimleri yerine küçük bor kümeleri ile etkileşimi yoluyla oluştuğunu göstermiştir. (Bu işlem N₂ molekül fiksasyonu olarak da tanımlanabilir.) Sıvı bor, daha sonra B_mN_n zincirlerine dönüştürülen bu bor kümelerini ($m \leq 5$ ile B_m) üretmek için buharlaştırılmıştır. Bu tür zincirlerin üretimi, BNNT'lerin büyümesi için çok önemlidir, çünkü bu zincirler, daha büyük ve daha uzun BN zincirlerinin ve halkalarının yapı taşlarını oluşturur ve bunlar da fullborenes ve BNNT'lerin yapı taşlarıdır. Ek olarak, kinetik modelleme, özellikle B₄N₄ ve B₅N₄ türlerinin N₂ molekül fiksasyon sürecinde önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu türlerin B₄ ve B₅ kümeleri ile reaksiyonlar yoluyla oluşumu, kinetik modellememizde gösterildiği gibi, termodinamik denge varsayımı altında yeterince tanımlanmamıştır. Bu nedenle, hem B₄N₄ hem de B₅N₄'ün birikmesi, arka plan gaz basıncına ve gaz soğutma hızına bağlı olduğu hesaplanmıştır. Fullborene ve BNNT büyümesinin öncülleri olan uzun BN zincirleri ve halkaları, B₄N₄ ve B₅N₄ bileşiklerinin kendi kendine montajı yoluyla oluşur. Modelleme sonuçları -özellikle daha yüksek gaz basınçlarında B₄N₄ ve B₅N₄ türlerinin artan yoğunlukları- gaz basıncının yüksek kaliteli BNNT'lerin verimi üzerindeki deneysel olarak gözlemlenen etkisini açıklamaktadır. Hidrojenin katalitik rolü de incelenmiştir; HBNH moleküllerinin hidrojen varlığında BNNT sentezinin ana öncüsü olabileceği gösterilmiştir [13].

Hashemianzadeh ve Ketabi, cisplatin antikanser ilacının tek duvarlı karbon nanotüp ve bor-nitrür nanotüp içine kapsüllemesi, kuantum mekanik hesaplamalar ve Monte Carlo Simülasyonu ile sulu çözelti içinde araştırmıştır. cisplatin karbon nanotüp ve cisplatin bor-nitrür nanotüp komplekslerinin çözünmesiz enerjileri ve kompleksleşme enerjileri ile çalışılan bileşiklerin radyal dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. cisplatin karbon nanotüp ve cisplatin bor-nitrür nanotüpünün çözünmeyen enerjileri sırasıyla 4.128 kcal•mol⁻¹ ve -2457.124 kcal•mol⁻¹ dir. Sonuçlar, cisplatin bor-nitrür nanotüpünün suda daha çözünür türler olduğunu göstermiştir. Ek olarak, bor-nitrür nanotüp kompleksi ve çözücünün etkileşiminin elektrostatik katkısı, Van der Waals'tan gerçekten daha fazla olan -281.937 kcal•mol⁻¹ olarak bulunmuştur ve bu nedenle elektrostatik etkileşimler, bor-nitrür nanotüp bileşiklerinin çözünmesiz enerjilerinde ayırt edici bir rol oynamaktadır. Öte yandan, karbon nanotüp kompleksi ve çözücünün etkileşiminin elektrostatik kısmı, Van der Waals'ın katkısıyla neredeyse aynı belirlenmiştir. Kompleksleşmesiz enerjiler de hesaplanmış ve ilgili yapıların stabilitesini ve serbest enerjilerin negatif olduğunu incelemişlerdir (-374.082 ve 245.766 kcal•mol⁻¹), ilacın yukarıda belirtilen nanotüplere kapsüllemesini doğrulamıştır. Bununla birlikte, bor-nitrür nanotüpleri, sulu çözeltideki daha büyük çözünürlükleri nedeniyle kapsülleme için daha uygun bulunmuştur [14].



Şekil 3. Anti-kanser ilacı olarak sisplatinin boron nitrür ve karbon nanotüplere kapsüllemesi.

Zeng ve çalışma grubu küresel bir yapısal araştırma ve ilk prensip hesaplamalarına dayanarak, zikzak BN nanoşeritleri (BNNR'ler) ile oluşturulabilecek iki tür gözenekli bor-nitrür (BN) ağını incelemiştir. BNNR'ler ya doğrudan kenardaki büzülmüş B(N) atomlarına (tip I) ya da sp^3 hibritleşmesi yapan BN zincirlerine (tip II) bağlanmıştır. Mekanik stabilite-nin yanı sıra, bu malzemelerin 1000 K' de termal olarak kararlı olduğu tahmin edilmektedir. Gözenekli BN malzemeler, 2800 ila 4800 m²/g arasında değişen geniş yüzey alanları gerektirmiştir. Özellikle, nispeten büyük gözeneklere sahip tip-II BN malzemesi, hidrojen depolaması için oldukça elverişlidir, çünkü hesaplanan hidrojen adsorpsiyon enerjisi (-0.18 eV), oda sıcaklığında geri dönüşümlü hidrojen depolaması için önerilen optimal adsorpsiyon enerjisine (-0.15 eV) çok yakın bulunmuştur. Dahası, tip-II malzemeler genişliğe bağlı doğrudan bant aralıklarına sahip yarı iletkenlerdir ve tip-II BN malzemelerini sadece hidrojen depolaması için değil, aynı zamanda optoelektronik ve fotonik uygulamalar için de umut verici hale getirmektedir [15].

Xu ve Su çalışan arkadaşları ile birlikte, LiCN...Li'nin bor nitrür nanotüpler içinde kapsüllemesini araştırmıştır. Aşırı elektron yüklü bileşiklerinin, büyük statik ilk hiperpolarize edilebilirlikleri (β_0) nedeniyle yüksek performanslı doğrusal olmayan optik (NLO) malzemelerin yeni adayları olduğu öne sürülmüştür. Son derece büyük bir β_0 değerine (310196 a.u.) sahip kararsız bir aşırı elektron bileşiğinin (LiCN...Li) stabilitesini arttırmak için, onu kapsüllemek için koruyucu bir kalkan molekülü olarak bir bor nitrür nanotüpü (BNNT) teorik tasarlanmıştır. LiCN...Li'nin kararlılığı artırılmıştır. LiCN...Li'nin dikey iyonlaşma potansiyelleri (VIP) afer kapsüllemeyi artırmıştır. Bu nedenle, LiCN...Li ile karşılaştırıldığında, kapsüllemiş kompleksler oksitlenmek için daha difikülttür bulunmuştur. Önemli bir şekilde, BNNT kapsüllemiş LiCN...Li kompleksi, BNNT'nin 28 a.u.'sundan önemli ölçüde (neredeyse 380 kat) daha büyük olan önemli bir β_0 değeri (10645 a.u.) sergilemişlerdir. Bu bileşiklerin içsel hiperpolarizabilitleri (β_{int}) ile ilgili daha ileri araştırmalarımız, NLO yanıtının geçiş enerjisine açıkça bağlı olduğunu göstermekmiştir. Ayrıca, düşük enerji bariyeri nedeniyle LiCN...Li'yi BNNT'nin N-zengin kenarından ziyade B-zengin kenarından kapsüllemek kolay olduğu bulunmuştur, bu hesaplamalar bu bileşikleri sen-

tezlemeye çalışabilecek deneyiciler için daha kullanışlı hale getirilmiştir. BNNT içindeki LiCN...Li'nin kapsülleme süreci hakkında bilgi, kararlı yüksek performanslı NLO malzemelerinin tasarımı ve sentezi için yeni bir strateji ön sürmüştür [16].

Li ve Xu, hesaplama kimya tekniklerinden B3LYP/6-311+G** ve BP86/6-311+G** seviyelerinde BNN, H₃BNN, NNBH₂-BH₂NN, (BNN)₂H₂, NNBBNN, (BNN)⁻³, (BNN)₄, (BNN)₄²⁺, (BNN)₄²⁻, B₄(NN)₂, (BNN)₅⁻, (BNN)₆, (BNN)₇⁺ ve (BNN)₈²⁺ incelenmiştir. Nötr (BNN)₄, üçlü haliyle aromatik, singlet haliyle ise antiaromatik olduğunu belirlemiştir. (BNN)₄ dikasyonu D_{2d} yapısını desteklerken, (BNN)₄ diyasyonu düzlemsel bir D_{4h} yapısını tercih eder. (BNN)₄⁻³, (BNN)₄²⁺, (BNN)₅⁻, (BNN)₆, (BNN)₇⁺, (BNN)₇³⁺, (BNN)₈²⁺ ve (BNN)₈²⁻, 4n+2 kuralını tabiiyen düzlemsel monosiklik konformasyona sahip aromattir. Ayrıca, CASSCF ve MRCI hesaplamalarına göre, D_{2h} simetrisinin düzlemsel B₄(NN)₂'si tercih edilir. Açık kabuklu singlet veya üçüz olmasına rağmen bir - diradikal ve aynı zamanda aromattir. Geçiş metali içeren bileşiklerdeki - sırt etkileşimine benzer şekilde, burada bildirilen bazı türler arasında bor ve N₂ ligand arasında, BN bağı güçlendiren, ancak özellikle 4Σ⁻ BNN'de N-N bağı aktif eden- sırt etkileşimi vardır. T şeklindeki yapı, (BNN)₂H₂ dimerinin yedi izomeri arasında enerjide en düşük seviyede bulunmuştur ve paralel yer değiştiren yapı, (BNN)₆ dimerinin iki izomeri arasında tercih edilir [17].

Abd El-Mageed ve arkadaşı, B₁₂N₁₂ fulleren benzeri nanokümlerin izoniazid anti-tüberküloz ilacı için bir ilaç taşıyıcısı olarak yetenekleri DFT yöntemleri ile incelenmiştir. Hem gaz hem de su fazlarındaki bağlanma enerjileri rapor edilmiştir. B₁₂N₁₂-FLN ve Iso ilacı arasında oluşan bağlar QAIM yöntemi kullanılarak incelenmiş ve hesaplanmıştır. Natural popülasyon analizi (NPA), B₁₂N₁₂-FLN-Iso ilaç komplekslerinde aktarılan toplam yükleri elde etmek için hesaplanmıştır, NPA'dan elde edilen değerler, kümenin Iso ilacının koordineli olarak oksitlenebileceğini öne sürmüştür. Yük-transfer enerjisi değerleri de hesaplanmış ve yüklerin N ve O atomlarının orbitallerinin bağlanmayan yalın çiftinden (n) B₁₂N₁₂-FLN'nin B ve N atomlarının r orbitallerine aktarıldığı doğrulanmıştır. Ayrıca, Iso ilacının BN nanopartikül yüzeyinde (farklı boyutlarda ve şekillerde) ve BN nanotüplerinde adsorpsiyonu Monte Carlo simülasyonu ile incelenmiştir. BN boyutunun artırılmasının, tüm çeşitli BN nanopartikül şekilleri için Iso ilacının adsorpsiyon enerjilerini önemli ölçüde etkilemediğini bulmuşlardır. Monte Carlo hesaplamaları ile elde edilen tüm adsorpsiyon enerjileri, BN yüzeylerindeki Iso ilaç molekülünün adsorpsiyonunun ekzotermik, spontan ve enerjisel olarak elverişli olduğunu ortaya koyan negatif değerlerde bulunmuştur. Ayrıca, B₁₂N₁₂-FLN-Iso ilaç kompleksinin sudaki stabilitesi Monte Carlo simülasyonları tarafından açıkça incelenmiştir. Monte Carlo simülasyonu, izo-B₁₂N₁₂-FLN komplekslerinin su moleküllerinin varlığında kararlı olduğunu doğrulanmıştır. Son olarak, B₁₂N₁₂ fulleren benzeri nanokümlerin, izoniazid anti-tüberküloz ilacı için bir ilaç taşıyıcısı olarak hareket edilebileceği sonucuna varmışlardır [18].

D'yachkov ve çalışma arkadaşları 3d metallerle interkalize edilmiş yarı iletken (5,5) bor nitrid nanotüplerinin elektronik yapısı kuantum kimyasal yöntemlerle incelenmiştir. Doğrusal artırılmış silindirik dalga yöntemi, metal yoğunlaşma ve doğanın bir fonksiyonu

olarak elektronik durumların toplam ve kısmi yoğunluklarını ve karbon kabuğunun yapısını hesaplamak için kullanılmıştır. Enine kesitte bir, iki, üç ve dört metal atomu olan (5,5) BN nanotüplerine dayanan metalize nanoteller hesaplanmıştır. Metallerin tanıtılmasına, yalıtkanın nanotüplerin metal geçişine eşlik etmiştir. Kırk inorganik malzeme için, nanotüpteki balistik yük taşınmasında rol oynayabilecek serbest elektronların konsantrasyonunu belirleyen Fermi seviyesindeki değerlik bandının ve iletim bandının durumlarının toplam yoğunluğunu ve durumların yoğunluğunu belirlenmiştir. Metallerin sokulması sadece bor nitrür nanotüpünün iletken durumu üzerinde bir etkiye sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda nanotüpün değerlik bandının tüm modelini de değiştirir, partiküler olarak, bor ve azot durumlarının düşük enerji kayması nedeniyle değerlik bandı genişliğini 2-10 eV arttırmıştır [19].

KAYNAKLAR

- [1] Manning, M. J., & Griffin, T. S. (2000). Boron-Nitrogen Compounds, Organic. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.
- [2] Hinchliffe, A. (2003). Molecular modelling for beginners. John Wiley & Sons.
- [3] Miller, D. P., Phillips, A., Ludowieg, H., Swihart, S., Autschbach, J., & Zurek, E. (2019). The computational design of two-dimensional materials. *Journal of Chemical Education*, 96(10), 2308-2314.
- [4] Shakerzadeh, E. (2016). Theoretical investigations of interactions between boron nitride nanotubes and drugs. In *Boron Nitride Nanotubes in Nanomedicine* (pp. 59-77). William Andrew Publishing.
- [5] Mocci, P., Cardia, R., & Cappellini, G. (2019). A computational study on the electronic and optical properties of boron-nitride circumacenes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21(29), 16302-16309.
- [6] Shakerzadeh, E., Tahmasebi, E., & Biglari, Z. (2016). A quantum chemical study on the remarkable nonlinear optical and electronic characteristics of boron nitride nanoclusters by complexation via lithium atom. *Journal of Molecular Liquids*, 221, 443-451.
- [7] Momeni, M. R., Shulman, L., Rivard, E., & Brown, A. (2015). Interplay of donor-acceptor interactions in stabilizing boron nitride compounds: insights from theory. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(25), 16525-16535.
- [8] Mir, S. H. (2021). A computational study of physical, electronic, thermal and transport properties of one-dimensional boron and boron nitride systems. *Journal of Solid State Chemistry*, 297, 122037.
- [9] Wang, Y., Tang, W., Peng, Y., Chen, Z., Chen, J., Xiao, Z., ... & Li, J. (2021). Predicting the adsorption of organic pollutants on boron nitride nanosheets via in silico techniques: DFT computations and QSAR modeling. *Environmental Science: Nano*, 8(3), 795-805.
- [10] Sha, H., & Faller, R. (2016). A quantum chemistry study of curvature effects on boron nitride nanotubes/nanosheets for gas adsorption. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18(29), 19944-19949.

- [11] Karttunen, A. J., Linnolahti, M., & Pakkanen, T. A. (2008). Structural characteristics of perhydrogenated boron nitride fullerenes. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(27), 10032-10037.
- [12] Zhong, R. L., Sun, S. L., Xu, H. L., Qiu, Y. Q., & Su, Z. M. (2014). Multilithiation effect on the first hyperpolarizability of carbon-boron-nitride heteronanotubes: activating segment versus connecting pattern. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(26), 14185-14191.
- [13] Barsukov, Y., Dwivedi, O., Kaganovich, I., Jubin, S., Khrabry, A., & Ethier, S. (2021). Boron nitride nanotube precursor formation during high-temperature synthesis: kinetic and thermodynamic modelling. *Nanotechnology*, 32(47), 475604.
- [14] Roosta, S., Hashemianzadeh, S. M., & Ketabi, S. (2016). Encapsulation of cisplatin as an anti-cancer drug into boron-nitride and carbon nanotubes: Molecular simulation and free energy calculation. *Materials Science and Engineering: C*, 67, 98-103.
- [15] Dai, J., Wu, X., Yang, J., & Zeng, X. C. (2014). Porous boron nitride with tunable pore size. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 5(2), 393-398.
- [16] Zhong, R. L., Xu, H. L., Muhammad, S., Zhang, J., & Su, Z. M. (2012). The stability and nonlinear optical properties: encapsulation of an excess electron compound LiCN... Li within boron nitride nanotubes. *Journal of Materials Chemistry*, 22(5), 2196-2202.
- [17] Li, Q. S., & Xu, Y. (2007). A quantum chemistry study: A new kind of boron nitrides. *Journal of Computational Chemistry*, 28(8), 1446-1455.
- [18] El-Mageed, H. A., Mustafa, F. M., & Abdel-Latif, M. K. (2022). Boron nitride nanoclusters, nanoparticles and nanotubes as a drug carrier for isoniazid anti-tuberculosis drug, computational chemistry approaches. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 40(1), 226-235.
- [19] Bochkov, I. A., D'yachkov, E. P., & D'yachkov, P. N. (2014). Electronic structure of boron nitride nanotubes intercalated with transition metals. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 59(12), 1454-1461.

NÜKLEER YAKIT ÇEVİRİMİ

Meryem Seferinoğlu^a

^a Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Günümüzde nükleer enerji dünya çapında sürdürülebilir ekonomilerin temel güç kaynağını oluştururken, çevremizin korunması ve gelecek nesiller için tüketilebilir kaynakların korunmasını sağlayan sistemler olarak kabul edilmektedir. Dünya genelinde 438 nükleer güç santrali dünya enerji ihtiyacının %14'lük kısmını karşılarken, kurulum aşamasında olan 61 adet gelişmiş nükleer güç santrali bulunmaktadır [1]. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (The organization for economic cooperation and Development, OECD) verilerine göre 2050 yılına kadar dünya çapında üretilen enerjinin büyük bir bölümünün nükleer güç santralleri ile karşılanacağı öngörülmektedir [2]. Nükleer enerji kullanımının hızla artmasına paralel olarak yakıt çevrimi faaliyetlerine yönelik taleplerde artmaktadır. Sürdürülebilir nükleer enerji sürdürülebilir nükleer yakıt çevrimine ihtiyaç duymaktadır. Nükleer yakıt performansı ve güvenilirliği, nükleer güç santrallerinin güvenli bir şekilde işletilmesinde en önemli faktörlerden biridir [3]. Dolayısıyla, nükleer yakıt, nükleer güç santrallerinin güvenli bir şekilde işletilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve üretilmelidir.

Bu bölümün temel amacı, nükleer güç reaktörlerine yakıt sağlayan ve reaktörde tüketilen yakıtlardan nükleer yakıtın geri kazanımını içeren nükleer yakıt çevrim basamaklarında kullanılan teknolojileri açıklamaktır.

Anahtar Kelimeler: Nükleer yakıt çevrimi, dönüşüm, zenginleştirme, fabrikasyon, yüksek seviyeli atık.

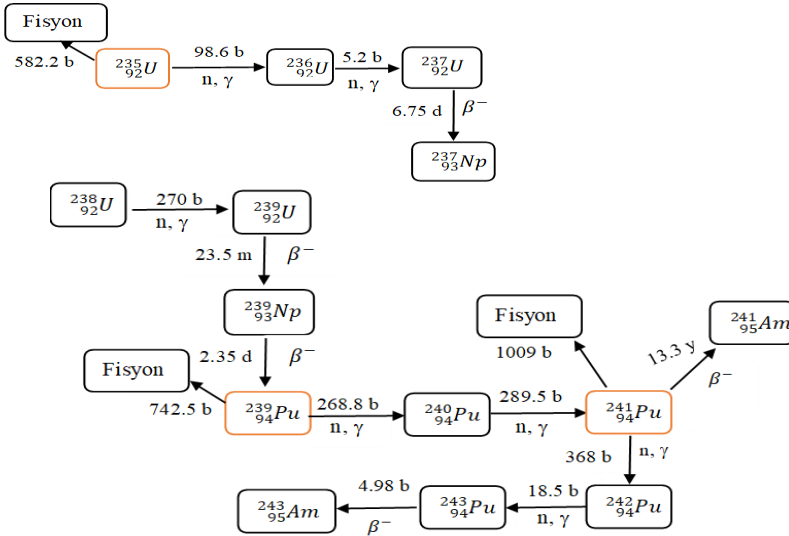
ABSTRACT

Today, while nuclear energy constitutes the main power source of sustainable economies around the world, it is accepted as systems that protect our environment and consumable resources for future generations. While 438 nuclear power plants around the world meet 14% of the world's energy needs, there are 61 advanced nuclear power plants under construction [1]. According to the data of the Organization for economic cooperation and Development (OECD), a large part of the energy produced worldwide will be met by nuclear power plants by 2050 [2]. In parallel with the rapid increase in the use of nuclear energy, the demands for fuel cycle activities are increasing. Sustainable nuclear energy requires a sustainable nuclear fuel cycle. Nuclear fuel performance and reliability are one of the most important factors in the safe operation of nuclear power plants [3]. Therefore,

Nükleer Yakıtlar

Nükleer yakıtlar nötron soğurduklarında nötron sayısında net bir artış sağlayabilen bölünebilen (fisil) malzemeler ve nötron soğurduklarında bölünebilir malzeme üreten fertil malzemelerden oluşmaktadır. Doğada fisil radyoizotop olarak yalnızca ^{235}U bulunmaktadır. Doğal uranyum madeni ağırlıkça %0.711 oranında ^{235}U , %99.283 oranında ^{238}U ve %0.0055 oranında ^{234}U radyoizotopundan oluşmaktadır. Günümüzde ticari olarak kullanılan nükleer santrallerde doğal uranyum veya ^{235}U açısından hafif zenginleştirilmiş uranyumu yakıt olarak kullanılmaktadır. Bir reaktörde yakıt olarak ^{235}U ve ^{238}U karışımı kullanıldığı zaman, nükleer reaktörde Şekil 2'de verilen nükleer reaksiyon gerçekleşmektedir [5].

Fisil malzeme olan ^{235}U bir nötron soğurduğunda genellikle fisyon reaksiyonu verirken, bazı nötron soğurma reaksiyonları fisil olmayan ^{238}U radyonüklitin oluşmasına neden olur. ^{238}U nötron soğurarak kısa ömürlü ^{237}U radyoizotopun oluşturmaktadır. ^{237}U ise fisil olmayan ^{237}Np 'a bozunmaktadır.



Şekil 2. Uranyum yakıt kullanan reaktörde oluşan nükleer reaksiyonlar⁵
(Sarı kareler fisil radyonüklitleri göstermektedir).

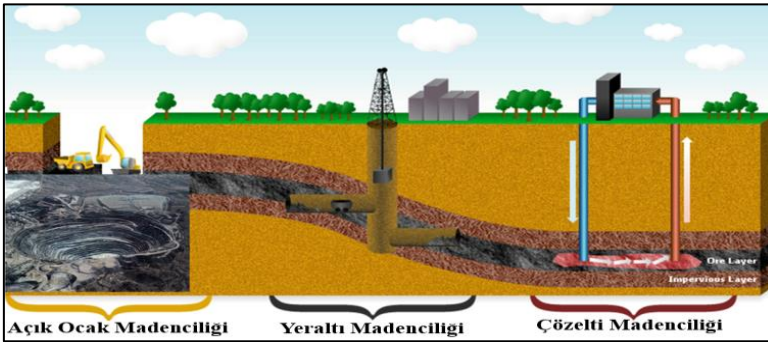
^{235}U fisyon reaksiyonu ile oluşan nötron ^{238}U tarafından soğurularak kısa ömürlü ^{239}U oluşturmaktadır. Bu radyoizotop ise ^{239}Np ve ^{239}Pu radyoizotoplarına bozunmaktadır. ^{239}Pu nötron soğurduğunda büyük oranda fisyon reaksiyonu verirken, bazı ^{239}Pu atomları fertil malzeme olan ^{240}Pu radyoizotopuna ve ^{240}Pu ise nötron yakalama reaksiyonu ile ^{241}Pu radyoizotopuna dönüşmektedir. ^{241}Pu bir nötron soğurduğu zaman ya fisyon gerçekleştirebilir ya da fisyon olmayan ^{242}Pu oluşturabilir. Aynı zamanda, yarılanma ömrü 13.3 y olan ^{241}Pu fisil olmayan ^{241}Am bozunabilmektedir. ^{242}Pu ne fisil nede fertil malzemedir. ^{236}U gibi nötron zehiridir ve bir nötron soğurduğunda ^{243}Pu dönüşmekte ve 5 saatlik yarılanma ömrü ile bozunarak fisil olmayan ^{243}Am radyoizotopunu oluşturmaktadır.

Uranyum Madenciliği ve Öğütme

Uranyum madenciliği için hangi madencilik yönteminin kullanılacağı cevher miktarına, bulunduğu bölgeye, güvenlik ve ekonomik hususlara göre belirlenmektedir. Günümüzde açık ocak madenciliği, yeraltı madenciliği ve çözelti madenciliği (in-situ leaching) olmak üzere üç farklı madencilik yöntemi uygulanmaktadır [6]. Şekil 3'de uranyum madencilik yöntemleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Açık ocak madenciliğinde maden duvarlarının çökmesini engellemek için duvarların eğimli olması gerekmektedir. Dolayısıyla açık ocak madenciliğinde maden çukurları cevher yatağından büyük olmak ve cevhere ulaşmak için çıkarılması gereken malzeme miktarı çok fazla olmaktadır. Bu madencilik tekniğinde genel olarak ocaklar net 0.75 ile 1 eğime sahip olacak şekilde yüzey kaymalarını önlemek için 1m yükseklikteki basamaklar şeklinde ilerlenmektedir [4]. Uranyum yatağına ulaşıldığında daha küçük kepçelerle çıkarılan kayaç ve toprak taşıyıcı kamyonlarla ile yüzeye çıkarılarak depolanır ve daha sonra cevher işleme tesisine gönderilir. Uranyum filizi madenden toplandıktan sonra maden çukuru atık ve yüzey toprakları ile tekrar kapatılmakta veya çok büyük olan maden çukurları yapay göllere dönüştürülmektedir.

Yeraltı madenciliğinde açık ocak madenciliğine oranla yüzey deformasyonu ve madene ulaşmak için çıkarılması gereken malzeme miktarı oldukça az olmaktadır. Maden derinliği 1.6 km'ye kadar ulaşmaktadır. Şekil 3'de görüldüğü gibi uranyum yatağına ulaşıldıktan sonra yan tüneller ile uranyum filizine ulaşılmaktadır.



Şekil 3. Uranyum madencilik teknikleri.

Toplanan maden taşıma sistemleri ile yüzeye çıkarılarak cevher işleme tesislerine taşınmaktadır. Yeraltı madenciliğinde uranyum filizinin tamamı çıkarılamayabilir. Filizin bir kısmı tünellerin çökmesini engellemek için destek amaçlı olarak bırakılmaktadır. Yeraltı madenciliğinin diğer bir dezavantajı ocaklarda radon (^{222}Rn) gazının birikme tehlikesidir. Radon gazı konsantrasyonunun kabul edilebilir sınır değerlerin altında tutulabilmesi için özel havalandırma sistemlerinin kullanılması gerekmektedir [6].

Çözelti madenciliği (in-situ leaching) dünyadaki uranyum madenciliğinde giderek artan bir yöntemdir. Bu yöntemde uranyum cevherini (U_3O_8) çözmek ve yüzeye çıkarmak için

asidik çözeltilerin cevher gövdesi boyunca dolaştırılması prensibine dayanmaktadır. Enjeksiyon ve üretim kanalları ile uranyum yatağına ulaşılmaktadır. Enjeksiyon kanalından gönderilen asidik veya bazik liç çözeltisi cevher yatağı boyunca dolaşırken uranyum oksitin çözümlenmesini sağlamaktadır. Uranyum içeren liç çözeltisi üretim kanalından yüzeye çıkarılarak ayrıştırma prosesine gönderilmektedir. Ayrıştırma prosesinden geri kazanılan liç çözeltisi tekrar cevher yatağına gönderilmektedir [6], [7].

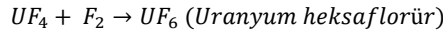
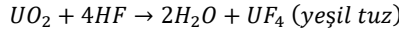
Dönüştürme ve zenginleştirme

Uranyum cevheri U_3O_8 bir nükleer reaktör için doğrudan yakıt olarak kullanılamaz. Uranyumun yakıt olarak kullanılabilmesi için farklı işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Günümüzde kullanılan birçok nükleer reaktörde ^{235}U oranı artırılmış yakıtlar kullanılmaktadır. Dolayısıyla doğal uranyumun ^{235}U açısından zenginleştirilmesi ve zenginleştirme proseslerinin kullanılabilmesi içinde uranyumun gaz fazında olması gerekmektedir.

Dönüştürme

Uranyum oksit (U_3O_8) oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda gaz fazında olan uranyum hekzaflorüre (UF_6) dönüştürülmeden önce saflaştırılmalıdır. Doğal uranyumda safsızlık olarak genellikle bor, kadmiyum, klor ve birçok nadir toprak elementleri bulunmaktadır [8]. Genellikle U_3O_8 'in saflaştırılmasında bir çözücü ekstraksiyon yöntemi olan Purex prosesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Purex prosesinde, dietil eter, metil izobütil keton ve tribütil fosfat gibi oksijen içeren organik çözücüler kullanılmaktadır. Bu organik çözücüler uranyl nitrat ile seçimli olarak etkileşerek sulu ortamdan seçici olarak ekstrakte edilmesini sağlamaktadır [4], [9].

Florürleme yöntemi ile saflaştırılan U_3O_8 bileşiğinin UF_6 bileşiğine dönüştürülmektedir. Bu yöntemde U_3O_8 bileşiği 1000 ila 1200 °F sıcaklıkta kalsine edilerek UO_3 formuna dönüştürülmektedir. UO_3 bileşiği hidrojen ile indirgenerek UO_2 (kahverengi oksit) ve HF ile etkileştirilerek uçucu olmayan, yüksek erime noktasına sahip UF_4 (yeşil tuz) bileşiğine dönüştürülmektedir. Son olarak yüksek sıcaklıklarda florür gazı ile tepkimeye sokularak UF_6 elde edilmektedir. Florürleme sürecinde oluşan kimyasal reaksiyonlar aşağıda verilmektedir [10].



Dönüştürme prosesinden elde edilen uranyum hekzaflorür katılaştırılarak zenginleştirme tesisine sevk edilir.

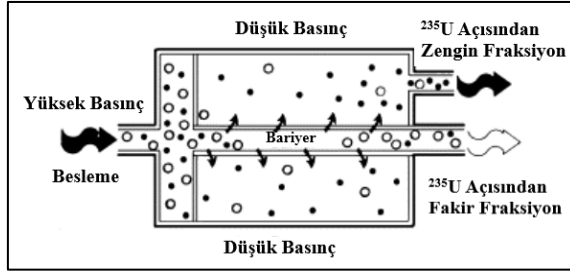
Zenginleştirme

Uranyum zenginleştirme proseslerinde gaz fazındaki uranyum hekzaflorürün iki akıma ayrılmaktadır. Birincisi gerekli düzeyde zenginleştirilmiş uranyum içerirken, diğer akım ^{235}U 'un azaltıldığı atık veya tüketilmiş uranyum (depleted uranium) içermektedir. Uranyum zenginleştirme prosesleri ^{235}U ve ^{238}U arasındaki kütle farkına dayanan yöntem-

lerdir. ^{235}U ve ^{238}U arasındaki kütle farkı izotopların ayrılmasını ve ^{235}U yüzdesinin artırılmasına mümkün kılar. Bir çok zenginleştirme prosesi geliştirilmesine karşın, ticari boyutta gaz difüzyon prosesi ve gaz santrifüj prosesi kullanılmaktadır [9].

Gaz Difüzyon Prosesi

Gaz difüzyon prosesi, milyonlarca küçük çaplı gözenekler içeren ince gözenekli bariyerden ^{235}U ve ^{238}U 'nun hegzaförür bileşiklerinin moleköl ağırlıklarına bağlı olarak farklı hızlarda geçmesine dayanmaktadır. Sabit sıcaklıklarda gaz moleküllerin hızları moleköl ağırlığı artıkça azalmaktadır. Gaz difüzyon prosesinin çalışma prensibi Şekil 4'de verilmiştir [8]. Şekilde görüldüğü gibi gaz fazındaki UF_6 moleküllerin gözenekli membrandan geçmeye zorlanmaktadır. Moleköl ağırlığı küçük olan $^{235}\text{UF}_6$ molekölünün gözenekli bariyerden geçme olasılığı, $^{238}\text{UF}_6$ molekölünden daha fazladır. Böylelikle, bariyerden geçen gaz fazı ^{235}U açısından kısmen zenginleşirken, bariyerden geçemeyen gaz fazında ise ^{235}U açısından fakirleşmektedir.



Şekil 4. Gaz difüzyon prosesinin çalışma prensibi şematik diyagramı⁸.

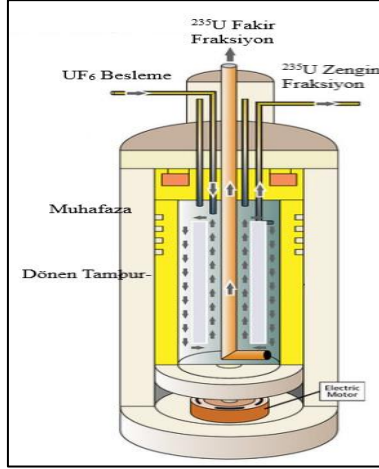
Bu süreç bir dizi difüzyon prosesinin kademeli (cascade) olarak bağlanması ile tekrarlanmaktadır. Bu sürecin bir ucundan zenginleştirilmiş UF_6 ürünü çekilirken, diğer ucundan tükenmiş UF_6 alınmaktadır. Yaklaşık %3 ila %4 oranında zenginleştirilmiş UF_6 üretmek için 1400 gaz difüzyon prosesine ihtiyaç vardır. Bir difüzyon basamağının izotop ayırma oranı çok düşük olmasına karşılık büyük miktarda gaz işleme kapasitesine sahiptir [8].

Gaz Santrifüj Prosesi

Gaz santrifüj prosesinde gaz difüzyon prosesinde olduğu gibi gaz fazındaki UF_6 kullanılmakta ve ^{235}U ve ^{238}U arasındaki küçük kütle farkından yararlanılarak izotopik ayırma yapılmaktadır [11]. Şekil 5'de gaz santrifüj prosesinin çalışma prensibi gösterilmektedir.

Gaz fazındaki UF_6 dönen vakumlu silindirik bir tambur içerisine beslenmektedir. Yüksek hızda dönen tambur içindeki yüksek moleköl ağırlıklı $^{238}\text{UF}_6$ moleküller santrifüj kuvvetinin etkisi ile silindirin diğer duvarına doğru hareket ederken, düşük moleköl ağırlıklı $^{235}\text{UF}_6$ moleküller ise merkez kaç kuvvetinin küçük olması nedeniyle orta kısımda yoğunlaşmaktadır. ^{235}U açısından kısmen zenginleşmiş $^{235}\text{UF}_6$ fraksiyonu merkeze yakın bölgeden toplanmaktadır. Zenginleştirilmiş $^{235}\text{UF}_6$ fraksiyonu bir sonraki aşamalar için beslemenin bir parçasını oluştururken, fakirleştirilmiş UF_6 gazı bir önceki aşamaya geri dön-

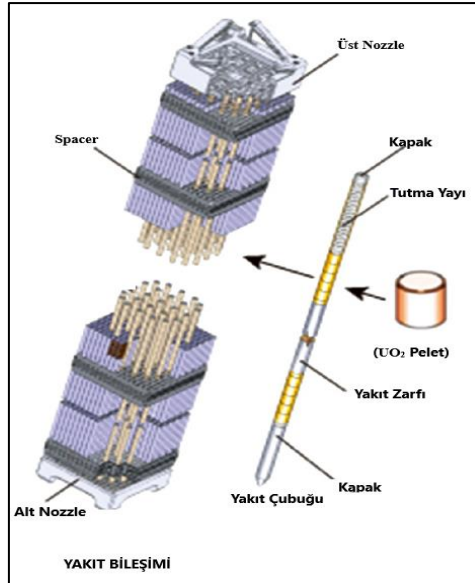
dürülmektedir. Sonunda prosesin bir ucundan istenilen oranda zenginleştirilmiş uranyum elde edilmektedir.



Şekil 5. Gaz santrifüj prosesinin çalışma prensibi şematik diyagramı.

Nükleer Yakıt Tasarımı ve Fabrikasyonu

Nükleer reaktörler özellikle güç reaktörlerinde yakıtı olarak genellikle seramik yakıt olan uranyum dioksit (UO_2) pletlerini kullanmaktadır. Uranyum dioksit bileşiğinin en önemli özelliği içerdiği oksijenin termal nötron soğurma tesir kesitinin düşük olmasıdır. Bu da nötron kaybının az olması ve nötron veriminin yüksek olmasına neden olmaktadır.



Şekil 6. PWR yakıt bileşenlerin şeması [12].

Yakıt fabrikasyonunda zenginleştirilmiş $^{235}\text{UF}_6$ tekrar UO_2 bileşenine dönüştürülmektedir. Su ile tepkimeye sokularak UF_6 çözelti ortamında uranil florid (UO_2F_2) bileşimini oluşturmaktadır. Ortama amonyum hidroksit eklendiğinde uranium amonyum diuranat $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ bileşiği formunda çöktürülür. $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ bileşiminin kalsinasyon işleminden U_3O_8 bileşiği elde edilmektedir. Hidrojen atmosferi altında ısıtılan U_3O_8 bileşiği toz halindeki UO_2 bileşimine indirgenmektedir [10]. Toz UO_2 preslenerek yaklaşık 11 – 13 mm uzunluğunda, 8 – 10 mm çapında yakıt pleterleri haline getirilerek yüksek sıcaklıklarda sinterleştirilmektedir. Şekil 7'de PWR reaktör yakıt bileşenin şematik diyagramı görülmektedir [12].

Yakıt pleterleri zircallay dan yapılmış yakıt zarfları içerisine yerleştirilerek yakıt çubukları oluşturulmaktadır (Şekil 7). Yakıt çubuklar reaktör tasarımına uygun olacak şekilde bir araya getirilerek yakıt demetleri oluşturulmaktadır.

Nükleer Reaktörde Güç Üretimi

Bir nükleer reaktör çekirdeği birkaç yüz yakıt demetinden oluşturulmaktadır. 1000 MWe güce sahip bir reaktör yaklaşık 75 ton/yıl hafif zenginleştirilmiş uranyum kullanmaktadır. Toplam enerjinin yaklaşık %80'i fisil malzeme olan ^{235}U fisyonu ile üretilirken, yaklaşık %20'den fazlası fisyon ürünü olan ^{239}Pu fisyonu ile elde edilmektedir. Reaktör tasarımına bağlı olarak 12 – 36 ay sonra reaktöre yüklenen yakıt demetinin üçde biri taze yakıt ile değiştirilmektedir.

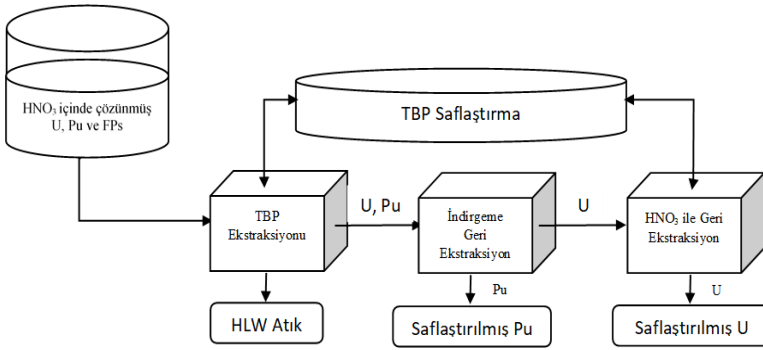
Geçici depolama

Bir PWR reaktöründen çıkarılan kullanılmış yakıt ~%95.6 oranında ^{238}U içerirken %0.6 – %0.8 oranında ^{235}U , %0.9 fisil ^{239}Pu ve ~%3 oranında kararlı fisyon ürünleri ve minör aktinidlerden oluşmaktadır. Fisyon ürünleri içinde bulunan ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Pu , ^{241}Am ve ^{241}Pu 'in bozunma ürünleri olan $^{239/240}\text{Pu}$, ^{99}Tc ve ^{237}Np elementleri kullanılmış yakıtın aktivitesine katkı sağlayan dominan elementlerdir [4]. Dolayısıyla, yüksek radyasyon seviyesinin azaltılması ve kısa ömürlü fisyon ürünlerinin bozunma ısısının uzaklaştırılması için santral sahasında bulunan yakıt havuzlarında depolanmaktadır. Havuzdan çıkarılan yakıtlar hava akımı ile soğutulan kuru depolama alanlarına transfer edilmektedir [7].

Yeniden İşleme ve Geri Dönüşüm

Orijinal uranyumunun yaklaşık %96'sını içeren kullanılmış yakıtta ^{235}U oranı %1'in altına düşerken %3 oranında fisyon ürünleri, ve %1'lik kısmı ise fisil malzeme olan plütonyumdan oluşmaktadır. Dolayısıyla, reaktörden elde edilen kullanılmış yakıt içerisindeki uranyum ve plütonyumun geri dönüşümün sağlanması; i) başka bir reaktörde nükleer yakıt olarak tekrar kullanılması, ii) çevrenin korunması açıdan yüksek aktiviyeli atık miktarının azalması, iii) aktivitenin temel kaynağı olan aktinidlerin diğer fisyon ürünlerinden uzaklaştırılması ile radyoaktivite düzeyinin kısa sürede azaltılabilmesi, iv) depolama sürecinde radyoaktif atıkların güvenli forma dönüştürülmesi işlemlerini kolaylaştırsı gibi birçok avantajları bulunmaktadır [13].

Yeniden işleme prosesi uranyum ve plütonyumun diğer fisyon ürünleri ve yakıt atıklarından ayrılmasını sağlamaktadır [5]. 1950'lerden beri inşa edilen tüm yeniden işleme proseslerinde "Purex çözücü ekstraksiyon" yöntemini kullanmaktadır. Purex Çözücü işleme yöntemi çözelti ortamında uranyum ve plütonyumun farklı değerliklere sahip kompleks iyonlarının (+6 değerlikli $UO_2(NO_3)_2$ ve +4 değerlikli $Pu(NO_3)_4$) bulunması esasına dayanmaktadır. Bu iyonların yükseltgenme-indirgenme potansiyellerinin birbirinden farklı olması bu iyonların birbirinden veya çözelti ortamında bulunan diğer fisyon ürünlerinin bir yada birkaçından ayrılmasına neden olmaktadır [5], [13]. Şekil 7'de Purex çözücü ekstraksiyon yönteminin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 7. Purex çözücü ekstraksiyonu prosesi

Yeniden işleme prosesinden geri kazanılan ^{235}U konsantrasyonu doğal uranyum içeriğinden daha fazladır. Buradan üretilen uranyum dönüşüm ve zenginleştirme süreçlerinden sonra yakıt olarak yeniden kullanılabilir. Plütonyum ise doğrudan yakıt fabrikasyon prosesinde MOX yakıtına dönüştürülebilir. MOX yakıtı kullanan reaktörlerde, normal uranyum oksit yakıtında ^{235}U 'in yerine plütonyum kullanılmaktadır. Yeniden işleme prosesinin kullanılması ile yüksek seviyeli atık (High Level waste, HLW) miktarı kullanılan yakıtın tamamının atık olarak işlenmesi ile kıyaslandığında önemli miktarda azaltılmaktadır.

Yüksek Seviyeli Atık Yönetimi

Nükleer yakıt çevriminden kaynaklanan atıklar, yaydığı radyasyon miktarına göre yüksek, orta veya düşük seviye olarak sınıflandırılmaktadır. Bu atıkların kaynakları; i) yakıt çevriminin tüm aşamalarında üretilen düşük seviyeli atıklar, ii) reaktör işletimi ve yeniden işleme proseslerinden üretilen orta seviyeli atıklar ve iii) yeniden işleme proseslerinde ayrılan yüksek düzeyde atıklardır. Yüksek seviyeli atıklar radyoaktivitesi yüksek fisyon ürünleri ve uzun ömürlü transuranik elementleri içermektedir [4].

Yeniden işleme prosesinde üretilen sıvı yüksek seviyeli atıklar kalsinasyon, çimento-lama ve camsılaştırma yöntemleri ile katılaştırılmaktadır [7]. Camın fiziksel özelliklerinden dolayı camsılaştırma yöntemi yaygın kullanılmaktadır. Camsılaştırılmış atık 12m yüksekliğinde, 0,4 m çapında paslanmaz çelikten yapılmış kaplara doldurtulmaktadır. Bu kaplar özel

tasarım, mühendislik önlemleri ile donatılmış büyük taşıma varilleri içerisinde yüksek seviyeli atık saklama tesislerine getirilmektedir.

Radyoaktif atıkların nihayi berterafına yönelik kamu tarafından kabul edilebilir, güvenli ve çevreye duyarlı çözümler sağlamaya çalışan birçok seçenek araştırılmaktadır. Günümüzde radyoaktif atıkların derin jeolojik berterafı kabul edilebilir seçenek olarak görülmektedir.

SONUÇ

Nükleer enerji üretim teknolojisi, uranyum cevherinin madenden çıkarılması, hazırlanması ve kullanılmış yakıt malzemesi ve yan ürünlerinden oluşan atıklarını işlenmesini içeren yakıt çevrimine bağlıdır. Bu bölüm kapsamında nükleer güç reaktörlerinde uranyumdan elektrik üretimini içeren endüstriyel işlemler dizisi hakkında bilgi verilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] International Energy Agency, IEA / Nuclear Energy Agency, NEA. (2010). Technology Roadmap: Nuclear Energy. ECD/IEA/NEA, Paris.
- [2] International Energy Agency, IEA / Nuclear Energy Agency, NEA. (2019). Technology Roadmap: Nuclear Energy. ECD/IEA/NEA, Paris.
- [3] International Energy Agency, IEA / Nuclear Energy Agency, NEA. (2015). Technology Roadmap: Nuclear Energy. ECD/IEA/NEA, Paris.
- [4] Cochran, R. G. Tsoulfanidis, N. (1990). The nuclear fuel cycle: Analysis and management. Amerika Birleşik Devletleri: The America Nuclear Society.
- [5] Benedic, M. Pigford, T. H. Lewi, H. W. (1981). Nuclear chemical Engineering. (Second edit). New York. McGraw-Hill Book Company.
- [6] A Joint NEA/IAEA Report. (2019). Environmental activities in uranium mining and milling. Nuclear Development. Paris. OECD Publications Service.
- [7] World Nuclear Association. (2021). Nuclear Fuel Cycle, London. World Nuclear Association.
- [8] Knief, R. A. (2001) Encyclopedia of physical science and technology. (3. Baskı) Baş Editör, Robert A. Meyers, California, USA, Academic Press.
- [9] Murchie, P. M. Reid, J. R. Uranium conversion and enrichment. Advances in Nuclear Fuel Chemistry, 2020; 4, 331-370, Doi.org/10.1016/B978-0-08-102571-0.00010-0
- [10] Loveland, W. D. Morrissey, D. J. Seaborg, G. T. (2017). Modern nuclear chemistry. (Second edit). New Jersey, Canada. John Wiley & Sons.
- [11] Akkaya, R. Tokgöz, S. T. Kemah, E. Nükleer yakıt zenginleştirme işleminde kullanılan gaz santrifüj yönteminin incelenmesi. Cumhuriyet University Faculty of Science, Science Journal (CSJ). 2017; 38 (1), 15-20.
- [12] Tang, C. Stueber, M. Seifert, J. H. Steinbrueck, M. Protective coatings on zirconium-based alloys as accident-tolerant fuel (ATF) claddings. Corrosion Reviews. 2017; 35 (3), 141-165.
- [13] McFarlane, H. F. Nuclear fuel reprocessing. Encyclopedia of Energy. 2004; 4, 351-364. Doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00298-9

YENİ NESİL REAKTÖRLER

Ali Tiftikçi^a

^a Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Teknoloji gelişimi ve artan nüfus ile Dünya'da her geçen gün enerji ihtiyacı ve talebi artmaktadır. Günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılayacak kaynak çeşitliliği sınırlıdır. Bu kaynaklar çeşitlendirilmeye çalışılmaktadır. Özellikle, kömür ve nükleer enerji temel yük seviyelerindeki talebi karşılayacak ucuz yakıt maliyetine ve yüksek kapasite faktörüne sahiptirler. Güneş, rüzgar, biyokütle, dalga enerjisi, petrol gibi kaynaklar ise alternatif enerji kaynakları olarak kabul edilmekte ve asgari talep üzerindeki talep düzeylerinde kolay bir şekilde yük izlemesi yapabilecek kabiliyete sahiptirler. Fakat, düşük kapasite faktörlerine sahiptirler ve iklim koşullarına göre ürettikleri enerji değişkenlik göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji ihtiyacı, İklim değişikliği, Nesil IV reaktörler, GIF (Generation IV International Forum)

ABSTRACT

With the development of technology and increasing population, the need and demand for energy in the world is increasing day by day. Today, the variety of resources to meet the increasing energy need is limited. These resources are being tried to be diversified. In particular, coal and nuclear power have low fuel costs and high capacity factors to meet the demand at baseload levels. Resources such as sun, wind, biomass, wave energy, and oil are considered as alternative energy sources and have the ability to easily monitor the load at demand levels above minimum demand. However, they have low capacity factors and the energy they produce varies according to climatic conditions.

Keywords: Energy need, Climate change, Generation IV reactors, GIF (Generation IV International Forum)

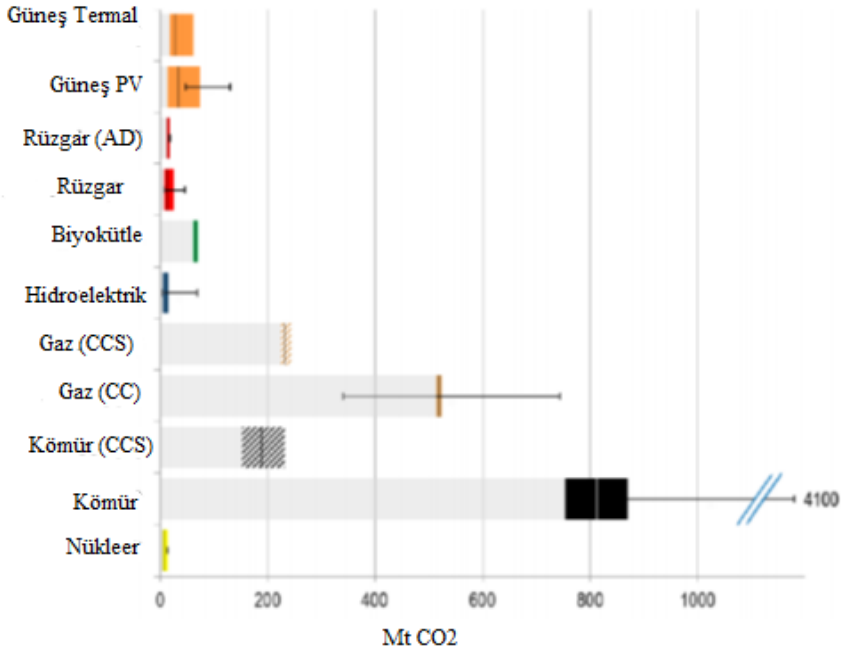
GİRİŞ

2021 yılı verilerine¹ göre Dünya nüfusu 7.9 milyara ulaşmıştır ve 2050'li yıllarda bu sayının 9 milyarı aşacağı öngörülmektedir. 2017 yılında dünya toplam nihai elektrik tüketimi, 2016 yılına göre % 2,6 artışla 21,372 TWh'ye ulaşmıştır. 2017'de, OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) ülkelerinde 2016 yılına göre % 0,2 artışla 9 518 TWh, OECD üyesi olmayan ülkelerde ise % 4,6 artışla elektrik tüketimi 11,854 TWh'a ulaşmıştır. Bu elektriğin %38,3 kömür, %22,9 doğalgaz,

%16,3 hidroelektrik, %10,2 nükleer enerji, %1,8 güneş, %4,4 rüzgar, %3,3 petrolden karşılanmaktadır [2]. Buna göre, dünya elektrik ihtiyacının büyük bir bölümünü kömür ve doğal gazdan sağlamaktadır. Küresel iklim değişikliği açısından değerlendirildiğinde karbon salımını minimum seviyelere indirmek için fosil yakıtlardan elektrik eldesi oranının düşürülüp alternatif enerji kaynaklarına yönelim teşvik edilmektedir [3].

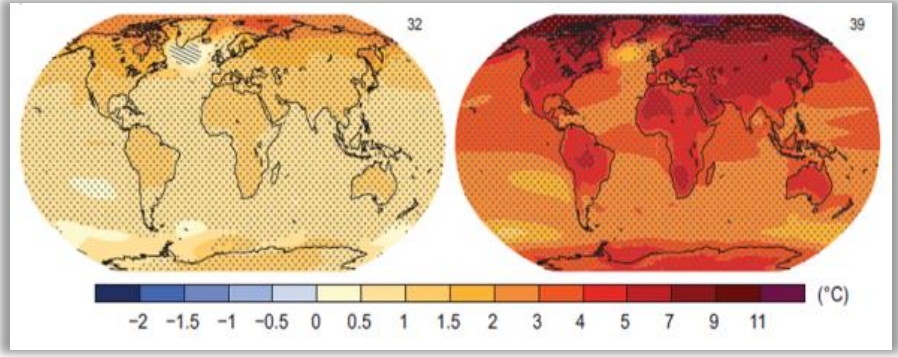
Enerji İhtiyacı

Önümüzdeki yıllarda elektrik eldesi için kullanılacak kaynakların minimum sera gazı salımı ile çalışması, sürdürülebilir ve ekonomik olması beklenmektedir. Kömür ve doğal gazın sürdürülebilir ve ekonomik olduğu söylenebilir ancak sera gazı salımları Şekil 1'de de görüldüğü gibi kömür başta olmak üzere çok yüksek seviyededir4.



Şekil 1: Enerji kaynakları ve karbon emisyonları [4]

İklim değişikliğine doğrudan etkisi olan sera gazı salımı ihmal edilemeyecek seviyededir. İklim değişikliği günümüzde hissedilir seviyededir. Kasırga, sel felaketleri, kuraklık, sıcak hava dalgası, orman yangınları ve kayıpları, suyun azalması ve bulaşıcı hastalıkların yayılmasında iklim değişikliği en önemli etkenlerden biridir. Yapılan araştırmalara göre, enerji ihtiyacı bu şekilde karşılanmaya devam ettiğinde Dünya'nın yüzey sıcaklığının 2100 yılında 4 °C veya daha fazla artması beklenmektedir [5]. Enerji kaynaklarının mevcut durumu ve küresel ısınma sorunu birlikte ele alındığında nükleer reaktörler temel yük talebini karşılamada en güçlü seçenek olarak görülmektedir.



Şekil 2 : 1986-2005'e kıyasla 2081-2100'de ortalama sıcaklığın tahmini değişimi[5]

Nükleer Reaktörler

Nükleer reaktörler fisyon reaksiyonu sonucu açığa çıkan enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. İlk olarak nükleer reaktörler 1950-1960 yılları arasında araştırma amaçlı ya da nükleer denizaltılarda kullanılmak üzere prototip olarak üretilmiştir ve bu reaktörler I. Nesil reaktörler olarak adlandırılmıştır. 1970-1990 yılları arasında ilk ticari nükleer reaktörler (II.Nesil) elektrik üretmek amacıyla inşa edilmeye başlanmıştır. Bu reaktörler, PWR (Basınçlı Su Reaktörleri), BWR (Kaynamalı Su Reaktörleri), CANDU (Kanada Ağır Su Reaktörü) ve VVER/RBMK reaktörleridir. Çernobil kazası sonrası nükleer reaktörlerde güvenlik unsurunun çok daha önemli olduğu anlaşılmış ve güvenlik bakımından çok daha gelişmiş III. Nesil reaktörler geliştirilmiştir. Bu reaktörlerde pasif güvenlik sistemleri kullanılmaktadır ve insan kaynaklı hataların minimuma indirgenmesi sağlanmıştır. AP600, AP1000, ABWR ve System 80+ reaktörleri III. Nesil reaktörlere örnek olarak gösterilebilir. Nükleer reaktörleri ekonomik açıdan iyileştirmek ve 2011 yılında meydana gelen Fukushima kazası sonrası çıkarılan derslerden ilham alınarak ek güvenlik önlemleri (kor tutucu gibi) sağlamak amacıyla Nesil III+ reaktörleri geliştirilmiştir. Bu reaktörler, günümüzde kullanılan en son teknoloji ile inşa edilen ticari reaktörlerdir. Bu reaktörlere örnek olarak, ülkemizde de Mersin-Akkuyu bölgesinde inşaat çalışmaları devam eden VVER 1200 reaktörü, Sinop ili sınırları içerisinde inşaatı planlanan ATMEA1 reaktörü ve ESBWR reaktörleri gösterilebilir. Yeni nesil ya da Nesil IV olarak adlandırılan reaktörler ise tamamen yenilikçi (devrimsel) tasarımlardır. Bu reaktörler, tasarım aşamasındadır ve henüz ticarileşmiş bir yeni nesil reaktör mevcut değildir.

Yeni Nesil (Nesil IV) Nükleer Reaktörler

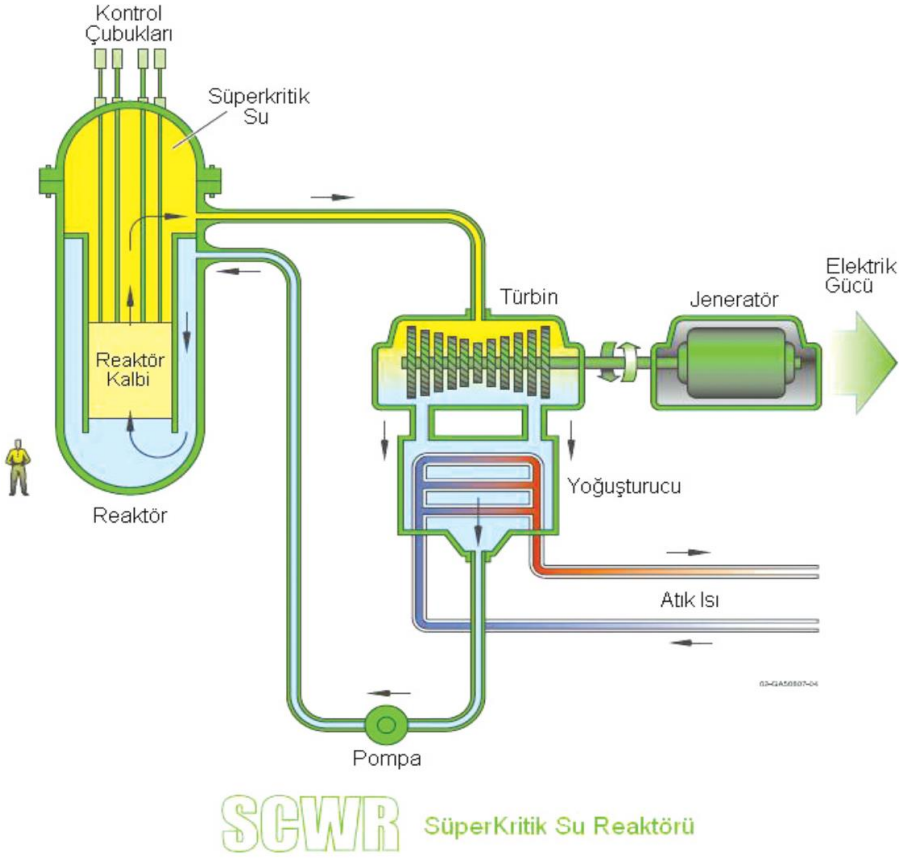
Nesil III ve Nesil III+ reaktörleri karbon salımı ve güvenlik problemi olmaksızın çalışmaktadır. O halde, Nesil IV reaktörlere neden ihtiyaç duyulmaktadır? Bu sorunun cevabı, nükleer reaktörlerin sürdürülebilirliğinin ve ekonomik olarak diğer kaynaklarla rekabet edebilme gücünün sorgulanmakta olmasıdır diyebiliriz. Bu nedenle, Generation IV International Forum (GIF) 2000 yılında toplanmıştır. 9 ülkeden katılımcıların yer aldığı toplantıda gelecekte inşa edilecek nükleer reaktörler için kıstas ve hedefler belirlenmiştir. Forumun şu

an itibariyle 14 üyesi bulunmaktadır. GIF tarafından belirlenen kıstas ve hedefler dört ana başlık altında toplanmaktadır [6] : Sürdürülebilirlik, ekonomi, güvenlik ve güvenilirlik, yayılma direnci ve fiziksel koruma.

Sürdürülebilirlik kıstasına göre, Nesil IV nükleer enerji sistemleri temiz hava hedeflerini karşılayan ve sistemlerin uzun süreli kullanılabilirliğini ve dünya çapında enerji üretimi için etkin yakıt kullanımını sağlayan sürdürülebilir enerji üretimi sağlayacaktır. Nesil IV nükleer enerji sistemleri, nükleer atıklarını asgariye indirecek ve yönetecek, böylece halk sağlığı ve çevre için korumayı artıracaktır. Ekonomi kıstasına göre, Nesil IV nükleer reaktörler diğer enerji kaynaklarına göre net bir yaşam döngüsü maliyet (gecelik inşaat maliyetleri, inşaat süresi, üretim maliyetleri) avantajına sahip olacaktır. Nesil IV nükleer reaktörler, diğer enerji projeleriyle karşılaştırılabilir düzeyde bir finansal risk (gecelik inşaat maliyetleri, inşaat süresi) seviyesine sahip olacaktır. Güvenlik ve güvenilirlik kıstasına göre, Nesil IV nükleer reaktörlerin operasyonları güvenlik ve güvenilirlikte üstün olacaktır (zorunlu hizmet dışı kalma sıklığı, dozlar (olağan,kaza)). Nesil IV nükleer reaktörlerinin çok düşük olasılıklı reaktör kor hasar derecesi olacaktır (reaktivite kontrolü, bozunma ısısı nakli vb.). Nesil IV nükleer reaktörler, saha dışı acil müdahale ihtiyacını en aza indirecektir. Yayılma direnci ve fiziksel koruma kıstasına göre, Nesil IV nükleer reaktörler silahlanabilen malzemelerin ihracı veya çalınması için en az arzu edilen yol olduğu güvencesini artıracak ve terör eylemlerine karşı fiziksel koruma sağlayacaktır. Bu hedefler doğrultusunda yaklaşık 100'den fazla uzman tarafından 130 reaktör konsepti araştırılmıştır. GIF bunların arasından 6 reaktör teknolojisini yeni nesil reaktörler olarak belirlemiştir. Bu reaktör tipleri, SCWR (Süperkritik Su Soğutmalı Reaktörler), VHTR (Çok Yüksek Sıcaklık Reaktörler), GFR (Gaz Soğutmalı Hızlı Reaktörler), SFR (Sodyum Soğutmalı Hızlı Reaktörler), LFR (Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktörler), MSR (Ergimiş Tuz Reaktörleri) reaktörleridir. GIF, Nesil IV reaktörlerinde elektrik üretiminin yanı sıra, hidrojen üretimi veya süreç ısısı, atıkların en aza indirilmesi ve Nesil IV reaktörlerin düşük karbonlu küresel enerji sistemine entegre edilmesi hedeflenmektedir.. Şimdi GIF tarafından yeni nesil reaktörler olarak belirlenen bu altı reaktör türünü inceleyelim.

SCWR (Süperkritik Su Soğutmalı Reaktörler)

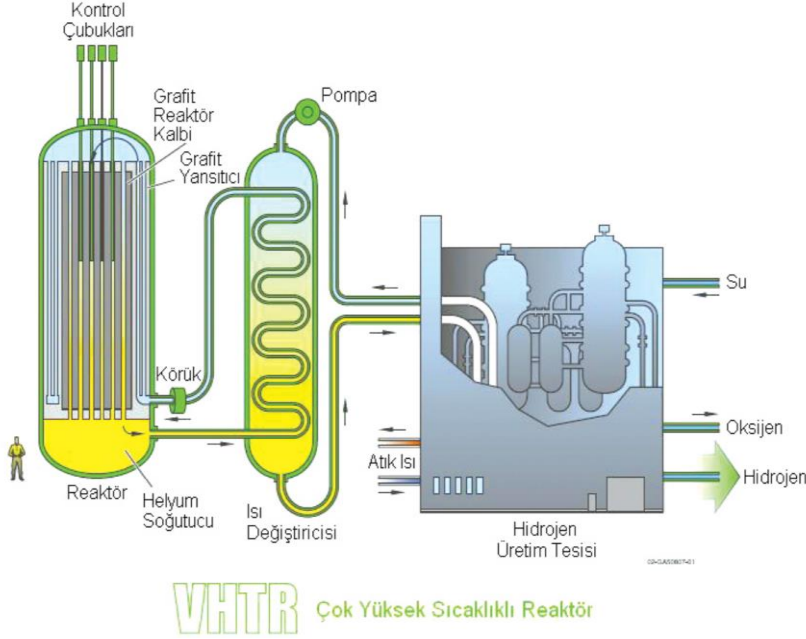
SCWR (bkz. Şekil 3), suyun termodinamik kritik noktasının üzerinde çalışan (374°C , 22.1 MPa) yüksek sıcaklıklı, yüksek basınçlı su soğutmalı bir reaktördür. Termodinamik olarak düşünüldüğünde türbin giriş basıncı ve sıcaklığının artırılması termodinamik verimi de artırmaktadır. Dolayısıyla, tasarılan SCWR'lerin termodinamik verimleri klasik su soğutmalı reaktörlerden çok daha yüksektir (SCWR ~%44 , LWR ~%33-35). Sistemin termodinamik veriminin artması ekonomik olarak avantajdır. SCWR reaktörleri için GEN III+ teknolojsi ve termik santallerde kullanılan SCW teknolojsi referans alınmıştır. Su yerine süperkritik su ile çalışıldığından LWR'lerde bulunan buhar üretici, buhar ayırıcı, resirkülasyon pompaları ve kurutucu gibi ekipmanlara gerek yoktur. Bu nedenle, LWR'lere göre yapısı daha basittir. Bu basit yapı, gecelik inşaat maliyetlerini $900\text{ \$/kWe}$ seviyelerine düşürmektedir. Kor çıkış sıcaklıkları $\sim 500\text{-}550^{\circ}\text{C}$ civarındadır ve BWR benzeri pasif güvenlik sistemleri mevcuttur.



Şekil 3. Süperkritik Su Reaktörü [7]

Yakıt olarak zenginleştirilmiş uranyum dioksit kullanılmaktadır. Termal nötron spektrumu (filyon için nötron enerjisi <1 eV) ile tasarlanmaktadır ancak gelecekteki çalışmalarda hızlı nötron spektrumu (filyon için nötron enerjisi >1 keV) ile tasarımlar yapılması da planlanmaktadır [8]. SCWR reaktörleri ekonomik olarak avantajlar sağlasa da GIF'in belirlediği hedeflere ulaşabilmek için araştırma ve geliştirme faaliyetleri gerekmektedir. Süperkritik suyun termodinamik özellikleri için yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında (ışınlama koşullarında) yeterli veri henüz mevcut değildir. Aynı zamanda, kırılabilirlik, korozyon, SCC (stress-korozyon çatlama) ve LOCA (soğutucu kaybı kazası) araştırmalarının detaylı bir şekilde yapılması gerekmektedir. İki tip SCWR kor konfigürasyonu vardır: basınçlı kap ve basınçlı tüp. Bu kor tasarımları termal nötron veya hızlı nötron spektrumlarına dayanmaktadır. Uranyum bazlı yakıt, basınçlı tüp tipi termal spektrumlu SCWR konseptleri için, toryum bazlı yakıt ise basınçlı kap tipi için kabul edilmiştir. Hızlı spektrumlu SCWR konseptleri için karışık oksit bazlı yakıt seçilir, yaklaşık 25 MPa işletme basıncında ve 625° C' ye kadar olan reaktör çıkış sıcaklıklarında 1000 MWe'den daha yüksek enerji üretimi için geliştirilmektedir [9].

VHTR (Çok Yüksek Sıcaklık Reaktörleri)

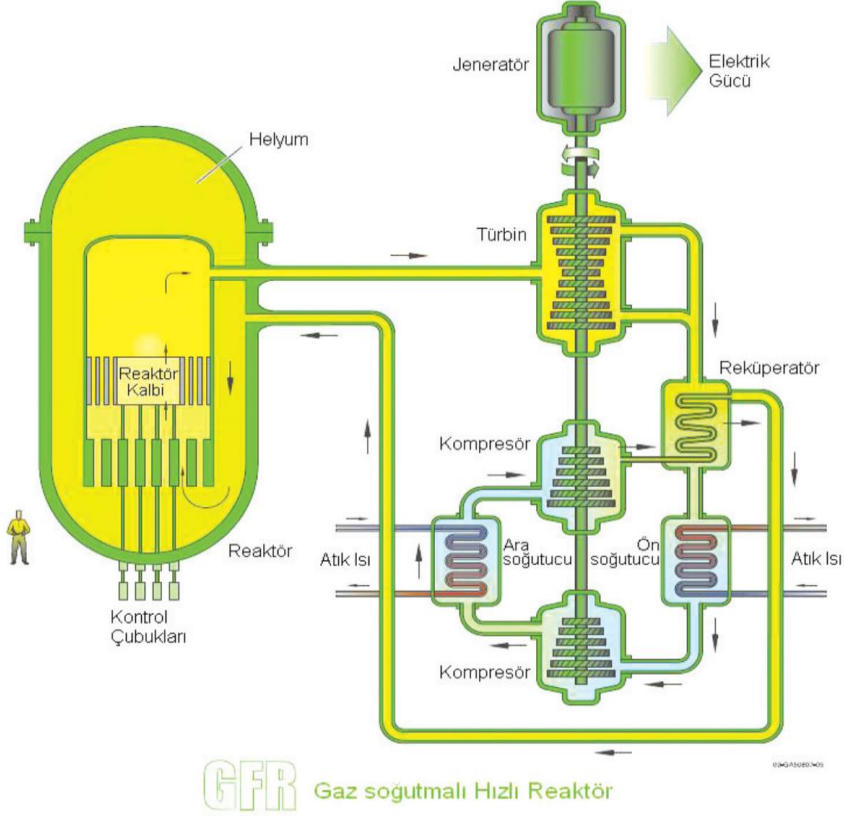


VHTR Çok Yüksek Sıcaklıklı Reaktör

Şekil 4. VHTR (Çok Yüksek Sıcaklık Reaktörleri)[7]

VHTR (bkz. Şekil 4), moderatör olarak grafit ve soğutucu olarak helyum gazı kullanan, seramik yakıtlı yüksek sıcaklık reaktör tipidir. Termal nötron spektrumu, tek geçişli uranyum yakıt döngüsü, TRISO yakıt (UO₂ kernel, SiC/PyC kaplamalı küresel yakıt ya da UCO kernel) ya da yakıt demeti dizilimi mevcuttur. Yüksek kojenerasyon verimliliği sayesinde (hidrojen ve süreç ısısı), VHTR, enerji santrallerinde ve sanayide fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ ve zararlı kirletici maddelerin salımını büyük ölçüde azaltabilir ve böylece bunun bir sorun olduğu ülkelerde enerji arz güvenliğini artırabilir. Hidrojen, termokimyasal, elektrokimyasal veya hibrit işlemler kullanarak sudan üretilebilir. GIF bu sebeple VHTR çıkış sıcaklığı için orijinal hedefi 900-1000 °C olarak belirlemiştir. Düşük güç yoğunluğu ile çalışması ve herhangi bir kaza durumunda saha dışı güce gereksinim duymadan (dizel jeneratörler gibi) yakıtın uzun süre kendini soğutabilmesi reaktör güvenliği açısından önemlidir. Ayrıca, 150-200 GWgün/ton civarında yüksek yanma seviyelerine ulaşılabilmesi de ekonomik avantaj sağlamaktadır [10]. VHTR'nin temel teknolojisi, Alman (AVR) ve THTR prototiplerinde kurulmuştur. Teknoloji için uluslararası Ar-Ge projelerinden ve Yüksek Sıcaklık Çakıl Yataklı Modüler Reaktörü (HTR-PM, Çin), Gaz Türbini Yüksek Sıcaklık Reaktörü (GTHTR300C, Japonya), PBMR gibi eski ve devam eden projelerden yararlanmıştır. HTR (Japonya, 30 megawatt termal [MWth]) ve HTR 10 (Çin, 10 MWth) gibi deneysel reaktörler, bu gelişmiş reaktör konsept gelişimini ve hidrojen kojenerasyonu birlikte desteklemektedir. Başka bir konsept, florür tuzu soğutmalı yüksek sıcaklık reaktörü (FHR), helyum soğutucusu yerine VHTR yakıtı ve erimiş tuzun bir kombinasyonunu kullanmaktadır [11].

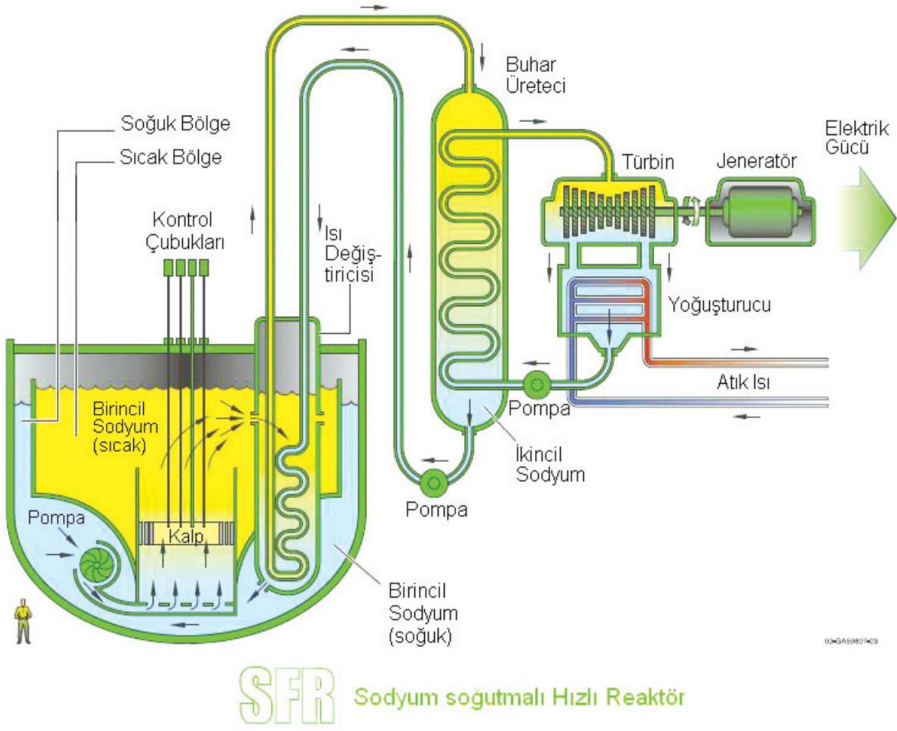
GFR (Gaz Soğutmalı Hızlı Reaktörler)



Şekil 5. GFR (Gaz Soğutmalı Reaktörler)

Gazla soğutulan hızlı reaktör (GFR) (bkz. Şekil 5), hızlı nötronları ve yüksek sıcaklığı birleştiren yenilikçi bir nükleer sistemdir. Helyumla soğutulan GFR, sodyum soğutmalı hızlı reaktörlere uzun vadeli bir alternatif olarak önerilmektedir. GFR'nin temel avantajları, kapalı yakıt çevriminin benimsenmesine izin vermenin yanı sıra, daha yüksek ısıl verim ve üretim sağlayan yüksek çalışma sıcaklığı, VHTR'ye benzer endüstriyel uygulamalar için yüksek süreç ısısı, kimyasal olarak inert ve aşındırıcı olmayan bir soğutucu (helyum), bir tek faz (kaynama yok) soğutma, nispeten küçük (pozitif de olsa) soğutma sıvısı boşluğu reaktivite katsayısı, ayrışmayan veya aktive olmayan bir soğutucuya sahip olması olarak sıralanabilir. Ana dezavantajları ise, basınçlı koşullarda çalışma ihtiyacı, helyumun düşük soğutma verimi, cebri bozunma ısısı bertarafı, sızıntı nedeniyle soğutucu kaybını telafi etmek için ek soğutucu envanterleri ihtiyacı ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme gereksinimi olarak sıralanabilir. Temel referans hedefleri, yüksek termal verim ve hidrojen üretimi için yüksek çıkış sıcaklığı (850 °C) ve kapalı yakıt döngüsünün kullanılmasıdır. Aktinit geri dönüşümü ile birlikte yüksek yakıt yanmalarına ulaşılabileceği ve uzun yarı ömürlü aktinitlerin oranı asgariye indirileceği öngörülmektedir [12].

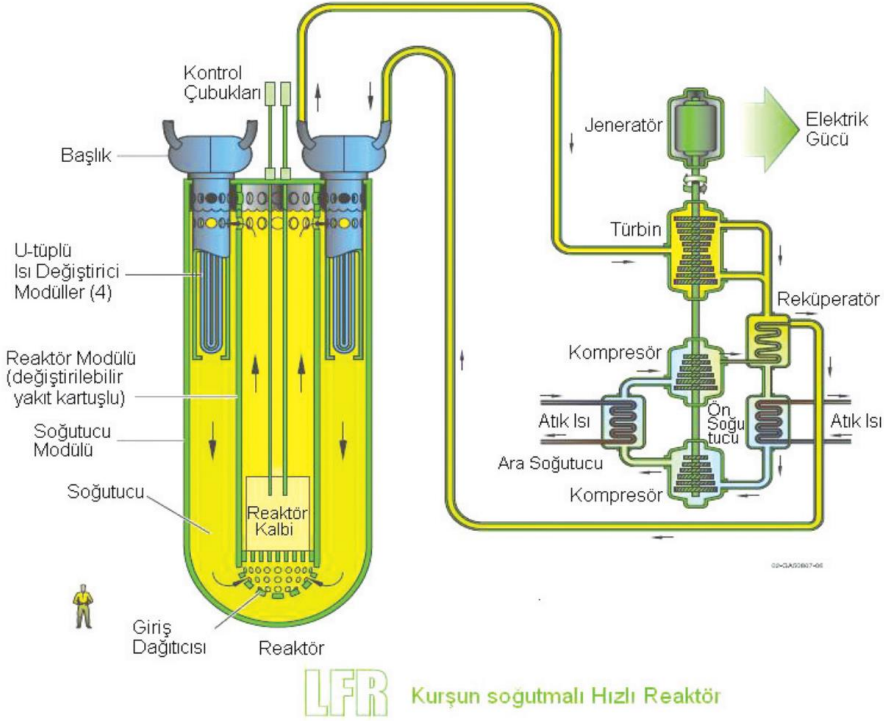
SFR (Sodyum Soğutmalı Hızlı Reaktörler)



Şekil 6. SFR (Sodyum Soğutmalı Hızlı Reaktörler) [7]

SFR (bkz. Şekil 6), reaktör soğutucu olarak sıvı sodyum kullanır ve düşük soğutucu hacmi oranıyla yüksek güç yoğunluğuna izin verir. Oksijensiz ortam korozyonu önlerken, sodyum kimyasal olarak hava ve su ile reaksiyona girer ve bu nedenle sızdırmaz bir soğutma sistemi gerektirir. Söz konusu tesis büyüklüğü seçenekleri küçük, 50 ila 300 megawatt elektrik (MWe) modüler reaktörlerden 1500 MWe'ye kadar daha büyük tesislere kadar değişmektedir. Kor çıkış sıcaklığı aralığı, önceki hızlı reaktör programlarında geliştirilen ve kanıtlanan malzemelerin kullanılmasını sağlayan seçenekler için 500-550 °C'dir. Reaktör ünitesi bir havuz düzeninde veya bir döngü düzeninde olabilir [12]. SFR için temel teknolojinin çoğu eski hızlı reaktör programlarında (Rusya, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Japonya) kurulmuştur. Yeni deneyimlere gelince, Çin Deneysel Hızlı Reaktörü (CEFR) 2014 yılında % 100 güce ulaşmıştır. Rusya'da, BN-600 2015 yılında % 86 ve BN-800 2016 yılında % 100 güç elde etmiştir [10]

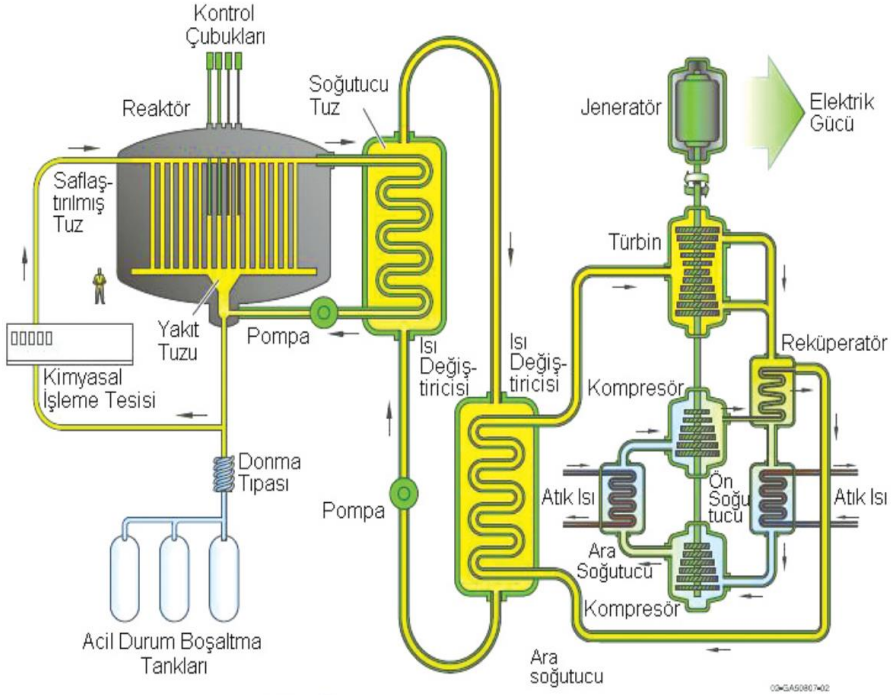
LFR (Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktörler)



Şekil 7. LFR (Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktörler) [7]

LFR (bkz. Şekil 7), hızlı nötron spektrumu ve kapalı yakıt döngüsü kullanır. Soğutucu olarak kurşun ya da ötektik kurşun bizmut karışımı sıvı metal kullanılmaktadır. Yakıt uranyum metal ya da nitrattan oluşmaktadır. 550° C kor çıkış sıcaklığına (malzeme gelişimi ile 800 °C'lere çıkarılmak istenmektedir (hidrojen üretimi için)) sahiptir [12]. Halen Gen IV aktiviteleri çerçevesinde referans konsept olarak önerilen tasarımlar üç havuz tipi reaktördür [10]. Kurşunun yüksek termal iletkenlik ve genleşme katsayısı düşük hızlarda ve doğal konveksiyon koşullarında verimli ısı transferi sağlamaktadır. Kurşun su ve hava ile tepkimeye girmez ve kaynama marjini yüksek olduğundan yüksek basınç altında çalışma gereksinimi yoktur. Kurşunun yüksek yoğunluğu deprem şartlarında dezavantaj sağlamaktadır. Ayrıca, kurşunun donma sıcaklığının yüksek olması da soğutucunun donmaması için sürekli ısıtılması gerekmektedir.

MSR (Ergimiş Tuz Reaktörleri)



MSR Ergimiş Tuz Reaktörü

Şekil 8. MSR (Ergimiş Tuz Reaktörleri) [7]

Termal-hızlı nötron spektrumu ve kapalı yakıt çevrimi kullanır. Diğer reaktör tasarımlarından farklı olarak sıvı yakıt kullanılmaktadır. Yakıt içerisinde fisil izotopun (^{233}U -Th, U-Pu) çözülmüş halde bulunduğu flor ya da klor tuzlarıdır. Dolayısıyla, yakıt fabrikasyonuna gerek yoktur. MSR reaktörleri için çok sayıda konsept tasarım mevcuttur. Kimyasal işlemler sonucu fisyon ürünleri on-line olarak sıvı yakıttan ayıklanırken, aktinidlerin tümü tekrar döngüye sokulur. MSR reaktörlerinde yakıtın yanması sonucu oluşan radyoaktif ürünler daha kısa yarı-ömürlüdür.. Aynı zamanda, yanma sonucu oluşan plutonyumdaki baskın izotop Pu-242 olduğundan bomba yapımına çok uygun değildir [10]. MSR reaktörlerinin avantajları, hızlı spektrum için fisil yakıt kazanımı, kaynama marjininin yüksek olması, negatif boşluk reaktivite etkisi, yüksek termodinamik verim, yakıt fabrikasyonuna gerek duyulmaması, çözünmemiş fisyon ürünlerinin sürekli bertarafı ve daha kolay yakıt işleme olarak sıralanabilir. MSR reaktörlerinin dezavantajları ise, korozyon riski, yakıt donma ihtimali, termal spektrum için grafit ömrü, trityum kontrolü gerekli olması (Li tuzlar için), çalışma sırasında oluşacak bileşiklerin çözünürlükleri, yakıtın bir kısmının daima kor dışında (bazı kısa yarı ömürlü gecikmiş nötron öncüllerinin kaybı) şeklinde sıralanabilir.

SONUÇ

Belirlenen altı yeni nesil reaktör için mevcut durumu iyileştirmek adına birbirinden farklı konsept tasarımlar geliştirilmiştir. Henüz ticarileşmiş herhangi bir yeni nesil reaktör bulunmamasına rağmen GIF tarafından belirlenen kriterlere uyum amacıyla yapılan çalışmalar hem çevresel faktörler hem de nükleer teknolojinin gelişimi ve yayılımı açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] World Population Dashboard (2021). Total population in millions, 2021. (08/08/2021 tarihinde <https://www.unfpa.org/data/world-population-dashboard> adresinden ulaşılmıştır).
- [2] International Energy Agency, IEA(2017): Data and Statistics. (08/08/2021 tarihinde <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource> adresinden ulaşılmıştır).
- [3] United Nations Framework Convention on Climate Change (2008). Kyoto Protocol Reference Manual. (08/08/2021 tarihinde https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf adresinden ulaşılmıştır).
- [4] International Energy Agency, IEA(2017): Data and Statistics (08/08/2021 tarihinde <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource> adresinden ulaşılmıştır).
- [5] European Environment Agency (EEA). Projected changes in average surface temperature, for 2081-2100 relative to 1986-2005 (08/08/2021 tarihinde <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-average-surface> adresinden ulaşılmıştır).
- [6] Generation IV International Forum (2002). A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. OECD Nuclear Energy Agency. www.gen-4.org
- [7] Altın, Vural, "4. Nesil Nükleer Santraller", TÜBİTAK Bilim ve Teknik, Aralık 2007.
- [8] Generation IV International Forum (2017). Annual Report 2017. OECD Nuclear Energy Agency. www.gen-4.org
- [9] Yoo J., Ishiwatari Y., Oka Y., Liu J., Conceptual design of compact supercritical water-cooled fast reactor with thermal hydraulic coupling, Annals of Nuclear Energy, 2006; 33, 945-956.
- [10] Generation IV International Forum (2020). Annual Report 2020. OECD Nuclear Energy Agency. www.gen-4.org
- [11] Forsberg C., The Advanced High-Temperature Reactor: High Temperature Fuel, Liquefied Salt Coolant, Liquefied-Metal-Reactor-Plant, Progress in Nuclear Energy, 2005; Vol.47, No.1-4, pp.32-43.
- [12] Generation IV International Forum (2014). Annual Report 2014. OECD Nuclear Energy Agency. www.gen-4.org.

FÜZYON REAKTÖRLERİ

Hüseyin Şahiner^a

^a Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Enerji üretiminde fosil yakıtların son yüzyılda yoğun olarak kullanılması çevresel olarak ciddi zarar verir hale gelmiştir. Filyon reaktörleri bu problemin çözümünde destekleyici bir rol oynamasına rağmen güvenlik, radyoaktif atık ve nükleer silahlanma gibi başka problemler doğurmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Füzyon, Plazma, Füzyon Reaktörleri

ABSTRACT

The intensive use of fossil fuels in energy production in the last century has become serious environmental damage. Although fission reactors play a supporting role in the solution of this problem, they create other problems such as safety, radioactive waste and nuclear armament.

Keywords: Fusion, Plasma, Fusion Reactors

GİRİŞ

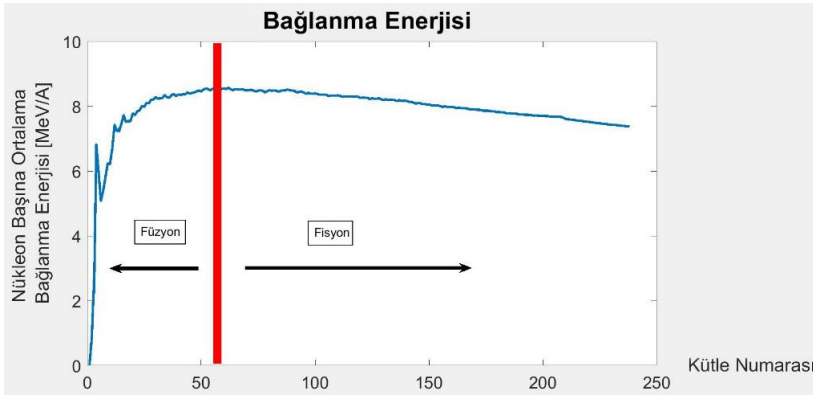
Yenilenebilir enerji kaynakları ise düşük enerji yoğunluğu nedeniyle sanayi ve endüstri güç ihtiyacını karşılamada günümüz teknolojisi ile yetersizdir [1]. Enerji ihtiyacını karşılamakta alternatif yöntemlerden biri de füzyon reaktörleridir. Füzyon reaksiyonları aslında evrenin oluşumundan beri yıldızlarda gerçekleşmesine rağmen ilk defa Rutherford tarafından 1934' de laboratuvar ortamında gerçekleşmiş ve füzyon konseptini başlatmıştır [2].

Einstein' in enerji-kütle eşitliği ile kütlelerin enerjiye dönüşebileceği gösterildikten sonra bir çekirdeği meydana getiren bileşenlerinin kütlesi ile o çekirdeğin kendi kütlesi arasında fark olduğu bulunmuştur. Bu fark bazı durumlar için negatif (endotermik), bazı durumlar için ise pozitif (exotermik) değere karşılık gelir. Şekil 1, kütle farkının enerji karşılığının nükleon sayısına (kütle numarasına) göre değişiminden elde edilmiştir. Şekil 1' de hesaplanan bağlanma enerjisi ne kadar yüksekse çekirdek o kadar kararlı anlamına gelir. Bundan dolayı ⁵⁶Fe çekirdeği en kararlı çekirdeklerden biridir. Yine bu grafiğe göre enerji elde edebilmek için nükleer bir olay gerçekleştiğinde son durumunun enerjisi ilk durumdan yüksek olmalıdır. Şekil 1' de gösterilen kırmızı ayırıcın (Fe, demir atomunun bulunduğu yer) sağında kalan çekirdeklerden filyon (bölünme), solunda kalan çekirdekler için füzyon (birleşme) ile egzotermik işlem sonucu enerji üretimi gerçekleşmektedir.

Füzyon Enerjisi

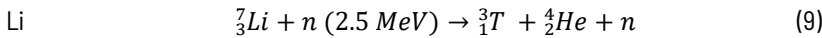
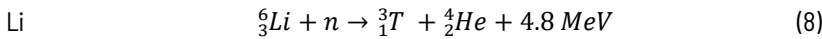
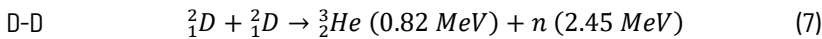
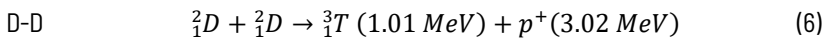
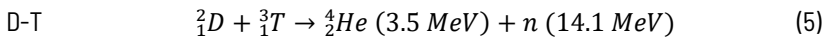
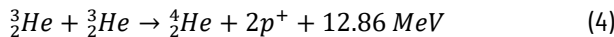
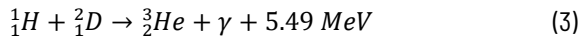
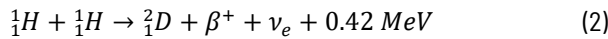
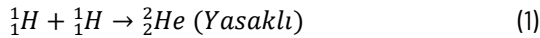
Şekil 1' den görüleceği gibi hafif elementlerin füzyonundan daha fazla enerji elde edilebileceği görülmektedir. Ancak mümkün olan aday reaksiyonlar incelendiğinde Döteryum-Trityum (D-T) reaksiyonunun daha verimli olduğu düşünülmektedir [1-3].

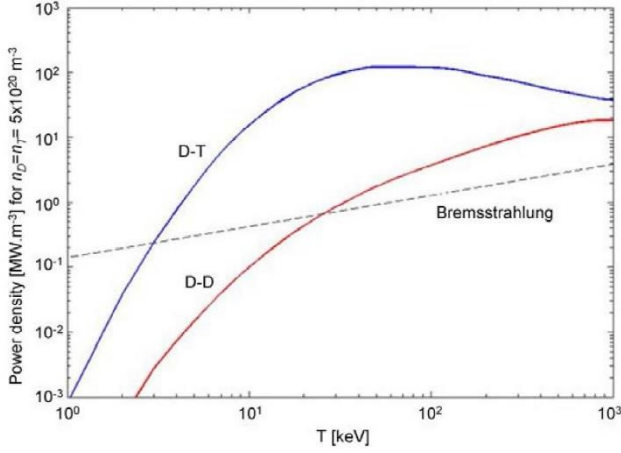
Eşitlik 1-7 [3] de bazı füzyon reaksiyonları verilmiştir. Bu reaksiyonlardan Eşitlik 1, iki protonun yanyana bulunması aşırı kararsız bir durum olduğu için gerçekleşmesi çok kısa bir surede yıldızlar (güneş) gibi büyük kütle çekiminin olduğu şartlarda gerçekleşir ve Eşitlik 2' deki gibi beta salınımı ile mümkün hale gelir.



Şekil 1: Nükleon başına düşen bağlanma enerjisinin kütle numaralarına göre dağılımı.

D-T reaksiyonunda döteryum suda bulunabilirliği yeterli olmasına rağmen trityumun bulunabilirliği yeterli değildir. Buna ek olarak D-T reaksiyonunda nötronun açığa çıkması radyoaktif bir parçacık üretimi anlamına gelmektedir. Eşitlik 8 ve 9' daki gibi reaksiyonun lityum ile beslenmesi durumunda ise D-T reaksiyonundan açığa çıkan nötronların lityum ile reaksiyon yapıp sonucunda enerji üretimi için gereken trityum üretimi gerçekleşmiş olur. Lityum toprakta yeterince bulunduğu [4] için reaktöre sağlanmasında hem maliyet hem de miktar olarak problem oluşturmamaktadır. Bu şekilde enerji üretim mekanizmasındaki radyoaktif ürün tekrar yakıt üretimi için kullanılmış olur.





Şekil 2: Üretilen ve tüketilen gücün sıcaklığa bağlı değişimi [1].

D-D ve D-T plazmalarından üretilen ve kaybedilen gücü gösteren temsili grafik Şekil 2’de verilmiştir. Görüldüğü gibi D-T reaksiyonlarından kaybedilen güçten daha fazlasının elde edilebileceği sıcaklık D-D reaksiyonlarından çok daha düşüktür. Aynı elektrik yüküne sahip iyonların birbirine uyguladıkları itme kuvvetini yenebilecek enerjiye sahip olmalıdırlar. Füzyon sonucu kazanılacak enerji itme kuvvetini yenmek için sağlanan enerjiden fazla olmalıdır.

Füzyon Plazması

Füzyon reaksiyonu için yakıtın güneşdeki gibi yüksek sıcaklıklara ulaşması gerekir. Bu sıcaklıkta madde plazma halinde yani atomların elektronlardan ayrılmış (elektronlar ve iyonlar denizi) halinde bulunurlar. Pozitif iyonlardan ve negatif elektronlardan oluşan parçacıklar hızlanırlar ve yavaşlarlar. Böylelikle parçacıklar enerjilerinin önemli bir kısmını Bremsstrahlung ile kaybeder. Plazma halinde füzyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için bu enerjinin aşılması gerekmektedir.

Reaksiyonların gerçekleşeceği sistemde eşit miktarda D ve T atomları olduklarını ve bunların sayılarının toplamda n (n_x tane döteryum, n_y tane trityum) olduğunu varsayarsak, plazma halinde çekirdek sayısı kadar elektron oluşacağı için $2n$ parçacığımız olmuş olur. Boltzmann dağılımına göre sıcaklığa bağlı parçacıkların kinetik enerjileri Eşitlik 10 ile verilir. Toplamda $2n$ parçacık olduğu için gerekli olan enerji Eşitlik 11’deki halini alır. Bu eşitliklerde k Boltzmann sabitidir.

$$E = \frac{3}{2} kT \quad (10)$$

$$E_{gerekli} = \frac{3}{2} kT \times 2n = 3kTn \quad (11)$$

Füzyon reaksiyonlarından üretilen enerji için reaksiyon oranı Eşitlik 12' deki gibi hesaplanabilir. Burada σ , D-T reaksiyonunun gerçekleştiği tesir kesiti, v parçacıkların ortalama hızıdır. Bir döteryum ve bir trityum parçacığının çarpışma tesir kesiti σ iken, bir döteryumun n_y tane trityumla çarpışma tesir kesiti $n_y\sigma$ ile bulunur. Yine bu değer n_x tane döteryumla çarpışma yapacağı düşünülürse n_x değeri ile çarpılır. Bu parçacıklar reaktör içerisinde bir v hızıyla demet halinde ilerledikleri düşünüldüğünde çarpan olarak bir hız ifadesi getirilir ve Eşitlik 13' deki gibi bir reaksiyon oranı veya reaksiyon hızı elde edilir. Çarpışma başına üretilen enerji Q ve belli bir zaman aralığını gösteren τ ile çarpıldığında da füzyonla elde edilen enerji hesaplanmış olur.

$$RR = n_x n_y (\sigma v) \quad (12)$$

$$RR = \frac{n^2}{4} (\sigma v) \quad (13)$$

$$E_{\text{üretilen}} = \frac{n^2}{4} (\sigma v) \tau Q \quad (14)$$

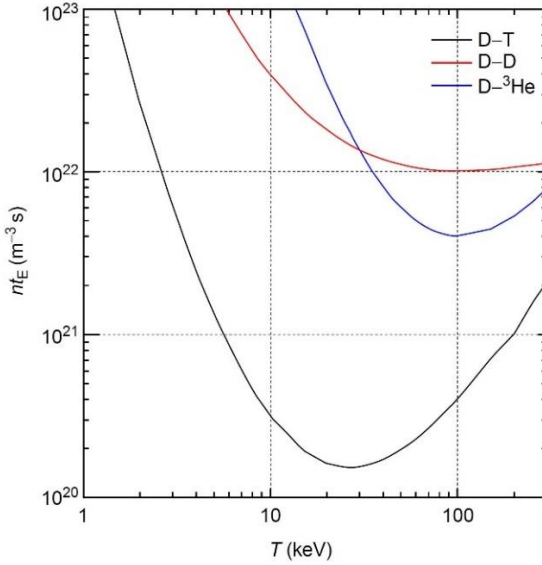
Verimli füzyon enerji üretimi için üretilen enerji, gerekli enerjiden Eşitlik 16' da gösterildiği gibi fazla olmalıdır (aslında bu bir eşitsizlik durumudur). Eşitlik 16, bir zaman aralığındaki parçacık sayısını verecek şekilde düzenlendiğinde Eşitlik 17 elde edilir. Bu elde edilen şartın sağlanmasına Lawson kriteri denir [5]. Burada $n\tau$ iyon yoğunluğunu verir. Eşitlik 17 ile verilen Lawson kriteri aslında çok sade bir haliyle verilmiştir. Ancak okuyucu bu kritere Bremsstrahlung etkisi ve reaksiyon verim parametrelerinin de dahil edilmesi gerektiğini bilmelidir.

$$\frac{n^2}{4} (\sigma v) \tau Q > 3kTn \quad (15)$$

$$\text{Lawson kriteri}[5] \quad n\tau > \frac{12kT}{(\sigma v)Q} \quad (16)$$

Lawson kriterinde iyon yoğunluğunun sıcaklığa karşı davranışı lineer değildir ve Şekil 3' deki gibi bir davranış gösterir. Verimli bir reaksiyon için gerekli minimum iyon yoğunluğuna bakıldığında yaklaşık 25 keV değeri elde edilir. 25 keV enerjide iyonların sıcaklığı Eşitlik 18' deki gibi hesaplandığında yaklaşık 300 milyon Kelvin sıcaklık gerekmektedir.

$$T = \frac{E}{k} = \frac{25 \times 10^3 \text{ eV}}{9 \times 10^{-5} \text{ eV/K}} \cong 3 \times 10^8 \text{ K} \quad (17)$$



Şekil 3: İyon yoğunluğunun sıcaklığa göre grafiği [5]

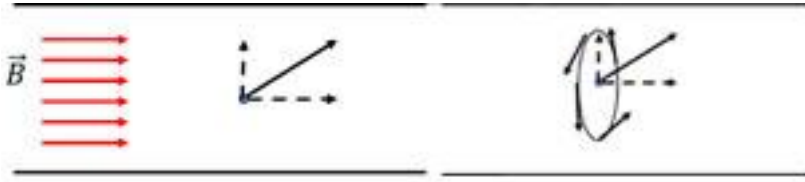
Plazma ortamının elde edilmesinde Magnetic Confinement ve Inertial Confinement mekanizmaları için detaylı bilgi verilen kaynaklardan elde edilebilir [1-11].

Reaktör Sistemi

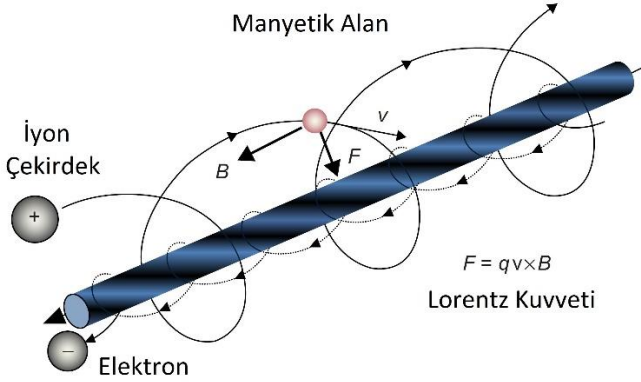
Verimli füzyon reaksiyonları için plazma durumunda ulaşılan 300 milyon Kelvin sıcaklıkla temas eden herşey erir (bilinen bütün metal ve alaşımlar maksimum 4500 K derecede erir) [6]. Ancak plazma durumunda parçacıkların iyon oldukları ve iyonların elektrik yüklerinin oldukları hatırlayalım. Yüklü parçacıklar manyetik alana Şekil 4’ deki gibi rastgele bir hız vektörü ile girdiklerinde Eşitlik 19’ daki gibi bir kuvvet etkisi altında kalırlar. Bu kuvvet Lorentz kuvveti olarak bilinir. Burada F kuvveti, V hız vektörünü, B manyetik alanı gösterir. Vektörel çarpımdan dolayı manyetik alan ile hız vektörünün yatay bileşeninden herhangi bir kuvvet etkisi oluşmamaktadır ($F_x=0$). Buna karşılık hız vektörünün dikey bileşeninden bir dairesel kuvvet etkisi ortaya çıkacaktır (Şekil 4). Parçacık yataydaki hız bileşenini koruyacağı ve dikeydeki hız bileşeninden bir dairesel hareket gerçekleştireceği için helezonik bir hareket yapacak ve dış duvarla temas etmeyecektir.

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B} \quad (18)$$

Lorentz kuvveti altında yüklü parçacıkların hareketi Şekil 5’ de açık bir şekilde gösterilmiştir. Şekilde gösterilen yörüngelerde elektronlar iyonlara göre merkeze daha yakın ilerlerler. Bunun sebebi elektronların iyonlardan çok daha hafif olmaları ve Lorentz kuvvetinden daha fazla etkilenmeleridir.

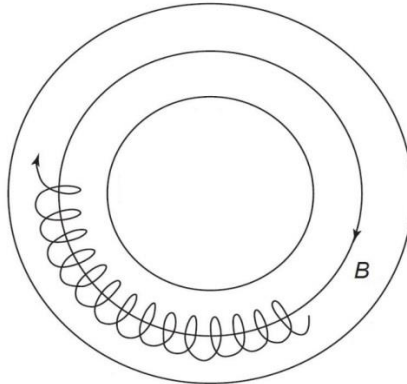


Şekil 4: Manyetik alanda yüklü parçacıkların hareketi.



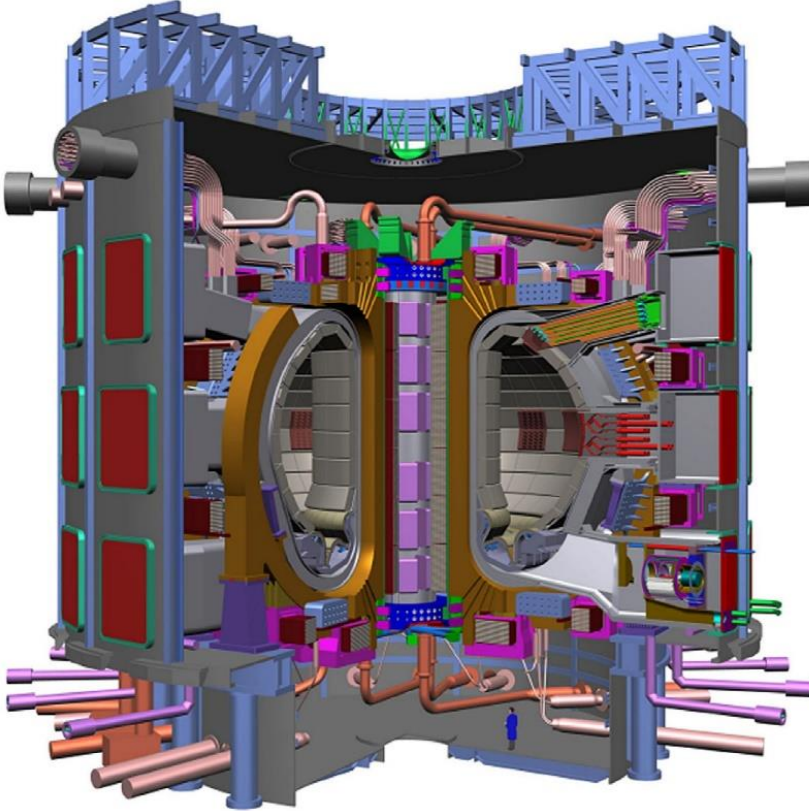
Şekil 5: İyon ve elektronların manyetik alan altında hareket yörüngeleri
(Şekil Yamada H. Fusion Energy[1] den adapte edilmiştir.)

Manyetik alan altında helezonik yörüngede ilerleyen parçacıklar manyetik alanın bulunduğu yapının sınırına geldiğinde bir yere çarpacaktır. Ancak yapı kendi içine kapanan bir geometriye (toroidal, donut veya simit şekli) dönüştürüldüğünde parçacıklar yapısal bir malzeme ile temas etmeden reaksiyon verene kadar yörüngelerinde Şekil 6' daki gibi devam ederler. Toroidal bir mıknatıs ile uygun manyetik alan sağlanabilir. Bu şekilde füzyon reaktörleri için temel sistem kurulmuş olur. Bu temel düşünce ile yapılan füzyon reaktörlerine TOKAMAK reaktör adı verilir.



Şekil 6: Toroidal geometride plazma yörüngesi.

TOKAMAK ilk defa 1950' lerde Ruslar tarafından geliştirilmiştir. 1994' de TFTR (TOKAMAK Fusion Test Reactor) tarafından megawatt seviyelerinde (yaklaşık 6.2 MW) enerji üretilmiş, ancak 29.5 MW enerji 300 milyon Kelvin sıcaklığa ulaşmak için harcanmıştır [8]. Burada harcanan enerji üretilen enerjiden çok düşüktür. JET (Joint European Torus) reaktörü 1997 yaklaşık %95 enerji kazanç faktörü ile rekor elde etmiştir [9]. En yüksek enerji kazanç faktörü, JT-60U (Japanese Torus 60 Upgrade) reaktöründe 1.25 ile elde edilmiştir [10]. Bütün bu değerlerin etkin bir ticari elektrik üretim aşamasına gelmesi için önemli olan ulaşılan maksimum değer değil sürdürülebilir değer olması gerekmektedir. İstenilen füzyon enerji üretimini test etmek ve geliştirmek için ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) projesine uluslararası katılımı başlanmıştır. Proje fikri ilk defa 1985' de sunulmuş ve 1998' de bütçesi 5 milyon dolar olarak hesaplanmış ve ilk plazmaya 2025' de ulaşılması öngörülmüştür [11]. Fakat bu beklenti son yıllarda 2030 ları ve sonrasında işaret etmektedir. ITER reaktörü şematik olarak Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 7: ITER projesi konsept dizaynı [11]

Yine de beklenen süre ve enerji değerleri; Inertial Confinement ve Magnetic Confinement yöntemleri için gerekli lazer teknolojisi, superiletken teknolojisi ve diğer füzyon teknolojileri ile paralellik gösterecektir.

Avantajları

Füzyon reaktörleri yakıt sıkıntısı çekmeyecek nükleer bir reaktör olmakla birlikte sıfır karbon emisyonuna sahiptir [12]. Füzyon reaktörlerinin çevresel etkisi neredeyse hiç yoktur [3]. Dünyanın gelecek için enerji sağlarken yaşanabilirliğinin de korunması açısından ITER gibi projelere uluslararası büyük yatırımların sebebi budur.

Füzyon reaktörlerinde, fisyon reaktörlerinde olduğu gibi uzun ömürlü, yüksek aktiviteli radyoaktif atıklar üretilmez [13]. Füzyon reaksiyonları sonucu açığa çıkan ve lityum ile reaksiyon vererek trityum üretimi gerçekleştirecek nötronlar yapısal malzemelerde düşük aktiviteli radyoaktif ürünler oluşturabilirler. Açığa çıkan radyoaktivite ise iyi bir nötron ve gama zırlaması ile çevreye etki etmesi önlenir.

Füzyon reaktörlerinde aynı kütleyle sahip fisyon reaktörlerinden elde edilen enerjinin 4 katı kadar daha fazla enerji üretimi gerçekleştirilebilir [3]. Bu değer enerji üretimi için füzyon reaktörlerinde sürekliliği sağlanmış bir enerji üretimi beklenir.

Füzyon enerjisi trityumun reaktör içerisinde olması ve trityum üretimi için gerekli olan lityumun bulunurluk avantajı sayesinde gelecek yıllarda yakıt sıkıntısı oluşturmayacak bir enerji üretim yöntemidir. Hibrit reaktör tasarımları ile de fisyon reaktörlerinden elde edilen uzun ömürlü atıkların yakılması mümkün olabilecektir [3].

Füzyon reaktörleri yapısı ve çalışma prensipleri itibarıyla güvenli bir reaktördür [3]. Füzyon reaksiyonları ile ilgili beklenmedik bir durum oluştuğunda reaksiyon kendiliğinden durur ve yakıt anında soğur. Fisyon reaktörlerindeki gibi yakıt erimesi problemleri gerçekleşmez.

Dezavantajları

Füzyon reaktörlerinin mühendisliksel tasarım problemlerinin haricinde neredeyse hiç dezavantajı yoktur. Buna karşın mühendisliksel tasarım problemleri reaktörlerin ticari olarak güç üretimine katkısının önündeki en büyük engeldir. Özellikle reaktör malzemesi üretimi tasarım problemlerinin önünde gelir [1, 3, 11, 13]. Yapısal malzemelerin yoğun nötron bombardımanına maruz kalması bunların hidrojen ve helyum gevreklikleri, yüksek sıcaklık davranışları çözülmeyi bekleyen problemler arasındadır [14].

Reaktörde üretilen trityumun, reaktörde meydana gelecek normal dışı çalışma problemi ile çevreye salınması durumu söz konusu olabilir. Ancak döteryum ile füzyon reaksiyonu gerektirecek trityum miktarı sadece birkaç gram olacağı için çevreye salınan miktar çok az olmuş olacaktır [15]. Trityumun radyoaktif oluşu bir dezavantaj olmasına rağmen çevreye zarar verecek miktarda olmayacağı için yine mühendisliksel tasarım problemlerini en önemli dezavantaj olarak bırakır.

SONUÇ

Füzyon reaksiyonunun fiziği ve mühendisliği itibarıyla ele alındığında gelecek vadede güvenli bir enerji kaynağı olarak görülür. Bilinen tek dezavantajının tasarım problemleri olması, bu problemler aşıldığında vaz geçilemez bir enerji kaynağı olabileceği açıktır.

Tasarım problemleri için çözümler üretilmesi finansal olarak çok maliyetli hale gelmiştir. Ticari düşünce, füzyon reaktörlerine yatırım yerine aynı finansal miktarı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmeyi gözden geçirebilir. Bununla birlikte yapılan yatırımlar ve gelecekte bilim ve teknolojinin gelişmesi bu durumu tamamen değiştirebilir. Enerji açısından verimli bir tasarımın gerçekleştirilene kadar harcanan maliyet, füzyon reaktör teknolojisi elde edildikten sonra enerji üretiminin daha az maliyetle elde edilmesini sağlayabilir. Tasarım ile ilgili problemlerin çözülmesi durumunda füzyon reaktörleri birçok yönden avantajlı bir enerji kaynağı olarak dünyanın ihtiyacı olan enerjiyi karşılamada önemli bir rol oynayabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] IAEA. International Atomic Energy Agency. Fusion Physics. 2012.
- [2] Claessens, M. (2020). ITER: The giant fusion reactor: Bringing a sun to earth. In ITER: The Giant Fusion Reactor: Bringing a Sun to Earth. Springer International Publishing.
- [3] Wu Y., Şahin S. (2018). Fusion Energy Production. In Comprehensive Energy Systems (Vols. 3-5, pp. 538-589). Elsevier.
- [4] Hutchison, D. A. (1954). Natural Abundance of the Lithium Isotopes. *Physical Review*, 96(4), 1018.
- [5] Boyd, T. J. M., & Sanderson, J. J. (2003). The Physics of Plasmas. The Physics of Plasmas.
- [6] Cedillos-Barraza, O., Manara, D., Boboridis, K., Watkins, T., Grasso, S., Jayaseelan, D. D., Konings, R. J. M., Reece, M. J., & Lee, W. E. (2016). Investigating the highest melting temperature materials: A laser melting study of the TaC-HfC system. *Scientific Reports* 2016 6:1, 6(1), 1-11.
- [7] Yamada, H. (2012). Fusion Energy. *Handbook of Climate Change Mitigation*, 3, p 1183-1215.
- [8] Strachan, J. D., Adler, H., Alling, P., Ancher, C., Anderson, H., Anderson, J. L., Ashcroft, D., Barnes, C. W., Barnes, G., Batha, S., Bell, M. G., Bell, R., Bitter, M., Blanchard, W., Bretz, N. L., Budny, R., Bush, C. E., Camp, R., Caorlin, M., ... Zweben, S. J. (1994). Fusion power production from TFTR plasmas fueled with deuterium and tritium. *Physical Review Letters*, 72(22), 3526.
- [9] Keilhacker, M., Gibson, A., Gormezano, C., Lomas, P. J., Thomas, P. R., Watkins, M. L., Andrew, P., Balet, B., Borba, D., Challis, C. D., Coffey, I., Cottrell, G. A., Esch, H. P. L. De, Deliyannis, N., Fasoli, A., Gowers, C. W., Guo, H. Y., Huysmans, G. T. A., Jones, T. T. C., ... Team, J. (1999). High fusion performance from deuterium-tritium plasmas in JET. *Nuclear Fusion*, 39(2), 209.
- [10] Fujita, T., Kamada, Y., Ishida, S., Neyatani, Y., Oikawa, T., Ide, S., Takeji, S., Koide, Y., Isayama, A., Fukuda, T., Hatae, T., Ishii, Y., Ozeki, T., Shirai, H., & Team, J.-60. (1999). High performance experiments in JT-60U reversed shear discharges. *Nuclear Fusion*, 39(11Y), 1627.
- [11] Koizumi, N. (2013). Progress of ITER Superconducting Magnet Procurement. *Physics Procedia*, 45, 225-228.
- [12] Gi, K., Sano, F., Akimoto, K., Hiwatari, R., & Tobita, K. (2020). Potential contribution of fusion power generation to low-carbon development under the Paris Agreement and associated uncertainties. *Energy Strategy Reviews*, 27, 100432.
- [13] Claessens, M. (2020). ITER: The giant fusion reactor: Bringing a sun to earth. In ITER: The Giant Fusion Reactor: Bringing a Sun to Earth. Springer International Publishing.

- [14] Şahin, S., Şahin, H. M., Şahiner, H., & Tunç, G. (2021). Study on the fusion reactor performance with different materials and nuclear waste actinides. *International Journal of Energy Research*, 45(8), 11759-11774.
- [15] Tanabe, T. (2016). Tritium: Fuel of fusion reactors. *Tritium: Fuel of Fusion Reactors*, 1-365.

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ: SİVAS İLİ İNCELEMESİ

Sinan Sarp^a

^a Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZET

Jeotermal Enerji, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üstünde olan, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözünmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen akışkanın (sıcak su ve buhar) yeryüzüne taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerjiyi oluşturan akışkanlar genellikle meteorik kökenli olduklarından rezervuardan aşırı çekim olmadığı takdirde tükenmeyen, yenilenebilen bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada Türkiye Jeotermal enerji potansiyeli Sivas İli ölçeğinde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, Sivas Potansiyeli.

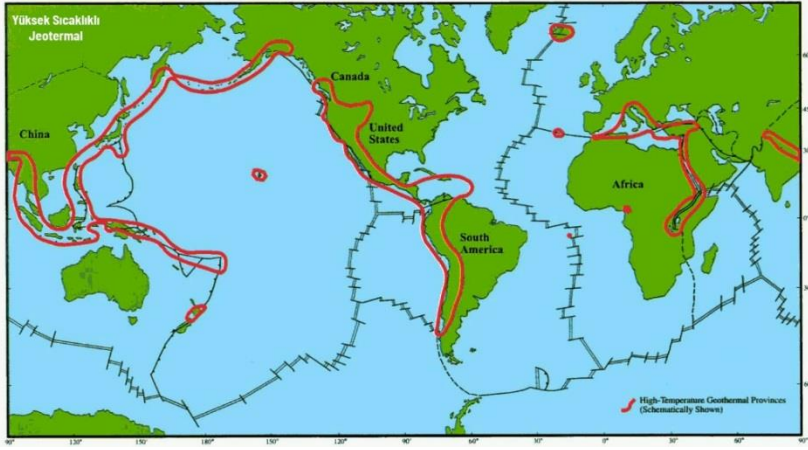
ABSTRACT

Geothermal Energy is a fluid (hot water and steam) on the earth's surface whose temperatures are constantly above the regional atmospheric average temperature, which is formed by the heat accumulated in various depths of the earth's crust, and which may contain more dissolved minerals, various salts and gases than the normal underground and surface waters around it. It can be defined as the heat energy it carries to the face. Since the fluids that make up the geothermal energy are generally of meteoric origin, they are an inexhaustible, renewable energy source unless there is excessive gravity from the reservoir. In this study, Turkey's geothermal energy potential was investigated in Sivas Province.

Keywords: Geothermal energy, Sivas Potential.

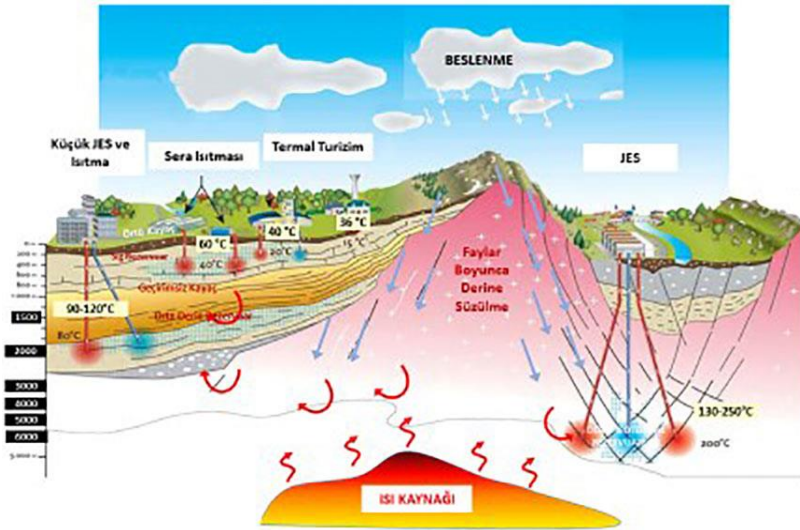
GİRİŞ

Türkiye Asya ve Avrupa arasında önemli bir jeolojik konuma sahip olup tektonik olarak aktif olan Alp-Himalaya Dağ Oluşum Kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bundan dolayı jeolojik olarak genç ve diri faylar ile volkanik ve magmatik oluşumlar içermektedir. Bu yapılar Türkiye'de zengin jeotermal potansiyelin oluşumuna neden olmaktadır. Dünyadaki jeotermal kuşaklar genellikle kıta kenarları ve levha sınırlarında yoğunlaşmaktadırlar (Şekil 1).



Şekil 1. Dünyadaki jeotermal kuşakların oluştuğu kıta kenarları ve levha sınırları

Jeotermal sistemin oluşabilmesi için dört ana unsur olmalıdır. Bunlar beslenme, örtü kayaç, ısıtıcı kaynak ve akışkanın depolanacağı rezervuar kayaç. Jeotermal sistemin bileşenleri ve diğer özellikleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



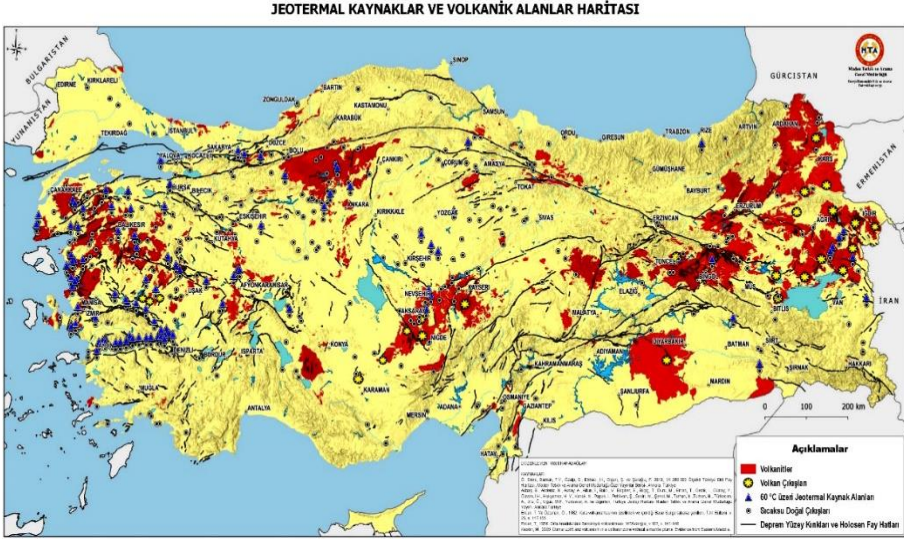
Şekil 2. Jeotermal sistemin bileşenleri ve diğer özellikleri

Ayrıca jeotermal sahalar, akışkan (sıcak su) sıcaklığı dikkate alınarak üç gruba ayrılmaktadır:

- Düşük sıcaklıklı sahalar (sıcaklığı 20 - 70 °C arası)
- Orta sıcaklıklı sahalar (sıcaklığı 70 - 150 °C arası)
- Yüksek sıcaklıklı sahalar (sıcaklığı 150 °C den yüksek)

Özellikle Türkiye'nin batısında yüksek sıcaklıklı sahalar bulunmaktadır.

Türkiye'nin jeolojik konumu jeotermal enerji açısından oldukça önemli bir yerdedir. Türkiye de jeotermal kaynaklar çoğunlukla aktif tektonik hatlar üzerinde ve volkanik etkinliğin olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Türkiye'nin jeolojik olarak genç ve diri faylar ile volkanik ve magmatik oluşumlar içermesi, ülkede zengin jeotermal potansiyelin oluşumuna neden olmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye'nin neotektonik yapısı, tersiyer-günümüz volkanik etkinliği ve jeotermal kaynakları

MTA Genel Müdürlüğünce jeotermal enerji ile ilgili aramalarına 1962 yılında başlanmış olup, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Kalkınma Bakanlığı tarafından onaylanan yatırım programları ve yıllık iş programları kapsamında; 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve Uygulama yönetmeliği hükümleri doğrultusunda arama çalışmaları yürütülmektedir. 2008 yılından itibaren 5686 sayılı jeotermal kanununun yürürlüğe girmesinden sonra da, Özel Sektör de bu çalışmalarda yer almaya başlamıştır.

Genel Müdürlüğümüzce yürütülen arama çalışmalarında ve özel sektör tarafından yapılan çalışmalar sonucunda bugüne kadar 1.928 adet, 1.815.765 m sondajlı arama çalışması yapılmıştır.

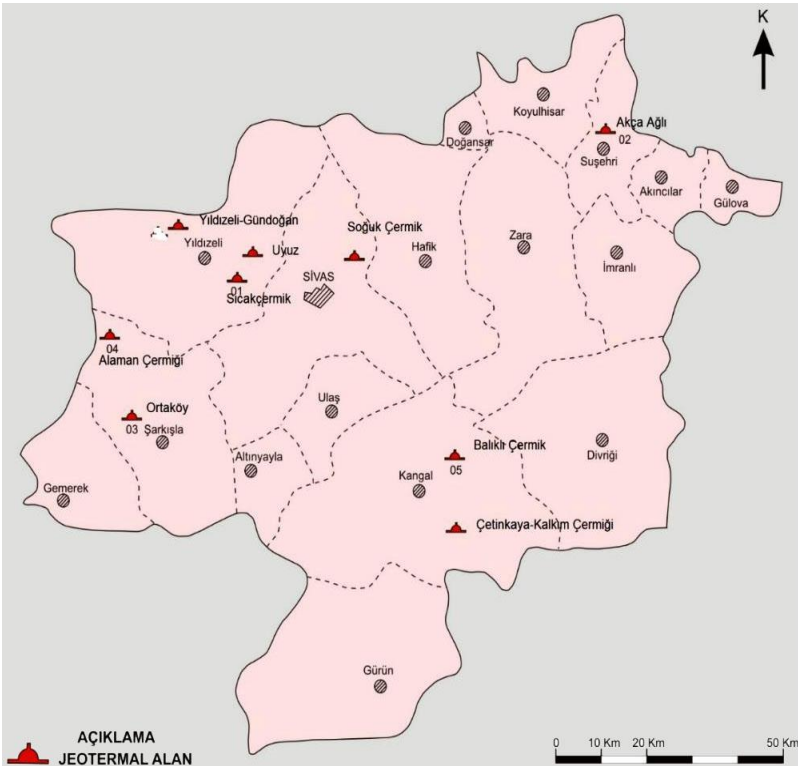
Türkiye'de jeotermal enerjiden başlıca;

- Elektrik üretimi
- Konut ve Termal tesis ısıtması,
- Seracılık
- Termal turizm ve sağlık,
- Sıvı ve Kuru buz olarak CO₂ üretimi amaçlı yararlanılmaktadır.

Türkiye’de jeotermal enerji ile 1.613 MWe elektrik üretmekte olup doğrudan kullanım da ise 2.594 MWt ulaşılmıştır.

Sivas ilinin Jeotermal Özellikleri ve Potansiyeli

Sivas ilinde bulunan jeotermal alanlara bakıldığında özellikle batı kısmında daha çok olduğu görülmektedir (Şekil 4). Önemli olabilecek kaynak alanları 18 adet olup bunların özellikleri ve kullanım durumları Tablo 1’de özet halinde verilmiştir [1-3]. Sivas ilindeki jeotermal alanlara bakıldığında düşük sıcaklıklı jeotermal alanlar sınıfına girmektedir. En yüksek sıcaklığı sahip olan alan 56 °C ile Akça ağıl kaplıcası olarak görülmektedir. En düşük sıcaklığa sahip alan ise 20,4 °C ile Tekke köyü kaynağıdır. Diğer kaynak ve kuyu sıcaklıkları bu iki değer arasında bulunmaktadır. Sıcaklıkların yanısıra akışkanların kullanımını etkileyen en önemli faktör debileri olarak göze çarpmaktadır. Kaynak veya kuyuların debi ve sıcaklıkları ne kadar yüksek olursa faydalanma sürecinde o kadar kullanışlı olurlar. Jeotermal enerjinin sıcaklığına göre kullanım alanlarını belirleyen Lindal Diyagramına göre Sivas ilinde bulunan kaynaklarda ısıtma, mantar yetiştirme, balneolojik banyolar, sağlık tesisleri, yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma ve balık çiftlikleri gibi alanlarda kullanılabilirler.



Şekil 4- Sivas ilinin jeotermal alanları

SONUÇ ve ÖNERİLER

Sivas ilinde bulunan 18 adet jeotermal alan bulunmaktadır. Yatırım ve geliştirme açısından jeotermal alanın kara yolu ağı, tren istasyonuna, hava alanına mesafesi yani konumu çok önemlidir. Modern konaklama tesislerinin planlanması, bölgede hüküm süren iklim özellikleri ile coğrafik yapısı, alanın turizm potansiyeli gibi özellikler kaynak veya kaplıcanın gelişmesi açısından önemli faktörlerdir.

Sıcak çermik jeotermal alanı, uygun arazi koşulları nedeniyle “Termal Kent”olabilecek niteliklere sahiptir. Yapılan planlama ile alanda bulunan sıcak su daha modern ve entegre bir şekilde kullanılmaktadır. Bu doğrultuda turizm tesisleri, rehabilitasyon merkezleri ve jeotermal akışkanla ısıtılmalı 50 hektar sera kurulmuştur ve gelişmeye açık bir sahadır.

Yukarı Yıldızlı (sıcaklığı 36 °C ve debisi 200 l/s); ve **Uyuz Çermik-Yıldızeli** (sıcaklığı 36 °C ve debisi 2 l/s); Yıldız Irmağı Havzasında bulunan bu kaynaklar kaplıca kullanımı ile birlikte Sıcakçermik kaplıcasına yakın olmaları nedeni ile birlikte değerlendirilebilir.

Suşehri-Akçaağıl jeotermal alanında açılan sondajından kompresörle yapılan üretimde 1,5 l/s debi ve 56 °C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir. Debisi düşük olduğundan; etüt ve sondajlı çalışmalar yapılarak debi artırımına gidilerek, elde edilecek daha yüksek sıcaklık ve debi ile sera, ısıtma ve kaplıca olarak kullanılabilir. Ancak Çamlığöze barajı civarında bulunduğundan çevresel faktörler ve baraj havzası içerisinde kalması yatırımları etkileyebilir.

Tablo 1. Sivas ilinde bulunan jeotermal alanların özellikleri

Adı	İlçesi	Kaynak/ Sondaj	Sıcaklık (°C)	Debi (l/sn)	Kullanım Alanı	Kurulu Tesis	Öneriler
Sıcak Çermik	Yıldızeli	Sondaj	46-49	300	Kaplıca	Var	Kaplıca-Sera-Isıtma
Soğuk Çermik	Merkez	Kaynak	26-30	15-20	Kaplıca	Var	
		Sondaj	27-30	32			
YukarıYıldızlı	Merkez	Sondaj	37	200	Kaplıca	Yok	Kaplıca
Uyuz Çermik	Yıldızeli	Kaynak	36.5	0.8	Kaplıca	Yok	
Balıklı Çermik	Kangal	Kaynak	35-36	10-220	Kaplıca	Var	Kaplıca
Kalkım	Kangal	Kaynak	28	24	Kaplıca	Yok	
		Sondaj	28	24			
Ortaköy	Şarkışla	Kaynak	36	3	Kaplıca	Var	
		Sondaj	36	24 ?			
Alaman Çermiği	Şarkışla	Kaynak	35	2	Kaplıca	Yok	Kaplıca
Akçaağıl	Suşehri	Kaynak	42	1	Kaplıca	Yok	Kaplıca-Sera-Isıtma
		Sondaj	56	1,5			
Ilıca	Yıldızeli	Sondaj	35	3	Kaplıca	Yok	
Gündoğan	Yıldızeli	Kaynak	26,5	0,56	Kaplıca	Yok	
		Sondaj	29	7,5			
Hamzaşeyh	Yıldızeli	Kaynak	25	0.5	Kaplıca	Yok	
İkideğirmen	Zara	Kaynak	38	-	Kaplıca	Yok	
Aşağısarıca	Suşehri	Kaynak	24,5	0,01	Kaplıca	Yok	
Doğantepe - Bahattinşeyh	Akıncılar	Kaynak	28	0,5	Kaplıca	Yok	
Uyuzpınarı	Kangal	Kaynak	23,2	225	Kaplıca	Yok	
Tekke Köyü	Kangal	Kaynak	20,4	19	Kaplıca	Yok	
Karadönkedere	Yıldızeli	Kaynak	20,5	-	-	Yok	

(MTA, 2005, 2015 ve Ayaz, 2015’ den düzenlenmiştir)

Şarkışla-Ortaköy jeotermal alanında MTA Genel Müdürlüğü tarafından değişik yıllarda gerçekleştirilen etüt çalışmalarının yanı sıra 2002 yılında açılan bir adet kuyudan 36,4 °C sıcaklıkta ve 24 l/sn. debide akışkan elde edilmiştir. Termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Talep doğrultusunda tekrar durum değerlendirme çalışmaları yapılabilir.

Kangal-Balıklı çermik (sıcaklığı 36 °C ve debisi ~220 l/s); jeotermal alanında MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış bir hidrojeoloji ön etüt çalışması bulunmaktadır. Bu nedenle öncelikli olarak sahanın geliştirilmesi için jeotermal jeolojisine yönelik bir etüt ve gerektiği takdirde jeofizik etütler yapılarak sahanın potansiyelinin artırılıp artırılamayacağı ortaya konabilir veya tesisler daha modern hale getirilebilmesi için planlamalar yapılabilir. Ancak suda yaşayan balıkların varlıklarını sürdürebilmesi için yaşam koşullarının belirlenerek değişikliğe uğramaması için gayret edilmelidir.

Alaman Çermiği-Şarkışla (sıcaklığı 35 °C ve debisi 2 l/s); sahanın geliştirilmesi için jeolojik ve jeofizik gibi etütler yapılarak, potansiyelinin artırılıp artırılamayacağı ortaya konabilir. Elde edilecek sonuçlara göre planlamalar yapılabilir.

Sonuç olarak Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü olarak Sivas ilinde jeotermal enerjinin açığa çıkarılması için jeoloji ve jeofizik etütler sonucunda yapılan 13 adet sondaj ile toplam 4.583 m derinliğinde kuyu kazılarak potansiyelin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Sivas ilinin jeotermal enerji potansiyeli 52,6 MWt olarak hesaplanmıştır. Sivas ilinde bulunan jeotermal alanlar düşük entalpili sahalar olduğundan sera ısıtılması, konut ısıtılması, sağlık ve termal turizm amaçlı kullanım potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter serisi-201, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [2] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. 2015. Envanter verileri, MTA Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü, Sivas.
- [3] Ayaz, M.E. Sivas Şehir Kimliği ve Sürdürülebilir Kalkınma Önerileri, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 2015, 19, 43-64 s, Ankara.

JEOTERMAL ENERJİNİN SAĞLIKTA KULLANIMI: BALNEOTERAPİ

Musa Polat^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Tıp Eğitimi, Dahili Tıp Bilimleri Bölümü, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon

ÖZET

Ekonomik kalkınmanın ve insan yaşamının en önemli araçlarından birisi olan enerji, fosil kaynaklardan ya da yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilir. Ülkemizdeki termal suların doğal çıkışlı ve veriminin yüksek olması ile kükürt, radon ve tuz gibi eriyik maden oranı yüksektir. Ayrıca birçoğu deniz kıyısında, bir kısmı ise orta yükseklikte dağlık ve ormanlık bölgelerde yer almaktadır. Bu özellikleri gerek kaynak kullanımı açısından çeşitlilik sağlamakta, gerekse termal turizm açısından çekim merkezi olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada Jeotermal Enerjinin Sağlıkta Kullanımı: Balneoterapi uygulaması incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, Balneoterapi.

ABSTRACT

Energy, which is one of the most important tools of economic development and human life, can be obtained from fossil resources or renewable resources. Due to the natural origin and high efficiency of the thermal waters in our country, the ratio of molten minerals such as sulfur, radon and salt is high. In addition, most of them are located on the coast, while some are located in mid-altitude mountainous and forested areas. These features provide diversity in terms of resource use and make it a center of attraction in terms of thermal tourism. In this study, the Use of Geothermal Energy in Health: Balneotherapy application will be examined.

Keywords: Geothermal energy, Balneotherapy.

GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji, yerin derinliklerindeki kayalar içinde birikmiş olan ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması ile oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisidir [1]. Isı geçişi iletimle veya taşınım ile gerçekleşir. Kayaç ortam yeryüzünün derin tabakalarında ısı iletiminde, jeotermal akışkan ise yeryüzünün yüzeysel tabakalarında ısı taşınmasında rol alır. Jeotermal akışkan yağmur sularının derindeki sıcak kayalarla teması ile olur. Bu akışkan ısınıp akiferlerde toplanarak geçirimsiz kayaç içeren tabakaların altında jeotermal rezervuarları oluşturur [1].

Bütün dünyada olduğu gibi Türkiye'de de jeotermal enerji, jeotermal akışkanların kuyudan çıkarılma sıcaklığına göre farklı alanlarda kullanılmakta ve giderek önemi artmaktadır [1]. Jeotermal enerjinin başlıca kullanım alanları Tablo 1 de belirtilmiş olup, gün geçtikçe yenileri eklenmektedir.

Tablo 1. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Elektrik enerjisi üretimi	Kağıt, dokuma ve boyamacılık
Kaplıca	Derilerin kurutulması ve işlenmesi
Sera ısıtması	Mayalama ve damıtma işlemleri
Gübre üretimi	Beton blokları kurutulması
Kimyasal madde ve mineral eldesi	Çamaşırhanelerde yıkama
Gıdaların kurutulmasında ve sterilize edilmesi	İçme suyunu soğutma
Konserve üretimi	Kültür balıkçılığı
Orman ürünleri sanayi	Merkezi ısıtma ve soğutma

Jeotermal kaynaklarımızın % 90'ı düşük ve orta sıcaklıkta ve doğrudan uygulamalar için uygun olup, % 10'u ise dolaylı uygulamalar için uygundur. Düşük sıcaklıklı olarak adlandırılan 20-70 °C sıcaklık aralığındaki jeotermal suların elde edildiği sahaların çokluğu, kaplıca kullanımını yaygınlaştırmıştır. Orta sıcaklıklı olarak adlandırılan 70-150 °C aralığında sıcaklığa sahip jeotermal akışkanlar, genellikle konut ısıtma ve seracılık amacı ile kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık olarak tabir edilen 150°C üzerindeki sıcaklıklardaki jeotermal akışkanın elde edildiği sahalarda ise elektrik enerjisi elde edilmektedir [1], [2].

Bilindiği üzere Türkiye, coğrafi olarak Alp-Himalaya dağ kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bulunduğu konumda tarihsel süreçte oluşan jeolojik olaylar nedeniyle Türkiye, grabenler, faylar, volkanlar gibi coğrafi alanların yanı sıra hidrotermal ayrılmış bölgeler ile termomineralli su kaynağı açısından da zengindir. Ülkemizdeki jeotermal kaynakların sıcaklıkları 20-110 °C arasında, debileri ise 2-500 lt/sn arasında değişmektedir. Toplam jeotermal kaynak sayısı 1300 dolayında bulunmakta, gerek jeotermal kaynak sayısı, gerek kaynakların debi, sıcaklık, mineral içeriği gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri, gerekse çeşitliliği açısından birçok Avrupa ülkesinden üstün, dünyada ise önemli bir konuma sahiptir. Bu coğrafi özellikleri Türkiye'nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir [2-4].

Jeotermal kaynaklarımızın termal turizm amaçlı kullanımlar göz önüne alındığında ülkemizdeki jeotermal enerji kapasitenin 402 MW olduğu ifade edilmektedir [1].

Kaplıcalarda Jeotermal Enerjinin Kullanımı

Kaplıca sözcüğünün kaynağı "kapalı ılıca" dan gelir. İlica sıcak (termal) su bulunan yer olarak tanımlanır. Kaplıca tesis kurulmuş ılıca anlamında kullanılır. Sıcak su ile tedavi olunan yer ya da tesisi tanımlar. Çermik ise, farsça kökenli bir kelime olup su banyosu anlamındadır.

Termal ise latince kökenli olup doğal sıcak su bulunan ve tedavi olunan yer demektir [5]. Diğer yandan “SPA” kavramı ise giderek termal ve kaplıca kavramlarının önüne geçmektedir. Eski Belçika dilinde çeşme anlamına gelen “espa” kelimesinden türetilmiş ancak patent hakkı nedeniyle günümüz kullanımı Salus Per Aquas (su ile sağlık) tümcesinin baş harflerinden oluşmuş anlamıyla kullanılmaktadır. Doğal balneolojik ürünler yerine normal çeşme suları ve çamur, yosun, mineral tuzları gibi endüstriyel ürünler kullanılmaktadır. Wellbeing ve fitness kelimelerinden türetilen Wellness kavramı da SPA’nın yanına eklenerek güzellik, estetik, cilt bakımı, masaj, egzersiz, diyet vb uygulamalar ile şekillendirilmiştir [5].

Kaplıca tedavisi, geleneksel olarak balneolojik kaynakların doğal olarak bulunduğu yerlerde, balneolojik kaynaklar ile iklimsel faktörler, egzersiz uygulamaları, masaj, dinlenme, ortam değişimi, sosyal ve psikolojik etkileşim ile kombine yapılan tedavi olarak tanımlanır. Kaplıca kürünün temelini ve özgülüğünü kullanılan balneolojik kaynaklar oluşturur [5]. Kaplıca tedavileri, hastanın tedavi merkezi dışındaki bir yerde kalıp günlük tedavi merkezine gelip giderek açık (serbest) kür şeklinde, hastanın kaplıcada kurulan hastanede yatarak tedavi gördüğü kapalı (stasyoner kür) şeklinde veya aynı hastalığa sahip kişilerin oluşturduğu 7-15 kişilik gruplardan oluşa kompakt kürler şeklinde yapılabilir.

Balneoloji yer altı, toprak ve su kaynaklı doğal iyileştirici faktörlerin bilimi olarak tanımlanır. Termomineral sular, peloidler ve gazlar gibi doğal tedavi unsurlarının banyo, içme ve soluma yöntemleri ile kür tarzında tedavi amaçlı kullanımını ifade eder. Kaplıca tedavisinin olmazsa olmazı doğal termal mineralli sularla yapılan banyo ve diğer immersiyon yöntemleridir [5].

Balneoterapi ile karıştırılan hidroterapide ise musluk suyu kullanılır ve su içi egzersiz uygulamaları yapılabilir. Hidroterapi tanım olarak, her birey için özel olarak düzenlenen, eğitilmiş kalifiye personelin gözetiminde ve ideal olarak amaca uygun inşa edilmiş havuzlarda gerçekleştirilen, kas iskelet sistemi fonksiyonlarını geliştirme-iyileştirme amaçlı bir havuz tedavi programıdır.

Balneoterapi ile hidroterapi arasındaki farklara bakacak olursak;

- Balneoterapide su doğal, yer altı kaynaklı, genellikle sıcak, gazlar, mineraller ve diğer maddeler içerirken hidroterapide düz musluk suyu kullanılır.
- Balneoterapi sadece banyo uygulamalarından ibaret olmayıp, içme ve inhalasyon kürleri, mukoza yıkama ve duşlarını da içermektedir.
- Balneoterapide su dışında gaz ve peloid banyo uygulamaları da bulunmaktadır.
- Balneoterapide suyun kimyasal özelliği ön planda iken, hidroterapide suyun fiziksel özellikleri ön plandadır.

İklim tedavisinin latince karşılığı olan Klimaterapide ise kaplıcanın spesifik lokal iklimatik faktörlerinin tedavi edici olumlu etkileri değerlendirilir. İklimsel faktörlerin kür boyunca organizma üzerine etkileri sürekli ve tekrarlayan tarzda gerçekleşir ve sonuçta bir dizi adaptif reaksiyonlar gelişir. Açık hava kürleri, Helioterapi + Talassoterapi, Hava banyosu, İklimatik arazi kürleri şeklinde yapılabilir.

Kaplıca Tedavisinin Tarihçesi

İnsanların eski çağlardan beri termal sulardan yararlandığı bilinmektedir. Gizli güçlerin insanlara sağlık bağışlamak için suları ısıttığı düşünülerek termal sulara kutsallık atılmış ve saygı duyulmuştur. Termal kaynaklar ile ilgili yazılı ilk eser Hippokrates tarafından kaleme alınmıştır. Kaplıcalarda Roma askeri birlikleri savaştan önce güçlenmek, savaştan sonra ise tedavi olmak için kaplıcalara gittiği bildirilmektedir. Orta çağ gibi bazı tarih dönemlerinde kullanımı azalsa da güncelliğini korumuş, 17. yüzyıldan itibaren özellikle batı dünyasında yaygınlaşmıştır. 17. Yüzyılda termal sular, mineral içeriklerine göre sınıflandırılmış, tedavi özelliklerine göre sınıflara ve bölgelere ayrılmıştır. 1722-1776 tarihleri arasında yaşayan Théophile de Bordeu tarafında tıbbi hidrolojinin temeli atılmıştır. Türklerde, Anadolu'ya geçtikten sonra, kısa zamanda buradaki kaplıca ve içmece sularının imarı ve kullanımlarına büyük önem vermişlerdir [6], [9].

Balneolojik Kaynaklar

Balneolojik kaynaklar arasında termal ve mineralli sular, doğal peloidler (çamurlar) ve gazlar (H_2S , Radon, CO_2) bulunmaktadır.

Literatürde tabii sıcaklıkları $20^\circ C$ 'nin üzerinde olan sular termal su, sıcaklıkları $20^\circ C$ 'nin üzerinde olup litrelerinde 1 gramın üzerinde çözünmüş mineral içeren sular ise termomineralli su olarak adlandırılmaktadır. Mikst sular herhangi bir özel su grubuna girmemekte olup bu sulara en sık klorür (Cl^-), sülfat (SO_4^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-) anyonları, sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{+2}) ve magnezyum (Mg^{+2}) katyonları bulunur. Mikst balneolojik suların taşıdığı %20 milivalin üzerindeki anyon ve katyonlar suya ismini verir. Doğal sıcaklıkları $20^\circ C$ 'nin üzerinde ama toplam mineralizasyonu 1 g/L altında olan balneolojik sular akrotermal, hem mineralizasyonu 1 g/L altında hem doğal sıcaklıkları $20^\circ C$ 'nin altında olan sular akrotopikal sular olarak isimlendirilir [7].

Şehrimizde bulunan Sivas Sıcak Çermik suyu mikst termomineralli sular grubuna girmekte olup sıcaklığı $46-50^\circ C$ arasındadır. Mineral içeriği ise Tablo 2'de gösterildi [8].

Tablo 2. Sivas Sıcak Çermik Suyunun Mineral içeriği

Mineral	Konsantrasyon, mg/l
Sodyum	337
Klorid	257.07
Sülfat	65.2
Magnezyum	104
Kalsiyum	655
Florid	2.24
Bikarbonat	2002.63
Silikat	32

Balneolojik Tedavi Yöntemleri

Balneoterapi

Su, aynı hacimdeki havaya göre ısıyı 1000 misli daha fazla muhafaza eder ve havadan 25 kez daha hızlı iletir. Isıyı muhafaza etme ve ısı enerjisini transfer etme yeteneği nedeniyle rehabilitasyonda çok yönlü kullanılır. 40-50°C sıcaklık aralığındaki jeotermal akışkanın balneolojik banyolarda kullanıldığı söylenebilir [5]. Termal suların etkileri esas olarak, hidrostatik basınç, kaldırma kuvveti, viskozite ve sıcaklık gibi fiziksel etkilerine ve içinde çözülmüş olarak bulunan gazlar ve minerallerin kimyasal etkilerine bağlıdır.

Termominerali suların insan vücudunda birçok sisteme etkisi bildirilmiştir. Periferik vasküler dönüşü artırma, kardiyak outputu ve atım hacmini artırma gibi kardiyovasküler sistem üzerinde; renal sempatik aktiviteyi azaltıp idrar çıkışını artırma, renal sodyum atılımını artırma gibi renal sistem üzerinde; vital kapasitede ve total akciğer kapasitesinde azalma, göğüs çapında azalma gibi pulmoner sistem üzerinde; hemodülsiyon takibinde hemokonsantrasyon gibi hematolojik sistem üzerinde; nöromüsküler aktiviteyi artırma, hareket kabiliyetini artırma, kapsül ve bağlarda gevşeme, propriosepsiyonda artma gibi kas iskelet sistemi üzerinde; hareket serbestisitesinde artış ve suyun dinlendirici etkisi nedeniyle ruh sağlığı üzerinde etkileri vardır. Ayrıca sudaki kimyasalların özelliklerine göre çeşitli dermatolojik ve immün modülatör etkileri bulunmaktadır [5], [7], [8].

Kaplıca tedavisinin süre ve yoğunluğu, tedavinin lokal ya da genel yapılmasına, termominerali suyun sıcaklığına, kimyasal kompozisyona ve hastanın özelliklerine (yaş, hastalık, aktivite düzeyi, komorbidite vb) göre düzenlenir. Termominerali sular ile banyo süresi en az 20 dakikadır. Haftada en az üç banyo olacak şekilde 2-3 hafta süresince uygulanmalıdır. İdeal banyo kürü 15-20 seanstan oluşmalıdır [5], [7], [8].

33°C ve altındaki sular hipotermal su olarak adlandırılır ve su içi egzersizler bu sıcaklıklarda yapılır. 34-35 °C sıcaklığa sahip sular izotermal su olarak adlandırılır, termal etkiden çok mekanik ve kimyasal etkisinden faydalanılır. Su altı basınçlı duşlar, su altı masajlar, su altı traksiyonlar bu sıcaklıklardaki sulara uygulanır. 36°C ve üzeri sıcaklıklardaki sular termal ve hipertermal suları oluşturur, balneoterapide termik etkisinden faydalanılır [8].

Kükürt, Karbondioksit, Radon gazlarının özel gaz ile dolu kabinlerde veya hem gaz hem sıvı içeren küvetlerde uygulanması gaz banyosu olarak tanımlanır. Kükürt ve karbondioksitin solunması önlenecek şekillerde kabinler düzenlenmiştir. Radonun ise gaz ve sıvı banyoları tercih edilir. Bu banyolar ile hidrostatik basıncın kalp üzerindeki yüklenme etkisi ortadan kaldırılır [5], [7], [8].

Krenoterapi (İçme Kürleri)

Doğal minerali suların belli sürede, gün boyu bölünmüş dozlarda ve belirli miktarlarda içilmesi ile içme kürleri yapılabilir. Genellikle 700-2100 ml minerali su, günde 3-4 kez yemeklerden yarım saat önce 4-6 hafta süresince uygulanır. Yılda 2 kez içme kürü tekrarlanabilir [5], [7], [8].

Aerosolterapi (İnhalasyon Tedavisi)

Mineralli su aerosollerinin solunması ile alt ve üst solunum yolları hastalıklarında inhalasyon kürleri yapılabilir. Bireysel ya da oda inhalasyonu şeklinde grup uygulamaları mümkündür. Aeroselin büyüklüğü, sıcaklığı ve nem oranı belirlenebilir. Radon gazının akciğer kanseri ile ilişkisi gösterilmekle birlikte balneoterapide kullanılan doz ve süre göz önüne alındığında bu risk oldukça düşüktür [5], [7], [8].

Peloidoterapi (Çamurlar kürleri)

Doğal jeolojik ve /veya biyolojik olaylar sonucu oluşan organik veya inorganik maddelerdir. Peloidoterapide, mineralli bataklar, deniz ve delta balçıkları, termomineral suyla karıştırılmış şifalı topraklar, çoğunlukla paketler şeklinde olmak üzere banyo tam, yarım veya ekstremitte banyoları şeklinde uygulanır. Peloidoterapinin süre, yoğunluk ve sıcaklığı, tedavinin lokal ya da genel yapılmasına ve hastanın özelliklerine (yaş, hastalık, aktivite düzeyi, komorbidite vb) göre düzenlenir. Ancak genel olarak genellikle 30-40 dk süresince gün aşırı uygulanması önerilir [5], [7], [8].

Yıkamalar, İrrigasyonlar, Lavajlar, Duşlar

Termomineralli su ile yapılan mukozalar üzerine uygulanan termal hidroterapi yöntemleridir [5].

Hidroterapi

Termomineralli su olma şartı olmaksızın yapılan su içi tedavi yöntemleridir [5].

Balneoterapinin Hastalıklarda Etkinliği

Balneoterapinin sistemler üzerine etkisi göz önüne alındığında başta lökomotor sistem hastalıkları olmak üzere, kardiyovasküler, respiratuvar, gastrointestinal, dermatolojik, jinekolojik, nörolojik, psikiyatrik, endokrinoloji gibi tıbbın birçok ana branşlarında kullanılabilir. Bu bölümde literatür bulgular eşliğinde balneolojik tedavi yöntemlerinin faydaları tartışılacaktır.

En sık karşılaşılan kas iskelet sistemi hastalıklarından olan ve önemli bir yeti yitimi sebebi olan dorsalji üzerine balneolojik tedavilerin etkinliğini araştıran çok sayıda araştırma vardır. Kliniğimizde sıcak çermik FTR hastanesinde yapılan bir çalışmada bel ağrısı hastalarında 3 hafta boyunca haftada 5 gün uygulanan 20 dk tüm vücut balneoterapi uygulamasının, hastaların ağrı, fonksiyonellik ve bel eklem hareket açıklığını konvansiyonel fizik tedavi uygulamalarından daha müspet iyileştirdiğini gösterildi [9]. Karaaslan ve ark. tarafından kronik bel ağrılı hastalarda ev egzersiz programına ek olarak 45 °C sıcaklığa sahip lokal peloid paketlerle günde 30 dk süresince, haftada beş kez olmak üzere 3 hafta boyunca toplam 15 seans uyguladıkları peloidoterapinin, yalnız ev egzersiz programına göre hastaların ağrı ve fonksiyonelliğinde daha yüksek kazanım olduğunu göstermişlerdir [10]. Tuulik ve ark. tarafından, bel-boyun bölgelerinde orta derecede ağrısı olan Güneydoğu Estonya'da

bulunan Cu, Zn, Sr, Mn, Br, Li, ve Se mineralleri içeren, 37-39 C sıcaklığına sahip banyoları olan Varska balneoterapi merkezinde iki hafta süresince gün aşırı çamur banyoları ve termomineral su banyoları uygulaması yapılmış ve her iki tedavinin ağrı düzeyi ve kas tonusunda pozitif etkisi olduğu gösterilmiştir [11].

Osteoartritle ilgi de birçok balneoterapinin non farmakolojik tedavi modalitesi olarak kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. D'Angelo ve ark. tarafından osteoartrit hastalarında balneoterapi, peloidoterapi ve spa tedavisinin etkinliğini araştırmak üzere yaptıkları sistematik derlemede, osteoartrit hastalarında balneoterapi ağrısı azaltmada, eklem sertliğini azaltmada ve yaşam kalitesini iyileştirmede etkili olduğunu, çamur tedavisinin ise ağrısı ve eklem sertliği önemli ölçüde azalttığını, SPA tedavisinin ise ağrı düzeyini azaldığını gösterdi [12]. Tenti ve ark. tarafından İtalya'da Levico Terme Spa Merkezinde 212 bilateral el osteoartriti olan hastaların dahil edildiği çalışmada, ardışık pleidoterapi ve termomineral su uygulamalarının ağrısı azalttığı, fonksiyonelliği artırdığını gösterdi [13].

Sık karşılaşılan kas iskelet sistemi hastalıklarından biri, omuz ağrısı etyolojisinde bulunan supraspinatus tendinopatileridir. Kırşehir'de, Koç ve ark. tarafından subakut supraspinatus tendinopatisi olan hastalara, $42 \pm 1^\circ\text{C}$ su sıcaklığına sahip, içeriğinde 98.3 mg/L sülfür, 556 mg/L bikarbonat, 186.7 mg/L sodyum, 34.5 mg/L magnezyum, 226 mg/L kalsiyum, 232 mg/L klorid, 2.6 mg/L florid, ve 58.43 mg/L silikat bulunan termomineral su ile 20 dk süresince tüm vücut banyosu yaptırılmıştır. Bu çalışma, subakut supraspinatus tendinopatisi için fizik tedaviye balneoterapinin eklenmesinin omuz ROM, ağrı, el kavrama gücü, fonksiyonel durum ve yaşam kalitesine ek katkılar sağlayabileceğini göstermektedir [14].

Kronik yaygın ağrı, bilişsel bozukluklar, yorgunluk, uyku bozukluğu gibi geniş bir semptomatolojisi bulunan fibromyalji sendromu, balneoterapinin bir diğer çok çalışıldığı alandır. Cao ve ark. tarafından yakın zamanda yayınlanan, fibromyalji sendromu tanılı hastalarda yapılmış 884 çalışmanın değerlendirildiği ancak 11 randomize kontrollü çalışmanın dahil edildiği bir sistemik derlemede, balneoterapinin fibromyalji sendromu tanılı hastaların ağrı ve yaşam kalitesi iyileştirmede fayda sağlayabileceğini göstermiştir [15]. Çetinkaya ve ark. tarafından, $42 \pm 1^\circ\text{C}$ su sıcaklığına sahip, içeriğinde 98.3 mg/L sülfür, 556 mg/L bikarbonat, 186.7 mg/L sodyum, 34.5 mg/L magnezyum, 226 mg/L kalsiyum, 232 mg/L klorid, 2.6 mg/L florid, ve 58.43 mg/L silikat bulunan Kırşehir Terme Kaplıcasında 20 dk süreli haftada 5 gün olmak üzere 15 seans uygulanan balneoterapinin, 35 fibromyalji hastasının oksidatif stres indeksi ve total oksidan düzeyini azalttığını göstermişlerdir [16].

Balneoterapinin ağrı üzerine etkinliğini araştırmak üzere deneysel çalışmalar da yapılmıştır. Örneğin Brito ve ark. tarafından Brezilya'da Santo Amaro da Imperatriz kaplıcasında yapılan deneysel bir çalışmada, balneoterapinin, nöropatik ağrılı farelerin omuriliğinde BDNF ve NOS₂ yolağını tersine çevirerek mekanik hiperaljeziyi azalttığını gösterilmiştir [17].

Balneoterapinin inflamatuvar romatizmal hastalıklar üzerinde etkinliğini araştıran çalışmalarda genel olarak periferik eklem tutulumu üzerine kanıtlar tartışmalı iken aksiyel tutulum üzerine daha yüz güldürücü sonuçlar elde edilmiştir. Verhagen ve ark. tarafından ya-

Yınlanan bir sistematik derlemede romatoid artrit tanılı hastalarda balneoterapinin ağrı, genel sağlık durumu ve hassas eklem sayısı ile ilgili olumlu sonuçlar bildirilmiş olsa da, tedavi etkinliği konusunda güçlü kanıt ortaya koyamamışlardır [18]. Balneoterapinin kronik inflamatuvar artritli hastalıklarda etkinliğini araştıran, Cozzi ve ark. tarafından yayınlanan derlemede; balneoterapi, ankilozan spondilit, ve enteropatik artrit gibi baskın aksiyal tutulumu olan hastalarda hastalığın klinik seyrini oldukça iyileştirdiği; romatoid artrit gibi baskın periferik eklem iltihabı olan hastalarda etkiler daha az olumlu olduğu sonucuna varmışlardır. Psoriatik artritli hastalarda da iyi sonuçlar gözlenmiştir [19].

Dermatoloji bu tedavi yöntemini belki de en eski kullanan branşlardan birisidir. Geat ve ark. tarafından İtalya Comano termal kaynak suyu tesisinde, 27.7° C sıcaklığa, nispeten yüksek konsantrasyonlarda bikarbonat (196,56 mg / L), kalsiyum (48,90 mg / L) ve magnezyum (12,16 mg/L) içeren ama düşük genel salin içeriği (kuru kalıntı 190 mg / l) olan termal sularda 867 atopik dermatit tanılı pediatrik hastanın dahil edildiği çalışmada, bireysel küvetlerde 2-20 dk süren tüm vücut daldırma şeklinde 12-24 seans uygulanan balneoterapinin hastalığın şiddetini azaltabildiğini göstermişlerdir [20]. Peinemann ve ark. tarafından yayınlanan kısaltılmış Cochrane derlemesinde, kronik plak psoriasisli hastalarda ultraviolet B uygulamasının balneoterapi ile birlikte uygulanmasının daha müspet sonuçlar elde edilmesini sağladığını göstermişlerdir [21].

Ruh sağlığı ve hastalıkları alanında da balneoterapi ile başarılı sonuçlar elde edilen çalışmalar bulunmaktadır. Naumann ve ark. tarafından orta şiddette depresyona sahip 45 hastanın dahil edildiği çalışmada 15-20 dk süreli 40 °C sıcaklığa sahip hipertermik banyo tedavisi ile egzersiz tedavisi karşılaştırılmış ve hipertermik banyo tedavisi alan hastalarda Hamilton depresyon derecelendirme skorunun daha belirgin azaldığını göstermişlerdir [22].

Metabolik sendromun bir parçası olan ve gerek kardiyovasküler gerekse nörolojik birçok hastalık için risk faktörü olan obezite, balneoloji araştırmalarında çalışılan bir diğer konudur. Koçak ve ark. tarafından 44 morbit obez hastanın dahil edildiği bir çalışmada, balneoterapi morbid obezitesi olan kadınların uyku ve yaşam kalitesini iyileştirdiği gösterilmiştir. Bu çalışmada gösterildiği üzere balneoterapi sonrası glikoz, leptin, adiponektin ve visfatin seviyeleri pozitif yönde değişebilir [23].

Kardiyovasküler sistem hastalıklarına sahip hastalar, balneoterapinin hedef popülasyonlarından biridir. Persyanova-Dubrova ve ark. tarafından yayınlanan sistematik derlemede, dahil edilen yedi çalışmada balneoterapinin kan basıncı, vücut kitle indeksi, lipid profili, fiziksel aktivite ve morbidite - mortalite oranları gibi sonlanım noktalarında olumlu sonuçlar olduğunu bildirseler de, yazarlar çalışma protokollerinin yüksek heterojenitesi ve metodolojik kalitesi nedeniyle balneoterapinin kardiyovasküler riski önlemedeki etkinliğini tartışmalı olduğunu düşünmektedirler [24]. Yuan ve ark. tarafından yapılan, hipertansiyon hastalarında balneoterapinin etkinliğinin değerlendirdiği derlemede, yazarlar tek başına balneoterapinin veya ilaçlara ek olarak uygulanan balneoterapinin veya diğer non farmako-

lojik yöntemlerle birlikte uygulanan balneoterapinin yan etkiye sahip olmadığını, bir çok olumlu etkisi olduğunu ifade etmektedirler [25].

Balneoterapinin bu kadar geniş kullanım alanı olmasına karşın kontrendikasyonları görece az olup Tablo 3 ve 4 te gösterilmiştir [5], [7], [8].

Tablo 3. Balneoterapinin Mutlak Kontrendikasyonları

Akut febril hastalıklar
Akut veya kronik enfeksiyöz hastalıklar
Dekompanse organ ve sistem yetmezlikleri
Kanama diyatezi olanlar
Onkolojik hastalıklar
Akut obstrüksiyonlar (Üriner, bilier, intestinal)
Kronik progresif hastalıklar

Tablo 4. Balneoterapinin Rölatif Kontrendikasyonları

Kontrol altında olmayan hipertansiyon	Anemi
Miyokart infarktüsü sekeli	Gebelik
Kompanse kalp hastalığı	Kognitif fonksiyon bozuklukları
Buerger hastalığı	Menopoz
Varisler	Geriatric
Ven trombozları	Flebitler
Tip 2 Diabetes Mellitus	

Kaplıca tedavisinin nadir görülen bir komplikasyonu termal kriz olarak tanımlanmıştır. Termal kriz, tekrarlanan hipofiz-sürrenal aksı stimülasyonunun yarattığı rölatif sürrenal yetmezlik durumudur. Genellikle tedavinin 1 veya 2. haftası meydana gelir. Krizin şiddet ve süresi, banyonun süresine, dozuna, ısısına ve mineral yüküne göre değişir. Havanın ısı ve nem oranı da bunu etkiler. Semptomları arasında ekstremitelerde güçsüzlükleri, bradikardi veya taşikardi, iştahsızlık, yorgunluk, kas tonusu değişiklikleri, başta ağırlık hissi, tremor, ateş, dalgalılık, uyku bozukluğu, irritabilite bulunur. Laboratuvar bulgusu olarak sedimantasyon yüksekliği, bazen lökositöz, eozinofil oranında değişme, kan lipid düzeyinde azalma, idrarda 17 ketosteroid artışı görülebilir [5], [7], [8].

SONUÇ

Jeoenerjinin sağlıkla ilişkili kullanım alanlarından biri olan balneoterapi, lokomotor sistem hastalıkları başta olmak üzere birçok hastalıkta, farmakolojik olmayan bir tedavi yöntemi olarak yüzyıllardır kullanılmaktadır. Balneoterapi üzerine yapılan bilimsel araştır-

malar birçok hastalıkta etkinliğini kanıtlamaktadır. Ülkemizde bulunan kaynakların daha verimli kullanılması, konforunun artırılması, tanıtımının artırılması, diğer non farmakolojik tedavi yöntemleri ile kombine edilmesi ile balneoterapiden gerek daha fazla hasta istifade edecek, gerekse uluslararası termal turizme ülkemiz lehine katkıda bulunulacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Mergen H, Erdoğan MB., Erdoğan AB. Jeotermal Enerji Ve Balneoterapi Uygulamaları. *FTR Bil Der J PMR Sci.* 2006; 9(3), 108-113
- [2] MTA (2021). *Jeotermal enerji araştırmaları.* (26.05.2021 tarihinde <https://www.mta.gov.tr/v3.0/araştırmalar/jeotermal-enerji-araştırmaları> adresinden ulaşılmıştır.)
- [3] Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. (1997). *Enerji ve Çevre*, Ankara: Sağlık Bakanlığı Yayınları.
- [4] Global Wellnes Institute (2018). Global spa & wellnes econmy monitör. (26.05.2021 tarihinde https://globalwellnessinstitute.org/wpcontent/uploads/2018/10/Research2018_v5FINALExecutiveSummary_webREVISED.pdf adresinden ulaşılmıştır.)
- [5] Karagülle, M.Z. (2016). Kaplıca tedavisi, Balneoterapi, Peloidoterapi, Hidroterapi. Mehmet Beyazova, Yeşim Gökçe Kutsal (Eds.), *Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon* içinde (s. 897-911). İstanbul: Güneş Tıp Kitabevi
- [6] Gökçe N. Edirne Vilayet Sânamelerine Göre Osmanlılar Döneminde Edirne'nin Sıcak Su ile Tedavi Merkezleri. *Trakya Üniv. Tıp Fak. Derg.*, 2005; 22(2), 110-16.
- [7] Karagülle, M.Z., Doğan, M.B. (2002). *Kaplıca Tıbbı ve Türkiye Kaplıca Rehberi*, İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri
- [8] Hayta, E., Hizmetli, S. (2015). Balneoterapi. Hasan Oğuz (Ed.) *Tıbbi Rehabilitasyon* içinde (s. 201-208). İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi.
- [9] Dogan M, Sahin O, Elden H, ve ark. *Additional therapeutic effect of balneotherapy in low back pain. South Med J.* 2011; 104(8), 574-8. doi: 10.1097/SMJ.0b013e318224644f.
- [10] Karaarslan F, Yılmaz H, Akkurt HE, ve ark. Effectiveness of peloid therapy in patients with chronic low back pain: a single-blind controlled study. *Int J Biometeorol.* 2021; ahead of print. doi: 10.1007/s00484-021-02137-6.
- [11] Tuulik VR, Kumm M, Tuulik V, ve ark. The therapeutic effect of Värška mud and Värška mineral water baths on the overuse pain and muscle tension syndromes in the working age population. *Environ Geochem Health.* 2021; ahead of print. doi: 10.1007/s10653-021-00951-w.
- [12] D'Angelo D, Coclite D, Napoletano A, ve ark. The efficacy of balneotherapy, mud therapy and spa therapy in patients with osteoarthritis: an overview of reviews. *Int J Biometeorol.* 2021; ahead of print. . doi: 10.1007/s00484-021-02102-3.
- [13] Tenti S, Manica P, Chelieschi S, ve ark. Sulfurous-arsenical-ferruginous balneotherapy for osteoarthritis of the hand: results from a retrospective observational study. *Int J Biometeorol.* 2020; 64(9), 1561-1569. doi: 10.1007/s00484-020-01937-6.
- [14] Koç C, Kurt EE, Koçak FA, ve ark. Does balneotherapy provide additive effects to physical therapy in patients with subacute supraspinatus tendinopathy? A randomized, controlled, single-blind study. *Int J Biometeorol.* 2021; 65(2), 301-310. doi: 10.1007/s00484-020-02032-6.

- [15] Cao CF, Ma KL, Li QL, ve ark. Balneotherapy for Fibromyalgia Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2021; 10(7). 1493. doi: 10.3390/jcm10071493.
- [16] Çetinkaya FN, Koçak FA, Kurt EE, ve ark. The Effects of Balneotherapy on Oxidant/Antioxidant Status in Patients With Fibromyalgia: An Observational Study. *Arch Rheumatol*. 2020; 35(4), 506-514. doi: 10.46497/ArchRheumatol.2020.7857.
- [17] de Brito RN, Ludtke DD, de Oliveira BH, ve ark. Balneotherapy decreases mechanical hyperalgesia by reversing BDNF and NOS2 immunocontent in spinal cord of mice with neuropathic pain. *J Neuroimmunol*. 2020; 15, 348-57. doi: 10.1016/j.jneuroim.2020.577360.
- [18] Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SM, Boers M, ve ark. Balneotherapy (or spa therapy) for rheumatoid arthritis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015; 2015(4). doi: 10.1002/14651858.CD000518.pub2.
- [19] Cozzi F, Ciprian L, Carrara M, ve ark. Balneotherapy in chronic inflammatory rheumatic diseases-a narrative review. *Int J Biometeorol*. 2018; 62(12), 2065-2071. doi: 10.1007/s00484-018-1618-z.
- [20] Geat D, Giovannini M, Barlocco EG, ve ark. Characteristics associated with clinical response to Comano thermal spring water balneotherapy in pediatric patients with atopic dermatitis. *Ital J Pediatr*. 2021; 47(1), 91. doi: 10.1186/s13052-021-00971-3.
- [21] Peinemann F, Harari M, Peternel S, ve ark. Indoor balneophototherapy for chronic plaque psoriasis: Abridged Cochrane Review. *Dermatol Ther*. 2021; 34(1). doi: 10.1111/dth.14588.
- [22] Naumann J, Kruza I, Denkel L, ve ark. Effects and feasibility of hyperthermic baths in comparison to exercise as add-on treatment to usual care in depression: a randomised, controlled pilot study. *BMC Psychiatry*. 2020; 20(1), 536. doi: 10.1186/s12888-020-02941-1.
- [23] Koçak FA, Kurt EE, Milletli Sezgin F, ve ark. The effect of balneotherapy on body mass index, adipokine levels, sleep disturbances, and quality of life of women with morbid obesity. *Int J Biometeorol*. 2020; 64(9), 1463-1472. doi: 10.1007/s00484-020-01924-x.
- [24] Persiyanova-Dubrova AL, Badalov NG, Marfina TV, ve ark. Balneotherapy and modification of risk factors in cardiovascular disease prevention programs. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult*. 2019; 96(4), 49-57. doi: 10.17116/kurort20199604149.
- [25] Yuan D, Yu ZX, Wang W, ve ark. Head-out immersion in natural thermal mineral water for the management of hypertension: a review of randomized controlled trials. *Int J Biometeorol*. 2019; 63(12), 1707-1718. doi: 10.1007/s00484-019-01780-4. Epub 2019 Aug 11. PMID: 31402400.

SIVAS'IN TERMAL SAĞLIK TURİZMİ POTANSİYELİ

Nurperihan Tosun^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü

ÖZET

Sağlık turizmi, sağlık ve turizm sektörlerinin bir arada olduğu katma değeri yüksek sektörlerden biridir. Termal turizm sağlık turizminin en eski türü olarak ele alınmakta olup, termal suların isan sağlığı, rekreasyon, zindelik ve dinlenme gibi amaçlarla kullanılması olarak tanımlanabilir. Türkiye önemli bir jeotermal kuşak üzerinde bulunmakta olup, zengin ve kaliteli jeotermal kaynaklara sahip bir ülkedir. Sivas Sıcak Çermik, Balıklı Kaplıcası ve Soğuk Çermik gibi önemli termal kaynaklara sahip olmakla birlikte, doğası, kültürü ve termal sularının özellikleriyle birlikte gelişmekte olan termal sağlık turizmi destinasyonu olduğu söylenebilir. Bu çalışmada Sivas ilinin termal sağlık potansiyeli incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Termal Sağlık Turizmi, Sağlık Turizmi, Sivas Potansiyeli.

ABSTRACT

Health tourism is one of the sectors with high added value, where health and tourism sectors come together. Thermal tourism is considered as the oldest type of health tourism and can be defined as the use of thermal waters for purposes such as human health, recreation, wellness and rest. Turkey is located on an important geothermal belt and is a country with rich and high quality geothermal resources. Although Sivas has important thermal resources such as Hot Çermik, Balıklı Spa and Cold Çermik, it can be said that it is a developing thermal health tourism destination with its nature, culture and thermal waters. In this study, the thermal health potential of Sivas province will be examined.

Keywords: Thermal Health Tourism, Health Tourism, Sivas Potential.

Termal Turizm

Sağlık turizminin en eski türlerinden biri olan termal turizm özellikle Avrupa ülkeleri tarafından öncelikli konulardan biridir. Termal turizm, termomineral sularla yapılan banyolar, bu suların içilmesi ve solunması yoluyla yapılan tedaviler olarak ifade edilebilir [1]. Termal turizm, termomineral su banyosu, inhalasyon, içme, çamur banyosu gibi çeşitli yöntemlerin yanı sıra egzersiz, fizik tedavi ve rehabilitasyon, diyet, psikoterapi vb. destekleyici tedavilerinin birleştirilmesi ile yapılan kür uygulamalarını içermektedir. Termal tesislerde sunulan bu kürlerle birlikte termal suların rekreasyon ve eğlence amaçlı kullanımında eklenmektedir. Kaplıca tedavilerinde kullanılan bir takım yöntemler bulunmaktadır. Bunlar ara-

sında; kür, balneoterapi, klimaterapi, peloidterapi, talassoterapi ve inhalasyon uygulamaları yer almaktadır. Bu kavramlar aşağıda açıklanmaktadır [2-6].

- *Balneoterapi*: termomineral suların, peloidlerin (tıbbi çamur) ve gazların içme, solunma ve banyo uygulamaları şeklinde, yöntem ve dozları önceden belirlenerek belirli bir zaman aralığında düzenli olarak tedavi şeklinde uygulanmasıdır.
- *Kür*: Tedavinin sürekli olarak ve düzenli aralıklarla ve belirli dozlarda, uygulanması ile ortaya çıkan tedavi türüdür.
- *Klimaterapi*: Klimatik faktörlerin olumlu ve yararlı etkilerinin kür merkezlerinde tedavi için uygulanmasıdır.
- *Peloidterapi*: Doğal çamur veya toprak ile maske ve banyo gibi uygulamaların yapıldığı tedavi yöntemidir.
- *Talassoterapi*: Deniz suyunda bulunan tuz, mineral ve yosun gibi çeşitli unsurların insan sağlığı için kullanılması ile ortaya çıkan tedavi şeklidir.
- *Inhalasyon Uygulamaları*: Termomineral su tanelerinin gaz ve buhar yolları ile vücuda alınması sonucu gerçekleştirilen solunma uygulamasıdır.

Termal suları birbirlerinden farklı özelliklere sahip olup bu doğrultuda da tedavi edici özellikleri birbirinden farklı olmaktadır. Aşağıda Tablo 1'de termal kaynak suları ve tedavi edici özellikleri yer almaktadır.

Tablo 1. Termal Kaynak Suları ve Tedavi Edici Özellikleri [7].

Termal Kaynağın Özelliği	Tedavi Edici Özelliği
Sodyum Klorürlü Sular	Astım, bronşit, kan dolaşımı, yorgunluk, sinir ve deri hastalıkları
Hidrokarbonatlı ve Karbonatlı Sular	Böbrek ve idrar yolları, romatizmal hastalık ve yeme-içme bozuklukları
Sülfatlı Sular	Böbrek ve idrar yolları, romatizmal hastalık ve yeme-içme bozuklukları
Demirli Sular	Kanda bulunan demir oranında azalma
Arsenli Sular	Bünyenin zayıflaması
İyotlu Sular	Kalp, kan dolaşımı, göz ve solunum yolu rahatsızlıkları
Kükürtlü Sular	Romatizma, kadın, deri, göz ve solunum yolu rahatsızlıkları
Radonlu Sular	Hormonal bozukluklar, kalp ve damar hastalıkları, romatizmal hastalıklar

Termal turizm diğer turizm çeşitleri ile kıyaslandığında bireylere, tesislere ve sektöre bir takım faydalar sağlamaktadır [1], [8]. Bireylerin sağlıklarını iyileştirmekle birlikte aynı zamanda bireylerin daha zinde olmalarını sağlamak amacı ile hem eğlenip hem de

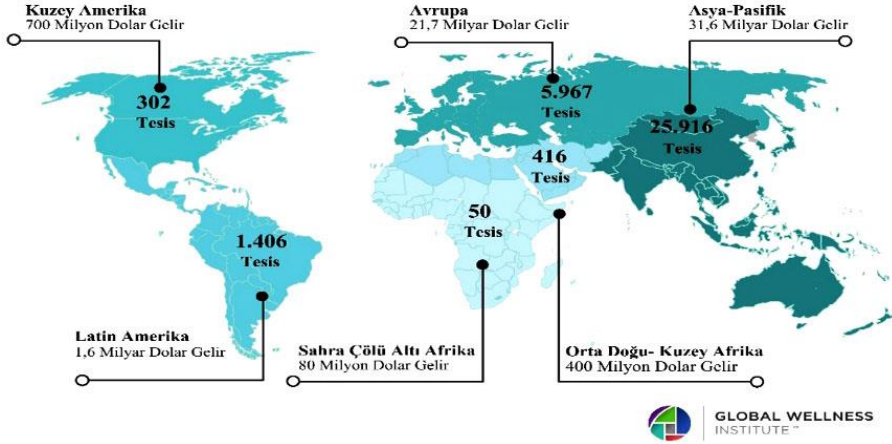
dinlenme olanaklarını bir arada sunmaktadır. Tedavi süresine bağlı olarak kalış süresi uzundur. Yılın 12 ayı turizm fırsatı sunduğu için turizmde süreklilik sağlamaktadır. Tesislerde yüksek doluluk ve oranına ulaşılmaktadır. Yüksek istihdam sağlamaktadır. Diğer turizm türleriyle kolay entegre olmakta ve bölgesel turizmin dengeli biçimde gelişmesi için fırsatlar sunmaktadır. Tesisler maliyetlerini hızlı bir şekilde geri ödeyebilme potansiyeline sahip olup, karlı bir yatırım olarak değerlendirilmektedirler [9].

Türkiye’nin Termal Turizm Potansiyeli

Termal turizm dünya genelinde değerlendirildiğinde Güney, Orta ve Doğu Avrupa, Asya, Güney Amerika, ve Kuzey Afrika ülkelerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Global Wellness Enstitüsü (2018) termal turizme ait termal kaplıca sayıları ve gelirleri bölgelere göre aşağıda Şekil 1’de yer almaktadır [10]. Rapora göre dünya genelinde 34.057 termal kaplıca tesisi bulunmaktadır. Toplam 56,08 milyar dolar gelir elde edilmiştir. En fazla tesis sayısına sahip bölge 25.916 tesisle Asya-Pasifik bölgesidir. Termal turizm gelirleri açısından 31,6 milyar dolar gelirle en fazla termal turizm geliri elde eden bölge olmuştur.

Bölgelere Göre Termal Kaplıcalar 2017

Termal Kaplıca Tesis Sayıları ve Gelirleri



Şekil 1. Dünyada Bölgelere Göre Termal Kaplıca Tesis Sayıları ve Gelirleri

Türkiye Alp-Himalaya kuşağında yer almakta olup jeotermal kaynak bakımından oldukça zengin bir ülkedir [11]. Türkiye’nin sahip olduğu jeotermal kaynak haritası Şekil 2’de sunulmuştur.



Jeotermal kuşak üzerinde yer alan Türkiye’de yaklaşık olarak 1300 jeotermal kaynak bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık sağlayan jeotermal kaynakların %78 gibi büyük bir kısmı Ege Bölgesi’nde yer almaktadır olup %9 İç Anadolu, %7 Marmara, %5 Doğu Anadolu ve %1 diğer bölgelerine dağılmıştır [13].

Sivas’ın Termal Turizm Potansiyeli

Sivas’ın termal turizm potansiyeli incelendiğinde üç önemli merkeze sahip olduğu söylenebilir. Bunlar Sivas Sıcak Çermik, Sivas Soğuk Çermik ve Sivas Kangal Balıklı Kaplıcasıdır.

Sivas Sıcak Çermik, şehir merkezine yaklaşık 35 km uzaklıktadır. Kaplıcadaki 46-50°C olan su sıcaklığı olup başta romatizmal hastalıkları olmak üzere sinir ve kas rahatsızlıkları, kadın hastalıklarına da iyi geldiği bilinmektedir. Belediye tarafından işletilen 50 ve 457 yatak kapasiteli 2 otel ve 2 özel işletmeli otel bulunmaktadır. Ayrıca Sivas Cumhuriyet Üniversitesi’ne ait 15 yatak kapasiteli Fizik Tedavi Hastanesi bulunmaktadır [14].

Sivas Soğuk Çermik, şehir merkezine 20 km uzaklıkta bulunmaktadır. Termal merkezin suyu 28°C derece olup kaplıca suyunun mide, bağırsak ve sinir sistemi hastalıklarına iyi geldiği bilinmektedir [15].

Kangal Balıklı Kaplıcası ise, şehir merkezine 90 km uzaklıkta bulunan Kangal ilçesinde faaliyet göstermektedir. Suyun içerisindeki kimyasal maddelerin fazlalığından dolayı, deri hastalıklarından romatizmal hastalıklara kadar birçok hastalığa iyi gelmektedir. Özellikle sedef hastalığında etkili bir balneoterapi merkezi olduğu bilinmektedir [16]. Kaplıca suyunda tedavide rol oynayan selenyum gibi birçok element bulunmaktadır. Sivas Kangal Balıklı Kaplıcasını dünyadaki diğer balneoterapi merkezlerinden ayırarak özellikli kılan Cyprinidae familyasına ait iki tür içinde yaşayan balıklardır [17]. Kaplıca özel

sektör tarafından işletilmektedir olup, 2003 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından “Sağlık Tesisi” olarak tescillenmiştir [18].

SONUÇ

Sağlık turizminin alt türlerinden biri olan termal turizm açısından değerlendirildiğinde Türkiye önemli bir jeotermal kuşak üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle de zengin ve mineral kalitesi yüksek jeotermal kaynaklara sahiptir. Sağlık turizminin önemli ve en eski türü olarak karşımıza çıkan termal turizmden başta Almanya, Macaristan, Fransa ve Çek Cumhuriyeti gibi Avrupa ülkeleri ciddi gelirler elde etmekle birlikte ülkemizde de özellikle fizik tedavi ve rehabilitasyon alanında kullanımı yaygınlaşmaktadır. Sivas Kuzey Anadolu Termal Turizm Kentleri Bölgesine yer almakta olup Sivas Sıcak Çermik, Sivas Soğuk Çermik ve Sivas Kangal Balıklı Kaplıcalarına sahiptir. Özellikle Sivas Kangal Balıklı Kaplıcası balneoterapi anlamında dünyadaki üç önemli merkezden biridir. Sonuç olarak Sivas’ın termal turizm potansiyeli değerlendirildiğinde önemli kaynaklara sahip olduğu ve altyapı, tesis, hizmet kalitesi ve pazarlama faaliyetlerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Akınoğlu, F., ve Erdoğan, E.(2008). Termal Turizm ve Afyon-Gazlıgöl Örneği. e-Journal of New World Sciences Academy Natural and Applied Sciences. 3/1:83-92.
- [2] Karagülle, M. Z. ve Karagülle, M. (2000). Yaşlılıkta Balneoterapi ve Kaplıca Tedavisi. Türk Geriatri Dergisi. 3: 119-124.
- [3] Hüsmenoğlu, M. (2016). Peloidoterapi ve Hemşirelik Rollerini. G.O.P Taksim E.A.H. JAREN, 2(1): 40-43.
- [4] Uğurlu K., Bozkurt, A. K., ve Kayıkçı, M. Y. (2016). Sağlık Turizminde Yeni Bir Trend: Talassoterapi. JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy. 1: 172-189.
- [5] Türkiye Sağlık Turizmi Cep Kitabı. (2014). Erişim: <http://www.ipsa.org.tr/upload/kitap/visitturkeyforhealthcare-pocket-book-tr.pdf> Erişim Tarihi:05.09.2021.
- [6] Özdemir, Ş. (2015). Türkiye’nin Termal Sağlık Turizmi Potansiyeli. Termal Turizm kitabı içinde (bölüm1, sayfa1-12). Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.: Ankara.
- [7] Bucak, T. ve Özkaya, E. (2013). Çanakkale İlinin Termal Turizm Potansiyeli. Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 5(2), 7-23.
- [8] Piri, T. (2009). Turizm Bakanlığının Termal Turizmde 2023 Vizyonu ve Teşvikler. 2. Uluslararası Sağlık Turizmi Kongresi, Antalya.
- [9] Zengin, B. ve Eker, N. (2016). Sakarya İli Termal Turizm Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Kastamonu Üniversitesi İİBF Dergisi. 13: 165-181.
- [10] Global Wellness Enstitüsü. (2018). Thermal/Mineral Springs Sector Erişim: <https://globalwellnessinstitute.org> Erişim Tarihi:05.08.2021.
- [11] Aksu, C. ve Aktuğ, E. (2011). Güney Ege Bölgesi Termal Turizm Araştırması. Güney Ege Kalkınma Ajansı: 1-42.

- [12] MTA Genel Müdürlüğü. (2021). Jeotermal Harita. Erişim: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita> Erişim Tarihi:14.08.2021
- [13] Yılmaz, M. ve Atay, Ö. (2018) Ayaş'ta Termal Turizm Potansiyeli ve Çevresel Etkileri, Geçmişten Geleceğe Taşınan Miras. Ankara Üniversitesi Basım Evi, Ankara.
- [14] T.C. Sivas Valiliği.(2021a).Sıcak Çermik. Erişim: <http://www.sivas.gov.tr/sicak-cermik> Erişim Tarihi:11.09.2021.
- [15] T.C. Sivas Valiliği.(2021b). Sivas Soğuk Çermik. Erişim: <http://www.sivas.gov.tr/sivas-soguk-cermik> Erişim Tarihi:05.09.2021.
- [16] Özçelik S., Hayta Berksoy, S. (2015). Balneotherapy in Kangal hot spring with fish, Cumhuriyet Medical Journal, 37(3): 170-175.
- [17] Tosun, M., Tosun, N., & Sağlık, E. (2019). Sedef Hastalarının Sivas Kangal Balıklı Kaplıcası Algılarının Değerlendirilmesi. In International Congress on Tourism, Economic and Business Sciences-ICTEBS (pp. 19-21).
- [18] T.C. Sivas Valiliği.(2021c).Kangal Balıklı Kaplıca. Erişim: <http://www.sivas.gov.tr/kangal-balikli> Erişim Tarihi:05.09.2021.

BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ VE SAĞLIK İLİŞKİSİ

ENERJİ KAYNAKLARININ SEBEP OLDUĞU HAVA KİRLİLİĞİNİN AKCİĞER SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Serdar Berk^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Tıp Eğitimi, Dahili Tıp Bilimleri Bölümü, Göğüs Hastalıkları

ÖZET

Hava kirliliği, hem insan yapımı hem de doğal kaynaklardan gelen zararlı maddelerin bir karışımıdır. Araç emisyonları, akaryakıtlar ve evleri ısıtmak için kullanılan doğal gaz, elektrik üretiminin yan ürünleri, özellikle kömür yakıtlı elektrik santralleri ve kimyasal üretimden kaynaklanan dumanlar insan kaynaklı hava kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır. Bu çalışmada enerji kaynaklarının sebep olduğu hava kirliliğinin akciğer sağlığı üzerine etkileri incelenmiştir.

Keywords: Hava Kirliliği, Akciğer Sağlığı, Enerji Kaynakları.

ABSTRACT

Air pollution is a mixture of harmful substances from both man-made and natural sources. Vehicle emissions, fuel oils and natural gas used to heat homes, by-products of electricity generation, especially coal-fired power plants and fumes from chemical production are the main sources of human-induced air pollution. In this study, the effects of air pollution caused by energy sources on lung health were investigated.

Keywords: Air Pollution, Lung Health, Energy Sources.

GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün son verilerine göre, hava kirliliği şu anda dünyanın en büyük çevresel sağlık riski olduğu kabul edilmektedir ve her yıl yaklaşık 7 milyon önlenebilir ölümden sorumlu olduğu düşünülmektedir. Bunların 4.2 milyonunun dış ortam, 3.8 milyonunun ise iç ortam hava kirliliği ile ilişkili olduğu hesaplanmıştır. İnsanlar için ciddi bir morbidite ve mortalite nedeni olan bu küresel sorunun önemi herkesçe bilinmesine karşın dünyadaki kentlerin yalnızca %9'u hava kalitesi bakımından DSÖ kılavuzunda önerilen seviyelere ulaşabilmektedir [1].

Hava kirliliğinin başta solunum sistemi olmak üzere, kardiyovasküler sistem, sinir sistemi, serebrovasküler sistem, üreme kapasitesi ve gebelik, çocuk sağlığı, yaşlı sağlığı, üzerine zararlı etkileri olduğu öteden beri bilinmektedir. Bu makalede enerji kaynaklarının sebep olduğu hava kirliliğinin akciğer sağlığı üzerine zararlı etkileri tartışılmıştır.

Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları farklı biçimlerde sınıflandırılabilirler. Kullanışlarına göre *yenilenebilir enerji kaynakları* (Hidrolik, bitkisel, hayvansal, rüzgâr, güneş, jeotermal, deniz, dalga) ve *yenilenemez enerji kaynakları* (Fosil yakıtlar; kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji; uranyum, plütonyum, toryum) şeklinde sınıflandırılabilir [2].

Sanayi ve santrallerde enerji üretimi için kullanılan fosil yakıtlar, ulaşım için kullanılan fosil yakıtlar, evlerde ısınma ve pişirme amaçlı odun, kömür, tezek yakılması, tarımda anızın yakılması gibi faaliyetler enerji kaynaklarının kullanımına bağlı olarak iç ve dış ortam hava kirliliği oluşmasına neden olurlar [3].

Hava Kirliliği

Hava kirliliği, canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen havadaki yabancı maddelerin normalin üzerindeki miktar ve yoğunluğa ulaşması olarak tanımlanabilir. İnsanlar; endüstriyel faaliyetler, trafik, ulaşım, orman yangınları, katı yakıt kullanımı gibi durumlara bağlı olarak dış ortam hava kirliliğine maruz kalabildikleri gibi, kapalı ortamlarda katı yakıt kullanımı, kötü havalandırma, tütün kullanımı gibi durumlara bağlı olarak da iç ortam hava kirliliğine maruz kalabilirler [1].

Hava kirliliği genellikle havadaki ozon (O_3), karbon monoksit (CO), Sülfür dioksit (SO_2), Nitrojen oksit (NO), likidler ve partiküler maddeler (PM) gibi bileşenlerin miktarına göre tanımlanır. Kirlilik oranı ise genellikle PM_{10} ve SO_2 ile belirlenir. PM; eksoz gazı, orman yangını, sigara dumanı, volkanik gazlar veya deniz suyunun buharlaşması, katı ve sıvı bileşenlerin atmosfere karışması sonucu oluşur. PM başka bir ifadeyle "aerosol" olarak adlandırılır [4].

Hava kirliliğinin akciğerler üzerine etkileri

Hava kirliliğinin akciğer sağlığı üzerine olumsuz etkilerini açıklamak için çeşitli mekanizmalar öne sürülmüştür. En tutarlı ve en çok kabul gören görüş; yüksek konsantrasyonlardaki PM, O_3 ve azot oksit gibi kirleticilerin solunum epiteli ile bir kez temas ettiğinde çeşitli boyut ve bileşimlerdeki oksidan ve pro-oksidan oluşumuna neden olmasıdır. Böylelikle oksijen ve nitrojen serbest radikalleri hava yollarında oksidatif strese neden olmaktadır. Antioksidanlar tarafından nötralize edilemeyen serbest radikallerdeki artış, sistemik dolaşıma ulaşan inflamatuvar hücrelerin ve mediatörlerin (sitokinler, kemokinler ve adezyon molekülleri) salınımı ile inflamatuvar yanıtı başlatarak inflamasyona yol açarlar. Bu süreç sonucunda yalnızca solunum sistemi olumsuz etkilemekle kalmaz sistemik dolaşıma karışan bu mediatörler başkaca organ ve sistemlerde de inflamatuvar bir yanıt oluştururlar [5], [6].

Bu inflamatuvar süreç nedeniyle solunumsal semptomlarda, hava yolu tepkilerinde, hastane başvuru sayılarında, hastaneye yatış ve ölüm sayılarında artış, akciğer fonksiyonlarında azalma, astım ve KOAH gibi obstrüktif hastalıkların alevlenme ve akciğer kanseri riskinde artış şeklinde sonuçlar karşımıza çıkmaktadır [7].

Tablo 1. Hava kirliliğinin kaynakları ve akciğerler üzerine etkileri [7].

Kirleticiler	Kaynaklar	Akciğerler üzerine etkileri
PM ₁₀	İç ortam hava kirliliği ve orman yangınları	Hava yollarında inflamasyonla ilişkili akciğer hastalıkları
PM _{2.5}	Fosil yakıtlar, araç egzozları, endüstriyel üretim, enerji santralleri	Akciğerlerin derinlerine nüfus ederek sistemik dolaşıma geçebilirler.
Ozon (O ₃)	Güneşli, sıcak havalarda kimyasal reaksiyonlar sonucu	Solunum yolları için güçlü irritandır. Pnömoni, astım, KOAH alevlenmeleri
Nitrojen Oksit (NO ₂)	Fosil yakıtların yanması, pişirmek için gaz kullanılması	Pnömoni, astım, hava yolu inflamasyonu, akciğer fonksiyon kaybı
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)	Dizel motorlarda fosil yakıtların tam yanmaması sonucu	Nazal ve solunum sistemi ve semptomları
Sülfür dioksit (SO ₂)	Kükürt bazlı kömür ve petrolün yanmasıyla oluşur.	Astım ve kronik bronşit alevlenmeleri
Karbon monoksit (CO)	Petrol türevi yakıtların tam yanmamasıyla oluşur. Taşıtlar, kömür kullanılan durumlar.	Solunum zorluğu, ölüm
Uçucu organik bileşikler (UOB)	Fosil yakıtlardan dönüştürülen kimyasallar iç ortam hava kirliliği yapar.	Astım atakları Solunum güçlüğü Kanser

Epidemiyolojik çalışmalar gaz halindeki kirleticilere ve PM'ye maruz kalmanın, burun akıntısı, burun tıkanıklığı, öksürük, laringospazm, ses tellerinde fonksiyon bozukluğu gibi üst solunum yolu semptomları ve öksürük, nefes darlığı, hışıltı gibi alt solunum yolu semptomlarını artırdığını göstermiştir [8]. Bu etki hava kirleticilerine hem akut maruziyet hem de kronik maruziyet için söz konusudur. Belleudi ve arkadaşlarının İtalya’da yaptıkları bir araştırmada PM_{2.5} konsantrasyonunda 10 µg/m³ artışın 35 yaş üstü bireylerde pnömoni nedeniyle hastaneye yatış sayısını %2.8 artırdığı bulunmuştur [9]. Kanada’da yapılan bir vaka kontrol çalışmasında ise 65 yaş üstü bireylerde NO₂ ve PM_{2.5}’e uzun süreli (≥ 1 yıl) maruz kalmanın pnömoni nedeniyle hastaneye yatış riskinde artışla ilişkili olduğu gösterilmiştir [10]. Hava kirliliği çocuklarda da akut solunum yolu enfeksiyonları açısından önemli bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir. Yirmi dört çalışmayı irdeleyen bir meta-analizde biomass dumanı maruziyeti sonucu oluşan iç ortam hava kirliliğinin çocuklarda pnömoni riskini 2 kata yakın artırdığı bildirilmiştir [11].

Tayvan’ da 12-16 yaş grubundaki 2.919 öğrenci üzerinde yapılan bir araştırmada günlük PM₁₀, SO₂, CO ve NO₂ konsantrasyonlarındaki değişikliklerin öğrencilerin solunum

fonksiyonları üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda CO konsantrasyonunda akut olarak 1 ppm'lik bir artışın solunum fonksiyon testlerinden FVC'de 69.8 mL'lik, FEV₁'de ise 73,7 mL'lik bir azalmaya yol açtığı bildirilmiştir. Yine aynı çalışmada SO₂ konsantrasyonunda 1 ppb'lik bir artış, FVC'de 12,9 mL'lik, FEV₁'de ise 11,7 mL'lik bir azalmaya yol açtığı bildirilmiştir. Akciğer fonksiyonlarındaki bu azalma daha az olmakla birlikte O₃ ve PM₁₀, maruziyetiyle de gözlemlenmiştir [12].

"Hava kirliliğinin akciğerler üzerindeki etkileri" denilince akla gelen ilk hastalıklar kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve astımdır. Bunun nedeni astım ve KOAH'ın tüm dünyada adeta "pandemi" gibi yaygın görülmesi ve ciddi bir morbidite ve mortalite nedeni olmasıdır. Dünyanın pek çok ülkesinde yapılan çalışmalarda SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀, ve PM_{2.5} konsantrasyonlarında ki artışın KOAH hastalığının alevlenmesine, acil servise başvuru sıklığının artmasına, hastaneye yatış riskinin artmasına ve nihayetinde KOAH'a bağlı ölüm riskinin artmasına neden olduğu bildirilmiştir [13].

Odun, çalı-çırpı, tezek gibi biomass yakıtlar özellikler kırsal kesimde ısınmak ve ekmek pişirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu yakıtların yanması sırasında kapalı ortama salınan duman iç ortam hava kirliliğine yol açarak başta KOAH olmak üzere kronik bronşit, astım gibi kronik akciğer hastalıklarının gelişiminde rol oynayabilmektedir. Sivas bölgesinde yapılan bir vaka-kontrol çalışmasında 30 yıldan fazla sigara dumanı maruziyeti olan kadınlarda KOAH gelişme riskini 4.9 kat, 30 yıldan fazla biomass dumanı maruziyetinin KOAH gelişme riskini 6.61 kat artırdığı hesaplanmıştır. Bu çalışma kırsal kesimde biomass dumanı maruziyetinin kadınlarda KOAH gelişimi için sigaradan daha riskli olduğunu göstermiştir [14]. Hava kirliliği ile KOAH arasındaki sebep-sonuç ilişkisi benzer şekilde astım için de söz konusudur. Yine epidemiyolojik çalışmalar göstermiştir ki hava kirlleticileri astım gelişimine, nefes darlığı, öksürük, hışıltı gibi astım semptomlarının artmasına, astımlıların atak geçirmelerine, sık hastaneye başvurmalarına ve hastaneye yatmalarına, sonuçta ölüm riskinde artmaya neden olmaktadır [15]. Amerika Birleşik Devletleri'nde çocuklarında yapılan prospektif bir çalışmada önceden astım öyküsü olmayan 3.535 okul çocuğu 5 yıl boyunca takip edilmiş, 5.yılın sonunda 265 çocukta astım geliştiği gözlenmiştir. Çalışma popülasyonundan özellikle yüksek O₃ konsantrasyonuna maruz kalan çocuklarda astım riskinin 3,3 kat daha yüksek olduğu hesaplanmıştır [16].

Akciğer kanseri ile hava kirliliği arasındaki ilişkiyi değerlendiren çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Beş yüz bin erişkin üzerinde yapılan bir çalışmada PM_{2.5} konsantrasyonunda 10µg/m³ artışın akciğer kanseri riskinde %14'lük artışa neden olduğu bildirilmiştir [17]. İyi dizayn edilmiş çalışmaları irdeleyen güncel bir meta-analizde PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonları ile akciğer kanseri sıklığı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Buna göre PM_{2.5} konsantrasyonunda 10 µg/m³ artışın akciğer kanseri riskini 1.16 kat artırdığı, PM₁₀ maruziyeti için ise bu oranın 1.23 kat olduğu hesaplanmıştır [18]. Hava kirliliği nedeniyle akciğer kanseri gelişiminin patogenezi tam olarak bilinmemekle birlikte kirlitici kanserojenlerin doğrudan veya dolaylı hasar (inflamasyon ve oksidatif stres) yoluyla çeşitli mo-

leküler süreçleri bozarak tümör baskılayıcı genlerin etkinliğini azalttığı, kanser riskini artıran onkojenlerin aktivasyonunu artırarak bu etkiyi gösterdiği düşünülmektedir [19].

Hava Kirliliği-Covid-19 ilişkisi

Araştırmalar hava kirliliği ile SARS-CoV-2 enfeksiyonu arasında pozitif ilişki olabileceğini göstermiştir [20-22]. Ülkemizden yapılan bir araştırmada ortamdaki partiküler maddelerin SARS-CoV-2 virüsü için taşıyıcı rol oynayıp oynamadıkları araştırılmıştır. On farklı ilin değişik bölgelerinde ve hastane bahçelerinden alınan değişik boyutlarda 203 ortam PM örneklerinin 20 (%9.8)sinde SARS-CoV-2 virüsüne rastlanmıştır. Böylelikle partiküler maddeler ile virüsün taşınabileceği gösterilmiştir [23].

Kapalı ortamlarda öksürük, yüksek sesle konuşma, aksırık, gülme ile açığa çıkan damlacıklar havada asılı kalabilmektedirler. Bu nedenle iç ortamda damlacık yoluyla enfeksiyon etkenlerin taşınması ve bulaşması dış ortamlara göre daha fazla olmaktadır. Çin'de 7 bin 234 Covid-19 vakası üzerinde yapılan bir çalışmada yalnızca bir vakanın dış ortamdan hastalığı kapıldığı geri kalanının ise kapalı ortamlarda virüse yakalandığı belirlenmiştir. Covid-19 pandemisi kontrol altına alınmaya kadar iç ortamlarda çoğunlukla, dış ortamlarda ise toplu hareket edilen, insanlara arası mesafenin yakın olduğu durumlarda maske takmak hastalığa yakalanma riskini azaltmak için bilimsel bir yaklaşımdır [24]. Covid-19 pandemisi sürecinde yapılan araştırmalar neticesinde iklim değişikliği ve hava kirliliği ile günlük Covid-19 vaka sayısının korelasyon gösterdiği, nitrojen oksit kirliliği olan bölgelerde bulaşmanın daha fazla olduğu, uzun süreli PM maruziyetinin hastaların yoğun bakım ihtiyacını artırabileceği, dünya genelinde Covid-19'a bağlı mortaliteyi %15 artırabileceği öne sürülmüştür [25].

İn vitro, hayvan ve insan çalışmalarda elde edilen veriler ışığında hava kirliliği ile Covid-19 hastalığı arasındaki ilişkiyi anlatan bazı mekanizmalar öne sürülmüştür. Buna göre hava kirliliğinde konsantrasyonu artan PM, O₃ ve NO₂, damlacık çekirdeği ile birlikte virüs taşınmasında rol oynayabilmektedir. Ayrıca bu maddeler makrofajların virüsü öldürme yeteneğini, surfaktan yapımını ve antioksidan sentezini azaltırken, proteaz aktiviteyi ve burun mukozasında geçirgenliği artırabilirler. Diğer taraftan yine bu moleküller UV radyasyonun geçişini bloke ederek D vitamini sentezini engellerler. Hava kirliliği sonucu oluşan ısı değişiklikleri ve bağıl nem virüsidal aktivitenin ve damlacık çekirdeği boyutunun artmasına, havayollarında silya kaybına neden olabilirler. Tüm bu süreçler sonucunda solunum sisteminin savunma direnci azalarak, konak hücreye virüsün girişi artmaktadır. Sonuç olarak hava kirliliği Covid-19 ile ilişkili morbidite ve mortaliteyi artırabilmektedir [22].

Nanopartiküller ve akciğerler

Nanopartiküller (NP): 0,1µm'den küçük partiküllerdir. Genellikle 100nm'den küçük partiküller olarak tanımlanırlar. Karbon bazlı (fullerenes, karbon nanotüb vb), metal bazlı (demir oksit vb.), yarı iletken bazlı (kuantum noktaları) şeklinde sınıflandırılabilirler [26]. Elektrik, gıda, ilaç, tıp, tekstil, kozmetik gibi alanlarında kullanılmak üzere tasarlanarak

üretilebileceği gibi, fosil yakıtların yanması, kaynak, metal işleme ve dizel motorlardan kaynaklanan emisyonlar nedeniyle de yaygın şekilde oluşarak doğaya salınmaktadır [27].

Endüstrileşmiş, trafiğin yoğun olduğu kentlerin atmosferinde yoğun olarak bulunan NP'lerin solunumu alındığında ilk hedef organı akciğerlerdir. İnhalasyonla alınan NP'ler akciğer zarlarına kadar ulaşabilirler. Özellikle yüksek boy/en oranına sahip lifsi yapıdaki nanotübler makrofajlarda fagosite edilemez ve akciğerlerde birikirler. Ortama salınan çeşitli inflamatuvar hücreler ve genotoksik, mitojenik mediatörler nedeniyle akciğerlerde kronik inflamatuvar bir süreç başlar [28]. NP'lerin immun sistem üzerine etkileri ile astım ve alerjik hastalıklar; genotoksik etkileri nedeniyle akciğer kanseri; fibrojenik etkileri nedeniyle interstisyel akciğer hastalıkları; plevral etkileri nedeniyle akciğer zarı kanseri; hematolojik sistem üzerine etkileri ile venöz trombüs ve emboli gelişebileceği ileri sürülmüştür [29]. Örneğin Fransa'da yoğun trafiğin olduğu yolların yakınlarında yaşayanlarda yapılan bir araştırmada 64 astımlı çocuğun yaşam alanlarından alınan toz örnekleri ve araç eksoz duman örnekleri ile bronkoskop yoluyla akciğerlerinden alınan bronkoalveolar sıvı örnekleri incelenmiştir. Elektron mikroskopla yapılan değerlendirmede hem toz ve eksoz örneklerinde hem de bronkoalveolar sıvılarında aynı NP'ler (karbon nanotüb) saptanmıştır. Sonuç olarak karbon nanotüblerin astım gelişimi ya da atakları ile ilişkili olabileceği vurgulanmıştır [30].

SONUÇ

Bitkisel, hayvansal kaynaklı yakıtlar veya fosil yakıtlar solunan havada SO₂, O₃, Nitrojen oksit gibi kirleticilerin konsantrasyonunu artırarak iç ve dış ortam hava kirliliğine neden olurlar. Biomass dumanı, gelişmekte olan ülkelerde özellikle kadın ve çocuklarda obstrüktif akciğer hastalıklarının gelişiminde en önemli risk bir risk faktörüdür. Hava kirliliği akciğer enfeksiyonları, astım, KOAH, akciğer kanseri, tüberküloz, kronik bronşit gibi hastalıkların gelişiminde ve hastalığın kötüleşmesinde rol oynar. Dizel egsoz partikülleri gibi nano boyuttaki ultra ince partiküller mezotelyoma, astım gibi hastalıklara yol açabilirler. Başta akciğerler olmak üzere halk sağlığını ciddi şekilde tehdit eden hava kirliliğine yol açan kömür, petrol ve doğal gaz gibi enerji sistemlerinin yerine doğaya zararsız veya daha az zararlı enerji sistemlerine yönelmek elzem gibi gözükmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (Erişim: 28.07.2021)
- [2] Koç E, Kaya K. Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makine 2015; 56:668:36-47.
- [3] <https://toraks.org.tr/site/community/news/10314> (Erişim:24.07.2021).
- [4] İbadullayeva J, Jumaniyazova K, Azimzadeh S, ve ark. Çevre Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri. Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi 2019;1(3): 52-58.
- [5] Künzli N, Perez L, Rapp R. Air quality and health. Lausanne: European Respiratory Society; 2010.

- [6] 7. World Health Organization. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: World Health Organization; 2005. <http://dx.doi.org/10.3201/eid1110.050644>.
- [7] <https://www.unicef.org/reports/clean-air-children> (Erişim: 25.07.2021).
- [8] Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and airway disease. *Clin Exp Allergy*. 2011;41(8):1059-71.
- [9] Belleudi V, Faustini A, Stafoggia M, et al. Impact of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and respiratory diseases. *Epidemiology*. 2010;21(3):414-23.
- [10] Neupane B, Jerrett M, Burnett RT, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and risk of hospitalization with community-acquired pneumonia in older adults. *Am J Respir Crit Care Med*. 2010;181(1):47-53. <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200901-01600C>.
- [11] Dherani M, Pope D, Mascarenhas M, et al. Indoor air pollution from unprocessed solid fuel use and pneumonia risk in children aged under five years: a systematic review and meta-analysis. *Bull World Health Organ*. 2008;86(5):390-398C.
- [12] Chang YK, Wu CC, Lee LT, et al. The short-term effects of air pollution on adolescent lung function in Taiwan. *Chemosphere*. 2012;87(1):26-30.
- [13] Arbex MA, Santos UP, Martins LC, et al. Air pollution and the respiratory system, *J Bras Pneumol* 2012;38(5):643-55.
- [14] H. Sezer, İ Akkurt, N Guler, et al. A case-control study on the effect of exposure to different substances on the development of COPD *Annals of epidemiology* 2006;16 (1), 59-62.
- [15] Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and airway disease. *Clin Exp Allergy*. 2011;41(8):1059-71.
- [16] McConnell R, Berhane K, Gilliland F, et al. Asthma in exercising children exposed to ozone: a cohort study. *Lancet* 2002;359(9304):386-91. Erratum in: *Lancet* 2002;359(9309):896. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)07597-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(02)07597-9).
- [17] Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 2002;287(9):1132-41.
- [18] Ciabattinia M, Rizzello E, Lucaronia F, et al. Systematic review and meta-analysis of recent high-quality studies on exposure to particulate matter and risk of lung cancer. *Environmental Research* 2021; 196.
- [19] Bai J, Meng Z. Effect of sulfur dioxide on expression of proto-oncogenes and tumor suppressor genes from rats. *Environ Toxicol*, 2010; 25: 272- 283.
- [20] L. Setti, F. Passarini, G. De Gennaro, P. Barbieri, M.G. Perrone, M. Borelli, et al. SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in northern Italy: first evidence *Environ Res*, 2020 188:109754. doi: 10.1016/j.envres.2020.109754.
- [21] E. Bontempi. First data analysis about possible COVID-19 virus airborne diffusion due to air particulate matter (PM): the case of Lombardy (Italy) *Environ Res*, 2020; 186:109639. doi: 10.1016/j.envres.2020.109639.
- [22] Bourdrel T, Annesi-Maesano I, Alahmad B, et al. The impact of outdoor air pollution on COVID-19: a review of evidence from in vitro, animal, and human studies. *Eur Respir Rev* 2021;159:200242. doi: 10.1183/16000617.0242-2020.

- [23] Kayalar Ö, Arı A, Babuççu G, Konyalılar N, et al. Existence of SARS-CoV-2 RNA on ambient particulate matter samples: A nationwide study in Turkey. *Science of the Total Environment*, 2021;789: 147976. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147976.
- [24] <https://www.toraks.org.tr/site/news/10195> (Erişim: 24.07.2021)
- [25] Pozzer A, Dominici F, Haines A, et al. Regional and global contributions of air pollution to risk of death from COVID-19. *Cardiovascular Res*, 2020; 116: 2247–2253.
- [26] C Medina, M J Santos-Martinez, A Radomski, et al. Nanoparticles: pharmacological and toxicological significance, *Br J Pharmacol*, 2007;150(5):552-8. doi: 10.1038/sj.bjp.0707130.
- [27] Andrew W. (2016). Ramachandran, Gurumurthy (ed). *Assessing nanoparticle risks to human health*. (1st ed., pp. 1-297). <https://www.sciencedirect.com/book/9781437778632/assessing-nanoparticle-risks-to-human-health> (Erişim: 25.07.2021).
- [28] Donaldson K, Fiona A, Duffin MR, et al. Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma, *Part Fibre Toxicol*. 2010; 22;7:5. doi: 10.1186/1743-8977-7-5.
- [29] Berk S. Nanopartiküllerin akciğerler üzerine etkileri. *Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi* 2019;72: 19-24.
- [30] Kolosnjaj-Tabi J, Just J, Hartman KB, et al "Anthropogenic Carbon Nanotubes Found in the Airways of Parisian Children" *EBioMedicine* 2015; 9;2(11):1697-704.

HASTANELERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE TASARRUFU UYGULAMALARI

Hilmi Ataseven^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Dahili Tıp Bilimleri Bölümü, İç Hastalıkları

ÖZET

Son yıllarda, özellikle şehirlerde artan enerji tüketimi, enerji verimliliğini artırmak için insanlara birçok fırsat sunmaktadır. Günlük hayatımızdaki küçük kişisel hareketlerden ofisler, evler veya hastaneler gibi büyük altyapıların uyarlanmasına kadar çok geniş bir çerçevede enerji verimliliği yönetimi önem kazanmaya devam etmektedir. Enerji verimliliği özellikle hastanelerde önemli olmasının sebebi yüksek ve kalıcı enerji tüketimine sahip tesisler olmalarıdır. Bu çalışmada özellikle kullanım alanları geniş olan hastane binaları için enerji verimliliği ve tasarrufu uygulamaları incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Hastane uygulamaları.

ABSTRACT

In recent years, increasing energy consumption, especially in cities, offers many opportunities to increase energy efficiency. Energy efficiency management continues to gain importance in a very broad framework, from small personal movements in our daily lives to the adaptation of large infrastructures such as offices, homes or hospitals. The reason why energy efficiency is especially important in hospitals is that they are facilities with high and permanent energy consumption. In this study, energy efficiency and saving applications will be examined, especially for hospital buildings with wide usage areas.

Keywords: Energy efficiency, Hospital applications.

GİRİŞ

Hastanelerde aydınlatma, ısıtma veya iklimlendirme, güvenlik sistemleri, izleme, asansörler, temizlik ve sterilizasyon ve ameliyathaneler insanlara yeterli hizmeti verebilmek için günde 24 saat, yılda 365 gün, aralıksız çalışmaktadır. Bu kadar yoğun kullanılan bir hizmet unsuru olan hastanelerin enerji verimliliği nasıl artırılacağı konusu, bu çalışmanın temel amacını ihtiva etmektedir. Enerji verimliliği ve enerji kullanımı, sürdürülebilirliğin ana bileşenlerinden biri olması sebebiyle de önem arz etmektedir [1].

Dünyada hastaneler için yapılan enerji verimliliği çalışmaları incelendiğinde; İskoçya'daki bir çalışmada sağlık hizmeti binalarının, İskoçya Ulusal Sağlık Hizmeti ile bağlantılı tüm binaların toplam taban alanının %29'unu temsil ettiği ortaya çıkmıştır [2].

Yunanistan'da 30 sağlık binası için denetimlerin ayrıntılı analizini gerçekleştiren başka bir çalışmada ise potansiyel küresel enerji tasarrufunu %20 hale getirebilmek için bu binalarda önemli miktarda enerji tasarrufu olabileceği tartışılmıştır [3].

Belçika'da ise bir hastanede, gaz basınçlı kazanlar, su soğutucular ile karşılaştırıldığına, bir ısı pompası ile birlikte termal enerji depolamayı kullanarak birincil enerji sisteminden %71'e kadar tasarruf etmenin mümkün olduğunu gösteren bir çalışma yapılmıştır [4].

Bir diğer çalışmada ise hastane binasının doluluk düzenindeki bir değişikliğin, yani daha fazla insan tarafından kullanılmasının, aydınlatma amaçlı daha yüksek enerji tüketimi oranlarıyla sonuçlanabileceği ve potansiyel olarak %50'lik bir artışa sebep olabileceği tespit edilmiştir [5].

Arjantin Halk Sağlığı Kurumu, farklı sağlık hizmeti tesislerinin enerji davranışı hakkında bir rapor hazırlamış ve enerji tüketim oranları ile bir dizi değişkeni incelemiş, yüzey alanı, kullanım, altyapı ve cihazlar arasındaki bağlantıları da enerji verimliliği açısından değerlendirmiştir [6]. Bu rapor aynı zamanda çalışılan değişkenler arasındaki etkileşimleri ve hizmet alımı bakımından en yaygın kullanılan binalarda sağlanan her bir özel hizmet için enerji tüketimini değerlendirmeyi, aşırı tüketim veya yetersiz altyapı alanlarını tespit etmeyi içermektedir.

Enerji Verimliliği Uygulamaları

Hastane hizmetleri alanındaki iyileştirmeler, enerji maliyetlerini azaltarak ekonomik ve çevresel yönetime de fayda sağlar. Avrupa Komisyonu'na göre, hastanelerde verimli enerji yönetimi sağlamak için uygulanabilecek üç grup önlem vardır. Birinci grup, özel finansman veya sermaye yatırımı gerektirmeyen basit önlemlerdir. Bunlar:

- Farklı ortam sıcaklıklarına sahip mekânlar arasında pencere ve kapıların açılmasının kontrol edilmesi.
- Isıtmayı sağlayan kazanların periyodik revizyonu ve bakımı.
- Soğutma sıvısı sızıntılarının giderilmesi de dâhil olmak üzere klima sisteminin periyodik revizyonu ve bakımı.
- Talep olmayan dönemlerde sıcak su sirkülasyonunun durdurulması.
- Mümkün olan her mekânda düşük tüketimli aydınlatma elemanlarının montajının sağlanması.
- Enerji tasarrufu sağlayan elektronik ekipmanların kullanımı.

İkinci grup, yöneticiler tarafından finanse edilebilecek eylemlerle ilgili düşük maliyetli uygulama önlemleridir.

- Önemli ısı kayıplarına sahip kapı ve pencerelerin sürdürülebilir malzemelerle değiştirilmesi.
- Kazanların yalıtım yüzeylerinin yükseltilmesiyle ısı kayıplarının önlenmesi.
- Su soğutmalı sistemlerin temizlenmesiyle kayıpların azaltılması.

- Havalandırma boru sisteminin optimize edilerek yeniden tasarımı.
- Dış aydınlatmanın en aza indirilmesi ve zamanlayıcıların kullanılmasıyla gereksiz tüketiminin önlenmesi.

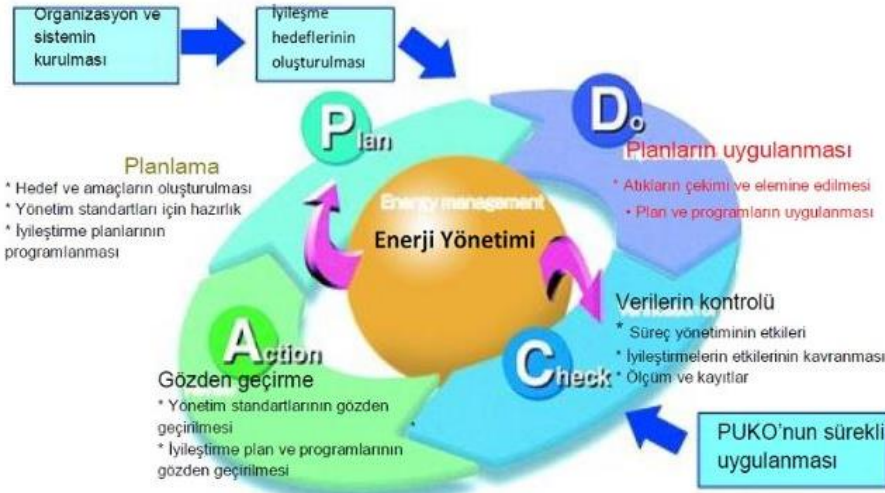
Üçüncü grup ise, yeniden yapılandırma eylemlerine ihtiyaç duyan, sermaye ve yatırım gerektiren önlemlerdir.

- Dış duvarların, çatıların, pencerelerin ısı yalıtımının sağlanması.
- Yaz aylarında ihtiyaçların karşılanması için ayrı kazan montajı.
- Güneş enerjisi veya biokütle yoluyla iklimlendirme soğutucularında soğuk su üretimi.
- Yaygın manuel muslukların fotosel kontrollü musluklar ile değiştirilmesi.
- Eşanjör ile ısı geri kazanımı.
- Hem akım hem de voltaj açısından, sağlanan gücün kalitesinin iyileştirilmesi için sistemler,

Şeklinde açıklanabilir. Çevresel veya karbondioksit ayak izini azaltmak için mükemmellik yönetimi ve bahsedilen bu 3 maddelik önlemler uygulandığında, bir hastane çevresel ayak izini yarı yarıya azaltabilir.

Hastaneler için enerji verimliliği ve tasarrufu önlemleri

Hastanelerde enerji verimliliği ve tasarrufu uygulamalarında, binalar için uygulanan genel önlemler değerlendirilirken, bazı farklılıklara da dikkat edilmesi gerekmektedir. Örneğin Şekil 1'de açıklanan döngü, enerjinin verimli kullanılabilmesi için ısı, enerji ve su kaynaklarının birbiri ile bağlantılı ve paydaş olarak çalışması gerektiğini açıklamaktadır. Bu döngü hastane veya sağlık merkezleri dâhil tüm binalarda uygulanması gereken bir enerji verimliliği döngüsüdür.



Şekil 1. Enerji yönetimi döngüsü [6].

Enerji verimliliği fırsatlarını belirlemenin bir yolu da mevcut binaların analiz edilmesidir. Mevcut binaların enerji verimliliği açısından işletmeye alınmasının faydalarını desteklemek için çok sayıda hastane içi vaka çalışması ve referans bulunmaktadır. Bu referanslardan, enerjinin verimli yönetimin güzel bir örneği olarak İspanya Madrid'de bulunan İnfanta Sofia Hastanesi, gösterilebilir. Bu hastanede su tüketimi uygulanan önlemler ile %20 düşürülmüş ve tüketilen tüm elektriğin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede CO₂ emisyonlarının beş yıl içinde %50 oranında azaltılmasına olanak tanımışlardır [6].

Hastanelerde enerji verimliliği uygulamaları başlığında yapılan çalışmalar incelenecek olursa şu şekilde sınıflara ayrılabilir.

Hastane cihazları içerisinde sıklıkla kullanılan motor veya transformatör gibi ekipmanlar manyetik alanlar içerir ve reaktif güç tüketirler. Bu nedenle gerilim düşüşlerine, enerji kayıplarına, daha yüksek enerji tüketimine, güç kullanılabilirliğinde azalmaya ve sonuçta hastanelerin elektrik faturasında artışa sebep olurlar [7].

Daha küçük ölçekli hastaneler de incelemeye dâhil edilecek olursa, sağlık merkezlerinin de büyük miktarda sıcak su tükettiği görülmektedir [8]. Dünyada küçük ölçekli hastane veya sağlık ocağı başına ortalama sıcak su tüketimi 450 litre/m² olarak hesaplanmıştır. Isı kaybını azaltabilmek için, su ısıtıcıları veya depolama tankları aracılığıyla sıcak su üretilmesi durumunda, herhangi bir faaliyet olmadığında çalışmayı durdurmak için programlanmış bağlantı kesmeli zamanlayıcılar kullanılabilir. Buna ek olarak, içme suyu tüketimi ile ilgili olarak, çift butonlu düşük tüketimli musluk ve tankların montajı önerilmektedir.

Aydınlatma sistemleri ayrıca incelendiğinde; Bir sağlık merkezi veya hastane için aydınlatma, toplam elektrik enerjisi kullanımının yaklaşık ortalama %30'unu temsil eder. Floresan lambalara elektronik balast takılması, floresan ve akkor lambaların daha tasarruflu lambalarla (örneğin LED'ler) değiştirilmesi, aydınlatmanın etkinlik türüne göre düzenlenmesi ve aydınlatma kontrolünün yoğunluğunun ve zamanlamasının sınırlandırılması aydınlatma için önerilen çözümlerden bazılarıdır.

Isıtma, Soğutma ve Havalandırma için ise: Hastane veya sağlık merkezlerindeki ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, toplam elektrik enerjisi kullanımının ortalama %50'sini temsil eder. Bu alanda yapılabilecek diğer uygulanabilir önlemler ise daha önce bahsedilen 3 maddelik uygulama önlemleri içerisinde bulunan: iklimlendirme sistemlerinin bakımı ve ayarlanabilir termostatların montajı olarak uygulanabilir.

Dış etkilere ilişkin önlemler ise, binanın ısı yalıtımının iyileştirilmesi, ısıtma/soğutma yüklerinin azaltılmasını sağlamaktadır. Önerilen önlemler daha önce bahsedilmiş olan 3 maddelik eylemleri içermektedir. Farklı ortam sıcaklıklarına sahip mekânlar arasında pencere ve kapıların açılmasının kontrol edilmesi. Önemli ısı kayıplarına sahip kapı ve pencerelerin sürdürülebilir malzemelerle değiştirilmesi ve dış duvarların, çatıların, pencerelerin ısı yalıtımının sağlanması şeklinde örneklenebilir.

Hastanelerin ürettiği atıklar ise farklı bir sınıflandırma içerisinde değerlendirilmelidir. Atıklardan enerji üretilmesi konusu hala çalışılan bir konu olmakla birlikte, atıkların azaltılması yani sıfır atık konusu ise başlı başına çözülmesi gereken bir problem olarak nitelendirilebilir. Dünya genelinde ortalama büyüklükte bir hastane, yılda yaklaşık 5,9 milyon tondan fazla atık üretse de, tesislerin atık akışının azaltılması konusunda eksiklere sahiptir. Bu alanda California Üniversitesi'nin tüm hastaneleri için 2020 yılına kadar sıfır atık düzeyine ulaşma programı tasarlanmıştır, ancak Covid-19 sürecinde planlanan süreçlerde farklılıklar oluştuğu ve istenilen hedeflere ulaşamadığı 2021 HFM anketinde bildirilmiştir. Anket sonucuna göre bir sağlık tesisi, hasta odalarında iyileştirilmiş ayrıştırma (daha az kırmızı torba) yoluyla bir tıbbi atık satıcısı ile çalışabilir ve bu sayede bir yıl boyunca tahmini 1 milyon dolardan fazla tasarruf sağlayabilir [9].

Hastaneler için enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda geliştirilmiş “Greenhealth” isimli bir uygulama da mevcuttur. Bu uygulama, tıbbi atıklar için kompostlamayı geri dönüşüm akışının bir bileşeni olarak kabul eder, ancak tek kullanımlık tıbbi cihazların yeniden işlenmesini geri dönüşüm oranlarına dâhil etmez. İnsanlar arasında anketler uygulayarak bilinç seviyesini de takip eden bu uygulama, aynı zamanda bir ankete katılanların bir yıl önceki sürdürülebilirlik önlemleri yoluyla atık akışı hacmini ve harcamalarını ne kadar azalttıkları yanıtına da ulaşmayı hedeflemektedir [10-12]. Sağlık merkezleri ve hastaneler için İspanya’da yapılan başka bir çalışmada ise şu şekilde sonuçlara ulaşılmıştır [12];

En yaygın giriş şeklinin camlı bölme kaplarından oluşması şartıyla, koridorlarda, bekleme salonlarında ve koridorlarda ana ısı kayıplarının erişim kapıları açık kaldığında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu sebeple hastane ve sağlık merkezi gibi insan giriş çıkışının yoğun olduğu sosyal alanlarda otomatik açılır kapanır kapıların kullanılması ciddi bir enerji kazanımı sağlayacaktır. Doğrudan güneş ışınımını azaltmak ve ortam ısısını yönetebilmek için için jaluzi perdelerin kullanılması, tek camın çift camla değiştirilmesi ve koruyucu cam filmlerinin uygulanması da önerilmektedir [12], [13].

Hastane ve Sağlık Merkezlerinde de diğer binalarda olduğu gibi, enerji verimliliği ve tasarrufu için konvansiyonel enerji üretiminin yenilenebilir enerji ile değiştirilmesi, bazı yenilenebilir enerji kaynaklarının zaman içinde geleneksel enerji kaynaklarından daha karlı hale gelebilmesi ve ayrıca yenilenebilir enerji kaynağı kullanımının çevresel sürdürülebilirlik kavramına katkı sağlaması sebebiyle tavsiye edilmektedir [13].

Bir başka enerji verimliliği ve tasarrufu sağlayan uygulama ise enerji tüketiminin optimizasyonudur. Bu, enerji faturasının azaltılmasını sağlamak için, sözleşme koşullarının elektrik kaynağı şirketleri ile yönetimini öneren bir metottur. Optimizasyonda binaların ve piyasa enerji fiyatlarının dinamizmi ile ilgili yüksek enerji taleplerinden kaynaklanan sorunlara müdahale edilerek gerçek tüketime uyarlanması sağlanır. Talep tarafı yönetimi olarak da adlandırılan bu metodun uygulanabilmesi için de akıllı ölçüm altyapısına ihtiyaç vardır. Talep edilen ve sağlanan enerji tüketimi, bütün binalarda kullanıcılarının yönetimine ve akıllı ölçüm yapısına bağlıdır. Hastane ve Sağlık merkezleri için de aynı durum geçerlidir. Hastane yöneticileri enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda bilinçlendi-

rilmeli, akıllı ölçüm yapısını kullanarak enerji tasarrufu üzerine teşvik edilmelidir. Özellikle kamu binalarında, hastane ve sağlık merkezlerinde, enerji tasarrufu eylemleri için farkındalık yaratma kampanyalarının teşvik edilmesi, bu alandaki çalışmalara dair motivasyonu arttırmak için makul hedeflerin tanımlanması, ışıkları veya bilgisayarları kapatmak gibi kullanıcıların alışkanlıklarının değiştirilmesi, bir yatırım gerektirmeyen kazanımlardır. Bu sebeple, bu alanda yapılacak eğitici çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Kullanıcı bilincini artırmaya yönelik eğitimlerin bir parçası da enerji denetimleri olmalıdır. Denetleme, enerji maliyetlerini analiz etmek ve tüketimin dağılımını modellemek için uygun bir araçtır. Denetleme, kârlılığa dayanarak enerji tüketimini ve çeşitli enerji tasarrufu olanaklarının değerlendirilmesini etkileyen kilit parametrelerin tanımlanmasını sağlar, böylece çalışma, bakım ve değiştirme maliyetleri de azaltılmış olacaktır. Enerji verimliliği, tasarrufu ve çevresel verimlilik, sağlık merkezleri ve hastanelerin yönetiminde kesinlikle önemli kalite göstergeleri olmalıdır. Enerji verimliliği ve tasarrufu önlemlerinin planlanması, uygulanması ve finansmanı için enerji verimliliği sağlayan hizmet şirketlerinin seçimi, bu tür kamu binalarının yönetimini iyileştirir ve ayrıca verimli teknoloji yatırımını da teşvik etmektedir.

Ülkelerin potansiyel enerji tasarrufu çalışmaları için yapılan çalışmalar incelendiğinde, belirli standartlar şeklinde değil hükümetlerin belirlediği ekonomik sınırlar, standartlar ve politikalar üzerinden, çalışılan bölgeye özgü olarak yapılabildiği tespit edilmiştir. Ancak, çalışmanın belirli niteliği göz önüne alındığında, özellikle sağlık sektörü için uygulanmaya çalışıldığında enerji verimliliği veya tasarrufu sağlama potansiyeli olan stratejilerin ölümcül tıbbi hatalara neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin termal ısı yetersizliği veya yetersiz aydınlatma seviyeleri tıbbi teşhisleri etkileyebilir. Enfeksiyon için alınan önlemler, havalandırmadan doğrudan etkilenebilir. Bu tür kamu binalarının gelişmeleri için belirli özellikleri göz önüne alındığında, tasarruf ve verimlilik önlemlerinin hiçbiri, kullanıcıların sağlığını ve performansını tehlikeye atamaz. Bina kullanım işlevi performansını etkilemeyecek şekilde, kurallara uygun olarak çalışmalar yapılmalıdır.

Sağlık Binalarında Enerji Verimliliği Analizi tablosu incelendiğinde görülmekte olan durum şu şekilde özetlenebilir:

Enerji tasarrufu önlemlerinin aşırı kullanımının, bina performansının tıbbi koşulları sağlaması gerektiğini göz önünde bulundurarak dengeli olmalıdır [14].

Hastane ve Sağlık Merkezleri için değerlendirilmesi gereken bir diğer başlık ise "Su sürdürülebilirliği" konusudur. Bu konuda BM veya özel kredi sağlayan kuruluşlardan destek alınabilir ve su tüketimi için kullanılan ürünler sürdürülebilir olanlarla değiştirilebilir. Hastaneler için yapılan bir başka çalışmanın sonuçlarına göre, yalnızca musluklarda değişiklik yapılarak, düşük akış kontrol armatürleri ile yılda % 49 su tasarrufu yapılabilmektedir [14].

Hastane veya diğer sağlık kuruluşları ayrıca su verimli ekipmanlar kullanabilmek için özel kuruluşların sunduğu finansal teşviklerden yararlanabilirler. Örneğin LEED gibi enerji verimliliği sertifikalandırma kuruluşlarından destekler alınabilir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir diğer çalışma incelendiğinde, iklim olarak daha kuru bölgelerdeki hastanelerin su denetimleri ile yakın gelecekte karşılaşacağı ve kuraklık toleranslı peyzaj veya iyileşme sistemleri gibi inisiyatiflere sahip olmalarının 20 yıl içerisinde bekleneceği belirtilmiştir. Özellikle Kaliforniya için kuraklığın ilgi çekici boyutlara geleceğinden ve ülkenin bu bölgesinde oldukça ilginç sürdürülebilirlik işleri yapan bazı firmaların ortaya çıkmasına sebep olacağından bahsedilmiştir [12-14].

Dünya geneline bakıldığında da bu alanda yapılan çalışmaların sayısının oldukça az olması, su yönetimi planları geliştiren daha fazla hastane görülmesinin ne kadar büyük bir ihtiyaç olduğunu ifade etmektedir. 2050 yılında yüksek boyutlara ulaşacağı tahmin edilen kuraklıkla karşı karşıya kalan birçok hastanenin bu duruma hazırlıksız yakalanmaması için bugünden çalışılmaya başlanması gerektiği birçok çalışmada sıklıkla ifade edilmektedir [15], [16].

Yeşil temizlik konusu ise su yönetimi ile paralel değerlendirilebilecek bir konudur. Hastaneler ve sağlık hizmeti verebilmek için çalışan bütün kurumlar, hasta ve personeli için enfeksiyondan arındırılmış, temiz ortamlar oluşturmak için çalışmaktadır ve bu durum bütün alanlara hitap ettiğinden, gün geçtikçe artan bir momentum kazanmaya devam etmektedir. Bu konuda 2015 yılında Amerika'da yapılmış olan en yüksek sürdürülebilir temizlik girişimleri anketi sonuçları şu şekilde belirtilmiştir:

Çalışmaların yüzde 89' u su ve kimyasal kullanımını azaltmak için hastane ve sağlık merkezlerin temizliğinde mikrofiber paspasların kullanımının faydalı olacağını önermiş, yüzde 78' i iç mekan hava kalitesini olumsuz yönde etkilemeyen temizlik ekipmanını kullanmayı doğru bulmuştur. Ancak uygulama metrikleri incelendiğinde, birçok hastane ve sağlık tesisinin henüz bu yolda yeteri kadar bilgi sahibi olmadığı görülmektedir. Bilinç kazanımı konusunda hastane çalışanları eğitimlere tabi tutulmalı ve bunun sonucunda da uygulama metrikleri, enerji verimliliği ve tasarrufuna etkileri, özellikle yeşil temizlik açısından takip edilmelidir.

SONUÇ

Hastane veya diğer sağlık kuruluşlarında enerji verimliliğini artırmak için birçok teknik yöntem olmasına rağmen, öncelikle her kurumda öncelikle her kurumda, her bireyin yapabileceği basit önlemleri izah edebilecek enerji verimliliği uzmanları ve enerji denetçileri istihdam edilmelidir.

Çoğu zaman, orta düzeyde yatırım ve iyileştirilmiş bakım ve işletme prosedürleri, anında ve sürekli enerji ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır. Tanımlanması ve uygulanması kolay olan maliyetsiz fırsatlar arasında daha önce de belirtilmiş olan 3 maddelik önlemlerden zaman anahtarlarının, sıcaklık kontrollerinin ve termostatların değiştirilmesi yer almaktadır. Ofis odaları kullanılmazken, ışık veya ısıtıcı gibi ekipmanların kapatılmasını takip etmek gibi diğer ücretsiz önlemler ise bütün çalışan personelin işbirliğini gerektiren uygulamalar olarak belirtilmiştir. Uygulamada dikkat edilmesi gereken ve belirli bir bilinç seviyesi gerektiren durumlar mevcuttur. Örneğin ağ bağlantılı bilgisayarlar ve diğer

birçok hastane cihazı, enerji verimliliği veya tasarrufu sağlamak adına kapatılamaz, bu gibi ekipmanlar uygun kapatma prosedürlerinin izlenmesini gerektirmektedir. Bu sebeple enerji verimliliği ve tasarrufuna dair her seviyedeki personelin motivasyonu, işbirliği ve katılımı son derece önemlidir.

Sisteme bağlı olan bir enerji sisteminde yapılan iyileştirmeler veya değişiklikler genellikle diğer enerji sistemlerini etkileyebilir. Örneğin, aydınlatma tarafından üretilen ısı, soğutma ihtiyacını etkiler. Bu nedenle, herhangi bir değişiklik uygulanmadan önce kapsamlı sistem analizi ve değerlendirmesi yapılması gereklidir. Üstelik yapılan bu tür değişikliklerden, hastane veya ilgili sağlık kuruluşundaki bütün teknik personel bilgi sahibi olmalıdır.

Enerji verimliliği önlemlerinin maliyet etkin bir şekilde uygulamasının, yeni binalarda veya iyileştirilmesi yapılan eski binalarda ekipman değiştirirken en iyi şekilde yapılabildiği bilinmektedir. Bir binada güçlendirme çalışmaları yürütülürken, hastanenin normal şekilde çalıştığı diğer zamanlara göre ek enerji tasarrufu önlemleri uygulamak genellikle daha ucuzdur. Zamanlamaları dikkatli bir şekilde seçerek, normal hastane rutinlerine müdahalenin minimumda tutulması sağlanabilir ve sermaye harcamaları önemli ölçüde azaltılabilir. Enerji tasarrufu önlemlerinin uygulanması için bu kısa süreli nadir fırsatlardan sistematik olarak yararlanılmalıdır. Su sürdürülebilirliği, ısı veya elektrik enerjisi açısından bir tesisatın veya ekipmanın herhangi bir şekilde değiştirilmesi gerekiyorsa, yeni, daha enerji verimli bir ekipmanın geri ödeme süresi hesaplanırken dikkate alınması gereken yalnızca kurulum dışındaki ekstra maliyettir.

Dünya geneline bakıldığında ülkelerin su yönetimi ve yeşil temizlik uygulamaları konusunda farklı çalışmalar yaptığı görülmekte ancak ortak olarak uygulama ve denetim noktasında yetersiz kaldığı sonucuna varılmaktadır.

Enerji verimliliği ve tasarrufunun mevcut durumunun kontrolü kadar izlenmesi de gelecek veri tahminleri için başarının anahtarıdır. Teknik yönetimin arızaları tespit edebileceği ve daha fazla iyileştirme için önerilerde bulunabileceği bilgileri sağlayan izleme ve denetleme faaliyetleri sayesinde enerji verimliliği planlarının ne kadar iyi uygulandığı tespit edilebilecek ve durumun sürekliliği sağlanmış olacaktır.

Bütün bu uygulamaların hayata geçirilebilmesi için bilinç seviyesinin artırılması da kritik rol oynamakta, her sistemin birbiriyle bağlantısını sağlayan bir köprü görevi görmektedir. Enerji verimliliği ve tasarrufu konusunda bilinçlendirme adımı ile başlayacak çalışmalar, sadece hastane ve sağlık kuruluşlarının gelişmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda insanlara sunulan hizmetin kalitesini de artırarak, daha temiz bir dünya sunmayı sağlar.

KAYNAKLAR

- [1] Murray J, et al. Evaluating the scope for energy-efficiency improvements in the public sector: Benchmarking NHS Scotland's smaller health buildings. *Energy Policy*, 2008, 36(3):1236-1242.
- [2] Santamouris M, et al. Energy performance and energy conservation in health care buildings in Hellas. *Energy Conversion and Management*, 1994, 35(4):293-305.

- [3] Vanhoudt D, et al. An aquifer thermal storage system in a Belgian hospital: Long-term experimental evaluation of energy and cost savings. *Energy and Buildings*, 2011, 43:3657-3665.
- [4] Yun G, Kim H, Kim JT. Sustainable and healthy buildings. Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. *Energy and Buildings*, 2012, 46:152-158.
- [5] Martini I, Discoli C, Rosenfeld E. Methodology developed for the energy-productive diagnosis and evaluation in health buildings. *Energy and Buildings*, 2007, 39(6):727-735.
- [6] Yoshida S, Koichi I, Yokohama R. Sensitivity analysis in structure optimization of energy supply systems for a hospital. *Energy Conversion and Management*, 2007, 48-11:2836-2843.
- [7] Shohet IM. Building Evaluation Methodology for Setting Maintenance Priorities in Hospital Buildings. *Construction Management and Economics*, 2003, 21:681-692.
- [8] Thormark C. A low energy building in a life cycle its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*, 2002, 37:29-435.
- [9] Online: <https://practicegreenhealth.org/> Erişim Tarihi 27.08.2021
- [10] Congradac V, Prebiracević B, Jorgovanović N, Stanisić D. Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals. *Energy and Buildings*, 2012, 48:146-154.
- [11] European Union. Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. 2009.
- [12] García Sanz-Calcedo J, Cuadros F, López-Rodríguez F. Influence of the number of users on the energy efficiency of health centres. *Energy and Buildings*, 2011, 43(7):1544-1548.
- [13] Romero M. Energy efficiency in small sanitary buildings and Hospital, 2009. 260:613-620.
- [14] Bizzarri G, Morini GL. New technologies for an effective energy retrofit of hospitals. *Applied Thermal Engineering*, 2006, 26: 161-169.
- [15] Yoshida S, et al. Sensitivity analysis in structure optimization of energy supply systems for a hospital. *Energy Conversion and Management*, 2007, 48-11:2836-2843.
- [16] Bonnema E, Pless S, Doebber I. Advanced Energy Design Guide for Small Hospitals and Healthcare Facilities. *Journal of Healthcare Engineering*, 2010, 1(2):277-296.

ENERJİ KAYNAKLARININ YOL AÇTIĞI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SAĞLIĞA ETKİLERİ

Şeyma Taştumur^a

^a Sivas Numune Hastanesi, İç Hastalıkları Uzmanı

ÖZET

İnsanlık olarak kendi elimizle körüklediğimiz küresel iklim değişikliği ve getirdiği sağlık sorunları günümüzde acil olarak çözüm bulması gereken en önemli problemlerin başında gelmektedir. Enerji kaynaklarının verimli kullanılmaması, temiz enerji kaynaklarının yeterince kullanılmıyor olması, üretim/tüketim dengesinin bozulması, fakir kalmış coğrafyalarda daha belirgin olmak üzere temiz içme suyu ve verimli/ yeterli besin sağlanamaması, insanların daha da fakirleşmesi ve sağlık kuruluşlarının yetersizliği ve ulaşılabilir olmaması nedeniyle bulaşıcı hastalıkların yaygınlaşması, değişen “modern” dünyada fakirleşmenin yanında aşırı zenginleşme ve tüketim çılgınlığı tüm sorunları katlamaktadır. Bu sağlık sorunları; artan ortalama sıcaklık değerlerinin neden olduğu sağlık sorunları, malnütrisyon ve obezite gibi beslenme bozuklukları, salgın hastalıklar, metabolik hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar, UV ışınları ile ilişkili hastalıklar ve bazı kanser çeşitleri olarak sıralanabilmekte olup bu çalışmada detaylandırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, İklim değişikliği, Hava Kirliliği, Hastalıklar.

ABSTRACT

Global climate change, which we as humanity have fueled with our own hands, and the health problems it brings, are among the most important problems that need urgent solutions today. Inefficient use of energy resources, insufficient use of clean energy resources, deterioration of production/consumption balance, inability to provide clean drinking water and efficient/sufficient food, especially in poor geographies, people getting poorer, and health institutions insufficiency and inaccessibility. The spread of diseases, impoverishment in the changing “modern” world, as well as excessive enrichment and consumption frenzy multiply all the problems. These health problems; Health problems caused by increasing average temperature values, nutritional disorders such as malnutrition and obesity, epidemic diseases, metabolic diseases, neuro-degenerative diseases, diseases related to UV rays and some cancer types will be detailed in this study.

Keywords: Energy efficiency, Climate change, Air Pollution, Diseases

Artan Sıcaklıkla İlişkili Sağlık Sorunları

Son 130 yılda dünyada ortalama sıcaklık 0.85°C kadar artmış olup son 30 yıldır 1850'den beri görülen en yüksek sıcaklık değerleri görülmektedir. Sıcaklık artışı, daha az kış mevsimi yaşanması nedeniyle yerel olarak bakıldığında gıda üretiminde minimal olumlu bir etki oluştursa da global olarak bakıldığında orta ve uzun vadede aslında şimdiden etkilerini de gördüğümüz temiz ve sıcaklığı dengeli atmosfer, temiz içme suyu, yerli yiyecek ve içecek sağlanması, güvenli barınma gibi temel konularda birçok olumsuz sonuç getirmektedir.

Yüksek sıcaklığın sağlığa doğrudan etkileri vardır. Bunlar güneş yanığı, ısı krampı, sıcak yorgunluğu, sıcak çarpması ya da güneş çarpması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu doğrudan etkiler yanında kişinin mevcut sağlık durumunun ağırlaşmasına hatta ölümüne neden olabilmektedir. Hipertansiyon ve koroner arter hastalığı, astım, kronik obstruktif akciğer hastalığı gibi solunum sistemi hastalıkları, diyabet gibi kronik hastalığa sahip bireyler ile yaşlılar, hamileler ve çocuklar gibi hassas gruplar özellikle risk altındadır. Aşırı yüksek sıcaklık özellikle yaşlılarda kardiovasküler ve solunum yolu hastalıklarından kaynaklanan ölümlerde önemli artış sebebidir. Yüksek sıcaklık ozon ve diğer sera gazlarının seviyesini yükselterek kardiovasküler hastalıkların seyrini kötüleştirmektedir [1].

Ülkemizin içinde yer aldığı iklim kuşağı sebebiyle sıcak hava dalgalarının görülme olasılığı oldukça yüksektir. Bu açıdan bölgesel olarak Güney Doğu Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi'nden daha fazla risk altındadır. Ancak, Marmara Bölgesi'nin nüfusu daha yoğun olduğundan sıcak hava dalgalarının etkisinin daha yüksek olması olasıdır [2].

2016 yılında 2000 yılına göre kıyaslandığında aşırı sıcağa maruziyet nedeniyle gerçekleşen hastane başvuru sayısında 125 milyon artış görülmüş. Avrupa'da 2003 yazındaki sıcak hava dalgasında 70.000'den fazla ek ölüm olduğu kaydedilmiş.1880'den beri en sıcak yazını 2010 yılında yaşayan Rusya'da bu dönemde sıcak maruziyeti ilişkili ek ölüm sayısı ağustos sonu itibarıyla 41.300 olarak kaydedilmiş. Bu durum ekonomiye 1,5 milyar dolar ek maliyet olarak yansımış [3-5].

Beslenme Bozuklukları

Malnütrisyon (Yetersiz Beslenme):

Güncel olarak malnütrisyon nedeniyle kaybedilen yıllık insan sayısı yaklaşık olarak 3.1 milyondur. Bunun giderek artacağı düşünülmektedir. DSÖ tarafından 2014'te, iklim değişikliğinin gelecek yıllarda sağlık üzerine etkilerini öngörebilmek için yapılan çalışmasına göre 2030 ile 2050 yılları arasında küresel iklim değişikliğinin yıllık 250.000 ek ölüme sebep olacağı düşünülmektedir. Bu ölümler içinde birinci sırayı maalesef çocuklarda yetersiz beslenmeye bağlı ölümler almakta (95.000). İkinci sırada sıtma nedeniyle ölümler (60.000), üçüncü sırada ishal nedeniyle ölümler (48.000) ve dördüncü sırada yaşlılarda yüksek sıcaklığa maruziyet (38.000) gelmektedir. Bu sonuçlar bize gelecekte bugün olduğu gibi iklim değişikliğinden kaynaklanan hastalık yükünü çocukların çekeceğini gösteriyor. Bu çocukların büyük bir kısmını düşük ve orta bütçeli ülkelerin çocukları oluş-

turmaktadır. Sağlık altyapısı zayıf olan bu ülkelerde çocuklar, yaşlılar, kronik hastalıkları olan kişilerde etkilerin daha fazla görüleceği öngörülmektedir. Bununla birlikte hem yetişkin nüfusta hem de gelişmiş ülkelerde günümüze oranla daha çok etkilenme oranı beklenmektedir. Asya ve Afrika’daki yetersiz beslenmenin maliyetleri tüm maliyetlerin % 4 ila % 11’i arasında değişmektedir. Bu hastalıkların sadece tedavi maliyetlerinin 2030 yılına kadar yıllık 2 ile 4 milyar dolar arasında olacağı tahmin edilmektedir [6], [7].

Obezite:

Yetersiz beslenme büyük bir sorundur ve maalesef önemli bir sorun olarak kalmaya devam edecek gibi görünmektedir ancak günümüzde giderek önemi artan başka bir beslenme bozukluğu da adeta bir salgın hastalık gibi yayılan obezitedir. Doğrudan iklim değişikliğinin olmasa da iklim değişikliği ile paralel olarak sanayileşme ve modernleşmenin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Obezitenin kendisi büyük bir karbon ayak izi oluşturması bakımından ayrıca önemlidir. Obezitenin dünyaya maliyeti, tüm maliyetlerinin neredeyse % 3’ünü oluşturmaktadır [8], [9].

Bugün obezite Amerika nüfusunun en önemli sağlık sorunlarının başında gelmektedir. Ancak sadece Amerika’nın değil giderek yaygınlaşan batı tipi beslenme sebebiyle tüm dünyanın sorunudur. Batı tipi beslenme şekli; mineral ve vitaminlerden fakir, kimyasal katkı, genetiği değiştirilmiş ürünler içeren, yüksek hayvansal protein, yüksek şeker ve doymuş yağ içeren bir diyetdir. Sanayileşme, hareketsizleşme, tarım alanlarının azalması ve verimsizleşmesi, evlerde yemek pişirilmesi yerine temini kolay işlenmiş hazır gıdaların tüketilmesi gibi birçok sosyal, ekonomik, kültürel değişikliğin sonucu olarak bu noktaya gelinmiştir ve dünyada maalesef yaygınlaşmaktadır.

Yaşadığımız çağ ve çevre sera gazı üretiminin %29’unu oluşturan araba kullanımını maalesef teşvik etmekte. Beslenme alışkanlıklarının da davranışa etkileri bilinmektedir. Obeziteli bireyler daha az hareket etmeye meyillidir. Sedaner yaşam tarzının giderek yaygınlaşması otomobil kullanımını arttırarak bir kısır döngü içinde sera gazı emisyonu arttırmaktadır [10].

Aşırı Sığır Eti Tüketimi:

Tarım ve hayvancılık içinde sera gazı üretimine en büyük pay sahibi artan sığır eti tüketimine karşılık gelen ürettir. Et tüketimindeki talep artışı üretimin daha da artmasına neden olarak özellikle metan gazı üretimini arttırmaktadır. Metan, Amerika’da sera gazlarının %9’unu oluşturmaktadır [10].

Hayvan eti tüketimi, işlenmiş gıda tüketimindeki artış obezite dışında bağırsak kanseri ve kardiyovasküler hastalıklar için de bir risk faktörüdür. Aşırı et tüketiminde giderek artış; bu hastalıklarda artışa sebep olmaktadır. Et içeriği düşük Akdeniz tipi beslenme, Batı diyeti ile kıyaslandığında sera gazlarını %72, arazi kullanımını %58 ve enerji tüketimini %52 oranında azaltmaktadır. Günümüzde kılavuzlar hayvansal kaynaklı besinlerin sınırlı tutulduğu, bitkisel kaynaklı besinlerin ön planda olduğu diyetleri teşvik etmek-

te. Bitki bazlı beslenmenin 2050 yılına kadar felç, diyabet koroner kalp hastalığı ve kanserden kaynaklanan ölümleri kadar %6-10, diyet ilişkili sera gazı tüketimini %29-70 oranında azaltacağı öngörülmektedir [11-15].

Gıda Verimliliğinde Azalma:

Artan sera gazı üretiminin neden olduğu küresel ısınma, hava olaylarında değişimler yaparak mahsullerden elde edilen protein ve mikro besinleri azaltmaktadır. Besinler yoluyla alınan ve sağlığın korunmasında önemli etkileri olan bu bileşenlerde eksiklik olması düşük ve orta gelirli ülkelerde gıda güvensizliği ve yetersiz beslenme sorununu derinleştirmektedir. Bunun yanında gelişmiş ülkeleri de kapsayacak şekilde uzun vadede bu mikrobesein eksikliği kronik ve otoimmün hastalıkların ortaya çıkmasında şimdiden önemli bir risk faktörüdür [16], [17].

Salgın Hastalıklar

Su Kaynaklı Salgın Hastalıklar:

Dünya genelinde 1960'lardan bu yana sel ve taşkınlarda 3 kat kadar artış görülmüştür. Araştırmalara göre bu afetler ve salgın hastalıkların ortaya çıkma zamanları arasında bir ilişki saptanmıştır. Bununla birlikte aşırı susuzluk ve kuraklık ile hijyen koşullarının yetersizliği ve bağışıklık sistemlerinin zayıflaması gibi ikincil nedenlerden dolayı su kaynaklı hastalıkların görülme oranı artmaktadır. İklim değişimi ile birlikte su kaynaklı hastalıkların zaman içinde daha da artacağı tahmin edilmektedir. Seller ve taşkınlar tarafından kirlenilen tatlı su kaynakları salgın hastalık yayan mikropların taşıyıcısı olan böcekler için üreme alanlarına dönüşmektedir. Temiz suya erişimdeki kısıtlılık ve kirli suyla maruziyet sonucu 5 yaş altı ölümlerde önemli ve önlenebilir bir yeri olan gastroenterit tablolarında artış izlenmektedir [18].

Camphylobacter, Salmonella ve Shigella en sık görülen su kaynaklı bulaşıcı hastalıklardır. Salmonella ve Shigella nedeniyle oluşan enfeksiyonlar son yıllarda azalırken, yüksek sıcaklıklarla ilişkili olan Camphylobacter enfeksiyonunda artış olabileceği öngörülmektedir. Aşırı yağışın görüldüğü ancak içme suyu klorlamasının yapılmadığı yerlerde tularemi (Francisella tularensis) vakalarında da artış gözlenmiştir. Kanalizasyon sisteminin tıkanması hastalıkların yayılmasında en önemli nedenlerden biridir ve özellikle kolera (Vibrio cholerae) riskini arttırmaktadır [19], [20].

Sıcaklık ve Gıda Kaynaklı Salgın Hastalıklar:

Mikroorganizmalar genel olarak yumurta, tavuk eti ve dana etleri üzerinden insanlara bulaşabilmektedir. Böcekler ve kemiriciler gibi vektörler sıcak havada daha çok hareket ederek hastalığın yayılımını arttırlar.

Gıda kaynaklı hastalıklar özellikle yaz aylarında artmaktadır. Birçok çalışma yüksek sıcaklığın salmonellozis gıda zehirlenmesine etkisi olduğunu doğrulamaktadır. Her 1 derece sıcaklık artışında zehirlenmelerde doğrusal bir artış olduğu gösterilmiştir. Avru-

pa’da Campylobacterin yayılmasında en çok sıcaklığın artmasının neden olduğu belirtilmektedir. Bunun yanında aşırı yağışlar ve şiddetli rüzgâr da gıda kaynaklı hastalıklarda artışa sebep olabilmektedir. Gıda kaynaklı hastalıkların 2050’ye kadar %5-20 oranında artacağı tahmin edilmektedir [21].

Vektörlerin Göçü:

İklim değişimi ile birlikte ormansızlaşma, habitat değişimi ya da bazı ekosistemlerin yok edilmesi, dolaylı olarak da hayvanların bulunduğu yerden farklı yerlere hareketine ve hastalıkların yayılmasına neden olabilmektedir. Hayvanların farklı bölgelere hareketi, normalde beraber yaşamadıkları diğer hayvanlarla temas etmesine ve bu durumda patojenlerin yeni ortamlara girmesine sebep olmaktadır.

Mikroplar yeni ortamlarında mutasyonlara uğrayarak patojenitelerini arttırabilmektedir. Örneğin vahşi su kuşlarında bulunan kuş gribi virüsü, sulak alanların yok edilmesiyle göçe zorlanan kuşlarla çok daha geniş alanlara yayılabilmektedir. İklim değişiminin insan sağlığına etkileri üzerine yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan bulgular, sıcak iklim kuşaklarının kuzeye doğru kayacağını ve bazı bulaşıcı hastalık vektörlerinin dağılımının değişmesine sebep olacağını göstermektedir. Sıcaklıkların yükselmesi ve yağış dağılımının düzensiz olması sonucunda, kuş gribi, kene kaynaklı hastalıklar, kolera, ebola, paraziter hastalıklar, veba, lyme, zararlı deniz yosunları, kızıl humma, uyku hastalığı, verem, sarı humma, sıtma, batı nil virüsü ve dang humması gibi vektör kaynaklı hastalıklarda artış görülmüştür [22], [23].

COVID-19 İklim Değişikliği ile İlişkisi:

Günümüzde tüm dünyayı etkisi altında bırakan bir ciddi bir salgın hastalık olan COVID-19 pandemisi ve iklim değişikliği arasında da tabii ki bir ilişki vardır. Hastalığın hem başlangıcında hem yayılımında küresel iklim değişikliğinin katkıları gözlenmiştir. Habitat değişimi maalesef SARS-CoV-2 için taşıyıcı olduğu bilinen yarasalı türleri için de geçerlidir. Bu türlerin kendileri için yaşanabilir alanlara göçü başlangıçta hastalığın yayılımı için önemli bir etken olmuştur. Bunun yanında sıcaklık artışı ile virüsün taşıyıcısı olan türlerde artış gözlenmiştir [24].

COVID-19 pandemisi sürecinde geniş ölçekli ev izolasyonları karbon ayak izinde ciddi dönemsel azalmalar göstermiştir. Bu bilgi sera gazı emisyonuna insanoğlunun etkisini çarpıcı bir şekilde ortaya koyması bakımından önemlidir. 2019 ve 2020’nin ilk yarısı kıyaslandığında küresel CO2 emisyonlarında ani % 8,8’ lik bir azalma görülmüştür. Bu düşüşün boyutu, önceki ekonomik krizlerdekinden veya II. Dünya Savaşı’ndakinden daha büyüktür [25].

ABD’de yapılan geniş çaplı bir çalışmada PM2.5’ye uzun süreli maruziyette küçük bir artışın COVID-19 ölüm oranında istatistiksel anlamlı olarak büyük bir artışa yol açtığı gözlenmiştir. 33 Avrupa ülkesinde yapılan başka bir çalışmanın sonuçlarına göre sera gazları ve PM2.5 partiküllerin varlığı, PCR pozitif vaka sayısı ve COVID-19 ölüm sayısı ile dikkate

değer bir korelasyon göstermiştir. PM2.5 ve nitrojen oksitler hem pozitif vakalar hem de ölümler için en güçlü korelasyona sahip kirletici etkenler. Sonuç olarak hava kirliliği şiddetli COVID-19 ve COVID-19 ile ilişkili ölüm için potansiyel bir risk faktörü olarak kabul edilebilir [26], [27].

Metabolik Hastalıklar:

Küresel ısınma ile beraber ısıya maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkileri hava kirliliği ile daha da artmaktadır. Yaşlı bireyler, düşük sosyoekonomik statüye sahip bireyler ve tip 2 diyabetes mellitus ve hipertansiyon gibi artmış kardiyovasküler hastalık riski ile ilişkili altta yatan koşullara sahip kişiler, miyokard enfarktüsü gibi ısıyla ilişkili akut kardiyovasküler hastalık olaylarına karşı en savunmasız olanlardır [28].

İklim değişikliği ve diyabet hem doğrudan hem de dolaylı olarak birbirine bağlıdır. Diyabet kardiyovasküler hastalıklarla yakın ilişkisi nedeniyle ayrıca önemlidir. Diyabet tanısı ile, kalp damar hastalığı riskleri oldukça artmış olmaktadır. Bunun yanında diyabetik hastaların aşırı sıcaklarda dehidratasyona ve kardiyovasküler olaylara daha da yatkın oldukları bilinmektedir. Araştırmacılar, ısı stresinin diyabet dahil olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarını şiddetlendirebileceğini ve nihayetinde mortalitenin artmasına neden olabileceğini ortaya koymuştur [29].

Obezite, kardiyovasküler hastalıklar ve tip 2 diyabet gibi metabolik hastalıklar, genel olarak düşük bir yaşam kalitesi ile ilişkili oldukları ve ülkelere ağır bir ekonomik yük yükledikleri için büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Genel olarak birçok kronik hastalığın ortaya çıkışı aynı mekanizma yoluyla olmaktadır; genetik zemin varlığı ve çevresel tetikleyicilere maruziyet. Metabolik hastalıklar çok faktörlü hastalıklardır ve artık insan yapımı kimyasal kirleticilere maruz kalmanın etyolojide önemli bir yeri olduğu bilinmektedir. Düşük seviyelerde çoklu kimyasallara, özellikle endokrin bozucu bileşiklere kronik olarak maruz kalmanın, metabolik bozuklukları tetiklediğine dair güçlü kanıtlar getirilmiştir [30].

İklim değişikliği ve tarım ve sanayi kaynaklı kalıcı organik kirleticiler, toksinler (İnsülin direnci ve diyabet ile ilişkili toksinler örn: 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin), kaliteli gıdaya ulaşımında yetersizlik sonucu mikrobese yetersizliği gibi çevresel tetikleyiciler özellikle diyabet, insülin direnci ve obezite gibi metabolik hastalıklar için önemli çevresel etkenler oluşturmaktadır [31].

Hava kirliliğinin, metabolik sendromun bileşenleri üzerinde uzun vadeli etkisi olabilecek birçok olumsuz sağlık etkisi vardır. Dislipidemi, oksidatif strese artış, inflamasyon ve endotel disfonksiyonu, bu da kronik bulaşıcı olmayan hastalıklar üzerinde uzun vadeli etkilere neden olmaktadır [32].

DM tanılı hastalar hava kirliliğine bağlı kardiyovasküler morbidite ve mortaliteye daha duyarlıdır. Bir çalışmada PM2.5 maruziyetinin endotel fonksiyonunda yaptığı bozulmanın HbA1c ve myeloperoksidaz düzeyleri yüksek, adiponektin düzeyi düşük olan hastalarda daha belirgin olduğu gözlenmiş. Yani diyabetik hastalar hava kirliliğine daha duyarlı-

dırlar. PM2.5 ve karbon yoğunluğu artırılmış ortamlarda diyabetik hastalarda azalmış vasküler reaktivite ve proinflamatuvar biyobelirteçlerde artış saptanmış. Hava kirliliği vasükler tonusta değişiklik ve enflamasyona sebep olmaktadır [33-36].

Deneysel hayvan çalışmalarında PM2.5 maruziyetinin yağ dokuda bağışıklık hücrelerini (makrofaj) arttırarak enflamasyon sürecini başlattığı gözlenmiştir. Yağ dokuda artan makrofaj sayısı diyabet patofizyolojisi için tipiktir. Yüksek karbon konsantrasyonları hastalardaki enflamatuvar belirteçlerde artış ile ilişkili bulunmuştur. Hava kirliliği ve oksidatif stress arasında da iyi bilinen bir ilişki vardır. Dokularda açığa çıkan serbest oksijen radikalleri de bu hasara katkı sunar. PM2.5'e (10 ay) uzun süreli maruz kalma ile, interskapüler kahverengi yağ dokusu ve mitokondriyal boyutta gözle görülür düşüşler kaydedilmiş ve insülin direnci ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak hava kirliliği birçok hastalığın özellikle diyabetin ve insülin direncinin patogenezinde önemli yeri olan kronik enflamasyonun önemli bir sebebidir [37-40].

İklim değişikliği ve düşük su alımı, böbrek taşları, sıcak çarpması ve kronik böbrek hastalığı dahil olmak üzere dehidratasyonla ilişkili böbrek hastalıkları riskini arttırmaktadır. Hiperosmolarite, obezite ve diyabet riskini de artırabilmektedir [41].

Nörodejeneratif Hastalıklar:

Tüm çevresel etkiler arasında sıcak, iklim canlılar üzerinde en çok stres oluşturanıdır. Isı şok proteinleri dediğimiz moleküller canlıları bu stresten korumaktadır. Isı şok proteinleri, sıcaklıktan etkilenen proteinlerin katlanması yoluyla bir düzenleme yapmaktadır. Ancak bu ısı şok proteinlerinde azalma ya da bozulmalar nöronlarda toksik proteinlerin birikmesine ve nörodejeneratif hastalıkların oluşmasına sebep olmaktadır [42], [43].

Hafif ısınmanın sinir sistemi üzerine olumlu fizyolojik etkileri olsa da 40 ° C'nin üzerine çıkan sıcaklık değerinde patolojik etkiler ortaya çıkmaktadır. İnme sırasında beyindeki yüksek sıcaklığın kötü prognoza neden olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklık; metabolik hızda artış, enerji tüketiminde artış, serbest oksijen radikelleri ve toksik maddelerdeki artışa bağlı olmaktadır. Sıcaklık artışı hücre nekrozuna yol açmaktadır. 2001 ile 2011 yılları arasındaki kayıtlı hasta verileri üzerinden yapılan bir çalışmada demans ile ilişkili hastane yatışları ve sıcaklık değişiklikleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Ortalamadan düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık dalgalanmaları, demanstan hastaneye yatma riskinin artmasıyla ilişkilendirildi. Yaşlı nüfus arasında, düşük gelirli ve orta yaşlı hasta alt grupları, daha sıcak iklime veya daha büyük sıcaklık değişikliklerine karşı daha savunmasız. Uzun vadeli iklim değişikliği, demansın ilerlemesini ve buna bağlı sağlık bakımı maliyetlerini arttırabilir [44].

Demans (bunama), özellikle Alzheimer hastalığı olan kişilerde vücut sıcaklığının sirkadyen (gece/gündüz) ritminde bozulma olduğu gözlenmiştir. Bu da iklim değişikliğine daha duyarlı olmalarını açıklayabilir. Küresel iklim değişikliğinin, nöronlar için tolere edilebilir sıcaklık aralıklarında bile stres oluşturarak nörodejeneratif hastalıkların görülme sıklığını arttıracığı tahmin edilmektedir. Artan sıcaklık sonucunda; hücre ölümünü dü-

zenleyen sistemlerin etkinleşmesi, DNA hasarı, ısıdan etkilenen proteinlerin hücre içinde birikmesi gibi etkilerle nöronlarda hasarlanmaya neden olmaktadır [45], [46].

Parkinson hastalığı da tıpkı Alzhemier gibi sıcaklık artışından etkilenmektedir. Bir çalışmaya göre; Parkinson hastalığı ilişkili hastane başvurusu hava sıcaklığının ortalama 30 ° C olduğu dönemde en düşük, 34 ° C olduğu dönemde ise en yüksek seviyesinde izlenmiştir. Sonuç olarak sıcaklıktaki artış Alzheimer hastalığındaki mekanizmalara benzer şekilde hastalık şiddetlenmesi ve ölüm oranını arttırmaktadır [47].

UV Işınları ile İlişkili Hastalıklar:

Stratosferde ozon tabakasının azalması nedeniyle, aşırı UV-B ışınına maruziyet bağışıklığın baskılanması, cilt kanseri, fotodermatozlar, katarakt ve diğer göz hastalıkları, tiroid hstalıkları, lösemi gibi çeşitli sağlık sorunlarına sebep olmaktadır.

Enflamasyon ve Hasar:

UV ışınlarının normalde bağışıklık fonksiyonlarına olumlu katkıları bilinir ancak aşırı UV-B maruziyeti, proinflamatuvar ve antimikrobiyal maddelerin salınması ile sonuçlanmakta ve dokuda enflamasyon sürecini başlatmaktadır. Bu maddeler doğrudan hücre ölümüne neden olmaktadır. UV ışınları deriden DNA, RNA ve D vitamini öncülü üzerinden emilerek burda bağışıklık hücrelerinin sayısında artışa sebep olmaktadır. DNA üzerinden hücreye geçişi, aşırı maruziyet durumunda DNA hasarına neden olmasını açıklamaktadır [48], [49].

Bağışıklık Sistemi:

Yüksek dozda UV maruziyeti daha önceden geçirilip vücutta latent (gizli) kalan Herpes gibi viral enfeksiyonları reaktive edebilmektedir. Kore'de yapılan bir çalışmada Herpes görülme sıklığında yazın, kış mevsimine göre %10 artış görüldüğü kaydedilmiştir. İnsan herpes virüsü (HHV8), Kaposi sarkomu isimli bir tip cilt kanserinin nedenleri arasında bilinmektedir. UV ışın maruziyetinin fazla olduğu alanlarda Kaposi sarkomu görülme sıklığı artmıştır [50-52].

UV maruziyetinin; çocuk felci, influenza, tüberküloz, kızamık ve hepatit B gibi aşıların etkinliğini azalttığı bilinmektedir. 24 randomize çalışmanın sistematik derlemesinde, BCG (tüberküloz) aşısının, yüksek sıcaklıktaki bölgelerde diğer bölgelere nazaran etkinliğinin daha az olduğu gösterilmiştir [53], [54].

Cilt Reaksiyonları:

Uzun süre UV maruziyeti, hafif ile ağırlı-şiddetli lezyonlara kadar çeşitli şekillerde gözlenebilen güneş yanığına sebep olmaktadır. Fotodermatozlar özellikle daha duyarlı kişilerde görülen cildin enflamatuvar reaksiyonlarıdır. Uzun süre maruziyet, kollajen ve elastinde bozulma yaparak fotoyaşlanmaya neden olur. Bunun dışında yapısal değişiklikler, ciltte kanserleşmeye neden olabilir [55].

Cilt Kanseri:

10 yıl önce yapılan bir çalışma yüksek sıcaklığın cilt kanserini tetikleyebileceğini ortaya koymuştur. DNA hasarı, dokuda oluşan enflamasyon ve serbest oksijen radikallerinin oluşturduğu hasar ilerleyerek kanser oluşmaktadır [56], [57].

Göz Hastalıkları:

Aşırı UV maruziyeti katarakt ve yaşlanmaya bağlı maküla dejenerasyonu gibi göz hastalıklarına da sebep olabilmektedir. Katarakt, gözün merceğinin saydamlığını yitirmesi ile karakterize dünyada görme kaybının en önde gelen nedeni olan göz hastalığıdır. Katarakt özellikle sosyoekonomik düzeyi düşük ülkelerde cerraha ya da tıbbi tesislere yetersiz erişim nedeniyle daha da önemli bir sorundur. Uzun süre UV ışın maruziyeti kataraktın en önemli sebebidir. Yine dünyada görme kaybının en önemli sebeplerinden olan yaşa bağlı maküla dejenerasyonunun (sarı nokta hastalığı) birinci sebebi UV maruziyetidir [58], [59].

Diğer Hastalıklar:

UV maruziyeti ile ilişkili başka hastalıklar; Guatr, tiroid kanseri, Parkinson hastalığı, Mani. Fransa’da yapılan bir çalışmada beş yaşından küçük çocuklarda B hücreli akut lenfoblastik lösemi insidansının yüksek UV maruziyeti olan bölgelerde daha fazla görüldüğü izlenmiştir [60-64].

Kanserler

Yükselen okyanus suları ve suyun asiditesinin artması sonucu balıkçılıkta da verim düştü. Bazı toplumların balık tüketimindeki azalma kanserden koruyucu özelliği bilinen omega-3 alımını kısıtlamıştır. İklimi değişikliği ile karaciğer kanseri için etyolojik öneme sahip olan aflatoksinler ve mikotoksinlerin miktarı artmıştır [65], [66].

Et tüketiminin artışı kolorektal kanser sıklığını özellikle gelişmiş ülkelerde arttırmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde zaten sorun hem hayvansal hem bitkisel kaliteli gıdaya erişimdeki yetersizliktir [7], [67].

İklim değişikliğinden bağımsız olarak artan sanayileşme ve kimyasal üretim ile çevresel toksik maddelerin artışı da kanserler açısından önemlidir. İklim değişikliği zaten artmış olan sera gazlarının etkisini de arttırmaktadır. Alaska ve İsviçre’de erimiş buzul suyundaki kimyasal kirleticilerin modelleme çalışmaları, balıklarda birikebilecek yüksek konsantrasyonlarda kalıcı organik kirleticiler gösteriyor ki bu da balık tüketimi ile bu maddelerin birikimi nedeniyle kanser riski artmaktadır. Su arıtma sistemleri ile ve endüstriyel olarak elde edilen kaynak sularında bromür oranında artış saptanmıştır. Bromür maruziyeti mesane kanseri riskini arttırmaktadır. Seller toksik kimyasal maruziyetini arttırmaktadır. 2018’deki orman yangınları sonucu Kaliforniya’da içme suyu ve yer altı suları benzen ile kirlenmiştir [68-71].

SONUÇ

İklim değişikliği bütün dünyanın ivedilikle çözmesi gereken birçok soruna yol açmaktadır. Sağlık sorunları bunlar içinde önemli bir yer tutmaktadır. Salgın hastalıklardan kronik metabolik hastalıklara, nörodejeneratif hastalıklardan kanserlere kadar çok geniş spektrumda görülebilen bu sağlık sorunları günden güne artmaktadır. Bunların çözümleri açısından sorunların daha açık bir biçimde ortaya konması gerekmektedir. Bu bölümde enerji kaynaklarının verimli kullanılmaması ve iklim değişikliğinin yol açtığı sağlık sorunları gözden geçirilerek konunun önemi vurgulanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Kjellstrom T, Butler AJ, Lucas RM, Bonita R. Public health impact of global heating due to climate change: potential effects on chronic non-communicable diseases. *Int J Public Health*. 2010 Apr;55(2):97-103. doi: 10.1007/s00038-009-0090-2. Epub 2009 Nov 10. PMID: 19902143.
- [2] Türkiye'de İklim Değişimi ve Halk Sağlığı Raporu, Türkiye Bilimler Akademisi, Temmuz 2020, Ankara.
- [3] Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel JP, Herrmann FR. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol*. 2008 Feb;331(2):171-8. doi: 10.1016/j.crv.2007.12.001. Epub 2007 Dec 31. PMID: 18241810.
- [4] Stott, P. A., D. A. Stone, and M. R. Allen (2004), Human contribution to the European heat wave of 2003, *Nature*, 432, 610–614, doi:10.1038/nature03089.
- [5] Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. M., & Garcia-Herrera, R. (2011). The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. *Science*, 332(6026), 220–224. doi:10.1126/science.1201224 .
- [6] Hales S, Kovats S, Lloyd S, Campbell-Lendrum D. Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s, *Climate change and human health*, WHO, 2014.
- [7] Dietz WH. Climate change and malnutrition: we need to act now. *J Clin Invest*. 2020 Feb 3;130(2):556–558. doi: 10.1172/JCI135004. PMID: 31904584; PMCID: PMC6994138.
- [8] Swinburn BA, et al. The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: the Lancet Commission report. *Lancet*. 2019;393(10173):791–846. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32822-8.
- [9] Kahn ME, Mohaddes K, Ng RNC, Pasaran MH, Raissi M, Yang J-C. Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis. National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/papers/w26167> August 2019.
- [10] Environmental Protection Agency. Sources of Green House Emissions. Environmental Protection Agency Website. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions> Accessed November 20, 2019.
- [11] Sáez-Almendros S, Obrador B, Bach-Faig A, Serra-Majem L. Environmental footprints of Mediterranean versus Western dietary patterns: beyond the health benefits of the Mediterranean diet. *Environ Health*. 2013;12:118.

- [12] Springmann M, Godfray HC, Rayner M, Scarborough P. Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2016;113(15):4146-4151. doi: 10.1073/pnas.1523119113.
- [13] Willett W, et al. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*. 2019;393(10170):447-492. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31788-4.
- [14] Estruch R, et al. Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. *N Engl J Med*. 2013;368(14):1279-1290. doi: 10.1056/NEJMoa1200303.
- [15] Parikh A, Lipsitz SR, Natarajan S. Association between a DASH-like diet and mortality in adults with hypertension: findings from a population-based follow-up study. *Am J Hypertens*. 2009;22(4):409-416. doi: 10.1038/ajh.2009.10.
- [16] Loladze I. Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO2 depletes minerals at the base of human nutrition. *Elife*. 2014;3:e02245.
- [17] Myers SS, et al. Increasing CO2 threatens human nutrition. *Nature*. 2014;510(7503):139-142. doi: 10.1038/nature13179.
- [18] IPCC, 2020: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2020: Mitigation of Climate Change*.
- [19] Atay, H., Tüvan, A., Demir, Ö ve Balta, İ. (2012) İklim Değişikliğinin Sağlık Üzerine Etkileri: İklim ve Sağlık Arasındaki İlişkilere Genel Bakış: Hastalıklar, Hassas Gruplar, Adaptasyon ve Öneriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Nisan 2012, Ankara.
- [20] CSB (2013) Türkiye İklim Değişikliği 5. Bildirimi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mayıs 2013, Ankara.
- [21] SB (2015) İklim Değişikliğinin Sağlık Üzerine Olumsuz Etkilerinin Azaltılması Ulusal Programı ve Eylem Planı, Sağlık Bakanlığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, Ankara.
- [22] Tolunay, D. (2020) Salgın Hastalıklar, Ekosistem Tahribatları ve İklim Değişikliği ile İlişkili mi? www.iklimhaber.org.
- [23] Kiraz, EDE (2019) İklim Değişikliğinin İnsan Sağlığına Etkileri, İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 14, Ankara.
- [24] Beyer RM, Manica A, Mora C. Shifts in global bat diversity suggest a possible role of climate change in the emergence of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2. *Science of The Total Environment* Volume 767, 1 May NB2021, 145413, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145413>.
- [25] Liu, Z., Ciaisi, P., Deng, Z. et al. Near-real-time monitoring of global CO2 emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. *Nat Commun* 11, 5172 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18922-7>.
- [26] Wu X, Nethery RC, Sabath MB, Braun D, Dominici F. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. *Sci Adv*. 2020 Nov 4;6(45):eabd4049. doi: 10.1126/sciadv.abd4049. PMID: 33148655; PMCID: PMC7673673.
- [27] Lembo R, Landoni G, Cianfanelli L, Frontera A. Air pollutants and SARS-CoV-2 in 33 European countries. *Acta Biomed* [Internet]. 2021 Feb. 16 [cited 2021 May 25];92(1):e2021166. Available from: <https://mattioli1885journals.com/index.php/actabiomedica/article/view/11155>.

- [28] Peters, A., Schneider, A. Cardiovascular risks of climate change. *Nat Rev Cardiol* 18, 1-2 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41569-020-00473-5>.
- [29] Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, 3rd, et al. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010; 121:2331-2378.
- [30] Le Magueresse-Battistoni, B., Vidal, H., & Naville, D. (2018). Environmental Pollutants and Metabolic Disorders: The Multi-Exposure Scenario of Life. *Frontiers in Endocrinology*, 9. doi:10.3389/fendo.2018.00582.
- [31] Rajagopalan, S., & Brook, R. D. (2012). Air pollution and type 2 diabetes: mechanistic insights. *Diabetes*, 61(12), 3037-3045. <https://doi.org/10.2337/db12-0190>.
- [32] Kelishadi, R., & Poursaf, P. (2012). Impact of Climate Change and Air Pollution on Dyslipidemia and the Components of Metabolic Syndrome. *Dyslipidemia - From Prevention to Treatment*. doi:10.5772/39004.
- [33] Goldberg MS, Burnett RT, Yale JF, Valois MF, Brook JR. Associations between ambient air pollution and daily mortality among persons with diabetes and cardiovascular disease. *Environ Res* 2006;100:255-267.
- [34] O'Neill MS, Veves A, Zanobetti A, et al. Diabetes enhances vulnerability to particulate air pollution-associated impairment in vascular reactivity and endothelial function. *Circulation* 2005;111:2913-2920.
- [35] O'Neill MS, Veves A, Sarnat JA, et al. Air pollution and inflammation in type 2 diabetes: a mechanism for susceptibility. *Occup Environ Med* 2007;64:373-379
- [36] Schneider A, Neas L, Herbst MC, et al. Endothelial dysfunction: associations with exposure to ambient fine particles in diabetic individuals. *Environ Health Perspect* 2008;116:1666-1674.
- [37] Ruckerl R, Phipps RP, Schneider A, et al. Ultrafine particles and platelet activation in patients with coronary heart disease—results from a prospective panel study. *Part Fibre Toxicol* 2007;4:1.
- [38] Sun Q, Yue P, DeJulius JA, et al. Ambient air pollution exaggerates adipose inflammation and insulin resistance in a mouse model of diet-induced obesity. *Circulation* 2009;119:538-546.
- [39] Xu X, Liu C, Xu Z, et al. Long-term exposure to ambient fine particulate pollution induces insulin resistance and mitochondrial alteration in adipose tissue. *Toxicol Sci* 2011;124:88-98.
- [40] Xu X, Yavar Z, Verdin M, et al. Effect of early particulate air pollution exposure on obesity in mice: role of p47phox. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2010;30:2518-2527.
- [41] Johnson, R. J., Stenvinkel, P., Jensen, T., Lanaspá, M. A., Roncal, C., Song, Z., ... Sanchez-Lozada, L. G. (2016). Metabolic and Kidney Diseases in the Setting of Climate Change, Water Shortage, and Survival Factors. *Journal of the American Society of Nephrology*, 27(8), 2247-2256. doi:10.1681/asn.2015121314.
- [42] Malyshev I. The Role of HSP70 in the Protection of:(A) The Brain in Alzheimer's Disease and (B) The Heart in Cardiac Surgery. *Immunity, Tumors and Aging: The Role of HSP70*. Springer; 2013. p. 113-39.

- [43] Hsu YL, Yu HS, Lin HC, Wu KY, Yang RC, Kuo PL. Heat shock induces apoptosis through reactive oxygen species involving mitochondrial and death receptor pathways in corneal cells. *Exp Eye Res.* 2011;93:405–12.
- [44] Habibi, L., Perry, G., & Mahmoudi, M. (2014). Global warming and neurodegenerative disorders: speculations on their linkage. *BiolImpacts : BI*, 4(4), 167–170. <https://doi.org/10.15171/bi.2014.013>
- [45] Knight EM, Brown TM, Gümüşgöz S, Smith JC, Waters EJ, Allan SM. et al. Age-related changes in core body temperature and activity in triple-transgenic Alzheimer’s disease (3xTgAD) mice. *Dis Model Mech.* 2013;6:160–70. doi: 10.1242/dmm.010173.
- [46] Coogan AN, Schutová B, Husung S, Furczyk K, Baune BT, Kropp P. et al. The circadian system in Alzheimer’s disease: disturbances, mechanisms, and opportunities. *Biol Psychiatry.* 2013;74:333–9. doi: 10.1016/j.biopsych.2012.11.021.
- [47] Linares C, Martinez-Martin P, Rodriguez-Blázquez C, Forjaz MJ, Carmona R, Diaz J. Effect of heat waves on morbidity and mortality due to Parkinson’s disease in Madrid: A time-series analysis. *Environ Int.* 2016 Apr-May;89-90:1-6. doi: 10.1016/j.envint.2016.01.017. Epub 2016 Jan 26. PMID: 26824434.
- [48] P. H. Hart and M. Norval, Ultraviolet radiation-induced immunosuppression and its relevance for skin carcinogenesis, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2018, 17, 1872– 1884. 34 C.
- [49] Ludema, S. R. Cole, C. Poole, J. S. Smith, V. J. Schoenbach and K. R. Wilhelmus, Association between unprotected ultraviolet radiation exposure and recurrence of ocular herpes simplex virus, *Am. J. Epidemiol.*, 2014, 179, 208–215.
- [50] H. S. Jung, J. K. Kang and S. H. Yoo, Epidemiological study on the incidence of Herpes zoster in nearby Cheonan, *Korean J. Pain*, 2015, 28, 193–197.
- [51] Y. Chang, E. Cesarman, M. S. Pessin, F. Lee, J. Culpepper, D. M. Knowles and P. S. Moore, Identification of herpes virus-like DNA sequences in AIDS-associated Kaposi’s sarcoma, *Science*, 1994, 266, 1865–1869.
- [52] E. Cahoon, E. Engels, M. Freedman, M. Norval and R. Pfeiffer, Ultraviolet radiation and Kaposi sarcoma in a nationwide US cohort of HIV-infected men, *J. Natl. Cancer Inst.*, 2017, 109, djw267.
- [53] M. Norval and G. M. Woods, UV-induced immunosuppression and the efficacy of vaccination, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2011, 10, 1267–1174.
- [54] P. Mangtani, I. Abubakar, C. Ariti, R. Beynon, L. Pimpin, P. E. Fine, L. C. Rodrigues, P. G. Smith, M. Lipman, P. F. Whiting and J. A. Sterne, Protection by BCG vaccine against tuberculosis: a systematic review of randomized controlled trials, *Clin. Infect. Dis.*, 2014, 58, 470–480.
- [55] Lucas, R. M., Yazar, S., Young, A. R., Norval, M., de Gruijl, F. R., Takizawa, Y., ... Neale, R. E. (2019). Human health in relation to exposure to solar ultraviolet radiation under changing stratospheric ozone and climate. *Photochemical & Photobiological Sciences.* doi:10.1039/c8pp90060d.
- [56] J. C. van der Leun, R. D. Piacentini and F. R. de Gruijl, Climate change and human skin cancer, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2008, 7, 730–733.
- [57] J. Cadet and T. Douki, Formation of UV-induced DNA damage contributing to skin cancer development, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2018, 17, 1816–1841.
- [58] S. R. Flaxman, R. R. A. Bourne, S. Resnikoff, P. Ackland, T. Braithwaite, M. V. Cicinelli, A. Das, J. B. Jonas, J. Keeffe, J. H. Kempen, J. Leasher, H. Limburg, K. Naidoo, K. Pesudovs, A. Silvester,

- G. A. Stevens, N. Tahhan, T. Y. Wong, H. R. Taylor and S. Vision, Loss Expert Group of the Global Burden of Disease, Global causes of blindness and distance vision impairment 1990–2020: a systematic review and meta-analysis, *Lancet Glob. Health*, 2017, 5, e1221–e1234.
- [59] K. M. Mundy, E. Nichols and J. Lindsey, Socioeconomic disparities in cataract prevalence, characteristics, and management, *Semin. Ophthalmol.*, 2016, 31, 358–363.
- [60] S. Mesrine, M. Kvaskoff, T. Bah, L. Wald, F. ClavelChapelon and M. C. Boutron-Ruault, Nevi, ambient ultraviolet radiation, and thyroid cancer risk: a French prospective study, *Epidemiology*, 2017, 28, 694–702.
- [61] X. Chen, H. Chen, W. Cai, M. Maguire, B. Ya, F. Zuo, R. Logan, H. Li, K. Robinson, C. R. Vandenburg, Y. Yu, Y. Wang, D. E. Fisher and M. A. Schwarzschild, The melanoma-linked “redhead” MC1R influences dopaminergic neuron survival, *Ann. Neurol.*, 2017, 81, 395–406.
- [62] L. A. Dalvin, G. M. Damento, B. P. Yawn, B. A. Abbott, D. O. Hodge and J. S. Pulido, Parkinson disease and melanoma: confirming and reexamining an association, *Mayo Clin. Proc.*, 2017, 92, 1070–1079.
- [63] C. R. Medici, C. H. Vestergaard, D. Hadzi-Pavlovic, P. Munk-Jorgensen and G. Parker, Seasonal variations in hospital admissions for mania: Examining for associations with weather variables over time, *J. Affective Disord.*, 2016, 205, 81–86.
- [64] A. Coste, S. Goujon, M. Boniol, F. Marquant, L. Faure, J. F. Dore, D. Hemon and J. Clavel, Residential exposure to solar ultraviolet radiation and incidence of childhood hematological malignancies in France, *Cancer, Causes Control*, 2015, 26, 1339–1349.
- [65] Kang JX. The omega-6/omega-3 fatty acid ratio in chronic diseases: animal models and molecular aspects. *World Rev Nutr Diet* 2011; 102: 22–29.
- [66] Cotty PJ, Jaime-Garcia R. Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. *Int J Food Microbiol* 2007; 119: 109–15.
- [67] Hiatt, R. A., & Beyeler, N. (2020). Cancer and climate change. *The Lancet Oncology*, 21(11), e519–e527. doi:10.1016/s1470-2045(20)30448-4.
- [68] Miner KR, Bogdal C, Pavlova P, Steinlin C, Kreutz KJ. Quantitative screening level assessment of human risk from PCBs released in glacial meltwater: Silvretta Glacier, Swiss Alps. *Ecotoxicol Environ Saf* 2018; 166: 251–58.
- [69] Miner KR, Kreutz KJ, Jain S, Campbell S, Liljedahl A. A screening level approach to quantifying risk from glacial release of organochlorine pollutants in the Alaskan Arctic. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2019; 29: 293–301.
- [70] Regli S, Chen J, Messner M, et al. Estimating potential increased bladder cancer risk due to increased bromide concentrations in sources of disinfected drinking waters. *Environ Sci Technol* 2015; 49: 13094–102.
- [71] Los Angeles Times. Cancer-causing chemical taints water after deadly Paradise wildfire. April 18, 2019. <https://www.latimes.com/local/lanow/la-me-ln-benzene-poisoning-paradise-20190418-story.html> (accessed Sept 21, 2020).

ENERJİ KAYNAKLARI TÜKETİMİYLE ARTAN HAVA KİRLİLİĞİNİN KARDİYOVASKÜLER SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİ

Şeyma Kıbrıslıoğlu Baykan^a

^a Sivas Kangal Devlet Hastanesi, Anestezi Uzman Doktoru

ÖZET

Hava kirliliği; atmosferdeki yabancı maddelerin, normalin üzerinde miktar ve yoğunluğa ulaşarak canlıların sağlığını olumsuz yönde etkilemesidir. Her geçen gün artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, geleceğin dünyasını ciddi bir şekilde tehdit etmektedir. Bu çalışmada hava kirliliğinin sebep olduğu kardiyovasküler etkiler incelenmiş ve iyileştirilmesi için öneriler geliştirilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kardiyovasküler, Sağlık, Enerji Kaynakları

ABSTRACT

Air pollution; It is that foreign substances in the atmosphere reach the amount and density above the normal and adversely affect the health of living things. Air pollution, which is one of the environmental problems increasing day by day, seriously threatens the world of the future. In this study, the cardio-vascular effects caused by air pollution were examined and suggestions were tried to be developed for its improvement.

Keywords: Cardiovascular, Health, Energy Resources

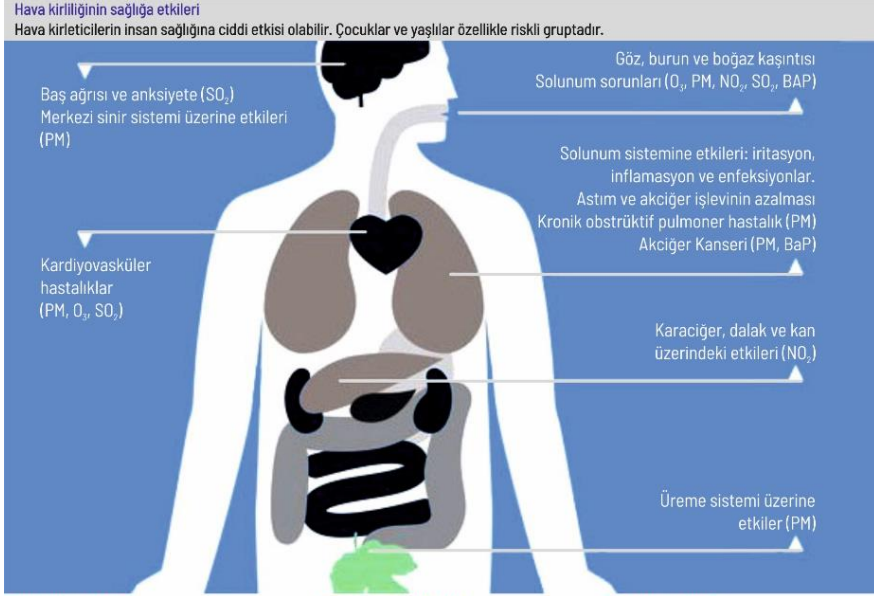
GİRİŞ

Hava kirliliği iç ve dış ortam hava kirliliği olarak ele almak çözüm geliştirmek açısından daha uygun bir yaklaşımdır. Dış ortam kirliliğinin temel nedenleri sanayileşme, ısınma, ulaşım ve hafriyat kaynaklıdır. Oysa iç ortam hava kirliliği sanayileşmeden ziyade yoksullukla ilişkilidir ve temel olarak ev içi ısınma ya da yemek pişirme ile ilgili olarak katı yakıtların kullanılmasına bağlıdır.

Gözle göremediğimiz partikül maddeler (PM), karbon monoksit (CO), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve ozon (O₃) gibi kirleticiler çoğu zaman biz fark etmeden soluduğumuz havayı kirletirler. Yüksek miktarda NO_x ve SO₂ konsantrasyonlarının havaya karışması, meteorolojik koşulların da etkisiyle asit yağmurlarını oluşturmaktadır.

Hava kirliliği her yıl dünya çapında tahmini yedi milyon insanı öldürmektedir. Dünya sağlık örgütü (DSÖ) verileri, 10 kişiden 9'unun, yüksek düzeyde kirletici içeren (DSÖ yönergesi sınırlarını aşan) hava soluduğunu ve düşük ve orta gelirli ülkelerin en yüksek ma-

ruziyetten muzdarip olduğunu göstermektedir [1]. Bu ölümlerin %40'ını kardiyovasküler hastalıklar, %40'ını inme (felç), %11'ini kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), %6'sını akciğer kanseri ve % 3'ünü ani alt solunum yolu enfeksiyonları oluşturmaktadır [1].



Partikül Madde (PM), havada asılı kalan parçacıklardır. Deniz tuzu, siyah karbon, toz ve belirli kimyasallardan oluşan parçacıklardır. Bir PM kirlitici olarak sınıflandırılabilir.

Azot dioksit (NO₂), esas olarak araç motorları ve elektrik santrallerinde yürütülen işlemler gibi yakma işlemleri nedeniyle oluşur.

Yer seviyesinde Ozon (O₃), ulaşım, doğal gaz kuyuları, çöp sahaları ve ev tipi kimyasallardan yayılan kirlitici dahil olmak üzere havaya yayılan kirlitici içeren kimyasal reaksiyonlar (güneş ışığı tarafından tetiklenir) nedeniyle oluşur.

Beno(a)piren (BaP), yakıtların tam yanmasından kaynaklanır. Ana kaynakları arasında odun ve atık yakılması, kömür ve çelik üretimi ve araç motorları yer alır.

Sülfür dioksit (SO₂), ısınma, elektrik üretimi ve ulaşım için sülfür içeren yakıtlar yakıldığında yayılır. Yanardağlar da atmosfere SO₂ yayar.

Şekil 1. Hava Kirliliği [1].



Şekil 2. Maddelerin limitleri [1].

Hesaplanan son verilere göre, 2019 yılında Türkiye’de 30 yaş üstü (kazalar/dışsal yaralanmalar haricindeki) toplam 396.670 ölüm içerisinde hava kirliliği nedeni ölüm sayısı 31.476’dır (%7,9). Fakat PM₁₀ yıl boyunca sadece 51 ilde %90 ve üzeri gün ölçüm yapılabiliyor ve geriye kalan 30 il için yeterli veri yoktur. 2019 yılında 60 ilde yıl boyunca mevzuata göre yeterli PM_{2.5} verisi yoktur [2]. PM_{2.5}, tüm dünyada hava kirliliği kaynaklı sağlık sorunlarını incelerken kullanılan gösterge bir kirleticidir.

2019 Yılı Hava Kalitesi Değerlendirilmesi

2019 yılında PM₁₀ ölçümü verileri:

Yeterli ölçüm yapılan il sayısı	: 51
Yeterli ölçüm yapılan istasyon sayısı	: 152
Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) sınır değerleri (PM ₁₀)	: 20 µg/m ³
DSÖ sınır değeri altında (temiz) olan il sayısı	: 2
DSÖ sınır değeri üstünde (kirli) olan il yüzdesi	: % 98
Ulusal mevzuat limiti	: 40 µg/m ³
Ulusal mevzuatın üstünde (kirli) olan il sayısı	: 36
Ulusal mevzuatın üstünde (kirli) olan il yüzdesi	: % 70

Şekil 3. Türkiye’deki sınırlar [3].

Türkiye’deki yasal sınır değerlere göre bakıldığında dahi 2019 yılında yeterli ölçüm yapılan 51 ilin %70’inde (36 il) yıllık PM₁₀ ortalaması ulusal sınırları aşmıştır. Ayrıca yeterli sayıda ölçüm yapılan 124 istasyondan 101’inde (%81,4), 24 saatlik PM₁₀ düzeyleri mevzuatta aşması gerektiği belirtilen 50 µg/m³’ü yıl içinde 35’ten fazla günde aşmıştır [2], [3].

Partikül Madde

Partiküller madde (PM) terimi, havada bulunan katı partiküller ve sıvı damlacıkları ifade eder. İnsan faaliyetleri sonucu ve doğal kaynaklardan oluşarak, doğrudan atmosfere karışırlar ve atmosferde diğer kirleticiler ile reaksiyona girebilirler. Sağlığa konu olan partiküller, aerodinamik çapı 10 µm nin altındaki partiküllerdir, bu boyut aralığındaki partiküller, solunum sistemi içine girerek birikim yapabilirler.

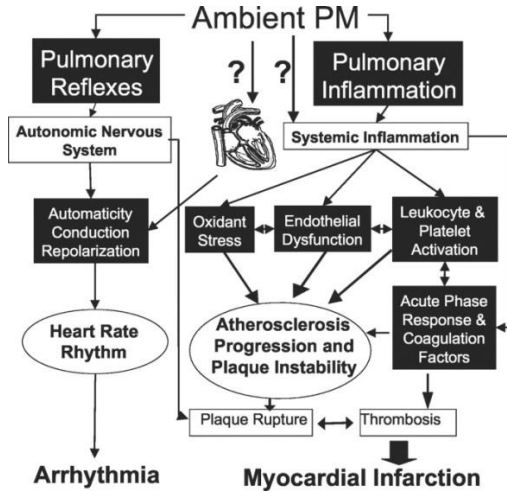
2.5-10 µm aralığındaki partiküller (PM₁₀), “kaba” partiküller olarak adlandırılır. Kaba partikül kaynakları; kırma, öğütme işlemleriyle oluşan ve yollardan kalkan tozlardır

2.5 µm den daha küçük partiküller (PM_{2.5}) “ince partiküller” olarak adlandırılır. İnce partikül kaynakları, tüm yanma prosesleri ve bazı endüstriyel prosesleri içerir (çimento fabrikaları, termik santraller, metal endüstrileri ve inşaat faaliyetleri, madencilik, taşıtlardan kaynaklanan tozlar, kömür ve petrol türevlerinin yanması). PM_{2.5} değerindeki her 10 µg/m³ düşüş ortalama yaşam beklentisini 0.61±0.20 yıl uzatmaktadır [1].

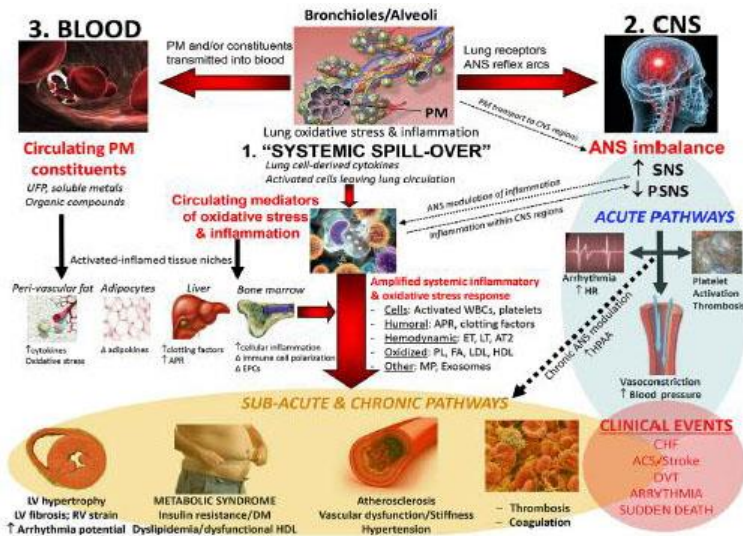
2004 te Amerikan Kalp Derneğinin yaptığı bilimsel açıklamada; hava kirliliğine maruz kalmanın kardiyovasküler hastalık gelişimine katkıda bulunduğu gösterilmiştir [4]. AHA; karbon monoksit, nitrojen oksitleri, kükürt dioksit, ozon, kurşun ve partikül maddeyi “torasik partiküller” PM₁₀, PM_{2.5} içeren çeşitli çevresel hava kirleticileri ile özellikle ilişkilendirmiştir. PM’de

tespit edilmiş binlerce kimyasal olmasına rağmen, daha yaygın bileşenlerden bazıları nitratları, sülfatları, elemental ve organik karbonu, organik bileşikleri, biyolojik bileşikleri içerir.

Bu kirlenmeler, özellikle konjestif kalp yetmezliği, sık aritmiler veya her ikisi olan kişilerde artan hastaneye yatış ve kardiyovasküler hastalığa bağlı mortalite ile ilişkilidir. Patogenezde artmış pıhtılaşma / tromboz, aritmi eğilimi, akut arteriyel vazokonstriksiyon, sistemik enflamatuar yanıt ve aterosklerozun kronik ilerlemesi dahil olmak üzere birçok mekanizma ortaya koyulmuştur [5]. 34 çalışmayı tarayan bir çalışmada kısa süreli PM_{2.5} maruziyetinin artmış MI riski ile ilişkisi ortaya koyuldu. NO₂ ve SO₂ ve CO de MI riskiyle ilişkili bulundu ve maruziyet süresi uzadıkça riskin arttığı gösterildi [6].



Şekil 4. Hava Kirliliği Aracılı Kardiyometabolik Risk [5].



Şekil 5. Hava Kirliliği kan basıncı ilişkisi [6].

Kardiyak Aritmi

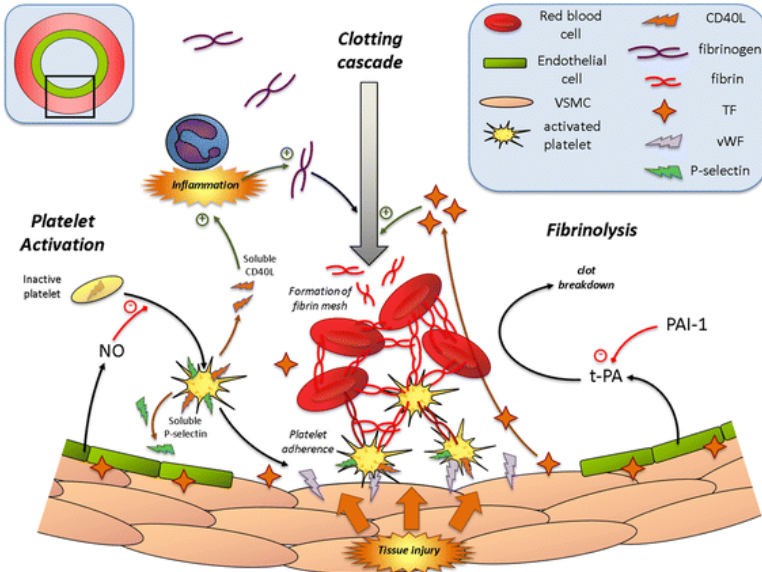
Kalp hızı değişikliği, kirlilik maruziyetleriyle ilişkili olarak ortaya çıktığı gösterilen ilk olumsuz biyolojik yanıtlar arasındadır. Çok sayıda literatür, PM'nin kardiyak otonomik dengeyi bozabileceğini göstermektedir. Gözlenen fizyolojik değişiklikler, solunan kirleticilerin genellikle otonom dengeyi, artan sempatik aktivite lehine değiştirdiğini desteklemektedir. Akut hava kirliliğine maruz kalmanın bu mekanizma ile atriyal fibrilasyonu tetiklediği gösterilmiştir. Hava kirliliği maruziyeti ile ventriküler aritmi riski, kanıtlar sınırlı olmasına rağmen daha önce gösterilmiştir.

Hipertansiyon

Hava kirliliği ve hipertansiyon arasındaki ilişki birçok çalışmada kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmiştir. Ortam PM₂₅teki 10 µg /m³ artışlar, takip eden birkaç gün içinde sistolik ve diyastolik kan basıncında sürekli olarak 3 mmHg yükselmelerle ilişkilidir. Uzun süreli maruziyetler, kan basıncındaki kronik yükselmelerle ve ayrıca hipertansiyon prevalansının ve ya insidansının artmasıyla ilişkilendirilmiştir [7].

Pıhtılaşma bozukluğu ve Tromboz

Çalışmalar, hava kirliliği maruziyetlerinin, artan tromboz potansiyeli, aktive trombositler ve yüksek kan pıhtılaşma eğilimleriyle ilişkili olduğunu göstermiştir. Lucking ve arkadaşları, Badimon oda tekniğini kullanarak dizel egzozun partikül bileşenlerinin geliştirdi. Bu partiküllerin ex vivo trombüs oluşumuna ve ayrıca kontrollü kronik maruziyetlerin vazokonstriksiyon (ht), trombüs oluşumu ve doku tipi plazminojen aktivatör salınımında artış ile ilişkili olduğu bulundu [8].



Şekil 6. Hava Kirliliği Protrombotik değişiklikler ilişkisi [6].

Protrombotik değişikliklerden sorumlu mekanizmalar tam olarak aydınlatılmamıştır. Ancak önceki deneysel verilere dayanarak, inhale partiküllerin sistemik inflamatuvar yanıtı başlatarak ve trombositleri doğrudan aktive ederek trombozu arttırdığı hipotezi kurulmuştur. Hipotez; PM nedeniyle inflame olan akciğer endotel hücrelerinin dolaşım-daki trombositleri direkt veya p-selektine bağlı bir şekilde aktive eden adhezyon molekülleri salgıladığına da yer vermiştir.

Ateroskleroz

Yüksek seviyelerde PM'ye kronik maruziyet, sistemik ateroskleroz gelişimini artırır. Trafikle ilgili PM'nin bir belirtici olan yüksek seviyelerde siyah karbona yıllık maruziyet, Boston bölgesinde yaşayan yaşlı erkekleri kapsayan bir kohortta ateroskleroz oranında %1.1'lik bir artış ile ilişkilendirilmiştir [9].

Hayvan çalışmaları, sistemik inflamasyon, vasküler oksidatif stres, doğal ve adaptif bağışıklığın aktivasyonu ve yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL) işlev bozukluğu dahil olmak üzere, altta yatan biyolojik yolların bazılarını aydınlatmıştır. Yakın tarihli bir rapor, uzun vadeli trafik maruziyeti bulunan 79 yetişkinle yaptığı bir çalışmada hava yolu makrofajlarında ölçülen karbon yükünün ve plazma LDL değerinin partikül konsantrasyonlarındaki artışlarla bağımsız olarak ilişkili olduğunu göstermiştir [10], [11].

Vazokonstriksiyon ve Vasküler Disfonksiyon

Kısa ve uzun süreli yüksek ortam PM_{2.5} seviyelerinin bağımsız olarak retinal arter vazospazmına neden olduğu gösterilmiştir. PM maruziyetinin akut vazokonstriksiyon ve endotel fonksiyon bozukluğuna fonksiyona neden olduğu bir çok çalışmayla doğrulanmıştır [12]. Dizel yakıt ürünlerine maruz kalınmasının endotel hücrelerinde daha yüksek seviyelerde reaktif oksijen radikali oluşumuna neden olduğu gösterilmiştir. Akut arterio-lar vazokonstriksiyon ve endotelial disfonksiyon dahil olmak üzere bu vasküler yanıtların akut miyokard iskemisi ve kronik kardiyovasküler hastalık oluşumunda önemli rollere sahip olduğu açıktır.

İnsülin Direnci ve Diyabet

2010'dan bu yana AHA bildirisini PM maruziyetlerini insülin direnci ve diyabet geliştirme riskinin artmasıyla ilişkilendiren ek kanıtlar ortaya koymuştur [4]. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada da 5 günlük bir süre boyunca daha yüksek ortam PM_{2.5} seviyelerinin, insülin duyarlılığının kötüleşmesi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. İnsüline duyarlı dokularda kalıcı otonom imbalans inflamasyonu, değişmiş adipositokin ekspresyonu, hepatik steatoz ve endoplazmik retikulum stresinin tümü patofizyolojide yer almıştır. Bu bulgular, kronik hava kirliliğine maruz kalma nedeniyle metabolik insülin direnci ve diyabet gelişmesinin, bireyleri gelecekteki kardiyovasküler olaylar için daha fazla risk altına sokabileceği bilinmektedir.

SONUÇ

Fosil yakıtlar nedenli hava kirliliği bir halk sağlığı sorunudur. Başlığımızda incelenen kardiyovasküler risk artışı hava kirliliğinin bilimsel olarak kanıtlanmış, insan sağlığına zararlı etkilerinden yalnızca bir tanesidir. İnsan sağlığının korunması ve yaşanabilir bir çevre için iyi bir hava kalitesine ihtiyaç vardır. Dünyada ve ülkemizde ivedilikle önlemler alınması gereken önlemlerden bazıları şunlardır:

- Mevzuatımızda PM2.5 için sınır değerler belirlenmelidir.
- Yapılması planlanan endüstri, altyapı, enerji gibi tesislerinin izin süreçlerinde sağlık etki değerlendirmesi yapılmalıdır.
- Temiz kaynaklara geçilmelidir. (Kömürle çalışan santralleri rüzgar, gelgit, jeotermal ve güneş gibi düşük kirlenici yenilenebilir enerji kaynaklarına geçirmek)
- Ulaşım reformu yapılmalı, düşük emisyonlu ve sıfır emisyonlu araçların kullanımını teşvik edilmelidir.
- Motor yakıtlarının kükürt içeriği azaltılmalıdır.
- Kamyonlar şehir merkezlerinden kısıtlanmalı, aktif ulaşım teşvik edilmelidir(yürüme, bisiklet)
- Trafik emisyonları azaltılmalıdır.
- Dizel parçacık tutucular, katalitik dönüştürücüler, alternatif yakıtların kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.(naturel gaz(LNG), elektrikli arabalar)
- Kentsel peyzaj reformu çerçevesinde; arazi kullanımı değerlendirmesi, kaynaklar ve insanlar arasındaki minimum mesafeler (trafik ana yollar dahil) korunmalıdır, karma kullanım alanlarından kaçınılmalıdır(endüstriyel-konut)
- Emisyon ticareti programları kapsamında vergiler yoluyla elde edilen gelirler kirlilik kontrolüne yönlendirilebilir ve karbon kredilerine benzer şekilde alınıp satılabilen krediler aracılığıyla kontrollere bağlı kalan şirketler desteklenebilir.
- Bilimin yeniden yönlendirilmesi ve finansman kapsamında; kısa vadeli sağlık faydalarına odaklanmak için iklim değişikliği azaltım yatırımlarına öncelik verilmelidir.
- Şehirlerde hava kirliliğine ilişkin yerel veriler aracılığıyla tanıtım ve bilinçlendirme kampanyaları aracılığıyla toplum bilinci güçlendirilmelidir.

Hava kirliliği ile mücadelede ilgili yerel, ulusal ve uluslararası düzeylerde çalışmalar yapılmaktadır, ancak sağlık alanındaki çalışmalar incelendiğinde, ülkemiz dünyadaki gelişmelerden geride kalmaktadır. Bu sebeple kamu kuruluşları ile işbirlikleri yapılarak toplum bilincinin artırılması uygulamaları ile birlikte devreye girmesi gereken çok daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- [1] World Health Organization (WHO), “New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution,” Air pollution, 2021.
- [2] Ö. Zeydan, “2019 Yılında Türkiye’deki Partikül Madde (PM10) Kirliliğinin Değerlendirilmesi,” İğdır Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., 2021, doi: 10.21597/ijst.745539.

- [3] G. Orhan, "Hava Kirliliği ve Asit Yağmurları: Uzun Menzilli Sınırlar Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi Ve Protokolleri Karşısında Türkiye'nin Konumu," Marmara Üniversitesi Avrupa Topluluğu Enstitüsü Avrupa Araştırmaları Derg., 2015, doi: 10.29228/mjes.129.
- [4] R. D. Brook et al., "Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the american heart association," *Circulation*. 2010, doi: 10.1161/CIR.0b013e3181d8e3e1.
- [5] B. A. Franklin, R. Brook, and C. Arden Pope, "Air pollution and cardiovascular disease," *Curr. Probl. Cardiol.*, 2015, doi: 10.1016/j.cpcardiol.2015.01.003.
- [6] H. Mustafić et al., "Main air pollutants and myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis," *JAMA - Journal of the American Medical Association*. 2012, doi: 10.1001/jama.2012.126.
- [7] B. W., W. K., P. M., H. J., C. J., and P. A., "Associations between traffic noise, particulate air pollution, hypertension, and isolated systolic hypertension in adults: The KORA study," *Environ. Health Perspect.*, 2014.
- [8] A. J. Lucking et al., "Particle traps prevent adverse vascular and prothrombotic effects of diesel engine exhaust inhalation in men," *Circulation*, 2011, doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.987263.
- [9] E. H. Wilker et al., "Long-term exposure to black carbon and carotid intima-media thickness: The normative aging study," *Environ. Health Perspect.*, 2013, doi: 10.1289/ehp.1104845.
- [10] L. Jacobs et al., "Traffic air pollution and oxidized LDL," *PLoS One*, 2011, doi: 10.1371/journal.pone.0016200.
- [11] R. D. Brook et al., "Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease," *Circulation*, 2010, doi: 10.1161/cir.0b013e3181d8e3e1.
- [12] R. D. Brook, J. R. Brook, B. Urch, R. Vincent, S. Rajagopalan, and F. Silverman, "Inhalation of fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults," *Circulation*, 2002, doi: 10.1161/01.CIR.0000013838.94747.64.

BÖLÜM 3

ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU PİYASA VE MEVZUATLAR

NARX ANN İLE SIVAS ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ELEKTRİK TALEP TAHMİNİ

Yunis Torun^a, Uğur Atıcı^b, Seyit Keklikci^c

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

^b Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

^c Sivas-Merkez 1. Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü, Elektrik-Elektronik Mühendisi

ÖZET

Enerji kaynakların çeşitlendirme arz talep dengelemesi açısından önemli olmakla birlikte Türkiye elektrik pazarında gerçek zamanlı olarak dengeleme yapılır. Gün öncesinde sunulan yük alma/atma tekliflerine bağlı olarak dengeleme güç piyasasında gerçek zamanlı yüksek fiyatlar ceza maliyetine katlanılır. Dengeleme güç piyasası elektrik arz ve talebinin anlık dengeye oturtulmasını ve elektrik arz kalitesini sağlar. Dengeleme işlemleri esnasında gün içi tekliflerine bağlı olarak anlık yüksek fiyat ve ceza maliyetine katlanılmaması için elektrik tüketimin anlık olarak tahmini oldukça önemlidir. Bu çalışmanın arkasındaki motivasyon elektrik üretimin için önemli girdilerden olan talebin tahmin edilebilir, elektrik arzının gerçekleştirilebilir ve değerlendirilebilir kılmak, enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlamak, enerji yatırımları ile tüketimin daha etkin planlamasına imkân sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: NARX NN, Talep tahmini, Optimizasyon, Sivas Organize sanayi bölgesi, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

Although the diversification of energy resources is important in terms of supply-demand balancing, balancing is done in real time in the Turkish electricity market. Real-time high prices in the balancing power market incur penalty costs, depending on the day-ahead take/drop offers. Balancing power market ensures the instantaneous balancing of electricity supply and demand and the quality of electricity supply. During the balancing process, the instantaneous estimation of electricity consumption is very important in order not to suffer the instant high price and penalty costs depending on the intraday offers. The motivation behind this study is to make the demand, which is one of the important inputs for electricity production, predictable, the electricity supply realizable and evaluable, to contribute to the reduction of foreign dependency in energy, and to enable more efficient planning of energy investments and consumption.

Keywords: NARX NN, Demand forecasting, Optimization, Sivas Organized Industrial Zone, Artificial Neural Networks

GİRİŞ

Elektrik enerjisi tüketim noktalarına verimli bir şekilde iletilmesi gereken enerji türüdür. Elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması, üretildiğinde depolanamaması nedeni ile arz talep dengesinin sağlanması bir zorluluktur. Arz talep dengesinin sağlanmasında uygulanan yaygın yöntemlerden bir tanesi tüketimdeki anlık artışları karşılamak üzere petrol, doğalgaz ve kömür gibi enerji kaynakları kullanarak elektrik üretimi yolu ile ihtiyacı karşılamaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları elektrik arz ve talep dengelemesinde kullanımı en güç olan araçlardan bir tanesidir. Rüzgâr, güneş ve bu gibi enerji kaynakları üretime dönüştürülmediğinde depolanması gibi bir husus söz konusu değildir. Bu durum dengeleme ve fiyatlandırmada önemli zorluklardan bir tanesidir.

Bu çalışmada yönelik doğrusal olmayan otoregresif dışsal yapay sinir ağı (NARX ANN) kullanılarak Sivas Organize Sanayi bölgesinin elektrik talep tahmini araştırılmıştır. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Elektrik enerji sistemlerinde talep tahminine ilişkin yapılan önceki çalışmalar ikinci bölümde, talep tahini için kullanılan NARX ANN ve metodoloji üçüncü bölümde, elde edilen bulgular dördüncü bölümde, sonuç ve sonraki çalışmalar beşinci bölümde sunulmuştur.

Literatür Araştırması

Modernleşme ile birlikte sürdürülebilir üretim insanoğlu için kritik bir süreci oluşturmaktadır. Sürdürülebilir üretiminin gerçekleştirilebilmesi için ise planlama hayati bir faaliyeti oluşturmaktadır. Elektrik enerji piyasasında planlama talep ve arz bileşenlerinden oluşmaktadır. Elektrik piyasasında güç dengelemesi olarak adlandırılan problem ihtiyaç duyulan enerji miktarı kadar iletim hatlarında enerji arzı yapılmasıdır.

Aktif şebeke yönetimi karmaşık ve stokastik bir çizelgeleme problemidir. Yenilenebilir enerji kaynakların aktif şebeke görevlerini modellenmesi için pekiştirmeli öğrenme kullanılarak stokastik süreçler modellenmiştir [1]. Elektrik piyasasında elektrik dağıtımı, rekabeti teşvik etmek ve perakende fiyatları düşürmek amacıyla kararsızlaştırılır [2]. Brezilyada 2020 yılında pandemi nedeni ile hem tüketicilerin hem de elektrik dağıtım büyük kayıplar yaşamış, elektrik piyasası tarife ve politikalarda değişiklik yapılmıştır [3]. Elektrik piyasasında yenilenebilir enerji kaynakların tahmin edilmesi yeni lisans ihalelerine yatırımcı ilgisini artırır [4]. Yenilenebilir enerji kaynakların üretim kapasitesinden gelen değişken ve öngörülmez oluşu dengeleme açısından zorluklar çıkarır [5]. Elektrik ve doğalgaz sistemleri arasında karşı bağımlılık yenilenebilir enerji kaynakların yaygınlaşması ile artmıştır [6].

Elektrik ve doğal gaz piyasasında verimlilik kaybının önlenmesi için dengeleme yapılır [7]. Perakende elektrik piyasasında ise dinamik fiyatlandırma yapılır [8]. Dağıtım sistemleri gün içi dengeleme ve fiyatlama politikaları literatürde yaygın bir şekilde incelenmiştir [9]. Elektrik enerji tüketiminin tahmin edilmesinde kullanılan modellerden bir tanesi Markov zinciri modelidir. Avustralya örneğinde Markov zinciri kullanılarak konut elektrik tüketiminin tahmini çalışılmıştır [10]. Birbirine bağlı elektrik piyasalarından bir fiyat vektörünün dağılımını modelleme ve tahmin edilmesine yönelik yeni bir risk yönetim aracı önerilmiştir [11].

Elektrik üretim ve depolama kaynakları, talep yönlü katılım ve modern iletişim altyapısı kuruldukça dağıtım şirketleri toptan elektrik piyasalarında giderek artan bir şekilde stratejik bir rol oynamaktadır. Belirsizlik altında elektrik dağıtım şirketlerinin fiyatlandırma davranışı analiz edilmiştir [12]. Dağıtım şirketleri enerji kaynaklarını şebeke ağlarına dâhil edilmesinde bir kısım zorluklar vardır. Bu zorluklar enerjinin depolanmaması ve tüketim miktarının tahmin edilmemesinin yanında mevzuatsal engeller ve organizasyonlara ait engellerdir [13]. Tahminin zorluğunu artıran faktörlerden bir tanesi bireysel tüketici kararlarının stokastik olmasıdır [14]. Bu nedenledir ki dağıtım şirketlerinin verimliliğini ve karlılığını etkileyen sorunlara ait bilgileri içeren veri kümeleri tamamen dengesizdir [15]. Şebeke hizmetleri için tüketici tercihleri değiştikçe, artan sayıda dağıtılmış enerji kaynakları birbirine bağlandıkça yeni zorluklar ortaya çıkar [16]. Enerji ticaretinin sürdürülebilirliği ve esnekliğinin nasıl teşvik edileceği ve akıllı binaların akıllı bina kümelerinde enerji ticaretine katılma inisiyatifinin nasıl geliştirileceği yarı bir araştırma konusudur [17]. Endüstri 4.0 enerjide mevcut kaynakları verimli bir şekilde kullanan akıllı üretim sistemlerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Günlük planlama ve çizelgeleme sistemlerinin temel amacı, bir kuruluştaki kaynak tahsisini optimize ederek verimliliği en üst düzeye çıkarmaktır [18]. Bu kapsamda enerji tüketiminde zeki sistemler kullanılması kritiktir.

Elektrik tüketiminin tahmin edilmesine yönelik pek çok farklı yöntem kullanılmıştır [19]. Havuza dayalı elektrik piyasalarında stratejik davranışı analiz etmek için tek dönemli bir açık artırma oyun modeli önerilmiştir [20]. Çin’de elektrik tüketiminin tahmin edilmesine yönelik sektöre ait ve bölgesel düzeyde elektrik talebi senaryoları geliştirilmiştir [21]. Şanghay’ın günlük güç yükü tahmin modelinin elde edilmesine yönelik günlük elektrik yükünün varyasyon özellikleri kullanılmıştır. Oto-regresif model ile durağan bir lineer rastgele serinin olası ani değişim ile günlük elektrik talebi tahmin edilmiştir [22]. Ekonomik olarak verimli elektrik fiyatlandırması ve endüstriyel tüketici tepkisi incelenmiştir. Gelecekteki belirsizliği ve kararlar arasındaki zamanlar arası bağlantıları içeren yeni bir elektrik fiyatlandırma teorisi önerilmiştir [23]. Günlük güç tüketimin tahmin edilmesine yönelik günlük elektrik yükünün varyasyon özelliklerinin analizi, eğilim fonksiyonu, belirgin fiziksel anlamlara sahip periyodik fonksiyonlar ve üstel ağırlık hareketi yoluyla küçük güç yükü kullanılan diğer yöntemlerdir [24].

Toplam elektrik talebini hem kısa hem de uzun vadede etkileyen faktörler önemlidir. Şehirleşme, artan nüfus ve gelir etkilerinin, kısa ve uzun vadede elektrik tüketiminde büyümeye yol açar [25]. Büyük oranda karbon ve hidrojen den oluşan fosil yakıtların aşırı kullanımı küresel iklimi, ekosistemi ve halk sağlığını tehdit etmektedir [26]. Elektrik tüketim tahmininde sümilasyon modelleride kullanılır [27]. Elektrik talebini durağan olmayan verilerle tahmin etmek için bulanık regresyon ve zaman serileri kullanılır [28]. Tahminde zaman serilerine ilave olarak trend ekstrapolasyonu kullanılması önerilmiştir. Geçmişin çevresel yapısı sabit kaldığında geleceğin tahmininde deneysel veriler kullanılır ve tahminciye bir veri tabanı geliştirme imkânı sunar [29].

Yapay zekâ teknikleri elektrik tüketiminin tahmininde yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Karar ağacı ve rastgele orman algoritması, destek vektör makinası, çok katmanlı algılayıcı,

çoklu liner regrasyon, ileri beslemeli yapay sinir ağı, elektromanyetizma tabanlı ateşböceği algoritması, geri yayımlı yapay sinir ağı, evrişimsel sinir ağı, sinirsel genişleme analizi, vektör otoregresyon modeli örnek olarak verilebilir [15], [18], [19], [30-36].

Zaman serilerinin tahmininde kullanılan yapa zekâ tekniklerinden bir tanesi ise NARX ileri beslemeli yapay sinir ağıdır. Olasılıklı elektrik fiyatı tahmininde, yeraltı suyu seviyelerini tahmin etme, hava tahmininde, Kuzey Atlantik salınımı ve yağış verilerini kullanarak Dez rezervuarına uzun vadeli günlük girişi tahmininde, en yüksek hava kirliliği seviyelerini tahmininde, çevresel eşiği aşan olay tahmininde NARX yapay sinir ağının tahmininde kullanıldığı örnek çalışmalardır [37-44].

MATERYAL METHOD

Fiyatlandırma

Türkiye elektrik enerji piyasasında dikey bütünleşme vardır. Türkiye elektrik piyasasını Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. işletir ve yönetir. 2001 yılında yapılan düzenleme ile toptan satış ve üretimden EÜAŞ sorumlu iken, iletimden TEİAŞ sorumlu kılınmıştır. Parkende rekabetinin sağlanması için dağıtımda ise 21 farklı şirkete lisanslama yapılmıştır. EPİAŞ şeffaflık platformunda gün öncesi piyasası ve gün içi piyasasının işletilmesi, uzlaştırma işlemleri yapılır. Gün öncesi piyasası, bir gün sonrası için teslim edilecek elektrik enerjisi alım ve satış operasyonları için oluşturulan ve piyasa işletmecisi tarafından işletilen organize toptan elektrik piyasasını ifade etmektedir. Gün içi piyasası ise gün öncesi teklif süresi bitmiş ancak teklif günü içinde bulunulan saatlere 60 dakika sonrasında itibaren verilen alım satım tekliflerinin yönetildiği piyasadır. Girilen arz ve talep tekliflerinin kesiştiği noktada elektriğin fiyatı olan piyasa takas fiyatı ortaya çıkmaktadır. Saatlik olarak açıklanan piyasa takas fiyatı (PTF) elektriğin (320,93) o saatteki ham maliyetini oluşturur. %X tedarikçi firma kar oranı, yenilenebilir enerji destekleme mekanizması (YEKDEM) (94,50) olmak üzere aktif enerji birim fiyatı (AEBF) Eş 1 kullanılarak hesaplanır.

$$AEBF = (P.T.F. + YEKDEM) \times (1 + \%X) \quad (1)$$

Gün öncesi piyasası enerji fiyat teklifleri saatlik değişebilir. Elektrik enerji fiyatları blok teklifler ile ağırlıklı ortalama fiyatı (AOF) kullanılarak belirlenir. Teklif başlangıç saati a , Teklif bitiş saati b , i uzlaştırma dönemindeki Satış Teklifi Miktarı Q_i , uzlaştırma dönemindeki Nihai Piyasa Takas Fiyatı B olmak üzere AOF Eş.2 kullanılarak hesaplanır.

$$AOF = \sum_{i=a}^b Q_i \cdot B_i / Q_i \quad (2)$$

Teklif ile ilişkilendirilmiş alt seviye teklif sayısı m , bir blok teklif ile ilişkilendirilmiş bir alt seviye j teklifinin üretici fazlası P_j , gün öncesi piyasası satış teklifi fiyatı D , i uzlaştırma dönemindeki piyasa takas fiyatı C olmak üzere üretici fazlası elektrik enerjisi (UF) Eş.3 kullanılarak hesaplanır.

$$UF = \sum_{i=a}^b (C_i - D) Q_i + \sum_{j=1}^m maks(0, P_j) \quad (3)$$

Bir blok teklif ile ilişkilendirilmiş bir alt seviye j teklifinin tüketici fazlası U üzere üretici fazlası elektrik enerjisi (TF) Eş.4 kullanılarak hesaplanır.

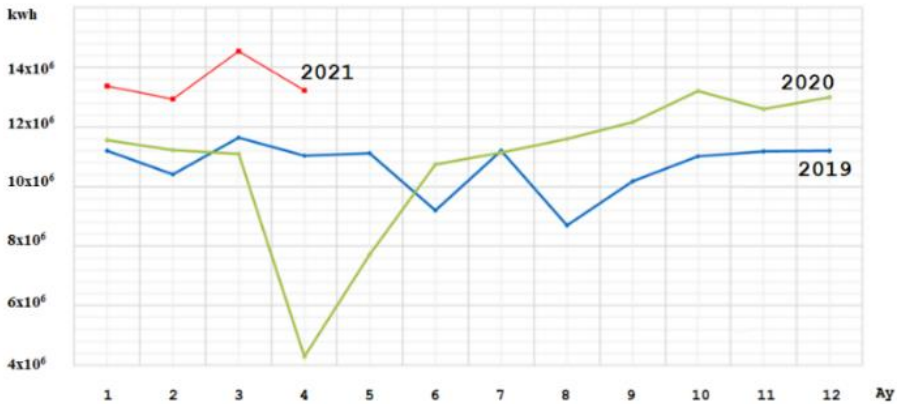
$$TF = \sum_{i=a}^b (D - C_i) Q_i + \sum_{j=1}^m maks(0, U_j) \quad (4)$$

Fiyatlandırmanın çok önemli olduğu elektrik piyasasında dağıtım şirketlerin ana maliyet kalemini oluşturan tüketim ve üretim verilerinin doğru tahmin edilmesidir. Tahminler kısa dönem (günlük ve saatlik) ve uzun dönem (aylık, yıllık, on yıllık) planlama ufunda yapılır.

Yöntem

Tahmin çalışmalarında oluşturulan modeller için birçok girdi verisi kullanılmaktadır. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Sivas Meteoroloji Müdürlüğünden 2019 yılına ait günlük toplam yağış, saatlik bulutluluk miktarı, saatlik nispi nem ve saatlik sıcaklık verileri alınmıştır. Hatalı veya boş veri haneleri interpolasyon yöntemi düzeltilmiş/tamamlanmıştır. Saatlik sıcaklık verileri ağırlıklı saatlik sıcaklık verisi haline getirilmiştir. Çalışmada ağırlıklı saatlik sıcaklık değerleri için verilen saat UTC (Kordine Edilmiş Evrensel Saat)dir. Türkiye saatine çevirmek için kışın 2 saat, yaz saatine göre ise 3 saat eklenmiştir. Elektrik tüketim verileri ise Sivas-Merkez 1.Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır.

Enerji talep tahmini; geçmiş ve mevcut koşulların incelenmesiyle değişim karakteristiklerinin çıkartılarak, gelecekteki durumun öngörülmesi varsayımına dayanmaktadır. Elektrik yükünü etkileyen faktörler; sıcaklık, nem, rüzgâr gibi meteorolojik veriler, geçmiş yıllara ait enerji tüketim değerleri gibi veriler ve mesai, resmî tatil, dini bayram olarak kabul edilmiştir. Sivas-Merkez 1.Organize Sanayi Bölge Müdürlüğü elektrik tüketim grafiği Şekil 1’de sunulmuştur. Nisan 2020 dönemi tüketimdeki azalma Covid19 pandemisi sebebiyle üretime ara verilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

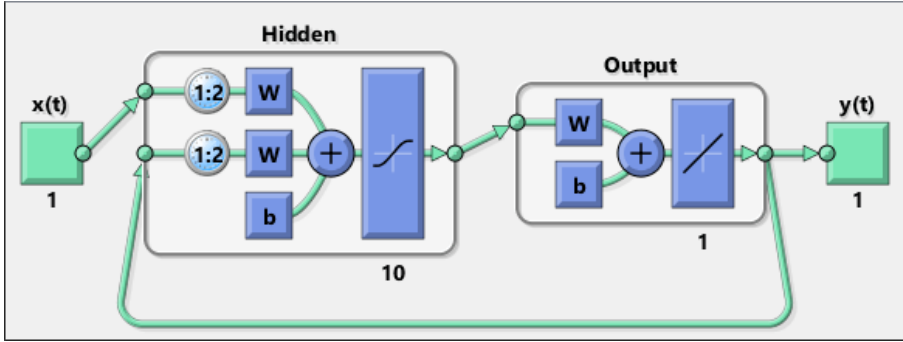


Şekil 1. OSB Karşılaştırmalı Elektrik Tüketim Değerleri

NARX ANN, ağıın birkaç katmanını çevreleyen geri besleme bağlantılarına sahip, tekrarlayan bir dinamik ağıdır. NARX modeli, zaman serisi modellemede yaygın olarak kullanılan doğrusal ARX (Linear Auto Regression Models) modeline dayanmaktadır. Elektrik yük tahmini ve tüm algoritmalar MATLAB yardımı ile kodlanmıştır [45]. NARX ANN tanımlayıcı denklem Eş.5'te sunulmuştur.

$$\begin{aligned} y(t) &= f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-ny), u(t-1), \\ &u(t-2), \dots, u(t-nu)) \end{aligned} \quad (5)$$

Bağımlı çıkış sinyalinin bir sonraki değeri $y(t)$, çıkış sinyalinin önceki değerlerine ve bağımsız (dışsal) bir giriş sinyalinin önceki değerlerine gererler. NARX ANN modelini, f fonksiyonuna yaklaşmak için ileri beslemeli bir sinir ağı kullanarak uygulanır. NARX ANN modeli Şekil 2'de sunulmuştur.



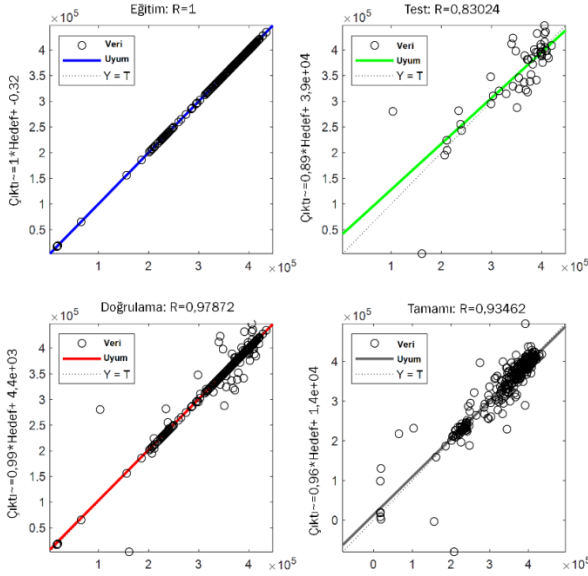
Şekil 2. NARX Modeli [46].

Bulgular

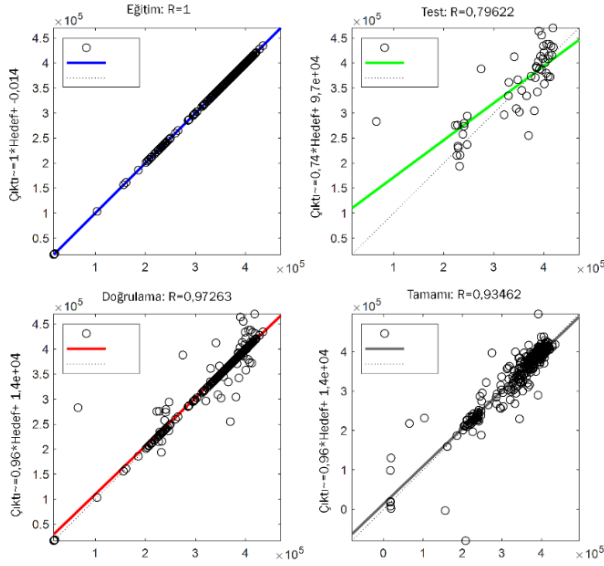
Bu çalışmada, Sivas-Merkez 1. OSB'nin elektrik yük tahmini yılın günü, resmi tatil, dini bayram, cumartesi, pazar, normal gün, yağış (kg/m²), bulut (%), nem (%), sıcaklık (°C) ve dolar kuru girdi verileri ile beş farklı kombinasyon algoritması oluşturularak, tüketim tahmini çıktı olacak şekilde NARX ANN modeli tasarlanmıştır. Verilerin %70'i YSA eğitimi, %15'i doğrulama ve %15'i test için kullanılmıştır. Gizli katman sayısı 20, erteleme 10 ve Bayes düzenlemesi kullanılmıştır. NARX ANN mimarisi değiştirilmeden girdi verilerinin üç farklı varyasyonu ile üç farklı model kurulmuştur.

Birinci model girdi olarak tüm veriler kullanılmıştır. Modelin eğitim sonucu $R=1$, test sonucu $R=0,83025$ doğrulama sonucu $R=0,9787$, tamamı için sonuç ise $R=0,93462$ olarak belirlenmiştir. Model-1 eğitim, test ve doğrulama grafiği Şekil 3'de sunulmuştur.

İkinci modelde girdi verilerinden dolar kuru çıkarılmıştır. Modelin eğitim sonucu $R=1$, test sonucu $R=0,79622$, doğrulama sonucu $R=0,97263$ tamamı için sonuç ise $R=0,93462$ olarak belirlenmiştir. Model-2 eğitim, test ve doğrulama doğru grafiği Şekil 4'de sunulmuştur.

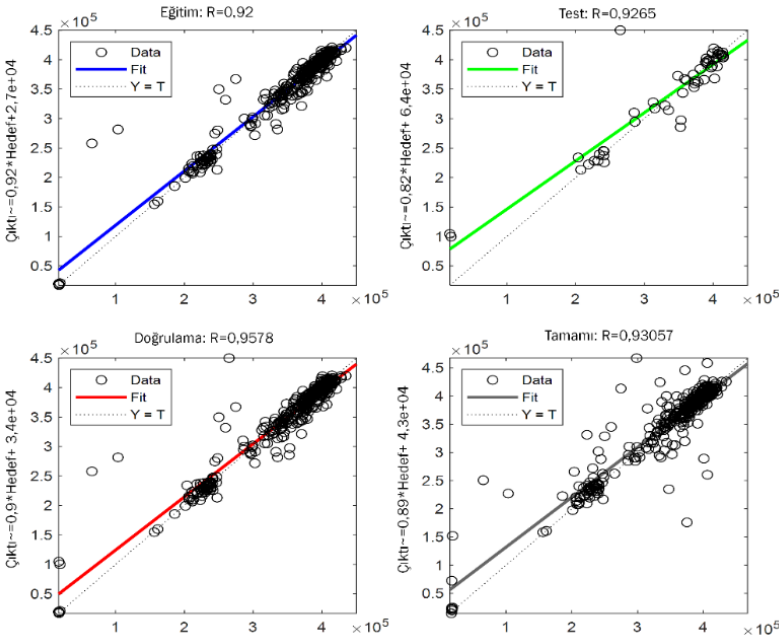


Şekil 3. Model-1 eğitim, test ve doğrulama doğru grafiği



Şekil 4. Model-2 eğitim, test ve doğrulama doğru grafiği

Üçüncü modelde girdi verisi olarak dini bayram, Pazar günü, normal gün kullanılmıştır. Modelin eğitim sonucu R=0,92, test sonucu R=0,9265, doğrulama sonucu R=0,9578 tamamı için sonuç ise R=0,93057 olarak belirlenmiştir. Model-3 eğitim, test ve doğrulama doğru grafiği Şekil 5’de sunulmuştur.



Şekil 5. Model-3 eğitim, test ve doğrulama doğru grafiği

NARX modeli yardımıyla; Sivas organize sanayi bölgesinin elektrik tüketimin tahmin edilmesine yönelik hazırlanan üç modelden en iyi eğitim değerine Model 1 ve 2 (R=1) olmuştur. Verilerine doğrulamasında ise en iyi sonucu Model 1 (R=0,9787) vermiştir. Eğitim, test ve doğrulamanın tamamında en iyi sonucu Model 1 ve Model 2 (R=0,93462) vermiştir. Modellerin karşılaştırma sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Modellerin karşılaştırılması

Model Nu	Eğitim	Test	Doğrulama	Tamamı
1	1	R=0,83025	R=0,9787	R=0,93462
2	1	R=0,79622	R=0,97263	R=0,93462
3	0,92	R=0,92	R=0,9265	R=0,93057

SONUÇ

Enerji kaynakların çeşitlendirme arz talep dengelemesi açısından önemli olmakla birlikte Türkiye elektrik pazarında gerçek zamanlı olarak dengeleme yapılır. Dengeleme işlemleri esnasında gün içi tekliflerine bağlı olarak anlık yüksek fiyat ve ceza maliyetine katlanılmaması için elektrik tüketimin anlık olarak tahmini oldukça önemlidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması açısından çok önemlidir. Ancak yenilenebilir

enerji kaynakların elektrik arz-talep dengelemesinde kullanım zorluğu nedeni ile tüketimde öncelik verilmelidir. Hidroelektrik santraller göreceli olarak fosil kaynaklı yakıtlara nazaran çevreye daha az zarar verir. Bu nedenle yenilenebilir enerji (güneş, rüzgâr vb.) kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinden sonra tüketimi için hidroelektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisi tüketim için iletilmelidir.

Bu çalışmada NARX yapay sinir ağı kullanılarak Sivas Organize Sanayi bölgesinin elektrik talep tahmini incelenmiştir. Sivas OSB için gelecek 55 gün talep tahmininde kullanılabilecek bir elektrik tüketim modeli geliştirilmiş, dengesizlik maliyetleri, GES santral ihtiyaçlarının tespit yapılmıştır. NARX yapay sinir ağı ile oluşturulan modelde tüketim tahminlerinin, Meteoroloji verileri, dolar endeksi, resmi tatil ve Cumartesi günlerinin giriş olarak kullanılması durumunda doğruluklarının azaldığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Henry R, Ernst D. Gym-ANM: Reinforcement Learning Environments for Active Network Management Tasks in Electricity Distribution Systems. *Energy and AI*, 2021;100092.
- [2] Lee BL, Wilson C, Simshauser P, Majiwa E. Deregulation, efficiency and policy determination: An analysis of Australia's electricity distribution sector. *Energy Economics*, 2021; 98,105210.
- [3] Costa VBF, Bonatto BD, Pereira LC, Silva PF. Analysis of the impact of COVID-19 pandemic on the Brazilian distribution electricity market based on a socioeconomic regulatory model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2021;132,107172.
- [4] Xu X, Hu W, Cao D, Huang Q, Liu Z, Liu W, et al. Scheduling of wind-battery hybrid system in the electricity market using distributionally robust optimization. *Renewable Energy*, 2020;156,47-56.
- [5] Henni S, Staudt P, Kandiah B, Weinhardt C. Infrastructural coupling of the electricity and gas distribution grid to reduce renewable energy curtailment. *Applied Energy*, 2021;288,116597.
- [6] Zhang Y, Liu W, Huang Z, Zheng F, Le J, Zhu S. Distributionally robust coordination optimization scheduling for electricity-gas-transportation coupled system considering multiple uncertainties. *Renewable Energy*, 2021;163, 2037-52.
- [7] Huang S, Zhao Y, Filonenko K, Wang Y, Xiong T, Veje CT. Flexible block offers and a three-stage market clearing method for distribution-level electricity markets with grid limits. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2021;130, 106985.
- [8] Chen S, Sun G, Wei Z, Wang D. Dynamic pricing in electricity and natural gas distribution networks: An EPEC model. *Energy*. 2020;207:118138.
- [9] Li Z, Lai CS, Xu X, Zhao Z, Lai LL. Electricity trading based on distribution locational marginal price. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2021;124,106322.
- [10] Munkhammar J, van der Meer D, Widén J. Very short term load forecasting of residential electricity consumption using the Markov-chain mixture distribution (MCM) model. *Applied Energy*, 2021; 282,116180.
- [11] Manner H, Alavi Fard F, Pourkhanali A, Tafakori L. Forecasting the joint distribution of Australian electricity prices using dynamic vine copulae. *Energy Economics*, 2019;78, 143-64.

- [12] Moghimi FH, Barforoushi T, Mousavi SM. Optimal scheduling of resources for a price-maker distribution company in electricity markets considering network component failures. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020; 122,106200.
- [13] Johansson P, Vendel M, Nuur C. Integrating distributed energy resources in electricity distribution systems: An explorative study of challenges facing DSOs in Sweden. *Utilities Policy*. 2020; 67,101117.
- [14] Heleno M, Sehloff D, Coelho A, Valenzuela A. Probabilistic impact of electricity tariffs on distribution grids considering adoption of solar and storage technologies. *Applied Energy*. 2020;279, 115826.
- [15] Pereira J, Saraiva F. Convolutional neural network applied to detect electricity theft: A comparative study on unbalanced data handling techniques. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2021; 131, 107085.
- [16] Bovera F, Delfanti M, Fumagalli E, Lo Schiavo L, Vailati R. Regulating electricity distribution networks under technological and demand uncertainty. *Energy Policy*. 2021; 149, 111989.
- [17] Dou X, Shao Y, Wang J, Hu Q. Heat-electricity joint bidding strategies for intelligent buildings in intelligent building cluster. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2021; 129, 106891.
- [18] Tsao Y-C, Thanh V-V, Hwang F-J. Energy-efficient single-machine scheduling problem with controllable job processing times under differential electricity pricing. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020; 161, 104902.
- [19] Guefano S, Tamba JG, Azong TEW, Monkam L. Forecast of electricity consumption in the Cameroonian residential sector by Grey and vector autoregressive models. *Energy*. 2021; 214, 118791.
- [20] Gan D, Wang J, Bourcier DV. An auction game model for pool-based electricity markets. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2005; 27(7):480-7.
- [21] von Hirschhausen C, Andres M. Long-term electricity demand in China – From quantitative to qualitative growth? *Energy Policy*. 2000; 28(4), 231-41.
- [22] Anli Z, Xuwai Y. A Practical Model of Adaptive Forecasting Daily Electrical Load and Load Analysis. *IFAC Proceedings Volumes*. 1987; 20(6), 321-5.
- [23] Outhred HR, Bannister CH, Kaye RJ, Lee YB, Sutanto D, Manimaran R. Electricity pricing Optimal operation and investment by industrial consumers. *Energy Policy*. 1988; 16(4), 384-93.
- [24] Anli Z, Xuwai Y. A Practical Model Of Adaptive Forecastig Daily Electrical Load And Load Analysis. In: Pingyang W, Editor. *Power Systems and Power Plant Control*. Oxford: Pergamon; 1987, 321-5.
- [25] Adom PK, Bekoe W. Conditional dynamic forecast of electrical energy consumption requirements in Ghana by 2020: A comparison of ARDL and PAM. *Energy*. 2012; 44(1), 367-80.
- [26] Nadimi R, Tokimatsu K. Analyzing of Renewable and Non-Renewable Energy consumption via Bayesian Inference. *Energy Procedia*. 2017; 142, 2773-8.
- [27] Ochi M, Osada K. Japanese Energy Policy Simulation Model. *IFAC Proceedings Volumes*. 1989; 22(17), 37-41.

- [28] Azadeh A, Saberi M, Seraj O. An integrated fuzzy regression algorithm for energy consumption estimation with non-stationary data: A case study of Iran. *Energy*. 2010; 35(6), 2351-66.
- [29] Nutt AB, Lenz RC, Lanford HW, Cleary MJ. Data sources for trend extrapolation in technological forecasting. *Long Range Planning*. 1976; 9(1), 72-6.
- [30] Ahmad MW, Mourshed M, Rezgui Y. Trees vs Neurons: Comparison between random forest and ANN for high-resolution prediction of building energy consumption. *Energy and Buildings*. 2017; 147, 77-89.
- [31] Qiu C, Yi YK, Wang M, Yang H. Coupling an artificial neuron network daylighting model and building energy simulation for vacuum photovoltaic glazing. *Applied Energy*. 2020; 263, 114624.
- [32] Kwok SSK, Yuen RKK, Lee EWM. An intelligent approach to assessing the effect of building occupancy on building cooling load prediction. *Building and Environment*. 2011; 46(8), 1681-90.
- [33] Deb C, Lee SE, Santamouris M. Using artificial neural networks to assess HVAC related energy saving in retrofitted office buildings. *Solar Energy*. 2018; 163, 32-44.
- [34] Wei Y, Xia L, Pan S, Wu J, Zhang X, Han M, et al. Prediction of occupancy level and energy consumption in office building using blind system identification and neural networks. *Applied Energy*. 2019; 240, 276-94.
- [35] Bui D-K, Nguyen TN, Ngo TD, Nguyen-Xuan H. An artificial neural network (ANN) expert system enhanced with the electromagnetism-based firefly algorithm (EFA) for predicting the energy consumption in buildings. *Energy*. 2020; 190, 116370.
- [36] Li Y-W, Cao K. Establishment and application of intelligent city building information model based on BP neural network model. *Computer Communications*. 2020; 153, 382-9.
- [37] Marcjasz G, Uniejewski B, Weron R. Probabilistic electricity price forecasting with NARX networks: Combine point or probabilistic forecasts? *International Journal of Forecasting*. 2020; 36(2), 466-79.
- [38] Marcjasz G, Uniejewski B, Weron R. On the importance of the long-term seasonal component in day-ahead electricity price forecasting with NARX neural networks. *International Journal of Forecasting*. 2019; 35(4), 1520-32.
- [39] Andalib A, Atry F. Multi-step ahead forecasts for electricity prices using NARX: A new approach, a critical analysis of one-step ahead forecasts. *Energy Conversion and Management*. 2009; 50(3), 739-47.
- [40] Wunsch A, Liesch T, Broda S. Forecasting groundwater levels using nonlinear autoregressive networks with exogenous input (NARX). *Journal of Hydrology*. 2018;567, 743-58.
- [41] Rahimi Z, Mohd Shafri HZ, Norman M. A GNSS-based weather forecasting approach using Non-linear Auto Regressive Approach with Exogenous Input (NARX). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2018; 178, 74-84.
- [42] Banihabib ME, Ahmadian A, Jamali FS. Hybrid DARIMA-NARX model for forecasting long-term daily inflow to Dez reservoir using the North Atlantic Oscillation (NAO) and rainfall data. *Geo-ResJ*. 2017; 13, 9-16.
- [43] Pisoni E, Farina M, Carnevale C, Piroddi L. Forecasting peak air pollution levels using NARX models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2009; 22(4), 593-602.

- [44] Pisoni E, Farina M, Pagani G, Piroddi L. Environmental Over-Threshold Event Forecasting using NARX Models. *IFAC Proceedings Volumes*. 2011; 44(1), 10559-64.
- [45] Mathworks (2021). Design Time Series Narx. (10.05.2021 tarihinde <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/design-time-series-narx-feedback-neural-networks.html;jsessionid=1a14cd20d2962ff2e cb40818 a3fd> adresinden ulaşılmıştır).
- [46] Mathworks (2021). Multistep Prediction Example. (10.05.2021 tarihinde https://www.mathworks.com/help/examples/nnet/win64/Ug_Multistep_Prediction_Example_02.png adresinden ulaşılmıştır)

ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK TEŞVİK UYGULAMALARI

Sinan Dünder^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Mevcut sosyo-ekonomik sorunları ortadan kaldırmak amacıyla teşvik uygulamaları hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde her zaman uygulanabilmektedir. Bu amaçla mevcut parasal kaynakların uzun vadede daha verimli alanlara kaydırılması teşvik yöntemlerinden biri olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle yeni tasarlanan bir teşvik uygulama sistemine yönelik kısa vadeli beklentilerden kesinlikle kaçınılması gerekmektedir. Ancak bir teşvik sisteminin tasarımının çok sağlam bir fayda-maliyet analizi çerçevesinde yapılması gerektiği unutulmamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yatırım, Teşvik

ABSTRACT

Incentive practices can always be applied in both developed and developing countries in order to eliminate current socio-economic problems. For this purpose, shifting existing monetary resources to more productive areas in the long run can be considered as one of the incentive methods. For this reason, short-term expectations for a newly designed incentive application system should definitely be avoided. However, it should not be forgotten that the design of an incentive system should be done within the framework of a very robust cost-benefit analysis.

Keywords: Energy, Investment, Incentive

GİRİŞ

Türk Dil Kurumu'na göre "isteklendirme, özendirme" anlamlarını taşıyan teşvik kelimesi, ekonomik açıdan ise "stratejik önem taşıyan sektörlerin devletçe desteklenmesi" anlamlarına karşılık gelmektedir. Yatırım teşviki ise yerli ve yabancı sermayenin, belirli bölgelerde veya belirli alanlarda yatırım yapmasını cazip kılmak amacıyla politika araçlarının kullanılması ile sağlanan kolaylıklar olarak ifade edilmektedir.

Özellikle 20. yüzyılda dünyada, 1980 sonrasında da ülkemizde benimsenen serbest piyasa ekonomisi anlayışı, giderek serbestleşen dünya ticareti ve küreselleşme ile birlikte teşviklerin önemi bir kat daha artmıştır. Devletlerin doğrudan üretim faaliyetlerinden ziyade, piyasalardaki düzenleyici ve denetleyici faaliyetlere kayması teşvikleri, devletlerin en önemli müdahale araçlarından biri haline getirmiştir. Günümüzde serbest piyasa ekonomilerine devletlerin önemli müdahale aracı olarak görünen teşvikler, pek çok farklı şekilde

olabilmekte ve devletlere esneklik kazandırabilmektedir. Nakit hibe destekleri, vergi muafiyetleri ve istisnaları, düşük faizli krediler, enerji destekleri, arsa tahsisleri gibi geleneksel tedbirlerin yanında devlet garantileri, kamu alımları, devletin sermayeye katılımı gibi yeni nesil tedbirler de teşvik araçları altında yer bulmaktadır [1].

Teşvik uygulamalarının yatırım kararı aşamasında farklı biçimde katkıları bulunmaktadır. Bunlardan ilki vergi muafiyetleri, nakdi destekler, istihdam destekleri, yatırım yeri tahsisi gibi desteklerle yatırım maliyetinin düşürülmesidir. İkincisi ise düşük faizli yurt içi ve yurt dışı kredi kanalları aracılığıyla faiz desteği sağlayarak yatırımın finansman ihtiyacını kolaylaştırmaktır. Son olarak devletin altyapı yatırımlarını üstlenmesi, enerji desteği, personel desteği ve alım garantisi, izin ve lisans vb. sağlaması işletmelerin karlılığının artmasına katkı sağlamaktadır [2].

Türkiye'de yatırım teşvik sistemi incelendiğinde, yatırımların teşvikine yönelik olarak 2012 yılında en son güncellemelerle yasalaşan Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar (Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar, 2012) uygulanmaktadır [3]. Bu karara göre, kalkınma planları ve yıllık programlarda öngörülen hedefler doğrultusunda tasarrufların katma değeri yüksek yatırımlara yönlendirilmesi, üretim ve istihdamın artırılması, uluslararası rekabet gücünü artıracak ve araştırma- geliştirme içeriği yüksek bölgesel yatırımlar ile stratejik yatırımların özendirilmesi, uluslararası doğrudan yatırımların artırılması, bölgesel gelişmişlik farklılıklarının azaltılması, kümelenme ve çevre korumaya yönelik yatırımlar ile araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin desteklenmesi amaçlanmaktadır.

Farklı sektörlerle yönelik olarak illerimizin yararlanabileceği teşvik unsurlarının miktarı, süresi ve oranları belirli koşullara göre şekillenmektedir. Teşvik uygulamalarına ilişkin 3305 Sayılı Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Kanun'a bağlı olarak, her ilin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi aralığı, bu ilin yararlanabileceği desteklerin miktarını, süresini ve oranlarını belirlemektedir. Sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi belirleme çalışmalarında belirli sayıda kriter kullanılmaktadır. 2012 yılında yayınlanan yönetmelik için sekiz ana kriter referans alınmış olup bunlar; istihdam göstergeleri, rekabetçi ve yenilikçi kapasite göstergeleri, finansal göstergeler, demografik göstergeler, eğitim göstergeleri, sağlık göstergeleri, erişilebilirlik göstergeleri ve yaşam kalitesi göstergeleridir. Bu ana kriterlerin toplam altmış bir alt kriteri hesaplamada dikkate alınmış ve illerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması bu sonuçlara göre yapılmıştır. Hesaplanan sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi, en gelişmiş illerin birinci bölgedeki iller olarak ifade edildiğini, en az gelişmiş illerin ise altıncı bölgede sınıflandırıldığını ifade etmektedir [4].

Yıllar içinde illerin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi sıralamasında meydana gelebilecek herhangi bir değişiklik, doğal olarak illerin bölgesel sınıflandırmasında da değişikliğe neden olabilmektedir. Bu nedenle, belirli bir bölgede desteklerden yararlanan herhangi bir ilin endeks değerindeki gerçekleşen bir değişiklik, o ilin daha önce yararlandığı desteklerin miktar, süre ve oranlarında değişikliklere neden olabilmektedir. 2021 yılında ilgili mevzuatta yapılan değişikliklerin ardından Türkiye'deki iller sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksinde göre Tablo 1'de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 1. İllerin Bölgesel Sınıflandırması

1.Bölge	2.Bölge	3. Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge
Ankara	Aydın	Adana	Afyonkarahisar	Bayburt	Adıyaman
Antalya	Balıkesir	Burdur	Aksaray	Çankırı	Ağrı
Bursa	Bilecik	Düzce	Amasya	Erzurum	Ardahan
Eskişehir	Bolu	Gaziantep	Artvin	Giresun	Batman
İstanbul	Çanakkale	Karaman	Bartın	Gümüşhane	Bingöl
İzmir	Denizli	Kırıkkale	Çorum	Kahramanmaraş	Bitlis
Kocaeli	Edirne	Kütahya	Elâzığ	Kilis	Diyarbakır
Muğla	Isparta	Mersin	Erzincan	Niğde	Hakkâri
Tekirdağ	Karabük	Samsun	Hatay	Ordu	İğdır
	Kayseri	Trabzon	Kastamonu	Osmaniye	Kars
	Kırklareli	Rize	Kırşehir	Sinop	Mardin
	Konya	Uşak	Malatya	Tokat	Muş
	Manisa	Zonguldak	Nevşehir	Tunceli	Siirt
	Sakarya		Sivas	Yozgat	Şanlıurfa
	Yalova				Şırnak
					Van

Buna göre en gelişmiş olan birinci bölgede 9 ilimiz yer alırken ikinci bölgede 15, üçüncü bölgede 13, dördüncü bölgede 14, beşinci bölgede 14, en az gelişmiş olan altıncı bölgede ise 16 ilimiz yer almaktadır.

Yatırımların teşvik kapsamında destek unsurlarından yararlanabilmesi için asgari sabit yatırım tutarı şartı bulunmakta olup bu tutar 1. ve 2. Bölgelerde 3.000.000 TL, 3., 4., 5. ve 6. Bölgelerde ise 1.500.000 TL olması gerekmektedir.

Şekil 1’de, Türkiye’de uygulanan yatırım teşvik sisteminin Genel Yatırım Teşviki, Bölgesel Yatırım Teşviki ve Stratejik Yatırım Teşviki olmak üzere üç ana başlıkta destek sunduğu görülmektedir.

**Şekil 1.** Teşvik Uygulamaları

Kanunla desteklenmesi öngörülmeleyen bazı yatırım türleri veya desteklenmesi belirli koşullara tabi olan yatırımlar, bölgedeki asgari yatırım tutarını karşılamaları koşuluyla Genel Yatırım Teşvikinden yararlanabilmektedir. Bu kapsamda desteklenen teşvik unsurları Gümrük Vergisi İstisnası ve KDV İstisnasıdır.

Öte yandan, bölgelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik farklılıkları dikkate alınarak, her sektör bazında farklı asgari koşullar belirlenerek Bölgesel Yatırım Teşviki uygulanmaktadır. Bu kapsamdaki destek unsurları; Gümrük Vergisi İstisnası, KDV İstisnası, Kurumlar Vergisi İndirimi, Sosyal Güvenlik Primi Desteği (İşveren Payı), Arazi Tahsisi ve Faiz Desteğidir. Bu desteklere ek olarak, en az gelişmiş illerin yer aldığı altıncı bölgede Sosyal Güvenlik Prim Desteği (Çalışan Payı) ve Gelir Vergisi Stopaj Desteği de uygulanmaktadır.

Yatırım sermaye tutarı ve ithalat bağımlılığı yüksek, ilgili kanunda belirtilen ürünlerin üretimine yönelik yatırımlar Stratejik Yatırım Teşviki kapsamında değerlendirilmektedir. Desteklenen kalemler; Gümrük Vergisi İstisnası, KDV İstisnası, Kurumlar Vergisi İndirimi, Sosyal Güvenlik Prim Desteği (İşveren Payı), Arazi Tahsisi, Faiz Oranı ve KDV İadesi şeklindedir.

KDV İstisnası, yatırımcının satın alınacak makine, teçhizat, yazılım ve gayri maddi varlıklar için KDV ödemesinden muaf tutulması anlamına gelirken, Gümrük Vergisi Muafiyeti de benzer biçimde, yatırımcının ithal edilecek aynı kalemler için gümrük vergisinden muaf tutulmasını sağlamaktadır. Sabit yatırım tutarı 500.000.000.000 Türk Lirasını aşan stratejik yatırımlar kapsamında yapılacak bina-inşaat harcamaları KDV İadesinden de yararlanabilmektedir.

Bölgesel yatırım teşviki ve stratejik yatırım teşviki kapsamındaki desteklerden yararlanacak yatırımlar için yatırımcı tarafından talep edilmesi halinde faiz veya kar payı desteği uygulanabilirken, bu faiz veya kar payı desteği farklı bölgeler için farklı oranlarda geçerli olmaktadır. Benzer şekilde, ilin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksine göre Sosyal Güvenlik Prim Destekleri uygulanmaktadır.

Türkiye’de yatırım teşvik uygulamalarına yönelik kanunda da açıkça belirtildiği gibi, bu uygulamanın en önemli amaçlarından biri bölgeler arasındaki gelişmişlik farklarını azaltmaktır. Devlet bu amaca katkı sağlamak amacıyla katma değer vergisi ve gümrük vergisi gibi bazı kaynaklardan vazgeçmekte, gerektiğinde sigorta primi desteği ve faiz desteği gibi araçlarla ek muafiyetler sağlamaktadır. Ayrıca, sosyo-ekonomik olarak az gelişmiş bölgelerde, bedelsiz yatırım arazisi tahsisi söz konusu olmaktadır.

Yatırım teşvik sisteminde istisnai bir durum olarak Öncelikli Yatırım Alanları uygulaması yer almakta olup yatırım hangi bölgede gerçekleştirilirse gerçekleştirilsin, 5. Bölge desteklerinden yararlanma imkânı sunulmaktadır. Yatırımın 6. Bölgede gerçekleşmesi halinde ise 6. Bölge destekleri devreye girmektedir. Enerji verimliliğine yönelik yatırımlar da bu kapsamda değerlendirilmektedir. Örneğin, Sivas ili 4. Bölgede yer almasına rağmen “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının vereceği proje onayına istinaden, yıllık asgari 500 ton eşdeğer petrol (TEP) enerji tüketimi olan, mevcut imalat sanayi tesislerinde gerçekleştirilecek, mevcut durumuna göre en az %15 oranında enerji tasarrufu sağlayan enerji verimliliğine yönelik yatırımlar” doğrudan 5. Bölge için uygulanan Bölgesel Yatırım Teşvikinden yararlanabilecektir. Bir tesisdeki atık ısıdan geri kazanım yolu ile elektrik üretimine yönelik yatırımların da benzer biçimde desteklenmesi öngörülmektedir.

Örnek olarak, Tablo 2’de yer alan 7.000.000 TL yerli makine-teçhizat, 5.000.000 TL ithal makine-teçhizat, 3.000.000 TL bina-inşaat harcaması ve 20 kişinin istihdam edilmesi öngörülen, enerji verimliliğine yönelik bir yatırımda TL cinsinden 60 ay vadeli 10.000.000 TL kredi kullanılması durumunda Sivas için normal şartlarda uygulanması gereken teşvik unsurları ile yatırımın Öncelikli Yatırım Alanları kapsamında değerlendirilmesi sonucu uygulanacak teşvik unsurlarının karşılaştırması Tablo 2’deki gibi gerçekleşecektir.

Tablo 2. Enerji Verimliliğine Yönelik Destekler için Bölge Farklılıkları

Yatırım Harcama Türü		Harcama Tutarı (TL)	
Yerli Makine-Teçhizat		7.000.000	
İthal Makine-Teçhizat		5.000.000	
Bina-İnşaat		3.000.000	
TOPLAM		15.000.000	
4. Bölge Desteği		5. Bölge Desteği	
KDV İstisnası	2.160.000 TL	KDV İstisnası	2.160.000 TL
Gümrük Vergisi Muafiyeti	100.000 TL	Gümrük Vergisi Muafiyeti	100.000 TL
Vergi İndirimi	4.500.000 TL	Vergi İndirimi	6.000.000,00 TL
Vergi İndirim Oranı	%70	Vergi İndirim Oranı	%80
Vergi İndirimi Yatırıma Katkı Oranı	%30	Vergi İndirimi Yatırıma Katkı Oranı	%40
SGK İşveren Prim Hissesi Desteği	1.116.892,80 TL	SGK İşveren Prim Hissesi Desteği	1.303.041,60 TL
SGK İşveren Prim Hissesi Desteği Süresi	6 yıl	SGK İşveren Prim Hissesi Desteği Süresi	7 yıl
SGK İşveren Prim Hissesi Desteği Yatırıma Katkı Oranı	%25	SGK İşveren Prim Hissesi Desteği Yatırıma Katkı Oranı	%35
Faiz Desteği Tutarı	1.016.666,67 TL	Faiz Desteği Tutarı	1.270.833,33 TL
Faiz Destek Puanı	4	Faiz Destek Puanı	5

SONUÇ

Buna göre, enerji verimliliğine yönelik yatırımların Öncelikli Yatırım Alanları kapsamında değerlendirilmesi neticesinde yatırımcılara bir takım ilave avantajların sunulmakta olduğu net biçimde görülmektedir. Sivas ilinde enerji verimliliği konusunda gerçekleştirilecek olan ve normal şartlarda 15.000.000 TL’lik bir sabit yatırım için toplamda sunulması ge-

reken 8.893.559,47 TL'lik muafiyet tutarı, Öncelikli Yatırım Alanları kapsamında değerlendirilmesiyle 10.833.874,93 TL'ye ulaşmaktadır. Paranın zaman değeri ihmal edildiği takdirde, yararlanılan muafiyet tutarı toplam yatırımın %59'u kadar olurken yatırım konusunun önceliği dolayısıyla bu oran %72'ye çıkmaktadır.

Bununla birlikte, uygulanan vergi indirim oranının %70'ten %80'e, vergi indirimi için yatırıma katkı oranının %30'dan %40'a, SGK İşveren Prim Hissesi Desteği Süresinin 6 yıldan 7 yıla, SGK İşveren Prim Hissesi Desteği Yatırıma Katkı Oranının %25'ten %35'e ve faiz desteğinin ise 4 puandan 5 puana çıkarıldığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Eser, E. (2011). *Türkiye'de Uygulanan Yatırım Teşvik Sistemleri ve Mevcut Sistemin Yapısına Yönelik Öneriler*. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı.
- [2] Şahin, M. Y., & Kaplan, H. (2021). *Dönüşüm Sürecinde Yatırım Teşviklerinin Dünü ve Bugünü*. TOBB Yayınları.
- [3] Yatırımlarda Devlet Yardımları Hakkında Karar, 3305 (2012).
- [4] Dündar, S. (2019). Yatırımlarda Devlet Yardımları ve Sivas Yansımaları. İçinde *Sivas Ekonomisi—Geçmiş, Bugünü, Geleceği*. Sivas Vilayet Kitaplığı.

YAPAY ZEKA YAKLAŞIMLARININ VERİMLİLİK AMAÇLI KULLANIM YÖNTEMLERİ

Serkan Akkoyun^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

ÖZET

Yapay zeka yöntemleri, bilim ve teknolojinin pek çok alanında olduğu gibi nükleer fizik çalışmalarında da güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Atom çekirdeklerinin durağan ve dinamik özelliklerinin incelenmesi, bu yöntem kapsamında başarıyla gerçekleştirilmektedir. Nükleer fizik alanında gerçekleştirilen güncel çalışmalar, deneysel ve teorik olmak üzere iki alanda da yoğunlaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, nükleer fizik, atom çekirdeği

ABSTRACT

Artificial intelligence methods are used as a powerful tool in nuclear physics studies as in many fields of science and technology. Investigation of the stationary and dynamic properties of atomic nuclei is carried out successfully within the scope of this method. Current studies in nuclear physics are concentrated in two areas, experimental and theoretical.

Keywords: Artificial intelligence, nuclear physics, atomic nucleus

GİRİŞ

Nükleer fizik alanında gerçekleştirilen güncel çalışmalar, deneysel ve teorik olmak üzere iki alanda da yoğunlaşmıştır.

Deneysel gerçekleştirilen çalışmalar genellikle, dünyanın önde gelen gelişmiş laboratuvarlarında gerçekleştirilen uluslararası işbirlikli çalışmalar kapsamında yürütülmektedir. Bu merkezlerde deney tasarlamak ve gerçekleştirmek, maliyet, zaman, tasarım, donanım, işgücü gibi pekçok açıdan zordur. Fakat atom çekirdeklerinin özelliklerinin ve dolayısıyla nükleer fizik çalışmalarının en güvenilir bilgileri de deneysel çalışmaların sonuçlarından ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, deneysel çalışmalar her zaman gözde ve vazgeçilmez çalışmalardır. Deneysel imkanların oluşturulamadığı ve deneylerin gerçekleştirilemediği durumlarda, yapay zeka yöntemleri alternatif bir laboratuvar olarak işlev görebilmektedir. Literatürde var olan, önceden elde edilmiş deneysel verilerin kullanılarak eğitildiği bilgisayarlar, yeni çıkarımlarla, deneysel verilerle uyumlu sonuçlar üretebilmektedir. Böylelikle, temel bilim çalışmaları kapsamında atom çekirdeklerinin özellikleri

ile ilgili literatürde mevcut olmayan veriler, yapay zeka ile deneysel değerlerle tutarlı bir şekilde üretilebilmektedir.

Bu çalışmada, son yıllarda yoğun olarak kullanılan çok katmanlı yapay sinir ağları ile gerçekleştirdiğimiz çalışmalara örnekler verilmiştir. Atom çekirdeklerinin bağlanma enerjileri, atom çekirdeklerinin yarıçapları, beta bozunumu gerçekleştiren çekirdeklerin beta enerjileri, nükleer reaksiyonların gerçekleşme olasılıkları gibi pek çok olgu, gerçekleştirdiğimiz çalışmalara örnek olarak verilebilir. Sonuçlar, yapay sinir ağları yönteminin, bir temel bilim dalı olan nükleer fizikte başarı ve güvenle kullanılabilabileceğini göstermektedir.

Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA (Yapay Sinir Ağları) , standart tekniklerin başarısız olduğu durumlarda kullanılan çok güçlü bir matematiksel araçtır [1]. Yöntem, beyin işlevselliğini ve sinir sistemini taklit eder. YSA'nın yapısı, girdi, gizli ve çıktı katmanları olmak üzere üç farklı katmandan oluşur. Her katmanın kendi nöronları vardır. Nöronlar işlem yapan birimlerdir. Bir katmandaki nöronlar, uyarlanabilir sinaptik ağırlıklarla bir sonraki katmandaki nöronlara bağlanır. Giriş nöronları, problemin bağımsız değişkenleri olan verileri dışarıdan alır ve veriler, bağlantıların ağırlık değerleri ile çarpılarak gizli katman nöronlarına iletilir. Nöronlara giren tüm veriler toplanır ve toplanan net veriler uygun fonksiyonlarla etkinleştirilir. Gizli nöron aktivasyon fonksiyonu teorik olarak iyi davranışlı doğrusal olmayan bir fonksiyon olabilir. Genel olarak, sigmoid benzeri fonksiyonlar, doğrusal olmayan fonksiyon yaklaşımları için en iyi seçimlerdir [2].

Yöntemin temel amacı, rastgele değerlerle başlanarak nöronlar arasındaki nihai ağırlık değerlerinin belirlenmesidir. En iyi ağırlıklara sahip YSA, istenilen değerlere en yakın YSA çıktıları verebilmektedir. YSA iki aşamalı bir süreçtir. İlkinde, verilen girdi ve çıktı veri değerleri ile nihai en iyi ağırlıkların belirlenmesi için eğitilir. Ağırlıkların uygun modifikasyonları ile istenen çıktılar ile YSA çıktıları arasında kabul edilebilir bir hata düzeyine kadar ağırlıklar değiştirilir. İkinci adımda (test aşaması) problemin başka bir veri seti YSA'ya verilir ve sonuçlar nihai ağırlıklar kullanılarak tahmin edilir. Test verilerinin tahminleri iyiye, YSA'nın giriş ve çıkış verileri arasındaki ilişkiyi öğrenmiş olduğu kabul edilir.

Nükleer Fizik'te YSA Çalışmaları

Reaksiyon tesir kesitlerini tahmin etmede gerçekleştirilen çalışmada, bilinen deneysel tesir kesit değerleri aracılığıyla YSA'yı eğiterek, 14,5 MeV'de farklı (n,p) reaksiyonları için reaksiyon kesitleri tahmin edilmiştir [3]. Sonuçlara göre YSA tahminleri deneysel verilere yakındır. Ayrıca, literatürde deneysel verileri bulunmayan kesit değerleri üretilecek bilinen veri tabanları ile karşılaştırılmıştır. Yöntemin tesir kesit verilerinin tahmini için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada 2-8-1 mimarisindeki YSA için aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik fonksiyon kullanılmıştır. Veriler çıktı katmanı nöronlarına iletilmiş ve bağımlı değişkenler için tahminler yapılmıştır. Giriş verileri, hedef mal-

zemenin proton (Z) ve nötron (N) sayılarıdır. İstenen çıktı ise, hedefler için (n, p) reaksiyon kesitleridir. YSA yöntemi ile deneysel değerlere yakın bir yaklaşım elde edilmiştir. Ayrıca bu değerler, diğer ampirik formüllerle elde edilenlerden yaklaşık 1,4 kat daha iyidir. Bu çalışma ile YSA'nın (n, p) reaksiyonlarının kesitini hesaplamının alternatif bir yolu olduğu gösterilmiştir. Böylece ilgilenen araştırmacılar bu yöntemi kendi amaçlarına uygun olarak farklı enerjiler ve hedefler için bir araç olarak kullanabilirler.

Toplam füzyon ve füzyon-buharlaştırma reaksiyon kesitlerinin doğru belirlenmesi, deneysel nükleer fizik çalışmalarında önemli bir görevdir. Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, yapay sinir ağı (YSA) yöntemlerini kullanarak farklı reaksiyonlar için toplam füzyon kesitlerini ve örnek olarak belirli kanallardan ($2n$) birinin kesitleri tahmin edilmiştir [4]. Çalışmada denemelerden sonra gizli katman nöronlarının sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Tüm veriler rastgele olarak eğitim (%80) ve test (%20) için iki ayrı bölüme ayrılmıştır. YSA'yı eğitmek için bir Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması kullanılmıştır. YSA'nın girdileri, gelen demet enerjisi, atom numaraları, nötron sayıları ve demet, hedef ve bileşik çekirdeklerin kütle numaralarıdır. YSA çıktısı, toplam füzyon reaksiyonu tesir kesitidir. Füzyon reaksiyonu için ortalama karekök hataları, deneysel kesit değerlerinden sırasıyla %1,8 ve %10,5 sapmalara karşılık gelen eğitim ve test verileri için 18,5 ve 110,4 mb olarak elde edilmiştir. $2n$ kanalı için bu değerler eğitim için %0,3 ve YSA'nın test verileri için %13,3'tür. YSA'nın sapsmaları, literatürde yaygın olarak kullanılan bir teorik hesaplamayı içeren bilgisayar kodununkilerde çoğunlukla daha düşüktür. Sonuçlar, YSA yöntemlerinin, füzyon ve füzyon-buharlaştırma reaksiyonları için kesit tahmini için olası ve geçerli bir araç olabileceğini göstermektedir.

Çekirdeklerin temel temel durum özelliklerinden biri bağlanma enerjisidir. Bir diğer nükleer fizik çalışmasında, iki Skyrme kuvveti SLy4 ve SKP ile Hartree-Fock-Bogolubov yönteminden hesaplanan verilere dayanarak çekirdeklerin bağlanma enerjilerini elde etmek için yapay sinir ağları (YSA) gerçekleştirilmiştir [5]. YSA, çekirdeklerin iki nötron ve iki proton ayırma enerjilerini elde etmek için de kullanılmıştır. Hesaplamalarda ileri beslemeli ağ yapısı kullanılmıştır. Giriş katmanı olarak adlandırılan ilk katman iki nörondan (izotopların N ve Z sayılarına karşılık gelen) oluşmakta olup, gizli katmanlar olarak adlandırılan iki ara katmanın her birinde 16 nöron bulunmaktadır. Sonuncu katman ise, bağlanma enerjisi ya da nükleon ayırma enerjisine karşılık gelen bir nöron ile çıkış katmanıdır. Gizli katman sayısı ve nöron sayısı çeşitli denemelerden sonra optimum olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, YSA mimarisi 2-16-16-1 şeklindedir ve bu çalışmada toplam ayarlanabilir ağırlık sayısı 304'tür. YSA kullanılarak temel durum enerjilerinin istatistiksel modellemesinin bu çalışmada başarılı olduğu görülmüştür. Özellikle YSA'nın tahmin gücü, ağ tarafından daha önce görülmeyen Sr, Xe, Er ve Pb izotop zincirlerinin enerjilerinin tahminlerinden alınmıştır. Çalışma, böyle bir istatistiksel modelin, mevcut deneysel verilerin ötesinde, çekirdek sistematiklerinde arama yapmak için olası bir araç olabileceğini göstermektedir.

YSA kullanılarak gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, deneysel nükleer yük yarıçapları üzerinde YSA kullanılmıştır. YSA kullanılarak nükleer yük yarıçaplarının istatistiksel modellemesinin başarılı olduğu görülmektedir. YSA'nın çıktılarına dayanarak, kütleyle bağlı yeni bir basit nükleer yük yarıçapı formülü tahmin edilmiştir. Ayrıca, Sn izotoplarının yük yarıçapları, bağlanma enerjileri ve iki nötron ayırma enerjileri, Hartree-Fock-Bogoliubov hesaplamalarında yeni bir tahmin formülü uygulanarak hesaplanmıştır. Çalışmada, YSA'da 900 çekirdeğin deneysel nükleer yük yarıçapları kullanılmıştır. YSA'nın girdileri nötron ve proton sayıları ve çıktısı ise nükleer yük yarıçapıdır. Tüm veri seti, eğitim aşaması için %80 ve geri kalanı test aşaması için olmak üzere iki ayrı kümeye bölünmüştür. YSA sonuçları, çekirdeklerin yük yarıçapları için deneysel değerlerle son derece iyi bir uyum içindedir. Deneysel yük yarıçapları ile eğitim ve test için YSA sonuçları arasındaki rms sapmaları eğitim ve test aşamaları için sırasıyla 0,036 ve 0,025'tir. Çalışmanın sonuçları, yeni tahmin edilen formülün nükleer yük yarıçaplarını tanımlamak için yararlı olduğunu göstermektedir.

Fisyon bariyeri hakkında doğru bilgi, fisyon sürecinin incelenmesi için önemlidir. Süper ağır bölgedeki kararlılık adasının keşfedilmesi ve süper ağır elementlerin aranması için fisyon bariyerine ihtiyaç vardır. Ayrıca, astrofiziksel r-süreci, nötronca zengin çekirdeklerin fisyon bariyeri ile yakından ilişkilidir. YSA kapsamında gerçekleştirilen bir başka çalışmada, bu yöntem kullanılarak 230 izotopu kapsayan Rf, Db, Ra ve Ac çekirdeklerinin fisyon engel yükseklikleri tahmin edilmiştir [6]. İç bariyer hesabı için Rf ve Db çekirdekleri kullanılmış ve bariyer yükseklikleri yaklaşık 1 MeV ile 7 MeV arasında belirlenmiştir. İlgili ortalama kare hata değeri 0,108 MeV olarak elde edilmiştir. Dış bariyer hesabı için Ra ve Ac çekirdekleri kullanılmış ve yükseklikler yaklaşık 8 MeV ile 28 MeV arasında belirlenmiştir. İlgili ortalama kare hatası 0,407 olarak elde edilmiştir. Çalışmada, süper ağır (Rf ve Db) ve ağır (Ra ve Ac) çekirdeklerin fisyon engeli yüksekliklerinin tahminleri için katmanlı ileri beslemeli YSA kullanılmıştır. Rf ve Db çekirdeklerinin iç bariyerleri ve Ra ve Ac çekirdeklerinin dış bariyerleri dikkate alınmıştır. YSA'nın girdileri proton (Z) nötron (N) ve kütle (A) sayılarıdır, çıktı ise dikkate alınan çekirdeğin bariyer enerjisidir. İç ve dış bariyer tahminleri için bir gizli katmanda sırasıyla 10 ve 30 gizli katman nöronu kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, YSA'nın iç ve dış fisyon bariyer yüksekliklerini tahmin etme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

Kararsız çekirdeklerin temel özelliklerinden biri beta bozunma enerjisidir. Beta bozunma enerjisi, atom ve kütle sayılarının kabaca doğrusal bir fonksiyondur. Yapay sinir ağının doğrusal olmayan fonksiyon yaklaşımı için yeterli olması nedeniyle, gerçekleştirilen bir başka çalışmada Hartree-Fock-BCS yönteminden nükleer kütleler kullanılarak beta bozunum değerleri YSA ile elde edilmiştir [7]. YSA'nın tahminlerinin hesaplanan verilerle bir miktar sapma içinde tutarlı olduğu görülmektedir. YSA'nın girdileri olarak çekirdeklerin nötron (N) ve proton (Z) sayılarını kullanılmıştır. Bu çalışmadaki birkaç denemeden sonra, 50 gizli nöronlu gizli katman kullanılmasının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Farklı izotoplara göre 8871 farklı veri bulunmaktadır. Verilerin yaklaşık %80'i (7093)

YSA'nın eğitimi için, kalan %20'si (1778) ise test için kullanılmıştır. Eğitim aşamasında 0,00075 minimum ortalama karesel hata değeri veren Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminden sonra, oluşturulan YSA ilk olarak eğitim verileri üzerinde test edilmiştir. Farkların yaklaşık $[3,+2]$ MeV aralığı arasında yoğunlaştığı şekilde açıkça görülmektedir. Eğitim veri setine ait kare ortalama sapma değeri 1,649 MeV'dir. Oluşturulan YSA, ağ tarafından YSA'nın eğitiminde hiç görülmemiş olan test veri seti üzerinde de test edilmiştir. Bu 1778 test seti verisine ait kare ortalama sapma değeri 2,022 MeV'dir. Bu yöntemin çekirdeklerin beta bozunma enerjilerinin tahmin edilmesinde güvenle kullanılabileceği görülmektedir.

SONUÇ

Bir temel bilim dalı olan nükleer fizikte yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilir ve sonuçların kabul edilebilir derecede iyi olduğuna dair verilen örnekler göstermektedir ki, bu yöntem temel bilimler alanında gerçekleştirilecek olan çalışmalar için de güçlü bir araçtır. Bu çalışmada incelenen makalelerin sonuçları, teorik modellerin olmadığı ya da deneysel imkanların oluşmadığı durumlarda bu yöntemin alternatif olarak güvenle kullanılabilir olduğuna işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Haykin S. (1999). Neural Networks: a Comprehensive Foundation, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA.
- [2] Hornik K., Stinchcombe M., White H., Multilayer feed forward networks are universal approximators, Neural Networks 1989; 2:359-366.
- [3] Akkoyun S., Amrani N., Estimations of (n, p) reaction cross-sections at 14.5 MeV incident neutron energy by artificial neural networks, Rad. Phys. Chem. 2021; 184:109445.
- [4] Akkoyun S., Estimation of fusion reaction cross-sections by artificial neural networks, Nucl. Instrum. Meth. B 2020; 462:51-54.
- [5] Bayram T., Akkoyun S., Kara SO., A study on ground-state energies of nuclei by using neural networks, Ann. Nucl. Eng. 2014; 63:172-175.
- [6] Akkoyun S., Bayram T., Estimations of fission barrier heights for Ra, Ac, Rf and Db nuclei by neural networks, Int. J. Mod. Phys. E 2014; 23: 1450064.
- [7] Akkoyun S., Bayram T., Turker T., Estimations of beta-decay energies through the nuclidic chart by using neural network, Rad. Phys. Chem. 2014; 96:186-189.

VERİMLİLİK AMAÇLI YENİ BİR SIVI SEVİYESİ ÖLÇÜM TEKNİĞİ

Hüseyin Canbolat^a

^a Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Yenilenebilir Enerji Kaynakları içerisinde, bir yakıt veya enerji kaynağı olarak hidrojen kullanımının, önümüzdeki yüzyıl boyunca global enerji gereksiniminde dramatik bir şekilde yer alması beklenmektedir. Hidrojen dahil bir çok enerji uygulaması içerisinde tanklar kullanılmakta ve bu tanklar içerisindeki sıvı seviyelerinin ölçümü önem arz etmektedir. Bu çalışmada mevcut kullanılan yöntemlerden farklı olarak kapasitörler kullanılarak sıvı seviyesi ölçümü yöntemi açıklanacaktır.

Anahtar kelimeler: Enerji verimliliği, Sıvı seviyesi, Ölçüm tekniği

ABSTRACT

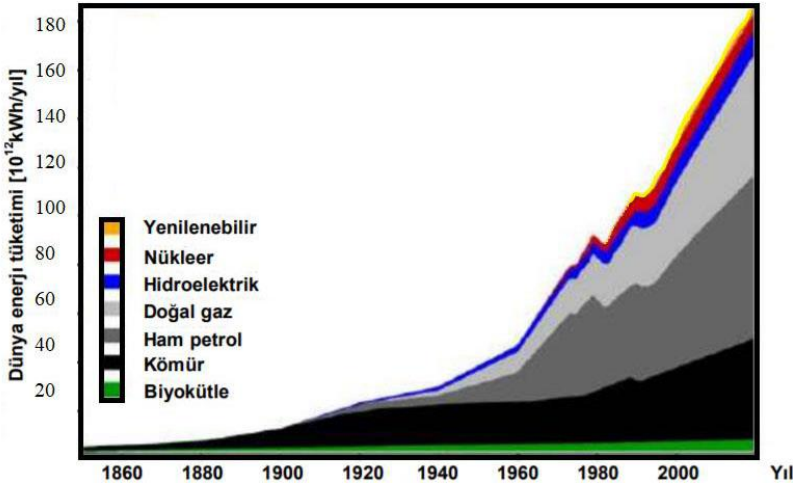
Within Renewable Energy Sources, the use of hydrogen as a fuel or energy source is expected to take place dramatically in global energy needs over the next century. Tanks are used in many energy applications, including hydrogen, and it is important to measure the liquid levels in these tanks. In this study, the liquid level measurement method using capacitors will be explained, different from the existing methods.

Keywords: Energy efficiency, Liquid level, Measurement technique

GİRİŞ

Küresel enerji tüketiminde, 2050 yılına kadar her geçen yıl %1.3'lük bir artış olacağı, Dünya Enerji Konseyi tarafından tahmin edilmektedir [1]. Bu süreç boyunca artan bir hızla karşılanması gereken enerji talebine cevap verecek olan arz içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı da artmakta ancak 2050 yılına kadar fosil ve nükleer enerji kaynaklarının da tüketimde yüksek bir oranda kalacağı tahmin edilmektedir, Şekil 1'de tahmin edilen tablo bu durumu özetlemektedir.

Geleneksel yöntemlerde sıvı ve hava arasındaki dielektrik sabitleri arasındaki fark seviyesini ölçen yaklaşımlar kullanılmaktadır. Önerilen yöntem ise havanın etkisini ortadan kaldırarak daha doğru sonuç vermekte, en büyük avantajı ise herhangi bir sıvı çeşidine direkt uygulanabilmesidir.



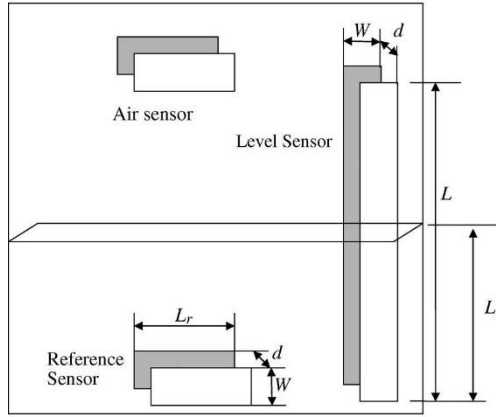
Şekil 1. Yıllara göre dünyada tüketilen enerji çeşitleri [2].

Bazı sıvı seviyeleri kapasitif sensörler kullanılarak ölçülür [3], [4]. Bu uygulamalarda, sıvı seviyesi kullanılarak yaklaşık olarak belirlenir. Sıvıların dielektrik sabitlerinin daha yüksek olduğu bir gerçektir. Temel olarak, parametreler şu şekilde ayarlanır: ölçülen kapasitans değerinin ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu bazı tolerans seviyelerine göre kabul edilmektedir. Öte yandan, başka bir tür sıvı olduğunda ölçüm kalibre edilmelidir. Sıvılar tankta depolanır. Yani, ölçümler çok hassas sıvının türüne, özellikle dielektrik sabitine bağlıdır.

Ölçümlerde bir diğer önemli faktör de sıcaklıktır. Dielektrik sabitleri farklı sıcaklıklarda farklıdır herhangi bir malzeme için. Sıcaklık kalibrasyonu etkiler, sensör de önemli ölçüde etkileyebilir, özellikle de sıcaklığın ölçüm ortamı belirlenen aralığın dışında olması durumunda.

Aynı prensip, depolamadaki tahıl seviyelerine de uygulanır. Ölçümlerin sıvıdan daha zor olduğu silolar içine tahıl dökerken toz nedeniyle seviye ölçümleri homojen olmayan dağılım ve düşük dielektrik sabitleri nedeniyle taneleri algılayamabilir [5]. Aynı şekilde bir tankta sıvı seviyesi olması durumunda, bir miktar buhar gelir ve seviye ölçümünde hata ile karşılaşılabilir.

Bu yazıda, kapasitif bir sıvı seviye ölçüm sensörü kurulumu sunulmaktadır. Sensör okuması hava neminden bağımsızdır, sıvının sıcaklığı ve dielektrik sabiti yüzünden. Bu sebeple de sensörlerde bu faktörlerin hiçbiri için kalibrasyon gerekmez. Şekil 2 de gösterilmiş olan sıvı seviyesi için geleneksel ölçüm metodları kullanıldığında hata payı çok yüksek olacağı için verimlilik oldukça düşük olacaktır. Şekil 2 de gösterilen konteyner, sensör kurulumunun şematik olarak bir gösterimidir. İki ekstra özdeş kapasitif sensör kullanılır, bu referans sensörü, konteynerin altına yerleştirilmiştir. Sıvı dielektrik referansı için hava sensörü üst kısma yerleştirilmiştir. Hava dielektrik referansı için ise bir kap vardır. Bu iki sensör özdeş, aynı uzaysal boyutlara sahiptir. Üçüncü sensör ise silindirin yüksekliği boyunca yerleştirilmiş seviye sensörüdür. Seviye yüksekliği bu sensör tarafından ölçülür. Her üç sensör de aynı paralel plakalar arasındaki d mesafesine sahiptir.



Şekil 2. Tanktaki sıvı seviyesi ölçüm metodu [2].

Ek olarak, genişlik, Plakaların W 'si üçü için aynıdır (Şekil 2). Dielektrik değerler, dijital bilgiye dönüştürülür. Kapasitiften dijitale dönüştürücü (CDC) kullanılır (Şekil 3). Bir CDC Her sensör için kullanılabilir. Bu CDC'ler çok iyi yerleştirilmelidir. Kablo kaybını azaltmak için sensöre yakın konumlandırılmalıdır.

Ölçümde dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır, bunlar için şu açıklamalar yapılabilir:

Açıklama 1: d ve W boyutlarının şu şekilde olması gerekir: Üç kapasitif sensör için de sabit olmalıdır. Bu nedenle, okumaların doğruluğu, ayarlamaların doğruluğuna bağlıdır. Plakalar ve plaka genişliği W arasındaki d mesafesi doğru konumlandırılmalıdır. Buna ek olarak, mesafeleri mikrometre cinsinden doğru bir şekilde ayarlamak (hatta daha küçük) gerekmektedir. Günümüz teknolojisinde toleranslar büyük bir sorun teşkil etmektedir. Endişe edilen konu ise zamana göre mesafedeki değişiklik olabilir. Bu durum mesafeyi gözlemleyerek üstesinden gelinecek bir problemidir.

Açıklama 2: Öte yandan, formülasyon her ne kadar sabit d ve sabit W için yapılmış olsa da, yeniden formüle edilebilir, bu durumda üç durum için farklı değerler. Bu durumda, ifade edilen seviye bilgisi için farklı hale gelir.

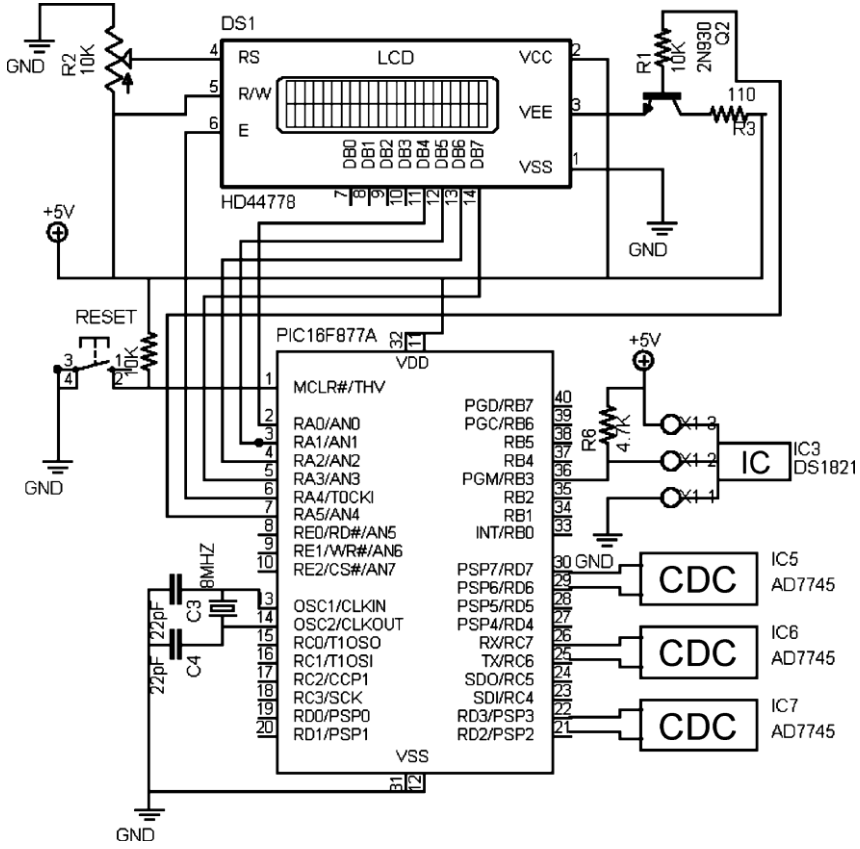
Açıklama 3: Sıvı basıncı farklı koşullarda farklı olduğundan bu durum, özellikle ince metal plakalar için, basıncı altındaki deformasyon nedeniyle d 'yi de etkileyebilir. Ancak, mümkün olan yükseklikle basıncı değişimine direnmek için daha kalın plakalar seçilebilir.

Ancak, hava yoluyla sızıntı alanları ile ilgili ölçümler sorun olabilir. Bu konudaki çalışmamız devam etmektedir.

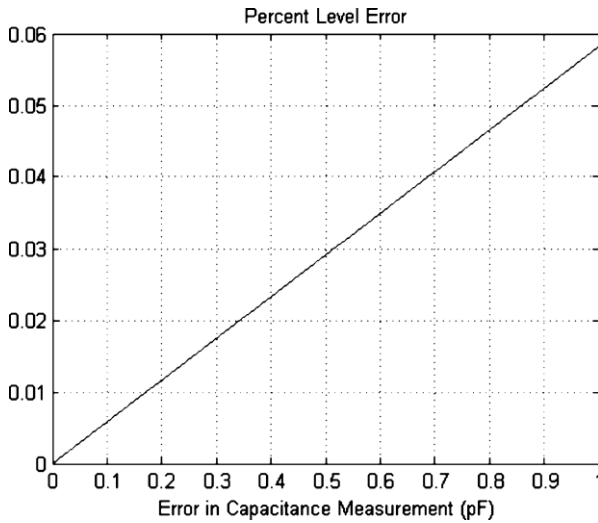
Açıklama 4: Sensör plakaları, yapıları ve malzemeleri de önemlidir. Sıvılar kimyasal özellikte olmamalıdır. Plakalarla reaksiyona giren sıvılarda temassız işlemler tercih edilir.

Bu gibi reaksiyon olasılığı olan durumlarda, plakalar bir kap ile kaplanabilir.

Korozyonu önlemek için reaksiyona girmeyen boya da kullanılması tavsiye edilebilir [6- 12].



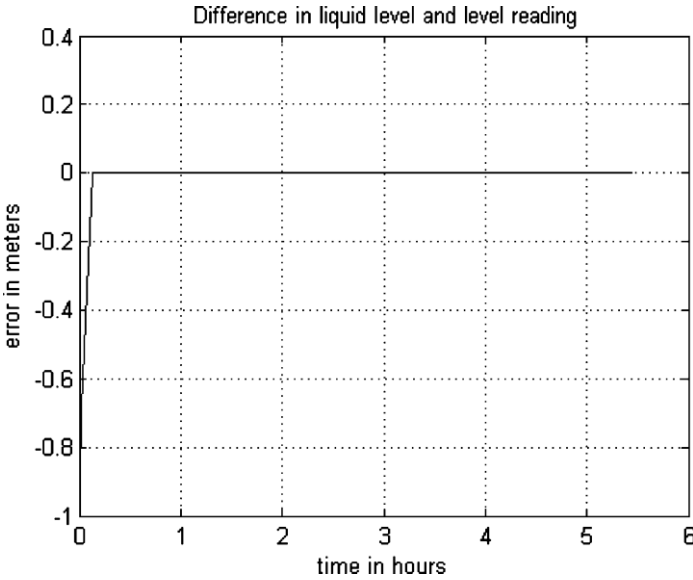
Şekil 3. CDC devresi kullanılarak PIC16F877 ile ölçüm metodu tasarımı.



Şekil 4. Ölçüm metodu hatası oranı.

SONUÇ

Sıcaklık gibi farklı fiziksel parametreleri telafi eden yeni bir sıvı seviye ölçümü önerisi sunulan bu çalışmadaki matematiksel hesaplamalar, daha önce hazırlanmış olan yaptığımız çalışmalardan ayrıntılı olarak incelenebilir [12]. Sıvı tipi, nemli hava boşluğu ve tozlar için sonuçlar görüntülenir, kullanıcıya doğrudan mikrodenetleyiciler aracılığıyla iletilir. Konvansiyonel seviye sensörleri her sıvı türü için kalibre edilmelidir. Ayrıca nemden, sıcaklıktan, ve tozdan izole edilmelidir. Tasarlanan sensör tüm bu faktörleri telafi edecek şekilde kullanılabilir. Bu amaçla kullanılacak bir elektronik devre de tasarlanmıştır. Ölçüm sonuçlarındaki hatalar Şekil 4 ve 5’te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Dielektrik sabitesi 81 olarak alındığında su için ölçüm metodu hatası oranı.

Simülasyon sonuçları ile gerçek devre sonuçları kıyaslanmış ve sensor okumalarının tahmin edildiği gibi olduğunu gösterilmiştir. Referans sensörü tamamen sıvı ile dolu olduğu sürece teori geçerli olmuştur. Sunulan sensör kurulumu, doğrudan aşağıdakiler için verimlilik amaçlı kullanılabilir:

Herhangi bir iletken olmayan ve yanıcı sıvı ile çalışılan durumlarda, iletken bir sıvı olması durumunda, kurulum ayarlanarak sensör değiştirilebilir.

Tasarlanan elektronik devre, iletken olmayan bir sıvı ile dolu esnek bir kaba koyulabilir.

Tüm ölçümler iletken olmayan ortamda yapıldığından ve yanıcı ortamda bulunmadığından, bu değişiklik etkili bir şekilde sıvı seviyesini ölçülebilir ancak gelecekteki çalışmalarda bu durumlar değiştirilecek ve sensör ve sonuçları deneysel olarak doğrulanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] L. K. Baxter, *Capacitive Sensors. Design and Applications*. New York: IEEE Press, 1997.
- [2] G. Vass, "The principles of level measurement," *Sens. Mag.*, vol. 17, Oct. 2000. [Online]. Available: <http://www.sensormag.com>
- [3] S. E. Woodard and B. D. Taylor, "A wireless fluid-level measurement technique," *Sens. Actuators A, Phys.*, vol. 137, no. 2, pp. 268-278, Jul. 2007.
- [4] F. Reverter, X. Li, and G. C. M. Meijer, "Liquid-level measurement system based on a remote grounded capacitive sensor," *Sens. Actuators A, Phys.*, vol. 138, no. 1, pp. 1-8, Jul. 2007.
- [5] H. Isiker and H. Canbolat, "A novel grain level measurement method for silos," in *Proc. 5th Int. Conf. Elect. Electron. Eng. ELECO*, Bursa, Turkey, Dec. 2007, vol. 2, pp. 187-191.
- [6] D. B. Heard, "Fail-safe devices for the prevention of hazardous materials spills," *J. Hazard. Mater.*, vol. 13, no. 2, pp. 233-238, Apr. 1986.
- [7] F. Longbottom and H. Eren, "Ultrasonic multiple-sensor solid level measurements," in *Proc. IEEE IMTC*, 1994, pp. 749-752.
- [8] B. T. Mills, "Multi-sensor system using plastic optical fibers for intrinsically safe level measurements," in *Linear Applications Handbook*. Santa Clara, CA: Nat. Semicond. Corp., 1986, p. 141.
- [9] C. Vázquez, J. Garcinuño, J. M. S. Pena, and A. B. Gonzalo, "Multisensor system for level measurements with optical fibers," in *Proc. 28th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, 2002, pp. 5-8.
- [10] G. Betta, A. Pietrosanto, and A. Scaglione, "A Gray-code based fiber optic liquid level sensor," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 47, no. 1, pp. 174-178, Feb. 1998.
- [11] W. C. Haase, "Digital measurement circuit and system using a grounded capacitive sensor," U.S. Patent 6 700 392, Mar. 2, 2004.
- [12] H. Canbolat, "A Novel Level Measurement Technique Using Three Capacitive Sensors for Liquids," *IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement*, Vol. 58, No. 10, October 2009.

BÖLÜM 4

ENERJİ VERİMLİ BİNALARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR TEKNOLOJİLER

ISI YALITIM UYGULAMALARININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ferhat Kılınç^a

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Tüm dünya ile birlikte ülkemizde de artan enerji talebi, farklı enerji kaynaklarına yönelim ve mevcut kaynakların daha verimli şekilde kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Büyük çoğunluğunu fosil yakıtların oluşturduğu mevcut enerji kaynaklarını kullanmaya devam etmenin başta yenilenemez olması, sera gazı salınımı ve küresel ısınma gibi çevresel etkilerinin giderek artması ve hatta uluslararası güç olarak kullanılması gibi oldukça önemli olumsuzlukları da beraberinde getireceği göz ardı edilemez.

Anahtar Kelimeler: Isı Yalıtımı, Enerji tasarrufu, Isı enerjisi

ABSTRACT

Increasing energy demand in our country as well as the whole world necessitates the orientation to different energy sources and the more efficient use of existing resources. It cannot be overlooked that continuing to use existing energy resources, the majority of which consists of fossil fuels, will bring with it very important negativities such as being non-renewable at first, increasing environmental effects such as greenhouse gas emissions and global warming, and even being used as an international power.

Keywords: Thermal Insulation, Energy saving, Thermal energy

GİRİŞ

Ülkemizin de enerji konusunda dışa bağımlı olduğu düşünüldüğünde, bu olumsuzluklardan etkilenmemesi mümkün olmayacaktır. Bu noktada ülkemiz açısından yapılması gereken, başta belirtildiği üzere dışa bağımlılığı azaltmak için farklı enerji kaynaklarına yönelmek olmalıdır. Bu süreç zaman alacağı için ilk aşamada yapılması gereken ise mevcut enerji kaynaklarının daha tasarruflu kullanılmasıdır.

Türkiye’de Enerji

Türkiye enerji talebinin karşılanmasında yaklaşık olarak %74 oranında dışa bağımlıdır. Bu alanda Türkiye’nin enerji stratejisinin çok yönlü yapısı ve enerjide dışa bağımlılığı uluslararası ilişkilerin önemini artırmaktadır [1]. 2018 yılı itibarıyla ülkemizdeki toplam enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında, en yüksek tüketimin %25,3 ile sanayi sektöründe ve %24 ile

enerji ve çevrim sektöründe gerçekleştiği görülmektedir. Bunu %23 ile mesken ve hizmetler, %19,8 ile ulaştırma, %4,4 ile enerji dışı ve %3 ile tarım ve hayvancılık sektörü takip etmektedir [2].

Dünya geneline bakılacak olursa, bina sektörünün nihai enerji tüketimdeki payı %30'u, küresel elektrik tüketimindeki payı ise %50'yi geçmiş olup, küresel karbon emisyonlarının üçte birinden de bina sektörü sorumlu olduğu görülmektedir. Yine bina sektöründe ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketiminin toplam tüketimdeki payı ise %70-80 civarında olduğu bilinmektedir. Bu yüksek oranlar göz önünde bulundurularak Avrupa Birliği mevzuatı, üye ülkelere 2018 yılından itibaren yeni kamu binalarının, 2020 yılından itibaren ise bütün yeni binaların sıfıra yakın enerji tüketen binalar olması zorunluluğu getirmektedir [3]. Türkiye'de sektörel bazda doğalgaz tüketimi %32 ile konutlarda gerçeklerşirken, bu sektörü sırasıyla %27 ile sanayi ve %25 ile hizmet sektörü takip etmektedir [4].

Tüm bu veriler ışığında enerji tasarrufunun her alanda ne kadar önemli olduğu ve konutlarda enerji tüketimini azaltmak için bazı önlemlerin alınması gerektiği görülmektedir. Ülkemizde ısınma ve sıcak kullanım suyu için doğalgaz kullanımı sürekli artmaktadır. Kış aylarında ısınma ihtiyacının fazla olduğu iç ve doğu bölgeleri için gereken ısınma gideri, yaz aylarında da kıyı bölgelerde soğutma gideri olarak kendini göstermektedir. Son yıllarda ciddi olarak belirgin hale gelen küresel iklim değişiklikleriyle birlikte, mevsim normalleri olarak bilinen şartları zorlayıcı uç sıcaklık değişimleri her bölgede görülmektedir. Bu noktada ise ilk önlem olarak ısı yalıtımı kavramı akla gelmektedir.

Isı yalıtımı uygulama örnekleri

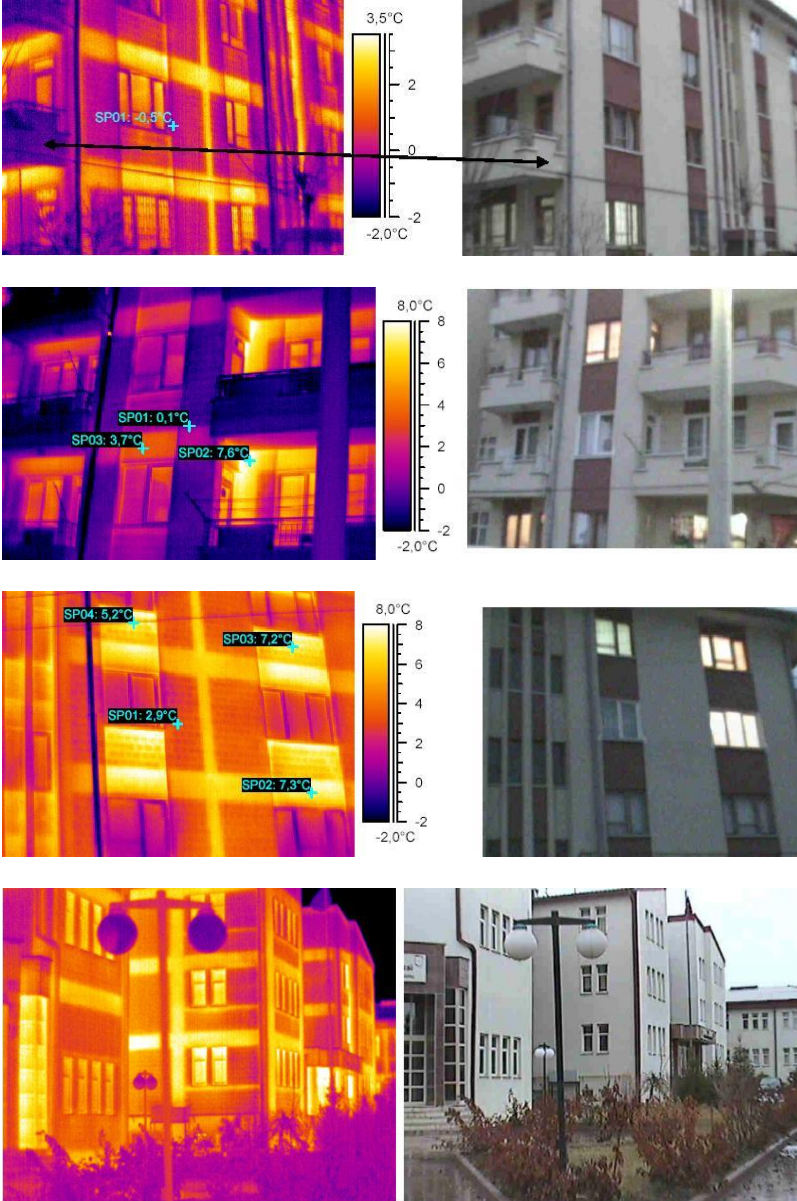
Isı yalıtımının amacı uygulandığı bölgedeki ısı geçişini engelleyerek, istenilen ısı konfor şartlarının sağlanmasına yardımcı olmaktır. Bu amaçla binanın dış cephesine yapılan ve mantolama olarak bilinen, ısı yalıtımının en yaygın kullanım şekli olan dıştan yalıtım uygulaması yapılmaktadır. Bunun dışında yaygın olmasa da iç hacimlere uygulanan içten yalıtım ve iki tuğla arasına uygulanan sandviç yalıtım uygulamaları da kullanılmaktadır.

Ülkemizde son yıllarda doğalgaza geçişle birlikte yalıtım bilinci oluşmaya başlasa da; doğru malzeme, doğru kalınlık ve doğru uygulama konusunda ne yazık ki halen yeterli seviyeye ulaşamadığı görülmektedir. Bu durum tüketici açısından ısı yalıtımının işe yaramadığını düşüncesinin oluşmasına sebep olmaktadır. Isı yalıtımından en yüksek verimi alabilmek ancak birçok etkenin doğru biçimde uygulanmasıyla sağlanabilir. Dış duvarlara uygulanan ısı yalıtımı kolon, kiriş, pencereler, tavan ve taban gibi binaya ait bütün elemanlarla birlikte ancak en verimli hale gelebilir. Bu nedenle eksiklikler tespit edilerek malzeme seçimi ve uygulama en doğru şekilde yapılmalıdır.

Şekil 1'de Sivas ilinde bulunan kamu binalarına ait termal kamera görüntüleri verilmiştir. Taşıyıcı eleman olarak bilinen kolon ve kirişler, ısı transferi açısından ısı köprüleri olarak adlandırılırlar. Donatı yapılarından dolayı yüksek ısıl iletkenliğe sahip oldukları için ısı kayıplarının en fazla görüldüğü yapı elemanlarıdır. Özellikle kirişlerin kesişim bölgelerinde büyük miktarlarda ısı kayıpları olmaktadır. Şekillerde verilen sıcaklık ölçekleri ve noktasal sıcaklık-

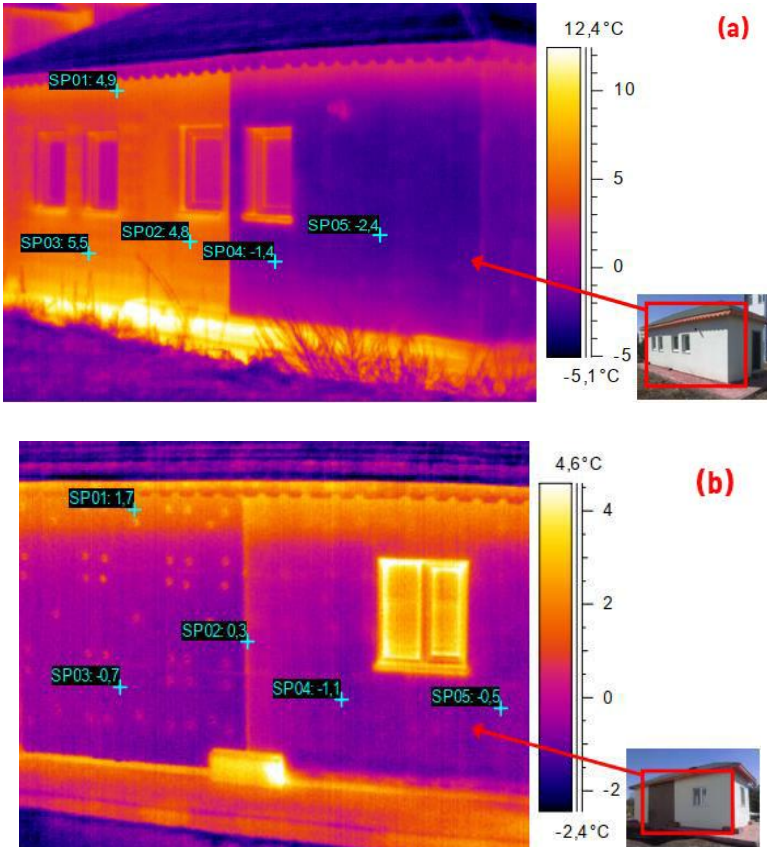
lardan ısı kayıplarının büyüklüğü net olarak görülebilmektedir. Binaların dış cephe duvar birleşim yerlerinin ısı kaybı yönünden kritik bölgeler olduğu görülmektedir.

Şekiller incelendiğinde radyatör arkası bölgelerden meydana gelen kayıplar göze çarpmaktadır. Isı geçiş miktarının büyüklüğüne bağlı olarak bu bölgelerin sıcaklıkları daha yüksektir. Radyatör ve duvar arasına ışınımlı ısı yalıtım levhaları kullanımı ile ısı kaybı belirli oranlarda azaltılabilir.



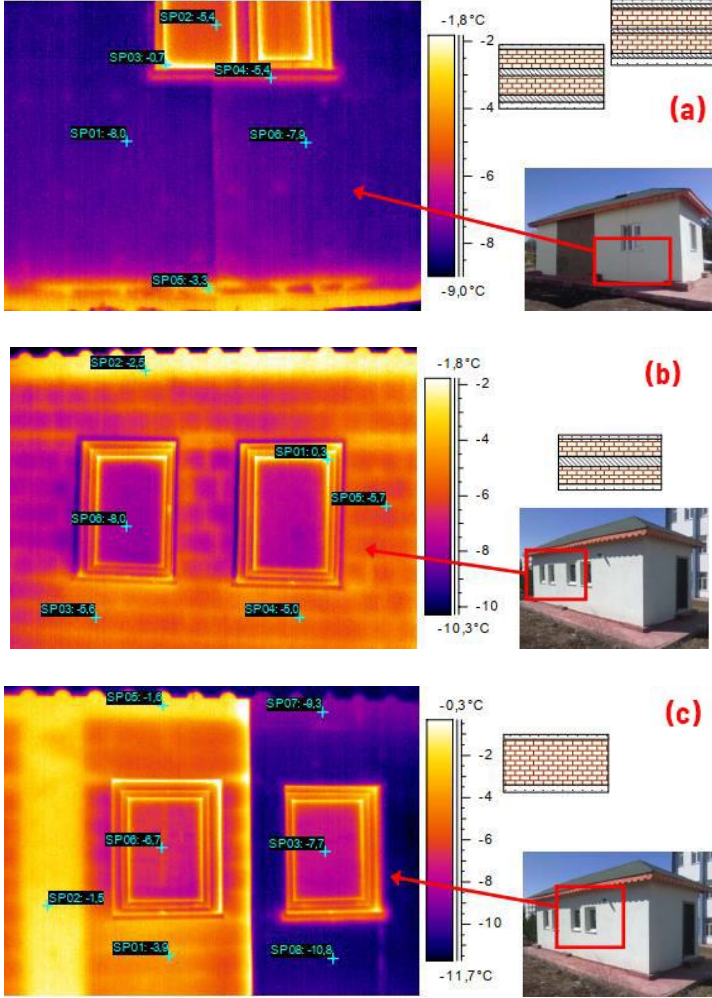
Şekil 1. Sivas ilinde bulunan çeşitli kamu binalarına ait termal kamera görüntüleri

Kamu binalarına ait termal kamera görüntüleri yanısıra, Sivas ili için yapılan bir diğer çalışma da, farklı ısı yalıtım malzelerinin ve uygulama biçimlerinin yapıldığı yüksek lisans tezidir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada uygun malzeme seçimi, uygulamaların doğru yapılması ve ısı yalıtımının gerekliliğinin önemi araştırılmıştır. Yaklaşık 30 m² alana sahip bir bina inşa edilmiş ve bu binada daha önce uygulanmış ya da üzerinde çalışmalar yapılmış birçok duvar modeli ve yalıtım malzemesi üzerinde incelemeler yapılmıştır [5]. Şekil 2 'de tezde bahsedilen örnek binaya ait termal kamera görüntüleri verilmiştir. İç ve dış ortam ortam sıcaklıklarının sırasıyla 20 °C ve -4 °C olduğu çekime ait görüntülerden de anlaşılacağı gibi yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlar belirgin olarak fark edilmektedir. Şekil 2a 'da sol tarafta sandviç duvar uygulaması ve sağ taraf ise sırasıyla yalıtımsız ve yalıtımlı bims duvar uygulaması görülmektedir. Şekil 2b 'de sol tarafta dıştan yalıtım uygulaması, sağ tarafta 6 cm yalıtım kalınlığının 3+3 cm ve 2+2+2 cm şeklindeki uygulandığı sandviç duvar mevcuttur. Binanın kuzey kısmına ait görselde; yalıtım malzemelerinin birleşme yerlerinde, kolon ve kirişlerde ısı köprüleri görülmektedir. Ayrıca saçak altlarında, giriş kısımlarında ve döşemeden olan ısı kayıpları belirgin olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 2. Örnek binanın farklı cephelerine ait termal kamera görüntüleri

Şekil 3’te örnek binaya ait termal kamera görüntüleri farklı iç ve dış ortam sıcaklıkları için daha detaylı olarak verilmiştir. Özellikle Şekil 3a’da dış görselde belirgin bir sıcaklık farkı olmasa da, asıl fark duvarın iç yüzey sıcaklık değerlerinde görülmüştür. Görüntüde ayrıca, pencere kasa ve fitillerinde meydana gelen ısı kayıpları gösterilmiştir. Şekil 3c’de yalıtımsız ve yalıtımlı bims duvar uygulamasında yalıtımın ne kadar önemli olduğunu belirgin olarak görülmektedir.



Şekil 3. Örnek binanın farklı cephelerine ait detaylı termal kamera görüntüleri

SONUÇ

Sahip olduğumuz enerji kaynaklarının bilinçli ve verimli tüketimi hem bireysel hem de toplumsal olarak enerji tasarrufu sağlayacaktır. Ayrıca enerji bazında dışa bağımlılığımız azalarak, farklı alanlara yatırım olanakları da sağlanmış olacaktır. Bina sektöründe ya da

daha basit ifadeyle konutlarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmının ısıtma ve soğutma giderlerinden oluştuğunu düşünüldüğünde, ısı yalıtımı uygulamalarının konutlarda enerji tasarrufu sağlamanın temelini oluşturduğu açıkça görülmektedir. Doğru uygulanan ısı yalıtımı sayesinde konutlarda %30-70 arasında tasarruf sağlanabilmektedir. Bu aralığın fazla olmasının ısı yalıtım uygulamasının çok fazla parametreye bağlı olmasından kaynaklandığını vurgulamak gerekir. Ters durumlarda yani hatalı ısı yalıtım uygulamaları ve özellikle içten ve sandviç duvar uygulamaları sonucu ortaya çıkan ısı köprüleri sebebiyle oluşan terleme ve yoğuşmaya bağlı olarak yapıda küf, mantar, boya ve siva dökülmeleri, beton ve donatıda korozyon kaynaklı hasarlar ortaya çıkmaktadır. Tüm bunlar ise; insan ve yapı sağlığını etkileyecek ciddi sorunlara yol açmaktadır.

Isı yalıtım uygulamalarında sıkça yapılan birkaç hatayı dile getirmek gerekirse: En üst katlarda dıştan ısı yalıtımı ile birlikte çatı üstü yalıtımına da özen gösterilmelidir. Malzeme seçimi doğru yapılmalı ve yalıtım kalınlığı doğru hesaplanmalıdır. Yalıtım uygulaması yapılırken birleşme yerlerine de ayrıca özen gösterilmelidir. Temas direnci ve ısı köprüsü oluşumu engellenmelidir.

Isı yalıtımı konusunda bilincin istenilen seviyede olmadığı ülkemizde; yalıtım uygulamaları sırasında bina enerji performansını önemli ölçüde etkileyecek ciddi hatalar da yapılmaktadır. Isı yalıtımı uygulamalarının uzman ekipler tarafından yapılması, amaca ve standartlara uygun kalitede malzeme ve donanımların kullanılması bu sorunlar giderilebilecektir. Ülke ekonomisi, çevre kirliliği, insan ve bina sağlığı, yapı ömrü ve konforlu yaşam standartları gibi birçok önemli sorunu etkileyen ısı yalıtımı; bireysel ve toplumsal bir zorunluluktur. Enerjinin bilinçli şekilde tüketilmesi, enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar yapılması ve binalarda ısı yalıtımın önemi ve gerekliliği konusunda yeterli bilincin toplumun her kesimine aşılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı (2021). https://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2021). <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>
- [3] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Derneği (2019). <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2019/11/21112019Sunum.pdf>
- [4] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2021). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz>
- [5] Kılınç, F. (2011). Sivas için farklı yalıtım malzemelerinin ısı kaybına olan etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

YAPI ELEMANLARINDAKİ ISI KAYIPLARININ ENERJİ TASARRUFU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Koray Karabulut^a, Ertan Buyruk^b

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü

^b Sivas Cumhuriyet Üniversitesi., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada, duvar-ara kat döşemesinden oluşan içten ve sandviç yalıtımlı farklı ısı köprüsü modellerinin ısı performansları incelenmiştir. Hesaplamalar, Fluent bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı elemanlar, Enerji Tasarrufu, Isı Kayıpları

ABSTRACT

In this study, the thermal performances of different thermal bridge models with inner and sandwich insulation consisting of wall-mezzanine flooring were investigated. Calculations were performed using the Fluent computer program.

Keywords: Building elements, Energy Saving, Heat Losses

GİRİŞ

Binaların enerji tüketiminin azaltılması, atmosfere salınan sera gazı emisyonlarında bir azalmaya yol açarak, gezegenimizin küresel ikliminin ısınma hızını azaltıcı etki sağlamaktadır. Özellikle binaların enerji verimliliğini artırma görevi, daha düşük enerji tüketimi ile gerekli iç mikro iklimi sağlamayı gerektirmektedir [1].

Binalar, duvarlar, pencereler, tavanlar ve döşemelerden ısı kaybetmekte ve bu yüzden binaların yakıt tüketimi artmaktadır [2].

Ülkemizin enerjiye olan talebi, sanayileşme ve üretim sürecinde günden güne biraz daha artarken, enerji arzı bu talep artışını karşılayacak oranda artmamaktadır. Enerji tüketimi bakımından değerlendirildiğinde konut sektörü yüzde 33' lük gibi önemli bir paya sahip olduğu bilinmektedir. Yapılardaki ısı kayıplarının; %10'u döşemelerden, %10-15'i pencerelerden, %25'i tavanlardan, %15-25'i duvarlardan ve %20-50'si ısı köprülerinden oluşmaktadır [2]. Isı köprüleri, duvar-ara kat döşemeleri (çatı, taban ve tavan), pencere veya kapı arası açıklıklar ve köşe noktaları gibi farklı yapı detaylarından oluşan ve binanın ısı direncinin önemli ölçüde değişerek iki veya üç boyutlu ısı transferinin oluştuğu sınırlı kısımlardır [3]. Bu kısımlar, bina yapı elemanında kış mevsimi döneminde ısı kayıplarını ve yaz mevsimi döneminde ısı kazançlarını artırmasıyla binanın ısı direncini yüksek oranda azaltmaktadır. Deneysel çalışmalardan ulaşılan verilere göre; bir binadan olan ısı transferinin bir boyutlu olduğu varsayımı geliştirilmiş

toplam ısı transfer katsayısının %10-40 oranında daha az tahmin edilmesine neden olmaktadır [4]. Önceki çalışmalardan birinde, tek boyutlu hesaplamalar yaparak bulunan sonuçlarla ölçülen sonuçlar arasındaki fark ve yalıtım tabakasının boyut ve yerleşim konumunun iç yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [5]. Larbi ise ısı köprülerinin iki boyutlu ısı iletiminin istatistiksel modellerini incelenmiştir [6]. Citterio ve ark. ısı köprülerinin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin özellikle dıştan yalıtım uygulanmadığında daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir [7]. Yunanistan'da bulunan bir konut için ısı köprülerinin binanın genel yıllık ısıtma yükü üzerindeki etkisi Kotti ve ark. tarafından %13 olarak belirlenmiştir ve Yunanistan'da yaygın olarak kullanılan çift tuğla duvar uygulaması durumunda %30'a kadar çıkabildiğini Theodosiou ve ark. hesaplamışlardır [8], [9]. Bergero ve ark. bir İtalyan beş katlı konut binasının durumunu incelemiş ve binada %12'ye varan ısı köprü katkısını saptamışlardır [10]. Gao ve ark. süreksiz sistemlerin davranışını belirlemede kullanılan grafik tabanlı bir yazılımda basitleştirilmiş bir model aracılığıyla (TRNSYS) bir Fransız binasındaki ısı köprülerine bağlı olarak toplam ısı kaybının %14 olduğunu hesaplamışlardır [11].

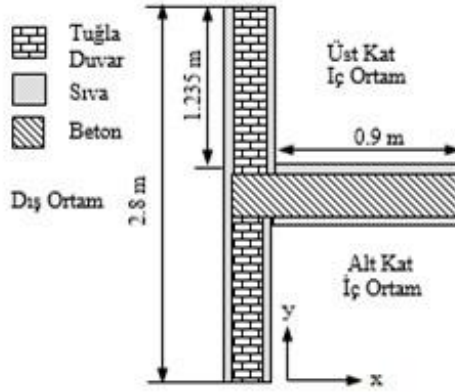
Farklı iklim bölgelerinde ısı kayıplarını azaltmak için duvar-donatılı beton birleşimleri için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [12], [13]. Bununla birlikte, termal kamera görüntüleme yöntemi ile ısı köprüsünün görselleştirilerek belirlenebilmesi için modellemeler öneren çalışmalar mevcuttur [14-16]. Ge ve ark. giriş uzantılı ısı köprüsünün yalıtım performansını değerlendirmek için bir yöntem önermişlerdir [17]. Elde edilen literatür çalışmasından ulaşılan sonuçlara göre birçok çalışmada duvar-kiriş birleşimi neticesinde oluşan ısı köprüleri ihmal edilmekte veya gerektiği kadar önemsenmemektedir. Bu çalışmada, duvar-ara kat döşemesinden oluşan ısı köprülerinin içten, iki duvar arası (sandviç) yalıtımlı duvar uygulaması durumunda binanın ısı performansındaki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, dış yüzey boyunca sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Ayrıca, sıcaklık konturu ve ısı akısı vektörü dağılımları görselleştirilmiştir. Sayısal hesaplamada, sonlu hacimler yöntemi olan Fluent bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Sayısal Yöntem

Analizlerde incelenen duvar-ara kat döşemesinden oluşan ısı köprüleri için kullanılan yalıtım malzemesi kalınlığı 5 cm'dir. Şekil 1'de duvar-ara kat döşemeli ısı köprüsünün yalıtımsız haldeki modeli gösterilmektedir. Ayrıca, çalışmada araştırması yapılan ısı köprüsü modelleri günümüzde yapılarda rastlanılan uygulamalar olup, modellemede kullanılan malzemelerin boyutsal ve ısı iletim katsayısı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yapı bileşenlerinin boyutsal ve ısı özellikleri [18].

Yapı bileşeni	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Kalınlık (m)
Beton	2.1	0.3
Isı yalıtımı malzemesi	0.026	0.05
Tuğla duvar	0.45	0.085
İç sıva	0.87	0.015
Dış sıva	1.4	0.025



Şekil 1. Yalıtımsız duvar-ara kat döşemeli ısı köprüsü modeli

Bu çalışma aşağıda belirtilen şu kabuller göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir: (i) ısı üretiminin olmadığı (ii) ısı özelliklerin sabit olduğu (iii) temas direncinin olmadığı (iv) ısı taşınım katsayısının sabit olduğu.

Bütün hesaplamalarda, sırasıyla dış ortamın sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısı 253 K, 25 W/m²K ve iç ortamın sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısı ise 293 K ve 8 W/m²K dir [19].

Hesaplamalarda ısı köprüsü modelleri için toplamda 8000-9000 adet dikdörtgenel şekilde ağ yapısı kullanılmakla birlikte, duvar-ara kat döşemesi ısı köprüsü modelleri yalıtım tipleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Isı köprüsü modelleri yalıtım tipleri

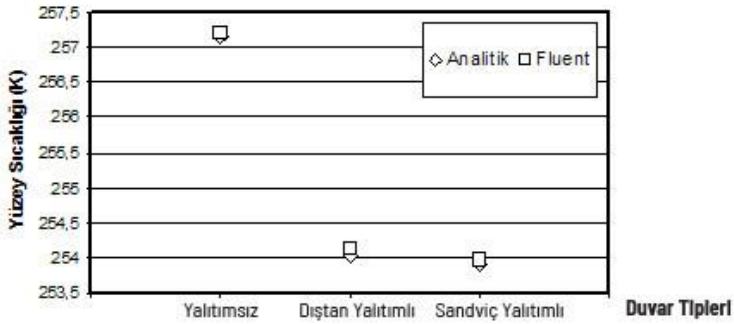
Modeller	Yalıtım tipi
i1	İçten ısı yalıtımı
i2	İçten ve üst kat taban ısı yalıtımı
i3	İçten ve giriş önü ısı yalıtımı
S1	Sandviç (çift duvar arası) ısı yalıtımı
S2	Sandviç ve üst kat taban ısı yalıtımı
S3	Sandviç ve giriş önü ısı yalıtımı

SONUÇ

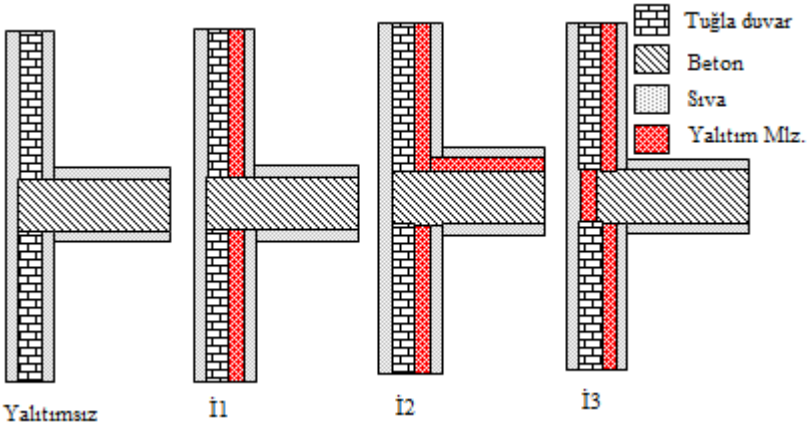
Yalıtımsız, dıştan ve sandviç yalıtımlı duvarların dış yüzey sıcaklık değerleri için bir boyutlu analitik hesap sonuçlarıyla, iki boyutlu ısı iletim denkleminin Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözümlenmesi ile ulaşılan sayısal sonuçlar kıyaslanmıştır. Şekil 2’den de görülebildiği gibi analitik ve sayısal (Fluent) sonuçların birbirleriyle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir.

İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüleri için modeller Şekil 3’ de gösterilmektedir Şekil 4’ de ise bu ısı köprüsü modellerinin sıcaklık dağılım konturları ile ısı akısının vektörleri sergilenmektedir. Duvara yalıtım içten yapıldığında iç yüzeyin sıcaklıkları

artarken, dış ortama olan ısı akısı vektörleri azalmaktadır. Isı köprüsü etkisinin fazla olduğu giriş (ara kat döşeme) bölgesinde, bu bölgelerin yalıtılmadığı İ1 ve İ2 modelleri için ısı akısı vektörlerinin yoğunluğu ve şiddeti fazladır. Bununla birlikte, giriş önüne yalıtımın yapılması (İ3 modeli) ısı akısı vektörlerinin yoğunluk ve şiddetinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu durum da, ısı köprüsü etkisinin azaldığını belirtmektedir. Ayrıca, İ3 modelinde ara kat döşemesi-duvar, yalıtım arasındaki bölgeden olan ısı kayıpları sebebiyle ısı akısı vektörlerinin yoğunluklarında artış olmaktadır.



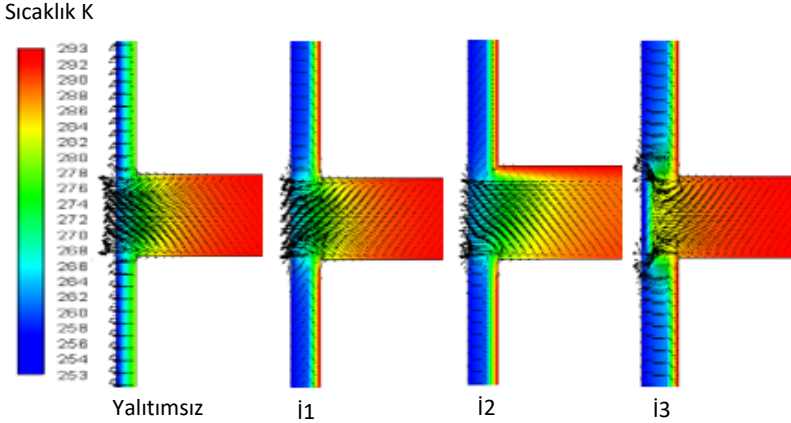
Şekil 2. Analitik ve sayısal sonuçların karşılaştırılması



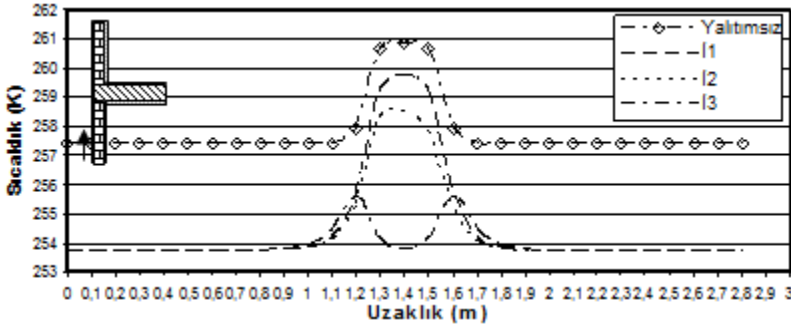
Şekil 3. İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modelleri

İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin dış yüzey sıcaklık değişimleri Şekil 5' de gösterilmektedir. Modellerde yalıtımsız duvar kısımlarındaki sıcaklıklar 257,41 K iken yalıtımlı modellerde bu değer 253,72 K olmaktadır. Bununla birlikte, yalıtım giriş önü sıcaklığının da düşmesini sağlayarak ısı köprüsünün olumsuz etkisini azaltıcı bir duruma sebep olmaktadır. Yalıtımsız durum için ara kat döşemesinin orta noktasının yüzey sıcaklığı, 260,86 K iken yalnızca içten yalıtımlı modelde 259,71 K'e, içten ve üst kat taban yalıtımlı modelde 258,49 K ve içten ve yalnız ara kat döşeme yalıtımlı modelde ise 253,75 K de-

ğerine inmektedir. Buna ilaveten, İ3 modeli için kiriş önünde yalıtımda bir bütünlük olmadığı için kiriş önünde sıcaklık değerlerinde sıçramalar görülmektedir. Bu nedenle, bu bölgelerde sıcaklık değeri, 255.56 K’ e kadar çıkmaktadır.

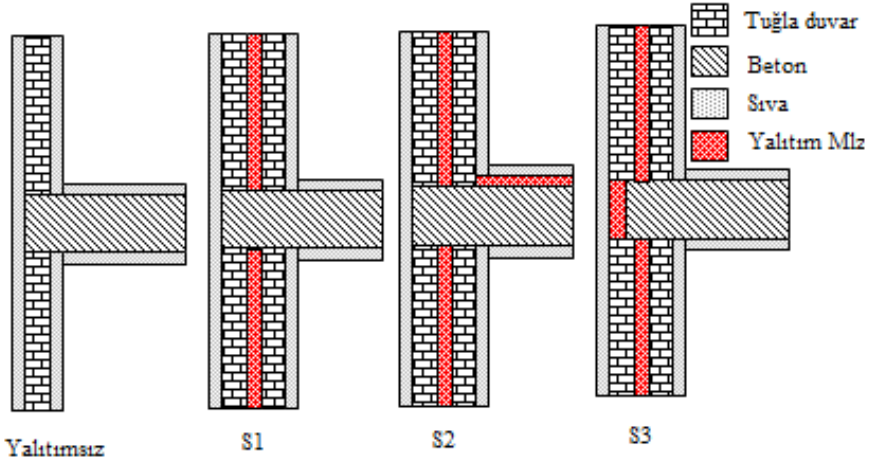


Şekil 4. İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin sıcaklık dağılımları



Şekil 5. İçten yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin dış yüzey sıcaklık değişimleri

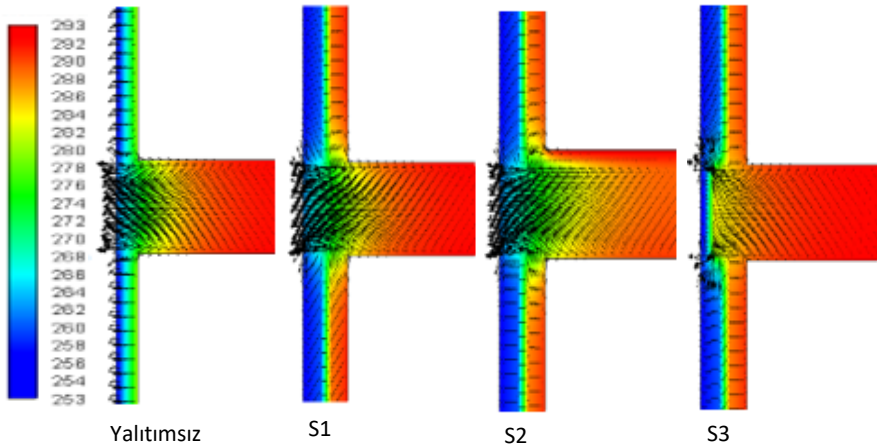
Çift duvar arası (sandviç) yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modelleri Şekil 6’ da sergilenmektedir. Şekil 7’ de ise Şekil 6’ da bahsedilen ısı köprüsü modellerine ait sıcaklık dağılımı ve ısı akısı vektörleri verilmektedir. Ara kat döşemesi bölgesinde, ısı akısı vektörlerinin yoğunluğu yalıtımsız durumda yoğun olmakla birlikte bu yoğunluk duvar kısmında daha azdır. S2 modelinde görüldüğü gibi çift duvar arası yalıtımın uygulanmasıyla duvarda ısı akısı vektörleri azalırken, duvar sıcaklığında artış elde edilmektedir. Fakat, kiriş kısmındaki ısı akısı vektörlerinin yoğunluğundaki artış devam etmektedir. S2 modeli için ara kat döşemesi bölgesinde ısı akısı vektörlerinde yoğunluk devam ederken, üst katın taban yüzey sıcaklığında artış elde edilmektedir. S4 modelinde kiriş önüne yapılan yalıtım ile ısı köprüsünün ısı kayıplarını azaltıcı etkisi azalarak kirişe ısı depolama özelliği kazandırılmaktadır. Ayrıca, sandviç yalıtımın özelliği olarak yalıtımdan önceki soğuk ortama doğru olan duvar kesiti sıcaklığı düşük iken yalıtımdan sonraki iç ortama doğru olan duvar kesiti sıcaklığı ise yüksektir.



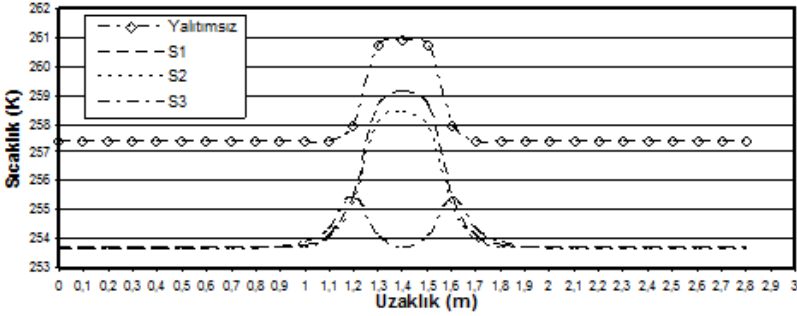
Şekil 6. Sandviç yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modelleri

Şekil 8' de sandviç (çift duvar arası) yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerine ait dış yüzey sıcaklığının değişimleri verilmektedir. Yalıtımın olmadığı durumda dış duvarın yüzeyinde elde edilen sıcaklık değeri, yalıtımlı duruma göre 3.73 K daha fazla olmaktadır. S1 modelinde sandviç yalıtımla birlikte ara kat döşemesinin orta kısmındaki sıcaklık değeri 259.1 K' e düşerken, yalıtımın olmadığı durumda 260.86 K' dir. S2 modeli için üst kat iç ortamda ara kat döşemesi yüzeyine uygulanan yalıtım ısı kayıplarını azalttığından dış yüzey sıcaklık değeri 258.36 K, S3 modeli için ise 253.72 K olmaktadır. Bununla birlikte, S3 modeli için ara kat döşemesinin alt ve üst kısımlarındaki ısı kayıpları nedeniyle sıcaklık değerlerinde artışlar görülerek, buralarda sıcaklık değeri 255.43 K olmaktadır.

Sıcaklık K



Şekil 7. Sandviç yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin sıcaklık dağılımları



Şekil 8. Sandviç yalıtımlı duvar-ara kat döşeme ısı köprüsü modellerinin dış yüzey sıcaklık değişimleri

GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İçten yalıtımlı duvar-ara kat kiriş döşemeli ısı köprüsünde kiriş önüne yalıtım uygulanması durumunda (İ3), yalıtımsız duruma göre ısı akışı değerinde %90'a varan oranda azalış sağlanmıştır. Ancak, yalıtımın süreksizliği nedeniyle oluşan ısı köprüleri tam olarak önlenememiş olup, kirişin al ve üst yüzeylerinde sıcaklıkta artışlar görülmektedir.

Sandviç duvar yalıtımlı duvar-ara kat kirişli ısı köprüsü modellerinde ise sandviç yalıtıma ilave olarak kiriş önüne de yalıtımın uygulandığı S3 modelinde ısı köprüsü etkisini azaltma yönünden en iyi sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak, ısı köprüsü etkisi tam olarak yok edilememiştir.

Bununla birlikte, ısı köprüsünün ısı kaybını artırıcı etkisini en alt düzeye indirebilmek için ara kat kiriş yüzeyinin bina dış yüzey tarafından ve iç ortamdan yalıtılması büyük fayda sağlayacaktır. Günümüzde, bireysel ısınmanın ve ısı pay ölçer ile faturalandırmanın yaygın olarak ön plana çıktığı düşünülürse bu tip yalıtım uygulama şekline dikkat edilmelidir. Ayrıca, en iyi yalıtım şeklinin hem yapı elemanına ısı depolama özelliği kazandırılarak ısıtıcı kapatıldığında çabuk soğumanın hem de ısı köprüsünün önlemesi açısından dıştan bir bütün olarak mantolama şeklinde olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Boronbaev E, Unaspekov B, Abdylbaeva A. Buildings enclosures coupling by its energy efficiency, seismic resistance and microclimate. *EasyChair Preprint*, 2021, 5376.
- [2] Karabulut K. Yapı elemanlarındaki ısı kayıplarının sayısal olarak incelenmesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s. 164, 2010.
- [3] EN ISO 10211-1 (2017). Thermal bridges in building construction- heat flows and surface temperatures-detailed calculations, Chapter 1: General Calculation Methods, Switzerland:Engineering 360.
- [4] CSTB (2000). Reglementation Thermique, Chapter 2, 3-5, Paris:Ademe.
- [5] Gao Y, Roux J.J, Zhao L.H. Dynamical building simulation: a low order model for thermal bridges losses. *Energy and Buildings*, 2008; 40 (12), 2236-2243.

- [6] Larbi AB. Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings. *Energy and Buildings*, 2005; 37 (9), 945-51.
- [7] Citterio M, Cocco M, Erhorn-Kluttig H. Thermal bridges in the EBPD context: overview on MS approaches in regulations. In Build Up. The European Portal for Energy Efficiency in Buildings; Information Paper P64 of the EPBD Buildings Platform, European Communities; 2008;1-9.
- [8] Kotti S, Telia D, James PAB. Quantifying thermal bridge effects and assessing retrofit solutions in a Greek residential building. *Procedia Environmental. Science*, 2017; 38, 306-313.
- [9] Theodosiou TG, Papadopoulos AM. The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. *Energy and Buildings*, 2008; 40, 2083-2089.
- [10] Bergero S, Chiari A. The influence of thermal bridge calculation method on the building energy need: A case study. *Energy Proceedings*, 2018;148, 1042-1049.
- [11] Gao Y, Roux JJ, Zhao LH. Dynamical building simulation: A low order model for thermal bridges losses. *Energy and Buildings*, 2008;40, 2236-2243.
- [12] Karabulut K, Buyruk E, Fertelli A. Numerical investigation of the effect of insulation on heat transfer of thermal bridges with different types. *Thermal Science*, 2016; 20, 185-195.
- [13] Evola G, Margani G, Marletta L. Cost-effective design solutions for low-rise residential Net ZEBs in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 2014; 68, 7-18.
- [14] Baldinelli G, Bianchi F, Rotili A. A model for the improvement of thermal bridges quantitative assessment by infrared thermography, *Applied Energy*, 2018, 211, 854-864.
- [15] Asdrubali F, Baldinelli G, Bianchi F. Detection of thermal bridges from thermographic images by means of image processing approximation algorithms, *Applied Mathematics and Computation*, 2018; 317, 160-171.
- [16] Tejedor B, Barreira E, Almeida RMSF, Thermographic 2D U-value map for quantifying thermal bridges in building façades. *Energy and Buildings*, 2020; 224, 110176.
- [17] Ge J, Xue Y, Fan Y. Methods for evaluating and improving thermal performance of wall-to-floor thermal bridges. *Energy and Buildings*, 2021; 231, 110565.
- [18] Dilmaç S, Can A., Şenkal Sezer F. Ara kat kırıflı döşemelerinde içeriden ve dışarıdan yalıtım uygulamalarının enerji verimliliklerinin karşılaştırılması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 2004; 80, 7-20.
- [19] Karakoç H. (2001). Uygulamalı TS 825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı. (2. Baskı). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

FARKLI BİNA KURULUMLARI ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPILARI

Deniz Gölbaşı^a, Ertan Buyruk^b, Koray Karabulut^c

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

^b Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

^c Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü

ÖZET

Enerji tasarrufu için önlemler alma sürecinde, şehirlerin kontrolsüz büyümesi kentsel bölgelerin havalandırma performansını olumsuz olarak etkilerken, soğutma ve ısıtma yüklerinde artışa neden olmuştur. Planlanmamış bina yüksekliği/sokak genişliği oranları, devasa yatay alanlar gibi eski şehir merkezlerindeki büyük yatay mimarili binalar kentsel alanlarda havalandırma verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerle bu çalışmada, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Yöntemi (PIV) ile deneysel ve kanala teker teker yerleştirilmiş 5x5x5cm ölçülerinde çatısız ve 30° eğime sahip çatılı model binalar etrafındaki akış yapıları incelenmiştir. Binalar etrafındaki akım çizgileri, vektör alanları, çevrinti eğrileri ve zaman ortalamalı hız bileşenleri dağılımları görselleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Enerji Tasarrufu, Bina Kurulumları, Akış Yapıları

ABSTRACT

In the process of taking measures to save energy, the uncontrolled growth of cities negatively affected the ventilation performance of urban areas and caused an increase in cooling and heating loads. Large horizontal architecture buildings in old city centers such as unplanned building height/street width ratios, huge horizontal areas adversely affect ventilation efficiency in urban areas. For these reasons, in this study, the flow structures around the experimental and 5x5x5cm roofless model buildings with 30° inclination roofs placed one by one in the channel were investigated with the Particle Imaging Velocity Measurement Method (PIV). Streamlines, vector fields, swirl curves, and time-averaged velocity components distributions around the buildings are visualized.

Keywords: Energy Saving, Building Installations, Flow Structures

GİRİŞ

Hızlı kentleşme kentlerin içyapısında kontrolsüz büyümeye neden olmuştur. Bu sorun enerji tasarrufu hususlarına ek olarak bir kentsel alanın havalandırma performansını etkilemektedir. Plansız ve yoğun yapılaşmış kentsel alanlar, rüzgarın şehir üzerindeki etkisini engellemektedir. Bunun bir sonucu olarak, trafiğin neden olduğu giderek artan seviyede kirlenici içeren ve azalan yeşil alan oranı ile nefes alamayan şehirler daha fazla ısınmakta ve

kentsel ısı adası etkisi artmaktadır [1], [2]. Ayrıca, özellikle gece vakitlerinde CO konsantrasyonu ile kentsel ısı adası yoğunluğu arasında güçlü bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu durum, yoğun yapılaşmış kentsel alanlarda doğal havalandırmanın önemini artırmaktadır [3].

Bir şehrin mikro iklimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olan havalandırma performansı, bir kentsel alanda doğrudan kentsel yapı düzeni ve sokak ağları ile ilgilidir [4]. Birçok çalışma kentsel alanlarda doğal havalandırma performansını değerlendirmek için cfd simülasyonları ve yapı düzenleme senaryolarını birleştirmenin iyi bir yöntem olduğunu göstermektedir. Liu ve ark. ayrıntılı ve kabaca modellenmiş iki farklı yapılandırılmış ve çevre binayı göz önünde bulundurarak cfd kullanılmasıyla bir binanın etrafındaki rüzgar akışını araştırmıştır [5]. Bir cfd simülasyonu ile doğru bir rüzgar akışı tahmini için çevredeki binaların yapısal modelinin dikkate alınması gerektiğini belirlemişlerdir. Azizia ve Javanmardi, cfd simülasyonlarını kullanarak Sanayee, Tahrán' da bir kentsel adanın doğal yapı üzerindeki etkisini incelemişler ve kentsel ada yüksekliği ve ek yolların genişlikleri rüzgar basıncı farklarını etkileyen iki ana faktör olduğu belirlenmiştir [6]. Wise ve ark. doğruluk tahmini yapabilmek için ortalama giriş rüzgar yönündeki küçük değişikliklerin cfd simülasyon sonuçları üzerindeki etkisini araştırmışlardır [7]. Cheng ve ark. yaptıkları çalışmada matematiksel olarak iyi tasarlanmış yüksek Re sayılı simülasyon yöntemini önererek kullanılan diğer modellerdeki hataları azaltmayı ve hesaplama yöntemini kolaylaştırmayı hedeflemişlerdir [8]. Yüksek çözünürlüklü simülasyon yöntemi ile ortalama ve dalgalanan rüzgar basıncını nesnel ve kolay bir şekilde yeniden üretebilir ve yerinde ölçülen dağılımlar olarak model özelliklerini belirlemişlerdir.

Daha iyi kentsel havalandırma, daha iyi hava kalitesi ve ısı konfor olmak üzere iki ana amaç göz önünde bulundurularak sağlanmalıdır. Akış hızı, amaç hava kalitesi olduğunda ana parametre olurken, amaç ısı konforu sağlamak olduğunda rüzgar hızı ana parametre olmaktadır. Bu nedenle, çalışmalarında simülasyon sonuçlarını değerlendirmek için yaya seviyesinde rüzgar hızı oranı olarak adlandırılan bir parametre olan ısı konforu değerlendirmişlerdir [9].

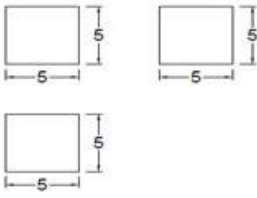
Deneyel Yöntem

Deneylerin yapıldığı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Yöntemi (PIV), kapalı çevrimli açık yüzeyli bir su kanalıdır (Şekil 1). Su kanalı, iki adet su deposu ve bu depolar arasında bulunan şeffaf akrilik deney kanalından oluşmaktadır. PIV ile hız ölçüm tekniği, görselleştirme ve görüntü işleme adımlarından oluşmaktadır. Deney kanalına akışı takip edebilmek için mikrometre boyutunda parlak parçacıklar eklenmektedir. Parçacıklar, lazer ışık kaynağı tarafından küçük zaman aralıklarında iki sefer aydınlatılır. İki aydınlatma arasında geçen sürede parçacıklar akışkanın hızında hareket etmektedir. Bu esnada parçacıklardan yayılan ışık da deney sistemine dik olarak konumlandırılan yüksek çözünürlüğe sahip bir kamera ile kaydedilir. Elde edilen PIV görüntüleri, bir tarayıcı ile dijital hale dönüştürülerek bilgisayara nakledilmektedir [10].

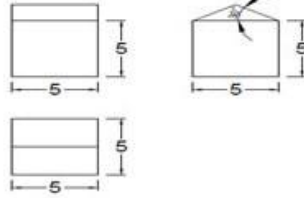


Şekil 1. PIV deney kanalı

Deneyler sırasında su kanalındaki su yüksekliği sabit 0.45 m ve akış hızı da 210 mm/s olarak alınmıştır. Deneyler sırasında kullanılan 5x5x5cm boyutlarında çatısız ve 30° eğime sahip çatılı model binalara ait görünüşler sırasıyla Şekil 2 ve 3’ de verilmektedir.



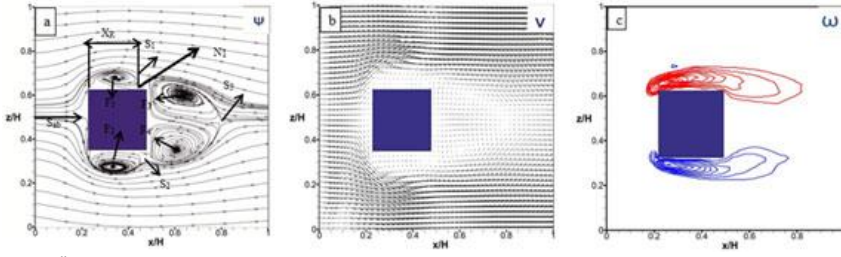
Şekil 2. Çatısız bina



Şekil 3. Çatılı bina

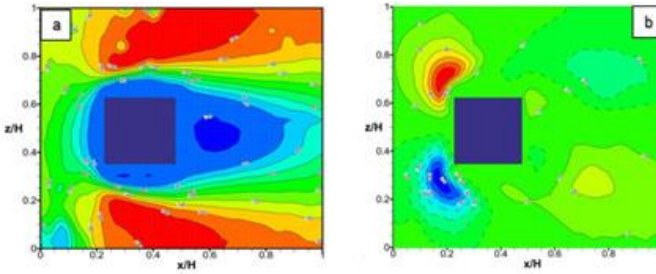
Deneysel Sonuçlar

Şekil 4’ de tekli çatısız 5x5x5 cm ölçülerindeki bina modeline ait hız vektörleri (V), akım çizgisi (Ψ) ve eş yüzey eğrileri (ω) incelenmiştir. Akış, modelin ön durma noktasından (S_{ab}) itibaren yukarı ve aşağı yönlü olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 4a). Yukarı doğru ayrılmış olan akış, modelin sol yan köşesinden ayrılarak F_1 girdap bölgesini meydana getirmektedir. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=58.36\text{mm}$ ve $z=154.90\text{mm}$ noktasında bulunmaktadır. Bu oluşan girdabın sağ tarafında S_1 durma noktası ($x=82.45\text{mm}$, $z=154.06\text{mm}$) meydana gelmiştir. Modelin sol tarafındaki ayrılma bölgesi, N_1 noktası olup, $X_R=29.1\text{mm}$ uzunluğunu ve 10.1mm ise kalınlığını belirtmektedir. Ayrılma noktasında basınç enerjisine göre kinetik enerjinin yoğunluğunun düşük olması akışın yüzeyden ayrılmasının sebebidir. Aşağı doğru ayrılan akış, modelin sağ yan tarafında merkezi $x=58.11\text{mm}$, $z=98.15\text{mm}$ olan F_2 girdap merkezini oluşturmaktadır. Oluşan bu girdabın sağ tarafında oluşan durma noktası S_2' nin merkezi $x=82.45\text{mm}$, $z=104.9354\text{mm}$ ’ dir. Saat yönünde hareket eden F_3 girdabının merkezi $x=108.42\text{mm}$, $z=143.61\text{mm}$ noktasında iken F_4' ün merkezi $x=102.16\text{mm}$, $z=108.88\text{mm}$ ’ dedir. Model ardında oluşan ayrılma bölgesinin mesafesi 50 mm’ dir (Şekil 4b). Ayrıca, F_3 ve F_4 girdaplarının büyüklükleri eşit olduğundan durma noktası orta kısımda meydana gelmiştir. F_3 girdap merkezi, aynı zamanda negatif çevrinti bölgesi olup eş çevrinti eğrileri kırmızı çizgiyle belirtilmiştir (Şekil 4c)



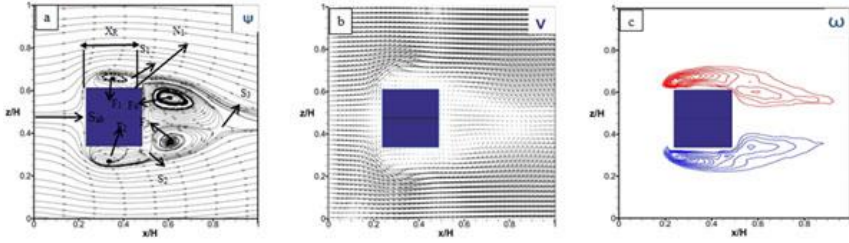
Şekil 4. Üstten görünüş çatısız bina modeli etrafındaki akış için $y/h=0.5$ yüzeyindeki a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$ b) vektör alanı $\langle V \rangle$ c) çevrinti eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle \omega \min \rangle = \pm 4s^{A(-1)}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{A(-1)}$

Şekil 5 a) ve b) de bina arkasında oluşan ayrılmış akış bölgesi $x/H = 0.71$ noktasındadır. Düşey doğrultudaki hız bileşeni v değerlendirildiğinde yukarı yönlü akış alanı düz çizgiler ile belirtilirken, aşağı yönlü akış alanı kesik çizgiler ile sergilenmektedir. Binanın alt yan kısmında aşağı yönlü akış baskın olup daha yüksek enerjilidir. Bununla birlikte binanın üst arka tarafında aşağı akış bölgesi varken yukarı akış bölgesi alt kısmında bulunmaktadır.



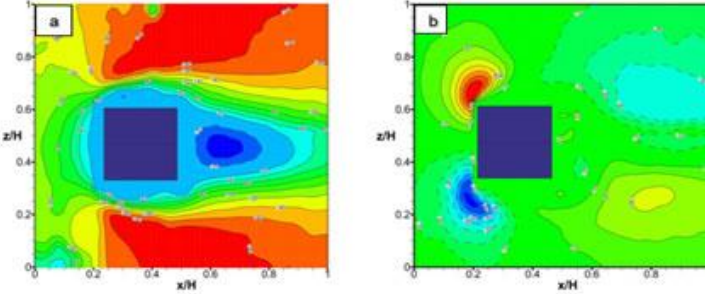
Şekil 5. Çatısız bina çevresindeki akış için zaman ortalamalı hız bileşeni dağılımı a) $\langle u \rangle$ b) $\langle v \rangle$

Şekil 6' da $5 \times 5 \times 5$ cm boyutlarında ve 30° eğimli çatıya sahip bina modeli etrafındaki akış yapısı araştırılmıştır. Genel itibariyle, akış yapısı çatısız bina modelinkine benzemekte olup, bazı farklılıklar dikkati çekmektedir. 30° eğimli bina çatısı nedeniyle model ardında oluşan girdaplardaki simetrik yapı bozulmuştur. Modelin ön kısmında durma noktasından (S_{ab}) itibaren yukarıya doğru ayrılmış olan akış, model sol yan köşesinde ve $x=58.99$ mm ve $z=152.64$ mm noktasında F_1 merkezli girdap noktasını oluşturmaktadır (Şekil 6a). N_1 noktası, ayrılma bölgesinin uzandığı noktadır ki uzunluğu $X_R=26.28$ mm ve kalınlığı 10.1 mm' dir. Aşağı doğru ayrılan akış, modelin sağ yan köşesinden ayrılarak $x=58.45$ mm ve $z=97.59$ mm merkezli F_2 girdabını oluşturmaktadır. Bina ardındaki girdap çiftinden üst kısımda yerleşmiş ve saat yönünde dönmekte olan F_3 girdabının merkezi $x=104.04$ mm ve $z=139.37$ mm' dir. Bu bölge, negatif çevrintili olup kırmızı renkli kısım eş çevrinti eğrileridir (Şekil 6c). Alt kısımda saatin tersi tarafta dönmekte olup, pozitif çevrintili F_4 girdap merkezinin koordinatları $x=103.95$ mm ve $z=109.73$ mm' dir. S_3 durma noktası merkezi, $x=144.44$ mm, $z=119.05$ mm noktasıdır (Şekil 6b). Bina ardında oluşan girdapların boyutlarındaki farklılığın, çatı nedeniyle oluşan sınır tabaka gecikmesi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. Üstten görünüş 30° eğimli çatılı bina modeli etrafındaki akış için $y/h=0.5$ yüzeyindeki a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$ b) vektör alanı $\langle V \rangle$ c) çevrinti eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 7’ de 30° eğimli çatılı bina etrafındaki akış için yatay ve düşey yönlere $\langle u \rangle$ ve $\langle v \rangle$ hız bileşenleri için zaman ortalamalı hız dağılımları gösterilmektedir. Bina ardında $x/H=0.75$ noktasına kadar bir ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Binanın ön tarafında, bina yan üst kısmına doğru yukarı yönlü akış bölgesi görülmektedir. Binanın alt yan kısmında ise aşağı yönlü akış daha baskındır. Binanın arka tarafındaki düşey yönlü hız profilleri ($\langle v \rangle$), geriye doğru yönlenecek uzanmıştır. Aşağı ve yukarı akış alanları sırasıyla binanın üst arka tarafında ve alt tarafında bulunmaktadır.



Şekil 7. 30° eğimli çatısız bina çevresindeki akış için zaman ortalamalı hız bileşeni dağılımı a) $\langle u \rangle$ b) $\langle v \rangle$

GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, $5 \times 5 \times 5$ cm boyutlarında ve tekli olmak üzere çatısız ve 30° eğimli çatıya sahip binalar çevresindeki akış yapıları, kapalı sistem çalışan yüzeyi açık su kanalı temelli Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Yöntemi (PIV) ile deneysel olarak araştırılmıştır. Belirtilen bina modelleri için akım çizgileri, vektör alanı, çevrinti eğrileri ve zaman ortalamalı u ve v hız bileşenleri değerlendirilmiş ve aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Binaya temas eden rüzgarın binanın köşe ve kenarlarından ayrılması neticesinde binaların duvarları, önü, arkası ve çatı kısmı civarında ters akış kısımları oluşmaktadır.
- Bina modelinin arka tarafındaki ayrılma bölgesi kısmının uzunluğu, simetri ekseninden yan duvarlara doğru gidildikçe sınır tabaka kalınlığının azalması sebebiyle azalma göstermektedir.

- TKE (Türbülans Kinetik Enerji), simetri ekseninden yan duvar kısımlarına doğru ilerlendikçe yayılma bölgesini genişletmektedir. TKE düzeyleri, model ardından aşağı akım kısmına doğru ilerlendikçe artış sergilemektedir.
- Çatılı bina modelinde çatısız göre bina ardındaki girdap bölgelerinin simetri düzeni değişmektedir.

Sonuç olarak, binaların geometrik yapıları yakın ve uzak çevrelerindeki akış yapılarını ve buna bağlı olarak temiz ve kirli havanın civar çevre boyunca dolaşımını yakından etkileyecektir. Binaların mimari tasarımında bu husus gözden kaçırılmaması gereken önemli noktaların başında gelmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, Newyork, Wiley.
- [2] Deng Qihong, He Guangxing, Lu Chan. Urban ventilation-a new concept and lumped model. *International Journal of Ventilation*, 2012; 11(2), 131-140.
- [3] Luo Zhiwen, Li Yuguo, Wei-Zhen Lu. 2011. Effects of urban ventilation patterns on the carbon monoxide concentration in a high-rise mega city. *International Journal of Ventilation*. 2011; 10(3), 239-250.
- [4] Merlier L, Kuznik F, Rusaouen G. Derivation of generic typologies for microscale urban airflow studies. *Sustainable Cities and Society*. 2018; 36, 71-80.
- [5] Liu S, Pan W, Zhao X. Influence of surrounding buildings on wind flow around a building predicted by CFD simulations. *Building and Environment*. 2018;140, 1-10.
- [6] Azizia MM, Javanmardi K. The effects of urban block forms on the patterns of wind and natural ventilation. *Procedia Engineering*. 2017; 180, 541-549.
- [7] Wise DJ, Boppana VBL, Li KW. Effects of minor changes in the mean inlet wind direction on urban flow simulations. *Sustainable Cities and Society*. 2018; 37, 492-500.
- [8] Chang XX, Zhao L, Ge YJ. High-Reynolds-number effects simulations for wind effects on a cooling tower model in a wind tunnel based on a statistical approach. *Journal of Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*. 2021; 43 (99): 1-12.
- [9] Ng E, Cheng V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. *Energy and Buildings*. 2012; 51-65.
- [10] Gölbaşı D, Buyruk E, Şahin B. Değişik bina modelleri için akış alanlarının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 2017; 162, 32-47.

GÜVENLİ YEŞİL BİNALAR

Yusuf Gökşen^a

^a Türk Standartları Enstitüsü, Kayseri, Türkiye

ÖZET

Türk Standartları Enstitüsü diğer belgelendirme kuruluşlarından farklı olarak yeşil binalarda güvenliği de bir kriter olarak gördüğünden dolayı bu belgelendirmeyi güvenli yeşil bina belgelendirmesi olarak gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada güvenli yeşil bina belgelendirmesinin nasıl yapıldığı anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güvenli yeşil bina, enerji verimliliği, Belgelendirme

ABSTRACT

Since the Turkish Standards Institute considers safety in green buildings as a criterion, unlike other certification bodies, it performs this certification as safe green building certification. In this study, how safe green building certification is done will be explained.

Keywords: Safe green building, energy efficiency, Certification

GİRİŞ

Su ve enerji kaynaklarını daha az ve verimli kullanan, iç yaşam kalitesi yüksek ve sağlıklı bir ortam sunan, çalışanların verimliliğini artıran ve işletim maliyetleri düşük olan binalara yeşil binalar denir. Yeşil binalarda amaç tüketimlerin, emisyonların, atıkların, sahadaki etkilerin en aza indirilmesi; iç ortam kalitesinin ise maksimum seviyelere çıkarılmasıdır. Dünyada yeşil binaların belgelendirilmesi 1990lı yılların başlarında başlamışken Türkiye’de ise bu işe Türk Standartları Enstitüsü 2013 yılında güvenli yeşil bina belgelendirmesi adı altında başlamıştır. Dünyadaki ülkeler bu konuda İngiltere ve Hollanda BREEAM, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada LEED, Avustralya ve Yeni Zellanda GREENSTAR, Japonya CASBEE, Almanya DGNB, Çin GBAS, Birleşik Arap Emirlikleri ESTIDAMA vb gibi isimler adı altında belgelendirmeleri kullanmaktadır [1]. Bu belgelendirme, mevcut veya yeni yapılacak olan yapılarda bir puanlama sistemi üzerinden yapılmaktadır.

BELGELENDİRMEDE ÖN ŞARTLAR

Yangın Güvenliği:

Bu başlık altında, yangının ısı, duman, zehirleyici gaz, boğucu gaz nedeniyle can ve mal güvenliği bakımından yol açabileceği tehlikelerin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle, Binaların yangından korunması hakkındaki geçerli yönetmelik hükümlerine ek olarak yangın risklerini bertaraf eden, etkin ve sürdürülebilir önlemleri kapsar.

Deprem Güvenliği:

Binaların depreme dayanımını çeşitli metotlarla artırmanın yanı sıra, deprem sırasında taşıyıcı olmayan yapısal elemanlardan (tesisat, dolaplar vb.) kaynaklanabilecek yaralanmaları en az seviyede tutmak bu maddenin amaçlarıdır.

İç Ortam Kalitesi ve Sağlıklı Hava:

Ortamdan alınan hava numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda, havada tespit edilen uçucu organik bileşik, benzen ve formaldehit miktarlarının belirtilen değerlerin altında çıkması durumunda belgelendirmeye esas herhangi bir puan verilmez ancak bu miktarların belirtilenden fazla çıkması durumunda belgelendirme yapılacak puan kriterinde azaltma yapılır.

Radyasyon:

Binada kullanılan beton, mermer, seramik vb. yapı malzemelerinde bulunan radyasyon miktarının belirli değerlerin altında olması amaçlanmaktadır.

Elektromanyetik Kirlilik:

Bina içinde bulunan elektromanyetik dalgaların belirtilen sınıflardan birine uyması amaçlanmaktadır. Buna göre; bina içinde yapılan ölçümler sonucunda, tespit edilen elektromanyetik kirlilik değerlerinin belirtilen sınıflardan birine uygun olması durumunda herhangi bir puan verilmez ancak bu miktarların belirtilenden fazla çıkması durumunda toplam belgelendirime puanında azaltma yapılır.

Güvenli – Yeşil Bina Başlangıç Tasarımı:

Bu başlık altında yer alan tüm alt başlıklar yeni binalar için değerlendirmeye alınır. Ancak mevcut binalar için yalnızca “Çevreye, İş-İşçi Sağlığı ve Güvenliğine Duyarlılık” maddesinin yüklenici firma/bina sahibi için geçerli olan kısmı değerlendirilir. “Çevreye, İş-İşçi Sağlığı ve Güvenliğine Duyarlılık” maddesinin proje firması veya inşaat yüklenicisi için olan kısımlar ile “Bütünleşik Proje Yönetimi” ve “İnşaat Atığını Azaltma ve Atığın Yönetimi” maddeleri mevcut binalarda değerlendirmeye alınmaz.

Bütünleşik Proje Yönetimi:

Bina yapımında; proje başlangıcından itibaren disiplinler arası çalışmayı öngörür. Projede asli olarak yer alması gereken disiplinler vardır. Bu nedenle; mimar, inşaat mühendisi, makine mühendisi, elektrik mühendisinin süreçte yer alması zorunluluktur. Bunların dışında; çevre mühendisi, peyzaj mimarı ve/veya iç mimar çalıştırılması durumunda bu başlıktan belgelendirme için puan alınabilir.

Çevreye, İş-İşçi Sağlığı ve Güvenliğine Duyarlılık:

Binanın gerek projelendirme, gerekse uygulama aşamalarında çevresel duyarlılık ile çalışanların sağlık ve güvenliğinin ön planda tutulması öngörülür. Bu doğrultuda yeni bi-

nalar için, proje firmasının ve/veya yüklenici firmanın (bina sahibi de olabilir) TS EN ISO 9001, TS EN ISO 14001, TS 18001 belgelerinin veya TS EN ISO 9001, TS EN ISO 14001, TS 18001 standartlarına ilişkin eğitim kayıtlarının sunulması durumunda bu bölümden puan alınabilir. Mevcut binalarda, yalnızca yüklenici firmanın veya bina sahibinin yukarıda bahsi geçen belgeleri veya eğitimleri almış olması sorgulanır.

İnşaat Atığını Azaltma ve Atığın Yönetimi:

İnşaat sahasında ortaya çıkan hafriyat, ambalaj atığı gibi geri kazanılabilir atıkların, verimli toprağın ve atık betonun amacına uygun olarak geri dönüştürülmesi veya yeniden kullanılabilir hale getirilmesini kapsar. Bu bölümden puan alınabilmesi için, atık planının, bertaraf firması ile yapılan yazışma ve firmanın lisansı vb. kayıtlar ile betonun atık betonu geri dönüştüren üreticiden tedarik edildiğine dair kayıtların sunulması gerekmektedir.

ALAN SEÇİMİ

Doğal Afetlere Karşı Önlem:

Doğal afetlere karşı alınması gereken rapor ve onay belgelerinin alınması bu başlık altında bir zorunluluk olarak tanımlanmıştır. Mevcut doğal afet riskini ve afet durumunda meydana gelecek yıkımı en aza indirmek için önlem alınması ve alınan bu önlemlerin belgelenmesi durumunda bu bölümden puan alınabilir. Binanın bulunduğu alanın veya yerleşkenin herhangi bir afet riski taşımadığına dair resmi kurumlardan belge alınması durumunda ilgili puan doğrudan alınabilir.

Mevcut Doğal Yapıyı Koruma:

İnşaat sahasında bulunan mevcut doğal yapının bozulmadan korunması, inşaat faaliyetinin doğa için yıkıcı etki oluşturmaması; eğer doğal bir yapı bulunmuyorsa doğal yapının su gereksinimi az bitkiler kullanılarak oluşturulması amaçlanmaktadır. Mevcut doğal yapının korunduğu durumlarda; alanın önceki ve korunmuş sonraki halleri ortaya konarak, yeni doğal yapı oluşturulduğu durumlarda ise yapılan uygulamaya ait kayıtların sunulması durumunda bu bölümden puan alınabilir. Önceki kullanımı nedeniyle doğal yapısı bozulmuş bir alanın tercih edilmiş olması durumunda bu puan doğrudan verilir.

Kentsel Donatılara Erişim:

Yapının yakın çevresinde kentsel donatılar olmasını, böylelikle kentsel donatılara yürüyerek erişimin sağlanması amaçlanmaktadır. Yapının 840 m (TS 12174’e göre 10 dakikalık yürüme mesafesi) çevresinde banka/atm, okul, hastane, postane, okul, market, ibadet alanları gibi kentsel donatıların bulunması ve bu durumun uydu görüntüsü vb. araçlar kullanılarak belgelenmesi durumunda bu bölümden puan alınabilir. Bulunması gereken kentsel donatı sayısı hesaplanırken, aynı türden kullanımlar tek kullanım olarak değerlendirilir (iki adet market varsa tek gibi işlem yapılır).

YAŞAMSAL ALAN TASARIMI

Hırsızlığa Karşı Önlem:

Bina içinde ve çevresinde hırsızlık ve kullanım sırasındaki risklerin önlenmesine dair gerekli güvenlik önlemlerinin alınmasını kapsar. Bu bölümden puan alınabilmesi için; acil durum eylem planları hazırlanmalı, binanın içinde ve yaya çevresinde yaya yolları aydınlatmalı, tehlike yaratan alanlar izole edilmeli ve hırsızlıkla ilgili önlemler (hırsız alarmı, görüntüleme sistemleri vb.) alınmalıdır.

Spor ve Dinlenme Alanları:

Binanın kullanım tipine bağlı olarak, barındırdığı sosyal olanakların artırılması amaçlanmaktadır. Bina içinde ve dışında bulunan sosyal olanakların (spor ve rekreasyon alanları, toplanma alanları, yemekhane vb.) mimari planlar veya fotoğraflar ile ortaya konması durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Ulaşım Kolaylığı:

Bina giriş noktasından herhangi bir toplu taşıma durağına olan mesafenin en fazla 500 m olması ve bisiklet park alanı olması amaçlanmaktadır. Burada hedef toplu taşımaya veya alternatif doğa dostu taşıtlara özendirerek araçlardan kaynaklanan karbon salınımlarını düşürmektir. Uydu görüntüleri ve ölçekli planlar ile bu durumların belgelenmesi durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Otopark Alanı:

Otopark alanında engelli otolarına yer ayrılması ve otoparkın yer altına alınarak sert zeminin azaltılması faaliyetlerini kapsamaktadır. Planlar, mimari planlar, fotoğraf vb. görsel dokümanlar ile bu durumun belgelenmesi durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Engelsiz Yaşam Alanı:

Bina içindeki alan ve kullanımların engelliler tarafından da erişilebilir olması amacıyla gerçekleştirilen eğitim dahil faaliyetleri kapsar. Yapılan düzenlemelerin (kapı genişlikleri, wc), alınan önlemlerin (engellerden arındırılmış rampalar, bina içi ortak kullanım alanları), muhtemel değişiklik olanaklarının (engelli platformu eklemeye uygun merdivenler) ve eğitim kayıtlarının ortaya konması durumunda bu bölümden puan alınabilir.

MALZEME VE KAYNAK KULLANIMI

Çevre Dostu / Sağlıklı Malzeme Kullanımı:

Bu başlıkta; binada kullanılan malzeme (yapı iskeleti, çatı, dış duvar veya giydirme cephe, iç duvar) ve ürünlerin (döşeme kaplamaları, kap ve pencere doğramaları) imalat sürecinde çevreye zarar vermeden üretilmiş olması ve de kullanım sırasında kullanıcının sağlığını olumsuz etkilemeyecek olması şartı aranmaktadır. Ayrıca E1, E0 belgeleri, TSE Tek Yıldız/Çift Yıldız ve Eko-etiket gibi ürün etiketleri ile ispat edilmesi durumunda bu bölüm-

den puan alınabilir. Bu hususlara ek olarak çatının çatı bahçesi olarak düzenlenmiş olması da puan sağlayan bir başka durumdur.

Malzemenin Yeniden Kullanımı:

İnşaatta/binada geri dönüştürülmüş ve/veya yenilenebilir malzeme veya hammadde kullanımının teşvik edilmesi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, kullanılan geri dönüştürülmüş veya yenilenebilir malzeme, ürün veya hammaddenin belgelenmesi durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Yerel/Bögesel Malzeme Tercih:

Ulaşım kaynaklı salınımların azaltılması amacıyla, hammadde, ürün, donanım vb. gereksinimlerin belirli oranlarda yerel üreticiden temin edilmesini kapsamaktadır. Kullanılan malzemelere ait temin edilen yeri ve toplam hacim veya maliyet içindeki oranını gösteren dokümanlar (pusantaj) incelenerek, gerekli oranların sağlanması durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Dayanıklı Malzeme Kullanımı:

Bina içinde ve dışında kullanılan malzemelerin uzun ömürlü, garanti süresi uzun ürünlerden seçilmesi, ayrıca binayı dış etkilerden korumak suretiyle iklimsel olaylara dayanımı rapor veya TS EN 12208, TS EN 12210 standartlarına göre düzenlenmiş TSE Belgeleri ile ortaya konmuş pencere ve dış kapıların tercih edilmesi amaçlanmaktadır. Kullanılan malzemelere ilişkin, garanti sürelerini gösteren evrakların, deney raporlarının veya TSE Belgelerinin sunulması durumunda bu bölümden puan alınabilir.

SAĞLIK, GÜVENLİK VE KONFOR

Gün Işığından Yararlanma:

Binanın gün ışığından olabildiğince yararlanarak, yapay ışık kaynaklarına duyduğu gereksinimi en aza indirmek hedeflenmektedir. Binaların birbirine göre olan konumunun ortaya konması, binanın belirli bir kısmının uygun gün ışığı çarpanına sahip olduğunun hesaplarla belirlenmesi, binanın güneş kontrol elemanlarının olması ve dış görüşün sağlanması durumlarında bu bölümden puan alınabilir.

İç Aydınlatma Tasarımı:

İç aydınlatmada uygulanacak olan projenin en uygun koşulları sağlayacak şekilde yapılması öngörülmektedir. Aydınlatma projesi ve aydınlatmada kullanılacak donanımın teknik özelliklerinin ortaya konması durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Havalandırma / Taze Hava Salınımı:

Binanın havalandırma sistemlerinin tasarımında, hesaplamaların en uygun koşullara ulaşmak üzere yapılmasını amaçlamaktadır. Yeni binalarda hesaplamalara göre çıkan so-

nuçların TS CR 1752 standardına göre hangi sınıfa girdiğine göre puan alınırken, mevcut binalarda kullanıcılara uygulanan anketin, Anket Kalite Değerlerine göre puanlama yapılır.

Akustik Konfor:

Bu başlık, binadaki yaşama ve çalışma mekanlarının gürültü denetimi ve hacim akustiği açısından değerlendirilmesi konularını kapsamaktadır.

SUYUN ETKİN KULLANIMI

Su Tüketiminde Tasarruf Modeli:

Bina içinde kullanılan su miktarlarının azaltılmasına yönelik faaliyetler (su tasarruflu armatür seçimi vb.) yürütülmesini teşvik etmek amaçlanmaktadır. Kişi başı ortalama tüketim miktarlarına göre bu bölümden puan alınabilir. Bu doğrultuda, aylık toplam su harcama miktarları ile ortalama kullanıcı sayısının ortaya konduğu kayıtların sağlanması gerekmektedir. Ortalama tüketim miktarı 3 ay boyunca izlenir.

Su Kayıplarını Önleme:

Su tesisatındaki kayıp kaçak miktarlarının azaltılması, böylelikle suyun tamamıyla kullanıma sokulması amaçlanmaktadır. Sisteme giren toplam su miktarı ile kullanılan su miktarının ortaya konduğu dokümanlar üzerinde yapılan hesaplamalar sonucu, kayıp kaçak oranının istenen aralıkta olması durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Atık Su Arıtma ve Değerlendirme:

Atık suyun karakterine uygun arıtma tesisi kurulması ve işletilmesi faaliyetlerini kapsamaktadır. Tesise ait teknik dokümanlar incelenerek, uygun bulunması durumunda bu bölümden puan alınabilir.

Yağmur / Yeraltı Suyu Akış Kontrolü:

Yeraltı suyu iletim borularının iklimsel verilere uygun özellikte seçilmesi ile gri suyun yeniden kullanılmasını sağlayacak sistem kurulması faaliyetlerini kapsamaktadır. İklimsel veriler ve borulara ait teknik dokümanlar ile suyun depolanması ve sulamada kullanılması için kurulan sistemin teknik dokümanlarının sunulması halinde bu bölümden puan alınabilir.

ENERJİ VERİMLİLİĞİ

İlgili rehber doküman kapsamında ısı enerjisi depolama sistemi, birincil enerji tutumu, pasif önlemler, bölgesel-merkezi enerji sistemleri katsayısı gibi başlıklar değerlendirilerek puanlama yapılır.

Yenilenebilir enerji kullanım oranı, yenilikçi akılcı çözümler, yerel teknoloji ve yerli üretim gibi balıklar ilgili rehber dokümana göre incelenerek puanlama yapılır.

Binaya yerleştirilecek beyaz eşya vb. elektrikli ev aletlerinin enerji verimliliği gözetilerek seçilmesinin teşvik edilmesi amaçlanmaktadır. Kullanılan elektrikli aletlerin enerji sınıfını gösteren dokümanların sunulması durumunda ilgili rehber dokümana göre puanlama yapılır.

Bina dış aydınlatması, asansör gibi bina bileşenlerinin enerji verimliliği gözetilerek seçilmesini teşvik etmek amaçlanmaktadır. Bu özelliklerin belgelenmesi durumunda ilgili rehber dokümana göre puan verilir.

Binalarda kullanılan tüm yenilenebilir enerji üreteçleri için enerji talep yönünün kontrol altında tutabilmesi amaçlanmaktadır. Entegre çözümlerin oluşturduğu nispeten karmaşık elektrik ve ısı nakil hatlarında enerji güvenliği ve enerjinin kesintisiz aktarımı yönünde somut tedbirler alınması ve işlevselliğinin kanıtlanması durumunda ilgili rehber dokümana göre bu bölümden puan verilir.

Bütün bu maddeler haricinde mevcut veya yeni yapılan binada ağaçlandırmalar da göz önünde bulundurulur. Bina toplam kapalı alanının %1 ila %10’una denk gelen miktarda sertifikalı fidan kullanarak ağaçlandırma yapmaya teşvik edilmesi amaçlanmaktadır (Örneğin; 1000 m² kapalı alanı olan bir bina için 100 adet sertifikalı fidan dikilmesi gerekmektedir).

SONUÇ

Bütün yapılan puanlamalar sonucunda belgelendirmeye esas toplam puan dağılımına bakıldığında %40 enerji verimliliği, %13 malzeme ve kaynak kullanımı, %12 sağlık güvenliği ve konfor, %11 suyun etkin kullanımı, %11 yaşamsal alan tasarımı, %4 işletme yönetimi, %4 güvenli yeşil bina tasarımı, %3 alan seçimi, %2 karbon ayak izinin belgelendirmeye etkideği görülmektedir. Binalar alınabilecek toplam puana göre ise sertifika düzenlenmektedir. Toplam puan belirli bir seviyeyi geçmesi halinde bronz, sonrasında gümüş ve son olarak ise altın belge türünü almayı hak kazanmaktadır [2].

KAYNAKLAR

- [1] EMO (2021) Yeşil bina sertifikasyon sistemleri (21.06.2021 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/935500c4791d68b_ek.pdf?tipi=2&туру=X&sube=14 adresinden ulaşılmıştır).
- [2] TSE (2021) Güvenli Yeşil Bina Belgelendirme Kriteri (21.06.2021 tarihinde <https://www.tse.org.tr> adresinden ulaşılmıştır).

BÖLÜM 5

ENERJİDE KARBON AYAK İZİ AZALTILMASI

ANAEROBİK MEMBRAN BİYOREAKTÖRLERİN KONFIGÜRASYONLARI, SINIRLAMALARI VE İŞLETİLMESİ

Meltem Sarıoğlu Cebeci^a, Berk K ker^b

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  evre Mühendisliği Bölümü

^b Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  evre Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Anaerobik membran biyoreaktörler (AnMBR'ler), teknolojinin ilerlemesi ile aerobik süreçlerden uygun maliyetli bir alternatif oluşturduğundan, atıksu arıtımında giderek daha fazla kullanılmaktadır. AnMBR'ler sadece kimyasal oksijen ihtiyacını (KOl) azaltmada oldukça etkili olmakla kalmamakta, aynı zamanda uzaklaştırılan organik madde faydalı bir enerji kaynağı olan biyogaza dönüştürülmektedir. AnMBR'ler az yer kaplarken aynı zamanda katı maddeler ve patojenler içermeyen ve nutrient açısından zengin çıkış suyu üretirler. Membran biyokütleyi koruduğundan, endüstriyel atıksularda tipik olarak karşılaşılan inhibe edici veya toksik substratları arıtımda AnMBR'lerin performansı artmaktadır. Bununla birlikte, membran kirlenmesi ve bununla bağlantılı etkileri ve daha düşük sıcaklıkta zayıf verimlilik (AnMBR'ler genellikle mezofilik veya termofilik koşullarda çalıştırılır) dahil olmak üzere bazı dezavantajlar devam etmektedir. Hidrolik alıkonma s resinin azaltılması, besinlerin uzaklaştırılması, belirli mikrokirleticilerin giderilmesi, kantitatif kütle ve enerji/ekonomik dengelelerin oluşturulması ve yüksek miktarda  oz nm ş metan geri kazanımının dahil edilmesi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar S zc kler: AnMBR, Membran, Arıtım, Atıksu, Biyogaz, Enerji

ABSTRACT

Anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs) are increasingly used in wastewater treatment as they provide a cost-effective alternative to aerobic processes with the advancement of technology. AnMBRs are not only highly effective in reducing chemical oxygen demand (COD), but also the removed organic matter is converted into biogas, which is a useful energy source. While taking up little space, AnMBRs also produce nutrient-rich effluent that is free of solids and pathogens. As the membrane preserves the biomass, the performance of AnMBRs is enhanced in the treatment of inhibitory or toxic substrates typically encountered in industrial wastewater. However, some disadvantages remain, including membrane fouling and its associated effects, and poorer efficiency at lower temperature (AnMBRs are often operated in mesophilic or thermophilic conditions). More research is needed on reducing the hydraulic retention time, removing nutrients, removing certain

micropollutants, establishing quantitative mass and energy/economic balances, and incorporating high dissolved methane recovery.

Keywords: AnMBR, Membrane, Treatment, Wastewater, Biogas, Energy

GİRİŞ

Endüstriyel atık suların arıtılması, yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOl), pH, tuzluluk gibi parametreler ve aktif çamur mikroorganizmalarını inhibe eden veya onlara toksik olan sentetik veya doğal maddeler gibi bileşimlerinde bulunan maddelerin hızlı değişiklikler nedeniyle genellikle zordur [1]. İnhibe edici veya toksik maddelerin varlığı, biyolojik aktivitede bir azalmaya yol açabilir, bu da sistemin giderim performansının düşmesine neden olur ve nihai atık su kalitesini olumsuz yönde etkiler [2], [3].

Genel olarak, anaerobik arıtma teknolojisi, bir yüzyılı aşkın süredir bir dizi endüstriyel ve proses atıksuyun arıtılmasında başarıyla uygulanmış olarak uzun vadede kanıtlanmıştır [4].

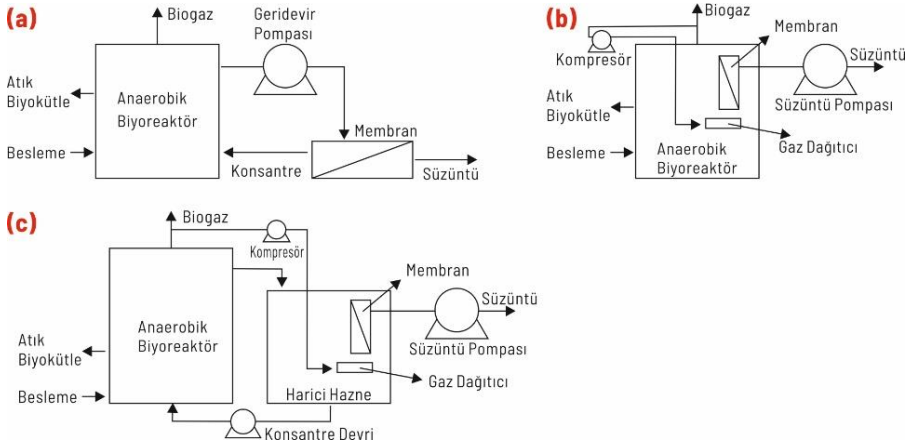
Anaerobik atık su arıtımı, yüksek organik madde giderme verimliliği, düşük fazla çamur üretimi, kararlı çalışma ve biyogaz biçiminde enerji üretimi gibi bir dizi avantaj sunmaktadır [5]. Membran sistemi ile kombinasyon halinde, atık suda toplam katı madde veya bakteri olmaksızın yüksek atık kalitesi elde edilmektedir. Anaerobik membran biyoreaktörleri (AnMBR'ler), anaerobik arıtmanın avantajlarını membran ayırma ile birleştirerek geniş bir atık su yelpazesinin arıtımı için çekici bir yaklaşım haline getirmektedir [3], [6]. Yüksek kararlılıkları nedeniyle AnMBR'ler, yüksek tuzluluk, yüksek askıda katı madde içeriği veya zayıf biyokütle granülasyonu dahil olmak üzere aşırı koşullar altında atık suların arıtılması için uygundur. Sonuç olarak, AnMBR'ler şu anda hem araştırmacılar hem de sanayi için büyük ilgi görmektedir ve özellikle arıtmaya ihtiyaç duyan çok çeşitli endüstriyel atık sular konusunda birçok laboratuvar ve pilot ölçekli çalışma yapılmaktadır [7], [8].

Burada, atık su arıtımı ile ilgili olarak AnMBR'ler için mevcut uygulamaların, sınırlamaların ve perspektiflerler ilgili inceleme yapılmıştır. Ek olarak, sistem konfigürasyonları ve membran malzemeleri dahil olmak üzere AnMBR'nin bir özetini sunulmaktadır ve mevcut olan diğer atık su arıtma teknolojileriyle karşılaştırıldığında avantaj ve dezavantajlarını tartışılmıştır.

2. AnMBR'nin Temelleri

2.1. Reaktör konfigürasyonu

AnMBR'lerde kullanılan membran, mikroorganizmalara karşı bir bariyer görevi gördüğünden, basınçla çalışan çapraz akışlı dış membran (yan akış; Şekil 1(a)) ve vakumla çalışan anaerobik reaktörün içerisinde batırılmış şekilde olan (Şekil 1(b)) membran şeklinde AnMBR sisteminde iki şekilde yerleştirilebilir. Başka bir konfigürasyon ise ayrı bir havuza veya bölmeye daldırılan ve vakumla çalıştırılan membrandır (Şekil 1(c)). Genel olarak MBR la batık(dahili) ya da ayırık (harici) olarak işletilirler.



Şekil 1. AnMBR konfigürasyonları: (a) basınçla çalışan yan akış (harici, çapraz akış) membran konfigürasyonu, (b) basınçla çalışan doğrudan reaktöre daldırılmış membran konfigürasyonu ve (c) vakumla çalışan ayrı hazneye daldırılmış membranlı konfigürasyon (şekil Ref. [4]’ten alınmıştır).

2.1.1. Yan akış konfigürasyonu (Harici)

Yan akış konfigürasyonunda, devirdaim pompası, membran yapısına gerekli transmembran basıncını sağlamaktadır (Şekil 1(a)). Sonuç olarak, çapraz akış, membran yüzeyinde bir filtrasyon keki oluşumunu engellemektedir. Bu işlem enerji tüketirken, kalan enerji anaerobik reaktörde süspansiyon halindeki çamuru karıştırmak için kullanılabilir. Membran yüzeyi boyunca çapraz akış hızı, filtrasyon kekinin giderilmesi ve enerji gereksinimi açısından optimum operasyonel verimlilik elde etmek için tipik olarak $2-4 \text{ m.s}^{-1}$ aralığında tutulur [9]. Burada önemli olan, biyokütle partikül boyutunda bir azalmaya yol açan yüksek kesme kuvvetleri nedeniyle daha büyük çamur aglomeratlarının ve flokların parçalanmasıdır. Çözünabilir mikrobiyolojik ürünlerin ortama salınması, daha hızlı kirlenmeye ve özellikle membran tıkanmasına neden olabilir [10], [11]. Membran gözeneklerinin tıkanması, membran kirlenmesi ile ilişkili iyi bilinen ve ciddi bir sorundur [12], [13]. Kirlenmiş membranlar kimyasal temizlik gerektirir ve bu membran daha erişilebilir olduğundan ve doğrudan anaerobik reaktöre daldırılan daldırılmış membranlardan farklı olarak sistemin çalışmasını kesintiye uğratmadan temizlendiğinden, yan akış konfigürasyonu kullanıldığında daha kolay gerçekleştirilir [14], [15]. Aynı nedenle membran bakımı veya değişimi de çok daha kolaydır.

2.1.2. Batık membran

Membranı doğrudan anaerobik reaktöre daldırmanın avantajı, membran bölmesinde bir geri devir pompasının olmamasıdır (Şekil 1(b)). Sonuç olarak, enerji tüketimi yan akış konfigürasyonundan daha düşüktür. Ayrıca, bir geri devir pompasının olmaması, çapraz akışın olmadığı ve kesme kuvvetlerinin etkisinin düştüğü ve mikroorganizmalar üzerine daha az stres ile sonuçlandığı anlamına gelir [14]. Anaerobik reaktörün karıştırılması ve de membran yüzeyinde filtrasyon keki oluşumunun engellenmesi, üretilen biyo-

gaz ile veya harici bir karıştırıcı kullanılarak sağlanır. Ancak biyogaz ile karıştırma, özelikle AnMBR'ın işleme alınma sürecinde, besleme içerisinde toksik bileşikler bulunduğunda operasyonel sorunlara yol açabilir. Bu tür durumlarda, anaerobik konsorsiyumun aktivitesini inhibe olmakta, biyogaz üretimi karıştırmayı sağlayamayacak düzeye kadar inmektedir. Böyle bir durumdan kaçınmak için genellikle reaktöre mekanik bir karıştırıcı yerleştirilir [16]. Yan akış konfigürasyonu ile karşılaştırıldığında, biyogaz veya mekanik bir karıştırıcı ile karıştırma, membran yüzeyinden filtrasyon kekini çıkarmada daha az etkilidir, yani membranlar daha hızlı tıkanmaktadır [17]. Yukarıda bahsedildiği gibi, AnMBR işleminin kesilmesi ve temizlemeden önce membranın çıkarılması gerektiğinden daldırılmış membranların kimyasal temizliği zordur [15]. Son olarak, yan akış konfigürasyonu ile elde edilen aynı hidrolik performansı elde etmek için daldırılmış membranlara sahip daha büyük bir membran yüzey alanı gereklidir [18].

2.2. AnMBR'de kullanılan membran malzemeleri ve modülleri

Genel olarak, membran malzemeleri üç temel kategoriye ayrılabilir: polimer, seramik ve metalik. Polimer membranlar, seramik veya metalik membranlara kıyasla daha düşük maliyet avantajına sahiptir ve geniş bir yelpazede farklı amaçlarla kullanılabilirken, seramik ve metalik membranlar özel uygulamalar için tercih edilirler. AnMBR'lerde kullanılan polimer membranlar tipik olarak polivinilidendiflorr (PVDF), polietersülfon (PES), polietilen (PE), polipropilen (PP) veya polislfona (PSF) dayanmaktadır. Polimer membranların, seramik veya metalik membranlara kıyasla daha düşük geçirgenlik ve kimyasal temizlemeye karşı daha az stabilite gibi dezavantajları vardır [19 -23].

İşletme açıdan bakıldığında, seramik membranlar, AnMBR'ler için polimer membranlardan daha iyidir. Seramik membranlar, üstün kimyasal ve termal stabiliteye ve de korozyon ve aşınmaya karşı artan dirence sahip olduklarından, polimer membranlara kıyasla daha etkili bir şekilde temizlenebilirler [3], [24], [25]. Metalik membranlar, polimer membranlara göre daha yüksek hidrolik performans, kirlenmeden sonra daha kolay geçirgenlik geri kazanımı, gelişmiş stabilite, oksidasyona daha fazla tolerans ve yüksek sıcaklıklar sergilemelerine rağmen, pahalıdırlar ve bu nedenle sadece belirli uygulamalarda kullanılır [3], [24].

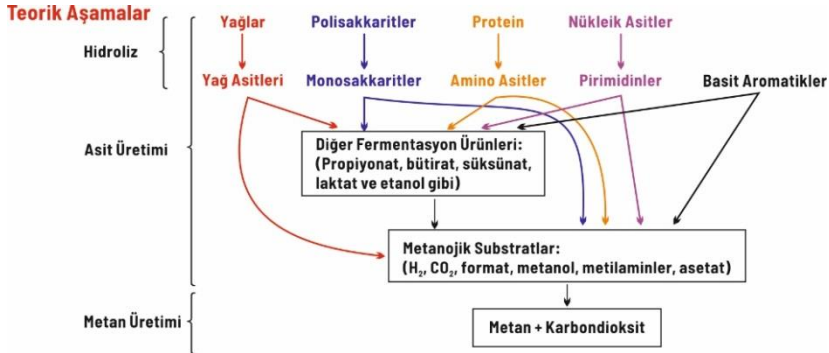
Literatüre bakıldığında, çoğu AnMBR günümüzde PVDF mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon membranlarını kullanmaktadır. Xie ve arkadaşları düzenli depolama sızıntı suyunu işleyen AnMBR'de düz tabaka dinamik bir membran kullanarak çalışmışlardır [26]. Mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon membranlarından farklı olarak, dinamik membranların özellikleri ve performansı özellikle filtre edilen solüsyonun konsantrasyonu, tipi, şekli, moleküler ağırlığı ve membran boyunca hidrodinamik koşullar tarafından belirlenir [12].

Hollow fiber membran modülleri, yüksek paketleme yoğunlukları ve maliyet verimlilikleri nedeniyle mevcut AnMBR'lerde en yaygın kullanılanlar arasındadır. Daha sonra iyi stabilite gösteren ve kolayca temizlenen veya değiştirilen tabaka ereve membran modülleri gelir [27]. Yüksek apraz akış hızları nedeniyle düşük kirlenme eğilimi olmasına ve

temizlenmesi veya değiştirilmesi kolay olmasına rağmen, boru şeklindeki membran modülleri günümüzde düşük paketleme yoğunluğuna ve yüksek ölü hacme sahip oldukları için bazen kullanılmaktadır [3], [28], [29].

2.3. Anaerobik teknoloji

Anaerobik arıtma, oksijensiz ortamda fakültatif bakterilerin ve mikroorganizmaların organik maddeleri parçalamasına dayanan biyolojik karmaşık bir prosesdir. Bu prosede önce polisakkaritler, proteinler ve lipitlerden oluşan polimerik yapıdaki kompleks maddeler hücre dışı enzimler ile daha küçük boyutta ve hücre zarından geçebilecek çözünebilir ürünlere dönüşürler. Mikroorganizmalar için besin kaynağı olan organik maddeler, bu prosede yine aynı mikroorganizmalar tarafından oksitlenmiş maddelere, yeni hücrelere, yaşamları için enerjiye ve metana, karbondioksite ve diğer son ürünlere (H₂S, H₂, NH₃) dönüştürülürler [30- 33]. Anaerobik arıtım 3 aşamada gerçekleşir. Hidroliz aşaması, asit oluşumu ve son olarak metan oluşumu aşamasıdır. Metan üretimi, anaerobik arıtmada özellikle yüksek konsantrasyonlarda hidrolizi yavaş gerçekleştiren maddeler yoksa hız sınırlayıcı basamaktır ve metanojenesis olarak bilinir. Şekil 1’de anaerobik parçalanmanın aşamaları görülmektedir.



Şekil 2. Anaerobik Proseslerdeki Karbon Dönüşümünün Şematik Gösterilmesi [31]

Anaerobik proses organik madde içeriği yüksek olan atıklardan ve atıksulardan enerji eldesinde ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hem arıtma çamurlarının anaerobik stabilizasyonu yani çürütülmesi ile atık çamurların yalnız ya da katı atıklarla birlikte enerji eldesinde, hem de özellikle yüksek organik madde içerikli endüstriyel atıksulardan enerji eldesinde son yıllarda aratan oranda tercih edilmekte olan prosesdir.

3. AnMBR'nin avantajları ve diğer teknolojiler ile karşılaştırılması

Pek çok endüstriyel atık su, yüksek konsantrasyonlarda biyolojik olarak parçalanabilen organik madde içermektedir ve bu da onları anaerobik arıtma için uygun hale getirmektedir. Yukarı akışlı anaerobik çamur yatakları (UASB'ler), hibrit UASB'ler, anaerobik filtreler, genişletilmiş granüler çamur yatakları veya dahili sirkülasyon reaktörleri gibi

yaygın olarak kullanılan bazı anaerobik teknolojiler, bu t6r atık sularla y6ksek organik madde giderme verimlilikleri (genellikle%90'ın 6zeri) elde edebilir. Aynı zamanda organik madde biyogaza da d6n6şt6r6l6r. Ancak bu reakt6rlerden 6ıkan atıklar genellikle organik madde ve askıda katı maddeler i6erir [34]. 6rneğin Speece, bir UASB'den 6ıkan atık su i6inde 1g^L-¹'den fazla askıda katı madde kaydetmiştir [35]. Dahası, biyok6tle 6zellikleri (6zellikle gran6lasyon 6zellikleri) bu t6r sistemlerde kolaylıkla etkilenebilir. 6rneğin arıtılmış atıksuda toksik bileşikler ortaya 6ıktığında veya hızlı sistem aşırı y6kleme gibi operasyonel problemler sırasında biyok6tle yıkanabilir [36], [37]. Membran nedeniyle, AnMBR'ler, geleneksel anaerobik teknolojilerin aksine konsantrasyonu ve hidrolik şokları azaltabilir ve b6ylece organik y6klemedeki dalgalanmaları tolere edebilir [1]. Membran, biyok6tlenin atık sudan ayrılmasını sağlar; bu nedenle bu teknoloji, y6ksek hızlı anaerobik reakt6rlerde gran6ler biyok6tleyi olumsuz etkileyebilen atıksuların arıtılması i6in b6y6k umut vaat etmektedir [3], [6].

Bir dizi 6alışma, aşırı koşullar altında AnMBR'lerde y6ksek 6alışma stabilitesi, y6ksek arıtma verimliliği ve stabil biyogaz 6retimini zaten doğrulamıştır [3], [6]. S6spansiyon halindeki katıların ayrılmasına ek olarak, AnMBR'ler aynı zamanda bakteri ve patojenleri atık sulardan ve d6ř6k enerji t6ketim seviyelerinde tutabilirler [38]. AnMBR'den 6ıkan atıksu, nitrojen ve fosfor gibi nutrientler i6erdiğinden ve aerobik MBR'lerden 6ıkan atıklardan daha y6ksek bir K_{OL} g6sterdiğinden i6me dışındaki ama6larla, 6zellikle sulama veya proses suları (gerekli nihai su kalitesine bağlı olarak) olarak yeniden kullanılabilir. [33], [39-41]. 6ıkış suyu, su k6tlelerine boşaltıldığında, yerel standart deşarj limitlerine uygun olacak şekilde ek arıtma gerekebilir.

AnMBR 6ıkış suyu kalitesi, diğer anaerobik arıtma teknolojilerinden farklı olarak, biyok6tle 66kelme veya gran6lasyon 6zelliklerindeki değişikliklerden etkilenmeme eğilimindedir. Ayrıca biyok6tlenin membran tarafından tamamen tutulması nedeniyle hızlı bir şekilde geri kazanım elde edilir. Tao ve vanLier 'e g6re, membran, hidrolik alıkonma s6resinden (HRT) bağımsız olarak, sistemde biriken end6striyel atık sulardaki spesifik kirleticileri gideren ve yavaş b6y6yen mikroorganizmaları tutacak bir bariyer olarak g6rev almaktadır [42], [43]. 6rneğin, Tao ve arkadaşları, yavaş b6y6yen Anammox mikroorganizmalarının aktivitesini bir membran tarafından tutulmalarıyla 19 kat artırmıştır [42].

AnMBR'ler, membranla ilişkili olanlara ek olarak başka 6nemli operasyonel avantajlar da sunmaktadır. 6rneğin, organik maddenin biyotransformasyonu i6in oksijene ihtiya6 olmadığından, toplam enerji t6ketimi azalır. Ayrıca, organik maddenin işlenmesi yararlı bir son 6r6n olarak biyogaz 6retilir. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyogaz, genellikle elektrik ve ısı 6retmek i6in yakılır. ısı daha sonra reakt6rde anaerobik par6alama s6re6leri i6in uygun sıcaklıkları sağlamak i6in kullanılır. Bununla birlikte, bug6ne kadar yapılan 6alışmaların 6oğunun mezofilik (35-37 ° C) koşullar altında ger6ekleştirildiğini ve daha iyi 6amur reolojik 6zellikleri ve muhtemelen daha y6ksek organik y6kler altında 6alışılabilme imkanına rağmen termofilik sıcaklıklarda yapılmış 6alışmaların az olduğunu bililmektedir [45]. Termofilik sıcaklıkla ilgili 6alışmaların azlığı, muhtemelen, mikrobiyal

aktivitenin inhibisyonu ile sonuçlanan uçucu yağ asitlerinin birikimi nedeniyle performanstaki azalma riskinden kaynaklanmaktadır [46]. Ayrıca, Meabe ve arkadaşları, mezofilik sıcaklığa kıyasla termofilik koşullar altında membran kirlenmesinin arttığını ve sadece biraz daha yüksek biyogaz üretimini kaydetmiştir [44].

Psikrofilik (15-20°C’da üreyen bakteriler) koşullarda önemli ölçüde daha düşük operasyonel maliyetler beklenirken, bu koşullar altında yalnızca sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır [38]. Martinez-Sosa ve arkadaşları, ayrıca 20°C’de bir AnMBR pilot tesisi işletmiş; ancak operasyon süresi sadece 21 gün sürmüştür, ardından sıcaklık 35°C’ye çıkarılmıştır. Ayrıca, bu pilot tesis AnMBR’de arıtılan kentsel atıksular, daha önce bahsedilen çalışmalardan farklıdır [38].

AnMBR tesislerindeki işletim maliyetleri, oksijene ihtiyaç duyulmadığından önemli ölçüde azdır ve tesisi çalıştırmak için gereken elektrik ve ısıtmanın büyük bir kısmı üretilen biyogaz tarafından karşılanabilir. Bu tür maliyetlerin karşılanma derecesi biyokütle üretimine bağlı olacaktır [47]. Örneğin, Kraft değirmeni atık suyunun arıtılması için toplam AnMBR maliyetleri, aerobik arıtma kullananlardan önemli ölçüde daha düşük olmuştur [48]. Sonuç olarak, AnMBR işlemlerinde hem operasyonel hem de yatırım maliyetlerinin büyük kısmı, membranın kendisine ve membran kirlenmesi ile ilişkili faktörlere gitmektedir [3]. Akıyı azaltan membran tıkanması, atık su arıtma alanında membran teknolojisinin yaygın olarak uygulanmasını ve daha hızlı ticarileştirilmesini engelleyen ana dezavantaj olarak kabul edilir [49] [50]. Bu nedenle, membranın kirlenmesi, akı azalması ve membranın kullanım süresi, çapraz akış işletme veya membranın gazla arıtılması ile, membranın kullanımıyla doğrudan ilişkili toplam işletme maliyetlerine göre hesaplanmalıdır. Kısmen bu nedenle, AnMBR’ler genellikle aerobik MBR’lerden daha düşük akılarda çalıştırılır [3], [23].

AnMBR’deki aşırı çamur üretimi aerobik MBR’lara oranla 20 kata kadar daha düşüktür; bu nedenle operasyonel maliyetleri de daha düşürür [51], [52]. Son olarak, AnMBR’ler ayrıca UASB reaktörlerine kıyasla daha kısa bir işleme alma süresi avantajına sahiptir, oysa UASB reaktörleri için işleme alma süresi birkaç ay sürebilir, hem Hu ve Stuckey ve Lin ve diğerleri AnMBR’ler için sırasıyla yalnızca 6 ve 12 günlük başlatma süreleri bildirmiştir [47], [53], [54].

Atık su arıtmada kullanılan diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında (aktif çamur prosesi, ileri oksidasyon prosesleri (AOP’ler) ve biyofilm filtrasyonu), AnMBR’ler AOP’lerden daha ucuz olma eğilimindedir ve aşırı koşullar altında (örn. aşırı askıda katı madde içeriği, aşırı tuzluluk, katı yağ ve sıvı yağ veya diğer inhibe edici bileşiklerin varlığı) endüstriyel atık suların arıtılması sırasında aktif çamur sistemlerinden veya biyofilm / biyofiltrasyon dan daha verimlidir [1] [55].

4. AnMBR’nin dezavantajları ve limitasyonları

AnMBR’ler "geleneksel" sistemlere göre bir dizi avantaj sergilerken, birkaç sorun hala aşılammıştır. Aerobik MBR’lerde olduğu gibi, AnMBR’lerde de en ciddi dezavantaj membran kirlenmesidir [3], [12]. Hidrolik performansın düşmesine neden olan kirlenme,

membran teknolojisinin yaygın uygulamasını sınırlamıştır [23], [56]. Membran tıkanması, operasyonel koşullar, besleme ozellikleri, membran ve biyokutle ozellikleri ve bunların karşılıklı kombinasyonu gibi bir dizi faktorden etkilenen karmaşık bir sorundur [10], [12], [57], [58]. Sonuç olarak, membran kirlenmesi ile ilgili çok çeşitli sorunlar yoğun bir çalışma konusu olmuştur. Membran tıkanması esas olarak mikroorganizmaların, kolloidlerin, ozunen maddelerin ve huce artıklarının membran uzerinde veya içinde birikmesi ve birikmesinden kaynaklanır [12], [23]. Başta struvit ($MgNH_4PO_4$; magnezyum amonyum fosfat) olmak uzere inorganik bileşiklerin okelmesi de AnMBR'lerde membranlar uzerindeki geri dondurulemez kirlenmenin onemli bir parçası olarak tanımlanmıştır [59]. Potasyum struvit ($K_2NH_4PO_4$) ve kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) gibi diğer inorganik tuzlar da kirlenme tabakasında tanımlanmıştır [44], [60], [61]. Hem membran ozellikleri hem de operasyonel parametreler, inorganik bileşiklerin okelme hızında onemli bir rol oynayabilir. Meabe vd. orneğin, struvit kaynaklı kirlenmenin, artan amonyak nitrojen konsantrasyonları nedeniyle daha yuksek çalışma sıcaklıklarında (35°C'ye kıyasla 55°C) arttığını bildirmiştir [44].

AnMBR'lerde membranda oluşan filtrasyon kekini çıkarmak genellikle aerobik MBR'dekinden daha zordur, yani çıkarmak için daha konsantre kimyasallar, daha yuksek sıcaklıklar ve / veya daha uzun maruz kalma sureleri kullanan daha sıkı bir temizlik protokolunun uygulanması gerekir. Normal konsantrasyonda (200 ila 500 mg.L⁻¹) NaOCl aerobik MBR'lerde kullanılırken, orneğin Ramos ve ark. AnMBR pilot tesiste oluşan filtrasyon kekini çıkarmak için 18 saat boyunca 2.000 mg.L⁻¹ konsantrasyona sahip NaOCl solusyonunu uygulanmıştır [23][62]. Benzer şekilde Cho ve arkadaşları, bu ozeltiyi anoksik / anaerobik MBR pilot tesisinde uygulayarak yaklaşık 5,000 mg.L⁻¹ konsantrasyonunda NaOCl kullanmıştır [63]. Bu konunun onemine rağmen, ozellikle pilot veya tam olekli koşullar altında, AnMBR'de membran kirlenmesi ile ilgili genel bir yayın eksikliği vardır.

5. AnMBR'nin işletim maliyetleri

Membranla ilişkili maliyetler, AnMBR'nin yaygın uygulamasını sınırlayan onemli bir konudur. Membran maliyetleri son yıllarda onemli olude azalmış olsa da [23], membranın ilk yatırım maliyetleri ve ozellikle filtrasyon işlemiyle ilişkili işletim maliyetleri hala genel olarak membran biyoreaktorlerin ana dezavantajlarından birini temsil etmektedir. orneğin Pretel ve ark. AnMBR'deki gu gereksinimlerinin %85-90'a kadarı filtrasyon sureci ve membran kirlenmesinin azaltılmasıyla ilgilidir [65]. En fazla enerji, AnMBR'deki toplam enerji talebinin %75'ini temsil eden membran tankı biyogaz geri donuşum bloweri veya membran tankı çamur besleme pompası tarafından tuketilir [64].

Genel olarak, ozellikle endustriyel atık suları işleyenler olmak uzere, AnMBR'lerin çalıştırılmasıyla ilgili maliyetleri hesaplayan çok az çalışma yapılmıştır. Bir ornek, Ferrer ve ark. hem sulfat açısından zengin hem de duşuk sulfatlı kentsel atıksularını arıtan bir AnMBR için yatırım ve işletme harcamaları bildirilmiştir [65]. Bu yazarlar, artan karışık askıda katı madde (MLSS) konsantrasyonu ve membran temizleme, kimyasal reaktiflerin

kullanımı ve operasyonel maliyetler arasında açık bir ilişki olduğunu bildirdiler. Bu AnMBR için optimum MLSS konsantrasyonu 12 g.L^{-1} olarak bulunmuştur (enerji (biyogaz) geri kazanımı olmadan, $0,22 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ ’lük özgül enerji talebi ile). Biyogaz yeniden kullanıldığında, özgül enerji talebi $0,14 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ ’e düşmüştür [70]. Benzer şekilde Pretel ve ark. sülfat bakımından zengin kentsel atık suyu arıtmak için AnMBR'nin enerji gereksinimlerini belirlemiştir [64]. Biyogaz yakalandığında, spesifik enerji ihtiyacı $0,11\text{--}0,49 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ aralığında (çeşitli işletim ve filtreleme senaryolarına bağlı olarak) belirtmişlerdir. AnMBR'nin enerji dengesinde iyileştirme hem biyogaz metanını hem de atık suda çözünen metanı yakalayarak veya AnMBR'yi yüksek ortam sıcaklığında ve/veya yüksek katı tutma sürelerinde (SRT) çalıştırarak da sağlanabilir [64].

Aerobik MBR ile karşılaştırıldığında, örneğin Gabarrón ve arkadaşları tam ölçekli bir aerobik MBR'de toplam özgül enerji talebi için tabaka çerçeve membran için $1,54 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ ’e ve hollow fiber membran için $1,12 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ ’e ulaşan değerler bildirmiştir [66]. Temelde hem biyolojik havalandırma hem de membranın hava ile temizlenmesi optimizasyonunu içeren enerji tasarrufu stratejilerinin uygulanmasından sonra bile, spesifik enerji talebi, benzer yıllık ortalama hidrolik yüklerden bağımsız olarak sırasıyla $1,12 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ ve $0,71 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ ’e ulaşmıştır [66].

Martin ve arkadaşları, hem aerobik hem de anaerobik MBR'leri değerlendirmiş ve tam çamur tutma özelliğine sahip aerobik MBR için toplam özgül enerji talebini yaklaşık 2 kW.sa.m^{-3} olarak ifade ederken, AnMBR'de enerji talebi $0,03$ ila $5,7 \text{ kW.sa.m}^{-3}$ arasında değiştiğini söylemektedirler [67]. En yüksek enerji talebi, yoğun membran kirlenme kontrolü için artan gaz talebinin bir sonucu olarak gözlenmiştir.

AnMBR operasyonel maliyetlerine ilişkin diğer bir rapor da Smith ve diğerleri tarafından yapılan çalışmadır [68]. Bu yazarlar, proses modelleme ve sistem analizlerinin sonuçlarına dayanarak, AnMBR'yi tümü anaerobik çürütme ile birleştirilmiş yüksek hızlı aktif çamur, geleneksel aktif çamur ve aerobik MBR içeren diğer teknolojilerle karşılaştırmışlardır. AnMBR'nin değerlendirilen teknolojilere kıyasla orta ve yüksek mukavemetli evsel atık sular için daha fazla enerji geri kazanma potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur [68]. Bununla birlikte, enerji geri kazanımı büyük ölçüde atık suyun bileşimi ve sıcaklığına, işletim koşullarına veya ön arıtma süreçlerine bağlıdır [64], [69].

Daha önce belirtildiği gibi, AnMBR'lerde permabilite genellikle aerobik MBR'lerden daha düşüktür [3], [23]. Aerobik MBR'lerdeki permabiliteler tipik olarak yaklaşık 200 LHM.bar^{-1} ve daha fazla iken, Tablo 1'den görülebileceği gibi, yaklaşık permabiliteler mevcut AnMBR'lerde 10 ila 150 LHM.bar^{-1} aralığındadır [23]. En yüksek başlangıç permabilite değeri $1.200 \text{ LHM.bar}^{-1}$ ’a ulaşmıştır. Ayrıca, Ng ve arkadaşları, tarafından bildirilen ultrafiltrasyon membranı için 400 ve 500 LHM.bar^{-1} olan ilk permabilite, bildirilen diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında sırasıyla yaklaşık $7,2$ ve $1,7 \text{ g.L}^{-1}$ ’e ulaşan önemli ölçüde daha düşük MLSS konsantrasyonundan kaynaklanmıştır [33]. Bu nedenle, toplam maliyet hesaplanırken AnMBR'nin azaltılmış hidrolik performansı, membran tıkanması ile birlikte ele alınmalıdır.

Sera gazı emisyonu enerji tuketimini azaltarak dusurulebilir. AnMBR surecince 0,1 kW.sa.m⁻³ net enerji uretimi gerekleştirilirken, aerobik aktif çamur unitesine sahip tipik bir kentsel atıksu arıtma tesisinde 0,25-0,6 kW.sa.m⁻³ enerji tuketilmektedir. Ve bu tuketlenen elektriğin yarısı kadarı havalandırma işlemine harcanmaktadır.

Kentsel atıksuların anaerobik arıtım ile enerjiye çevrilmesinde kayıplar doğal olarak olmaktadır. Potansiyel enerji miktarının %8'i karbonhidratların CH₄'e yani daha dusuk enerji seviyeli bir organik maddeye çevrimi sırasında kaybolmaktadır. Bir başka %7'lik kısım mikroorganizmaların huce yapımı sırasında kullanılmaktadır. Atıksu arıtımı kendi başına %100 verimle çalışmamaktadır ve ek enerji kayıpları işlem sırasında gerekleşmektedir. Bunun %5 civarında olduğu kabul edilirse %19'luk bir enerji kaybının olduğu ve CH₄'ten elde dileyebilecek enerjinin organik maddelerin biyobozunmasından gelen enerjinin %81'lik kısmı olduğu soylenebilir. Fakat CH₄'un yanma ile sadece %35'i elektrik enerjisine donusturulebilmektedir. Kalan %65'lik kısım ısı olarak gitmektedir. Yani ortalama olarak atıksudaki biyolojik olarak bozunabilen maddelerin orijinal enerji potansiyelinin %28'i elektrik enerjisine donusturulmektedir. Yenilikçi yontemlerle bu enerjinin %40'a çıkarılması mumkin olabilmektedir. Diğer taraftan CH₄'un yanması sırasında ısı olarak kaybedilen enerjinin kurtarılması ve yapıların ısıtılması gibi amaçlarla kullanılması da mumkündür [70].

Farklı AnMBR konfigurasyonlarında verilen transmembran basınçlarında enerji tuketimleri Tablo 1'de verilmiştir. Gorulduğ gibi AnMBR sistemlerinde en buyuk enerji kullanımı tıkanma kontrolune harcanmaktadır ve toplam enerji girişinin %75'ini oluşturmaktadır.

Tablo 1. Farklı AnMBR konfigurasyonlarında verilen transmembran basınçlarında enerji tuketimleri [70]

Tıkanma kontrolu için harcanan enerji (kW.sa.m ⁻³)	Kritik akı (LMH)	Toplam enerji (kW.sa.m ⁻³)	TMP (kPa)	Kaynak
1.28	7	1.66	17.7	[38]
0.2	10	0.26	8.0	[71]
0.2	12-16	0.26	40.0	[72]
0.2	10-13.3	0.26	<10.0	[73]
0.19	7-11	0.24	<10.0	[71]
0.5	6	0.64	6.0	[74]
0.08	17	0.1	8.8	[75]
0.19-0.5	10-14	0.25-0.65	5.0-55.0	[76]
0.04-0.1	12-14	0.05-0.13	40.0-55.0	[77]
0.09	25-27	0.11	1.5-30	[78]
0.09-0.27	7.6-7.9	0.1-0.3	NA	[79]
0.1	4.1-7.5	0.13	10.0-27.0	[80]
0.2	10	0.3	1.0-2.5	[81]

SONUÇ

AnMBR’ler, yenilenebilir enerji elde etmenin ve sera gazı emisyonlarını azaltmanın bir yolu olarak, suyun yeniden kullanımına yönelik artan ihtiyaca olası bir cevap olarak son zamanlarda çok dikkat çekmiştir. AnMBR’ler, özellikle toksik ve konsantre atık suların arıtılması ve yüksek oranlı anaerobik sistemler ile geleneksel çürütücüler arasındaki boşluğu kapatmak için "geleneksel" teknolojiye göre çok sayıda avantaj sergilemektedir. Gelecekteki araştırma çabalarının, membran kirlenmesinin daha iyi anlaşılması ve yeni yaklaşımlarla kirlenmenin sınırlandırılması gibi en kritik sorunlara odaklanması gerekmektedir.

Bu bağlamda, anaerobik koşullar altında düşük maliyetli, dinamik veya kendiliğinden birleşen membranlar gibi yeni membran malzemelerinin ayrıntılı değerlendirmesinin hala yapılması gerekmektedir.

Ayrıca, arıtma sonrası atık suların araştırılması, atıklardan metan geri kazanımı ve mikro kirlenme uzaklaştırma yollarının açıklığa kavuşturulması için acil bir ihtiyaç vardır. AnMBR teknolojisinin tam ölçekli adaptasyonu gerçekleşmeden önce, tam enerji ve ekonomik dengelere de ihtiyaç vardır. Ancak bu önemli sorunlar ele alındığında, AnMBR’nin geleneksel endüstriyel atık su arıtma teknolojisine göre daha "çevre dostu" ve uygun maliyetli bir alternatif olarak tam potansiyeline ulaşması muhtemeldir.

Sonuç olarak; anaerobik teknoloji ile membran teknolojinin birleşiminden oluşan AnMBR’ler hem atıksu içerisindeki organik madenin parçalanıp atıksuyun arıtılmasına, hem de anaerobik metabolizma sonucu oluşan biyogazın enerji olarak tesiste tekrar kullanımına ve dolayısıyla ekonomik faydaya dönüşümüne yani organik madde parçalanması ile biyogaz eldesine, atmosferdeki metan ve karbondioksit salınımindan kaynaklanan sera gazı etkisinin azalmasına neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ozgun H., R.K. Dereli, M.E. Ersahin, C. Kinaci, H. Spanjers, J.B. vanLier, A review of anaerobicmembranebioreactorsformunicipalwastewatertreatment: Integration options, limitation-sandexpectations, Sep. Purif. Technol. 118 (2013) 89–104.
- [2] Dvořák L., T. Lederer, V. Jirků, J. Masák, L. Novák, Removal of aniline, cyanidesanddiphenylguanidinefromindustrialwastewaterusing a full-scalemovingbedbiofilmreactor, ProcessBiochem. 49 (2014) 102–109.
- [3] Lin H., W. Peng, M. Zhang, J. Chen, H. Hong, Y. Zhang, A review on anaerobicmembranebioreactors: Applications, membranefoulingandfutureperspectives, Desalination 314 (2013) 169–188.
- [4] Liao B.-Q., J.T. Kraemer, D.M. Bagley, Anaerobicmembranebioreactors: Applications andresearchdirections, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 36 (2006) 489–530.
- [5] Ramos C., A. García, V. Diez, Performance of an AnMBR pilot planttreatinghigh-strengthlipidwastewater: Biologicalandfiltrationprocesses, WaterRes. 67 (2014) 203–215.
- [6] Dereli R.K., M.E. Ersahin, H. Ozgun, I. Ozturk, D. Jeison, F. van der Zee, J.B. vanLier, Potentials of anaerobicmembranebioreactorstoovercometreatmentlimitationsinducedbyindustrialwastewaters, Bioresour. Technol. 122 (2012) 160–170.

- [7] Diez V., C. Ramos, J.L. Cabezas, Treating wastewater with high oil and grease content using an Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR). *Filtration and cleaning assays*, *WaterSci. Technol. J. Int. Assoc. WaterPollut. Res.* 65 (2012) 1847–1853.
- [8] Le-Clech P., Membrane bioreactors and their uses in wastewater treatments, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 88 (2010) 1253–1260.
- [9] Bornare J.B., V.K. Raman, V.S. Sapkal, R.S. Sapkal, G. Minde, P.V. Sapkal, An overview of membrane bioreactors for anaerobic treatment of wastewaters, *Int. J. In. Res. Ad. Eng.* 1 (2014) 91–97.
- [10] Dvořák L., M. Gomez, M. Dvořakova, I. Růžickova, J. Wanner, The impact of different operating conditions on membrane fouling and EPS production, *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 6870–6875.
- [11] Lesjean B., S. Rosenberger, C. Laabs, M. Jekel, R. Gnirss, G. Amy, Correlation between membrane fouling and soluble/colloidal organic substances in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment, *WaterSci. Technol. J. Int. Assoc. WaterPollut. Res.* 51 (2005) 1–8.
- [12] Meng F., S.-R. Chae, A. Drews, M. Kraume, H.-S. Shin, F. Yang, Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material, *WaterRes.* 43 (2009) 1489–1512.
- [13] Zsirai T., P. Buzatu, P. Aerts, S. Judd, Efficacy of relaxation, backflushing, chemical cleaning and clogging removal for an immersed hollow fibre membrane bioreactor, *WaterRes.* 46 (2012) 4499–4507.
- [14] Andrade L.H., F.D. dos S. Mendes, J.C. Espindola, M.C.S. Amaral, Internal versus external submerged membrane bioreactor configurations for dairy wastewater treatment, *Desalin. Water Treat.* 52 (2014) 2920–2932.
- [15] Cote P., D. Thompson, Wastewater treatment using membranes: The North American experience, *WaterSci. Technol.* 41 (2000) 209–215.
- [16] Aslan M., Y. Saatçı, . Hanay, H. Hasar, Membrane fouling control in anaerobic submerged membrane bioreactor, *Desalin. Water Treat.* 52 (2014) 7520–7530.
- [17] Zhang X., X. Yue, Z. Liu, Q. Li, X. Hua, Impacts of sludge retention time on sludge characteristics and membrane fouling in a submerged anaerobic–oxic membrane bioreactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99 (2015) 4893–4903.
- [18] Pandey A., R.K. Singh, Industrial wastewater treatment by membrane bioreactors system, *ElixirChem. Eng.* 70 (2014) 23772–23777.
- [19] Santos A., S. Judd, The commercial status of membrane bioreactors for municipal wastewater, *Sep. Sci. Technol.* 45 (2010) 850–857.
- [20] Vyrides I., D.C. Stuckey, Saline sewage treatment using a submerged anaerobic membrane reactor (SAMBR): Effects of activated carbon addition and biogas–sparging time, *WaterRes.* 43 (2009) 933–942.
- [21] Jeong E., H.-W. Kim, J.-Y. Nam, Y.-T. Ahn, H.-S. Shin, Effects of the hydraulic retention time on the fouling characteristics of an anaerobic membrane bioreactor for treating acidified wastewater, *Desalin. Water Treat.* 18 (2010) 251–256.
- [22] Stuckey D.C., Recent developments in anaerobic membrane reactors, *Bioresour. Technol.* 122 (2012) 137–148.
- [23] Judd S., *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*, second ed., Elsevier, Oxford, 2011.

- [24] Deowan S.A., S.I. Bouhadjar, J. Hoinkis, 5–Membranebioreactorsforwatertreatment, in: A. Basile, A.C.K. Rastogi (Eds.), *Adv. Membr. Technol. WaterTreat.*, Woodhead Publishing, Oxford, 2015, pp. 155–184.
- [25] Ersu C.B., S.K. Ong, Treatment of wastewatercontainingphenolusing a tubularceramicmembranebioreactor, *Environ. Technol.* 29 (2008) 225–234.
- [26] Xie Z., Z. Wang, Q. Wang, C. Zhu, Z. Wu, An anaerobicdynamicmembranebioreactor (AnDMBR) forlandfillleachatetreatment: Performanceandmicrobialcommunityidentification, *Bioresour. Technol.* 161 (2014) 29–39.
- [27] Kanai M., V. Ferre, S. Wakahara, T. Yamamoto, M. Moro, A novelcombination of methanefermentationand MBR–Kubotasubmergedanaerobicmembranebioreactorprocess, *Desalination* 250 (2010) 964–967.
- [28] Dereli R.K., F.P. van der Zee, B. Heffernan, A. Grelot, J.B. vanLier, Effect of sludgeretention time on thebiologicalperformance of anaerobicmembranebioreactorstreatingcorn-to-ethanolthinstillagewithhighlipidcontent, *WaterRes.* 49 (2014) 453–464.
- [29] Wallace J.M., S.I. Safferman, Anaerobicmembranebioreactorsandtheinfluence of spacevelocityandbiomassconcentration on methaneproductionforliquiddairymanure, *BiomassBioenergy* 66 (2014) 143–150.
- [30] Öztürk.İ., 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları. Su Vakfı Yayınları. İstanbul, 320.
- [31] Tchobanoglous, G. (1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3rd Edition, Metcalf & Eddy, Inc., McGraw Hill.
- [32] WUST, E. L., 2003. Single-Phase Cheese Wastewater Treatment By Anaerobic SBRs, Marquette University, in *PartialFulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science*, Milwaukee, Wisconsin.
- [33] Martinez-Sosa D., B. Helmreich, T. Netter, S. Paris, F. Bischof, H. Horn, Anaerobicsubmergedmembranebioreactor (AnSMBR) formunicipalwastewatertreatmentundermesophilicandpsychrophilictemperatureconditions, *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 10377–10385.
- [34] Choi W-H., C.-H. Shin, S.-M. Son, P.A. Ghorpade, J.-J. Kim, J.-Y. Park, Anaerobictreatment of palmoilmillleffluentusingcombinedhigh-rate anaerobicreactors, *Bioresour. Technol.* 141 (2013) 138–144.
- [35] Speece R.E., *AnaerobicBiotechnologyforIndustrialWastewaters*, Archae Pr, Nashville, TN, 1996.
- [36] Couras C.S., V.L. Louros, A.M. Grilo, J.H. Leitão, M.I. Capela, L.M. Arroja, et al., Effects of operationalshocks on keymicrobialpopulationsforbiogasproduction in UASB (UpflowAnaerobicSludgeBlanket) reactors, *Energy* 73 (2014) 866–874.
- [37] Blaszczyk R., D. Gardner, N. Kosaric, Responseand recovery of anaerobicgranulesfromshockloading, *WaterRes.* 28 (1994) 675–680.
- [38] Al-Hashimia M.A.I., T.R. Abbas, Y.I. Jasema, Performance of sequencinganoxic/ anaerobicmembranebioreactor (SAM) system in hospitalwastewatertreatmentandreuse, *Eur. Sci. J.* 9 (2013) 169–180.
- [39] Chan Y.J., M.F. Chong, C.L. Law, D.G. Hassell, A review on anaerobic-aerobictreatment of industrialandmunicipalwastewater, *Chem. Eng. J.* 155 (2009) 1–18.

- [40] Ellouze M., A. Saddoud, A. Dhoubi, S. Sayadi, Assessment of the impact of excessive chemical addition to municipal wastewater and comparison of three technologies in the removal performance of pathogens and toxicity, *Microbiol. Res.* 164 (2009) 138–148.
- [41] Ho J., S. Sung, Methanogenic activities in anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) treating synthetic municipal wastewater, *Bioresour. Technol.* 101 (2010) 2191–2196.
- [42] Tao Y., D.-W. Gao, Y. Fu, W.-M. Wu, N.-Q. Ren, Impact of reactor configuration on anammox process start-up: MBR versus SBR, *Bioresour. Technol.* 104 (2012) 73–80.
- [43] van Lier J.B., High-rate anaerobic wastewater treatment: diversifying from end-of-the-pipe treatment to resource-oriented conversion techniques, *Water Sci. Technol. J. Int. Assoc. Water Pollut. Res.* 57 (2008) 1137–1148.
- [44] Meabe E., S. Deléris, S. Soroa, L. Sancho, Performance of anaerobic membrane bioreactor for sewage sludge treatment: Mesophilic and thermophilic processes, *J. Membr. Sci.* 446 (2013) 26–33.
- [45] Skouteris G., D. Hermosilla, P. López, C. Negro, Á. Blanco, Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: A review, *Chem. Eng. J.* 198–199 (2012) 138–148.
- [46] Wijekoon K.C., C. Visvanathan, A. Abeynayaka, Effect of organic loading rate on VFA production, organic matter removal and microbial activity of a two-stage thermophilic anaerobic membrane bioreactor, *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 5353–5360.
- [47] Lin H., B.-Q. Liao, J. Chen, W. Gao, L. Wang, F. Wang, X. Lu, New insights into membrane fouling in a submerged anaerobic membrane bioreactor based on characterization of cake sludge and bulk sludge, *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 2373–2379.
- [48] Minami K., A trial of high performance anaerobic treatment on wastewater from a kraft pulp mill, *Desalination* 98 (1994) 273–283.
- [49] Aquino S.F., A.Y. Hu, A. Akram, D.C. Stuckey, Characterization of dissolved compounds in submerged anaerobic membrane bioreactors (SAMBRs), *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 81 (2006) 1894–1904.
- [50] Dereli R.K., B. Heffernan, A. Grelot, F.P. van der Zee, J.B. van Lier, Influence of high lipid containing wastewater on filtration performance and fouling in AnMBRs operated at different solids retention times, *Sep. Purif. Technol.* 139 (2015) 43–52.
- [51] Lew B., S. Tarre, M. Beliavski, C. Dosoretz, M. Green, Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for domestic wastewater treatment, *Desalination* 243 (2009) 251–257.
- [52] Seghezzo L., G. Zeeman, J.B. van Lier, H.V.M. Hamelers, G. Lettinga, A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors, *Bioresour. Technol.* 65 (1998) 175–190.
- [53] Álvarez J.A., I. Ruiz, M. Gómez, J. Presas, M. Soto, Start-up alternatives and performance of an UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature, *Bioresour. Technol.* 97 (2006) 1640–1649.
- [54] Hu A., D. Stuckey, Treatment of diluted wastewater using a novel submerged anaerobic membrane bioreactor, *J. Environ. Eng.* 132 (2006) 190–198.
- [55] Chen J.L., R. Ortiz, T.W.J. Steele, D.C. Stuckey, Toxicants inhibiting anaerobic digestion: A review, *Biotechnol. Adv.* 32 (2014) 1523–1534.
- [56] Yu L., Y. Zhang, B. Zhang, J. Liu, H. Zhang, C. Song, Preparation and characterization of HPEI-GO/PES ultrafiltration membrane with antifouling and antibacterial properties, *J. Membr. Sci.* 447 (2013) 452–462.

- [57] Boyle-Gotla A., P.D. Jensen, S.D. Yap, M. Pidou, Y. Wang, D.J. Batstone, Dynamic multidimensional modelling of submerged membrane bioreactor fouling, *J. Membr. Sci.* 467 (2014) 153–161.
- [58] Meng F., B. Shi, F. Yang, H. Zhang, Effect of hydraulic retention time on membrane fouling and biomass characteristics in submerged membrane bioreactors, *Bioprocess Biosyst. Eng.* 30 (2007) 359–367.
- [59] Choo K.-H., C.-H. Lee, Membrane fouling mechanisms in the membrane-coupled anaerobic bioreactor, *Water Res.* 30 (1996) 1771–1780.
- [60] Choo K.-H., I.-J. Kang, S.-H. Yoon, H. Park, J.-H. Kim, S. Adiya, C.-H. Lee, Approach to membrane fouling control in anaerobic membrane bioreactors, *Water Sci. Technol.* 41 (2000) 363–371.
- [61] Kim J., C.-H. Lee, K.-H. Choo, Control of struvite precipitation by selective removal of NH_4^+ with dialyzer/zeolite in an anaerobic membrane bioreactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 75 (2007) 187–193.
- [62] Ramos C., F. Zecchino, D. Ezquerro, V. Diez, Chemical cleaning of membranes from an anaerobic membrane bioreactor treating food industry wastewater, *J. Membr. Sci.* 458 (2014) 179–188.
- [63] Cho J., K.-G. Song, S. Hyup Lee, K.-H. Ahn, Sequencing anoxic/anaerobic membrane bioreactor (SAM) pilot plant for advanced wastewater treatment, *Desalination* 178 (2005) 219–225.
- [64] Pretel R., A. Robles, M.V. Ruano, A. Seco, J. Ferrer, The operating cost of an anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) treating sulphate-rich urban wastewater, *Sep. Purif. Technol.* 126 (2014) 30–38.
- [65] Ferrer J., R. Pretel, F. Durán, J.B. Giménez, A. Robles, M.V. Ruano, J. Serralta, J. Ribes, A. Seco, Design methodology for submerged anaerobic membrane bioreactors (AnMBR): A case study, *Sep. Purif. Technol.* 141 (2015) 378–386.
- [66] Gabarrón S., G. Ferrero, M. Dalmau, J. Comas, I. Rodríguez-Roda, Assessment of energy-saving strategies and operational costs in full-scale membrane bioreactors, *J. Environ. Manage.* 134 (2014) 8–14.
- [67] Martin I., M. Pidou, A. Soares, S. Judd, B. Jefferson, Modelling the energy demands of aerobic and anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment, *Environ. Technol.* 32 (2011) 921–932.
- [68] Smith A.L., L.B. Stadler, L. Cao, N.G. Love, L. Raskin, S.J. Skerlos, Navigating wastewater energy recovery strategies: A life cycle comparison of anaerobic membrane bioreactor and conventional treatment systems with anaerobic digestion, *Environ. Sci. Technol.* 48 (2014) 5972–5981.
- [69] Wei C.-H., M. Harb, G. Amy, P.-Y. Hong, T. Leiknes, Sustainable organic loading rate and energy recovery potential of mesophilic anaerobic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment, *Bioresour. Technol.* 166 (2014) 326–334.
- [70] McCarty P. L., J. Bae, J. Kim, Domestic Wastewater Treatment as a Net Energy Producer—Can This be Achieved?, *Environ. Sci. Technol.* (2011), 45, 17, 7100–7106.
- [71] Giménez J.B., Martí N., Robles A., Ferrer J., Seco A. Anaerobic treatment of urban wastewater in membrane bioreactors: Evaluation of seasonal temperature variations. *Water Sci. Technol.*, 69 (2014), pp. 1581–1588.
- [72] Robles A., Ruano M.V., García-usach F., Ferrer J. Sub-critical filtration conditions of commercial hollow-fiber membranes in a submerged anaerobic MBR (HF-SAnMBR) system: The effect of gas sparging intensity, *Bioresour. Technol.*, 114 (2012), pp. 247–254.

- [73] Robles A., Ruano M.V., Ribes J., Ferrer J. Performance of industrial-scale hollow-fiber membranes in a submerged anaerobic MBR (HF-SAnMBR) system at mesophilic and psychrophilic conditions. *Sep. Purif. Technol.*, 104 (2013), pp. 290-296.
- [74] Mei X., Wang Z., Miao Y., Wu Z. A pilot-scale anaerobic membrane bioreactor under short hydraulic retention time for municipal wastewater treatment: performance and microbial community identification. *J. Water. Reuse Desalination*, 8 (2017), pp. 58-67.
- [75] Dong Q., Parker W., Dagnew M. Impact of FeCl₃ dosing on AnMBR treatment of municipal wastewater. *Water Res.*, 80 (2015), pp. 281-293.
- [76] Gouveia J., Plaza F., Garralon G., Fdz-Polanco F., Peña M. Long-term operation of a pilot-scale anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for the treatment of municipal wastewater under psychrophilic conditions. *Bioresour. Technol.*, 185 (2015), pp. 225-233.
- [77] Gouveia J., Plaza F., Garralon G., Fdz-Polanco F., Peña M. A novel configuration for an anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR), Long-term treatment of municipal wastewater under psychrophilic conditions. *Bioresour. Technol.*, 198 (2015), pp. 510-519.
- [78] Dong Q., Parker W., Dagnew M. Long term performance of membranes in an anaerobic membrane bioreactor treating municipal wastewater. *Chemosphere*, 144 (2016), pp. 249-256.
- [79] Evans P.J., Parameswaran P., Lim K., Bae J., Shin C., Ho J., McCarty P.L. A comparative pilot-scale evaluation of gas-sparged and granular activated carbon-fluidized anaerobic membrane bioreactors for domestic wastewater treatment. *Bioresour. Technol.*, 288 (2019), Article 120949.
- [80] Shin C., McCarty P.L., Kim J., Bae J. Pilot-scale temperate-climate treatment of domestic wastewater with a staged anaerobic fluidized membrane bioreactor (SAF-MBR). *Bioresour. Technol.*, 159 (2014), pp. 95-103.
- [81] Ruigómez I., Vera L., González E., Rodríguez-Sevilla J. Pilot plant study of a new rotating hollow fiber membrane module for improved performance of an anaerobic submerged MBR. *J. Membr. Sci.*, 514 (2016), pp. 105-113.

BİYOMETANİZASYON TEKNOLOJİSİNDE SON GELİŞMELER

Öznur Begüm Gökçek^a, Hamdi Muratçobanoğlu^b, Fatma Muratçobanoğlu^b, Ruhullah Ali Mert^b, Bilal Yıldırım^b, Sevgi Demirel^b

^a Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

^b Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Son yıllarda, nanomalzeme ilavesiyle hem anaerobik süreçlerdeki proses kararlılığının hem de biyometanizasyon sürecinin iyileştirildiği yönünde çalışmalar oldukça dikkate çekmektedir. Grafen ve türevleri, grafit, biyokömür ve karbon kumaş gibi karbon kökenli malzemeler, bu amaçla yapılan çalışmalarda en çok araştırılan malzemelerdir. Bu çalışmada, farklı araştırma grupları tarafından anaerobik arıtma teknolojisinin performansını arttırmaya yönelik çalışmalar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyometanizasyon, Anaerobik arıtma

ABSTRACT

In recent years, studies have drawn attention to the improvement of both the process stability in anaerobic processes and the biomethanization process with the addition of nanomaterials. Carbon-based materials such as graphene and its derivatives, graphite, biochar and carbon fabric are the most researched materials in studies for this purpose. In this study, studies aimed at increasing the performance of anaerobic treatment technology were presented by different research groups.

Keywords: Biomethanization, Anaerobic treatment

GİRİŞ

Küresel nüfusun sürekli artması ve modern hayatın gereklilikleri, tüm dünyada enerji ihtiyacının da artmasına yol açmaktadır. Küresel enerji ihtiyacının yaklaşık %88'i fosil yakıtlardan karşılanmakta olup, buna bağlı olarak ortaya çıkan küresel ısınma, iklim değişikliği, biyoçeşitliliğin azalması vb. problemlerin etkileri günlük hayatı olumsuz etkilemektedir [1]. Halihazırda tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 pandemi süreci ile yaşanan karantinalarla dolaylı, tüm üretim sektörlerinde faaliyetler azaltılmış hatta bazı sektörlerde durma noktasına gelmiştir. Yapılan araştırmalarla; pandemi döneminde 2019 yılına kıyasla kömür, doğal gaz ve petrol türevlerine bağlı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %5 azaldığını ortaya konulmuştur [2]. Bu vesileyle yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmaların önemi bir kez daha vurgulanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyorafinasyonla üre-

tilen biyokütle enerjisi; biyogaz, biyoetanol, biyohidrojen veya biyodizel üretimi ile önemli bir potansiyele sahiptir. Biyorafinasyon yöntemi ile enerji ihtiyacına ve küresel çevre problemlerine sürdürülebilir, çevre dostu bir çözüm üretmek mümkün olabilir. Bu biyoyakıtlar arasında bulunan biyogaz, organik atık ya da atıksuların anaerobik proseslerle biyometan içeriği yüksek biyogaza dönüştürülmesini içeren biyokimyasal süreçlerle oluşmaktadır. Anaerobik parçalanma (AP) teknolojisi uzun yıllardır uygulanan, oldukça pratik ve iyi anlaşılmış proses aşamalarından oluşmaktadır. Biyogaz; tarımsal atıklar, çiftlik hayvanları atıkları, kentsel atıklar, yiyecek atıkları gibi birçok organik atıktan elde edilebilmektedir [3].

Atıkların anaerobik parçalanması, mikroorganizmaların organik bileşikleri basit bileşiklere ayrıştırdığı hidroliz basamağı ile başlar (hidroliz bakterileri). Sonraki aşamada, asit oluşturan bakteriler (asit üreten bakteriler) basit bileşikleri asetik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi uçucu asitlere dönüştürür ve bu aşama asit oluşumu aşaması (asidojenik+asetojenik süreçler) olarak adlandırılır. Son aşamada ise asetik asit kullanan metanojenik bakteriler asetik asiti parçalayarak, hidrojen kullanan metan bakterileri (homo asetojenler) hidrojen ve karbondioksiti kullanarak metan üretirler [4]. Bu aşamalar sonucunda, son ürün olarak % 50-70 oranında CH_4 , % 30-40 CO_2 ve çok düşük miktarda su buharı, H_2S ve NH_3 oluşmaktadır [5].

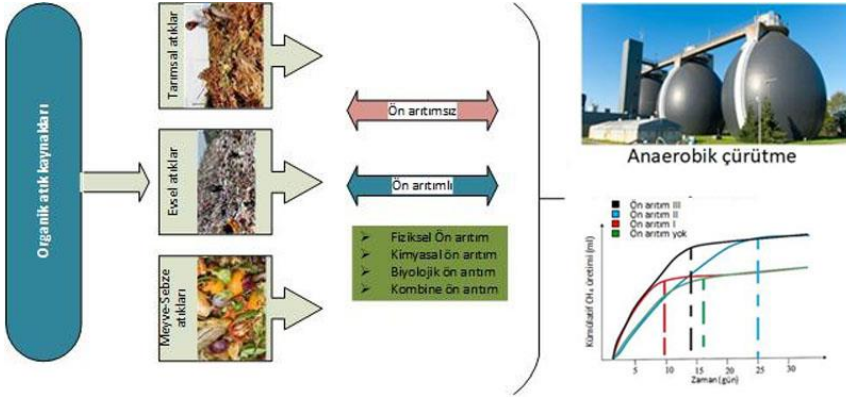
AP prosesi metanojenlerin büyüme hızlarının düşük olması, olumsuz işletme koşullarına karşı hassas olması gibi dezavantajlara sahiptir. Her ne kadar AP teknolojisi iyi anlaşılmış olsa da proses kararlılığını sağlamak ve biyogaz içeriğindeki CH_4 oranını arttırmaya yönelik araştırmalar hızla devam etmektedir. Çünkü anaerobik reaktörlerin işletme koşullarında yapılacak iyileştirmeler üretilecek biyogaz ve biyometan miktarını doğrudan etkileyecektir. Biyogaz içeriğinde enerjiye dönüşebilen kısım biyometan olduğundan, CH_4 oranındaki artış enerji sektörü için önemli bir araştırma konusudur. Biyogaz üretim performansını arttırmaya yönelik, işletme koşulları ile ilgili çalışmalarda pH, sıcaklık, C/N oranı, organik yükleme hızı (OLR), hidrolik bekletme süresi (HRT), besin aşırı oranı (S/I) gibi parametreler incelenmiştir [6]. Birçok araştırmacı, anaerobik parçalanma sürecini iyileştirmek için substrata uygulanan ön işlemler (termal, fiziksel, kimyasal ve biyolojik) üzerinde durmuştur [7]. Kullanılan atık malzemeye bağlı olarak, uygulanan ön işlemler biyogaz üretim miktarını arttırmaktadır. Ayrıca nanopartiküller, iz elementler, aktif karbon ya da zeolit ilavesi ile verim arttırmaya yönelik çalışmalar arasındadır [8]. Bu çalışmada, biyometanizasyon teknolojisinin iyileştirilmesi amacıyla yürütülen yeni nesil araştırmalar derlenmiştir.

Anaerobik arıtma teknolojisi, tüm dünyada organik atıkların enerji içeriği yüksek biyogaza dönüştürülmesinde yaygın olarak kullanılan biyokimyasal bir işlemdir. Bu teknolojiyle atık yönetimi, yenilenebilir enerji üretimi (biyometan), nütrient geri kazanımı (sıvı ya da katı gübre) ve sera gazı etkisinin azaltılması sağlanabilmektedir. Anaerobik arıtma teknolojisi çok iyi anlaşılmış bir proses olup proses kararlılığının iyileştirilmesi ve biyometan veriminin artırılması ile ilgili araştırmalar hala devam etmektedir. Son yıllarda bu konuda yapılan çalışmalar, iki ana başlıkta yer almaktadır. Birincisi atık ya da atıksuya yapılacak ön işlemlerle anaerobik arıtma teknolojisinin performansının iyileştirilmesi ile ilgilidir. Diğer baş-

lıkta ise anaerobik süreçlerde yapılan birtakım değişikliklerle performans artışının hedeflenmesidir.

Ön İşlemlerin Anaerobik Süreçlere Etkisi

Organik atıklardan biyogaz elde etme sürecinde hız belirleyici adımlar, hidroliz ve metanojenik aşamalardır. Kompleks atıkların dönüşümünde hidroliz aşaması hız belirleyici olurken, kolay parçalanabilen atıklarda metanojenik aktivite reaksiyon hızını belirler [9]. Organik atıkların bünyesindeki lignin ve lignoselüloz varlığı atıkların hidroliz bakterileri tarafından basit yapılara dönüşümünü zorlaştırır. Bu nedenle organik atığın karbonhidrat, protein, yağ ve lignin içeriği, biyodegradasyonu etkileyen önemli bir parametredir [10]. Eğer lignin ve lignoselüloz içeriği yüksek bir atık söz konusu ise hidroliz enzimleri görevini tam anlamıyla yerine getiremediği için hidroliz aşaması tamamlanamamaktadır [11]. Karmaşık yapıdaki organik maddelerin biyodegradasyonunda, çeşitli ön işlemler uygulayarak hidroliz aşamasının desteklenmesi ve metan üretiminin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir (Şekil 1). Uygulanacak ön işlemlerle, organik madde mikroorganizmaların parçalaması için uygun hale getirilmekte, enzim aktivitesi iyileşmekte ve daha basit yapılara dönüşümü sağlanmaktadır [4].



Şekil 1. Organik atıklara ön işlem uygulamaları [7].

Organik atıklardan biyometanizasyon sürecini iyileştirmek için uygulanan ön işlemleri; fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç ana grupta toplamak mümkündür. Bu işlemlerden hangisinin seçileceğine karar verirken, bazı toksik yan ürünlerin oluşumuna sebep olunmamalıdır [12]. Bazı durumlarda, toksik madde oluşumunu engellemek için birden fazla ön işlem yöntemi tercih edilebilir [13].

Fiziksel ön işlemler, herhangi bir kimyasal veya mikrobiyal bir uygulama içermektedir. Buradaki amaç; mikroorganizma ve substrat arasındaki teması iyileştirmek için substratı daha küçük parçalara ayırarak yüzey alanını arttırmaya yönelik işlemler uygulamaktır. Bu amaçla yapılan işlemler; mekanik, termal, ultrases veya mikrodalga iş-

lemlerini içermektedir. İzumi ve ark., substrat partikül çapını, parçalama işlemi ile 0,843 mm'den 0,391 mm'ye indirdiklerinde metan veriminin %28 arttığını rapor etmişlerdir [14]. Başka bir ön işle olan termal uygulamalarda ise substratın yapısındaki kimyasal bağlar ısı ile parçalanmakta ve çürütücüdeki sıvı faza geçmektedir. Tarımsal atıklara, 90 ve 120 °C aralığında ısı işlem uygulanarak metan verimi %60 oranında arttırılmıştır [15]. Son yıllarda ise bazı radyo frekans yoluyla ısı işlem uygulayan çalışmalara rastlanmaktadır [16]. Bir diğer uygulama ultrases (düşük frekanslı) kullanarak mikro baloncuklar oluşturularak substratın anaerobik süreçlere hazırlanmasıdır. Bu mikro baloncukların çevresindeki ısı ve basınç 5000 °K ve 500 bar seviyelerine ulaşabilir. Böylece substrat partikülleri çevresinde çok güçlü bir kavite alanı oluşur. Ayrıca bu alanda oluşan OH radikalleri sayesinde substrat biyodegradasyona hazır hale gelmektedir [17]. Tüm bu ön işlem uygulamalarının gerçek ölçekli tesislere uygulanabilmesi için fayda/maliyet projeksiyonları mutlaka yapılmalıdır.

Alkali ve asidik uygulamalar, kimyasal ön işlemler arasında en sık rastlanan uygulamalar arasında yer almaktadır. Asidik ve bazik uygulamalarla substratın karbonhidrat, protein, yağ ve lignoselüloz yapısı bozulur, yüzey alanı artar ve hidroliz enzimleri için kolayca parçalanacak forma dönüşürler. Asidik ön işlemler için HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, ve HNO₃, alkali ön işlemler için ise CaO, NaOH, ve KOH yaygın olarak kullanılan çözeltiler arasında yer almaktadır [17]. Bu uygulamalarda, ön işlem tamamlandıktan sonra substrat anaerobik reaktörlere verilmeden önce, pH kontrolü ve düzenlemesi göz ardı edilmemelidir. Ozonlama da kimyasal ön işlemler arasında yer almaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, 0,05 ile 0,5 g O₃/g TK aralığında ozon dozlaması önerilmektedir [12]. Fakat bu doz substat tipine bağlı olarak değişebileceğinden ön denemelerle belirlenmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Fiziksel ve kimyasal ön işlemlerden kaynaklanan ekonomik ve çevresel endişelerden dolayı, biyolojik ön işlemler daha cazip hale gelmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalarda aerobik ya da anaerobik ön işlemler olabileceği gibi enzim ilavesinin yapıldığı araştırmalara da rastlamak mümkündür. Son yıllarda yapılan bir çalışmada, 35 °C'de 48 saat boyunca 0.35 vvm (air volüme per liquid volume per minute) hava verilerek aerobik bir ön işlem uygulandığında, metan veriminin %29 arttığı 263 mL'den 340 mL CH₄/g UK değerlerine ulaştığı görülmüştür [18].

Enzimler, biyolojik reaksiyonların gerçekleşmesini sağlayan en önemli biyomoleküller arasında yer almaktadır. Enzim ilavesiyle anaerobik reaktörlerin performansını arttırmak için en sık kullanılan enzimler arasında lipaz, selülaz, amilaz, proteaz ve ksilanaz enzimleri bulunmaktadır [7]. Wang ve ark. (2018), lignoselülozik yapıdaki mısır koçanından biyogaz üretimi için yaptıkları çalışmada, 24 saat boyunca 60 g/ L enzim uygulamasıyla (ön işlem), kümülatif biyogazın %36,9 oranında arttığını gözlemlemişlerdir [19].

Nanomalzeme İlavesinin Anaerobik Süreçlere Etkisi

Son yıllarda, anaerobik reaktörlerde üretilen biyogaz ve biyometan üretim sürecinde iyileştirme sağlamak amacıyla birçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmalar farklı substratların birlikte biyometanizasyonu (co-digestion), ön işlem uygulamaları, reaktör tasarımlarının modifiye edilmesi, işletme koşullarının optimizasyonu ve mikrobiyal aktiviteyi iyileştirmek için çeşitli nanomalzeme ilavesi konularını içermektedir [20]. Nano boyutta malzeme ilavesi, anaerobik süreçleri olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum malzemenin özelliklerine, dozajına ve ortam koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Fakat nanomalzeme ilavesiyle gerçekleştirilebilecek olası bir verim artışı araştırmacıların bu konuya ilgi göstermesine neden olmaktadır.

Anaerobik süreçler; hidroliz, asidojenik, asetojenik ve metanojenik aşamalar olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bu süreçlerde fermentatif bakteriler ve metanojenler arasında simbiyotik bir ilişki oluşmaktadır [1]. Burada fermentatif bakteriler ve metanojenler arasında, türler arası elektron transferi (IET) olarak adlandırılan yolla enerji elde ederler. Bu reaksiyonlar sırasında mikroorganizmalar, elektron taşıyıcı olarak hidrojen ve format kullanırlar [21]. Bununla birlikte; mikroorganizmalar arasındaki transfer hücre dışı pili, nanoteller veya elektron taşıyıcı protein yapılar vasıtasıyla doğal olarak da gerçekleşebilmektedir (DIET). Son yıllarda yapılan çalışmalarda; elektriksel iletkenlik, yüksek yüzey alanı gibi özelliklere sahip bazı nanomalzemelerin anaerobik süreçlerde kullanımı araştırılmaktadır. Bu malzemeler, hücre dışı pili ya da mikrobiyal nanotellere ihtiyaç duymadan elektron transferini (DIET) gerçekleştirilmesini sağlamaktadır [22]. Bu amaçla karbon bazlı ya da karbon olmayan nanomalzemeler (demir, demirli bileşikler, kobalt, nikel, titanyum, çinko vs.) olmak üzere çok geniş bir yelpazede araştırılmaktadır [1].

Granüler aktif karbon (GAK), biyokömür, karbon kumaş, karbon nanotüpler (tek duvarlı-çok duvarlı), grafit ve grafen, biyometanizasyonda kullanılan karbon bazlı malzemeler arasında yer almaktadır [3]. Zhao ve ark., GAK’un biyometanizasyon üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 40 g/L GAK uygulaması ile metan üretimi kontrole kıyasla %59 artmıştır. Bu durumun fermentatif bakteriler ve metanojenler arasındaki elektron transferinin iyileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 0,8-2,4 mm aralığında çaplarda GAK uygulayarak yapılan bu çalışmada, yüzey alanındaki artışın DIET’i olumlu etkilediği ve metan üretiminin de arttığı vurgulanmaktadır [23].

Diğer karbon bazlı malzemelere kıyasla karbon kumaş, grafen ve grafen türevlerinin, anaerobik proseslerde daha az kullanıldığı görülmektedir. Grafit kullanılarak birtakım reaksiyonlarla tek tabakalı ve nano ölçekte bir yapıya sahip grafen elde edilmektedir. Grafen yüksek elektriksel ve termal iletkenliği ve mekanik dayanımının iyi olması nedeniyle biyometanizasyon verimini iyileştirmektedir. Grafen oksit (GO) ve indirgenmiş grafen oksit (rGO) kullanımı görece az araştırılmış fakat üstün özelliklerinden dolayı biyometan verimini artırma potansiyeline sahip yeni nesil nanomalzemeler arasındadır. Tian ve ark. (2017), anaerobik parçalanma süreci ile ilgili yaptıkları kısa ve uzun vadeli deneyler-

de, grafinin metanojen safhasındaki pozitif etkilerini açıkça gözlemlemişlerdir. 30-120 mg/L grafen uygulayarak yapılan bu çalışmada asetoklastik metanojenlerin desteklendiği, fakat yüksek konsantrasyonlarda grafen ilavesiyle sitotoksositeye bağlı olarak kısmi inhibisyon gerçekleştiği vurgulanmıştır [24].

Nanomalzemelerin partikül çapı, yüzey alanı ve çözünürlük gibi fizikokimyasal özellikleri nedeniyle ilgi odağı olmaktadır [25], [26]. Demir oksit nanopartikülleri süpermanyetik özellikleri, benzersiz iletkenliği ve yüksek yüzey alanı/hacim oranından dolayı araştırmacılar tarafından sıkça kullanılmaktadır. Kato ve ark. tarafından yapılan çalışmada, 20mM magnetit ilavesiyle metan üretim verimindeki %44 oranındaki artış ilk olarak rapor edilmiştir [27]. Bir başka çalışmada, magnetit uygulaması ile DIET reaksiyonlarının desteklenmesine bağlı olarak metan üretiminin üç kat arttığı vurgulanmıştır. Bu çalışmada magnetitin sadece elektriksel iletkenlik değil manyetik özelliğinin de etkisi olduğu ve bio-uyarım yolu ile DIET'in desteklendiği düşünülmektedir [28]. Demir oksit partiküllerinin biyometanizasyonda verimi arttırmasının potansiyel sebepleri şöyle sıralanabilir;

- Oksidasyon seviyesine bağlı olarak demir nanopartikülleri tarafından üretilen elektronlar, anaerobik süreçlerde yer alan kritik mikroorganizma gruplarının metabolik faaliyetlerini iyileştirmekte ve buna bağlı olarak üretimde artışa neden olduğu [20],
- Karbondioksitin metana dönüşümü sırasında, demir ilavesi elektron transferini iyileştirdiği ve metan üretiminde artışa neden olduğu [29].
- Ayrıca demir nanopartiküllerinin ilavesi metan üretiminde rol alan H_2 üretimini desteklemekte ve buna bağlı olarak metan artışına neden olduğu gözlemlenmiştir [30].

Tablo 1. Biyogaz-biyometan üretimi üzerinde çeşitli malzemenin etkisi.

Malzeme	Boyut	K*	Besin	Sıcaklık	Reaksiyon Süresi (gün)	Biyogaz-CH ₄ üretim etkisi	Ref.*
Fe ₃ O ₄	7nm	100 ppm	Atık çamur	37°C	60	%180 biyogaz ve %234 CH ₄ üretim artışı	[32]
Grafen	4-20 nm	1.0 g/L	Etanol	35 ± 1.0 °C	12	%25 CH ₄ üretim artışı	[33]
Karbon Fiber	7µm	1.6 m ² /L	Metanol	37 ± 1 °C	Ardışık kesikli	%49 CH ₄ üretim artışı	[34]
Grafen	2µm	30 mg/L	Etanol	37 ± 1 °C	5	%17 CH ₄ üretim artışı	[35]
ZVI	128 nm	10 mg/L	Atık çamur	37 ± 1 °C	30	%120 CH ₄ üretim artışı	[20]
nano-Al ₂ O ₃	30 nm	50mg/gTK	Atık çamur	37 ± 1 °C	30	%23,4 biyogaz üretim artışı	[36]
MnFe ₂ O ₄ -biyokömür modifiyesi	-	4,5g/L	Atık çamur	37 ± 1 °C	36	%55,86 CH ₄ üretim artışı	[37]
Nano-Co	2nm	1mg/L	Hayvan gübresi	37 ± 0,3 °C	50	%41,9 CH ₄ üretim artışı	[38]

*K; Konsantrasyon, Ref.; referans

Kobalt ve nikel metanojenik bakterilerin büyümesi için gerekli ve reaktör stabilitesinin sağlanmasında önemli rol alan iz elementler arasında yer almaktadır. Literatürde bu nanopartiküllerle ilgili birçok farklı konsantrasyonda yapılmış çalışma bulunmaktadır. 1 mg/L kobalt nanopartikülleri uygulandığında kontrole kıyasla %41,9 metan artışı gözlemlenmiştir. 2 mg/L kobalt uygulamasında ise metan üretiminde %12,7'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada nikel nanopartikül uygulandığında 2 mg/L konsantrasyonda %101'lik metan artışı, 10 mg/L ise toksisite gözlemlenmiş ve verim düşmüştür [31]. Dolayısıyla uygulanan nanopartikül çeşidi ve miktarına göre anaerobik biyokütlenin tepkisi değişmekte olup substrat türü, işletme koşulları (pH, sıcaklık, ORP, substrat/inokülüm oranı vs) verimi doğrudan etkilemektedir.

SONUÇ

Biyolojik ön işlemler diğer uygulamalara kıyasla enerji gerektirmeyen ve çevre dostu bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat biyolojik uygulamalar da bile biyokütlenin karıştırılması için minimum düzeyde bir enerji ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle gerçek ölçekli tesisler için ön işlem uygulaması belirlenirken ekonomik analiz yapılması göz ardı edilmemelidir. Destek malzemelerin eklenmesi lag fazlarının düşmesine sistem stabilitesinin artmasına ve biyogaz-biyometan üretimi üzerinde pozitif etkiler sergileyebilmektedir, bu etki üzerinde destek malzeme dozajı optimizasyon ve olası inhibisyonlardan kaçınmak adına önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ajay, C. M., Mohan, S., Dinesha, P., Rosen, M. A. 2020. "Review of impact of nanoparticle additives on anaerobic digestion and methane generation". *Fuel*, 277(May), 118234.
- [2] Abbas, Y., Yun, S., Wang, Z., Zhang, Y., Zhang, X., Wang, K. 2021. "Recent advances in bio-based carbon materials for anaerobic digestion: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(September 2020), 110378.
- [3] Muratçobanoğlu, H., Gökçek, Ö. B., Mert, R. A., Zan, R., Demirel, S. 2020. "Simultaneous synergistic effects of graphite addition and co-digestion of food waste and cow manure: Biogas production and microbial community". *Bioresource Technology*, 309, 123365.
- [4] Zhang, L., Loh, K. C., Zhang, J. 2019. "Enhanced biogas production from anaerobic digestion of solid organic wastes: Current status and prospects". *Bioresource Technology Reports*, 5(August 2018), 280-296.
- [5] Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G. 2015. "Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555.
- [6] Wang, P., Wang, H., Qiu, Y., Ren, L., Jiang, B. 2018. "Microbial characteristics in anaerobic digestion process of food waste for methane production-A review". *Bioresource Technology*, 248, 29-36.

- [7] Atelge, M. R., Atabani, A. E., Banu, J. R., Krisa, D., Kaya, M., Eskicioglu, C., ... Duman, F. 2020. "A critical review of pretreatment technologies to enhance anaerobic digestion and energy recovery". *Fuel*, 270, 117494.
- [8] Cheng, Q., Call, D. F. 2016. "Hardwiring microbes: Via direct interspecies electron transfer: Mechanisms and applications". *Environmental Science: Processes and Impacts*, 18(8), 968–980.
- [9] Zamri, M. F. M. A., Hasmady, S., Akhlar, A., Ideris, F., Shamsuddin, A. H., Mofijur, M., ... Mahlia, T. M. I. 2021. "A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137(May 2020), 110637.
- [10] Xing, B. S., Han, Y., Wang, X. C., Ma, J., Cao, S., Li, Q., ... Yuan, H. 2020. "Cow manure as additive to a DMBR for stable and high-rate digestion of food waste: Performance and microbial community". *Water Research*, 168, 115099.
- [11] Menzel, T., Neubauer, P., Junne, S. 2020. "Role of microbial hydrolysis in anaerobic digestion". *Energies*, 13(21).
- [12] Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F., Lens, P. N. L. 2014. "Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste". *Applied Energy*, 123, 143–156.
- [13] Singh, J., Suhag, M., Dhaka, A. 2015. "Augmented digestion of lignocellulose by steam explosion, acid and alkaline pretreatment methods: A review". *Carbohydrate Polymers*, 117, 624–631.
- [14] Izumi, K., Okishio, Y. ki, Nagao, N., Niwa, C., Yamamoto, S., Toda, T. 2010. "Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64(7), 601–608.
- [15] Menardo, S., Airoidi, G., Balsari, P. 2012. "The effect of particle size and thermal pre-treatment on the methane yield of four agricultural by-products". *Bioresource Technology*, 104, 708–714.
- [16] Pengyu, D., Lianhua, L., Feng, Z., Xiaoying, K., Yongming, S., Yi, Z. 2017. "Comparison of dry and wet milling pre-treatment methods for improving the anaerobic digestion performance of the Pennisetum hybrid". *RSC Advances*, 7(21), 12610–12619.
- [17] Zhen, G., Lu, X., Kato, H., Zhao, Y., Li, Y. Y. 2017. "Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69(September 2016), 559–577.
- [18] Huiliñir, C., Pinto-Villegas, P., Castillo, A., Montalvo, S., Guerrero, L. 2017. "Biochemical methane potential from sewage sludge: Effect of an aerobic pretreatment and fly ash addition as source of trace elements". *Waste Management*, 64, 140–148.
- [19] Wang, S., Li, F., Wu, D., Zhang, P., Wang, H., Tao, X., ... Nabi, M. 2018. "Enzyme Pretreatment Enhancing Biogas Yield from Corn Stover: Feasibility, Optimization, and Mechanism Analysis". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(38), 10026–10032.
- [20] Dehghani, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Kazemi Shariat Panahi, H., Nizami, A. S. 2019. "A state-of-the-art review on the application of nanomaterials for enhancing biogas production". *Journal of Environmental Management*, 25(September).

- [21] Park, J. H., Kang, H. J., Park, K. H., Park, H. D. 2018, Nisan 1. "Direct interspecies electron transfer via conductive materials: A perspective for anaerobic digestion applications". *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd.
- [22] Muratçobanoğlu, H., Gökçek, Ö. B., Demirel, S. 2019. "İletken malzemelerin katı organik atıklardan biyogaz üretimine etkisi". *ÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, 8(2), 712-720.
- [23] Zhao, Z., Zhang, Y., Yu, Q., Dang, Y., Li, Y., Qian, X. 2016. "Communities stimulated with ethanol to perform direct interspecies electron transfer for syntrophic metabolism of propionate and butyrate". *Water Research*, 102, 475-484.
- [24] Tian, T., Qiao, S., Li, X., Zhang, M., Zhou, J. 2017. "Nano-graphene induced positive effects on methanogenesis in anaerobic digestion". *Bioresource Technology*, 224, 41-47.
- [25] Dang, Y., Holmes, D. E., Zhao, Z., Woodard, T. L., Zhang, Y., Sun, D., ... Lovley, D. R. 2016. "Enhancing anaerobic digestion of complex organic waste with carbon-based conductive materials". *Bioresource Technology*, 220, 516-522.
- [26] Zhao, Z., Li, Y., Qian, X., Zhang, Y. 2017. "Towards engineering application: Potential mechanism for enhancing anaerobic digestion of complex organic waste with different types of conductive materials". *Water Research*, 115, 266-277.
- [27] Kato, S., Hashimoto, K., Watanabe, K. 2012. "Methanogenesis facilitated by electric syntrophy via (semi)conductive iron-oxide minerals". *Environmental Microbiology*, 14(7), 1646-1654.
- [28] Baek, G., Kim, J., Lee, C. 2016. "A long-term study on the effect of magnetite supplementation in continuous anaerobic digestion of dairy effluent - Enhancement in process performance and stability". *Bioresource Technology*, 222, 344-354.
- [29] Bonetto, R., Crisanti, F., Sartorel, A. 2020. "Carbon Dioxide Reduction Mediated by Iron Catalysts: Mechanism and Intermediates That Guide Selectivity". *ACS Omega*, 5(34), 21309-21319.
- [30] Suanon, F., Sun, Q., Li, M., Cai, X., Zhang, Y., Yan, Y., Yu, C. P. 2017. "Application of nanoscale zero valent iron and iron powder during sludge anaerobic digestion: Impact on methane yield and pharmaceutical and personal care products degradation". *Journal of Hazardous Materials*, 321, 47-53.
- [31] Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y. A., Abdel-Hadi, M. A., Hassan, H. E., Badr, Y. 2017. "Effects of Co and Ni nanoparticles on biogas and methane production from anaerobic digestion of slurry". *Energy Conversion and Management*, 141, 108-119.
- [32] Casals, E., Barrena, R., García, A., González, E., Delgado, L., Busquets-Fité, M., ... Puentes, V. 2014. "Programmed Iron Oxide Nanoparticles Disintegration in Anaerobic Digesters Boosts Biogas Production".
- [33] Lin, R., Cheng, J., Zhang, J., Zhou, J., Cen, K., Murphy, J. D. 2017. "Boosting biomethane yield and production rate with graphene: The potential of direct interspecies electron transfer in anaerobic digestion". *Bioresource Technology*, 239, 345-352.
- [34] Barua, S., Dhar, B. R. 2017, Kasım 1. "Advances towards understanding and engineering direct interspecies electron transfer in anaerobic digestion". *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd.

- [35] Lin, R., Cheng, J., Ding, L., Murphy, J. D. 2018. "Improved efficiency of anaerobic digestion through direct interspecies electron transfer at mesophilic and thermophilic temperature ranges". *Chemical Engineering Journal*, 350, 681-691.
- [36] Chen, Y., Yang, Z., Zhang, Y., Xiang, Y., Xu, R., Jia, M., ... Xiong, W. 2020. "Effects of different conductive nanomaterials on anaerobic digestion process and microbial community of sludge". *Bioresource Technology*, 304, 123016.
- [37] Zhang, J., Zhao, W., Zhang, H., Wang, Z., Fan, C., Zang, L. 2018. "Recent achievements in enhancing anaerobic digestion with carbon- based functional materials". *Bioresource Technology*, 266, 555-567.
- [38] Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y. A., Abdel-Hadi, M. A., Hassan, H. E., Badr, Y. 2016. "Comparison of nanoparticles effects on biogas and methane production from anaerobic digestion of cattle dung slurry". *Renewable Energy*, 87, 592-598.

ARITMA ÇAMURLARI VE EVSEL ATIKLARIN ANAEROBİK STABİLİZASYONUNDAN ENERJİ ELDESİ (METAN ÜRETİMİ)

Turgay Bişgin^a, Meltem Sarıoğlu Cebeci^b

^a Sivas Belediyesi Sıbeski M¼d¼rl¼đ¼

^b Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, M¼hendislik Fak¼ltesi, evre M¼hendisliđi B¼l¼m¼

ÖZET

Çevreye duyarlı ve s¼rd¼r¼lebilir bir enerji kaynağı olan atıklardan anaerobik ¼r¼tme yoluyla enerji ¼retimi son yıllarda gittikçe önem kazanmıştır. Özellikle biyolojik arıtma tesislerinin yaygın olarak aktif çamur prosesi olduğu d¼nyada ve ülkemizde atık aktif çamur ¼retimi miktarları artmıştır. G¼n¼m¼zde arıtma tesislerinin en önemli sorunu atık çamuru depolama ve bertarafıdır. Diğer yandan, organik maddece zengin çoğu atık aktif çamur önemli bir biyoyakıt kaynağıdır. Atık amur anaerobik ¼r¼tme ile oksijensiz ortamda metana ve karbondioksite yani biyogaza d¼n¼řt¼r¼lebilir. Bu teknoloji ile besince zengin ve y¼ksek KOI (kimyasal oksijen ihtiyacı) içeren atıkların birlikte ¼r¼t¼lmesi m¼mk¼nd¼r.

Bu çalışmanın amacı Sivas Atıksu Arıtma tesisi atık aktif amuru (AA) ve Sivas Cumhuriyet niversitesi yemekhanesinden temin edilen sebze atıklarının (SA) anaerobik birlikte parçalanmasının etkilerini araştırmaktır.

Kesikli deneyler mezofilik koşullar altında ($37\pm 1^\circ\text{C}$) ve yedi farklı SA/AA %100:%0, %10:%90, %30:%70, %50:%50, %70:%30, %90:%10, %0:%100 oranında ilave edilmiş ve metan ¼retim potansiyelleri standart BMP testi ile değerlendirilmiştir. Yalnız geri devir çamuru (0% sebze atığı) ve yalnız sebze atığı (100% sebze atığı) kontrol amacıyla kullanılmıştır. SA ve AA'nin optimum karışım oranı %90:%10 idi ve toplam metan verimi AA'un tek başına ¼r¼t¼lmesinden elde edilenden (100 mL/g VS) daha fazla olacak şekilde (181,18 mL/g VS) dir. Bu durum SA ve AA'un birlikte parçalanmasının metan ¼retim hızını artırdığını ve metan ¼retim s¼resini kısalttığını g¼sterdi.

Sonuç olarak, atıksu arıtma tesisinden çıkan çamurun karakterizasyonuna g¼re çamurun kurutulması ve değerlendirilmesi yanısıra organik atıklarla birlikte (sebze atığı) arıtma amurlarının entegre y¼netiminin sağlanması önerilmektedir. Bu amaçla laboratuvar ölçeğinde kurulan anaerobik proseste arıtma amurlarının farklı organik maddelerle karışımının metan gazı oluşumuna etkileri araştırılmış, sebze atığının eklenmesinin proses verimliliğini olumlu etkilediği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Arıtma amurları, biyogaz, organik atık, sebze atığı

ABSTRACT

Energy production by anaerobic digestion from waste, which is an environmentally friendly and sustainable energy source, has gained increasing importance in recent years. The amount of waste activated sludge production has increased, especially in the world and in our country, where biological treatment plants are widely used as activated sludge processes. Today, the most important problem of treatment plants is waste sludge storage and disposal. On the other hand, most waste activated sludge rich in organic matter is an important source of biofuels. Waste sludge can be converted into methane and carbon dioxide, that is, biogas, in an anaerobic digestion in an anaerobic environment. With this technology, it is possible to decompose the nutrient-rich and high COD (chemical oxygen demand) wastes together.

The aim of this study is to investigate the effects of anaerobic decomposition of waste activated sludge (AAC) of Sivas Wastewater Treatment Plant and vegetable waste (SA) obtained from Sivas Cumhuriyet University cafeteria.

Batch experiments under mesophilic conditions ($37\pm 1^\circ\text{C}$) and seven different SA/AACs 100%:0, 10%:90%, 30%:70%, 50%:50%, 70%:30%, 90% :10%, 0%:100% were added and methane production potentials were evaluated by standard BMP test. Only recycling sludge (0% vegetable waste) and only vegetable waste (100% vegetable waste) were used for control purposes. The optimum mixing ratio of SA and ALC was 90%:10%, with a total methane yield (181.18 mL/g VS) greater than that obtained from the digestion of LAW alone (100 mL/g VS). This showed that the co-decomposition of SA and ALC increased the methane production rate and shortened the methane production time.

As a result, it is recommended to provide integrated management of treatment sludge together with organic wastes (vegetable waste) as well as drying and evaluating the sludge according to the characterization of the sludge from the wastewater treatment plant. For this purpose, the effects of mixing the treatment sludge with different organic substances on the methane gas formation in the anaerobic process established at the laboratory scale were investigated, and it was found that the addition of vegetable waste had a positive effect on the process efficiency.

Keywords: Renewable energy, Sewage sludge, biogas, organic waste, vegetable waste

GİRİŞ

Gerek evsel gerekse endüstriyel nitelikli atıksu arıtma tesislerinden ve içme suyu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları oldukça fazla miktarlarda olup, bertarafı başlı başına sorun olmaktadır. Katı atıklar içerisinde yaralan organik atıkların evsel ve/veya kentsel nitelikli arıtma çamurları ile karıştırılarak farklı amaçlarla (kompostlaştırma, anaerobik çürütme vb) değerlendirilmesi entegre atık yönetimi açısından önemlidir. Entegre atık yönetimi (EAY) uygulamaları; düzenli depolama, yakma, kompost (gübre desteği), enerji eldesi ve denize deşarjdır [1].

Organik atıkların anaerobik parçalanabilirliğini geliştirmek için sunulan seçeneklerden biri, farklı türden organik atıkların birlikte anaerobik olarak parçalanmasıdır (co-digestion) . Bu yöntemde, esas substrat (hayvan atıkları veya arıtma çamuru) bir veya daha fazla substrat ile karıştırılmaktadır. Yani, ikincil bir substrat kullanılarak ortamda eksik olan nütrient gereksinimi sağlanmakta ve biyogaz verimi arttırılmaktadır [2]. Son yıllara kadar anaerobik arıtmada örneğin; hayvan gübresinden enerji üretimi, arıtma çamurlarının stabilizasyonu ve endüstriyel nitelikli askıda katı madde içeren veya içermeyen atıksuların nihai arıtımından önce anaerobik arıtma kullanılması şeklinde tek bir organik substratın parçalanması şeklinde idi. Günümüzde ve son yıllarda anaerobik arıtmanın kısıtları ve olanaklarının daha iyi bilinmesi nedeniyle farklı türden atıkların birlikte parçalanma prosesi gelişen bir teknoloji haline gelmiştir [3]. Ancak; birlikte parçalanma prosesinin uygulanacağı uygulamalarda kullanılacak olan atıkların ve bu atıklara ait uygun karışım oranlarının bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır [4].

Anaerobik çürütme (AD) , kentsel aktif çamur (Coelho et al., 2011) , endüstriyel organik atık (Alkaya ve Demirer, 2011) , kentsel atığın içinde bulunan besin ve organik kısım (Zhang ve Banks,2012) , selüloz ve kağıt tortusu (Saha et al., 2011) ve hayvan dışkısı (Liang et al., 2008) gibi farklı organik atıkların metanca zengin biyogaza dönüştürülmesi için çalışılmaktadır. Bu teknoloji gömme, yakma, gübre haline dönüştürme (kompostlaştırma) vb. gibi diğer bertaraf yöntemleriyle kıyaslandığında yüksek dayanımlı organik atıkların kontrol altında tutulması için çevre dostu ve enerji tasarrufu sağlayan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Lin et al., 2012) . Biyogaz üretiminin yanında, çürütücüde kalıntı malzemenin (dijestat) daha kokusuz olduğu ve organik dayanıklılığının daha düşük olduğu rapor edildi (Moody et al., 2009) . AD'nin diğer faydaları arasında patojenlerde azalma, gübre olarak kullanılan kurutulmuş dijestatın besleyici karakteristiğinde artış ve çürümeden kaynaklı kontrolsüz metan ve karbondioksit salınımlarını engelleyecek şekilde topraktan organik atığı ayırması sebebiyle sera gazı salınımlarında azalma vardır (Xie et al., 2011) . Birlikte çürütme farklı atık türlerinin tek bir tesiste çürütülmesiyle alan ve ekipman anlamında daha yüksek verim sağlar (Alatrisme-Mondragon et al., 2006) . Bu bakımdan Lin et al., (2012) selüloz ve kağıt tortusu ve besin atığını kesikli anaerobik birlikte çürütülmesini farklı atık karışımı oranlarında incelendi (Lin et al., 2012) ve birlikte co substratlı çürüme yüksek biyogaz üretim hızı ve salınımını sağladı (Estevez et al., 2012) .

2002 yılında Almanya’da yaklaşık 2000 adet biyogaz tesisinin bulunduğu ve bu tesislerin birçoğunda birden fazla atık materyalin karıştırılarak kullanıldığı belirlenmiştir. Almanya dışında Danimarka, İtalya, İsviçre, İspanya ve İngiltere gibi birçok Avrupa ülkesi de bu teknolojiyi benimsemiştir [4].

Literatürde atıkların biyolojik olarak parçalanabilirliği ve anaerobik arıtma sonucu oluşan biyogaz verimliliğini arttırmak amacıyla birlikte parçalanma yönteminin uygulandığı birçok çalışma mevcuttur. Bununla birlikte, anaerobik parçalanma prosesindeki atık materyallerden bir veya daha fazlasının lignoselüloz içerikli olması durumunda, bu atıkların biyolojik parçalanabilirliğinin geliştirilmesi için ön arıtım işleminin uygulanması gerekli olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Merkezi Kafeterya Yemekhanesinden elde edilen sebze atıkları ile Sivas Belediyesinin Atık Su arıtma çamurlarının anaerobik parçalanabilirliğinin geliştirerek biyogaz üretimini arttırmak için arıtma çamurları ve sebze atıkları yedi farklı SA/GDÇ oranında, %100: %0, % 10: % 90, % 30: % 70, % 50: % 50, % 70: % 30, % 90: % 10, % 0: % 100 ilave edilmiş ve metan üretim potansiyelleri standart BMP testi ile değerlendirilmiştir.

Materyal Metot

Materyal

Atık su arıtma tesisi çamurunun (AAÇ) birincil substrat olarak kullanıldığı birlikte anaerobik parçalanmada kentsel organik atıkların (C.Ü Merkezi Kafeterya Yemekhane Sebze Atıkları (SA) ek substratlar olarak kullanımının uygunluğu incelendi. Laboratuvar ölçeğinde 500 ml'lik serum şişelerinde kesikli anaerobik çalışmalarda SA ve AAÇ ile birlikte aşı çamuru olarak Pakmaya endüstrisi anaerobik çürütücüsünden temin edilen çamur kullanılmış ve anaerobik parçalanmada kullanılan substart oranlarının biyogaz üretimini ve KOl giderimi üzerine etkisi araştırıldı.

Yöntem

Deneyler 300 ml'si substratla doldurulmuş 500ml'lik serum şişeleri kullanılarak yapıldı. Substrat konsantrasyonu sırasıyla her şişe için SA/AAÇ %100: %0, % 10: % 90, % 30: % 70, % 50: % 50, % 70: % 30, % 90: % 10, % 0: % 100 oranlarında besin atığı içerecek şekilde 5 g-VS/l'dir. Yalnız atık aktif çamur (0% besin atığı) ve yalnız besin atığı (100% besin atığı) kontrol amacıyla kullanıldı. Kesikli deneyler her besin atığı oranı için iki defa yapıldı. Tüm şişeler 10 dakika boyunca nitrojen kullanılarak arındırıldı ve daha sonra lastik tıplarla kapatıldı. Şişeler Şekil 1'de dönüş hızı 150 rpm ve 37°C'deki sıcaklık kontrollü çalkalamalı inkübatöre konuldu. Üretilen biyogazın miktarı periyodik olarak ölçüldü.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yemekhanesinden alınan yemekhane sebze atıkları kendi içinde ayrılarak ayrı ayrı etüvlerde her biri 4 gün boyunca (96 saat) 103°C de kurutuldu. Kurutulan sebze kabukları daha sonra Cumhuriyet üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan halkalı döner bilyeli öğütücüde en küçük boy olan 10 mikron boyutunda öğütülerek toz haline getirilmiştir. Daha sonra ayrı ayrı ağız kapaklı plastik numune kaplarında oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan sebze atıklarının sınıflandırılması ve kurutulmasının görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.

Kesikli anaerobik deneylerde, 500 ml cam serum şişelerinin ağız sıkıca kapatılarak deneyler 37°C'de çalışan inkübatörde gerçekleştirilmiştir. Her bir serum şişesi çamur konsantrasyonu 5000 mg/l MLVSS sağlanacak şekilde hesaplanan anaerobik çamur miktarı eklenerek hazırlanmıştır. İzmit pakmaya endüstrisinden getirilen çamur şişelere eklendikten sonra, karbon kaynağı olarak AAÇ ve SA belli oranlarda ilave edilmiş ve gerekli Vanderbilt mineral ortam makro ve mikro besin maddeleri için şişelere verilmiştir. Tüm kesikli çalışmalarda kullanılan mineral ortamın inorganik kompozisyonu mg/l olarak ve-

rilmiştir [5]. pH; 4000 mg/l NaHCO₃ eklenerek sabit tutulmuştur. Deneyler, sıcaklık kontrollü olan çalkalamalı inkübatörde 37 °C’de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan sıcaklık kontrollü Çalkalamalı İnkübatörün görünüşü



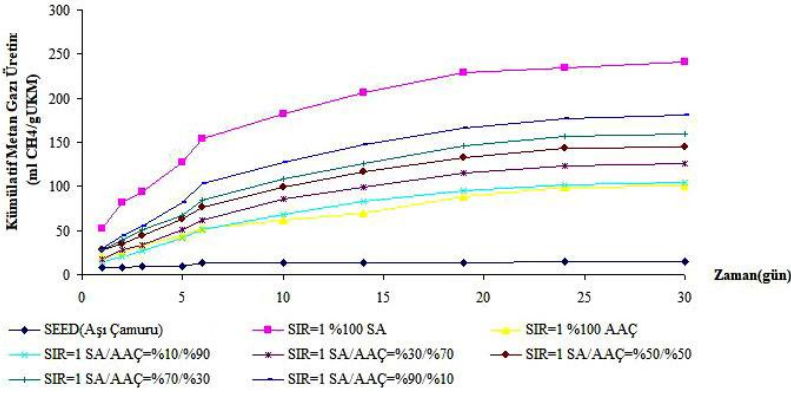
Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan sebze atıklarının sınıflandırılması ve kurutulmasının görünüşü

SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Şekil 3’de zamanla arıtma çamuru, aşı çamuru ve sebze atığının tekli olarak ve karışımlarına ait normalize edilmiş ortalama kümülatif metan miktarları görülmektedir. Arıtma çamuru içindeki organik karbonun daha düşük, özellikle aşı ve sebze atığının organik maddece daha zengin olduğu bu nedenle de karışımlarda sebze artığı arttıkça KOI giderimi ile birlikte biyogaz üretimi artmıştır. Literatürde farklı çalışmalarda cosubstratın biyogaz üretim potansiyelinin arttırdığı görülmüştür [3], [4].

100:0, 10:90, 30:70, 50:50, 70:30, 90:10 ve 0:100 (SA:AAÇ) oranlarında karıştırılan numunelerin normalize edilmiş ortalama kümülatif metan miktarları ise Şekil 3’te sunulmuştur. Şekilden görüleceği üzere, SIR (Substrat/Aşı) oranı 1 olduğunda 240,58 mLCH₄/gUKM değeriyle en yüksek metan miktarı sebze atıklarından ve 100 mLCH₄/gUKM değeriyle en düşük metan miktarı atık aktif çamurdan elde edilmiştir. Sebze atıkları metan üretim potansiyelinin atık aktif çamurun metan üretim potansiyelinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Atık aktif çamura ilave edilen sebze atığı miktarı arttıkça elde edilen metan miktarı da artış göstermiştir.

Misi ve Foster (2001) , Kim vd. (2003) , Heo vd. (2003) , Dumlu (2011) ve Komatsu vd. (2007) arıtma çamurundan üretilen metan miktarını sırasıyla 130, 116, 165, 149,95 ve 253 mLCH₄/gUKM olarak bulmuşlardır [6].



Şekil 3. SIR (Substrat/aşı) oranı =1 ve farklı SA/AAÇ değerlerinde kümülatif metan gazının (ml CH₄/gUKM)'nin zamanla değişimi.

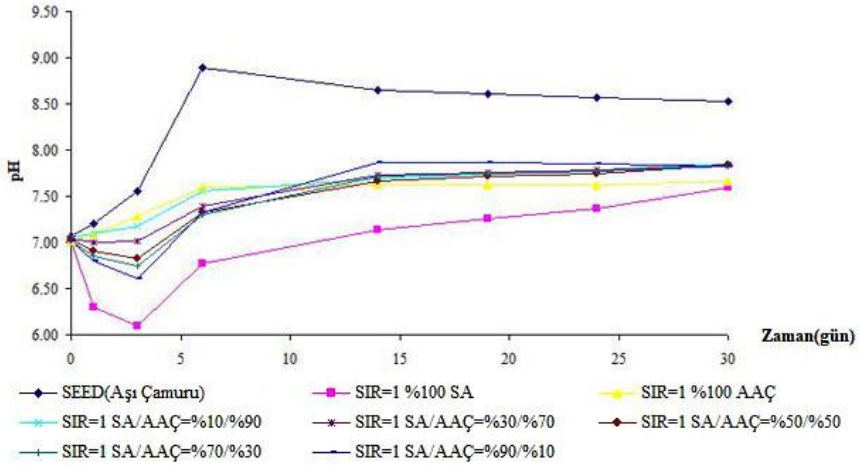
Mottet vd. (2010) beş farklı atık aktif çamur numunesinin termofilik koşullarda BMP değerini 206 – 427 mLCH₄/gUKM aralığında bulmuştur. Mottet vd. (2010), makroskopik (çözünmüş organik karbon ve KOİ/TOK oranı) ve biyokimyasal (karbonhidrat, protein ve yağ miktarı) karakterizasyonun çamur yapısı hakkında bilgi sağladığını ve anaerobik çürütülebilirlik tahmininde bu parametrelerin önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir.

Kim vd. (2003) arıtma çamuruna ağırlıkça %20, 50 ve 80 oranlarında mutfak atığı ilave etmiş ve atık karışım numunelerinin metan üretimini değerlendirmiştir [6]. Arıtma çamuruna ilave edilen mutfak atığının miktarı arttıkça üretilen metan miktarının arttığı tespit edilmiştir. Sadece arıtma çamurundan 116 mLCH₄/gUKM elde edilirken, arıtma çamuruna %20, 50 ve 80 oranında ilave edilen mutfak atıkları ile oluşturulan karışım numunelerinden sırasıyla 157, 215 ve 257 mLCH₄/gUKM üretilmiştir.

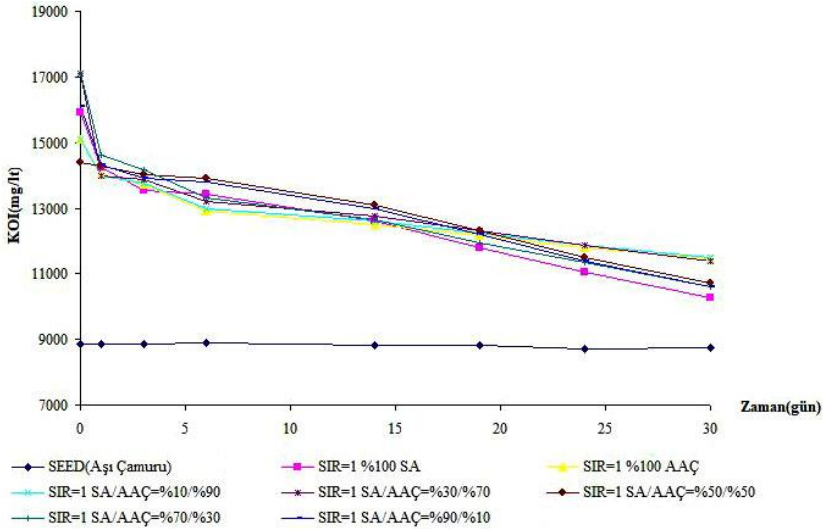
Callaghan vd. (2002), Kim vd. (2003) ve Anhuradha vd. (2007) çalışmaları ile uyumlu olarak bu çalışmada da arıtma çamuruna sebze atıklarının ilave edilmesiyle üretilen metan miktarı artmıştır [6].

Sivas Belediyesi AAT'den alınan arıtma çamuru BMP değeri Misi ve Foster (2001), Kim vd. (2003) ve Heo vd. (2003) tarafından bulunan değerlere yakın olmasına rağmen, Mottet vd (2010) tarafından tespit edilen aralığın altındadır [6]. BMP sonuçlarındaki farklılığın arıtma çamuru karakterlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

pH değerinin zamanla değişimi farklı SIR (substrat/aşı) ve farklı SA/AAÇ koşullarında Şekil 4 'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi SIR (Substrat/aşı) oranı ve SA/AAÇ değerleri değişmesine rağmen pH 7,6-7,9 aralığındadır. Bu pH aralığı anaerobik artım için uygun pH aralığıdır. Benzer olarak anaerobik çürütücüde ayçiçeği küspesi (sunflower oil cake) ile yapılan kesikli çalışmada 0.33, 0.5, 0.66, 1, 1.25 ve 2 substrat/aşı (SIR) oranlarında pH 7.1 ile 7.6 arasında değişmektedir (Raposo vd. 2009).

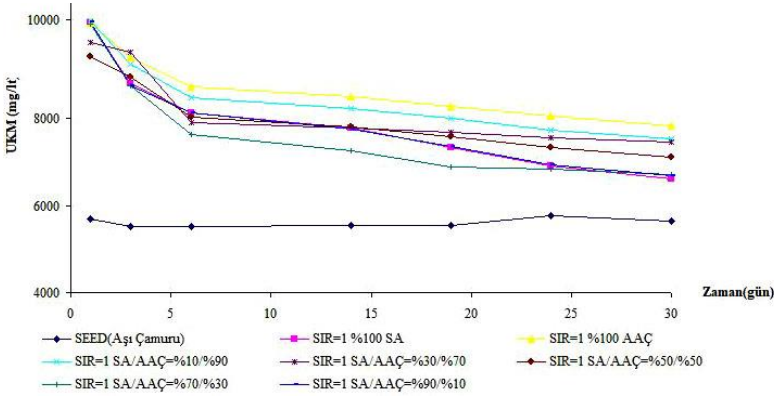


Şekil 4. SIR (Substrat/aşı) oranı =1 ve farklı SA/AAÇ değerlerinde pH'in zamanla değişimi.



Şekil 5. SIR (Substrat/aşı) oranı =1 ve farklı SA/AAÇ değerlerinde KOİ (mg/l)'nin zamanla değişimi.

Şekil 5'te KOİ gideriminin zamanla değişimi görülmektedir. SIR oranı 1 olduğunda SA/AAÇ oranı arttıkça KOİ giderimi artmaktadır. Atık aktif çamurun düşük C/N oranından dolayı, diğer organik maddeler, genellikle ek substratlar olarak kullanılmak ve biogaz üretimini arttırmak amacıyla besin dengesini düzenlemek için atık aktif çamura eklenmişlerdir. Şu ana kadar atık aktif çamurundaki C/N oranını ayarlamak için kullanılan ek substratlar; et ürünleri işleme (Luste and Luostarinen, 2010), manyok suyu (Wang vd. 2011), sızıntı suyu (Montusiewicz and Lebioccka, 2011) ve besin atığı (Siddiqui vd. 2011) vb.dir. Bu yüzden substrat konsantrasyonunda sebze atığı oranını arttırdıkça giderim artmaktadır. Bu da sebze atığının yüksek organik madde içeriğine sahip olmasından dolayıdır. En iyi KOİ giderimi değeri SIR oranı 1 ve SA/AAÇ oranı %70/%30'da elde edilmiştir ve KOİ giderme verimi %73'tür.



Şekil 6. SIR (Substrat/aşır) oranı =1 ve farklı SA/AAÇ değerlerinde UKM (mg/l)'nin zamanla değişimi.

Sebze atıkları (SA) ve atık aktif çamurun (AAÇ) birlikte çürütülmesinin kesikli çalışmalarda UKM giderimi süresince SIR=1 ve SA/AAÇ oranı %90/%10 olan 9 nolu karışım oranı için UKM giderim verimi %74 olarak tespit edilmiştir.

Kallaum Slimane vd. (2014) , 3 farklı aşır/substart oranlarında (1, 0,5 ve 0,3) mezbaaha atıklarının kesikli olarak anaerobik arıtılabilirliklerini araştırmışlar, 47 gün çürütmenin sonunda kümülatif biyogaz üretimi 1, 0,5 ve 0,3 aşır/substrat oranlarında sırasıyla 504, 856 ve 864 mL olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada pH 6.5-7.6 arasında değişmiştir.

Kafle ve Kim (2013) , domuz gübresi ile elma atıklarının kesikli olarak anaerobik arıtımında 510 mL/gTKOİ kümülatif biyogaz verimi elde etmişlerdir.

Arıtma çamuru içindeki organik karbonun daha düşük, özellikle aşır ve sebze atığının organik maddece daha zengin olduğu bu nedenle de karışımlarda sebze atığı arttıkça KOİ giderimi ile birlikte biyogaz üretimi artmıştır. Literatürde farklı çalışmalarda cosubstratın biyogaz üretim potansiyelinin arttırdığı görülmüştür [3], [4].

SONUÇ

Sonuç olarak, atıksu arıtma tesisinden çıkan çamurun karakterizasyonuna göre çamurun kurutulması ve değerlendirilmesi yanısıra organik atıklarla birlikte (sebze atığı) arıtma çamurlarının entegre yönetiminin sağlanması önerilmektedir. Arıtma çamuru ve yemekhane sebze atıklarının birlikte anaerobik parçalanabilirliğinde, arıtma çamuruna eklenen sebze atığının karışımdaki miktarının artırılmasıyla KOİ giderim verimi, UKM giderim verimi, metan üretiminin arttığı belirlenmiştir. Karışım numuneleri arasında en yüksek kümülatif metan gazı üretimi 181,18 mLCH₄/gVS değeri ile SA/AAÇ %90:10 karışım oranından elde edilmiştir.

Atık su arıtma tesislerinde biyogaz üretim ünitelerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Biyogaz üretimi yenilenebilir enerji statüsündedir. Ülkemiz enerji üretimi açısından ürettiği enerjinin yaklaşık 3 katını tüketen bir ülkedir. Bu nedenle dışa bağımlı bir ülke haline gelmiştir. Bu nedenle özellikle ülke olarak yenilenebilir statüde enerji kaynakları aramamız ve bunun yanında bu kaynaklara verilecek önemi artırmamız gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B.K., Codigestion of manure and organic waste in centralized biogas plant. *Appl. Biochem. Biotechnol*, 2003; 109, 95-105. Doi: <https://doi.org/10.1385/ABAB:109:1-3:95>.
- [2] Mata-Alvarez, J., Llabres, S.M.P. 2000. Anaerobic co-digestion of solid wastes. An overview of research achievements and perspectives, *Bioresource Technology*, 74, 3-16.
- [3] Öztürk, İ., 2017. Arıtma çamurlarının yalnız veya organik atıklarla birlikte çürütülmesi, *Atıktan Enerji Üretimi Sempozyumu*, sözlü sunum, İstanbul.
- [4] Braun, R., Wellinger, A., 2005. Potential of Co-Digestion. *Task 37-Energy from biogas and land-fill gas*, IEA Task Group, T.37.
- [5] Speece, R., 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater*, Nashville, Tennessee.
- [6] Kim, H.W., Han, S.K., Shin, H.S., 2003. The optimisation of food waste addition as a co-substrate in anaerobic digestion of sewage sludge, *Waste Manage. Res*, 21, 515-526.
- [7] APHA-AWWA., 1989. *İleri methods for water and wastewater*. 17th ed. Amer. Publ. Hlth Assoc/American Water Works Assoc, Washington, DC, USA.
- [8] İleri, R., 2000. *Çevre Biyoteknolojisi*. Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Adapazarı. s.s 661.
- [9] Llabres-Luengo, P., Mata-Alvarez, J., 1987. Kinetic study of the anaerobic digestion of straw-pig manure mixture, *Biomass*, 14, 129-142.
- [10] Owens, J.M., Chynoweth, D.P., 1993. Biochemical methane potential of municipal solid waste components, *Water Science & Technology*, 27, 1-14.
- [11] Sanchez, E., Borja, R., Weiland, P., Travieso, L., Martin, A., 2000. Effect of temperature and pH on the kinetics of methane production, organic nitrogen and phosphorus removal in the batch anaerobic digestion process of cattle manure, *Bioprocess Eng*, 22, 247-252.

BÖLÜM 6

YENİ NESİL AKILLI, ELEKTRİKLİ SİSTEMLER

AKILLI ŞEBEKE HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE KATKILARI

Zeynep Hasırcı Tuğcu^a

^a Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakóltesi, Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Enerji yaŐamın devam ettirilebilmesi için zorunlu bir ihtiyaçtır. Gerek sosyal gerekse ekonomik geliŐimlerin etkisiyle enerjiye duyulan talep her geÇen gün artmakta ancak faydalanılacak enerji kaynaklarına ilişkin kısıtlar ehemmiyetini korumaktadır. Bu sebeple, dünya ölkeleri hem enerji kısıtları ve ihtiyacı karŐılayamamak gibi oldukça önemli bir sorunla karşı karşıya kalmakta hem de enerjiyi dışarıdan alma maliyeti gibi ciddi bir ekonomik giderle yüzleŐmek zorunda kalmaktadır. Çağın gerektirdiği ve istenilen bir gelişme olan ekonomik büyüme de enerjiye duyulan gereksinimi her geÇen gün arttırmaktadır. Bu da mevcut kaynaklardan elde edilen enerjinin en uygun ve verimle Şekilde kullanılması gereğini ortaya ıkarmaktadır. Ancak sürdürülebilir kalkınma olgusu ile birlikte ekonomik büyümenin ölkelerin tek önceliği olamayacağı, bunun yanısıra çevre ve sosyal etkilerin kalkınma hamlelerinde dikkate alınması gereken hususlar olduğu kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebekeler, Enerji Verimliliği, Haberleşme

ABSTRACT

Energy is a necessity for the continuation of life. With the effect of both social and economic developments, the demand for energy is increasing day by day, but the constraints on the energy resources to be utilized remain important. For this reason, the countries of the world are faced with a very important problem such as energy constraints and inability to meet the needs, and they have to face a serious economic expense such as the cost of importing energy. Economic growth, which is a required and desired development of the age, increases the need for energy day by day. This reveals the necessity of using the energy obtained from existing sources in the most appropriate and efficient way. However, with the concept of sustainable development, it has been concluded that economic growth cannot be the only priority of countries, and that environmental and social impacts are issues that should be taken into account in development moves.

Keywords: Smart Grids, Energy Efficiency, Communication

GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan küresel ekonomik krizlerin ardından, ekonomik büyümelerin devamı için özellikle çevreyle dost ürün, hizmet ve teknolojilerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. İlaveten, küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevresel etkileri, enerji kaynaklarının kullanımında verimlilik husuları ülkelerin öncelikli gündemlerini oluşturmaya başlamış, hem sosyal hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir ekonomik büyüme modelinin uygulanmasını temel alan yeşil büyüme olgusu ortaya çıkmıştır. Buradaki ana vurgu çevreyle ilgili kısıtların fırsata dönüştürülmesi hedefini çevre dostu yeni teknoloji, ürün ve hizmetlerle desteklemektir.

Yeşil büyüme ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin destekleyicisi olan yeni teknoloji, ürün ve hizmetlerin var edilmesi sürecinde hem kendi ekseninde hem de hayatın hemen her alanına etki ederek gelişim gösteren diğer bir kavram bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT) dir. Bilgi ve iletişim teknolojileri, çevreden tarıma, ulaştırmadan enerjiye, inşattan imalata kadar çeşitli sektörlerdeki iş yapma usullerine ve alışkanlıklarına yeni bir süreç işleyişi getirmiş; hem mevcut sorunların daha etkin bir şekilde çözülmesinde hem de ortaya çıkan /çıkması öngörülen ihtiyaçların karşılanmasında önemli bir yardımcı olarak sahnedeki yerini almıştır [1].

Enerjiye olan talebin karşılanmasıyla ilgili kısıtlar sebebiyle enerjinin mümkün olan en etkin şekilde kullanılması bir seçenek değil zorunluluk olmakta ve enerji verimliliği kavramını öncelikli hale getirmektedir. Enerji verimliliği, teknoloji, ürün ve hizmetlerin aksamadan sağlanması için harcanacak olan enerji miktarını azaltma hedefidir. Enerji verimliliği teknolojideki gelişmelere paralel olarak iyileştirilen ürün ve hizmetlerle sağlanabileceği gibi uyumlanan toplum dinamikleri, yeniyi adapte olan insan alışkanlıkları ve optimizasyonu hedefleyen organizasyon stratejileriyle de sağacaktır. Tüm bunlar da bilgi ve iletişim teknolojilerinin sadece enerji verimliliğinin doğrudan ilişkili olduğu enerji alanı yanında diğer sektörlerde de yerini almasıyla mümkün olabilecektir. Endüstri, sanayi, ulaşım, yaşam alanları (bina, konut, vb.), üretim/iletim gibi enerji tüketiminin fazlaca olduğu sektörlerde bilgi ve iletişim teknolojilerinin günceli yorumlayarak ve yaygın bir şekilde kullanılmasıyla birlikte akıllı sistemler kavramı hayatımıza girmiş; akıllı ulaşım, akıllı üretim, akıllı bina, akıllı elektrik şebekesi gibi yeni formlar kazanmıştır.

Akıllı Şebekeye Geçiş

Elektriğin ticari olarak kullanımı 1870'li yılların sonunda aydınlatma ile başlamıştır. Önceleri sadece elektriğin üretildiği yere yakın belirli alanlara hizmet veren bu sınırlı alandaki sistemler, tüketime olan talebin artması ve elektriğin daha uzak mesafelere iletilmesi ihtiyacını doğurması ile birlikte elektrik iletim/dağıtım sistemlerinin kurulmasına sebep olmuştur. İlerleyen yıllarda tüketicilere daha kaliteli bir elektrik enerjisi sağlamak için elektrik şebekeleri birleştirilerek merkezi yapıdaki enterkonnekte elektrik şebekeleri oluşturulmuştur. Bu gün baktığımızda, mevcut elektrik şebekelerinin yapısının önceleri işletmeye alınan şebekelerin geleneksel yapısı ile çok da farklı değildir.

Değişen ve gelişen teknolojilerin mevcut şebekedeki bu geleneksel yapıya entegre edilmesi ve fonksiyonel esnekliğin arttırılmasına dayanan bir takım değişiklikler, günümüz ihtiyaçlarına çok daha iyi bir karşılık verebilecektir. Bu değişim ile yeni çehresine kavuşacak olan şebeke, son kullanıcıların (tüketici-üretici) değişen elektrik taleplerini karşılamak amacıyla, elektriğin üretiminden son tüketicilere ulaştırılmasına kadar olan süreçte izlenmesi ve yönetilmesi için bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanan bir elektrik ağı olup Akıllı Şebeke olarak adlandırılmaktadır. Akıllı elektrik şebekelerine ilişkin altyapının oluşturulmasında bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızla artan gelişmeler ile elektrik piyasasındaki serbestleşmeye yönelik adımlar rol oynamaktadır. Şebekenin akıllı hale gelmesini gerekli kılan yani mevcut güç sisteminin yapısından kaynaklanan bir takım kronik zorluklar mevcuttur. Bunlar yaşanan ve yıpranan altyapı, elektrik talebinin artışındaki sürekliliğe cevap verememe, farklı çeşitlerde ve artan sayıda yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrikli araçların şebekeye entegrasyonundaki yetersizlikler, arz güvenliği arttırma ve karbon emisyonlarını azaltma ihtiyacı olarak sıralanabilir. Mevcut yapının eksik kaldığı bu noktalara ilaveten elektrik talebinin yarının dünyasında daha da çok artacağı tahmin edilmesi, küresel ısınmanın dünya ekolojisinde ciddi ve kalıcı hasara yol açmaya başlamış olması, elektrik üretiminin önemli bir karbon emisyonu kaynağı olması, elektriğin yükselen birim maliyet trendi, güç sisteminin güvenilirliğinin arttırılıp çok büyük kesintileri önleme ihtiyacı, yük faktörlerini iyileştirip sistem kayıplarını azaltarak verimliliği arttırma gereği, rekabet ortamında müşteri memnuniyetinin arttırılması gereği ve elbette bilgisayar ve haberleşme teknolojisindeki çok sektörlü gelişmeler akıllı şebekeye geçişin bir nevi lokomotifleri olmuşlardır [2].

Akıllı şebeke konseptiyle birlikte geleneksel şebekede bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılarak, tüketiciyi hedef edinip motive eden, sürekli öz-değerlendirmeler ile şebeke bileşenleri veya ağı bölümlerini onaran, üretim kaynakları, iletim hatları, transformatörler, dağıtım hatları, sensörler, koruma ekipmanları vb. elektrik sisteminin “varlık” larını optimize edip verimli çalışan, şebekedeki fiziksel veya siber saldırılara karşı engel olup kamu güvenliğini arttıran, tüm enerji üretme ve depolama seçeneklerine uygun, güç kalitesini arttıran ve piyasaları etkinleştirip yeni pazar imkanları sağlayan yeni bir amaç kazanacak ve modern güç şebekesi formuna kavuşacaktır.

Akıllı Şebeke Haberleşme Standartları

Güç sistemi altyapısı çok karmaşıktır ve enerji santralleri, trafo merkezleri, elektrik iletim-dağıtım hatları ve farklı işlevdeki cihazlar gibi hem çok sayıda hem de oldukça geniş bir coğrafi alana yayılmış bileşenler içerir. Öte yandan, güç sisteminin çalışması talep tarafı yönetimi, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye pratik bir şekilde entegrasyonu ve arz-talep dengesi gibi hedefleri sağlamalı; bunları sağlarken de güvenilirlik, güvenlik ve verimlilik gibi bazı kritik gereksinimleri karşılamalıdır. Bu hedeflenenleri gerçekleştirebilmek amacıyla güç sistemi yönetimi için gerekli kritik bilgilerin doğru zamanda doğru yere teslim edilmesi yani iletilmesi gerekir. Bundan dolayı akıllı şebeke hem karmaşık

iki yönlü bir iletişim altyapısını hem de akıllı bileşenler arasındaki iki yönlü güç akışını sürdürmeyi gerektirir. Akıllı güç şebekesinin içindeki iletişim altyapısı, şebekede hizmet veren tüm cihazların birbirine bağlanmasından ve sistemin izlenmesi, kontrolü, fatura-landırmaların yapılması ve bakımı için gerekli tüm verileri sağlamaktan sorumludur. Akıllı şebekedeki iletişim altyapısı, planlanan akıllı şebeke işlevlerini desteklemeli ve performans gereksinimlerini karşılamalıdır. Böyle bir şebeke yapısına ilişkin işlevsel farklılar içeren farklı alt gruplar tanımlanabilir [3]. Bunlar; enerji üretimi, iletimi, dağıtımı, depolanması ve tüketimi ile ilgili olan Güç Bloğu, veri yönetimini sağlayan akıllı sensör ve ölçüm sistemlerini içeren Kontrol Bloğu; uygun ve verimli bir veri haberleşmesi sağlayacak olan Haberleşme Bloğu; verilerin güvenliği, şifrelenmesi ve gizliliğinden sorumlu Güvenlik Bloğu; farklı şebeke uygulamaları için bilgi teknolojileri tabanlı kararların alınmasını destekleyen Uygulama Bloğudur.

Akıllı şebekedeki Haberleşme Bloğunun öngördüğü haberleşme düzeni birbirine bağlı bireysel alt ağlara sahip ve her biri ayrı coğrafi bölgelerin sorumluluğunu üstlenen hiyerarşik bir mimaridir. Böyle bir mimari en uygundur çünkü iletişim sistemi coğrafi olarak çok geniş alanlara dağıtılmış, farklı iletişim teknolojileri kullanarak çeşitli servisler sağlayan çok sayıda cihazı birbirine bağlamak zorundadır. Geleneksel elektrik şebekesindeki mevcut iletişim altyapısı, parçalı yani bütünlük olmayan bir mimaridir. Bunun yanı sıra iki yönlü veri iletişimi sağlamak için yeterli bant genişliğine sahip olmayıp sistem bileşenleri arasında birlikte işlerlik eksikliği mevcuttur. Aynı zamanda akıllı cihazlar kaynaklı artan veri miktarını idare edememe durumu vardır. Bu sebeple mevcut şebeke yapısı gibi mevcut iletişim alt yapısının da akıllı şebeke konseptine uygun hiyerarşik bir haberleşme mimarisi haline getirilmesi gerekmektedir [4]. Bu hiyerarşik mimari elektrikli ev aletleri ile akıllı sayaçlar arasındaki dar bant iletişimi destekleyip izleme ve kontrol uygulamalarını sağlayan Ev Alan Ağı (HAN), son kullanıcı ve trafolar arasındaki dağıtım şebekesi haberleşmesini sağlayan Besleme Alan Ağı (FAN)-evler arası haberleşme için Komşu Alan Ağı (NAN) ve geniş bant haberleşme sağlayıp geniş alanlara dağılmış olan küçük alan ağlarını birleştirmek için bir omurga işlevi gören Geniş Alan Ağından (WAN) oluşur. Akıllı şebekedeki iletişim altyapısı entegre, esnek, birlikte çalışabilir olmalı ve her bir akıllı şebeke bileşeninin iletişim gereksinimlerini karşılayan güvenli bir iki yönlü iletişim omurgası sağlamalıdır. Akıllı şebekelerin, farklı fiziksel ortamlarda ihtiyaç duyulan servis kalitesini (QoS) sağlamak için farklı gereksinimleri olan birçok farklı türde cihaz ile iletişim kurması gerekir. Temel olarak, düşük gecikmeli ve yeterli bant genişliği ile uçtan uca güvenilir ve güvenli bir iletişim hedeflenir. Servis kalitesinin sağlanmasındaki haberleşme gereksinimleri ise gecikme, güvenilirlik, veri hızı, iş hacmi, güvenlik ve frekans planlamasıdır.

Akıllı şebekedeki iki yönlü veri iletiminde hem kablolu hem de kablosuz haberleşme teknolojileri kullanılmaktadır. Kablosuz teknolojiler kablolu teknolojilere göre düşük maliyetli altyapı ve zor / erişilemeyen alanlara bağlantı kolaylığı gibi bazı avantajlara sahiptir. Nispeten düşük veri hızlarıyla kısa mesafeli bağlantılar sağlarlar. Yeni kabloların mon-

tajı gerekli olmadığı için maliyet odaklı olarak düşünülebilirler. Ancak kablosuz sinyaller çevresel faktörlerle önemli ölçüde zayıflayabilir ve girişime maruz kalırlar. Bu da kablolu teknolojilere göre dezavantajlardır. Mevcut haberleşme teknolojileri başlangıçta akıllı şebeke için tasarlanmadığından bahsi geçen bu ağların akıllı şebeke işletim koşulları altında genişletilebilirliği (*scalability*), erişilebilirliği (*availability*) ve güvenilirliği (*reliability*) daha derinlemesine yeniden ele alınmalı ve uygulamaya göre tercih edilmelidir.

Akıllı şebeke kablosuz haberleşme standartları ZigBee, Z-wave, Wi-Fi, WiMAX, Hücresel Haberleşme, Bilişsel Radyo vb. olup kablolu haberleşme standartları ise fiber optik, ethernet, xDSL vb. ve enerji hatları üzerinden haberleşme (Power Line Communication-PLC) dir. Akıllı şebekelerde mevcut şebeke alt yapısını haberleşme alt yapısı olarak kullanmak yani PLC, düşük maliyeti, geniş alanlara yayılı şebeke ve kullanım esnekliği sebebiyle, geleneksel kablolu ve kablosuz haberleşme sistemlerinin yanı sıra geliştirilen en güçlü haberleşme alternatiflerindedir [5]. Ev otomasyonu ve otomatik sayaç okuma gibi dar bant ve çok düşük veri hızı uygulamalarıyla başlamış olan PLC bugün, bina içi geniş bant veri iletişimde potansiyel bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, enerji hatları iletişim amaçlı tasarlanmadıklarından, güvenilir ve yüksek hızlı veri iletişimi için zorlu bir ortam oluşturmaktadırlar. Yüksek kanal zayıflamaları, yüksek gürültü seviyeleri ve şebekeye entegre olan yük empedans çeşitliliği gibi nedenlerden dolayı diğer kablolu iletim ortamlarından farklı bir şekilde karakterize edilmelidirler. Bu gereklilik ise günümüzde bu teknolojinin haberleşme alanında önemli bir konu başlığı olarak karşımıza çıkmasını sağlamıştır.

Tablo 1. Akıllı şebeke haberleşme standartları ve uygulamaları

Teknoloji	Kapsama	Uygulamalar	
Z-Wave -ZigBee	30-50 m	HAN	AMI, Düşük veri hızı, kısa menzil
Wi-Fi	100 m	HAN,NAN,FAN	
Bilişsel Radyo	10-100 km	NAN,FAN, WAN	
GSM	1-10 km	NAN,FAN	AMI, Talep Cevabı, Düşük veri hızı
GPRS	1-10 km	NAN,FAN	AMI, Talep Cevabı, Düşük veri hızı
3G	1-10 km	NAN,FAN	AMI, Talep Cevabı, Yüksek spektrum ücretleri
WiMAX	10-50km (LOS) 1-5 km (NLOS)	NAN,FAN, WAN	AMI, Talep Cevabı, çok yaygın değil
PLC(IEEE P1901)	≤ 3 km	HAN,NAN,FAN	AMI, Sahtekarlık tespiti Zorlu, karmaşık ve gürültülü kanal

Genel olarak Tablo 1’den görüleceği üzere ZigBee ve Z-wave standartları akıllı şebeke HAN uygulamaları için; Wi-Fi ve PLC standardı akıllı şebeke HAN ve FAN uygulamaları için; Hücresel Haberleşme, WiMAX, Fiber Optik ve Bilişsel Radyo standardı ise akıllı şebeke HAN, FAN ve WAN uygulamaları için tercih edilmektedir.

Yeşil Bilişim ve Enerji Verimliliği Uygulamaları

Tüm bu gelişmeler ışığında çevresel ve sosyal etkileri bakımından önekilere göre daha iyi performansa sahip bilgi ve iletişim teknolojileri ürün ve hizmetleri ile ekonomik ve sosyal hayata dair işlevlerin çevreye olumsuz etkilerinin azaltılmasında faydalanan bilgi ve iletişim teknolojileri çözümlerinin tümünü kapsayan "Yeşil Bilişim" kavramı oluşmuştur [6]. Yeşil bilişimin enerji verimliliği ve çevre ile ilgili etkileri; bilgi ve iletişim teknolojileri sektörüne ilişkin etkiler, diğer sektörlerle ilişkin destekleyici etkiler ve insanların uzun dönemli davranış değişikliklerine ilişkin etkiler olarak gruplandırılmaktadır.

Enerji verimliliğine destek açısından en büyük potansiyele sahip olan etki ise sanayiden ulaştırmaya, yaşam alanlarından enerjiye bir çok uygulama alanı olan destekleyici etkilerdir. Bu uygulama alanları akıllı üretim, akıllı ulaşım, akıllı şebeke ve akıllı bina vb. olarak hayat bulmaktadır. Örneğin bina yönetim sistemleri ile binalardaki enerji tüketen cihazlara ve sistemlere bilgi ve iletişim teknolojileri entegre edilerek enerji tüketimi açısından optimum koşullarda çalışması sağlanmaktadır. Akıllı sayaçlardan gerçek zamanlı enerji tüketimi takibi ile enerji kayıpları azaltılabilmekte, cihazların uzaktan kontrolü ve yük optimizasyonu ile hem arızalar için önlem almakta hem de harcanacak enerji optimize edilmektedir. Ayrıca karar destek sistemleri ile iklimlendirme koşulları hava durumu ile entegre olarak işlerlik göstererek enerji tüketimi azaltılabilecektir. Bina yönetim sistemlerinin güvenlik sistemleriyle entegre edilmesiyle afet, gaz sızıntısı, hırsızlık vb. durumlarla karşılaşıldığında gerekli önlemleri alması sağlanıp bu sorunların çözümü sırasındaki gereksiz tüketimi azaltılabilecektir. Binalardaki enerji verimliliğini artırmaya yönelik bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanıldığı diğer bir alan aydınlatmadır. Akıllı aydınlatma sistemleri ve yeni nesil lambalar ile ortamın boş/dolu, gündüz/gece vb. parametrelerini dikkate alınarak otomatik bir aydınlatma yönetimi sağlanır ve böylece enerji tüketimindeki israfın önüne geçilebilmektedir. Tüm bunların yanısıra enerji verimliliğini artırmaya yönelik yapılan uygulamalar hususunda bilgi ve farkındalık düzeyini artırmalı ve enerji tüketimi konusunda daha hassas olmaya yönelik bir toplum bilinci oluşturulmalıdır.

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı ile enerji verimliliğinin artırılmasına bir diğer büyük katkı akıllı şebekeler ile olacaktır. Bilgi ve iletişim teknolojileri tabanlı izleme, ölçme, kontrol, analiz, optimizasyon ve karar destek uygulamaları sayesinde şebekedeki işleyiş etkin ve ekonomik bir form kazanacak ve çevreye olan olumsuz etkileri en zararsız seviyeye indirilebilecektir. Örneğin, akıllı sayaçlar ile anlık elektrik talebinin izlenebilecek, gelecekteki olası talebin tahmini sağlanabilecek, şebekedeki kayıp, kaçak ve diğer sorunların önlenmesi mümkün olacak ve arz talep dengesi lehine iyileştirmeler olabilecektir. Yine küçük enerji üreticilerinin bilgi ve iletişim teknolojileri ile mantıksal olarak birbirine bağlanmasını sağlayıp teknik ve ticari açıdan tek çatıda yönetilmesini içeren sanal enerji santralleri ile şebekeye entegrasyon kolaylaşacak, yenilenebilir enerji kaynaklarından da yararlanan bu küçük üreticilerin kendilerine yakın olan alanlardaki talebi büyük santrallere kıyasla daha verimli bir biçimde karşılaması sağlanabilecektir. Bu da yeni servis sağlayıcılarının sisteme dahil olmasını ve artan rekabet sebepli verilen servis kalitesinin iyileşmesini bera-

berinde getirecektir. Normalde ana şebekeye bağlı olarak çalışan, gerektiği zaman ise bağımsız bir şebeke gibi hizmet verebilen bilgi ve iletişim teknolojileri destekli mikro şebekeler ise olası bir arıza durumunda kendi mevcut kaynakları ile kendini şebekeden yalıtıp küçük bir bölgeye hizmet vererek sürdürülebilirlik noktasına büyük katkı sağlayabilecektir. Bilgi ve iletişim teknolojileri tabanlı çeşitli çözüm ve uygulamalar sayesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu kolaylaşacak enerji birim fiyatlarının azaltılması sağlanabilecektir. Hem yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanılması hem de elektrikli araçların yaygınlaşması güvenilirliğin ve sürdürülebilirliğin artarak şebekenin daha etkin bir biçimde işletilebilmesine yardımcı olmakta, yani sistemlerin genelindeki enerji verimliliği iyileştirmelerine olumlu katkılar sağlamaktadır.

SONUÇ

Bilgi ve iletişim teknolojileri tabanlı yenilikçi teknoloji ve uygulamalar sonucu ortaya çıkan akıllı sistemler ile sanayide, endüstride, ulaşımda, binalarda, inşaatta, enerji sahaları vb. alanlarda yapılan planlama, tasarım, kurulum, işletme, kullanım gibi işlevler daha verimli, daha kaliteli ve daha çevre dostu bir şekilde gerçekleştirilebilme imkanı bulabilmektedir. Bu sayede ise dünyaki toplam enerji tüketiminin büyük kısmını oluşturan bu alanlardaki enerji verimliliğinde mutlu edici ve umut verici artışlar sağlanabilmektedir. Bahsi geçen tüm akıllı sistem ve uygulamaların faydalarının arttırılması ve yaygınlaştırılması için yapılan çalışmalar hem ulusal hem de uluslararası platformlarda artarak devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Stanley H. H., Arun G. P., and Bruce A. R. The Future of Power Transmission. *IEEE Power & Energy Magazine*, 2010.
- [2] Gungor V., Sahin D., Kocak T., Ergut, S., Buccella C., Cecati C. A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2012.
- [3] Lo C. H. and Ansari N. The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2012; 14 (3).
- [4] Panajotovic B., Jankovic M., Odadzic B. ICT and Smart Grid, *Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, 2011.
- [5] Hasirci Z. (2017) *Busbar Enerji Dağıtım Hatlarının Geniş Bant PLC Kanal Modellemesi ve Başarım Analizi*. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- [6] BTK (2021), Yeşil Bilişim. (20.08.2021 tarihinde <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/slug/yesil-bilisim.pdf> adresinden ulaşılmıştır.

AKILLI BİNA SİSTEMLERİNDE IOT UYGULAMALARI İLE ENERJİ YÖNETİMİ

Derya Betül Ünsal Çelimli^a, Zeynep Ceran Çamayaz^b

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

ÖZET

Akıllı bina kendisini yönetebilen iklimlendirme, havalandırma, aydınlatma ve güvenlik sistemlerinin bulunduğu bağımsız bir yapıdır. Bu binalarda bahsedilen sistemler birbirleriyle haberleşerek entegre ve senkronize çalışmak zorundadırlar. Akıllı binalar kontrol ve otomasyon sistemleri ile her kullanıcıya ihtiyacı ve gereksinimlerine göre hizmet veren yapılardır. Akıllı binalar çevreye duyarlı ve sürdürülebilir enerji kaynaklarını kullanarak kullanıcıların daha konforlu, rahat ve güvenli bir ortamda yaşayıp, çalışabilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada akıllı binalar için önerilen enerji yönetimi uygulamaları avantaj ve dezavantajları ile birlikte incelenecek, akıllı şebeke sistemlerinin birer unsuru olan akıllı binaların sisteme uyumlu çalışabilmeleri için önerilerde bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Binalar, Enerji Yönetimi, Nesnelerin interneti

ABSTRACT

A smart building is an independent structure with air conditioning, ventilation, lighting and security systems that can manage itself. The systems mentioned in these buildings have to communicate with each other and work in an integrated and synchronized way. Smart buildings are structures that serve every user according to their needs and requirements with their control and automation systems. Smart buildings enable users to live and work in a more comfortable, comfortable and safe environment by using environmentally friendly and sustainable energy sources. In this study, proposed energy management applications for smart buildings will be examined together with their advantages and disadvantages, and suggestions will be made for smart buildings, which are an element of smart grid systems, to work in harmony with the system.

Keywords: Smart Buildings, Energy Management, Internet of Things

GİRİŞ

Akıllı şebeke sistemlerinin en büyük tüketim unsurlarından biri olarak değerlendirilebilecek olan bina ve konutlar, enerji verimliliğini ve tasarrufunu arttırmak için kontrol ve otomasyon sistemleriyle inşa edilen yapılardır. Akıllı konutlar veya evlerin en önemli özelliği kullanıcıların konfor ve rahatından taviz vermeden iklimlendirme, aydınlatma ve güvenlik sistemleri için gereken enerji ihtiyacını minimum seviyeye indirmektir. Akıllı bina sistemleri

evlerin haricinde kamu ve ofis binalarındaki fazla enerji kullanımından dolayı insanların çok olduğu binalarda tercih edilmektedir. Akıllı bina uygulamalarını sadece otomasyon anlamında düşünmek yanlış olacaktır. Bu binalar mimari ve elektriksel anlamda bir bütün halinde düşünülerek mimar ve mühendisler tarafından geliştirilmelidir [1].

Son 20 yıldır gelişen teknolojik faaliyetler ile kullanıcılara optimum seviyede konfor sağlayan, dış kaynaklardaki enerji kullanımını minimize eden çevre dostu, sürdürülebilir binalar geliştirilmeye başlanmıştır [2]. Kullanıcıların ihtiyacı ve gereksinimlerine yanıt vermesinden, uzun ömürlü olmasından ve düşük maliyetli olmasından dolayı akıllı binalara talep artmıştır [3].

Ev teknolojileri, sanayinin birçok dalında yer edinmiş bir terim olmakla birlikte bu kontrol sistemlerinin gündelik yaşamımıza uygun halde kullanıcıya sunulmasıdır. Ev otomasyonları ise bu teknolojilerin kullanıcının taleplerine uygun biçimde kullanılmasıdır. Akıllı ev tanımı, tüm bu teknolojiler ile hane içerisinde yaşayan insanların gereksinimlerine yanıt sunabilen, onların hayatlarını daha kolay bir hale getiren ve güveni konforu ve tasarrufu daha üst düzeylere çıkarabilecek bir yaşam imkânı sunan evler için kullanılmaktadır. Akıllı ev; endüstrinin birçok dalında aktif edilmiş kontrol sistemlerinin halka hitap edecek hayata uyarlanması; ev otomasyonu da, bu teknolojilerin kişiye özel ihtiyaç ve isteklerine uygulanmasıdır. Akıllı evler, otomatik fonksiyonları ve sistemleri kullanıcı tarafından uzaktan erişim ile değişiklik sağlanabilen yapılardır [4].

Washington Akıllı Ev Enstitüsü "Kullanıcıların performansını, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde tasarrufu ve esnekliği en üst düzeye çıkarmak için kaynakları kordinasyonlu şekilde verimli olarak yönetmek için çeşitli sistemleri entegre eden yapıdır" şeklinde tanımlanmıştır [5]. 1985 yılında Toronto'da yapılan sempozyumda "Akıllı bir yapı, teknolojik veya mühendislik alanındaki yenilikleri, yatırım getirisini en üst düzeye çıkarmak için ustaca yönetimle birleştiriyor" sonucu çıkarılmıştır [6]. Türkiye'de ise 1995 yılında Baki Koyuncu'nun bir çalışmasında telefon ve bilgisayar kablolarını kullanarak akıllı ev yapılması fikrini ortaya atmıştır [7]. Akıllı binalar, teknoloji ve otomasyonun günlük hayata, kamu binalarına, ofislere ve evlere entegre edilmesiyle ortaya çıkan ve kullanıcılar tarafından kontrolü sağlanan yapılardır [8].

Akıllı ev sistemleri tesis edilirken oluşturulacak temel unsur kişisel bilgisayar sistemleriyle bir bütün gibi entegre olması ve tam uyumlu olmasıdır. Kişisel kullanım özelliğine sahip bilgisayarlar artık bir evin günlük standartları arasına girmiş ve birçok tüketicinin haberleşme, kişisel gelişim hatta sosyal hayatının dışında finansal gelir kaynaklarını kontrol altında tutma gibi birçok alanda yenilikler getirmiştir [8]. Günümüzde birçok evde, oyun, ofis, film gibi kategorili bir amaçla kullanılan çok sayıda kişisel bilgisayar bulunması ve bunlar arasında bir ev içerisinde bilgisayar ağı sahip olması da bunun en etkili belirtilerinden bir tanesidir. Bu farklılaşmalar göz önünde bulundurularak söylenebilir ki bir sonraki gelinecek aşama, yaşam alanlarının da bu değişime ilave edilmesidir. Bu değişimde bir evdeki cihazların ve ışıkların kişisel bilgisayar, telefon ya da tabletler ile kontrol altında tutulması ile gerçekleşecektir. Birçok ev otomasyon sisteminin içerdiği ana kontrol sistemi de bu işler için özelleştirilmiş ve kullanımı çok basit bir sisteme sahip bilgisayardır [9].

Kontrol edilebilen konutlar

Kontrol edilebilen konular veya evler, var olan cihaz ve sistemlerin farklı kumanda sistemleri ile kolay bir şekilde kontrol altına alınabildiği evler tipleridir. Bu tür evlerde yazılımlara ihtiyaç duyulmaz ve hane ile etkileşim sağlamak mümkün değildir. Bu tarz evlerde perdeler, ışıklar ve diğer kullanılan cihazlar uzaktan erişim konsolları ya da aplikasyonlu akıllı cihazlar ile müdahale sağlanabildiği gibi odaya girince aydınlatmaların açılması, el hareketi kombinasyonu veya ses algılayıcılar ile de kontrol edilebilir. Yani hane yalnızca talep doğrultusuna bağlı olarak talep edildiği anda komut alarak o an istenilen durumu oluşturur.

Programlanabilen konutlar

Programlanabilen konutlar, kontrol edilebilir hanelere kıyasla daha fonksiyonlu olmakla birlikte geliştirilebilir bir başlıktır. Bu başlık altındaki yaşam alanları zamana göre programlanmış ve sensörlere göre programlanmış haneler olarak iki gruba ayrılır.

- Bu tip evlerde cihaz ve sistem zaman tanımlı olarak programlanıp açılıp kapanabilir, bunun yanı sıra sensörler yardımıyla veri edinip veriye tepki verecek şekilde programlanabilmektedir.
- Bu tür evlerde, aydınlatmalar da programlanabilmektedir, kurulan sensörler aracılığı ile gün ışığını algılayarak aydınlatma sistemini aktif ya da pasif hale getirebilir.
- Oluşturulan senaryolar ile evdeki birçok ayar tek kontrol paneli ile yapılabilir.
- Şu anda Dünya'da bu teknolojiye son gelinen gelişme bu tip evlerdir.

Yapay zekâya sahip konutlar

Programlanabilir evler ile benzerlik yönleri bulunmaktadır, fakat programlanabilir evlere göre gelişmişlik seviyeleri daha yüksektir. Programlanabilir evlerde senaryolar insan yardımı ile hazırlanmakta iken bu evlerde senaryo oluşumu yapılmaya gerek duyulmaz. Bu evlerde yapay zekâ aracılığı ile kendi gelişimi yeteneği söz konusudur. Bu evler, kendi kendine gözlem yapabilir, gözlem sonucu edindiği verilere göre kendi ayarlarını ve senaryolarını oluşturabilen evlerdir. Bunun için öğrenme yeteneğine sahip yazılımlar, yani yapay zekâ gereklidir. Bu evler, yaşam alanı içerisinde yaşayanların gün içindeki hareketlerini gözlemler, tekrar eden hareketleri ortaya çıkarıp durum için yapılması gerekeni belirler. Tekrar eden davranış ile karşılaşıldığında uygun tepkileri kendi karar verebilme yetisi ile yapabilir. Bu evlerin de elbette dezavantajları mevcuttur. Sistem, insan hal ve hareketlerine göre senaryo oluşturmaya çalıştığından insan zihninin ve ruh halinin karmaşıklığı, her dönem aynı davranışları sergileyemeyeceği göz ardı edilmiş olunur [10].

Engel sahibi insanlar için akıllı yapılar

Farklı gelişmişlik düzeylerine sahip olan akıllı evler mevcut olduğu gibi, farklı amaçlarda kullanılan ve amacına uygun dizayn edilmiş akıllı evler de mevcuttur. Örneğin, yaşlı insanlar için veya fiziksel engel sahibi olan insanlar için akıllı evler tasarlanmıştır. Yaşlı

insanların bağımsız bir hayat sürdürebilmesi adına ve fiziksel engelli insanların hareket engellerini ortadan kaldırarak kullanıcı hayatının devamı için akıllı evler en iyi alternatiflerden birisidir. Eve entegre edilmiş birçok akıllı cihaz, ev sakininin hem hareket etmesine yardımcı olur hem de günün her saati sağlık kontrolünü elinde tutabilir. Son zamanlarda, fiziksel engelli olan insanların sayısında ve günlük hayatlarında dışarıdan yardıma ihtiyacı olan yaşlı insanların sayısında bir artış olduğunu göstermektedir. Bu problemler ile baş edebilmenin en iyi yollarından biri akıllı ev sistemleridir. Bu bakış açısı ile yeni bir terim “yaşlı insanlar için teknoloji” kavramı Graafman tarafından yaşlılık bilimi ve yaşlılar için teknoloji kavramlarını birleştirmek için oluşturulmuştur. Kullanıcıların hayatını kolaylaştıran kullanıcıya duyarlı teknolojik buluşlar. Örneğin; harekete yardımcı olan elektronik aletler ve kişinin sağlık durumunu sürekli gözetim altında bulunduran cihazlar. Bu tip akıllı ev, kişilerin ihtiyaçlarını tamamlıyor [11]. Akıllı ev projesi genelde özel ihtiyaçları olan insanlar için uygulanmış ve birçok alanda akıllı ev senaryoları bu özel ihtiyaçlar temel alınarak geliştirilmiştir. Her çeşit tüketicinin kişisel gereksinimlerini karşılamak ve fiziksel engellerini gidermek için uygulanmıştır. Akıllı evler amaçsal dizaynına göre ve kurulumu yapılan elektronik cihazların düzenlenmesine göre farklılık göstermektedir. Fiziksel olarak hareket engeline sahip olan insanlar, yaşlı insanlar, görme engeline sahip olan insanlar, duyma kaybına sahip olan insanlar ve bilinç kaybı geçirmiş olan insanlar için farklı tip dizaynlarda akıllı evler günümüzde kullanılabilir halde mevcut durumdadır [12].

Vücut hareketlerini kullanarak akıllı ev kontrolü

Akıllı evlerin kumanda edilmesinin diğer bir yolu da insanın vücut hareketlerini kullanmasıdır. Burada vücut hareketindeki kasıt, vücudumuzun bir kısmı, yüzümüz ve ellerimizle talep edebileceğimiz fonksiyonun çalışması adına yapılan insanlığın genelinde aynı anlam taşıyan el fonksiyonları gibi hareketlerdir. Bu hareketler doğal ve yapay olmak üzere iki çeşitte incelenir. Doğal hareketler, anlamsız ve belli bir genel anlam taşımayan hareketlerdir. Yapay hareketler ise, sisteme daha önce tanımlanmış olması durumu ile kullanıldığında çeşitli anlamları ifade edebilirler. İşaretleri tanımanın önemli bir kısmı anlamlı bir hareketi kategorileştirmek onları sınıflarına göre ayırmaktır. Bir başka deyişle, hareketin başlangıç ve bitiş noktalarının tespiti önem arz etmektedir. Örneğin; Bir akıllı evin ışıklarını veya garaj kapısını kontrol etmek için, insan vücudunda omuz kol ve el senkronizasyonu hareketlerini kullanarak hareketi bölümlendirme ve tanıma metodu kullanılabilir. Bunun için, insan vücut hareketlerinin iki boyutlu şekil ve üç boyutlu eklem verisi algılayıcılar aracılığıyla oluşturulur. Daha sonra, hiyerarşik SOM’u kullanarak iki boyutlu şekil verisinden üç boyutlu eklem verisine, yardımcı olması adına bir haritalandırma ortaya çıkartılır. Bu hesaplama şekli gayet hızlı bir biçimde 2 boyutlu şekillendirme modeli ile o modele bağlı 3 boyutlu eklem verisini birleştirip hesaplar ve bu veriler SOM tarafından birleştirilir. Daha sonra sistemde algılanması gereken hareket olarak yüklenen en yakın üç boyutlu eklem verisi algılanır ve akıllı evde yapılması istenen komut faaliyete geçirilir [13].

Akıllı binalar pasif ve aktif bina olmak üzere ikiye ayrılırlar;

Pasif Bina Sistemleri: Pasif sistemlerin amacı binaların otomasyon sistemleri hariçinde mimari olarak yapılırken ısıtma ve havalandırmayı doğal yollardan sağlayıp, enerji tüketimini düşürmektir. Akıllı binalar enerji verimliliği için doğru değerlerle yapılmalıdır [14].

- Binanın yeri; güneş ışınlarının açısı ve rüzgar yönüne göre aydınlatma ile iklimlendirme için değerlendirilmelidir.
- Binaların konumu; diğer binalar ile olan yakınlığı güneş ışınlarını ve hava akışını keseceğinden mesafeleri düzgün ayarlanmalıdır.
- Bina yönü; güneş ışınlarından ve klima şartlarından yararlanılacak şekilde tercih edilmelidir [14].

Kısaca pasif bina sistemlerinde binanın yeri, binaların aralıkları, yönlendirme ve klima durumu, bina formu ve doğal vantilasyon düzeni göz önünde bulundurulmalıdır [14]. İlk olarak 1990’lı yıllarda Almanya’da geliştirilmiştir [15].

Aktif Bina Sistemleri: Teknolojiden ve otomasyon sistemlerinden yararlanarak inşa edilen binalardır. Aktif bina sistemleri bina otomasyonu ve bina kontrol sistemleri ile sağlanmaktadır.

Bina yönetim sistemleri binalarda kullanılan sensör ve cihazların tek bir noktadan kontrol edilmesi, yönetilmesi ve veri haline getirmesi demektir. Büyük ve kapsamlı binalarda enerji tasarrufu ve düşük maliyet için kullanılmaktadır [16]. Bütün sistemleri merkeze bağlayan BACs (Building Automation and Control System) ya da BYS Bina Yönetim Sistemleri dediğimiz kablolu sistemler 1950’lerde ortaya çıkmıştır. 1960-1970 yılları arasında haberleşme hatları üzerinden veri ya da mesaj gönderimini sağlamıştır. 1970’lerin ortasında ise merkez noktaları çoğaltılmış, bilgisayar kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Her eve bilgisayarların girmesi ile birlikte 1980’lerde verileri toplayıp kontrolden geçirerek merkeze göndermeye başlamıştır. BACs uygulamalarının birbirleriyle entegre bir şekilde çalışmasına akıllı bina diyoruz [17]. Bu sistemler işi, insan gücünü ve maliyeti azaltır, arıza veya güvenlik konusunda yaşanan problemlerde hızlı çözüm sağlarlar.

Binalarda kullanılan bu sistemler enerji kaynaklarını aşırı tüketmemek, küresel ısınmayı geciktirmek, iklim değişikliğini engellemek ve karbon emisyonunu azaltmak için kullanılmaktadır.

HVAC Sistemleri:

Binadaki sıcaklığın normal düzeyde kalmasını, hava giriş - çıkış kontrolünü, ortamın konforunu ve enerji tasarrufunu sağlayan ısıtma soğutma ve iklimlendirme sistemidir [18]. HVAC sistemlerinde kullanılan algılayıcılar (sensörler) şunlardır;

- Sıcaklık Algılayıcıları
- Basınç Algılayıcıları
- Nem Algılayıcıları
- Su Akış Algılayıcıları
- Hareket Algılayıcıları

Aydınlatma Otomasyonu Sistemleri:

Akıllı binaların en önemli ve en temel sistemlerindedir. Enerji tasarrufunu sağlayarak doğal ışık seviyesi ile ortamı aydınlatmaya yarayan sistemlerdir. Bunun için uygun lamba seçimine ve lamba yüksekliğine dikkat edilmelidir [18], [19]. Aydınlatma sistemlerinde kullanılan algılayıcılar şunlardır;

- Hareket Algılayıcıları
- Doluluk Algılayıcıları
- Gün Işığı Algılayıcıları

Aynı zamanda timer ve dimmer kontrolü ile sistemin ne zaman çalışacağını ve ışık seviyesini ayarlayabiliriz. Dışarıda iken ofis veya odaların aydınlatma sistemini açmak veya kapatmaya ve hangi odada ışığın açık olduğunu göstermeye yarar [18], [19].

Yangın Güvenlik Sistemleri:

Akıllı binalarda can ve mal güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan sistemlerdir. Hayati önem taşıyan sertifikalı yangın güvenlik sistemi insanları, çevreyi ve içerisinde bulunan binayı korur ve zarar görmesini engeller. Duman, ısı ve gaz dedektörleri ile yangını algılayarak merkeze bilgi verir. Merkez bu bilgi sayesinde itfaiye müdürlüklerine haber vererek yangının boyutunu küçültmeyi hedeflemektedir [19]. Yangın güvenlik sistemlerinde kullanılan algılayıcılar şunlardır;

- Isı Algılayıcıları
- Gaz/Hava Algılayıcıları

Bu sistemler ek olarak bina içerisine yangın butonları, CO₂ gazlı söndürme sistemleri, sesli ikaz lambaları ve cihazları, yeterli acil çıkışlar, havanladırma sistemleri, köpüklü söndürme sistemi ve sprinkler (yağmurlama) sistemleri yapılmalıdır.

Binalardaki Ulaşım Sistemleri:

Yüksek binalarda insan ve yük taşımalarını yapmak için yürüyen merdivenler ve hızlı, verimli ve bilgisayar kontrollü asansör sistemleri kullanılmaktadır [18].

Yürüyen merdivenler dişli ve zincirli bir sistem olup evlerde, alışveriş merkezlerinde, ofislerde ve otelerde insan taşımak için kullanılırlar.

Asansörler kabin, ray ve halatlardan oluşan sistemlerdir. Akıllı binalarda asansör uygulamalarında;

- Bilgisayar ile görüntüleyip, kontrol edilir.
- Arıza durumunda acil durum bilgisi verir ve servise yönlendirir.
- Trafığı azaltmak için katlara göre ulaşım sağlar.
- Personel girişlerinde veya özel girişlerde kartlı, parmak izli ve retina taramalı kullanım sağlar [20], [21].

Thyssenkrupp şirketi tarafından Almanya Rottweil'da Test Tower inşa edildi. Bu binada asansör teknolojileri araştırılmakta ve geliştirilmektedir. MULTI adında raylı sistemlerle yapılan asansör yatay düzlemde de hareket edebilmektedir. Bu asansördeki en önemli özellik ise frenleme enerjisini geri dönüştürerek odaları ısıtmak için kullanılıyor [17].

Bu asansörün ilk uygulaması ise Berlin’de bulunan East Side Tower’da yapılacaktır [18].

Schindler firması ise asansörlerin girişine yerleştirdiği sisteme kartı okuttuğunuz zaman gidebileceğiniz yerlerin listesini çıkarır ve asansör göndererek en kısa zamanda ve rotada ilerlemenizi sağlar [19].

Giriş Kontrolü ve Güvenlik Yönetim Sistemleri:

Güvenilir yaşam talebinden dolayı ortaya çıkan sistemlerdir. Burada güvenlik için bütün sistemler tek bir merkezden izlenip, kontrol edilir. Arıza durumlarında müdahale edilir [20].

Giriş kontrolü ise çalışan veya yabancı kişilerin giriş ve çıkışlarını turnikeli, kartlı veya X-Ray cihazlı geçişler ile sağlar. Giriş kontrolü ve güvenlik sistemleri çevre güvenliğini, acil durumlarda izlemeyi, kartlı geçiş sistemini, personel takip sistemini ve veri depolamasını sağlar [21]. Bu sistemlerde kullanılan algılayıcılar şunlardır;

- Kızılötesi Algılayıcıları
- Fotoseller
- Isı Algılayıcıları
- Işık Algılayıcıları
- Hareket Algılayıcıları
- Ses Algılayıcıları [22]

Binalar sabit ve hareketli kameralar sayesinde izlenir. CCTV (Kapalı Devre Kamera Sistemi) ile bu görüntüler iletim hatları ile birkaç noktadan izlenir. Burada amaç giriş-çıkış kontrolü yaparak hırsız ve personelleri takip edebilir [16].

Elektriksel Güç Sistemleri:

Teknolojik olan bütün cihazların elektrik enerjisiyle kullanıldığını düşünürsek binaların da güç kaynaklarına ihtiyacı olduğunu anlayabiliriz. Binalar şehirdeki en önemli yapı olduklarından dolayı elektrik kesintisinde insan yaşamı ve iş hayatını duracak noktaya getirmektedir. Arızaların yaşam kalitesini etkilememesi açısından kesintisiz güç kaynakları kullanılmalıdır. Arızalardan sonra gelen elektriğin yüksek voltajla gelmesi durumunda cihazlar da zarar göreceğinden kesinti anında jeneratörler devreye girmelidir. Elektriksel güç sistemleri binalarda bulunan bütün otomasyon ve kontrol ünitelerinde kullanılmaktadır [23].

Haberleşme Sistemleri:

Günümüzde iletişim ve haberleşme sistemleri ne kadar önemliyse akıllı binalarda da o kadar önemli ve gereklidir. Bilgi ve veri iletimi için gerekli bir sistemdir. Haberleşme sistemleri ile konut içi haberleşme, telefon, internet ve televizyon bağlantılı haberleşme, yangın ve acil durum ihbarları ve çağrı yapılmaktadır [16].

Enerji Yönetim ve İzleme Sistemleri:

Akıllı binalarda dikkat edilmesi gereken en önemli husus enerji sistemleridir. Çünkü akıllı binaların mühim özelliği enerjisi az kullanması ve verimli olmasıdır. Akıllı binalardaki enerji yönetim sistemlerinde;

- Güneş enerji panellerini kullanarak kendi enerjisini kendisi üretebilmelidir.
- Yağmur sularını toplayarak bahçe ve park sulaması yapmalıdır.
- Oda veya ofislerdeki doluluk ve hareket sensörlerine göre aydınlatma sağlanmalıdır [24].

Günümüzde akıllı binaların tüketim verileri de enerji yönetimi açısından oldukça önemlidir. Akıllı binaların kullandığı enerjisi veri haline getirip kullanan siteler mevcuttur. Türkiye’de buna dair bir sistem bulunmasa da Amerika’da buna dair bir site geliştirilmiştir. Pecan Street adlı uygulamada bir cadde boyunca oturan insanların kullandığı enerji verileri toplanarak insanların ulaşabileceği bir site üzerinden paylaşılmaktadır.

Akıllı binaların avantajları;

- Ekolojik ve çevre dostudur.
- Gündelik işlerin kolay, pratik, güvenli ve kısa sürede yapılmasını sağlamaktadır.
- Mali açıdan tasarruf sağlar.
- Güven verir [25].

Akıllı binaların dezavantajları;

- İnsanların sorumluluklarını azaltarak daha tembel bir toplum yaratmaktadır.
- Kişisel verilere ulaşarak kişinin özel hayatını ve gizliliğini süistimal etmektedir.

Akıllı Bina Türleri:

- Kullanıcı tarafından yönetilen binalara “kontrol edilen binalar” denir.
- Daha önceden ayarlanan bir programa uyarak çalışan binalar programlanabilir binalardır.
- Programa bilgisinde hareket ederken acil durumlarda göre kendisi karar veren binalar zeki binalardır.
- Parmak şıklatma, alkışlama veya el sallamayla hareket eden binalar vücut hareketlerini kullanarak yapılan binalardır [26].

Algılayıcılar:

Akıllı binaların temel yapı taşlarından birisi sensörler yani algılayıcılarıdır. Algılayıcılar ısı, ışık, nem, ses, basınç, kuvvet, ivme, PH gibi fiziksel veya kimyasal büyüklükleri ölçüp elektrik sinyaline dönüştürür.



Şekil 1: Algılayıcıların Çalışma Prensipleri

Algılayıcılar (sensörler) askeri, sağlık, yaşam ve endüstriyel alanlarda çevreyi izlemeye, felaketlerden korunmaya verileri toplamaya ve değişiklikleri algılamaya yarayan otomatik ve gerçek zamanlı kullanılan cihazlardır. Algılayıcılar istenilen bilgi algılanabilmekte, işlemciler sayesinde işlenebilmekte ve belirlenen birimlere bilgiyi gönderebilmektedir [27]. Algılayıcılar kablolu ve kablosuz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır ;



Şekil 2: Algılayıcıların Çalışma Prensipleri

Kablosuz Algılayıcı Ağlar:

Kablosuz algılayıcılar düşük maliyetli ve bakımının kolay olması nedeniyle sensör tabanlı uygulamalarda daha yaygın hale gelmektedir. Kablosuz algılayıcılar verimli çözümler sağlamaktadır. Işık kontrolü, uzaktan ev yönetimi, güvenlik ve emniyet, evde sağlık ve bakım gibi uygulama alanları mevcuttur. Bu alanlarda ortamdaki ışık seviyesi ve sıcaklık gibi çevresel etkenleri gözlemlemekte kullanılabileceği gibi insan hareketlerinin izlenmesi, algılanması ve takibinde, kablolu algılayıcıların kullanılmadığı yerlerde, evlerde, binalarda konfor ve verimlilik için kullanılmaktadır [28].

- Işık Kontrolü: Algılayıcı sensörler yetersiz aydınlatılmış bir odayı kontrol ederek uzaktan kumanda yardımıyla ışık seviyesini ayarlayabilirler.
- Uzaktan Kumanda: Kızılötesi teknolojisiyle TV, klima, ısıtma ve havalandırma cihazları kontrol ediliyor. Ancak kısa mesafeli algılayıcılardır.
- Akıllı Enerji: Perdeler, akıllı ısıtma, sıcaklık, nem, ısı gibi parametrelerden alınan verilere göre kontrol edilerek, enerji tasarrufu sağlanır.
- Uzaktan Tıbbi Bakım: Engelli, yaşlı ve hasta insanlar için giyilebilir kablosuz algılayıcılarla ateş, kan basıncı, insülin gibi değerleri ölçüp, kişinin düştüğü durumlarda alarm veren algılayıcıdır.

- Emniyet ve Güvenlik: Olası riskleri tespit etmeye yarayan algılayıcılardır. Savaş alanlarında hedef izleme ve takip, iş yerlerinde odaların izlenmesi, benzin istasyonlarında sıcaklık ve basınç ölçümü, orman yangını tespiti gibi [29].

Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulamaları:

- Hassas Tarım: Sıcaklık, basınç, nem, karbondioksit gazı seviyesi gibi verileri kablosuz algılayıcılar tespit eder ve bu sayede toprağın ihtiyaçlarını, doğru mahsül yetiştiriciliğini ve ekim zamanına doğru bir ortam hazırlar.
- Çevresel İzleme: Tarımsal izleme, hava kirliliği, madencilik, depremler, tsunami, orman yangını, gaz kaçağı, volkanik olayları önceden tahmin etmeye ve güvenlik önlemleri için insanlara bilgi vermeye olanak sağlar.
- Araç Takibi: Akıllı ulaşım için gereklidir. Trafik yoğunluğunu azaltmak, trafik akışını izlemek, polisler için trafik ihlali takibi yapmak için ağa bağlı kameralar ve sensörler ile sağlanır.
- Sağlık Hizmetleri: Yaşlı, engelli ve hasta insanların bakımı için ev izleme sistemleridir. Acil durumlarda acil durum butonu kullanılmaktadır. Obezite, tansiyon, ekg, insülin değerleri gibi fizyolojik değerleri gerçek zamanlı izlenmesini sağlar.
- Akıllı Binalar: Akıllı binalar kendi kendini izleyip, kontrol edebilmektedir. Akıllı binalarda sıcaklık ve nem kontrolü, elektrikli ev aletleri için tükettiği akım ve voltaj değerleriyle enerji verimliliğini, ev ve bina girişlerinde kimlik doğrulama uygulamaları mevcuttur.
- Güvenlik ve Gözetim: İstihbarat, gözetleme, araç takibine yardımcı olur.
- Hayvan takibi: Hayvanların yer tespiti, hayvan davranışlarını izlemek, sağlık kontrolü ve çevresel anormalliklerin tespitini sağlar [30].

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Karşılaşılan Problemler:

- Ağ Güvenliği Tehditleri: Algılayıcılar uzak ve açık alanlara kurulduğu için saldırılara müsaitlerdir. İzleme ve dinleme özelliğine sahip algılayıcıların verileri ağ üzerinden ele geçebilir.
- Veri Toplama: Veri toplama sürecinde gecikmeler ve uzun mesafe yüzünden oluşan enerji kayıplarıdır.
- Dağıtım Teknikleri: Alt yapı desteğinin az olduğu ortamlara yerleştirilmesi, düşüm ölümü, bağlantı sorunu ve uzaklıktan meydana gelir.
- Kapsam Sorunu: Algılayıcı düğümlerin sahada rastgele dağıtılması hareket içeren durumlarda nesneyi izlemeyi ve takip etmeyi zorlaştırır.
- Ağ Mimarisi: Algılayıcılar destekleyici yazılım mimarisine sahip olmalıdır. Ağ tüketimi, enerji tüketimi ve verimi olumsuz etkilenir [31].
- Günümüzün gelişen ihtiyaçlarına ve artan nüfus yüzünden akıllı binalarda kablosuz ve kablolu algılayıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Kablolu algılayıcılar kablonun kopması, yıpranması, yüksek maliyeti ve yüksek güç tüketimi sorunları yüzünden

yerini kablosuz algılayıcılara bırakmışlardır. Bu algılayıcıların temel amacı enerji verimliliği, tasarrufu, veri işleme ve veri takibidir.

- ZigBee: Hızlı iletim ve kısa mesafeler için geliştirilen kablosuz ağ teknolojisidir. Kendi kendini iyileştiren, sadece kendi protokolüyle çalışan, bakımı kolay bir ağıdır. Wi-fi ve Bluetooth gibi büyük veri transferi yapamada veri transferi, izleme ve tespit gibi alanlarda kullanılır. ZigBee 3 temel elemandan oluşmaktadır. Yönetici, iletişimi başlatıp ağı yönetir. Yönlendirici, veri transferi yapar. Uç sensörler ise, sensör cihazlardır [28].

ZigBee IEEE 802.15.4 standardı ile çalışmaktadır. Kablosuz algılayıcılarda bluetooth tercih edilmemesinin nedeni kısa mesafede yüksek güç çekmesi, az sayıda düğümle çalışması ve kapanıp açıldığı için çabuk senkronize olamamasıdır.

Kablolu Algılayıcı Ağlar:

Kablolu algılayıcı ağlar doğrudan cihaza bağlandıkları için kablosuz ağlara göre daha güvenilirdir. Kablolu algılayıcı ağlar dayanıklı sistemler olduğu için sık sık değişime maruz kalmazlar, pil ve harici güç kaynaklarına ihtiyaç duymazlar. Ancak bu sistem fazlasıyla alana ihtiyaç duyar, bakımlarında oldukça zor ve karmaşıktır. Eski ve yeni tüm sistemler ve cihazlar için uyumludurlar. Kablolu algılayıcılarla kapı, pencerelerin açılıp kapanması, hareket algılama, ağ izleme ve alarm sistemleri gerçekleştirilir [32].

Akıllı Binalarda Kullanılan Algılayıcılar:

- Sıcaklık Algılayıcıları: Binalar ve işletmelerde ısıtma, iklimlendirme, havalandırma ve klima kontrollerini sağlamaktadır. Arıza durumunda arızayı tespit edebilirler.
- Nem Algılayıcıları: Havadaki nem bazı cihaz ve makinelerin paslanmasına sebep olacağından binalarda, seralarda, hastanelerde kısacası neme duyarlı bütün ortamlarda kullanılmaktadır.
- Hareket/Doluluk Algılayıcıları: Fiziksel hareketleri algılayan sensörlerdir. Binalarda hırsızlara karşı, otomatik kapılarda, el kurutma makinalarında kullanılmaktadır. Odaların ve büroların dolu ya da boş olduğunu görüntülememize, sensöre yaklaşan insanları algılayarak kişi sayımı yapmaya, bina kullanımına göre ısıtma ve aydınlatma yaparak enerji tasarrufuna ve kızılotesi hareket sensörleri ile kişilerin veya nesnelerin sıcaklığını ve ısı kaçığını tespit etmemize yarar.
- Kontak Algılayıcıları: Bina ve çevresindeki kapıların, pencerelerin kapalı veya açık olduğunu tespit etmeye yarar. Bu sayede güvenliği ve enerji tasarrufunu sağlamış olur. Kilitli olmayan yerleri, açık kalan pencere ve kapıları, kırılan camları algılamaya yarar.
- Gaz/Hava Algılayıcıları: Havanın kalitesini ve toksik gazları, yanıcı gazları, tehlikeli gazları tespit etmeye yarar.
- Elektrik Akımı İzleme Algılayıcıları: Bir devre veya makinanın gerçek zamanlı enerji tüketimini ölçen algılayıcılardır. Kullanılmayan cihazları otomatik olarak kapatarak enerji verimliliği sağlamış olur ve arıza durum tespiti yapar.

- Basınç Algılayıcıları: Ortamdaki basıncı ölçen algılayıcılardır. Su ve ısıtma sistemlerinde de kullanılmaktadır [33].

Kısaca akıllı şehirlere geçebilmenin yolu yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak minimum enerji tüketen akıllı binalar tasarlamaktan geçer.

Akıllı Binalarda Enerji Yönetimi

Akıllı binaları diğer binalardan ayıran en önemli özelliklerinde biri enerji verimliliğidir.

İnsanoğlu ilk çağlardan beri mahremiyetini koruyan, güvenli, rahat yaşanabilecek, iklimsel ve kültürel koşullara uyum sağlayan yapılar inşa etme çabasında olmuştur.

Diğer yandan nüfusun artması, doğal kaynakların azalması, uluslararası rekabet, enerji maliyetlerinin artması, çevre kirliliği ve konfor şartlarını iyileştirme gibi sebepler bina tasarım yaklaşımına yeni boyutların dahil edilmesini zorunlu kılmıştır. Binalarda enerji tüketimi en düşük noktada tutularak en yüksek performansın elde edilmesi gerekmektedir [34].

Ev otomasyon sistemi, elektrik ve diğer enerji kaynaklarının akıllı biçimde kullanılacak ve çevreye duyarlı şekilde dizayn edilmelidir.

- Enerji tüketimlerinin gösterimi (Evde bulunan elektrikli aletler için öngörülen enerji tüketiminin kontrol altında tutulmasını sağlar. Bu öngörülen tüketim durumuna göre tasarruf planına paralel olarak önceliği olmayan belli başlı elektriksel aletlerin enerjisi otomatik olarak kesilir)
- Özellikle ısı kontrol sistemi vasıtasıyla sağlanabilecek % 30 a varan tasarruf imkanı (İhtiyaç olduğu anda, arzu edilen mekanda ideal bir ısı derecesi sağlama yoluyla) kullanıcılarına ergonomik ve kişiselleştirilebilen çözümleri dijital teknoloji aracılığıyla sunabilmektedir.
- Web bağlantı sayesinde PC, TV, tablet ve akıllı telefonla uzaktan kontrol ve izleme [35].

Yaşam alanlarımızda, bizim farkına bile varmadığımız ama gereğinden çok enerji tüketen etkenler bulunuyor. Yani çok fazla enerji harcamadığını düşünüp açık bıraktığımız ışık ya da prize takılı kalmış bilgisayar, aktif olarak kullanılmasa bile enerji harcamaya devam etmektedir.

Akıllı evlerde bu tüketim şu maddeler ile önlenabilir;

- Bu tarz evlerde kullanılan akıllı ampul teknolojisi; programlanabilmesi ve uzaktan kontrol edilebilmesi nedeniyle hem rahatlık hem de tasarruflu bir kullanım sunuyor. Aynı zamanda sensör sistemine de sahip olan bu ampuller, ışığa ihtiyaç duyulan ve duyulmayan alanları rahatlıkla tespit edip gereksiz elektrik kullanımının önüne geçiyorlar.
- Sürekli artan doğal gaz fiyatlarıyla beraber herkes yeni bir çözüm arayışına girdi. Akıllı evlerde bulunan; akıllı kombi kitleri ve akıllı oda termometreler de rahat bir çözüm yolu olarak karşımıza çıktı. Akıllı telefonunuzdan yönetebileceğiniz akıllı kombiler, koşul-

lara uygun olarak tasarruflu ayarlamalar yapıyor. Örneğin, siz evde yokken sıcaklığı eve geldiğinizde yeniden kolayca ısıtabileceğiniz bir dereceye düşürüyor. Böylelikle hem çevremiz hem de doğal gaz faturanız için enerji tasarrufu yapmış oluyorsunuz.

- Yaşam kalitenizi iyileştirmesinin yanında ciddi derecede tasarruf sunan akıllı ev özelliklerinden en önemlisi de akıllı beyaz eşyalar. Evet, akıllı buzdolabı, akıllı klima ve bulaşık makinesi gibi her evin olmazsa olmazlarından bahsediyoruz. Akıllı evler sayesinde aslında hayatımızın tam merkezinde yer alan interneti kullanarak beyaz eşyalarınızı cep telefonunuzdan kontrol edebilirsiniz. Mesela eve gitmeden klimanızı istediğiniz dereceye ayarlayabilir ve eve ayak bastığınız anda istediğiniz ısıda bir ortama kavuşabilir, klimayı evden çıkarken açık unuttuğunuzda yine telefonunuz üzerinden kapatarak gereksiz kullanımının önüne geçebilirsiniz.
- Akıllı ev sistemleri, enerji tasarrufunun yanında güvenliğinizi de düşünür. Buna en güzel örneklerden biri de akıllı prizlerdir. Akıllı prizler sayesinde, “Ütüyü açık mı unuttum?” gibi telaşlarla uğraşmanıza gerek kalmaz. Yine akıllı telefonunuz üzerinden prizi kapatabilirsiniz [36].

Akıllı konutları sadece cihazlara uzaktan kumanda edebilme, eve gelmeden klima ya da ısıtma sistemlerin çalıştırılmasının getirdiği rahatlık ve konfor olarak bakılmaması gerekmektedir. Akıllı evlerde geliştirilecek kullanım düzenlemesi ile elektrik enerjinin kullanım yoğunluğunu dağıtarak elzem olmayan cihazların kullanımının ucuz saatlere ötelenmesi mümkün olabilmektedir. Bunun içinde akıllı ev sistemlerinin ve akıllı cihazların en uygun kullanımının programlanabilmesi gerekmektedir. Kullanılmayacak aydınlatmaların kapatılması, zamana göre programlanabilmesi, yine çamaşır makinesi bulaşık makinesi gibi cihazların kullanımının da daha uygun fiyatlı saatlere ötelenmesi sağlanabilmesi ile tasarruflu bir enerji tüketimi gerçekleştirilebilecektir. Böylece enerji yönetiminin sağlanabileceği görülmektedir [37].

Ev Enerji Yönetim Sistemleri (EEYS) Ev enerji yönetim sistemleri (EEYS) temel olarak bir evin elektrik enerjisi kullanımını tüketicinin tercihlerini de dikkate alarak kontrol etmeyi sağlayan algoritmalarından oluşan bir kontrol yapısıdır. Bu sistemler aynı zamanda şebeke tarafıyla son tüketici olan meskenler arasındaki iletişimi de sağlamaktadırlar. Bir evin akıllı ev olarak tanımlanmasındaki en önemli kriterlerden birisi EEYS’ne sahip olmasıdır. Bu sebeple farklı yapılar, farklı metotları veya kontrol algoritmalarını içeren EEYS bir akıllı evin temel gereksinimidir. Özellikle yakın gelecekte yaygınlaşacak dinamik fiyatlandırma uygulamaları düşünüldüğünde tüketicinin sürekli değişen fiyatlandırmaya uygun bir tüketim yapabilmesi için EEYS önemli bir araç olarak karşımıza çıkacaktır.

SONUÇ

Literatürde farklı parametrelerin dikkate alındığı EEYS üzerine pek çok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda farklı haberleşme protokolleri, farklı donanımsal cihazlar veya farklı yönetim algoritmaları karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte gelişmiş bir EEYS

sensör, akıllı cihazlar veya akıllı prizlerden bilgi alabilmeli, bu bilgileri işleyebilmeli, üretim veya tüketim tarafındaki cihazlara kontrol sinyalleri gönderebilmeli, kullanıcıdan gelen seçimleri ve elektrik firmalarından gelen dinamik fiyat bilgilerini dikkate alabilmelidir. Bunun yanında kendine ait yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) olan bir evde bu kaynaklardan en etkin şekilde faydalanmak için evde tüketilen güç ile YEK tarafında üretilen güçün birlikte değerlendirilmesi gereklidir. Bu sayede elektrik firmalarının kısıtları, dinamik fiyatlandırma, hava koşulları ve tüketicinin gereksinimlerini gibi pek çok değişkenin değerlendirildiği bir enerji yönetim sistemi ile en etkin işletim şartları oluşturulabilecektir. Bu amaçla tez çalışmasında geliştirilen ev enerji yönetim sistemi, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve güneş enerjisi ile enerji depolama ünitesi olarak bataryalardan oluşan hibrit sisteme sahip bir akıllı ev enerji yönetimini (EEY) gerçekleştirmektedir [38].

Akıllı binaların en önemli amacı enerji verimliliğini maksimum düzeyde sağlamaktır. Sürekli gelişmekte olan teknoloji ve enerjiye olan ihtiyacın artmasından dolayı kullanıcılara güvenilir, temiz ve sürdürülebilir enerjiyi sağlamak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bunun nedeni ise doğamızda var olan kaynakların kısıtlı olması ve çevreye verilen zararın giderek artmasıdır. Dünya üzerinde tüketilen enerjinin büyük bir bölümünü binalarda kullanılan enerji kapsamaktadır. Bu yüzden akıllı binaların enerji tüketimindeki yeri oldukça büyüktür. Akıllı bina kullanımı sayesinde enerji verimliliği de maksimum düzeye çıkacaktır. Binalarda kullanılan enerjiyi azaltmak çevre kirliliğini önemli ölçüde ortadan kaldıracaktır [39].

Enerjiyi etkin kullanan ve aynı zamanda gerektiği miktarda yenilenebilir enerji kaynağı kullanımıyla fosil kaynakların kullanımını azaltmasına olanak sağlayan en önemli yapı birimi akıllı binalardır [40].

Ülkemizde 5 Aralık 2009 yılında binalarda enerji verimliliğini artırma ve fosil yakıtların kullanımının azaltılmasına ilişkin olarak "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğinin en önemli amaçları [41]:

- Verimlilik tedbirleri ile enerji tüketimini düşürmek, ,
- Karbon ayak izini azaltmak,
- Çevre ve ekolojik koşulları muhafaza etmek,
- Enerji stratejisi ve politikasını izleyerek enerji tüketimi ile enerjinin maliyet üzerindeki oranını düşürmek,
- Enerji Kimlik Belgesi hazırlayarak binalarda enerji tasarrufunu yönlendirmek ve insan üzerinde enerji kültürü oluşturmak [39].

Enerji verimliliğini enerji yönetimi ile de sağlayabiliriz. Bulanık mantık denetleyicilerinin akıl yürütme özelliği sayesinde kontrol edilebilir. Talep tarafı yönetimi de tüketim tarafında enerji kullanımını iyileştirmeye yönelik alınan tedbirler doğrultusunda talebin yoğun ve fiyatın yüksek olduğu saatler belirlenerek talebin ve fiyatın düşük olduğu veya yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin olduğu zaman dilimlerine kaydırarak da sağlayabiliriz [42]. Talep tarafı yönetimi planını yürütmenin hedefleri, son kullanıcı işletme

maliyetlerinin azaltılmasından, iletim ve dağıtım kayıplarının ve sera gazı ayak izinin azaltılması gibi ekolojik ve çevresel etkinin azaltılmasına kadar uzanmaktadır [43]. Bulanık mantık denetleyicileri ve yenilenebilir enerji kaynakları ile tasarlanan akıllı binalarda yenilenebilir enerji üretimi olduğu zamanlarda sistem yenilenebilir enerjiden beslendiği, yenilenebilir enerjinin olmadığı yoğun saatlerde ise güç tüketimini bazı yüklerin kesilmesiyle sınırlayarak yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi yaptığı saatlere kaydırıldığı için yenilenebilir enerji kaynaklarından en iyi şekilde yararlanılmış ve diğer durumlara göre şebekeden en az enerji tüketimi yaptığı için en iyi sonucu verecektir [39].

KAYNAKLAR

- [1] RL: <https://www.ekoyapidergisi.org/>
- [2] Ceylan, M., 2002, *Akıllı bina sistemleri*, Best Dergisi, 8, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul
- [3] Avican, G. "*Akıllı Bina Otomasyon Sistemleri ve Türkiye’deki Uygulamaları* ." Institute of Science, Istanbul Technical University, Istanbul (1999).
- [4] Stefanov, D. H., Bien, Z., & Bang, W. C., The smart house for older persons and persons with physical disabilities: structure, technology arrangements, and perspectives. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 12(2), 228-250. (2004).
- [5] Stefanov, Dimitar H., Zeungnam Bien, and Won-Chul Bang. "*The smart house for older persons and persons with physical disabilities: structure, technology arrangements, and perspectives.*" *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering* 12.2 (2004): 228-250.
- [6] Pennell, N. (2013). "*Opportunities and Challenges for Intelligent Buildings.*" In *Intelligent Buildings: Design, Management and Operation*. 2nd ed, edited by D.J. Clements-Croome, 305-312. London: ICE Publishing.
- [7] Douligeris, Christos. "*Intelligent home systems.*" *IEEE Communications Magazine* 31.10 (1993): 52-61.
- [8] Batov, Eugeny I. "*The distinctive features of "smart" buildings.*" *Procedia Engineering* 111 (2015): 103-107.
- [9] Dewsbury, G., Taylor, B., Edge, M... In Proctor R, and Rouncefield M., *Dependability In Healthcare Informatics*, Lancaster University. (2001)
- [10] Akın A., *Akıllı Ev Tasarımı Ve Otomasyon Sistemleri* , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (2014).
- [11] Rubio, Benito, M. D., Fuertes, J. M., Kahoraho, E., Perez Arzoz, N. "Performance Evaluation of Four Fieldbuses" *Emerging Technologies and Factory Automation, Proceedings, IEEE International Conference, Vol 2*, 881-890. .(1999).
- [12] Lee, K.S., Lee, S., Oh, K.T. and Baek, S. M.. "Network Configuration Technique for Home appliances" *Proceedings of ICCE 2002, Vol. 1*, 180-181. (2002).
- [13] So, Albert TP, and Alvin CW Wong. "*A new definition of intelligent buildings for Asia.*" *Facilities* (1999).
- [14] Yılmaz, Zerrin. "*Akıllı binalar ve yenilenebilir enerji.*" *Tesisat Muhendisligi Dergisi*,(91)(2006): 7-15.
- [15] Bozdağ, S.M., 2005, "*Akıllı binalara akıllı asansör otomasyonu*", Best Dergisi, 46, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul.

- [15] URL: <https://www.ekoyapidergisi.org/>
- [16] Ceylan, M., 2002, *Akıllı bina sistemleri*, Best Dergisi, 8, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul
- [17] Avican, G. "Akıllı Bina Otomasyon Sistemleri ve Türkiye'deki Uygulamaları ." Institute of Science, Istanbul Technical University, Istanbul (1999).
- [18] Mangan, Suzi Dilara. *Akıllı Binalarda Alt Sistem Değerlendirmesi: İstanbul Örneği*. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [19] Biricik, M., 2003, "Aydınlatma otomasyonu üzerine", Best Dergisi, 19, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul.
- [20] Bozdağ, S.M., 2005, "Akıllı binalara akıllı asansör otomasyonu", Best Dergisi, 46, Bileşim Yayıncılık A.Ş., İstanbul.
- [21] Baknaklı, Turgut Aytun. "İnşaat projelerinde akıllı bina sistemlerinin maliyet analizi ve taşınmaz değeri üzerindeki etkileri: Bir örnek olay incelemesi". Diss. İstanbul Kültür Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü/İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/Proje ve Yapım Yönetimi Bilim Dalı, 2019.
- [22] Bektaş A. (2009). "Bina Güvenlik Yönetim Sistemleri", TMMOB Emo, Elektronik Güvenlik Sistemleri Sempozyumu Bildirileri, İzmir.
- [23] URL: Kesintisiz Güç Kaynakları, <http://www.acdc.com.tr/help.htm> (2006)
- [24] Kaya, E., Bayrakçı A. (2005). "Enerji Yönetimi", Best Dergisi, 47, Bileşim Yayıncılık, İstanbul.
- [25] R. S. Hall and H. Cervantes, "An OSGi Implementation and Experience Report," Consum. Commun. Netw. Conf. 2004. CCNC 2004. First IEEE, pp. 394-399, 2004.
- [26] Jamalabad, Mahyar Shahbazi. "Enerjisini İklımden Üreten Akıllı Evler" Diss. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [27] Oğuz, Ata., Uçar. Erdem, and Hasan H. Balık. "Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Kullanılan Teknoloji ve Protokoller Üzerine Bir İnceleme." İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi 3.12: 51-68.
- [28] Gomez, Carles, and Josep Paradells. "Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies." IEEE Communications Magazine 48.6 (2010): 92-101.
- [29] Odabaşı, Şafak Durukan, and Songül Tozan. "Kablosuz Sensör Ağlar ve Kablosuz Sensör Ağlarda Enerji Tüketimi."
- [30] Ramson, SR Jino, and D. Jackuline Moni. "Applications of wireless sensor networks—A survey." 2017 international conference on innovations in electrical, electronics, instrumentation and media technology (ICEEIMT). IEEE, 2017.
- [31] Pınar, Yasaroglu, et al. "Wireless Sensor Networks (WSNs)." 2016 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT). IEEE, 2016.
- [32] URL: <https://www.machinon.com/post/46-long-term-wired-connections-in-a-minibems-smart-building>
- [33] URL: <https://www.pressac.com/insights/types-of-smart-building-sensor-and-how-they-work/>
- [34] <https://hvac360tr.com/akilli-binalarin-oceligi-enerjiden-tasaruf-etmek/>
- [35] Duygu. Ozdeniz "EVLER NE KADAR AKILLI OLMALI, TASARIM ve UYGULAMADAKİ PROBLEMLER, ÇÖZÜM ÖNERİLERİ".

- [36] <https://www.isbank.com.tr/blog/akilli-ev-sistemleri>
- [37] Baran, A. “Akıllı ev otomasyonu için enerji yönetim sistemi geliştirilmesi ve uygulanması” 2019.
- [38] Elma, O. ve Selamoğulları, U. S., (2015). “A new home energy management algorithm with voltage control in a smart home environment”. *Energy*, 91:720–731.
- [39] Hasanova, Nazlı. Akıllı Binalarda Talep Tarafı Enerji Yönetimi. Diss. Marmara Üniversitesi (Turkey), 2021.
- [40] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2008). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. Resmi Gazete, sayı: 27075, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm> (15.11.2019).
- [41] Wang, Z., Wang, L. (2012). Occupancy Pattern based Intelligent Control for Improving Energy Efficiency in Buildings. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 20-24 August, Seoul, Korea (South).
- [42] Palensky, P., Dietrich, D. (2011). Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381-388.
- [43] Batić, M., Tomašević, N., Beccuti, G., Demiray, T., Vraneš, S. (2016). Combined Energy Hub Optimisation and Demand Side Management for Buildings. *Energy and Buildings*, 127, 229-241.

AKILLI ŞEBEKELERDE KULLANILAN BINA SİSTEMLERİ VE ERİŞİLEBİLİRLİK YÖNÜYLE AFAD SİVAS OFİŐİ UYGULAMASI

Derya Betül Ünsal Çelimli^{a,b}, İsmail Güneş^{a,b,c}

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği

^b Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Uygulama ve Araştırma Merkezi

^c Sivas İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü

ÖZET

Akıllı Şebeke sistemleri üzerine yapılan birçok çalıőmadan biri de sistemin akıllı olması ile birlikte erişilebilir olması gerektiğidir. Ülkemizde erişilebilir akıllı kent, akıllı toplum ve erişilebilir çevre kavramları üzerine yapılan çalışmaların artması sevindiricidir. Erişilebilirlik kavramı ve uygulamalarının önemi iyi örneklerin artması ile daha iyi anlaşılacaktır. Bu sebeple bu çalışmada AFAD Sivas Ofisi'nin yeni hizmet binası, Sivas'a getirdiği yenilikler bakımından incelemeye değer bir yapı olarak değerlendirilmiştir. Bina sistemleri ve servisleri bu yapının güçlü yönlerini oluşturmaktadır. Erişilebilirlik bakımından iyi yaklaşımlar barındırmakla birlikte bina giriőinin uygunsuzlukları hemen göze çarpmaktadır. Bina bileşenleri ve enerji etkinliği ile erişilebilirlik yönünde iyileőtirmelere ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebekeler, Akıllı Binalar, Erişilebilirlik

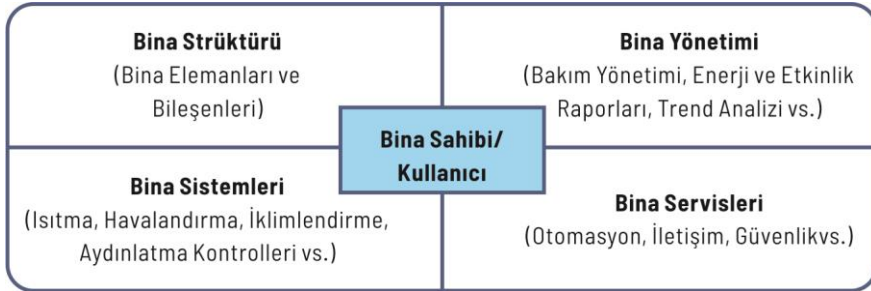
ABSTRACT

One of the many studies on smart grid systems is that the system should be accessible along with being smart. It is pleasing that studies on the concepts of accessible smart city, smart society and accessible environment are increasing in our country. The importance of the concept of accessibility and its applications will be better understood with the increase of good examples. For this reason, in this study, the new service building of AFAD Sivas Office was evaluated as a structure worth examining in terms of the innovations it brought to Sivas. Building systems and services are the strengths of this structure. Although there are good approaches in terms of accessibility, the inconveniences of the building entrance are immediately noticeable. Improvements are needed in terms of building components and energy efficiency and accessibility.

Keywords: Smart Grids, Smart Buildings, Accessibility

GİRİŞ

Akıllı bina kavramı, binada yaşayanlar için verimli, düşük maliyetli ve çevre dostu bir ortam yaratmak amacıyla, yapı strüktürünü, sistemlerini, hizmetlerini ve yönetimini çok disiplinli bir çabayla entegrasyonu ve optimizasyonu vurgulamaktadır [1]. Şekil 2.1. de Amerika'da bulunan Akıllı Bina Enstitüsü (IBI)'nin de kabul ettiği akıllı bina sistem bileşenleri görülmektedir. Bunlar; yapı strüktürü, bina sistemi, bina yönetimi ve bina servisleridir. Burada kullanıcı, sistemin merkezinde yer almaktadır.



Şekil 1.1. IBI Akıllı Bina sistem şeması (Ting-pat, A. S., Chan, W. L., 1999).

Strüktür; mimaride binayı ayakta tutan iskeleti, daha geniş anlamıyla binanın iskeletine eklenmiş tüm taşıyıcı malzemeyi ifade eder.

Bina sistemleri; HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) olarak ifade edilen ısıtma, soğutma, havalandırma sistemlerinin genel adıdır. Bunun yanında ayarlanabilir aydınlatma ve diğer kontrol elemanları bu sisteme dahildir.

Bina servisleri; bina içindeki bir veya birden fazla sistemin otomasyon üzerinden takip edilebildiği, haberleşme ve güvenlik sistemlerinin bulunduğu yapıyı ifade eder.

Bina yönetimi; özellikle enerji sarfiyatının etkin takibinin yapıldığı birimdir.

Bilindiği gibi, akıllı binalar enerji verimliliğini artırmak üzere binanın enerji harcamalarının otomatik olarak binanın kendi elemanlarıyla ve ek donatılarla kontrol edildiği sistemlerdir. Dolayısıyla akıllı binanın en önemli görevi, kullanıcı konforundan ödün vermeden binanın enerji harcamalarının en az düzeyde olmasını sağlamaktır [2].

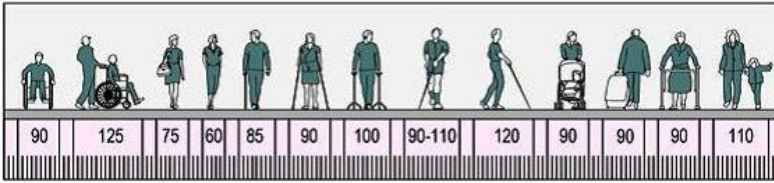
Akıllı bina yaklaşımı, sistem bileşenlerinin bir bütün olarak tasarlanmasıyla anlamlı hale gelir. Yılmaz (2006)'ya göre İstanbul'daki İş Kulelerinin ışık görmeyen kısımlarındaki cam tercihinin yanlış olması ve aydınlatma ışıklarının gün ışığına ve kullanıma duyarlı olmaması elektrik enerjisi sarfiyatını artırmıştır. Bu nedenle daha tasarım aşamasında, sistemin etkinliğini ölçebilecek simülasyonların yapılması önemlidir.

Yaşam alanları planlanırken enerji verimliliği ve akıllı uygulamalar yanında, aynı zamanda yapının erişilebilir olması gerekmektedir. Kaplan ve Öztürk (2004)'e göre ülkemizde fizyolojik, psikolojik ve anatomik yapı işlevlerindeki belli bir kayıp dolayısıyla belli bir hareket yeteneği, algılaması ve kavraması kısıtlı olan; nüfusun %12'sini aşan bir kesim kamu alanlarına ulaşım ve erişim haklarını kullanamamaktadır [3]. Başer (2008)'e göre buna ek

olarak engelli bireyle yaşayan aile bireyleri de bu yüzdelerle katıldığında bu zorluklardan etkilenen birey oranının oldukça fazla olduğu karşımıza çıkmaktadır [4].

Erişilebilirlik herkesin, istediği her yere ve her hizmete, bağımsız ve güvenli olarak ulaşabilmesi ve bunları kullanabilmesidir (Koç, 2020). Engelli bireylerin diğer bireyler gibi; konutundan diğer bütün kamu alanlarına, verilen hizmetlere ulaşması ve bu alan ve hizmetlerden kimsenin yardımı olmaksızın faydalanmaları elzemdir.

Erişilebilirliğin sağlanması, izleme ve sürekliliği, standartlara uygunluğun her aşamada sağlanması ve denetlenmesi ile mümkündür. İmar planlarında kat yüksekliklerinin yanı sıra yaşlı ve engelli tüm bireylerin bağımsız, güvenli ve konforlu bir çevrede bireysel gereksinimlerinin (alışveriş, sağlık ve yürüme vb.) ve uygun servislerin kurgulanması gereklidir [5]. Yapı kurgulanırken temel prensip, özel kullanıcıların aynı imkan ve hizmeti diğer kullanıcılar gibi almaları olmalıdır. Yapı aynı kullanım alanlarında farklı özellikteki bireylerin, sunulan hizmeti eşit koşullarda almasını sağlayacak ölçüleri içermelidir. Şekil 1.2.de çeşitli kullanıcı tipleri ve ihtiyaç duydukları geçiş mesafesi için minimum ölçüler yer almaktadır.



Şekil 1.2. Genel ölçüler (Koç,2020).

Ülkemizde tasarımın herkes için yapılması ve erişilebilir yaşam alanları inşa edilmesi için mevzuat düzenlemeleri bulunmaktadır. 3194 sayılı İmar Kanunu, Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği, Otopark Yönetmeliği ve Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği başta olmak üzere İmar Mevzuatı; diğer yandan BM Engellilerin Haklarına İlişkin Sözleşme, 5378 sayılı Engelliler Hakkında Kanunu içeren engellilik mevzuatında yer alan hükümler gereği plan ve proje aşamalarında erişilebilir tasarım yapılması zorunludur (Koç, 2020).

Çağdaş toplum ve sosyal devlet olmanın öncelikli gerekliliklerinden birisi de, her birey; kalıcı ve geçici bedensel yetersizlikleri dikkate alınmadan eşit hak ve olanakların sunulması, toplum yaşamının tüm alanlarına tam katılımlarının sağlanmasıdır [6]. Bu kapsamda hem akıllı bina hem de erişilebilirlik kavramı yönüyle AFAD Sivas Ofisi araştırılmış sonuçlar tartışılmıştır.

ARAŞTIRMA

AFAD, afetlerin önlenmesi ve zararlıların azaltılması, afetlere müdahale edilmesi ve afet sonrasındaki iyileştirme çalışmalarının süratle tamamlanması amacıyla gereken faaliyetlerin planlanması, yönlendirilmesi, desteklenmesi, koordine edilmesi ve etkin uygulanması için ülkenin tüm kurum ve kuruluşları arasında işbirliği sağlayan, çok yönlü, çok aktör-

lÜ, bu alanda kaynakların rasyonel kullanılmasını gözeten, faaliyetlerinde disiplinler arası çalışmayı esas alan, iş odaklı, esnek ve dinamik yapıda teşkil edilmiş bir kurumdur [7].

Görev tanımı ve sorumlulukları itibarıyla AFAD'ın birçok işi aynı anda ve senkronize yapması gerekmektedir. Ülkemizde, sayısı gittikçe artan yıkıcı afetler teknoloji yoğun bir dönüşümü zorunlu kılmıştır. Böylece bütünleşik afet yönetim sistemleri, lojistik depolar, veri tabanları, kesintisiz haberleşme sistemleri vb. projelerin yanında yeni hizmet binaları da değişimdeki yerini almıştır. Bu bölümde AFAD Sivas Ofisi akıllı bina sistemleri ve erişilebilirlik kavramı yönüyle incelenmiştir.

Akıllı Bina Sistemleri

AFAD Sivas Ofisi yeni hizmet binası 2020 yılı mart ayında faaliyete geçmiştir. Toplamda 6.000 m² inşaat alanına sahip yapı, U tipi mimari dizayna sahiptir. (Şekil 2.1.1.)



Şekil 2.1.1. AFAD Sivas Ofisi, mimari plan.

Temele radyal kazıklar çakılarak yapıya sağlam bir zemin kazandırılmıştır. Dış cephede saydam malzeme olarak açık ve renklendirilmiş camlar, opak malzeme olarak beton üzeri dekoratif tuğla (arasında dış cephe yalıtımı), beton üzeri kompozit kaplama (arasında taş yünü ve çadır kumaşı) ve yalıtımlı alüminyum çerçeveler kullanılmıştır. Binanın ön ve arka olmak üzere 2 girişi bulunmaktadır. Yapıda 5 adet toplantı salonu, 3 adet eğitim salonu, 1 adet afet yönetim merkezi, 2 adet spor alanı, 1 adet kapalı garajı, yatakhaneler ve diğer hizmet ofisleri yer almaktadır (Şekil 2.1.2.).



Şekil 2.1.2. AFAD Sivas Ofisi, önden görünüm.

Yapıda ileri HVAC sistemi bulunmaktadır. Sistem, otomasyon (Niagara 4) programıyla yönetilmekte ve 4 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; klima santralleri, fan-coil, kazan dairesi, kullanma ve yangın suyu deposu.

Otomasyon sisteminde çatıda konumlandırılmış gün ısı panellerinden sisteme girişi sağlanan sıcak su takip edilebilmektedir. Çatıda 2 sıra halinde 16 adet gün ısı paneli bulunmaktadır ve yapının sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır (Şekil 2.1.3).

Klima sistemi de çatıda konumlandırılmıştır. Fan-coil sistemi ısıtma ve soğutma işlemlerini yerine getirmektedir. Her odada bulunan fan ve termostat ile oda sıcaklıkları kontrol edilmektedir. Sistemde kullanma ve yangın su deposu, pis su çukurundaki su seviyesi görülebilmektedir. Yine, sistemde çalışan mekanik malzemenin çalışma saatleri ve faal olup olmadıkları anlık takip edilebilmektedir. Bina dışı sıcaklık bilgisi de her an izlenebilmektedir. Bununla birlikte enerji sarfiyatının (doğalgaz, elektrik) otomasyonda anlık takip edilebilmesi için, binanın yerel bilişim ağına akıllı sayaçlar entegre edilebilir.



Şekil 2.1.3. Gün ısı panelleri.

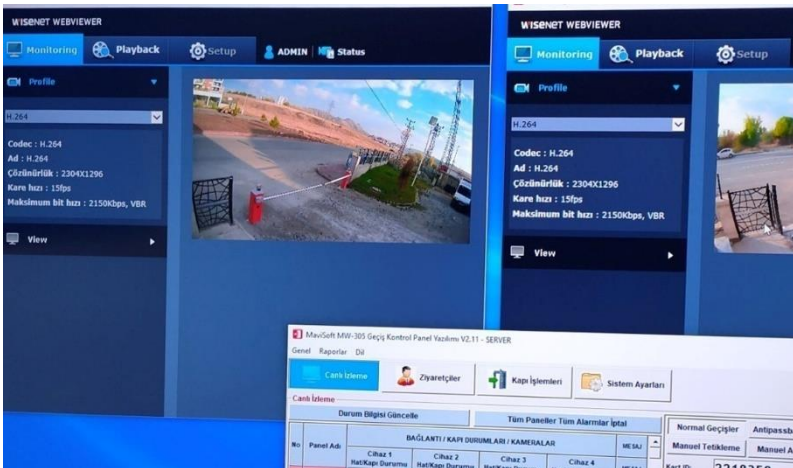
Binada kesintisiz haberleşmeyi sağlamak için bütünlük internet sistemi mevcuttur. Yerel ağ, V-SAT uydu tabanlı veri sistemi ve GSM mobil veri kaynağı ile desteklenmektedir. Kablolu veri ağında kesinti yaşandığı anda diğer besleyiciler otomatik devreye girmektedir. Yerel ağa dijital telefon santrali ve ip tabanlı telefonlar da entegre edilmiştir. Sistemden bağımsız olarak; sayısal röle, HF atmosferik telsiz ve sabit uydu telefonları alternatif iletişim kanallarını oluşturmaktadır.

Kamera sistemi, yerel ağa özel tanımlı ip üzerinden -kapalı devre- çalışmaktadır. 36 adet kamera ile yapı güvenliği ilgili birimde takip edilmektedir (Şekil 2.1.4).



Şekil 2.1.4. Bina kamera sistemi

Bina nizamiye girişindeki araç turnikesinde geçiş kontrol sistemi bulunmaktadır. RFID sistemiyle tanımlı araçların giriş-çıkışı otomatik sağlanmaktadır. Turnike, personel turnikeleri ve özel yetki gerektiren odaların girişinde kullanılan kart okuma sistemine entegredir. (Şekil 2.1.5)



Şekil 2.1.5. Araç turnike geçiş sistemi

Bina peyzaj aydınlatma direklerinde güneş enerji panelleri (PV) kullanılmaktadır. Paneller direğin altındaki aküleri besler. Aydınlatma direkleri gün ışığının sona ermesiyle kendiliğinden devreye girerek çevreyi aydınlatmaktadır. (Şekil 2.1.6).



Şekil 2.1.6. Güneş enerji panelli aydınlatma direkleri

Afet Yönetim Merkezi, ana giriş, yemekhane ve fuaye alanında dokunmatik ekran ile alanın ışık şiddeti ayarlanabilmektedir (Şekil 2.1.7). Bina koridorlarında harekete duyarlı aydınlatma lambaları mevcuttur. Aydınlatma otomasyon sistemi (Berker Ip-Control) üzerinden bina koridorları da dim edilebilmektedir. Diğer ofislerde ışık şiddetinin ayarlanabileceğine ilişkin veri yoktur.



Şekil 2.1.7. Afet Yönetim Merkezi, dim ayarlı dokunmatik ekran.

Bina elektrik sistemi 3 adet jeneratörle ve ups güç kaynağıyla desteklenmektedir. Bununla beraber yapı, yangın sensör ve söndürme ekipmanlarıyla donatılmıştır. Yangın söndürme sistemi kapalı devre çalışmaktadır.

Erişilebilirlik Uygulamaları

Enginöz (2015), mimari tasarım sürecinde erişilebilirlik kavramıyla ilgili 3 önemli bileşene dikkat çekmiştir [8]. Birincisi; bina içindeki mekânların, fiziksel ihtiyaçları karşılayacak boyut ve standartlarda herkese uygunluğu. İkincisi; sosyal kısıtlamalara izin vermeyen tasarım yaklaşımı. Üçüncüsü de; kültürdür. Toplumun engelli bireylere olan duyarlılığı, erişilebilirlik çalışmalarının başarısını belirleyen en önemli faktördür.

Mimari tasarımlarda fiziksel ihtiyaçları karşılayan boyut ve standartlarla ilgili; T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı'nın 2020'de yayımladığı Erişilebilirlik Kılavuzu'nda temelde 2 bileşen göze çarpmaktadır. Bunları; bina içi ve bina dışı bileşenler olarak ifade edebiliriz. AFAD Sivas Ofisi incelemesinde, fiziksel boyut ve standartlarla ilgili analizlerde Erişilebilirlik Kılavuzu (2020) referans alınmıştır.

Erişilebilirlik bileşenlerinden rampalar bina girişlerinde olması gereken önemli unsurlardır. Erişilebilirlik Kılavuzu'na (2020) göre rampalarda aşılması gereken kot farkı 50-100 cm arasında ise rampa eğimi en fazla %6, 101 cm ve üzeri olan yerlerde ise maksimum %5 olmalıdır. AFAD Sivas Ofisi'nin bu değerleri yakaladığı görülmektedir (Şekil 2.2.8). Rampada tekerlekli sandalyenin güvenli geçişi için tırabzan yer alırken, rampa bitiminde sandalyenin dönüş hareketi için yeterli alan bulunmaktadır.



Şekil 2.2.8. Rampa –bina ana girişi-.

Temel erişilebilirlik bileşenlerinden bir diğeri de yer uyararıdır. Ülkemizde "TS ISO 23599 - Görme Özürlü veya Az Görenler İçin Yardımcı Mamuller - Hissedilebilir Yürüme Yüzeyi İşaretleri" ve "TS 13536 - TS ISO 23599'un Uygulanmasına Yönelik Tamamlayıcı Standart" görme engeli olan veya az gören bireylerin kamu ve açık alanlara erişimini gü-

vence altına alan standartları ifade eder [9], [10]. Buna göre görme engeli olan veya az gören bireyler; açık alanlarda ve iç mekânlarda hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri, sesli ve görsel uyarılar ile desteklenmelidir.

Hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri 2 tip olarak belirlenmiştir. Bunlar; kılavuz yüzey ve uyarıcı yüzeydir. Kılavuz yüzey engelli bireyin bir noktadan diğerine giderken bir hat üstünde güvenli seyahatini sağlayan dikine çizgilerdir. Uyarıcı yüzey ise bir karar noktasını veya risk barındıran bir bölge sınırlarına yaklaşıldığını ifade eden dairesel işaretçilerdir. Bina girişinde bulunan yer uyarıcıları Şekil 2.2.9 da gösterilmiştir.



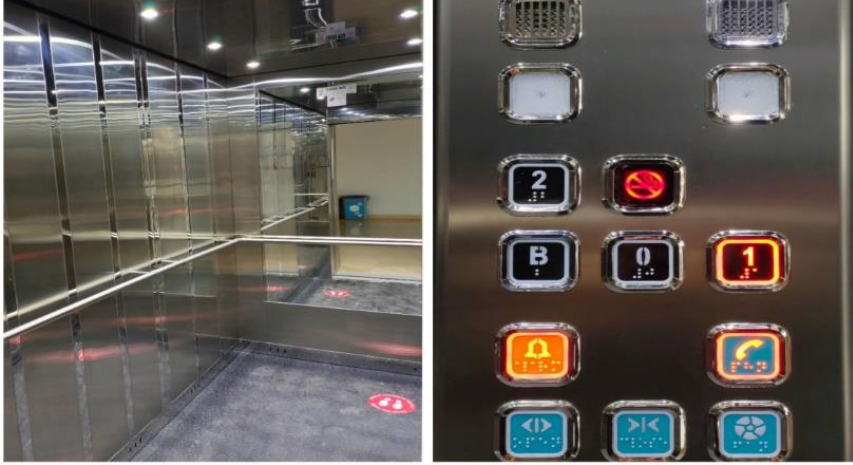
Şekil 2.2.9. Hissedilebilir yürüme yüzey işaretleri.

Erişilebilir tuvaletler içerisinde kolay manevra hareketi sağlayacak genişlikte olmalı, engelli bireye güvenli ve konforlu kullanım sağlamalıdır. Diğer tuvaletlerden bağımsız tasarlanmalı, acil durum önlemlerini içermelidir. Bina giriş katında biri erkek biri kadın olmak üzere 2 adet bağımsız erişilebilir tuvalet bulunmaktadır. Acil durum butonları ile desteklenmiş bölüm güvenlik odasından sesli ve görsel uyarılar ile takip edilebilmektedir (Şekil 2.2.10).



Şekil 2.2.10. Erişilebilir tuvalet ve çağrı izleme ünitesi.

Erişilebilir yapılarda birden fazla kat bulunduğunda asansör veya asansör rampa yapılmalıdır. Kabin içinde ve dışında rakam, sembol ve işaretçiler görülebilir olmalı ayrıca hissedilebilir kabartmalı harfler kullanılmalıdır. Şekil 2.2.11 de kabin içinde kabartmalı işaretçiler ve trabzan bulunmaktadır.



Şekil 2.2.11. Erişilebilir asansör.

Diğer bir erişilebilirlik bileşeni de yatay zemin dış alan düzenlemeleridir. Yürüyüş güzergâhları iyi planlanmalı varsa kot farkları giderilmelidir. Engelli bireylerin güvenli geçişleri için düzenlemeler yapılmalıdır. Bina ana nizamiye girişi ve bahçede erişilebilirliği sağlayacak yaklaşımlar gereklidir. (Şekil 2.2.12).



Şekil 2.2.12. Bina ana girişi ve bahçe.

SONUÇ

Akıllı bina yaklaşımında temel parametre, kullanıcı konforundan ödün vermeden enerji verimliliğini sağlamak olmalıdır. Bu da ancak, binanın tasarım aşamasında bütüncül bir bakışla değerlendirilmesiyle mümkündür. Ülkemizde akıllı bina denemeleri kısmen başarılı olmuştur. Burada verimliliğin, beklentinin altında kalması bu sonucunu doğurmuştur. Yapı malzemelerinin seçimi, gölgeleme unsuru olarak PV panellerin kullanılıp kullanılmadığı, havalandırma sisteminin tasarımı, yapının konumu gibi birçok unsur yapının enerji etkinliğini belirlemektedir. Literatürde akıllı bina kavramının çerçevesi çizilirken, ilk olarak bina kabuğundan söz edilmesi gerektiğini savunan birçok çalışma bulunmaktadır.

Erişilebilirliği sadece engelli bireylerin bir binaya ya da mekâna erişebilmesi için yapılacak ayrı bir giriş veya düşey sirkülasyon tasarımına indirgemek doğru bir yaklaşım değildir. Bu yaklaşımlar hem toplum içindeki engelli bireyleri diğerlerinden ayırarak yalnızlaştırmakta, hem de maliyetleri artırıcı bir etken olarak görülmektedir.

Toplumda herkes sosyalleşme ve kültürel yaşamını özgürce yaşayabilme hakkına sahiptir. Bu nedenle sağlıklı ve engelli tüm bireylerin birlikte olabileceği sosyal yalnızlığı önleyici tasarım önerileri geliştirmek gerekmektedir. Erişilebilir tasarım adına sadece bina girişlerinin, ortak mahallerin, tuvaletlerin, rampa, asansör ve merdiven gibi düşey sirkülasyon elemanlarının engellilere uygun standartlarda yapmanın ötesinde, sağlıklı bireyler gibi engellilerinde sosyal yaşamdan kopmadan birarada olabileceği bina içi çözümleri, yatay ve düşey ulaşım şemaları oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Arkin, H., Paciuk, M. (1997). Evaluating Intelligent Buildings According to Level of Service Systems Integration, *Automation in Construction*, 6, 471-479.
- [2] Yılmaz, Z. (2006). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 387-39.
- [3] Kaplan, H., Öztürk, M. (2004). Engelliler, Kamu Mekânı ve Engelsiz Tasarım: Kamusal İç Mekânlarda İrdelenmesi İçin Bir Çerçeve, *Planlama Dergisi*, Sayı: 2004/2, 67-74. Koç, O. (2020). Erişilebilirlik Kılavuzu, Çağlayan D. (Ed.), T.C. Aile, Çalışma Ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Engelli Ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 162s, Ankara. Ting-pat, A. S., Chan, W. L. (1999). *Intelligent Building Systems*, Kluwer Academic, London.
- [4] Başer, T. (2008). Kentte Engelli Yaşam. Engelli Dostu Belediye Sempozyumu 27 Mayıs 2008. Hacettepe Üniversitesi Tıp fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı ve Keçiören Belediyesi İşbirliği ile düzenlenen Sempozyum Kitapçığı. S: 16-24. Ankara.
- [5] Uslu A. O., Güneş, M. (2017). Engelsiz Kentler-“Herkes İçin Erişilebilir Kentler”, *Uluslar arası Peyzaj Mimarlığı Araştırma Dergisi*, 1(2): 30-36.
- [6] Berkün, S. (2016). Avrupa Kentsel Şartının Kentlerdeki Özürlü ve Sosyo Ekonomik Bakımdan Engellilere Yönelik İlkeleri ve Bursa Kentinde Kamu Kurum ve Kuruluşlarının Erişilebilirliği, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 61-72.
- [7] Url-1 <<https://www.afad.gov.tr/afad-hakkinda>>, alındığı tarih: 21.11.2020.

- [8] Enginöz, E. B. (2015). Herkes İçin Tasarım: Erişilebilir Mimarlık, Mimarlık Dergisi, 381, 48-52.
- [9] Anonim (2012). TS ISO 23599: Görme özürlü veya az görenler için yardımcı mamuller – Hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10] Anonim (2012). TS 13536: TS ISO 23599'un uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.