

MÜHENDİSLİK ALANINDA ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER - II

ARALIK 2021

EDİTÖRLER

DOÇ. DR. SELAHATTİN BARDAK
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ NESLİ AYDIN
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ YALÇIN BOZTOPRAK

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

Editörler / Editors • Doç. Dr. Selahattin Bardak

Dr. Öğretim Üyesi Nesli Aydın

Dr. Öğretim Üyesi Yalçın Boztoprak

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2021

ISBN • 978-625-8075-37-3

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.

Citation can not be shown without the source, reproduced in any way
without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1.

Sokak Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR

Telefon / Phone: +90 312 384 80 40

web: www.gecekitapligi.com

e-mail: gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Mühendislik Alanında
Araştırma ve
Değerlendirmeler - II
Aralık 2021

Editörler

Doç. Dr. Selahattin Bardak
Dr. Öğretim Üyesi Nesli Aydın
Dr. Öğretim Üyesi Yalçın Boztoprak

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

FERMENTE SOSİSLER

Selen SALLAN & Mükerrerem KAYA.....1

Bölüm 2

SAĞLIK SİSTEMLERİNDE YER SEÇİMİ

Ayşe Nilgün KAYADELEN.....15

Bölüm 3

AKIM KURAKLIK İNDEKSİ VE KESİM SEVİYESİ METODU İLE YEŞİLTİRMEK HAVZASINDAKİ HİDROLOJİK KURAKLIK KARAKTERİSTİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Okan Mert KATIPOĞLU & Sefa Nur YEŞİLYURT & Hüseyin Yıldırım DALKILIÇ39

Bölüm 4

KÖMÜRÜN DEVREDEN KOLON FLOTASYONU - ŞLAM KÖMÜRLERİNİN YIKANMASI/ATIK YAĞLI ÇAMURLARIN ARITILMASI

Yıldırım İsmail TOSUN & Fethullah CHICHEK.....63

Bölüm 5

AYLIK ZAMAN SERİLERİNDE FREKANSA BAĞLI TAHMİNLER

Zeydin PALA & İhsan TUĞAL83

Bölüm 6

DOĞAL TAŞ İNCE ARTIKLARINDAN KİLİTLİ BETON TUĞLA ÜRETİMİ İŞ FİKRİ

Hakan ELÇİ & Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU & Zülfü DEMİRKIRAN & İlker ÖZKAN99

Bölüm 7

POLİMERLERDE ALEV/YANMA GECİKTİRİCİ KATKILAR VE TAŞITLARDA KULLANIMI

Ahmet DEMİRER & Ali ÖZ117

Bölüm 8

SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK BAĞLAMINDA EĞİTİM
YAPILARININ ENERJİ ETKİN AYDINLATMA AÇISINDAN
İNCELENMESİ

Hümeysra ÇAĞLAR & Uğur ÖZCAN145

Bölüm 9

TAHRİBATSIZ MUAYENE

Emre GÖRGÜN175

Bölüm 10

TEKNİK ALTYAPI TESİSLERİNİN FİNANSMANI AVRUPA
BİRLİĞİ UYGULAMALARI VE TÜRKİYE

Abdullah YİNANÇ187

Bölüm 11

İŞLENMİŞ ET ÜRÜNLERİNDE UÇUCU OLMAYAN
NİTROZAMİNLER

Zerrin POLAT & Güzin KABAN211

Bölüm 12

TMMİ 2. DÜZEY SÜREÇ ALANLARININ SCRUM
PRATİKLERİNE UYARLANMASI

Fatih YÜCALAR & Yusuf ÖZÇEVİK227

Bölüm 13

PAI VE PEEK POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN
RULMANLI YATAK UYGULAMALARINDA KULLANIMI
İÇİN AŞINMA VE SÜRTÜNME PERFORMANSLARININ
BELİRLENMESİ

Mehmet KURT & Hüseyin ÜNAL & Veysel Furkan ÜNAL251

Bölüm 1

FERMENTE SOSİSLER

*Selen SALLAN*¹

*Mükerrem KAYA*²

¹ Dr. Öğr. Üyesi Selen SALLAN*, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Bandırma Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Et ve Ürünleri Teknolojisi Programı, Bandırma, Balıkesir, ORCID : 0000-0001-9806-6937, e-mail: ssallan@bandirma.edu.tr

² Prof. Dr. Mükerrem KAYA, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Yakutiye, Erzurum. ORCID:0000-0001-6340-828X ; e-mail: mkaya@atauni.edu.tr

*Sorumlu yazar: Dr. Öğr. Üyesi Selen SALLAN; e-mail: ssallan@bandirma.edu.tr

GİRİŞ

Fermente sosisler kıyma makinesinde veya kuterde çekilen et ve yağın, çeşitli baharat, şeker ve diğer katkı maddeleri ile karıştırılıp, doğal veya yapay bağırsaklara doldurulması ve belirli bir sıcaklık ve bağıl nemde olgunlaştırılması ile elde edilen et ürünleridir (Kaya & Kaban, 2019). Fermente sosislerin karakteristik özellikleri; yağsız et ve et yağı için kullanılan hayvan türü ve cinsi, kullanılan etin parçalanması için uygulanan metot (kuter veya kıyma makinesi) ve derecesi, baharat, tuz, şeker, nitrit/nitrat gibi katkı maddeleri, starter kültür, kılıf tipi ve çapı, fermentasyon sırasında veya sonrasında tütsüleme gibi uygulamalar, olgunlaştırma koşulları, dilimleme, ambalajlama yöntemi gibi faktörlerden etkilenmektedir (Lücke, 2017a).

Fermente sosislerde laktik asit bakterileri ve Gram (+) katalaz (+) koklar teknolojik açıdan önemli mikroorganizmalardır. Laktik asit bakterileri fermentasyon aşamasında asit oluşturarak pH'yı düşürmekte ve bu da ürün güvenliğine katkıda bulunmaktadır. Et fermentasyonu sırasında pH'nın izoelektrik noktaya kadar düşmesi kurumayı da hızlandırdığından ürünün tekstür de dahil duyuşsal karakteristiklerinin gelişiminde etkili olmaktadır. Asit oluşum hızı ve derecesi formülasyona giren şekerin çeşidi ve miktarının yanı sıra fermentasyon başlangıç sıcaklığı gibi faktörlere bağılı olarak değışiklik gösterebilmektedir (Lücke 1985; Kaya & Kaban, 2019). Katalaz (+) koklar ise nitrat redüktaz aktiviteleri ile renk oluşumunda, lipolitik ve proteolitik aktiviteleriyle aroma gelişiminde, katalaz aktiviteleriyle de lipit oksidasyonunun geciktirilmesinde ve renk stabilizasyonunda etkili olmaktadır (Ordenez et al., 1999; Fonseca et al., 2013). Mayalar ise fermente sosislerde katalaz aktiviteleri renk stabilizasyonunda ve ayrıca proteolitik ve lipolitik özellikleriyle lezzet gelişiminde rol oynamaktadır. Küfle olgunlaştırılan fermente sosislerde ise starter kültür olarak küfler lipolitik ve proteolitik aktiviteleri ile lezzet oluşumunda ve aynı zamanda mikotoksijenik küflerin gelişimini engelleyerek ürün güvenliğinin sağlanmasında etkili olmaktadır (Lücke, 1985; Kaban et al., 2012; Kaya & Kaban, 2019).

Fermentasyon sırasında çeşitli organik asitlerin, karbondioksitin, antimikrobiyal peptitlerin ve bakteriyosinlerin üretimi ile bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişimi baskılanmakta ve fermentasyon prosesi doğal bir koruyucu olarak rol oynamaktadır. Fermentasyonla gıda ürünlerinin kalitesi ve raf ömrü artmakta, gıda kaynaklı patojenler ile diğer arzu edilmeyen mikroorganizmaların gelişimi engellenmekte, tat ve lezzet profili zenginleşmektedir (Sankaranarayanan & Amaresan, 2020). Temel fiziksel, biyokimyasal ve mikrobiyolojik dönüşümler bu aşamada gerçekleştiğinden fermentasyon, fermente sosis üretiminde çok önemli bir aşamadır. Mikrobiyota, olgunlaşma koşulları ve ingredientlerden etkilenen tüm bu dönüşümler, fermente et ürünlerinin duyuşsal kalitesi üzerinde önemli bir

etkiye sahiptir. Mikrobiyal popülasyondaki değişimler, pH değerinin düşmesi, nitratın nitrite indirgenmesi, nitrozomyoglobin oluşumu, miyofibriller ve sarkoplazmik proteinlerin çözünebilirliği ve jelasyonu, proteolitik, lipolitik ve oksidatif reaksiyonlar ve dehidrasyon gibi değişiklikler bu aşamada gerçekleşmektedir (Cocconcelli & Fontana, 2010).

En eski muhafaza yöntemlerinden biri olan fermentasyon, laktik asit bakterilerinin biyolojik aktivitelerine oldukça bağlıdır. Doğal fermentasyon spontan flora ile ilgili olarak değiştirildiğinden kontrollü bir üretim söz konusu olmamakta, kaliteli ve standart ürün elde etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı uzun zamandan beri et endüstrisinde starter kültür kullanılmaktadır. Bununla birlikte ürün tipine ve olgunlaştırma koşullarına uygun suşların starter kültür olarak kullanımı oldukça önemlidir. Uygun suşların seçimi özellikle karakteristik renk, tat ve aromanın yanı sıra ürün güvenliği açısından da önem arz etmektedir. Fermente sosislerin olgunlaştırılması ve depolamasında nitrit, redoks potansiyeli, rekabet edici flora, pH ve su aktivitesi (a_w) önemli engel etkenlerdir. Bu bölümde fermente sosis çeşitleri, fermente sosis üretiminin ana işlem basamakları ve formülasyona dahil edilen bileşenlerin rolünden bahsedilmektedir.

FERMENTE SOSİS ÇEŞİTLERİ

Fermente sosisler; sucuk, Rohwurst, salami, chorizo, hard salami, pepperroni, thuringer, summer sausage, cervelat gibi kuru veya yarı kuru ürünleri kapsamaktadır. Ayrıca bazı ülkelerde üretilen Mettwurst ve Teewurst gibi yumuşak kıvamlı ürünler de fermente sosisler grubuna dahil edilmiştir (Kaya & Kaban, 2019).

Fermente sosisler nem içeriği, nem:protein oranı (N:P), ağırlık kaybı, su aktivitesi (a_w), et ve yağın parçalanma derecesi, coğrafi bölge gibi çeşitli kriterler dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır (Vignolo et al., 2010). Örneğin ABD’de nem-protein oranı, Avusturya’da ağırlık kaybı, Almanya’da ise kolajen bağ dokusu proteini hariç et protein oranı (BEFFE) gibi kriterler esas alınmaktadır. Bununla birlikte, birçok ülkede, özellikle geleneksel ürünlerde, kuru ve yarı kuru fermente sosisler arasında genel, açık ve tek tip bir ayırım bulunmamaktadır. Aynı isme sahip birçok ürün “kuru” veya “yarı kuru” fermente sosis olarak üretilebilmektedir. Ayrıca fermente edilmiş-sıcak tütsülenmiş ürünler de fermente sosis adı altında piyasaya sunulmaktadır (Lücke, 2017a).

Fermente sosislerde a_w değeri veya N:P oranı önemli kriterlerdir. Raf ömrü ve ürün güvenliği açısından, a_w ve pH değerleri ile karşılaştırıldığında nem içeriği tek başına yeterli olmamaktadır (Vignolo et al., 2010). Kuru fermente sosislerde su aktivitesi 0.90’nın altındadır ve üretimlerinde genellikle ısı işlem uygulanmamaktadır. Yarı kuru fermente sosislerde su aktivitesi 0.90 ile 0.95 arasında değişir ve genellikle 60-68°C arasında bir

ısl işlem uygulanır (Caplice & Fitzgerald, 1999).

Yarı kuru fermente sosisler, hızlı fermentasyondan dolayı belirgin keskin tatları nedeniyle kuru fermente sosislerden büyük ölçüde farklılık arz etmektedir. Bu tip fermente sosisler ülkemizde sosis (Frankfurter, wiener, hot dogs) ve salam (Bolonya tipi sosis) olarak adlandırılan emülsifiye et ürünlerinden daha kuru, kuru fermente sosislerden ise daha yüksek nem içeriğine sahiptir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, yarı kuru fermente sosisler fermentasyondan sonra pişirilmekte ancak kurutma genellikle uygulanmamaktadır. Avrupa'da ise daha geniş bir ürün yelpazesi söz konusu olup pek çok ürüne pişirme veya sıcak tütsüleme uygulanmaktadır. Genellikle orta ve büyük çaplı doğal kılıflara doldurulan bu ürünlerde fermentasyon ve kurutma/tütsüleme süresi ürün tipine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Fermentasyon süresi oldukça kısa olup son pH değeri 4.7–5.4, laktik asit içeriği ise % 0.5-1.3 arasında değişmektedir (Vignolo et al., 2010). Amerikan tipi ürünlerde Avrupa tipi ürünlerde olduğu gibi asitleşme genellikle fermentasyonla sağlanmaktadır. Bununla birlikte enkapsüle edilmiş laktik asit, asetik asit veya glukono-delta-lakton (GDL) gibi kimyasal asitlendiriciler de kullanılabilir. Ancak bu tip uygulamalarda arzu edilen aromayı sağlamak her zaman mümkün olmamaktadır. Enkapsüle asitlendirici içeren ürünlerde kaplama materyali olarak kullanılan bitkisel yağdan asidin ayrılması için yaklaşık 60° C'lik bir ısl işlem gereklidir. Bu ürünlerde hızlı bir pH düşüşü için asitlendiriciler ile laktik starter kültürler birlikte de kullanılabilir (Rust, 2007).

Avrupa'da pek çok ürün yarı kuru fermente sosisler grubunda değerlendirilmektedir. Tablo 1'den de görüldüğü üzere bu ürünleri yedi grupta toplamak mümkündür. Bu sosislerin önemli bir kısmı kurutulmakta veya fermentasyondan sonra pişirilmekte ve/veya kurutulmaktadır. a_w değerleri, kuru sosislerin a_w değerlerinden daha yüksektir. Diğer taraftan Avrupa'da herhangi bir fermentasyon işlemi uygulanmayan, ısl işlem uygulanmış (pişirme veya sıcak tütsüleme) ve kurutulmuş ürünler de yarı kuru fermente sosisler grubunda değerlendirilmektedir. Yarı kuru fermente sosislerin tadı -starter kültür veya kimyasal asitlendirici kullanılmadan üretilen pişirilmiş ve kurutulmuş sosisler hariç- kuru sosislere göre yüksek nem içeriğinden dolayı daha asidiktir. Ayrıca yarı kuru fermente sosisler, sürülebilir sosisler hariç asitleşme ve/veya ısl işlemin sebep olduğu koagülasyondan dolayı dilimlenebilir özelliكتedir. Bazı ürünlerde fermentasyon ve ısl işlemden sonra uygulanan kurutma işlemi, ürünlerin daha stabil olmasına ve duyuşal özelliklerinin gelişmesine önemli katkıda bulunmaktadır. Bu ürünlerde uygulanan ısl işlem, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 gibi gıda kaynaklı patojenlerin inaktivasyonunda, pH ve a_w 'ye göre daha etkin rol oynamaktadır (Ince, 2007).

Tablo 1: Yarı kuru fermente sosis tipleri

(Incze, 2017'den uyarlanmıştır)

Fermente sosis	pH	a _w
Fermente edilmiş, kurutulmuş	<5.0-5.3	0.91-0.95
Fermente edilmiş, pişirilmiş	<5.0-5.5	0.92-0.96
Fermente edilmiş pişirilmiş, kurutulmuş	5.0-5.5	0.91-0.95
Fermente edilmiş kurutulmuş, pişirilmiş	5.0-5.5	0.91-0.95
Piştirilmiş, kurutulmuş	5.6-5.7	0.93-0.96
Sıcak tütsülenmiş, kurutulmuş	5.6-5.7	0.93-0.97
Fermente edilmiş, az kurutulmuş (sürülebilir)	<5.0-5.3	<0.97

Kuru fermente sosisler, yarı kuru fermente sosislerden oldukça farklıdır. Kuru fermente sosislerde su aktivitesi 0.90'nın altındadır. Bu tip ürünlerin üretimlerinde genellikle ısı işlem uygulanmamaktadır (Caplice & Fitzgerald, 1999). Kuru fermente sosisler genellikle daha düşük laktik asit içeriğine (%0.5 - %1.0), %30'dan daha düşük bir nem içeriğine, 2.3:1'den daha düşük bir N:P oranına sahiptir. Bu ürünlerin pH değeri ise 5.2 - 5.8 arasında değişmektedir. Kuru fermente sosisler, yarı kuru fermente sosislere göre daha uzun süre olgunlaştırılmaktadır. Olgunlaştırma sırasında gerçekleşen biyokimyasal ve fiziksel değişimler ürün stabilitesi ve güvenliğinin sağlanmasında oldukça etkili olmaktadır. Bu ürünler düşük su aktivitesinden dolayı soğukta muhafaza olmadan daha uzun süre muhafaza edilebilmektedir. Akdeniz ülkelerinde düşük su aktivitesi havada kurutma ile Kuzey ülkelerde ise soğuk tütsüleme ile sağlanabilmektedir (Vignolo et al., 2010).

“Kuzey Avrupa tipi sosisler”de genellikle fermentasyonda pH 5.0'in altına düşürülmekte ve fermentasyondan sonra tütsüleme işlemi uygulanmaktadır. Tütsüleme işlemi havada kurutmanın uygun olmadığı iklim koşullarında daha yaygın olarak uygulanmaktadır. Kuzey ve Doğu Avrupa tipi kuru sosislerin çoğu tütsülenmekte ve bu ürünler içerisinde küfle olgunlaştırılan ürünlerin oranı oldukça düşüktür. Fermente sosisler genellikle kış aylarında hazırlanır ve 15°C veya altındaki sıcaklıklarda uzun süre olgunlaştırılır ve böylelikle soğutma olmaksızın uzun süre muhafaza edilebilir. Diğer taraftan Almanya'da bazı bölgelerde “havada kurutulmuş” sosisler daha yaygın bir şekilde üretilmektedir. Geleneksel üretimde ise nitrat ve düşük oranda şeker (%0.3) kullanılmakta olup starter kültür kullanımı yaygın değildir. Bununla birlikte Kuzey, Orta ve Doğu Avrupa'daki fermente kuru ve yarı kuru sosislerin çoğu, kuterde, soğutulmuş ve dondurulmuş domuz eti ve sığır etleri kullanılarak üretilmektedir. Domuz eti/sığır eti oranı ise arzu edilen renge göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca %0.5 veya daha fazla oranda şeker kullanılmaktadır. Starter kültür olarak ise laktik asit bakterileri ve katalaz pozitif kokların kombinasyonları, kür-

leme ajanı olarak nitrit ve kürleme yardımcı maddesi olarak ise askorbat-tan yararlanılmaktadır (Vignolo et al., 2010).

Güney Almanya ve Avusturya’da yaygın olan bazı sosisler (örneğin “Landjäger”, “Kantwurst”) fermantasyondan önce sosislerin yüzeyi küf ile muamele edilmektedir. Bu ülkelerde, “salami” terimi, çeşitli kuru fermente sosis çeşitli ile eşanlamlı olarak kullanılmaktadır ve yüzey uygulamalarından bağımsız olarak çeşitli kuru fermente sosis çeşitlerini ifade etmektedir. İskandinavya ve Doğu Avrupa’da Alman geleneklerinin güçlü bir etkisi söz konusu olmakta ve farklılıklar temel olarak hammaddeden kaynaklanmaktadır. Örnek olarak Norveç’te kuzu ve koyun etleri hammadde olarak kullanılırken, bazı İsveç sosislerinde patates ve tahıl gibi et dışı bileşenler de formülasyona girmektedir. Tuna Bölgesinde ise kırmızı biber önemli bir farklılık oluşturmaktadır (Vignolo et al., 2010). Norveç’e özgü fermente kuru bir sosis çeşidi olan “farepølse” üretiminde önemli miktarda koyun eti, yine aynı ülkede “stabburpølse” olarak adlandırılan üründe ise at ve sığır etleri kullanılmaktadır (Kaya & Kaban, 2019).

“**Akdeniz tipi sosisler**”de olgunlaştırma daha yavaş ve dolayısıyla su aktivitesi daha düşüktür. Hammadde olarak başlıca domuz eti kullanılmaktadır. Ürünün yüzeyi küf starter kültürleri ile muamele edilmektedir (Vignolo et al., 2010; Toldra et al., 2007). Fransız manage, Fransız Saucisson d’Alsace, İtalyan Turista ve İspanyol Salchichon **salami** olarak adlandırılan grupta yer alan **kuru fermente sosis** çeşitleridir (Toldra et al., 2007).

İspanya’da, bölgelere özel fermente sosis çeşitleri üretilmektedir. Bu sosislerin önemli bir kısmında baharat olarak kırmızı biber kullanılmaktadır. Çoğu fermente sosis “Chorizo” (veya Portekiz’de “Chouriço”) tipi ürünlerdir. Bu tip sosisler Latin Amerika’da da yaygındır. “Chorizo” tipi sosislerin ortak özelliği yoğun baharat (kırmızı biber ve sarımsak) içermeleridir. Bu tip ürünlerde tütsülenme uygulanmadığı gibi yüzeyde bir küf tabakası oluşumuna müsaade edilmemektedir. Diğer taraftan geleneksel üretimde kürleme ajanları kullanılmamaktadır. İspanya’da üretilen diğer iki fermente sosis çeşidi ise “Androlla” ve “Botello” çeşitleridir. Bu ürünler “Alheira” olarak adlandırılan Portekiz tipi sosislere de benzerlik göstermektedir. İspanya’da “Fuet” (kalibrasyon: 34–38 mm) ve “Salchichón” gibi küfle olgunlaştırılan ürünler de mevcuttur. Salchichón daha büyük bir çapa sahiptir ve genellikle üretiminde genellikle sığır eti de kullanılmaktadır (Vignolo et al., 2010). Fransa’da ise küfle olgunlaştırılan tütsülenmemiş kuru veya yarı kuru fermente sosisler daha yaygın olarak üretilmektedir. Fransa’da, üretilen fermente çiğ sosislerin %90’ı küfle olgunlaştırılmaktadır. Bu ürünlerde, esas olarak toksikolojik açıdan problem oluşturmayan küfler (*Penicillium*) starter kültür olarak kullanılmaktadır (Gökalp vd., 2004).

Amerika’da kuru fermente sosislerin orjinleri Avrupa tipi proseslere dayanmakla birlikte önemli farklılıklar göstermektedir. Bu tip ürünlerin çoğu ısıtma işlemine tabi tutulmaktadır. Ayrıca, bu tip ürünlerin diğer bir önemli özelliği ise genellikle başlangıç fermentasyon sıcaklıklarının 30°C’nin üzerinde olmasıdır (Lücke & Hechelmann, 1985).

Amerika tipi yarı kuru fermente sosisler, kıyılmış veya parçalanmış et kullanılarak üretilmekte, fermentasyon sırasında pH’nın 5.3 ve altına düşmesi sağlanmaktadır. Fermentasyon ve ısıtma işlemi sırasında %15’e kadar ağırlık kaybı olmaktadır. Amerika’da üretilen yarı kuru fermente sosislere summer sausage, thuringer, cervelat ve Lebanon Bologna örnek olarak verilebilir (Maddock, 2007). Avrupa’da üretilen bazı cervelat tipi sosislere benzerlik gösteren Amerikan yarı kuru sosis çeşitleri genellikle summer sausage olarak adlandırılmaktadır. Bu ürünler genellikle düşük pH değerine sahiptir ve hatta 4.6 gibi daha düşük pH değerleri ile de karşılaşılabilir. Bu ürünler genellikle domuz ve sığır eti karışımları ile üretilmekle birlikte sadece sığır etinin hammadde olduğu ürünler ise daha yaygındır. Lebanon Bologna üretiminde, uzun süreli soğuk tütüleme işleminin yanı sıra sıvı tütü aroması da ilave edilebilmektedir. Ayrıca laktik starter kültürler de patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu için ilave edilebilmektedir (Rust, 2007). Diğer taraftan tütüleme işlemi önemli bir engel etken olarak görülmektedir (Toldra et al., 2007).

Güneydoğu Asya’da domuz sosisleri genellikle ön pişirmeye tabi tutulmuş ingredientler (domuz derisi, bazen önceden pişirilmiş pirinç) ilave edilerek hazırlanmaktadır. İlave edilen fermente edilebilir şeker seviyesi diğer ürünlere göre oldukça yüksektir. Bu ürünlerde fermentasyon sıcaklığı 30°C’nin üzerindedir. Bununla birlikte yoğun bir kurutma söz konusu değildir. Ürünlerin mikrobiyolojik stabilitesinde pH önemli bir faktördür. Raf ömrü ise oldukça kısadır. Bu kapsamda “Nham” ve “Nem Chua” tipik örneklerdir (Vignolo et al., 2010). Nham, acı biber ve domuz derisi hariç olmak üzere Kuzeydoğu Tayland tarzı ekşi sosislerin yapımı ile benzerlik göstermektedir ve bambu yaprakları ya da plastik film ile ambalajlanmaktadır. Bu ürün oda sıcaklığında 3-4 günlük fermentasyondan sonra pişirilerek tüketime hazır hale gelmektedir. Bir Çin sosis çeşidi olan “Lap cheong” ise düşük sıcaklığın avantajlarından yararlanmak için genellikle kış aylarında üretilmektedir. Bölgeden bölgeye değişiklik göstermekle birlikte domuz eti ve yağı, şeker, tuzun yanı sıra tercihen soya sosu, baharat ve alkollü içkiler de formülasyona girebilmektedir (Toldra et al., 2007).

Türkiye’de sucuk ve ısıtma işlemi görmüş sucuk olmak üzere iki farklı fermente sosis çeşidi üretilmektedir. Kuru fermente bir sosis çeşidi olan sucuk, Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliğinde, büyükbaş ve/veya küçükbaş hayvan karkas etlerinin ve yağlarının kıyılarak lezzet vericiler ile karıştırıldıktan sonra doğal veya yapay

kılıflara doldurularak belirli koşullarda fermentasyon ve kurutma işlemleri uygulanarak kesit yüzeyi mozaik görünümünde olan ısıtılmış işlem uygulanmamış fermente et ürünü şeklinde tanımlanmaktadır. Diğer bir fermente sosis çeşidi olan ısıtılmış işlem görmüş sucuk, yarı kuru bir fermente sosis çeşidi olup sucuktan farklı olarak fermentasyondan sonra ısıtılmış işleme tabi tutulmaktadır. Ayrıca ısıtılmış işlem sucuk üretiminde kanatlı eti kullanımına müsaade edilmektedir (Anonim, 2019).

Tebliğe göre sucuğun toplam et proteini değeri kütlece en az %16, toplam et proteinindeki kolajen bağ doku proteini oranı en fazla %20, nem miktarının toplam et proteinine oranı 2.5'in altında ve yağ miktarının toplam et proteinine oranı da 2.5'in altında olmalıdır. Sucuktan izin verilen pH değeri ise en fazla 5.4'dür. Isıtılmış işlem görmüş sucukta ise toplam et proteini değeri kütlece en az %14, toplam et proteinindeki kolajen bağ doku proteini oranı en fazla % 25, nem miktarının toplam et proteinine oranı 3.6'nın, yağ miktarının toplam et proteinine oranı ise 2.5'in altında ve pH değeri de en yüksek 5.6 olmalıdır (Anonim, 2019).

FERMENTE SOSİS ÜRETİMİ

Fermente sosislerin üretiminde genellikle sığır ve domuz eti kullanılmakla birlikte ürün tipine göre koyun, kuzu, keçi, deve, at, manda, devekuşu ve tavuk etleri de formülasyona girmektedir (Kaya & Kaban, 2019). Akdeniz ülkelerinde domuz eti, Almanya'da sığır eti ve/veya domuz eti, Arjantin'de ise üretiminin bol olması nedeniyle sığır eti yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Müslüman ülkelerde ise formülasyonda hammadde olarak sığır ve koyun eti yer almaktadır (Vignolo et al., 2010). Fermente sosis üretiminde uygun hammadde seçimi ürün kalitesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Kullanılacak et ve yağın fermente sosis üretimine uygun olmaması halinde kaliteli bir ürün elde etmek mümkün değildir. Bundan dolayı hammadde seçiminde hijyenik kriterler büyük önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra DFD et de yüksek su tutma kapasitesinden dolayı fermente sosis üretiminde kullanılmamalı veya zorunlu durumlarda toplam miktar içerisindeki payı düşük tutulmalıdır (Gökalp vd., 2004). DFD (Dark-Firm-Dry) karakterdeki etler yüksek pH değeri nedeniyle laktik asit bakterilerinin ortama hakim olmasını zorlaştırmaktadır (Leistner, 1985). Fermente sosis üretiminde formülasyona katılan yağ oranı değişiklik gösterse bile (%10-%40), kullanılan yağ yumuşamamış, taze ve beyaz renkte olmalıdır. Ayrıca kullanılacak yağın erime noktası yüksek, çoklu doymamış yağ asidi ise düşük olmalıdır (Vignolo et al., 2010). Fermente sosis hamurunun hammadde olarak kullanılacak etin çok iyi soğutulmuş veya dondurulmuş, yağın ise dondurulmuş olması gerekmektedir (Gökalp vd, 2004).

Fermente sosis üretiminde tuz önemli bir ingredienttir. Tuz, tipik bir tat verme özelliği yanında, olgunlaşma sırasında cereyan eden fizikokim-

yasal ve mikrobiyolojik olaylar üzerinde de etkili olmaktadır. Tuz, fermente sosislere % 2-3 oranında hamura ilave edilmektedir. Tuz kısmi bakteriyostatik aktiviteye sahip olup formülasyondaki yağ oranına bağlı olarak sosis karışımının a_w değerini 0,960-0,955'e düşürmektedir (Kaya & Kaban, 2019).

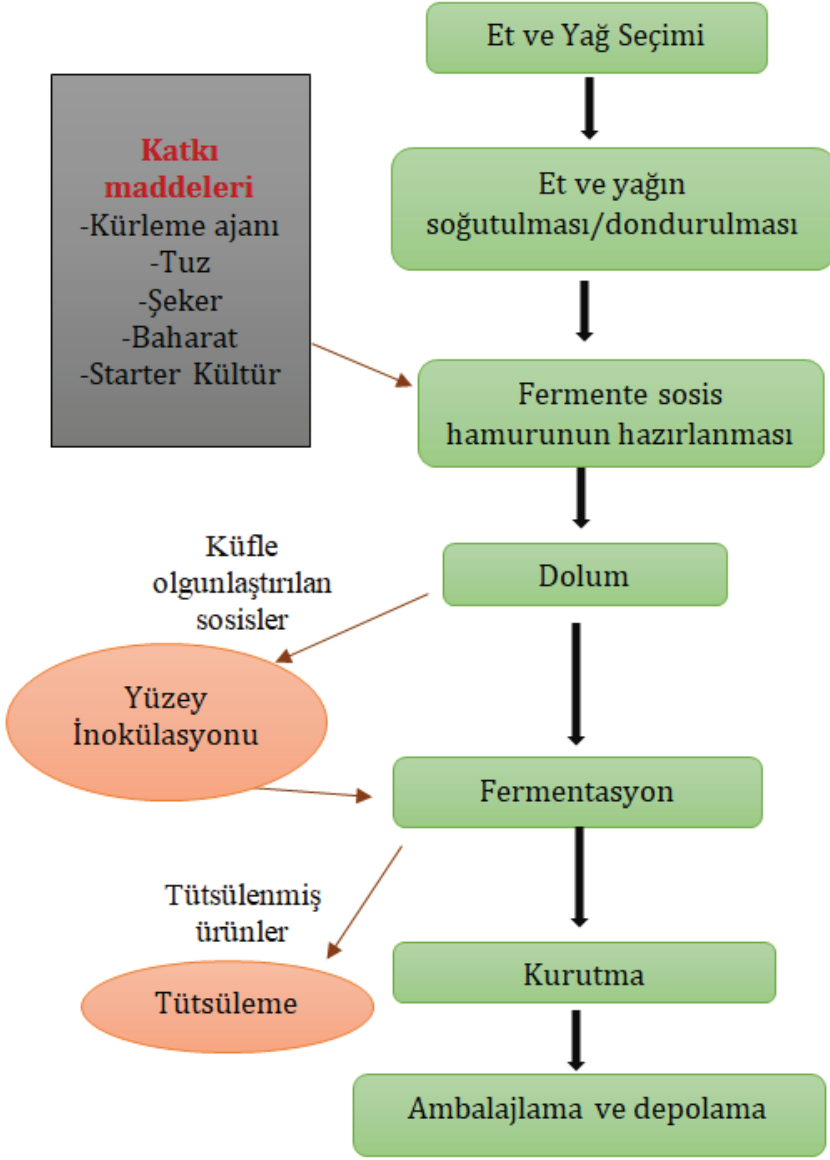
Fermente sosislerin üretiminde karbonhidrat kaynağı olarak; glukoz, sakkaroz, laktoz, maltoz kullanılabilir. Glukoz gibi basit şekerler, laktik asit bakterileri tarafından hızla laktik aside fermente edilirken, bileşik şekerler (sakkaroz, maltoz, laktoz) laktik asit bakterileri tarafından ilk önce basit şekerlere sonra da laktik aside dönüştürülmektedir. Genellikle glukoz ve sakkaroz, diğer şekerlerden çok daha hızlı fermente edilmektedir. Kullanılan şeker miktarı ve çeşidi ile fermente sosislerin asitleşme derecesinin kontrol edilmesi mümkündür (Gökalp vd, 2004; Kaya & Kaban, 2019).

Fermente sosislere kürlenme ajanı olarak nitrat (NO_3) ve/veya nitrit (NO_2) katılmaktadır. pH değerindeki çok hızlı düşüş, nitratı indirgeyen mikroorganizmaları inhibe etmektedir. Hızlı olgunlaştırılan fermente sosislere nitrit, yavaş olgunlaştırılan fermente sosislere ise nitrat veya nitrat/nitrit tercih edilmektedir. Hızlı olgunlaştırılan fermente sosislere pH'daki hızlı düşüş katalaz (+) kokların gelişimini ve faaliyetini önemli ölçüde engellediğinden bu tip ürünlerde laktik asit bakterisi, suşları *S.xylo-sus*, *S.carnosus* veya *Kocuria varians* ile birlikte kullanılmaktadır. Starter kültür kullanılmadan da tipik tat ve lezzette ürünler üretilebilmektedir. Ancak standart ve kaliteli bir üretim için starter kültürler önem arz etmektedir. Laktik asit bakterilerinden *Lactobacillus plantarum*, *L. sakei*, *L. curvatus*, *Pediococcus acidilactici*, *P. pentosaceus*, katalaz pozitif koklardan ise *Staphylococcus xylo-sus*, *S. carnosus* ve *Kocuria varians*'dan, mayalardan *Debaryomyces hansenii* ve *Candida famata*, küflerden ise *Penicillium nalgiovense* ve *Penicillium chrysogenum*'un seçilmiş suşlarından starter kültür olarak yararlanılmaktadır (Lücke & Hechelmann, 1985; Gökalp vd, 2004; Kaban et al., 2012; Kaya & Kaban, 2019).

Fermente sosislere kürlenme prosesini hızlandırmak için indirgen ajan olarak askorbik asit veya sodyum askorbat formülasyona dahil edilmektedir (Flores & Toldra, 2021). Aynı zamanda bu bileşikler lipit oksidasyonunun önlenmesinde de etkili olmaktadır (Berardo et al., 2016). Etin parçalanması sırasında hamura az veya çok hava karışmakta, bu da redoks potansiyelinde bir artışa sebep olmaktadır. Askorbik asit ve sodyum askorbat ilavesi ile redoks potansiyeli düşürülmektedir (Leistner, 1985). Fermente sosislere baharat kullanımı yaygındır. Baharat ilavesi sadece renk ve aroma gelişimi üzerinde etkili olmamakta aynı zamanda antioksidan olarak rol oynamakta ve mikrobiyal gelişme üzerine de inhibitör etki göstermektedir. Bununla birlikte baharat ilavesi bir kontaminasyon kaynağı da

olabilmektedir (Andres et al., 2017). Fermente sosis üretiminde genellikle baharat kullanım oranı % 0.5-2 olup yaygın olarak kırmızı biber, karabiber, sarımsak ve yenebahar kullanılmaktadır (Kaya & Kaban, 2019).

Fermente sosis hamurlarının hazırlanmasında kuter yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte kıyma ve yoğurma (karıştırma) makinelerinden de yararlanılabilmektedir (Kaya & Kaban, 2019). Et ve yağın parçalanma derecesi ürün tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Fermente sosislerin genel üretim akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Hazırlanan fermente sosis hamurları ürün tipine göre doğal veya suni kılıflara doldurulmaktadır. Dolum işleminden sonra doğal fermentasyon veya kontrollü fermentasyon uygulanmaktadır. Doğal fermentasyon spontan flora ile doğal koşullarda veya olgunlaştırma kabinlerinde gerçekleştirilmektedir. Günümüzde geleneksel üretimde de olgunlaştırma kabinleri daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Endüstriyel üretimde fermentasyon starter kültürler aracılığıyla klimatize koşullarda gerçekleştirilmektedir. Kurutma işlemi de yine kontrollü şartlarda gerçekleştirilmektedir. Fermentasyon aşaması fermente sosis üretiminde en kritik aşamalardan biridir. Başlangıç fermentasyon sıcaklığı ve formülasyon içeriğine (kullanılan tuz, şeker miktarı gibi) bağlı olarak laktik asit bakterileri asit oluşturarak pH’yı düşürmektedir. pH düşüşü gıda kaynaklı patojenlerin inhibisyonunda önemli rol oynadığı gibi duysal ve tekstürel gelişiminde de etkili olmaktadır (Gökalp vd., 2004; Kaya & Kaban, 2019). Fermentasyon sonra ise ürünler kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Fermentasyon / kurutma (olgunlaştırma) sırasında proteinler, lipitler ve karbonhidratlar enzimatik ve biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda çeşitli bileşiklere dönüşmektedirler. Olgunlaştırmada proteolitik aktivite sonucu oluşan peptitler ve serbest aminoasitler, doğrudan tat üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca protein tabiatında olmayan bu bileşikler pek çok aroma maddesinin prekürsörleridir. Olgunlaştırma sırasında ortaya çıkan diğer bir reaksiyon ise lipolisizdir. Bu reaksiyonda hem endojen hem de bakteri kaynaklı enzimler etkili olmaktadır (Kaban et al., 2012; Kaya & Kaban, 2019). Lipolisiz sonucu oluşan serbest yağ asitleri, otooksidasyon sonucunda aldehitlere, ketonlara ve diğer bazı uçucu bileşiklere dönüşmektedir. Bu maddelerin miktarı özellikle uzun süre olgunlaştırılan fermente ürünlerde daha yüksek seviyededir (Gökalp vd., 2004).



Şekil 1: Fermente sosis genel üretim akış şeması

(Lücke, 2017b'den uyarlanmıştır)

SONUÇ

Dünyada, hammadde, ingredient, baharat, kıyılma derecesi, ürün kalibrasyonu, fermentasyon koşulları, muhafaza şartları açısından farklılıklar gösteren çok sayıda fermente sosis çeşidi üretilmektedir. Bu ürünlerde ana işlem basamakları fermentasyon ve kurutmadır. Avrupa'da hızlı olgunlaştırılan ürünlerde fermentasyon başlangıç sıcaklığı 20-25°C arasında deği-

şirken, yavaş olgunlaştırılan ürünlerde fermentasyon sıcaklığı 15-18°C'ye kadar düşebilmektedir. Fermentasyonda asit oluşum hızı ve derecesi de ürün tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bunun yanı sıra özellikle yarı kuru fermente sosisler genellikle fermentasyondan sonra ürün ısıl işleme ve müteakiben kurutmaya tabi tutulmaktadır. Kurutmanın derecesi de ürün tipine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Amerika'da ise daha ziyade yüksek fermentasyon sıcaklıkları tercih edilmekte ve ürünlere ayrıca ısıl işlem uygulanmaktadır. Bu tip ürünlerde genellikle pH değeri 5.0'ın altında kalmaktadır.

Fermente sosislerde pH ve a_w ürünün mikrobiyolojik stabilitesi açısından önemli engel etkenlerdir. Ayrıca fermentasyon aşamasındaki nitritin seviyesi ve üretimden sonraki kalıntı nitrit de önemli engel etkenlerdir. Bu ürünlerde özellikle de starter olarak kullanılan laktik asit bakterileri asit oluşturarak hem ürün güvenliğine hem de duyuşsal özelliklerin gelişimine katkıda bulunmaktadır. Düşük pH ve/veya a_w değerleri nedeniyle fermente sosisler genellikle tüketime hazır et ürünleri olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte özellikle kısa süreli bir üretim prosesine sahip olan bazı fermente sosisler tüketilmeden önce ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Bu uygulamada tüketim alışkanlıklarının yanı sıra ürün güvenliği endişesi de rol oynamaktadır. Tipik tat ve lezzetleri ile karakterize edilen fermente sosisler günümüzde ağırlıklı olarak endüstriyel olarak üretilmektedir. Endüstride hammadde seçiminden son ürüne kadar geçen tüm aşamalarda hijyenik ve teknolojik koşullara uygun üretim, ürün güvenliği açısından oldukça önemlidir. Endüstriyel üretimde starter kültür kullanımı standart ve kaliteli üretime önemli katkı sağlamaktadır. Geleneksel üretimde ise tat ve lezzet açısından tüketici beğenisini karşılayabilen ürünler üretilmektedir. Ancak bu tip üretimde gıda güvenliği açısından risk arz edebilen uygulamalar da söz konusu olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Andrés, A., Barat, J. M., Grau, R., Fito, P. (2017). Principles of Drying and Smoking, Chapter 5, *Handbook of fermented meat and poultry*, (Ed:Fidel Toldra), ss: 37-48, Blackwell publishing.
- Anonim, (2019). Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları Ve Et Ürünleri Tebliği, Tebliğ No: 2018/52, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/01/20190129-4.htm>, son erişim tarihi: 09/10/2021
- Berardo, A., De Maere, H., Stravropoulou, D. A., Rysman, T., Leroy, F., & De Smet, S. (2016). Effect of sodium ascorbate and sodium nitrite on protein and lipid oxidation in dry fermented sausages. *Meat Science*, 121, 359–364. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.07.003>.
- Caplice, E., & Fitzgerald, G. F. (1999). Food fermentations: Role of microorganisms in food production and preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 50, 131–149.
- Cocconcelli, P. S., Fontana, C. (2010). Starter cultures for meat fermentation, *Handbook of meat processing*, (Ed: Fidel Toldra), pp:379-398, Blackwell publishing, USA.
- Flores, M., & Toldra, F. (2021). Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products - invited review. *Meat Science*, 171, 108272. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108272>.
- Fonseca, S., Cachaldora, A., Gomez, M., Franco, I., & Carballo, J. (2013). Effect of different autochthonous starter cultures on the volatile compounds profile and sensory properties of Galician chorizo, a traditional Spanish dry fermented sausage. *Food Control*, 33, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.01.040>
- Gökalp, H.Y., Kaya, M., Zorba, Ö., 2004. Et ürünleri işleme mühendisliği, Gıda Mühendisliği. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:320, 468 s, Erzurum.
- Incze, K. (2007). European Products, Chapter 29, *Handbook of fermented meat and poultry*, (Ed:Fidel Toldra), ss: 307-318, Blackwell publishing.
- Kaban, G., Kaya, M., Lücke, F-K. (2012). Meat starter cultures, *Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food*, 1-4, DOI: 10.1081/E-E-BAF-120045455
- Kaya, M., Kaban, M. (2019). Fermente et ürünleri, Gıda Biyoteknolojisi. Editör Necla ARAN, ss. 157-195, 7. Basım, ISBN: 978-605-133-134-8, Nobel Yayıncılık, İstanbul.
- Leistner, L. 1985. Allgemeines über Rohwurst und Rohschinken. In : *Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken*. Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, 1-29, Germany.

- Lücke, F. K., 1985. Mikrobiologische Vorgänge bei der Herstellung von Rohwurst und Rohschinken. In: Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken. Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, 85-102, Germany.
- Lücke, F-K. (2017a). Fermented Meat Products—An Overview, Fermented Meat Products-Health Aspects, (Ed: Nevijo Zdolec), pp: 1-14, CRC press, Taylor & Francis Group.
- Lücke, F-K. (2017b). Quality Assurance Plan, Chapter 50, Fermented Meat Products-Health Aspects, (Ed: Nevijo Zdolec), pp: 535-543, CRC press, Taylor & Francis Group.
- Lücke, F. - K. und Hechelmann, H. 1985. Starterkulturen für Rohwurst und Rohschinken - Zusammensetzung und Wirkung. In : Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken. Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, 193-218, Germany.
- Maddock, R. (2007). U.S. Products, Part VII Dry-Fermented Sausages, Chapter 31, Handbook of fermented meat and poultry, (Ed:Fidel Toldra), ss: 327-332, Blackwell publishing.
- Ockerman, H. V., & Basu, L. (2007). Production and consumption of fermented meat product. In F. Toldr'a (Ed.), Handbook of fermented meat and poultry (pp. 9–16). USA: Blackwell Publishing Professional.
- Ordóñez, J. A., Hierro, E. M., Bruna, J. M., & de la Hoz, L. (1999). Changes in the components of dry-fermented sausages during ripening. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39(4), 329–367. <https://doi.org/10.1080/10408699991279204>
- Rust, R. E. 2007. U.S. Products, Chapter 28, Handbook of fermented meat and poultry, (Ed:Fidel Toldra), ss: 303-306, Blackwell publishing.
- Sankaranarayanan, A., Amaresan, N. (2020). Diversity of global fermented food products: an overview, Fermented Food Products (Eds: A. Sankaranarayanan, N. Amaresan, D. Dhanasekaran), pp: 3-24, CRC press, Taylor & Francis Group.
- Toldra, F., Nip, Wai-Kit, Hui, Y-H. (2007). Dry-fermented Sausages:An Overview, Part VII Dry-Fermented Sausages, Chapter 30; Handbook of fermented meat and poultry, (Ed:Fidel Toldra), ss: 321-325, Blackwell publishing.
- Vignolo, G., Fontana, C., Fadda, S. (2010). Semidry and Dry Fermented Sausages, Chapter 22, *Handbook of meat processing*, (Ed: Fidel Toldra), pp:379-398, Blackwell publishing, USA.

Bölüm 2

SAĞLIK SİSTEMLERİNDE YER SEÇİMİ

Ayşe Nilgün KAYADELEN¹

¹ Dr. Ayşe Nilgün KAYADELEN, ORCID ID: 0000-0002-5442-893X

Giriş

Endüstri Mühendisliği birçok üretim ve hizmet alanında başarıyla uygulanmakta, problemlerin çözümüne büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Endüstri Mühendisliği'nin hizmet alanındaki önemli uygulamalarının başında sağlık sistemleri gelmektedir. Günümüzde, sağlık hizmetlerinde yönetimin yanı sıra klinik çalışmalarda da iyileştirici, çözüm önerisi ortaya koyan Endüstri Mühendisliği çalışma konuları da mevcuttur. Sağlık hizmetlerinde yönetim çalışma konularından biri de, Sağlık Sisteminde Yer Seçim Problemidir.

Yer seçimi, kısa ve/veya uzun vadede çeşitli ölçütlere göre en iyi avantajlara sahip yerin belirlenmesidir. Yer seçimi yapılacak tesis, fabrika, atölye, sanayi sitesi, depo, işyeri, okul, hastane, karakol, kütüphane, üniversite gibi kurum ve kuruluşlardan herhangi biri olabilir. Yer seçimi problemi hem sanayide hem de sağlık sektöründe stratejik bir konudur. Doğru belirlenmemiş tesis yerleri (fabrika, hastane, acil sağlık istasyonları, itfaiye istasyonu...vb), az ya da çok sayıda tesisin kullanımı, yararlanıcıya gerekli hizmetin zamanında verilememesine ve dolayısıyla hizmet kalitesinin düşmesine, maliyetlerin artmasına neden olabilmektedir. Öte yandan belirli bir bölgede aynı türden hizmet veren tesisin çok sayıda bulunması yatırım ve taşıma maliyetlerinin istenmeyen ölçüde artmasında neden olacaktır. Buna karşın, yine aynı koşullarda (belirli bölge, aynı türden tesis) daha az sayıda tesisle hizmet verilmesi müşteri memnuniyetinde azalmaya yol açacaktır. Diğer taraftan, yeterli sayıda tesisle hizmet veriliyor olsa bile, yanlış yer seçimi yapılmış bir tesis, hizmet kalitesi bakımından yetersiz olacaktır.

Sağlık sistemlerinde yanlış yer seçimi kararlarının etkisi, maliyet açısından daha da önemlisi müşteri memnuniyeti açısından kendisini göstermektedir. Sağlık sistemlerinin yer seçimi hayati sonuçlar ortaya çıkarabilir. Sağlık sistemlerinde yer seçim çalışmalarının genel olarak temel amacı, tüm toplumun sağlık hizmetlerinden eşit ve tam olarak yararlanabilmesinin sağlanması, hizmet sunumunda verimliliğin artırılması, bilgiye dayalı etkin ve doğru karar verme süreçlerinin geliştirilmesi ve tesislere ulaşılabilirliğin artırılmasıdır.

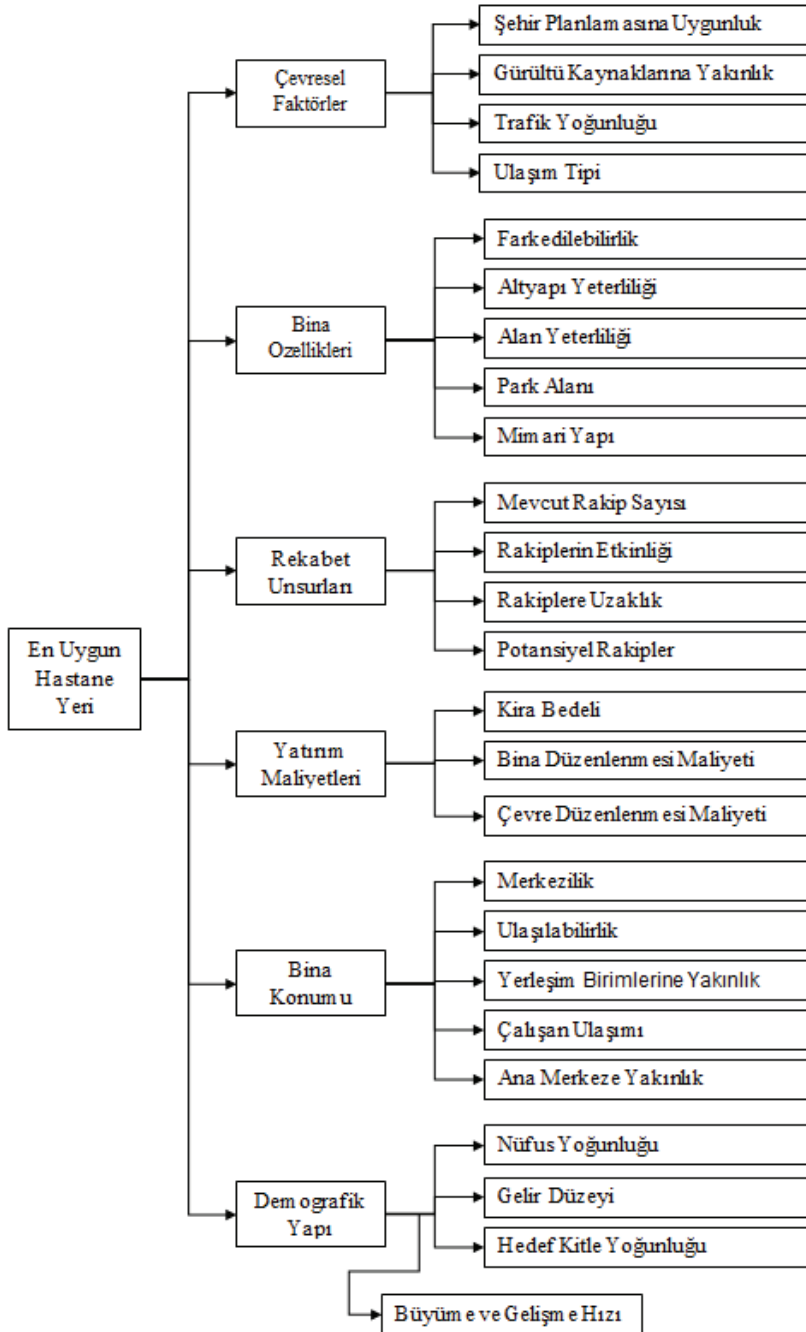
Üretim ve hizmet tesislerinin yer seçimi problemlerinde genel olarak izlenecek yol; tesisinin kurulacağı yerin belirlenmesinde önemli olan kriterlerin ortaya konulması ve alternatifler arasından çeşitli karar kriterlerine göre ve probleme uygun olarak seçilen bir karar verme yönetimi uygulanarak tesis için en uygun yer seçiminin belirlenmesidir.

Tesis yeri seçim problemlerinin literatürde farklı açılardan birçok sınıflandırmaya tabi tutulduğu görülmektedir. Literatürde kabul gören ve sıklıkla rastlanan yer seçim problemleri sınıflandırmalardan biri (Daskin,

1995) tarafından yapılan sınıflandırmadır. Daskin, kuruluş yeri seçim problemlerini kapsama problemleri, merkez problemleri, medyan problemleri, sabit maliyetli tesis yerleşim problemleri olmak üzere 4 ana gruba ayırmıştır. Tesis yeri seçim problemleri için diğer bir sınıflandırma ise (Sule, 2001) tarafından yapılan sınıflandırmadır.

Sule tarafından tesis yeri seçim problemi; p-medyan problemi, p-merkez problemi, kapasite kısıtsız tesis yeri seçim problemi, kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi, karesel atama problemi olmak üzere beş temel kategoriye ayrılmıştır.

Yer seçiminde problemlerinde ilk aşama yer seçimi için gerekli kriterlerin belirlenmesidir. Buna göre, Hastane Yer Seçimi için gerekli kriterler ana kriterler sırasıyla; çevresel faktörler, bina özellikleri, rekabet unsurları, yatırım maliyetleri, bina konumu, demografik yapı şeklindedir. Ayrıca bu ana kriterler için alt alt kriterler de belirlenmiştir. Kriterlerin bir bütün halinde görülebilmesi için Hastane Yer Seçiminde kullanılacak olan ana ve alt kriterler bir şema üzerinde sunulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. En Uygun Hastane Yer Seçim Kriterleri

Sağlık Sistemleri Yer Seçimi ile İlgili Önceki Çalışmalar

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden hemen her alanda yararlanılmaktadır. Bu alanlardan biri de sağlık sektörüdür; özellikle sağlık sistemleri yer seçimi çok kriterli bir yapı göstermektedir. Dolayısıyla bu yöntemlerin kullanılmasıyla sağlık sistemleri yer seçiminde daha anlamlı kararlar ve çözüm önerileri ortaya konulabilmektedir. Literatürde çeşitli sağlık sistemlerinde çok kriterli karar verme yöntemleri uygulamalarına rastlanmaktadır.

(Önüt, Tuzkaya, & Kemer, 2007), hastane yer seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Ağ Süreci (ANP-Analytic Network Process) yaklaşımını uygulamışlardır. Analitik ağ süreci yaklaşımının tercih edilmesinin en baş nedeni, her türlü etkileşim ve geri bildirim içermesinden dolayı daha gerçekçi karar vermeyi sağlamasıdır. Ayrıca yaklaşım, karar verme aşamasında, nicel faktörlerin yanında nitel faktörlerin de kullanılması sebebiyle oldukça etkilidir. Çalışmada, İstanbul ilinde yapılması düşünülen hastane yatırımlarına örnek olması amacıyla, analitik ağ süreci yöntemi ile Çatalca, Sarıyer ve Zeytinburnu ilçeleri, hastane kurulabilirlik açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada oluşturulan karar modeli altı ana, on dört alt kriterden oluşmaktadır. Kriterler arası bağlar belirlendikten sonra, karşılaştırma matrislerine değerler yerleştirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Matrislerdeki değerler, şebeke yapısı oluşturulduktan sonra çeşitli hesaplamalarla ağırlıklandırılmamış süper-matris, ağırlıklandırılmış süper-matris, limit matris ve bileşen matrisi elde edilmiştir. Bu matrislerden elde edilen sonuçlara göre, en uygun hastane yeri olarak Çatalca ilçesi seçilmiştir.

(Aydın, Öznehir, & Akçalı, 2009), Ankara'da kurulması planlanan yeni bir hastane için optimal hastane yeri seçimini ele almışlardır. Yer seçimi için birçok kriter göz önüne alınmış, hastane yöneticisi, mimar, finans uzmanı ve akademisyenden oluşan uzman bir ekip bir araya getirilerek alternatifleri incelemeleri istenmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen kriterlere göre problem yer seçiminde yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP- Hierarchy Process) ile modellenmiştir. Problemden alternatifler, Ankara'nın farklı sosyo-ekonomik düzeylerinden seçilmiştir. Çalışmada, Ankara'nın farklı özelliklerine sahip beş farklı semti incelenmiş. Ve en yüksek ağırlığa sahip kriter olan "Demografik Yapı" kriterine göre seçim yapılmıştır.

Sağlık sistemlerinde yer seçim problemlerinin modelleme çalışmaları için çeşitli sınıflandırma metodolojileri geliştirilmiştir. Bu sınıflandırmalardan birinde, sağlık sistemlerinde yer seçim problemleri tek düzeyli ve hiyerarşik yer seçim modelleri olarak iki grupta incelenmiştir. Bu model-

lerle ilgili yapılmış olan bazı çalışmalar Tablo 1 ve Tablo 2’de özet halinde sunulmuştur.

Çınar, 1982	0-1 Tam sayılı Programlama Yöntemi ile Sağlık Tesisi Yer Seçim Modeli
Mehretu, Wittick, ve Pigozzi, 1983	Modifiye Edilmiş P-Medyan Modeli ile Sağlık Tesisi Yer Seçim Modeli
Berghmans, Schoovaerts, ve Teghe, 1984	P-Center Modeli ile Sağlık Merkezi Sayısı ve Yer Seçim Modeli (S. Arabistan)
Mehrez, Sinuany-Stern, Arad-Geva ve Binyamin, 1996	AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) Yöntemi ile Yeni Bir Hastane için Yer Seçimi (İsrail)
Cho, 1998	Yer Seçim Problemine Monte Carlo TPT ve Genişletilmiş Lagrange Algoritması İçeren Bütünleşik Yaklaşım (Kore)
Rahman ve Smith, 1999	Ek Sağlık Tesisi için Uygun Yer Belirleme Problemi için Teitz Ve Bart Sezgisel Yöntemi ile Çözüm (Bangladeş)
Harper, Shahani, Gallagher ve Bowie, 2005	Sağlık Tesisleri Yer Seçiminde Kesikli Olaylı Sistem Simülasyonuna Dayalı Stokastik Bir Model

Tablo 1. Tek Düzeyli Yer Seçim Modelleri ile ilgili Çalışmalar

(Çınar, 1982), çalışmasında, bölgesel tesis planlaması kapsamında kırsal bölgelerde sağlık tesislerinin yer seçimi konusunu ele almıştır. Yer seçim modeli 0-1 Tam sayılı Programlama yöntemi ile modellenmiştir. Bu çalışma ile kırsal bölgelerde sağlık evi ve sağlık ocaklarının yer seçiminde bölgede bulunan halkın belirtilen tesislere ulaşılabilirliğini artırıcı sonuçlar ortaya konulmuştur. Ayrıca çalışma ile, sağlık evlerinin optimal yer seçimi, köy ebelerinin köyleri ziyaretleri sırasında kat edecekleri mesafe de azaltılmıştır. Böylece ebelerin yolda geçen verimsiz zamanları asgariye indirilerek görev yapabilecekleri sürenin artırılması ve ebeler arasında dengeli bir iş yükü dağılımının gerçekleşmesi sağlanmıştır.

(Mehretu, Wittick, & Pigozzi , 1983), Yukarı Volta’nın Doğusundaki kırsal bölgede sağlık kliniklerinin yer seçimi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, sağlık tesisleri ile bu tesislerden faydalanan kişilerin buldukları yer arasındaki maksimum mesafenin 5 km’yi geçmemesi koşuluyla, ağırlıklı toplam uzaklığın minimize edilmesi amaçlanmıştır. Problem, modifiye edilmiş p-median (maksimum uzaklık kısıtları eklenmiş p-medyan) problemi olarak modellenmiştir. İlk olarak, çalışma alanındaki 635 köy gruplandırılarak, “programlama birimleri” olarak ifade edilen, 94 kümeye (clusters) dönüştürülmüştür. Daha sonra tesisler, Teitz ve Bart Sezgisel algoritması kullanılarak her bir programlama birimine ayrı ayrı olarak yerleştirilmiştir.

(Berghams, Schoovaerts, & Teghe, 1984), çalışmalarında, Suudi Ara-

bistan'da yeni kurulan bir şehirdeki (Yanbu al Sinaya) sağlık merkezlerinin yer seçimi problemini ele almışlardır. Problem, maksimum bir uzaklık kısıtı, S , altında sağlık merkezlerinin sayısını ve yerlerini belirlemeyi amaçlayan bir p-center problemi ile modellenmiştir ve S 'nin farklı değerleri için Garfinkel ve Nemhauser sezgisel yöntemi kullanılarak çözüme ulaşılmıştır.

(Mehrez, Sinuany-Stern, Arad-Geva, & Binyamin, 1996), tarafından İsrail'de yeni bir hastanenin yer seçimi ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak bir yer seçimi atama modeli geliştirilmiştir. İlk olarak, problem küme örtüleme ve p-medyan modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Daha sonra, AHP yöntemiyle hastanenin konumlandırılacağı optimal yerler çeşitli kriterler (p-medyan modelinin amaç fonksiyonu olan ağırlıklı erişim mesafelerinin toplamı, uzak yerleşim yerlerine hizmet verebilme ve istihdama katkıda bulunma düzeyi ve altyapı olanakları) açısından değerlendirilmiştir.

(Cho, 1998), sağlık kuruluşları için bir yer seçimi atama modeli sunmuştur ve eşitlik-etkinlik ödünleşim modeli (equity-efficiency trade-off model) olarak tanımlanan bir model geliştirmiştir. Bu model eşitlik (yararlanıcıların sağlık hizmetlerinden eşit olarak yararlanabilme olanağı) ve etkinlik (sunulan sağlık hizmetlerinin yararlanıcıların refah düzeyine katkısı ve bu hizmetlerin hizmet veren kuruluşlara yansıyan maliyeti) kriterlerini de içeren çok amaçlı bir yapıya sahiptir. Model, Kore-Chongju Büyükşehir Belediye Bölgesi'ndeki sağlık kuruluşlarının yer seçimi problemine uygulanmıştır. Modelde, tesislerin yararlanıcılar açısından çekiciliği, tesislerin büyüklüğü ile ifade edilmiştir ve hastaların tesisler arasında sevk edilme durumunun olmadığı varsayılmıştır. Problemin çözümünde, Monte Carlo tamsayı programlama tekniğini ve Genişletilmiş Lagrange Algoritmasını bütünleşik olarak içeren bir yaklaşım kullanılmıştır.

(Rahman & Smith, 1999), çalışmalarında, Bangladeş'in kırsal bölgesinde kurulacak olan ek sağlık tesisleri için uygun yerlerin belirlenmesi amaçlamışlardır. Çalışmada ele alınan yer seçimi problemi maksimum kapsama modeli olarak ve Teitz ve Bart Sezgisel Yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Modelde, sağlık tesisleri sonsuz kapasiteli olarak düşünülmüştür ve tesislerin konumlandırılabilceği aday yerleşim yerleri (köy) için minimum nüfus kısıtı kullanılmıştır. 2-basamaklı hiyerarşik bir yer seçim modeli olarak tasarlanmasına rağmen, problem hiyerarşik olmayan bir yapıda ve maksimum kapsama modelleri kullanılarak ardışık olarak çözülmüştür.

(Harper, Shahani, Gallagher, & Bowie, 2005), sağlık tesislerinin yer seçiminde farklı seçeneklerin değerlendirildiği kesikli olaylı sistem simülasyonuna dayalı stokastik bir model geliştirmişlerdir. Model iki örnek ça-

lışmaya uygulanmıştır: birincisi, sağlık tesislerinin yerel düzeyde planlanması; ikincisi ise, bölgesel düzeyde planlanmasıdır. Bu örnek çalışmalar, gerçek hayattaki karmaşık yer seçimi atama problemlerinin çözümünde stokastik yaklaşımların daha gerçekçi ve daha faydalı olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır.

Schultz, 1970	K-Hiyerarşili Sağlık Tesisi Yer Seçim Problemi, Merkezi Yerleşim Teorisi
Calvo ve Marks, 1973	K-Hiyerarşili Sağlık Sisteminde Optimal Tesis Yerleşimi, 0-1 Tamsayı Programlama
Banerji ve Fisher, 1974	Hiyerarşik Sağlık Tesisi Yer Seçimi, P-Center Modeli (Hindistan)
Dökmeci, 1977	4-Basamaklı Hiyerarşik Sağlık Sistemi Tesis Yerleşimi, Toplam Maliyet Minimizasyonunu
Tien ve El-Tell, 1984	0-1 Tamsayı Programlama ile Hiyerarşik Model, DP Gevşetmesi Yöntemi ile Çözüm
Hodgson, 1986	Hiyerarşik Sistemde Yer Seçim Problemi, Sezgisel Bir Metod
Serra ve Revelle, 1994	İki Farklı Tipteki Tesisin Yerleşimi İçin Bir PQ-Medyan Modelleme, Doğrusal Programlama Gevşetmesi ve Dal-Sınır Algoritması ile Çözüm
Oppong ve Hodgson, 1994	Sağlık Kuruluşlarında Mevcut Durum Yerleşim İyileştirme, P-Medyan Modeli, Teitz ve Bart Sezgisel Yöntemi ile Çözüm
Galvao, Espejo ve Boffey, 2002	3-Basamaklı Ardışık Hiyerarşik Model, Lagrangean Sezgiseli ve 3p-Medyan Sezgiseli
Mitropoulos, Mitropoulos, Giannikos, ve Sissouras, 2006	Sağlık Kuruluşları Hastanelerin Yer Seçim Problemi, Karışık Tam Sayılı Programlama Modeli
Şahin, Süral ve Meral 2007	Kan Hizmetleri Bölgeselleştirilmesi Kapsamında Yer Seçim Problemi, PQ-Medyan Modeli, Küme Örtüleme Modeli

Tablo 2. *Hiyerarşik Seçim Modelleri ile ilgili Çalışmalar*

(Schultz, 1970), merkezi yerleşim teorisini (central place theory) ardışık olarak birbirini kapsayan k-hiyerarşili sağlık tesislerinin yer seçim problemlerine uygulamıştır. Modelde sağlık tesislerinin, homojen nüfus merkezleri için net sosyal faydanın maksimize edildiği optimal yerleşimini bulmak amaçlanmıştır.

(Calvo & Marks, 1973), çalışmalarında, Schultz'un ele aldığı problemi, nüfus merkezlerini heterojen düşünerek ve sağlık tesisleri için kapasite kısıtları eklenerek yeniden modellemişlerdir. K-hiyerarşili bir sağlık sisteminde tesislerin optimal yerleşimini elde etmek için çok amaçlı bir tamsayı doğrusal model geliştirilmiştir. Ayrıca, 3-hiyerarşili bir sağlık sistemini detaylı olarak incelemişlerdir. Modelde, yararlanıcılar ile tesisler arasındaki uzaklıkların ve yararlanıcı maliyetlerinin minimizasyonu ve

yararlanıcıların tesislerden yararlanma oranlarının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Modelde şu varsayımlar kullanılmıştır: 1) hastalar sağlık hizmetini almak için kendilerine en yakın olan tesise giderler; 2) hastaların alt basamaktaki tesislerden daha üst basamaktaki tesislere sevk edilmesi durumu yoktur; 3) tüm üst basamaktaki tesisler daha alt basamaktaki tesislerin sunduğu hizmetleri verebilmektedir (ardışık olarak birbirini kapsama özelliği) ve 4) hastalar ihtiyaç duydukları sağlık hizmetlerine göre k adet gruba ayrılmaktadırlar. Problem 0-1 tam sayılı programlama modeli olarak formüle edilmiştir; buna karşın herhangi bir çözüm yöntemi sunulmamıştır.

(Banerji & Fisher, 1974), Hindistan'ın Andhra Pradesh Bölgesindeki kırsal yörelerde hiyerarşik sağlık tesisleri için yer seçim çalışması yapmışlardır. Çalışmada, ardışık olarak birbirini kapsayan tesislerden oluşan hiyerarşik bir sistem düşünülmüş ve hiyerarşinin farklı basamakları arasında hastaların sevk edilmediği varsayılmıştır. Problem p-center modeli olarak formüle edilmiştir. İlk önce her basamakta ihtiyaç duyulan tesislerin sayısını belirlemek için izin verilen maksimum uzaklık sınırı altında oluşturulan Küme Örtüleme Problemi, 'Banerji Sezgisel Yöntemi' kullanılarak çözülmüştür. Daha sonra her basamakta açılacak tesisin sayısı belirlenmiş ve bu tesislerin optimal yerleşimini belirlemek için yukarıdan aşağıya çözüm stratejisi kullanılarak oluşturulan P-Medyan Problemi ise 'Teitz ve Bart Sezgisel Yöntemi' ile çözülmüştür.

(Dökmeci , 1977), bölgesel bir sağlık sistemindeki tesislerin yerleşimine ilişkin optimal karakteristikleri (tesis sayısı, büyüklüğü ve yer seçim açısından) belirlemek için niceliksel bir planlama modeli ortaya koymuştur. Sistem birbiriyle ilişkili 4-basamaklı (tıp merkezleri, orta düzey ve yerel hastaneler ve sağlık merkezleri) bir hiyerarşik yapıya sahiptir. Nicel model, sağlık hizmetinden yararlananlara yansıyan toplam maliyetin (ulaşım ve tesis maliyetlerinin toplamı) minimizasyonunu amaçlamaktadır. Sistemin optimal karakteristikleri, aşağıdan-yukarıya çözüm stratejisi ve alt basamaktaki hastaneler arasındaki ilişkileri ve çevresel koşulları dikkate alan bir sezgisel yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Sağlık tesislerine olan talebin tahmini için ise Markov süreci kullanılmıştır.

(Tien & El-Tell, 1984), tarafından, köy kliniklerinin ve sağlık merkezlerinin (bölgesel kliniklerin) konumlandıracağı yerleri ve bunlar arasındaki ilişkiyi (bir ya da birden çok kliniğin bir sağlık merkezine organizasyonel olarak bağlanmasını ve sağlık merkezlerindeki bir doktorun kliniklere giderek hizmet verebilmesi şeklinde tanımlanan) belirlemek amacıyla 2-basamaklı bir hiyerarşik model tanımlanmıştır. Problem 0-1 tamsayı programlama yöntemi ile modellenmiş ve Ürdün'deki 31 köy için bir uygulama çalışması yapılmıştır. Sağlık tesisleri için yer seçimi, yararlanıcılar (köyler) ile klinikler ve klinikler ile sağlık merkezleri arasındaki,

talep miktarı ile ağırlıklandırılmış mesafelerin minimize edilmesi amaçları esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Problemin çözümü için, Doğrusal Programlama Gevşetmesi yöntemi kullanılmıştır.

(Hodgson, 1986), ardışık olarak birbirini kapsayan tesislerin yer aldığı hiyerarşik bir sistem için yer seçim problemini ele almış ve sistemin tüm basamaklarında yer alan tesislerin eş zamanlı olarak yerleştirilmesini sağlayan sezgisel bir metot önermiştir. Kullanılan modelde, farklı basamaklarda yer alan tesislerin yararlanıcılar açısından çekiciliğini dikkate alan bir amaç fonksiyonu geliştirilmiştir.

(Serra & Revelle, 1994), çalışmaları ile hiyerarşik modeller için tutarlılık kavramını ortaya koymuşlardır. Problem, iki farklı tipteki tesisin yerleşimini sağlayan bir p_q-medyan problemi olarak modellenmiştir. Her basamak için talep noktalarından hizmet verilen en yakın tesise, tutarlılık koşulu sağlanarak, mesafenin ve ulaşım zamanının minimizasyonu amaçlanmıştır. Böylece, farklı basamaktaki tesislere erişim arasında bir ödünleşimin sağlanması beklenmiştir. Problem ilk olarak Doğrusal Programlama Gevşetmesi ile çözülmüş, tam sayılı bir çözüm elde etmek için, gerekli durumlarda dal-sınır algoritması uygulanmıştır. Model, Barselona'daki birinci basamak sağlık kuruluşlarının yer seçim problemine uygulanmıştır.

(Oppong & Hodgson, 1994), Gana'nın kırsal bölgesindeki birinci basamak sağlık kuruluşlarının mevcut durumlarındaki yerleşiminin iyileştirilmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında, yararlanıcıların var olan sağlık kuruluşlarının sunduğu hizmetlere erişilebilirlik düzeyinin (p-medyan modeli için yararlanıcıların ortalama erişim süresi/uzaklığı, maksimum kapsama modeli için sağlık kuruluşlarının belirli bir erişim uzaklığında kapsayabildiği nüfus oranı) ölçülmesi ve erişilebilirlik düzeyinin ek bir yatırım gerektirmeden iyileştirilip iyileştirilmeyeceğinin belirlenmesi amacıyla p-medyan ve maksimum kapsama modellerinden yararlanılmıştır. Yapılan analizlerde p-medyan modeli kullanılarak mevcut sağlık sisteminin erişilebilirlik düzeyinin nasıl iyileştirilebileceği ve ek sağlık tesisleri kurulduğunda bu düzeyin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Ayrıca, bu analiz sonucunda orta basamaktaki tesislerin alt basamaktaki tesisleri denetleyebilme kabiliyeti maksimum kapsama modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Üzerinde çalışılan sistem, hastaların farklı basamaktaki tesisler arasında sevk edilme durumunu da içeren ve ardışık olarak birbirini kapsayan tesislerden oluşan 3-basamaklı hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Problemin çözümü için aşağıdan yukarıya adım adım çözüme yaklaşımı ve 'Teitz ve Bart Sezgisel Yöntemi' kullanılmıştır.

(Galvao, Espejo, & Boffey, 2002), Rio De Janerio'da perinatal ve maternal bakım hizmetlerinin sunulduğu tesislerin yerleşimi için 3-basamak-

lı ardışık olarak birbirini kapsama özelliğine sahip hiyerarşik bir model geliştirmişlerdir. Modelde, hastaların ihtiyaç duydukları hizmeti kendilerine en yakın olan tesisten aldığı ve 2.basamak ile 3.basamak tesisler arasında hastaların sevk edilebildiği varsayılmıştır. Bu hiyerarşik modeli çözmek için iki temel sezgisel geliştirilmiştir: Lagrangean Sezgiseli (LS) ve 3p-Medyan Sezgiseli (üç adet p-medyan probleminin ardışık çözülmesini içeren bir sezgisel). LS, daha sonra, 3p-medyan sezgiseli çözümlere hesaplanan bir başlangıç üst sınırı içerecek şekilde modifiye edilerek Modifiye Edilmiş Lagrangean Sezgiseli (Modified Lagrangean Heuristic-MLH) geliştirilmiştir. Daha sonra, geliştirilen model ve sezgisel metotlar, gerçek veriler kullanılarak test edilmiştir.

(Mitropoulos, Mitropoulos, Giannikos, & Sissoura, 2006), kırsal ve yarı-kırsal bölgelerdeki birinci basamak sağlık kuruluşlarının ve hastanelerin yer seçim probleminin çözümüne yönelik 2-amaçlı matematiksel programlama modeline dayalı bir yöntem ortaya koymuşlardır. İncelenen sistem ardışık olarak birbirini kapsayan tesislerden oluşan 2-basamaklı hiyerarşik bir yapıya sahiptir ve her iki basamaktaki tesislerin (sağlık merkezi ve hastaneler) yer seçim problemi eş zamanlı olarak çözülmektedir. Modelde sağlık merkezleri için kapasite kısıtları bulunmaktadır. Karışık tamsayı programlama modeli olarak formüle edilen problemde iki amaç optimize edilmektedir: (1) tesisler ve hastalar arasındaki mesafelerin minimizasyonu (etkinlik amacı), (2) nüfus bölgeleri arasında sağlık tesislerinin eşit dağılımı (eşitlik amacı). Yapılan analizlerde, ilk olarak mevcut durumdaki sağlık sisteminin birinci ve ikinci basamakları arasında yararlanıcıların tercih düzeyine (hastaların hizmet alabilmek için 1. basamaktaki sağlık merkezlerinden ziyade daha donanımlı ve daha gelişmiş olan 2. basamaktaki hastaneleri tercih etme düzeyi) ilişkin bir parametre (hasta tercih parametresi) belirlenmiştir. Daha sonra bu parametre, daha uygun bir sistem planlaması için 2-amaçlı yer seçimi atama probleminin çözümünde kullanılmıştır. Geliştirilmiş olan model Batı Yunanistan Bölgesi'ndeki sağlık kuruluşlarının yer seçim probleminde uygulanmıştır ve XPRESS adlı bir çözücü ile optimal bir çözüm elde edilmiştir.

(Şahin, Süral, & Meral, 2007), çalışmada, kan hizmetlerinin bölgeselleştirilmesine ilişkin 2-basamaklı ardışık olarak birbirini kapsama özelliğine sahip, atamaya dayalı hiyerarşik bir model ele almışlardır. Kan hizmetlerinin bölgeselleştirilmesi kapsamında yer seçimi atama problemini çözmek için birkaç matematiksel model geliştirilmiştir. Çalışmada birincil olarak sistemin toplam taşıma maliyetinin minimizasyonu, ikincil olarak ise, kan hizmetlerinde acil kan talebinin kritik bir konu olduğu düşünülerek tesislere maksimum erişim zamanının minimizasyonu amaçlanmıştır. Tüm problem üç alt probleme ayrıştırılmıştır. Birinci alt problem farklı hizmetleri sunan tesisler ve talep noktaları ile tesisler arasındaki talep

ağırlıklı toplam uzaklıkların minimize edilmesini amaçlayan bir pq-medyan modeli olarak formüle edilmiştir. İkinci alt problem destek tesislerinin yer seçimini gerçekleştiren bir küme örtüleme modeli olarak formüle edilmiştir. Üçüncü alt problem ise her hizmet bölgesine seyyar birimlerin yeniden dağıtımını içermektedir. Tüm matematiksel modeller CPLEX-6 kullanılarak çözülmüştür. Geliştirilen model, gerçek veriler kullanılarak Kızılay'ın kan hizmetlerinin planlanması problemine uygulanmıştır ve uygulamaya ilişkin hesaplama sonuçları çalışma kapsamında verilmiştir.

Yer Seçim Problemlerinin Sınıflandırması

Literatürde yer seçim problemleri ile ilgili çalışmalar için çeşitli sınıflandırmalar mevcuttur. Bunlar arasından seçilen özgün bir metodolojiye göre olan sınıflandırmada, tek tip ve hiyerarşik yapıli tesislerin farklı sekiz özelliği temel alınmıştır (Tablo 3). Bu sınıflandırmaya göre yer seçim problemlerinde kullanılan yöntemler, matematiksel modelin amaç fonksiyonuna göre tek amaçlı ve çok amaçlı fonksiyonlar olarak sınıflandırılmıştır (Karakaya , 2008). Tek amaçlı modeller; p-medyan, p-center, küme örtüleme ve maksimum kapsama modeli'dir.

Yer seçiminde çözüm için yukarıdaki yöntemler kullanılarak modellenen problemler için amaç fonksiyonu olarak aşağıda belirtilen seçenekler tanımlanmıştır:

1. Ulaşım süresinin veya ulaşım mesafesinin minimizasyonu,
2. Kullanıcı maliyetinin minimizasyonu; burada amaç, kullanıcı kitleye minimum maliyeti sağlamaktır. Ulaşım ve hizmet masrafları sistemin toplam maliyetini oluşturmaktadır.
3. Talebin maksimizasyonu; kullanıcı kitlenin kolayca ulaşabileceği ve yararlanabileceği veya yerinden dolayı daha fazla sayıda insanın sağlık tesisine başvurması şeklinde tanımlanmaktadır.
4. Faydanın maksimizasyonu; fayda teorisi, sistematik olarak, bir kişi ve grubun tercihlerinin tek veya çok boyutlu saptanmasını sağlamaktadır.

Yer seçim modelleri genellikle amaç fonksiyonunun minimizasyonu şeklindedir. Yararlanıcıların tesislere toplam ulaşım zamanının (veya uzaklığının) minimizasyonu, malzeme, hammadde veya ürün akışının kat ettiği uzaklıkların minimizasyonu, tesisler ile yararlanıcılar arasındaki maksimum uzaklıkların minimizasyonu (örneğin belli yerleşim bölgesindeki insanların evleri ile sağlık hizmetlerinin sunulduğu merkezler arasında kat edecekleri maksimum uzaklıkların minimize edilmesi şeklinde ortaya çıkan yer seçim problemi) bu gruba örnek olarak verilebilir. Özellikle maksimum uzaklığın minimizasyonu şeklinde ifade edilen minimaks mo-

deller genellikle itfaiye, hastane vb. kamusal hizmet sunan tesislerin yer seçim problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Amaç fonksiyonu maksimizasyon da olabilmektedir. Burada tesislerin sağlayacağı sosyal faydayı maksimize edecek bir yer seçimi çözümü elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Ayrıca, yer seçim kararının tesislerden yararlanma oranını (kapasite kullanım oranı) maksimize edecek şekilde gerçekleştirilmesini amaçlayan modeller de bulunmaktadır.

Sunulan Hizmet Düzeyi	<ul style="list-style-type: none"> • Tek düzeyli • Hiyerarşik <ul style="list-style-type: none"> ○ Ardışık olarak birbirini dışlayan hizmet hiyerarşisi ○ Ardışık olarak birbirini kapsayan hizmet hiyerarşisi ○ Bölgesel sınırlı hizmet hiyerarşisi
Matematiksel Modelin Amaç Fonksiyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Tek amaçlı <ul style="list-style-type: none"> ○ P-Medyan ○ P-Center ○ Küme örtüleme ○ Maksimum kapsama ○ Sabit maliyetli yer seçim modeli ○ Diğer • Çok amaçlı
Çalışmaların Genel Amacı	<ul style="list-style-type: none"> • Tesis yerlerinin optimal bir kümesini elde etme • Mevcut sistemi iyileştirme
Hiyerarşik Modellerdeki Akış Tipi	<ul style="list-style-type: none"> • Ayrık • Bütünleşik
Hiyerarşik Modellerde Talebin Farklı Hiyerarşideki Tesisler Arasında Sevk Edilme Özelliği	<ul style="list-style-type: none"> • Sevкли • Sevksiz
Ağ Yapısı	<ul style="list-style-type: none"> • Kesikli • Sürekli
Kapasite Kısıtları	<ul style="list-style-type: none"> • Sonlu kapasiteli • Sonsuz kapasiteli
Çözüm Yaklaşımları	<ul style="list-style-type: none"> • Hiyerarşik modeller için çözüm Yaklaşımları <ul style="list-style-type: none"> ○ Adım adım çözmeye ○ Eş zamanlı çözmeye • Tek düzeyli modeller için çözüm yaklaşımları

Tablo 3. Yer seçim Problemleri Sınıflandırması

Literatürde sıkça rastlanan Matematiksel Modelin Amaç Fonksiyonuna göre Sınıflandırma yöntemleri aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

P-Medyan Modeli

P-medyan problemi kuruluş yeri seçim problemleri içerisinde tartışmasız en çok bilinen ve çözümü için birçok çalışma yapılmış olan kuruluş yeri seçim ve atama modelidir. Bir tesis yeri seçiminin etkinliğini ölçmenin en önemli yolu o tesise yapılan ulaşımın ortalama mesafesinin tespit edilmesidir. P-medyan probleminin en temel hali 1-Medyan problemi olarak da isimlendirilen, şebeke üzerinde tüm talep noktalarına hizmet verecek olan 1 adet medyan tesisin bulunmasını amaçlayan modeldir. Sadece bir kuruluş yeri seçilen bu problemde amaç toplam maliyetin minimum yapılmasıdır. Medyan noktası sayısı birden fazla olduğu problemlere ise p-medyan problemi adı verilmiştir (Özçakar, Bastı, Özçakar, & Bastı, 2012). Bu yöntemde belirli sayıdaki tesis (p adet); her talep noktası ve ona hizmet veren tesis arasındaki mesafenin o talep noktasının talebi ile ağırlıklandırılması sonucu oluşan toplam amaç fonksiyonunun minimizasyonu ile belirli bir bölgeye yerleştirilmektedir. P-medyan problemlerinde her talep noktasının bu talebini kendisine en yakın tesisten karşılayacağı varsayılmaktadır ve tesisler ile talep noktaları arasındaki mesafenin minimize edilmesi amacıyla uygun sayıda tesis uygun yerlere yerleştirilmektedir.

P-medyan modelinin matematiksel formülü şu şekildedir:

İndeksler:

n: aday tesis yeri/talep merkezi sayısı,

i: talep merkezi, $I = \{i / i = 1, 2, \dots, n\}$,

j: aday tesis yeri, $J = \{j / j = 1, 2, \dots, n\}$,

Parametreler:

h_i : i talep merkezinin toplam talebi, $i \in I$

d_{ij} : talep merkezi i ve aday tesis j arasındaki uzaklık, $i \in I, j \in J$

p: kurulacak tesis sayısı

Karar Değişkenleri:

$$Y_j = \begin{cases} 1, j \text{ tesisi açılırsa,} \\ 0, \text{diğer durumda.} \end{cases}$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, i \text{ talep merkezi} \\ j \text{ tesisine atanırsa,} \\ 0, \text{diğer durumda.} \end{cases}$$

Amaç:

Talep ağırlıklı toplam uzaklığı minimize edecek şekilde p adet tesisin açılacağı en uygun yerlerin belirlenmesi.

Matematiksel Formül:

$$\text{MIN } \{ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_{ij} X_{ij} \}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = p \quad (2)$$

$$X_{ij} - Y_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$Y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (5)$$

Amaç Fonksiyonu: Her talep noktası ve ona hizmet veren en yakın tesis arasındaki mesafenin o talep noktasının talebi ile ağırlıklandırılması sonucu oluşan toplam amaç fonksiyonunu minimize etmek. Özetle, düğüm noktalarındaki talepleri karşılayacak şekilde toplam maliyetin minimize edilmesidir.

(1) No'lu Kısıt: i merkezindeki talebin açılacak tesislerden birine mutlaka atanmasını, yani müşterilerin taleplerinin karşılanabilmesi,

(2) No'lu Kısıt: Bütçe kısıtı olup açılacak toplam tesis sayısının sınırlandırılmasını,

(3) No'lu Kısıt: Müşterilerin taleplerinin sadece açık tesislerden karşılanabilmesini,

(4) No'lu Kısıt: Y_j şeklinde ifade edilen tüm tesis açma değişkeninin 0 veya 1 değeri almasını,

(5) No'lu Kısıt: X_{ij} şeklinde ifade edilen atama değişkenlerinin 0 veya 1 değerini almasını sağlamaktadır.

P-Merkez Modeli

P-merkez problemleri minmaks tipi problemler olarak bilinmektedir. P-merkez modelinde, talep merkezleri ile en yakın tesisler arasındaki maksimum uzaklığı minimize edecek şekilde p adet tesis için en uygun yerlerin belirlenmesi amaçlanır. Eğer tesis yerleri şebekedeki düğüm noktaları ile sınırlandırılır ise problem vertex (düğüm noktası) merkez problemi olarak adlandırılır. Tesis yerlerinin şebekedeki herhangi bir noktaya yerleştirilmesine izin verilirse bu problem tam merkez problemi olarak adlandırılır.

P-medyan modelinde tanımlanan parametrelere ek olarak yeni bir parametre olan W tanımlandıktan sonra P-merkez modelinin matematiksel formülü şu şekilde ortaya çıkmaktadır:

W: Bir talep merkezi ile bu talep merkezinin atandığı tesis arasındaki maksimum uzaklık

MIN W

Kısıtlar;

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = p \quad (2)$$

$$X_{ij} - Y_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$W - \sum_{j \in J} h_i d_{ij} X_{ij} \geq 0 \quad \forall i \quad (4)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (6)$$

Amaç Fonksiyonu: Her talep noktası ve ona hizmet veren en yakın tesis arasındaki maksimum talep ağırlıklı uzaklığının minimizasyonu.

(1) No'lu Kısıt: i merkezindeki talebin açılacak tesislerden birine mutlaka atanmasını, yani tüm müşterilerin taleplerinin karşılanabilmesini sağlamaktadır.

(2) No'lu Kısıt: Bütçe kısıtı olup açılacak toplam tesis sayısını sınırlandırmaktır.

(3) No'lu Kısıt: Müşterilerin taleplerinin sadece açık tesislerden karşılanabilmesini sağlamaktadır.

(4) No'lu Kısıt: Minimize edilen maksimum talep ağırlıklı uzaklık üzerindeki alt sınırı tanımlamaktadır.

(5) No'lu Kısıt: Y_j şeklinde ifade edilen tüm tesis açma değişkenlerinin 0 veya 1 değerini almasını ve

(6) No'lu Kısıt: X_{ij} şeklinde ifade edilen atama değişkenlerinin 0 veya 1 değerini almasını sağlamaktadır.

Küme Örtüleme Modeli

Küme örtüleme modelinde amaç, istenen maksimum bir hizmet mesafesi (veya erişim zamanı) içerisinde her talep noktasının en az bir tesisle kapsanmasını sağlayacak şekilde minimum sayıda tesisi yerleştirmektir. Küme örtüleme modeliyle, tüm talep noktalarını kapsayacak şekilde seçilen tesislerin maliyetinin minimize edilmesi sağlanmaktadır. Bu model, gelişmiş ülkelerde hastaların sıklıkla ziyaret etmek durumunda kaldıkları çeşitli sağlık merkezlerinin (örneğin diyaliz merkezleri) yer seçiminde kullanılmıştır.

Küme örtüleme modelinin matematiksel formülü şu şekilde elde edilir:

$$f_j: j \left\{ \begin{array}{l} 1, i \text{ talep merkezi} \\ j \text{ tesisi tarafından} \\ \text{kapsanırsa,} \\ 0, \text{ diğer durumda.} \end{array} \right. \text{ maliyeti,}$$

$$a_{ij} =$$

Amaç:

İstenen (belirlenen) maksimum bir hizmet mesafesi (zamanı) içerisinde her talep noktasının en az bir tesisle kapsanmasını sağlayacak şekilde minimum sayıda tesisin yerleştirilmesi.

Matematiksel Formülü:

$$\text{MIN } \sum_{j \in J} f_j Y_j$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j \in J} a_{ij} Y_j \geq 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2)$$

Amaç Fonksiyonu: Açılan tüm tesislerin toplam maliyetini minimize etmek.

(1) No'lu Kısıt: Her talep noktasının en az bir tesisle kapsanmasını sağlamaktadır. Bu kısıtın sağ tarafı i talep noktasını kapsayabilen tesislerin toplam sayısını göstermektedir.

(2) No'lu Kısıt: Y_j şeklinde ifade edilen tüm tesis açma değişkenlerinin 0 veya 1 değerini almasını sağlamaktadır.

Maksimum Kapsama Modeli

Yer seçim modellerinden biri olan maksimum kapsama modeli, belirli bir hizmet mesafesi ya da erişim zamanı içerisinde en fazla sayıda talebin “p” sayıda hizmet merkezi tarafından kapsanması problemini ele almaktadır. Maksimum kapsama modelleri, belirli sayıda hizmet merkezini kabul edilebilir bir hizmet mesafesi içerisine yerleştirerek kapsanan talep miktarını maksimum yapmayı amaçlar. Bu modelde bütün talep noktalarının kapsanmasına gerek yoktur.

Bu modelin matematiksel formülü için Z_i ile gösterilen yeni bir karar değişkeni tanımlanır.

$$Z_i = \begin{cases} 1, & i \text{ talep merkezi} \\ & \text{kapsanırsa,} \\ 0, & \text{diğer durumda.} \end{cases}$$

Bu ek notasyonla birlikte, maksimum kapsama modelinin matematiksel formülü şu şekildedir:

$$\text{MAX } \sum_{i \in I} h_i Z_i$$

Kısıtlar;

$$Z_i - \sum_{j \in J} a_{ij} Y_j \leq 0 \quad \forall i \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j = p \quad (2)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (3)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (4)$$

Amaç Fonksiyonu: Kapsanan talep miktarını maksimize etmek.

(1) No'lu Kısıt: i talep merkezini kapsayabilen en az bir tesis açılmış ise bu talep merkezinin kapsanmış olarak sayılmamasını,

(2) No'lu Kısıt: Bütçe kısıtı olup açılacak toplam tesis sayısının sınırlandırılmasını,

(3) No'lu Kısıt: Y_j şeklinde ifade edilen tüm, tesis açma değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini almasını ve

(4) No'lu Kısıt: Z_i şeklinde ifade edilen kapsama değişkenlerinin 0 veya 1 değerini almasını sağlamaktadır.

Sabit Maliyetli Tesis Yer Seçim Modeli

Bu problem p-medyan probleminden türetilmiştir ve sabit kurulum maliyeti ve taşıma maliyetinden oluşan toplam sistem maliyetini minimize etmek amacıyla tesislerin optimal sayısını, yerini ve talebin bu tesislere atanmasını amaçlamaktadır. Problem, aday olan tesis belirli bir kapasiteye sahip olduğunda kapasite kısıtlı tesis yer seçim problemi halini alır.

Daha önce tanımlanan parametre ve karar değişkenleri ile birlikte, bu model için şu ek parametreler tanımlanır:

f_j : j'de bir tesis açmanın sabit maliyeti,

C_j : j'de açılacak bir tesisin kapasitesi,

β : birim talebin katettiği birim uzaklığın maliyeti,

Kapasiteli sabit maliyetli yer seçim modeli şu şekilde formüle edilir:

Matematiksel Formülü:

$$\text{MIN} \quad \sum_{j \in J} f_j Y_j + \beta \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_{ij} X_{ij}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$X_{ij} - Y_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} h_i X_{ij} - C_j Y_j \leq 0 \quad \forall i \quad (3)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (5)$$

Amaç Fonksiyonu: Her talep noktası ve ona hizmet veren tesis arasındaki mesafenin o talep noktasının talebi ile ağırlıklandırılması sonucu oluşan talep ağırlıklı mesafelerin toplam maliyeti ile sabit tesis kurulum maliyetinin toplanması sonucu oluşan sistem maliyetini minimize etmek.

(1) No'lu Kısıt: i merkezindeki talebin açılacak tesislerden birine mutlaka atanmasını, yani tüm müşterilerin taleplerinin karşılanabilmesini,

(2) No'lu Kısıt: Müşterilerin taleplerinin sadece açık tesislerden karşılanabilmesini,

(3) No'lu Kısıt: Açılan tesise atanan toplam talep miktarının bu tesisin kapasitesini aşmamasını,

(4) No'lu Kısıt: Y_j şeklinde ifade edilen tüm, tesis açma değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini almasını ve

(5) No'lu Kısıt: X_{ij} şeklinde ifade edilen atama değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini almasını sağlamaktadır.

Bu kısıtlardan (4) no'lu kısıt çıkarılırsa, model “kapasitesiz (sonlu kapasiteli) sabit maliyetli yer seçim problemi” adını alır.

Çok Amaçlı Modeller

Literatürde sağlık alanında yapılmış yer seçim problemi çalışmaları-
nın çoğu tek kriterli amaç fonksiyonuna sahiptir. Bu çalışmalardan sınırlı sayıdaki bir bölümü ise çok kriterli amaç fonksiyonuna sahiptir. (Mitropoulos, Mitropoulos, Giannikos, & Sissoura, 2006), yaptıkları çalışmada, yarı-kırsal ve kırsal nüfus için gerekli temel sağlık merkezlerinin ve hastanelerinin yer seçimi için iki-amaçlı matematiksel programlama modeline dayalı bir yöntem ortaya koymuşlardır. Modelde iki amacın optimize edilmesi düşünülmüştür: (1) hasta ve hizmetin sunulduğu tesisler arasındaki mesafenin minimizasyonu (etkinlik amacı), (2) insanlar arasında tesislerin eşit dağılımını sağlamak (eşitlik amacı).

Yer Seçim Problemlerinin Çözümü

Yer seçim problemleri analitik yöntemler kullanılarak çözülmesi zor olan problemlerden kabul edilmektedir. Bu tip problemlerin çözülebilmesi için polinom zamanlı bir algoritma yoktur. NP-Zor (NP-Hard - Nondeterministic Polynomial Time-Hard) olarak isimlendirilen bu problemler polinom zaman içerisinde çözülemezler. Burada daha açık şekilde, problemin çözümü için geçen sürenin problemin boyutu ile ilişkili olarak üssel bir şekilde arttığı yani problem boyutunun polinom fonksiyonu ile sınırlı olan hesaplama süresi içinde çözüm elde edilemeyeceği ifade edilmektedir. Makul zamanlar içinde çözüm elde edilemediği için bu tip problemlerin çözümünde kesin çözüm algoritmaları yerine, çözüm süresi olarak polinom sınırlar içerisinde bir zamanda sonuç veren sezgisel algoritmalar tercih edilmektedir. NP-Zor sınıfına giren tesis yeri seçim problemi için kullanılan çözüm yaklaşımları üç ana tip üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bunlar, tam çözüm metotları, sezgisel algoritmalar ve meta sezgisel algoritmalar

şeklinde ifade edilebilir (Jamshidi, 2009). Kesin çözüm yöntemleri ile çözüme ulaşılabilecek problemler daha çok küçük boyutlu problemlerdir.

Sonuç

Kuruluş yeri seçimi, günümüzde karar verme konumundaki yöneticiler için en zor faaliyetlerinden biridir. Karar vericiler, yatırımları için en uygun kuruluş yerini belirlerken çok sayıda kriteri göz önüne alarak birçok alternatifi değerlendirmek durumundadırlar. Sağlık sektöründe faaliyet gösteren kurumlar için binanın konumu büyük önem taşımaktadır. Artan rekabet şartları karşısında ayakta kalabilmek ve hastalarına en hızlı ve en iyi sağlık hizmetini sunabilmek için hastaneler en uygun yerde faaliyet göstermelidirler. Alternatiflerin oldukça fazla olduğu bir ortamda en uygun hastane yerinin belirlenmesi yöneticiler açısından zor bir seçim aşamasıdır. Uygun tekniklerin kullanılması ve ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi ile bu süreç kolaylaştırılabilir.

Kaynakça

- Aydın, Ö., Öznehir, S., & Akçalı, E. (2009). Ankara için Optimal Hastane Yer Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ile Modellenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 69-86.
- Ballı, H. (2014). Bulanık Doğrusal Programlama Modeli İle Bir Kamu Kurumu İçin Tesis Yeri Seçimi. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Banerji, S., & Fisher, H. (1974). Hierarchical Location Analysis for Integrated Area Planning in Rural India. *Papers Regional Science Association*, 177-194.
- Berghams, L., Schoovaerts, P., & Teghe, J. J. (1984). Implementation of Health Facilities in a New City. *Journal of the Operational Research Society*, 1047-1054.
- Calvo, A. B., & Marks, D. H. (1973). Location of Health Care Facilities: An Analytical Approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 407-422.
- Cho, C. J. (1998). An-Equity-Efficiency Trade-Off Model for The Optimum Location of Medical Care Facilities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 99-112.
- Çınar, Ü. (1982). Sağlık Sistemlerinde Yöneylem Araştırması. *ODTÜ Mühendislik Fakültesi*.
- Daskin, M. S. (1995). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. John Wiley & Sons.
- Dökmeci, V. F. (1977). A Quantitative Model to Plan Regional Health Facility Systems. *Management Science*, 411-419.
- Galvao, R. D., Espejo, L. G., & Boffey, B. (2002). A Hierarchical Model for the Location Perinatal Facilities in the Municipality of Rio De Janerio. *European Journal of Operational Research*, 495-517.
- Harper, P. R., Shahani, A. K., Gallagher, J. E., & Bowie, C. (2005). Planning Health Services with Explicit Geographical Considerations: A Stochastic Location-Allocation Approach. *Omega*, 141-152.
- Hodgson, M. J. (1986). A Hierarchical Location-Allocation Model with Allocations Based on Facility Size. *Annals of Operations Research*, 273-289.
- Jamshidi, M. (2009). Median Location Problem. *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*, 177-191.
- Karakaya, Ş. (2008). Sağlık Sistemlerinde Lojistik Yönetimi ve Bir Uygulama. *Uzmanlık Tezi*. Ankara.
- Karaman, M. (2008). Çok-Seviyeli En Fazla Kapsamalı Ambulans Konumlandırma Problemi İçin Bir Genetik Algoritma. *Yüksek Lisans Tezi*.

- Mehretu, A., Wittick, R. I., & Pigozzi, B. W. (1983). Spatial Design for Basic Needs in Eastern Upper Volta. *The Journal of Development Area*, 7, 83-394.
- Mehrez, A., Sinuany-Stern, Z., Arad-Geva, T., & Binyamin, S. (1996). On the Implementation of Quantitative Facility Location Models: The Case of a Hospital in a Rural Region. *Journal of the Operational Research Society*, 612-625.
- Mitropoulos, P., Mitropoulos, I., Giannikos, I., & Sissoura, A. (2006). A Biobjective Model for the Locational Planning of Hospitals and Health Centers. *Health Care and Management Science*, 171-179.
- Opong, J. R., & Hodgson, M. J. (1994). Spatial Accessibility to Health Care Facilities in Suhum District, Ghana. *Professional Geographer*, 199-209.
- Önüt, S., Tuzkaya, U. R., & Kemer, B. (2007). Hastane Yer Seçimine Bir Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı. *Sigma-Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 367-379.
- Özçakar, Bastı, Özçakar, N., & Bastı, M. (2012). P-Medyan Kuruluş Yeri Seçim Probleminin Çözümünde Parçacık Sürü. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 241-257.
- Rahman, S., & Smith, D. K. (1999). "Use of Location-Allocation Models in Health Service Development Planning in Developing Nations. *European Journal of Operational Research*, 437-452.
- Schultz, G. P. (1970). The Logic of Health Care Facility Planning. *Socio-Economic Planning Science*, 383-393.
- Serra, D., & Revelle, C. (1994). The pq-Median Problem: Location and Districting of Hierarchical Facilities – II. Heuristic Solution Methods. *Location Science*, 63-82.
- Sule, D. R. (2001). *Logistics of Facility Location and Allocation*. New York: Marcel Dekker.
- Şahin, G., Süral, H., & Meral, S. (2007). Locational Analysis for Regionalization of Turkish Red Crescent Blood Services. *Computers and Operations Research*, 692-704.
- Tien, J. M., & El-Tell, K. (1984). A Quasihierarchical Location-Allocation Model for Primary Health Care Planning. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SCM-14*, 373-380.

Bölüm 3

AKIM KURAKLIK İNDEKSİ VE KESİM SEVİYESİ METODU İLE YEŞİLİRMAK HAVZASINDAKİ HİDROLOJİK KURAKLIK KARAKTERİSTİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Okan Mert KATIPOĞLU¹

Sefa Nur YEŞİLYURT²

Hüseyin Yıldırım DALKILIÇ³

1 Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye. okatipoglu@erzincan.edu.tr, orcid.org/0000-0001-6421-6087

2 Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye. E-mail: sefa.yesilyurt@erzincan.edu.tr, orcid.org/0000-0001-6173-3038

3 Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye. E-mail: hydalkilic@erzincan.edu.tr, orcid.org/0000-0002-4405-9341

1. GİRİŞ

Uzun bir zaman diliminde meydana gelen yağış eksikliğinden kaynaklanan ve meteorolojik bir olay olarak ifade edilen kuraklık; sosyo-ekonomik faaliyetler, su kaynaklarının korunması, tarım, sanayi ve sağlık faaliyetleri gibi faaliyetler için tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle kuraklık karakteristiklerinin incelenmesi bu faaliyetlerin stratejik ve sürdürülebilir olarak planlanması için büyük önem arz etmektedir. Bu planlamanın doğru şekilde yapılamaması durumunda meydana gelecek kuraklık ile ciddi çevresel, ekonomik ve tarımsal problemleri ortaya çıkarmaktadır. Özellikle meteorolojik kuraklığın uzaması ile ortaya çıkan hidrolojik kuraklık durumunun meydana gelmesiyle yeraltı suları, nehir ve göllerin su seviyelerinde ciddi oranda düşüş meydana gelmektedir. Birbirlerine bağlı olan hidrolojik sistemlerdeki bu olumsuz değişim su kıtlığının canlı yaşamını ciddi seviyede etkilemesine sebep olabilmektedir.

Kuraklık karakteristiklerinin belirlenebilmesi için kuraklık indeksleri kullanılmaktadır (Morid ve ark., 2006). Ancak literatürde çok sayıda indeks bulunmaktadır. Bu nedenle kullanım amacı ve eldeki verilere göre indeks seçimi yapılabilmektedir. Literatürde meteorolojik kuraklık, klimatolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık, tarımsal kuraklık gibi kuraklık tipleri yer almaktadır. Farklı amaçlar ve alanlar için önerilen kuraklık indekslerine örnek verilirse: yağış verilerini kullanan Desiller İndeksi, Standardize Yağış İndeksi, Yağış Anamoli İndeksi meteorolojik kuraklık hesabında kullanılmaktadır. Yağış ve maksimum sıcaklık değerlerini kullanan Erinç kuraklık indeksi klimatolojik kuraklık hesabında kullanılmakta; yağış ve toprak nem değerlerini kullanan Palmer Hidrolojik Kuraklık İndeksi, yağış ve akım değerlerini kullanan Yüzey Su Temini İndeksi, akış değerlerini kullanan Akım Kuraklık İndeksi hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yağış, sıcaklık ve nem değerlerini kullanan Ürün Nem İndeksi ise tarımsal kuraklığın belirlenmesinde kullanılmaktadır (Serrano ve ark., 2005; Serrano ve ark., 2010; Karl 1986; Dai ve ark., 1986). Bu indekslerden Akım Kuraklık İndeksi sadece akım değerlerine ihtiyaç duymasından ve uygulama kolaylığından dolayı diğer yöntemlerden avantajlı olarak görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan AKİ hidrolojik kuraklık indeksi ve hidrolojik kuraklık ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Tabari ve ark. (2012) İran'da bulunan 14 akım gözlem istasyonu için AKİ yöntemi ile kuraklık durumu incelenmiştir. Çalışma sonucunda neredeyse tüm istasyonların aşırı kuraklıktan muzdarip olduğu görülmüştür. Zhou ve ark. (2014) Çin'de yapılan çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ve AKİ indekslerinden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Çinde yapılan başka bir çalışmada ise Standartlaştırılmış Akış kuraklık İndeksi kullanılmış ve indeksin bölgesel kuraklık analizinde kullanımının uygun

olduğu görülmüştür (Zhiyong ve ark., 2015). Sabau ve ark. Çalışmada 1991-2010 yılları arasındaki veriler kullanılarak AKİ ile ve SYİ ile kuraklık durumu incelenmiştir. Ayrıca yağış ve sıcaklıklar arasındaki bağlantı da incelenmiştir. Gümüş ve ark., (2016) çalışmada Türkiye’de yer alan 14 meteoroloji ve 12 akım istasyonu verisinden yararlanarak SYİ ve AKİ ile kuraklık analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda Hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklıktan bir yıl gecikme ile meydana geldiği görülmüştür.

Kuraklığın yanı sıra kurak ve sulak dönemlerin başlangıç ve bitişleri, şiddeti, süresi, yoğunluğu gibi durumların incelenebilmesi için gidişler analizi ve kesim seviyesi metodu kullanılmaktadır. Bu sayede belirlenen kesim seviyesinde, ölçüm yapılan zaman aralığında kuraklık durumunun incelenmesi mümkün kılınabilmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalara bakıldığında; Cangel, (2010) çalışmada aylık ve yıllık yağış değerleri kullanılarak gidişler analizi yapılmış ayrıca çeşitli ölçüm dönemleri için negatif gidiş uzunluğu, gidiş toplamları, gidiş şiddetleri ve iki ayrı kesim seviyesi ($q=0.3$ ve $q=0.5$) belirlenmiştir.

Bu çalışmada da Akım hidrolojik kuraklık indekslerinden sadece akım verisine ihtiyaç duymasından dolayı diğer yöntemlere göre avantajlı olduğu kabul edilen Akım Kuraklık İndeksi kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında kuraklık karakteristiklerinin belirlenebilmesi için Gidişler analizi (run analizi) uygulanmıştır. Ek olarak Q70 ve Q90 kesim seviyelerine göre Kesim Seviyesi Metodu ile debi süreklilik eğrisi ve debi gidiş çizgisi oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında aylık ve yıllık periyotlarda Yeşilirmak Havzasındaki 7 Akım Gözlem istasyonunda kuraklığın izlenmesi, kuraklık süre, şiddet ve başlangıç değerlerinin tespit edilmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Akım kuraklık indeksi (AKİ, SDI)

Hidrolojik kuraklığın incelenebilmesi için Nalbandis tarafından geliştirilen Akım Kuraklık İndeksi sadece akım verilerine ihtiyaç duymasından dolayı yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. i hidrolojik yılı, j ise hidrolojik yıl içerisindeki ayı temsil etmekte ve 3,6, 12 aylık kuraklık indeks değerleri Denklem 1-3’de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Nalbantis, 2008).

$$V_{i,j} = \sum_{j=3(k-1)+1}^{3k} Q_{i,j}, k = 1,2,3,4 \quad (1)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=6(k-1)+1}^{6k} Q_{i,j}, k = 1,2 \quad (2)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=1}^{12} Q_{i,j} \quad (3)$$

Denklemlerde yer alan k ; referans periyodunu ifade etmektedir. Hidrolojik yıl baz alındığında birinci denklemde $k=1$ Ekim-Aralık dönemini, $k=2$ Ocak-Mart dönemini, $k=3$ Nisan-Haziran dönemini ve $k=4$ ise Temmuz- Eylül dönemini temsil etmektedir. Denklem 2’de ise $k=1$ ve $k=2$ sırasıyla ilk ve son 6 ayı, Denklem 3 ise yıllık kuraklık durumunu ifade etmektedir.

Bu durumlar göz önüne alındığında ve V_k değeri kümülatif akım hacimlerinin ortalaması, S_k değerleri ise standart sapmasını temsil ettiğinde Akım Kuraklık İndeks değeri Denklem 4’te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$AKI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}, k = 1,2,3,4 \quad (4)$$

Hesaplanan bu indeks değerine göre kuraklık durumu sekiz farklı sınıfa ayrılmış, bu sınıflardan nemli olarak ifade edilen dört sınıf ise sulak olarak birleştirilmiş ve Tablo 1.’de verilmiştir (Gümüş, 2017).

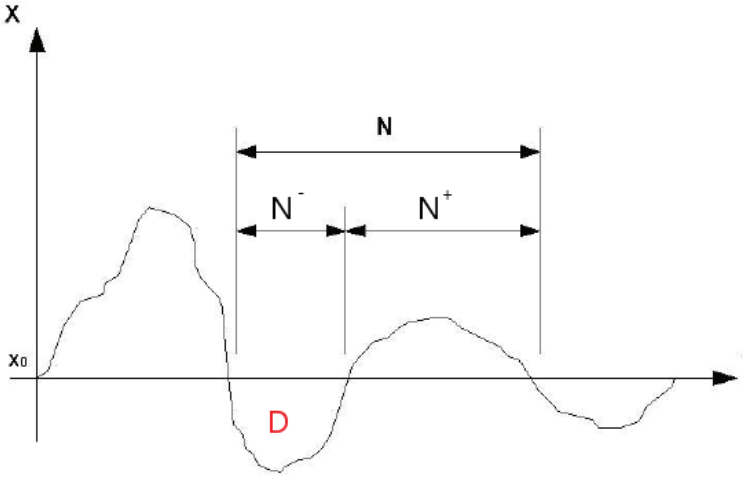
Tablo 1. Akım Kuraklık İndeksi Değerlerinin Sınıflandırılması (Hong ve ark.,2014)

AKİ DEĞERİ	KURAKLIK SINIFI	
$AKİ \leq -2$	Aşırı Kurak (AK)	
$-2 \leq AKİ \leq -1.5$	Şiddetli Kurak (ŞK)	
$-1.5 \leq AKİ \leq -1$	Orta Kurak (OK)	
$-1 \leq AKİ \leq 0$	Hafif Kurak (HK)	
$0 \leq AKİ \leq 1$	Hafif Nemli (HN)	} Sulak
$1 \leq AKİ \leq 1.5$	Orta Nemli (ON)	
$1.5 \leq AKİ \leq 2$	Şiddetli Nemli (ŞN)	
$AKİ > 2$	Aşırı Nemli (AN)	

2.2. Gidişler Analizi

X rastgele değişkeninin, $x(t)$ stokastik süreç içinde ve Δt zaman aralığındaki durumu incelendiğinde; birbirini takip eden aynı

karakterdeki olaylar serisi gidiş (run) olarak isimlendirilmektedir. x_0 kesim noktası olarak simgelendiğinde bazı zaman aralıklarında $x(t)$ değerinin kesim seviyesinden büyük, bazı zaman aralıklarında ise küçük olduğu görülmektedir. $x(t)$ değerinin kesim seviyesinin üzerinde kaldığı süre pozitif gidiş (run) olarak isimlendirilmekte ve sulak dönemin süresini ifade etmektedir. $x(t)$ değerinin kesim seviyesinin altında kaldığı süre ise negatif gidiş olarak adlandırılmakta ve kurak dönem süresini ifade etmektedir. Ayrıca gidiş uzunluklarının gidiş toplamlarına oranı gidiş şiddetini ifade etmektedir.

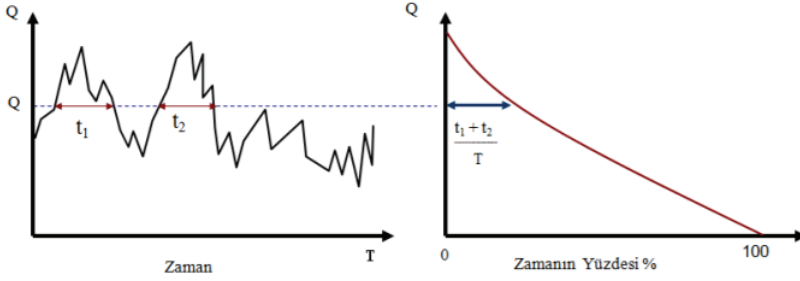


Şekil 1. Gidiş karakteristikleri (Cangel, 2010).

Gidişler analizinde gidiş toplamı, gidiş uzunluğu, gidiş şiddeti incelenmelidir. Gidiş analizinden elde edilen sonuçlar kurak dönemlerde su temini, hidroelektrik üretimi sulama gibi alanlarda yapılan çalışmaların planlanması için büyük önem arz etmektedir (Cangel, 2010; Sırdaş ve Şen 2010).

2.3. Debi süreklilik eğrisi (DSE)

Debi gidiş eğrisinden yararlanılarak oluşturulan ve debinin belirli bir değerden eşit ya da ondan büyük zaman yüzdesi hesaplanan; düşey ekseninde debiler yatay ekseninde ise zaman yüzdeleri yer alan eğri debi süreklilik eğrisi olarak adlandırılır. Debi süreklilik eğrisi çizilirken mümkün olduğunca uzun süreli debi değerleri kullanılarak Şekil 2.'deki gibi çizilmektedir.

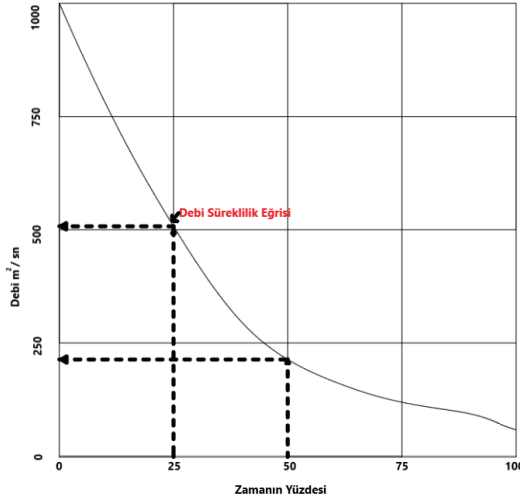


Şekil 2. Debi süreklilik eğrisinin elde edilmesi (Beyazıt,2000; Castellarin ve ark., 2004)

Aylık olarak büyükten küçüğe doğru sıralanan debi değerlerinin herbiri için debinin aşılma ihtimali Denklem 5 yardımı ile hesaplanmaktadır. P zamanın yüzdesi, M debilerin sıra numarası ve n toplam debi sayısını ifade ederse debinin aşılma ihtimali;

$$P = 100 * \left[\frac{M}{n+1} \right] \quad (5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Debi süreklilik çizgisi yardımı ile belirli yüzdelerde aşılan debiler Şekil 3.'de verildiği gibi gösterilmekte ve okunmaktadır (Beyazıt, 2000). Bu çalışmada kritik kesim seviyeleri için Matlab yazılımı 'quantile' kodu ile otomatik olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Debi süreklilik çizgisinden zamanın belli yüzdelерinde aşılan debilerin okunması (Beyazıt, 2000).

2.4. Kesim seviyesi metodu (KSM)

Kuraklıkların şiddet, süre, başlangıç ve bitiş tarihlerinin belirlenebilmesi için yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelen kesim seviyesi metodu genellikle kesim seviyesinin altındaki ve üstündeki gidişleri incelemektedir. Kurak ve sulak dönem karakteristiklerinin belirlenebilmesi için talep miktarı, düşük akım, kritik tasarım seviyesi, hazne kapasitesi gibi ölçütler dikkate alınarak kritik kesim seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen kesim seviyesinin altındaki değerler kurak dönemi, üzerindeki değerler ise sulak dönemi ifade etmektedir (Tallaksen ve Van, 2004).

2.5. Kesim seviyesinin seçimi

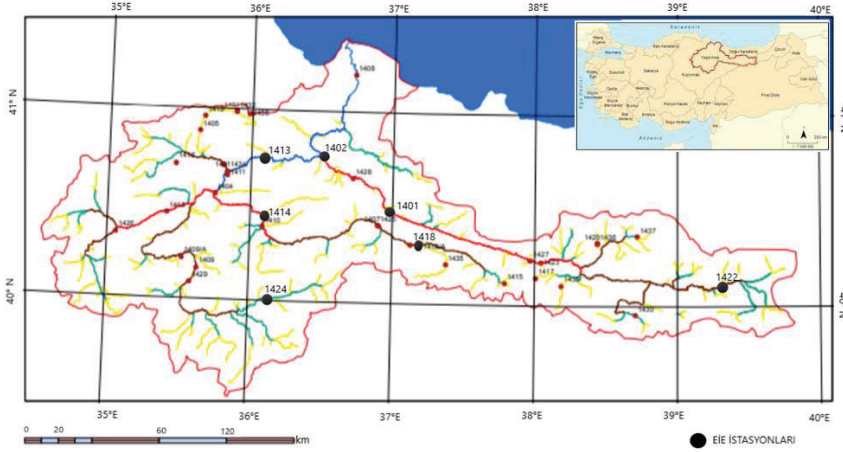
Debi-süreklilik eğrisi en düşük akım değerlerinden taşkınlarla kadar nehrin akış durumunu gösteren en uygun araçtır. İstenilen bir periyotta belirlenen bir debi değerinin zamanın kaçta kaçında olduğunu göstermektedir. Kesim seviyesi ise debi-süreklilik eğrisinin düşük akım aralığından faydalanılarak belirlenmektedir.

Q_{70} ve Q_{90} eşik değerleri yapılan bir çok çalışmada eğrinin en düşük akım aralığı olarak gösterilmektedir. Bu eşik değerlerinin seçilmesinin asıl amacı debi gidiş çizgisinin değişik seviyelerden kesilerek kesim seviyesi üzerinde kalan zaman yüzdelerinin tüm zaman yüzdesi olarak ifade edilmesidir (Yahiaoui ve ark., 2009; Tallaksen ve Van, 2004; Hisdal ve ark., 2002; Engeland ve ark., 2002).

3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

Sivas'ın kuzeyinde Köseadağ eteklerinden doğmakta olan Yeşilırmak nehrinden ismini alan Yeşilırmak Havzası; 39.626 km² yüzölçüme sahiptir. Havzanın ortalama yıllık akış miktarı 6.10 km³ iken yıllık ortalama yağış miktarı ise 528 mm/m²'dir. Genellikle yüksek eğimli araziler yer kapladığından erozyon, taşlılık ve toprak profilinin sığ olması gibi sorunlar yaşanan havzada yağış ve akış durumunun ve kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında havzada yer alan ve en uzun süre eksiksiz veriye sahip olan 7 Akım Gözlem İstasyonuna ait akış verileri kullanılmıştır. 1970-2010 yılları arasında aylık ve yıllık olarak kullanılan verilere sahip olan bu istasyonların konumları Şekil 4'te, istasyon detayları ve verilerin istatistiki bilgileri ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 4. Yeşilirmak Havzası ve Seçilen Akım Gözlem İstasyonları (Yılmaz vd., 2016).

Tablo 2. Seçilen Akım Gözlem İstasyonlarına ait bilgiler.

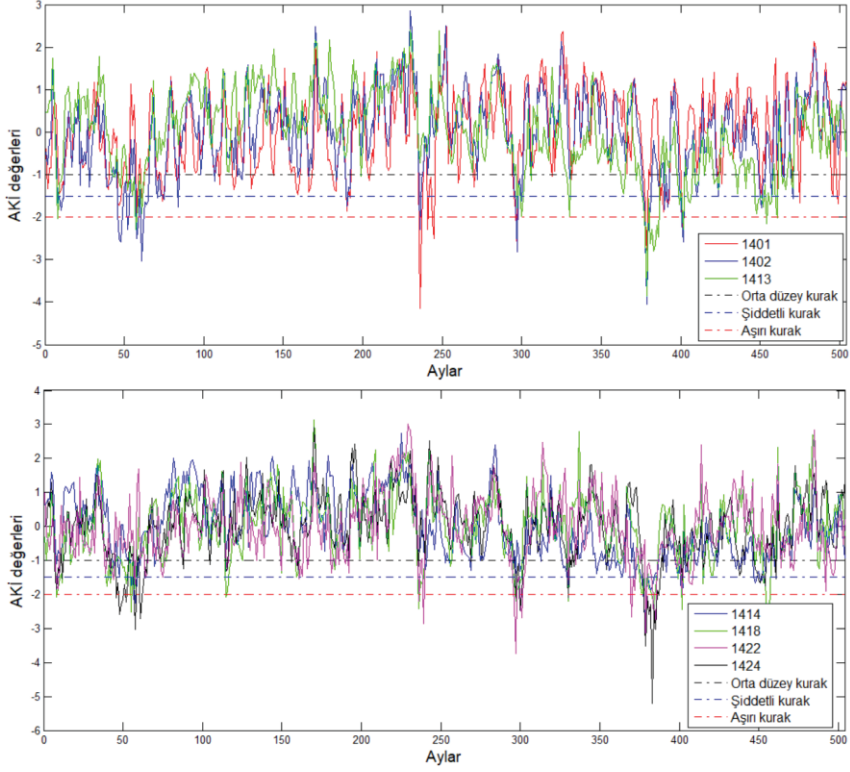
İstasyon	Enlem	Boylam	Yıllık Ortalama Akış Değeri (Mm)	Standart Sapma
1401	36.998890	40.478333	66.60	16.36
1402	36.512500	40.771667	148.31	41.01685
1413	36.111944	40.744444	58.423	48.9541
1414	36.118056	40.434167	22.41612	13.92236
1418	37.128611	40.311667	18.47016	20.61746
1422	39.311667	40.112500	7.897753	10.69555
1424	36.146389	40.008056	3.933182	4.793647

4. BULGULAR

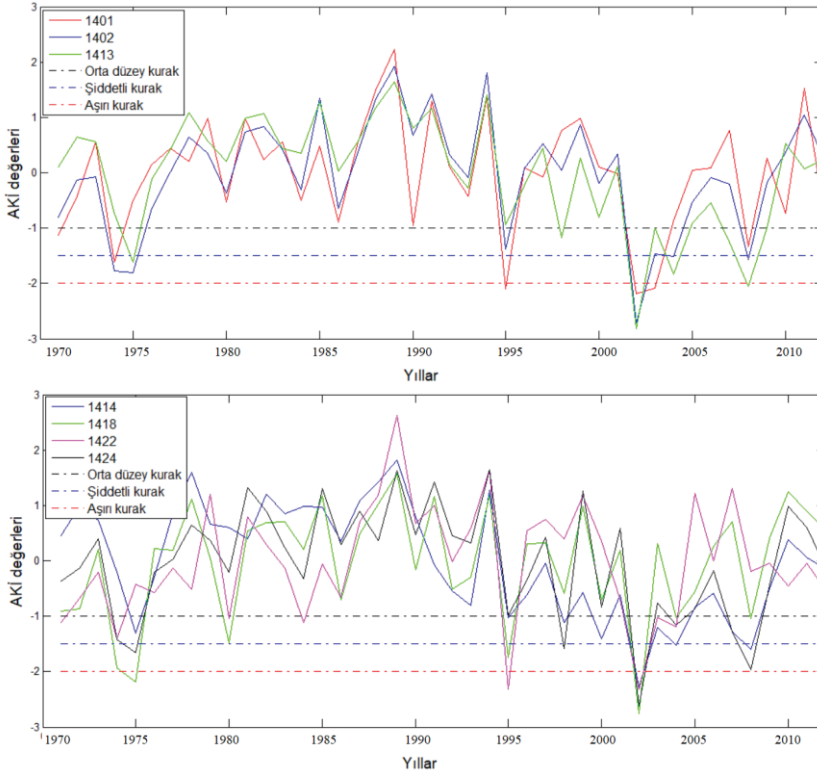
4.1. Kuraklık İndeksi ve Karakteristiklerine Ait Sonuçlar

Bu çalışmada aylık ve yıllık zaman periyotlarında AKİ ve KSM kullanılarak Yeşilirmak havzasındaki 7 akım gözlem istasyonuna (AGİ) ait süre, şiddet, başlangıç ve bitiş tarihi gibi hidrolojik kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla AKİ değerleri gidişler analizine tabi tutulmuş ve Q70 ve Q90 eşik değerlerine göre hidrolojik kuraklıklar belirlenerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca aylık ve yıllık AKİ değerlerinin zamansal değişimi ve kuraklık

kesim seviyeleri (-2,-1.5 ve -1) tespit edilmiş ve kuraklık sınıflarının sayıları elde edilmiştir (Şekil 5-6).



Şekil 5. Aylık AKİ değerlerinin zamansal değişimi



Şekil 6. Yıllık AKİ değerlerinin zamansal değişimi

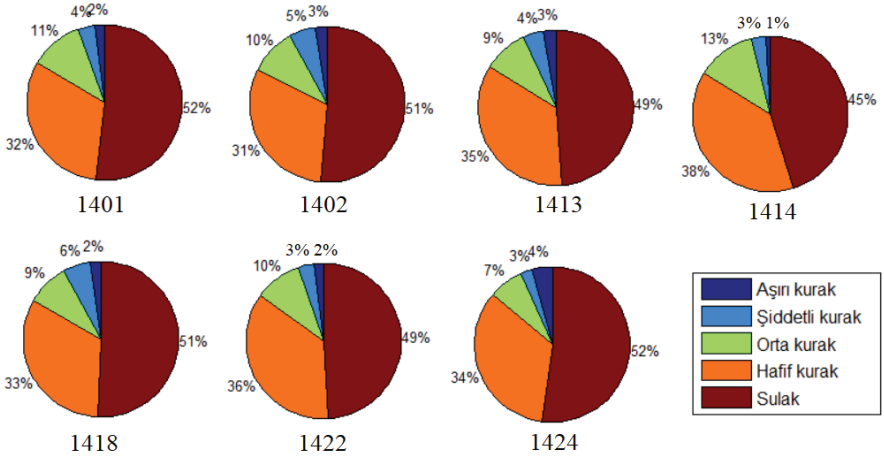
Tablo 3'te aylık AKİ değerlerine ait hidrolojik kuraklık sınıflarının dağılımı gösterilmiştir. Kuraklık sınıfları değerlendirildiğinde en fazla hafif kuraklık görülürken en az aşırı kuraklıkların meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca en fazla aşırı kuraklık sınıfı 1414 numaralı istasyonda meydana gelirken en az 1414 numaralı istasyonda görülmüştür. Kuraklık sınıfları istasyon bazlı incelendiğinde aylık zaman periyodunda aşırı kuraklıklar 1424 numaralı istasyonda, şiddetli kuraklıklar 1418 numaralı istasyonda, orta düzey ve hafif kuraklıklar 1414 numaralı istasyonda meydana gelmiştir.

Tablo 3. Aylık AKİ değerlerine ait hidrolojik kuraklık sınıfları

	Kuraklık sınıflarının sayısı				Toplam sayılar	
	Aşırı	Şiddetli	Orta	Hafif	Kurak	Sulak
1401	10	18	55	160	243	261
1402	13	27	50	155	245	259
1413	13	22	46	177	258	246

1414	5	14	63	194	276	228
1418	12	28	44	164	248	256
1422	10	17	49	181	257	247
1424	21	13	36	171	241	263

Şekil 7’de Yeşilirmak havzasındaki aylık zaman periyodunda hidrolojik kurak sınıflarının dağılımları gösterilmiştir. Kuraklık sınıflarının pasta grafikleri değerlendirildiğinde, havzada 1413, 1414 ve 1422 numaralı istasyonlarda kuraklık yüzdesi fazla iken diğer istasyonlarda sulaklık yüzdesinin bir miktar fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kuraklık sınıfları değerlendirildiğinde havzada en çok hafif kuraklıkların meydana geldiği tespit edilmiştir.



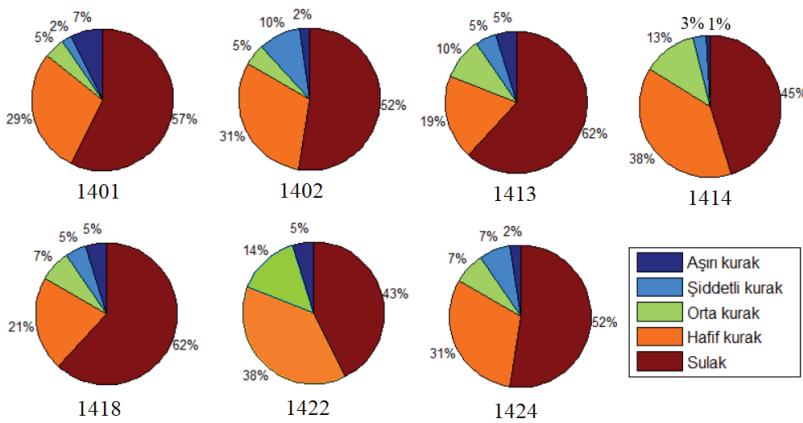
Şekil 7. Aylık hidrolojik kuraklık frekansları

Tablo 4’te yıllık hidrolojik kuraklık sınıflarının dağılımı gösterilmiştir. Kuraklık sınıfları değerlendirildiğinde aylık kuraklık sınıflarına benzer şekilde en fazla hafif kuraklık görülürken en az aşırı kuraklıkların meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca en fazla aşırı kuraklık sınıfı 1401 numaralı istasyonda meydana geldiği tespit edilmiştir. Kuraklık sınıfları istasyon bazlı incelendiğinde yıllık zaman periyodunda aşırı kuraklıklar 1401 numaralı istasyonda, şiddetli kuraklıklar 1402 numaralı istasyonda, orta düzey 1414 ve 1422 numaralı istasyonda ve hafif kuraklıklar 1422 numaralı istasyonda meydana gelmiştir.

Tablo 4. Yıllık AKİ değerlerine ait hidrolojik kuraklık sınıfları

	Kuraklık sınıflarının sayısı				Toplam sayılar	
	Aşırı	Şiddetli	Orta	Hafif	Kurak	Sulak
1401	3	1	2	12	18	24
1402	1	4	2	13	20	22
1413	2	2	4	8	16	26
1414	1	2	6	13	22	20
1418	2	2	3	9	16	26
1422	2	0	6	16	24	18
1424	1	3	3	13	20	22

Şekil 8’de Yeşilirmak havzasındaki yıllık zaman periyodunda hidrolojik kurak sınıflarının dağılımları gösterilmiştir. Kuraklık sınıflarının pasta grafikleri değerlendirildiğinde, havzada 1414 ve 1422 numaralı istasyonlarda kuraklık yüzdesi fazla iken diğer istasyonlarda sulaklık yüzdesinin bir miktar fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak kuraklık şiddetlerinin ve sürelerinin belirlenerek kuraklık durumunun daha net değerlendirilebilmesi için gidişler analizi kullanılarak elde edilen kuraklık karakteristikleri Tablo 4’te sunulmuştur.

**Şekil 8.** Yıllık hidrolojik kuraklık frekansları

Tablo 4'te aylık ve yıllık zaman periyodunda AKİ değerlerinin gidişler analizine tabi tutulması ile elde edilen maksimum ve ortalama hidrolojik kuraklıkların karakteristikleri gösterilmiştir. Kuraklık karakteristikleri karşılaştırıldığında havzada en şiddetli kuraklıklar aylık zaman periyodunda 1414 numaralı istasyonda 2000 Temmuz ile 2004 Mayıs yılları arasında görülmüş olup maksimum süre ve şiddeti ise sırasıyla 47 ay ve -53,51 (m³/s) olarak tespit edilmiştir. Yıllık zaman periyodunda ise maksimum kuraklıklar 1414 numaralı istasyonda 1994 ile 2008 yılları arasında meydana gelmiş olup süre ve şiddeti ise sırasıyla 15 yıl ve -15,22 (m³/s) olarak tespit edilmiştir.

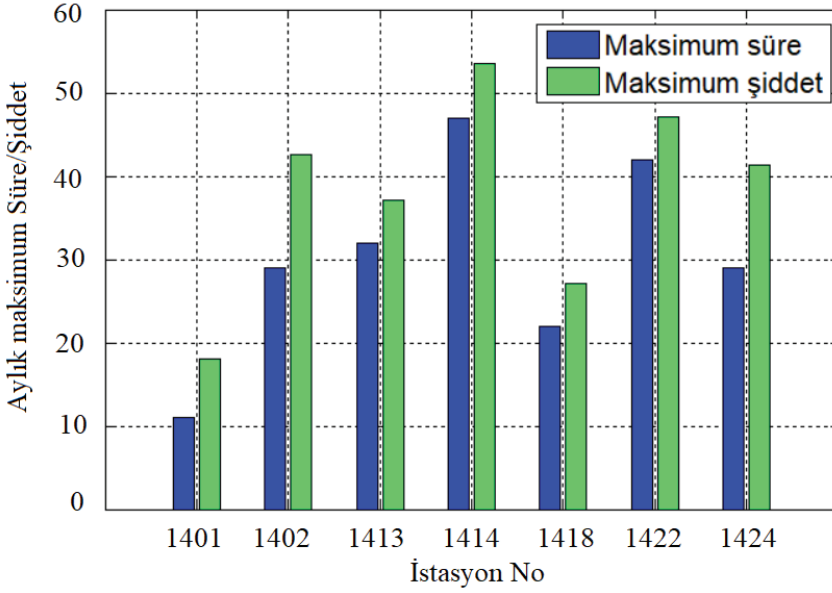
Tablo 5. Aylık ve yıllık zaman periyodunda elde edilen hidrolojik kuraklık karakteristikleri

İstasyon no	Kesim seviyeleri	Maksimum kuraklık			Ortalama kuraklık	
		Süre (Ay-Yıl)	Şiddet (m ³ /s)	Başlangıç-Bitiş	Süre (Ay-Yıl)	Şiddet (m ³ /s)
1401	Aylık	11	-18,01	1989 Nisan-1990 Şubat	3,80	-3,32
	Yıllık	4	-5,15	2000-2003	1,38	-1,30
1402	Aylık	29	-42,58	1973 Kasım-1975 Mart	3,89	-3,22
	Yıllık	8	-8,28	2001-2008	2,50	-2,06
1413	Aylık	32	-37,04	2005 Temmuz-2008 Şubat	5,86	-4,78
	Yıllık	8	-11,42	2001-2008	2,67	-2,89
1414	Aylık	47	-53,51*	2000 Temmuz-2004 Mayıs	5,52	-4,35
	Yıllık	15	-15,22**	1994-2008	5,50	-4,65
1418	Aylık	22	-27,04	1973 Kasım-1974 Ağustos	4,07	-3,39
	Yıllık	2	-4,12	1973-1974	1,33	-1,46
1422	Aylık	42	-47,16	2000 Mayıs- 2004 Ekim	3,72	-2,90
	Yıllık	8	-5,24	1970-1977	3,43	-2,42
1424	Aylık	29	-41,32	1973 Ekim-1975 Şubat	4,23	-3,50
	Yıllık	8	-9,28	2001-2008	2,22	-1,94

Not: *işareti havzada görülen aylık maksimum kuraklıkları, ** işareti yıllık maksimum kuraklıkları göstermektedir.

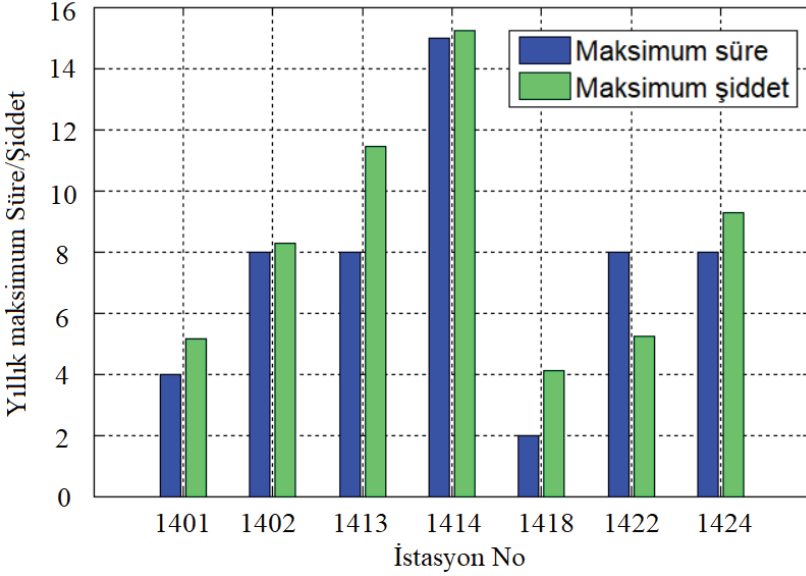
Şekil 9'da aylık zaman periyodunda hesaplanan maksimum kuraklık süre ve şiddetlerinin histogramları gösterilmiştir. Histogram grafiğine göre en uzun ve şiddetli kuraklıklar 1414 numaralı istasyonda

meydana gelirken en kısa ve hafif kuraklıklar 1401 numaralı istasyonda görülmüştür.



Şekil 9. Aylık maksimum kuraklık karakteristiklerinin histogramı

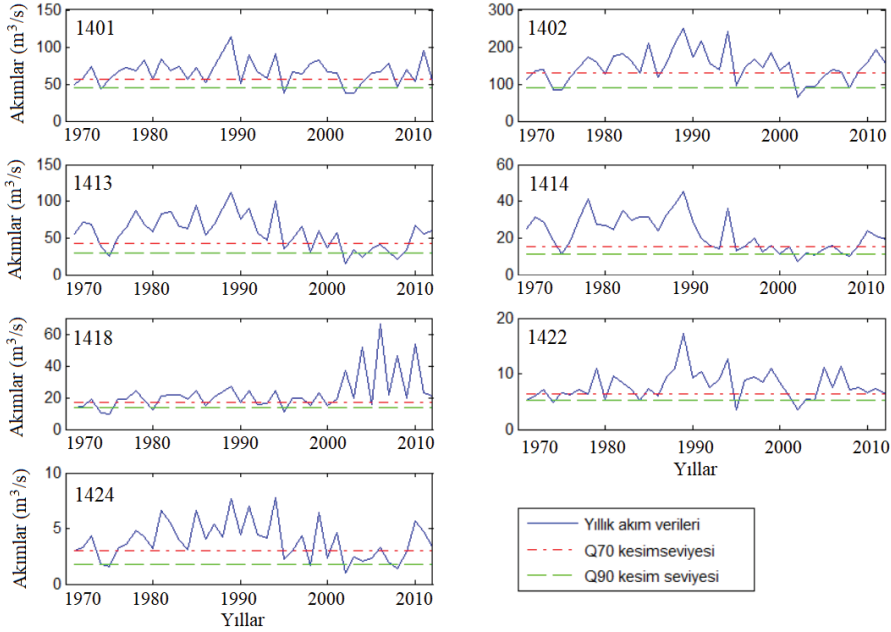
Şekil 10'da yıllık zaman periyodunda elde edilen maksimum karakteristiklerinin histogramları sunulmuştur. Histogram grafiğine göre en uzun ve şiddetli kuraklıklar 1414 numaralı istasyonda meydana gelirken en kısa ve hafif kuraklıklar 1418 numaralı istasyonda görülmüştür.



Şekil 10. Yıllık maksimum kuraklık karakteristiklerinin histogramı

4.2. Kesim Seviyesi Metodu Sonuçları

Sürekli akışlar için, zamanın yüzde 70-95'ini aşan akışlar (%70'lik akış (Q_{70}) ile %95'lik akış (Q_{95}) arasındaki) debi süreklilik eğrileri aracılığı ile belirlenen kritik eşik seviyeleridir. Bu eşik seviyeleri KSM'de sıklıkla uygulanmaktadır (Yahiaoui et al 2009). Daha önceki çalışmalardan elde edilen deneyimlere dayanarak (Tallaksen ve et al, 1997; Hisdal ve diğerleri, 2002; Engeland ve diğerleri, 2004) sürekli akan akarsular için Q_{90} ve Q_{70} aralığındaki eşik seviyeleri, kuraklıkların ekstrem değer analizinde kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada kuraklık karakteristiklerinin belirlenmesi için Q_{70} ve Q_{90} kesim seviyeleri seçilmiştir. Q_{70} ve Q_{90} değerleri sırasıyla zamanın %70 ve %90'ında bulunan debileri ifade etmektedir. Çalışmanın bu bölümünde debi süreklilik eğrileri aracılığı ile hesaplanan Q_{70} ve Q_{90} eşik seviyelerine göre hidrolojik kuraklıkların karakteristikleri belirlenmiştir. Elde edilen maksimum ve ortalama kuraklık karakteristikleri karşılaştırılarak havzadaki kuraklık açısından riskli bölgeler belirlenmiştir. KSM uygulanması için Matlab yazılımı 'quantile' komutu ile eşik seviyeleri belirlenmiştir. Eşik seviyeleri ve akımların zamansal değişimini gösteren debi gidiş çizgileri Şekil 11 ve Eklerde verilmiştir.



Şekil 11. Yıllık ortalama akımların debi gidiş çizgileri

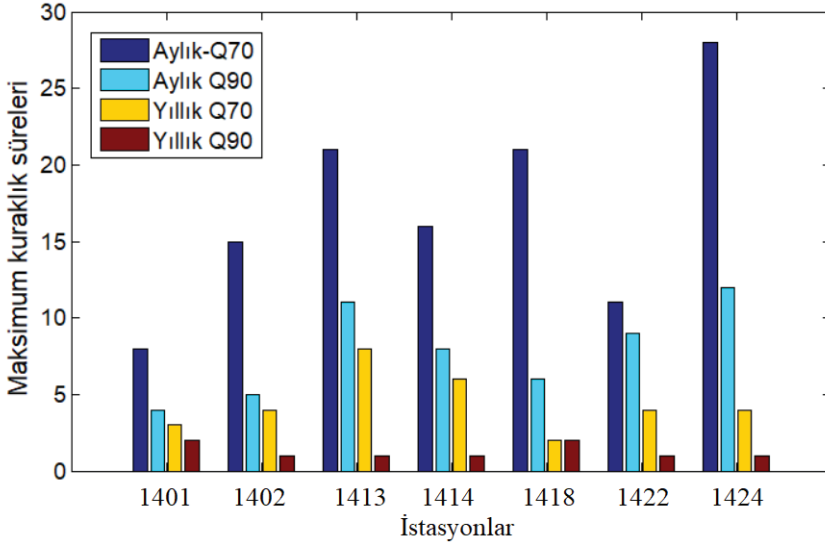
Tablo 6. Kesim seviyesi metodu ile elde edilen maksimum ve ortalama kuraklık karakteristikleri

İstasyon no	Kesim seviyeleri	Süre (Ay-Yıl)	Maksimum kuraklık		Ortalama kuraklık	
			Şiddet (m ³ /s)	Başlangıç-Bitiş	Süre (Ay-Yıl)	Şiddet (m ³ /s)
1401	Aylık-Q ₇₀	8	-178,77	2000 Aralık-Haziran	2,74	-28,84
	Aylık-Q ₉₀	4	-76,13	1989 Mayıs-Haziran	1,68	-11,75
	Yıllık-Q ₇₀	3	-43,62	2001-2003	1,30	-11,27
	Yıllık-Q ₉₀	2	-14,78	2001-2002	1,33	-8,03
1402	Aylık-Q ₇₀	15	-539,97*	2001 Aralık-2002 Temmuz	3,06	-78,43
	Aylık-Q ₉₀	5	-247,60*	2001 Şubat-Haziran	2,28	-37,30
	Yıllık-Q ₇₀	4	-	2001-2004	1,63	-45,70
	Yıllık-Q ₉₀	1	-26,90**	2001	1,33	-13,91
1413	Aylık-Q ₇₀	21	-304,73	2000 Eylül-2002 Aralık	3,97	-42,78
	Aylık-Q ₉₀	11	-128,86	2001 Ocak-2002 Kasım	2,56	-16,33
	Yıllık-Q ₇₀	8	-102,54	2002-2009	2,13	-23,45
	Yıllık-Q ₉₀	1	-13,89	2002	1	-7,59

1414	Aylık-Q ₇₀	16	-81,33	2000 Eylül-2002 Aralık	3,37	-9,17
	Aylık-Q ₉₀	8	-20,63	2000 Eylül-2001 Nisan	2,14	-3,37
	Yıllık-Q ₇₀	6	-22,84	1999-2004	2,17	-7,21
	Yıllık-Q ₉₀	1	-3,84	2002	1	-1,57
1418	Aylık-Q ₇₀	21	-81,96	1973 Aralık-1974 Ağustos	3,32	-10,21
	Aylık-Q ₉₀	6	-14,76	2001 Aralık-2002 Nisan	2,09	-3,75
	Yıllık-Q ₇₀	2	-13,91	1973-1974	1,30	-4,27
	Yıllık-Q ₉₀	2	-6,27	1973-1974	1,33	-3,29
1422	Aylık-Q ₇₀	11	-27,38	1994 Şubat 1995 Aralık	2,44	-2,99
	Aylık-Q ₉₀	9	-11,65	1994 Nisan 1995 Aralık	1,77	-1,59
	Yıllık-Q ₇₀	4	-5,21	2001-2004	1,44	-1,48
	Yıllık-Q ₉₀	1	-1,63	2002	1	-0,94
1424	Aylık-Q ₇₀	28	-22,62	2001 Ocak-2002 Mart	3,32	-2,17
	Aylık-Q ₉₀	12	-8,93	2001 Şubat- 2002 Ocak	2,82	-1,08
	Yıllık-Q ₇₀	4	-4,06	2000-2003	1,86	-1,72
	Yıllık-Q ₉₀	1	-0,74	2000	1	-0,33

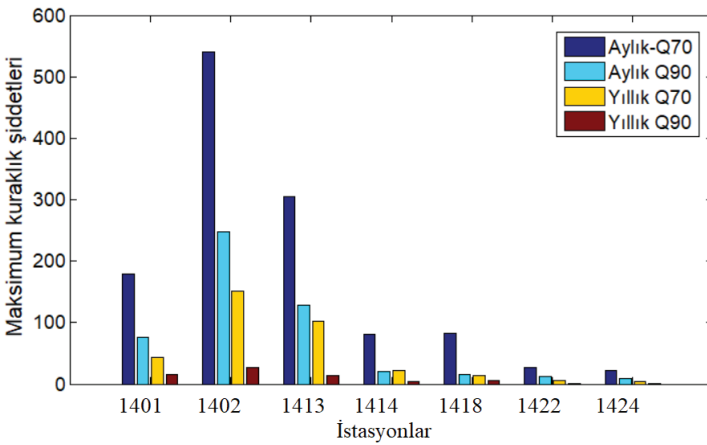
Not: *işareti havzada görülen aylık maksimum kuraklıkları, ** işareti yıllık maksimum kuraklıkları göstermektedir.

Tablo 6’da Aylık ve yıllık zaman periyodunda akımların Q₇₀ ve Q₉₀ kesim seviyesine göre farklarının alınması ile hesaplanan maksimum ve ortalama hidrolojik kuraklıklar gösterilmiştir. Kuraklık karakteristikleri karşılaştırıldığında havzada en şiddetli kuraklıklar aylık zaman periyodunda Q₇₀ ve Q₉₀ kesim seviyelerine göre 1402 numaralı istasyonda olup sırasıyla 2001 Aralık-2002 Temmuz (-539,97 m³/s) ve 2001 Şubat-Haziran (-247,60 m³/s) dönemlerinde meydana gelmiştir. Yıllık zaman periyodunda ise Q₇₀ ve Q₉₀ kesim seviyelerine göre 1402 numaralı istasyonda 2001 yılında meydana gelmiş olup şiddetleri sırasıyla -151,60 (m³/s) ve -26,90 (m³/s) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 12. KSM ile elde edilen maksimum kuraklık süreleri

KSM kullanılarak elde edilen maksimum kuraklık süre ve şiddetleri karşılaştırıldığında, aylık ve yıllık zaman periyotlarında Q_{70} kesim seviyesine göre elde edilen kuraklık karakteristikleri Q_{90} kesim seviyesinden daha büyük değer aldığı görülmektedir. Bu açıdan Q_{70} kesim seviyesi kuraklıkları Q_{90} kesim seviyesinden daha hassas olarak algıladığı ve daha hafif kuraklıkları tespit ettiği anlaşılmaktadır. Aylık ve yıllık bazda maksimum kuraklık süre ve şiddetleri incelendiğinde en uzun süreli hidrolojik kuraklıklar 1424 numaralı AGİ’de gözlenirken en şiddetli hidrolojik kuraklıklar 1402 numaralı AGİ’de meydana gelmiştir (Şekil 12-13).



Şekil 13. KSM ile elde edilen maksimum kuraklık şiddetleri

Çalışmada kullanılan KSM ve AKİ yöntemleri karşılaştırıldığında her iki yöntemde hidrolojik kurak dönemleri ve ortalama kuraklık sürelerini oldukça yakın göstermesine rağmen, maksimum süre, şiddet ve ortalama şiddetlerde büyük farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın AKİ değerlerinin hesabında akım değerlerinin standardize edilmesi ve KSM'nin çeşitli eşik seviyelerinde farklı seviyelerdeki kuraklıkları tespit edebilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklık olaylarından en çok etkilenen bölgelerin belirlenmesinde iki kuraklık göstergesi (AKİ ve KSM) kullanılmıştır. Kuraklık karakteristiklerinin ve kuraklık sınıflarının belirlenmesi için AKİ değerleri gidişler analizine tabi tutulmuş ve akım değerleri Q_{70} ve Q_{90} kesim seviyelerine göre analiz edilmiştir. Çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- AKİ değerlerinin gidişler analizine tabi tutulması sonucunda elde edilen kuraklıklara göre aylık bazda 1973 Kasım-1974 Ağustos ve 2000 Temmuz-2004 Mayıs zaman periyodu, yıllık bazda 1973-1974 ve 2001-2008 zaman periyodu havza genelinde hidrolojik kuraklıkların hâkim olduğu tespit edilmiştir.
- Aylık bazda Q_{70} eşik seviyesine göre 2001 Aralık-2002 Mart ve 1973 Aralık-1974 Ağustos, Q_{90} eşik seviyesine göre 2001 Ocak-2002 Ocak aylarında, yıllık bazda ise Q_{70} eşik seviyesine göre 2001-2004 ve Q_{90} eşik seviyesine göre 2001 yıllarında havzada hidrolojik kuraklıkların hâkim olduğu tespit edilmiştir.
- KSM ve gidişler analizi ile elde edilen etkili kuraklık dönemleri büyük ölçüde örtüşmektedir.
- KSM'ye göre havzada en şiddetli hidrolojik kuraklıklar 1402 ve 1413 numaralı istasyonlarda meydana gelirken, AKİ değerlerine göre 1414 ve 1422 numaralı istasyonlarda görülmektedir.
- KSM'ye göre havzada en uzun süreli hidrolojik kuraklıklar 1413 ve 1424 numaralı istasyonlarda meydana gelirken, AKİ'ye göre 1414 ve 1422 numaralı istasyonlarda meydana gelmektedir.
- Maksimum süre ve şiddetlerin belirlenmesinde KSM ile AKİ gidişler analizi sonuçları farklılık göstermektedir.
- Q_{70} kesim seviyesi kuraklık süre ve şiddetlerini Q_{90} kesim seviyesinden daha hassas olarak algılamaktadır.
- AKİ değerlerinin gidişler analizi kullanılarak elde edilen kurak dönem uzunlukları KSM'den daha büyük olması nedeniyle daha etkili bir gösterge olduğu söylenebilir.

Çalışma sonuçları doğrultusunda havzada kuraklığın etkili olduğu görülmektedir. Kuraklığın su sistemlerinin stratejik planlanması ve

yönetimi üzerinde olumsuz etkiler doğurabileceği düşünülerek bu etkilerin azaltılabilmesi için aşığıdaki adımların dikkate alınması önerilmektedir.

- Bölgesel ve ülke genelinde kuraklık durumu ve karakteristikleri belirlenmeli ve kuraklık durumu için gelecek tahminleri geliştirilmelidir.
- Kaynakların kullanımının düzenlenmesi, suyun ekonomik değerinin artması, teknolojik yeniliklerin su sistemlerinde kullanılması hususunda yapılan çalışmalar artırılmalı ve geliştirilmelidir.
- Hidrolojik kuraklık riskinin yönetilmesi üzerine çalışılmalı ve hazırlık planları yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

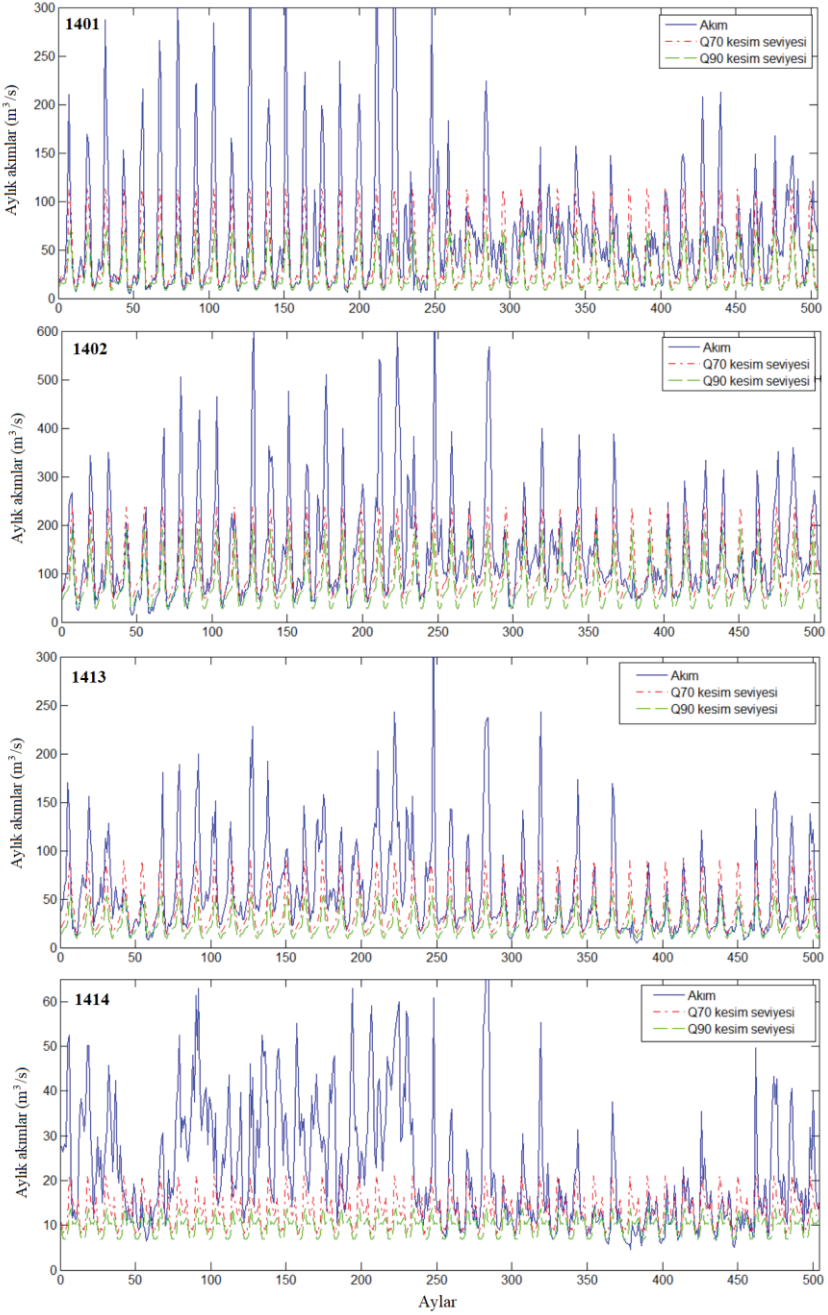
Bu çalışma kapsamında kullanılan aylık akım verileri temin eden mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

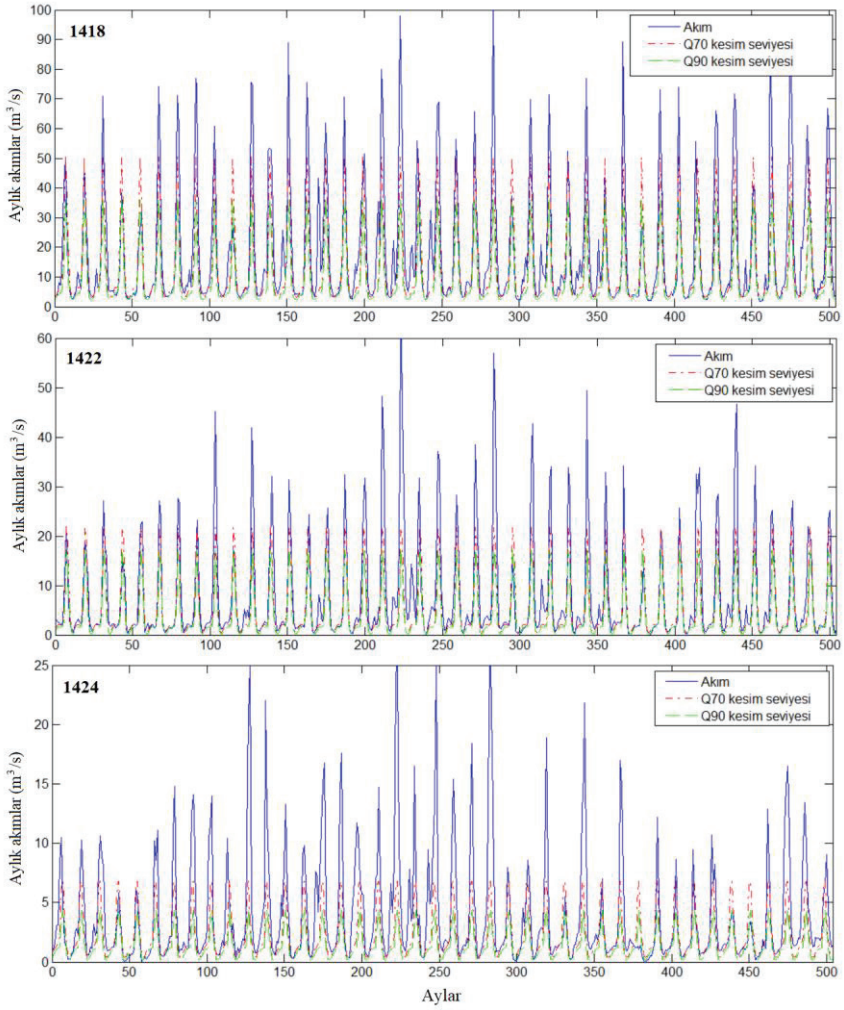
REFERANSLAR

- Bayazıt, M.(2000). Hidroloji, İTÜ, İstanbul.
- Castellarin, A., Galeati, G., Brandimarte, L., Montanari, A., & Brath, A. (2004). Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins. *Advances in Water Resources*, 27(10), 953-965.
- Dai, A., Trenberth, K. E., & Qian, T. (2004). A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5(6), 1117-1130.
- Engeland, K., Hisdal, H., & Frigessi, A. (2004). Practical extreme value modelling of hydrological floods and droughts: a case study. *Extremes*, 7(1), 5-30.
- Gumus, V., & Algin, H. M. (2017). Meteorological and hydrological drought analysis of the Seyhan– Ceyhan River Basins, Turkey. *Meteorological Applications*, 24(1), 62-73.
- Gümüş, V. (2017). Akım Kuraklık İndeksi İle Asi Havzasının Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji*, 5(1), 65-73.
- Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2015). Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1235-1247.
- Karl, T. R. (1986). The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 77-86.
- Morid, S., Smakhtin, V., & Moghaddasi, M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(7), 971-985.
- Nalbantis, I., "Evaluation of a hydrological drought index", *Eur Water*, 23(24): 67-77, (2008).
- Sırdaş, S., & Şen, Z. (2010). Meteorolojik Kuraklık Modellemesi Ve Türkiye Uygulaması. *İtü dergisi/D*, 2(2).
- Tabari, H., Nikbakht, J., & Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water resources management*, 27(1), 137-151.
- Tallaksen, L. M., & Frigessi, A. (2002). Handling non-extreme events in extreme value modelling of streamflow droughts. *FRIEND 2002: Regional Hydrology: Bridging the Gap Between Research and Practice*, (274), 281.

- Tallaksen, L. M., Madsen, H., & Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*, 42(1), 15-33.
- Tuğba CANGEL, 2010, İstanbul Yağışlarının Gidişler Analizi, yüksek lisans tezi, İTÜ.
- Vicente-Serrano, S. M., & López-Moreno, J. I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and earth system sciences*, 9(5), 523-533.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
- Wu, Z., Lin, Q., Lu, G., He, H., & Qu, J. J. (2015). Analysis of hydrological drought frequency for the Xijiang River Basin in South China using observed streamflow data. *Natural Hazards*, 77(3), 1655-1677.
- Yahiaoui, A., Touaïbia, B., & Bouvier, C. (2009). Frequency analysis of the hydrological drought regime. Case of oued Mina catchment in western of Algeria. *Nature & Technology*, (1), 3.
- Yılmaz, M. U., Özgür, E., & Koçak, K. (2016). Monthly Streamflow Prediction Of Yesilirmak Basin By Using Chaotic Approach. *International Journal Of Agricultural And Natural Sciences*, 9(2), 18-22.
- Zhao, L., Lyu, A., Wu, J., Hayes, M., Tang, Z., He, B., ... & Liu, M. (2014). Impact of meteorological drought on streamflow drought in Jinghe River Basin of China. *Chinese Geographical Science*, 24(6), 694-705.

Ekler

Şekil 14. Aylık debi gidiş çizgileri ve Q_{70} ve Q_{90} eşik seviyeleri



Şekil 15. Aylık debi gidiş çizgileri ve Q_{70} ve Q_{90} eşik seviyeleri

Bölüm 4

Şırnak Asfaltit Kömürü, Uçucu Külü ve Meşe Odun Kömürünün Mikrodalgada Mikronize Öğütülmesi - Çimento Üretimi için Dikey Bilyalı Değirmende Mikronize Öğütme

Yıldırım İsmail TOSUN¹

Fethullah CHICHEK²

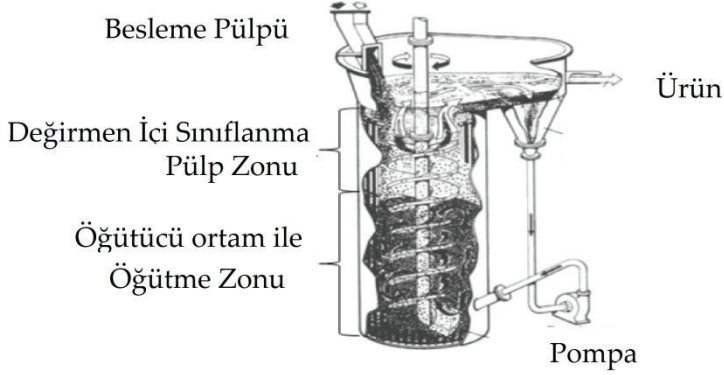
¹ Dr. Öğretim Üyesi, Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Böl., yıldirimismailtosun@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2515-6637>

² Dr. Research Scientist, Azerbaycan Milli Bilimler Akademisi, Radrasyon Problemleri Enstitüsü, fcicek66@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4958-7394>

1. Giriş

Uçucu kül, klinker ve uçucu külü olarak pozalanik katkı maddeleri, çimento üretiminde ucuz doğal atık kaynaklar arasından sınırlı miktarlarda tüketilmektedir (1). Uçucu kül kullanılarak katkılı çimento üretim maliyeti düşürülmekte ve kalitesi iyileştirilmektedir. İnce öğütme teknikleri kullanılarak bu katkı maddelerinin yeterli öğütülmesi ve daha az enerji tüketimi gerekmektedir. Yüksek randımanlı kül ve cüruf üretimi ile dünyada yıllık 600 milyon tonu aşan bir uçucu kül stoku oluşmaktadır. Uçucu kül stok sahasına sahip kömür santralleri bunları çimento üretiminde değerlendirebilmektedir. Ayrıca, inşaat esnasında moloz ve diğer atıklar ormanlık alanlara boşaltılarak atılmakta ve toprağa verilerek toprağı kirletmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Şırnak Silopi termik santralinde elektrik üretimi yapılırken yaklaşık 220 bin ton ile yüksek miktarda uçucu kül açığa çıkmaktadır ve bu yüksek miktardaki kül atığın çimento üretiminde değerlendirilmesine ihtiyaç duymaktadır (2). Kömür külünün mikrodalga etkili öğütülmesi, kömür ve klinker ve katkı maddelerinin öğütülmesi maliyetini düşürür, yüksek kaliteli çimento üretimi sağlar(2-3). Mikrodalga etkisinin uzun süreli öğütme tesisinde kullanılması, kömür hazırlama tesisinde çok fazla şeylin kırılmasını ve daha yüksek kükürt gidermeyi sağlamıştır (2-3).

Kömür şeyli ve marn, kompakt dokuda kum boyutu olarak nemle mikrodalga fırın ile muamele edildiği çalışmada, gözenekli kömürde iç gerilmelerin arttığı gözlenmiş ve çok seçici termal çatlak oluşumu sağlanmıştır. Ayrıca 1 mm boyutun altında kömürden kükürdün giderilmesi başarılmıştır(2). Çimento üretiminde çok ince 90 mikron ve 40 mikron altındaki bir boyuta yapılan öğütme işlemi art arda çekiçli kırma- valsli öğütme, otojen veya yarı otojen tüp öğütme ünitelerini içermektedir (4). İnce öğütmede ve “ultra ince” mikronize öğütme tesisinde kullanılacak dikey değirmenlerin tasarımı, öğütücü ortamın seçimi enerji tasarrufu ve öğütme maliyetleri açısından önemlidir[5-6].



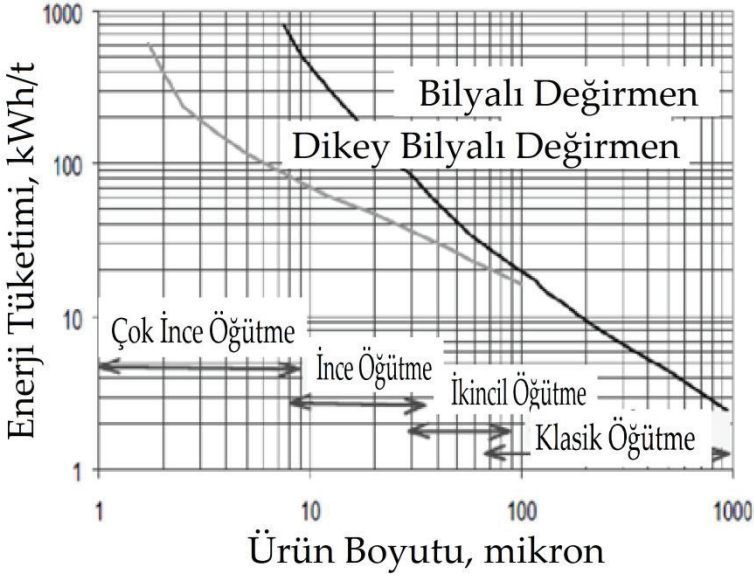
Şekil 1. Dikey bilyalı değirmen modeli (Wills ve Napier-Munn, 2006)

Uçucu kül ve odun kömürü, kömür çarı yumuşak kayaç sertliğine sahiptir. Ancak, çimento üretiminde kömür cürufu, marn, çelik cürufu ve sert malzemeler de farine ilave edilmeden önce ince öğütmeye tabi tutulması gerekir. Mikrodalga Şırnak asfaltiti ve asfaltit kömürünün uçucu külü üzerinde etkili olduğu için, cüruf ve şeyl silikat tanelerinin öğütülmesini kolaylaştırmıştır. Çeşitli mikronize öğütme yöntemleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir. (5-17)

Çizelge 1. Ortak dikey bulamaç ve hava ile akışkanlaştırılmış akış değirmenleri ve ana özellikleri (5-6)

Tür	Adı	Hız, m/s	Ortam Türü	Ortam Boyutu, mm	Besleme, mm	Ürün, µm	Malzeme
Gravite DEğirmen Düşük Hız	Vertimil	3	Çelik Bilya Sileps	5-38	6	15-75	Metalik Cevher, Altın cevheri
	Tower mill						Endüstriyel Mineraller, kömür, çimento
Akışkan Değirmen Yüksek Hız	İsa mill	21-23	Seramik pellet kum	2-3-5	0,15	7	Altın cevheri
	Karıştırmalı Dağıtıcı	11	Seramik Bilya, Silika Çakıl	1-3	0,25	10	Ultraince metal, demirsi cevher
	VXP Değirmen	10-12	Zirkon	1,5-3	0,3-0,4	10	Metalik, endüstriyel mineraller
	HIG Değirmen		Seramik pellet Çelik Bilya	1-6	0,3-0,07	100-20	Metalik cevher

Öğütmede ürün inceliği öğütücü ve öğütme ortamının türüne bağlı olurken ince ürün miktarı için birim enerji tüketimi değişmektedir. Hammaddelerin öğütülebilirlik indeks farklılıkları, çimento üretiminde tüketilen enerji miktarına bağlı olarak deneysel ve endüstriyel testler ile tespit edilmiştir.(17-24). Öğütülmesi en kolay kil taşı, en zor olan ise yüksek fırın cürufu ve klinker olduğu gözlenmiştir. Öğütülmesi zor olan klinker yerine maksimum oranda kalker ve mermer artığı toz kullanılarak istenilen ince öğütme şartları yaş öğütme testleri sonucunda gözlenmiştir. Ayrıca kolayca öğütülebilen şeyl ve meşe odun kömürü ve killi malzemelerde HGI gibi sarkaç değirmenlerde öğütme yeterli ince öğütmeyi endüstriyel ölçekte sağlamaktadır. Üretilen katkılı çimentoların öğütme enerjisi ihtiyacı, cüruf katkılı çimento üretimine göre daha azdır. Mikrodalga etkisindeki çimento hammaddelerinin daha kolay öğütülebildikleri belirlenmiştir. Mikrodalga enerjisi 300 MHz'den 3 GHz'e kadar yüksek frekans (SHF: 3 GHz ve 30 GHz ve son derece yüksek frekanslı EHF 30 GHz ila 300 GHz) radyo dalgaları olarak yayılır. Numunenin içine nüfuz eden mikrodalgalar halojenik dalga ile sıkışır. Elektromanyetik enerji, tüm hacmin sıcaklığını artırır, örneğin geleneksel ısıtma buz kütesini 1 dk lık bir sürede eritebilir.(12-13). Dikey kolon değirmeninde, bilyalı değirmene göre Şekil 2'de görüldüğü gibi öğütme boyutunun küçülmesiyle kırılma enerjisi ihtiyacı artmaktadır.[17]



Şekil 2. Bilyalı öğütme modellerinde mikronize öğütme boyutu değişimine karşı enerji limitleri (Wills ve Napier-Munn, 2006'dan sonra)

Kırılma teorisi

Her mineral için kırılma enerjisi ve türü, malzemenin sertliğinden ve dokusundan büyük ölçüde etkilenir. Kömür ve cüruf içerisindeki sert maddeler genellikle düşük ağırlık yüzdesinde metamorfizmaya bağlı olarak veya başkalaşım sonucu belirli bir elek üzerinde kalarak kalıntı olarak tanımlanan incelikte öğütülmeden kalırlar. Uçucu kül ve cüruf öğütülebilirliği de bu yüzden değişkenlik gösterir. Üretilecek çimento türüne göre hammadde homojenizasyon miktarları özel olarak öğütme işlemine başlamadan önce belirlenmeli ve çimento kalite testleri ile kontrollü olarak denetlenmelidir. Tüm klinker üretim üniteleri, standartlara uygun tane inceliğine bağlı olarak daha yüksek yüzey alanı gerektiren kalsinasyon fırınları içerisinde gerçekleştirilir (8-9).

Gates-Gaudin-Schuman parçacık boyutu dağılımı, Charles boyut küçültme enerji denklemine uygun yeniden şekillendirilmiştir(8).

d kaba boyut için, i boyutu fraksiyonu için öğütme enerjisi eşitlikteki gibi belirlenmiştir

$$dE(x) = -C \frac{dx}{x^n} \quad (1)$$

$$E = \int_0^y \int_{x_0}^x (-C \frac{dx}{x^n}) dP \quad 2$$

$$dP = \alpha w \frac{x^{n-1}}{y^n} dx \quad 3$$

$$\frac{d^2P(x,t)}{dt dx} = \int_{y=x}^{x_{max}} S(y)_f \frac{dB(x,y)}{dx} \frac{dP(x,y)}{dy} dy - S(x) \frac{dP(x,t)^f}{dx} \quad 4$$

$$GI=W \frac{dP(x,y)}{dt} = W \int_{y=x_f}^{x_{max}} S(y)_f B(x_f, y)_f \frac{dP(y,t)^f}{dy} dy \quad 5$$

$$\text{Sabit besleme tane boyutu için} \quad \frac{dW_{if}}{dt} = -Sw(t)_f +$$

$$\sum_{i=1}^j S_i b_{ji} W_i(t) \quad 6$$

$$\frac{dW_{if}}{dt} = -Sw(t)_f \quad 7$$

$$W(t) = w(0)_i e^{-S_i t} \quad 8$$

Burada kırılma oranı parametreleri ve ϕ , β , γ ile numune parçacık boyutu küçültme

$$B(x, y) = \phi \left(\frac{x}{y}\right)^\gamma + (1 - \phi) \left(\frac{x}{y}\right)^\beta$$

Çimento endüstrisinde kullanılan tüp değirmen boyutları klinker oluşumuna ve çimento üretim sürecine bağlı değişir. Döner fırın klinker oluşumu için yeterli bir pişirme ürünü vermektedir. Bazı fabrikalar klinker üretimini gerçekleştirecek miktarda kireçtaşı üretebilmektedir, bazısı mermer atığı gibi katkı kullanır, bazısı ise karışım olarak farin elde eder. Birçok çimento fabrikası klinker için marn veya hatta düşük silisli marn kullanır. Öğütme kapasitesi, yüksek silisli marn dahil olmak üzere birçok farklı değirmen parametresi, öğütme ortamı ve kireçtaşı sertliği ile değişmektedir. Kalite standartlarına uygun üretilen klinkere ek olarak boksit, korund veya demir talaşı (2,4), alçı ve diğer cüruf veya pozolan gibi sert hammaddeler kullanılmaktadır. Pek çok tesis, katkı maddesi olarak dikkate alındığında sert silikaya ihtiyaç duyar. Otojen değirmende öğütme ve daha düşük boyut sınırlarında öğütülebilirlik bazı belirli öğütme tesislerinde kullanılmaktadır. Öğütülecek hammaddenin öğütülebilirlik özellikleri, değişken ürün boyutu ve şekli ile öğütme sisteminin tipinin bir sonucu olarak öğütücü değirmen seçimini etkilemektedir. Genellikle, çimento sektöründe kolay öğütülen kayaçlar arzu edilmektedir. Ancak ince ve mikronize öğütmede belli zorluklar ortaya çıkmaktadır. Öğütme süresi ve silika maddesi enerji maliyetlerini artırmaktadır (24). Silikat modülü çimento öğütme de maliyeti arttırdığı gibi birde klinker silikat oranını temsil etmektedir. Çimento teknolojisinde silikat öğütmek, düşük silikatlı yumuşak kireçtaşları için daha zordur. Çimento endüstrisi, kömür uçucu külünün yaklaşık %38'ini, hatta yüksek fırın cürufunu ve uçucu külü çimento üretiminde değerlendirebilir. Bilyalı değirmende kullanılan toplam enerjinin sadece

%3,5 öğütme oranında tüketilerek kırılma enerjisi olarak değerlendirilebilmektedir. Enerji minimizasyonu için model optimizasyonu, simülasyon büyük ölçüde gereklidir. Yüzey aktif maddeler veya dispersantlar ile öğütmeye yardımcı kimyasallar, çimento üretiminde hammaddelerin kolayca öğütülmesini sağlar. Öğütme yöntemi ve öğütme elemanlarının (bilyalar) optimizasyon çalışmaları her malzeme için değişen proses koşullarına adaptasyonu gerektirir.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bunlara ek olarak, çimento sektöründe satın alınan mermer atıkları (traverten dahil) ve farklı tesislerden alınan iki klinker numunesi (FERCİM Batman, OYAK Mardin) Şırnak uçucu kül, asfaltit kömürü ve şeyl odun kömürünün değerlendirilmiştir. Hardgrove ve Bond iş indeksleri standartlara uygun hesaplanmıştır. Daha sonra, tüm hafif hammaddeler, öğütülmüş hammadde karışımlarından katkılı hafif çimento ve 35, 45 ve 90 µm katkılı çimento numuneleri kullanılmıştır. Ultra ince oranları ve mikronize öğütme oranları karşılaştırılmıştır. İki farklı tesisin kalker ve uçucu kül numuneleri 35 ve 45 dakika 90 µm elekten öğütülerek tane boyut analiz testleri yapılmıştır.

2.1. Standart Bond Öğütülebilirlik Testi

İncelenen kömür asfaltit kömürü şeyl ve bölgesel kireçtaşları gibi malzemeler 45 mikron altında öğütülür ve 20 mikronun altındaki incelik maddesi bond öğütme olarak öğütülebilirlik olarak kabul edilir ve sonuçlar 100 mikro boyutun altındaki standart öğütme testi değerleri ile karşılaştırılır. Beslemeden 20 mikronun altındaki malzeme inceliğini azaltmak için özgül enerji tüketimi (kWh/t) olarak belirlenmiştir. Bu mikronize öğütülebilirlik için 10 cm çapında küçük modifiye Bond değirmeni kullanılmıştır. %80'i 106 mikronu geçen değirmen besleme malzemesi olarak uçucu kül kullanılmış ve 45 mikron boyutuna öğütülmüştür. 30 cm çapındaki Bond değirmeni, 20 kg'lık öğütme çelik bilye ortamıyla birlikte kullanılır, ancak ağırlıkça %70'in üzerinde daha ince bilye içeriği bulunmaktadır(8-10)

2.2. Hardgrove Endeks

Yöntemi Standart Hardgrove İndeks yöntemi kullanılarak 0,6 mm altındaki malzemeler standart devirden iki kat daha uzun süre döndürülmüştür. Karşılaştırmalı bir çalışma için modifiye HGI değerleri 106 mikron boyutundaki numuneler için belirlenmiştir. HGI 75 µm altında 20 mikron boyutundaki fraksiyonlar belirlenmiştir ve ağırlık miktarı tespit edilerek çizelgeye çizilmiştir. Hardgrove Öğütülebilirlik

çizgileri, daha önce belirlenmiş ve kalibre edilmiş standart indeks değerleri karşılaştırılmıştır(8).

2.3. Mikrodalga Tedavisi

106 mikron boyutundaki temsili öğütülmüş numuneler, yığın küme topraklar üzerindeki mikrodalga radyasyon etkisini arttırmak için 20 kg luk mrdane ile 10 mm kalınlığa getirilerek mikrodalga fırına yüklenir. 10 dakika mikrodalgada tutulan numune pestilleri, ince öğütme ve ultra ince öğütme için aşağıdaki öğütme testlerine tabi tutulur. Mikrodalga, iç atom düzleminin titreşimini iyileştirdi ve sonuçta yüksek ısı ve arayüze çatlakları görüldü. Bu öğütme deneylerinde, 90 mikron altındaki kireçtaşı beslemesi, Şırnak asfaltit kömürü ve şeyl numuneleri gibi mikrodalga ışınımlı numuneler 45µm ile 20µm altında öğütülür ve mikrodalga radyasyonunun ultra öğütme kabiliyetine etkisi, ağırlık miktarı oranından geçerek belirlenir. . Malzeme bileşimi Tablo 2'de verilmiştir. Türkiye kömürleri ve Şırnak asfaltitinin yaklaşık analizi Tablo 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Şırnak İli Şırnak uçucu kül, kalker ve şeyl kimyasal bileşimi

Oksitler %	Şırnak Uçucu Külü	Şırnak Marnı	Şırnak Şeyli
SiO ₂	21	24,14	48,53
Al ₂ O ₃	7,88	12,61	24,61
Fe ₂ O ₃	11,23	7,34	7,59
CaO	21,34	29,18	9,48
MgO	3,41	4,68	3,28
K ₂ O	1,25	3,32	2,51
Na ₂ O	2,25	1,11	0,35
Ign.Loss	11,6	21,43	3,09
SO ₃	3,55	0,20	0,32

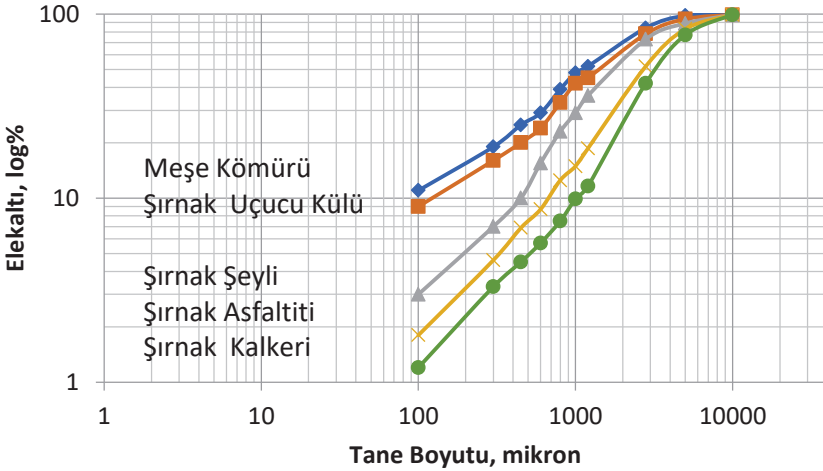
Çizelge 3, Deneylerde kullanılan Odun kömürü, Şırnak Asfaltit Kömürü ve Linyit örneklerinin kimyasal bileşimi.

Karbon	Sabit C%	Uçucu M.%	Kül%	ToplamS,%	Kalori,kca l/kg
Meşe Kömürü	54.5	45.6	0.5	.2	3207
Şırnak Asfaltiti	40.2	45.5	7.4	6.7	7820
Soma Linyiti	62.8	5.5	14.1	2.0	4820

Ultra öğütmeden önce numunelerde tutulan mikrodalga radyasyonu, termal radyasyon kırılmasından sonra test edilir ve Şekil 1'de gösterildiği gibi orijinal ile karşılaştırılır.

2.4. Tane boyutu analizi

Elek standardı $\sqrt{2}$ serisi Tyler dizilimi kullanılarak öğütme malzemeleri için Gaudin yaklaşımına göre boyut fraksiyon içerikleri belirlenir. Ultra ince boyut dağılımında yumuşak malzemelerin log dağılımı ile Gaudin boyut grafiği, tüm malzemelerin öğütme enerjisinin değerlendirilmesi için çok uygun bir şekilde gerilemiştir. Şekil 4 ile ilgili olarak, şeyl ve uçucu kül yumuşak malzemelerde bu çalışmanın incelik içeriğinin 0,7'nin üzerindeki dağılım faktörünün %10-15'in üzerinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Gaudin Schumann Tane Boyutu Dağılımı Şırnak Asfaltit, marn ve şeyl örnekleri.

2.5. Kırılma Oranı, Standart ve HG Bond Çalışma İndeksi Testi

106 μm öğütölmüş yumuşak çalışılan malzemeler, daha uzun öğütme süresi kullanılarak daha ince öğütme testlerinin ardından test edilmiştir. Mikrodalga etkileşimini takiben her bir numune beslemesi için 45 ve 20 mikron altına öğütölebilme ağırlık % ultra öğütme oranı olarak tanımlanmıştır. Mikrodalga ile muamele edilmiş numunelerin 20 mikron ve 45 mikronluk ultra öğütme kabiliyeti özellikleri karşılaştırılmıştır ve Tablo 4'te tanımlanmıştır. 4dk lık modifiye HG öğütmesinden sonra 20 μm altındaki ağırlığı belirlemek için HGI standart test cihazı kullanıldı. Modifiye öğütme MHGI , dolayısıyla HGI değerleri şablonda ve ölçekte belirlenmiştir.

2.6. Standart Olarak Deneysel Öğütme Testleri

Bu çalışmada, Şırnak asfaltit kömürü uçucu kül ve odun kömürü üzerine dikey kolon değirmende öğütme, bilyalı değirmen öğütülebilirlik testleri yapılmıştır. Uçucu kül, odun kömürü ve asfaltit kömür numuneleri üzerinde 120, 480 dakika dikey öğütme testleri yapılmış, öğütme süresi sonunda numunelerin 20 mikronun altındaki incelik değerleri ve 45 mikronun altındaki kırılma oranları için incelenmiştir. Tesislere ait kolon değirmeninde besleme boyutu 106 micron olan 50 gr ağırlığındaki numuneler, farklı kömürler 74 μm 'ye kadar öğütülmüştür, 45 μm ve 20 μm öğütme verimleri belirlenmiştir. Endüstriyel değirmenlerden farklı olarak çimento öğütme deneylerinde kullanılan dikey kolon laboratuvar değirmeni aşağıda Şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. Deney için dikey bulamaç değirmeni

Tablo 4, Bond Work İndeksi, Numunelerin HGI Öğütülebilirlik değerleri. Malzeme W_i (Kwh/t) HGI

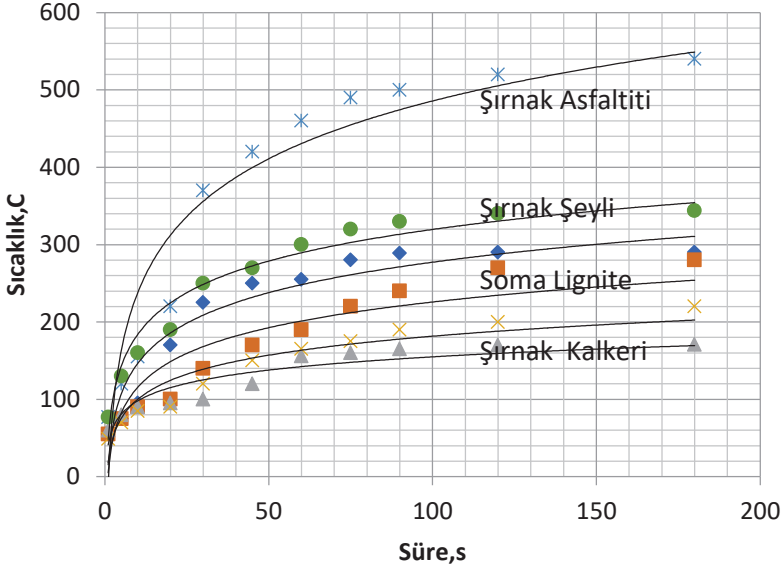
Malzeme	W_i (Kwh/t)	HGI	Modified HGI	Density (g/cm^3)	Porosity %	Water Absorption, %
Şırnak Asfaltiti	5.1	87	56	1.63	0,4	0,2
Soma Linyiti	7,7	63	45	1,65	15,1	8,6
Şırnak Uçucu Külü	6.7	47	22	2.64	2,7	1,9
Şırnak Şeyli	5.6	65	45	2.41	4,6	3,5
Meşe Odun Kömürü	5,1	76	56	1,2	56,5	22,4

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

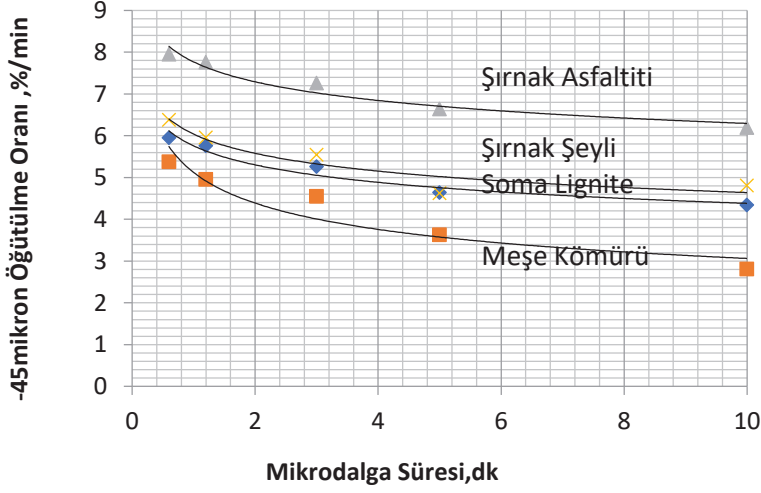
3.1. Mikrodalga Radyasyonunun Kırılma Üzerine Etkileşimi

45µm ve 20 mikron altında HGI ve Bond değirmen değerlerine göre öğütme değişimi Şekil 5'te gösterilmektedir. 106, 10 dakikalık mikrodalga radyasyon periyodu ile %9'luk yarı metalik pirit içeriği nedeniyle kömür şeyl örnekleri üzerinde en yüksek etkiyi sağlamıştır. Mikrodalga ışınlı öğütme hızı değerleri Şırnak marl ve şeyl artmıştır.(Figure 6)

Türk linyitleri için %12 ile %32 ve Şırnak asfaltitleri için %34 (Şekil 5). Meşe kömürü için bond değeri linyitlere benze 5,6 and 5,1 arasında değişmiştir. Meşe kömürünün linyitle kıyaslandığı zaman HGI ve MHGI değerleri 77-89 dan 46-76 ya düşmüştür.

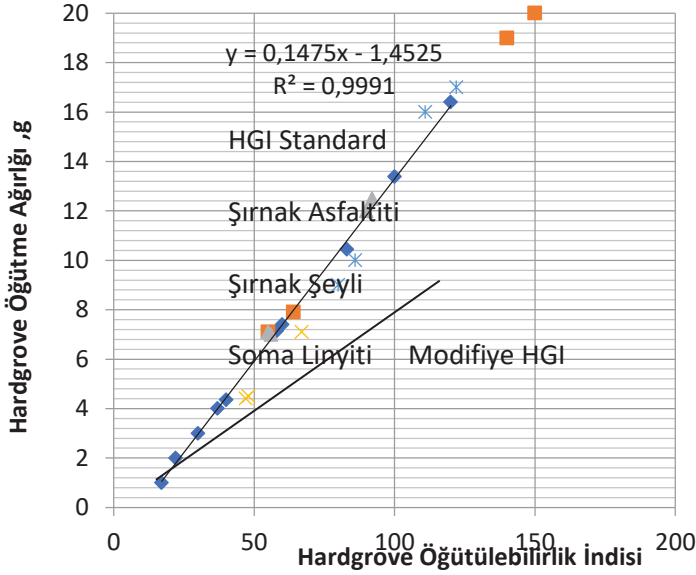


Şekil 5. 20 mikronun altına daha ince öğütme öncesi öğütme malzemelerinin mikrodalga ışınlı pelet sıcaklık değişimleri

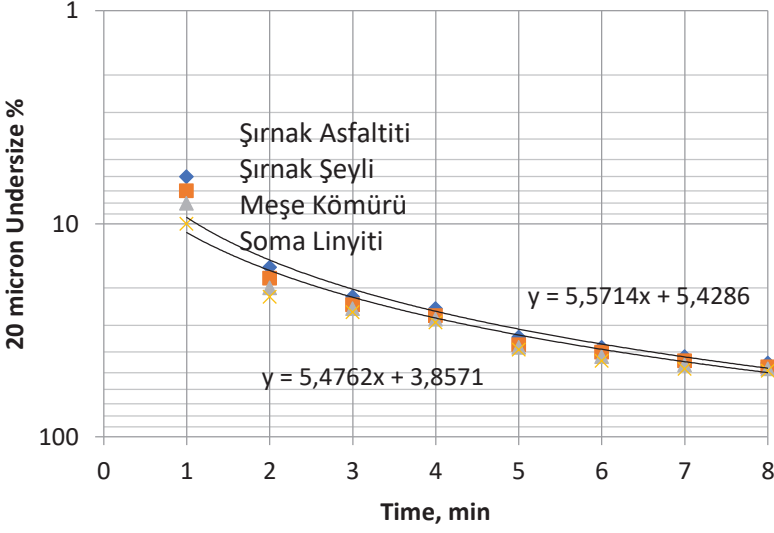


Şekil 6. Mikrodalga Etkileşimi Altında Şırnak Ocağı 20µm Şeyl Kırılma Oranı

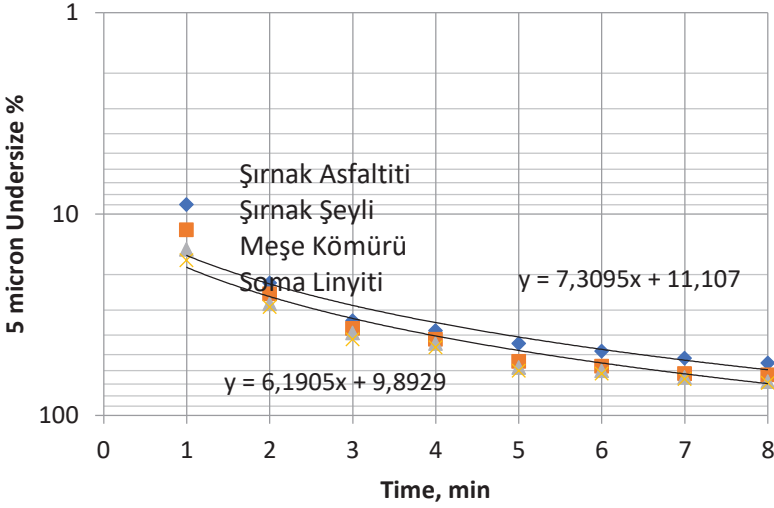
Çalışılan malzemelerin HGI indeksi, mikrodalga radyasyon tedavisine göre Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 7. HGI Grafiği ve 10 dk Mikrodalga ışınlı materyaller çalışıldı.

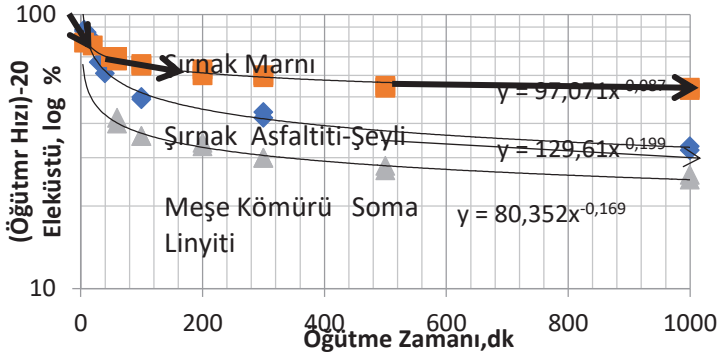


Şekil 8. -20 mikron daha ince öğütme için Bij Kırılma oranı değişimi.



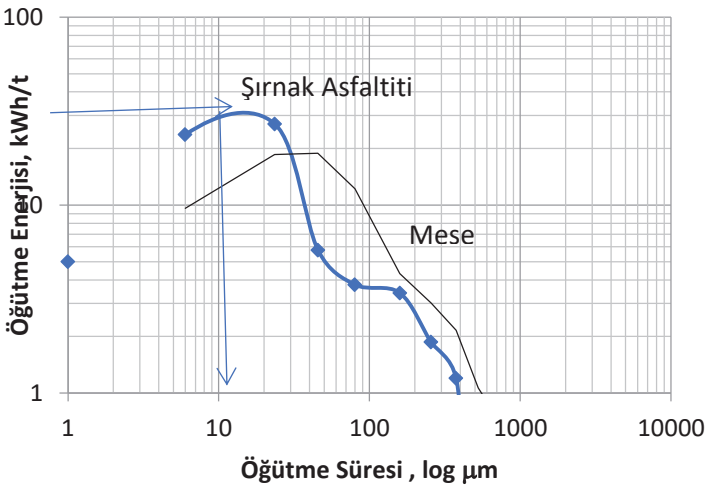
Şekil 9. -5µm daha ince öğütme için Bij Kırılma oranı değişimi.

Dikey bilyalı değirmende temel olarak daha az öğütme periyotlarında, daha ince öğütme gerçekleşirken mal akışlarında



Şekil 10. 30 dk lık Ultra İnce Öğütmede 10 dklık Mikrodalga radyasyon etkili numunelerin üzerindeki mikronize öğütme oranı değişimi.

Daha iri boyutta mikronize öğütmede, mikrodalga radyasyonunun etkisi daha yüksek termal stres çatlaklarına ve hatta çatlak uzunluklarının yayılmasına neden olmuştur. Şekil 2'de görüldüğü gibi 10 dakikalık mikrodalga etkisi asfaltit kömür numunelerinde sırasıyla %54 ve %61 HGI öğütülebilirliğinden çatlama ve öğütülebilirliği artırmış ve 20 mikron boyutunda öğütme oranı sırasıyla %22 ve %27'ye yükselmiştir (Şekil 7). Linyit dokusu, yüksek miktarda inert sert maseral gruplarının daha heterojen olduğunu ve iri fraksiyonlardaki yüksek gözenek içeriğinin bile gözeneklerden mikrodalga radyasyonu için bir bariyer oluşturduğunu göstermiştir. Kömürde aşırı ışımalı ısıtma ve termal parçalanma içeren kömür şeyli daha yüksek öğütülebilirlik göstermiştir.

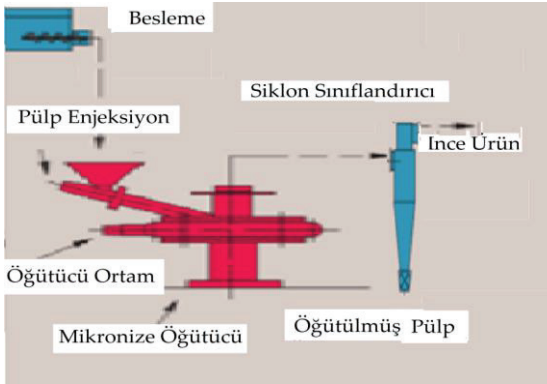


Şekil 11. 10 dk lık Mikrodalga etkili mikronize öğütmede uçucu kül ve odun kömürü örneklerinin Kırılma Enerjisi Değişimi.

Tablo 5. Öğütme de besleme boyutu değişimine göre asfaltit ve meşe kömürü numuneleri için dikey bulamaç değirmeninde ürün boyutuna göre Öğütme oranı ve Enerji Değişimi.

Malzeme		Öğütülen Kireçtaşı					
Kapasite		Tonnes/h	10-12	7,5-9,5	7-8	5-6	3-4
Özgül Alanı	Yüzey	cm ² /g	11000	14000	15500	17000	19000
≤ 325 M	%		0.015	0.015	0.01	0.002	0
≤2mikron	%		32	38	42	50	60
d ₅₀	micron		4,5	3,2	2,4	2,0	1,4
d ₉₇	micron		23	20	16	12	9
Sınır d ₆₇	micron		49	42	35	28	18
Enerji	kW/ton		38-40	40-50	54-56	65-72	110-125

Pigment ve çimento katkı maddeleri için kömür ve karbon malzemelerinin ultra ince öğütülmesi için önerilen akış şeması Şekilde gösterildiği gibi gösterilmektedir.



Şekil 12. Kömürün mikronize öğütülmesinde önerilen dikey bulamaç öğütme akım şeması

4. SONUÇLAR

Ultra ince malzemenin öğütme kabiliyeti ile öğütücüdeki akış davranışı arasındaki ilişkiler, termal iç çatlakları geliştiren radyasyon uygulama şekline bağlı olmuştur. Kömürlerin mikronize öğütülmesindeki temel ayırıcı parametreler öğütmeyi etkileyen esas değişkenler olmuştur. Öğütücü türüne bağlı besleme akış hızı ve ortam karıştırma hızının, ultra ince öğütme ile ilgili ana fonksiyonlar olduğu anlaşılmaktadır. Değirmen boyutları ile ilgili parametreler bu çalışmada geliştirilebilmiştir. Gaudin modeline göre ince öğütme ortamında tanelerin mikronize boyuta düşürülmesi, öğütücü ortam içerisinde alıkonma süresi ve boyut dağılımına

bağlı olmuştur. Bu çalışmada belirlenmiş regresyonlu sayısal boyut fonksiyonlarında pülp katı/sıvı oranı veya pülp yoğunluğuna bağlı olarak değişmiştir. Kömür, şeyl ve odun kömürü masif dokusu ve gözenek boyutu mikrodalga etkisini değiştirmiştir. Kömür içerisindeki piritin boyut dağılımı Şırnak asfaltitleri için 3-1 mikron boyutunda ve ayrıca 5-10 mmmakro boyularda olabildiğinden geniş dağılım göstermiştir. Bu çalışmadaki asfaltit içerisinde geniş bir pirit boyut dağılımı mikronize öğütmeyle etkilediği gözlenmiştir. Bu özellikte mikrodalga ile ısı transferine ek direnç olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada Şırnak asfaltit kömürü ve kömür şeyli için Bond öğütme ve HGI Standard ve modifiye HG indeks değerleri test edilmiştir. Sonuçlar 100 mikron boyutundaki ince kömürlerin ince öğütülebilirliğin değerlendirilmesinde avantajlı olduğu belirlenmiştir. Şırnak asfaltit, uçucu kül ve Şırnak meşe kömürünün her biri için 1-3 mm standart Bond testleri ve 0,6-1 mm fraksiyonlarında da numunelerin mikrodalga etkili mikronize öğütülmesi modifiye Bond ve modifiye Hardgroove değirmeninde test edilmiştir. Bu testlerde 10 dakikalık radyasyon süresinin indeks değerlerini %21, %18 ve %18'e düşürdüğünü göstermiştir. Sırasıyla %11 ve HGI test ağırlığı %36, %21 ve %12' oranında yükselmiştir. Orta ve yumuşak sertlikteki malzemeler olarak kömür ve odun kömürleri ve uçucu kül, yüksek ultra ince öğütme enerjisi göstermiştir. Mikronize öğütme işlemi için optimize edilmiş modelin mikrodalga radyasyonda daha yüksek sürelerle değiştirilebildiği düşünülmektedir. Her bir kömür ve uçucu külün mineralojik yapısı, kimyası araştırılmalıdır. Bu çalışmada, her hammaddenin ayrı olarak gözeneklilik ve yoğunluk farklılıkları, çatlak oluşumu ve öğütme niteliklerinde en etkili fiziksel özellikler olmuştur. Klinker ve çimentonun özgül yüzey alanı ve ultra ince öğütme ürünleri, ultra ince öğütülebilme niteliğini, boyut fonksiyonlarını ve öğütme hızını değiştirmektedir. Bu nedenle birçok laboratuvar ve pilot ölçekte optimizasyon, modelleme çalışmaları yapılmalıdır.

Bu çalışmada mikrodalga, hem kireçtaşı gibi ana çimento hammaddelerinin, hem de kil destekli sert cüruf ve uçucu külün öğütülmeden önce ileri çatlaklara neden olmuştur. Konvansiyonel bilyalı değirmendeki öğütme enerjisi kWh/t dik değirmene göre daha yüksek olmuştur. Şırnak asfaltit için %22, uçucu kül için %19, meşe odun kömürü için %17, kireçtaşı için %14, %19,13 %17, marn için %11 artmıştır. Mikrodalga etkileşim süresi 2 dk olan numunelerde yeterli ısı iletimi ve termal genişleme çatlama oluşmuş, 10 dklık mikrodalga etkisinde şeyl, yüksek şeylli kömür ve linyit numuneleri için çatlak oluşumu gözlenmiştir. Odun kömürünün gözenekli olması bile, termal genişlemeye göre ortaya çıkan çatlak oluşumu gözlenmiştir. Mikrodalga

enerji maliyetlerinin etkileşimini artırmak için ideal süre düşünülürken etkileşim süresi 10 dk olarak tanımlanmıştır. 10 dakikalık etkileşimin yeterli mikrodalga etkileşimini hacimsel ısıtma etkisi olarak gözlenmiştir. Böylece mikro çatlaklara ve hatta basınç çatlaklarına yol açabilecek 300°C'nin üzerinde sıcaklık artışı gözlemlenmiştir. Şırnak uçucu külündeki kübik manyetit ve ferrit ve lamel kristallerinde ısı artışı olurken, Şırnak asfaltit şeyli nedeniyle mikrodalga radyasyonunun etkisi azalmıştır. Ancak Şırnak marnı ve asfaltit şeyli, mikrodalga radyasyonu öncesinde oksitlenmiş pirit yüzeylerinden ayrılmayı sağlayan yeterli kırılma göstermiş ve HGI değeri 52'den 83'e yükselmiştir. %3.42/dk'lık ultra ince öğütme oranı 5.1'e yükselmiştir. 300 saniyelik 900 W mikrodalga radyasyon seviyesi, Şırnak şeyl partiküllerinde meydana gelen daha yüksek ısıl kırılmalar ile %7-8/dk'nın üzerine yükselmiştir. İnce boyutlu uçucu kül de bile, 10 dakikalık radyasyon etkisinden sonra öğütme hızında farklılık gözlenmektedir.

Kısaltmalar

W	Bond Enerjisi
S	Özgül yüzey öğütme enerjisi
i,j	Boyut fraksiyonları
B	Öğütme Hızı
d	Tane Boyutu
n	Dağılım faktörü
t	süre

Kaynaklar

- [1]. Armstrong, D.G., 1986. An alternative grindability test: an improvement of the Bond procedure. *Int. J. Min. Process.* 16, 197–208.
- [2]. Austin, L.G., Brame, K., 1983. A comparison of the Bond method for sizing wet tumbling ball mills with a size-mass balance simulation model. *Powder Technol.* 34, 261–274.
- [3]. Berry, T.F., Bruce, R.W., 1966. A simple method of determining the grindability of ores. *Can. Min. J.* 87, 63–65.
- [4]. Bond, F.C., , 1952, The third theory of comminution. *Trans. Soc. Min. Eng. AIME* 193, 484–494.
- [5]. A. Jankovic, 2001, Effect of grinding parameters on the rheology of pyrite–heptane slurry in a laboratory stirred media mill, *Engineering*, 31
- [6]. M. Hasan, 2016, Process modelling of gravity induced stirred mills, *Engineering*, DOI:10.14264/UQL.2016.507
- [7]. Austin L.G., Bhatia V.K., 1973. Note on conversion of discrete size interval values of breakage parameters S and B to point values and vice versa. *Powder Technol.*, 7, 107–110. DOI: 10.1016/0032-5910(73)80013-0.
- [8]. Austin L.G., 1999. A discussion of Equations for the analysis of batch grinding data. *Powder Technol.*, 106, 71-77. DOI: 10.1016/S0032-5910(99)00047-9.
- [9]. P. J. Hill and K. M. Ng, "New discretization procedure for the breakage equation", *AIChE J.*, 41, 1995, 1204–1216.
- [10]. Chen TT, Dutrizac JA, Haque K, Wyslouzil W, Kashyap S. The relative transparency of minerals to microwave radiation. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 1984; 123 (3): 349-51.
- [11]. Çayırılı S., Gökçen H.S., Uçbaş Y., Kayacı K., 2012, Wet Grinding of Sodium Feldspar in a Stirred Ball Mill, *Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey*, pp83-90
- [12]. Eyüpoğlu KA., Kaya E, Yavuzkan O., 2012, Breakage Properties of Pumice and Perlite Materials at Different Powder Fillings and Ball, *Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey*, pp57-66
- [13]. Genç Ö., Benzer AH., M., 2012, Size Reduction Performance Evaluation of Open Circuit Three Compartment Industrial Scale Cement Grinding Tube Mill, *Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey*, pp67-74
- [14]. Gabriel C, Gabriel S, Grant EH, Halstead BSJ, DMP Mingos. Dielectric Parameters Relevant to microwave dielectric heating. *Chemical Society Reviews* and 1998; 27: 213-23.

- [15]. Gökçen HS., Çayırılı S, Ucbas Y., Kayacı K, 2012, Dry Grinding of Sodium Feldspar in a Stirred Ball Mill, Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey pp21-28
- [16]. Haque K. Microwave energy for mineral treatment Processes-a brief review. International Journal of Mineral Processing 1999; 57 (1): 1-24.
- [17]. Hosseinzadeh H., Ergün, L., 2012, Determination of Breakage Distribution Function of Fine Chromite Ores with Bed Breakage Method, Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey, pp39-48
- [18]. Jacob J, Chia LHL, FYC Boey. Review-thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials. Journal of Materials Science 1995; 30 (21): 5321-7.
- [19]. Karra, V.K., 1981. Simulation of Bond grindability tests. CIM Bull. 74, 195-199.
- [20]. Kelly RM, NA Rowson. Microwave the reduction of oxidised ilmenite concentrates. Minerals Engineering 1995; 8 (11): 1427-38.
- [21]. Kingman SW, W Vorster, NA Rowson. The influence of mineralogy on microwave assisted grinding. Minerals Engineering 1999; 13 (3): 313-27.
- [22]. Marland S, Han B, Merchant, Rowson N. The effect of microwave radiation on coal grindability. Fuel 2000; 79 (11): 1283-8.
- [23]. Reimers, G.W., Franke D.W., 1991, Effect of Additives on Pyrite Oxidation, RI:9353, Bureau of Mines
- [24]. Şahan H., İpek H., 2012, Dry Grinding Kinetics of Ulexite, Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey, pp75-82
- [25]. Şener M., Erdemoğlu, M., 2012, Milling of Gypsum for Mechanical Activation, Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey pp29-38
- [26]. Sword, Ö., 2009, the limestone calcination Microwave Effect of Heat Treatment Applications, Mining, 48, 3, pp 45-53.
- [27]. TKI, 2009, The Turkish Ministry of Energy, Energy, Dept., Lignite Coal Report
- [28]. Toroman Ö.Y., Uçurum, M., 2012, The effect of various operating parameters on fine grinding in a pilot scale Ball Mill, Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey pp13-10
- [29]. Tosun YI, a 2014 Chemical Activated Coal Grinding of Turkish Coals by Acidic Mine Water, Geo 14th Conference of SGEM 2014, Bulgaria, p 853-857, doi 10.5593 / sgem2014b13, www.sgem.org
- [30]. Tosun YI, b 2014 Chemical Activated Grinding of Cement Raw Materials and Shale by Acidic Waters, 14th Imps, Kusadasi, s1-7

- [31]. Tosun YI, Rowson NA, Veasey TJ, 1994, Bio-column flotation of Coal for Desulfurization and Comparison with Conventional and Column Flotation, 5th Int. Conf. of Mineral Processing, Nevşehir
- [32]. Vanwyk EJ, Bradshaw SM, JB de Swardt. The dependence of microwave regeneration of activated carbon on the time and temperature. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 1998; 33 (3): 151-7.
- [33]. Veasey TJ, Fitzgibbon Ka. Thermally assisted liberation-a review. *Minerals Engineering* 1990; 3 (1/2): 181-5.
- [34]. Walkiewicz JW, Kazonich G, McGill SL. Microwave heating and compounds Characteristics of selected minerals. *Minerals and Metallurgical Processing*, 1988; 5 (1): 39-42.
- [35]. Walkiewicz JW Clarke, McGill, SL. Microwave assisted grinding. *IEEE Transactions on industry applications* 1991; 27 (2): 239-43.
- [36]. Wheelock T.D., 1979. Chemical Cleaning. Pp 20-29-49. J. W. Leonard K.K. Humphrey (Eds) *Coal Preparation* (4th Edt.), AIME, New York.
- [37]. Xie DK, Pickles CA. Microwave caustic leaching of electric arc furnace dust. *Minerals Engineering* 2000; 13 (1): 79-94.
- [38]. Yoon, R.H., 1991. Advanced Coal Cleaning, Part2. J. W. Leonard and B. C. Hardinge (Eds) *Coal Preparation* (5th Edt.), SME-AIME, Colorado.

Bölüm 5

AYLIK ZAMAN SERİLERİNDE FREKANS BAĞLI TAHMİNLER

Zeydin PALA¹

İhsan TUĞAL²

1 Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye

2 Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Muş, Türkiye

1. Giriş

Zaman serisi tahmini, büyük veri analizinin en önemli dallarından biri olarak ortaya çıkmış ve en önemli hedef motivasyonlarından biri geçmiş verilere dayalı geleceği tahmin etmeye dayanmaktadır (Homburg, Weiß, Alwan, Frahm, & Göb, 2021). Zaman serileri zamansal bağımlılık ve yüksek boyutluluk gibi özelliklere sahip bulunmakla birlikte genellikle sıralı olarak oluşturulmaktadır.

Son zamanlarda yapay zekâ alanında yapılan çalışmalar (Jiang et al., 2017; Kulkarni, Seneviratne, Baig, & Khan, 2020; Luis, Maia, De Carvalho, & Ludermit, 2008; Zeydin Pala & Özkan, 2020; van Assen et al., 2020) ve bu alanın bir alt dalı olan makine öğrenmesi alanındaki çalışmalar (Alfaras, Soriano, & Ortín, 2019; Gidon, Pei, Bonzanini, Graves, & Mesbah, 2019), ayrıca makine öğrenmesi içinde bir çalışma alanı olarak kabul edilen derin öğrenme alanındaki çalışmalarda oldukça büyük ilerlemeler kaydedilmiştir (Gencer & Başçiftçi, 2021; Z. Pala, Yamli, & Ünlük, 2017; Zeydin Pala & Şana, 2020; Somu, Raman M R, & Ramamritham, 2021). Günümüzde zaman serileri bir çok alanda kullanılmaktadır. Bu alanları; hava durumu tahminleri, ekonomik büyüme tahminleri (Ak, Fink, & Zio, 2016), fiyat/satış tahminleri (Özgüner, Tör, & Güven, 2017), sağlık tahminleri (Villani et al., 2017; Yıldız & Pala, 2019; Zhang et al., 2020), güneş lekeleri tahminleri (Atıcı & Pala, 2021; Zeydin Pala & Atici, 2019) ve radyasyon tahminleri (Oladele, Arogunjo, & Aladeniyi, 2018; Z. Pala, Ünlük, & Yıldız, 2019; Z. Pala, 2019a; Zeydin Pala, 2021; Sorkun, 2018) gibi ifade etmek mümkündür.

Literatürde zaman serilerinin tahmin işlemi için birçok yöntem kullanılmakla birlikte (Rob J. Hyndman & Yeasmin Khandakar, 2008), bunları genel anlamda istatistiksel tabanlı ve makine öğrenmesi tabanlı (Bedi & Toshniwal, 2019; Z. Pala, 2019a; Ünlük & Pala, 2019) olarak iki farklı şekilde incelemek mümkündür (Zeydin Pala & Pala, 2020). Ayrıca bu iki yöntemin birlikte bir arada kullanıldığı hibrit uygulamalar da mevcuttur (Z. Pala, 2019b; Smyl, 2020). Zaman serisi tahmin işlemlerinde kullanılan bu iki temel yaklaşımın güçlü yönleri olduğu gibi zayıf yönleri de vardır (Chimmula & Zhang, 2020; Shen, Zhang, Lu, Xu, & Xiao, 2020). Her iki yöntemin avantaj ve dezavantajları dikkate alındığında bu yöntemleri tek başlarına kullanmak elbette bizi ideal sonuçlara ulaştırmayacaktır.

Makine öğrenmesi (MÖ) algoritmaları, önceden bazı varsayımlar tanımlanmaksızın, karmaşık doğrusal olmayan kalıpları tanımlamayı ve yapılandırılmamış ilişkileri keşfetmeyi öğrenebilir. Bununla birlikte tahmin işlemlerinde MÖ'nün üstünlüğü belirgin değildir (Smyl, 2020). Tahmin işlemlerinde kullanılan MÖ algoritmaları için veri yetersiz ise beklenen performans beklentileri karşılanamayacaktır (Makridakis, S., Spiliotis, E., Assimakopoulos, 2018)

Daha iyi sonuçlar elde etmek için literatürde tahmin işlemleri için kullanılan veri seti için doğru yöntemi seçmenin zorluğuna da işaret edilmektedir (Brockwell ve Davis, 2016). Bundan dolayı her veri seti için çok iyi tahmin yapabilecek bir metot bulunmamaktadır (Wolpert ve Macready, 1997). Tahmin işleminde kullanılan modelin performansı, tahmin işleminde kullanılan veri setine göre değişmektedir.

Zaman serilerinin temelini oluşturan veri setlerindeki her bir veri noktası için eşit aralıklı ifadesi kullanılmaktadır. Zaman serilerinde kullanılan frekans değeri zaman serisinin yapısına göre değişkenlik göstermektedir. Eğer zaman serisini oluşturan olgular aylık olarak elde edilmişse frekans değeri 12, mevsimlik olarak elde edilmiş ise frekans değeri 4 ve yıllık olarak elde edilmişse frekans değeri 1 olmaktadır.

Diğer taraftan zaman serilerinde frekans kavramı mevsimsel çevrimden önceki gözlem sayısını ifade etmektedir (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). İstatistiksel hesaplama tabanlı olarak kullanılan R programlama dili ortamında zaman serileri için kullanılan *TS* metodunun önemli parametrelerinden biri *frequency* parametresidir. *TS* fonksiyonu içinde bu parametreye yıllık, üç aylık, aylık ve haftalık için sırasıyla 1, 4, 12 ve 52 değerleri atanabilmektedir.

Bir zaman serisi kalıbı trend, mevsimsel veya çevrim olarak ifade edilebilir. Bir zaman serisindeki gözlemlenen verideki uzun süreli artış ve azalışlar trend olarak ifade edilirken gözlemlenen veriyi etkileyen haftanın belli günlerindeki yada yılın belli zamanlarındaki mevsimsel değişimler mevsimlik değişme olarak ifade edilmektedir. Öte yandan çevrim ise sabit frekansta olmayan yükseliş ve düşüşleri ifade etmektedir.

Zaman serisi analizlerinde tahmin performansları birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Bunları zaman serisinin lineerlik ve mevsimsellik yapısı, tahmin işleminde kullanılan modeller, tahmin için eğitim/test verilerinin oranı diğer bir ifadeyle tahmin uzunluğu olarak sıralayabiliriz. Aylık zaman serilerinde frekansa bağlı tahmin işlemi literatürde tam olarak araştırılmamış bir konudur.

Bu çalışmanın amacı, aylık olarak oluşturulan zaman serileri için tahmin yapılırken, frekans değeri katlarının tahmin üzerindeki etkisini araştırmaktır. Örneğin aylık zaman serilerinde frekans değeri 12 olduğundan, tahmin uzunluğunun 12 frekansının katları şeklinde olmasının model performansları üzerinde olumlu bir etkisinin olup olmadığını araştırmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada tahmin işlemi için istatistik tabanlı modeller kullanılmıştır. Yapılan tahminlerde test verisinin uzunluğu hem zaman frekans değerinin katları hem de zaman frekans değerinden farklı uzunlukta kul-

lanılmış ve iki farklı yaklaşımın tahmin üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma, frekans değeri 12 olan aylık zaman serileri için belirli aralıklardaki tahmin performansını araştırmaya dayanmaktadır.

Bu çalışmada frekans değeri 12 olan aylık zaman serilerinden ve R programlama dilinin *datasets* kütüphanesinde yer alan *USAccDeaths* ve *fdeaths* ile *TSstudio* kütüphanesinde yer alan *USGas* aylık veri kümesi kullanıldı. Tahmin işlemleri için de Rstudio ortamında istatistik tabanlı modellerden *EST*, *SNAIVE* ve *DRIFT* modelleri kullanıldı (Hyndman & Athanasopoulos, 2018; Z. Pala et al., 2019; Smyl, 2020). Kullanılan *USAccDeaths*, *Fdeaths* ve *USGas* datasetleri aşağıda kısaca açıklanmış, istatistiksel özellikleri toplu olarak Tablo I'de verilmiş ve akabinde grafikleri sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'te verilmiştir.

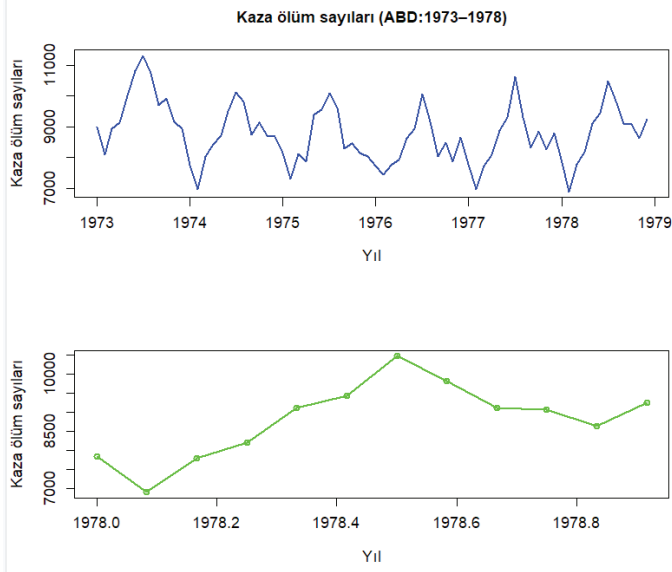
USAccDeaths: Aylık bir zaman serisi olarak *USAccDeaths*, 1973-1978 yılları arasındaki ABD' de kaza sonucu ölenlerin sayısını içeren 72 kayıttan oluşmaktadır. Şekil 1'de tüm veri grafiği (üst kısım) ve kısmi veri grafiği (alt kısım) verilen *USAccDeaths* zaman serisi eğilim içermemekte ve mevsimsel etkilere sahip bulunmaktadır.

Fdeaths: *fdeaths*, UK'de 1974-1979 yılları arasında 6 yıllık bir sürede astım hastalığından ölen kadın sayılarını içeren 72 aylık bir zaman serisidir. *fdeaths* zaman serisi eğilim içermemekte ve mevsimsel etkilere sahip bulunmaktadır.

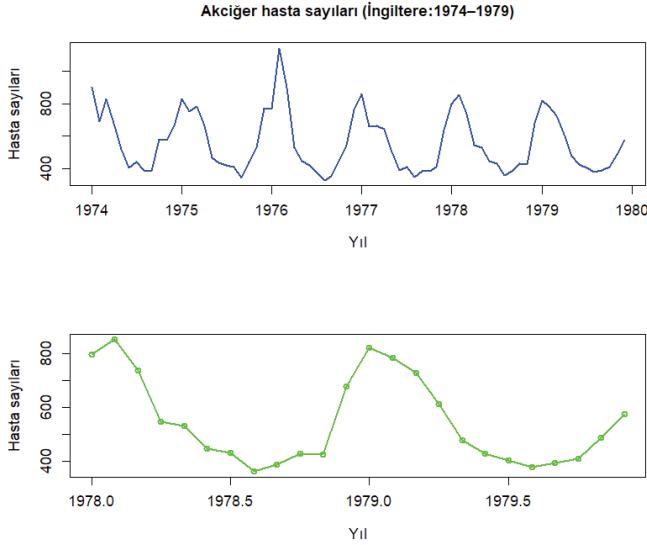
USGas: ABD'de 2000-2019 yılları arasında tüketilen aylık doğal gaz miktarını milyar fit küp birimindeki verileri içeren 238 kayıttan oluşan bir zaman serisidir. *USGas* zaman serisi hem eğilim hem de mevsimsel etkiler içermektedir.

Tablo I: Çalışmada kullanılan veri kümelerinin istatistiksel özellikleri

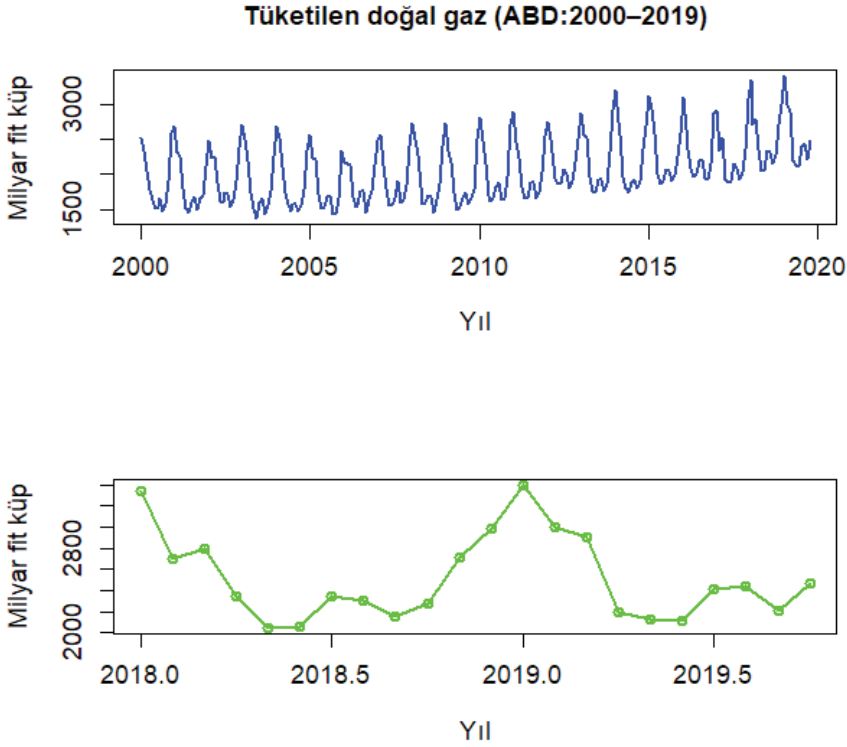
Dataset	Paket adı	Frekans	Uzunluk	En küçük	En büyük	Ortalama	Medyan
USAccDeaths	datasets	12	72	6892	11317	8789	8728
fdeaths	datasets	12	72	330	1141	560.7	512
USGas	TSstudio	12	238	1368	3400	2057	1950



Şekil 1: USAccDeaths zaman serisini oluşturan 1973-1979 yılları arasındaki 72-aylık veriden oluşan grafiği (üst kısım), serideki mevsimsel etkileri daha açık görmek için, 1978-1979 yılları arasındaki 24-aylık veriden oluşan kısmi grafiği (alt kısım).



Şekil 2: fdeaths zaman serisini oluşturan 1974-1979 yılları arasındaki 72-aylık veriden oluşan grafiği (üst kısım), serideki mevsimsel etkileri daha açık görmek için, 1978-1979 yılları arasındaki 24-aylık veriden oluşan kısmi grafiği (alt kısım).



Şekil 3: USgas zaman serisini oluşturan 2000-2019 yılları arasındaki 238-aylık veriden oluşan grafiği (üst kısım), serideki mevsimsel etkileri daha açık görmek için, 2018-2019 yılları arasındaki 22-aylık veriden oluşan kısmi grafiği (alt kısım).

2.1. Hata metrikleri

Tahmin modellerinin performanslarını değerlendirmek için ortalama mutlak yüzde hatası (mean absolute percent error-MAPE) kullanılmıştır (Kim & Kim, 2016). MAPE metriği, meydana gelen ortalama mutlak hatanın yüzdesini temsil eder. Ölçüm ölçeğinden bağımsızdır, ancak veri dönüşümünden etkilenir. Hatanın yönünü göstermez.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{G_i}{T_i} \right| \times 100 \quad (1)$$

Burada G_i , T_i ve N sırasıyla gözlenen değer, tahmin edilen değeri ve ay sayısını göstermektedir. MAPE değeri yüzdelik olarak yapılan hatayı ifade ettiğinden dolayı küçük değerleri daha anlamlıdır.

Bu çalışmada yapılan tüm analizler açık kaynaklı, istatistiksel tabanlı, ücretsiz ve inanılmaz derecede verimli olan *RStudio* programı sürüm

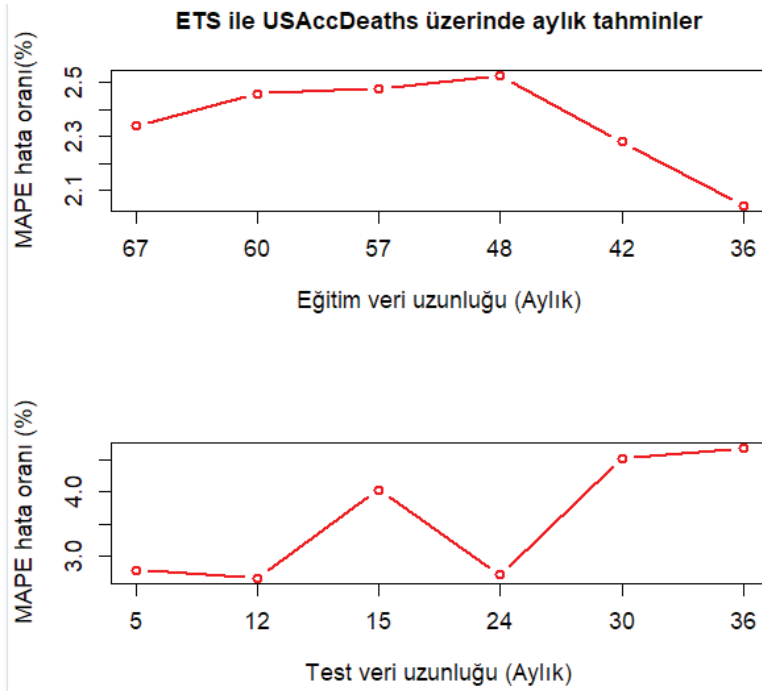
4.0.3 (2020-10-10) ortamında gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu bölümde öncelikle aylık zaman serilerinin analizi yapılmış ve ortaya çıkan sonuçlar tartışılmıştır. Analizlerde test serisi oluşturulurken, serinin elemanlarının yarısı frekansın katları olacak şekilde, diğer yarısının ise frekansın katlarından farklı olmasına dikkat edilmiştir.

Aylık tahmin işleminin ilk aşamasında *ETS*, *SNAIVE* ve *DRIFT* modelleri kullanılarak 72 kayıttan oluşan *USAccDeaths* veri seti için 6'şar adet tahmin yapıldı. Bu tahminler için eğitim verisinin uzunluğu sırasıyla 67, 60, 57, 48, 42 ve 36 aylık olarak alındı. Buna karşın test verisinin uzunluğu ise sırasıyla 5, 12, 15, 24, 30 ve 36 olarak alındı. Bu durumda tahmin için kullanılan test verisinin uzunluğu sırasıyla veri uzunluğunun %7, %17, %21%, %33, %42 ve %50 si kadardı.

ETS modeli kullanılarak *USAccDeaths* veri seti için yapılan 6 adet tahmin sonucunda eğitim/test için elde edilen *MAPE* metrik değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4: ETS modeli ve *USAccDeaths* veri seti kullanılarak eğitim ve test uzunlukları için yapılan 6 adet aylık tahminin *MAPE* değerleri

Şekil 4'te görüldüğü gibi eğitim verisi 36 aylık uzunlukta olduğunda en iyi *MAPE* değeri elde edilirken test verisinin uzunluğu 12 ve 24 aylık

iken en iyi test MAPE değerleri elde edilmiştir. En iyi test uzunlukları için MAPE değerleri, test verisinin toplam veri uzunluğunun sırasıyla %17 ve %33 kadarı iken elde edilmiştir.

Araştırma konusunu teşkil eden frekans ve katlarının tahmin üzerindeki değerleri için kullanılan *USAccDeaths* veri kümesinin test uzunlukları sırasıyla 12, 24 ve 36'dır. Buna karşın frekans katları olmayan düzensiz test verisi uzunlukları ise sırasıyla 5, 15 ve 30 dür.

USAccDeaths dataset kullanılarak ETS, SNAIVE ve DRIFT modellerinin her birisi için yapılan 6 adet tahminin uzunlukları, frekansa bağlı ve bağlı olmayan tahmin sayıları ve eğitim/test oran bilgileri Tablo II'de verilirken model bazında yapılan tahmin MAPE ortalamaları ise Tablo III'te verilmiştir.

Her bir model için yapılan 6 adet tahminin yarısı frekansın katlarına bağlı olarak test uzunluğu seçilirken diğer yarısında frekansın katlarına bağlı kalmaksızın test uzunluğu seçilmiştir.

Aynı tabloda gösterildiği gibi bu iki yaklaşımın MAPE ortalaması sırasıyla %5,92 ve %6,43 tür. Bu durumda frekans uzunluğuna bağlı olarak yapılan tahminlerin düzensiz uzunlukta yapılan tahminlerden %0,51 kadar daha az hataya neden olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo II: Tahmin işleminde ihtiyaç duyulan veri kümesi bilgilerinin detaylı gösterimi

Zaman serisi	Kayıt uzunluğu	Tahmin (Düzenli/ Düzensiz) uzunluğu	Zaman serisi başlangıç eğitim/test oranı	Zaman serisi bitiş eğitim/test oranı (%)
USAccDeaths	72	6 (3/3)	93/7	50/50
fdeaths	72	6 (3/3)	93/7	50/50
USgas	238	20 (10/10)	98/2	50/50

Tablo III: USAccDeaths zaman serisi kullanılarak her bir model için yapılan 6 ayrı düzenli/düzensiz tahminin MAPE ortalamaları

Model adı	MAPE (Düzenli tahminler- %)	MAPE (Düzensiz tahminler- %)
ETS	3,35	3,78
SNAIVE	3,90	4,30
DRIFT	10,53	11,22
Ortalama	5,92	6,43

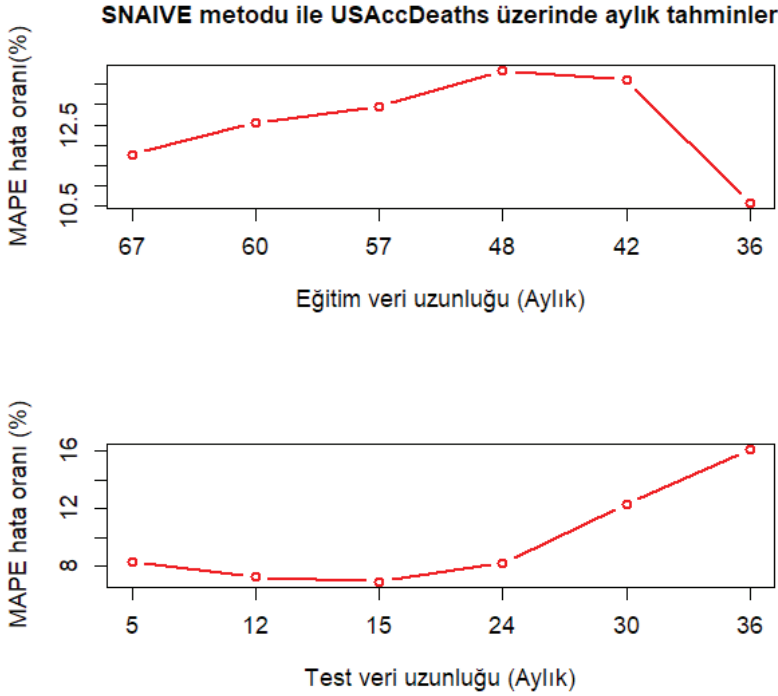
Tablo IV: Her bir zaman serisi tahmini için kullanılan üç adet modelin frekansın katlarına bağlı ve bağlı olmayan durum için elde edilen MAPE metrik ortalamaları

Veri kümesi	Frekans	Trend/ Mevsimsellik	Düzenli tahmin için MAPE değeri (%)	Düzensiz tahmin için MAPE değeri (%)	Düzenli tahmin için olumlu etki (%)
USAccDeaths	12	Yok/yıllık, mevsimsel	4,44	4,82	0,38
fdeaths	12	Yok/yıllık mevsimsel	13,49	13,67	0,18
USgas	12	Pozitif/yıllık mevsimsel	11,12	11,07	-0,05

Aylık tahmin işleminin ikinci aşamasında ETS, SNAIVE ve DRIFT modelleri ile R *datasets* kütüphanesinde yer alan 72 kayıttan oluşan aylık bir zaman serisi olan *fdeaths* için 6 farklı tahmin yapılmıştır. Tablo II’de gösterildiği gibi yapılan tahminleri 3 tanesi için test uzunluğu frekansın katları olacak şekilde seçilirken geriye kalan 3 tanesi için ise frekansın katlarından bağımsız seçilmiştir. Tablo II’de verildiği gibi test verisinin uzunluğu, tahmin uzunluğu, tüm verinin %7 ile %50 arasında değişkenlik göstermiştir.

Tahmin uzunluğu frekansın katları olarak seçildiği durumdaki işlemlerde 3 ayrı model için yapılan 18 tahminde MAPE metrik model ortalama değeri %13,49 olarak hesaplandı. Frekansın katlarının dikkate alınmadığı diğer durumda ise MAPE metrik model ortalama değeri %13,67 olarak elde edildi. MAPE metrik değerinin yüksek olması yapılan hatanın daha yüksek olduğu anlamına geldiğinden dolayı *fdeaths* veri kümesi için frekans tabanlı yaklaşımın diğer yaklaşımdan %0,18 kadar daha az hata yaptığını söyleyebiliriz.

Şekil 5’te görüldüğü gibi eğitim verisi 36 aylık uzunlukta olduğunda en iyi MAPE değeri elde edilirken test verisinin uzunluğu 12 ve 15 aylık iken en iyi test MAPE değerleri elde edilmiştir. En iyi test uzunlukları için MAPE değerleri, test verisinin toplam veri uzunluğunun sırasıyla %17 ve %33 kadar iken elde edilmiştir.

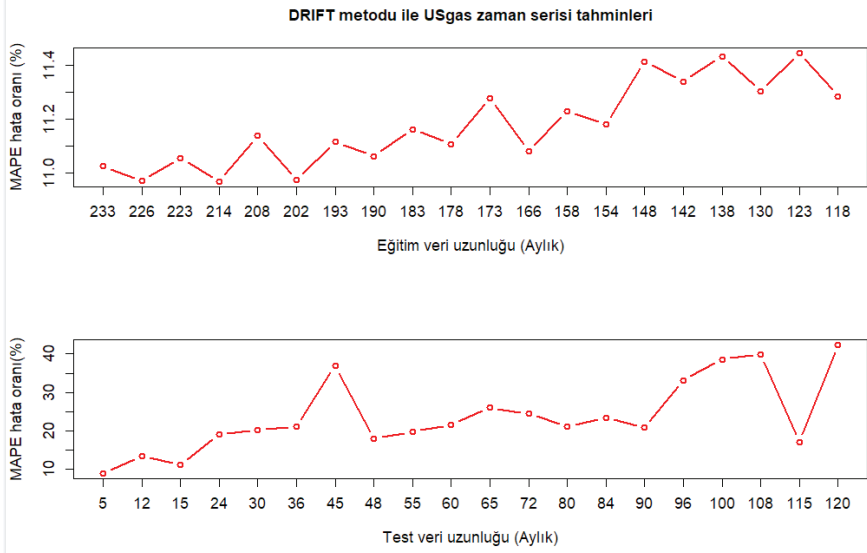


Şekil 5: SNAIVE modeli ve *fdeaths* veri seti kullanılarak eğitim ve test uzunlukları için yapılan 6 adet aylık tahminin MAPE değerleri

Aylık tahmin işleminin üçüncü aşamasında, *ETS*, *SNAIVE* ve *DRIFT* modelleri yardımıyla bilgileri Tablo I ve Tablo II’de verilen *USgas* zaman serisi kullanılmıştır.

Tahmin uzunluğu frekansın katları olarak seçildiği durumdaki işlemlerde 3 ayrı model için yapılan 9 tahminde Tablo IV’te verildiği gibi MAPE metrik model ortalama değeri %11,12 olarak hesaplandı. Frekansın katlarının dikkate alınmadığı diğer durumda ise yapılan 9 tahminde MAPE metrik model ortalama değeri 11,07% olarak elde edildi. Bu durumda *USgas* zaman serisi için frekans tabanlı yaklaşımın diğer yaklaşımdan %0.05 kadar daha fazla hata yaptığını ifade edebiliriz.

Şekil 6’da görüldüğü gibi eğitim verisi 226, 214 ve 202 aylık uzunlukta olduğunda en iyi MAPE değerleri elde edilirken test verisinin uzunluğu 5 ve 15 aylık iken en iyi test MAPE değerleri elde edilmiştir. En iyi test uzunlukları için MAPE değerleri, test verisinin toplam veri uzunluğunun sırasıyla %2 ve %6 kadar iken elde edilmiştir.



Şekil 6: DRIFT modeli ve USgas veri seti kullanılarak eğitim ve test uzunlukları için yapılan 20 adet aylık tahminin MAPE değerleri

Yapılan tüm tahmin analizlerini birlikte değerlendirdiğimizde aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Frekansı 12 olan aylık zaman serilerinin tahmin uzunluğu frekansın katları olduğu durumda MAPE metriği vasıtasıyla daha az hata yapıldığı görülmektedir.
- Çalışmada kullanılan üç adet aylık zaman serisinin ikisinde frekansa dayalı tahminin olumlu etkisi görülmüştür.
- Aylık zaman serilerinde en iyi tahminler eğilim içermeyen ancak yıllık mevsimsellik etkisi içeren *USAccDeaths* ve *fdeaths* gibi zaman serileri üzerinde elde edilmiştir.
- MAPE metriği yapılan hatayı % olarak ifade ettiğinden dolayı küçük değerleri daha iyi tahmin anlamına gelmektedir. Bu durumda aylık zaman serilerinde en iyi sonuç *USAccDeaths* kullanılarak elde edilmiştir.
- Çalışmada kullanılan üç adet aylık zaman serisinin frekansa dayalı genel MAPE ortalaması %9,68 iken frekansa dayalı olmayan MAPE tahmin ortalaması % 9,85 olmuştur. Bu durumda frekansa dayalı tahminlerin aylık zaman serileri üzerindeki olumlu etkisi, daha az hata oranı MAPE metriğine göre %0,17 olmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada istatistik tabanlı *ETS*, *SNAIVE* ve *DRIFT* zaman serisi tahmin modelleri kullanılarak açık kaynak olarak erişilebilen üç adet zaman serisi üzerinde analizler yapıldı. Modellerin performanslarını değerlendirmek için de MAPE metriğinden faydalanıldı.

Analizlerde kullanılan aylık zaman serilerinde frekansın katı olarak test uzunluğu belirlemenin tahmin performansı üzerindeki etkisi araştırıldı. Aylık olarak kullanılan üç adet zaman serisinin ikisinde frekansa-bağlı test uzunluğunun tahmin üzerindeki olumlu etkisi gözlemlendi.

Kaynaklar

- Ak, R., Fink, O., & Zio, E. (2016). Two Machine Learning Approaches for Short-Term Wind Speed Time-Series Prediction. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 27(8), 1734–1747. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2015.2418739>
- Alfaras, M., Soriano, M. C., & Ortín, S. (2019). A Fast Machine Learning Model for ECG-Based Heartbeat Classification and Arrhythmia Detection. *Frontiers in Physics*, 7(July), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphy.2019.00103>
- Atıcı, R., & Pala, Z. (2021). Prediction of the Ionospheric foF2 Parameter Using R Language Forecasthybrid Model Library Convenient Time. *Wireless Personal Communications*, (doi.org/10.1007/s11277-021-09050-6 Prediction), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-09050-6>
- Bedi, J., & Toshniwal, D. (2019). Deep learning framework to forecast electricity demand. *Applied Energy*, 238(July 2018), 1312–1326. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.113>
- Chimmula, V. K. R., & Zhang, L. (2020). Time series forecasting of COVID-19 transmission in Canada using LSTM networks. *Chaos, Solitons and Fractals*, 135, 109864. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109864>
- Gencer, K., & Başçiftçi, F. (2021). Time series forecast modeling of vulnerabilities in the android operating system using ARIMA and deep learning methods. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100515>
- Gidon, D., Pei, X., Bonzanini, A. D., Graves, D. B., & Mesbah, A. (2019). Machine Learning for Real-time Diagnostics of Cold Atmospheric Plasma Sources, (April). <https://doi.org/10.1109/TRPMS.2019.2910220>
- Homburg, A., Weiß, C. H., Alwan, L. C., Frahm, G., & Göb, R. (2021). A performance analysis of prediction intervals for count time series. *Journal of Forecasting*, 40(4), 603–625. <https://doi.org/10.1002/for.2729>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting : Principles and Practice* (2nd editio). Australia: Monash University.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*, 2(4), 230–243. <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>
- Kim, S., & Kim, H. (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3), 669–679. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.12.003>
- Kulkarni, S., Seneviratne, N., Baig, M. S., & Khan, A. H. A. (2020, January 1). Artificial Intelligence in Medicine: Where Are We Now? *Academic Radiology*. Elsevier USA. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.10.001>

- Luis, A., Maia, S., De Carvalho, F. D. A. T., & Ludermir, T. B. (2008). Forecasting models for interval-valued time series. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2008.02.022>
- Makridakis, S., Spiliotis, E., Assimakopoulos, V. (2018). Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward. *PLoS ONE*, 13(3), e0194889. Retrieved from <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0194889> <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/25091>
- Oladele, B. B., Arogunjo, A. M., & Aladeniyi, K. (2018). Indoor and outdoor gamma radiation exposure levels in selected residential buildings across Ondo state, 16(3). <https://doi.org/10.18869/acadpub.ijrr.16.2.363>
- Özgüner, E., Tör, O. B., & Güven, A. N. (2017). Probabilistic day-ahead system marginal price forecasting with ANN for the Turkish electricity market. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25(6), 4923–4935. <https://doi.org/10.3906/elk-1612-206>
- Pala, Z., Ünlük, İ. H., & Yıldız, E. (2019). Forecasting of electromagnetic radiation time series: An empirical comparative approach. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 34(8).
- Pala, Z., Yamli, V., & Ünlük, I. H. (2017). Deep Learning researches in Turkey: An academic approach. In *2017 13th International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2017 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2017.7937546>
- Pala, Z. (2019a). Using Decomposition-based Approaches to Time Series Forecasting in R Environment. *International Conference on Data Science, Machine Learning and Statistics - 2019 (DMS-2019)*, 1(1), 231–233.
- Pala, Z. (2019b). Using forecastHybrid Package to Ensemble Forecast Functions in the R. *International Conference on Data Science, Machine Learning and Statistics - 2019 (DMS-2019)*, 1(1), 45–47.
- Pala, Zeydin. (2021). Examining EMF Time Series Using Prediction Algorithms With R, 44(2), 223–227.
- Pala, Zeydin, & Atici, R. (2019). Forecasting Sunspot Time Series Using Deep Learning Methods. *Solar Physics*, 294(5). <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1434-6>
- Pala, Zeydin, & Özkan, O. (2020). Artificial Intelligence Helps Protect Smart Homes against Thieves. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11(3), 945–952. <https://doi.org/10.24012/dumf.700311>
- Pala, Zeydin, & Pala, A. F. (2020). Perform Time-series Predictions in the R Development Environment by Combining Statistical-based Models with a Decomposition-based Approach. *Journal of Muş Alparslan University Faculty of Engineering and Architecture*, 1(1), 1–13.

- Pala, Zeydin, & Şana, M. (2020). Attackdet: Combining web data parsing and real-time analysis with machine learning. *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, 6(1), 37–45. <https://doi.org/10.20474/jater-6.1.4>
- Rob J. Hyndman, & Yeasmin Khandakar. (2008). Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*, 27(3), 22. Retrieved from <http://www.jstatsoft.org/v27/i03/paper>
- Shen, Z., Zhang, Y., Lu, J., Xu, J., & Xiao, G. (2020). A novel time series forecasting model with deep learning. *Neurocomputing*, 396, 302–313. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.12.084>
- Smyl, S. (2020). A hybrid method of exponential smoothing and recurrent neural networks for time series forecasting. *International Journal of Forecasting*, 36(1), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.03.017>
- Somu, N., Raman M R, G., & Ramamritham, K. (2021). A deep learning framework for building energy consumption forecast. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137(October 2020), 110591. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110591>
- Sorkun, M. C. (2018). *Time Series Forecasting on Solar Radiation using Deep Learning*. Galatasaray University.
- Ünlük, İ. H., & Pala, Z. (2019). Prediction of monthly electricity consumption used in Mu ş Alparslan University Complex by means of Classical and Deep Learning methods. *International Conference on Data Science, Machine Learning and Statistics - 2019 (DMS-2019)*, 1(1), 237–239.
- van Assen, M., Muscogiuri, G., Caruso, D., Lee, S. J., Laghi, A., & De Cecco, C. N. (2020). Artificial intelligence in cardiac radiology. *Radiologia Medica*, 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s11547-020-01277-w>
- Villani, M., Earnest, A., Nanayakkara, N., Smith, K., De Courten, B., & Zoungas, S. (2017). Time series modelling to forecast prehospital EMS demand for diabetic emergencies. *BMC Health Services Research*, 17(332), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12913-017-2280-6>
- Yaldız, E., & Pala, Z. (2019). Time Series Analysis of Radiological Data of Outpatients and Inpatients in Emergency Department of Mus State Hospital. *International Conference on Data Science, Machine Learning and Statistics - 2019 (DMS-2019)*, 234–236.
- Zhang, Y., Luo, L., Zhang, F., Kong, R., Yang, J., Feng, Y., & Guo, H. (2020). Emergency patient flow forecasting in the radiology department. *Health Informatics Journal*. <https://doi.org/10.1177/1460458220901889>

Bölüm 6

DOĞAL TAŞ İNCE ARTIKLARINDAN KİLİTLİ BETON TUĞLA ÜRETİMİ İŞ FİKRİ

Hakan ELÇİ¹

Ramazan HACIMUSTAFAOĞLU²

Zülfü DEMİRKIRAN³

İlker ÖZKAN⁴

1 0000-0003-2945-2548-Hakan Elçi, Doç. Dr. DEÜ, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Geoteknik Programı, İzmir, Türkiye

2 0000-0002-2054-6559-Ramazan Hacimustafaoğlu, Öğr. Gör. Dr. DEÜ, TMYO, D. Y. Taşları Tek. P. İzmir, Türkiye

3 0000-0001-9507-2864-Zülfü Demirkıran, Dr. Öğr. Üyesi. DEÜ, TMYO, Sondaj Teknolojisi Programı, İzmir, Türkiye

4 0000-0002-7506-5795- İlker Özkan, Doç. Dr. DEÜ, TMYO, Endüstriyel Cam ve Seramik Programı, İzmir, Türkiye

1. Giriş

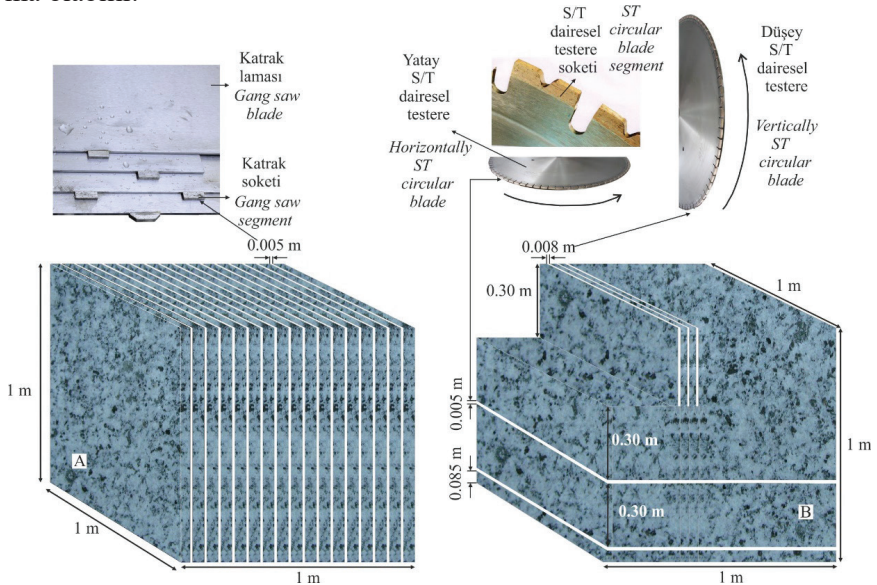
Ülkemiz, sahip olduğu doğal taş rezervleri ile doğal taş madenciliği konusunda dünyanın önde gelen ülkelerindedir. Son beş yıllık doğal taş üretimi ortalaması 17 milyon ton/yıl'dır (Mapeg, 2021). Bu üretimin % 20 -30'luk bölümü ham blok olarak ihraç edilirken geri kalanı (12- 13,6 milyon ton/yıl) ülkemizin doğal taş rezervlerinin bulunduğu yakın bölgelerdeki (İzmir, Afyon, Muğla, Denizli, Isparta, Burdur, Diyarbakır) doğal taş işleme tesislerinde (DTİT) katrak ve S/T makinalarında kesilip, plaka veya levha (Şekil 1) haline getirilerek yarı işlenmiş ürün olarak değerlendirilirler. Kesim işlemi sonrası DTİT'lerde geriye % 40 oranında bir artık kalmaktadır (Elçi ve diğ. 2017). İzmir'in Torbalı-Kemalpaşa ilçeleri arasındaki bölge, sanayi bölgesi ve İzmir limanına yakın olması nedeniyle ile DTİT'ler tarafından tercih edilen bir bölgedir. Bölgede 14 adet DİTT faaliyet göstermektedir. Bu çalışma kapsamında bölgede yer alan DTİT'ler ziyaret edilerek, bölgedeki DTİT'lerinin artık türünü ve miktarını belirlemek için DTİT'lerin bu artıklar yerinde gözlemlenmiş ve DTİT'lerin artıkları nasıl değerlendirdikleri belirlenmiştir. Saha çalışmalarında, bölgede yer alan 14 DTİT'sinden 13'ünün karbonat kökenli (kireçtaşı ve mermer) ve bir DTİT'ninde sert taş (granit) işlediği, 1 m³'lük bir doğal taş bloğunun kesimi ve işlenmesi sonrası geriye % 40 oranında bir artık (Şekil 2) kaldığı görülmüştür. Bölgedeki 14 DTİT'sinde her yıl 108 ile 134 bin ton arasında artık ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu artıkların da % 75'inin (ham blokların katrak ve S/T makinalarında kesimi sonrasında ortaya çıkan ve 150 µm daha küçük mineral parçalarından oluşan ince artıklar (Şekil 3C, B ve D) ve % 25'inin de boyutları birkaç cm ile birkaç 10 cm arasında değişen ve nadiren birkaç metreyi bulan boyutlandırma işleminden arta kalan kayaç parçaları olan iri artıklar olduğu (Şekil 3A) belirlenmiştir. Sert taş işleyen tesisin iri artıklarının tekrar boyutlandırılarak parke taşı ve agrega olarak değerlendirilebildiği, diğer tesislerdeki karbonat kökenli iri artıkların ise çok azının paledyen, gabion ve tanburlanmış taş olarak değerlendirilemediği, ince artıkların ise hiçbir şekilde değerlendirilemediği tespit edilmiştir.

DTİT'leri, ince artıkları tesisten nakliye ile uzaklaştırarak bölgede yer alan bir dere yatağına bertaraf etmektedir. Bu bertaraf işlemi DTİT'lere taşıma maliyeti olarak geri dönmemesinin yanı sıra bertaraf edilen yerlerin sınırlı olması, bu işlemin kontrolsüz bir şekilde yapılması çevresel sorunlara neden olmaktadır. Yağışlı mevsimlerde ince artıkların bertaraf edildiği derenin artan debisi ile ince doğal taş artıkları suyla birlikte taşınmakta ve daha geniş bir alana yayılmakta, yaz aylarında suyunu kaybeden ince artıklar rüzgâr ile taşınabilmekte ve bölgedeki zeytin ve üzüm bağlarının doğal yaşam gereksinimlerini sınırlandırmaktadır. Ayrıca Torbalı ovasının yeraltı suyunu besleyen bu dere suyuna karışan karbonat kökenli ince artıklar yeraltı suyunun sertleşmesine neden olmaktadır (Şimşek ve diğ., 2005).

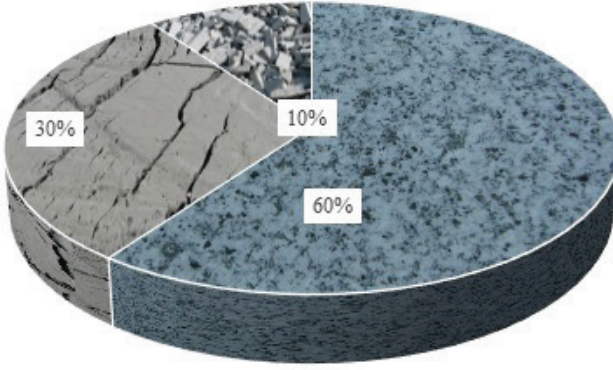
Ülke genelinde doğal taş işletme artıklarının hammadde olarak kullanılabilceği bir iş modeli henüz geliştirilmemiştir. Konu ile ilgili çalışmalar ise akademik düzeyde gerçekleştirilmiş, artıkların betonda, tuğlada kullanılabilirliği ile ilgili yapılmış TÜBİTAK destekli projeler ve yayınlardır. Bunun dışında Muğla, Yatağan bölgesinde yerel yönetimin desteği ile kurulan kırma taş tesisi, yöredeki doğal taş işleme tesislerinin ve yakın doğal taş ocaklarının iri artıklarını kırma taş boyutuna indirgeyerek dolgu malzemesi ve beton üretiminde kullanılacak ikincil hammaddeye (agregaya) dönüştürülmektedir (Milliyet, 2014).

Avrupa'da ise doğal taş tesislerinin ince artıklarına yönelik Avrupa birliği destekli bir proje (Sasies, 2019) İtalya'nın Santamargherita bölgesindeki doğal taş işleme tesislerinin ince artıklarının, inşaat endüstrisinde dolgu malzemesi, tuğla, çimento ve asfalt üretimine uygun olduğunu rapor edilmiştir.

Diğer proje yine Avrupa birliği destekli Filistin taş endüstrisi ince atıklarına yöneliktir. (Horizon, 2020) Projenin ön bulgularında doğal taş ince artıklarının gazbeton, beton tuğla, kiremit ve blok ve hazır betona üretimine uygun olduğu ifade edilmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2019 yılı itibari ile başlattığı doğal taş ocak ve fabrika artıkların değerlendirilmesine yönelik projesi iş fikri ile oldukça uyumludur (İMİB, 2019). İş fikrinin hayata geçirilmesi durumunda ilgili bakanlığın bu projesine öncü olabilecek pilot bir uygulama olabilir.



Şekil 1. Doğal taş ham blokların katrak ve S/T makinalarında kesimi (Elçi ve diğ., 2017).



Şekil 2. Bir m³'lük ham bloğun kesimi ile ortaya çıkan artık ve yarı işlenmiş ürün miktarları (Elçi ve diğ., 2017).



Şekil 3. Doğal taş işleme tesislerinde ham blokların boyutlandırılmasından geriye kalan iri artıklar (A) ve kesimden sonra ortaya çıkan ince artıkları (C, B ve D).

Doğal taş bloklarının kesiminden ortaya çıkan ince artıkların değerlendirilmesine yönelik olarak yapılmış çok sayıda akademik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar içerisinde en iyi sonuçların alındığı çalışmalar artıkların beton üretimine belirli oranlarda (% 10- 20) kullanılmasıdır. Bu boyuttaki (0-150 µm) malzemenin beton üretiminde ince malzeme olarak

kullanılması, hem taze betonun işlenebilirliğine hem de sertleşmiş betonun erken yaştaki dayanımına olumlu etkileri olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte uygulanabilirliği noktasında birkaç zorluk kaçınılmazdır. İlki doğal taş işleme tesislerinin mevcut beton santrallerine olan uzaklığıdır. Doğal taş kesim artıklarının beton santrallerine taşınması oldukça maliyetli olacaktır. Diğer bir neden beton santralleri ham madde sürekliliğini sağlamak için genelde kırma taş ocaklarında ya da çok yakınında kurulan tesislerdir. Buradaki amaç betonun hacimce % 75'ini oluşturan agrega nakliye maliyetini en aza indirmektir. Kırmataş ocaklarında agrega, gerek ana kayadan patlatma yöntemi ile koparılırken gerekse kırıcılarda farklı çaplara indirgenirken, kontrol edilemeyen bir ince malzeme ortaya çıkar. Diğer bir değişle kırmataş ocaklarında santralin beton üretimi için ihtiyaç duyduğu ince agrega miktarından çok daha fazlası üretir. Böyle bir durumda beton santralleri için doğal taş işletme tesislerinin ince artıkları cazip bir hammadde kaynağı değildir. Bu nedenle doğal taş kesim artıkları beton ya da başka bir ürüne düşük oranda hammadde girdisi olarak değil, sadece bu boyuttaki malzemenin çimento ile bağlanması ile elde edilecek ve nakliye gibi ek masrafı olmadan bir ürüne dönüştürülmesi düşünülmüştür. Bu amaç için kesim artıkları briket karışım oranlarında su ve çimento ile karıştırılıp sıkıştırılarak, inşaat sektöründe duvar üretmek amacıyla kullanılan tuğla, bims ve gaz betona alternatif olabilecek, kilitli beton tuğla üretilmiştir.

2. İş Fikri Hedef Sektörü ve Sektörün Genel Durumu

İş fikri ile ortaya çıkacak ürün inşaat sektörüne yönelik bir yapı malzemesidir. Sektör şu anda bu ihtiyacı, tuğla (delikli ve dolgu), bims briket veya bims blok, gaz beton ve son yıllarda piyasaya yeni giren bims agregalı ve ekstra yalıtım özelliği olan izoduo adı ile üretilmekte olan yalıtımlı blok ile karşılamaktadır.

Türkiye’de duvar üretiminde kullanılan yapı malzemesinin % 90-95’i tuğla, bims blok ve gaz betondur. Bu kullanım oranında en büyük payı kilden pişirilerek üretilen tuğlalar alır (Yapı 2021). 2008 yılı Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Raporuna göre ülke genelinde 376 adet tuğla fabrikası bulunmaktadır. Bu sayı 2011 yılında 350 ye ve 2013 yılında ise 300 e gerilemiştir. Sektöre, tuğlaya göre yalıtımlı yeni ürünlerin (gaz beton, bims blok ve yalıtımlı blok) girmesi, tuğla hammaddesinin coğrafî konumu, tuğlanın ağır ve hacimli yapıda olmasından dolayı uzak mesafelere nakliye masraflarının eklenmesi tuğla fabrikaların rekabet gücünü azaltmıştır. 2013 yılında yapı malzemesi sektöründe 140 milyon m² tuğla tüketilmiştir (DPT, 2008).

Pomzanın agrega olarak kullanılması ile üretilen bims briketler ve bloklar tuğladan sonra en çok kullanılan ikinci üründür. Bims briket ve

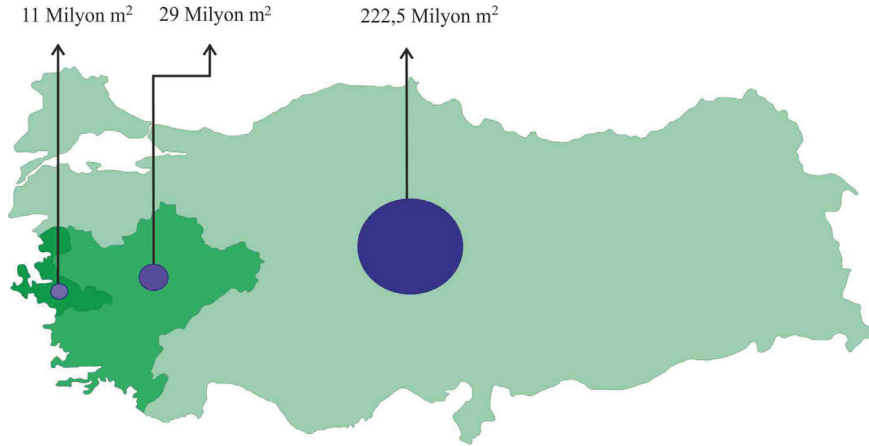
blok sektöründe toplamda 100 firma üretim yapmaktadır. Pomza madeninin İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde bulunması üretimin bu bölgelerde yoğunlaşmasına neden olmuştur. 2013 yılında yapı malzemesi sektöründe 60 milyon m² bims blok tüketilmiştir.

Tuğla ve bimslere göre daha hafif olan ve daha iyi yalıtım özelliğine sahip olan gaz beton üretimi yapan 5 firma bulunmaktadır. 2013 yılında yapı malzemesi sektöründe 20 milyon m² gaz beton tüketilmiştir.

Pomza ve termik santral atığının genişletilmiş polistiren sert köpük ile birleştirilmesi ile izoduo adıyla üretilen yalıtımlı bloklar, sektördeki yeni sayılabilecek bir üründür. Girişimci bir ekibin Eskişehir’de başlatmaları ve TÜBİTAK destekli bu iş fikri, tuğla ve bims bloklara göre daha hafif ve daha iyi yalıtım özelliği nedeniyle kısa sürede sektörde kendine yer edinebilmiştir. 2013 yılında yapı malzemesi sektöründe 2,2 milyon m² yalıtımlı blok tüketilmiştir. 2013 yılı verilerine göre çok katmanlı duvar yapı malzemesi pazar analizi Tablo 1’de ve Şekil 4’de verilmiştir

Tablo 1. 2013 verilerine göre sektör analizi

Ürün	Firma Sayısı	Tüketim (milyon, m ²)	Pazar payı (%)	Pazar Değeri (milyon, TL)
Tuğla	300	140	64	157,5
Bims	100	60	26	65
Gaz beton	5	20	9	22,5
Yalıtımlı blok	1	2,2	1	2,5

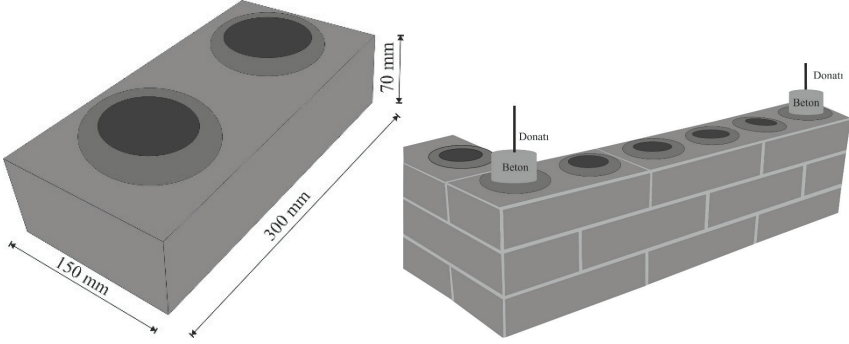


Şekil 4. 2013 yılı verilerine göre Türkiye, Ege bölgesi ve İzmir’de çok katmanlı duvar yapı malzemesi tüketimi.

2. Kilitli Beton Tuğla ve Duvar Uygulaması

Kilitli beton tuğla, kilden yapılma ve pişirilerek üretilen delikli dolu

tuğlaya benzerdir (Şekil 4). Bu tasarım kil esaslı delikli ve dolu tuğlaya kıyasla daha az harç gereksinimi duyar ve uygulamada kullanım daha pratiktir. Ayrıca donatı ile kullanım sağladığı için yük taşıyıcı görevi de üstlenebilir (Şekil 5).



Şekil 4. Tasarlanan kilitli beton tuğla Şekil 5. Kilitli beton tuğla ile duvar tasarımı

3. Materyal ve Metot

3.1. Materyal

İş fikri için Torbalı-Kemalpaşa (İzmir) ilçeleri arasındaki bölgede yer alan ve çoğunlukla sert taş (granit) işleyen DTİT'sinin ince artıkları kullanılmıştır. Tesisin çökeltme havuzundan alınan granit kesim artıkları kurutularak çalışma için hazırlanmıştır. Çalışmada bağlayıcı olarak gri renkli CEM 1 42.5 R portlant çimentosu ve su kullanılmıştır (Şekil 6). Çalışmada kullanılan çimentonun özellikleri ve TS EN 197-1 (TSE, 2012)'e uygunluğu Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Kilitli beton tuğla üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım oranları.

Tablo 2. Kilitli beton tuğla üretiminde kullanılan CEM I 42,5 çimentosunun özellikleri

Çimento Özelliği	CEM I 42,5 R	TS 197-1
Kimyasal Özellikler		
MgO (%)	1,53	-
Na ₂ O (%)	0,46	-
K ₂ O (%)	0,73	-
SO ₃ (%)	2,87	≤ 4,0
Kızdırma Kaybı (%)	3,44	≤ 5,0
Cl-Klor (%)	0,006	≤ 0,10
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,35	≤ 5,0
C ₃ S-Trikalsiyum silikat (%)	70,33	-
C ₂ S-Dikalsiyum silikat (%)	0,14	-
C ₃ A-Trikalsiyum alüminat (%)	6,65	-
C ₄ AF-Tetrakalsiyum (%)	10,23	-
Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,13	-
Özgül Yüzey (g/cm ²)	3370	-
İncelik (0,090 mm elek üstü malzeme %'si)	0,6	-
Hacim Sabitliği (mm)	0,5	≤10
Priz süresi (dk)	Başlangıç: 170 dk	≥ 60
	Sona Erme: 270 dk	-
Basınç Dayanımı (MPa)		
2 gün	31,45	≥18
7 gün	43,40	-
28 gün	55,15	42,5-62,5 MPa

3.2. Metot

Çalışma üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada granit ve granit çamurunun mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada granit çamurunun malzeme özellikleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise granit çamurundan üretilen sıkıştırılmış betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Granit çamurunun mineralojik ve petrografik özellikleri için hem grannitten hem de araldit (epoksi) emdirilmiş granit çamurundan ikişer adet ince kesit hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitlere TS EN 12407 (TSE, 2019)'a göre Olympus BX41 marka polarizan mikroskopta çift nikol 10X büyütmede petrografik analiz yapılarak mineral yüzdeleri belirlenmiştir.

Granit ve granit çamurunun kimyasal özellikleri ise Acme Laboratuvarında (Kanada) Endüktif Eşleşmiş Plazma Emisyon Spektrometresi (ICP-ES) metodu kullanılarak ana oksitleri (%) belirlenmiştir.

İş fikri için kil esaslı ve pişirilerek üretilen tuğla (Şekil 4) 1/3 oranında küçülterek autocad programında yeniden çizilmiştir. Çizilen yeni boyutta göre kalıp yaptırılmıştır. Yaptırılan kalıp laboratuvar tipi el kontrollü pres ile kullanılacağından çok parçalı olarak tasarlanmıştır. DTİT'nin çökeltme havuzundan alınan granit çamuru önce 105 °C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan granit çamuru Los Angeles parçalanma deney tamburunda 12 bileye yükü ile 150-200 devir yaptırılarak tüm toprakların dağılması sağlanmıştır.

Kurutulmuş ve topraklarından ayrılmış granit çamurunun tane çapı dağılımı TS EN 933-1 (TSE, 2012)'e göre ve tane yoğunluğu TS EN 1097-6 (TSE, 2013)'e göre belirlenmiştir. Gevşek yığın yoğunluğu ve yığının boşluk yüzdesi ise TS EN 1097-3 (1999)'a göre belirlenmiştir. Kil minerallerinin varlığı metilen mavisi deney yöntemi ile TS EN 933-9'A1 (TSE, 2014)'e göre, organik maddelerin varlığı da renk deneyi ile TS EN 1744-1+A1 (TSE, 2013)'e göre belirlenmiştir. Alkali silika reaksiyonu deneyi CANADA CSA 23.2-25A'ya (2014) göre yapılmıştır. Son olarak granit çamurunun kıvamı TS 1900-1 (TSE, 2006)'ya göre belirlenmiştir.

Daha sora kuru granit çamuru, 0,50 su/çimento oranında (Şekil 6) karıştırılarak nemli harç haline getirilmiştir (Şekil 7A). Bu harç, yüzeyleri yağlanmış kilitli beton tuğla kalıbına yerleştirilerek (Şekil 7B) el tipi pres de cm²'ye 145 kgf basınç gelecek şekilde sıkıştırılmıştır (Şekil 7C). Kalıptan çıkarılan betonlar (Şekil 7D) 1 gün laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. 1 gün sonra betonlar 20 °C de kirece doygun su ile dolu bir kaba kütleme işlemi için yerleştirilmiştir (Şekil 7E).

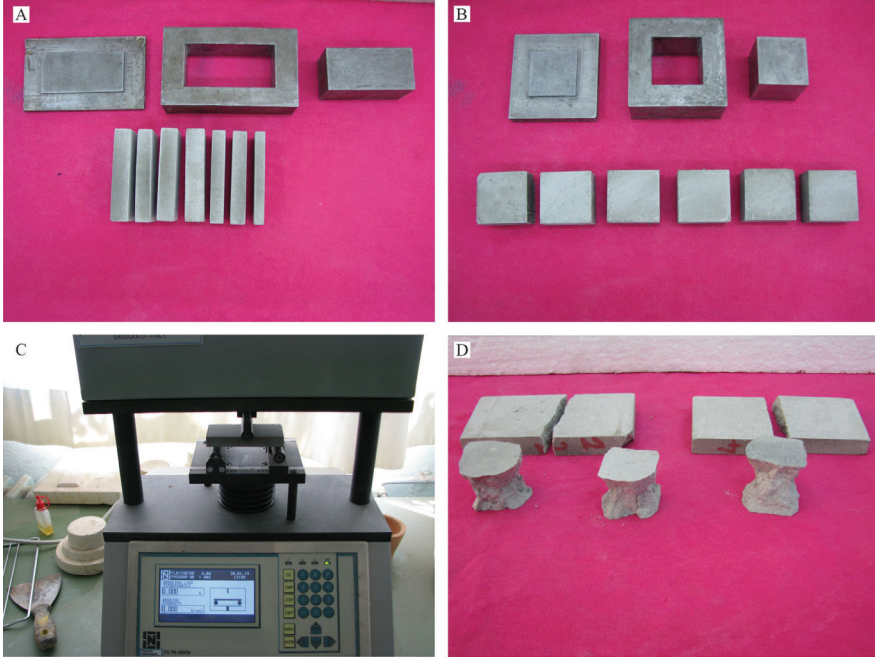
Granit çamurundan üretilen kilitli beton tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kare ve dikdörtgen hazneleri olan kalıplar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kalıplar ile kuru granit çamurundan hazırlanan harçtan aynı yükte sıkıştırılarak 5x5x5 cm ve 2x5x10 cm ölçülerinde küp ve dikdörtgen şekilli beton deney numuneleri üretilmiştir (Şekil 8 A ve Şekil 8 B).

Kalıptan çıkarılan betonlar 1 gün laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Ertesi gün betonlar kütleme işlemi için 20 °C de kirece doygun su ile dolu kaba yerleştirilmiştir. Üretilen beton deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla TS EN 771-3+A1 (TSE, 2005), "Beton kâgir birimler" standardına göre fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 7. Kilitli beton tuğla üretim aşamaları. (A) granit çamuru, çimento ve su ile hazırlanmış harç (B) Tasarlanan çok parçalı kalıp (C) manuel kontrollü pres (D) Sıkıştırılmış ve kalıptan çıkarılmış taze kilitli beton tuğlalar (E) Kürleme işlemi, (F) 28 günlük kilitli beton tuğlalar.

Kürlenen deney numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük yaşlarda TS EN 772-1+A1 (TSE, 2005)'e göre basınç dayanımları ve TS EN 772-6 (TSE, 2015)'e göre de eğilmede çekme dayanımları belirlenmiştir. Birim hacim kütlesi, porozitesi ve su emmesi ise TS EN 772-4 (TSE, 2000)'e göre belirlenmiştir. Ek olarak sertleşmiş beton numunelerinin kuru ve suya doygun şartlarda TS EN 14579 (TSE, 2006)'a göre ses hızı ilerlemesi belirlenmiştir.



Şekil 8. Fiziksel ve mekanik testler. (A) Eğilmede çekme deneyi numuneleri ve kullanılan kalıp (B) Basınç dayanımı deney numuneleri ve kullanılan kalıp (C) Eğilmede çekme deney aleti (D) Eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyi uygulanmış 28 günlük beton numuneler.

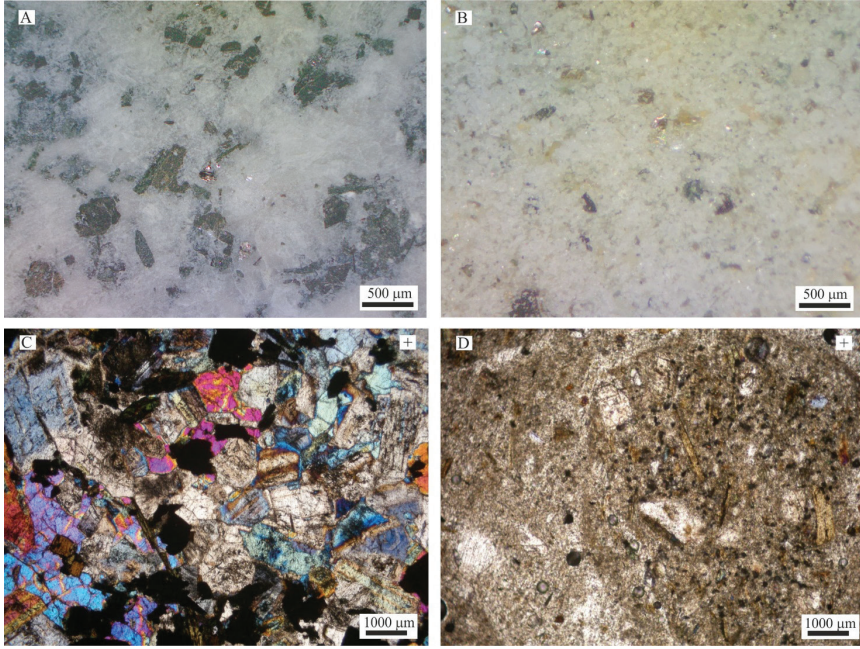
4. Granit Çamurunun Özellikleri

4.1 Granit Çamurunun Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Granitin parlatılmış yüzeyinin ve kuru granit çamurunun (ince artıklar) Olympus SZ61 marka mikroskopla elde edilen stereoskopik görüntüsü sırasıyla Şekil 9 A ve B’de verilmiştir. Şekil 9 A’da açık renkli bölgeler graniti oluşturan olası plajiyoklaz, feldspat ve kuvars minerallerini koyu renkli bölgeler ise biyotit ve opak mineralleri temsil eder. Granitin kesimi sonrası ortaya çıkan ince artıklar (granit çamuru) (Şekil 9 B) 150 µm küçük mineral parçalarıdır. Açık renkli taneler olası plajiyoklaz, feldspat ve kuvars minerali parçalarını, koyu renkli taneler ise biyotit ve opak minerali parçalarını temsil eder.

Granit ve aralditle bağlanarak sertleştirilmiş granit çamurundan hazırlanan ince kesitler polarizan mikroskopta incelenmiş ve her ikisinin de modal analizi Tablo 3’de verilmiştir. Granit bolluk sırasına göre plajiyoklaz, kuvars, feldspat, amfibol, biyotit ve opak minerallerinden oluşmuştur (Şekil 9 C). Granit çamurunda bu minerallerden (plajiyoklaz, feldspat ve kuvars) ancak % 5’i tanımlanabilmiştir. Geri kalan kısım, kesim işlemin-

den dolayı kristal yapısı bozulmuş, kısmen okside olmuş ve optik özellikler sergilemeyen taneli bir matriksten oluşur (Şekil 9 D).



Şekil 9. Granitin (A) ve granit çamurunun (B) stereoskopik görüntüsü. Granit (C) ve granit çamurunun (D) ince kesit görüntüsü. +: çift nikol.

Tablo 3. Granit ve granit çamurunun modal analizi

Mineral (%)	Granit	Granit çamuru
Plajiolklas	46	3
Kuvars	21	1
Feldispat	15	1
Amfibol	13	-
Biotit	3	-
Opak	2	-
Matriks		95
Toplam	100	100

4.2 Granit Çamurunun Kimyasal Bileşimleri

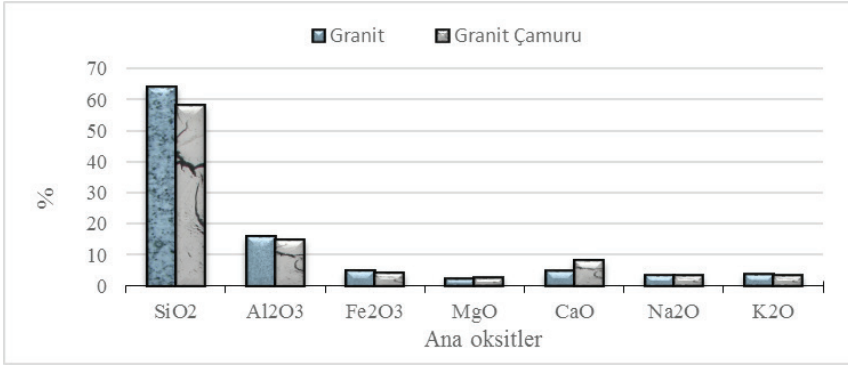
Granit çamurunun kimyasal özellikleri granitin kimyasal özelliklerine oldukça yakındır. Fakat iş fikrinde artıkları kullanılan DTİT'in de az da olsa granit ile birlikte karbonat kökenli doğal taşlarda boyutlandırıldığı-

dan granit ince artıklara karbonat bileşimli ince artıklar karışmıştır. Bu karışım nedeni ile granit çamuru granite nazaran daha az oranda SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve daha yüksek oranlarda MgO , CaO ve kızdırma kaybı değerlerine sahiptir (Tablo 4 ve Şekil 10).

Tablo 4. Granit ve granit çamurunun ana oksit yüzdeleri

No	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cr_2O_3	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	*KK Top.	
	%											ppm					%			
1	63,94	15,77	4,97	2,22	4,67	3,39	3,58	0,60	0,26	0,07	<0,002	632	16	638	145	28	4	10	0,48	99,95
2	58,24	14,77	4,25	2,54	8,20	3,29	3,20	0,59	0,26	0,07	0,007	995	31	605	150	19	10	11	4,3	99,91

1: Granit, 2: Granit çamuru, KK: Kızdırma kaybı, Top: Toplam



Şekil 10. Granit ve granit çamurunun ana oksit yüzdeleri

4.3 Granit Çamurunun Malzeme Özellikleri

Kuru granit çamuru gri renkli ve çok ince tanelidir. Tanelerin % 55'i 45 μm altındadır (Şekil 11). Granit çamuru bu tane çapı dağılımı ile çimentonun tane tane çapı dağılımına çok yakındır. Kuru granit çamurunun yığın yoğunluğu 1165 kg/m^3 'dür. Bu yığınında % 57'si boşluklar oluşur. Organik madde ve kil mineralleri içermez. Bu nedenle granit çamuru plastik özellik göstermez daha çok, çok ince taneli agrega özelliğindedir (Tablo 5).

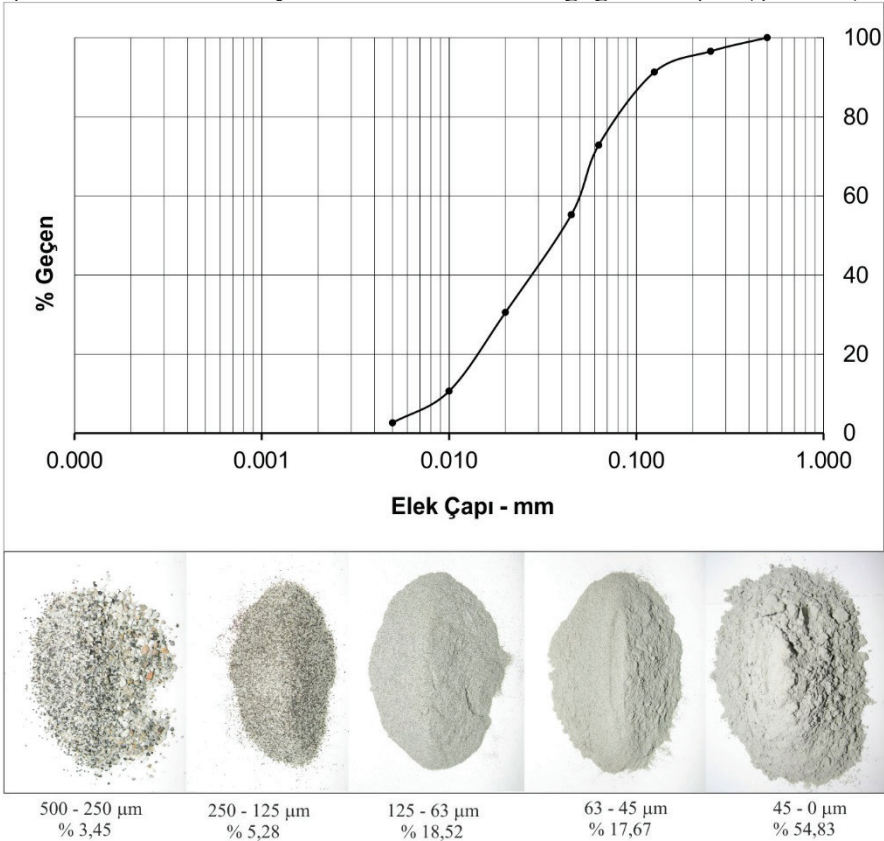
Tablo 5. Granit çamurunun malzeme özellikleri.

Özellik	Tane Çapı	n	Granit çamuru	Standart
Tane yoğunluğu (kg/m^3)	0-150 μm	3	2725 \pm 3	TS EN 1097-6
Gevşek yığın yoğunluğu (kg/m^3)	0-150 μm	3	1165 \pm 23	TS EN 1097-3
Boşluk yüzdesi (%)	0-150 μm	3	56,95 \pm 0,5	TS EN 1097-3
Metilen Mavisi (g/kg)	0-150 μm	3	0,28 \pm 0,05	TS EN 933-9

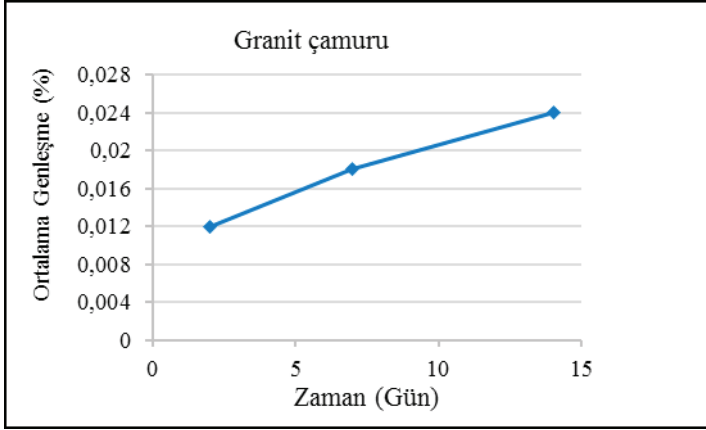
Organik madde tayini	0-150 µm	3	Renksiz	TS EN 1744-1
Likit Limit (%)	0-150 µm	3	Plastik değil	TS 1900 - 1
Plastisite İndisi (%)	0-150 µm	3	Plastik değil	TS 1900 - 1

4.4 Granit Çamurunun Alkali Silis Reaksiyonu

Alkali silis reaksiyonu deneyi granit çamurunun (0-150 µm) tane boyutuna CANADA CSA 23.2–25A'ya (2014) göre yapılmıştır. Karışımı hazırlamak için alkali içeriği % 0.6'dan büyük olan CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır. 0-150 µm agrega/çimento ve 0,50 su/çimento oranında hazırlanan karışım 25 x 25 x 285 mm boyutlarındaki harç çubukları kalıplarına dökülmüştür. Çubuklar 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve saf suda bekletilmiştir. 24 saat suda bekletilen çubukların boy ölçümleri alınmıştır. Daha sonra 80 °C sıcaklıkta NaOH çözeltisine daldırılan çubukların, 2 gün, 7 gün ve 14 günlük boy ölçümleri alınarak genleşme % değerleri hesaplanmıştır. 14 günün sonunda beton çubukların boyca genleşme değerleri limit değer olan % 0,15'in altında kaldığı, böylelikle granit çamurunun alkali silis yönünden reaktif olmadığı görülmüştür (Şekil 12).



Şekil 11. Granit çamurunun tane çapı dağılımı



Şekil 12. Harç çubukları genleşme değerleri

5. İş Fikri Ürünü, Kilitli Beton Tuğlanın Malzeme Özellikleri

Piyasadaki alternatifleri pişmiş kil içerikli iken iş fikri sonucu ile üretilen ürün çimentonun tane boyutuna yakın ince malzemenin çimento ve su ile sıkıştırılarak bağlanması esasına dayanır. İş fikri sonucu elde edilen kilitli beton tuğlanın porozitesi % 37, birim hacim kütlelerini 1700 kg/m³'tür. Ürün % 20 oranında su emme kapasitesine sahiptir. Ses hızı iletimi 1061 m/s'dir. Ürünün 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı sırayla 2,6 ve 18 MPa'dır (Tablo. 6 ve Tablo 7).

Tablo 6. Kilitli beton tuğlanın fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	n	Standart
Boşluklu birim hacim kütle (kg/m ³)	1701 ± 10	6	TS EN 772-4
Görünen porozite (%)	32,57 ± 0,94	6	TS EN 772-4
Boşluksuz birim hacim kütle (kg/m ³)	2701 ± 5	6	TS EN 772-4
Toplam porozite (%)	36,88 ± 0,16	6	TS EN 772-4
Su emme (%)	19,57 ± 0,94	6	TS EN 772-4
Ses hızı ilerlemesi (m/s) kuru	1254 ± 46	6	TS EN 14579
Ses hızı ilerlemesi (m/s) kuru	1061 ± 6	6	TS EN 14579

Tablo 7. Kilitli beton tuğlanın mekanik özellikleri

Özellik	2. gün	7. gün	28. gün	n	Standart
Basınç dayanımı (MPa)	4,94 ± 0,46	9,97 ± 0,46	17,74 ± 1,14	6	TS EN 772-1+A1
Eğilme dayanımı (MPa)	0,29 ± 0,07	1,32 ± 0,19	2,63 ± 0,22	6	TS EN 772-6

6. Sonuçlar

İş fikri sonucu elde edilen kilitli beton tuğla oldukça yüksek sayılabilecek bir poroziteye sahiptir. Porozitenin yüksek olması, ürünün birim hacim kütlelerini oldukça düşürmüştür. Düşük birim hacim kütleleri, yüksek porozite ile doğrudan ilişkili olan düşük ses hızı iletimi aynı zamanda yalıtım özelliği iyi olan bir yapı malzemesine işaret eder.

Cem I 42,5 çimento kullanılarak elde edilen ön prototipler ile yapılan testlerde ürün oldukça gözenekli düşük birim hacim ağırlıklı çok katmanlı duvar yapı malzemesidir. 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı sırayla 2,6 ve 18 MPa'dır. Bu özellikleri dolgulu tuğla özelliklerine benzerdir. Bununla birlikte ürünün termal ve akustik özelliklerindeki belirlenmesi gerekmektedir. Yapılacak yeni çalışmalar ile farklı tipte çimento kullanarak ve dayanımı artırıcı özellikte katkı kullanılarak elde edilen bu değerlerden daha yüksek dayanım değerleri elde etmek mümkündür. Ayrıca bu malzeme alkali silika reaksiyonu yönünden risk teşkil etmez.

İş fikri ile ülke genelinde büyük ölçekte faaliyet gösteren DTİT'leri kendi bünyelerinde kuracakları küçük çaplı bir tesis ile Torbalı (İzmir) gibi belirli bölgelerde yoğunlaşan küçük ölçekli DTİT'leri de yerel yönetimlerin öncülüğünde ortak bir tesis aracılığı ile doğal taş ince artıklarını kilitli beton tuğla gibi bir yapı malzemesine dönüştürebilirler.

Teşekkür

Yazarlar olarak iş fikrine verdikleri katkıdan ve gösterdikleri ilgiden dolayı Medmar Stone Inc,'e firması yetkilerine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Mapeg, 2021. Maden istatistikleri. http://www.mapeg.gov.tr/maden_istatistik.aspx
- Elçi H., Hacımustafaoglu R., Yılmaz M., Yılmaz Ö., 2017. Ham Madde Kaynağı Olarak Doğal Taş Artıkları, Torbalı – İzmir Örneği. Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler Kitabı. 1029-1042. 27-29 Eylül 2017. Bodrum, Muğla
- Şimşek C., Karaca Z., Gemici Ü., Gündüz O., 2005. The assessment of the impacts of a marble waste site on the water and sediment quality in a river system Frensenius Environ. Bull. (14) 1013-1023.
- Milliyet, 2014. <http://www.milliyet.com.tr/mermer-atiklari-ekonomiye-kazandiriliyor-mugla-yerelhaber-437467/>
- Sasies, 2019. <http://www.sasies.com/en/>
- Horizon, 2020** <https://www.h2020.net/ar/component/jdownloads/category/242-sustainable-stone-marble-industry-clean-production-waste-management-and-eco-innovation-10-11-march-2014-ramallah-palestine?Itemid=411>
- İMİB, 2019. <https://www.imib.org.tr/tr/mermer-artiklarinin-degerlendirilmesi-projesi-hakkinda/>
- Yapı, 2021. <https://www.yapikulubu.com/tugla-fiyatlari/>
- DPT, 2008. http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/09_Ta%C5%9F-veTopra%C4%9FaDayal%C4%B1Sanayiler_c2.pdf
- TS EN 197-1, 2012.** Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1, 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 933-9+A1, 2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce malzeme tayini-Metilen mavisi deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 1097-3, 1999. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler-Bölüm 3:Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1+A1, 2013. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Kimyasal analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

- TS EN 12407 (2019). Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Petrografik inceleme. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- CAN/CSA-A23.2-25A-14, 2014. Test Method for Detection of Alkali-Silica Reactive Aggregate by Accelerated Expansion of Mortar Bars, Canadian Standards Association.
- TS 1900-1, 2006. İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 771-3+A1, 2005. Kâgir birimler - Özellikler - bölüm 3: Beton kâgir birimler (yoğun ve hafif agregalı). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-1+A1, 2005. Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-4, 2000. Kâgir birimler- Deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-6, 2015. Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14579, 2006. Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Ses hızı ilerlemesinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Bölüm 7

POLİMERLERDE ALEV/YANMA GECİKTİRİCİ KATKILAR VE TAŞITLARDA KULLANIMI

Ahmet DEMİRER¹

Ali ÖZ²

¹ Doç. Dr. DEMİRER Ahmet, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakül.,-
Makine Müh. ademirer@subu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1252-9203

² Dr. Öğr. Üyesi ÖZ Ali, 2Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO,
alioz@mehmetakif.edu.tr, ORCID:0000-0002-0814-4020

1.GİRİŞ

Polimerler günlük hayatımızda yoğun olarak kullandığımız en önemli malzeme gruplarından biridir. Polimerler işlenmeleri esnasında ya da işleme prosesine girmeden önce kullanılacakları yere uygun olarak farklı bazı katkıları ilave edilerek özellikleri geliştirilmeye çalışılır. Polimerlere katılan katkı maddelerini genel olarak aşağıdaki gibi sekiz sınıfa ayırabiliriz.

- Dolgu Maddeleri
- Plastikleştiriciler
- Alev/Yanma Geciktiriciler
- Antioksidantlar
- Isı Stabilizatörleri
- Renklendiriciler
- Antistatik Maddeler
- UV-Stabilizatörleri

Kullanılacağı şartlar göz önüne tutularak hangi tür katkı maddesi tercih edileceği belirlenmelidir. Örneğin statik elektriklenme istenmeyen yerlerde antistatik maddeler, ısıya fazla maruz kaldığı şartlarda ısı stabilizatörleri, okside olma hızını düşürmek için antioksidanlar, yumuşatmak için plastikleştiriciler, güneş ışınına fazla maruz kalacaksa UV-stabilizatörleri, fiyatını düşürmek ve bazı özellikler kazandırmak istediğimizde dolgu maddeleri, yangına maruz kalma riski olan ortamlarda çalışacak ise alevlenme hızını düşüren yanma geciktiriciler (alevlenme geciktiriciler) kullanılır (Demirer, 2020).

Polimerler üretimleri, işlenmeleri veya kullanımları sırasında yüksek ısı ve UV-ışınları, nem, ozon, kimyasallar gibi etkenler ve maddelerle sık karşılaşılır. Taşıtlarda, evlerde ve sosyal alanlarda (sinema, tiyatro vb.) yerlerde polimerlerden yapılmış mobilya, koltuk, halı, sandalye, panel türü eşyalar yaygın olarak kullanılır. Polimerlerin her yerde kullanımı nedeniyle yangın güvenliği büyük önem arz etmektedir.

Yangınlardan dolayı ortaya çıkan can ve mal kayıplarını en aza indirmek için farklı tedbirler alınmaktadır. Alınan bu tedbirlerden biri de yanmayan madde kullanmak ya da yanmayı geciktirici katkılı malzemeler kullanılmaktır. Alev geciktirici (geç tutuşabilirlik) ve duman bastırıcı malzemeler; reaktifler ve katkı maddeleri olarak iki temel gruba ayrılırlar. Reaktifler bileşenlerle reaksiyona giren maddelerdir. Katkı maddeleri ise genellikle dolgu maddeleri olarak kullanılır, reaktif bileşenlerden farklı olarak diğer bileşenlerle reaksiyona girmez. Polimerlerin bileşiminde polimer dışındaki alev geciktirici katkı minerallerinin türü gün geçtikçe artmaktadır.

Polimerler organik maddelerdir ve alevden kolayca etkilenirler. Yanmaz katkıların yani alev geciktiricilerin ilavesi, alevle karşı oluşturulan direncin bir ölçüsüdür. Tüm polimerler sonuçta yanıcıdır. Alev geciktiricilerin önemi, yangın hasarını en aza indirmek yani kadastrofik yanmayı geciktirmektir.

Polimerler yanma esnasında ısı ile beraber yanma ürünü olan zehirli ve yanıcı gazlar ortaya çıkarır. Aynı zamanda polimer zincirler ısı etkisiyle küçük parçalara veya moleküllere ayrışmasıyla ortamı çok daha yanıcı hale getirir. Örnek olarak PP'nin (polipropilen) yanması esnasında, kendisinden daha yanıcı olan propan gazı açığa çıkarır. Yanma için ısı, oksijen ve yakıtın bir araya gelmesi gerekir. Yanma/alev geciktirici kimyasal katkılar, ya yanmayı önleyen ya da geciktiren maddelerdir.

Yanma geciktiriciler, yanmada yanıcı maddenin ısınması, bozunması, tutuşması ve de alevin büyümesi aşamalarından birisine tesir eder. Ayrıca yanma için gerekli olan oksijen, ısı ve yakıt etmenlerinden bir ya da birkaçını sınırlayarak veya tamamen ortadan kaldırarak yanmayı yavaşlatır veya kesebilir (Savaşçı, Uyanık, Akovalı, 2009; Saçak , 2010; Demirer, 2020).

Taşıtlarda polimer malzemelerin kullanımı ise gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Otobüs, otomobil ve kamyon gibi araçlarda polimer malzemelerin kullanımı yaklaşık ağırlıkça %20 civarındadır. Parça bazında ve hacimsel olarak bu oran ise çok daha fazladır. Araç yangınları incelendiğinde kasti durumlar haricinde, yangının hatalı tasarımdan, şoför ve yolculardan, yakıttan, yanlış modifikasyonlardan ve polimer malzemelerin hatalı seçiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

2.POLİMERDE YANMA GECİKTİRİCİLER

Alev/Yanma geciktiriciler veya diğer adıyla yanma dayanımını artırıcı katkı maddeleri, plastiklerin düşük sıcaklıklarda tutuşmalarını ve alev oluşa bile ilerlemesini önler. Klorlu parafinler, trifenil fosfat alev almayı önleyici maddelere örnek olarak verilebilir (Akdoğan Eker, 2009)

Yanma-Alev geciktiricilerin, polimerin yanmasını belli bir süre engellemesi veya yavaşlatması şu olumlu sonuçları kazandırır:

- %50 daha az malzeme yanar,
- Yanma ısısının yalnız %25 kadarı dışarı salınır,
- Yanma yerinden uzaklaşma zamanı 15 kat artar,
- Zehirli gazların ancak üçte biri dışarı salınır (Savaşçı vd., 2009; Saçak, 2010; Demirer, 2020).

Yanma-alev geciktiricilerden temelde iki görev istenir. İlki alevi geciktirme özelliğine sahip olması, diğeri ise içine katıldığı ana polimerin işlenebilirlik özelliğine zarar vermemesidir. Ana malzemeye belli oranlarda katılan alev geciktiriciler, hem ana polimer malzemenin oksijen indeksini azaltmakta hem de kolay yanıcılığını düşürmektedir. Oksijen indeksi kavramı ana maddenin yanmayı sürdürmesi için gerekli minimum oksijen miktarıdır. Genelde etkin bir yanma geciktiricide diğeri istenen özellikler şunlardır:

- a) Kuvvetli endotermik (ısı alan) bozunma ile bünyesinde bulunduğu malzemenin bozunma ısısına yakın sıcaklıkta (150-400°C) fazlaca su ve/veya CO₂ açığa çıkarması,
- b) Bozunma sırasında yüzey alanında çok fazla oksitler oluşturması,
- c) İnce partikül boyutunda (-10 mikron) olması,
- d) Renksiz ya da beyaz renkli olması,
- e) Zehirsiz olması,
- f) Çözünmeyen veya çok az çözünen safsızlıklar içermelidir. (örneğin Na-tuzları)
- g) Mohs sertlik değeri 4'den az olmalıdır (Kaya, 1998).

Endotermik bozunma ısı alıcı rolü üstlenirken, çıkan gaz yakıtın piroliz ürünlerini seyreltir. Çözülebilir safsızlıkların çok az seviyede istenmesinin sebebi nemli ortamda katkı maddesinin şişmesi ve kabarmasını önlemek, ayrıca kablo imalatında elektriksel yalıtkanlığı sağlamak içindir. Sertliğin düşük istenmesinin nedeni ise proses esnasında makina aşınmasını azaltmak amaçlıdır.

Yanma geciktirici katkıları yanma üzerine fiziksel, kimyasal veya her iki şekilde etki edebilirler.

2.1.Fiziksel Etkileri

• **Soğutma:** Yanma geciktirici madde endotermik tepkimeleri tetikler ve yanma için malzemeyi gerekli sıcaklığın altına soğutur.

• **Koruyucu tabaka oluşturma:** Yanıcı madde üzerinde gaz tabakası oluşturup, bu bölgeye oksijenin girebilmesini engeller, böylece malzeme soğurken yanıcı gaz çıkışı azalır.

• **Seyreltme:** Yanıcı olmayan gazlar veren katkı maddeleri ya da yanmayan dolgu maddeleri kullanılarak katı veya gaz fazındaki yanıcı madde derişimi düşürülür ve derişimin tutuşma sınırını geçmesi engellenir.

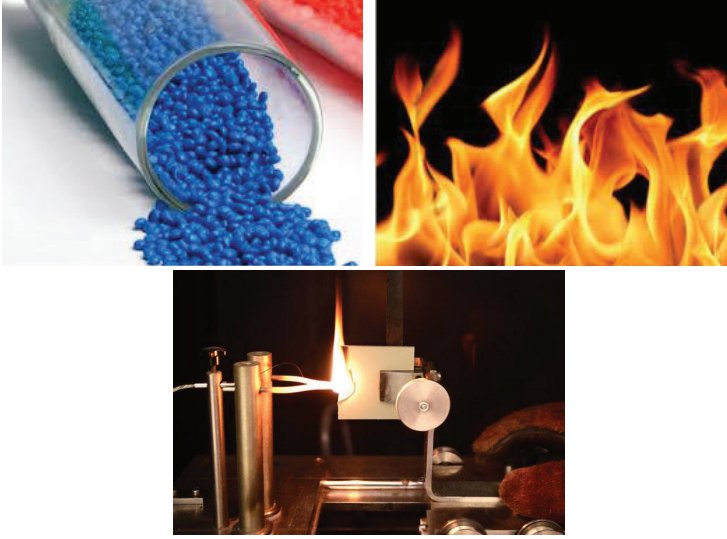
2.2.Kimyasal Etkileri

• **Gaz fazında tepkime:** Alevlenmeyi geciktirici gaz fazındaki ekzotermik radikalik yanma tepkimelerini durdurarak sistemi soğutur, soğumayla birlikte yanıcı gaz üretimi azalır veya zamanla tamamen durur.

• **Katı fazda tepkime:** Katı fazda iki tür etki gözlenir, birincisi alevlenmeyi geciktirici polimer yanmasını hızlandırarak yanma için gerekli yakıt miktarını hızla azaltır, ikinci etki ise katı yüzeyinde yanıcı olmayan bir tabaka oluşturma şeklindedir (çapraz bağlı polimer oluşumu vb).

Alevlenmeyi geciktiriciler yanmayı genelde yukarıda sıralanan fizik-

sel ve kimyasal etkilerden bir ya da bir kaçını vasıtasıyla durdurur. Mesela, endotermik (ısı alarak) tepkimelere girerek ısıyı azaltırlar ve yanıcı olmayan gazlar üreterek yanabilen gazlar için seyreltme etkisi de yaparlar, radikalleri yok ederler. Yanma esnasında oksidatif bozunma tepkimeleri yanında radikal üretim tepkimeleri ilerler (Savaşçı, 2009; Saçak, 2010).



Şekil 1. Polimer malzemeler ve kızgın tel deney görseli (Web görseli)

Ticari olarak alevlenmeyi geciktiricilerin sınıflandırılması ise ; genelde halojenli, fosforlu ve hidrat sulu olarak üç şekildedir. Yapısında halojen içeren türü “halojenli”, fosfor içeren “fosforlu” ve yapısında bağlı su bulunan inorganik maddeler de “hidrat sulu” maddelerdir. Ayrıca antimon trioksitler ve de bor bileşikleri yanma geciktirici olarak kullanılmaktadır.

Halojenli alevlenmeyi geciktiriciler, yanma sırasında insan sağlığına ve çevreye zarar verebilecek HX (X, halojen) türü asitler üretirler. Bu nedenle halojenli alevlenmeyi geciktiriciler, insanların bulunduğu kapalı alanlarda kullanılan polimerik malzemelere katılmazlar.

Halojenli yanma geciktiricilerin yapılarında klor, brom ve flor gibi halojenler bulunur. Halojenli yanma geciktiricilerin etkilerini arttırmak için antimon bileşikleri kullanılır. Polimerlere halojenli bu tür bileşiklerle birlikte kullanılırlar. Antimontrioksit, HX yapısındaki halojenürlerle tepkimeye girerek SbX_3 yapısında ürün verir (İndibay, 2021).

Hidrat sulu yanma geciktiriciler (sulu yanma geciktiriciler) ise yanma esnasında su buharı açığa çıkaracağından, sağlık açısından bir sorun yaratmaz. Bu tür yanma geciktiriciler yapılarında su bulduran inorganik bileşikler olup ısı altında, su molekülleri şeklinde bu bileşiklerden ayrıla-

rak soğutma etkisiyle yanmayı durdurur. Alüminyum trihidroksit $Al(OH)_3$, $350^\circ C$ de su verir ve kütlelerinin %34.6'sını kaybeder, $Mg(OH)_2$ magnezyum hidroksit ise $450^\circ C$ 'de %30.9'luk kütle kaybederek su verir. Bununla beraber, endotermik bozunma tepkimesi ile ısıyı emer ve oluşan metal oksitlerde ısı adsorpsiyonu yapar. Adsorpsiyon; atomların, iyonların veya moleküllerin bir sıvı, gaz veya çözünmüş katı maddeden bir yüzeye yapışmasıdır. Tablo 1'de yanma geciktiricilerin bazı polimer türlerinde kullanım alanları gösterilmektedir (Kaya, 1999; Mureimk, 1998).

Tablo 1. Yanma geciktiricilerin bazı polimer türlerinde kullanım alanları (Mureimk, 1998)

Polimer/A.G Reaktif	Br	P	Cl	Sb_2O_3	ATH	$Mg(OH)_2$
PVC		*		*		*
Poliüretan	*	*				
Doymamış polyester	*		γ	*	*	
Poliolefin	*		*	*	*	*
Stirenik	*		*	*		
Naylon (Poliamid)	*		*			*

*: kullanılır

a) Halojen İçeren Yanma Geciktiriciler

Halojenli yanma geciktiriciler yanma sürecini keserek etkili olurlar. Böylelikle çıkan duman miktarı da artar. Bu tür katkılar plastiklerin yanmasını tamamen önleyemezler ama katastrofik yanmayı engellemiş olurlar. Yangınların kontrol edilebildiği durumlarda kurtarma zamanını arttırır ve hasarı sınırlamış olur. Klorlu ve Bromlu yanma geciktiriciler atmosfere yanıcı yan ürünlerden hidroklorik veya hidrobromik asit çıkarırlar. Yangınlarda ortaya çıkan can kayıplarının ekserisi, yanma geciktirici malzemeden çok, zehirli yan ürünlerin etkisinden kaynaklanmaktadır. Halojen içeren bu tür katkılara 1980 ve 1990'ların başında yasal tedbirler getirilmiştir. Sebebi yanma sonunda yan ürünlerin korozif yapıda olmasındandır. ABD, Japonya ve İtalya'da, kablolarda PVC'nin yerini halojen içermeyen poliolefinik solisyonlar ağırlıklı olarak kullanılırken, Almanya ve İsveç'de bromsuz yanma geciktiriciler tercih edilmektedir (Kaya, 1998; Kaya, 1999).

b) Halojensiz Mineralli Yanma Geciktiriciler

Yanma geciktirici olarak kullanılacak halojensiz mineraller Tablo 2'de verilmiştir Kaya, 1999; Rothon, 1994). Dünyada en çok $Al(OH)_3$ alüminyum hidroksitli (ATH) yanma geciktiriciler, ardından bromlu ve organofosforlu yanma geciktiriciler kullanılmaktadır (Tablo 3). Bu süreçte $Mg(OH)_2$ kullanımının ise daha hızlı büyüyeceği tahmin edilmekte olup gelecekte çevre duyarlılığı kapsamında sınırlamaların ve yangın emniyetiyle ilgili kanunların giderek artacağı ön görülmektedir.

Tablo 2. *Halojeniz yanma/alev geciktiriciler (Yıldız ve Köse, 2020)*

Mineral Türü	Bozuşma Sıcaklığı (°C)	Açıklama
Nesquehonit ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$)	70-100	Etkin; fakat bozuşma sıcaklığı düşük
Gibsit ($Al(OH)_3$)	180-200	Yaygın kullanılmakta
Hidromagnezit ($3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$)	220-240	Kullanılmakta
Na-Dawsonit ($NaAl(OH)2CO_3$)	240-260	Etkin; fakat yaygın değil
Brusit ($Mg(OH)_2$)	300-320	Etkin ve kullanımı artmakta
Huntit ($3MgCO_3 \cdot CaCO_3$)	>450	Hidromagnezit ile karıştırılarak kullanılmalı

Tablo 3. *Avrupada ve Dünya’da yanma geciktirici tüketim dağılımı (Mureimk, 1998)*

Alev Geciktirici Mineral/Bileşik	Avrupa Tüketimi (1000 t)	Dünya Tüketimi (1000 t)	Toplam Değer (milyon \$)
ATH ($Al(OH)_3$)	120	402	221
Bromlu (Br)	44	191	712
Organofosforlu (P)	59	133	426
Sb_2O_3	20	72	342
Klorlu (Cl)	29	52	103
Diğer ($Mg(OH)_2$)	16	50	110
TOPLAM	288	899	1914

Alüminyum Hidroksit/Gibsit (ATH:Alumina Trihidrate):

Alüminyum hidroksit, hidrate alümina, kısaltması ise ATH’dır. Bok-sitten alüminyum elde edilme sürecinde üretilen ve metalurji dışında uygulama alanı olan bir ara üründür. Çöktürme esnasında oluşan ATH ya sistemden uzaklaştırıp saflaştırıldıktan sonra satılır ya da alüminyum metalinin elde edilmesi için proseste kullanılır. ATH’ın yanma geciktirici olarak kullanımı ilk olarak ABD’de halıların arkasına astar taban yapımında olmuştur. Nedeni yangınlardaki yayılma, halıların kolay tutuşmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden ateş/alev yayılmasını sınırlayıcı tedbir ve de standart getirilmiştir. ATH’ın halı tabanlarında kullanılması, yanma geciktirici kullanımını arttırmıştır. Farklı alanlarda kullanılan ATH’lar ağaç ürünleri sanayinde yanmaz sunta ve MDF yapımında da kullanılır. Alüminyum sülfat, klorür, florür ve asetat ve sodyum alüminat önemli ATH kimyasallarıdır (Kılıç, 2017).

ATH yanma geciktiriciler ateşin yayılmasını çok iyi düzeyde engeller ve duman oluşumunu bastırır. Halojen içermemesi, ucuz olması, bozuşma

ile korozif ve de toksik ürünler çıkarmaması, suda çözünmemesi, uçucu olmaması, inert olması, yüksek beyazlık ve saflıkta üretilebilir olması ve dünya pazarında önemli paya sahip olması önemli özellikleridir. Düşük bozuşma sıcaklıklarından (180-200°C) dolayı naylon (poliamid) ve polipropilenler (PP) için katkı olarak kullanılamazlar. ATH, Avrupa'da halojen esaslı yanma geciktiricilerin yerini almaktadır (Kılıç, 2017; Keegan, 1998). Özel plastiklerde Sb_2O_3 ve $Mg(OH)_2$ katkılı alternatifler kullanılır. Katkı oranının düşük tutulması yanmazlığı daha az sağlar. ATH'ın çinkoborat ile kombinasyonu bu sorunu giderebilmektedir.

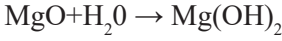
ATH yanma geciktiriciler yangının ısıtma ve bozunma aşamalarında devreye girer ve malzemenin tutuşmasını engelleyip yanmayı ve yayılmayı önlerler. ATH ısıtıldığı zaman endotermik davranır. Yanma sürecinin bozunma aşamasını geciktirir ve sıcaklığın hızını ve genişliğini azaltır. Bozuşma aşamasında ATH su açığa çıkarır. Bu tepkime ısı emer, yanıcı gazları seyreltmış olur ve ısıtılan ürün yüzeyinde serbest kalan oksijen engellenir ve böylece ateşleme bastırılmış olur. Uygulama alanları Tablo 4'de verilmiştir (Kaya, 1998; Kılıç, 2017).

Tablo 4. ATH yanma geciktiricilerin kullanma alanları (Kılıç, 2017; Keegan, 1998)

Polimer Türü	Plastik/Lastik	Uygulama
Termoset	Polyester reçine	Araba tamponu, metro/tren koltukları Küvet/duş tekneleri, sandal gövdesi
	Epeksi reçine	Elektronik devreler, izalatörler
	Fenolik asit	Duvar lambirleri
	Poliüretan	Boya ve kaplama, mobilya köpüğü
Termoplastik	PVC	Band konveyör, kablo izolasyonu marley/muşamba
Elastomer	Lateks	Halı tabanı/halı altlıkları, koltuk kılıfları

Magnezyum Hidroksit (Mg(OH)₂):

Magnezyum hidroksit korozif olmayan, hem etkin bir duman bastırıcı ve asit süpürme özelliği olan hem de özel yüzey işlemleri olan bir yanma geciktiricidir. Huntit ve hidromagnezit tek olarak yanma geciktirici kullanılsalar da karışımları son yıllarda bazı kullanım yerleri bulabilmektedir. $Mg(OH)_2$, halojenli ürünlerin sınırlandırıldığı veya yasaklandığı yerlerde kullanılabilir (Yıldız ve Köse, 2020; Kaya, 1999). $Mg(OH)_2$ 'nin yanma geciktirme uygulamalarında kullanım alanları Tablo 5'de gösterilmektedir.



Tablo 5. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Magnezyum Hidroksit) kullanım alanları (Kaya, 1998; Yıldız ve Köse, 2020)

İnşaat Endüstrisi Uygulamaları	Kablo Uygulamaları
➤ HDPE'den ara bölme panelleri yapımı	➤ Deniz araçları kablo devreleri
➤ PVC yerine EVA-polyesterli branda bezleri yapımı	➤ Modern binalardaki kablo yol muhafazaları
➤ EPDM esaslı çatı kaplamaları yapımı	➤ Otomotiv endüstrisinde kaput altı kabloları
➤ PVC yerine PP esaslı profil yapımı	➤ İletişim sistemlerinin kontrol kabloları

ATH, EVA ve polietilen (PE) ürünlerde düşük bozunma sıcaklıklarından dolayı kullanılırken polipropilen (PP) ve naylon (PA) için kullanılmaz. Bu tür polimerlerde $\text{Mg}(\text{OH})_2$, yanma geciktiricili plastik ürünlerde önemli bir alternatiftir. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ bileşiği, kovalent bağ yapılı PP ve PE'ye çok iyi fiziksel ve mekanik özellikler kazandırır. Sentetik $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 'in yüzey alanı çok geniş ve kristal boyutu da küçüktür. Huntit-hidromagnezit karışımının ise kullanımı sınırlı olmasına karşın özel kablo ve PP bileşiklerinde kullanılır.

Fosfor esaslı yanma geciktiriciler:

Fosfor esaslı yanma geciktiriciler, yüzey üzerinde yanmayan bir katman oluşturarak etki gösterir ve bu katman, polimer yüzeyinin üzerindeki yanan bölgeye oksijen transferini durdurur, ortaya çıkan ısıyı emerek (absorplayarak) yanmanın durmasına katkıda bulunurlar. Düşük toksik gaz emisyonu veren iyi bir alev geciktiricidir (Yıldırım ve Çelik, 2014; Zhang ve Horrocks, 2003).

Organik ve inorganik yapıya sahip fosfor içeren bileşiklere; suda çözünen inorganik fosfatlar, çözünmeyen amonyum polifosfat, fosfin oksitler, organo-fosfatlar, bromoaromatik fosfatlar, kırmızı fosfor örnektir. Fosfor içerikli yanma geciktirici katkıları, şayet halojen ya da azot içeriyorsa polimerin bozunması sırasında oksihalojenür, fosfor halojenür ve P-N bağı oluşturduğundan sinerjik etki gösterir.

Dipentaeritritol ve amonyum polifosfat ve melamin kombinasyonu sık kullanılan şişme ve kabarma yani intumesan özelliğine sahip yanma geciktiricilerdendir. Polimer ürünün yanması esnasında kömürleşen tabaka intumesan özelliği göstermektedir. Bu türden yanma geciktirici katkılara ilgi giderek artmıştır.

Fosfor içerikli bileşiklerle azot esaslı bileşiklerin bir arada kullanımının sinerjik etkisinin fazlaca olduğu bazı çalışmalarda belirtilmiştir. Belirtilen özelliğinin yanı sıra, yanma sırasında uçucu polimer bileşiklerini seyreltip yanmayı zorlaştırması ve daha az toksik olmasından dolayı tercih edilmektedirler. Bilhassa melamin ve türevlerine dayalı geliştirilmiş ürünler, intumesan olarak kullanılır (Kılıç, 2019; Liang ve ark., 2013).

3.TAŞITLARDA KULLANILAN POLİMERLER

Araç üretiminde kullanılan polimer malzemelerin ağırlıkça yüzde oranları 2017 verilerine göre incelendiğinde plastik kullanımı %12.7, kauçuk kullanımı %7.2 düzeyindedir. Toplamda yaklaşık %20 civarındadır. Hacimsel olarak bu oran çok daha fazladır (Richard and Janssens,2005).

Otomotiv sektöründe araç başına plastik parça ağırlık oranları Tablo 6'da, araçlarda kullanılan plastik malzeme türleri ise Tablo 7'de verilmektedir. Günümüzde bir otomobilde ortalama 200 ile 300 kg ağırlığındaki geleneksel olarak kullanılan metal malzemelerin yerine ortalama olarak 100 kg polimer malzeme kullanılabilir. Bu da Avrupa ülkelerinde 150 bin km olan otomobil ömrü süresince 750 lt yakıttan tasarruf sağlayacağı anlamına gelmektedir.

Araçların dış ve iç kısmında belli başlı gözle görünen parçalarını oluşturan; pedallar, kaplamalar, armatürler, kavrama pedal kolları, direksiyon, tampon, akü kutuları gibi birçok parça polimer malzemelerden üretilmektedir. Otomotiv endüstrisinde polimer malzeme ve bileşenleri yoluyla ağırlık azaltımı gövde, motor çevresi ve mekanik parçalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Tablo 8'de taşıt malzemelerindeki bazı değişiklikler ve sebepleri verilmektedir.

Yakıt depoları günümüzde artık metal yerine plastik malzemelerden yapılmaktadır. Plastik malzemenin mamul yakıt depoları metal olan yakıt depolarına kıyasla olası bir kaza esnasında daha geç alev almaktadır. Bilhassa darbeye ve soğuğa karşı oldukça dayanıklıdır. Darbeye esnasında çatlama yapmadan üzerine gelen etkiye göre şekil alırlar. Son zamanlarda yakıt depolarında bir Carilon alifatik keton termoplastiği kullanılmaktadır. Bu malzemenin erime sıcaklığı 234°C ve yoğunluğu 1.24 g/cm³ olup kimyasal maddelere (solvent ve akaryakıtı karşı) dayanıklılığı ve yüksek mukavemetinden dolayı otomobil yakıt depolarında sıkça kullanılmaktadır (Demirer ve Öz, 2021).

Tablo 6. Otomotiv sektöründe araç başına plastik parça ağırlık oranları (Hammarström et al.,2008; www.pagev.org, 2017/ <https://plastics.americanchemistry.com>)

Plastik Parçalar	% Payı
Tampon	9,5
Koltuk	12,4
Ön Konsol	6,7
Yakıt Sistemler	5,7
Şasi	5,7
Kaput Altı	8,6
İç Giydirme	19,0
Elektrik	6,7
Dış Aksam	3,8
Aydınlatma	4,8
Döşeme	7,6
Sıvı Tanklar	1,0
Diğerleri	8,6
Toplam	100,0



Tablo 7. Araçlarda kullanılan plastik malzeme türleri (www.pagev.org,2017)

Plastik Parçalar	Kullanılan Ana Plastik Maddeleri
İç süslemeler	PP, ABS, PET, POM, PVC
Kontrol paneli	PP, ABS, PA, PC, PE
Koltuklar	PUR, PP, PVC, ABS, PA
Tamponlar	PP, ABS, PC
Kaput-altı parçalar	PA, PP, PBT
Döşemeler	PVC, PUR, PP, PE
Yakıt sistemleri	PE, POM, PA, PP
Elektrikli parçalar	PP, PE, PBT, PA, PVC
Karoser (Karoser panelleri dahil)	PP, PPE, UP
Işıklandırma	PP, PC, ABS, PMMA, UP
Dış süslemeler	ABS, PA, PBE, ASA, PP
Diğer depolar	PP, PE, PA

Tablo 8. Taşıtlı malzemelerindeki bazı değişiklikler ve sebepleri

Taşıtlı elemanları	Kullanılan Plastik malzeme	Orijinal malzeme	Değişikliğin sebebi
Jant kapağı	Polipropilen	SPC	Ağırlık ve maliyet azaltımı
Fan kapağı	Polipropilen	Çelik	Ağırlık ve maliyet azaltımı
Isıtıcı kanalı	Polietilen	Sert kauçuk	Maliyet azaltımı
Görüntü aynası	Polipropilen	Paslanmaz çelik	Maliyet azaltımı
Yakıt deposu	Polipropilen	Çelik	Maliyet azaltımı

Otomobil camlarında ise alternatif olarak Polikarbonattan (PC) camlar geliştirilmiş ve halen kullanılmaktadır. PC camın tercih sebebi olarak en başta; hafiflik, sürtünmeye dirençli yüzey, güvenlik ve üretim teknolojisi- sidir. Bunun yanında ışık geçirgenliği %1'den düşük olması nedeniyle araç içi daha az ısınmaya maruz kalmaktadır.

Döşeme, koltuklar ve iç giydirmeler otomobillerde ağırlıkça en fazla polimerin kullanıldığı bölümleri oluşturur. Hafiflik, yanmazlık, geri dönüşürülebilirlik, sağlığa uygunluk, konfor ve ergonomik istekler en fazla tercih sebebidir.

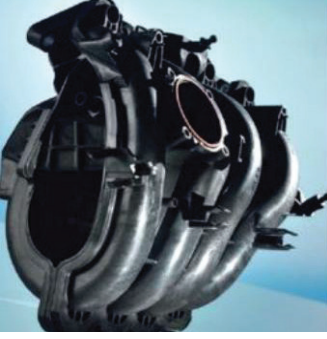
Araç farlarının şeffaf ön kısmı, polikarbonattan (PC) veya akrilatlar- dan (PMMA,SAN), farın arka yansıtıcı bölümü fibreglasla güçlendirilmiş polyesterden üretilirler. Monte edilen kasa kısmı ise polipropilen (PP) malzemedendir. Günümüzde hafif araçlarının kaporta ile şasileri tümleşik olarak üretilmekte olup bazı modeller kompozit malzemeden üretilmeye başlanmıştır.

Araç tekerlekleri, yani araç lastiklerinin yere temas eden kısımları Sti- ren Bütadien Stiren kopolimeri, lastiklerin yanları poliizopren kauçuğu, iç kısımları poliizobüten kauçuğunda üretilmektedir. Araçlarda ayrıca kontrol ve elektronik aksamlarında polimer esaslı malzemelerden sensörler, kablolar, kontrol kartları, röleler, göstergeler, paneller bulunmaktadır.

Polimer matrisli kompozit malzemelerin otomotiv endüstrisinde en fazla kullanılanı cam elyaf ve karbon elyaf takviye elemanlarıdır. Cam el- yaf, en çok tercih edilen takviye elamanı olup yanmazlığı, mukavemeti ve darbelere karşı yüksek direnç göstermesi avantajlarındandır.

Güçlendirilmiş polimer kompozit malzemeden yapılmış manifoldun ağırlığı metalden yapılmış manifolda göre %70 daha hafiftir. Ayrıca dış ve iç yüzeylerinin düzgün olması özellikle iç yüzeylerde daha iyi hava sirkü- lasyonuna sebep olmaktadır. Bu durum motorun daha yüksek performans göstermesini sağlamakta ve emme gürültüsünü de ciddi oranda azaltmak- tadır (Richard ve Janssens, 2005; Demirer ve Öz, 2021).

Şekil 2'de gösterilen emme manifoldlarında PP bazlı malzemeye ge- çilmesiyle PA bazlı ürünlere kıyasla ses yalıtımı 10-15 desibel daha düşük elde edilmiştir (Gail et al., 2013; Çetin vd, 2019). PA'dan PP'ye geçilmesi ile %20 gibi ciddi oranda üretim maliyetlerinde avantaj sağlamaktadır (Ro- thon, 1994; Sambale, 2009).



Şekil 2. PP Emme manifoldu (Gail et al,2013) **Şekil 3.** Karbon elyaftan üretilmiş manifold (JGR Products) (Keegan, 1998; Çetin vd, 2019; Sambale, 2009; www.ptonline.com,2012).

Otomotiv endüstrisinde, son dönemlerde biyoliflerden oluşan biyokompozitler çok sayıda uygulama alanı bulmaktadır. Bir araca yönelik uygulamalar arasında kapı panelleri, koltuk sırtlıkları, gösterge panelleri ve servis tepsileri, koltuk başlıkları ve koltuk arkılığı ve astarlar bulunmaktadır (Richard and Janssens, 2005; Demirer, 2021).

Taşıtlarda kullanılan polimer esaslı malzemelere katılan karbon ve cam elyaf malzemeler daha çok mekanik özellikleri arttırmak amaçlı katılmaktadır. Bu özelliklerinin yanında yanmaz özellikli olmaları da büyük bir avantaj sağlamaktadır.

4.TAŞITLARDA MALZEME KAYNAKLI YANGINLAR

Yangın, kontrolsüz ve de istenmeyen bir yanma olayıdır. Yanma; ortamda yanıcı madde, tutuşma sıcaklığına yetecek kadar ısı olması ve yanabilme aralığına yetecek kadar oksijen bulunması durumunda gerçekleşen kimyasal bir olaydır. Şekil 4’de yangının oluşmasını sağlayan etkenler bir “yanma üçgeni”nde şematik olarak verilmiştir. Bu bileşenlerden ısı, alevlenmeyi başlatıcı etkenlerden olup eldesi ışık, ateş gibi çevresel kaynaklardan sağlanır. Oksijen, yanma için bolca atmosferde bulunmaktadır. Üçüncü bileşen olan yakıt ise polimerin kendisidir (Kısakürek, 2003).



Şekil 4. Yanma üçgeni

Yangın beş ana aşamada yayılır:

1-Isıtma Aşaması: Dış kaynak çevrede sıcaklığın artmasıyla ısınma.

2-Bozunma Aşaması: Yanıcı gazlar çıkar.

3-Ateşleme Aşaması: Yükselen sıcaklık malzemeyi ateşler.

4-Yanma Aşaması: Isı ve duman çıkar ve

5-Yayıma Aşaması: Çıkan zehirli gazlar itilerek ısı çıkışı ile alevli yanma olur ve yayılır.

Dünyada yangınlar incelendiğinde %5-15'i araçlarda meydana gelmektedir. Bu maddi hasarın yanı sıra yolcuların otobüs taşımacılığına güveni sarsılmakta, birçok insanın ölümüne ve yaralanmasına neden olmaktadır. Yaralanma ve ölümlerin büyük çoğunluğu yangın esnasında oluşan CO (karbon monoksit), hidrojen siyanür, hidrojen sülfür, azot dioksit gibi boğucu veya zehirli gazların solunması veya cildimiz tarafından emilmesinden kaynaklanmaktadır. Aşırı sığağa maruz kalma durumunda da yaralanmalar ve de ölümler vuku bulmaktadır (Pagev, 2017; NFPA 556, 2010; Yıldız ve Köse, 2020).

NFPA istatistiklerinde araç yangınlarının büyük çoğunluğunun (%75) yolcu araçlarında gerçekleştiği belirtilmektedir (Pagev,2017). Dünyadaki toplam yangın içerisindeki otobüs yangınlarının payı %1 dir. Bu oran ABD'de %17, Polonya da %4.8, Türkiye de %2, İsveç te %0.76 ve Almanya'da %0.5-1 dir (NFPA 556, 2010).

Türkiye'de meydana gelen yangınların istatistiki verileri, analizi ve değerlendirilmesinde maalesef yeterli bir çalışma yoktur. İstanbul'da 2017 yılında 25.073 adet yangın çıkmış olup bunlardan 16.933'ü yapısal yangınlardır. Bu yangınlardan 1.781'i araçlardan kaynaklı olduğu İstanbul it-faiye Dairesi Başkanlığınca kayda alınmıştır.

Yolcu taşımacılığı yapan araçlarda yangınların büyük bir kısmı (%89) çarpışma olmadan gerçekleşmekte olup ölümle sonuçlanan araç yangınlarının büyük çoğunluğu ise (%60) çarpışma neticesinde olduğu tespit edilmiştir. Çarpışma neticesinde meydana gelen araç yangınları genelde dört sebepten ortaya çıkmaktadır.

- Araç motor bölümünde çarpışma sonundaki yangınlar (%54),
- Yakıtın dökülmesi ile çarpışma sonundaki yangınlar (%33),
- Yolcu bölümünde çarpışmadan kaynaklanan yangınlar,
- Diğer türde ve bilinmeyen bölümlerden kaynaklı çarpışma sonundaki yangınlardır (Pagev, 2017; NFPA 556,2010).

Lastiklerden ve frenlerden kaynaklanan yangınlarda oran %4'ü civarın-

dadır. En riskli olan araç sınıfı ise otobüslerdir yolcu sayısının fazla olması riski arttırmaktadır. Otobüslerde yangınların %59'u araç motor bölgesi, %35'i yolcu kaynaklı, %3'ü yakıt tankı, %2'si lastikler ve farların ısınması neticesinde meydana gelmektedir. Otobüslerin yangın güvenliği; tasarımı-na, kullanılan malzemelere, kullanım şekline, bakımına ve de park edildiği yerin özelliklerine bağlıdır (Kısakürek, 2003;Yıldız ve Köse 2020; Kılıç, 2019).

Araç motor blokuna ait ana bileşenlerinin çalışma yüzey sıcaklığı 80-140°C arasındadır. Motorun sıcak olan elemanları manifold, turboşarj ve egzoz sistemi parçalarıdır. Motor bölümünde ısıya maruz kalınan yüzey alanı yaklaşık 0.3m² dir. Malzeme kalınlığı 5 ila 15mm arasında, sıcaklığı ise en fazla 600-640°C'dir. Motor bölümünde yakıtta sızıntı ya da yanıcı maddenin egzozdan çıkan sıcak duman ile olan teması neticesinde oluşan yangınlar en fazla görünen yangınlardandır (NFPA 556, 2010; Çetin, A. Sayer, 2019;Yıldız ve Köse 2020; Kılıç, 2019; Hammarström et al., 2008)

Konumuz itibari ile bu bölümde daha çok yakıttan ve motordan kaynaklı yangınlardan çok malzemedeki kaynaklı problemler üzerinde durulacaktır.

Polimerler ısı etkisiyle molekül zincirleri çok küçük parçalara ayrılarak daha yanıcı maddelere dönüşürler. Polipropilenin yanması ile kendisinden daha yanıcı madde olan propan gazını açığa çıkarması örnek verilebilir. Polimerlerin yanmaya dayanıklı hale gelmesi için ya yüksek erime sıcaklığına sahip olmalı (400°C'nin üstünde ısısal kararlılığa sahip olması) ya da düşük sıcaklıklarda kömürleşmenin çok fazla olması ve yanmayan gazlardan oluşması gerekir (Sambale, 2009; VW, 2012;Yıldırım ve Çelik,2014; Lu and Hamerton, 2002).

4.1.Malzeme Kaynaklı Motorlu Taşıt Yangınları

Taşıtların motor bölümündeki lastik hortumlar, kablolar, plastik kapaklar, poliüretan köpükten akustik izolasyon malzemeleri, filtreler ve kontraplaktan tavan levhaları yanabilen malzemelerdir. Genelde bu kısımda malzeme olarak poliamid (PA), polivinil klorür (PVC) ve polipropilen (PP) gibi polimerler esaslı malzemeler kullanılmaktadır (Çetin ve Sayer, 2019; Hammarström ve ark., 2008). Polimerlerin yaygın kullanılması, kullanıldığı yer itibariyle yeterli mekanik özellikleri bulundurması, ekonomik olmaları ve hafiflikleri en çok tercih sebebidir. Fakat yangına karşı dayanıklı olmayan bu malzemeler, yanmaları halinde tehlikeli ve yanıcı gazlar ürettiklerinden araçlarda kullanımları bu haliyle uygun değildir (Kısakürek, 2003; Kılıç, 2019).

Taşıtların motor bölümünde kullanılan polimerlerin tutuşma sıcaklıkları Tablo 9'da verilmiştir. Taşıtların imalatında kullanılan malzemeler ge-

rek yanıcılık sınıfları ve gerekse duman üretme miktarlarının iyi biçimde kontrol edildikten sonra seçilmesi gerekir. “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliği”nde yanıcı madde sınıflandırılması taşıtlarda da kullanılabilir. Tablo 9’da motor bölümünde kullanılan polimerlerin tutuşma sıcaklıkları, Tablo 10’da ise yapı malzemelerinde yanıcılık sınıflandırılması gösterilmektedir. Yanıcılık sınıfı A1 olanlar yanmaz, yangın karşısında alevlenmez, ışıdamaz ve kömürleşmez. Mümkün olduğunca A1 sınıfı malzeme tercih edilmelidir. Kaplama ve örtme, perdeleme malzemeleri en zor alevlenen (B1) malzemeden, duman ve zehirli-toksik gaz üretmeyen s1 sınıfı, damlamayan ise (d0) özellikte olması istenir (NFPA 556, 2010).

Tablo 9. Taşıtların motor bölümünde kullanılan polimerlerin tutuşma sıcaklıkları

(Çetin ve Sayer, 2019; Hammarström ve ark., 2008)

Yanıcı Katılar	Tutuşma Noktası (°C)
PTFE (PolyTetraFluoroEthylene)	180
PA6 (PolyAmide 6)	65
PVDC (PolyVinylidene Chloride)	-
PC (PolyCarbonate)	115
PS (PolyStyrene)	50
PET (PolyEthylene Terephthalate)	130
PVC (PolyVinyl Chloride)	50
PMMA(PolyMethyl MethAcrylate)	50
POM(PolyOxiMethylene)	85
PP(PolyPropylene)	80-115
HDPE(High Density PolyEthylene)	50

Tablo 10.Yapı malzemelerinin yanıcılığı

Yanıcılık Sınıfı	Tanım
A1	Yanmaz, yangında tehlike oluşturmaz.
A2	TS EN 14823’e göre B sınıfı için belirlenen özellikleri taşır
B	C sınıfı için belirlenen özelliklere ek olarak daha ağır şartları taşır
C	D sınıfına ek olarak daha ağır şartlar taşır. Ayrıca bir alev kaynağının ısı karşılarında yanıl alev yayılması sınırlı olmalıdır.
D	E sınıfı özelliklerini taşır. Önemli miktarda alev almaz, küçük bir alev karşısında uzun süre dayanır.
E	Küçük bir alev atağına karşı kısa süre dayanır.
F	Yangı performansı belirlenmemiştir.
Duman oluşumu için ilave sistemler	
s3	Duman üretiminde sınırlama yoktur
s2	Duman üretimi hızı ve üretimi sınırlıdır
s1	s2’den daha ağır özellikleri taşır
Yanma damlaları/ Tanecikleri için ilave sınıflandırmalar	
d2	Sınırlama yok
d1	Belirli süreden fazla yanma tanecikleri olmamalı
d0	Yanma tanecikleri oluşmamalı

Yolcu bölümünden kaynaklı yangınlara; elektrik sistemleri ya da motor bölümünden çıkararak yayılan yangınlar sebep olmaktadır. Motor bölümlerinde sıcaklığın yüksek olması birçok malzemede dayanımı zamanla düşürmektedir. Elektrik sistemlerinde geçen akım zamanla ısı üretir ve ısı malzemelerde deformasyonu hızlandırıcı faktördür. Kullanılan polimer malzemelerde zamanla yorulma ve özelliklerinde kayıplar meydana gelir. Bu sebeple elektriksel iletim kabloları; yangınlık riski yüksek yakıt hortumlarından, yanıcı sıvı ve gazlardan ve hidrolik kablolardan kesin olarak yalıtılmalıdır. Bilhassa yolcu bölümündeki koltuk ve koltuk örtüleri, perdeler, havalandırma üniteleri gibi yanıcı malzemeler hızla tutuşabilmekte ve söndürülebilmesi de zor olmaktadır. Bu bölümde insan hayatının çok önemli olduğu unutulmamalı ve kullanılacak malzemelerin yangın dayanım standartlarına uygun olması ve “zor alevlenen” yangın sınıfına ait malzemeden olması gereklidir. Diğer önemli yangın sebebi ise yetersiz bakımdır. Bakımın eksik yapılması, ihmaller ve bilgisizlik yangın riskini arttırmaktadır. Bu nedenle taşıtlarda “yangın risk değerlendirme” mutlaka yapılmalıdır.

Taşıtlarda kullanılan lastiklerin tutuşma sıcaklığı (170-250°C) düşüktür. Çok virajlı ve rampalı yollarda uzun süre ağır yük altında çalışan araçlarda yangın görülmektedir. Özellikle kamyon, tır gibi ticari araçlarda lastik basınçları 7.5 ile 9 bar olup, bu basınç yangın esnasında artmaktadır. Yangın söndürme durumunda lastiklerdeki yüksek basınç söndürmeyi tehlikeli hale getirmektedir. Söndürme işleminde ilk olarak uzaktan yanan lastiği soğutmak, sonrasında köpüklü yangın söndürücü ile alevin boğulması gereklidir. Yangını önleme veya erken müdahale için lastik basıncı takip sistemleri tespit edilebilir (NFPA 556, 2010).

4.2.Elektrik Kaynaklı Taşıt Yangınları

Elektrik sistemlerinden kaynaklı meydana gelen yangınların sebebi genelde aşırı ısınma ve kısa devrelerdir. Taşıtlara fabrika çıkışından sonra orijinal durumlarını olumsuz yönde etkileyen modifikasyonlar, standart dışı teknik değişiklikler aşırı ısınmalara ve kısa devrelere ve neticede yangının çıkmasına neden olmaktadır. Genelde ilave teknik değişiklikler klima sistemleri, buzdolabı, telefon, TV, internet, şarj edebilecek 220V AC elektrik prizleri, su ısıtıcısı gibi elektriksel kapasite artırılan sistemlerdir. Otobüslerde elektriksel besleme üniteleri ve sistemleri aracın arkasında motor bölümündedir. Fakat elektrik enerji donanımı bütün araç boyunca uzanmaktadır ve mesafe uzundur. Uzun mesafelerde kablolarla besleme yapılma genelde gerilim düşmesine neden olur. Bu durumda kablolarında aşırı akım çekilmesine ve ısınmasına yol açar. Ayrıca araçlarda son yıllarda maliyet ve ağırlık azaltılması maksatlı kablo kesitlerinde de küçülme uygulanmaktadır. Neticede aşırı yüklenme nedeniyle ciddi yangın riski oluşmaktadır. Resim 1’de fazla akım çekilmesi ile meydana gelmiş yangın örnekleri verilmiştir (NFPA 556, 2010).

4.3. Taşıtlarda Yangın Güvenlik Önlemleri

Yangın güvenlik önlemleri, aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aracın yapı ve tasarım özellikleri ile ilgili olan önlemler Pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamındadır. Bu önlemlerin içine tasarımdaki aracın kapı ve pencereleri, kaplama, döşeme, far, koltuk, bagaj malzemesi, ayrıca tekerlek ve motor bölümünde kullanılan malzemeler girmektedir. Güvenlik açısından kullanılan bileşenler yanmaya dirençli olması, yangının büyüyüp genişlemesini önleyici türden olması gerekmektedir. Taşıtların tasarım aşamasında, emniyet kriteri olarak yangına karşı önlemler ile yangın söndürme kolaylığı da dikkate alınmalıdır. Pasif yangın önleme yöntemleri aynı zamanda yangın söndürmeye de destek vermelidir. Pasif yangın önlemleri tek başına yeterli gelmemektedir. Bunun yanı sıra aktif yangın önlemleri de mücadelede önemli derecede etkilidir.

Aktif yangın güvenlik önlemleri, yangının ilk çıkışında en kısa sürede görülüp fark edilmesi ve müdahalesi için gerekli algılama ve söndürme sistemlerini içerir. Yani doğrudan yangın oluşumu ile ilgilidir. Aktif güvenlik önlemleri içine; yangın çıkışını algılayan sistemler, duman kontrol sistemleri, uyarı sistemleri, havalandırma sistemleri, basınçlandırma ve söndürme sistemleri, yangın güvenliği yönetim sistemleri ve yangın kontrol sistemleridir (NFPA 556, 2010; Çelik ve Yıldız, 2018; Vogel et al.,2012).

Aktif ve pasif güvenlik önlemleri ile yangının olası etkilerini en kısa sürede kontrol altına alınabilmektedir. Taşıtlarda risk değerlendirme raporları hazırlanmalı, bilhassa yolcu taşıyan araç şoförlerin yangın ve söndürme hakkındaki bilgi seviyeleri ölçülmeli ve belli aralıklarla gerekli eğitimler verilmelidir. Taşıtların türüne ve yanıcı maddelerin özelliklerine göre uygun tipte yangın söndürme tüpü bulundurulmaları gerekmektedir. Taşıtlarda alınması gerekli yangın güvenlik önlemleri, hem ulusal hem de uluslararası yönetmeliklerde aracın türüne göre uygulanmalıdır. Türkiye’de araç yangınları ile “Araçların İmal, Tadil ve Montajı (AİTM) hakkındaki Yönetmelik”ler bulunmaktadır.





Resim 1. Bazı araç yangınları (Web görseller)

4.4. Taşıt Yangınları ve Yanmazlık

Taşıt yangınlarının nedeni, algılama-söndürme sistemlerinin yetersizliği ve gerekli eğitimin yeterince verilmemesidir. Taşıtlardaki yangın sayısını azaltmak için yalıtımdan bakıma, doğru tasarımdan eğitime kadar ciddi önlemler alınması gerekmektedir. Taşıtların rutin periyodik bakımları zamanında ve yetkili servislerce gerçekleştirilmelidir. Bu bakımlarda motor bölmesi ve her parça kontrol edilmelidir. Olası riskler değerlendirilmeli ve sistemler test edilmelidir. Motor bölümü otomatik yangın söndürme sistemi ile korunmalıdır. Yangın algılama ve alarm sistemlerinin çalışır olduğu sürücü tarafından sık sık kontrol edilmelidir. Motora yakıt beslemesi direkt olarak araç kontağına bağlı olmalıdır. Yangın başlaması ile ortaya çıkan dumanı algılayan duman sensörü bulunmalı ve bu sensörler test edilebilir olmalıdır.

Gerek araçların fabrika çıkışından önce değilse yetkili servislerce motor bölmesi ve diğer riskli bölümlerindeki ısıya maruz yüzeyler yalıtılmalıdır. Yangın riski veya tehlikesi olası durumlarda elektrik sistemini otomatik kesebilen sistemler bulunmalıdır. Yangın kapıları, yolcu çıkış kapıları, gibi çıkışlar dışarı doğru otomatik açılmalıdır. Kullanılan bütün malzemeler, kablolar yanmaya dirençli olmalıdır. Otobüs ve minibüs gibi araçlarda yolcu sayısı baz alınarak yangın söndürücülerin sayısı ve de miktarı-hacmi değişmektedir. Bu araçlarda en az iki yangın söndürücü bulundurulmalı, bir tanesi sürücü koltuğu yanına diğeri ise arka tarafta bulunmalıdır (NFPA 556, 2010).

Otobüs yangınları araç yangınları içinde çok sık meydana gelmektedir ve birçok durumda yangın motor bölmesinde başladığından yolcular otobüsü zamanında terk edebilmekte, ancak yangının yolcu bölümüne geçtiği durumlarda ölüm veya yaralanmalar meydana gelmektedir. Özellikle şehirlerarası otobüs yangınları başlangıçta söndürülemezse, uzak mesafeden dolayı itfaiyenin olay yerine ulaşması geç olmakta ve araçlar tamamen yanmaktadır. Otobüs yangınlarında, can kayıpları ve yaralanmaların sebeplerinden biri kolay yanabilen polimer malzemelerin kullanılması, ba-

kım, algılama ve söndürme sistemlerinin yetersizliği ve gerekli eğitimin yapılmamasıdır. Önlem olarak yangın tehlikesi durumunda elektrik sisteminin kolayca, hatta otomatik olarak kesebilen sistemlerin bulundurulması gereklidir. Kullanılan bütün kablolar ve polimer malzemeler yangına dirençli ve halojenden arındırılmış malzemelerden seçilmesi gereklidir. Ayrıca polimer malzemelerin ömrünü artırmak ve tutuşmasını engellemek için motor bölmesi ve diğer riskli alanlardaki sıcak ve ısıya maruz yüzeylerin de yalıtılması gerekmektedir (Kısakürek, 2003).

Motor bölümündeki sıcaklık yüksek olup birçok parçanın dayanıklılığı zamanla önemli ölçüde zayıflamaktadır. Ortalama sıcaklık 10°C arttığında bir polimer ürününün ömrü yarıya düşmektedir (Çetin ve Sayer, 2019). Araç lastikleri bölümünde tekerlek yuvası yangınları içten içe yanma riski olan yerlerdir ve bilhassa tespit ve söndürme açısından bir takım zorluklar içermektedir. Yolcu bölümündeki yangınlarla ilgili en büyük sorun ise, koltuk, perde gibi malzemelerin çok düşük bir yangın direncine sahip olması, koltukların içinde kullanılan sünger ve benzeri malzemelerde aşırı yanıcılık göstermesidir. Çok çabuk şekilde tutuşur ve çok hızlı yanarlar. Yolcu bölümünde kullanılan malzemelerin, özellikle yanmaya dirençli olması ve zor alevlenici yangın sınıfında olması gereklidir.

Test sonuçları beş dakikadan az bir sürede toksik gazın ve dumanın yolcu bölümüne girebileceğini göstermektedir. “Lastik basıncı/sıcaklık takip sistemleri” erken tespit için kullanılabilir sistemlerdir.

Günümüz taşıtlarında kullanılan polimerik malzemelerin oranı çok yüksektir. Polimerik malzemeler yüksek ısı nedeniyle yaşlanır sert ve kırılabilir hale gelebilir. Zamanında değiştirilmezse her biri yangın başlangıcı için sebep teşkil edebilirler (Kısakürek, 2003). Sadece 100 gram poliüretan köpük bile otobüsün içini çok kısa sürede tamamen dumanla doldurmaya yeterlidir (Zhang and Horrocks, 2003). Yüksek riskli alanlarında kullanılan malzemeler yangına karşı dirençli olmalıdır. Kullanılan malzemelerin yangına dirençli olmaları yanında, düşük duman çıkarması ve bu dumanın insanlar üzerindeki etkileri de göz önüne alınmalıdır. Kullanılan malzemeler kablo, kumaş, plastik parçalar vb halojenden arındırılmış olmalıdır. Yangına erken müdahale söndürmeyi kolaylaştırırken geç müdahale ise ortamdaki maddelerin ısınmasını ve yangının genişlemesi sağlar. Yangın detektörleri kullanılarak dumanın erken tespit edilmesini ve yangının hızlı algılanmasını sağlayarak yolcuların erken tahliyesini gerçekleştirmiş oluruz.

UNECE 118 (United Nations Economic Commission for Europe) sayılı Yönetmelik’te yapılan değişiklik ile otobüsler için yüksek yangın güvenliği seviyesi tanımlanmıştır. Yönetmelik 118’de, esas olarak yolcu bölümlerinde, motor bölmesinde ve ayrı olarak ısıtma yapan herhangi bir

bölmede kullanılan elemanların yanma davranışları ve bunların yanında kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri belirtilmiştir. Taşıtın iç bölümünde, motor bölmesinde ve ayrı olarak ısıtma yapan herhangi bir bölmesinde kullanılan malzemeler alevin oluşması, gelişmesi ve dumanın yayılması tehlikesini en aza indirecek şekilde yerleştirilmesi istenmektedir. Yönetmelikte koltuklardan 500mm'den daha yukarıda olan ve taşıtın tavanına yerleştirilmiş malzemelerin erime davranışının belirlendiği damlama testi sonucunda, damlatmanın olmaması veya çok az olması gerekmektedir. Eğer damla düştüğü pamuk yünü tutuşturmazsa testin sonucu yeterli olarak kabul edilmektedir. Eğer yatay yanma oranı dakikada 100mm'den daha fazla değilse veya son ölçme noktasına ulaşmadan sönerse test başarılı kabul edilmektedir (Yıldırım ve Çelik, 2014).

UNECE 107 Yönetmeliği “M2 veya M3 Kategorisindeki Taşıtlar İçin Esaslar” olarak bilinir. Bu doküman 26 Temmuz 2012’de yürürlüğe girmiştir. Motor bölmesinde kullanılan malzemeler için özel nitelikler ve motor bölmesinde oluşan yüksek sıcaklıklar için algılama sistemi istenmektedir. Akustik veya diğer amaçla kullanılan yanıcı malzemeler yangına dayanıklı bir tabaka ile kaplanmadıkça motor bölmesinde kullanılamayacağı belirtilmektedir (Kısakürek, 2003).

Malzemeler; yanma özelliklerine göre şu şekilde sınıflandırılır : 1-Yanııcı, 2-Zor alevlenici, 3-Kendiliğinde sönen, 4-Zor yanıcı, 5-Yanmaz malzeme şeklindedir. Malzemeler eğer yanmasına neden olan enerji kaynağı ortadan kaldırıldıktan sonra da yanmaya devam ediyorsa bu tür malzemeler “yanıcı” olarak adlandırılır. Şayet enerji kaynağı ortadan kaldırıldığında alev sönmüyor ve yanma ilerlemiyorsa bu tür malzemeler “zor alevlenici” olarak sınıflandırılır ve bu malzemeler için “kendiliğinden sönen” terimi de kullanılır. Tutuşmaya direnç gösteren malzemelere “zor yanıcı” ve yaklaşık 700°C sıcaklıkta tutuşmayan malzemelere de “yanmaz” malzeme denir. Birçok plastik malzeme yanıcı madde grubundadır. Plastikler diğer organik malzemelere benzer yangın davranışları sergiler. Yani yanma sonucu zehirli gaz karışımı ortaya çıkarır. Yanan malzeme türü ve yangının şartlarına bağlı olarak yangında ortaya çıkan zehirli gazların içeriği ve miktarı değişim gösterir. Bunların arasında karbon monoksit (CO) daima açığa çıkar ve birçok durumda da ölümlere neden olan en önemli etmendir (Liang et al., 2013).

Plastikler; yangın durumunda hızlı yanar, erir ve yanıcı sıvılara benzer davranış göstererek yanar ve fazla duman üretir, zehirli gaz çıkartır ve de yüksek sıcaklık oluştururlar. Söndürmek için çok fazla su ve yüksek yoğunlukta püskürtme yapan yağmurlama başlıkları gerektirir. Hammadde veya mamul olarak depolanmış plastiklerin söndürme sistemi kimyasal bileşiklerine, fiziksel formlarına ve depolama düzeneklerine göre belirlenir. Depolanma yüksekliği genel olarak 6 metreyi geçmemelidir. Plastiklerin

depolanması bodrum katı olmayan tek katlı binalar, tek katlı depolar tercih edilmelidir. Belli şartlar altında yanabilen ve tutuşabilen plastik yangınlarını kontrol etmede su kullanılabilir. Ancak, köpük çok daha etkilidir ve “Sulu Film Yapıcı Köpük” (AFFF) kullanılabilir. Plastik yangınlarına köpüklü su atmak için püskürmeli başlıkları kullanılır. Yağmurlama kuru borulu, ıslak borulu veya ön tepkimeli veya soğutulmuş alan sistemleri olabilir. ESFR, büyük damlalı veya ekstra büyük orifisli gibi yağmurlama sistemlerinden biri öncelikle dikkate alınmalıdır (Liang et al., 2013; Kılıç, 2017)

Bazı plastiklerin ayrışma ve tutuşma sıcaklıkları Tablo 11’de görülmektedir. PTFE, CPVC ve PC (polikarbonat) genellikle alev dirençli olarak kabul edilir ve PTFE ve CPVC tutuşma sıcaklığı yüksektir. PC’in tutuşması için uzun süre gerekir. ABS, PUR, PVC ve PS daha kısa sürede tutuşur (Liang et al., 2013).

Yangına dayanıklı ya da yanmaz plastikler yangına karşı mücadelede güvenilir şekilde kullanılmalıdır. Bazı plastikler hafiflikleri ve yangın koşullarına olan dayanıklılıkları nedeniyle itfaiyecilerin koruma malzemelerinde kullanılmaktadır. Örneğin: Emniyet malzemeleri, miğfer veya elbiseler, C-PVC yağmurluk, PVC veya PUR (poliüretan) kaplı yangın hortumları vd. dir (Eker Akdoğan, 2009; Vogel ve ark. 2012)

Yıldırım ve Çelik’in (2014) yapmış olduğu çalışmada boya malzemelerinin alev geciktiricilik özelliklerini incelemiş ve geliştirilmesine çalışmışlardır. Boya malzemelerine çevre dostu yani halojen içermeyen katkı maddeleri nanoboyutlu yanma geciktirici katkılardan (Huntit/Hidromanyezit) farklı miktarlarda karıştırılarak yeni kompozit malzemeler elde etmişlerdir. Bu kompozit malzemelerin SEM, FTIR, XRD, ve XPS karakterizasyonları yapılarak, alev-yanma geciktiricilik özelliklerini UL94 testleri ile incelemişlerdir. Yapılan testler neticesinde huntit ve hidromanyezit katkılı polimer esaslı kompozit kaplamaların/boyaların yanma geciktirici özelliklerinde artış olduğunu, bunun yanında mekanik özelliklerinin de geliştiğini gözlemlenmişlerdir (VW, 2012).

Tablo 11. Bilinen ve Çok Kullanılan Bazı Plastiklerin Isıl Özellikleri
(Liang et al., 2013; Lu and Hamerton, 2002; Lyon ve ark. 2005)

Tablo 2. Bilinen ve Çok Kullanılan Bazı Plastiklerin Isıl Özellikleri [13]

BİLİNEN VE ÇOK KULLANILAN BAZI PLASTİKLER	ISO/ASTM	Üst Çalışma Sıcaklığı (°C)	Ayrışma Sıcaklığı (°C)	Tutuşma Sıcaklığı (°C)
Acrylonitrile-butadiene-styrene	ABS	85 - 110	390	394
Polyvinylchloride	CPVC	90 - 110	-	643
Ethylenetetrafluoroethylene	ETFE	150 - 180	490	540
Polyamide	PA	80 - 160	424	432
Polycarbonate	PC	120 - 140	476	500
Polyethylene (high density)	PE HD	55 - 120	411	380
Polyethylene (low density)	PE LD	50 - 90	399	377
Polyethyleneterephthalate	PET	110 - 180	392	407
Polypropylene	PP	100 - 130	354	367
Polystyrene	PS	60 - 100	319	356
Polytetrafluoroethylene	PTFE	180 - 260	545	630
Polyetherurethane	PUR	80 - 100	324	356
Polyvinylchloride	PVC	60 - 80	273	395

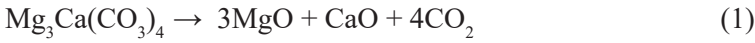
Avrupa Birliği, bromlu difeniloksit yanmayı geciktiricilerin kullanımını sınırlandırmayı tavsiye etmiştir. Bunun nedeni yanma sırasında aşırı derecede zehirli-toksik ve yüksek karsinojenik dioksinler ve bromlu furanlar oluşabildiği belirtilmiştir. Günümüz yanma geciktirici katkıların, sürekli değişen çevre yönetmelikleri, standartlar ve test metotlarının istekleri karşılamak için geliştirilmeleri gereklidir.

Yanma esnasında polimer zincirleri kendinden daha yanıcı olan küçük moleküllere veya zincirlere parçalanırlar. Bu sayede ortamın alevlenme kapasitesi devamlı artar. Yanma esnasında ortaya çıkan gazların türü, polimer malzemeye ve katkı maddesinin yapısına bağlıdır. Politetrafloretilen (PTFE) ve Polivinilklorür (PVC) gibi polimerler yapılarında halojen atomları barındırır, yandığında ise hidrojen, karbon ya da başka atomlar yanında ortama halojenler de bırakır. Halojen atomları hidrojenle birleşirler ve HCl, HF, HI, HBr türü ağır gazlar meydana gelir. Açığa çıkan bu zehirli gazlar, alevlerin verdiği zararlar kadar insan sağlığı açısından tehlike arz eder (Demirer ve Öz, 2021;Kısakürek, 2003).

Ortamda CO olması, kana oksijenin taşınmasını engeller. Dünyada giderek artan bir taleple zehirli ve aşındırıcı gazların oluşmasına karşı halojen içermeyen yanma geciktiricilerin geliştirilmesi desteklenmektedir. Sürekli değişen düzenlemeler yeni yanmazlık malzelerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Literatür taramaları sonucunda elde edilen verilerde farklı katkıların polimerlerin yanabilirliğini kısıtladığı tespit edilmiştir. Yanma geciktirici katkılar genelde CaCO_3 , SiO_2 , karbon siyahı ve bazı killer, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ve huntit-manyezit de aktif takviye elemanlarıdır. Çevre dostu olan huntit ve hidromanyezit iyi yanma geciktirici özelliklere sahiptir. Bu yapılar hidroksit içermekte, 200°C ve 400°C arasında endotermik bozunmaktadır. Ortama su buharı ile karbondioksit bırakırlar. Yanma reaksiyonu ile soğutma etkisi ve bırakılan inert gazların etkisiyle beraber yanan yüzey üzerinde seramik yapıya benzeyen bir tabakacık oluşturmaktadır. Bu seramik tabakacık, yanıcı yüzeyine ısıya ve yanma hareketine karşı koruma zırhı oluşturur.

Huntit:



Hidromanyezit:



Yıldırım ve Çelik (2014); yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda nano boyutlu hidromanyezit ve huntit tozlarını boya malzemesi ile kompozit kaplama haline getirerek boyaların yanma geciktirici özelliklerinin geliştirilmesi hedeflemişlerdir. Ayrıca yangınlarda can ve mal kayıplarının önüne geçilmesini hedeflemişlerdir. Yapmış oldukları standart testlerde hidromanyezit ve huntit mineralinin yanma geciktirici etkisi olduğunu, içerisinde %3 oranında hidromanyezit ve huntit katılması durumunda alevlenme süresi iki katı kadar (20s) çıkarılmasına rağmen numunelerin yanmadığını tespit etmişlerdir. Elektrik kaçağı vb. yangınlarda yanmaya karşı polimer malzemelerin dayanımını arttırmak için nanokompozit teknolojisinin ön plana çıkmasının gerekli olduğunu belirtmişlerdir (VW, 2012).

5.SONUÇLAR

Sonuç olarak günümüzde birçok avantajlarından dolayı polimer malzemeleri her alanda olduğu gibi taşıtlarda da kullanmaya devam edilecektir. Polimerler malzemeler organik maddelerdir ve ateşten/alevden kolayca etkilenirler. Yanma geciktirici katkıların ilavesi yanmaya karşı oluşturulan direncin bir ölçüsüdür. Nihayetinde tüm polimerler petrol türevi olmaları neticesinde yanarlar. Fakat yanma geciktiriciler, katastrofik yanma hasarını en aza indirmek veya yanmayı geciktirmek gibi bir vazifesi vardır. Çarpışan araçlarda yangınların %54'ü motor bölümünde, %33'ü yakıt tanklarında ve %4'ü ise lastiklerden ve frenlerden meydana gelmektedir. Araçlar, üretim aşamasında pasif yangın güvenlik önlemleri (yanmaz katkılı malzemeler kullanmak gibi) dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Yangın çıkma durumuna göre de yangını erken safhada fark edip, yangının daha geniş bir alana yayılmadan müdahale edecek duman ve yangın algılama ve de sön-

dürme sistemlerin kurulumu, tesisi gibi aktif yangın önlemlerinin alınması gereklidir.

İnsan ve çevreye zarar vermeyen yanma önleyici malzemeler ekseriyetle CaCO_3 , SiO_2 , kil inert, karbon siyahı, Mg(OH)_2 , Al(OH)_3 , ve huntit-manyezit gibi aktif takviye elemanları katılması tavsiye edilmektedir.

Yüksek sıcaklığa maruz kalan motor kısmına ait bölümlerde polimer malzemeleri daha kısıtlı kullanmak kaydı ile karbon ve cam fiber takviyeli ve yanmaz katkılı ürünler tercih edilmelidir. Cam elyaf ve karbon elyaf dokuma kumaşlar alevi iletmezler ve de yanmaz özelliklere sahiptirler. Kullanıldığı ürüne kazandırdığı mekanik özellikleri dışında ısı ve ses izolasyon avantajları da mevcuttur. Örneğin tamamen %100 karbon elyaftan üretilen yanmaz kumaşlar 3000°C sıcaklığa kadar dayanıklıdır ve kansorejen olan asbest de içermezlerdir.

Motorlu taşıtların iç mekanlarında tasarım aşamasında alevlenmesi güç polimerler tercih edilmeli ve her durumda yangın ve duman sensörleri bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Çelik, G., Yıldız, Z., (2018), “Hastanelerde aktif yangın güvenlik önlemleri”, *3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress IMSEC*.
- Çetin, A. Sayer S.,(2019), “Emme Manifoldu Üretiminde Gelişen Teknolojik Uygulamalar”, *Engineer and Machinery, Review Article*, vol. 60, no.696, pp.251-261.
- Demirer A., Öz A. (2021), “Advances in Polymers And Polymer Matrix Composite Materials in Automotive Industry”, *13th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education (ICoSReS-SE)*,26-29 May 2021, Antalya/Turkey.
- Demirer A., (2020),“Polimer Teknolojisi ve Kalıplama Prosesi Ders Notları”, *SUBÜ. Teknoloji Fakül.*,Sakarya.
- Eker Akdoğan A.,(2009), “Plastiklere İlave Edilen Katkı Maddeleri”, *Yıldız Tek. Üni. Ders notları*.
- Gail Jost, S. Dülsen, A.H. Böllinghaus, (2013), “Fire Safety Of Buses - Research Action For Improving Vehicle Regulations”,*Germany Federal Highway Research Institute*, Paper Number 13-0022.
- Hammarström Rolf; J. Axelsson M. Försth, P. Johansson B. Sundström; (2008), “Bus Fire Safety”, *SP Technical Research Institute of Sweden Fire Technology*, SP Report 41, s. 16.
- İndibay E., (2021), “Kompound Üretiminde Kullanılan Katkıları”, *Plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj dergisi*, Mayıs 2021, İstanbul.
- Kaya M., (1998), “Alev Geciktirici ve Duman Bastırıcı Katkı Maddeleri”, *Eng. & Arch. Fac., Osmangazi University*, Vol.11, No.2.
- Kaya M., Oz D., (1999), “Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastıran Katkı Maddeleri”, *3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu /14-15 Ekim 1999*, İzmir, Turkey.
- Keegan, N. (1998), "Alumina Trihydrate", *Industrial Minerals*, No. 368, pp: 35-43, May 1998.
- Kılıç A., (2019), “Otobüs Yangınları: Sebepler ve Önlemler”, *Mühendis ve Makina Güncel Dergisi*, www.mmo.org.tr, Haz. 2019.
- Kılıç, Abdurrahman, (2017), “Plastiklerin Yangın Güvenliği”,*TÜYAK Yangın Mühendisliği Dergisi*, Sayı 3, s38-43.
- Kısakürek, D., (2003), “Yanmaya Dayanıklı Polimerler”, *XVII Ulusal Kimya Kongresi*, s.20.
- Liang, S., Neisius, N. M., Gaan, S., (2013), “Recent developments in flame retardant polymeric coatings”, *Progress in Organic Coatings*, 76, 1642-1665.

- Lu, S.Y. and Hamerton, I., (2002), "Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers", *Progress in Polymer science*, 27, 1661-1712.
- Mureimk, R.J. (1998)," Flame Retardants", *Industrial Minerals*, No: 364, pp: 45-49, Jan.1998.
- NFPA 556, (2010), "Guide on Methods for Evaluating Fire Hazard to Occupants of Passenger Road Vehicles", *Outback Marine, Alternator*, Erişim adresi: <https://www.outbackmarine.com.au/saddle-mount-6-series-24-volt-70-amp-alternator-wi>, 06 Mart 2020.
- PAGEV Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör İzleme Raporu, (2017), *www.pagev.org*, Erişim: Nisan 2021.
- Richard L.E. And Janssens M.L., (2005), "Polymer Flammability", DOT/FAA/AR-05/14, *U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration Final Report*, May 2005.
- Rothon, R. (1994), "Mineral Requirements for Flame Retardants", *Industrial Minerals*, pp: 51-53, Dec.1994.
- Saçak M., (2010), "Polimer Teknolojisi", *Gazi yayınevi*, Ankara.
- Sambale, H. (2009), "Ansaugkrümmer aus PP,Leichter, umweltverträglicher und kostengünstiger", *Kunststoffe*, Viyana, Avusturya.
- Savaşçı T., Uyanık N., Akovalı G., (2009), "Plastikler ve Plastik Teknolojisi", *PAGEV Yayınları*, İstanbul.
- Vogel C. A. Mueller, D. Lehmann, F. Taeger. (2012), "Characterization of the Burning Behavior of Plastics by a New Method", *Open Journal of Polymer Chemistry*, 2, 86-90.
- VW Adopts PP Intake Manifolds in Two Car Engines (2012), <https://www.ptonline.com/articles/vw-adopts-pp-intake-manifolds-in-two-car-engines>, Erişim Tarihi:may 2021.
- Yıldırım S., Çelik E., (2014), "Alev Geciktirici Huntit ve Hidromanyezit Nanopartikül Takviyeli Polimerik Kompozit Kaplamalar", "Flame Retardant Huntite and Hydromagnesite Nanoparticle Reinforced Polymeric Composite Coatings", *AKU J. Sci. Eng.* 14, OZ5762 (387-393).
- Yıldız Z., E. Köse E., (2020),"A Review on Motor Vehicles Fires", *European Journal of Science and Technology*, No. 19, pp. 119-126, August 2020.
- Zhang, S., and Horrocks, A. R., (2003), "A review of flame retardant polypropylene fibres", *Progress in Polymer Science*,28 (11), 1517-1538.

Bölüm 8

SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK BAĞLAMINDA EĞİTİM YAPILARININ ENERJİ ETKİN AYDINLATMA AÇISINDAN İNCELENMESİ

Hümevra ÇAĞLAR¹

Uğur ÖZCAN²

1 Y. Mimar, FSM Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Yüksek Lisans Programı, İstanbul, Türkiye, e-posta: humeyra.caglar@gmail.com (ORCID: 0000-0003-2602-9189)

2 Dr. Öğr. Üyesi, FSM Vakıf Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, e-posta: uozcan@fsm.edu.tr (ORCID: 0000-0003-0002-4478)

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının temelini oluşturan doğa, son yıllarda hız kazanan sanayileşme ve tüketimle birlikte zarar görmeye başlamıştır. Doğanın dengesindeki bozulma, yaşamsal faaliyetler için yetersiz kalması fikri insanları endişelendirmiştir ve sürdürülebilirlik kavramının oluşmasına neden olmuştur. Sürdürülebilirlik; insan-çevre ilişkisinin devamlılığını esas alan ve bu ilişki üzerine değerlendirmeler yapan bir kavram olarak ortaya atılmıştır. Yapılan çalışmalarla doğaya zarar vermeden insan ihtiyaçlarının karşılandığı üretim stratejileri belirlenmiştir. Mimarlık; insan faaliyetlerinin çoğunu çevreleyen kapalı ve açık mekânlarla ilgilenen bir çalışma alanıdır. Bu bağlamda sürdürülebilirlikle ilişkilendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Mimarlık-sürdürülebilirlik ilişkisi mekânların çevrelediği faaliyetlerin de ilişkisi desteklenmekte ve özelden genele doğru sürdürülebilirlik izleri taşınmaktadır. Kullanılan yapıların büyük kısmını kamu yapılarından; kamu yapılarının çoğu da eğitim yapılarından oluşmaktadır. Sürekli değişim ve yenilenme içinde bulunan dünyada, her gün ortaya çıkarılan yeni bilgiler nedeniyle eğitim değer kazanmakta ve eğitim alanındaki yatırımlar artmaktadır. Eğitim yapıları, bu yatırımlar bünyesinde ve aynı zamanda gün içinde okulda uzun süre vakit geçirilen küçük yaşlardan itibaren doğa koruma bilincinin yerleşmesini desteklemektedir.

Sürdürülebilir mimarlık bağlamında yapı tasarımında enerji kullanımı, kaynak kullanımı, araziye uygun tercihler yapılması önem taşımaktadır. Enerji kullanımının %30'unu kapsayan aydınlatma ihtiyacı için enerji etkin sistemler tercih edilmesi enerji ve kaynak korunumuna katkı sağlamaktadır. Kullanıcı ihtiyaçlarının doğaya zarar vermeden asgari ölçüde karşılanması; eğitim kalitesini ve zaman içinde değer kazanan bilginin sürdürülebilirliği konusunu desteklemektedir. Çalışma bağlamında insanların küçük yaşlardan itibaren uzun süreli vakit geçirdiği ve mevcut yapılar içindeki oranı yüksek olan eğitim yapılarında, yaşam döngüsü boyunca devam eden enerji kullanımı içinde en geniş yer kapsayan aydınlatma konusu değerlendirilmiştir.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK

Sürdürülebilirlik kavramının dini anlamdaki geçmişinin bilinenden eski olduğu ve ilk İncil'e kadar dayandığı ifade edilmiştir. Düşünce olarak uzun bir geçmişe sahip olsa da kavram olarak ortaya çıkışı 18. yüzyılı bulmuştur. İlk dönemlerde kavramsal olarak ekonomi ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak oluşan çevre sorunlarının önlenmesi ve doğal yaşamın maksimum seviyede korunabilmesi konularını kapsamaktadır. Süreç içinde farklı çalışma alanlarıyla ilişkilendirilmiş ve her çalışma alanında kapsama uygun şekillerde tanımlanmıştır.

Literatürdeki yaygın düşünceye göre sürdürülebilirlik fikrinin temeli 1713 yılında Hans Carl von Carlowitz'in kaleme aldığı Yabani Ağaç Yetiştirme Kılavuzu'na dayanmaktadır. Ancak sürdürülebilirlik kavramı, somut olarak ilk defa 19. yüzyıl başlarında Arthur Young tarafından "General View of Agriculture of Hertfordshire" adlı kitabında kullanılmıştır.

-Türkçe'de kelime olarak "sürekli, daimi, kesintisiz, devamlı olma kabiliyeti" anlamına gelmektedir.

-Oxford Sözlüğü'nde "belli oranda veya düzeyde devam ettirebilme" şeklinde çevrilmiştir.

-Genel kabul görmüş tanım olarak Brundtland Raporu'ndaki yaygındır. Rapora göre "gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını riske atmadan bugünün ihtiyaçlarını karşılama" şeklinde tanımlanmıştır.

Sürdürülebilirliğin temel hedefi; insan etkisiyle doğada meydana gelen bozulmaları onarmak ve olası hasarlar için önlemler almaktır (Çiğın ve Yamaçlı,2020). Özellikle 1. ve 2. Dünya Savaşları sonrası yaşanan gelişmelerle küresel bağlamda tüketim, atık ve sera gazı oranları yükselmiştir. İlk dönemlerde kirliliğin azaltılması ve mekân kalitesinin artırılmasını hedeflerken; endüstrileşme sonrası olumsuz hayat şartlarının düzenlenmesine ilişkin fikirlerin mekana yansımaları olarak ortaya çıkmıştır (Boyacıoğlu ve diğ., 2020). Sürdürülebilirlik kavramı somut olarak ilk kez 1713 yılında Hans Carl von Carlowitz'in maden ocaklarının orman alanlarında neden olduğu tahribata dikkat çekmek için kaleme aldığı Yabani Ağaç Yetiştirme Kılavuzu (Sylvicultura Oeconomica) adlı eserinde kullanılmıştır. Düşünce olarak literatüre girişi 19. yüzyıl başlarında Britanya Adaları'nda tarım arazilerinde ürün verimliliğini artırmak amacıyla incelemeler yapan Arthur Young'ın hazırladığı "General View of Agriculture of Hertfordshire" isimli kitabında gerçekleşmiştir.

İlk dönemlerde kirliliğin azaltılması, kent mekanının geliştirilmesi ve insan-doğa bağının değiştirilmesini hedefleyen sürdürülebilirlik kavramı, 1970'li yıllarda çevre ile ilişkilendirilmeye başlamıştır. Ciddi olarak ülkelerin gündemine girişinin ilk somut örneği G-7 ülkeleri tarafından hazırlanan, nüfus yoğunluğu, üretim ve tüketim, hammadde kaynakları ve çevre kirliliği konularının incelendiği "Büyümenin Sınırları" (Limits of Growth) başlıklı çalışmadır (Şen ve diğ., 2018). Çalışmada tüm gelişmişlik düzeyindeki ülkeler için aynı çözüm önerileri sunduğundan gelişmekte olan ülkeler tarafından kabul edilmemiştir. Bunun sonucunda Maseroviç ve Pestel, ülkelerin farklı büyüme modelleri benimsemeleri gerektiğini belirten "İnsanlık Dönüm Noktasında" adlı rapor hazırlamıştır (Tokat, 2010). Sürdürülebilir kalkınma alanında yapılan en önemli çalışmalardan biri olan 1987 tarihli Brundtland Raporu, tüm dünyada hâkim olan ekonomi merkezli kalkınma anlayışı yerine sürdürülebilir gelişme düşüncesini

ortaya atmıştır. Çalışmada sürdürülebilirlik kavramı ilk kez “sürdürülebilir kalkınma” olarak kullanılmıştır.

Brundtland Raporu ile sürdürülebilir kalkınmanın üç temel ilkesi şu şekilde oluşturulmuştur: kaynakların verimli kullanımı ile ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması, insan aktivitelerinde çevre koruma konusuna odaklanması, kişi ve toplumlara adil davranılması ve yoksul ülkelerin sömürülmesinin önlenmesi (Şen ve diğ., 2018). Sürdürülebilirlik kavramının uluslararası düzlemde kavramsallaşması 1992 yılında gerçekleştirilen Çevre ve Kalkınma Konferansı ile gerçekleşmiştir. Konferans sonunda kabul edilen Rio Deklarasyonu(Gündem 21)’nda; kaynak kullanımı, kalkınma planları içinde sorumlulukların güçlendirilmesi ve planların gerçekleştirilme yöntemlerine dikkat çekilmiştir.

1995 yılında gerçekleştirilen Nüfus ve Kalkınma Konferansı ile 1996 yılında İstanbul’da gerçekleştirilen İnsan Yerleşimleri Konferansı (Habitat II)’de sürdürülebilir kalkınmanın nüfus ile ilişkisi, çevre ve kalkınma dengesi irdelenmiştir (Bozlağan, 2010). Habitat II’nin sonucunda insan ihtiyaçlarını karşılayabilecek kaliteli yaşam ortamları için mekanların sürdürülebilirliğine vurgu yapılmıştır (Tosun, 2009). 20. yüzyılda sürdürülebilirlik çalışmalarının hız kazanmasının temel nedeni, ekonomik kalkınma-çevre ikileminde çevre tahribatının artmasıdır. 1970’li yıllardan itibaren oluşan gelecek kaygısı, insanları çözüm yolu aramaya teşvik etmiştir.

21. yüzyılda gerçekleştirilen sürdürülebilirlik çalışmalarının ilki 2002 yılında Johannesburg’da gerçekleştirilen BM Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi’dir. Çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğin, ekonomik sürdürülebilirliğe göre öne çıkması gerekliliği vurgulanmıştır (Şen ve diğ., 2018). 2012’de gerçekleştirilen “İstedığımız Gelecek” adlı çalışmada o zamana kadar yapılan çalışmaların beklentiyi karşılamadığı ve uygulama konusunda yetersiz kaldığı ifade edilmiştir (Bakırlıoğlu, 2012).

Sürdürülebilirlik kavramının mimarlık alanındaki tanımı, kaynak tüketimi konusunda bilinçli ve yaşam döngüsü boyunca çevre şartlarıyla uyumlu bir mimari anlayışı şeklinde açıklanabilir (Can ve Kurtoğlu, 2017). Doğan Hasol, ekolojik mimarlığı “Çevre sorunlarının artışı nedeniyle enerji tasarrufuna sahip, aktif yalıtımlı, gün ışığından maksimum faydalanan ve geri dönüşümlü malzemelerin kullanıldığı mimarlık” şeklinde tanımlamıştır (Moza ve Tokman, 2015). Çeşitli şekillerde tanımlanan sürdürülebilir mimarlıkta tüketim yerine üretim aşamalarına odaklanarak üretimden sonraki süreçte de işlevinin yanında çevreye verilen zararın minimuma düşürülmesi hedeflenmektedir. Kim ve Rigdon, sürdürülebilir mimarlığın temellerini üç ilkeye bağlamıştır: Kaynak korunumu, yaşam döngüsünün sağlanması, insan merkezli tasarım. Sürdürülebilir yapıların

ve tasarım düşüncesinin ana hedefi enerji kullanımını azaltmak ve kaynak devamlılığının sağlanması, çevrenin doğal koşullarının korunması, çevreyi korurken insan sağlığı ve konforunun maksimum seviyede sağlanması, kültürel ve politik görüşlerin de göz önüne alınmasıdır (Tonguç ve Özbayraktar, 2017).

Sürdürülebilir mimari, doğal çevreyle uyumu hedeflemektedir. Uyumu sağlayabilmek için de doğanın verilerini toplayıp tasarıma adapte etmektedir. Doğal çevrenin iklim, coğrafi yapı, topoğrafya, yeraltı ve yerüstü suları; yapay çevrenin ulaşım, altyapı sistemleri, çevre yapılar gibi verileri toplanıp tasarlanacak yapı tasarımı için değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir mimari anlayışı kaynakların korunması ve geliştirilmesi fikrini sosyal ve ekonomik kalkınma amacıyla sentezleyerek; mimari ve kentsel gelişimin etkilediği tüm sosyal, ekonomik ve çevresel faktörler arası dengenin kurulmasını, kalkınma şeklinin yerel, ulusal ve uluslararası kuruluşların ortaklaşa kararlaştırmasını gerektirmektedir (Tosun, 2009). Sürdürülebilir mimarinin sağlanabilmesi üç temel ilkeye bağlanmıştır: kaynakların korunumu, yaşam döngüsü tasarımı ve insancıl tasarım. Yapının tasarım aşamasından başlayarak kullanım ve kullanım sonrası evrelerde enerji, su ve malzemelerin verimli kullanımı, atık oluşumunun azaltılması için geri dönüşümlü veya yeniden kullanılan malzeme seçilmesi, sağlıklı yaşam ortamını oluşturarak insan sağlığının ve yapının uzun süre kullanılabilmesi hedeflenmektedir. Mevcut doğal ve yapay çevre ile tam uyum içinde çalışan bir yapı için var olan çevreye ait verilerin değerlendirilip yapıya adapte edilmesi gerekmektedir. Bu durum aslında mimarlığın inşa edilecek çevreye ait malzemeler, kaynaklar, iklim ve coğrafya koşullarıyla oluşturulması gerektiğini göstermektedir.

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK BAĞLAMINDA EĞİTİM YAPILARI

Eğitim, bir bireyin içinde bulunduğu toplumda kendine yer edinebilmek ve toplumun şartlarına uyum sağlamak için kendini koşullara uygun hale getirmesi süreci olarak tanımlanabilir. Eğitim kavramı, Türk Dil Kurumu tarafından yapılan tanıma göre “çocuk ve gençlerin sosyal yaşantılarında yer edinmeleri için gerekli bilgi, beceri ve anlayışları elde etmeleri için, kişisel gelişimleri için okulda veya okul dışında, etkin veya etkin olmayan yollarla destek olma” şeklinde ifade edilmiştir. Günümüzde eğitim kavramı üç farklı anlamda kullanılmaktadır. Öncelikli anlamında sosyal bir sistem ve kurumu ifade etmektedir. Sistemin kendi içinde kural ve kanunları, öğretici ve öğrencileri mevcuttur. İkinci olarak bir fiilin sonucu olarak kullanılmaktadır. Üçüncü olarak bireyler arasında etkileşimler ile belirlenmiş eğitim sürecinin dışında, yaşamın her evresinde süregelen bir süreç olduğu belirtilmiştir (Karakuş, 2019).

Endüstri sonrası dönemde bilim ve teknolojinin hayat şartlarını belirleyecek tek etken olacağı ve “bilgi toplumu” anlayışının hâkim olacağı görüşü ileri sürülmüştür. Bu nedenle gelişmiş ülkelerden başlayarak tüm dünyada yeni bilgiler üretmek için bir yarış başlamıştır. Öyle ki ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin bilimsel çalışmalara olan katkıları ile ölçüleceği ve ayrıcalık sağlayacakları öne sürülmüştür. Postmodern çağda bilginin bir değerlendirme ölçütü olması nedeniyle eğitimin kapsamı ve hedefleri de genişlemiştir (Aslan, 1998).

İçinde bulunduğumuz postmodern çağda her an ortaya çıkan yeni gelişmeler nedeniyle toplumlar yenilikleri bünyesine kazandırma zorunluluğunda kalmıştır. Mevcut düzen sorgulanmaya, var olanın yerine daha iyisi yerleştirilmeye çalışılmıştır. Süregelen eğitim anlayışı da sorgulanarak toplumsal değişimde bir üst adım olan postmodern eğitim düzeni oluşturulmuştur. Modern çağdaki sınırları belirlenmiş, öğrenciyi pasif konuma düşüren, sert, katı ve otoriter, nesnel bilginin öncelikli olduğu sistem yerine; sorgulamayı, öznel bilgiyi, bireysel değerleri ve öğrenciyi önemseyen, farklı fikirlerin değer gördüğü bir eğitim sistemine geçilmiştir (Kılıç ve Bayram, 2014).

Eğitim çok yönlü bir eylem olduğundan, eğitim yapılarının tüm aktivitelere cevap verecek nitelikte olması beklenir. Tasarlanmış öğrenme mekânlarında sağlanması gerekli yedi temel özellik; yapısal koşullar ve yapısal durum, büyüklük ve kapasite, işlevsel yeterlilik, çevresel kalite, güvenlik ve emniyet, çevresel konuma uygun sembolik değer ve estetik olarak sıralanmıştır (Erman ve Ayalp, 2020). Eğitim yapılarının çok işlevli kullanımını hedeflemesiyle tanınan Hollandalı mimar Herman Hertzberger, okul yapılarında kentlerde olduğu gibi buluşma, toplanma ve bir araya gelme mekânları oluşturarak bu alanlarda öğrencilerin karşılıklı etkileşim içinde öğrenmesini hedeflemektedir (Erman ve Ayalp, 2020). McGuffey eğitim verimliliği üzerine yaptığı araştırmada güvenli, modern ve kontrollü fiziksel çevrenin öğrenmeyi pozitif etkilediği sonucuna varmıştır. Ayrıca fiziksel koşulların farklı yaşlardaki öğrencileri farklı şekillerde etkilediğini, bu nedenle tasarım kararlarında kullanıcı yaş grubunun önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir (Al, 2014).

Eğitim binaları, eğitmen ve öğrencilerin ihtiyaçlarını karşılayacak kapasitede alan ve öğelere sahip olmalıdır. Kullanım verimliliği için yapıyı oluşturan her birim yeterli alanı sağlayacak boyutlarda tasarlanmalıdır. Eğitim yapıları incelemesinde boyutlara göre sınıflandırma yapan Karl Otto, sınıfların 78-84 m² alana sahip olması gerektiğini, her birey için 2,5 m² alana ihtiyaç olduğunu belirtmiştir (Karakuş, 2019). Sürdürülebilirlik kavramının tanım ve kapsam alanı değiştikçe farklı adlarla ifade edilen sürdürülebilir eğitim yapılarının ortak yönleri “sağlıklı, konforlu, enerjiyi etkin kullanarak doğaya ve çevreye en az zarar veren, bakımı ve işletimi kolay” olmalarıdır (Çelik, 2018).

Eğitim yapıları, kullanıcılarının uzun süre vakit geçirdiği alanlar olarak bireyler üzerinde sürdürülebilirlik bilinci oluşmasında yüksek oranda etkilidir. Yapı, bu bağlamda öğrenciler için bir laboratuvar görevi üstlenmektedir (Tavşan ve Yanılmaz, 2019). Milli Eğitim Bakanlığı (2020) ve Yükseköğretim Kurulu (URL-1)'na ait 2020 yılı verilerine göre toplam nüfusun yaklaşık %32'sini kapsayan öğrenci nüfusu ile eğitmen ve veliler de hesaba katıldığında eğitim yapıları ile sağlanacak enerji tasarrufu ve kazandırılacak çevre bilincinin etkisi yadsınamaz boyutlara ulaşmaktadır. Çalışmada, öğrenme için bir araç haline gelen ve kullanıcılarını bu yönde olumlu etkileyen sürdürülebilir eğitim yapıları; kaynak kullanımı, arazi kullanımı ve yaşamsal konfor açısından irdelenmiştir. Kaynak kullanımı değerlendirilirken yapının yaşam döngüsü sürecinde kullanılan kaynaklar; malzeme, su ve enerji olarak sınıflandırılmaktadır. Dünya nüfusunun sürekli artıyor oluşu kaynakların yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Eğitim yapılarının her an kullanılıyor oluşu, yapı içinde sürekli enerji ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca birçok farklı işlevi bünyesinde barındıran eğitim yapılarında uygun öğrenme ortamının sağlanabilmesi için enerji sistemlerinin uyum içinde olması gerekmektedir. Yapının bulunduğu çevre ile uyum içinde çalışabilmesi için kaynak seçiminde öncelikli tercihler, o bölgeye ait kaynaklar arasından yapılmalıdır.

Yapının yaşam döngüsünün her evresi için enerji kullanımı ve enerji kaynaklarının korunması, bütüncül bir planlamayı gerektirmektedir. Çeşitli aktivite alanlarını barındıran eğitim yapılarında temel mekanlar dersliklerdir. Algının %85 oranında göz ile sağlandığı düşünülürse görsel konforun eğitim kalitesi üzerindeki etkisi ve aydınlatmanın önemi ortaya çıkmaktadır. Tasarım kararlarında gün ışığının yapıya olumlu şekilde etki etmesini sağlayacak yöntemler ve doğru yapay aydınlatma sistemi seçimi ile enerjinin verimli kullanılması sağlanmalıdır (Çelik, 2019). Enerji korunumu, etkin enerji kullanım teknolojileri ile tasarlanan sistemlerle desteklenmeli ve kendi enerjisini üreten bina sistemleri oluşturulmalıdır. Enerji döngüsü sağlanırken, kaynakların sürdürülebilirliğini destekleyecek alternatif sistemler geliştirilmelidir.

Eğitim yapılarında; bina yaşı, binanın bakım durumu, kullanıcı sayısı ve kullanılan elektrik tesisatına bağlı olarak enerji kullanımı değişiklik göstermektedir. Günümüz eğitim yapılarında eğitim yapılarına yüklenen yeni fonksiyonlar ve bu fonksiyonlara bağlı olarak artan ekipman sayısı ile enerji kullanımı da artmıştır (Baykal, 2013). Paralelinde sürdürülebilir bina tasarımı düşüncesi de genişlemekte ve doğal enerji kaynakları bina tasarımında daha fazla yer bulmaktadır. Zaman içerisinde değişen şartlara uyum sağlayarak konfor koşullarına uyumlu hale gelebilen sistemler, bina tasarımlarına dahil edilmektedir (Güvenç, 2008). Enerji kaynaklarının yanı sıra yapılaşmış kentsel bir çevrede yer alan ve tasarlanacak yapının

uygun yönelimine müsaade edecek arsalar, yapının doğrultularının düzgün belirlenmesi ile binanın aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma gibi konularda enerji tasarrufu sağlamasına yardımcı olmaktadır (Kayıhan ve Tönük, 2008).

Bir mekân tasarımı ile asıl hedeflenen işlevsel amacına uygunluğun maksimum seviyede sağlanmasıdır (Akyıldız ve Yıldız, 2020). Eğitim yapılarında işlevsel gerekliliklerden sonra hedeflenen koşul, vakitlerinin büyük çoğunluğunu inşa edilecek yapı içinde geçirecek olan öğrenci ve öğreticiler için gerekli ergonomiyi sağlamaktadır. Öğrenme mekânlarında konfor koşullarının sağlanması için ısı, ışık, sıcaklık, gürültü düzeyi, mekândaki nesnelere biçim, malzeme ve rengi, güvenlik, mekân algısı ve gerekli görüş açısının sağlanabilmesi önem taşımaktadır. Dersliklerde yeterli doğal ışığın alınabilmesi için pencere alanı, zemin alanının %18'i kadar olmalıdır. Yazı tahtası kullanılan sınıflarda doğal ışığın doğru açıyla alınması için yazı tahtası, pencerenin soluna konumlandırılmalıdır. Yapay aydınlatmalar ise gün ışığıyla uyumlu çalışacak şekilde planlanmalı ve seçilmelidir (İsmailoğlu ve Zorlu, 2018).

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR EĞİTİM YAPILARINDA ENERJİ ETKİN AYDINLATMA

Kaynakların bilinçsiz kullanımı ve tüketilmesi nedeniyle son yıllarda alternatif enerji kaynakları çalışmaları hız kazanmıştır. Eğitim yapılarında enerji kullanımının %56'sı aydınlatma ihtiyacına ayrılmaktadır. Bu bağlamda aydınlatma sistemlerinde enerji tasarrufu konusunda çalışmalar artırılmıştır. Çalışmalarda enerji tasarrufunun yanı sıra kullanıcı ihtiyaçları esas alınmalıdır. Kişinin mekân hakkında yeteri kadar bilgi edinebilmesi, uyum sağlamasına ve yabancılaşma hissinden uzaklaşmasına yardımcı olmaktadır. Kişinin bir çevrede kendini güvende hissedebilmesi, mekândaki ışık şiddetiyle ilişkilendirilmiştir.

Aydınlatma kavramı, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından “mekan ve mekan içindeki nesnelere gerektiği gibi görülmesini sağlamak amacıyla ışık vermek” şeklinde tanımlanmıştır (Şahin ve diğ., 2014). Aydınlatma Sözlüğü'nde ise “nesnelere, çevrelere veya belirlenmiş bir bölgeye görülebilmeleri için ışık uygulanması” olarak açıklanmıştır (Sirel, 2012). Aydınlatmanın temel amacı; mekânsal fonksiyon yerine getirilirken kullanıcıların yaptıkları işi ve kullandıkları nesneyi görmesi, gün boyu süren kullanım sırasında görsel yorgunluğun önlenmesidir.

Aydınlatma ihtiyacı her işlev ve amaca göre farklılaşmaktadır. Bu çeşitlilik sonucu aydınlatma teknikleri oluşturulmuştur. Kullanılacak tekniğin öncelikli hedefi nesnelere en iyi şekilde algılanması ve mekânsal işlev yerine getirilirken görsel konforun sağlanmasıdır.

İyi bir aydınlatma sistemi oluşturulmasında temel ilkeler;

-Yapılacak etkinliğe uygun ışık şiddetinin belirlenmesi,

-Yeterli aydınlık ve gölgenin sağlanması,

-Göz kamaşması gibi görsel rahatsızlıkların engellenmesi,

-İşleve uygun ve kaliteli rengin seçilmesi şeklinde sıralanabilir (Ersoy ve Ersoy, 2007).

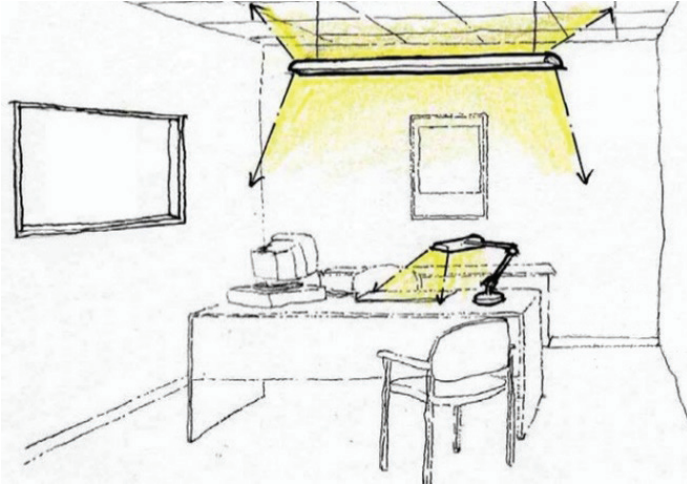
Aydınlatmanın amacı; mekânsal fonksiyon yerine getirilirken kullanıcıların yaptıkları işi ve kullandıkları nesneyi görmesi, gün boyu süren kullanım sırasında görsel yorgunluğun önlenmesidir. Son yıllarda mimari öğelerin vurgulanması da aydınlatmanın amaçları arasına girmiştir. Aydınlatma sisteminin niceliği, gerekli aydınlık seviyesinin lüks olarak sayısal olarak karşılığı ile belirlenmektedir. Niceliği ifade eden değerler, mekana yüklenecek işleve, mekanın kullanım süresine, belirlenen hedef kullanıcıların yaş ortalamasına bağlıdır (Şahin ve diğ., 2015; Özcan ve Çağlar, 2020). Eğitim ortamlarında aydınlık düzeyi ihtiyacı yapılacak aktiviteye göre 200 ile 750 lx arasında değişmektedir. Kullanılacak aydınlatma sisteminin renk ve dokuların doğru algılanmasını desteklemesi amacıyla renksel geriverim indeksinin (CRI – Colour Rendering Index) minimum 80 olması beklenir (TS EN 12464-1). Nitelikli bir aydınlatma ise gözle algılanması gereken en küçük nesnelere bile algılanmasının sağlanması, yüzey şekilleri ve dokuların doğru algılanabilmesi, mekân içerisinde yön bulmanın ve doğrultuların kolay saptanabilmesi, renk algısı ve renkler arası ayrımın doğru yapılabilmesi, görsel rahatsızlık duymadan uzun süre ortamda bulunulabilmesi ile sağlanmış olur (Ersoy ve Ersoy, 2007).

Genel ve Bölgesel Aydınlatma: Genel aydınlatma; bir mekânın tümünün mekânsal işleve uygun bir aydınlık düzeyinde aydınlatılmasıdır. Bölgesel aydınlatma ise mekân içinde belirli bir bölümü vurgulamak amacıyla genel aydınlatmadan farklılaştırılmasıdır. Genel aydınlatmanın en büyük faydası, mekânın tümü gerekli ışık düzeyine ulaştığından mekânsal esnekliğin kolayca sağlanmasıdır. Olumsuz yönü ise, detaylı işlere uygun aydınlık düzeyi sağlandığından ve aydınlık her alanda aynı olduğu için enerji tüketimi fazladır (Uluslan, 2012).

Genel aydınlatma sistemlerini; dolaylı, dolaysız, yarı dolaysız ve karma aydınlatma olarak sınıflandırmak mümkündür. Aydınlatılması hedeflenen nesne veya mekânın, tek kaynak ve doğrusal bir kanal üzerinden ışıklandırılması ile oluşan aydınlatma, doğrudan aydınlatma olarak adlandırılmaktadır. Doğrudan aydınlatma sistemlerinde kaynaktan çıkan ışığın tamamı veya tamamına yakın bir kısmı aydınlatılmak istenen yüzeye düşmektedir. Dolaylı aydınlatma ise ışığın dağılması ve yüzeylerden yansıya-

arak aydınlatılacak nesneye ulaşması ile gerçekleştirilmektedir (Özsungur ve Öztop, 2019). Eğitim yapılarında genel aydınlatma olarak dolaylı aydınlatmalar tercih edilmektedir. Bu sayede ışığın tüm mekânda eşit dağılması ve parlamaların önlenmesi sağlanmaktadır.

Bölgesel aydınlatmada, mekânda yapılacak aktiviteler için önem taşıyan belirli nesnelerin genel aydınlatma ile ulaşılabilen aydınlık seviyesine ulaşması ve dikkat çekmesi hedeflenmektedir. Yalnız bölgesel aydınlatma yapılması görsel konfor koşullarını sağlamamaktadır. Bu nedenle genel aydınlatmaya ek olarak bölgesel aydınlatma uygulanmalıdır (Sirel, 1993). Şekil.1'de bir çalışma mekânındaki genel ve bölgesel yapay aydınlatmalar ifade edilmiştir.



Şekil.1. Çalışma alanında genel ve bölgesel aydınlatma (URL-2).

Doğal ve Yapay Işık Kaynakları: Doğal aydınlatma; doğal ışıktan yararlanarak gerçekleştirilen aydınlatmadır. Işık şiddeti, yapay aydınlatmaya oranla yüksektir. Üç temel doğal ışık kaynağı vardır: gündüz gökyüzünde dağılarak oluşan gün ışığı, doğrudan güneşten gelen güneş ışığı, doğal veya yapay ışıkların yüzeylerden yansımaları ile oluşan ışık (Ulusan, 2012). Yapay ışık doğal yollarla kendiliğinden ortaya çıkmayan, genellikle elektrik enerjisinin dönüştürülmesi ile elde edilen ışıktır. Teknolojinin gelişmesiyle yapay aydınlatma için çok çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Doğal ışık dağılımının coğrafya, iklim, çevresel ve yasal sınırlamalar gibi sebeplerle ihtiyaçları karşılayamadığı durumlarda yapay aydınlatmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay aydınlatmalara ihtiyaç duyulmasının temel nedeni, mekân içinde ışığı dengeli dağılımının sağlanabilmesidir (Özsungur ve Öztop, 2019).

1874 yılında yayınlanan *Okul Mimarisi: Okulların Planlanması*, Ta-

sarlanması, İnşası ve Tefrişi İle İlgili Pratik Açıklamalar (School Architecture: Being Practical Remarks On The Planning, Designing, Building And Furnishing Of School Houses) adlı kitapta Edward Robert Robson, sınıf aydınlatmaları için standartlar oluşturmuştur. Örneğin; parlamalardan ve gölgelerden korunmak için pencere alanlarının zemin alanlarının yaklaşık %20'si kadar olması gerektiğini belirtmiştir (Djali lova ve Şahin, 2020).

Işıklıklar: Aydınlatma Sözlüğü'nde ışıklıklar, diğer deyişle aydınlatma aygıtları; "ışığın dağılımını düzenlemeye, süzmeye veya değiştirmeye yarayan, lambaları tutturucu, koruyucu tüm parçaları ve olası yan devreler ile şebeke bağlantısını sağlayan parçaları içeren aygıtlar" şeklinde tanımlanmıştır (Sirel, 2012). Mekânın kullanım amacı, aydınlatma sistemi ve ışıklıkların seçiminde belirleyicidir. Ortam için belirlenmiş gerekli ışık miktarını sağlayacak aygıtların seçilmesi gerekmektedir.

Aydınlatma Kontrolü: Aydınlatma kontrolü; yansıma miktarı, ışığın iletilmesi, göz kamaşmasının ve renk sıcaklığının kontrolüdür (Özşengur ve Öztop, 2019). Işık kontrolünün sağlanabilmesi için kullanılan aydınlatma elemanları, ürün tasarımı ve malzeme seçimleri önem kazanmaktadır. Bina tasarımcıları ve kullanıcılarının en büyük endişesi enerji kullanımı ve tasarrufudur. Etkin enerji kullanımı hem kaynak tüketimi, hem ekonomi yönünden katkı sağlamaktadır. Doğru ve işlevsel bir aydınlatma kontrolü ile aydınlatma için harcanacak enerjiden tasarruf edilmesi amaçlanmaktadır.

Kullanıcıların Aydınlatma İhtiyacı

Öğrenme, bireyin çevresindeki olayları, durumları ve kendisine anlatılanları algılaması yoluyla gerçekleşen bir eylemdir. Bir eylemin gerçekleşebilmesi için gerekli asgari algılamanın %80'i göz vasıtasıyla gerçekleşmektedir (Öncer, 2000). Görme duyusu, farklı aydınlatma koşullarına uyum sağlama açısından yeteneklidir. Ancak bununla birlikte görsel yanılgılar da oluşabilmektedir (Ersoy ve Ersoy, 2007). Aydınlik seviyesi, performans ve görsel konforu etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Yapılan çalışmalarda ışık düzeyinin ruh hali, görsel algı performansı, memnuniyet, sağlık ve güvenlik hissini yüksek derecede; iş performansı ve sosyal ilişkileri ise orta derecede etkilediği gözlemlenmiştir.

Göz kamaşması, aydınlatmanın olumsuz etkilerinden biridir. Bir bölgenin gerektiğinden fazla ışık alması veya bir yüzeyin ışığı yüksek oranda yansıtması ile oluşmaktadır. Kamaşmalar ise dikkat dağınıklığına yol açmakta ve algılama oranını azaltmaktadır. Farklı ülkeler için yapılan çalışmalarda okuma işlevi için getirilen standartlar ortalaması 500 lx civarındadır (Erdem ve Enarun, 2007).

Işık titreşimi ve ışığın yetersizliği de olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Işığın titreşmesi, genellikle flüoresan lambalarda ışığın belirli aralıklarla yanıp sönmeye şeklinde gerçekleşir. Dikkat dağınıklığı, göz yorgunluğu ve psikolojik rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Işık yetersizliği ise hareketli eylemlerin yapıldığı sınıflarda ve merdiven gibi riskli sirkülasyon alanlarında kazalara yol açmaktadır (Özşengür ve Öztop, 2019). Aydınlatma sisteminde tercih edilen aygıtların ışığın yanında ürettiği ses ve ısı mekân kullanıcıları üzerinde etkili olmaktadır.

Aşırı ışık nedeniyle oluşan kamaşma ve parlamalar öğretmenler üzerinde de öğrencilerle benzer durumlara sebep olmaktadır. Kamaşma, gözlerde yorgunluk ve hatta ileri derecelerde ağrılara sebep olmaktadır. Bu durum da öğretmenin çalışma verimini, dolayısıyla ders kalitesini düşürmektedir (Ersoy ve Ersoy, 2007).

Sürdürülebilir Eğitim Yapılarında Enerji Etkin Aydınlatma İhtiyacı

Eğitim yapıları tasarımları için oluşturulan tasarım kılavuzlarında ülkenin eğitim sistemi ve yönetmeliklere uygun, enerji etkin sistemlere sahip okulların üretilmesi ve mevcut eğitim binaların da bu şartlara uygun hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Aydınlatma, eğitim yapıları içinde harcanan elektrik enerjisinin %30'luk dilimini kapsamaktadır. Bu bağlamda öncelik öğrenci ve öğretmenlerin aydınlatma ihtiyaçlarının karşılanması, ikincil amaç ise enerji tasarrufudur. Etkin enerjili aydınlatma; teknolojik gelişmelerin takip edilmesi ve uygulanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi ve görsel performansın sektöre uyarılması olarak açıklanabilir (Çelik ve Ünver, 2019). Öğrenme mekânlarında görsel konforun artırılması ve performansın yükseltilmesi için gün ışığı kullanımını büyük önem taşımaktadır. Özellikle eğitim yapıları gibi uzun süreli kullanılan yapılarda doğal aydınlatma kullanılması hem doğal ısı kazancı sağlamak hem de aydınlatma için harcanacak enerjiden tasarruf etmektedir (Bayram ve diğ., 2020).

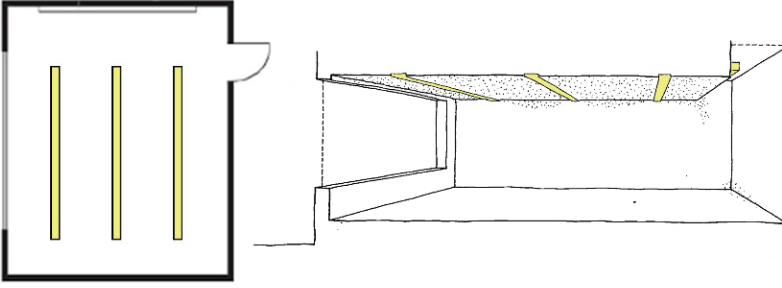
Doğal aydınlatma, güneşin konumu, mevsimsel hareketler ve gökyüzünün bulutluluk oranına göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan sabit aydınlık düzeyi için dersliklerde düzgün dağılımı sağlayacak aydınlatma sistemleri oluşturulmalıdır (Onak ve Yıldırım, 2020). Bu sistemler gün ışığı ile uyumlu çalışmaktadır. Işıklıkların konumları, yaydıkları ışık miktarı ve gücü önem taşımaktadır. Öğrenme mekânlarında LED (Light Emitting Diode) aydınlatma sistemlerinin tercihi, enerji etkin aydınlatma sağlarken, bakım maliyetlerinin düşük olması sayesinde kaynakların ve ekonominin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Ayrıca LED aydınlatma sistemleri mekânın tümünde eşit aydınlık seviyesini sağlayarak gözlenmeyi azaltmakta ve görünürlüğü artırmaktadır (Yılmaz, 2018).

Eğitim yapılarının en çok kullanılan ve en önemli bölümü olan sınıflar, bireyleri çocukluktan başlayarak uzun yıllar vakitlerinin büyük bölümünü geçirdikleri yerlerdir. Öğrenciler için, işlenecek dersin ve yapılacak aktivitenin özelliğine göre fiziken ve psikolojik olarak yorulmadan akademik performansın artırılması, mekânsal hoşnutluğun sağlanması amacıyla uygun fiziki ortam gerekmektedir. Görsel konforun sağlanmasında pencere boyutları, mekânın yönelim aksı ve ışık engelleyiciler gibi parametrelerin göz önüne alınması gerekmektedir. Öğrenme mekânları içerisinde aydınlatmadan kaynaklanan kamaşmanın önlenmesi için, ışık kaynaklarının parıltı değeri azaltılmalı, ışık kaynağının gözle görülen kısmı genişletilmeli veya panjurlama gibi tekniklerle optik kontrol sağlanmalıdır.

Aydınlık düzeylerinin yanında öğrenme mekânları için kamaşma indisi 19, renksel geriverim katsayısı 80 CRI olarak belirlenmiştir. Yansıtıcılık oranları ise; zemin için %30-50, yazı tahtası için minimum %20, sıralar için %30-50, duvar ve pencereler için %40-60 ve tavan için %70-90 olarak sağlandığında ideal aydınlatma elde edilmiş olur (Küçükdoğu, 2007).

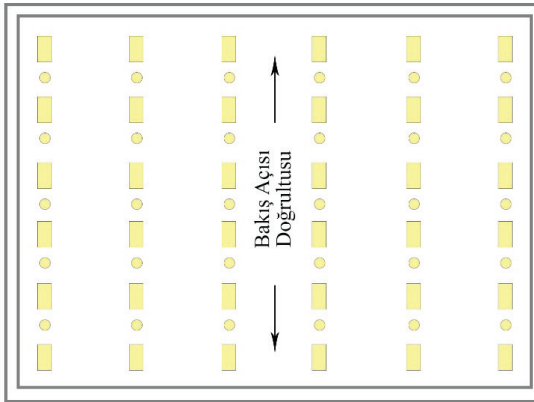
Derslik Alanları: Derslikler, eğitim yapılarının ana fonksiyonu olan öğrenmenin gerçekleştiği ve en fazla vakit geçirilen mekândır. Türkiye’de kabul gören standart TS EN 12464-1’e göre sınıflar için; aydınlık düzeyi; genel kullanım sınıfları için 300 lx, yazı tahtası ve sunum panolarının bulunduğu bölümler için 500 lx, akşam ve yetişkin derslikleri için 500 lx, teknik resim sınıfları için 750 lx olarak, kamaşma indisi 19 olarak, renksel geriverim katsayısı 80 CRI olarak, yansıtıcılık oranları; zemin için %30-50, yazı tahtası için %20, sıralar için %30-50, duvar ve pencereler için %40-60, tavan için %70-90 olarak belirlenmiştir (TS EN 12464-1, 2013). Sınıf içinde kamaşmanın önlenmesi ve homojen ışık dağılımının sağlanabilmesi amacıyla aydınlatma aygıtlarının öğrencilerin bakış yönüne paralel yerleştirilmesi önerilmektedir.

Doğal ışığın varlığı, insanlar üzerinde psikolojik rahatlık sağlayarak çalışma verimini yükseltmektedir. Aşırı gün ışığına bağlı kamaşmanın önlenmesi için güneş kontrol panelleri ve gölgeleme elemanları kullanmak gereklidir. Yapay aydınlatmalarda ise kamaşma indisine yakın parıltı değerlerindeki ışıklıklar tercih edilmelidir (Uluslan, 2012). Son yıllarda yaygınlaşmakta olan esnek öğrenim ile grup çalışmaları, bireysel çalışmalar ve ders sunumları gibi farklı durumlar için aydınlatma sisteminin de uyum sağlaması beklentisi oluşmaktadır. Genel anlamda yüzeylerin homojen aydınlatıldığı ışık düzeni idealdir (Şekil.2).



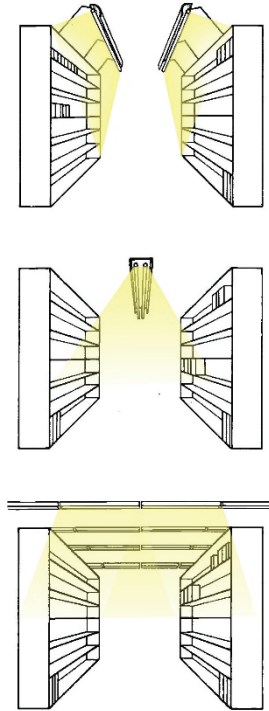
Şekil.2. İdeal sınıf aydınlatma düzeni.

Çok Amaçlı Oda ve Salonlar: Çok amaçlı salonlar; toplantı, konferans gibi sunum yoluyla veya birebir görüşmelerin gerçekleştirildiği mekânlardır. Genel anlamda mekân aydınlatması tasarımında öncelik verilmesi gereken konu dikkatin toplanması ve aydınlatma sisteminin değişen etkinliklere uyum sağlayabilmesidir. Çok amaçlı salonlarda aydınlatma kontrol sistemleri ile çeşitli kullanımlar için esnek bir aydınlatma sağlanmaktadır. TS EN 12464-1 standardına göre konferans salonu, oditoryum ve amfi gibi sunum amaçlı kullanılacak mekanlar için aydınlık seviyesi 500 lx; öğretmenler odası, toplantı odası gibi okuma, yazma, karşılıklı iletişim kurulması hedeflenen mekanlar için aydınlık seviyesi 300 lx olarak belirlenmiştir. Bu mekânların tamamı için kamaşma indisi 19, renksel geriverim indeksi 80 CRI olarak belirlenmiştir (TS EN 12464-1, 2013). Çok amaçlı salonlar ve konferans salonlarında ışık kaynakları sınıflarda olduğu gibi izleyicilerin bakış açısı doğrultusunda yerleştirilmelidir. Ancak sınıflardan farklı olarak doğrusal yapıda, geniş yüzeyli aydınlatmalar yerine spot gibi dar yüzeyli, hareketli ve çok sayıda aydınlatma yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir (Şekil.3). Bu sayede ışığın kontrolü daha kolaylaşmaktadır.



Şekil.3. Çok amaçlı salonlar için ışıklık düzeni önerisi (Uluslan, 2012).

Kütüphane Mekânları: Kütüphane alanlarında aydınlatma sistemi; genel ortam aydınlatması, dikey kitaplıkların aydınlatılması, çalışma alanlarının aydınlatılması ve dolaşım alanlarının aydınlatılması gibi çeşitli işlevlerin yerine getirilmesine uygun olarak koordine edilmelidir (Loe ve diğ., 1999). Mekân içerisinde hem etkin enerji kullanımı hem de görsel konfor açısından doğal aydınlık ortamı oluşturulmalıdır. En çok ışık alması gereken bölüm okuma ve çalışma salonudur. Bu kısımlarda gözü yormayan bir ışık kaynağı kullanarak genel ve bölgesel aydınlatma sağlanmalıdır (Kuru ve Türkyılmaz, 2019). Dikey formdaki kitaplıkların aydınlatılmasında asimetrik ışık dağılımına sahip armatürler tercih edilmelidir. Ayrıca alt raflar için daha fazla aydınlatma, açık renkli bir zemin kaplaması kullanılarak yansıyan ışıktan sağlanabilir. TS EN 12464-1 standardına göre okuma ve çalışma alanları ile kitap alım masasının aydınlık seviyesi 500 lx, kitap koleksiyonlarının bulunduğu raflarda aydınlık seviyesi 200 lx olmalıdır. Tüm alanlar için renksel geriverim indeksi 80 CRI, kamaşma indisi 19 olarak belirlenmiştir (TS EN 12464-1, 2013).



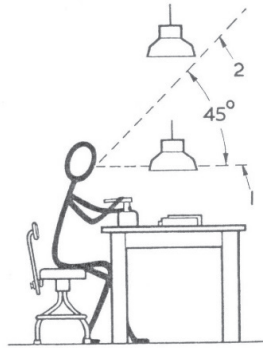
Şekil.4. Kütüphane için önerilen armatür konumları (Loe ve diğ., 1999).

Koridor ve Merdivenler: Sirkülasyon alanlarında rotaların kolay bulunabilmesi amacıyla görsel uyarıcılara yer verilmesi, kaçış yollarına erişimler için de acil durum aydınlatması gerekmektedir. Aydınlatma

düzeninin hareket doğrultusuna paralel konumlandırılması yönlendirme sağlamaktadır. Genelde gün ışığından yoksun olan bu alanlarda kullanım yoğunluğu azalan vakitlerde de güvenlik nedeniyle aydınlık seviyesinin 20 lx'e kadar düşürülmesi tavsiye edilmektedir. Merdivenlerde aydınlık seviyesinin düzenlenmesi güvenlik için son derece önemlidir. Basamaklarda karanlık nokta ve gölge oluşması sonucu doğru görsel algı oluşmaması güvenlik problemleri doğurmaktadır. Bu problemlerin oluşmaması için keskin ve sert gölgeler oluşturmayan ve kamaşmaya neden olmayacak aydınlatmalar tercih edilmelidir. Ayrıca merdivenlerde aydınlatma konumları seçilirken, ışıklığa bakım yapılması gerektiğinde kolay erişilebilir noktalara yerleştirilmesi önem kazanmaktadır.

TS EN 12464-1 standardında, eğitim yapıları için aydınlık seviyeleri giriş hollerinde 200 lx, koridorlar için 100 lx, merdivenler için 150 lx olarak belirlenmiştir. Kamaşma indisi giriş salonu için 22, koridor ve merdivenler için 25 olarak; renksel geriverim indeksi tümü için 80 CRI olarak belirtilmiştir (TS EN 12464-1, 2013).

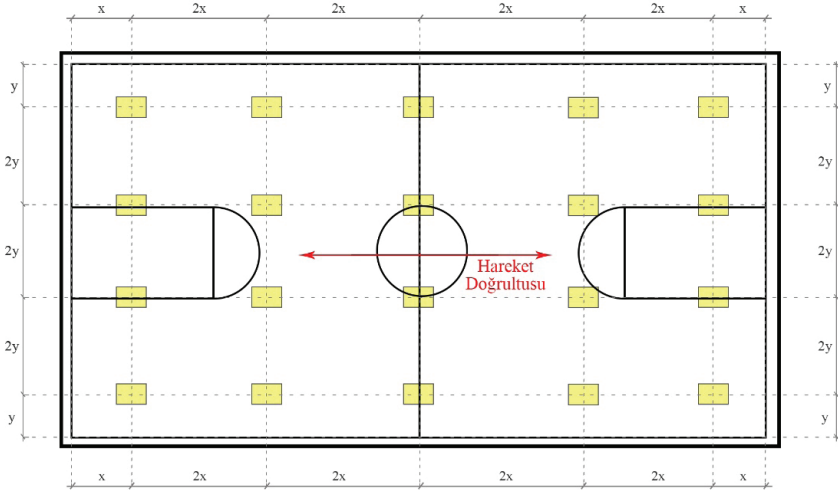
Laboratuvar ve Atölye Alanları: Fen bilimleri laboratuvarlarında detayların net olarak algılanabilmesi ve keskin gölgelerden kaçınılması gerekmektedir. Bu bağlamda renk algısının doğru sağlanabilmesi için renksel geriverim indeksi yüksek armatürler tercih edilmelidir. Sanatsal aktivitelerin gerçekleştirildiği atölyelerde kamaşmanın azaltılması önerilmektedir. Özellikle görsel sanatların icra edildiği mekânlarda yanlış renk algısının ve gölgelenmenin önüne geçilmeli ve bu amaçla renksel geriverim indeksi yüksek, homojen aydınlatma sistemleri seçilmelidir. Kamaşmanın önlenmesi için ışık kaynağının, çalışma anında bakış açısı içerisindeki 45 derecelik alana girmemesi gerekmektedir (Şekil.5). Kullanılacak bireysel ve lokal aydınlatmalarda yapılacak faaliyete göre uygun yükseklik belirlenmeli veya yüksekliği ayarlanabilir armatürler tercih edilmelidir.



Şekil.5. Atölye ve laboratuvarlarda aydınlatmanın kullanıcıya göre konumu.

TS EN 12464-1 standardına göre aydınlık seviyeleri müzik atölyeleri ve bilişim teknolojileri sınıfları için 300 lx, laboratuvar ve sanat atölyeleri için 500 lx, teknik çizim atölyeleri ile yükseköğrenim sanat atölyeleri için 750 lx olarak belirlenmiştir. Kamaşma indisi teknik çizim atölyeleri için 16, diğer tüm laboratuvar ve atölyeler için 19 olarak; renksel geriverim indeksi yükseköğrenim sanat atölyeleri için 90 CRI, diğer tüm laboratuvar ve atölyeler için 80 CRI olarak belirlenmiştir (TS EN 12464-1, 2013).

Spor Salonları: Spor salonlarında armatür konumları özellikle spor aletlerinin üzerinde bulunmalı ve aletlerin dikkat çekiciliğine katkı sağlamalıdır, tekdüzelik ve gölgelenme minimuma indirgenmelidir. Eğitim yapıları içindeki spor salonları, spor aktivitelerinin yanında mezuniyet, konser ve topluluk toplantıları gibi büyük ölçekli aktiviteler için de kullanılmaktadır. Aydınlatmanın, planlanan faaliyetlere göre seviyesinin uyarlanabilir olması gerekmektedir.



Şekil.6. Spor salonlarında armatürlerin yerleştirilme doğrultusu.

Işık kaynaklarının yerleştirilme doğrultusu sporcuların ve topun hareket doğrultusuna paralel olmalıdır (Şekil.6). Aydınlatmalar eşit aralıklarla, düzgün dağılımlı olarak planlanmalıdır. Ancak mekânın duvar kenarlarına gelindiğinde, aydınlatma ve duvar arasında mesafe yarıya düşürülmelidir. TS EN 12464-1 standardında spor salonları için belirlenen değerler; 300 lx aydınlık seviyesi, 22 kamaşma indisi ve 80 CRI renksel geriverim indeksi olarak belirlenmiştir (TS EN 12464-1, 2013).

Kantin, Kafeterya ve Yemekhane Alanları: Genellikle esnek masa düzenlerine sahip alanlar olduğundan, mekânın tümüne yönelik genel ay-

dınlatma çözümleri önem kazanmaktadır. Yüksek aydınlık düzeylerine ihtiyaç duyulmayan bu mekânlar için doğrudan aydınlatma yerine dolaylı aydınlatma daha verimli olmaktadır. TS EN 12464-1 standardında eğitim yapılarına ait kantinler ve diğer yeme içme alanları için 200 lx, mutfaklarda hijyen koşullarının sağlanması ve kazaların önlenmesi amacıyla 500 lx aydınlık seviyesi belirlenmiştir. Bu alanların tümünde kamaşma indisi 22, renksel geriverim indeksi 80 CRI olarak standartlaşmıştır (TS EN 12464-1, 2013).

İdari Mekânlar: Çalışma ortamlarında homojen aydınlatmayı sağlamak amacıyla ışığı difüze eden panel, lineer, downlight veya sarkıt aydınlatma armatürleri kullanılmaktadır. Bu sayede çok parlak ve karanlık alanlar oluşması önlenerek göz yorgunluğu ve göz ağrısının önüne geçilebilir (Yılmaz, 2018). Türkiye standartlarına göre idari mekânlar ve öğretmen odaları için 300 lx aydınlık seviyesi, 19 kamaşma indisi ve 80 CRI renksel geriverim indeksi uygundur (TS EN 12464-1, 2013).

Islak Hacimler: Yansıtıcı ve parlak yüzeylere sahip ıslak hacimlerde, ışığı homojen dağıtan ve kamaşmaya neden olmayacak armatürler önerilmektedir. Lavabo ve tuvaletlerde genel aydınlatma 50 ile 100 lx arasında olmalıdır. Ancak tuvalet bölmelerinde verimli temizliğin sağlanabilmesi amacıyla daha yüksek seviyelerde aydınlatmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Coşkuner ve Öztop, 2016). Kısa süreli kullanım alanları olduğundan elektrik ve suyun gereksiz kullanımının önüne geçmek amacıyla sensörlü kontrol sistemleri kullanılması tavsiye edilmektedir. Türkiye’de ıslak hacimler için 200 lx aydınlatma seviyesi, 25 kamaşma indisi ve 80 CRI renksel geriverim önerilmektedir (TS EN 12464-1, 2013).

Acil Durum ve Güvenlik Aydınlatması: Acil durum aydınlatması; aydınlatma sistemlerinde meydana gelen arıza sonucu yeterli aydınlatmanın sağlanamadığı durumlarda kullanıcı güvenliğini koruyabilmek amacıyla gerekli aydınlatmayı sağlayan aydınlatma sistemidir (Uluslan, 2012). Acil durum aydınlatması, gerektiğinde hemen devreye girerek 1 saatten az olmamak şartıyla çalışmalıdır. Kaçış yolu aydınlatmasında gereken aydınlık düzeyinin yarısına 5 saniye içinde, tamamına 60 saniye içinde ulaşılması ve bina tahliyesinin en kısa sürede yapılması gerekmektedir (Loe ve diğ., 1999). Acil durum aydınlatması yönetmeliklerde mekânlara göre tanımlanmıştır. Gerekli aydınlık seviyeleri kaçış yolları için zeminden 1 metre yüksekte minimum 2 lx, merdiven ve kapı gibi kaçış anında kaza ve yığılma riski olan yerlerde minimum 5 lx, paniğe neden olabilecek alanlarda 2 lx, yüksek riskli mekânlarda ise minimum 15 lx olmalıdır (Uluslan, 2012).

Sürdürülebilir okul yapılarında, aydınlatma konusunda öncelikli hedef gün ışığından maksimum yararlanarak yapay aydınlatma ile tüketilen elektrik enerjisini minimize etmektir. Bunun yanında hem sağlıklı öğren-

me ortamı oluşturulması, hem de öğrencilerin sürdürülebilirlik konusuna dair teorik olarak öğrendiklerinin uygulamalı olarak da desteklenmesi hedeflenmektedir. Sağlıklı bir öğrenme ortamı sağlanırken aynı zamanda enerjinin etkin kullanılması fikri, yapılar içerisinde daha fazla gün ışığı kullanımını, gün ışığı yetersiz kaldığı durumlarda yapay aydınlatmanın tercih edilmesini sağlamıştır. Gün ışığının çalışma performansı üzerindeki olumlu etkisi de bu tercihler üzerinde etkili olmuştur. Bu bağlamda, doğal ışıktan tümüyle kopmadan, günışığı ve yapay aydınlatma kombinasyonu ile karma sistemler geliştirilmiştir.

Binaların bulunduğu yere göre gün ışığı ihtiyaçları değişkenlik göstermektedir. Aşırı güneş ışığı alan bölgelerde parlama ve yansımalar olumsuz etkilere neden olurken, güneş görmeyen yerlerde doğal ışıktan maksimum derecede yararlanılması gerekmektedir. Bu bağlamda pencere boyutları ve yapıda konumlanması bölgelere göre farklılaşmaktadır. Eğitim yapılarında aydınlatmanın büyük ölçüde doğal ışık ile sağlanması hedeflenmektedir. Ancak gün ışığı eğitim mekânlarının aydınlatma ihtiyaçları için genellikle yetersiz kaldığından yapay aydınlatma elemanları ile desteklenmektedir. Bu kapsamda güneş ışığını elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren güneş panelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Fotovoltaik paneller aracılığıyla güneş pillerinde depolanan enerji, mekânların enerji ihtiyaçlarında kullanılmaktadır (Djalilova ve Şahin, 2020).

Son yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak geleneksel doğal aydınlatma yöntemlerine ek olarak modern sistemler gelişmiştir. Gün ışığının planlı kullanımı ile iç mekânlarda ışığın verimli kullanımını sağlayan sistemlere örnek olarak ışık rafları, prizmatik cam sistemleri, yönlendirici camlar ve güneş tüpleri gibi sistemler kullanılmaya başlanmıştır (Demir ve diğ., 2020).

Eğitim mekânlarının kullanım süreleri genelde gün ışığının mevcut olduğu vakitlerdir. Bu nedenle mekânlarda gün ışığının olumlu etkileri de düşünülerek doğal aydınlatmaya öncelik tanınmaktadır. Bu sayede hem elektrik kullanımı tasarrufu sağlanmakta hem kullanıcı memnuniyeti artırılmaktadır. Ancak gün ışığının görsel konfor koşulları için yetersiz kaldığı durumlarda yapay aydınlatma sistemine gereksinim duyulmaktadır ve karma sistemler oluşturulmaktadır. Tüm aydınlatma sistemleri değerlendirildiğinde tasarımı doğru yapılmış bir karma aydınlatma sistemi, görsel konforla birlikte etkin enerji kullanımını sağlayan sistemlerdir. Ancak yapının bulunduğu bölgeye özgü gün ışığı verilerinin titizlikle analiz edilmesi ve yalnızca yetersiz kaldığı noktaların kapatılması adına elektrikli sistemlere başvurulması gerekmektedir.

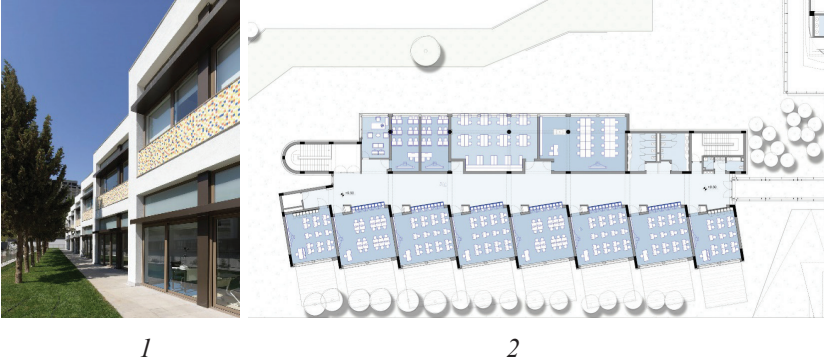
BAKÜ MTK OKULLARI ÖRNEĞİNİN ENERJİ ETKİN AYDINLATMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kampüs içerisinde bağlantılı ilkökul, lise ve ana giriş blokları ile kütle olarak bağımsız anaokulu yapısı bulunmaktadır. Yönetim binası, kampüsün kamuya açık olan bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle kampüsün doğu yakasında bulunan caddeye yapının ve kampüsün ön cephesini oluşturacak şekilde konumlanmıştır. İlkokul ve lise blokları, ortak alanların bulunduğu yönetim binasına köprülerle bağlanmış ve dik şekilde konumlandırılmıştır. Anaokulu bloğu ise alanın en kuzeyinde, kütleli olarak bağımsız tasarlanmıştır (Şekil.7).



Şekil.7. Bakü MTK Okulları kampüsü kuş bakışı görüntüsü (Bakü MTK Okulları Fotoğraf Arşivi).

Ana giriş bloğunun en alt ve en üst kotlarına yerleştirilen bölümleri spor ve kültür faaliyetlerini içermektedir. Arazinin köşe noktalarına yerleştirilen bu kısımlar, diğer bloklardan farklılaşarak kent içinde okulun algılanmasını kolaylaştırmaktadır. Giriş cephesinin orta noktasında yer alan yönetim bloğunun merkezinde bulunan saydam kütle, hem giriş vurgusunu kuvvetlendirmekte hem öğrencilerin kullandığı bahçe ile görsel bağlantı kurmaktadır. İlkokul ve lise blokları doğu-batı aksında uzanmaktadır. Güney yönüne bakan sınıflarda gün ışığından maksimum fayda sağlamak amacıyla, sınıflar güneşe yönelecek şekilde binaya kırıklar şeklinde yerleştirilmiştir (Şekil.8.1).



Şekil.8. Bakü MTK Okulları ilkokul ve lise blokları tip planı (ECArch Proje Arşivi).

Sınıfların yönelimi sayesinde, mekân aydınlatmasında gün ışığının etkinliği artırılmıştır. Ancak güneşin yoğun olduğu dönemlerde alınan aşırı ışık, kullanıcıları olumsuz etkilemektedir. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla sınıf pencereleri yatay olarak bölümlendirilmiştir. Pencerenin üst bölümü yarı saydam pencere camı olarak tasarlanmıştır. Saydam ve yarı saydam pencere bölümleri arasında da dik açıyla gelen rahatsız edici ışığı kıran gölgeleyici elemanlar yerleştirilmiştir (Şekil.8.2).

Sınıflarda yapay aydınlatma için sarkıt lineer LED armatürler kullanılmıştır. Armatürler, öğrencilerin bakış açısı doğrultusunda yerleştirilerek, ışık verimliliği sağlanırken kamaşmaların önüne geçilmiştir. Yalnızca ders anlatımı ve sunum yapılan sınıf tahtası önünde öğrencilerin oturma sırasına paralel yerleştirilen aydınlatma, sunum yapılacak tahtanın ve materyallerin algılanmasını desteklemektedir.

Sınıflar ve koridor arasındaki bölücüler, duvar yerine yüksek pencereler ve mobilyalar olarak tasarlanmıştır. Bu sayede ayırıcılar kitaplık, araç gerek dolapları ve öğrencilere ait kilitli dolaplar olarak kullanılırken; yüksek pencereler sınıf ve koridor arasında ışık geçişlerini sağlamaktadır. Katlar arası sirkülasyonu sağlayan merdivenler bina cephesinde bulunan yüksek pencere kenarlarına yerleştirilerek gün ışığı ile aydınlatılması sağlanmıştır. Ek olarak merdivenin bulunduğu bölümde tavan döşemesine bağlı ahşap ızgaralı asma tavan içine yerleştirilen LED şerit aygıtlar kullanılmaktadır (Şekil.9).



Şekil.9. Bakü MTK Okulları sirkülasyon alanları aydınlatması (Bakü MTK Okulları Fotoğraf Arşivi).

Bağımsız bir kütle olarak proje alanının kuzeyine konumlandırılan ana sınıfı bloğu, alandaki mevcut çok yıllık ağaçların korunması amacıyla kırıklı bir formda tasarlanmıştır. Kırıklı formu ile kendine ait oyun bahçesini sınırlamaktadır (Şekil.10). Anaokulu kütlelerinde gün ışığından yararlanabilmek amacıyla bütün sınıflar güney cephesine, uyku odaları kuzey cephesine yerleştirilmiştir. Sınıflara gün ışığı alınan pencereler farklı kullanıcıların boylarına uyum sağlayacak şekilde farklı boy ve yüksekliklerde yerleştirilmiştir. Bu sayede ışığın mekâna girişi kullanıcıların ölçeğine uyum sağlamıştır (Erginoğlu ve Çalışlar, 2019).



Şekil.10. Bakü MTK Anaokulu (Erginoğlu ve Çalışlar, 2019; Bakü MTK Okulları Fotoğraf Arşivi).

Koridor sınıf arası bağlantılar, ilkokul ve lise binalarında olduğu gibi cam ve mobilya kombinasyonundan oluşan grid sistemle sağlanmıştır. Cam bölümler mekânlar arası ışık geçişini sağlamakta ve esnek koridor-sınıf ilişkisini kurmaktadır. Yapının koridorlarında, sınıflardan cam ayırıcılar ile gelen doğal ışık ve tavandan sarkan kare formu LED panel armatürlerin yaydığı yapay ışık kullanılmaktadır.

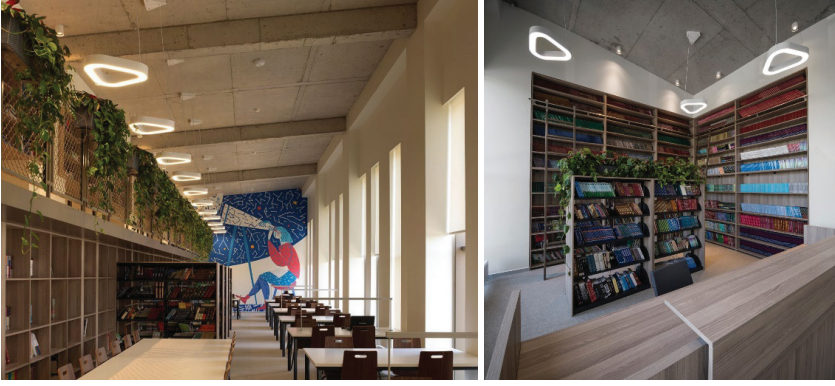
Kampüse ait çok amaçlı salon, yönetim bloğunun en üst kotundaki kültürel ve sosyal alanları içeren yarı saydam parçası içinde yer almakta-

dır. Çok amaçlı salon kütle içinde farklılaşarak kendini binadan soyutlamıştır. Salona köprülerle ve binadan camlarla ayrılan fuaye ile bağlantılıdır. Salonun dış yüzeyindeki parlak kaplama malzemesi sayesinde içinde bulunduğu fuaye ve geniş giriş holü içinde ışığın yansıtılmasına katkı sağlamaktadır. Gün ışığı almayan ve yalnızca yapay aydınlatma sistemi kullanılan çok amaçlı salonun genel aydınlatmasında kullanılmak üzere, izleyicilerin bakış doğrultusuna paralel yedi sıra halinde tavana sabitlenmiş LED spot aygıtlar kullanılmıştır. Mekânın sınırlarını öne çıkarmak, alan içindeki kotları ifade edebilmek ve estetik amaçlarla duvarlara gömülü, aşağı yönlü LED şeritlerle vurgulu bölgesel aydınlatma yapılmıştır. Genel aydınlatmanın kullanılmadığı etkinliklerde, giriş-çıkışlarda yaşanabilecek kazaların önüne geçebilmek amacıyla merdiven basamaklarının her birinde birer adet LED spot armatürler güvenlik aydınlatmasını sağlamaktadır (Şekil.11).



Şekil.11. Bakü MTK Okulları Çok Amaçlı Salonu (Bakü MTK Okulları Fotoğraf Arşivi).

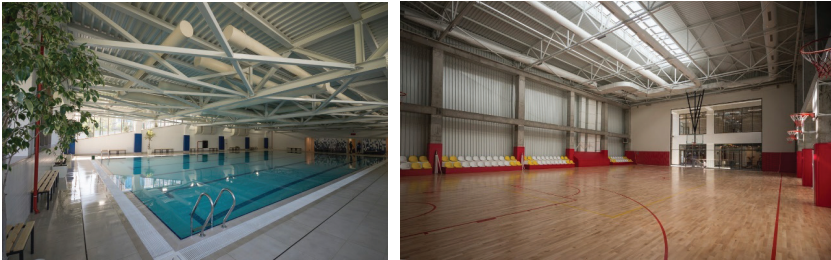
Kampüse ait kütüphane, mekân boyunca cephede devam eden dar ve uzun pencereler ile gün ışığı almaktadır. İki kot halinde tasarlanan yapının alt kotunda çalışma masaları ve kitaplığın bir bölümü bulunurken; üst kotta tamamen kitaplıklar konumlandırılmıştır. Kütüphane asma katında kitaplıkların altında tasarlanan yatay şerit pencereler, sirkülasyon alanından da gün ışığı alınmasını sağlamaktadır. Mekânın genel aydınlatmasında sarkıt, üçgen formlu LED panel aygıtlar kullanılmıştır. Kitaplık ve çalışma masalarında görsel algıyı desteklemek ve nesnelerin vurgulanması amacıyla bölgesel aydınlatma yapılmıştır. Masalarda hem karşılıklı çalışan öğrencilerin alanlarını bölmek, hem de odaklanmayı kolaylaştırmak amacıyla lineer LED masa armatürleri yerleştirilmiştir. Kitaplık üstlerinde ise tavana sabitlenmiş, aşağı yönlü LED spotlar kullanılmıştır (Şekil.12).



Şekil.12. Bakü MTK Okulları kütüphanesi (Erginoğlu ve Çalışlar, 2019; Bakü MTK Okulları Fotoğraf Arşivi).

Spor birimleri, yönetim bloğunun bulunduğu aks üzerinde en düşük kot üzerine yerleştirilmiş ve kütleli olarak farklılaşarak kent içinde algılanmayı hedeflemiştir. Birimin zemin katı yüzme havuzu, birinci katı spor salonu olarak kullanılmaktadır. Zemin kattaki yüzme havuzu, bloğun güney yönünde zemin katı kaplayan cam cephe ile gün ışığı almaktadır. Su yüzeyi ve açık renkli parlak yüzey kaplamaları sayesinde gün içinde doğal ışık mekân ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli olmaktadır. Yapay aydınlatma sistemi, nemden etkilenmemesi adına tavan döşemesinin taşıyıcı uzay kafes sistemi üzerine yerleştirilen tesisat hattı içine yerleştirilmiştir (Şekil.13).

Spor salonu bulunan birinci kat cephesi tamamen cephe kaplama malzemesi ile kapatılmıştır. Belirli bir pencere açıklığı bulunmamaktadır ve mekâna cepheden gün ışığı girişi yoktur. Salonun gün ışığı ihtiyacını, uzay kafes sistem arasında yarık şeklinde tasarlanan çatı penceresi karşılamaktadır. Yapay aydınlatma aygıtları olarak seçilen dikdörtgen LED spotlar, tavana yerleştirilen tesisat aksları üzerine bağlanmıştır. Sahanın hareket doğrultusu boyunca 3 sıra ve her sırada 6 adet olmak üzere toplam 18 spot aygıt kullanılmıştır (Şekil.13).



Şekil.13. Bakü MTK Okulları yüzme havuzu ve spor salonu (Bakü MTK Okulları Fotoğraf Arşivi).

Kampüsün idari birimlerinde doğu ve batı cephesine bakan pencerelerden gün ışığı alınmaktadır. Aşırı gün ışığının olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla pencerelere gölgeleme elemanları eklenmiştir. Ek olarak yarı geçirgen perdeleme elemanları kullanılmaktadır. İdari mekânların yapay aydınlatma sistemi kare formlu sarkıt LED panel armatürler ile oluşturulmuştur.

Dış cephe aydınlatmasında yapıların mimari öğelerinin göze çarpması ve öne çıkarılması hedeflenmiştir. Yönetim bloğunda dar ve yüksek pencerelere anıtsal bir kimlik kazandırabilmek amacıyla her pencere boşluğuna yukarı yönlü LED spotlar yerleştirilmiştir. Yönetim bloğunun ortasında bulunan saydam giriş holü ile brüt spor ve kültür birimlerinin yarıklar halindeki pencerelerinden yayılan ışık, cephe aydınlatmasını desteklemektedir (Şekil.14). Öğrenim bloklarında cephe aydınlatması, vurgu yerine daha çok güvenlik, yönlendirme ve binanın algılanması amacıyla yapılmıştır. Zemin kat hizasında bir sıra ve çatı kotunda bir sıra olmak üzere aydınlatma armatürleri yerleştirilmiştir. Ana giriş bloğundaki gibi saydam cephe yüzeyleri, ışık seviyesini artırmaktadır.



Şekil.14. Bakü MTK Okulları yönetim bloğu cephe aydınlatması (ECArch Proje Arşivi).

SONUÇ

Sürdürülebilirlik, birçok çalışma alanı ve faaliyetini kapsayan geniş bir kavram olarak çeşitli ulusal ve uluslararası çalışmalara konu olmuştur ve çevrenin korunması, ekonomik gelişmenin devamlılığı ve sosyal hayatın sürdürülebilirliği problemlerinin çözümü temeline oturtulmuştur. Sürdürülebilirlik kavramı, birçok alanda olduğu gibi mimarlık üzerinde de etkili olmuştur. Sürdürülebilir mimarlık; enerji tasarruflu, aktif yalıtımlı, gün ışığından maksimum fayda sağlayan ve geri dönüşümlü malzemelerin kullanıldığı mimarlık olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilir mimarlık üç temel ilke üzerine kurulmaktadır: kaynak korunumu, yaşam döngüsü değerlendirilmesi ve insancıl tasarım. İlkeler ile yapının tasarım aşamasından başlayarak kullanım ve kullanım sonrası evrelerde enerji, su ve malzeme-

lerin verimli kullanımı, atık oluşumunun azaltılması amacıyla geri dönüştürülebilir veya atık hali yeniden işlevlendirilebilir malzeme seçilmesi, sağlıklı yaşam ortamı oluşturularak insan sağlığı ve yapı kullanımının uzun ömürlü olması hedeflenmektedir.

Bir eğitim yapısında fiziksel ve fonksiyonel gerekliliklerden sonra öğrenci ve öğretmenler için ergonominin sağlanması önem kazanmaktadır. Ergonomik öğrenme ortamının oluşturulmasında öncelikli olarak fiziksel koşullar, ek olarak ise yalıtım, nesnelere renk ve dokusu, güvenlik hissi ve gerekli görüş açıları sağlanabilmesi etkilidir. Yapının yaşam döngüsü boyunca sürekli enerji kullanıyor olması, çevreyle uyumlu enerji kaynaklarının seçilmesini gerekli kılmaktadır. Günümüzde enerji korunumunun sağlanabilmesi amacıyla ergonomik şartlar yanında enerjinin etkin kullanıldığı yöntemler geliştirilmektedir. Aydınlatma ihtiyacı; mekânın boyutları, kullanım amacı, kullanıcıların fiziksel ihtiyaçları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İyi bir aydınlatmada yapılacak faaliyete uygun ışık şiddeti, yeterli gölge ve aydınlık alanlar, kamaşmanın önlenmesi, işleve uygun ve kaliteli ışık renginin seçilmesi önem kazanmaktadır. Aydınlatmanın temel hedefi ise; işlevlerin yerine getirilmesi sırasında kullanıcıların mekânı ve mekan içindeki nesnelere görsel olarak algılanması ve görsel yorgunluğun önlenmesidir.

Teknolojik gelişmelere uygun, görsel konfor koşullarını sağlayan ve yenilenebilir kaynaklarla oluşturulan enerji etkin aydınlatma sistemleri, günün büyük bölümünde aktif olarak kullanılan eğitim yapılarında büyük önem kazanmaktadır. Bu bağlamda gün ışığı ile aydınlatma ve gün ışığından dönüşüm yoluyla enerji elde edilmesi gibi çeşitli stratejilerle ihtiyaçlara uygun sistemler oluşturulmaktadır. Gün ışığı kullanımı ile aydınlatma ve ısıtma için harcanacak enerjilerden tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca gün ışığı, insanların fizyolojik yapısına en uygun ışık olduğundan kullanıcı konforunu artırmaktadır. Gün ışığı kullanımında verimliliğin artırılması amacıyla fotovoltaik paneller, ışık yönlendiriciler, ışık rafı, prizmatik paneller, güneş tüpü gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Gün ışığının yetersiz kaldığı durumlarda kullanılmak üzere yapay aydınlatma sistemleri kurulmaktadır. Bu sistemlerin avantajı gün ışığının mevsim ve gün içinde güneşin konumunun değişmesine bağlı olarak ışık seviyesinin değişmesine karşılık, yapay aydınlatma aygıtları ile istenilen zamanda mekan içinde gerekli aydınlık seviyesine ulaşılabilesidir.

Doğal ve yapay ışık sistemlerinin organize olarak çalıştığı sistemler karma aydınlatma sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Karma aydınlatmalarda ışık kaynakları arasında koordinasyonu sağlamak amacıyla kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Amaç; sistem ve aygıtların ihtiyaç halinde aktif edilmesi, bunun dışında kalan zamanlarda ise devre dışı bırakılma-

sıdır. Enerji verimliliği ve kullanım konforu nedeniyle sürdürülebilirlik fikrine en uygun aydınlatma sistemidir.

İncelenen örnekte mekân aydınlatmalarında öncelikli olarak gün ışığı kullanımının hedeflendiği gözlemlenmiştir. Yapının tasarım aşamasında uygun kararlar alınarak cephe yönelimleri ve çatı pencereleri gibi çözümlerle gündüzleri gün ışığının mekânlara alımı maksimum düzeylere ulaşmaktadır. Ayrıca ışığın mekâna homojen dağılabilmesi amacıyla ışık rafları veya iç yüzeylerde de saydam bölücüler kullanılmıştır. Aşırı gün ışığının olumsuz etkilerinden korunmak için ise ihtiyaca göre yatay veya dikey güneş kırıcılar ile perdeleme gibi çözümler oluşturulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akyıldız, R. ve Yıldız, N.** (2020). Eğitim Yapılarında Fiziksel Konfor Koşullarının Öğrenci Memnuniyeti Üzerinden Değerlendirilmesi. 3. Uluslararası Mimarlık Ve Tasarım Kongresi, Güven Plus Grup A.Ş., s. 11-19.
- Al, S.** (2014). Eğitim Yapılarının Fiziksel Konfor Koşullarının Öğrenci Başarısına Etkisi [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aslan, M.** (1998). 21. Yüzyılda Eğitim (Postmodern Çağda Eğitim). Yeni Türkiye Dergisi, sayı 19, syf. 877-880.
- Bakırhoğlu, Y.** (2012). Biomimicry for Sustainability: An Educational Project in Sustainable Product Design [Yüksek Lisans Tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bakü MTK Okulları Fotoğraf Arşivi**, Bakü MTK Okulları, E.T: 18.04.2021.
- Baykal, G.** (2013). Sürdürülebilir Mimarlık Açısından Eğitim Yapılarının İncelenmesi ve Örnek Uygulamalar [Yüksek Lisans Tezi]. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayram, İ., Kale, Ö. A., & Baradan, S.** (2020). Eğitim Binalarının Aydınlatma Performansı Açısından Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2), syf. 783-798.
- Boyacıoğlu, C., Ayıran, N., & Gökmen, G. P.** (2020). Antroposen Çağı'nda Çevreci Mimarlığı Tartışmak: Post-Sürdürülebilirlik. Mimarlık Dergisi, sayı 412 , syf. 32-35.
- Bozlağan, R.** (2010). Sürdürülebilir Gelişme Düşüncesinin Tarihsel Arka Planı. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, sayı 50, syf. 1011- 1028.
- Can, S. A., & Kurtoğlu, D.** (2017). Sürdürülebilir Mimari Kapsamında Geliştirilen Teknoloji ve Ürünler. Yalvaç Akademi Dergisi, 2(2), syf. 22-31.
- Coşkuner, S., & Öztıp, H.** (2016). Farklı Kullanım Alanlarının Aydınlatılması: Verimlilik Ve Temel İlkeler. Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi.
- Çelik, K.** (2018). Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı İçin Bütüncül Bir Yaklaşım [Doktora Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik, K.** (2019). Eğitim Yapıları Tasarım Kılavuzları Bağlamında Derslikleri Görsel Konfor ve Enerji Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 12(63), syf. 441-447.
- Çiğan, A., & Yamaçlı, R.** (2020). Doğal Enerji, Sürdürülebilir Kalkınma ve Mimarlık Politikaları. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1), syf. 554-571.
- Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., & Ünver, Ü.** (2020). Aydınlatmada Enerji Verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Durum Değerlendir-

mesi. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 25(3), syf. 1637–1652.

Djalilova, L., & Şahin, B. E. (2020). Sürdürülebilir Okul Tasarımında Gün Işığı Kullanımına Yönelik Uygulamalar Üzerine Bir İnceleme. *Artium*, 8(1), 44-60.

ECArch Proje Arşivi, Erginoğlu & Çalışlar Mimarlık, E.T: 18.04.2021.

Erdem, L., & Enarun, D. (2007). Kullanıcıların Aydınlik Düzeyi Tercihlerinin Değişkenliği Üzerine Bir Çalışma. IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.

Erginoğlu, K., & Çalışlar, H. (2019). Oyuncu Köşeler. *XXI Dergisi*, sayı 178.

Erman, O., & Ayalp, G. G. (2020). Öğrenme Teorilerinin Okul Yapılarının Mimarisine Yansıması. S. A. Şensoy (Ed.) Eğitim Yapıları ve Tasarımı (2. Baskı) syf. 53-76. Ankara: Pegem Akademi.

Ersoy, S., & Ersoy, A. F. (2007). Konutlarda Verimli Aydınlatma İlkeleri. *Verimlilik Dergisi*, sayı 4, 29-41.

Güvenç, B. (2008). Sürdürülebilirlik Bağlamında Ekolojik Tasarım Prensiplerinin Mimaride Uygulanabilirliğinin İrdelenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

İsmailoğlu, S., & Zorlu, T. (2018). İlk Kademe Eğitim Yapılarında Fiziksel Konfor: Rize İli. 1. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu, syf. 321-346. Dicle Üniversitesi. Diyarbakır.

Karakuş, S. İ. (2019). İlkokul ve Ortaokul Yapılarının Tasarım İlkeleri ve Mekan Kurgusunun İncelenmesi: Yugoslavya Döneminden Örnekler [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kayhan, K. S., & Tönük, S. (2008). Sürdürülebilir Temel Eğitim Binası Tasarımı Bağlamında Arsa Seçimi Ve Analizi Konusunun İrdelenmesi. *Megaron*, 3(2), syf. 137-154.

Kılıç, L. K., & Bayram, B. (2014). Postmodernizm ve Eğitim. *Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim (TEKE) Dergisi*, 3(1), syf. 368- 376.

Kuru, R., & Türkyılmaz, Ç. C. (2019). Kütüphane Yapılarının Mekansal Organizasyonunun Ergonomik Açından Değerlendirilmesi: Bahçeşehir Üniversitesi Kütüphane Binası Örneği. *Ergonomi*, 2(3), syf. 153-166.

Küçükdoğu, M. Ş. (2007). Mühendislik ve Mimarlıkta Enerji Etkin Tasarım İlkeleri. 4.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.

Loe, D., Watson, N., Rowlands, E., Mansfiels, K., Venning, B., Baker, J. (1999). *Lighting Design For Schools, Building Bulletin 90*, Department for Education and Employment, Londra.

Moza, E. A., & Tokman, L. Y. (2015). “Bilişim Teknolojileri” ve “Sürdürülebilir Mimarlık” Yaklaşımlarının “Yeni Kütüphane Mimarisi”ne Mekansal Etkileri. *Milli Eğitim Dergisi*, 45(208), syf. 33-50.

- Onak, B., & Yıldırım, N.** (2020). Eğitim Yapılarında Aydınlatma Türü ve Kullanımı Önerileri: Kocaeli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası. Mimarlık ve Yaşam, 5(2), syf. 361-380.
- Öncer, M.** (2000). İşyeri Ortamında Çalışanların Performanslarını Etkileyen Fiziksel Çevre Koşulları. Verimlilik Dergisi, sayı 3, syf. 133- 152.
- Özcan, U., & Çağlar, H.** (2020). Müzede Aydınlatmanın Kullanıcı ve Eserler Açısından Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, sayı 18, syf. 645-655.
- Özşungur, F., & Öztıp, H.** (2019). Kurumlarda Faaliyet Alanlarının Aydınlatılması Ve Çalışanlar Üzerindeki Etkisi. Verimlilik Dergisi, sayı 2 , syf. 185-204.
- Sirel, Ş.** (1993). Yapı Fizigi 1, Kitapçık No:5, İstanbul: YFU Yayınları.
- Sirel, Ş.** (2012). Aydınlatma Sözlüğü. İstanbul: Yapı Fizigi Uzmanlık Enstitüsü.
- Şahin, M., Büyüktümtürk, F., & Oğuz, Y.** (2014). Karma ve Yarı Endirekt Aydınlatma Türlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16(2), syf. 26-38.
- Şahin, B. E., & Dostoğlu, N.** (2015). Okul Binaları Tasarımında Sürdürülebilirlik. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 20(1), syf. 75-91
- Şen, H., Kaya, A., & Alpaslan, B.** (2018). Sürdürülebilirlik Üzerine Tarihsel ve Güncel Bir Perspektif. Ekonomik Yaklaşım Derneği, 29(107), syf. 1-47.
- Tavşan, F., & Yanılmaz, Z.** (2019). Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Yaklaşım-lar. Sanat ve Tasarım Dergisi, 24, syf. 359-383.
- Tokat, M. U.** (2010). Küreselleşme Sürecinde Ekoloji ve Sürdürülebilirlik Kavramlarına Yaklaşım ve Mimarlık Alanındaki Yansımaları [Yüksek Lisans Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tonguç, B., & Özbayraktar, M.** (2017). Sürdürülebilir Okul Öncesi Eğitim Yapılarının Sosyal ve kültürel Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi. Mimarlık ve Yaşam, 2(1), syf. 27-46.
- Tosun, E. K.** (2009). Sürdürülebilirlik Olgusu ve Kentsel Yapıya Etkileri. Ekonomi, Sosyoloji ve Politika Dergisi, sayı 2.
- TS EN 12464-1.** (2013). Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları.
- Ulusan, N. G.** (2012). Eğitim Yapılarının Enerji Etkin Aydınlatma Açısından İncelenmesi: Kağıthane Anadolu Lisesi Örneği [Sanatta Yeterlik Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, E.** (2018). Aydınlatma Uygulamaları. Ankara: Özel Ofset Matbaa Ltd. Şti.
- URL-1 <<https://istatistik.yok.gov.tr/>> erişim tarihi 23.11.2021
- URL-2 <<https://www.aydinlatma.org/aydinlatma-ergonomisi.html>> erişim tarihi 29.11.2021.

Bölüm 9

TAHRİBATSIZ MUAYENE

Emre GÖRGÜN¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Programı, Sivas, Türkiye, e-posta: emregorgun@cumhuriyet.edu.tr (ORCID: 0000-0002-1971-456X)

1.Giriş

Tahribatsız muayene yöntemleri muayene edilecek parçaya zarar vermeden iş parçası üzerinde veya parçanın içerisinde bulunan süreksizlikleri bulmaya yarayan bir kalite kontrol yöntemidir.(Wang, Gu, & Wang, 2012) Muayenesi yapılacak parçaya zarar vermeden kalite kontrolünün yapılması nedeniyle sanayide oldukça sık kullanılan bir yöntemdir.(Sun, Kang, & Qiu, 2011) Tahribatsız muayene yöntemleri genel olarak kendi içerisinde altıya ayrılır.(Deepak, Bupesh Raja, Srikanth, Surendran, & Nickolas, 2021)

1. Göz ile Muayene
2. Penetrant Sıvı ile Muayene
3. Girdap akımları (Eddy Akımı) Muayene
4. Manyetik Parçacık Muayene
5. Ultrasonik Muayene
6. Radyografik Muayene

Demiryolunda artan trafik yoğunluğu ve yük yoğunluğu nedeniyle trenlerin özellikle hareketli parçalarındaki tahribatsız muayene yöntemleri de gün geçtikçe daha önemli hale gelmiştir. Trenlerin komponentlerinin de bütün konstrüksiyon parçalarında imalat sırasında ve işletmede periyodik bakımlarda tahribatsız muayeneler oldukça sık uygulanmaktadır. uygulanacak tahribatsız muayene yöntemi ise parçanın risk durumuna göre belirlenmektedir. Hafif petrol türevi Taşıyan Sarnıç tipi vagonlarda bireysel ve hacimsel muayenelerde beraber uygulanması istenirken konteyner taşıyan vagonlarda sadece yüzeysel muayenelerin yapılması yeterli görülebilmektedir. Demiryolunda yükün taşındığı sürekli hareket halinde bulunan Aks ve tekerlekler ise tahribatsız muayene açısından trenlerin en kritik komponentleri olarak düşünülmektedir. Tren imalatı veya bakımı yapan işletmelerde tren tekerleğinin muayenesi için farklı goller ayrılmış buralarda tahribatsız muayene ekipmanları ile testler yapılmaktadır.

Tren tekerlekleri ve akslarının tahribatsız muayeneleri daha önceden katı standartlara bağlı olmayıp işletmelerin insiyatifinde gerçekleştirilmekte idi.

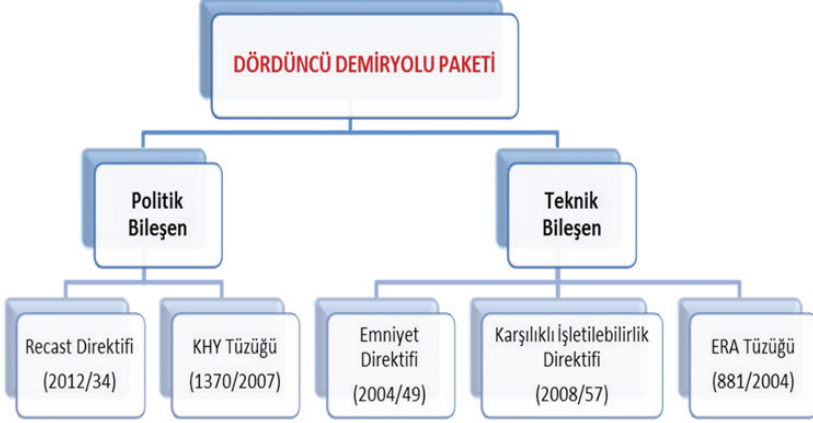
Demiryolu ile ilgili düzenlemelerin ve regülasyonların belirlendiği birçok örgüt yapılanması bulunmaktadır. Ülkeler hangi regülasyonları göre tren imalatını yapacakları veya bakımdan yapacakları bağlı oldukları demiryolu örgütlerine göre farklılık göstermektedir. Ancak bu regülasyonların belirlenmesinde lokomotif durumunda bulunan bazı örgütlenmeler bulunmaktadır bunlar;

UIC

ERA

VPI Kılavuzları

Demiryollarında Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) Demiryolu sektöründe düzenlemeleri belirleyen kuruluşların başında gelmektedir.



Şekil 1. Dördüncü Demiryolu Paketi(Uğurlu, 2018)

Artan trafikle birlikte özellikle iyi aitse bünyesinde Avrupa'da Demiryollarının İmalat ve işletmesi için bazı teknik zorunluluklar getirilmiştir. Ülkemizin de dahil olduğu regülasyonlar çerçevesinde önceleri isteğe bağlı olan tren tekerlekleri ve haklarının tahribatsız muayene leri günümüzde zorunlu hale gelmiştir.

Tren tekerlekleri ve haklarının farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bilindiği üzere demiryolunda taşımacılık yük ve yolcu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yük yolcu trenlerinde kullanılan tekerleklerde farklılıklar göstermektedir. Tren tekerlekleri ve haklarının konstrüktif yapıdaki farklılıkları tahribatsız muayene de bazı farklılıkları beraberinde getirmiştir. Örneğin hızlı tren setlerinde kullanılan akslar Delik olarak imal edilirken (Hollow Axle), Standart bir tren tekerleğinde kullanılan hak kat olarak imal edilmektedir (Solid Axle) Ayrıca yolcu vagonları ve lokomotiflerin aktarımında bir de abi fren diskleri kullanıldığı için aks konstrüksiyonları yine farklılık göstermektedir. tren tekerleklerinin bu farklı yapılarına uygun tahribatsız muayene çözümleri ve yöntemleri de geliştirilmiştir.

2. Tren tekerlek ve aktarmada kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri

Tren tekerlek sattığında en çok kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerini;

- Gözle muayene,
- Ultrasonik muayene,

- Manyetik parçacık muayene
- Eddy current olarak dörde ayırmak mümkündür.

2.1Gözle muayene

Tren tekerlek ve altlarında gözle görülür kusurların bulunması 1. Etap muayene olarak geçmektedir. Manyetik parçacık muayene: yüzeyi açılan ve yüzeyin 2 milimetre altına kadar bulunan hataların tespit edilmesi prensibine dayanır.

Muayene edilecek parçanın yüzeyindeki kusurlar, konstrüksiyon kaynaklı bozukluklar, yüzeyin pürüzlülüğü gibi malzeme performansını etkileyen parametrelerin gözle veya optik bir yardımcı ile muayene edilmesidir.

2.2. Ultrasonik Muayene Yöntemi

Hacimsel muayene yöntemi olmakla beraber tekerleklerin ve aksların içerisinde bulunan hataların bulması için kullanılan tahribatsız muayene yöntemidir. demiryollarında en çok kullanılan ve güvenilen tekerlek-aks muayene yöntemi ultrasonik muayene yöntemidir.(Deepak et al., 2021)

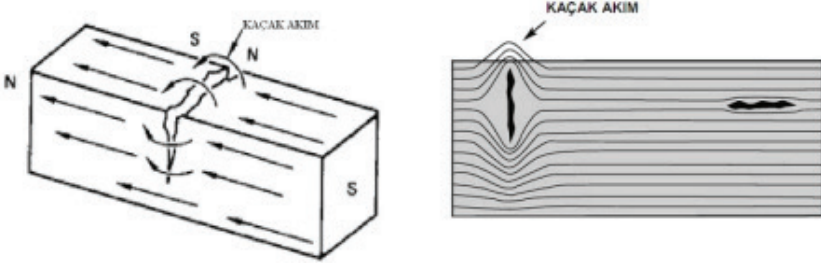
2.3. Eddy Current Muayene Yöntemi

Girdap akımları kullanılarak yüzeyde veya yüzeye yakın bulunan kusurların tespit edilmesinde daha çok kullanılır.

Girdap akımları (Eddy-Current) yöntemi yüzeyde bulunan veya yüzeye yakın hataların bulunmasında kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden bir tanesidir. Elektriksel olarak iletkenliğine sahip olan metallere uygulanabilir. Diğer tahribatsız muayene yöntemleri gibi malzemeye zarar vermeden süreksizlik kontrol, korozyon durumu ölçümü veya kaplama kalınlığının ölçülmesi gibi muayenelerin yapılması mümkündür. Temel prensip olarak bobin üzerinden geçirilen AC akımın oluşturduğu manyetik alanların kullanılması prensibine dayanır. (Ozgurluk , Y., 2017)

2.4.Manyetik Parçacık Muayene Yöntemi

Manyetik parçacık muayene yöntemi yüzey ve yüzeye yakın hataların tespitinde ve yerlerinin belirlenmesi işleminde kullanılan bir muayene yöntemidir.Manyetik parçacık yöntemi ile muayene yapılabilmesi için malzemenin ferromanyetik olması gerekmektedir. Bu yöntemde yüzeye açılan kusurlar ve yüzeyin hemen altındaki kusurların belirlenebilmesi kusurların boyutuna ve yüzeye yakınlığına bağlıdır(Jiles, 2001). Manyetikleştirme işlemi, parçadan elektrik akımı veya doğrudan manyetik akım geçilerek gerçekleştirilir(Moonesan & Kashefi, 2018).

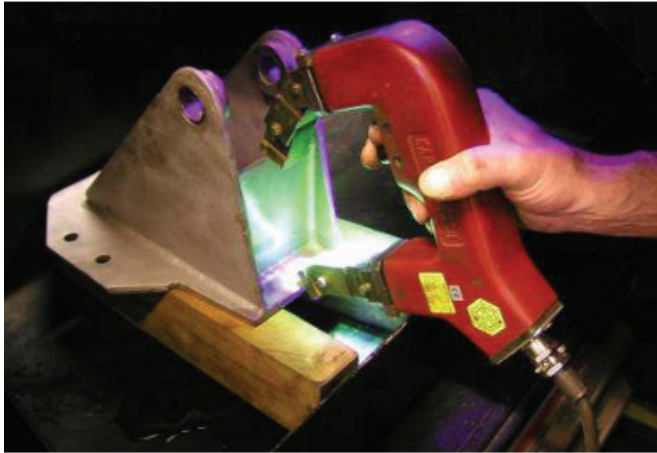


Şekil 2. Manyetik Parçacıkla Muayene İle Hata Tespiti(Gönül & Bayraktaroğlu, 2017)

Muayene parçası üzerine uygulanan ferromanyetik tozların amacı manyetik alan çizgileri boyunca yayılım sağlayarak bu çizgilerin görünür hale gelmesine yardımcı olmaktır. Bünyesinde hata bulunan bir malzeme hata bulunan yüzeyin etrafını dolaşan manyetik alan çizgilerinin görünür hale gelmesi ile süreksizliklerin tespit edilmesi sağlanmış olur. (Sun et al., 2011)

2.4.1. Uygulama Aşamaları

1. Muayene parçası ön temizlik
2. Demanyetizasyon
3. Akımının uygulanması
4. Ferromanyetik tozların Uygulanması
5. Kontrol
6. Değerlendirme
7. Demanyetizasyon (Metu ders Notları)



Şekil 3 El yoke cihazı ile portatif muayene (Löhdén, 2000)

2.4.2. Avantajları

- Yüzey kusurlarının belirlenmesini sağlar
- Kolay uygulanabilir olması
- Hızlı muayene ve sonuç
- Yüzeye açık olmayan ve yüzeyin hemen altındaki kusurların belirlenmesine olanak sağlar

2.4.3. Dezavantajları

- Kusurların yönüne bağlı olarak manyetiklenme işlemi birkaç kez yapılmak zorunda kalınabilir.
- Demanyetizasyon işlemi gerektirir
- Sadece ferromanyetik malzemelerin muayenesi için uygundur

2.4.4. Standartlar

EN ISO 9934-1	Tahribatsız muayene - Manyetik Parçacıkla Muayene - Bölüm 1: Genel kurallar
EN ISO 9934-2	Tahribatsız muayene - Manyetik Parçacıkla Muayene - Bölüm 2: Tespit ortamı
EN ISO 9934-3	Tahribatsız muayene - Manyetik Parçacıkla Muayene - Bölüm 3: Techizat
EN ISO 3059	Tahribatsız muayene - Penetrantla muayene ve manyetik parçacıkla muayene - İnceleme şartları
EN 1330-7	Tahribatsız muayene - Terimler- Bölüm 7: Manyetik parçacık muayenesinde kullanılan terimler
EN ISO 16828	Tahribatsız muayene - Ultrasonik muayene - Süreksizliklerin belirlenmesi ve ölçülendirilmesi için bir metot olarak uçuş/geçiş süresi kırınımı tekniği (TOFD)
EN ISO 17638	Kaynakların Tahribatsız Muayenesi - Manyetik Parçacık Muayenesi
EN ISO 23278	Kaynakların Tahribatsız Muayenesi - Manyetik Parçacık ile Muayene - Kabul Seviyeleri
EN 1369	Dökümler-Manyetik parçacık muayenesi
EN 10228-1	Çelik dövmelemlerin tahribatsız muayenesi-Bölüm 1: Manyetik parçacık muayenesi
EN ISO 10893-4	Çelik boruların tahribatsız muayenesi-Bölüm 5: Yüzey kusurlarının tespiti için dikışsiz ve kaynaklı ferromanyetik çelik boruların manyetik parçacık muayenesi

3. Demiryolu Sektöründe Manyetik Parçacık Muayenesi

Tren tekerlek ve akslarının muayenesinde farklı markalara göre birçok farklı çözüm geliştirilmiş olmakla beraber muayene sırasında aşağıdaki özellikleri birçok firma aşağı yukarı sağlamaktadır.

- Sistemin ISO 6933, EN 13262 ve ASME V Art.25-SE 709 standartlarına uygun olması
- Sistemin mıknatıslama tekniği kontrol edilecek olan aksların yan yüzeylerine temasla ve bobin içerisinde sağlanmış olması,
- Sistem ,aks temas yüzeyleri, aksı döndürmek için gerekli olan temas yüzeyleri ve tekerleklerin yüzeyi hariç olmak üzere tüm aks yüzeylerinin kontrolünün yapılabilirliğini sağlayacak şekilde olması
- Sistem minimum 0,3 mm derinlikte 0,1 mm. den küçük veya eşit bir süreksizliği tespit edebilecek hassasiyette olması
- Sistemde uygulanan otomatik test tipi birbirini takip eden ayrı ayrı boyuna ve dairesel mıknatıslama yapmak sureti ile gerçekleştirilebilir özellikte olması
- Yüzeysel manyetik alan gücü tüm kontrol edilen yüzey üzerinde $4 \text{ m}=40 \text{ Gauss}=32 \text{ A/cm}$ den az olmaması
- Sistem mıknatıs alma işlemini artık mıknatısıyet değeri olan müsaade edilebilen $4 \text{ Gauss}=0,4 \text{ mT}$ değere göre mıknatıs alma işlemini gerçekleştirebilecek kapasitede olması

3.1. Sistemin mıknatıs alma kabiliyetleri

1. Alternatif akım (A.C.) kullanmak sureti ile akımı düşürerek dairesel mıknatıs alma,
2. Yarım Dalga Doğrultulmuş Akım (HWDC) kullanmak sureti ile akımın polaritesini değiştirerek ve eş zamanlı olarak akımı düşürerek dairesel mıknatıs alma,
3. Alternatif akım (A.C.) kullanmak sureti ile bobine akım veriyorken eş zamanlı olarak bobini aks boyunca hareket ettirip, bobin aks ucuna geldiğinde de akımı düşürmek sureti ile boyuna mıknatıs alma,
4. Alternatif akım mıknatıs alma metoduna benzer şekilde fakat akımın polaritesini değiştirmek sureti ile Yarım Dalga Doğrultulmuş Akım (HWDC) ile boyuna mıknatıs alma,(Deutsch, 2000)

3.2. Manyetik Parçacık Muayene Sisteminin Mıknatıslama Kabiliyetleri Ve Sağlanan Akım Tipleri

Alternatif akım (A.C.) ve Yarım Dalga Doğrultulmuş Akım (HWDC) kullanılarak aks içinden akım geçirerek dairesel mıknatıslama yapmak sureti ile,

Alternatif akım (A.C.) ve Yarım Dalga Doğrultulmuş Akım (HWDC) kullanılarak bobin içine tüm aksı yerleştirerek boyuna mıknatıslama yapmak sureti ile,

3.3. Demiryollarında Manyetik Parçacık Muayene Yönteminin Uygulanması

Manyetik parçacık muayene yöntemi, demiryolu bileşenlerinin üretiminde olduğu kadar demiryolu şirketlerinin bakım atölyelerinde de önemli bir rol oynamaktadır. Standart bir manyetik parçacık muayene yöntemi genel olarak demiryolu sahalarında tekerlek ve atlar için özel ekipmanlarla motorize hale getirilmiştir. KARL DEUTSCH'in DEUTROFLUX MT firmasından geliştirdiği manyetik parçacık cihazları bu işe öncülük eden ekipmanlardır. Alman demiryolu firması "Deutsche Bahn AG" nın işletmelerine gelen trenlerin revizyonundan hemen sonra montajdan ise hemen önce tren aktarılan yüzey çatlakları bulunması açısından bu sistemi kullanmasıyla manyetik parçacık muayene yöntemi tren tekerlek ve altlarında profesyonel manada kullanılmaya başlanmıştır. (MAASS, DEUTSCH, & BARTHOLOMAI, n.d.) Bu yöntem sayesinde elektromanyetik dalgaların yönüne göre malzeme yüzeyinde veya yüzeye yakın bölgelerde bulunan kusurların tespit edilmesi mümkün olmuştur. Akslarda bulunan boyuna kusurlar aks boyunca iletilen bir akım akışı ile tespit edilebilmektedir. Enine kusurların tespitinde ise motor tahrikli bir bobin aks boyunca ilerlemektedir.

Demiryolu tekerleklerinin Manyetik parçacık muayenesi için farklı çözümler geliştirilmiştir.

El yoke cihazı ile portatif muayene

Tekerlek ve aksarım ayrı ayrı muayenesi

3.4. Tekerlek takımların Muayenesi



Şekil 4. Aks Muayene Bobini (Löhden, 2000)



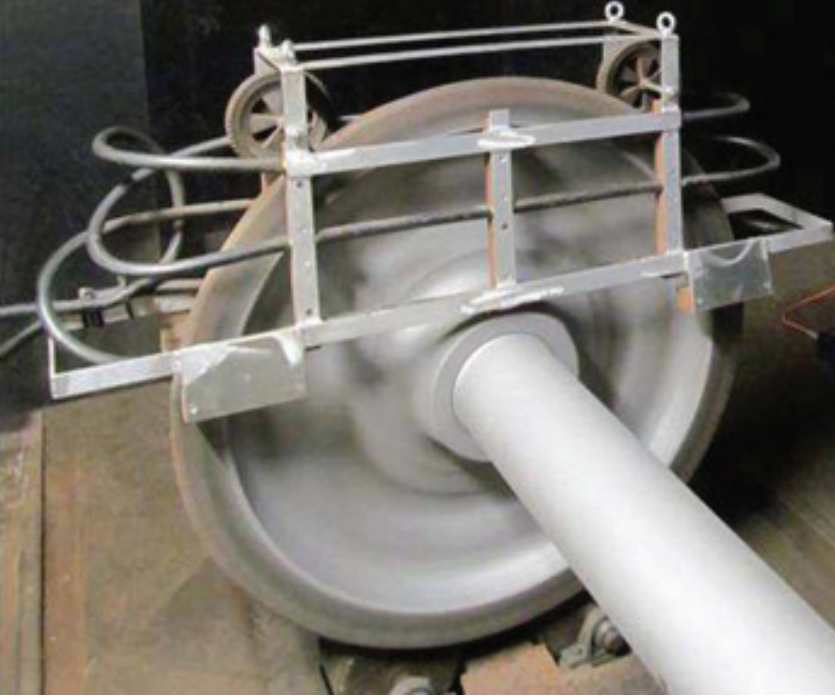
Şekil 5. Akslara bobin uygulaması(Löhden, 2000)



Şekil 6. Otomatik Manyetik Parçacık Muayene İstasyonu(Löhden, 2000)



Şekil 7. Tekerlek ve aks muayene istasyonu(Löhden, 2000)

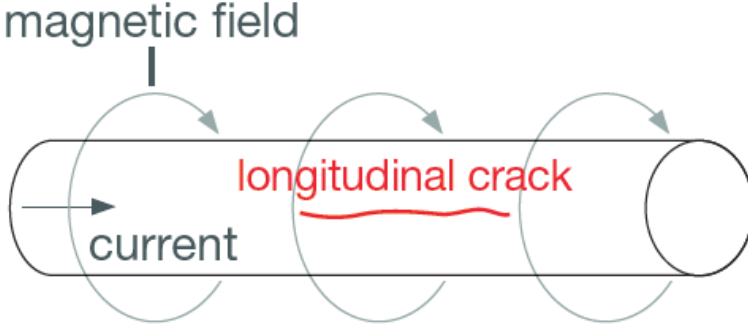


Şekil 8. Tekerlek Bobini(Löhden, 2000)

3.5. Sisteme Genel Bir Bakış

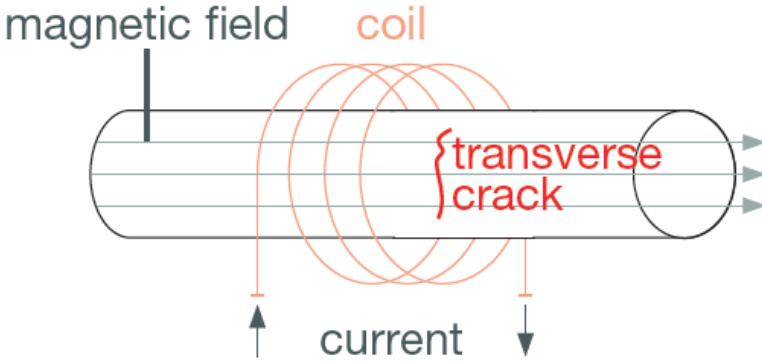
İki fazlı AC gerilimi dönen bir manyetik alanı oluşturmaktadır. Yüzeyle veya yüzeyin hemen altındaki kusurların tespit edilmesinde bu manyetik alandan yararlanılmaktadır. Söz konusu AC' nin etkisi ile man-

yetik alan düzensiz geometrilerde bile iyi sonuçlar vermektedir. Özellikle demiryolu sektöründeki uygulamalarında geliştirilen otomatik sistemler sayesinde işletme kusurları yok denecek kadar azdır. Hareketli kontak plakaları uzun ömürlü ve düşük kayıplı muayeneleri yapılabilir hale getirmiştir.



Şekil 9. Boyuna çatlaklar için Manyetik alan uygulaması(Deutsch, 2000)

Manyetik parçacık muayenelerinde UV ışıkla muayene yaygın bir uygulama olup büyük sistemlerin muayenesine karanlık ortamın sağlanması için UV kabinleri geliştirilmiştir.



Şekil 10. Enine çatlaklar için Manyetik alan uygulaması.(Deutsch, 2000)

Hareketli otomatize püskürtme ve bobin sistemleri ile donatılan bu muayene sistemleri sayesinde muayeneler için standardizasyon sağlanmıştır. Püskürtme sistemleri sayesinde karışık şekiller ve grift noktalarının muayenesi yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Deepak, J. R., Bupesh Raja, V. K., Srikanth, D., Surendran, H., & Nickolas, M. M. (2021). Non-destructive testing (NDT) techniques for low carbon steel welded joints: A review and experimental study. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3732–3737. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.mat-pr.2020.11.578>
- Deutsch, W. A. K. (2000). Automated Ultrasonic Inspection, 8.
- Gönül, D. E., & Bayraktaroğlu, B. (2017). İŞLETMEDE KULLANILAN METAL KONSTRÜKSİYONLARIN VE MAKİNA PARÇALARININ YORULMA DURUMLARININ TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ İLE TESPİTİ, 12.
- Jiles, D. C. (2001). NDT Techniques: Magnetic. In K. H. J. Buschow, R. W. Cahn, M. C. Flemings, B. Ilshner, E. J. Kramer, S. Mahajan, & P. Veysière (Eds.), *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (pp. 6021–6024). Oxford: Elsevier. Retrieved 6 December 2021 from <https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/01060-3>
- Löhden, B. P. (2000). Magnetic Particle Inspection on train components, 9.
- MAASS, M., DEUTSCH, W. A., & BARTHOLOMAI, F. (n.d.). Magnetic Particle Inspection on train components. In *11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT), October 6-10, 2014, Prague, Czech Republic*.
- Moonesan, M., & Kashfi, M. (2018). Effect of sample initial magnetic field on the metal magnetic memory NDT result. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 460, 285–291. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.04.006>
- Ozgurluk, Y. (2017). Tahribatsız Malzeme Muayene Deneyi.
- Sun, Y., Kang, Y., & Qiu, C. (2011). A new NDT method based on permanent magnetic field perturbation. *NDT & E International*, 44(1), 1–7. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2010.01.007>
- Uğurlu, Y. (2018). Avrupa Birliği'nde Demiryolları, 8.
- Wang, Z. D., Gu, Y., & Wang, Y. S. (2012). A review of three magnetic NDT technologies. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 324(4), 382–388. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2011.08.048>

Bölüm 10

TEKNİK ALTYAPI TESİSLERİNİN FİNANSMANI AVRUPA BİRLİĞİ UYGULAMALARI VE TÜRKİYE

Abdullah YİNANÇ¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, ayinanc@nku.edu.tr, ORCID
ID: 0000-0002-8144-8266

1. GİRİŞ

Kentsel altyapı hizmetleri, sağlıklı, sürdürülebilir, kentsel çevre ile uyumlu, mekânsal ve toplumsal odaklı, kentsel altyapıda yaşanmakta olan sorunların minimuma indirildiği ya da ortadan kaldırılmasının amaçlandığı, doğru tespit ve analizleri içermelidir. Altyapıya ilişkin elde edilen bilgilerin kentsel ölçekteki planlama kararları ile üst yapıya ilişkin kararların üretilmesi büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir kentsel gelişme, kentsel planlama kararları ve üst yapıya ilişkin yapım süreçleri ile kentsel altyapı hizmetleri arasındaki ilişki doğru bir şekilde kurulmalıdır.

Alt yapı sistemleri uygulamada ve INPIRE göre yolun altında bulunan tüm yapıları ve projeleri ifade eder. Artan nüfus ve şehirleşmelere paralel olarak altyapının öneminin artma yadsınamaz. Esasen Altyapı projeleri, ne kadar teknik standartlara uygun bir şekilde inşa edilirse edilsin, işletmeye alındıktan sonra ve işletme esnasında (bakım ve onarım giderlerine ek olarak) ekonomik ömürlerini doldurduklarında da ek giderlere sebep olur. Altyapı hizmetlerini veren kurumlar, kentlinin sahip olduğu donatılara hizmet vermek üzere elektrik, su, doğal gaz, iletişim v.b. olanakları sağlamakla yükümlüdür. Şehirlerdeki altyapı çalışmalarının içinde önemli bir bölümü Şehirlerde, herhangi bir kuruma ait altyapı çalışmasında genellikle diğer altyapı zarar verilebilmektedir. Bunun başlıca nedenleri arasında koordinasyon eksikliği, mevcut altyapıların konumunun bilinmeyişi ve ilgili hattın nereden geçtiğinin hem ilgili kuruluşta hem de merkezi otoritede ve belediye de kayıt altında olmaması sayılabilir.

Altyapı yatırımlarının finansmanında; yatırım maliyetlerinin doğru tespiti ile yeterli kaynak temini ve teşkili de çok önemlidir. Ülkemizde yatırımların tasarımı ve proje aşamalarında yeterli düzeyde araştırma ve fizibilite yapılmaması ya da proje eksiklikleri hem yatırım faaliyetlerinin maliyet boyutunu, hem de gerçekçiliğini olumsuz etkilemektedir. Bu da; yatırımların zamanında bitirilememesine ve daha fazla maliyet artışlarına sebebiyet vermektedir. Türkiye de ki mevcut uygulamaların, Avrupa Birliği Müktesebatına uygun ve gelişmiş ülkelerin uygulama ve standartlarına adapte edilmesi, öncelikli sorunların belirlenmesi ve çözümüne yönelik kısa, orta ve uzun vadeli stratejilerin tespiti gerekmektedir. Burada; kurumlar ve sektörler arası planlamalar, işbirlikleri, teknik altyapı tesislerinin plan, program, fizibilite, projelendirme, yapım, işletme, finansman ve yatırım öncelikleri gibi hususlara ait usul ve esaslar, kısacası altyapı koordinasyonunun yapılması oldukça önemlidir. Altyapı ve teknik altyapıdaki projeler için yeni kaynaklar ile farklı finansal kaynakların karşılaştırılması, alternatifler, kaynak temini ve seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar, ve dış finansal kaynaklarla çalışmanın avantaj-dezavantajları ve temel ilkeleri finansman açısından oldukça önem taşımaktadır. Altyapı yatırımlarının finansmanında AB ülkeleri her ne kadar farklı deneyimlere sahip ol-

salar da, daha çok kamu kesimi tarafından finanse edilen altyapı yatırımlarının, günümüze yaklaştıkça özel sektör tarafından finansmanının daha çok tercih edildiği söylenebilmektedir. Özel sektör finansmanında kullanılan yöntemler genel olarak; Kamu-özel işbirliği modelleri, altyapı bankaları”, “sermaye piyasası kanunları” ve diğer fonlar” olarak sıralanabilmektedir. Bu çalışma ile; ülkemizdeki mevcut durumun, verimliliği, kaynak kullanımı ve verim artırıcı alternatifler ile yeni sistem alternatifleri incelenmiştir. AB ülkeleri örnek modelleri ve altyapı projelerinin finansmanı ile ilgili olarak, AB ülkelerinde yer alan benzer ve paydaş yapılar ile finansman teminini geliştirici modellerin incelenmiştir.

1.1.Teknik Altyapı Türleri, Tanımlar ve Kentsel Yaşama Etkisi

Bir ülkede, ekonomik büyüme ve kalkınma açısından en önemli ve temel hizmetlerden birisi altyapı hizmetleridir (Yinanç, 2016). Bu kentsel teknik altyapı tesis ve hizmetleri farklı alt başlıklardan oluşur.

Bunlar:

- İçme ve kullanma suyu tesisi/sistemleri,
- Atıksu kanalizasyon tesisi/sistemleri,
- Yağmursuyu drenaj tesisi/sistemleri,
- Elektrik iletim ve dağıtım tesisi/sistemleri,
- Telekomünikasyon tesis/sistemleri,
- Doğalgaz dağıtım tesisi ve sistemlerinden oluşmaktadır.

Bu kentsel teknik altyapı tesisleri, INPIRE’ın son direktiflerinde bahsedilen otuzdan fazla tesis ve sistem yapısından oluşur (ÇSB, 2014 ve). Kısaca, yer altından geçebilecek bütün tesisleri ve sistemleri kapsamına alır. Kentsel altyapı; ekonomik, sosyal ve teknik altyapı bileşenlerinden oluşur. Kentsel ve/veya kırsal refahı hedefler. Sosyal altyapı kapsamında ise; kentin tüm fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için ihtiyaç duyulan tesis ve donatılar yer alır. Bunların hepsi teknik altyapı kapsamında ele alınan konulardır.

Altyapının türü, sunulan hizmetlere, hizmetin özelliğine göre farklılıklar gösterebilir.

- Altyapı hizmetleri; ortak kullanımın söz konusu olduğu bir yapısalılık içerir.
- Kullanıcılar, altyapı hizmetlerinden aynı anda yararlanabilirler. Bu hizmetlerden yararlanılma sırasında hizmetin miktarında bir azalma olmaz.

- Altyapı yatırım ve kullanımında oluşan giderler (amortisman-işletim) hizmetlerin bedeli olarak kullanana ödettilir.
- Altyapı hizmetleri diğer mallar gibi stoklanıp saklanamaz. Karaborsaya ya da spota düşen mallardan değildir.
- Altyapı hizmetleri ne kadar çok kişi tarafından kullanılırsa maliyette o kadar azalır. Birlikte kullanım bazen kaliteyi de artırır.
- Bu yatırımlar uzun ömür ve kullanımlı yatırımlar olup ilk yatırım maliyeti yüksek, sonraki aşamalarda üretim/kullanım arttıkça maliyetleri düşen (hatta %1 seviyesine inen) sistemlerdir.

Bu hizmetler, farklı bir çok hizmet türünü kapsamına alır. Şöyle ki:

a. Enerji

Enerji sektörü, elektrik ve doğalgaz olmak üzere iki farklı sektörden oluşur. Elektrik sektörü elektriğin; üretimini, iletimi, Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM), elektrik toptan satışı üslenirken, dağıtım arzı özel sektör tarafından yapılır. Üretimde su (HES), rüzgar (RES), güneş (GES), kömür, doğal gaz, petrol ve yakın gelecekte ülkemizde, nükleer enerji türlerinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile elektrikten yararlanmış olacağız. Dağıtım hatlarına gelen elektrik yükseltici-indiriciler ve bunların sistem merkezleri ya da TRAFO merkezinden geçirilerek, kullanıcılara aktarılır.

b. Haberleşme Hizmetleri

Haberleşme hizmetleri; posta ile şebeke işletim ve hizmet sunumunu içeren, telekomünikasyon hizmetlerinden oluşmaktadır. Telekomünikasyon hizmetlerinde; nihai kullanıcıya aktarma da bağlantılar kullanılır ve bu hizmetler:

1. Telekomünikasyon cihazları alt sektörü hizmetleri,
2. Temel telekomünikasyon hizmetleri alt sektörü hizmetleri,
3. Katma değerli hizmetler alt sektörü hizmetleri olmak üzere başlıca üç farklı alt gruba ayrılmaktadır.

c. Ulaştırma Hizmetleri

Ulaştırma hizmetleri kara, hava, demir ve denizyolu ile liman hizmetlerinden oluşmakta ve ulaştırma hizmetlerinin maliyetleri alt sektörlerle göre değişiklik arz etmektedir.

Ulaştırma hizmetlerinin genel özellikleri ise şunlardır.

- Ulaştırma hizmetleri, yüksek ve sabit maliyetli büyük altyapı yatırımlarından oluşmaktadır.

- Ulaştırma hizmetlerinin ekonomik olması, faaliyetlerin kolaylaştırılması ve maliyetlerin düşürmesi amacıyla özel sektör firmalarına, farklı yapım ve işletme modelleri sunulur.

d. Su ve Kanalizasyon Hizmetleri

Su ve kanalizasyon hizmetleri biri diğerini tamamlayan ve büyük ölçüde işletim benzerliği gösteren, tamamlayıcı hizmetlerdir. Bu hizmetlerden özellikle su yaşamsal sürdürülebilirlik için önemli olduğu kadar diğer kaynaklardan daha fazla sömürülen bir kaynak olarak da karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ulaşılabilir su miktarının yeryüzünde oldukça sınırlı ve özellikle su kirliliği de son zamanların en önemli çevresel sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Cansaran, 2018). Bu noktada su ve benzeri hizmetlerin dikkat gerektiren hizmetler olduğu noktasını unutmamak gerekir.

Hizmetin özellikleri:

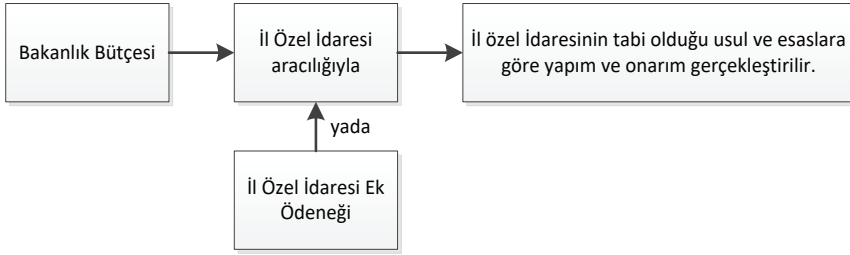
- o Su ve kanalizasyon hizmetlerinin talebi değişken olmakla birlikte, arzı sınırlıdır.
- o Temiz içme suyu ve kanalizasyon hizmetlerini kullanma/ulaşma oranı Dünyada ve ülkemizde bir gelişmişlik göstergesidir.
- o Nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme gibi sebep faktörleri ile yakından ilişkili olan hizmetlerdir.
- o Gelişmişlik talebi, talep yatırımı, yatırım ise işletim, döngüsünü sağlar. Yüksek gelir ise ülkeler ve şehirlere göre daha yüksek, daha düşük gelirli gurupları ifade eder.
- o Temiz sudan yararlanmak temel bir hak olup, kanalizasyon hizmetlerinden yararlanmak ise temel bir ihtiyaç olarak kabul edilmektedir.

2. TÜRKİYE DE TEKNİK ALTYAPI TESİSLERİ İÇİN FİNANSAL YAPI

Büyükşehir Belediyeleri, büyükşehir dışındaki diğer belediyeler ile İl Özel İdarelerinin mevcut finansman kaynakları ve alternatif kaynaklar sunulmuştur.

2.1. İl Özel İdareleri ve Finansal Yapı

İl Özel İdareleri, belediye mücavir alan sınırları dışında kalan bölgelerdeki, altyapı sistemlerinin yönetimi dâhil olmak üzere belediyelerin görevlerini yerine getirir. Bakanlıklar ile diğer merkezi idare ve kuruluşları her türlü içme ve kullanma suyu, kanalizasyon, enerji nakil hattı gibi tesislerin inşası, bakımı ve onarımı için ilgili bütçede belirtilen payları, İl Özel İdaresi'ne aktarmaktadır. Şekil 2.1'de yapım işlerinde kurumlar arası ilişki şema ile gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Bakanlık ve diğer merkezi idarelerce yaptırılan altyapı yapım işleri şeması

2.1.1. İl özel idarelerinin gelir ve giderleri

İl Özel İdarelerinin gelirleri; 5302 sayılı İl Özel İdaresi Kanunu ile belirtilmiş olup, bu gelirler üç ana grup altında toplanır. Öz gelirler, genel bütçeden ayrılan paylar ve diğer gelirler den oluşur (Resmî Gazete (RG), 2006).

Bunlar; vergi, resim, harç ve katılma payları, taşınır ve taşınmaz malların kira, satışı ile farklı surette değerlendirilmesinden elde edilecek her türlü gelirler,

Genel Bütçe vergi tahsilatının yüzde (%1,15)'i ki bu payın:

- %50'lik kısmı illerin nüfusuna,
- %10'luk kısmı illerin yüzölçümüne,
- %10'luk kısmı illerin köy sayısına,
- %15'lik kısmı illerin kırsal alan nüfusuna göre,
- %15'lik kısmı ise illerin gelişmişlik endeksindeki grubuna göre dağıtılır.

Diğer Gelirleri ise; yapılacak her türlü ödeme, alınacak bağış vb. gelirlerden oluşur (Taraktaş, 2014).

Mahallî idarelerin menfaatlerinin korunması, gelişmelerine yardımcı olunması, personellerin eğitimi, mahallî idarelerle ilgili yasa hazırlıklarına katkı (görüş bildirilme) amacıyla il özel idare ve belediyelerini temsil etmek üzere ülke düzeyinde sadece birer birlik kurulabilir (T.C. İçişleri Bakanlığı, 2014).

Bu durum ülke düzeyinde olmaksızın bu amaçlarla başka mahallî idare birliği kurulmasına engel oluşturmaz. İl özel idareleri ve belediyeler ülke düzeyinde kurulan birliklerden kendilerine ait olanın doğal üyesidirler. Köylere Hizmet Götürme Birlikleri, Turizm altyapı hizmet birlikleri, Katı Atık Birliği, Su ve Atıksu İşletme Birliği, Turizm Altyapı Hizmet Birlikleri gibi birliklerden oluşur.

2.1.1.1. Köylere Hizmet Götürme Birlikleri

Köylerin Altyapısının Desteklenmesi amacıyla (KÖYDES) projesi birlik sistemi kurulmuştur. İçme suyu temini yada iyileştirmesi, yeni yollar açma yada yetersiz yolların yeterli hale getirilmesi, küçük ölçekli sulama ve atıksu altyapılarının geliştirilmesi ile köylerde hayat kalitesinin artırılmasını içeren hizmetleri yapar (TKGM, 2014). Köylerin sosyo-ekonomik gelişimine katkı sağlamak amacıyla 2005 yılında başlatılan ve halen 5216 sayılı Büyük Şehir Belediyesi kanunu dışında kalan yerlerde uygulanan bir programdır (TKGM, 2014).

2.1.1.2. Turizm Altyapı Hizmet Birlikleri

Kültür ve turizm merkezlerinde, alanın bütüncül bir anlayışla korunması, geliştirilmesi, tanıtımı, kültüre ve turizme ait sosyal ve teknik altyapının inşası ile işletilmesini sağlamak amacıyla alandaki bütün mahalli idarelerin katılımı ile mahalli idare birliği kurulur (TKGM, 2014).

2.1.2. Büyük Şehir Belediyeleri Dışındaki 5393 Sayılı Kanuna Tabi Belediyelerin Gelir, Gider ve Finansman Yapıları

Eskiden 2000 kişi, şimdi ise nüfusu 5000 kişi ve üzerinde olan yerleşim birimlerinde, belediye kurulmaktadır. İl, ilçe ve belde belediyeleri 5393 sayılı Belediye Kanunu'na tabilerdir (T.C. İçişleri Bakanlığı, 2011).

Bu kanun kapsamında belediyelerin gelir ve giderleri aşağıda belirtilmiş olduğu gibidir.

2.1.2.1. 5393 Sayılı Kanuna Tabi Belediyelerin Gelirleri

Genel ve özel bütçeli idarelerden yapılacak ödemeler, Belediyenin öz gelirleri ile Borçlanma, bağış ve diğer gelirlerden oluşur. Bunlar; öz gelirler, genel ve özel bütçeli idarelerden yapılan/yapılacak olan ödemeler ile her türlü, borçlanma, bağış ve diğer gelirlerden oluşur.

Kısaca:

2464 sayılı Belediye Gelirleri Kanunundaki gelirler ve paylar, 1319 sayılı Emlak Vergisi Kanununa göre tahsil edilen emlak vergileri, taşınır ve taşınmaz mallarının kira, satış veya başka bir surette değerlendirilmesinden elde edilen gelirler, her türlü girişim, iştirak ve faaliyetler karşılığı sağlanacak gelirlerden oluşmaktadır (TKGM, 2014).

Genel bütçeden ayrıca (İl Özel İdareleri ve Büyükşehir Belediyeleri hariç) diğer belediyelere pay verilir. Bu pay oranı değişik zaman dilimlerinde değişkenlik gösterir. Şu anda ise toplanan vergi gelirlerinin %2,85'i dir.

5779 Sayılı Kanuna göre bu, %2,85'lik payın her belediyeye dağıtımı biri birinden farklıdır.

Payın, %80'lik kısmı belediyelerin nüfusuna göre kişi başı olarak gönderilir.

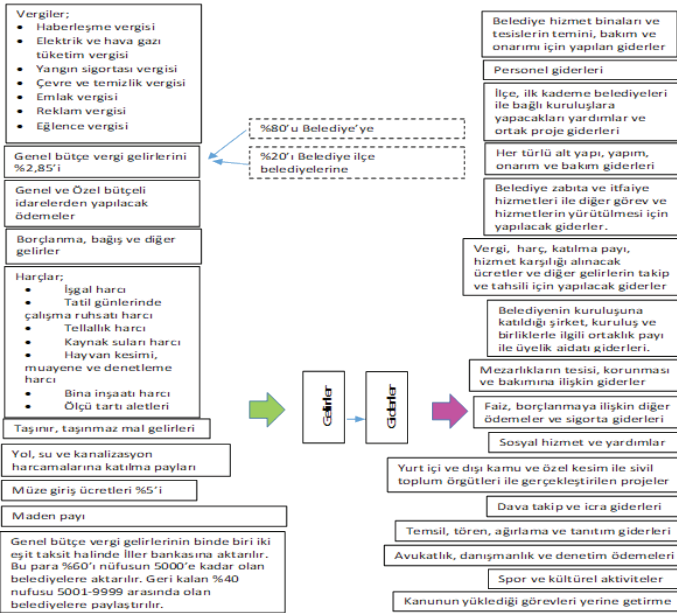
Payın, %20'lik kısmı ise belediyelerin gelişmişlik endeksi verileri baz alınarak, en az gelişmiş olan ilçeden en çok gelişmiş olan ilçeye doğru, eşit sayılarda oluşturulan beş (5) grup niteliğine göre ve dâhil oldukları grubun aldığı paydan nüfuslara göre dağıtılmaktadır (ÇSB, 2014).

2.1.3.2. 5393 Sayılı Kanuna Tabi Belediyelerin Giderleri

Belediyelerin harcamaları yani giderleri aşağıda belirtilen ana kalemlerden oluşmaktadır. Belediyelerin gelir-gider dağılımı Şekil 2.2'te gösterilmiştir. Burada gelirlerin bir kısmının altyapı işlerinde kullanıldığı net olarak görülmektedir.

2.2. Büyükşehir Belediyelerinin Gelir, Gider ve Finansman Yapıları

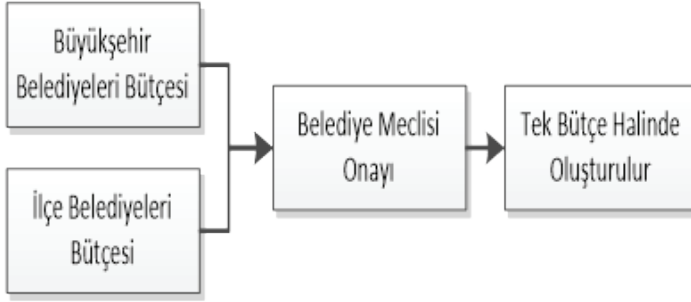
5216 Sayılı Büyükşehir Belediyeleri Kanunu'na tabi olup, şu anda ülkemizde 30 (otuz) adet Büyükşehir Belediyesi bulunmaktadır. Bir ilin büyükşehir olabilmesi için öncelikle, nüfusunun 750.000'den büyük olması gerekmektedir.



Şekil 2.2. Belediyelerin gelir-gider dağılımı

Büyükşehir Belediyesi sistemi içerisinde Büyükşehir Belediye bütçesi ile Büyük Şehir İlçe Belediye bütçeleri mevcuttur. İlçe belediye bütçeleri önce, meclislerinden, daha sonra Büyükşehir Belediye Meclisinden geçerek kesinleşir. Yatırım ve hizmetlerde bütünlük esasına dikkat edilir.

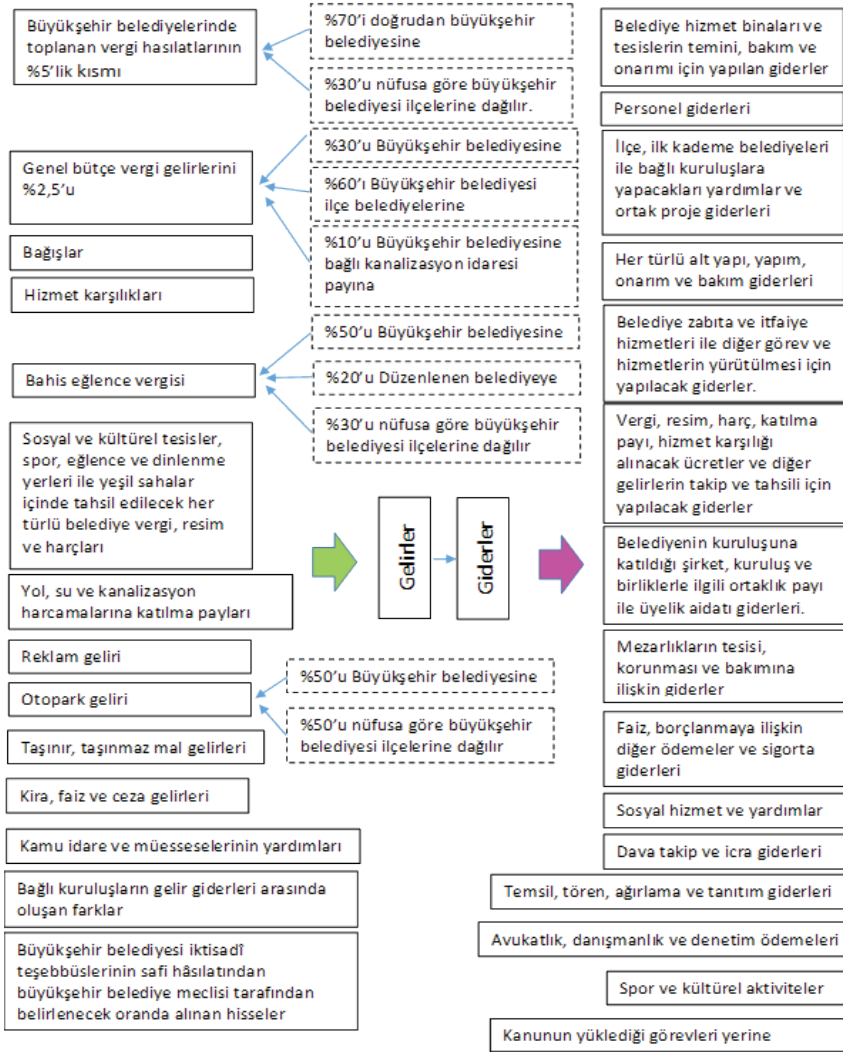
Büyükşehir belediyelerinin bütçelerinin oluşturulması süreci Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Büyükşehir belediyeleri bütçeleri

Büyükşehir belediyelerine sınırları içerisinde yapılan genel bütçe vergi tahsilâtı toplamının %5'i ve genel bütçe vergi gelirleri tahsilâtının toplamının %2,5'i şeklinde büyükşehir ilçe belediyelerine ayrılan ve bu belediyelere nüfus esasına göre dağıtılan payın %30'u büyükşehir belediye payı olarak ayrılmaktadır. Büyükşehir sınırları içindeki genel bütçe vergi gelirleri tahsilâtı toplamından ayrılan %5'lik payın %70'i doğrudan ilgili büyükşehir belediyesine aktarılmakta, kalan %30'luk kısım ise ortak bir havuzda toplanmak kaydıyla tüm büyükşehir belediyelerinin nüfuslarına göre dağıtılmaktadır (ÇSB, 2014).

Genel bütçe vergi gelirleri tahsilat toplamının %2,5'i biçiminde ayrılan büyükşehir ilçe belediye payının, %30'luk büyükşehir belediye payı ve 2560 sayılı Kanununun 13. maddesi gereğince dağıtılacak %10'luk büyükşehir belediyesi bağlı su ve kanalizasyon idaresi payının ayrılmasının ardından geri kalan kısmı büyükşehir ilçe belediyelerine nüfuslarına göre dağıtılmaktadır (ÇSB, 2014). 5216 sayılı kanun kapsamında büyükşehir belediyelerinin gelir ve giderleri Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Büyükşehir belediyelerinin gelir-gider dağılımı

Büyükşehirlerde altyapı faaliyetlerinin koordinasyonu Alt Yapı Koordinasyon Merkezi (AYKOME) tarafından yürütülür (TKGM, 2009) Özellikle Büyükşehir Belediyelerinin gerçekleştirdiği altyapı projelerinde finansman kaynakları kalemlerine ilave olarak iç borçlanmalar, dış krediler ve hibelerinde altyapı projelerinde kullanıldığını görebiliriz (Karataş ve Bıyık, 2008).

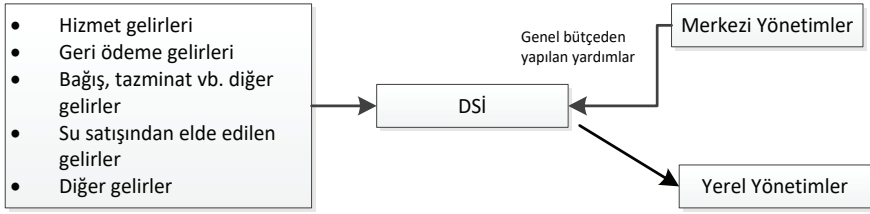
2.3. Kurumların Finansal Yapıları

2.3.1. DSİ Genel Müdürlüğü'nün Finansal Yapısı

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), bir kamu kuruluşu olarak kendine verilen; taşkın koruma, sulu ziraatı yaygınlaştırma, hidroelektrik enerji üretme ve büyük şehirlere içme suyu temini (Çiftçi vd., 2021) "içme, kullanma ve endüstri suyunun temini" ve "kanalizasyon" hizmetlerini sunmaktadır. 1968 tarihli 1053 sayılı yasa ile, "Belediye Teşkilatı Olan Yerleşim Yerlerine İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu Temini....." Hakkında Kanun hükümleri uygulanacağı yani buralara su temini ile görevli olduğu kararlaştırılmıştır.

DSİ'nin finansman modelinin oluşturulabilmesi için, 6200 sayılı "Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun" maddelerine bakıldığında kurumun gelirlerinin aşağıdaki maddelerden oluştuğu görülmektedir (DSİ, 1953).

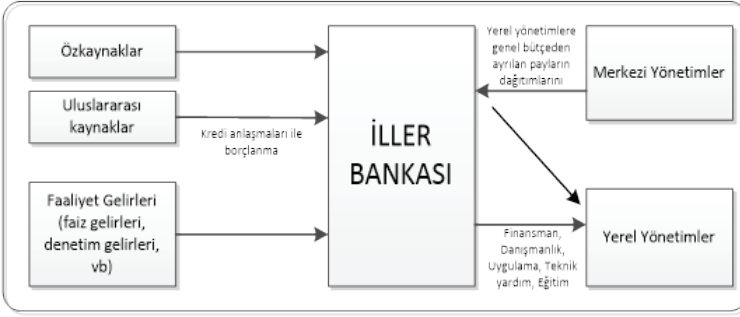
Bu çerçevede DSİ'ye ait finansman modeli özet olarak Şekil 2.5'de sunulmuştur.



Şekil 2.5. DSİ finansman modeli

2.3.2. İller Bankası A.Ş.'nin Finansal Yapısı

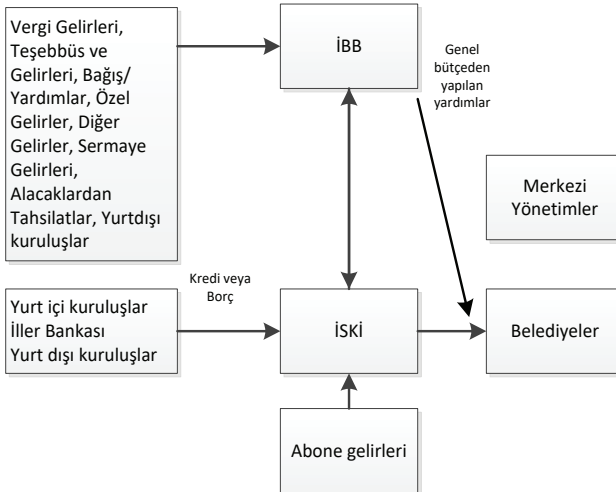
İller Bankası yerel yönetimlerin harita, kanalizasyon, imar planı, içme suyu, makine, sondaj, yapı ve diğer kentsel yatırımlar projelerinin hazırlanmasından tamamlanmasına kadarki tüm sorumlulukları yüklenen kuruluştur. İller bankası programına aldığı tüm projelerin ihalesinin teknik kontrolünü ve finansmanını gerçekleştirmektedir. İller Bankası'nın önemli diğer bir fonksiyonu da merkezi idarenin yerel yönetimlere aktardığı kaynakların dağıtımında aracılık yapmasıdır. İller Bankası yerel yönetimlere kredi sağlamakla görevli bir kurum olarak aynı zamanda belediyeler lehine teminat mektupları düzenlemekte, kefalet işlemlerini yapmaktadır (Çoker, 1986: 34-35). Bu çerçevede İller Bankası'na ait hizmet akış ve finansman modeli şekil 2.6' da sunulmaktadır.



Şekil 2.6. İller Bankası finansman modeli

2.3.3. Su ve Kanalizasyon İdarelerinin Finansal Yapısı

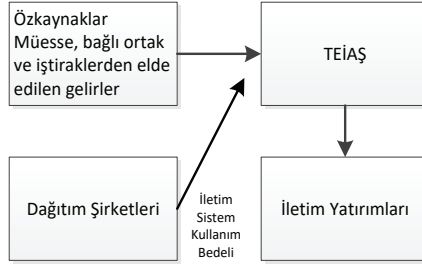
Türkiye de Su ve Kanalizasyon İdareleri 2560 sayılı Kanunu ile kurulan ve bugün itibarıyla sayısı 30 olan Büyük Şehirlere bağlı, bağımsız bütçeli kamu tüzel kişiliğine haiz bir kuruluştur. Büyükşehir Belediyesi'nin su ve kanalizasyon hizmetlerini yürütmek ve bu amaçla gereken her türlü tesisi kurmak, kurulu olanları devralmak ve bir elden işletmek amacıyla, gelirinin büyük bir kısmını su satışıyla karşılamaktadır. Yatırımların tamamına yakını da bu su satışından elde edilen gelire yapılmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşları alt yapı ortak yatırım hizmetleri için harcanan miktardaki ödeneği, yeniden değerlendirme oranı da dikkate alınarak ertesi yıl bütçesinde ayrılmaktadır. Ayrılan bu ödenek belediye veya ilgili bağlı kuruluşunun hesabına aktarılmaktadır. Şekil 2.7'de Su ve Kanalizasyon İdareleri'ne ait finansman modeli sunulmaktadır (T.C. Maliye Bakanlığı, 2008).



Şekil 2.7. Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdareleri Finansman Modeli

2.3.4. Türkiye Elektrik İletim (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ)'ın Finansal Yapısı

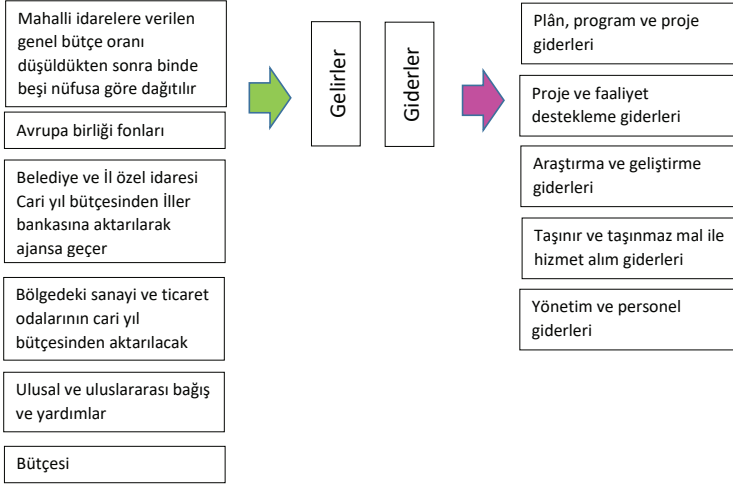
TEİAŞ; yüksek gerilim seviyesindeki iletim, enerji nakil hattı (ENH) sisteminin işletmenliğini yapan ve tekel olan kamu iktisadi teşekkülüdür. TEDAŞ Şebeke kapasite artış, şebeke yenileme, şebeke iyileştirme yatırımları ile aydınlatma yatırımları ve şebeke işletim sistemi yatırımlarını yapmaktadır. Elektrik rekabetini sağlamak için gerekli altyapının tesisi için, yeni enerji iletim hatları, kablolar, trafo merkezleri, tevsiyat ve yenileme projeleri gibi projeleri gerçekleştirir. Şekil 2.8'de TEİAŞ'ın finansman modeli görülmektedir (KİT Denetim Raporu, 2008).



Şekil 2.8 TEİAŞ finansman modeli

2.3.5. Kalkınma Ajansları Finansal Yapısı

Ancak, ajans tarafından küçük ölçekli altyapı projelerine verilecek mali destek toplamı, ajansın yıllık gider bütçesinin yüzde yirmisini, proje başına verilecek azami destek tutarı ise bu miktarın yüzde yirmi beşini geçemez (<https://www.scribd.com/document/333108631/Turkiyedeki-Tum-Destekler>). Bu kapsamda ajansın elde ettiği gelirler ve giderler Şekil 2.9'te verilmiştir. Bu şekilde giderler kısmında finansman sağlanan projeler kapsamında küçük ölçekli altyapı projeleri de olması sebebiyle giderlerin bir kısmının da talep edilmesi halinde bu tür projelere aktarıldığı düşünülmektedir (<https://www.scribd.com/document/333108631/Turkiyedeki-Tum-Destekler>).



Şekil 2.9 Kalkınma Ajanslarının Gelir ve Gider Dağılımı

2.4. Kamu Altyapı Yatırımlarına Finans Sağlayan Diğer Kurumlar

Bu bölümde, teknik altyapı tesisleri için finans sağlayan kurumlar arasında yer alan Dünya Bankası, Avrupa Yatırım Bankası, Türkiye Kalkınma Bankası ve Altyapı Gayrimenkul Yatırım Ortakları açıklanmıştır.

2.4.1. Dünya Bankası Grubu (World Bank Group)

Dünya Bankası, üyelerine kredi verirken üye ülkelere ait banka sermaye katılımları, sermaye piyasası kanunlarından yapılan borçlanmalar, menkul kıymet satışları ve muhtelif gelirler olmak üzere başlıca beş kaynaktan yararlanır.

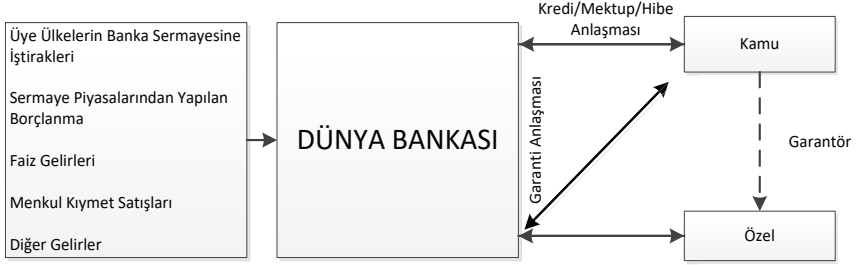
Dünya Bankası; çoğunlukla kalkınmayı hedefleyen projeleri finanse eder. Bu projelerin kredileri, orta ve uzun vadeli. Projede karlılık yani, projenin kısa dönemde kendisini finanse etmesi, borç verilen ülke/ülkelerin ekonomik durumları, dış borç ödemeleri, kısacası, borçlarını zamanın da ödeyip ödeyemeyeceği önemlidir. Dünya bankası gelişmekte olan ülkelere 3 (üç) tipte kredi açmaktadır. Banka, kredilerin geri ödenme sürelerini; krediyi verdiği (krediyi alan) az gelişmiş ülkelerdeki kişi başına düşen GSMH bazında değerlendirir. Üç farklı guruba farklı vadeler ve LIBOR (risk masrafı) uygular.

Gurup I: Yüksek gelir gurubundaki ülkeler için; 3 yıl ödemesiz dönem ve 15 yıl vadeli borç,

Gurup II: Orta gelir gurubundaki ülkeler için; 4 ila 5 yıl ödemesiz dönem ve 17 yıl vadeli borç,

Gurup III: Düşük gelir gurubundaki ülkeler için; 5 yıl ödemesiz dönem ve 20 yıl vade seçenekleri uygulanmaktadır.

Ülkemiz ise, eğer borç alacaksa, **Gurup II** çerçevesinde borçlanmaktadır. Bankanın finansman modeli Şekil 2.10’da sunulmuştur (<https://www.worldbank.org/tr/country/turkey>).

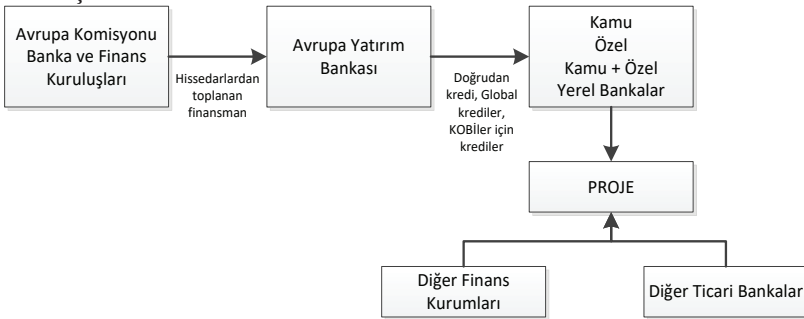


Şekil 2.10. Dünya Bankası finansman modeli

2.4.2. Avrupa Yatırım Bankası (European Investment Bank-EIB)

Avrupa Yatırım Bankası, ödemeler, krediler, özel ödünçler ve garantilerden oluşan dört (4) farklı fonlama imkânı sunabilmektedir. Banka, (diğer finans kuruluşları veya ticari bankalarla birlikte) yatırımcının kendi fonları ile başka kaynaklardan sağladığı finansmana tamamlayıcı olarak uygun bir finansman paketi sunmayı hedeflemektedir. Genellikle proje maliyetlerinin %50'sine kadarki kısmı finanse edebilmektedir. Özellikle toplam yatırım maliyeti 50 milyon € Euro'nun üzerindeki çevre, sağlık, eğitim, Ar-Ge, altyapı, enerji ve sanayi yatırımları ile hizmet sektörlerindeki uygun projeleri finanse edilebilmektedir.

Projenin ekonomik ömrü ve nakit akışını yansıtan geri ödemeler sanayi projeleri için 5-12 yıl arası, altyapı ve enerji projelerinde ise 12-25 yıl arasıdır. Avrupa Yatırım Bankası'na ait finansman modeli Şekil 2.11’de sunulmuştur.



Şekil 2.11. Avrupa Yatırım Bankası finansman modeli

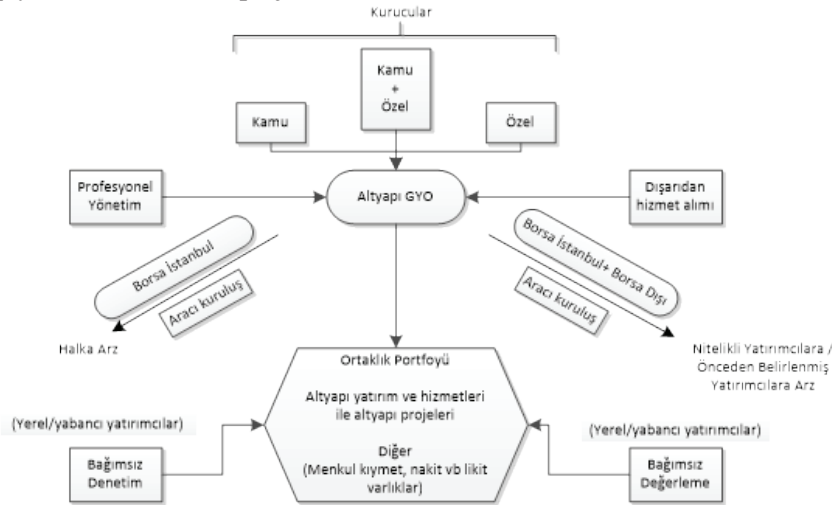
2.4.3. Türkiye Kalkınma Bankası

4456 sayılı kanun, Madde 3'te Bankanın amaçları şöyle dir. "...Türkiye'nin kalkınması için; anonim şirket statüsündeki teşebbüslere kârlılık ve verimlilik anlayışı içinde kredi vermek, iştirak etmek suretiyle finansman ve işletme desteği sağlamak, yurtiçi ve yurtdışı tasarrufları kalkınmaya dönük yatırımlara yöneltmek, sermayenin gelişmesine katkıda bulunmak, yurtiçi, yurtdışı ve uluslararası ortak yatırımları finanse etmek ve her türlü kalkınma ve yatırım bankacılığı işlevlerini yapmak..." olarak belirlenmiştir. Banka yapısı itibarıyla, kamu bankasıdır. Sanayi, turizm, enerji, sağlık ve eğitime ait kamu ve/veya özel sektör projelerine, kredi, finansal kiralama veya iştirak yoluyla finansman desteği sağlar.

2.4.4. Altyapı Gayrimenkul Yatırım Ortakları (AGYO)

Altyapı yatırımları için SPK (sermaye piyasası kurulu kanunları) yoluyla finansman sağlar. Bu yatırım ortaklıkları (AGYO), belirli alanlarda yatırım yapmak amacıyla süreli veya süresiz olarak kurulabilen sermaye finansman kurumudur. Altyapı şirketine veya diğer altyapı gayrimenkul yatırım ortaklıklarına yatırım yapabilen AGYO'na ait finansman modeli Şekil 2.12'de sunulmuştur.

AGYO ile altyapı yatırımlarının finansmanının diğer alternatif finansman modelleri karşındaki en önemli ayırt edici özelliğidir. Finansman modeli çerçevesinde Altyapı Yatırım Ortaklıkları sermayesi halka arz edilerek altyapı projelerinin menkul kıymetlenmesi sağlanarak sermaye piyasası kanunlarının etkin kullanımı söz konusu olmaktadır. Gelir amaçlı ve uzun vadeli altyapı yatırımlarına, yatırım yapmayı düşünen kişi, grup ya da şirketleri bir araya getirmeyi planlamaktadır. Uzun vadeli finansman yapısı nedeniyle sermaye piyasası kanunları bu projeler için önemli bir mekanizma oluşturacaktır.



Şekil 2.12. AGYO finansman modeli

2.5. Hizmetlerin Özel Sektör Eliyle Yapılmasında Mevcut Olan Hukuki Durum

Ülkemizde eski ve yeni bir çok kanunda hizmetlerin doğrudan ya da dolaylı olarak kısmen veya tamamen özel sektör eliyle yapılması / yaptırılması hususuna imkan veren maddeler mevcuttur.

Mevcut kanunlardaki bu maddeler:

1. 1580 Sayılı Belediye Kanununun 19. maddesi 4A ve 5. fıkraları,
2. 1580 Sayılı Belediye Kanununun 19. maddesi 4A ve 5. Fıkraları (Yinanç, 1997),
3. 2560 Sayılı İSKİ kanununun 2.maddesi ‘a, d ve e’ bentleri,
4. 3996 Yap İşlet Devret Kanunu,
5. 4046 Özelleştirme Kanunu,
6. 5216 Sayılı” Büyükşehir Belediyesi Kanununun 7. madde ‘r’ bendi (Yinanç, 1997),
7. 5272 sayılı kanunun 15. maddesi ‘e’ bendi ve ‘ı’ bendi hükümleri,
8. 5272 sayılı kanunun 68. maddesi ‘a, c, d, e, f’ bendi hükümleri,
9. 5272 sayılı kanunun 70. maddesi,
10. 5272 sayılı kanunun 71. Maddesi (Yinanç, 1997),

Kamu veya özel kuruluşlarla ortaklık kurulması ve işletilmesi ile bu amaçla kurulmuş veya kurulacak olan tesislere iştirak edilmesinde yasal olarak engel bulunmamaktadır.

3996 Sayılı Yap İşlet Devret (YID)Modeli; kanunun 1 ve 2. maddesindeki uygulama alanları arasında, “... barajlar, içme, kullanma ve sulama suyu, arıtma tesisleri, kanalizasyon gibi...” çevre kirliliğini önleyici yatırımların yaptırılması ve işletilmesi de dahil edilmiş olan bir modeldir. Sözleşme süresi 49 yılı aşamayacaktır (Yinanç, 1997).

4046 Sayılı özelleştirme Kanunu (madde 2); işletme ve sistemlerde verimlilik artışının sağlanması ve kamu giderlerini azaltılması amacıyla; kaynakların özelleştirilmesinde ‘*sadece işletme hakkının belli bir süre verilmesi gibi ilkelerin esas alınması öngörülmüştür.*’

5216 sayılı Büyük Şehir Belediyesi Kanunu; Madde 7. (r) bendi, Madde 1 ... Belediye, (e), (f) ve (g) bentleri, 49 yılı geçmemek üzere imtiyaz yoluyla devredebilir demektedir.

Madde 68’de ise, ‘...Belediyelerin, görev ve hizmetlerinin gerektirdiği giderleri karşılamak amacıyla, borçlanma yapma ve tahvil ihraç edilebileceğini...’ ön görmektedir.

2.6. Verimli Çalışma Amaçlı İşletme Sözleşmesi Alternatifleri

Gelişmekte olan ülkelerden pek çoğunda altyapı faaliyetlerinin artırılmasına büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Pek çok örnekte olduğu gibi devlet bütçesine çok büyük bir yük getiren yol, köprü, iletişim, konut ve su ve atıksu şebekeleri gibi altyapı hizmetlerinin oluşturulması veya iyileştirilmesi gerekmektedir. Son onlu yıllarda, kamu sektörü yatırımlarında tüm dünyada yerel yönetimlerin finansman yüklerini azaltan özel yatırımlara doğru yönelmektedir. Tüm dünyada, bu tür uygulamalar, mevcut kanun ve finansal imkanlara dayanmaktadır.

Ancak, her durumda, belediye veya hükümet altyapı ve ekipmanların sahibidir. Fransa' da yetki devri su temini ve/veya atık su hizmetlerinin yönetimini içermekte, İngiltere de altyapı tesislerinin aktarımını da içeren bir uygulama mevcuttur.

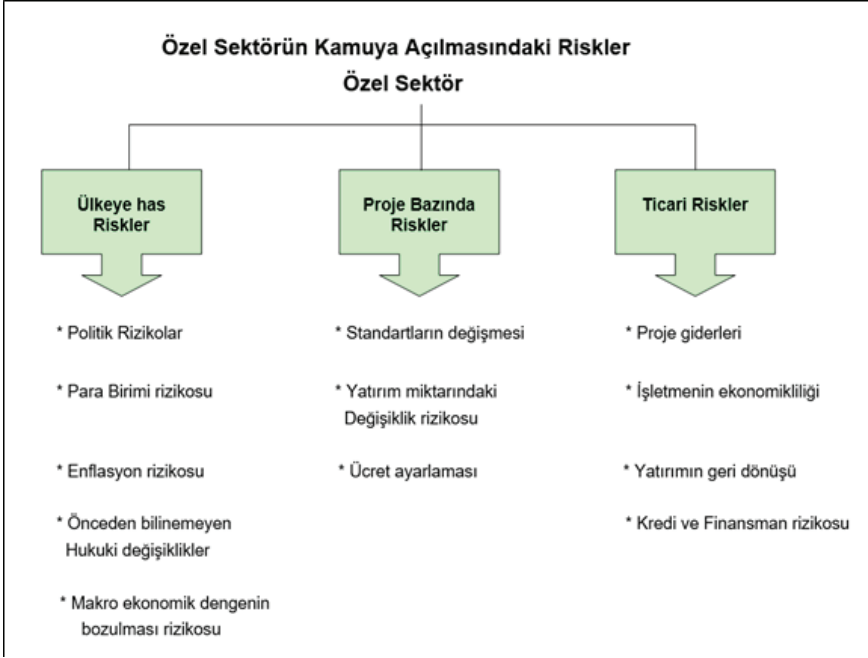
Kamu kurumu, özel sektörle belirtilen işleri ve hizmetleri sağlamak üzere sözleşmeler yapar. Bu sözleşmeler, süresince, alınacak hizmetin şekline, tarafların alacakları risklere göre değişmektedir. Proje Yönetim Sözleşmesi, Kiralama Yönetim Sözleşmesi, İmtiyaz Sözleşmesi, Özel Şirketlerin kurulması şeklinde örneklendirilebilir. Özel İşletme Sözleşmeleri, önemli yönetim deneyimlerinin gerekli olduğu çalışma alanları ile ilgili olup endüstri için en idealidir. Sayaç okuma, faturalama, tahsilat; mekanik ve elektrik bakımı, abonelerin bağlantısının kesilmesi; sayaçların değiştirilmesi, kanal bakımı; kaçakların saptanması; Atıksu ve içme suyu arıtma tesislerinin kurulması ve işletilmesi gibi alanlarda özel işletim sözleşmesinin kullanılması uygundur.

Bu tip sözleşmelerin uygun olacağı süreler yüklenici tarafından yapılan yatırımlara bağlı olduğu için bu fiyatlandırmada ana belirleyicidir. Yap-Sahiplen-İşlet-Devret ve Yap-İşlet-Devret: Sözleşmelerinde yüklenici bir varlığı yapar. YSİD sözleşmelerde yüklenici, bir varlığı yapar, sahip olur, işletir ve sözleşme süresi dolunca işverene teslim eder. YİD sözleşmelerinde ise varlık inşa edilir, belirli bir süre işletilir ve sonra da işverene devredilir.

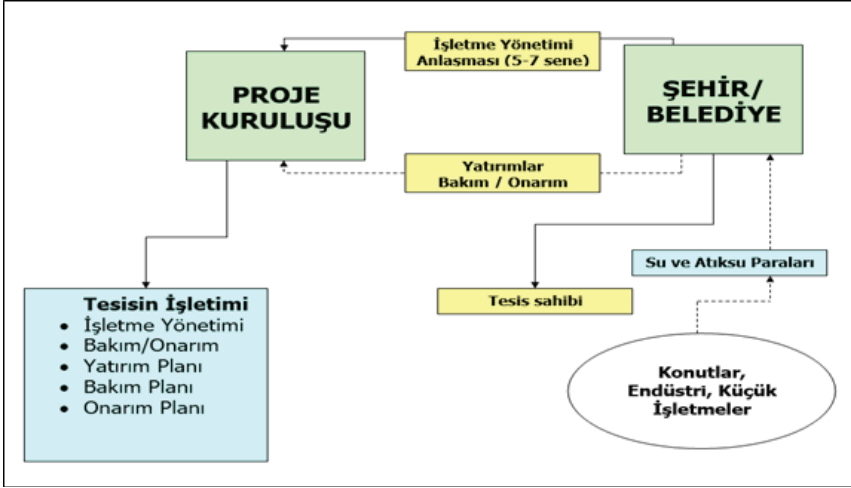
Bu konuda alternatif bir yaklaşım da varlıkların başından itibaren işverene kazandırılması yani sözleşmenin yapıp işletilmesidir.

2.7. Özel Sektörün Kamuya Açılımı ve Altyapı İçin İmtiyaz Anlaşması Modelleri

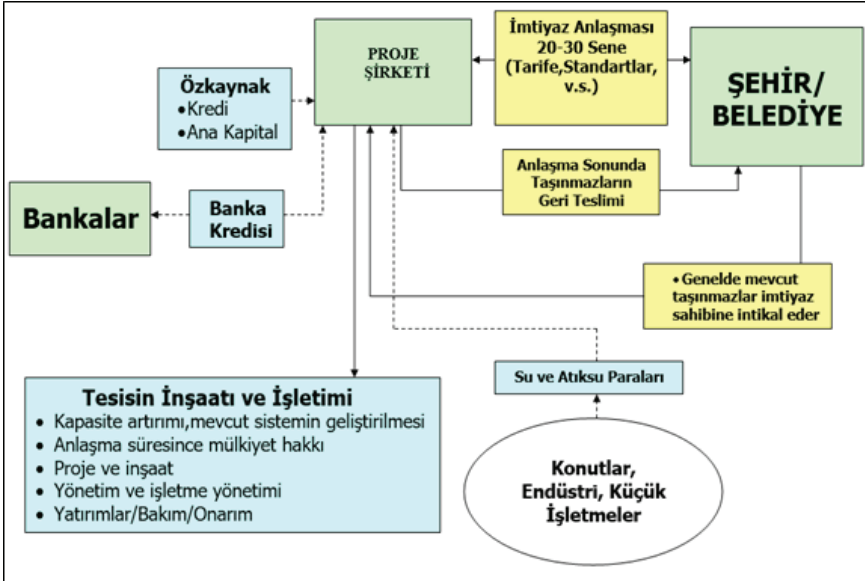
Bu tür sözleşmeler kamunun birçok yerinde uygulanmaktadır. Bu sözleşmelerde faydalı ve sakıncalı yanlar mevcuttur. **Özel Sektör- Kamu** modellerinden bazıları şekil 2.13, 2.14, 2.15, 2.16 ve 2.17'de sunulmuştur.



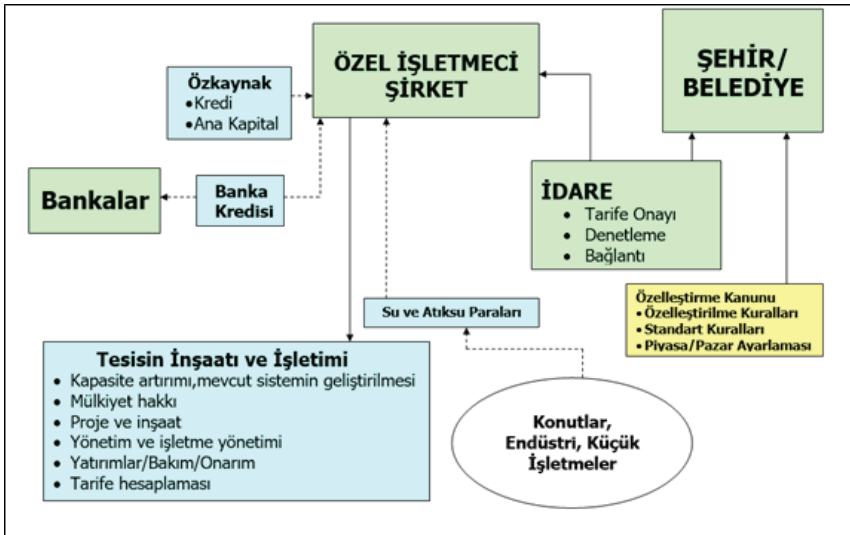
Şekil 2.13. Özel sektörün kamuya açılması ve Altyapı için imtiyaz anlaşması modelleri



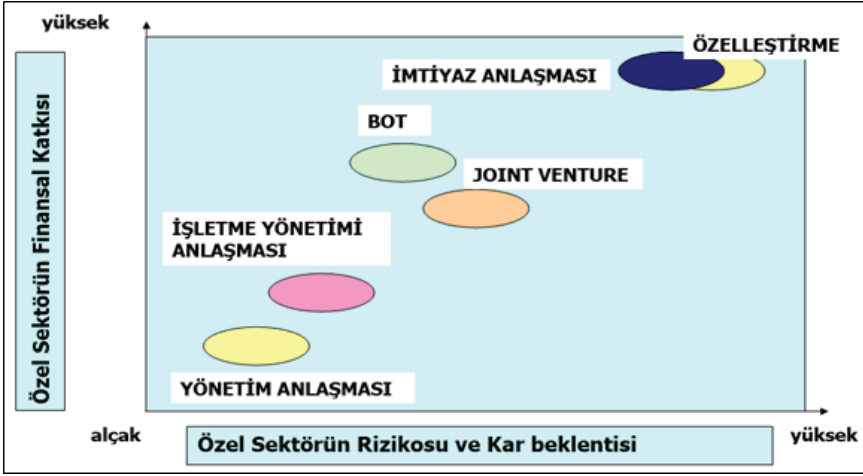
Şekil 2.14. Altyapı için imtiyaz anlaşması modeli



Şekil 2.15. Altyapı için imtiyaz anlaşması modeli



Şekil 2.16. Özel işletmeci şirket modeli



Şekil 2.17. Olası özelleştirme dereceleri

a. Su Ekonomisine özel sektör katılımının kamu sektörüne sağladığı avantajlar

- o Alt Yapı ve yeni teknolojik yatırımlar için kapital sağlanması,
- o Daha iyi yönetim: İşletmelerde yeniden yapılanma ile imkanları daha iyi kullanarak verimi artırma,
- o Sermaye girişi sayesinde kamu bütçesini rahatlatma,
- o Profesyonel, uzman kadrolar oluşturarak yeni teknolojiler, bilgiler, yönetim ve işletme idaresi konularında daha bilinçli hareket,
- o Projelerin ve işletme yönetiminin ekonomik ve optimum zamanda gerçekleşmesi,
- o Su kalitesinin artırılması için yapılan yatırımlar (zincirleme etki ile) başka sektörlerde de yeni yatırımların yapılmasına imkan sağlayacaktır.

b. Özel sektörün Kamu Sektörü ile ortak çalışmasının nedenleri

- o Yeni Pazarlar ve yeni müşteri potansiyeli kazanmak,
- o Su teminine ve Atıksu bertarafına ait konularda hizmet vererek kazanç sağlamak,
- o Dikkatli hareketle uzun vadede kar elde ederek şirketin büyümesini sağlamak,
- o Kuruluşun yeni ve mevcut pazarlarda ticari gücünü arttırmak,

Kamu hizmeti veren kuruluşların avantajlarından faydalanmak ve şirketin uzun vade stratejisini geliştirmek.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ülkemizin artan kentleşme hızı, altyapı ihtiyaçlarının da aynı oranda karşılanmasını zorunlu kılmaktadır. Kent içi ulaşım, mekânsal planlamalar, planlara dayalı altyapı ve üstyapılar, bu yapıların kentsel sisteme entegrasyonu, şehirler arası ve şehir içini kapsayan, akıllı ve çevreye duyarlı, verimli ve maliyet etkin uygulamalar önem arz etmektedir. Şehirlerde kanalizasyon ve atıksu arıtma altyapısını geliştirilecek, deşarj standartlarını karşılayacak, arıtılan atık suların ise yeniden kullanımını özendirecek, teknolojilerin geliştirilerek inşasını (onuncu kalkınma planı, 2013: Madde 981) sağlamak gerekir.

Kentsel altyapı sistem oluşturulması ve hizmetlerin sunulmasında bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı ile sürdürülebilir şehirler yaklaşımına uygun olarak şehirlerde enerji, su ve kaynak verimliliği sağlama, atık ve emisyon azaltma, görüntü ve gürültü kirliliğinin önlenmesi, çevre dostu malzemelerin kullanılması gibi uygulamalar ile çevre duyarlılığı ve yaşam kalitesinde sağlanacak gelişmeler büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir kentlere ulaşmak için yapılan çalışmaların vazgeçilmezi çevrenin de korunabilmesidir. Çevresel sürdürülebilirlik sağlanmadığı sürece kentsel sürdürülebilirliğe ulaşmanın mümkün olmadığını kabul etmek gerekir (Cansaran, 2019). Bunun için etkin bir çevre bilinci oluşturulmalıdır. Çevre bilinci, insanoğlunun çevre sorunlarını algılaması, sorunları çözmek için çaba göstermesi ve amaçlarını gerçekleştirmesidir (Cansaran, 2015; Yılmaz, 2018).

Tüm Altyapı yatırımlarında özel sektörün finansman katılımı ve kamu işletmelerinde verimliliğin artırılması hedeflenmektedir. Şehirlerde ekonomik etkinliği sağlamak, altyapı ve hizmet kalitesini artırmak, çevresel maliyetleri azaltmak, yapılan yatırım ve düzenlemeleri yapmak, katma değeri yüksek yeni sektörlerin gelişmesine imkân sağlamak ve 2023 hedefleri ile Kalkınma Planının amaçlarına ulaşılabilmesi için öncelikli alanlardaki, temel yapısal dönüşüm süreçlerinin başlatılmasına (onuncu kalkınma planı, 2013: Madde 10)'da yer verilmiştir

Türkiye'nin artan altyapı ihtiyaçlarının karşılanmasında kamu kaynaklarının kullanılması, özel sektörün katılımının alternatif finansman modeli olarak sağlanması (ÇSB, (2015), ihtiyaç olan ve bu çerçevede altyapı yatırımlarının gerçekleştirilmesinde yapılacak uygulama ve modeller (onuncu kalkınma planı, 2013: Madde 581), ile fonlar, tahviller ve altyapı gayrimenkul yatırım ortaklıkları gibi elverişli mekanizmalar ve araçların kullanımı tavsiye edilmektedir (ÇSB, (2015).

KAYNAKLAR

- Cansaran, D. (2015). Çevre Bilinci Düzeyini Belirlemeye Yönelik Uygulamalı Bir Çalışma: Merzifon Meslek Yüksekokulu Örneği. Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7(2), 69-74.
- Cansaran, D. (2018). Su kirliliği sorunsalının nedenleri ve tehditlerine yönelik değerlendirmeler, Akademisyen Yayınevi, Bilimsel Araştırmalar Kitabı, Sosyal Bilimler ve Çevre. ISSN: 9786052580691.
- Cansaran, D. (2019). Sürdürülebilir kentler için çevre bilinci, Gece Akademi 1. Basım. ISSN: 9786057623355)
- Çiftçi, H., vd., (2021). Sosyal bilimlerde seçme konular, İksad Yayınevi, ISBN: 978-625-7636-62-9
- Çoker, Z. (1986). İller bankası ve mahalli idareler, Kazancı Yayınları, İstanbul.
- ÇSB, (2014). Altyapı tesisleri yapımına ait usul ve esasların belirlenmesi projesi, Ankara.
- ÇSB, (2015). Altyapı tesis yapımına ait usul ve esas belirlenmesi projesi, (Kalkınma Bakanlığı / Belediye Sektörü Proje No: 2013K080050), Ankara
- DSİ, (1953). 6200 Sayılı Kuruluş kanunu ve 1968 yılında 1053 sayılı kanunla verilen yetkiler
<https://www.scribd.com/document/333108631/Turkiyedeki-Tum-Destekler>
<https://www.worldbank.org/tr/country/turkey>Mevcut Durum 1. Ara Rapor, Ankara
- Karataş, K., & Bıyık, C. (2008). Türkiye’de Kentsel Teknik Altyapı Tesisleri Uygulamalarında Koordinasyonun Önemi ve Altyapı Koordinasyon Merkezleri . Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi , (99) , 5-15 .
- Kentleşme Şurası. (2009). Komisyon Raporları, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- KİT Kamu İktisadi Teşebbüsleri, (2008). Denetim Raporu, TBMM Basımevi, Ankara.
- Onuncu Kalkınma Planı, (2013). 2014-2018, T.C. Devlet Planlama Teşkilatı Başkanlığı, Ankara.
- RG, İl özel idaresi bütçesi ile muhasebe işlemleri “Mahalli İdareler Bütçe ve Muhasebe Yönetmeliği, 10.03.2006 tarih ve 26104 sayı
- T.C. İçişleri Bakanlığı, (2011). Mahalli İdareler Genel Müdürlüğü 2010 Yılı Mahalli İdareler Genel Faaliyet Raporu, Ankara.
- T.C. İçişleri Bakanlığı, (2014). Mahalli İdareler Genel Müdürlüğü 2013 Yılı Mahalli İdareler Genel Faaliyet Raporu, Ankara.
- T.C. Maliye Bakanlığı, (2008). “2006 Yılı Mahalli İdareler Konsolide Bütçe Performansı”, <http://www.muhasibat.gov.tr/mbulten/2006mah.php>, Erişim Tarihi: 18.08.2008.

- Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM), (2014). Tapu sicili uygulamaları, Ankara.
- Taraktaş, A. (2014). Mahalli İdareler Maliyesi, Anadolu Üniversitesi Yayını, No: 3124 Açık Öğretim Fakültesi Yayını No: 2033
- Türkiye’de Teknik Altyapı Kadastro Gereksinimi. MMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2009, Ankara.
- Yılmaz, F. (2018). Corporate social responsibility, Innovative approaches in social, human and administrative sciences. Gece Kitaplığı, Ankara. ISBN: 978-605-288-787-5
- Yinanç, A. (1997). Yerel Yönetimlerde Verimlilik Akışının Sağlanması, Uzmanlık Tezi, TODAİE, Ankara.
- Yinanç, A. (2016). ICOMEP Ekonomi ve Politika Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 4, İstanbul.
- www.mevzuat.gov.tr Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Mevzuat Bilgi Sistemi
- www.tkgm.gov.tr TUCBS Fizibilite Raporu. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü web sitesi

Bölüm 11

İŞLENMİŞ ET ÜRÜNLERİNDE UÇUCU OLMAYAN NİTROZAMİNLER

Zerrin POLAT¹

Güzin KABAN²

¹ Zerrin POLAT (ORCID ID: 0000-0002-0046-4839)

² Prof. Dr. Güzin KABAN (ORCID ID: 0000-0001-6720-7231)

Giriş

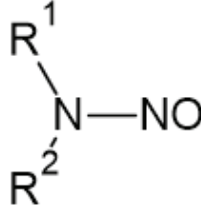
Nitrozaminler, işlenmiş et ürünlerinde bulunan önemli kimyasal bileşiklerdir. N-nitrozo bileşikler grubuna dahil bu bileşiklerin çoğu kanserojendir. Epidemiyolojik çalışmalarda, fazla miktarda işlenmiş et ürünü tüketimi ile kanser riskinin arttığı ve fazla tüketimin sağlık üzerinde diğer bazı olumsuz etkilere de sebep olduğu belirtilmektedir (Herrmann 2014). İşlenmiş et ürünleri içerisinde sosis, salam ve sucuk gibi kür edilmiş et ürünleri önemli bir paya sahiptir. Bu ürünlerde kütleme ajanı olarak nitrat ve/veya nitrit kullanılmaktadır. Nitrat ve nitrit, et ürünlerinde başta *Clostridium botulinum* olmak üzere gıda kaynaklı patojenlerin inhibisyonu, kür lezzetinin oluşumu, oksidasyonun engellenmesi ve tipik karakteristik rengin oluşumu açısından önemli katkı maddeleridir. Bunun yanı sıra bu bileşikler nitrozamin oluşumunda da önemli rol oynamaktadır (Sallan *et al.* 2019). Nitrozaminler, uçucu ve uçucu olmayan nitrozaminler olarak iki grup altında toplanmaktadır. Et ürünlerinde nitrozaminlerin miktarı, ürün tipi ve özelliklerine bağlı olarak saptanabilir sınırın altında olabildiği gibi binlerce ug/kg seviyelerine çıkabilmektedir. Uçucu olmayan nitrozaminler, uçucu nitrozaminlere göre daha yüksek seviyelerde bulunabilmektedir (Herrmann *et al.* 2015a). Et ürünlerinde uçucu nitrozaminlerin varlığı, oluşumu ve inhibisyonuna yönelik çok sayıda araştırma olmasına karşın uçucu olmayan nitrozaminlere yönelik araştırma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu bölümde, nitrozaminlerin yapısı ve oluşumu ile işlenmiş et ürünlerinde uçucu olmayan nitrozaminlerin varlığı incelenmiştir.

Nitrozaminlerin yapısı ve oluşumu

N-nitrozo bileşikler, $R_1(R_2)-N-N=O$ yapısında olan organik bileşikler olup moleküler yapılarına göre N-nitrozaminler ve N-nitrozamidler olarak sınıflandırılabilir (Sun *et al.* 2017). Dialkil, alkaril, diaril veya siklik sekonder aminlerden kaynaklanan nitrozaminlerde radikal grupların (R_1 ve R_2), her ikisi de alkil veya aril gruplarından oluşurken, N-alkilüreler, N-alkilkarbamatlar ve basit N-alkilamidlerden kaynaklanan nitrozamidler de ise R_1 bir alkil veya aril grubu, R_2 ise bir açıl grubundan oluşmaktadır (Gökalp 1984; Koonanuwatchaidet 1984).

Nitrozaminler, karsinojenik, mutajenik ve teratojenik özelliğe sahip olduğundan insan sağlığı açısından önemli bir risk oluşturabilmektedir (Weisburger 1981; Sen 1986). Bu kararlı bileşiklerin, bu özellikleri gösterebilmeleri için bir dizi reaksiyonla kimyasal modifikasyona uğramaları gerekmektedir (Douglass *et al.* 1978; Çakmak vd. 2009; Molognoni *et al.* 2019). Nitrozaminler, nitrozasyon ajanlarının uygun öncülerle doğrudan reaksiyonu veya nitrozo gruplarının bir molekülden diğerine aktarıldığı transnitrozasyon reaksiyonları ile oluşmaktadır (Koonanuwatchaidet 1984; Vrzal and Olšovská 2016). Bir nitrozo bileşiğin oluşmasında temel reaksiyon, nitrit iyonları (NO_2^-) ile protonlar (H^+ veya H_3O^+) arasında ger-

Nitrozasyon reaksiyonları, sayısız araştırmaya konu olan birçok faktör tarafından hem katalize edilebilmekte hem de engellenebilmektedir. I-, Br-, Cl-, CNS-, asetat, fitalat ve zayıf asitler gibi anyonlar katalitik bir etki gösterebilirken, esasen nitrit ile reaksiyona giren herhangi bir kimyasal N-nitroso bileşiklerinin oluşumunu engelleyebilmektedir. Bu tür bileşiklerin örnekleri arasında primer aminler, sülfidril bileşikler ve belirli aromatik bileşikler (örneğin fenoller) bulunmaktadır. Gıdalarda nitrozasyon reaksiyonlarının en önemli inhibitörü askorbik asittir. Gıdalarda doğal olarak bulunan polifenolik bileşikler grubunda yer alan tanin ise C- ve S-nitroso bileşiklerini oluşturması yoluyla nitrozasyonu engelleyebilmektedir. Genel olarak nitrozasyon katalistleri ve inhibitörlerinin varlığı, depolama sıcaklığı ve süresi gibi faktörlerin nitrozamin oluşumunda önemli olduğu bildirilmektedir (Ridd 1961; Mirvish *et al.* 1972; Bogovski *et al.* 1972; Tricker and Kubacki 1992).



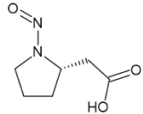
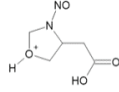

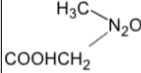
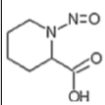
Şekil 3. Nitrozaminlerin genel kimyasal yapısı (Sallan 2018)

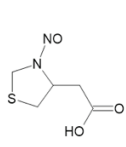
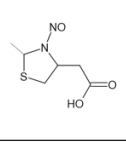
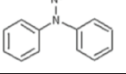
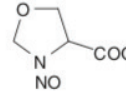
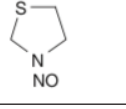
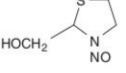
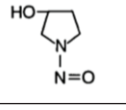
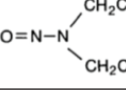
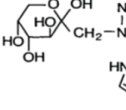
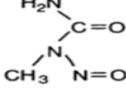
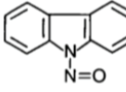
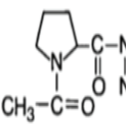
Nitrozaminler, uçucu ve uçucu olmayan nitrozaminler olarak sınıflandırılmaktadır. Dialkilaminlerin nitroso türevleri olan uçucu nitrozaminler, özellikle kısa hidrokarbon zincirli veya heterosiklik halkalı bileşikler (örneğin N-nitrosodimetilamin (NDMA)) içermektedir. N-nitrozometilfenilamin (NMPPhA) ve N-nitrosoetilfenilamin (NEPhA) gibi bir veya iki fenil grubuna sahip bileşikler ise daha az uçucu nitrozaminler olarak tanımlanmaktadır. Uçucu olmayan nitrozaminler ise genellikle polar gruplar veya daha uzun alkil zincirleri içermektedir. Uçucu olmayan nitrozaminler grubuna N-nitroso amino asitler, N-nitroso heterosiklik karboksilik asitler, N-nitrosoüreler ve N-nitrosoamidler ile henüz karakterize edilmemiş diğer uçucu olmayan bileşikler dahil edilmektedir (Vrzal and Olšovská 2016). Uçucu nitrozaminler (VNA) yüksek verimle (> %70) gıda matrisinden distilasyon ile ekstrakte edilip türevlendirme olmaksızın gaz kromatografisi ile analiz edilebilirken, uçucu olmayan N-nitrozaminler (NVNA) damıtma teknikleriyle ekstrakte edilememektedir (Tricker and Kubacki 1992).

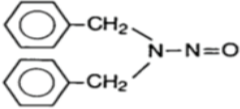
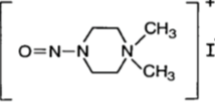
Gıdalarda en yaygın olarak tanımlanan uçucu olmayan nitrozaminler (NVNA), N-nitrozlu amino asitler N-nitrozoprolin (NPRO), N-nitroso-

sarkozin (NSAR), N-nitrosohidroksiprolin (NHPRO) ve dekarboksilatlı türevi olan nitrozohidroksipridin (NHPYR)'dir. Sistein, serin, treonin ve triptofan amino asitlerinin basit aldehyitlerle reaksiyonu sonucu kolaylıkla nitrozasyona uğrayabilen heterosiklik karboksilik asitlerin oluşumu ile sonuçlanmaktadır. N-nitrozo heterosiklik karboksilik asit olan N-nitrosotiazolidin-4-karboksilik asit (NTCA)'in amin prekürsörü tiazolidin-4-karboksilik asit sistein ve formaldehitin reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. N-nitrozo heterosiklik karboksilik asitlerin diğer örnekleri ise sisteinin glikolaldehit ile reaksiyonu sonucu oluşan N-nitroso-2-(hidroksimetil) tiazolidin-4-karboksilik asit (NHMTCA), sistein ve asetaldehitin reaksiyonu sonucu oluşan N-nitroso-2-metiltiazolidin-4-karboksilik asit (NMTCA)'tir. Oksalodinlerden N-nitrosoooksazolidin-4-karboksilik asit (NOCA) ve N-nitrozo-5-metiloksazolidin-4-karboksilik asit (NMOCA) ise sırasıyla formaldehitin serin ve treonin ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır (Massey *et al.* 1985). Çizelge 1'de uçucu olmayan bazı nitrozaminler ve kimyasal yapıları gösterilmektedir).

Çizelge 1. Uçucu olmayan bazı nitrozaminler ve kimyasal yapıları (Sen and Kubacki 1987; Tricker and Kubacki 1992; Crews 2010; Herrmann *et al.* 2014; Molognoni *et al.* 2019)

Nitrozamin	Kimyasal Yapısı
N- nitrozoprolin (NPRO)	
N- nitrozohidroksiprolin (NHPRO)	
N- nitrozometilalanin (NMA)	
N- nitrososarkozin (NSAR)	
N- nitrozopipekolik asit (NPIC)	

N- nitrozotiyazolidin-4-karboksilik asit (NTCA)	
N- nitrozo-2-metil-tiyazolidin-4-karboksilik asit (NMTCA)	
N- nitrozodifenilamin (NDPhA)	
N- nitrozo-oksazolidin-4-karboksilik asit (NOCA)	
N- nitrozotiyazolidin	
N- nitrozo-2-hidroksimetil-tiyazolidin (NHMTHZ)	
N- nitrozo-3 hidroksi-pirolidin	
N-nitrozodietanolamin	
N- nitrozo- D- früktoz-L- histidin	
N-nitrozo-N- metilürea (NMU)	
N-nitrozonoharman	
N- (N- asetilproilil)-N- nitrozo- glisin	

N- nitrozodibenzilamin	
N- nitrozo- N ¹ , N ¹ - dimetil- piperozinyum-iyodit	

Nitrozaminler havada, içme sularında (Nawrocki and Andrzejewski 2011), bazı kozmetik ürünlerde (Ma *et al.* 2011) ve sigara dumanında (Hecht and Hoffmann 1988) bulunabildiği gibi nitrat ve nitritin gıdalarda veya mide içerisinde asidik koşullarda aminlerle birleşmesiyle de oluşabilmektedir (Gökalp 1984). Uluslararası Kanseri Araştırmaları Ajansı (IARC), uçucu nitrozaminler olan N-nitrozodimetilamin (NDMA) ve N-nitrozodietilamin (NDEA) muhtemel kanserojen, et ürünlerinde yaygın olarak bulunan N-nitrozodibutilamin (NDBA), N-nitrozopiperidin (NPIP), N-nitrozopirolidin (NPYR), N-nitrozomorfolin (NMOR) gibi diğer nitrozaminlerin ise potansiyel kanserojenik bileşikler olduğunu belirtmektedir (De Mey *et al.* 2017).

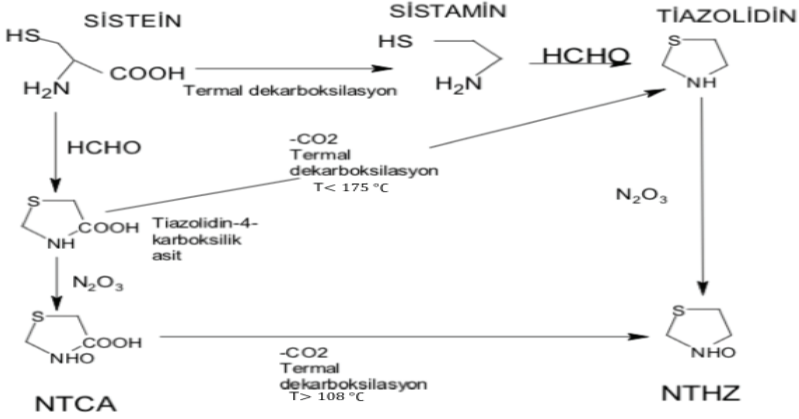
Et ürünlerinde kürlenme ajanı olarak kullanılan nitrit ve nitratın ürün kalitesi ve güvenliği üzerinde pek çok olumlu etkisi (tipik kür rengi ve lezzetinin oluşumu, antimikrobiyal ve antioksidan etki) söz konusudur. Et ürünlerinde kürlenme ajanı olarak düşük miktarlarda nitrat ve nitritin kullanılması üründe renk kusurlarına ve mikrobiyal risklere sebep olabilmektedir. Bu kürlenme ajanlarının fazla miktarda kullanılması durumunda ise daha yüksek kalıntı nitrit miktarı ve dolayısıyla yüksek nitrozamin seviyeleri ile karşılaşılabilir (Gray *et al.* 1981; Sallan 2018).

Et ürünlerinde nitrosamin oluşumu için gerekli aminler, taze ette çok düşük miktarlarda bulunmaktadır. Bu aminler genellikle fermantasyon ve olgunlaşma sırasında yeteri miktarda oluşmaktadır (Honikel 2008). Tricker ve Kubacki (1992)'ye göre nitritin gıdalardaki dönüşümünü şu şekilde özetlemek mümkündür: %1-5'i nitrik oksit gazına dönüşerek uzaklaşmakta (Frouin 1977) veya lipidlere bağlanmakta (Goutefongea *et al.* 1977), %1-10'u nitrate oksitlenmekte, %5-10'u serbest nitrit olarak kalmakta, %5-15'i sülfidril bileşikleri (Kanner and Juven 1980) veya miyogloblin (Bonnett *et al.* 1980) ile reaksiyona girmekte ve %20-30'u proteinlere bağlanmaktadır (Ito *et al.* 1983). Mikroorganizmalar ise nitratın nitrite dönüşümünü sağlayarak nitrozamin oluşumuna katkıda bulunabilmektedir. Ayrıca mikroorganizmaların proteolitik aktiviteleri ve asit üretim kapasiteleri de nitrozamin oluşumunda etkili olabilmektedir (Drabik-Markiewicz *et*

al. 2010). Et ürünlerinde biyojen aminlerin ve diğer protein parçalanma ürünlerinin varlığı, amin prekürsörlerinin önemli bir kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır. Protein degradasyon ürünleri arasında sekonder amin olan dimetilamin doğrudan nitrozlanabilir amin olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte spermin, spermidin, kadaverin ve putresin gibi sadece primer amin içeren biyojen aminler, deaminasyon ve siklizasyon reaksiyonlarının sonucunda nitrozlanabilir sekonder amin formuna dönüşebilmektedir (De Mey *et al.* 2017).

Et Ürünlerinde Uçucu Olmayan Nitrozaminler (NVNA)

Uçucu nitrozaminlerin ekstraksiyonu ve tanımlanmalarının nispeten daha kolay olması nedeniyle uçucu olmayan nitrozaminlerin yada nitrozamidlerin yerine bu gruba olan ilgi artmıştır. Başlangıçta kür edilmiş et ürünlerinden izole edilen uçucu olmayan nitrozaminlerin (nitrozoprolin, nitrozohidroksiprolin, nitrozopipekolik asit, nitrozothioprolin ve nitrozo-4-metil-thioprolin) doğrudan kanserojenik etkilerinin olmadığı düşünülmüştür. Ancak daha sonra bu bileşiklerin transnitrozasyonu, ısıl yolla dekarboksilasyona uğraması ve siklik nitrozamin oluşturması nedenleri ile potansiyel kanserojenler oldukları belirtilmiştir (Lijinsky 1999). Teorik olarak, gıdalarda yüzlerce uçucu olmayan N-nitrozo bileşik (NVNC) bulunabilmektedir. Bir NH grubuna sahip herhangi bir uçucu olmayan bileşik, bir NVNC oluşturabilir. Ancak tüm NVNA'lerin gıdalarda endişe oluşturacak kadar yüksek konsantrasyonlarda bulunması veya oluşması pek olası değildir. Bazı araştırmalara göre (Helgason *et al.* 1984; Sen *et al.* 1985; Tricker *et al.* 1984) gıdalarda en yaygın olarak bulunan NVNC'ler, N-nitrosamino asitlerdir. Bunların başlıcaları NPRO, NTCA ve NSAR'dir. Bu bileşiklerin yanı sıra hidroksile nitrozaminler, N-nitroso şeker amino asitleri, Af-nitrozamitler (nitrozoüreler, nitrosoguanidinler ve nitrosopeptidler) ve bazı pestisitlerin N-nitrozo türevleri (N-nitrosokarbaril) gibi çok çeşitli diğer NVNC'lere örnek olarak gösterilebilmektedir (Sen and Kubaeki 1987).



Şekil 2. N-nitrosothiazolidin-4-karboksilik asit (NTCA) ve N-nitrosothiazolidin (NTHZ) oluşum mekanizması (Tricker and Kubacki 1992)

Et ürünlerinde kanserojenik nitrozaminlerin bulunması nedeniyle et ve et ürünleri tüketimi kanserle ilişkilendirilmekte ve kanser ile et tüketimi ilişkisi üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu nedenle AB mevzuatı (2006/52/EC) ette en fazla 150 mg/kg nitrit kullanılmasına izin vermektedir (Herrmann *et al.* 2015b). Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği'nde de sucuk ve ısıtılmış sucukta üretimde ilave edilebilecek maksimum nitrit miktarı 150 ppm ile sınırlandırılmıştır (Anonim, 2012). Yapılan çalışmalar, et ürünlerinin üretiminde ete eklenen nitrit miktarı ile nitrozamin oluşumu arasında doğrusal olmasa da pozitif bir korelasyon olduğunu göstermiştir (Herrmann *et al.* 2015b; Sallan 2018). Uçucu olmayan nitrozaminler (NVNA)'ın birkaçının kanserojen olduğu varsayılmaktadır. NVNA'lar VNA'lara göre daha zayıf kanserojen olmalarına rağmen, yüksek miktarlarda oluşmaları kanserojen olmayan NVNA'ların kanserojen nitrozaminlerin oluşmasında rol aldıklarını düşündürmektedir (Herrmann *et al.* 2015b). Diğer taraftan et ürünlerinde N-NPRO ve NPYR seviyelerinin belirlendiği bir çalışmada, NVNA olan NPRO'nun VNA olan NPYR'nin öncüsü olabileceği vurgulanmıştır (Pensabene *et al.* 1979). Herrmann ve arkadaşlarının (2015c) yaptığı bir başka çalışmada ise Danimarka'da yetişkin ve çocukların günlük beslenmesinde işlenmiş et ürünlerinden alınan VNA ve NVNA miktarları araştırılmıştır. Günlük işlenmiş et tüketim miktarı, yetişkinler (15-75 yaş) ve çocuklar (4-6 yaş) için sırasıyla 20 g/gün ve 16 g/gün, günlük NVNA miktarı ise yetişkinler ve çocuklar için sırasıyla 33 ve 90 ng/kg olarak tespit edilmiştir. Alınan VNA miktarı ise yetişkinler ve çocuklar için sırasıyla 0,34 ve 1,1 ng/kg olarak verilmiştir.

Pişirme sırasında N-nitrozlu amino asitlerin termal dekarboksilasyonu ile NVNA'ların VNA'lara dönüştükleri belirtilmektedir. Buna göre NPRO, NHPRO ve NSAR sırasıyla NPYR, NHPYR ve NDMA'ya dönüşmektedir (Janzowski *et al.* 1978b). Kür edilmiş veya tütsülenmiş et ürünlerinde kızartma ile prolin amino asidinin nitrozasyonu sonucu uçucu olmayan N-nitrozoprolin (NPRO) bileşiği oluşmaktadır. Bu bileşik, dekarboksilasyon ile kanserojen N-nitrozoprolidin'e (NPYR) dönüşebilmektedir (Jagerstad and Skog 2005). Herrmann *et al.* (2015b) tarafından yapılan bir çalışmada Danimarka ve Belçika piyasasından temin edilen işlenmiş et ürünlerinde VNA değerleri sırasıyla 0,8 mg/kg ve 1,5 mg/kg, NVNA değerleri de yine sırasıyla 118 mg/kg ve 270 mg/kg olarak saptanmıştır. Belirlenen VNA seviyeleri düşük, NVNA seviyeleri ise yüksek olarak değerlendirilmiştir (Herrmann *et al.* 2015b).

NVNA olan NHPYR'nin varlığı ise ilk kez domuzdan üretilen kür edilmiş bir et ürününün pişirilmesinden sonra eser miktarda belirlenmiştir (Sen *et al.* 1977). Almanya'da gerçekleştirilen bir araştırmada ise 33 kızarmış et örneğinin 9'unda (10'u domuz pastırması (bacon), 10'u jambon (ham) ve 13'ü Bolonya tipi sosis) < 7 µg/kg NHPYR'nin varlığı saptanmıştır (Janzowski *et al.* 1978a). Janzowski *et al.* (1978b) çeşitli et ürünlerinin 2 ile 88 g/kg arasında NPRO, bazı örneklerin 2 -18 µg/kg NSAR ve 5-160 µg/kg NHPRO içerdiğini bildirmişlerdir. NHMTCA ise ilk olarak 15 tütsülenmiş et örneğinin 11'inde 2100 µg/kg'a kadar konsantrasyonlarda belirlenmiş ve yeni bir NVNA olarak rapor edilmiştir (Massey *et al.* 1985). Daha sonraki araştırmalarda kızartılmış domuz pastırmasında (bacon) bir et ürünüde 26-670 µg/kg (ortalama 180 µg/kg) NHMTCA ve kızartılmamış üründe ise 5-130 µg/kg (ortalama 51 µg/kg) NHMTCA belirlenmiştir (Massey *et al.* 1991). Sen *et al.* (1991), 8 adet çiğ bacon örneğinin 4'ünde 42-80 µg/kg (ortalama 30 µg/kg) NHMTCA, 8 kızarmış bacon örneğinin 6'sında 10-395 µg/kg (ortalama 98 µg/kg), 4 frankfurter sosis örneğinin 2'sinde 357 ve 539 µg/kg NHMTCA, jambonda 104 µg/kg NHMTCA ve füme ette 204 µg/kg NHMTCA olduğunu tespit etmişlerdir.

Tütsülenmiş kırmızı et (bacon, ham, pepperoni, domuz pirzolası ve biftek), kanatlı eti (tavuk, horoz, ördek, hindi ve sülün) ürünleri ve somonda yapılan bir çalışmada somon hariç bütün örneklerde NTCA, NHMTCA ve NMTCA varlığı rapor edilmiştir. En yüksek değerler tütsülenmiş ördek eti örneklerinde (ortalama 1000 µg/kg NTCA) belirlenmiş yüksek NTCA içermesinin tütsümeden kaynaklandığı rapor edilmiştir (Mandagere 1986). Yerel marketlerden farklı markaların et ürünlerinin nitrozamin miktarlarının belirlendiği bir başka çalışmada ise ürünler NDEA, NMTCA ve NTCA içerikleri bakımından incelenmiştir. Ürünlerdeki (tütsülenmiş sığır eti, burger, konserve sığır eti ve salam) NTCA seviyesinin diğer nitrozaminlere göre daha yüksek olduğu ve tütsülenmiş sığır etinin

4227,492 µg/kg düzeyinde NTCA içerdiği rapor edilmiştir. Bununla beraber bazı markaların tütülenmiş sığır etlerinde ve diğer et ürünlerinde ise NTCA tespit edilememiştir (Cintya *et al.* 2019). Tütülemede kullanılan odun dumanında bulunan aldehitlerin (formaldehit, asetaldehit, propionaldehit, glioksal, metilglioksal, glikolaldehit, vb.) NTHZ ve NTCA oluşumu üzerinde önemli etkilerinin olduğu yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır (Gilbert and Knowles 1975; Toth and Potthast 1984).

Sonuç

İnsan beslenmesinde kanserojenik bileşiklerin varlığına yönelik çalışmalarda özellikle et ve et ürünleri son derece önemli bir yer tutmaktadır. Etin kompleks yapısı, et ürünlerinin çeşitliliği ve bu çeşitliliğin kazandırılmasında kullanılan katkı maddeleri, uygulanan işlemler, uygulanan ısıl işlem ve süresi gibi pek çok faktör kanserojenik bileşikler olan nitrozaminlerin et ürünlerindeki oluşum miktarını ve çeşitliliğini etkilemektedir. Et ürünlerinde pek çok pozitif etkisinden dolayı kürleme ajanı olarak kullanılan nitrat ve nitritin yerine kullanılabilen alternatif maddeler henüz olmamakla birlikte nitrat ve nitritin kullanım miktarlarına yönelik yasal düzenlemeler mevcuttur. Diğer taraftan yapılan araştırmalar, uçucu nitrozaminlerin kanserojenik etkilerinin uçucu olmayan nitrozaminlere göre daha güçlü olduğunu ve uçucu olmayan nitrozaminlerin kanserojenik nitrozaminlerin öncüsü olabileceklerini ortaya koymaktadır. Fakat uçucu olmayan nitrozaminler üzerinde yapılan çalışmalar bu bileşiklerin yapılarının anlaşılmasında ve kanserojenik etkilerinin aydınlatılmasında oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle uçucu olmayan nitrozaminlere yönelik daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2012. Türk Gıda Kodeksi Et ve Et Ürünleri Tebliği. Tebliğ No: 2012/74. Sayı: 28488. Ankara.
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P., 2001. Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 5., vollst. überarb. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bogovski, P., Castegnaro, M., Pignatelli, B. and Walker, E.A., 1972. The inhibiting effect of tannins on the formation of nitrosamines. N-Nitroso Compounds, Analysis and Formation, IARC Scientific Publication No.3, ed by P., Bogovski, R. Preussmannand, A.E., Walker (Lyon: International Agency for Research on Cancer), pp. 127-129.
- Bonnett, R., Chandra, S., Charalambides, A. A., Sales, K. D. and Scourides, P. A., 1980. Nitrosation and nitrosylation of haemoproteins and related compounds. Part 4. Pentacoordinate nitrosyl protoheme as the pigment of cooked cured meat. Direct evidence from ESR spectroscopy, Journal of the Chemical Society (London), Perkin I Transactions, 1706-1710.
- Cintya, H., Silalahi, J., De Lux Putra, E., Siburian, R. 2019. Analysis of nitrosamines in processed meat products in Medan city by liquid chromatography-mass spectrometry, Macedonian Journal of Medical Sciences, 7(8), 1382-1387.
- Crews, 2010. Determination of nitrosamines in food, Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, ISSN 1757-8361.
- Çakmak, Ö., İşleyen, A., Usca, A. 2009. N-Nitrozo bileşikleri ve halk sağlığına etkileri, TAF Prev Med Bull, 8(6), 521-526.
- De Mey, E., 2014. N-Nitrosamines in dry fermented sausages: Occurance and nitrosamine formation of N-nitrosopiperidine, ISBN 978-90-8826-353-8.
- De Mey, E., De Maere, H., Paelinck, H. 2017. Volatile N-nitrosamines in meat products: potential precursors, influence of processing and mitigation strategies, Critical Reviews in Food Science And Nutrition, 57, (13), 2909-2923.
- Douglass, M.L., Kabacoff, B.L., Anderson, G.A., Cheng, M.C. 1978. The chemistry of nitrosamine formation, inhibition and destruction, Journal of the Society of Cosmetic Chemists, (29), 581-606.
- Drabik-Markiewicz G., Maagdenberg, K.V., De Mey, E., Deprez, S., Kowalska, T. 2009. Role of proline and hydroxyproline in N-nitrosamine formation during heating in cured meat, Meat Science, (81), 479-486.
- Drabik-Markiewicz, G., Dejaegher, B., De Mey, E., Impens, S., Kowalska, T., Paelinck, H., Vander Heyden, Y., 2010. Evaluation of the influence of proline, hydroxyproline or pyrrolidine in the presence of sodium nitrite on N-nitrosamine formation when heating cured meat, Analytica Chimica Acta, (657), 123-130.

- Frouin, A., 1977. Nitrates and nitrites: Reinterpretation of analytical data by means of bound nitric oxide, Proceedings of the 2nd International Symposium on Nitrite in Meat Products, Zeist, 1976, ed. by B. J. Tinbergen and B. Krol (Wageningen Center for Agriculture, Public Documentation Wageningen), pp. 115-120.
- Gilbert, J. and KNOWLES, M.E., 1975, The chemistry of smoked foods, Journal of Food Technology, (10), 245-261.
- Gloria, M.,B.,A., Barbour, J., F., Scanlan, R.,A., 1997. Volatile Nitrosamines in Fried Bacon, Journal Agriculture Food Chemistry, 45(5), 1816-1818.
- Goutefongea, R., Cassens, R.G., and Woolford, G., 1977. Distribution of sodium nitrite in adipose tissue during curing, Journal of Food Science, 42, 1637-1641.
- Gökalp, H.Y., 1984. N-Nitroso bileşikleri, kanserojenik etkileri, çeşitli gıdaların N-nitrosamin içerikleri ve çeşitli kaynaklardan bünyeye alınan N-nitrosamin miktarları, Gıda Dergisi, 9 (6), 317-324.
- Gray, J.I., Macdonald, B., Pearson, A. M. and Morton, I.D., 1981. Role of nitrite in cured meat flavour: A review. Journal of Food Protection, (44), 302-312.
- Hecht, S.S. and Hoffmann, D., 1988. Tobacco-specific nitrosamines, an important group of carcinogens in tobacco and tobacco smoke, Carcinogenesis, (9), 875-884.
- Helgason, T., Ewen, S.W.B., Jaffray, B., Stowers, J.M., Outram, J.R. and Pollock, J.R.A., 1984. N-Nitrosamines in smoked meats and their relation to diabetes. N-Nitroso Compounds: Occurrence, Biological Effects and Relevance to Human Cancer. IARC Scientific Publication No. 57, ed. By I.K.O'Neill, R.C. von Borstel, C.T. Miller, J. Long and H. Bartsch (Lyon: International Agency for Research on Cancer), pp. 911-920.
- Herrmann S.S., Duedahl-Olesen L., Granby, K. 2015b. Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and role of heat treatment, Food Control, (48), 163-169.
- Herrmann S.S., Duedahl-Olesen L., Granby, K. 2015c. Dietary exposure to volatile and non-volatile N-nitrosamines from processed meat products in Denmark, Food and Chemical Toxicology, (80), 137-143.
- Herrmann, S. S. (2014). N-nitrosamines in processed meat products – analysis, occurrence, formation, mitigation and exposure. Ph.D. thesis, Division of Food Chemistry, National Food Institute, Technical University of Denmark, Denmark.
- Herrmann, S. S., Granby, K. & Duedahl-Olesen, L. 2015a. Formation and mitigation of N-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages. Food Chemistry 174, 516–526.

- Honikel, K.O., 2008. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78, 68-76.
- IARC, 1978. Some N-nitroso compounds. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans (Vol.17). Lyon, France.
- Ito, T., Cassens, R.B., Greaser, M.L., Lee, M. and Izumi, K., 1983. Lability and reactivity of nonhaem protein bound nitrite, *Journal of Food Science*, (48), 1204-1207.
- Jagerstad, M. and Skog, K., 2005. Genotoxicity of heat-processed foods, *Mutation Research*, (574), 156-172.
- Janzowski, C., Eisenbrand, G. and Preussmann, R., 1978a. Occurrence and detection of *N*-nitroso-3-hydroxypyrrolidine in cured meat products *Journal of Chromatography*, (150), 216-220.
- Janzowski, C., Eisenbrand, G. and Preussmann, R., 1978b. Occurrence of N-nitrosamino acids in cured meat products and their effect on formation of N-nitrosamines during heating, *Food and Cosmetics Toxicology*, (16), 343-348.
- Kanner, J. and Juven, B.J., 1980. S-Nitrosocysteine as an antioxidant, colour-developing, and anticlostridial agent in comminuted turkey meat, *Journal of Food Science*, (45), 1105-1108, 1112.
- Koonanuwachaidet, P., 1984. N-Nitroso compounds: Environmental carcinogens, *Journal Science Society Thailand*, (10), 207-220.
- Lijinsky, W., 1999. N-Nitroso compounds in the diet, *Mutation Research*, (443), 129-138.
- Ma, Q., Xi, H., Wang, Ch., Bai, H., Xi, G.-Ch., Su, N., Xu, L.-Y., Wang, J.B., 2011. Determination of ten volatile nitrosamines in cosmetics by gas chromatography tandem mass spectrometry, *Analytical Chemistry* (39), 1201-1207.
- Mandagere, A.K., 1986. Smoke-related nitrogen-nitroso compounds in cured meat systems, PhD Thesis, Michigan State University, ABD.
- Massey, R.C., Crews, C., Dennis, M.J., Mcweeny, D.J., Startin, J.R. and Knowles, M.E., 1985. Identification of a major new involatile N-nitroso compound in smoked bacon, *Analytica Chimica Acta*, (174), 327-330.
- Massey, R.C., Key, P.E., Jones, R.A. and Logan, G.L., 1991. Volatile, non-volatile and total *N*-nitroso compounds in bacon. *Food Additives and Contaminants* 8, 585-598.
- Mende, P., Spiegelhalder, B., Wacker, C.D. and Preussmann, R., 1989. Trapping of reactive intermediates from the nitrosation of primary amines by a new type of scavenger reagent, *Food and Chemical Toxicology*, 27, 469-473.
- Mirvish, S.S., Wallcave, L., Eagan, M. and Shubik, P., 1972. A scorbate-nitrite reaction: Possible means of blocking the formation of carcinogenic N-nitroso compounds. *Science*, (177), 65-88.

- Molognoni, L., Daguer, H., Motta, G.E., Merlo, T.C. and L., J., 2019. Interaction of preservatives in meat processing: Formation of carcinogenic compounds, analytical methods, and inhibitory agents, *Food Research International*, 125, 108608.
- Nawrocki, J., Andrzejewski, P. 2011. Nitrosamines and water. *Journal of Hazardous Materials*, 189, 1-18.
- Pensabene, J.W., Feinberg, J.I., Piotrowski, E.G., Fiddler, W. 1979. Occurrence and determination of N-nitrosoproline and N-nitrosopyrrolidine in cured meat products. *Journal of Food Science*, 44, 1700-1702.
- Ridd, J.H., 1961. Nitrosation, diazotization and deamination, *Quarterly Reviews of the Chemical Society*, London, (15), 418-441.
- Rywotycycki R. 2007. The effect of baking of various kinds of raw meat from different animal species and meat with functional additives on nitrosamine contamination level. *Food Chemistry*, 101, 540-548.
- Sallan, S., 2018. Fermente sucukta nitrozamin oluşumuna karabiber seviyesi, sodyum askorbat kullanımı ve pişirme derecesinin etkileri. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- Sallan, S., Kaban, G., Kaya, M., 2019. Nitrosamines in sucuk: Effects of black pepper, sodium ascorbate and cooking level, *Food Chemistry*, (288), 341-346.
- Sen, N.P., 1986. Formation and occurrence of nitrosamines in food, In Reddy, B.S., Cohen, L.A. (ed), *Diet, nutrition and cancer: a critical evaluation* p.(135-160), CRC Press, USA.
- Sen, N.P., and Kubacki, S.J., 1987. Review of methodologies for the determination of non-volatile N-nitroso compounds in foods, *Food Additives and Contaminants*, (4), 357-383.
- Sen, N.P., Baddoo P.A., Seaman, S.W. and Weber, D., 1991. 2-(Hydroxymethyl)-N-nitrosothiazolidine-4-carboxylic acid in smoked meats and bacon and conversion to 2-(hydroxymethyl)-N-nitrosothiazolidine during the high-heat cooking, *Journal of Food Science*, (56), 913-915.
- Sen, N.P., Donaldson, B., Charbonneau, C., Miles, W.F., 1974. Effect of additives of nitrosamines in meat curing mixtures containing spices and nitrite, *Journal Agricultural Food Chemistry*, 22(6), 1125-1130.
- Sen, N.P., Tessier, L., Seaman, S.W. and Baddoo, P.A., 1985. Volatile and non-volatile nitrosamines in fish and the effect of deliberate nitrosation under simulated gastric conditions, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (33), 264-268.
- Sen, N.P., Coffin, D.E., Seaman, S., Donaldson, B. and Miles, W.F., 1977. Extraction, clean-up and estimation as methyl ether of 3-hydroxy-1-nitrosopyrrolidine, a non-volatile nitrosamine in cooked bacon at mass fractions of µg/kg. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Nitrite in Meat*

- Products, Zeist, 1976, edited by B. J. Tinbergen and B. Krol (Wageningen Center for Agriculture, Public Documentation Wageningen), pp. 179-185.
- Sen, N.P., Baddoo, P.A., Seaman, S.W. and Weber, D., 1991. 2-(Hydroxymethyl)-*N*-nitrosothiazolidine-4-carboxylic acid in smoked meats and bacon and conversion to 2-(hydroxymethyl)-*N*-nitrosothiazolidine during the high-heat cooking. *Journal of Food Science*, 56, 913-915.
- Sun, F., Kong, B., Chen, Q., Han, Q. And Diao, X., 2017. *N*-nitrosoamine inhibition and quality preservation of Harbin dry sausages by inoculated with *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus curvatus* and *Lactobacillus sake*, *Food Control*, 73, 1514-1521.
- Toth, L. and Potthast, K., 1984. Chemical aspects of the smoking of meat and meat products, *Advances in Food Research*, (29), 87-158.
- Tricker, A. R., Perkins, M. J., Massey, R. C. and Mcweeny, D. J., 1984, Synthesis of three *N*-nitroso dipeptides *N*-terminal in proline and a method for their determination in food, *Food Additives and Contaminants*, (1), 307-312.
- Tricker, A.R. and Kubacki, S.J. 1992. Review of the occurrence and formation of non-volatile *N*-nitroso compounds in foods, *Food Additives and Contaminants*, 9(1), 39-69.
- Vrzal, T. and Olšovská, J., 2016. *N*-nitrosamines in 21. Century, *Kvasny Prumysl*, 62(1), DOI: 10.18832/kp2016001
- Weisburger, J., 1981. *N*-Nitroso compounds: diet and cancer trends an approach to the prevention of gastric cancer, ACS Symposium Series; American Chemical Society, Washington, DC, 1981.
- Yurcenko, S. and Mölder, U., 2007. The Occurrence of volatile *N*-nitrosamines in Estonian meat products, *Food Chemistry*, (100), 1713-1721.

Bölüm 12

TMMİ 2. DÜZEY SÜREÇ ALANLARININ SCRUM PRATİKLERİNE UYARLANMASI

Fatih YÜCALAR¹

Yusuf ÖZÇEVİK²

1 Dr. Öğr. Üyesi Fatih YÜCALAR, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 45400, Turgutlu – Manisa / Türkiye. fatih.yucalar@cbu.edu.tr; OrcidID: 0000-0002-1006-2227

2 Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÖZÇEVİK, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 45400, Turgutlu – Manisa / Türkiye. yusuf.ozcevik@cbu.edu.tr; OrcidID: 0000-0002-0943-9226

GİRİŞ

Son yıllarda yazılım sektöründe hızlı bir gelişim söz konudur. Özellikle yazılım ürünlerine artan talepler bu gelişimin hızlanmasını sağlamaktadır (Pazar, 2021). Müşteri ihtiyaçlarını tam olarak karşılayan, zamanında ve bütçesinde tamamlanan, neredeyse sıfır hata ile geliştirilen yazılım ürünü sayısı azdır. Bu nedenle, günümüzde yazılım projelerinin başarılı ve kaliteli bir şekilde tamamlanması için çevik yazılım geliştirme yaklaşımlarıyla birlikte disiplinli yöntemler kullanılmaya başlanmıştır (McMahon, 2010). Klasik yazılım geliştirme yaşam döngülerinden herhangi birinin kullanıldığı yazılım projelerinde yazılım ürünlerinin müşteriye ulaşma süresi zaman almakta ve müşteri istemediği bir ürün ile karşı karşıya kalmaktadır (Schach, 2010). Aslında bunun nedeni, müşterinin proje geliştirme sürecine dahil edilmemesi ve proje yönetim süreçlerinin kötü yönetilmesi olarak ifade edilebilir. İlave olarak, yazılım projesi içerisinde tespit edilen hataların düzeltilmesi için harcanan maliyetler de proje bütçesinin aşılmasına neden olmaktadır. Bu problemlerin aşılmasına yönelik ortaya atılan XP, Scrum, Kanban gibi çevik yazılım geliştirme yaklaşımları orta ölçekli yazılım projelerinin başarısına önemli katkılar sağlamaktadır (Yücalar & Borandağ, 2018). Bunun dışında, devlet kurumları ve savunma sanayisinin ihtiyaçlarına yönelik geliştirilen büyük ölçekli yazılım projelerinde ise süreçlerin iyileştirilmesi ve yazılım kalitesinin artırılması amacıyla CMMI (Capability Maturity Model Integration – Tümlşik Yetenek Olgunluk Modeli) (McMahon, 2010), ISO 15504 (Gökalp & Demirörs, 2015), ISO 12207 (Değerli & Kurtaran Özbudak, 2017) gibi disiplinli modellerin ele alınması projelerin başarıyla tamamlanmasına yol açmıştır.

Disiplinli modeller içerisinde özellikle CMMI, yazılım endüstrisinde en çok rağbet gören süreç iyileştirme ve yetenek belirleme modellerinden biridir. Firmalar, CMMI ile olgun olmayan yazılım geliştirme süreçlerini disiplin altına almaktadır (Kalaycı, 2007). CMMI içerisinde yazılım geliştirme süreçlerinin her birine karşılık gelen 22 süreç alanı tanımlanmaktadır. Tanımlanan bu süreç alanları içerisinde doğrulama (verification) ve geçirme (validation) süreç alanları yazılım test süreçlerine karşılık gelmektedir. Ancak, bu iki süreç alanı yazılım test süreçlerini tam olarak karşılamada yetersiz kalmaktadır. Yazılım test süreçleri konusunda CMMI'nın yetersiz kaldığı bu iki süreç alanını desteklemek amacıyla TMMi (Tümlşik Test Olgunluk Modeli – Test Maturity Model Integration) modeli ortaya atılmıştır (Yücalar & Borandağ, 2019). Yazılım projelerinin başarılı bir biçimde tamamlanması için CMMI ile TMMi modelinin birlikte ele alınması son yıllarda büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, yazılım testi için önemli bir model olan TMMi'nin, çevik yazılım geliştirme yöntemlerinden biri olan Scrum metodolojisi içe-

risinde ne derece uyarlanabileceği konusu ele alınmaktadır. Çalışma içerisinde, yazılım geliştirme yaşam döngüsünün önemli adımlarından biri olan yazılım testi konusuna değinilerek; yazılım test süreçlerinin, bir projenin başarıyla sonuçlanmasında neden önemli bir aktivite olduğu tartışılmaktadır. Dahası, yazılım projelerinin geliştirilmesinde popüler olarak kullanılan Scrum metodolojisi ile bu metodoloji içerisinde yer alan temel kavram ve pratikler ele alınmaktadır. Ayrıca, TMMi modeli ve yapısından bahsedilerek, TMMi 2. düzeyde yer alan süreç alanlarının SCRUM pratiklerine uyarlanabilmesi için dikkat edilmesi gereken noktalara yer verilmektedir.

YAZILIM TESTİ

Yazılım testi, sonsuz sayıdaki çalışma alanından, sınırlı sayıda ve uygun şekilde seçilmiş bir dizi test senaryosu ile bir yazılımın beklenen davranışları sağladığının dinamik doğrulaması olarak tanımlanır (Everett & McLeod, 2007). Daha yalın bir ifadeyle, yazılım testi, geliştirilen bir yazılım ürününün doğrulanması olarak ifade edilebilir. Yazılım testinin amacı, gerçek gereksinimlerin aksine hataları, boşlukları veya bu gereksinimlerden sapmaları belirlemektir. Son yıllarda, yazılım firmalarının yazılım testine karşı bakış açıları değişmiştir. Yazılım firmaları tarafından test süreci artık sadece yazılım hatalarını tespit etmek gibi sınırlı bir amaçla kodlama aşaması tamamlandıktan sonra başlayan bir faaliyet olarak görülmemektedir. Yazılım testi, yazılım yaşam geliştirme döngüsünün tüm adımları boyunca ele alınmalıdır (Schach, 2010). Aslında, yazılım test planlaması, yazılım gereksinimleri sürecinin erken aşamalarıyla başlamalı; test planları ve prosedürleri yazılım geliştirme süreci ilerledikçe sürekli olarak geliştirilmeli ve iyileştirilmelidir. Yazılım projeleri içerisindeki test planlama etkinlikleri, yazılım geliştiriciler için faydalı girdiler sağlar. Ayrıca, proje dokümanı içerisindeki gözden kaçırmalar, çelişkiler, eksiklikler veya belirsizlikler gibi potansiyel zayıflıkların ortaya çıkarılmasında yardımcı olur. Bu açıdan bakıldığında yazılım testi, yazılım kalitesinin arttırılmasına yönelik hataların düzeltilmesinden çok bu hataların önlenmesi için ele alınan önemli bir aktivitedir. Yazılım testleri, genellikle geliştirme ve bakım süreçleri boyunca farklı seviyelerde birim testi, entegrasyon testi, sistem testi, ürün testi, performans testi, regresyon testi, kurulum testi, güvenlik testi ve kabul testi biçiminde gerçekleştirilir (Yucalar & Borandağ, 2018). Yazılım proje dokümanında yer alan işlevsel ve işlevsel-olmayan gereksinimlerin karşılanıp karşılanmadığının, yazılımın istenildiği gibi çalışıp çalışmadığının kontrolü test süreci ile sağlanmış olur.

Yazılım ürünü içerisindeki hata veya eksikliklerin erken tespit edilmesi ve yazılım ürünü teslim edilmeden önce bu hata veya eksikliklerin giderilmesi çok önemlidir. Test süreçlerine yeterli zaman ayrılmadığında

başta zaman kazanıldığı düşünülse de daha sonra, yazılım yaşam döngüsünün ilerleyen aşamalarında, ödenecek teknik bir borç oluşur. Yazılım yaşam döngüsünün ilerleyen aşamalarında oluşan hataları düzeltmek için harcanan süre (teknik borç), başlangıçta test süreçlerinin doğru bir biçimde ele alınması için harcanması gereken süreden genellikle çok daha fazladır. Bu bağlamda, özellikle yazılım yaşam döngüsü içerisinde hatalar ne kadar erken bulunup düzeltilirse, bu hataları giderme maliyetleri o kadar düşük olacaktır (Schach, 2010). Uygun şekilde test edilmiş yazılım ürünü güvenilirlik, güvenlik ve yüksek performans sağlar; bu da zaman tasarrufu, maliyet etkinliği ve müşteri memnuniyeti ile sonuçlanır.

Yazılım endüstrisinde test işlemi çoğunlukla geliştirilen veya geliştirilmekte olan yazılımın doğrulanması (verification) ve geçerlenmesi (validation) süreci olarak ele alınmaktadır. Yazılımın doğrulanması sürecinde “Yazılımı doğru mu geliştiriyorum?” sorusunun cevabı aranmaktadır. Bu soruya cevap verebilmek için her aşama başlangıcında yapılması taahhüt edilen işlerin, her aşama sonunda gerçekten yapılıp yapılmadığının kontrolünü yapmak gerekir. Yazılımın geçerlenmesi sürecinde ise “Doğru yazılımı mı geliştiriyorum?” sorusunun cevabı aranmaktadır. Burada kastedilen ise yazılımın başlangıçta belirlenen gereksinimleri karşılayıp karşılamadığının sorgulanması; diğer bir deyişle, ürünün gerçekten müşterinin istediği ürün olup olmadığının kontrol edilmesidir. Yazılım geliştirme yaşam döngüsü içerisinde doğrulama ve geçerleme süreçleri çoğunlukla sınaama, gözden geçirme, denetim ve hata giderme şeklinde ele alınmaktadır.

SCRUM

Scrum, karmaşık problemler için uyarlanabilir çözümlerin geliştirilmesinde insanların, ekiplerin ve kuruluşların değer üretmesine yardımcı olan bir çerçeve yazılım geliştirme metodolojisi olarak Ken Schwaber ve Jeff Sutherland tarafından 1990’ların başında geliştirilmiştir (Çamoğlu ve ark., 2010). Scrum, deneycilik (empiricism) ve yalın düşünce (lean thinking) üzerine kurulmuştur (Schwaber & Sutherland, 2020). Deneycilik, gözlem ve deneyimlere dayalı karar verme eylemi olarak ifade edilir. Yalın düşünce ise gerekliliklere odaklanılmasına ve israfın azaltılmasına karşılık gelir. Bunun yanında, Scrum taahhüt (commitment), cesaret (courage), odaklanma (focus), açıklık (openness) ve saygı (respect) olmak üzere beş temel değeri esas alır (Schwaber & Sutherland, 2020). Bu beş temel değer dikkate alınmadığı çalışma ortamlarında Scrum metodolojisi uygulanamaz. Ayrıca Scrum, yazılım projesi üzerinde geliştirme sürekliliğinin sağlanabilmesi ve ortaya çıkması muhtemel risklerin kontrol altında tutulabilmesi için yinelemeli (iterative) ve artımlı (incremental) bir yaklaşım kullanır. Scrum, projenin gelişimi boyunca müşteriye değer sağlamak için tasarlanmış, uyarlanabilir, hızlı, esnek, etkili ve çevik bir çerçeve sağlar (Cohn, 2010). Scrum’ın birincil amacı, iletişimde şeffaflık,

ortak sorumluluk ve sürekli ilerleme ortamı aracılığıyla müşterinin ihtiyaçlarını karşılamaktır.

Scrum, çevik yaklaşımların tam olarak ele alındığı bir metodolojidir. Scrum metodolojisi, yazılım geliştirme süreci kapsamında ele alınması gereken birçok uygulama ve rolü temel almaktadır. Bu metodoloji, tüm takım üyeleri tarafından kabul görülen 12 çevik ilkenin (Principles Behind the Agile Manifesto, 2021) yazılım ürünleri üzerinde uygulanmasına katkılar sağlayan ve projenin büyüklüğüne göre uyarlanabilen esnek bir metodolojidir.

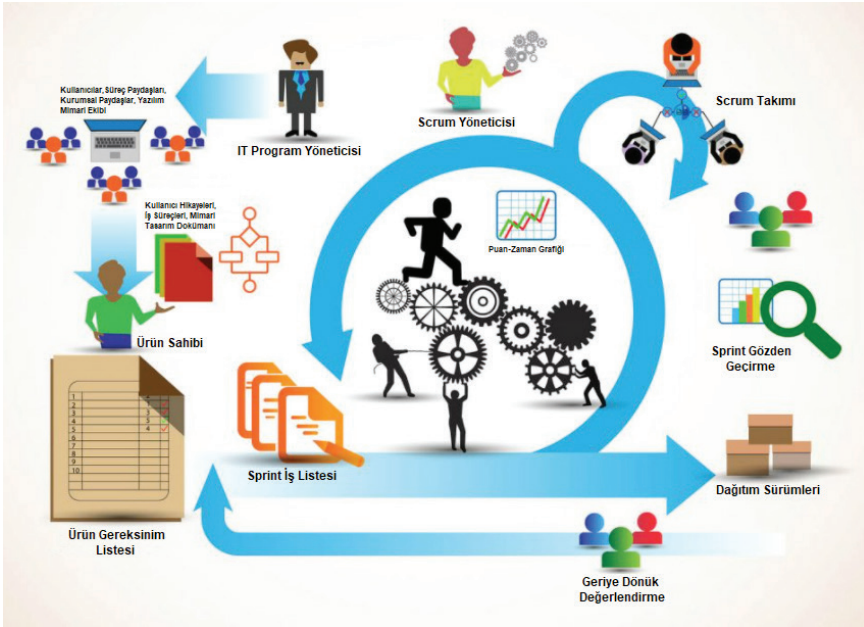
Scrum Metodolojisinin Çalışma Mantığı

Bir yazılım projesi Scrum metodolojisi kullanılarak geliştirilecekse, öncelikle bu metodolojinin çalışma mantığının iyi anlaşılması gerekmektedir. Scrum, geri bildirim ve yansıma terimi olarak ifade edilen “Sprint” adındaki kısa ve periyodik geçici bloklar aracılığıyla yürütülür (Pichler, 2010). Scrum ile diğer çevik yazılım geliştirme modelleri arasındaki farkı belirleyen ana özelliklerden biri olan “Sprint”, bir Scrum takımı için temel çalışma birimidir. Scrum’da her bir “Sprint”, 2 ila 4 hafta arasında bir süreç üzerinden ele alınır (Yücalar & Borandağ, 2018).

Scrum’da, sürecin başlangıç noktası olarak proje planını oluşturan ayrıntılı bir *ürün gereksinim listesi* vardır. Bu ayrıntılı ürün gereksinim listesi “product backlog” olarak adlandırılmaktadır. Değer ve maliyet dengesini göz önünde bulundurarak ayrıntılı ürün gereksinim listesini önceliklendiren projenin *ürün sahibi* (product owner)’dir (Schwaber & Sutherland, 2020). Yinelemeler ve sonuç teslimatları bu şekilde belirlenir. Ürün sahibi, yazılım ürününün sahip olması gereken özelliklerin neler olduğunu tanımlamaya ve yazılım geliştirme ekibinin görevini engelleyebilecek herhangi bir sorunun üstesinden gelmeye odaklanır.

Scrum’da takım, kaliteli yazılım oluşturmaya odaklanmaktadır. Scrum ekibi içerisinde ürün sahibi dışında “Scrum master” olarak adlandırılan *Scrum yöneticisi* ve 5 ila 9 kişiden oluşan *Scrum takımı* yer almaktadır (Schwaber & Sutherland, 2020). Scrum yöneticisi, metodolojinin kurallarına ve süreçlerine uymaları için ekibi yönlendiren kişidir. Bu kişi, projenin önündeki engellerin azaltılmasını yönetir ve yatırım geri dönüşünü (Return on Investment – ROI) en üst düzeye çıkarmak için ürün sahibi ile birlikte çalışır. Scrum yöneticisi, Scrum’ı güncel tutmaktan, ihtiyaç duyulması halinde takımlara koçluk, mentörlük ve eğitim sağlamaktan sorumludur. Gerekli teknik bilgiye sahip profesyonel bir grup olan Scrum takımı ise her “Sprint” başında taahhüt ettikleri kullanıcı hikayelerini ortaklaşa yürüterek projeyi geliştiren, sürekli iletişim halinde olan ve istenilen hedefe ulaşmak için birlikte mücadele eden yazılım geliştirme ekibini ifade etmektedir (Çamoğlu ve ark., 2010).

Şekil-1’de verilen Scrum’un ayrıntılı çalışma mantığında görüldüğü üzere; ilk olarak, ürün sahibine geliştirilecek yazılım ürününe ilişkin gereksinimlerinin neler olduğu sorulur ve ayrıntılı ürün gereksinim listesi (product backlog) çıkartılır. Ardından, ilgili sprint içerisinde ne yapılacağını ve nasıl yapılacağını tanımlamak amacıyla bir *sprint planlama* (sprint planning) *toplantısı* gerçekleştirilir (Schwaber & Sutherland, 2020). Bu toplantı, her sprint başında yapılarak ayrıntılı ürün gereksinim listesinde yer alan gereksinimler en yüksek öncelikliden az öncelikliye doğru sıralanır ve böylece ilgili sprint içerisinde aktif olarak ele alınacak *Sprint iş listesi* elde edilir. Bu iş listesi “Sprint backlog” olarak adlandırılmaktadır. Belirli bir sprint içerisinde belirtilen gereksinimleri karşılayan ve tam olarak çalışan bir dağıtım sürümünün (deployment release) sprint sonunda müşteriye teslim edileceği, takım tarafından taahhüt edilir (Schwaber & Sutherland, 2020).



Şekil-1. Scrum'un çalışma mantığı.

Müşteri, teslim edilen dağıtım sürümünü aldıktan sonra, yazılım ürününü inceleyerek test eder. Takım, her sprint sonunda tamamlanmış hedefleri gözden geçirmek amacıyla *geriyeye dönük değerlendirmeler* (sprint retrospective) yapar (Schwaber & Sutherland, 2020). Bu değerlendirmeler sırasında, Sprint içerisinde tespit edilen hataları tekrarlamamak için iyiyi ve kötüyü not eder. Bu aşama, geliştirme süreci açısından iyileştirmelerin uygulanmasına hizmet eder. Sprint içerisinde geriyeye dönük değerlendirme yapılmasının amacı, olası süreç iyileştirmelerini belirlemek ve bunları bir sonraki sprintte uygulamak için bir plan oluşturmaktır. Daha sonra,

ürün sahibi bir sonraki sprint için sprint için ele alınacak iş listesini tekrar belirler ve yine bunları en yüksek önemliden en az önemliye doğru sıralar. Bu akış, yazılım ürünü kapsam olarak müşterinin temel ihtiyaçlarını karşılar hale gelene kadar sürekli devam eder. Bu sürecin takibini Scrum Yöneticisi gerçekleştirmektedir. Scrum Yöneticisi periyodik olarak gerçekleştirilen sprintlerin yanında, bir önceki gün ne yapıldığı ve o gün ne yapılacağı gibi sorulara günlük olarak cevap aramaktadır. Bu soruların cevaplarını bulmak için, günlük gerçekleştirilen ayaküstü 15-20 dakikalık kısa toplantılar (daily scrum meetings) gerçekleştirir (Schwaber & Sutherland, 2020). Scrum'ın anahtar uygulamalarından biri olan bu toplantılarda, projedeki sorunlardan söz edilmez. Daha çok dün ne yapıldı, bugün ne yapılmakta ve ne yapılacak hususları ele alınır. Tüm bu akış sayesinde müşterinin hiç kullanmayacağı işlevsellikleri geliştirmek için harcanan maliyet azalırken, sürekli olarak gerçekleştirilen *sprint gözden geçirmeleri* (sprint review) ve alınan müşteri geri dönüşleri ile yazılım ürününün kalitesi arttırılmış olur.

Yazılım Endüstrisinde Scrum Kullanımının Faydaları

Yazılım endüstrisinde Scrum kullanımının diğer çevik yazılım geliştirme metodolojilerine göre birçok avantajı vardır. Günümüzde yazılım endüstrisinde en çok kullanılan ve güvenilir yazılım geliştirme metodolojilerinden birinin Scrum olduğu kabul edilir. Scrum kullanımının bilinen faydaları arasında kolay ölçeklenebilirlik, beklentilerin karşılanması, değişimlere yönelik esneklik, ürünün piyasaya çıkış süresinin azaltılması, yazılım kalitesinin artması, tahmin yeteneğinin gelişmesi ve risklerin azaltılması sayılabilir (Hoffman, 2021). Scrum kullanımının sağlamış olduğu bu faydaları kısaca ele alalım.

- **Kolay Ölçeklenebilirlik:** Scrum süreçlerinin yinelemeli bir yapıya sahip olması ve belirli çalışma periyotlarında işlenmesi, ekibin her periyot için belirli işlemlere odaklanmasını sağlar. Bu durum, takımların yazılım modüllerini işlevsellik, tasarım, kapsam ve özellikler açısından düzenli, şeffaf ve basit bir şekilde ölçeklendirmesine olanak sağlamaktadır.

- **Beklentilerin Karşılanması:** Müşteri, projenin her bir gereksiniminin getirdiği değeri belirterek beklentilerini belirler, takım bu beklentiler için bir planlama oyunu oynar ve ürün sahibi bu bilgileri kullanarak gereksinimleri önceliklerine göre sıralar. Ürün sahibi, ilgili Sprint çıktılarına göre düzenli olarak gereksinimlerin karşılandığını doğrulamakta ve ekibe geri bildirimler vermektedir.

- **Değişimlere Yönelik Esneklik:** Scrum metodolojisi, piyasadaki hızlı gelişmeler ve değişen müşteri ihtiyaçlarına yönelik esneklik sağlamaktadır. Bu bakımdan Scrum, karmaşık projelerde sıklıkla karşılaşılan

gereksinim değişimlerine uyum sağlamak için tasarlanmış bir metodolojidir.

- **Piyasaya Çıkış Süresinin Azalması:** Müşteri, yazılım ürünü tamamen hazır olmadan projenin en önemli işlevlerini öncelikli olarak kullanmaya başlayabilir.

- **Yazılım Kalitesinin Artması:** Scrum süreçlerinin çalışma yöntemi ve her yinelemeden sonra işlevsel bir sürüm edinme ihtiyacı, daha kaliteli bir yazılım elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

- **Tahmin Yeteneğinin Gelişmesi:** Scrum metodolojisi kullanılan projelerde, ekibin her bir Sprint içindeki ortalama hızı bilinmektedir. Bu durum, Sprint listesinde yer alan belirli bir işlevin ne kadarlık bir sürede tamamlanacağı konusunda takım üyelerinin tahmin yeteneğinin gelişmesini sağlamaktadır.

- **Risklerin Azaltılması:** Scrum süreçlerinde, daha önemli proje işlevlerin, geliştirmenin erken evrelerinde gerçekleştiriyor olması ve ekibin proje geliştirme süreci içerisindeki ilerleme hızının bilinmesi, risklerin önceden etkin bir şekilde netleştirilmesine katkı sağlamaktadır.

TMMi

Yazılım geliştirme metodolojileri, yazılım geliştirme sürecini daha kolay ve verimli hale getirerek, daha kaliteli yazılım ürünlerinin ortaya çıkmasını sağlamak için sürekli olarak gelişmektedir. Test süreci, yazılım geliştirme yaşam döngüsünün en önemli aşamalarından biridir. Yazılım geliştirme yaşam döngüsü içinde test sürecinin verimliliği, projenin süre ve bütçe sınırları içerisinde başarılı bir şekilde tamamlanması için çok önemlidir. TMMi (Tümleşik Test Olgunluk Modeli), yazılım test süreçlerinin optimize edilmesi ve daha verimli bir hale getirilmesi amacıyla tasarlanan uluslararası kabul görmüş bir modeldir (Yücalar & Borandağ, 2019). TMMi, kuruluşlar için yazılım test uygulamalarını iyileştirmekte ve aynı zamanda BT (Bilgi Teknolojileri) standartlarını da kolaylaştırmaktadır. Günümüzde birçok BT organizasyonunda test süreçlerini düzene sokmak ve kolaylaştırmak için TMMi kullanılmaya başlanmıştır. 2010 yılında piyasaya sürülen TMMi modeli, Uluslararası Yazılım Testi Yeterlilik Kurulu (ISTQB), Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE), Yetenek Olgunluk Modeli Entegrasyonu (CMMI) ve daha fazla kaynak içerisinde yer alan en iyi uygulamalar (best practices) referans alınarak TMMi vakfı tarafından geliştirilmiştir (van Veenendaal, 2018). TMMi modelinin ortaya atılmasındaki temel amaç, test süreçlerini iyileştirmek için kılavuzlar ve referans çerçevesi sağlamaktır.

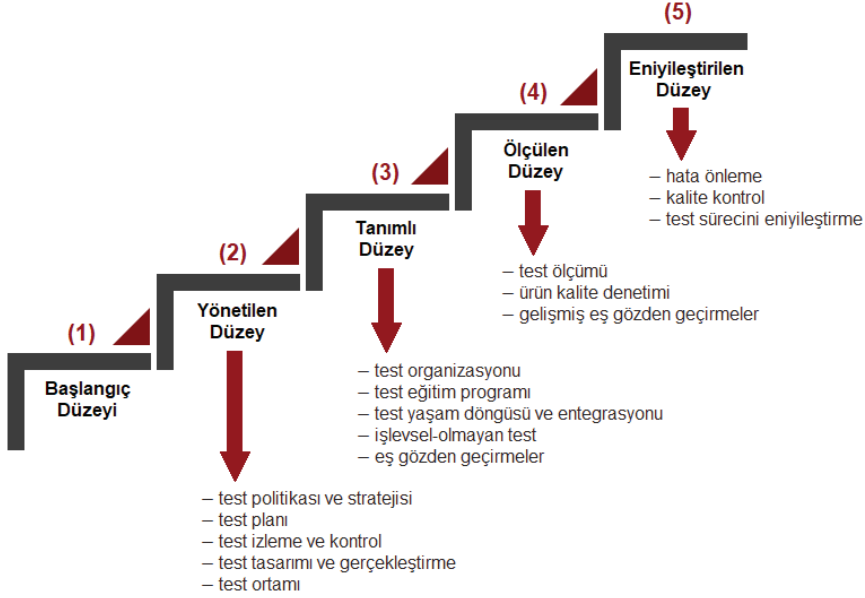
Verimli yazılım geliştirme sürecine yönelik artan taleple birlikte CMMI, yazılım geliştirme süreçlerini önemli ölçüde düzenlemiştir. Ay-

rica, BT organizasyonlarının yazılım geliştirme süreçlerinde daha yüksek kalite ve üretkenlik elde etmesine yardımcı olmuştur. CMMI artık olgunlaşmış BT organizasyonları için olmazsa olmaz bir yazılım standardı olarak kabul edilmektedir. CMMI, ağırlıklı olarak yazılım geliştirme süreçlerine odaklanmaktadır (Yıldız, 2021). Ancak, yazılım projelerinin %30 ila %40'ını içeren test süreçlerini hiç veya çok az ele almaktadır. Bu nedenle, test süreçlerini daha fazla ele almak ve odaklanmak için TMMi modeli kullanılmaktadır (Kim ve ark., 2014). TMMi çerçevesi, tamamen test sürecinin kalitesini ve verimliliğini artırmak amacıyla yazılım testine uygulanan süreçlere ve uygulamalara odaklanmaktadır. TMMi, CMMI modelini tamamlayıcı bir model olarak kullanılabilir (Camargo ve ark., 2013). Ayrıca, yazılım test süreçleri için bağımsız bir model olarak da ele alınabilir.

TMMi modeli, ülkemizde yazılım organizasyonları tarafından test süreçlerinde yavaş yavaş da olsa kullanılmaya başlanmıştır. Yazılım organizasyonları, yazılım projeleri içerisinde “TMMi modelini neden kullanmalıyız?” sorusu ile karşı karşıya gelebilir. TMMi modelinin, yazılım projelerinde neden kullanılmasının gerektiği konusunda bazı noktalara değinmek gerekir. Test süreçlerinin geliştirilmesine yönelik birçok girişimde bulunulmasına rağmen, yazılım endüstrisi için sıfır hata ile yazılım üretimi konusu hala gerçeklikten çok uzaktır. Bunun için TMMi, sıfır hata ile yazılım üretimini gerçekleştirme amacına yönelik bir başlangıç olabilir. CMM/CMMI gibi çeşitli yazılım süreci iyileştirme modelleri, yazılım test sürecini belirli düzeyde ele alırken; yazılım test süreçleri için özel olarak ortaya atılmış TMMi modeli, bu süreçleri detaylı olarak ele almakta ve iyileştirmektedir (Kim & Kim, 2014). Ayrıca, TMMi modeli, diğer süreç iyileştirme modellerine kolaylıkla entegre edilebilmektedir. TMMi, yazılım test süreçlerinin değerlendirilmesine ve iyileştirilmesine yardımcı olmakla beraber, yazılım kalitesinin artmasına da katkı sağlamaktadır (Bris ve ark., 2015).

TMMi'nin Yapısı ve Olgunluk Düzeyleri

TMMi, test süreçlerinin iyileştirilmesi için basamaklı bir mimariye sahiptir. Şekil-2'de görüldüğü üzere TMMi, test süreçleri için 1. düzeyden 5. düzeye doğru bir olgunlaşma merdiveni oluşturur (van Veenendaal, 2018). 1. düzey dışında her düzey için tanımlanmış test süreç alanları vardır. TMMi 1. düzeyde yer alan bir yazılım organizasyonun geçici ve yönetilemeyen test süreçleri; yönetilen (managed), tanımlı (defined), ölçülen (measured) ve eniyileştirilen (optimizing) olarak ifade edilen olgunluk düzeyleri üzerinden sürekli bir iyileştirme durumuna dönüştürülmektedir (Garousi, 2021).



Şekil-2. TMMi olgunluk düzeyleri ve süreç alanları.

Yazılım organizasyonu, test süreçlerine ilişkin ilgili basamaktaki süreç alanlarının genel ve özel hedeflerini başardıkça bir üst düzeye doğru hareket etmektedir. Özellikle özel hedefleri ait özel pratiklerin ne derece başarıldığı bir üst basama çıkma noktasında etkilidir. Üst düzeylere çıkıldıkça test ekiplerinin iş/proje ihtiyaçlarıyla uyum sağlama yeteneğini de geliştirmektedir. Bu durum, daha düşük hata oranına sahip yüksek kaliteli yazılım ürünlerinin ortaya çıkmasına katkı sağlamaktadır.

(1) Başlangıç Düzeyi: TMMi başlangıç düzeyinde yer alan yazılım organizasyonlarında, test süreçlerinin belirsiz ve düzensiz olduğu görülmektedir (van Veenendaal, 2018). Bu düzeyde yer alan yazılım organizasyonları genellikle test etmeyi hata ayıklamanın bir parçası olarak ele alırlar. Aşırı taahhütte bulunan ve başarının kişisel çabalara bağlı olduğu bu düzeydeki yazılım organizasyonlarında, testler geçici olarak gerçekleştirilmektedir. Yazılım organizasyonu içerisinde iyi bir iş çıkaran insanlara çok fazla güvenilir. Bu insanlar işten ayrılırsa, test performansı düşmeye başlar. Bu durum test süreçlerini desteklemek üzere istikrarlı bir ortamın oluşmasını engellemektedir.

(2) Yönetilen Düzey: TMMi yönetilen düzeyde yer alan yazılım organizasyonlarında temel bir test yaklaşımı vardır. Yazılım süreçlerinin kurulu olduğu ve iyi yönetildiği bu düzeydeki yazılım organizasyonlarında; test politikası ve stratejisi, test planlaması, test izleme ve kontrol, test tasarımının yürütülmesi ve test ortamı gibi yaygın test uygulamalarına odaklanılmaktadır (van Veenendaal, 2018). Ayrıca, proje belirtim belge-

leri üzerinden test senaryolarının oluşturulması için belirli test tasarım teknikleri kullanılmaktadır. Bu düzeyde, test süreçlerinin durumu hakkında üst yönetime düzenli olarak bilgi akışı sağlanmaktadır.

(3) Tanımlı Düzey: TMMi tanımlı düzeyde yer alan yazılım organizasyonlarında, organizasyon genelinde aynı standartlar ve prosedürler takip edilmektedir. Organize olarak hareket eden bu düzeydeki yazılım organizasyonlarında, tüm test süreçleri ve faaliyetleri tutarlı bir şekilde ele alınmaktadır (van Veenendaal, 2018). Test eğitim programlarının varlığından tüm organizasyon haberdardır. Bu düzey, test organizasyonunun veya test ekibinin yapısını, test eğitim programını, testin farklı geliştirme yaşam döngülerine nasıl entegre edildiğini ve eş gözden geçirmeleri içerir. Stratejik öneme sahip işlevsel-olmayan testler tüm projelerde gerçekleştirilmektedir. Test süreci, yazılım geliştirme yaşam döngüsünün ilk aşamalarından itibaren ele alınmaktadır. Ayrıca, gözden geçirmeler bu düzeyde önemli bir rol oynamaktadır.

(4) Ölçülen Düzey: TMMi ölçülen düzeyde yer alan yazılım organizasyonlarında, test faaliyetleri, yazılım geliştirme yaşam döngüsünün ilk aşamalarından itibaren başlatılmakta ve hatasız bir yazılım ürünü ortaya çıkarmak için kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır (van Veenendaal, 2018). Gelişmiş inceleme ve gözden geçirme faaliyetleri bu düzeyde iyi desteklenmektedir. Yazılım organizasyonları test ölçümlerine odaklanarak, geliştirilen uygulamaların/ürünlerin kalitesini değerlendirmeye çalışmaktadır.

(5) Eniyileştirilen Düzey: TMMi eniyileştirilen düzeyde yer alan yazılım organizasyonları iyi yapılandırılmış ve organize edilmiş test uygulamalarına ulaşmaktadır (van Veenendaal, 2018). Organizasyon içerisinde gerçekleştirilen tüm test faaliyetleri ve sonuçları ölçülmektedir. Bu düzeydeki test faaliyetleri, sürekli iyileştirmeyi sağlamak, hataları önlemek ve kaliteyi artırmak amacıyla iyi tanımlanmakta ve ölçülmektedir. Yazılım organizasyonlarının gelecekte gerçekleştireceği projelerde benzer hatalarla karşılaşmamak için dikkate alacağı bir süreç vardır. Tüm hataların temel nedeninin belirlenmesi ve bunları gelecekteki projeler için ortadan kaldırılmasına yönelik stratejiler bu düzeyde belirlenmiştir.

Yazılım Endüstrisinde TMMi Kullanımının Faydaları

TMMi, BT organizasyonları tarafından test süreçlerini geliştirmek ve iyileştirmek için kullanıldığını daha önce belirtmiştik. TMMi prensiplerini yazılım projelerinde birebir uygulamanın BT organizasyonları için birçok faydası ve avantajı vardır (TMMi and its Benefits, 2021). Bu fayda ve avantajlardan bazıları;

- proje ile ilgili risklerin azaltılması,

- proje maliyeti ve proje süresinin azaltılması,
 - yazılım kalitesinin arttırılması,
 - yazılım test iyileştirmeleri için etkili ve ölçülebilir araçlar sağlanması,
 - test süreçleri için uluslararası bir değerlendirme standardı sağlanması,
 - performans artışı,
 - üretim aşamasındaki hataların tespit edilmesi,
 - hata sayılarının azaltılması,
 - teslimat tahminlerinin iyileştirilmesi,
 - yazılım ürünü teslimatlarının hızlandırılması, ve
 - müşteri memnuniyetinin geliştirilmesi
- şeklinde sıralanabilir (Garousi, 2021).

TMMi 2. DÜZEY SÜREÇ ALANLARININ SCRUM PRATİKLERİNE UYARLANMASI

TMMi seviye 2’de test faaliyetleri, yönetilen bir süreç haline gelmekte ve açık bir biçimde hata ayıklamadan ayrılmaktadır. TMMi 2. düzey bir yazılım organizasyonunda testin temel amacı, geliştirilecek yazılım ürününün belirtilen gereksinimleri karşıladığını doğrulamaktır (Farid ve ark., 2015). Bu bölümde, TMMi 2. düzeyde yer alan süreç alanlarının Scrum pratiklerine nasıl uyarlanabileceği konusu ele alınmaktadır. Bu amaç doğrultusunda TMMi 2. düzeyde yer alan test politikası ve stratejisi, test planı, test izleme ve kontrol, test tasarımı ve gerçekleştirme ile test ortamı süreç alanlarına (SA) ilişkin özel hedef ve pratiklerin Scrum pratikleri tarafından ne derece karşılanacağına yönelik bir eşleştirme yapılmaktadır.

SA-1: Test Politikası ve Stratejisi Süreç Alanı

Test politikası ve stratejisi süreç alanının amacı, test politikası ve test düzeylerinin organizasyon çapında açık bir şekilde tanımlandığı bir test stratejisi geliştirmektir (van Veenendaal, 2018). Bu süreç alanında üç özel hedefe ait yerine getirilmesi gereken sekiz özel pratik (Ö.P.) yer almaktadır.

Ö.P. 1.1 – Test hedeflerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da yer alan sürüm ve sprint planlama toplantıları gerçekleştirilerek, takım tarafından iş gereksinimleri ve temel alan test hedefleri belirlenebilir.

Ö.P. 1.2 – Test politikasını tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da yer alan sürüm planlama toplantısı pratiği içerisinde, takım tarafından test politikası tanımlanabilir.

Ö.P. 1.3 – Test politikasını paydaşlara dağıtın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da yer alan sürüm planlama toplantısı pratiği içerisinde, ürün sahibi gibi ilgili paydaşlarla test politikası paylaşılabilir.

Ö.P. 2.1 – Genel bir ürün risk değerlendirmesi yapın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da yer alan sürüm ve sprint planlama toplantıları içerisinde, yaygın olarak tanımlanan riskler ve bunların nasıl azaltılacağını vurgulayan bir *genel risk profili* oluşturulabilir.

Ö.P. 2.2 – Test stratejisini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da yer alan sürüm planlama toplantısı pratiği içerisinde, takım test stratejisini tanımlanabilir.

Ö.P. 2.3 – Test stratejisini paydaşlara dağıtın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da yer alan sürüm planlama toplantısı pratiği içerisinde, ilgili paydaşlarla test stratejisi paylaşılabilir.

Ö.P. 3.1 – Test performans göstergelerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, tahmin yeteneğini artırmak için sprint ölçütleri tanımlanabilir. Bu kapsamda, ilerlemenin ölçümü için Puan-Zaman Grafiğinin (Burn-Down Chart) kullanımı, kök neden analizi ile hata takip sisteminden elde edilen sonuçlar kullanılarak hata ölçütlerinin elde edilmesi, kod kapsamı üzerinden izlenebilirlik metriklerinin kullanımı gibi sprint ölçütleri ele alınabilir.

Ö.P. 3.2 – Test performans göstergelerini dağıtın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları içerisinde, elde edilen test performans sonuçları tartışılarak ilgili paydaşlarla paylaşılabilir.

SA-2: Test Planlama Süreç Alanı

Test planlama süreç alanının amacı, tanımlanan risklere ve test stratejisine dayalı bir test yaklaşımı tanımlamak, test faaliyetlerini gerçekleştirmek ve yönetmek için sağlam temelli planlar oluşturmak ve sürdürmektir (van Veenendaal, 2018). Bu süreç alanında beş özel hedefe ait yerine getirilmesi gereken on dokuz özel pratik (Ö.P.) yer almaktadır.

Ö.P. 1.1 – Ürün risk kategorilerini ve parametrelerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, ilgili paydaşları en çok ilgilendiren işlevsel ve işlevsel olmayan riskler ele alınarak *ürün risk profili* oluşturulabilir.

Ö.P. 1.2 – Ürün risklerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, ürün riskleri belirlenebilir ve risk seviyeleri değerlendirilebilir. Bu riskleri yeterince azaltmak için gereken çaba tahmin edilerek, test

tasarımı, uygulanması ve yürütülmesi yoluyla bu riskler azaltılmaya çalışılabilir.

Ö.P. 1.3 – Ürün risklerini analiz edin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sürüm ve sprint planlama toplantılarında, tüm paydaşların katılımı ile ürün risklerinin analiz edilmesine yönelik çalışmalar ele alınabilir. Sürüm planlama toplantılarında, ilgili sürüm içerisindeki özellikleri bilen iş temsilcileri, risklere ilişkin üst düzey bir genel bakış sağlayabilir ve test edenler de dahil olmak üzere tüm takım, risk tanımlama ve değerlendirmede yardımcı olabilir. Sprint planlama toplantılarında ise tüm takım kalite risklerini belirleyebilir ve değerlendirebilir.

Ö.P. 2.1 – Test edilecek öğeleri ve özellikleri belirleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sürüm ve sprint planlama toplantılarında, ürün risk analizine göre etkinliği ve verimliliği en üst düzeye çıkarmak için test koşulları seçilebilir ve önceliklendirilebilir.

Ö.P. 2.2 – Test yaklaşımını tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sürüm ve sprint planlama toplantılarında, ilgili test tasarım teknikleri belirlenebilir.

Ö.P. 2.3 – Giriş kriterlerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantılarında, takım tarafından sprint giriş kriterleri belirlenebilir.

Ö.P. 2.4 – Çıkış kriterlerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantılarında, takım tarafından sprint çıkış kriterleri belirlenebilir.

Ö.P. 2.5 – Geçici olarak durdurma ve yeniden başlatma kriterlerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, sprint planlama toplantıları içerisinde test süreçlerinin geçici olarak durdurulması ve yeniden başlatılmasına yönelik kriterler belirlenebilir.

Ö.P. 3.1 – Üst düzey bir iş kırılım yapısı oluşturun: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, kullanıcı hikayeleri (user story) belirlenir ve sprint görev panosu üzerinde hazırlanan kartlara kullanıcı hikayeleri yazılabilir.

Ö.P. 3.2 – Test yaşam döngüsünü tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, test aşamaları belirlenebilir.

Ö.P. 3.3 – Test iş gücü ve maliyeti için tahminleri belirleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, test eden kişi tarafından seçilen her bir kullanıcı hikayesine yönelik testin tamamlanması için kaç saat gerektiği tespit edilebilir. Bu tespit için, sprint planlama toplantısı içerisinde *PERT* veya *kullanıcı hikayesi puanları* (user story points) tekniklerinden biri kullanılabilir.

Ö.P. 4.1 – Test programını oluşturun: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, kullanıcı hikayelerinin büyüklüğüne bağlı olarak test aşamaları ve test etme eforu belirlenebilir.

Ö.P. 4.2 – Test personeli için plan yapın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, takımın yeterli kapasiteye ve gerekli bilgi birikimine sahip olup olmadığı tartışılabilir.

Ö.P. 4.3 – Paydaş katılımını planlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, sprint iş listesini dikkate alınarak gerekli kaynaklara sahip olunup olunmadığı test ekibi tarafından tartışılabilir.

Ö.P. 4.4 – Test projesi risklerini belirleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, sürüm planlamasında ilgili sürüm içerisinde yer alacak özellikleri bilen ürün sahibi, risklere ilişkin üst düzey bir genel bakış sağlayarak, test eden kişilerin de dahil olduğu takımın tümü, risk tanımlama ve değerlendirmede yardımcı olabilir.

Ö.P. 4.5 – Test planını oluşturun: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısı içerisinde, takım tarafından test planı oluşturulabilir.

Ö.P. 5.1 – Test planını gözden geçirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında, test planı gözden geçirilebilir.

Ö.P. 5.2 – İş ve kaynak düzeylerini bağdaştırın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında, kaynak tahsisi gözden geçirilebilir.

Ö.P. 5.3 – Test planı taahhütlerini alın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısından sonra Scrum yöneticisi, taahhüt edilen öğelerin nasıl uygulanacağına yönelik ayrıntıların tanımlanması için ekibine gerekli talimatları verebilir.

SA-3: Test İzleme ve Kontrol Süreç Alanı

Test izleme ve kontrol süreci alanının amacı, test ilerleme durumu plandan önemli ölçüde saptığında veya ürün kalitesi beklentilerden önemli ölçüde uzaklaştığında, uygun düzeltici önlemlerin alınabilmesi için gerekli anlayışı sağlamaktır (van Veenendaal, 2018). Bu süreç alanında üç özel hedefe ait yerine getirilmesi gereken on yedi özel pratik (Ö.P.) yer almaktadır.

Ö.P. 1.1 – Test planlama parametrelerini izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, sprint puan-zaman grafiği (sprint burn-down chart), sprint görev tahtası (sprint task board), ilerleme tablosu (progress chart), sürüm puan-zaman grafiği (release burn-down chart) gibi araçlar kullanılarak ilerlemenin durumu izlenebilir.

Ö.P. 1.2 – Sağlanan ve kullanılan test ortamı kaynaklarını izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, sağlanan ve kullanılan test kaynaklarının sorumluluğu tamamen Scrum yöneticisine bırakılabilir.

Ö.P. 1.3 – Test taahhütlerini izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında ve sprint gözden geçirme toplantılarında, ekibin vermiş olduğu taahhütler izlenebilir. Ayrıca, sprint puan-zaman grafiği üzerinden kalan işgücü takip edilebilir.

Ö.P. 1.4 – Test projesi risklerini izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, test projesine ilişkin risklerin izlenmesi noktasında sorumluluk Scrum yöneticisine verilebilir.

Ö.P. 1.5 – Paydaş katılımını izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları ile sprint gözden geçirme toplantıları üzerinden paydaş katılımı takip edilebilir.

Ö.P. 1.6 – Test ilerleme incelemelerini gerçekleştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları ile sprint gözden geçirme toplantıları üzerinden ilerlemeler takip edilerek, gerekli gözden geçirmeler gerçekleştirilebilir.

Ö.P. 1.7 – Test ilerleme kilometre taşı incelemelerini gerçekleştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint gözden geçirme toplantıları üzerinden test ilerlemesine yönelik dönüm noktaları kontrol edilebilir.

Ö.P. 2.1 – Giriş kriterlerini kontrol edin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında, giriş kriterleri kontrol edilebilir.

Ö.P. 2.2 – Hataları izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında, hatalar tartışılabilir. Ayrıca, bu noktada her bir sprint içerisinde tespit edilen hata sayısı da dikkate alınabilir.

Ö.P. 2.3 – Ürün risklerini izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları içerisinde, ürün riskleri takip edilebilir.

Ö.P. 2.4 – Çıkış kriterlerini izleyin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları içerisinde, çıkış kriterleri kontrol edilebilir.

Ö.P. 2.5 – Geçici olarak durdurma ve yeniden başlatma kriterlerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları içerisinde, test süreçlerinin geçici olarak durdurulması ve yeniden başlatılmasına yönelik kriterler belirlenebilir.

Ö.P. 2.6 – Ürün kalitesi incelemelerini yapın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları içerisinde, ürün kalitesi incelemeleri gerçekleştirilebilir.

Ö.P. 2.7 – Ürün kalitesi kilometre taşı incelemelerini yapın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da yer alan sprint gözden geçirme toplantıları üzerinden ürün kalitesine yönelik dönüm noktası incelemeleri gerçekleştirilebilir.

Ö.P. 3.1 – Sorunları analiz edin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları içerisinde, sorunlar tartışılabilir ve test yönetim araçları üzerinden tespit edilen sorunlar analiz edilebilir.

Ö.P. 3.2 – Düzeltici önlemler alın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantıları ile sprint gözden geçirme toplantılarında, hataları düzeltici önlemler alınabilir.

Ö.P. 3.3 – Düzeltici önlemleri yönetin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da düzeltici önlemlerin yönetilmesi noktasında sorumluluk Scrum yöneticisine verilebilir.

SA-4: Test Tasarımı ve Gerçekleştirme Süreç Alanı

Test tasarımı ve gerçekleştirme süreç alanının amacı, test tasarım belirtilerinin oluşturulması, test tasarım tekniklerinin kullanımı, yapılandırılmış bir test yürütme sürecinin gerçekleştirilmesi ile test süreci kapasitesini geliştirmektir (van Veenendaal, 2018). Bu süreç alanında dört özel hedefe ait yerine getirilmesi gereken on beş özel pratik (Ö.P.) yer almaktadır.

Ö.P. 1.1 – Test koşullarını tanımlayın ve önceliklendirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, seçilen kullanıcı hikayelerine dayalı olarak test koşulları ve senaryolar oluşturulabilir. Kullanıcı hikayelerinin büyüklüğü dikkate alınarak test koşulları önceliklendirilebilir.

Ö.P. 1.2 – Test senaryolarını tanımlayın ve önceliklendirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, her kullanıcı hikayesi için gerekli test senaryoları yazılabilir. Test senaryoları öneme göre sıralanabilir.

Ö.P. 1.3 – Gerekli özel test verilerini tanımlayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, test senaryolarını uygulamak için gerekli test verileri hazırlanabilir.

Ö.P. 1.4 – Gereksinimlerle yatay izlenebilirliği koruyun: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, test kapsamını ölçmek için kullanıcı hikayesine karşılık test senaryosu dikkate alınarak izlenebilirlik ölçümleri yapılabilir.

Ö.P. 2.1 – Test prosedürlerini geliştirin ve önceliklendirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum’da, test prosedürleri geliştirilebilir. Test komut dosyalarının otomatik mi yoksa manuel olarak mı yürütüleceğini belirlenebilir.

Ö.P. 2.2 – Özel test verileri oluşturun: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, gerekli test verileri oluşturulabilir.

Ö.P. 2.3 – Giriş testi prosedürünü belirtin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, test edilmesi gereken temel alanlar belirlenebilir. Ayrıca, testin başlangıcına karar vermek için pozitif yollar dikkate alınabilir.

Ö.P. 2.4 – Test yürütme çizelgesini geliştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, test yürütme çizelgesi geliştirilebilir.

Ö.P. 3.1 – Giriş testi yapın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, mevcut yapının test edilip edilmeyeceğine veya kabul edilip edilmeyeceğine karar vermek için duman testi yürütülebilir.

Ö.P. 3.2 – Test senaryolarını yürütün: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, test senaryoları manuel veya otomatik test komut dosyaları kullanılarak yürütülebilir.

Ö.P. 3.3 – Test olaylarını bildirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, ortaya çıkan hatalar test yönetim aracına kaydedilerek, günlük Scrum toplantılarında bu hatalar tartışılabilir.

Ö.P. 3.4 – Test günlüğü yazın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, yürütülen testler sprint görev tahtası veya günlük Scrum toplantıları üzerinden izlenebilir.

Ö.P. 4.1 – Konfigürasyon kontrol panelindeki olayların düzenlenmesine karar verin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında, konfigürasyon kontrol panelindeki olayların düzenlenmesine karar verilebilir.

Ö.P. 4.2 – Test olaylarını düzeltmek için uygun eylemi gerçekleştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında, test olaylarını düzeltmek için uygun eylemler gerçekleştirilir.

Ö.P. 4.3 – Test olaylarının durumunu takip edin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında, paylaşılan test yönetimi aracındaki sorunlar tartışılarak gözden geçirilebilir.

SA-5: Test Ortamı Süreç Alanı

Test ortamı süreç alanının amacı, test verileri de dahil olmak üzere testlerin yönetilebilir ve tekrarlanabilir bir şekilde yürütülmesinin mümkün olduğu yeterli bir ortam oluşturmak ve sürdürmektir (van Veenendaal, 2018). Bu süreç alanında üç özel hedefe ait yerine getirilmesi gereken on bir özel pratik (Ö.P.) yer almaktadır.

Ö.P. 1.1 – Test ortamı ihtiyaçlarını ortaya çıkarın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, sprint iş

listesine göre test ortamı için gereksinimler tanımlanabilir.

Ö.P. 1.2 – Test ortamı gereksinimlerini geliştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, test ortamı için gereksinimler sprint iş listesine göre düzenlenebilir.

Ö.P. 1.3 – Test ortamı gereksinimlerini analiz edin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısında, test ortamı gereksinimleri analiz edilebilir.

Ö.P. 2.1 – Test ortamını uygulayın: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, sprint iş listesine göre belirtilmiş olan test ortamı uygulanabilir.

Ö.P. 2.2 – Genel test verileri oluşturun: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, gerekli test verileri oluşturulabilir.

Ö.P. 2.3 – Test ortamı giriş testi prosedürünü belirtin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, test ortamının doğru şekilde uygulanıp uygulanmadığına karar vermek için ortam doğruluk kontrolü yapılabilir.

Ö.P. 2.4 – Test ortamı giriş testini gerçekleştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da, ortam doğruluk kontrolü çalıştırılabilir.

Ö.P. 3.1 – Sistem yönetimini gerçekleştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısı içerisinde, tanımlanan SLA'ya (hizmet düzeyi sözleşmesi) göre operasyon kaynakları sorumluluğu belirlenerek sistem yönetimi gerçekleştirilebilir.

Ö.P. 3.2 – Test veri yönetimini gerçekleştirin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısı içerisinde, test eden kişi tarafından belirlenen operasyon kaynaklarıyla test veri yönetimi gerçekleştirilebilir.

Ö.P. 3.3 – Test ortamlarının kullanılabilirliğini ve kullanımını koordine edin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, Scrum'da yer alan sprint planlama toplantısı içerisinde, test ortamlarının kullanılabilirliği ve kullanımı koordine edilebilir.

Ö.P. 3.4 – Test ortamı olaylarını raporlayın ve yönetin: Bu özel pratiğe ilişkin olarak, günlük Scrum toplantılarında veya test yönetim aracı üzerinde, test ortamı olayları raporlanabilir ve yönetilebilir.

SONUÇ

Günümüzde, BT organizasyonlarının çoğu yazılım projelerini geliştirirken yazılım geliştirme yaşam döngüsü adımlarına yeterince dikkat etmemektedir. Doğrudan yazılım ürününü ortaya çıkararak sonuca varma istekleri, yazılım ürünlerinin belirlenen süre ve bütçe ile istenilen işlev ve kalitede teslim edilebilmesini ortadan kaldırmaktadır. Özellikle proje süresi ve bütçe kaygısı, BT organizasyonlarının yazılım geliştirme sü-

reçlerinde yer alan bazı aşamaları çoğu kez atlmasına yol açmaktadır. Bu aşamalardan biri test süreçleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yazılım ürünlerinin hatasız ve istenilen kalitede teslim edilebilmesi için önemli bir süreç olan test safhası çoğunlukla geçiştirilmektedir. Yazılım endüstrisinde yaşanan kötü tecrübelerden sonra, yazılım projelerinin başarılı ve kaliteli bir şekilde sonlandırılabilmesi için test sürecine daha fazla odaklanan çevik yazılım geliştirme yöntemleri ile disiplinli yöntemlerin birlikte kullanımını kaçınılmaz hale gelmiştir.

Çevik yazılım geliştirme yöntemlerinden biri olan Scrum, organizasyonların karmaşık problemlere yönelik uyarlanabilir çözümler üretmesine yardımcı olan popüler bir yazılım geliştirme metodolojisidir. Bu metodoloji yazılım ürünlerinin yinelemeli olarak geliştirilmesine ve yazılım geliştirme ekiplerinin birlikte çalışmasına olanak sağlayan bir çerçeve sunar. Scrum süreçlerinde, yazılım takımlarının işlerini yapılandırılmalarına ve yönetmelerine yardımcı olmak üzere bir dizi toplantı, araç ve rol tanımlanmaktadır. Scrum'da, yazılım ürünlerinin kısa zaman aralıklarıyla müşterilere teslim edilmesi ve müşterilerden gelen geri bildirimler ile yazılım ürünleri içerisindeki hataların ve eksikliklerin giderilerek kalitenin artırılması hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda, Scrum içerisinde test sürecine ilişkin incelemeler, gözden geçirmeler ve denetlemeler yinelemeli olarak ele alınmaktadır. Scrum'ın test süreçlerini daha da güçlü kılmak adına TMMi gibi bir disiplinli modelin süreç iyileştirme çalışmaları kapsamında ele alınması proje başarısına katkı sağlayacaktır.

TMMi, yazılım firmaları içerisinde gerçekleştirilen test süreçlerinin optimize edilmesine yardımcı olmak amacıyla tasarlanmış, uluslararası kabul gören bir modeldir. Ortaya atılmasından bu yana TMMi, test süreçlerinin iyileştirilmesi noktasında dünyanın önde gelen modellerinden biri haline gelmiştir. TMMi yapı olarak CMMI'ya benzese de CMMI'dan bağımsız olarak, tek başına test süreçlerinin iyileştirilmesi için kullanılabilir. Yazılım firmaları için TMMi kullanımının en büyük faydası yazılım kalitesini artırmak, ürün risklerini azaltmak, test üretkenliğini artırmak ve test mühendisliği disiplinini geliştirmek olmuştur. Bu yıl, TMMi vakfı, TMMi'den ne gibi faydalar elde ettiklerini anlamak için 150'den fazla yazılım firması ile bir anket çalışması gerçekleştirmiştir. En düşük seviyede bile, ankete yanıt veren yazılım firmalarının %40'ı tarafından, TMMi'nin yazılım dağıtımını hızlandıran faydalar sağladığının belirtilmesi ilginç bir sonuç ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada TMMi 2. düzeyde yer alan beş süreç alanının Scrum pratiklerine nasıl uyarlanabileceği konusu ele alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda TMMi 2. düzeyde yer alan test politikası ve stratejisi, test planı, test izleme ve kontrol, test tasarımı ve gerçekleştirme ile test ortamı süreç alanlarına ilişkin özel hedef ve pratiklerin Scrum pratikleri tarafından

ne derece karşılanacağına yönelik bir eşleştirme yapılmaktadır. Yapılan eşleştirmeler doğrultusunda TMMi 2. düzeyde yer alan süreç alanlarına ilişkin özel hedef ve pratiklerin büyük oranda Scrum pratikleri tarafından karşılandığı görülmektedir. Sonuç olarak, Scrum ile TMMi modelinin yazılım geliştirme süreçlerinde birlikte kullanımı sayesinde BT organizasyonlarına önemli faydalar sağlanacağı ve ürün kalitesinin artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Bris, P., Frantis, M., Kolkova, M., (2015). Software Quality Control with The Use of Ideal and TMMi Models. *MM Science Journal*. pp. 799-807.
- Camargo, K. G., Ferrari, F. C., Fabbri, S. C. P. f., (2013). Identifying a Subset of TMMi Practices to Establish a Streamlined Software Testing Process. *27th Brazilian Symposium on Software Engineering*. IEEE.
- Çamoğlu, K., Akbayır, D., Yücalar, F., Bayraklı, S. (2010). Bir Çevik Yazılım Geliştirme Sürecinin Uyarlanması ve Uygulanması. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*. 4(3), 57-67.
- Cohn, M. (2010). Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum (1st Edition). *Addison-Wesley Professional*.
- Değerli, M., Kurtaran Özbudak, E. (2017). Yazılım Mühendisliği ve Sistem Mühendisliği Süreçlerinin Harmanlanması: ISO/IEC 12207:2008'in Getirdikleri ve Değişikliklerin Etkilerine Yönelik Değerlendirmeler, *11. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, Alanya, Türkiye.
- Everett, G. D., McLeod, R. (2007). Software Testing: Testing Across the Entire Software Development Life Cycle. *John Wiley & Sons Inc*.
- Farid, A. B., Fathy, E. M., Ellatif, M. A., (2015). Towards Agile Implementation of Test Maturity Model Integration (TMMI) Level 2 using Scrum Practices. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. 6(9).
- Garousi, V., van Veenendaal, E., Felderer, M. (2021). Motivations for and benefits of adopting the Test Maturity Model integration (TMMi): An international survey, <https://www.tmmi.org/>.
- Gökalp, E., Demirörs, O. (2015). ISO/IEC 15504 Standardının Devlet Kurumları için Uyarlanması, *9. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, Yasar Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Hoffman, D. (2021). 10 Scrum benefits and how to realize them. Çevrimiçi: <https://searchsoftwarequality.techtarget.com/tip/10-Scrum-benefits-and-how-to-realize-them>, Erişim Tarihi: Kasım, 7, 2021.
- Kalaycı, O. (2007). CMMI: Yöneticiler için Doğru Sorular. *Shamrock Process Improvement and Innovation*, ISBN: 978-0-9783530-0-1, Toronto, Kanada.
- Kim, K., Kim, R. Y. C., (2014). Improving Test Process for Test Organization assessed with TMMi based on TPI NEXT. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*. 8(2). pp.59-66.
- McMahon, P. (2010). Integrating CMMI and Agile Development: Case Studies and Proven Techniques for Faster Performance Improvement. 1st edition, *Addison-Wesley Professional*.

- Pazar, U. B. (2021). Türkiye’de Yazılım Ekosisteminin Geleceği, *Deloitte Türkiye & TÜSİAD ortak raporu*, Çevrimiçi: <https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/10709-turkiye-de-yazilim-ekosisteminin-gelecegi>, Erişim Tarihi: Kasım, 9, 2021.
- Pichler, R. (2010). Agile Product Management with Scrum: Creating Products that Customers Love (1st Edition). *Addison-Wesley Signature Series*.
- Principles Behind the Agile Manifesto. (Retrieved November 8, 2021), *from agilemanifesto.org website*, <http://agilemanifesto.org/principles.html>
- Schach, S. R. (2010). Object-Oriented and Classical Software Engineering. 8th Edition. *McGraw Hill*.
- Schwaber, K., Sutherland, J. (2020). The Scrum Guide. Çevrimiçi: <https://scrum-guides.org/scrum-guide.html>, Erişim Tarihi: Kasım, 5, 2021.
- TMMi and its Benefits. (Retrieved November 17, 2021), *from planittesting website*, <https://www.planittesting.com/us/insights/2020/tmmi-and-its-benefits>
- van Veenendaal, E., (2018). Test Maturity Model integration (TMMi): Guidelines for Test Process Improvement, Release 1.2. *TMMi Foundation*. Ireland.
- Yıldız, G. (2021), “Test Maturity Model integration (TMMi)”, Çevrimiçi: <https://gokyhome.com/2014/06/26/test-maturity-model-integration-tmmi/>, Erişim Tarihi: Kasım, 13, 2021.
- Yücalar, F., Borandağ, E. (2018). Yazılım Mühendisliğinde Modern Yaklaşımlar (1. Basım). *Nobel Akademik Yayıncılık*. Ankara, Türkiye.
- Yücalar, F., Borandağ, E. (2019). Yazılım Projelerinde Kalitenin Arttırılması: TMMi. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 3(2): 143-152.

Bölüm 13

PAI VE PEEK POLİMER ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN RULMANLI YATAK UYGULAMALARINDA KULLANIMI İÇİN AŞINMA VE SÜRTÜNME PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Mehmet KURT¹

Hüseyin ÜNAL²

Veysel Furkan ÜNAL³

1 Mehmet KURT Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Sakarya, Turkey <https://orcid.org/0000-0002-1215-1944> mehmetkurt1980@windowslive.com,

2 Prof.Dr. Hüseyin ÜNAL Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Esentepe kampusu, Sakarya, Turkey <https://orcid.org/0000-0003-0521-6647>, unal@subu.edu.tr

3 Veysel Furkan ÜNAL Johannes Kepler University, Faculty of Engineering, Dept. of Polymer Engineering, Linz, AUSTRIA, <http://orcid.org/0000-0002-6639-0393>, veyselifurkanunal43@gmail.com

1. Giriş

Polimer malzemeler günümüzde hızla gelişmesi ile birlikte çeliklerin yerlerine kullanılmaya ve çeliklere alternatif olarak kullanılmaya başlamıştır. Plastik malzemesinin üretiminin kolay olması, hafif ve maliyetinin düşük olması, bazı kimyasallara dirençli, termal ve elektriksel yalıtımlık özelliklerinin iyi olması kolay şekillendirilebilmesi gibi özelliğinin fazla olmasından dolayı endüstride çok fazla kullanılmaya başlamıştır. Ancak, sertlik ve mukavemet özelliklerinin ve sıcaklık dayanımlarının metalik malzemelere göre daha düşük olması dolayı endüstride kullanım alanları azaltmaktadır. Bu yüzden polimerik malzemelere endüstride kullanım alanlarını arttırmak için saf polimerler malzemelere çeşitli katkı malzemeleri ilave edilmektedir. Bunun amacı polimer esaslı kompozit malzemelerin hem mekanik özelliklerini arttırmaktır. Polimer esaslı kompozitlerin aşınma ve sürtünme performansları üzerine kayma hızının, uygulanan yükün, sıcaklık ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi konularında araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların bazıları şunlardır; Paulo ve arkadaşları [1]; Katkısız PEEK malzemesi ve ağırlıkça %30 cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli Poli-eter-eter-eton kompozitlerinin tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan aşınma testleri, pim disk aşınma sistemi kullanılarak aşındırıcı olarak AISI 1045 çeliğine karşı, kayma mesafesi 15000m ve kuru ortam şartlarında yapılmıştır. Deneylerde, iki farklı basınç olarak sırasıyla 2,68MPa ve 8.0 MPa ve 0,25m/s ve 0,75m/s kayma hızı kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde %30 karbon elyaf takviyeli poli-eter-eter-eton kompozit malzemenin saf poli-eter-eter-eton ve %30 cam elyaf takviyeli PEEK yüksek performanslı polimer kompozit malzemeye göre daha düşük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı gösterdiği saptanmıştır. Sümer ve arkadaşları [2]; saf poli-eter-eter-eton ve %30 cam elyaf takviyeli poli-eter-eter-eton malzemelerini AISI D2 çelik diske karşı 1.77, 3.54 ve 5.30 MPa basınç, 0.80 ve 1.60 m/s kayma hızları altında kuru ve sulu ortam şartlarında aşınma deneylerini yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda ise kuru ve sulu ortam şartlarında, katkısız PEEK malzemenin aşınma oranının ve sürtünme katsayısının %30 cam elyaf PEEK' e göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Lu ve arkadaşları [3]; Katkısız PEEK ve PTFE katkılı PEEK kompozitin kuru kayma şartlarında çelik diske karşı aşınma ve sürtünme davranışları incelemişlerdir. %5'den % 85'e kadar değişik oranlarda PTFE katkılı PEEK polimer kompozitlerin aşınma oranının katkısız PEEK'den daha düşük olduğu belirlenmiştir. En düşük aşınma hızı ise % 5 PTFE katkılı PEEK polimer kompozitinde saptanmıştır. Mimaroglu ve arkadaşları [4]; PEEK, PTFE ve polifenilensülfid (PPS) polimerlerine ağırlıkça %0'den %30'a kadar bronz ve cam elyaf katarak kompozit malzemelerini plastik enjeksiyon makinasıyla üretmişlerdir. Aşınma deneylerinde, karşı aşındırıcı disk olarak katkısız PEEK, alifatik poliketon (APK) ve %15 oranında uzun cam elyaf takviye edilmiş doyma-

miş poliester (BMC) reçinesi kullanılmıştır. Aşınma deneylerini 20N ve 60N yüklerde ve 0,5 m/sn kayma hızında yapmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde, en düşük sürtünme katsayısının %15 uzun cam elyaf takviyeli poliester diske karşı çalışan APK polimerinde elde edildiği belirlenmiştir. Aşınma deneylerinde uygulanan yükün artmasıyla birlikte Poli-eter-eter-ke-ton, PEEK+%20 cam elyaf ve %17 cm elyaf takviyeli PTFE polimerler kompozitlerinde aşınma oranının azaldığı diğer polimer kompozitlerinin ise arttığı saptanmıştır. Zhang ve arkadaşları [5]; Katkısız polietereter-ke-ton (PEEK) malzemesinin 0.2-1.4 m/s aralıklarında (hız 0.2 fark ile artırılarak) kayma hızı ve 1N, 5N, 9N yüklerde aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma deneylerinde hızın ve yükün artırılmasıyla birlikte aşınma hızı ve sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Yamamoto ve arkadaşı [6]; Saf polietereterke-ton (PEEK) polimeri ile ağırlığınca karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli (CE) takviyeli poli-eter-eter-ke-ton kompozitlerin (PEEK+%5CE, PEEK+%18CE, PEEK+%5CE, PEEK+%18CE) sulu çalışma ortamında çelik disk malzemeye karşı aşınma testleri yapılmıştır. Deneyler, 0.25 MPa basınçta ve 0.4 m/s, 1.2 m/s, 3.0 m/s ve 4 m/s kayma hızlarında yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında saf PEEK ve cam elyaf ve karbon elyaf takviyelendirilmiş PEEK kompozit malzemelerin kayma hızının artması ile aşınma hızının ve sürtünme katsayısının arttığı saptanmıştır. Buna ilaveten uygulanan yükün artması ile deneylerde kullanılan PEEK, PEEK+CE ve PEEK+CE malzemelerin sürtünme katsayısı düşerken aşınma hızının arttığı da görülmüştür. Greco ve arkadaşları çalışmalarında [7]; katkısız poli-eter-eter-ke-ton (PEEK), uzun dokuma elyafli PEEK ve rastgele yönlendirilmiş kısa elyaf takviyeli PEEK polimer kompozit malzemelerin, 65 m/s kayma hızında, üç adet paslanmaz çelik bilye ile bilye-disk aşınma makinasında aşınma özelliklerini araştırmışlardır. Testlerde uygulanan yükler sırasıyla 0.73N, 2.5N, 5N ve 10N ve 65 m/s hızda yapılan aşınma testlerinde uzun dokuma elyaf takviyeli PEEK malzemesinin yükün ve hızın artmasıyla birlikte aşınma hızı ve sürtünme katsayısında artış saptanmıştır. En fazla aşınma oranı ve sürtünme katsayısı saf PEEK polimer malzemesinde olduğunu tespit etmişlerdir. Sürtünme katsayısının ısıdan etkilendiği, bu etki sonucunda ısının artmasıyla birlikte polimer malzemesinin çelikle temas ettiği yüzeyde ince bir film tabakası oluştuğu ve bunun sonucunda sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Lin ve arkadaşları [8]; Saf polietereterke-ton (PEEK) polimer malzemesinin 0.1 m/s, 0.5 m/s, 1 m/s, 4 m/s hızlarda ve 1.0 ve 4.0 MPa basınç altında çelik disk malzemesine karşı sürtünme ve aşınma özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde; artan kayma hızının ve yükün artması ile sürtünme katsayısının 0.1 m/s ile 1 m/s arasındaki çok az azaldığı ama aşınma hızının ise arttığı tespit edilmişken; 1 m/s ile 4 m/s hız aralığında aşınma hızı ve sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın, PEEK polimer malzemesinin yüzeyi ve çelik arasındaki temas eden yüzey sıcaklığına bağlı olarak güçlü yapışmadan kaynaklandığını

saptanmıştır. Gao ve arkadaşları [9]; Testler sulu tribolojik test şartları altında, bakır nanoteller, katkısız polietereterketon (PEEK) ve PEEK10S-CF8Gr (ağırlığınca % 10 karbon elyaf ve % 8 grafit) polimer kompozit malzemeler kullanılmıştır. Testlerde 0.2 m/s hız, 100 N ve 400 N yük uygulanmış ve aşındırıcı çelik disk karşı malzemesi kullanmıştır. Katkısız PEEK polimerine uygulanan yük arttırıldıkça sürtünme katsayısı azalmakta ancak aşınma hızının ise arttığı saptanmıştır. PEEK-10KE8Gr kompozitinde ise kullanılan katkılarla birlikte yapılan deneylerde uygulanan yükün artırılmasıyla birlikte sürtünme katsayısı değerinin arttığı ancak aşınma hızının azaldığı saptanmıştır. Bunun nedeni ise ilave edilen karbon elyaf gibi katkı maddelerinin kayma yönüne dik olması olarak açıklamışlardır. Lu ve Friedrich[10]; farklı moleküler ağırlıklı saf PEEK (poli-eter-eterketon) ile politetraflor-etilen (PTFE) ve karbon elyaf ile takviyelendirilmiş poli-eter-eterketon polimer kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri, kuru ortam kayma şartları altında incelemiştir. Testler, 1 MPa basınç altında, 1 m/s hızda ve aşındırıcı olarak disk olarak çeliği kullanmışlardır. Aşınma deneylerinde sıcaklığın artırılması ile yüksek molekül ağırlıklı polietereterketon ‘un aşınma hızı, düşük molekül ağırlıklı polietereterketon’ a kıyasla daha fazla arttığını gözlemlemiştir. PEEK polimerindeki karbon elyaf oranı artırıldıkça kompozitin aşınma hızı ve sürtünme katsayısının azaldığını saptanmıştır. Ancak polimer matris bünyesindeki PTFE oranı arttıkça aşınma hızının arttığı ancak sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Sukumaran ve arkadaşları [11], yaptıkları çalışmada amorf poliamid-imid, polieterimid, polikarbonat ve polifenilensülfon polimerleri ve yarı kristalin poliamid-6, polietilentereftalat, polifenilen sülfid, poliviniliden florid ve çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen dokuz farklı yüksek performanslı polimer kullanılmıştır. Deneyler aşındırıcı olarak çelik disk malzemesi kullanılmış olup 0.5 m/s hız, 10kN yükte yapmışlardır. Amorf yapıya sahip polimerlerde sürtünme katsayısı ve aşınma hızının yarı kristal yapıya sahip polimerlere göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Friedrich çalışmasında [12]; ağırlığınca karbon elyaf (CE) takviyelendirilmiş ve teflon (PTFE) ilave edilmiş PEEK polimer kompozitinin aşınma hızı incelemiştir. Deneylerde 1 m/s hız ve 1 MPa basınç kullanmışlardır. Aşındırıcı olarak çelik disk tercih edilmiştir. Polimer matriste PTFE ve karbon elyaf oranının artırılmasıyla birlikte aşınma hızının azaldığını gözlemlenmiştir. Bu azalmanın sebebi aşınma oranının azalmasını ilave katkı maddelerinin kayma direncini arttırması olarak söylenebilir. Friedrich ve arkadaşları [13]; Bu çalışmada yüksek sıcaklığa dayanıklı PEEK polimer malzemesinin sürtünme ve aşınma özelliklerine incelemek için testler yapılmıştır. Deneyler 20°C ortam sıcaklığı, 1 MPa basınç, 1 ve 3 m/s gibi hızlarda yapılmıştır. PTFE Takviyeli PEEK kompozitinde PTFE oranı artırıldıkça aşınma hızının arttığı ancak sürtünme katsayısının azaldığını saptanmıştır. PTFE katkı malzemesinin sıcaklık ile hızlı bir şekilde yumuşama eğilimi göstermesi ve aşındırıcı malzeme yü-

zeyinde bir film oluşturmasının aşınma ve sürtünmeye olumlu bir etki yaptığı tespit edilmiştir. Saravanan ve arkadaşları [14]; çalışmalarında %10 SU-8 takviyeli politetra-flor-etilen kompozitinin 0.4 m/s kayma hızı, 3N yük altında aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testleri Si₃N₄ kaplı disk karşı malzemesi kullanmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde sürtünme katsayısının artmasıyla birlikte aşınma oranının azaldığını saptanmıştır. Başka bir makalede Laux ve arkadaşları [15]; Bu çalışmada pin-on aşınma cihazında PEEK polimer safir ve çelik karşı yüzeylerine karşı aşınma özelliklerini araştırmışlardır. Triboloji testleri 1N' dan 50N' a kadar artan yük, 0.001 m/s, 0.01 m/s, 0.1 m/s, ve 1 m/s kayma hızlarında yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 0.1 m/s kayma hızı ve 1N' dan 50N' a kadar artan yüklerde sürtünme katsayısı değerlerinin düştüğü saptanmıştır. 0.001 m/s' den 1 m/s' ye kadar değişik kayma hızlarında ve 10 N yükte sürtünme katsayısında artış olduğu tespit edilmiştir. Zao ve arkadaşları [16]; saf PEEK polimer malzemesi ve karbon elyaf ile takviye edilmiş PEEK polimer kompozit malzemelerinin tribolojik özelliklerini araştırmak için krom-kobalt-molibden(Cr-Co-Mo) alaşımı karşı disk malzemesi ile aşınma testleri yapılmıştır. Triboloji testleri 0.08 m/s kayma hızı ve 360N yük koşullarında yapılmıştır. Matrise ağırlığınca ilave edilen karbon elyaf oranı arttırıldığında kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma hızının azaldığı tespit edilmiştir. Tharajak ve arkadaşları [17], katkısız PEEK polimer malzemesi ve ağırlığınca bor nitrür (h-BN) ilave edilen PEEK polimer kompozit malzemesinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Testler 25N yükte, 1000 m kayma mesafesinde ve 0.1 m/s kayma hızında çelik diske karşı yapılmıştır. Çoğu test sıcaklıklarında, h-BN takviyeli PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayıları, kaplamaların sıvı hale girdiği 300 °C' lik bir sıcaklık haricinde, saf PEEK' in sürtünme katsayısından daha az olduğu saptanmıştır. h-BN/PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayıları, 200 °C ve 300 °C'de artarken 30°C'den 100°C'de azaldığını gözlemlenmiştir. Chen ve arkadaşları [18]; ağırlığınca karbon elyaf takviyeli PEEK polimer kompozitlerinin deniz suyu yağlama koşullarındaki aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemiştir. 0.5 ve 1 m/s kayma hızlarında 200N yükte ve karşı malzeme olarak çelik kullanmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde karbon elyaf oranı yaklaşık %10 civarında olduğunda, poli-eter-eter-eton kompozitin deniz suyu ortamında yağlama altında aşınma hızının azaldığını saptamışlardır. Bunun nedeni karbon elyafın, temas yüzeyleri arasındaki yükü etkili bir biçimde taşıyabildiği ve bu yüzden matrisi şiddetli aşınmadan koruyabildiği olarak saptanmıştır. Kayma hızının artırılmasıyla aşınma hızının ve sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Qiao ve arkadaşları [19]; %5 Al₂O₃ katkılı poli-eter-eter-eton ve %10 poli-tetra-flor-etilen (PTFE) katkılı poli-eter-eter-eton ve saf poli-eter-eter-eton polimerlerin kuru kayma şartlarındaki aşınma ve sürtünme performanslarını incelemiştir. Sonuçlar incelendiğinde tüm deneyler 0.42 m/s kayma hızında ve 196N yük altında gerçekleştir-

mişlerdir. Çalışmalarında karşı disk olarak çelik disk kullanılmıştır. Poli-tetra-flor-etilen ve Al_2O_3 oranı arttıkça aşınma hızının arttığı ancak sürtünme katsayısının ise azaldığını saptanmıştır. Elliott ve arkadaşları [20]; çalışmalarında katkısız poli-eter-eter-eton polimeri ve karbon elyaf ile takviye edilmiş poli-eter-eter-eton polimer kompozitine aşınma testleri yapılmıştır. Testler, 1 MPa basınçta ve 0.18 m/s kayma hızında kuru kayma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları sonucunda karbon elyaf ile takviye edilmiş poli-eter-eter-eton polimer kompozitinin aşınma hızı ve sürtünme katsayısının katkısız PEEK polimer malzemesine göre daha düşük olduğunu saptanmıştır. Davim ve Cardoso [21], katkısız poli-eter-eter-eton polimer malzemesi, ağırlığına %30 karbon elyaf takviyeli poli-eter-eter-eton (PEEK+30KE) ve %30 cam elyafla takviye edilmiş poli-eter-eter-eton (PEEK+30CE) polimer kompozit malzemeleri için çelik disk malzemeye karşı aşınma ve sürtünme testleri yapmışlardır. Bu deneyler 8MPa basınç, 0.25 m/s hızda ve 2.68 MPa basınçta 0.75 m/s hızda ve 15 km kayma mesafesinde oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. (PEEK+30KE) polimer malzemesinin en düşük sürtünme katsayısına ve (PEEK+30CE) malzemesinin tüm kayma yolu süresince sürtünme katsayısında en yüksek değere ulaşıldığı tespit edilmiştir. PEEK+30KE ve PEEK+30CE malzemelerinin aşınma hızının katkısız poli-eter-eter-eton polimer malzemesine göre daha düşük olduğunu, PEEK+30KE polimer kompozit malzemesinin ise aşınma hızının en düşük ve sürtünme katsayısının da en düşük olduğu saptanmıştır. Vail ve arkadaşları [22]; katkısız polietereterketon polimer malzemesine katı yağlayıcılar ile birlikte ağırlığına %6, %9, %13, %16 ve %20 oranında yüksek mukavemetli poli-tetra-flor-etilen (PTFE) katı yağlayıcı katkısı ilave edilmiştir. Testlerde, disk karşı malzemesi olarak paslanmaz çelik disk kullanılmış ve 20°C ortam şartlarında yapılmıştır. PTFE katkılı poli-eter-eter-eton polimer kompozitlerinin aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerlerinin, saf poli-eter-eter-eton malzemesine göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Li ve arkadaşları [23]; katkısız polietereterketon ve ağırlığına % 30 cam elyaf ile takviyelendirilmiş polietereterketon polimer kompozitlerinin tribolojik davranışları incelenmiştir. Testler, 0.6 m/s kayma hızında, 100, 200, 300 ve 400N yükler altında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Testlerde yükün artırılması ile sürtünme katsayısının %30 cam elyaf takviyeli polietereterketon kompozitinde arttığı ancak saf polietereterketon malzemesinde ise azaldığını gözlemlenmiştir. Aşınma hızının ise yük artırıldığında cam elyaflı PEEK kompozitinde azaldığını ancak saf polietereterketon malzemesinde arttığını saptamışlardır. Başka bir çalışmada Wang ve arkadaşları [24], saf polietereterketon ve çeşitli oranlarda sodyum klorür (NaCl) ile titanyum oksit (TiO_2) takviyeli polietereterketon kompozitlerinin sürtünme ve aşınma performanslarını araştırmışlardır. Deneyler 1.4 m/s kayma hızında, 100N ve 200N yüklerde ve 120 dakikalık kayma süresince yapılmıştır. Polietereterketon polimer kompoziti (5%M-TiO₂-

W+30%NaCl+PEEK), karbon elyaf takviyeli (%15KE) polietereeterketon kompoziti ve saf polietereeterketon polimerine kıyasla en düşük aşınma hızı ve sürtünme katsayısına sahip olduğu, katkısız PEEK polimerinin ise en yüksek aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu saptanmıştır. Sharma ve arkadaşlarının [25]; yaptıkları çalışmada soğuk azot-oksijen(%0.5) plazma (CRNOP) ile hazırlanmış karbon elyaf takviyeli PEEK polimer kompozit malzemesinin tribolojik davranışlarını incelemiştir. Yapılan testlerde aşındırıcı disk olarak çelik disk kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yükler 100, 200, 300, 400, 500N olarak ve kayma hızı ise 1 m/s olarak seçilmiştir. Deneyler neticesinde, yük miktarı arttırıldığında malzemelerin aşınma hızının arttığını ancak sürtünme katsayısının ise azaldığını tespit etmişlerdir. Lin ve Schlarb [26]; katkısız polietereeterketon (PEEK) polimeri ile karbon elyaf takviyeli PEEK polimer kompozit malzemelerine aşınma testleri yapılmıştır. Triboloji testleri pin-on-disk aşınma cihazında 1MPa, 2MPa, 4MPa, 8MPa basınçlar altında ve 0.5m/s, 1m/s, 2m/s, 3m/s ve 4m/s hızlarda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deney hızı ve basıncın artırılmasıyla birlikte sürtünme katsayısının azalırken aşınma oranının arttığını saptanmıştır. PEEK polimer malzemesine karbon elyaf ilavesiyle birlikte aşınma ve sürtünme katsayısı değerlerinin azaldığı tespit etmişlerdir. Zalaznik ve arkadaşları [27]; farklı sıcaklık değerlerinin katkısız polietereeterketonun özelliklerine aşınma testlerinin etkisini incelemiştir. Triboloji testleri, ortam sıcaklığında çelik disk üzerinde yapılmış olup 5 m/s kayma hızı ve 1 MPa basınç altında yapılmıştır. Aşınma testlerinde kullanılan polietereeterketon numuneleri, polietereeterketon' in ergime noktasının altında ve üstündeki sıcaklıklarda (300, 400 ve 450 °C) üretilen ve ticari olarak temin edilebilen katkısız polietereeterketon malzemesi ile karşılaştırılmıştır. Ergime sıcaklığı yükseldikçe aşınma hızında artış ancak sürtünme katsayısında ise azalma saptanmıştır. Akagaki ve arkadaşları [28]; %30 karbon elyaf ile takviye edilmiş polietereeterketon kompoziti ve dövme çelik karşı disk çiftinin aşınma ve sürtünme davranışlarını yağlı ortam şartlarında araştırmışlardır. Bu testler, 10.2-19 m/s arasında değişen hızlarda ve 1 N/s ile artan yük altında (maksimum 1177 N yük uygulanmıştır) yapılmıştır. Yağ ortamı sıcaklığı 30±3°C arasında sabit tutulmuştur. PEEK polimer kompozitinin dövme çeliğe kıyasla daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğunu saptanmıştır. Jean-Fulcrand ve arkadaşları [29]; katkısız PBI (poli-benzimidazol) polimerinin tribolojik özelliklerini 280°C sıcaklıkta çelik bilye malzemesi kullanılarak incelenmişlerdir. Deneyler, 2 ila 12 N yükler arasında değişen yüklerde ve 2 m/s sabit hızda yapılmıştır. Testlerde uygulanan yükün artmasıyla, sürtünme katsayısında düşüş fakat aşınma hızında ise artış olduğu saptanmıştır. Niemiec ve Sokolska [30]; katkısız polietereeterketon polimer malzemesi ve karbon elyaf (KE), aramid (AE) ve cam elyaf (CE) takviyeli PEEK kompozitlerinin aşınma ve sürtünme özelliklerini incelemiştir. Sonuçlar incelendiğinde, cam elyaf takviye edilmiş polietereeterketon kom-

pozitin aşınma oranının en yüksek olduğu saptanmıştır. Karbon elyaf takviyeli PEEK kompozitin aşınma hızı özellikle 20-220°C aralığındaki sıcaklıklarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Ağırlığınca % 20' den fazla karbon elyaf takviyesi ve test sıcaklıklarının artmasıyla beraber aşınma oranını artırdığını saptanmıştır. Lind ve arkadaşları [31]; katkısız polietereterketon polimeri ile ağırlığınca %30 karbon elyaf takviyelendirilmiş polietereterketon ve karbon elyaf takviyeli ve poli-tetra-flor-etilen katkılı (KE-%30PTFE) polietereterketon kompozitlerinin tribolojik davranışlarını incelemiştir. Yapılan aşınma testinde karşı malzeme olarak çelik disk kullanılmıştır. Testler, 23°C, 80°C ve 120°C ve 150°C sıcaklıklarda, 20 m/s hızda, 5N ve 15N yüklerde yapılmıştır. En yüksek sürtünme değerleri yağlayıcı ile birlikte test edilen PEEK+%30CF kompozitinde, en düşük sürtünme katsayısı ise katkısız polietereterketon polimer malzemesinde tespit edilmiştir. Ganesh ve Dhamejani [32]; çalışmalarında polietereterketon polimeri ile ağırlığınca %30 cam elyaf ile takviye edilmiş PEEK polimer kompozitlerinin tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Polietereterketon kompozitlerine triboloji testleri, kuru kayma koşullarında ve 50°C, 100°C ve 150°C ortam sıcaklıklarında yapılmıştır. Aşınma deneylerinde çelik disk karşı malzemesi kullanılmış ve deneylerde 1.4 m/s kayma hızı, 2.4 kg ve 8 kg yükler kullanılmıştır. Ağırlığınca %30 cam elyaf katkılı polietereterketon kompozitinin, katkısız polietereterketon' a kıyasla aşınma hızının daha düşük olduğu, sürtünme katsayısı değerinin ise daha yüksek olduğunu saptanmıştır. Andrade ve arkadaşları [33]; ağırlığınca %30 karbon elyaf takviyeli PEEK polimer kompozit malzemesinin aşınma ve sürtünme özelliklerini yağlı ortam şartlarında ve çelik diske karşı incelemiştir. Aşınma testlerinde 2 MPa basınç, 2 m/s hız, 85 °C yağ sıcaklığı ve 120 dakika süre seçilmiştir. Deneyler, 1 MPa ila 7 MPa basınç altında ve 2 ila 12 m/s arasında değişen farklı hızlarda da gerçekleştirilmiştir. Hidrodinamik yağlama şartları altında aşınma hızının yaklaşık 5 kat daha düşük olduğu, sürtünme katsayısının ise 3 kat daha düşük olduğu saptanmıştır. Ayrıca deneylerde hız ve basıncın artırılmasıyla birlikte aşınma hızı ve sürtünme katsayısında azalma tespit edilmiştir. Petrica ve arkadaşları [34]; çalışmalarında PEEK polimer malzemesi ile çok yüksek molekül ağırlıklı polietilenin (ÇYMA-PE) tribolojik özelliklerini çelik bilye kullanarak incelemiştir. Deneyleri, 30N basınç, 0.75 m/s kayma hızı ve oda sıcaklığında yapılmıştır. PEEK' in yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri düşük olan numuneler için deney süresinin artmasıyla birlikte aşınma oranı azalırken, yüksek Ra değerleri için numuneler deney süresinin artmasıyla birlikte aşınma oranında artış olduğunu, PEUHMW' in ise tüm test süresi boyunca sabit bir sürtünme davranışına sergilemiştir. Zsidai ve Kátai [35], karbon elyaf (KE) ve cam elyaf(CE) takviyeli polietereterketon kompozitlerinin aşınma testlerini yapmıştır. Aşınma deneyleri, pim düzlemi (bant) model sistemi ve aşınma yüzeyinin zımpara bezi olduğu farklı basınç (11.5 N ve 23 N) altında, oda sıcaklığı, %50 nem ve 0.05

m/s kayma hızı şartlarında yapılmıştır. Karbon elyaf (KE) takviyeli PEEK kompozitinin aşınma hızının cam elyaf (CE) katkısına kıyasla daha düşük olduğunu saptanmıştır. Kadu ve arkadaşları [36]; kuru kayma şartlarında saf PEEK malzemesiyle poli-tetra-flor-etilen katkılı ve karbon elyaf takviyeli (KE%15+PTFE%15) PEEK, bronz(%15) ve poli-tetra-flor-etilen (PTFE%15) takviyeli PEEK polimer kompozitlerin tribolojik testler yapılmıştır. Testler 10N basınçta, 1.8 m/s ile 3.4 m/s arasında kayma hızlarında, ortam sıcaklığında ve aşındırıcı çelik disk kullanılarak gerçekleştirilmiştir. %15bronz takviyeli PEEK polimer kompozitlerinin, karbon elyaf takviyeli (%15KE) PEEK kompozitlerine göre aşınma hızının daha düşük olduğunu tespit edilmiştir. Avanzini ve arkadaşları [37]; katkısız PEEK polimer malzemesinin, karbon elyaf takviyeli PEEK (KE-%30), cam elyaf takviyeli PEEK (CE-%30) ve karbon elyaf takviyeli grafit ve teflon katkılı PEEK (KE-%10+PTFE+grafit) malzemelerin çelik diske karşı aşınma davranışları ile uygulanan basınç ve kayma hızı (pv) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Aşınma deneyleri 80 ve 160MPa basınçlarda 0.85 m/s ve 1.4 m/s kayma hızlarında yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde “PV” değerinin artırılmasıyla aşınma hızının arttığı saptanmıştır. Aşınma sonuçlarına tekrar bakıldığında en düşük aşınma hızına karbon elyaf takviyeli PEEK (KE- %30) kompozitinin sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu deneysel çalışmada, yüksek performanslı, yüksek sıcaklık ve mukavemet değerlerine sahip aşınmaya maruz makine sektöründe kullanılmaya başlayan (bakınız Şekil 1) saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitleri kullanılmıştır. Triboloji testlerinde disk üzerinde pim konfigrasyonlu aşınma test cihazı kullanılmıştır. Deneylerde 50N ve 100N yükler ile 0.5 ve 1.0m/s kayma hızları kullanılmış ve testler oda sıcaklığında ve kuru kayma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma deney sonuçlarına göre, aşınma ve sürtünme hızı arttığında deneylerde kullanılan polimerlerin her ikisinde de spesifik aşınma hızı artmıştır. Makine sektöründe rulmanlı yatak uygulamalarında, deneylerde kullanılan malzemeler arasında aşınma hızı en düşük olan malzeme sırasıyla 30KE/PEEK, 12G-3PTFE/PAI, 30CE/PEEK ve saf PAI polimeri olarak belirlenmiştir. %30 karbon elyaf takviyeli PEEK kompoziti, % 30 cam elyaf takviyeli PEEK polimerine göre %38, 12G-3PTFE/PAI polimer kompozitine göre %14 ve saf PAI polimerine göre ise %17.8 daha fazla aşınma dirençli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. PAI ve PEEK polimerlerinden üretilen rulman ve parçaları

2. Deneysel Çalışmalar

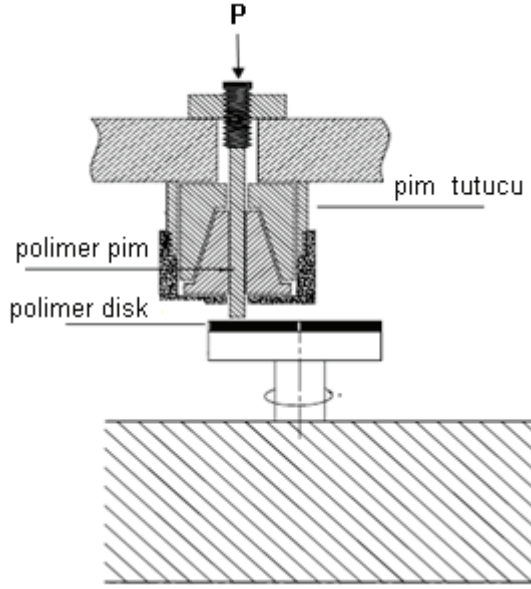
2.1. Deneylerde kullanılan malzemeler:

Aşınma ve sürtünme deneylerinde dört farklı endüstriyel yüksek performanslı termoplastik polimer malzemeler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan saf PAI polimeri Quadrant firmasından ekstrüde edilmiş çubuk formatında T4203 ticari kodlu ile satılmakta olup yüksek tokluk ve darbe direnç, iyi işlenebilirlik, yüksek sıcaklık direnci istenen endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. 12G-3PTFE/PAI polimer kompoziti Durathon 4301 kodlu ticari ürün Quadrant Engineering Plastics firmasından ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş olup 10 mm çapında elde edilmiştir. Bu ürün yağlamasız, yatak ve rulmanlarda kullanılmak üzere formüle edilmiştir. 30KE/PEEK polimeri ise Ketron CA30 ticari kodu ile yüksek mukavemet, rijitlik ve sürünme özellikleri ile makul aşınma direnci özellikleri sağlayan ekstrüzyonla 10mm çapında çubuk formunda üretilmiş %30 karbon elyaf takviyeli PEEK polimer kompozitidir. 30CE/PEEK kompoziti ise KETRON GF30 ticari kodu ile Quadrant firması tarafından ekstrüzyonla 10 mm çubuk formunda üretilen %30 cam elyaf takviyeli PEEK kompozitidir.

2.2. Sürtünme katsayısı ve Spesifik aşınma hızı ölçümü:

Aşınma ve sürtünme deneyleri, bir kolun üzerine sabitlenmiş olan bir polimer pim malzemenin bir elektrik motorundan aldığı hareketle dönen AISI 316L paslanmaz çelik diskin birbirine temas ettiği bir aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Çelik disk üzerinde polimer pim olacak şekilde özel olarak dizayn edilmiş aşınma test cihazının şematik diyagramı Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Triboloji deneylerinde polimer pim numuneleri 6 mm çapında ve 50 mm 50mm uzunluğunda olacak şekilde kullanılmaktadır. Tedarikçiden farklı çaplarda temin edilen PAI polimeri ile PAI ve PEEK esaslı kompozit pim malzemeler revolver tornada ölçülerine işlenmiştir. Deneylerde karşı disk malzeme olarak AISI 316L paslanmaz çelik disk kullanılmıştır. Çelik diskler, 5 mm kalınlığında ve 90

mm çapında olacak şekilde önce geleneksel bir tornada işlenmiş ardından ise düzlem yüzey taşlama tezgahında ince taşlama yapılmıştır. Aşınma ve sürtünme deneylerinden önce, saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozit pim malzemeleri ve karşı paslanmaz çelik disk malzeme yüzeyleri 1200 nolu zımpara ile zımparalanmıştır. Her bir deneyden önce çelik disk yüzeyleri ve polimer kompozit pim yüzeyleri asetonla temizlenmiş ve kurutulmuştur.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan pim-disk aşınma test

Tribolojik testlerde pim-disk aşınma test cihazı kullanılmıştır. Cihazın şematik resmi Şekil 2'de verilmiştir. Şekilde gösterildiği gibi AISI1040 çelik disk malzeme tek yönlü olarak ve hızı ayarlanabilir bir elektrik motoru (3KW) ile döndürülmektedir. Şekilde görülen ve deneylerde standart olarak kullanılan diskin üzerine 5 mm et kalınlıklı ve 90 mm çaplı AISI 316L paslanmaz çelik disk monte edilmiştir. Test edilecek pim malzemeleri, saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitleri pim tutucu bir mekanizmaya bağlanarak hareketli yükleme koluna monte edilmektedir. Bu yükleme kolu, numuneye yanal yüklerin uygulanmasına izin verebilecek şekilde yataklanmıştır. Deneyler sırasında, sürtünme kuvveti yükleme koluna monte edilmiş bir yük hücresi ile ölçülmektedir. 66 dakikalık deney süresi boyunca her 60 saniyede yaklaşık 1500 veri okunmuş ve bilgisayarda bir excell programında kaydedilmiştir. Sürtünme kuvveti olarak ifade edilen yanal yükler uygulanan normal yüke bölünerek malzeme çiftinin sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Sürtünme katsayısı (μ) Eşitlik 1. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{F_f}{F_N} \quad (1)$$

Burada; μ polimer malzemelerin sürtünme katsayısı, F_f deneylerde ölçülen yanal yük ve F_N ise normal yüküdür. Yine deneylerde kullanılan pim malzemelerin aşınma miktarı, deney öncesi ve deney sonrası ağırlık farkı alınarak tespit edilmiştir. Pim malzeme ağırlık ölçümleri 0,1 mg hassasiyetli Precia marka 220 g kapasiteli bir digital terazi ile gerçekleştirilmiştir. Polimer ve kompozit malzemelerin spesifik aşınma hızı (Ws) [m^2/N] Eşitlik 2. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Ws = \frac{(\Delta V)}{A \times L \times P} \text{ veya } Ws = \frac{(\Delta m)}{L \times \rho \times F_N} \quad (2)$$

Yukarıdaki formülde; ΔV pim numunelerinin aşınma hacmini, Δm deney sonrası ve öncesi kütle kaybını, A temas alanını, ρ yoğunluğu, P uygulanan basıncı, F_N normal yükü ve L ise kayma yolunu göstermektedir. Bu çalışma için seçilen aşınma test parametreleri aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerinin tribolojik test şartları Tablo 1'de gösterilmektedir. Tribolojik deneyler, 0.5 ve 1.0 m/s kayma hızlarında ve 50N ve 100N yüklerde yapılmıştır. Deneyler kuru kayma şartlarında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tribolojik deneylerde kullanılan malzemelerin farklı hız ve yüklerdeki spesifik aşınma hızı değerleri (mm^3/Nm) hesaplanmış ve sürtünme katsayısı (μ) değerleri de ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan saf PAI polimeri ile %12 grafit ve %3 PTFE katkılı poliamid-imid kompozitinin mekanik, fiziksel, termal ve elektriksel özellikleri Tablo 2'de, %30 cam elyafı ve %30 karbon elyafı poli-eter-eter-keton kompozitlerin mekanik, fiziksel, termal ve elektriksel özellikleri ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 1. Aşınma ve sürtünme deney şartları

Deney parametreleri	Birim	Deney ortam şartları
Kayma hızı	(m/s)	0,5 , 1,0
Uygulanan yük	(N)	50, 100
Çalışma sıcaklığı	(°C)	21±2
Ortam nem oranı	(%)	58±2
Kayma yolu	(m)	2000
Çelik disk yüzey pürüzlülüğü (Ra)	(μm)	0,44

Tablo 2. Deneylerde kullanılan cam elyaf ve karbon elyaf PEEK polimerinin oda sıcaklığında ve %50 nem şartlarındaki özellikleri [38]

Mekanik Özellikleri			
Özellikler	Test Metodu	30KE/PEEK	30CE/PEEK
Akma mukavemeti, MPa	ISO 527-1/-2	NYP/144	80/-
Kopma mukavemeti, MPa	ISO 527-1/-2	144	80
Kopma gerilmesi, %	ISO 527-1/-2	3.5	4.5
Elastiklik modülü, MPa	ISO 527-1/-2	9200	7000
Sertlik, N/mm ²	ISO 2039-1	310	250
Charpy darbe dayanımı, kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	50	25
Termal Özellikler			
Ergime noktası (DSC), °C	ISO-11357-1/3	340	340
Termal iletkenlik 23°C, W(K.m)	ISO-11357-1/2	0.92	0.43
Camsı geçiş sıcaklığı 20°C/min, m/(m.K)	ISO-11357-1/2	-	-
Termal genleşme katsayısı 150°C, m/(m.K)		-25x10 ⁻⁶	30x10 ⁻⁶
HDT (1.8 MPa), °C	ISO 75-1/2	260	230
Fiziksel Özellikler			
Yoğunluk, g/cm ³	ISO 1183-1	1.40	1.51
Su emilimi(24-96 Saat) 23°C, Mg,%	ISO 62	0.05	0.05
Elektriksel Şartları			
Hacim direnci, Ohm/sq		<10 ⁵	<10 ¹⁴
Yüzey direnci, Ohm/sq		<10 ⁵	<10 ¹³

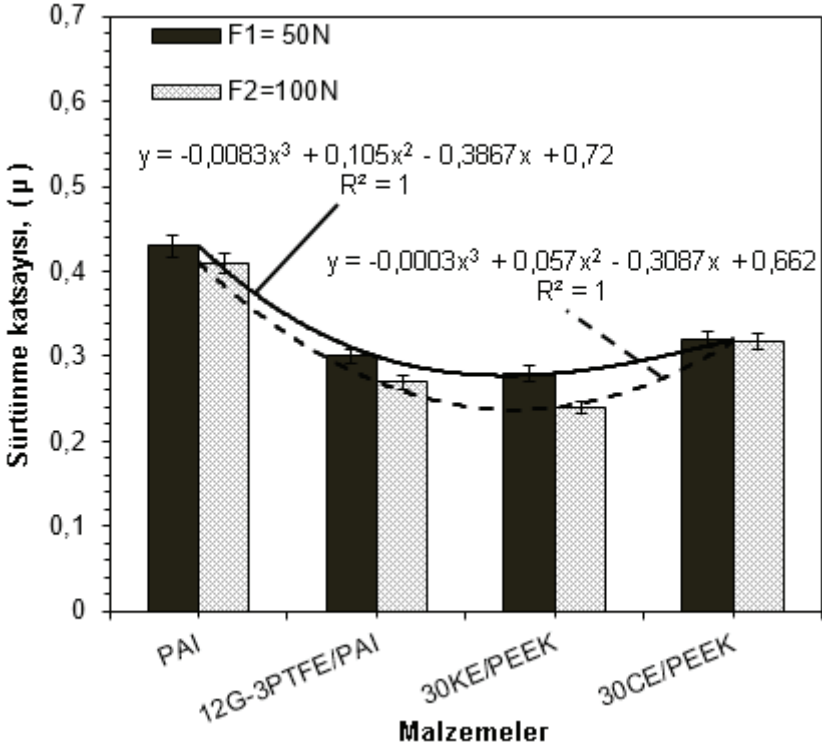
Tablo 3. Deneylerde kullanılan saf PAI ve 12G-3PTFE/PAI kompozitinin oda sıcaklığında ve %50 nem şartlarındaki özellikleri [39]

Mekanik Özellikleri			
Özellikler	Test Metodu	Saf PAI	12G-3PTFE/PAI
Akma mukavemeti, MPa	ISO 527-1/-2	150	NYP/110
Kopma mukavemeti, MPa	ISO 527-1/-2	80	110
Kopma gerilmesi, %	ISO 527-1/-2	9	5
Elastiklik modülü, MPa	ISO 527-1/-2	4200	5500
Sertlik, N/mm ²	ISO 2039-1	200	200
Charpy darbe dayanımı, kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	15	45
Termal Özellikler			
Ergime noktası (DSC), °C	ISO-11357-1/3	NA	NA
Termal iletkenlik 23°C, W(K.m)	ISO-11357-1/2	0.54	0.54
Camsı geçiş sıcaklığı 20°C/min, m/(m.K), °C	ISO-11357-1/2	280	280

Termal genişleme katsayısı 150°C, m/(m.K)		0.260	40x10 ⁻⁶
HDT (1.8 MPa), °C	ISO 75-1/2	264	280
Fiziksel Özellikler			
Yoğunluk, g/cm ³	ISO 1183-1	1.45	1.45
Su emilimi (24-96 Saat) 23°C, mg	ISO 62	29/55	26/-
Elektriksel Şartları			
Hacim direnci, Ohm/sq		>10 ¹⁴	>10 ¹³
Yüzey direnci, Ohm/sq		>10 ¹³	>10 ¹³

3. Sonuçlar ve Tartışma

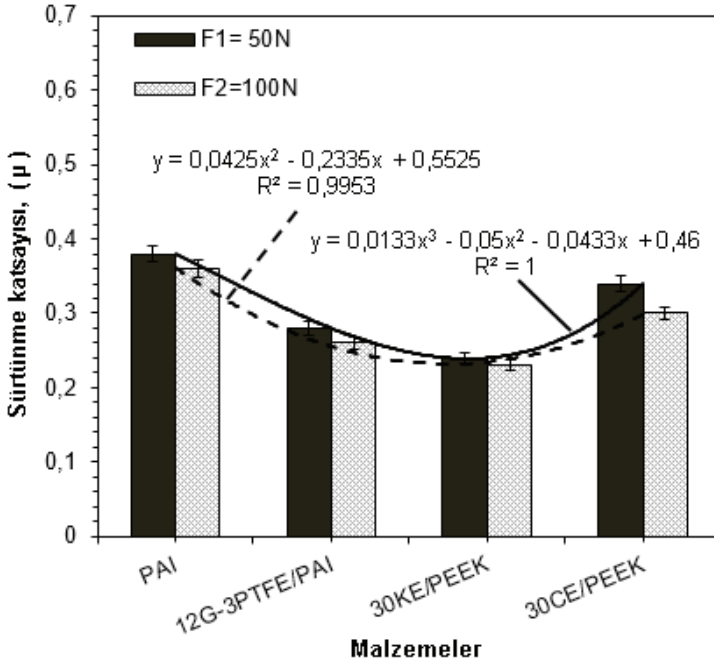
Saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK polimer kompozitlerinin 0.5m/s kayma hızında 50N ve 100N yükler altındaki sürtünme katsayısının değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi en yüksekte en düşüğe doğru sürtünme katsayıları sırasıyla saf PAI polimeri ile 30CE/PEEK, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK kompozitleri için sıralanmıştır ve sürtünme katsayıları sırasıyla 0.43, 0.32, 0.30 ve 0.28 olarak tespit edilmiştir. Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayısı değerleri uygulanan yükün artması ile azalma göstermiştir. Uygulanan yükün 50N'dan 100N'a yani %200 oranında artırılması ile saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayısı değerlerindeki azalma sırasıyla ortalama %4.6, %10, %14.2 ve %0.6 oranında olmuştur. Şekilde görüldüğü gibi deney malzemeleri düşük sürtünme katsayısından yüksek sürtünme katsayısına doğru 30CE/PEEK, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve saf PAI olarak sıralanabilir. En düşük sürtünme katsayısı 100N yük altında elde edilmiş olup 30KE/PEEK, 12G-3PTFE/PAI, 30CE/PEEK ve saf PAI malzemeleri için ortalama 0.24, 0.27, 0.318 ve 0.41 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Saf PAI, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerin farklı yükler altındaki sürtünme katsayısının değişimi (Hız:0,5m/s).

Şekil 4'de deneylerde kullanılan yüksek performanslı polimerler olan saf PAI polimeri, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK polimer kompozitlerinin 50N ve 100N yükler altında ve 0.5m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısının değişimi verilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi 50N yük altında sürtünme katsayıları en yüksekten en düşüğe doğru sıralanacak olursa saf PAI, 30CE/PEEK, 12G-3PTFE/PAI ve 30KE/PEEK kompozitleri olarak sıralanabilir ve sürtünme katsayıları sırasıyla 0.38, 0.34, 0.28 ve 0.24 olarak elde edilmiştir. 100N yük altında yapılan deneylerde elde edilen sürtünme katsayıları en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla yine saf PAI, 30CE/PEEK, 12G-3PTFE/PAI ve 30KE/PEEK kompozitleri olarak sıralanabilir ve sürtünme katsayıları sırasıyla 0.38, 0.34, 0.28 ve 0.24 olarak elde edilmiştir. Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayısı değerleri uygulanan yükün artması ile azalma göstermiştir. Uygulanan yükün 50N'dan 100N'a yani %200 oranında artırılması ile saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerinin sürtünme katsayısı değerlerindeki azalma sırasıyla

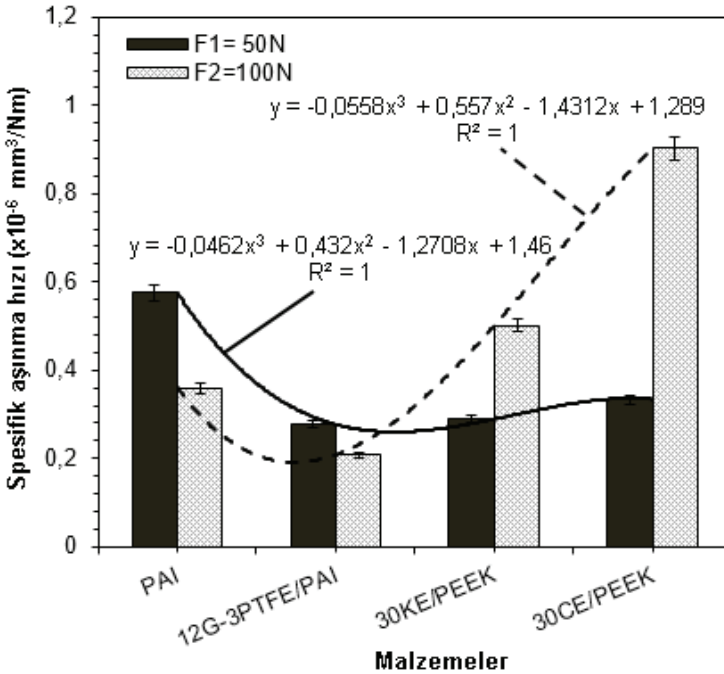
ortalama %5.2, %7.1, %4.1 ve %11.7 oranında olmuştur. Şekilde görüldüğü gibi deney malzemeleri düşük sürtünme katsayısından yüksek sürtünme katsayısına doğru 30CE/PEEK, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve saf PAI olarak sıralanabilir. En düşük sürtünme katsayısı 100N yük altında 0.23 değeri ile 30KE/PEEK kompozitinde, en yüksek sürtünme katsayısı saf PAI polimerinde elde edilmiştir.



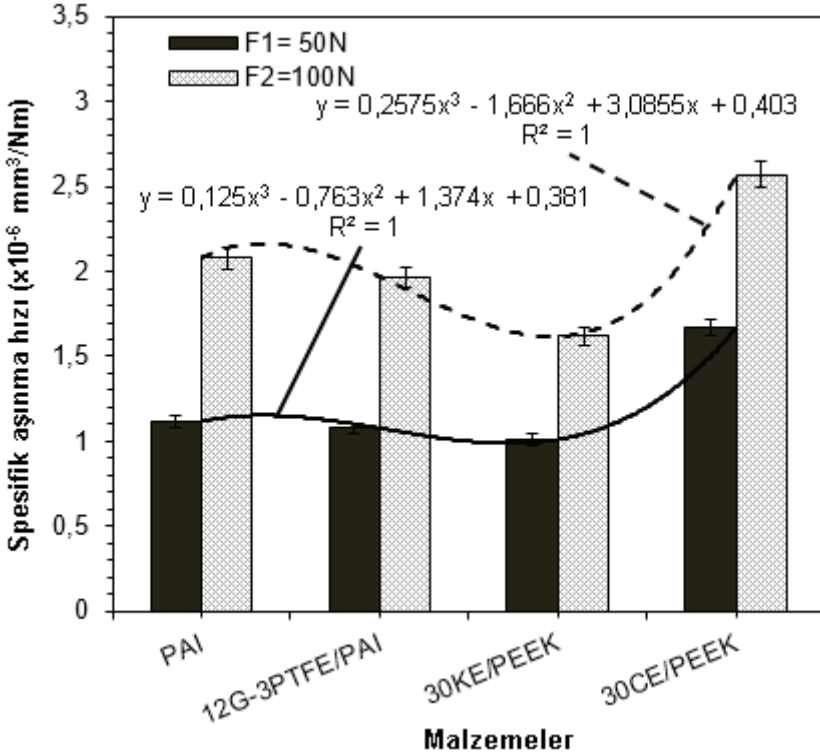
Şekil 4 Saf PAI, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerin farklı yükler altındaki sürtünme katsayısının değişimi (Hız:1,0m/s).

Saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerinin AISI316L paslanmaz çelik diske karşı çalışması durumunda 50N ve 100N yükler altında 0.5m/s kayma hızında spesifik aşınma hızındaki değişimi Şekil 5’de verilirken 1.0m/s kayma hızındaki spesifik aşınma hızındaki değişimi de Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 5’de açıkça görüldüğü gibi en düşük spesifik aşınma hızı 2.08×10^{-7} mm³/Nm değeri ile 12G-3PTFE/PAI polimer kompozitinde elde edilirken en yüksek aşınma hızı ise 9.03×10^{-7} mm³/Nm değeri ile %30 cam elyaf takviyeli PEEK kompozitinde elde edilmiştir. Uygulanan yükün 50N’den 100N’a çıkarılması ile aşınma hızı saf poliamid polimeri ile %12G ve%3 PTFE katkılı poliamid kompozitinde azalma gözlenirken %30 karbon elyaf takviyeli Poli-eter-eter-keton ve %30 cam elyaf takviyeli Poli-eter-eter-ketone kompozitlerinin aşınma hızlarında artış gözlenmiştir.

Şekil 6'da ise PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerinin 1.0m/s kayma hızındaki spesifik aşınma hızı değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi en düşük spesifik aşınma hızı $1.011 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değeri ile %30 karbon elyaf takviyeli PEEK kompozitinde elde edilmiştir. En yüksek spesifik aşınma hızı ise $2.569 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ değeri ile %30 cam elyaf takviyeli Poli-eter-eter-ketone kompozitinde elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi uygulanan yükün artması ile deneylerde kullanılan tüm malzemelerde spesifik aşınma hızı artmıştır. 50N yükten 100N yüke %100 oranında artış yapıldığında saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerindeki spesifik aşınma hızındaki artış oranları ortalama sırasıyla %86, %93, %60 ve %54 civarında elde edilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da elde edilen verilere göre en düşük spesifik aşınma hızı %30 karbon elyaf takviyeli Poli-eter-eter-keton polimer kompozitinde elde edilmiştir. Rulmanlı yatak uygulamalarında deneylerde kullanılan malzemeler arasında en az aşınan malzeme 30KE/PEEK kompoziti olmuştur. Sonra 12G-3PTFE/PAI, 30CE/PEEK ve saf PAI polimeri olmuştur. 30KE/PEEK kompoziti cam elyaf takviyeli PEEK polimerine göre %38, 12G-3PTFE/PAI polimer kompozitine göre %14 ve saf PAI polimerine göre ise %17.8 daha aşınma dirençli olduğu tespit edilmiştir.



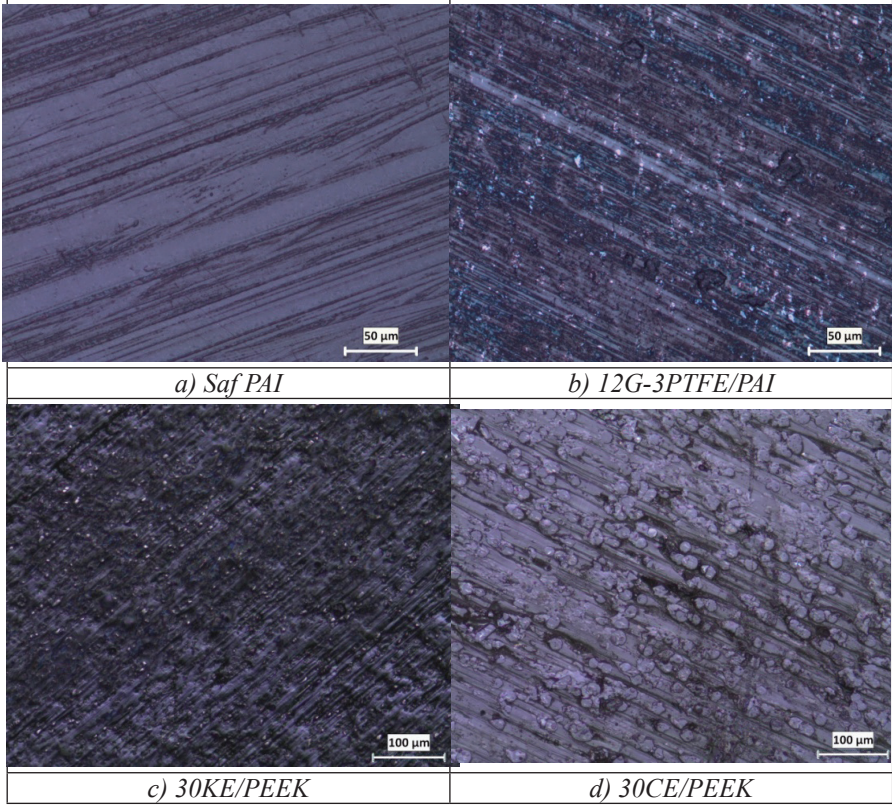
Şekil 5. Saf PAI, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerin farklı yükler altındaki spesifik aşınma hızının değişimi (Hız:0,5m/s).



Şekil 6. Saf PAI, 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerin farklı yükler altındaki spesifik aşınma hızının değişimi (Hız:1,0 m/s).

Şekil 7 (a-d)' da saf PAI polimeri ile 12G-3PTFE/PAI, 30KE/PEEK ve 30CE/PEEK kompozitlerin optik mikroskopta alınan aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Şekil 7a da saf PAI polimerinin aşınma yüzeyinden derin ve geniş aşınma izleri görünmektedir. Bunun sebebi PAI polimeri tok ve yumuşak olduğu için çelik disk yüzeyi ile temasında daha fazla aşındığı ve abrazif aşınma mekanizması görünmektedir. Şekil 7b'de 12G-3PTFE/PAI kompoziti ve Şekil 6c'de 30KE/PEEK kompozitlerinin aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Şekil 7b'de %12G ve %3PTFE katkı PAI polimerinin bünyesinde bulunan katkı yağlayıcılar olan PTFE ve grafit katkıları çelik disk ve polimer malzeme arasında kaydırıcı olarak görev yapmakta olup aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerlerinin azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 7c'de 30KE/PEEK kompozitinin aşınma yüzeyi incelendiğinde daha düzgün ve daha ince aşınma izlerinin olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise PEEK kompoziti bünyesindeki karbon elyafı ilişkili olduğu düşünülmektedir. Karbon elyaf lar matrisin mukavemetini ve rijitliğini artırırken aşınmaya karşı direnç

özelliğini iyileştirmektedir. Şekil 7d'de 30CE/PEEK kompozitin aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. PEEK bünyesindeki cam elyaflar aşınma testi süresince yükün ve hızın artması ile kırılmakta ve bunun sonucunda aşınma hızının arttığı tespit edilmiştir (bakınız Şekil 6). Bu durum ise PEEK polimer matrisle bünyesine ilave edilmiş olan cam elyaflar arasındaki arayüzey bağının zayıflığı ile açıklanabilir.



Şekil 7. Deneylerde kullanılan tüm test numunelerinin kuru kayma şartları altındaki optik mikroskop mikroyapı görüntüleri (Ortam sıcaklığı: $22\pm 2^\circ\text{C}$, Kayma hızı: 1.0m/s , Uygulanan yük: 100N)

4. Sonuçlar:

Bu deneysel çalışmada, Saf poliamid-imid polimeri ile %12 grafit ve %3PTFE katkılı poliamid-imid polimer kompoziti, %30 karbon elyaf takviyeli poli-eter-eter-keton ve %30 cam elyaf takviyeli poli-eter-eter-keton kompozitlerin AISI 316K paslanmaz çelik diske karşı çalışmaları sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

- Tribolojik testlerde kullanılan saf PAI polimeri ile PAI+12G+3PTFE, PEEK+30KE ve PEEK+30CE kompozitlerin sürtünme katsayıları

100N yük ve 1.0m/s kayma hızında sırasıyla 0.36, 0.26, 0.23 ve 0.30 olarak elde edilmiştir.

- Saf PAI polimeri ile PAI+12G+3PTFE, PEEK+30KE ve PEEK+30CE kompozitlerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün 50N'dan 100N'a %200 oranında artırılması ile azalmıştır. Saf PAI polimeri ile deneylerde kullanılan kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değerlerindeki azalma sırasıyla ortalama %5.2, %7.1, %4.1 ve %11.7 oranında olmuştur.

- Saf PAI polimeri ile PAI+12G+3PTFE, PEEK+30KE ve PEEK+30CE kompozitlerin sürtünme katsayıları uygulanan hızın 0.5m/s'den 1.0m/s yani 2 katına çıkarıldığı zaman sürtünme katsayılarında belirgin bir azalma tespit edilmiştir.

- PEEK+30CE kompoziti hariç saf PAI polimeri ile PAI+12G+3PTFE ve PEEK+30KE kompozitlerin sürtünme katsayısı değerlerindeki azalma sırasıyla ortalama %11.9, %5.2 ve %9.6 oranında olmuştur.

- Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan saf PAI polimeri ile PAI+12G+3PTFE, PEEK+30CF ve PEEK+30GF kompozitlerin spesifik aşınma oranları 100N yük ve 1.0m/s kayma hızında 1.011×10^{-6} mm³/Nm ile 2.569×10^{-6} mm³/Nm arasında değişiklik göstermiştir.

- PEEK+30KE ve PEEK+30CE kompozitlerin 0.5m/s kayma hızında spesifik aşınma hızı uygulanan yükün 50N'dan 100N'a %200 oranında artırılması ile %73.3 ve %170 oranında artarken saf PAI polimeri ile PAI+12G+3PTFE kompozitlerin aşınma hızları yaklaşık %37.5 ve %25 oranında azalmıştır.

- En düşük aşınma oranı 50N yük altında ve 1.0m/s kayma hızında %30 karbon elyaf takviyeli PEEK polimer kompozitinde 1.011×10^{-6} mm³/Nm olarak elde edilirken, en yüksek spesifik aşınma hızı ise 100N yük ve 1.0 m/s kayma hızında 2.569×10^{-6} mm³/Nm değeri ile %30 cam elyaf takviyeli PEEK polimer kompozitinde elde edilmiştir.

- Makine sektöründe rulmanlı yatak uygulamalarında, deneylerde kullanılan malzemeler arasında aşınma hızı en düşük olan malzeme 30KE/PEEK kompoziti olarak tespit edilmiştir. Daha sonra 12G-3PTFE/PAI, 30CE/PEEK ve saf PAI polimeri olarak sıralanabilir. %30 karbon elyaf takviyeli PEEK kompoziti, % 30 cam elyaf takviyeli PEEK polimerine göre %38, 12G-3PTFE/PAI polimer kompozitine göre %14 ve saf PAI polimerine göre ise %17.8 daha fazla aşınma dirençli olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Paulo, D., Cardoso, J., Effect of The Reinforcement (Carbon or Glass Fibres) on Friction and Wear Behaviour of the PEEK Against Steel Surface At long Dry Sliding, *Wear*, Cilt 266, Sayfa 795–799, 2009.
- [2] Sumer, M, Unal, H, Mimaroglu, A., Evaluation of Tribological Behaviour of PEEK and Glass Fibre Reinforced PEEK Composite Under Dry Sliding and Water Lubricated Conditions, *Wear*, Cilt 265, Sayfa 1061-1065, 2008.
- [3] Lu, Z. P., And Friedrich, K., On Sliding Friction and Wear of PEEK and Its Composites, *Wear*, Cilt 181–183, Sayfa 624–631, 1995.
- [4] Mimaroglu, A., Unal, H., Arda, T., Friction and Wear Performance of Some Thermoplastic Polymer and Polymer Composites Against Unsaturated Polyester, *Applied Surface Science*, Cilt 252, Sayfa 8139-8146, 2006.
- [5] Zhang G., Liao H., Lia H., Mateus C., Bordes J.-M., Coddet C., On dry sliding friction and wear behaviour of PEEK and PEEK/SiC-composite coatings. *Wear*, 260, 594–600, 2006.
- [6] Yamamoto Y. and Hashimoto M., Friction and wear of water lubricated PEEK and PPS sliding contacts Part 2. Composites with carbon or glass fibre. *Wear*, 257, 181–189, 2004.
- [7] Greco A.C., Erck R., Ajayi O., Fenske G., Effect of reinforcement morphology on high-speed sliding friction and wear of PEEK polymers. *Wear*, 271, 2222– 2229, 2011.
- [8] Lin L., Pei X.-Q., Bennewitz R., Schlarb A. K., Friction and wear of PEEK in continuous sliding and unidirectional scratch tests. *Tribology International*, 122, 108–113, 2018.
- [9] Gao C., Fan S., Zhang S., Zhang P., Wang Q., Enhancement of tribofilm formation from water lubricated PEEK composites by copper nanowires. *Applied Surface Science*, 444, 364–376, 2018.
- [10] Lu Z.P., Friedrich K., On sliding friction and wear of PEEK. *Wear*, 181-183, 624-631, 1995.
- [11] Sukumaran J., DePauw J., Neis P.D., Tóth L.F., DeBaets P., Revisiting polymer tribology for heavy duty application. *Wear*, 376-377, 1321–1332, 2017.
- [12] Friedrich K., Polymer composites for tribological applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 1, 3-39, 2018.
- [13] Friedrich K., Lu Z., Hager A.M., Recent advances in polymer composites tribology. *Wear*, 190, 139-144, 1995.
- [14] Saravanan P., Satyanarayana N., Siong P.C., Duong H. M. and Sinha S.K., Tribology of self-lubricating SU-8+PFPE composite based Lub- tape. *Procedia Engineering*, 68, 497 – 504, 2013.

- [15] Laux K.A., Jean-Fulcrand A., Sue H.J., Bremner T., Wong J.S.S., The influence of surface properties on sliding contact temperature and friction for polyetheretherketone (PEEK).*Polymer*, 103, 397-404, 2016.
- [16] Zhao X., Xiong D., Wu X., Effects of Surface Oxidation Treatment of Carbon Elyafs on Biotribological Properties of CF/PEEK Materials.*Journal of Bionic Engineering*, 14, 640–647, 2017.
- [17] Tharajak J., Palathai T., Sombatsompop N., Recommendations for h-BN loading and service temperature to achieve low friction coefficient and wear rate for thermal-sprayed PEEK coatings.*Surface & Coatings Technology*, 321, 477– 483, 2017.
- [18] Chen B., Wang J., Yan F., Comparative investigation on the tribological behaviors of CF/PEEK composites under sea water lubrication.*Tribology International*,52, 170–177, 2012.
- [19] Qiao H.B., Guo Q., Tian A.G., Pan G.L., Xu L.B., A study on friction and wear characteristics of nanometer Al₂O₃ /PEEK composites under the dry sliding condition.*Tribology International*, 40, 105–110, 2007.
- [20] Elliott D.M., Fisher J., Clark D.T., Effect of counterface roughness and its evolution on the wear and friction of PEEK and PEEK-bonded carbon elyaf composites on stainless steel.*Wear*, 217, 288-296, 1998.
- [21] Davim J.P. and Cardoso R., Effect of the reinforcement (carbon or glass fibres) on friction and wear behaviour of the PEEK against steel surface at long dry sliding.*Wear*, 266, 795–799, 2009.
- [22] Vail J.R., Krick B.A., Marchman K.R., Sawyer W.G., Polytetrafluoroethylene (PTFE) elyaf reinforced polyetheretherketone (PEEK) composites.*Wear*, 270, 737–741, 2011.
- [23] Li E.Z., Guo W.L., Wang H.D., Xu B.S., Liu X.T., Research on Tribological Behavior of PEEK and Glass Elyaf Reinforced PEEK Composite, *Physics Procedia*, 50,453–460, 2013.
- [24] Wang H., Zhang S., Wang G., Yang S., Zhu Y., Tribological behaviors of hierarchical porous PEEK composites with mesoporous titanium oxide whisker.*Wear*, 297, 736–741, 2013.
- [25] Sharma M., Bijwe J., Mitschang P., Wear performance of PEEK–carbon fabric composites with strengthened elyaf–matrix interface.*Wear*, 271, 2261– 2268, 2011.
- [26] Lin L. and Schlarb A.K., Effect of the varied load conditions on the tribological performance and the thermal characteristics of PEEK-based hybrid composites.*Tribology International*, 101, 218–225, 2016.
- [27] Zalaznik M., Kalin M., Novak S., Influence of the processing temperature on the tribological and mechanical properties of poly-ether-ether-ketone(-PEEK) polymer. *Tribology International*, 94, 92–97, 2016.

- [28] Akagaki T, Nakamura T, Hashimoto Y. and Kawabata M, Effects of Material Combinations on Friction and Wear of PEEK/Steel Pairs under Oil- Lubricated Sliding Contacts.Journal of Physics: Conf. Series, 843, 01-2071, 2017.
- [29] Jean-Fulcrand A., Masen M.A., Bremner T., Wong J.S.S., High temperature tribological properties of polybenzimidazole (PBI).Polymer, 128, 159-168, 2017.
- [30] Niemiec A. and Sokolska J., Study of PEEK as a friction lining concerning abrasion wear of parts of mining machines.International Conference Engineering Machines, 354, 601–604, 2018.
- [31] Lind J, Lindholm P, J. Qin and Rudolphi Å.K., Friction and wear studies of some PEEK materials.Finnish Journal of Tribology, 33, 20-28, 2015.
- [32] Karpe G.G., Dhamejani C.L., Investigation of Tribological Behavior of PEEK Composite with Glass Elyaf Filled under Harsh Operating Condition.Ijariie,2(1), 271-279, 2016.
- [33] Fontoura de Andrade T., Wiebeck H. and Sinatora A., Effect of surface finishing on friction and wear of Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) under oil lubrication.Polímeros, 26(4), 336-342, 2016.
- [34] Petrica M., Duscher B., Koch T., Archodoulaki V.M., Studies on Tribological Behavior of PEEK and PE-UHMW.American Institute of Physics Proceedings, 1779, 70001(1-5), 2016.
- [35] Zsidai L. and Kátai L., Abrasive Wear and Abrasion Testing of PA 6 and PEEK Composites in Small-Scale Model System.Acta Polytechnica Hungarica, 13(6), 193-214, 2016.
- [36] Kadu R.L., Karandikar P.M., Mankar N.A., Kharde R.R., Comparative study for Tribological Properties of PEEK with Filler Materials.International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 33(2), 96-102, 2016.
- [37] Avanzini A., Donzella G., Mazzu A., Petrogalli C., Wear and rolling contact fatigue of PEEK and PEEK composites.Tribology International, 57, 22– 30, 2013.
- [38] https://filizplastik.com.tr/_userfiles/dosyalar/urun/peek-polietereketon/peek.pdf, 2021.
- [39] https://media.mcam.com/fileadmin/quadrant/documents/QEPP/Global/English/Product_Data_Sheets_AEP/Duratron_T4301_PA1_PDS_GLOB_E_19092016.pdf, 2021.
- [40] <https://www.metaluzmani.com/kompozitler/> 2021.