

İnşaat Mühendisliğinde Güncel Araştırmalar

Editör
KURTULUŞ ARTIK

BİDGE Yayınları

İnşaat Mühendisliğinde Güncel Araştırmalar

Editörler: Kurtuluş ARTIK

ISBN: 978-625-372-266-1

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.06.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	3
Binalardan salınan kömür emisyonlarını azaltmak için optimal baca tasarımı; İstanbul örneği.....	4
Ahmet Karahan.....	4
Figen Balo	4
Hidrolojide Optimizasyon Uygulamaları ve Kullanım Alanları	28
Levent BÜTÜN	28
Önder KOÇYİĞİT	28
Zemin Stabilizasyonunda Geopolimer Kullanılması	50
Onur SARAN	50
Toplu Taşıma Sistemlerinin Hizmet Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Yöntemler.....	71
Polat YALINIZ.....	71
Şafak BİLGİÇ.....	71
Polimerlerin ve Polimer Kompozitlerin Yanıcılık Karakterizasyonunda Kullanılan Laboratuvar Teknikleri.....	95
Ceyda BİLGİÇ	95
Şafak BİLGİÇ.....	95
Doğu Karadeniz Havzası, Rize ili Özelinde Taşkın koruma Yapı Tiplerinin belirlenmesi	123
Çağla ÇOLAK.....	123

BÖLÜM I

Binalardan salınan kömür emisyonlarını azaltmak için optimal baca tasarımı; İstanbul örneği

Ahmet Karahan¹
Figen Balo²

1. Giriş

Endüstriyel ve konut inşaatlarındaki küresel enerji harcamaları, 21. yüzyılın üçüncü on yılında en önemli endişelerden biri haline gelmiştir. Binalar en büyük enerji tüketicileri arasında yer aldığından, iklim değişikliğini hızlandırmakta ve çevreyi tehdit eden küresel ısınmaya da önemli katkılarda bulunmaktadır [1-3]. Binalarda kullanılan fosil yakıt tüketiminin ana yan ürünleri karbondioksit bileşikleridir. Binalar, inşaat aşamasından itibaren enerji tüketmektedir. Örneğin, hammadde işleme ve ürün imalatı en büyük sera gazı emisyonlarına sebep olan ana kaynaklardır [4, 5].

¹ Öğretim Görevlisi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 0000-0002-3954-8685

² Prof.Dr., Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 0000-0001-5886-730

Bu nedenle, bir binanın konfor koşullarında olmasının yanı sıra verimli şartlarda işletilmesi son derece önemlidir. Enerji verimliliği, bir binanın kullandığı enerji kaynağını tüketmesi esnasında yaşamsal kalite standartlarını azaltacak farklılaştırmalar yapmadan istenen koşulları yaratabilmesidir [6]. Verimli bir bina tasarlarırken dikkat edilmesi bazı konular aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Bir binanın işletim sistemine destek olacak ekipman ve cihazlar doğru stratejileri uygulayarak çalışacak şekilde tasarıma dahil edilmelidir.
- Büyük mekanizmalar içeren sistemlerde etkin bir simülasyon programı kullanılarak optimum işletme şartları sağlanmalıdır. Bu yapılırken bina otomasyon sistemi için alternatif senaryoların en uygun ve akılcı seçeneklerle bölgesel iklim şartları göz ardı edilmeksizin kurgulanması enerjinin optimum kullanılması açısından önemlidir.
- Enerji tüketimine ait önemli parametrelerin belli aralıklarla ölçülmesini ve izlenmesini içeren sistemler mekanizmaya dahil edilmelidir.
- Kullanıcı odaklı olacak şekilde bir sistem inşa edilmelidir.

İşletmelerdeki, sistem ve makinaların işlem yapabilmesi ve binalarda da ısınma sağlanabilmesi için bir ısıtma cihazında gerçekleşen yanma işleminin sonucunda ortaya çıkan enerji miktarını verimli bir şekilde kullanarak elde edilen enerji ile sistemin verimli çalışması sağlanmalıdır. Oluşan yanma olayı sonunda, cihaz hangi enerji kaynağını kullanıyorsa, o enerji kaynağının oksijen ile

oluşan reaksiyonu sonucu, kül ve gaz vb. atık maddeler ortaya çıkmaktadır [7]. Tasarlanacak baca sistemi aracılığıyla ortaya çıkan zararlı emisyonların çevre için olabildiğince az zararlı olacak biçimde atmosfere atılması gerekmektedir. Bacaların tasarımının bölgesel koşullara, bulunduğu yapıya ve sistemlere olan adaptasyonunun uyumlu olması gerekmektedir. Bu sayede baca sisteminden atılan kirleticilerin iç ortama zarar vermeden güvenli bir biçimde atmosfere gönderilmesi, çevresel açıdan, insan sağlığı bakımından, enerji kaynağının tüketimi esnasında verimliliğin sağlanması yönünden ve yapısal ve sistemsel tahribatları olabildiğince azaltma konusunda oldukça önem arz etmektedir [8]. Optimal çerçevede parametrelerin hesaplanarak tüm baca sisteminde bu detaylarla mekanizmanın kurulmasıyla, kullanımda olan ısıtma cihazının kapasitesi, yükseklik, kullanılan sistemin ve enerji kaynağının çeşidi vb. tüm detaylar belirlenmelidir. Örneğin, baca sistemine uygun tasarım yaparken özellikle negatif basınca karşı işletilen sistemler (Kömürlü kazanlar, sıvı yakıtla çalışan kazanlar, atmosferik brülörle sahip kazanlar, yüksek basınçta üfleme brülörüne sahip kazanlar, alçak basınçta üfleme brülörüne sahip kazanlar vb.) için yapılacak hesaplamalarla oluşturulan vakum etkisiyle, çalışabilen doğal çekişli sistemlerde baca sistemi içerisindeki basınç baca sisteminin dışarısındaki basınç değerinden daha az olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bahsedilen ısıtma cihazları için tasarlanan baca sistemleri için genellikle contasız olarak birbirine geçen sistem bacaları tasarımları için tüm parametreler vakum oluşturacak şekilde hesaba dahil edilmelidir [9].

Bilgisayar sistemlerinin ve teknolojinin hızla gelişmesi neticesinde son yıllarda birçok hesaplama için olduğu gibi optimal

parametreler dahilinde bir baca sisteminin projelendirilmesi için de simülasyon programlarından faydalanılmaktadır. Kullanılan programlar aracılığıyla bahsedilen hesaplamalar güvenli ve kolayca bir biçimde yapılarak analiz sonuçları elde edilebilmektedir.

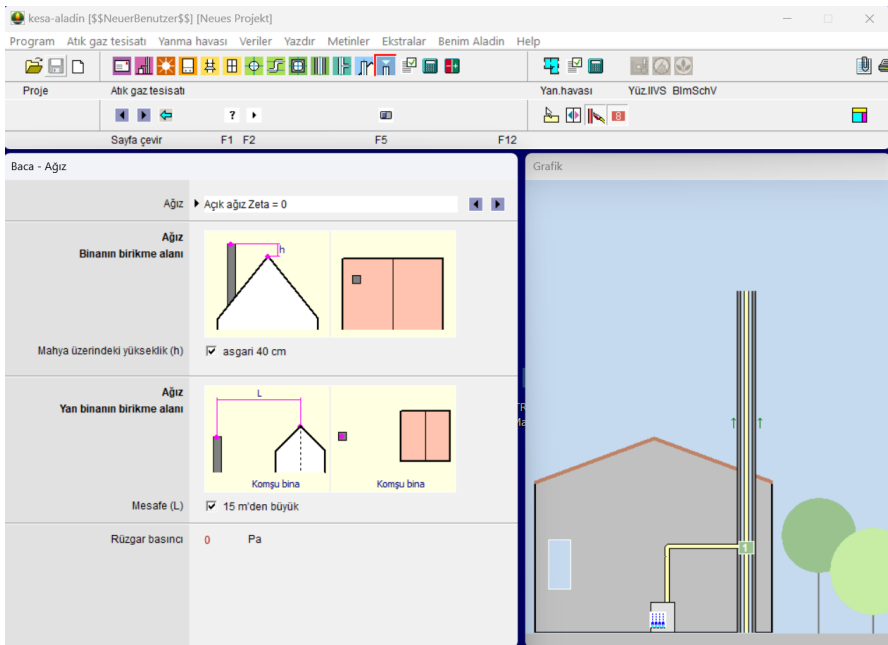
KesaAladin simülasyon programı, Avrupa standartlarına göre bacaların hesaplanmasına yönelik bir yazılımdır. KesaAladin simülasyon programı kullanıcıların kısa süre zarfında doğru sonuçları elde etmesine yardımcı olan bir simülasyondur. Basit ve karmaşık ısıtma cihazı içeren tesislerin yanı sıra yoğuşmalı ve yoğuşmasız kazanları da yönetebilir. KesaAladin simülasyon programı, genel olarak çok etmenli ve fazla katmanlı baca sistemi hesaplarını otomatik bir şekilde analiz edebilir. Ayrıca kurulumun grafiksel bir gösterimini ve sonuçların ayrıntılı bir raporunu da sağlamaktadır [10]. Görsel 1’de KesaAladin simülasyon programının ara yüzü sunulmuştur.

Bu çalışmada, 250 000 kcal/h’lık katı yakıtla çalışan bir ısıtma cihazı ile ısı enerjisi ihtiyacını karşılayan küçük bir işletme için İstanbul ili iklimsel şartları dikkate alınarak daha az enerji kaynağı kullanabilecek ve dolayısıyla atmosfere daha az emisyon salınımına izin verecek optimum şekilde tasarlanmış bir baca sistemi

için karşılaştırmalı analizler KesaAladin simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle küçük bir işletme binası için gerekli iç ortam sıcaklıkları ile birlikte tasarlanan baca için İstanbul iline uygun seçilen iki farklı malzeme ile dört farklı baca formuna ait bilgiler EN 13384 Avrupa standardına göre hesaplama yapan KesaAladin simülasyon programına işlenmiştir. Daha sonra, tasarlanan farklı baca alternatiflerine göre analizler yapılmıştır.

Analiz sonuçları için alınan her raporun sonucu ile oluşturulan tablolar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Çevreye salınan emisyon miktarları ve bu emisyonların tasarımıyla çevre kirliliğine etki oranlarını belirlemeye yarayan parametrelerle birlikte değerlendirilmesiyle kömür emisyonlarını diğer alternatiflere göre daha az atmosfere salınmasına imkan sağlayabilecek tasarım malzemeleri ve baca formu belirlenmeye çalışılmıştır.

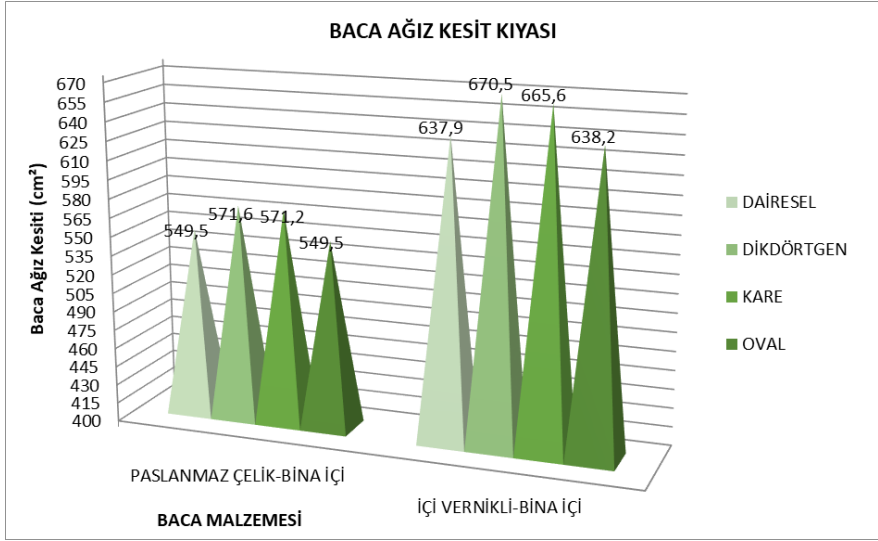
Görsel 1. KesaAladin simülasyon programının ara yüzü



2. Analiz sonuçları ve değerlendirmeler

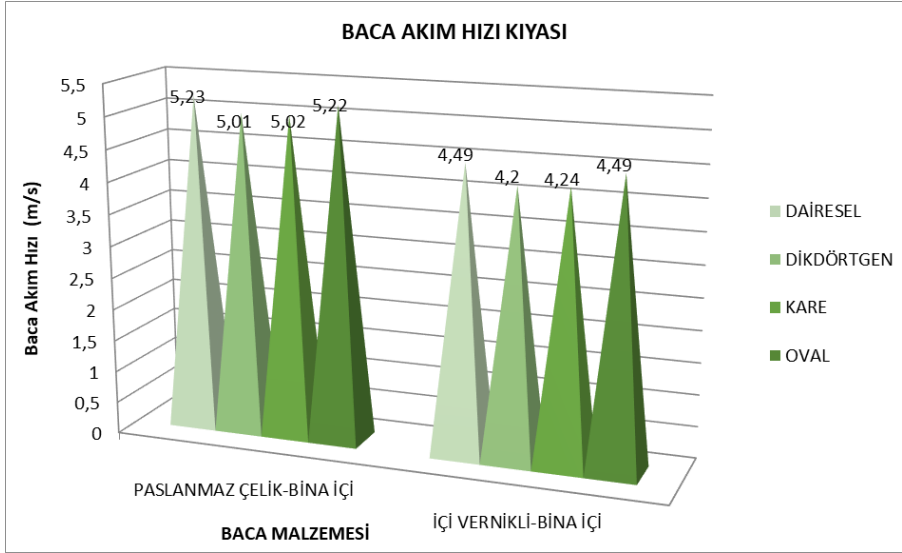
Bu çalışmada, KesaAladin profesyonel baca hesaplama yazılımı ile İstanbul ilinde tasarlanan küçük bir işletme için 250 000 kcal/h kapasitesinde kömürlü kazanla bağlantılı baca sisteminin dört farklı baca formunda ve iki farklı malzeme ile tasarlanması

durumunda çevresel kirleticiler açısından performans parametreleri aşağıda verilen karşılaştırmalı grafikler kullanılarak araştırılmıştır.



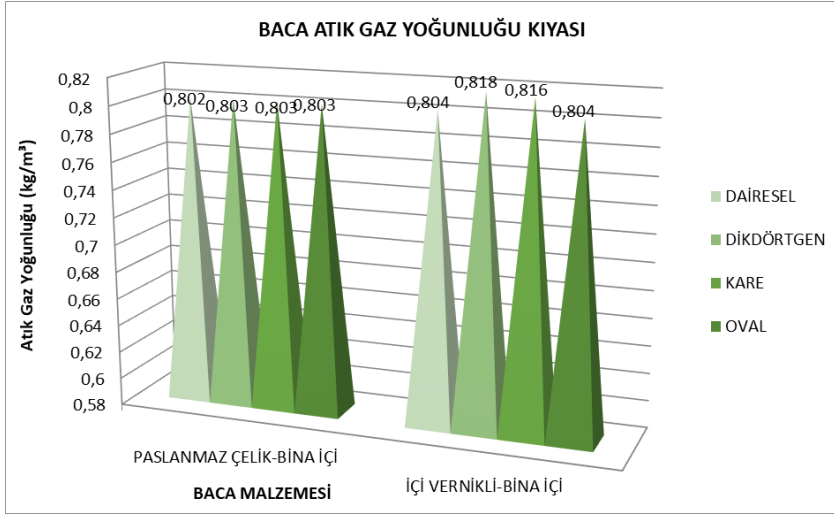
Şekil 1. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca ağız kesit karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca ağız kesiti karşılaştırması Şekil 1’de verilmiştir. En büyük baca ağız kesiti çapı dikdörtgen formda baca kesitli sistem için içi vernikli seramik malzemeyle 670.5 cm² olarak bulunmuştur. En küçük baca ağız kesiti çapı hem oval hem de dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik malzemeyle 549.5 cm² olarak bulunmuştur.



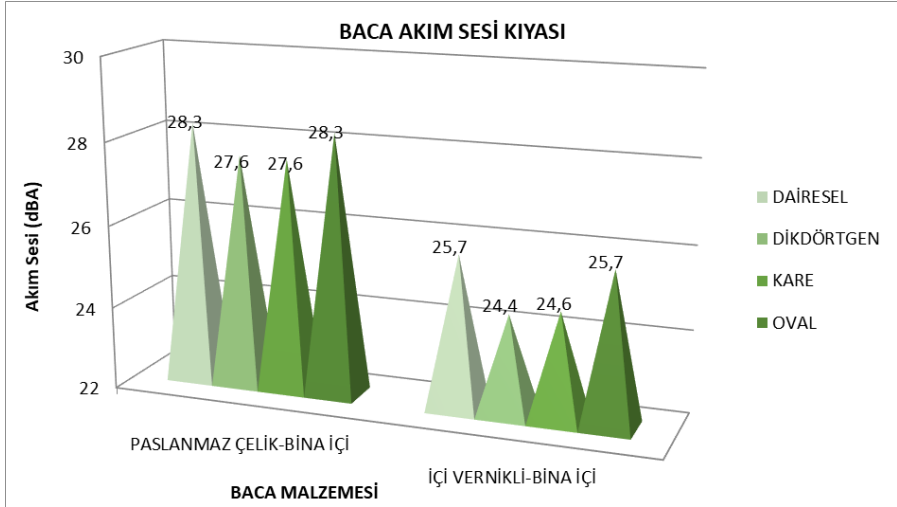
Şekil 2. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca akım hızı karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca akım hızının karşılaştırması Şekil 2’de sunulmuştur. En düşük baca akım hızı, bina içinde içi vernikli seramik malzemesiyle, dikdörtgen formda baca kesitli sistem için 4.2 m/s olarak belirlenmiştir. En yüksek baca akım hızı dairel formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzeme için 5.23 m/s olarak tespit edilmiştir.



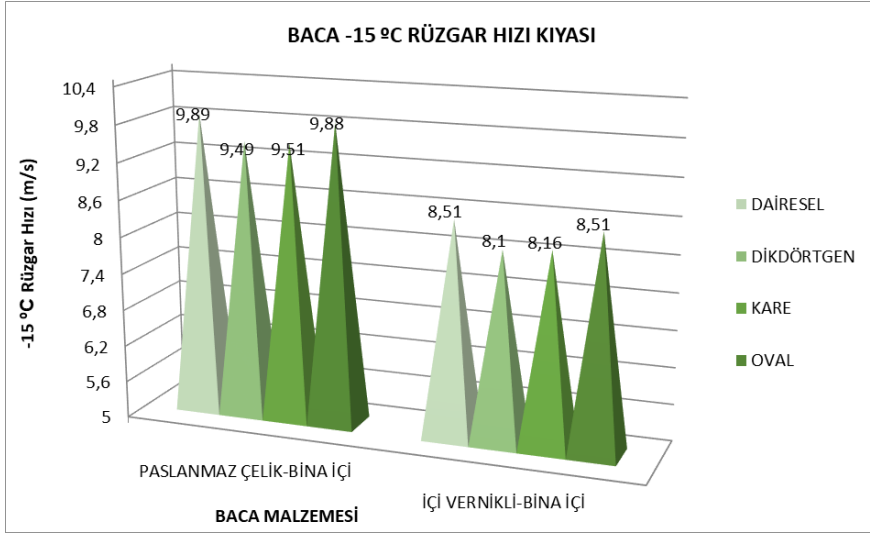
Şekil 3. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca atık gaz yoğunluğu karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca atık gaz yoğunluğu karşılaştırması Şekil 3’de sunulmuştur. En yüksek baca atık gaz yoğunluğu bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle dikdörtgen formda baca kesitli sistemde 0.818 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. En düşük baca atık gaz yoğunluğu daire sel formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 0.802 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir.



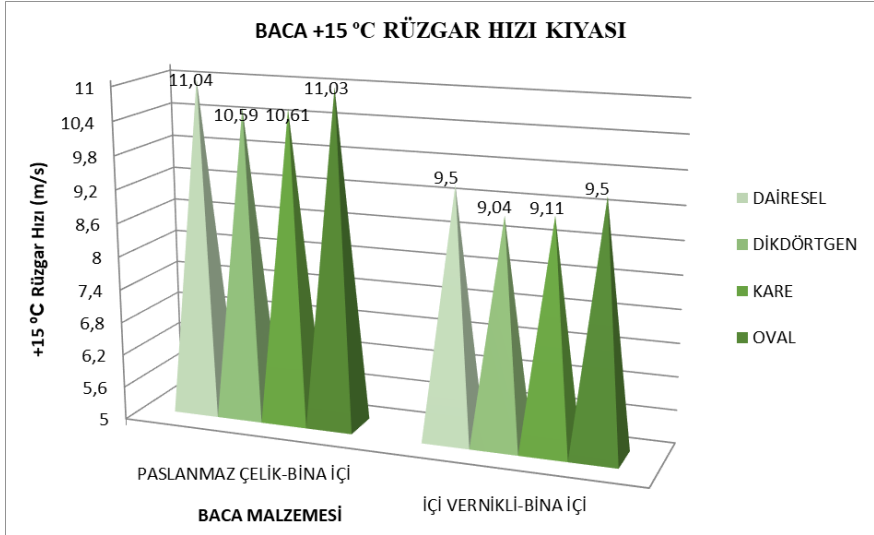
Şekil 4. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca akım sesi karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca akım sesi karşılaştırması Şekil 4’de detaylandırılmıştır. En yüksek baca akım sesi, bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle hem dairesel hem de oval formda baca kesitli sistemde 28.3 dBA olarak tespit edilmiştir. En düşük baca akım sesi, bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle dikdörtgen formda baca kesitli sistemde 24.4 dBA olarak belirlenmiştir.



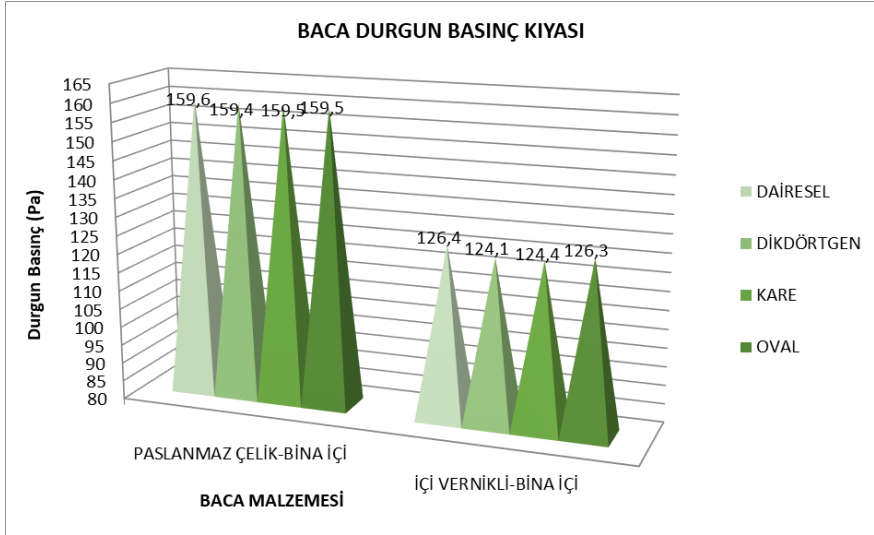
Şekil 5. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca -15°C rüzgar hızı karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca -15°C rüzgar hızı karşılaştırması Şekil 5’da verilmiştir. En düşük baca -15°C rüzgar hızı daireysel formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle 8.1 m/s olarak belirlenmiştir. En yüksek baca -15°C rüzgar hızı daireysel formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 9.89 m/s olarak bulunmuştur.



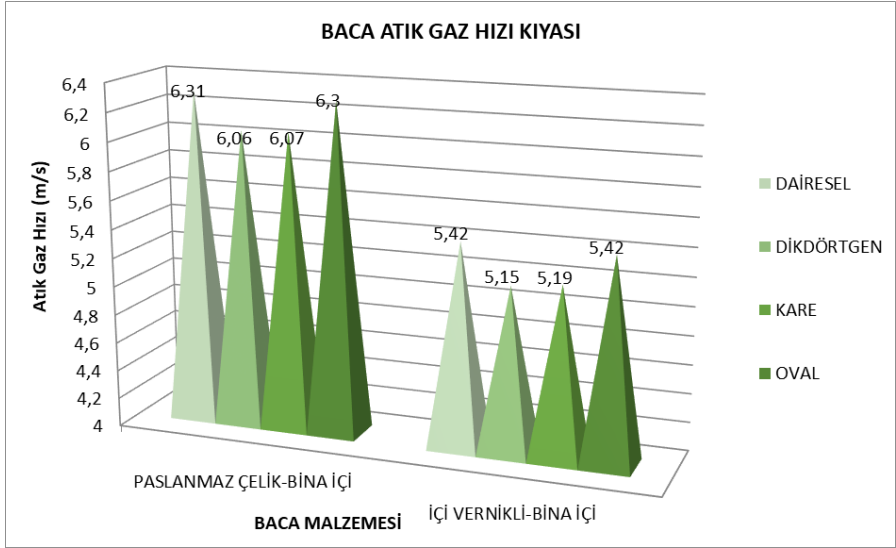
Şekil 6. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca +15°C rüzgar hızı karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca +15°C rüzgar hızı karşılaştırması Şekil 6’da verilmiştir. En yüksek +15°C rüzgar hızı bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle daire sel formda baca kesitli sistemde 11.04 m/s olarak elde edilmiştir. En düşük +15°C rüzgar hızı bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle dikdörtgen formda baca kesitli sistemde 9.04 m/s olarak bulunmuştur.



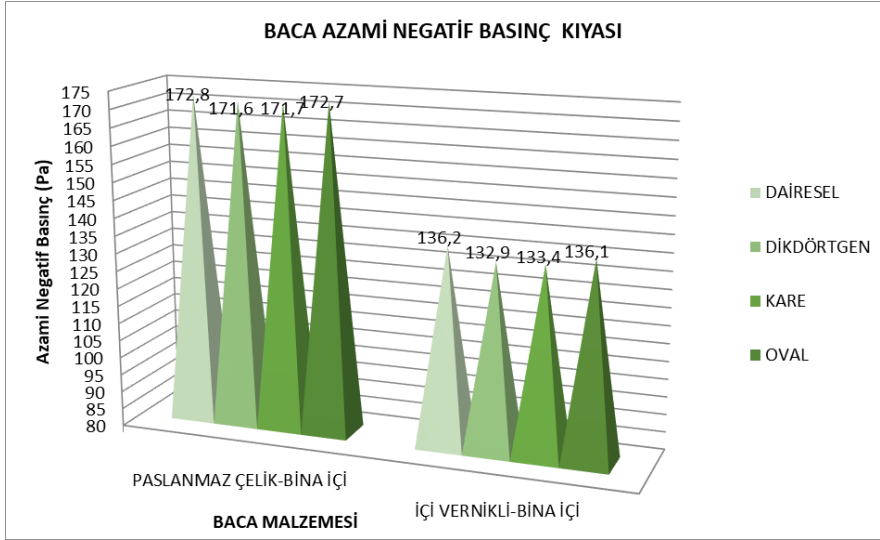
***Şekil 7.** Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca durgun basınç karşılaştırması*

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli bacalar için durgun basınç karşılaştırması Şekil 7’de sunulmuştur. En yüksek baca durgun basınç değeri dairesele formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 159.6 Pa olarak analiz edilmiştir. En düşük baca durgun basınç değeri dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle 124.1 olarak Pa elde edilmiştir.



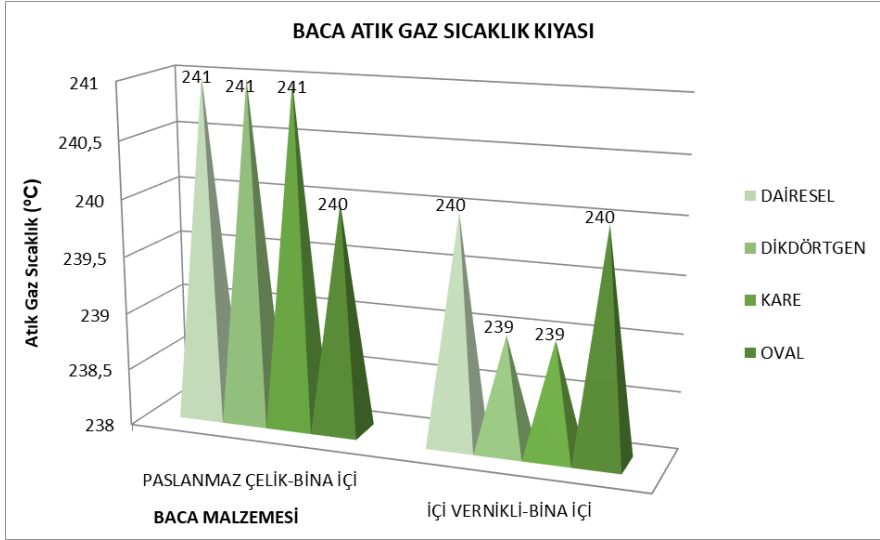
Şekil 8. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca atık gaz hızı karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca atık gaz hızı karşılaştırması Şekil 8’da detaylandırılmıştır. En yüksek baca atık gaz hızı daireSEL formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 6.31 m/s olarak belirlenmiştir. En düşük baca atık gaz hızı dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle 5.15 m/s olarak bulunmuştur.



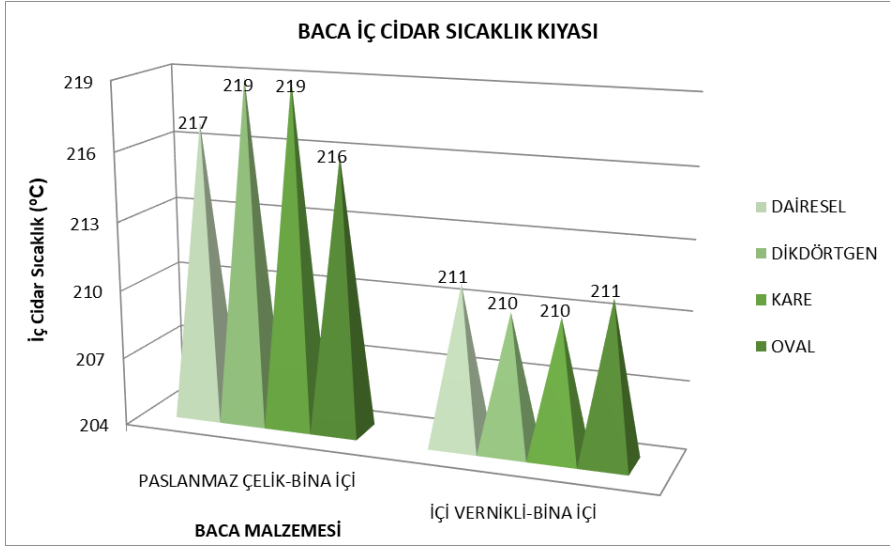
Şekil 9. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca azami negatif basınç karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli bacalar için azami negatif basınç karşılaştırması Şekil 9’de sunulmuştur. En yüksek baca azami negatif basınç değeri dairesel formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeye 172.8 Pa olarak analiz edilmiştir. En düşük baca azami negatif basınç değeri dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeye 132.9 Pa olarak belirlenmiştir.



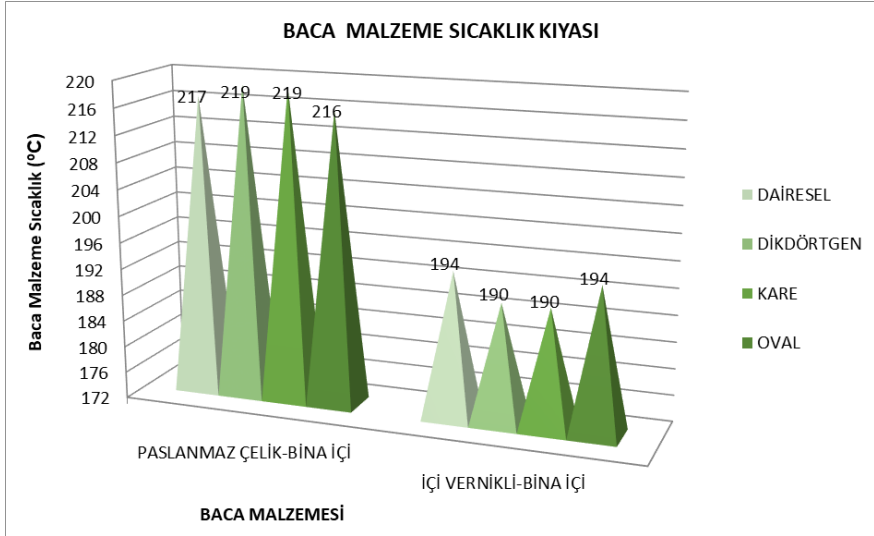
Şekil 10. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca atık gaz sıcaklık karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca atık gaz sıcaklık karşılaştırması Şekil 10'de verilmiştir. En yüksek baca atık gaz sıcaklığı değeri dairesel, kare, ve dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 241⁰C olarak tespit edilmiştir. En düşük baca atık gaz sıcaklığı değeri, kare ve dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle 239⁰C olarak analiz edilmiştir.



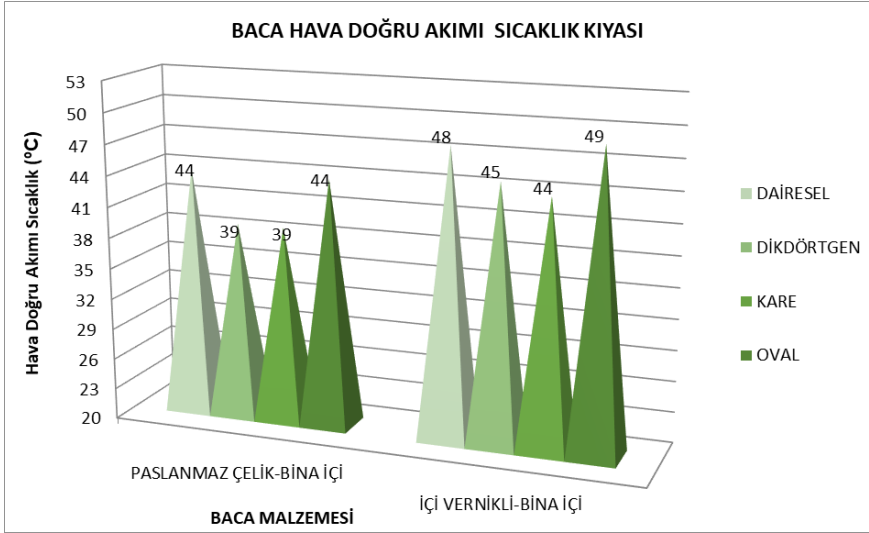
Şekil 11. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli bina içi-bina dışı bacanın iç cidar sıcaklık karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli bina içi-bina dışı bacanın iç cidar sıcaklık karşılaştırması Şekil 11’de gösterilmiştir. En yüksek bina içi-bina dışı bacanın iç cidar sıcaklığı değeri kare ve dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 219 °C olarak analiz edilmiştir. En düşük bina içi-bina dışı bacanın iç cidar sıcaklığı değeri kare ve dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle 210 °C olarak tespit edilmiştir.



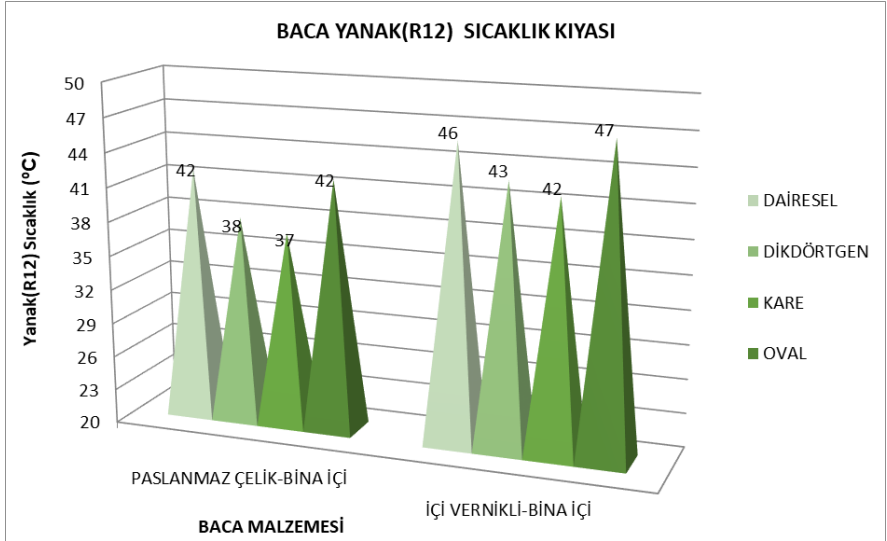
Şekil 12. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca malzemesi sıcaklık karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca malzemesi sıcaklık karşılaştırması Şekil 12’de sunulmuştur. En yüksek baca malzemesi sıcaklığı hem kare hem de dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeye 219⁰C olarak belirlenmiştir. En düşük baca malzemesi sıcaklığı hem kare hem de dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeye 190⁰C olarak bulunmuştur.



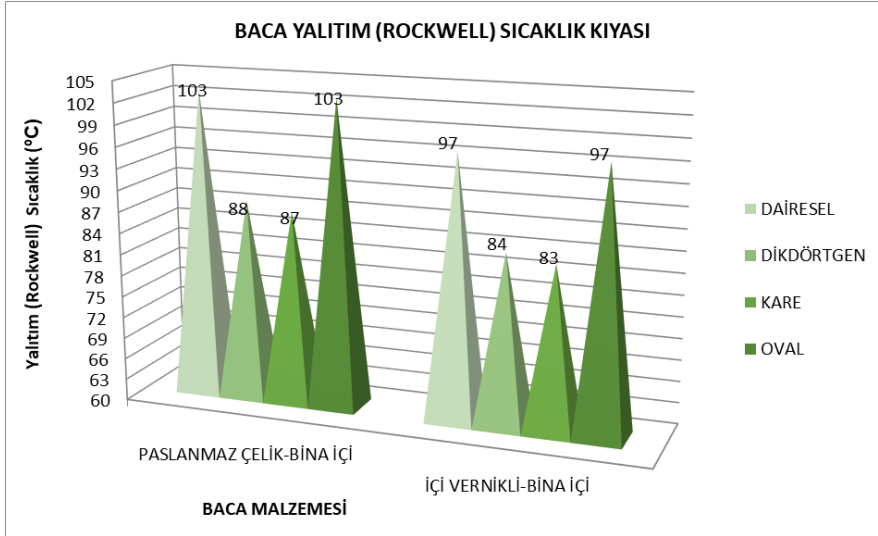
Şekil 13. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca hava doğru akımı sıcaklık karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca hava doğru akımı sıcaklık karşılaştırması Şekil 13’da verilmiştir. En yüksek baca hava doğru akım sıcaklığı oval formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeye 49⁰C olarak analiz edilmiştir. En düşük baca hava doğru akım sıcaklığı hem kare hem de dikdörtgen formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeye 39⁰C olarak elde edilmiştir.



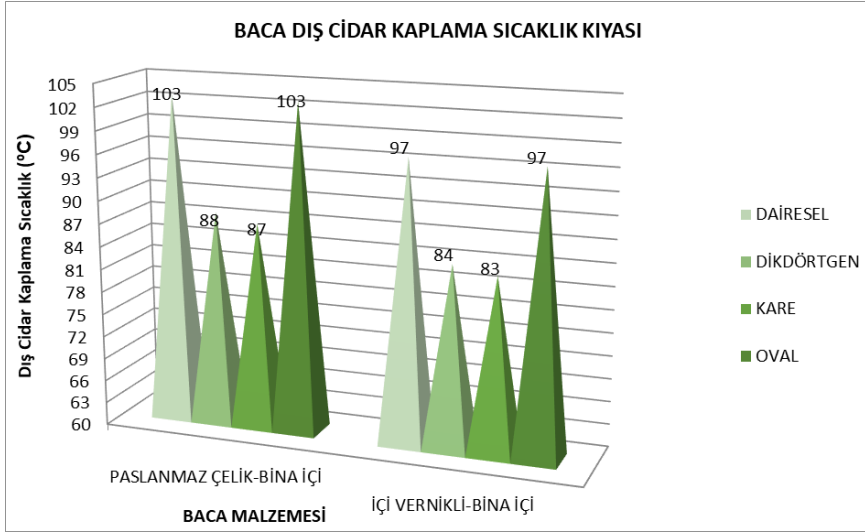
Şekil 14. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca yanak (R12) sıcaklık karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca yanak (R12) sıcaklık karşılaştırması Şekil 14’de gösterilmiştir. En yüksek baca yanak (R12) sıcaklık değeri, oval formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeye 47⁰C olarak analiz edilmiştir. En düşük baca yanak (R12) sıcaklık değeri, kare formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeye 37⁰C olarak belirlenmiştir.



Şekil 15. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca yalıtım malzemesi (taş yünü) sıcaklık karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca yalıtım malzemesi (taş yünü) sıcaklık karşılaştırması Şekil 15’de detaylandırılmıştır. En yüksek baca yalıtım malzemesi (taş yünü) sıcaklık değeri hem daireSEL hem de oval formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeye 103⁰C olarak analiz edilmiştir. En düşük baca yalıtım malzemesi (taş yünü) sıcaklık değeri kare formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeye 87 ⁰C olarak analiz bulunmuştur.



Şekil 16. Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca dış cidar kaplama malzemesi sıcaklık karşılaştırması

Dairesel, oval, kare ve dikdörtgen formda bina içi paslanmaz çelik ve içi vernikli baca dış cidar kaplama malzemesi sıcaklık karşılaştırması Şekil 15’de görselleştirilmiştir. En yüksek baca paslanmaz çelik dış cidar kaplama malzemesi sıcaklığı, hem dairesele hem de oval formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 103 °C olarak belirlenmiştir. En düşük baca paslanmaz çelik dış cidar kaplama malzemesi sıcaklığı, kare formda baca kesitli sistemde bina içinde içi vernikli seramik malzemeyle 83 °C olarak bulunmuştur.

3. Sonuç

Endüstriyel amaçlı veya konutlar için tasarlanan bacalar; koku, buhar, duman, toz, gaz ve ısı atıklarını kontrol etmek için kullanılabilen önemli sistemlerdir. Bacaların malzemeleri, boyutları

ve diğerk özellikleri, tesisin kullanım amacına ve kapasitesine göre değışebilir. Baca tasarımında kullanılan malzemeler baca sisteminin ve ısıtma cihazının enerji verimliliğine etki edebilir.

Bu çalışmada, 250 000 kcal/h kapasitesinde kömürlü ısıtma cihazına sahip küçük bir işletme için çevreye duyarlı optimal baca planlaması İstanbul ili iklim şartlarında tasarlanmaya çalışılmıştır. KesaAladin profesyonel baca hesaplama yazılımı kullanılarak EN 13384 Avrupa standardına göre iki farklı malzeme ile dört farklı baca formu dikkate alınarak alternatifler oluşturulmuştur. Tasarlanan tüm alternatif senaryoların yapılan analizlerine ait sonuç raporları grafiklerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. En düşük baca atık gaz yoğunluğu dairesel formda baca kesitli sistemde bina içinde paslanmaz çelik malzemeyle 0.802 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Dikdörtgen formda baca kesitli sistemde içi vernikli seramik malzemeyle elde edilen en yüksek baca atık gaz yoğunluk değerine göre atmosfere atılan sera gazı miktarının %1.95 daha az olabileceğı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi MF.24.38 no'lu proje tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] E. Useia, International energy outlook 2018 - highlights. https://www.eia.gov/pressroom/presentations/capuano_07242018.pdf, 2018.

[2] J.G. Olivier, K. Schure, J. Peters, Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017, p. 5.

[3] R. American Society of Heating, I. Air Conditioning Engineers, ASHRAE Fundamentals Handbook 2001 (SI, American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers, Incorporated, 2001.

[4] Terhan, M., Çomaklı, K. (2015). “Baca Gazı Atık Isısı ile Kazan Yakma Havaının Ön Isıtılmasının Fizibilitesi,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 668, s. 56-63.

[5] Zdzislaw, P. (2019). Failure of a steel boiler chimney caused by corrosion of the structural shell plate. ICSF 2019 MATEC Web of Conferences 284,09007. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928>.

[6] Kılıç, A., Alkan, N., Solmaz, Ö ve Yılmaz, T. (2009) Bacalar. İğdaş Yayınları-22 ISBN: 978-975-7003-22-9, İstanbul

[7] Chandra, K., Kain, V., Dey, G. K. (2011). Accelerated Corrosion of a Boiler Chimney: Causes and Preventive Steps. J Fail. Anal. and Preven. (2011) 11:466–472. DOI 10.1007/s11668-011-9474-8

[8] Aksoy, B.A., Solmaz, Ö ve Aksoy Y. (2018). Baca gazlarının ekserji analizi ve yapay sinir ağıları ile modellenmesi. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(4), 610-615, 2018.

[9] Sinaga, A.J., Simanjuntak, S ve Manurun C. (2020). SJoME Vol. I No. 2, Maret 2020. E-ISSN 2685-8916.

[10] <https://www.a-baca.com/kesa-baca-hesabi/>

BÖLÜM II

Hidrolojide Optimizasyon Uygulamaları ve Kullanım Alanları

Levent BÜTÜN¹
Önder KOÇYİĞİT²

Giriş

Günümüzde mühendisliğin birçok alanında optimizasyon kavramı duyulmakta ve kullanılmaktadır. Makine mühendisliğinden, inşaat mühendisliğine, endüstriden kimyaya kadar birçok mühendislik uygulaması ve problemlerinde uygun yaklaşım ve çözüm önerilerinde bu kavram karşımıza çıkmaktadır. Tanım olarak en iyileme, en iyiye ulaşma anlamını taşıyan optimizasyon, inşaat ve çevre mühendisliği uygulamaları içerisinde yer alan hidroloji konulu çalışmalara da dahil olmuştur. Bir

¹ Doktora Öğrencisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara/Türkiye, Orcid: 0000-0003-4061-8959, leventbutunn@gmail.com

² Dr. Öğretim Üyesi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara/Türkiye, Orcid: 0000-0002-1350-4238, kocyigito@gmail.com

Bu çalışma Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yapılan Doktora tezinden üretilmiştir.

modelleme çalışmasında kullanılmak üzere belirlenen bir hedefe ulaşmak amacıyla optimizasyon algoritmaları kullanılabilir. Özellikle hidrolojik modelleme ve modellerin kalibrasyonu aşamalarında belirlenen hataların azaltılması amacıyla optimizasyon yöntem ve algoritmaları geliştirilmiş, kullanılmış ve birçok sürece dahil edilmiştir. Bu açıdan bakıldığında optimizasyon kavramının hidroloji çalışmalarında kullanımının yaygınlaşarak devam edebileceği öngörülmektedir. Özellikle disiplinler arası çalışmaların içerisinde tanımlanan bir amaç ve bu amaç doğrultusunda uygun çözümlerin aranması hidroloji çalışmalarında da kullanılmaktadır. Bu kapsamda çalışma içerisinde hem optimizasyon hakkında genel bir bilgilendirme hem de hidroloji ilişkili optimizasyon uygulamalarının kullanımı ile ilgili bir literatür özeti ve bazı özel uygulama örnekleri sunulmuştur.

Optimizasyon

Optimizasyon kavramı genel olarak **en iyileme** şeklinde ifade edilebilse de bu kavramda içeriği gereği “en iyi” tanımının detaylandırılması gerekmektedir. Çünkü en iyi kavramı bazen en çoğu, bazen en azı bazen ise en çok ve en azı belirli kısıtlarla birlikte düşünmeyi gerektirir. Optimizasyon, belirli kısıtlamaları karşılarken belirli bir operasyondan en iyi sonucu elde etmekle ilgilidir (Haftka ve Gürdal, 1992). En genel anlamda optimizasyon teorisi, tüm olası alternatifleri açıkça sıralamak ve değerlendirmek zorunda kalmadan, bir dizi alternatif için en iyi adayı bulmaya ve tanımlamaya yönelik matematiksel sonuçlar ve sayısal yöntemler bütünüdür (Ravindran, Reklaitis ve Ragsdell, 2006).

Belirli bir problem için hedefi, değişkenleri ve kısıtlamaları belirleme sürecinin modelleme olarak tariflendiğini hatırlatan

Wright ve Nocedal (2006), tarafından uygun bir modelin oluşturulmasının optimizasyon sürecinin ilk adımı bazen de en önemli adımı olduğunu belirtmektedir. Eğer model çok basitse, pratik soruna ilişkin faydalı bilgiler vereceği gibi çok karmaşık olması durumunda çözülmesi çok zor süreç olabilir (Wright ve Nocedal, 2006).

“Türkçeye sonradan dâhil edilen eniyileme kelimesinin Batı dillerindeki kökeni Latince ’deki “Optimas” kelimesine dayanmaktadır. Bu kelime köken itibari ile “Ops” sözcüğüne bağlanmakta olup M.Ö. 8’inci yüzyılda Roma mitolojisine giren ve İtalya’da yaşamış Sabine kabilesine ait yeryüzü tanrıçasının adıdır. Tanrıçanın adı, seçenek anlamı ile beraber tarımda bereket ve bolluğu da temsil etmektedir. “Ops”, Yunan mitolojisindeki “Rhea” tanrıçasının Roma medeniyetindeki karşılığıdır. “Rhea” ise Anadolu topraklarında somutlaştırılan ve genel manada dağların ve doğanın tanrıçası olan “Cybele” isimli Frigya medeniyeti tanrıçasına dayanır. Bu bağlamda eniyileme kavramının, bereket ve bolluk kavramları yanı sıra seçme ve irade mefhumları ile de örtüştürülerek Anadolu topraklarında filizlendiği söylenebilir.” (Pehlivanoglu, 2017)

Canale ve Chapra (2014)’nin de ifade ettiği gibi optimizasyon matematiksel olarak bir denklemin köklerini bulmanın aksine denklemin maksimum ve minimum noktalarını aramaktır. Gerçekte bazı optimizasyon problemleri kök bulma yardımıyla çözüme ulaşmayı denemekte yani fonksiyonun birinci türevi sıfıra eşitlenmekte ($f'(x) = 0$) fakat her zaman $f'(x)$ analitik olarak ifade edilememektedir. Bu durumda ise türevi tahmin etmek için genellikle sonlu farklar yöntemi kullanılmaktadır. Doğrusal programlama problemlerini çözmek için *Simplex* prosedürünün

geliştirilmesi ile birlikte diğer kısıtlı optimizasyon yöntemlerinin yolu açılmıştır. (Canale ve Chapra, 2014).

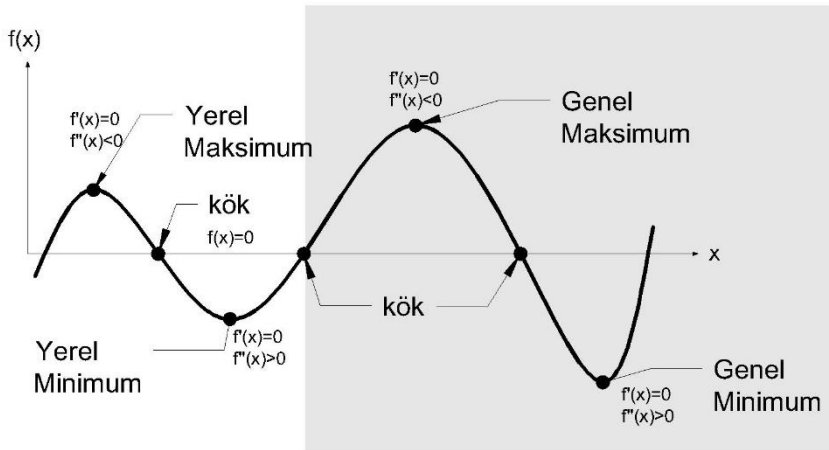
Yukarıda da bahsedildiği gibi optimizasyon birçok mühendislik problem ve uygulamalarında aktif olarak kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları Tablo 1’de verilmiştir.

*Tablo 1. Optimizasyonun mühendislikte uygulanan bazı örnekleri
(Canale ve Chapra, 2014)*

-
- *Uçakları minimum ağırlık ve maksimum güç için tasarlama,*
 - *Uzay araçlarının optimal yörüngeleri,*
 - *İnşaat mühendisliği yapılarını minimum maliyetle tasarlanması,*
 - *Maksimum hidroelektrik enerjisi üretirken taşkın hasarını azaltmak için baraj gibi su kaynağı projeleri tasarlama,*
 - *Potansiyel enerjiyi en aza indirerek yapısal davranışı tahmin etme,*
 - *Minimum maliyet için malzeme kesme stratejisi,*
 - *Maksimum verimlilik için pompa ve ısı transfer ekipmanlarını tasarlama,*
 - *Isı üretimini en aza indirirken elektrik ağlarının ve makinelerin güç çıkışını maksimuma çıkarma,*
 - *Bir satış gezisi sırasında çeşitli şehirleri ziyaret eden satış elemanının en kısa rotası,*
 - *Optimum planlama ve zamanlama,*
 - *Minimum hatayla istatistiksel analiz ve modeller,*
 - *Optimum boru hattı ağırları,*
 - *Stok kontrolü,*
 - *Maliyeti en aza indirecek bakım planlaması,*
 - *Bekleme ve boşta kalma sürelerini en aza indirme,*
 - *Atık arıtma sistemlerini su kalitesi standartlarını en az maliyetle karşılayacak şekilde tasarlama*
-

Matematiksel Tanımlamalar

Bir matematiksel problemin en iyileme çözümü genellikle en çok veya en az sonuçlarına ulaşma ile alakalıdır. Bu kavram analitik denklemlerin genellikle köklerini bulma yaklaşımından farklı olarak en fazla veya en azı hedeflemektedir. Fakat burada problemin çözüm kümesine göre en çok veya en az tanımlamaları değişkenlik gösterebilecektir. Çözüm aralıklarının değişikliğine göre en az ve en çok tanımlamaları, çözüm aralıklarının değişimiyle beraber yerel alanlarda kalabilecektir. Bu da tanımlama olarak yerel en çok, yerel en az ve genel en çok, genel en az kavramlarının önemini gösterecektir. Yerel ve genel en iyileme çözüm kümeleri Şekil 1’de görülmektedir. Bu durum optimizasyon kavramına ait sonuçların çözüm aralığının ve en iyinin aranılan bölgeye göre değişebileceğini göstermektedir. Buradan çıkarılacak sonuç çözüm alanının genişliğine göre çözümün de değişiklik gösterebileceğidir.



Şekil 1. Fonksiyon üzerinde kök, maksimum ve minimum gösterimleri, yerel ve genel tanımları

Bir optimizasyon algoritması genel olarak aşağıdaki üç bileşenden meydana gelmektedir:

- Amaç fonksiyonu (veya fonksiyonları)
- Karar değişkenleri
- Kısıtlar

Optimizasyon kavramı çeşitli şart ve konumlara göre değişkenlik göstermekte, bu tanımlamalara göre sınıflandırılmaktadır. Bir optimizasyon problemi genel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

x^* 'i bul = (en çok veya en az) $f(x)$

kısıtlar altında

$$d_i(x) \leq a_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$e_i(x) = b_i \quad i = 1, 2, \dots, r$$

Burada x , n boyutlu tasarım vektörü, $f(x)$ amaç fonksiyonu, $d_i(x)$ eşitsizlik kısıtı, e_i eşitlik kısıtı ve a_i ile b_i sabitlerdir. Optimizasyon kavramı yukarıda genel hatlarıyla ifade edilen şekildeki değişkenlere göre sınıflandırılabilir (Canale ve Chapra, 2014).

- Eğer $f(x)$ ve kısıtlar doğrusal ise doğrusal programlama,
- Eğer $f(x)$ ikinci dereceden ve kısıtlamalar doğrusal ise, ikinci dereceden programlama,
- Eğer $f(x)$ doğrusal veya ikinci dereceden değilse ve/veya kısıtlamalar doğrusal değilse, doğrusal olmayan programlama şeklinde sınıflandırılabilir.

Sınıflandırmalar amaç fonksiyonunun bağımlı değişken sayılarına göre de yapılabilir. Tek boyutlu amaç fonksiyonu bağımlı değişkeni de tek ise Şekil 1’de verildiği gibi görselleştirilebilir ve adından da anlaşılacağı üzere bir boyutlu problem olarak sınıflandırılır. Amaç fonksiyonu iki veya daha fazla bağımlı değişken içeriyorsa çok boyutlu problem olarak sınıflandırılabilirler.

Winston (2004) bir optimizasyon algoritmasını aşağıda ifade edildiği gibi sınıflandırmıştır:

- Statik ve dinamik
- Doğrusal ve doğrusal olmayan
- Tamsayı ve tamsayı olmayan
- Deterministik ve stokastik

Cohon ve Marks (1975) su kaynaklarında çok amaçlı optimizasyonu ile ilgili çok amaçlı tasarım problemini, karar uzayının uygun bölgesini tanımlayan bir dizi kısıtlamaya tabi olan “vektör optimizasyonu” olarak tanımlamıştır. Aşağıdaki denklem çok amaçlı tasarım problemini, M amaç fonksiyonundan oluşan $F(x)$ vektörünün minimizasyonu olarak tanımlar. $f(x)$ fonksiyonu aşağıda da ifade edildiği gibi $x=[x_1, x_2, \dots, x_L]$ (Ω karar bölgesi için L adet karar değişkeni olan bir vektör) için kısıtlar altında minimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır:

$$\text{en az } F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x)]$$

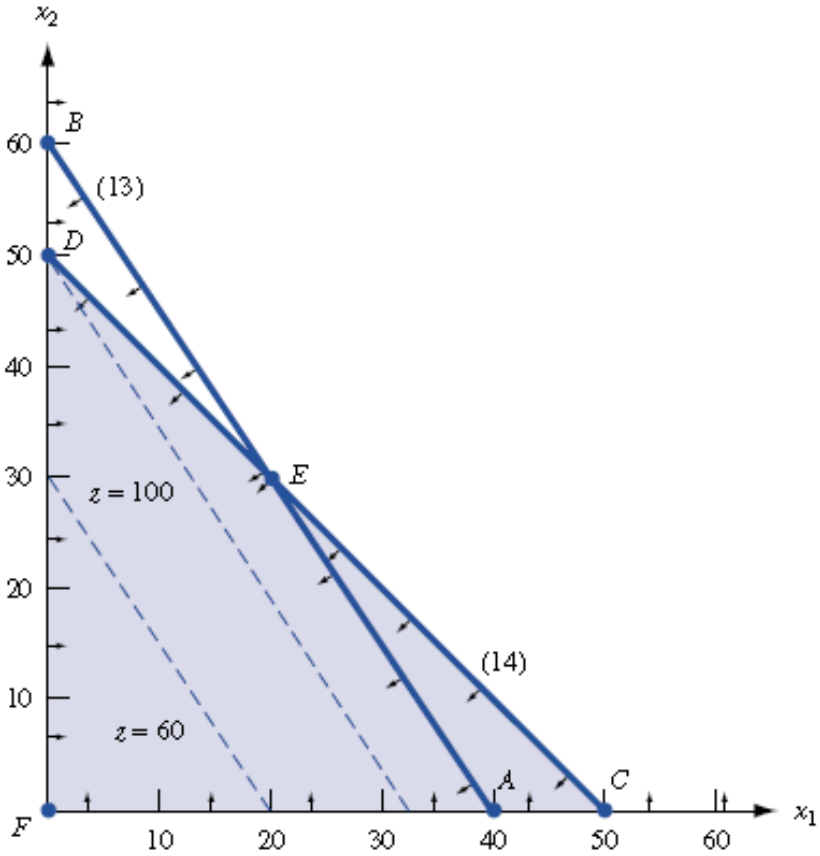
$$x \in \Omega$$

kısıtlar altında; $C_m(x) = 0, \quad \forall m \in \varepsilon$

$$C_n(x) \leq 0, \quad \forall n \in \tau$$

Karar değişkenleri gerçek sayı, tam sayı veya ikili sistemde tanımlanmış sayı olabilir. Denklem genel olarak bir veya daha fazla eşitlik ve/veya eşitsizlik kısıtı içerebilir. Çözüm bölgesi ise bu kısıtlamaları karşılayan kararlar kümesidir. (Reed, Hadka, Herman, Kasprzyk ve Kollat, 2013)

Optimizasyonda sınıflama ve ayırım farklı şekillerde yapılabilir. Benzer şekilde modeli kurulan bir problemin çözümü için de birçok farklı yöntem ve teknikler geliştirilmiştir. Yöntemlere ait detaylar bu kitap bölümünde anlatılmayacak, sadece yöntemlerin isimleri verilerek birkaç yöntemin en önemli özellikleri verilecektir. Konu ile ilgili ayrıntılı bilgilere kaynakçada yer alan yayınlardan ulaşılabilir. Örneğin lineer (doğrusal) optimizasyon problemlerinin çözümlerinde değişken sayısı ve kısıtların durumuna göre grafik metot ve Simplex yöntemi gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 2’de lineer bir optimizasyon algoritmasının grafik yöntemi ile çözümü gösterilmiştir. Şekilde verilen taralı alan çözüm kümesinin geçerli olduğu, kısıtların kullanılarak uygun alanın tanımlanmasını ifade etmektedir.



Şekil 2. Grafik yöntemine göre çözümlenen bir optimizasyon problemi (Winston, 2004)

Bir diğer sınıflandırma; $f(x)$ fonksiyonu tek değilse, birden fazla amaç fonksiyonu varsa çok değişkenli karar verme şeklinde olabilir. Birden fazla sayıdaki amaç fonksiyonları aynı anda en çoğu veya en azı aramak için planlanmış olabilir.

Hidrolojide Optimizasyon

Önceki bölümde birçok özelliği ve tanımlamaları anlatılan optimizasyon kavramının hidrolojide de kullanımı oldukça yaygındır. Modelleme çalışmalarında, hata oranlarının azaltılmasında, tasarımlarda, en uygun istasyon yerlerinin belirlenmesinde ve benzeri birçok hidrolojik çalışmada optimizasyon kavramı kullanılabilmektedir. Bu nedenle bu bölümde özellikle hidrolojik çalışmalarda sıklıkla kullanılan hidrolojik rasat istasyonlarının tasarımı ve genel optimizasyon uygulamaları hakkında güncel çalışmalardan örnekler verilmiş, uygulama sonuçlarından bahsedilmiştir. Kullanılan yöntemler, uygulama biçimleri, amaçları, optimizasyon uygulamalarının içerikteki yerleri ve genel olarak hidroloji problemlerinde optimizasyon uygulamalarının çeşitleri anlatılmıştır.

Optimizasyon uygulamalarının hidrolojide kullanılması birçok farklı yaklaşımla olmakla beraber gözlem istasyonlarının uygunlukları ve sayıları ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin hidrometrik veri istasyon ağlarının optimizasyon uygulamalarının bazıları ağ yerleşimlerinin ağı kontrol edecek olan teknisyenlerin ulaşmaları konusunda gerçekleştirilmiştir. Pelletier ve Simonovic (1988) hidrometrik bir ağın alan işletme problemini formüle etmek ve çözmek için geliştirilmiş yeni bir yaklaşım sunmuştur. Yaptıkları bu çalışma ile problemin çözümü için kullanılan optimizasyon tekniklerinin ilk kez uygulandığını belirtmişlerdir. Bu nedenle bu çalışma, dal ve sınır algoritması (Branch and Bound Algorithm) kullanarak bir hidrometrik ağ çalışmasını optimize etmeye yönelik ilk girişimdir. Şekil 3'te elde edilen ideal güzergâh görülebilmektedir. Benzer şekilde Simonovic,

[illegible]

--38--

Harmancioglu ve Alpaslan (1992) verimliliği ve bir ağın maliyet etkililiğinin değerlendirilmesini ele almak için bilgi teorisinin Entropi ilkesine dayanan istatistiksel bir prosedür önermiştir. İstatistiksel tabanlı Entropi teknikleri ile ağda verimlilik ve maliyeti değerlendirilmiştir. Entropi ilkesinin gözlem ağı tasarımıyla uygulanabilirliği Türkiye'deki Porsuk Nehir havzası üzerinde araştırılmıştır. Entropi ilkesi, verimlilik ve fayda/maliyet parametrelerinin nicel değerlendirmesine izin verdiği için bazı matematiksel zorluklara rağmen hidrolojik ağ tasarım problemlerinde kullanılabilecek bir yöntem olduğu belirtilmiştir. İzleme uygulamaları bilginin bir fonksiyonu ve nicel olarak değerlendirilebildiğinden mevcut ağın teknik (zamansal, mekânsal ve birleşik zamansal-mekânsal) özelliklerinin değerlendirilmesinde Entropi ilkesinin uygulanmasının oldukça iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Pozdnoukhov ve Kanevski (2006) yaptıkları çalışmada makine öğrenimi tekniğine dayanan ağ optimizasyonunu izlemek için yeni bir yöntem sunmuştur. Çalışma, önerilen mekânsal konumun sınıflandırma modeli için önemli olup olmadığı sorusuna doğrudan cevap vermesi açısından problem odaklıdır. Geleneksel yöntem *Kriging metoduna* alternatif bir yöntem olarak SVM (Support Vector Machine) modelini kullanmışlardır. Çalışmada SVM modelinin sınırları doğrudan iyileştirmeyi ve böylece test hatasını en aza indirmeyi amaçladığı vurgulanmıştır. Kriging varyans analizine dayalı geleneksel yöntem ile ağ optimizasyonunun izlenmesi için önerilen SVM tabanlı yöntemin karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yöntemin, az sayıda ek ölçüm alarak sınıflandırma modellerinin doğruluğunu artırmak için

kullanılabildiği de vurgulanmaktadır. Yöntemin iklim verileri kullanılarak geleneksel yaklaşımla (Kriging varyans) karşılaştırılması sonucu gerçek bir vaka çalışması oluşturulmuştur.

Hidrolojik açıdan bir diğer optimizasyon uygulama örneği, Güney Florida Su Yönetimi Bölgesinde SFWMD, bilgiden ödün vermeden mümkün olan en iyi konumda yer alan en az sayıda izleme istasyonundan veri toplamak için mevcut izleme istasyon ağına ait bir uygulamadır. Martinez, Merwade ve Maidment (2010) benzer amaçla Tabu seçim arama algoritmasını (Tabu Search) SFWMD içindeki göller ve akarsulardaki su seviyesi izleme istasyonlarını optimize etmek için kullanmıştır. Çalışma, göllerde ve akarsularda su seviyesi izleme ağını optimize etmek için mekânsal verileri, zamansal verileri, bir optimizasyon algoritması olarak Tabu aramasını ve bir hidrolik simülasyon modelini entegre eden CBS tabanlı bir metodoloji önermektedir. n sayıda istasyondan oluşan bir ağ göz önüne alındığında, uygulanan metodoloji belirli bir tolerans dahilinde göllerde ve akarsulardaki su yüzeyi seviyelerini tahmin etmek için mevcut ağ içindeki $r < n$ izleme istasyonlarının bulunduğu en iyi r mekânsal kombinasyonunu aramayı içermektedir. Çalışmada akarsularda Tabu Ağ Optimizasyonu için üç girdi kullanılmıştır. Bunlar: akarsu boyunca tüm istasyonlardaki akış ve su yüzeyi seviye verileri, Coğrafi Bilgi Sistemi kesitleri ve Tabu arama parametreleridir. Tabu aramasından elde edilen olası çözümlerin gözlemlenen günlük verilerle karşılaştırılması için göllerdeki ve akarsulardaki su seviyeleri hesaplanmış ve bu hesaplamalar için farklı teknikler kullanılmıştır. Kissimmee Nehri havzasına uygulanmasından elde edilen sonuçlar, önerilen tekniklerin, Tabu aramasının coğrafi bilgi sistemi (GIS) içinde

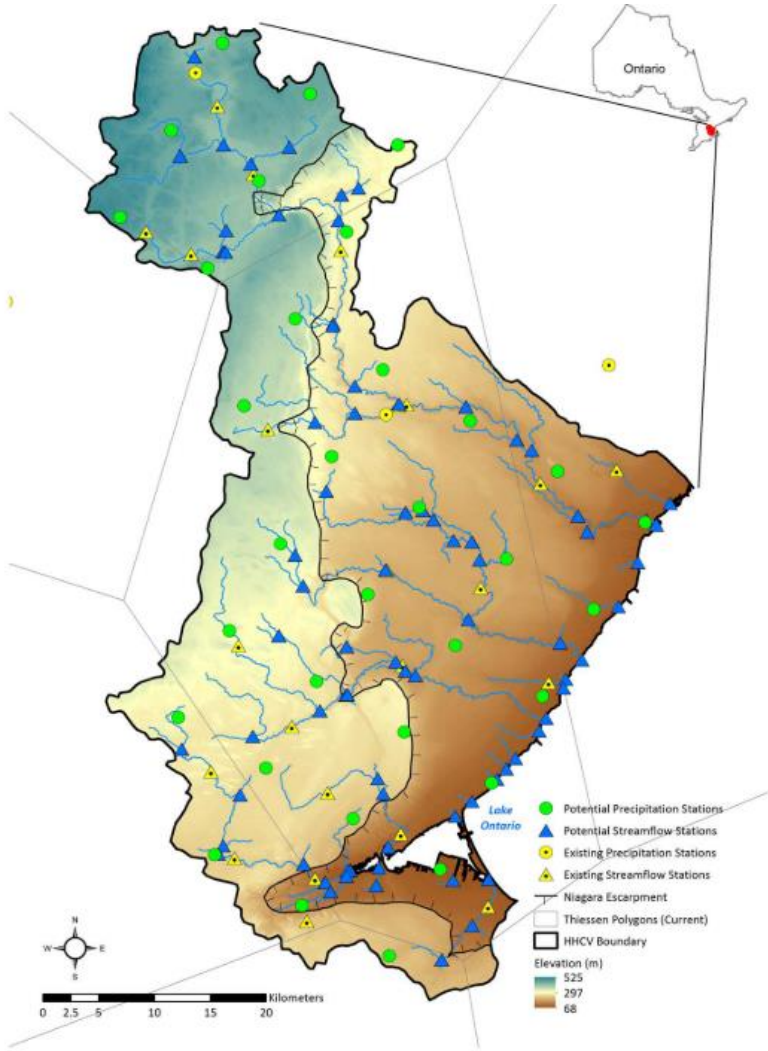
uygulanmasıyla su seviyesi izleme ağı optimizasyonunda hesaplama açısından verimli bir yol sağladığını göstermiştir. Çalışmadan ayrıca, veri kayıtlarının uzunluğu, hidrolik profillerin eğimi ve kontrol yapılarındaki veriler gibi faktörlerin genel optimizasyon sürecinde önemli bir rol oynadığı da bulunmuştur.

Mishra ve Coulibaly (2014) şiddetli fırtınalar, seller ve kuraklık gibi aşırı hidrolojik durumların, doğası gereği mevsimsel olduğunu ve hidrometrik ağların tasarlanmasında ana endişe olmaya devam etmekte olduğunu vurgulamışlardır. Genel olarak hidrometrik ağların, ölçüm istasyonlarındaki mevsimsel akış bilgilerinin (SSI-Seasonal Streamflow Information) hidrometrik ağların verimliliği üzerindeki etkisine özellikle dikkat edilmeden tasarlandığını belirtmişlerdir. Bu durum göz önüne alınarak gerçekleştirdikleri araştırmada, mevsimsel bazda ölçüm istasyonları arasındaki karşılıklı bilgiyi tahmin etmek için “*çekirdek yoğunluğu yaklaşımını*” kullanarak Entropi teorisinin parametrik olmayan uygulamasına dayalı olarak SSI'nın akış ağları üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Genel olarak, bireysel istasyonların SSI'nın mevsime bağlı olduğu ve akarsu akış ağının verimliliğinin de mevsime bağlı olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle mevsimsellik etkisinin gelecekteki hidrometrik ağ tasarımlarına dahil edilmesi gerekliliğini vurgulanmıştır. Bu metodoloji Kanada'daki beş nehir havzasında uygulanmış ve ağ tasarımındaki rolü tartışılmıştır. Değişen mevsimsel akarsu akış deseni nedeniyle SSI'da mekânsal dinamikleri gösteren istasyonların standart sapmasının değiştiği görülmüştür. Bir istasyon için sıfır standart sapma gözlenmediğinden mevsimsel iklim özelliklerinin tüm istasyonları etkilediği vurgulanmıştır. Maksimum standart sapmaya sahip

istasyonların ise mevsimsel değişkenlikten daha fazla etkilendiği ifade edilmiştir. Bununla birlikte drenaj alanı istasyon sıralarını ve standart sapmayı etkilemediği ve bazı istasyonların benzer standart sapmaya sahip oldukları ancak bunun nedeninin pik akım açısından benzerlik gösteren istasyonların benzer standart sapmaya sahip olmaları nedeniyle olduğu vurgulanmıştır.

Keum ve Coulibaly (2017) ok değişkenli hidrometrik ağların birleştirilmiş bir tasarımı için bir karar destek yöntemi önermişlerdir. Önerdikleri yöntemi optimum yağış ve akış ağlarını aynı anda tasarlamak için uygulamışlardır. Çalışmada *Bayesian epsilon-baskın hiyerarşi optimizasyon yöntemi* Shannon (1948)'un bilgi teorisine dayanan Entropi yöntemi ile birleştirilmiş ve hidrometrik ağların tasarlanması ve geliştirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Önerilen yöntemde yeni bir yaklaşım olarak birleştirilmiş ağlar için ortak Entropi değeri en çok bilgiyi sağlamak için maksimize edilmeye, gereksiz bilgi azaltılması için de toplam korelasyon minimize edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada ayrıca ağlar arasındaki optimizasyon değerlerini daha da artırmak için yağış ağlarının bilgilerini veren akış ağının koşullu Entropi değerini maksimize etmeyi amaçlamışlardır. şekil 4'te istasyonların ve özelliklerinin olduğu çalışma alanı sunulmuştur. Birleşik çok değişkenli tasarım yönteminin bireysel değişik dizayn yöntemleri ile kıyaslandığında gereksiz istasyonlardan kaçınmak için daha verimli ağlar tespit edebildiği sonucuna varılmıştır. Ek olarak dört niceleme durumu Entropi hesaplamaları ve optimal ağların belirlenmesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonuçları, istasyon sıralamaları ve optimal ağların bu değerlendirmelere göre değişebileceğinden, niceleme yöntemlerinin

her bir tasarım problemi için dikkatli bir şekilde değerlendirildikten sonra seçilmesi gerektiğini göstermiştir.



Şekil 4. Örnek Çalışma Alanı (Keum ve Coulibaly, 2017)

Laize, Marsh ve Morris (2008) Birleşik Krallık ölçüm istasyon ağındaki bireysel havzaların stratejik önemini

değerlendirmek için mekânsal tanımlayıcıların nasıl kullanılabileceğini araştırmışlardır. Çalışmada, bölgeselleşme için stratejik önemi açısından ağı ve bireysel olarak gözlem alınmış havzaları değerlendirmeye odaklanmaktadır. Havza fayda endeksi CUI (catchment utility index), bir dizi nehir akışı değişkeni ve rejim özelliği için bilgi aktarım potansiyeli ile ilgili olarak bir havzanın değerinin bir ölçüsünü sağlamaktadır. Kapsama sayısı NI (Number of Inclusions), yani bir havzanın bir kapsama grubuna dahil edilme sayısı hesaplanmıştır. Her bir havza için toplam puan sayısı daha sonra ortalama puanını AS (average score) vermek için kapsama sayısına bölünerek bulunmuştur. CUI parametresinin NI ve AS'yi her ikisine de benzer ağırlıklar verecek şekilde birleştirdiği ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, en faydalı su toplama alanlarının yüksek NI ve AS veya en az faydalı olanların düşük NI ve AS değerlerinden elde edildikleri görülmüştür. Ancak uygulamada ölçülen havzaların yaklaşık %80'nin orta CUI aralığındadır (20-40 içinde) olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlardan düşük CUI değerine sahip istasyonların yüksek CUI değerine sahip istasyonlara göre daha az yatırım yapılabilir olarak değerlendirilmiştir. Böylece ilgili paydaş ve karar vericilerin yatırım kararlarında karar verebilmelerine yardımcı olacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Örneklerle de ifade edildiği üzere hidroloji çalışmalarında özellikle gözlem istasyonlarının ideal tasarımlarına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Farklı yöntemler ve yaklaşımlar içeren bu çalışmaların genel olarak ortak noktası belirlenen amaçlara göre en iyi tasarımın hedeflenmesidir. Süreç içerisinde en iyi tasarım gerek sistemden istasyon çıkarmak gerekse sisteme istasyon eklemeyi

gerektirmiştir. Çalışma amaçları ve kısıtları farklılık içerdikçe çözüm yöntemleri de bu doğrultuda değişmektedir.

Sonuç

Bu kitap bölümünde optimizasyon kavramı ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve özellikle hidrolojik çalışmalarda optimizasyon uygulamalarına ait bazı örnekler sunulmuştur. Optimizasyon kavramı çok genel ve geniş bir çalışma alanı içerisinde kendisine yer bulmakla beraber zamanla hidrolojik çalışmalarda da vazgeçilmez hale gelmiştir. Özellikle hidrolojik modelleme çalışmalarında mevcut verilere göre modelin kalibre edilmesi sırasında tahmin edilen birçok parametrenin optimizasyon algoritmalarıyla iyileştirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Modelleme çalışmalarını en iyileme ve parametre tayinlerindeki çözümlemeleriyle optimizasyon kavramı modelleme yapan birçok hidrolojik programlarda da yer almış, kullanıcı dostu olacak şekilde program içerisine dahil olmuştur. Örneğin HEC-HMS programında model sonuçlarını kalibre etmek için program içerisinde ayrıca optimizasyon bölümü bulunmaktadır. Benzer şekilde birçok yazılımın optimizasyon gereksinimleri yazılımlarının kendilerinde bulunan bölümlerden sağlanmaktadır.

En iyileme kavramının hidrolojik modellerde kalibrasyon süreçleri haricinde bir hidrolojik amaç doğrultusunda da kullanıldığı görülmektedir. Birçok akademik çalışmaya konu olan problemlerin içeriğinde özellikle hidrolojik parametrelerin en iyi şekilde kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. Gözlem istasyonlarının en uygun sayı ve yer tayini için yapılan çalışmalar örnek olarak gösterilebilir. Bu nedenle bu çalışmalar doğrudan optimizasyonla ilgilidir. Benzer şekilde hidrolojik tesislerin planlanması, yerleşimi, maliyetleri,

giderleri ve getirileri de düşünöldüğünde bu kavramların optimize (en iyileme) yaklaşımıyla çözümlenmesi kaçınılmaz olmuştur.

Yukarıdaki bölümlerde detaylarıyla da anlatıldığı üzere optimizasyon kavramı mühendislik uygulamalarında geniş bir yer bulmuştur. Bu kavram sürekli gelişme, sürekli iyileştirme politikalarını da doğrudan desteklediği için güncelliğini koruyarak kullanımının artacağı öngörülmektedir. Birçok problemin en iyi tasarım ve en iyi sonuçlara odaklandığını varsayarsak bu kavramın hidroloji ve diğer bilim dallarında da kullanımının giderek artması şaşırtıcı olmayacaktır.

Kaynakça

Canale, R. P., & Chapra, S. C. (2014). *Numerical methods for engineers*: Mcgraw-hill Education-Europe.

Cohon, J. L., & Marks, D. H. (1975). A review and evaluation of multiobjective programming techniques. *Water Resources Research*, 11(2), 208-220.

Haftka, R. T., & Gürdal, Z. (1992). *Elements of structural optimization* (Vol. 11): Springer Science & Business Media.

Harmancioglu, N. B., & Alpaslan, N. (1992). Water-Quality Monitoring Network Design - a Problem of Multiobjective Decision-Making. *Water Resources Bulletin*, 28(1), 179-192. doi:10.1111/j.1752-1688.1992.tb03163.x

Keum, J., & Coulibaly, P. (2017). Information theory-based decision support system for integrated design of multivariable hydrometric networks. *Water Resources Research*, 53(7), 6239-6259. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000407895000057

Laize, C. L. R., Marsh, T. J., & Morris, D. G. (2008). Catchment descriptors to optimise hydrometric networks. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 161(3), 117-125. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000255768800002

Martinez, S. I., Merwade, V., & Maidment, D. (2010). Linking GIS, Hydraulic Modeling, and Tabu Search for Optimizing a Water Level-Monitoring Network in South Florida. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(2), 167-176. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000024

Mishra, A. K., & Coulibaly, P. (2014). Variability in Canadian Seasonal Streamflow Information and Its Implication for Hydrometric Network Design. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(8). Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000340165100012

Pehlivanoglu, Y. V. (2017). *Optimizasyon: Temel Kavramlar & Yöntemler*.

Pelletier, P. M., & Simonovic, S. P. (1988). Initial Attempt to Optimize the Operation of a Hydrometric Network Using Branch and Bound Algorithm. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 15(4), 717-725. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:A1988Q831600025

Pozdnoukhov, A., & Kanevski, M. (2006). Monitoring network optimisation for spatial data classification using support vector machines. *International Journal of Environment and Pollution*, 28(3-4), 465-484. doi:10.1504/IJEP.2006.011223

Ravindran, A., Reklaitis, G. V., & Ragsdell, K. M. (2006). *Engineering optimization: methods and applications*: John Wiley & Sons.

Reed, P. M., Hadka, D., Herman, J. D., Kasprzyk, J. R., & Kollat, J. B. (2013). Evolutionary multiobjective optimization in water resources: The past, present, and future. *Advances in Water Resources*, 51, 438-456. doi:10.1016/j.advwatres.2012.01.005

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.

Simonovic, S. P., Pelletier, P. M., & Barlishen, K. D. (1988). Optimization of the Hydrometric Network Operation by a Heuristic

Traveling Salesman Algorithm. *Water Resources Bulletin*, 24(6), 1185-1192. doi:10.1111/j.1752-1688.1988.tb03037.x

Winston, W. L. (2004). *Operations research: applications and algorithm*: Thomson Learning, Inc.

Wright, S. J., & Nocedal, J. (2006). Numerical optimization. In.

BÖLÜM III

Zemin Stabilizasyonunda Geopolimer Kullanılması

Onur SARAN¹

Giriş

Zemin; morfolojik, fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri bakımından ana materyallerden farklı olan, değişken kalınlıktaki mineral bileşenlerin katmanlarından oluşan doğal bir yapıdır (Birkeland, 1999). Mühendislik yapılarındaki inşaatların çoğu, özellikle de binaların ve yolların inşaatı tercihen güçlü ve sağlam zemin üzerine inşa edilir. Ancak pratikte yüksek mukavemet ve yüksek dayanıklılık sağlayan doğal zemin bulmak zordur. Yüksek sıkıştırılabilirlik sorunu son yıllarda yumuşak zeminli arazi üzerine inşa edilen inşaatlarda önemli bir sorun haline gelmiştir. Turba, yüksek plastisiteli kil, organik zemin gibi bazı zemin türleri yumuşak zemin olarak sınıflandırılabilir. Bu tür zeminler üzerinde inşaat

¹ Arş. Gör. Dr. Onur SARAN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van/Türkiye, Orcid: 0000-0002-9503-5438, onursaran@yyu.edu.tr

yapılması, yumuşak zeminlerin daha az duraylı olması ve orta dereceli yük artışlarına maruz kaldığında bile büyük birincil ve uzun vadeli konsolidasyon oturmaları nedeniyle zorluklara ve problemlere neden olur. Ayrıca şişen killi zeminler, su içeriğindeki değişime bağlı olarak önemli miktarda şişme-büzülme davranışı gösterir. Bu hacimsel değişiklikler, üzerlerine inşa edilen herhangi bir yapıda büyük yapısal hasarların olmasına yol açabilir (Das, 2003; Sivapullaiah, Prasad & Allam, 2009). Bu tür problemlili zeminlerin mukavemetini ve sertliğini arttırmak için çeşitli zemin stabilizasyonu türleri yaygın olarak uygulanmaktadır. Zemin stabilizasyon yöntemleri geniş bir kapsama sahiptir.

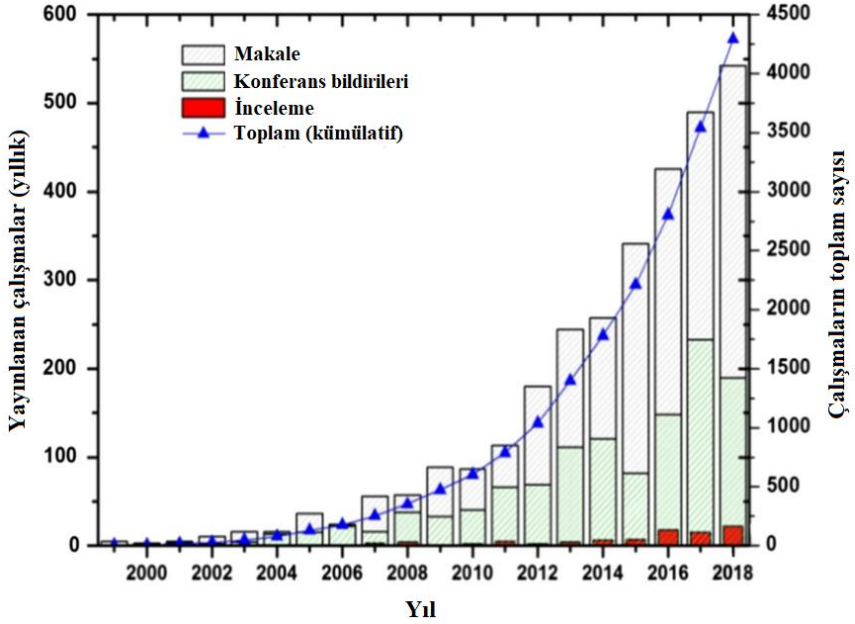
Bir proje sahasında problemlili zemin tabakası ile karşılaşıldığında ilk çözüm seçeneği projenin yerini değiştirmektir. Ancak, hem sanayileşmenin hem de nüfusun hızla artması nedeniyle bu tür problemlili zeminler üzerine inşaatların yapılması zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca, yüksek arsa maliyetleri nedeniyle bu seçenek ekonomik de değildir. Diğer bir çözüm seçeneği ise zayıf veya sorunlu zeminin kaldırılarak yerine mühendislik özellikleri iyi olan dolgu malzemelerinin serilmesidir. Ancak, özellikle problemlili zemin tabakasının kalınlığının fazla olduğu durumlarda bu çözüm yöntemi ekonomik olmamaktadır. Ayrıca, kazılan zemini ekonomik olarak kabul edilebilir bir taşıma mesafesinde atık haline getirmek için çevresel olarak kabul edilebilir bir yerin bulunması gerekir. Bu yöntem aynı zamanda uzun süreli oturma ve yatay hareket ile ilgili bakım çalışmalarına da ihtiyaç duymaktadır (Hamzah & ark., 2015). Bu durumda en iyi seçecek zeminin yerinde stabilize edilmesidir. Zemin stabilizasyon yöntemleri, yüzeysel ve derin stabilizasyon yöntemleri olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Mekanik ve kimyasal

stabilizasyon en yaygın kullanılan stabilizasyon yöntemlerindendir. Olaniyan & ark.,'a göre zemin stabilizasyonu, istenen mühendislik özelliklerine sahip gelişmiş bir zemin malzemesi oluşturmak için zeminin mekanik veya kimyasal yollarla iyileştirilmesi işlemidir. Mekanik stabilizasyon, farklı gradasyona (tane dağılımı) sahip zeminlerin karıştırılması işlemidir. Bu karışım, farklı gradasyona sahip iki veya daha fazla zeminin derecelendirmesini içerebilir. Bu yöntemde, istenilen zemin özelliklerinin elde edilmesini amaçlamaktadır. Bu karışım, şantiyelerde yapılabileceği gibi fabrikada da yapılabilir. İstenilen gradasyon sağlandıktan sonra geleneksel sıkıştırma yöntemleri kullanılarak belirlenen sıkıştırma seviyesine göre sıkıştırılır. Ayrıca, zeminin mühendislik özellikleri; sıkıştırma, yoğurma veya vurma gibi mekanik stabilizasyon yoluyla da iyileştirilebilir. Bu yöntemde, zeminin içerisindeki hava azaltılarak zeminin stabilitesi artırılır. Kimyasal stabilizasyon ise zemin içerisine çeşitli katkı maddeleri eklenerek zemin içerisinde kimyasal reaksiyonların oluşturulması ve zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi işlemidir. Katkılar ile zemin arasında meydana gelen çimentolaşma reaksiyonları sonucunda oluşan çimentomu jeller (kalsiyum silika hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alümina hidrat (C-A-H)) zemindeki boşlukları doldurarak zeminin mühendislik özelliklerinde iyileşme sağlar. Kimyasal stabilizasyonda genellikle bağlayıcılık özelliği yüksek olan çimento ve kireç gibi katkıların yanı sıra uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi termik santrallerin ve metal endüstrilerinin atık ürünleri kullanılmaktadır. Bu yöntemde yaygın olarak kullanılan bir diğer kimyasal katkı maddesi bitümdür. Kireç ve çimento; temel, alt temel tabakası ve demiryolu tabanı gibi çok sayıda yapıda zeminin

taşıma kapasitesini ve kullanılabilirliğini geliştirmek için en çok kullanılan geleneksel bağlayıcılardır (Syed, 2020). Ancak, çimento ve kireç gibi geleneksel zemin stabilizatörlerinin üretim aşamasında büyük miktarlarda CO₂ ve nitroz oksit (N₂O) gibi sera gazlarının emisyonu ve yoğun enerji önemli bir sorundur. Örneğin bir ton çimento üretimi için yaklaşık olarak bir ton CO₂ salınmaktadır (Khedari, Watsanasathaporn & Hirunlabh, 2005). Ayrıca çimento üretiminde hazırda bulunan hammaddeler gereğinden fazla tüketilmektedir. Bu nedenle inşaat mühendisliği endüstrileri her zaman çimentonun yerini alacak yeni zemin stabilizatörü, uygulanabilir ve sürdürülebilir alternatif arayışı içindedir. Günümüzde, tehlikeli kalıntıların kritik çevre koşullarında arıtılması ve depolanması gereken birçok soruna olgun ve uygun maliyetli bir çözüm sağlayan katı atık ve yan ürünlerden yararlanma çözümü olarak geopolimerizasyon teknolojisi giderek daha fazla ilgi görmektedir (He & Zhang, 2011). Geopolimerizasyon, silika-alüminat kaynaklarını içeren mineralleri kimyasal olarak entegre eden bir reaksiyondur. Alümina ve silika kaynağı, alkalın çözeltide kolaylıkla çözünen ve geopolimerizasyon prosesine uygun alkalın ve/veya silikat aktivasyonu ile sentezlenen bir öncül kaynağı olarak görev yapar (Hamzah & ark., 2015).

Geopolimer, güçlü bir kimyasal bağ oluşturmak için alüminosilikat malzeme ile alkalın çözelti arasındaki reaksiyondan türetilir (Duxson, & van Deventer, 2006). Bu reaksiyondaki önemli süreç geopolimerizasyon olarak adlandırılmaktadır (Khale & Chaudhary, 2007). İyi ya da kötü bağlanmanın belirlenmesi bu sürece bağlıdır. Geopolimerizasyon prosesi, Al₂O₃/SiO₂ oranı, alkali konsantrasyonu, kürleme süresi ile kürleme sıcaklığı, su/katı

oranı, pH ve ısı enerjisi gibi birçok faktörden etkilenir (Sukmak & ark., 2013). Bu nedenle, tüm faktörler göz önüne alındığında, geopolimerin güçlü bağlanması geliştirilebilir ve böylece malzemelerin maksimum mukavemetine katkıda bulunulabilir. İnşaat mühendisliği araştırmacıları, birçok alanda önceki araştırmacılar tarafından değerlendirilen geopolimerin avantajlarını ve performansını inceleyerek, inşaat mühendisliği çalışmalarında geopolimerin gücünü göstermeye ve yeniden değerlendirmeye çalışmaktadır. Ortak olarak hafif beton, kompozit ve tuğla gibi geopolimer malzemelerin çalışmaları yapılmaktadır. Bu malzemelerin mukavemet, işlenebilirlik, sıcaklık etkisi, kurlenme süresi, su geçirgenliği, yangına dayanıklılık vb. gibi tüm yönlerini kapsayan birçok araştırma yapılmıştır (Hardjito & ark., 2004; Vijai, Kumutha & Vishnuram, 2010; Al Bakri Abdullah & ark., 2010; Saravanan, Jeyasehar & Kandasamy, 2013). Geopolimerin sivil yapı işlerine (kompozit, beton ve tuğla) katkısı iyi araştırılmış ve geliştirilmiştir. Son yıllarda; zemin iyileştirme, şev ankraj malzemesi ve istinat duvarı kompoziti gibi geoteknik uygulamalarda geopolimerin performansını değerlendirmeye yönelik çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Geopolimerler üzerine yapılan çalışmalar dikkate alındığında, Şekil 1'de gösterildiği gibi bu alanda yayınlanan makalelerin sayısı hızlı bir şekilde arttığından, geopolimer katkı maddesi düşük maliyeti, daha iyi mukavemeti ve düşük karbon ayak izinden dolayı popüler bir bağlayıcı malzeme haline gelmiştir.



Şekil 1. Yıllık yayınlanan geopolimer makale sayısı (makale, konferans, inceleme) (Novais, Pullar & Labrincha, 2020).

Geopolimerin Yapısı

Geopolimer, yüksek oranda alümina (Al_2O_3) ve silika (SiO_2) içeren malzemelerin bir karışımının ürünüdür ve inorganiktir (Yaghoubi & ark., 2018). Polimerizasyon, alkali koşullarda Si-Al mineralleri ile son derece hızlı bir kimyasal reaksiyon kullanır ve bunun sonucunda 3 boyutlu polimerik zincirler ve Si-O-Al-O bağlarından oluşan bir halka yapısı elde edilir (Davidovits, 1999). Geopolimerizasyon, çözünmüş minerallerin taşınmasından önce Al ve Si'nin alkali çözeltide çözülmesini gerektirir. Polikondensasyon daha sonra alüminosilikat yapılardan oluşan üç boyutlu bir ağ oluşturur (Phummiphan & ark., 2017.) Standart geopolimer yapılarının üç örneği aşağıdaki Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Standart geopolimer yapıları

Geopolymer	Yapı
Poli(sialat)Si : Al = 1	(-Si -O- Al -O-)
Poli(sialat - silokso)Si : Al = 2	(-Si -O- Al -O- Si -O-)
Poly(sialate - disiloxo)Si : Al = 3	(-Si -O- Al -O- Si -O- Si -O-)

Geopolimer matrisi, ağ içerisinde çapraz bağlı tetrahedral silika ve alümina birimlerinden oluşan çeşitli boyutlardaki halkaların dahil edilmesinin bir sonucu olarak zeolitlerin özelliklerini kopyalayan iyon değişim özellikleri sergiler. Geopolimerler yarı kristal bir yapı sergilerken, zeolitler tipik olarak kristal yapıdadır. Uçucu külün geopolimerleri alkali bir çözünme ile birleştirildiğinde camsı bileşenler hızla çözünür. Bu nedenle, jelin amorf, yarı amorf veya mikrokristal yapıya dönüşen kristalize bir yapıya dönüşmesi için yeterli alan ve zaman yoktur (Khale & Chaudhary, 2007; Minelli & ark., 2018). Portland çimentosunun ana bağlayıcı bileşeninin kalsiyum silikat hidrat (CSH) olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, geopolimerlerin bağlayıcı bileşenleri, 3 boyutlu amorf bir alüminosilikat ağının geliştirilmesinden kaynaklanmaktadır (Phair & Van Deventer, 2002; Steins & ark., 2012).

Geopolimerizasyonda silika ve alümina öncül polikondensasyonunu kullanıldığı için geopolimerlerde kalsiyum-silikat-hidrat jeline gerek yoktur. Bu malzemeler genellikle bir alüminosilikat ham maddesi kullanılarak sentezlenir ve esas olarak alkaliler sodyum veya potasyum ile birlikte su camından oluşan bir

çözelti ile aktive edilir (Van Deventer & ark., 2007; Pourakbar & ark., 2016). Geopolimerlerin yenilikçi unsuru oda sıcaklığında sertleşecek olmalarıdır; ek sıcaklık uygulamasına gerek yoktur, bu da CO₂ emisyonlarını azaltır ve ekolojik açıdan daha avantajlı bir çimento alternatifi sunar (Škvára & ark., 2006). Geopolimerizasyon, yeni ürünler yapmak ve çevresel ayak izini azaltmak için önemli miktarlarda hem tehlikeli hem de tehlikesiz atığın kullanılmasına olanak tanır. Geopolimer teknolojileri, atıkların geopolimer ağı içerisinde hareketsiz hale getirilip stabilize edilebilmesi nedeniyle, alüminosilikatlar içeren katı endüstriyel atıkları alıp kullanılabilir ürünlere dönüştürebilmektedir. Teorik olarak, yeterli miktarda silika ve alümina içeren herhangi bir endüstriyel atık, geopolimerizasyon için kullanılabilir (Komnitsas & Zaharaki, 2007; Toniolo & Boccaccini, 2017).

Zemin Bazlı Geopolimerlerin Geoteknik Özelliklerini Etkileyen Parametreler

Genellikle; zemin bazlı geopolimerlerde, zemin stabilizasyon uygulamasında geopolimerizasyon için alkali çözeltide çözünen yüksek silika (Si) ve alümina (Al) içeriğine sahip uçucu kül ve yüksek fırın cürufu atıkları birincil kaynak malzeme olarak kullanılır (Dayalan & Dayalan, 2016; Abdullah & Ahmad, 2017; Thomas, Tripathi & Yadu, 2018). Geopolimerin iyi bir tasarım ve formülasyon karışımının elde edilmesine katkıda bulunmak amacıyla geopolimerin özelliklerini etkileyen birkaç önemli faktör arasında katı-sıvı oranı, sodyum hidroksit molaritesi ve sodyum silikatın sodyum hidroksit'e oranı ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) yer alır. Ayrıca geopolimer hammaddesinin mineralojisi ve kimyasal bileşimi, alkali

aktivatör, kür süresi ve kür sıcaklığı geopolimer numunelerinin mühendislik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerdir.

Hammaddelerin Mineralojisi ve Kimyasal Bileşimi

Hammaddelerin mineralojik ve kimyasal bileşimi, geopolimerin oluşum mekanizmasını ve son ürünün özelliklerini doğrudan etkiler. Alüminosilikat mineralleri (örneğin, kaolinit, metakaolin, tras), geopolimerizasyon reaksiyonunda ana bileşenler olarak işlev görür. Bu mineraller, reaksiyon sırasında polimerizasyon ve çapraz bağ oluşumu için gerekli olan kimyasal reaksiyonlara katılırlar. Alüminosilikat mineralleri içeren hammaddeler, daha yüksek mukavemetli geopolimerlerin oluşmasına olanak tanır. Özellikle silisyum ve alüminyum oksitlerin yüksek konsantrasyonu, çapraz bağ oluşumunu teşvik eder ve sonuç olarak daha yüksek dayanımlı geopolimerlerin oluşmasını sağlar. Ayrıca, alkali aktivatörlerin seçimi ve konsantrasyonu da kimyasal bileşimi etkileyerek dayanımı etkiler. Geopolimer üretmek için en yaygın kaynak malzeme uçucu küldür (Abdullah & Ahmad, 2017; Tigie & ark., 2018; Shihab, Abbas & İbrahim, 2018; Sharma & Kumar, 2020). Yüksek mukavemetli geopolimerler genellikle F Sınıfı uçucu külden (düşük kalsiyum minerali) elde edilebilir. Ancak C Sınıfı uçucu kül (yüksek kalsiyum), geopolimer üretmek için de kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, en çok kullanılan diğer bir kaynak malzeme ise yüksek fırın cürufudur (Singhi, Laskar & Ahmed, 2016; Mandal & Singh, 2016; Thomas, Tripathi & Yadu, 2018).

Alkali aktivatör

Geopolimerizasyonda kullanılan en yaygın alkali çözelti, sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) karışımıdır. Sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi konsantrasyonunun, zemin stabilizasyon bazlı geopolimerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu çözelti, dahili silikat (Si) ve alüminat (Al) bileşenleri arasındaki reaksiyonu başlatan ve çözünme sürecini başlatan hidroksit iyonları (OH^-) ve sodyum iyonlarını (Na^+) içerir. Alkali aktivatör olarak hem sodyum silikat (Na_2SiO_3) hem de sodyum hidroksit (NaOH) karışımının kullanılması, yalnızca sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinin kullanılmasından daha iyi bir dayanıklılık sağlayacaktır. Sodyum silikatın (Na_2SiO_3) proses polimerizasyonuna reaksiyonu Si'nin çözünmesinde çok önemlidir ve sodyum hidroksit (NaOH) konsantrasyonunun karışım oranı da geopolimerden iyi bir ürün mukavemeti elde edilmesinde çok önemlidir Genel olarak, daha yüksek NaOH ve sodyum silikat içeriği kullanılarak daha yüksek mukavemet elde edilebilir. Ancak bileşimde çok fazla alkali olması durumunda mukavemet üzerinde olumsuz bir etki olacaktır (Singhi, Laskar & Ahmed, 2016; Abdullah & Ahmad, 2017; Tigue & ark., 2018; Sharma & Kumar, 2020).

Katı/Sıvı Oranının Geopolimer Üzerindeki Etkisi

Katı-sıvı (S/L) oranı, alüminosilikat kaynağının aktivatör çözeltisi oranına karşılık gelir. Alüminosilikat kaynağının alkali aktivatörü katı ve sıvının bir karışımıdır. Sıvı son derece alkalidir ve katı, uygun miktarda yüksek derecede reaktif silikat alüminat içerir (Amulya, Ravi Shankar & Praveen, 2020). Alonso & ark., (2001) yaptıkları çalışmada, başlangıçtaki katı içeriğin geopolimer oluşum

hızını oldukça etkilediğini belirtmiş, artan katı/sıvı oranıyla birlikte çok sayıda çökeltinin gözlemlendiği görülmüştür.

Katı-sıvı oranı arttıkça, geopolimer numunesi sınırlı miktarda alkali aktivatör nedeniyle daha az homojen hale gelmektedir (Singhi, Laskar & Ahmed, 2016). Bu katı-sıvı (S/L) oranında, sıvı içeriği, katı içeriğe kıyasla ihmal edilebilir düzeydedir (Abdila & ark., 2021).

Sodyum Hidroksit Molaritesinin Geopolimer Üzerindeki Etkisi

Sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinin konsantrasyonu, geopolimerin özelliklerini etkileyen kritik bir parametredir. Bu çözelti geopolimer üretiminde kullanılan alkali aktivatörlerden biridir. Esas olarak alüminosilikat kaynak malzemelerinin çözünmesinden ve geopolimerin polimerizasyon işleminden sorumlu olan hidroksit iyonu (OH^-) ve sodyum iyonunu (Na^+) içerir ve sağlar. NaOH çözeltisinin molaritesinin, son ürünün işlenebilirliğini, geopolimerizasyon reaksiyonunu ve mukavemet gelişimini önemli ölçüde etkilediği bildirilmektedir. Geopolimer sentezinde NaOH çözeltisi kullanılmasının önündeki engel, kullanılan molaritenin çok yüksek veya çok düşük olması durumunda düşük mukavemet gelişimidir (Singhi, Laskar & Ahmed, 2016; Trinh, Anh & Bui, 2018; Amulya, Ravi Shankar & Praveen, 2020; Murmu, Dhole & Patel, 2020; Abdila & ark., 2021).

NaOH molaritesinin geopolimer üzerindeki etkisi üzerine birçok çalışma vardır. Malkawi & ark. (2016)'a göre, alkali aktivatörün işlevi nedeniyle, polimerizasyon mekanizmasında ayrıntılı olarak açıklandığı gibi kaynak malzemelerde bulunan silika ve alüminanın kısmen veya tamamen çözülmesi için gerekli olan

güçlü bir alkaliye ihtiyaç duyulur. Araştırmacı, 10 M NaOH çözeltisinin sırasıyla Sınıf F ve Sınıf C uçucu kül bazlı geopolimer için uygun olduğunu bulmuştur.

Sodyum Silikat/Sodyum Hidroksit Oranının Etkisi

Tempest & ark. (2009), sodyum silikat (Na_2SiO_3)/sodyum hidroksit (NaOH) oranı çok yüksek olduğunda ham geopolimer malzemenin reaktivite derecesinin azaldığını belirtmiştir. Bunun nedeni, sodyum hidroksit çözeltisinin ham maddelerin çözülmesinde önemli bir rol oynamasıdır. Bununla birlikte, ticari ve pazarlama ilgisi nedeniyle geopolimer sistemleri için daha yüksek sodyum silikat (Na_2SiO_3)/sodyum hidroksit (NaOH) oranlarının araştırılması teşvik edilmektedir, ancak optimumun üzerindeki oranlar karışımın işlenebilirliğini ve mukavemetini düşürmektedir. Yapılan çalışmalarda, uçucu kül bazlı geopolimer işlemi kullanılarak zemin stabilizasyonunda, sodyum silikat (Na_2SiO_3)/sodyum hidroksit (NaOH) oranının 2,0'da zemin bazlı geopolimerin en iyi mühendislik özelliklerinin elde edildiği görülmüştür (Abdullah & Ahmad, 2017; Thomas, Tripathi & Yadu, 2018; Trinh, Anh & Bui, 2018; Abdila & ark., 2021).

Kür Süresi

Kür süresi, geopolimerin mukavemetine etkileyen önemli bir parametredir. Kür süresi, geopolimer karışımının belirli bir sıcaklıkta ve nemde bekletildiği süreyi ifade eder. Bu süre, geopolimerin mukavemet kazanma sürecini belirler. Geopolimerizasyon reaksiyonu, kür süresi boyunca devam eder ve belirli bir süre sonra maksimum mukavemet değerine ulaşır. Kür süresi, reaksiyonun tamamlanması ve geopolimerin maksimum

mukavemetine ulaşması için gereken süreyi belirler. Genellikle, uzun kür süreleri daha yüksek mukavemet değerleri ile sonuçlanır, çünkü bu süre içinde daha fazla çapraz bağ oluşumu ve polimerizasyon gerçekleşir.

Sıcaklık

Herhangi bir geopolimer maddenin kapasitesini arttırmak için polimerizasyon sürecinde kürlenme süresi kritik öneme sahiptir. Düşük sıcaklıklarda gerçekleşen reaksiyonlar genellikle daha uzun sürerken, yüksek sıcaklıklar reaksiyon hızını artırır ve daha yüksek mukavemetli ürünler elde edilmesini sağlar. Kürleme sırasında karakteristik olarak yüksek bir sıcaklık kullanılır ve bu, geopolimerizasyon prosedüründe kinetik ivmenin tetiklenmesine yardımcı olur (Rovnaník, 2010). Duxson & ark. (2005)'e göre ideal mukavemeti elde etmek için, kürleme sıcaklığı ve endüstriyel atıkların kullanımının araştırılması gerekmektedir. Hardjito & Rangan (2004)'e göre; kürleme yöntemi, geopolimer macununda kimyasal reaksiyonların başlatılmasına önemli ölçüde yardımcı olmuştur ve geopolimerin numunesinin mukavemeti, kürleme hızı ve süresinden büyük ölçüde etkilenmiştir.

Geopolimerlerin oluşumunda genel olarak iki tip kürleme işlemi kullanılmaktadır. Bunlar ya kuru ısıyla ya da buharla kürlemedir. Bulgular, kuru ısı kullanılarak kürlenen herhangi bir geopolimer malzemenin, buhar kullanılarak kürlenen herhangi bir geopolimer malzemeye göre %16 daha fazla basınç dayanımı kazandığını göstermektedir (Hardjito & ark., 2004). Ahmari & Zhang (2015)'e göre metakaolin bazlı stabilizasyonda kürleme sıcaklığı arttıkça daha fazla enerji açığa çıkar ve bu da metakaolin parçacıklarında bulunan alümina ve silikanın çözünmesine yardımcı

olur . Ayrıca metakaolinde bulunan alümina ve silikanın çözünmesini arttırmak için kür sıcaklığının 60 ila 90 °C arasında tutulması gerektiği belirtilmiştir. Her kaynak malzeme için, geopolimerle en yüksek mukavemet tepkisini elde etmek için belirli bir optimum kürlenme sıcaklığı vardır. Ancak çok yüksek sıcaklıklar, geopolimerin istenmeyen özellikler kazanmasına veya mineralojisinin değişmesine neden olabilir. Bu nedenle optimumdan daha yüksek kür sıcaklıkları geopolimerlerin mukavemetinin azalmasına neden olmaktadır.

Sonuçlar

Zeminin stabilizasyonunda kullanılan geopolimer hakkındaki literatürün incelenmesinden aşağıdaki genel sonuçlar ve gelecekteki kapsam çıkarılabilir:

Geopolimerler, geoteknik yapı, kaldırım tasarımı için ulaştırma mühendisliği ve beton teknolojisi gibi çok sayıda mühendislik alanında kullanılmaktadır.

Sodyum silikat ve sodyum hidroksit (doğada alkalin) çözeltisi, mukavemeti etkili bir şekilde artırabilir. Böylece cüruflla hazırlanan geopolimer kullanılarak zemin stabilizasyonu, zeminin ve endüstriyel atıkların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili ve ekonomik bir yöntem olabilir.

Geopolimerle birlikte arıtılmış endüstriyel atıkların kullanımı doğal kaynakları korur, çevre dostudur ve verimli zeminlere gereksiz çöp atılmasını önler.

Alkali aktivatör (geopolimer) numunelerinin serbest basınç dayanımını etkileyen önemli parametreler stabilizatör tipi, konsantrasyonu, alkali oranı, kür süresidir ve kür sıcaklığıdır.

Endüstriyel atık bazlı geopolimerler kullanılarak stabilize edilen Zemin, zemin iyileştirme, alt temel ve esnek kaplamaların temel tabakasında potansiyel uygulamalara sahiptir. Üstelik bu Zemin stabilizasyon tekniği, endüstriyel katı atıkları daha amaca uygun bir şekilde kullanmakla kalmayıp aynı zamanda çok uygun maliyetli ve çevre dostudur.

Kaynaklar

Abdila, S. R., Abdullah, M. M. A. B., Ahmad, R., Rahim, S. Z. A., Rychta, M., Wnuk, I., ... & Gucwa, M. (2021). Evaluation on the mechanical properties of ground granulated blast slag (GGBS) and fly ash stabilized soil via geopolymer process. *Materials*, 14(11), 2833.

Abdullah, M. S., & Ahmad, F. (2017). Effect of alkaline activator to fly ash ratio for geopolymer stabilized soil. In *MATEC web of conferences (Vol. 97, p. 01012)*. EDP Sciences.

Al Bakri Abdullah, M. M., Hussin, K., Bnhussain, M., Ismail, K. N., Yahya, Z., & Razak, R. A. (2012). Fly ash-based geopolymer lightweight concrete using foaming agent. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(6), 7186-7198.

Amulya, S., Ravi Shankar, A. U., & Praveen, M. (2020). Stabilisation of lithomargic clay using alkali activated fly ash and ground granulated blast furnace slag. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(9), 1114-1121.

Birkeland, P. W. (1999). *Soils and Geomorphology*. New York: Oxford University Press, pp.430.

Das, B. M. (2003). Chemical and mechanical stabilization. *Transportation Research Board*.

Davidovits, J. (1999). Chemistry of geopolymeric systems, terminology in: proceedings of 99 international conference, France.

Dayalan, J., & Dayalan, J. (2016). Comparative study on stabilization of soil with ground granulated blast furnace slag (GGBS) and fly ash. *Int. Res. J. Eng. Technol*, 3(5), 5.

Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., Mallicoat, S. W., Kriven, W. M., & Van Deventer, J. S. (2005). Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 269(1-3), 47-58.

Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., & van Deventer, J. S. (2007). Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal of Materials Science*, 42, 2917-2933.

Hamzah, H. N., Al Bakri Abdullah, M. M., Heah, C. Y., Arif Zainol, M. R. R., & Kamarudin, H. (2015). Review of soil stabilization techniques: Geopolymerization method one of the new technique. *Key Engineering Materials*, 660, 298-304.

Hardjito, D., Wallah, S. E., Sumajouw, D. M., & Rangan, B. V. (2004). Factors influencing the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete. *Civil Engineering Dimension*, 6(2), 88-93.

He, J., & Zhang, G. (2011). Geopolymerization of red mud and rice husk ash and potentials of the resulting geopolymeric products for civil infrastructure applications. *Developments in Strategic Materials and Computational Design II: Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 32, 45-52.

Khale, D., & Chaudhary, R. (2007). Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review. *Journal of Materials Science*, 42(3), 729-746.

Khedari, J., Watsanasathaporn, P., & Hirunlabh, J. (2005). Development of fibre-based soil–cement block with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), 111-116.

Komnitsas, K., & Zaharaki, D. (2007). Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry. *Minerals Engineering*, 20(14), 1261-1277.

Malkawi, A. B., Nuruddin, M. F., Fauzi, A., Almattarneh, H., & Mohammed, B. S. (2016). Effects of alkaline solution on properties of the HCFA geopolymer mortars. *Procedia Engineering*, 148, 710-717.

Mandal, S., & Singh, J. P. (2016). Stabilization of soil using ground granulated blast furnace slag and fly ash. *IJIRSET*, 5, 21121-21126.

Minelli, M., Papa, E., Medri, V., Miccio, F., Benito, P., Doghieri, F., & Landi, E. (2018). Characterization of novel geopolymer–zeolite composites as solid adsorbents for CO₂ capture. *Chemical Engineering Journal*, 341, 505-515.

Novais, R. M., Pullar, R. C., & Labrincha, J. A. (2020). Geopolymer foams: An overview of recent advancements. *Progress in Materials Science*, 109, 100621.

Olaniyan, O. S., Olaoye, R. A., Okeyinka, O. M., & Olaniyan, D. B. (2011). Soil stabilization techniques using sodium hydroxide additives. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11(6), 9-22.

Phair, J. W., & Van Deventer, J. S. J. (2002). Characterization of fly-ash-based geopolymeric binders activated

with sodium aluminate. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41(17), 4242-4251.

Phummiphan, I., Horpibulsuk, S., Phoo-ngernkham, T., Arulrajah, A., & Shen, S. L. (2017). Marginal lateritic soil stabilized with calcium carbide residue and fly ash geopolymers as a sustainable pavement base material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(2), 04016195.

Pourakbar, S., Huat, B. B., Asadi, A., & Fasihnikoutalab, M. H. (2016). Model study of alkali-activated waste binder for soil stabilization. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2, 1-12.

Rovnaník, P. (2010). Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1176-1183.

Sharma, K., & Kumar, A. (2020). Utilization of industrial waste based geopolymers as a soil stabilizer a review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(3), 97.

Shihab, A. M., Abbas, J. M., & Ibrahim, A. M. (2018). Effect of naoh molar concentration to soft clay soil stabilized by fly ash based geopolymer mechanical strength subjected to initial heating. *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*, 7(3), 1-9.

Singhi, B., Laskar, A. I., & Ahmed, M. A. (2016). Investigation on soil-geopolymer with slag, fly ash and their blending. *Arabian Journal For Science And Engineering*, 41, 393-400.

Sivapullaiah, P. V., Prasad, B. G., & Allam, M. M. (2009). Effect of sulfuric acid on swelling behavior of an expansive soil. *Soil & Sediment Contamination*, 18(2), 121-135.

Sukmak, P., Horpibulsuk, S., Shen, S. L., Chindaprasirt, P., & Suksiripattanapong, C. (2013). Factors influencing strength development in clay–fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*, 47, 1125-1136.

Steins, P., Poulesquen, A., Diat, O., & Frizon, F. (2012). Structural evolution during geopolymerization from an early age to consolidated material. *Langmuir*, 28(22), 8502-8510.

Syed, M., GuhaRay, A., Agarwal, S., & Kar, A. (2020). Stabilization of expansive clays by combined effects of geopolymerization and fiber reinforcement. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 101, 163-178.

Škvára, F., Kopecký, L., Nemecek, J., & Bittnar, Z. D. E. N. Ī. K. (2006). Microstructure of geopolymer materials based on fly ash. *Ceramics-Silikaty*, 50(4), 208-215.

Thomas, A., Tripathi, R. K., & Yadu, L. K. (2018). A laboratory investigation of soil stabilization using enzyme and alkali-activated ground granulated blast-furnace slag. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 5193-5202.

Tigue, A. A. S., Dungca, J. R., Hinode, H., Kurniawan, W., & Promentilla, M. A. B. (2018). Synthesis of a one-part geopolymer system for soil stabilizer using fly ash and volcanic ash. In *MATEC Web of Conferences (Vol. 156, p. 05017)*. EDP Sciences.

Trinh, S. H., Anh, Q., & Bui, T. (2018). Influencing of clay and binder content on compression strength of soft soil stabilized by geopolymer based fly ash. *Int. J. Appl. Eng. Res*, 13(10), 7954-7958.

Toniolo, N., & Boccaccini, A. R. (2017). Fly ash-based geopolymers containing added silicate waste. A review. *Ceramics International*, 43(17), 14545-14551.

Van Deventer, J. S. J., Provis, J. L., Duxson, P., & Lukey, G. C. (2007). Reaction mechanisms in the geopolymeric conversion of inorganic waste to useful products. *Journal of hazardous materials*, 139(3), 506-513.

Vijai, K., Kumutha, R., & Vishnuram, B. G. (2010). Effect of types of curing on strength of geopolymer concrete. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(9), 1419-1423.

Yaghoubi, M., Arulrajah, A., Disfani, M. M., Horpibulsuk, S., Bo, M. W., & Darmawan, S. (2018). Effects of industrial by-product based geopolymers on the strength development of a soft soil. *Soils and Foundations*, 58(3), 716-728.

BÖLÜM IV

Toplu Taşıma Sistemlerinin Hizmet Kalitesinin Belirlenmesine Yönelik Yöntemler

Polat YALINIZ¹
Şafak BİLGİÇ²

1. Giriş

Hızlı kentleşme ve nüfus yoğunluğunun arttığı günümüz dünyasında ulaşım temel bir gereklilik haline gelmiştir. Toplu taşıma, trafikte daha az yer kaplaması, daha fazla yolcu taşıması, enerji tasarrufu sağlaması, daha düşük maliyetli olması, daha az çevre kirliliğine sebep olması, daha az park alanı gerektirmesi ve sosyal eşitsizlikleri azaltması gibi nedenlerle özellikle önemlidir. Bu durum, toplu ulaşım sistemlerinin öneminin artmasına yol açmıştır.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, Orcid No: 0000-0003-0373-9727

² Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, Orcid No: 0000-0002-9336-7762

Kamu yetkilileri, toplumun yaşam kalitesini iyileştirmek için sürdürülebilir ulaşım sistemleri oluşturmayı amaçlamaktadır.

Toplu taşıma hizmet seviyesinin doğru bir şekilde belirlenmesi, sürdürülebilir taşımacılığın teşvik edilmesi ve yolcuların özel araçlardan çekilmesi için çok önemlidir. Müşteri memnuniyeti hizmet kalitesinin önemli bir göstergesidir ve yolcu memnuniyeti ulaştırma sektöründeki paydaşlar için önemli bir bilgi kaynağıdır. Toplu taşımayı yolcuların bakış açısından değerlendirmek, toplu taşımanın daha yaygın kullanımını teşvik etmek için gereklidir. Yolcular tarafından algılanan kaliteye bağlı olarak talep artmakta, bu da toplu taşıma sektöründe birçok uygulamalı araştırmayı ve sektörün gelişimini motive etmektedir.

Bu çalışma, toplu taşıma hizmet kalitesini arttırmak amacıyla ABD ve Avrupa'daki toplu taşıma hizmet seviyesi standartlarını analiz etmekte ve insanları toplu taşıma kullanmaya teşvik etmek için gereken hizmet seviyesini tartışmaktadır.

Toplu taşıma hizmetlerinin kalitesini değerlendirmek ve iyileştirmek, toplu taşıma işletmecilerinin çoğunluğu için yüksek bir önceliktir. Hizmet sektörünün bileşenlerinden biri olan toplu taşımanın kalite düzeyinin ölçülmesi ve geri bildirimlerle sürekli kontrol edilmesinin gelecekte kullanıcıların güven ve sadakatini arttıracak bir gerçektir. Öte yandan kentlerde toplu taşıma hizmetlerinin genellikle tekeli olması, düşük gelir gruplarının sunulan hizmetin kalitesinden bağımsız olarak toplu taşıma araçlarını kullanmak zorunda kalması sonucunu doğurmaktadır. Bununla birlikte, özellikle büyük şehirlerdeki dayanılmaz trafik sıkışıklığı karşısında, özel araç kullanıcılarını toplu taşıma

kullanmaya teşvik etmek için önlemler alınmaktadır. Toplu taşıma hizmetinin kalitesini ölçerek (rakip toplu taşıma türleri varsa, her biri ayrı ayrı ölçülmelidir) ve bu ölçümlerin sonuçlarına göre iyileştirmeler yaparak, daha fazla özel araç yolculuğunu toplu taşımaya çekmek mümkündür (Yalınız & ark., 2023).

İnsanlar toplu taşımada belirli standartlar aramaktadır. Bu standartlar sağlanmadığı takdirde bir an önce özel araç kullanımına geçmeye çalışacak, ciddi trafik ve çevre sorunlarına neden olacaklardır. Hizmet kalitesi insanları cezbeder ve başarıyı getirir. Bunu sağlamak için toplumda verilen hizmetlerin insanları nasıl etkilediğini belirlemek gerekir. Bu gereksinimin belirlenmesi için hizmet kalitesinin ölçülmesine yönelik yöntemler geliştirilmektedir. Bu bağlamda ulaştırma hizmetlerinin düzeyi, ülkelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Ulaştırma hizmetleri; sunumu, finansmanı, tedarik süreçleri ve kullanıcıları açısından ayrı ayrı analiz edilmesi gereken çok boyutlu ve kapsamlı unsurlardan oluşmaktadır. Bu bakımdan, ulaştırma hizmeti sağlayıcıları tarafından sunulan hizmetlerin kalitesinin ölçülmesi, bu süreçlere bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir.

Kentsel ulaşım sisteminin işletmecileri, sistemin uzun vadede ekonomik olarak sürdürülebilir ve kârlı kalmasını sağlarken kazançlarını en üst düzeye çıkarmayı hedefler. Sistemin devamlılığını ve başarısını sağlamak için her iki tarafın çıkarlarını dengelemek önemlidir. Bu arada, toplu taşıma kullanıcıları sistemin güvenli, düşük maliyetli, ve yüksek kaliteli olmasını beklemektedir. Kullanıcılar kalite ve maliyet etkinliğine odaklanırken, toplu taşıma işletmecileri ekonomik sürdürülebilirliğe öncelik vermektedir. Bu

durum, her iki taraf arasında performans kriterleri ve talepler açısından bir çelişki yaratmaktadır (Güner, 2017).

Toplu taşımada hizmet kalitesi, yolcuların performansa ilişkin algıları tarafından belirlenir. Hizmet kalitesini tanımlamak ve değerlendirmek için kullanılan üç ana yaklaşım ve teknik kategori vardır.

- Toplu taşımada müşteri memnuniyeti, bir müşterinin beklentilerinin ne ölçüde karşılandığını ifade eder ve karşılanan beklentilerin yüzdesi olarak ölçülür.

- Müşteri sadakati, tutumları ve davranışları birbiriyle ilişkilidir ve genellikle müşteri memnuniyetinden etkilenir. Bir toplu taşıma hizmeti ile devam eden bir ilişkiye sürdürülebilir yatırım yapılması da müşterinin bağlılığına bağlıdır.

- Karşılaştırma ölçütleri, kaliteyi farklı dönemlerde (zaman serisi analizi) veya eş zamanlı olarak farklı güzergâhlar veya toplu taşıma operatörleri arasında (kesitsel analiz) karşılaştırmak için kullanılabilir (Tyrinopoulos & Antoniou, 2008).

2. Toplu Taşıma Hizmet Kalitesi Tanımları

Hizmet kalitesi, müşteri memnuniyetinin bir göstergesi olarak görülmüştür (Nandan, 2010.). Müşterilerin sistemden memnuniyeti, ulaşım sektöründeki herkes için göstergelerden biridir. Yolcular tarafından toplu taşımanın değerlendirilmesi, toplu taşımanın daha yaygın kullanımını teşvik etmek için çok önemlidir. Yolcular tarafından algılanan kalitenin ardından talep artar ve bu artış toplu taşıma sektöründe birçok uygulamalı araştırmayı ve sektörün gelişimini motive eden en önemli parametredir. Talepteki

değişikliklerle ilgili sorunları çözmek için ihtiyaç duyulan temel performans ölçütlerinden biri de ulaşım sisteminin esnekliğidir.

Toplu taşıma yolcularının hizmet seviyesini (LOS) değerlendirmede, kapasite ve süre gibi kriterlerin niceliksel olarak ölçülmesi kolayken, rahatlık ve konforla ilgili diğer LOS kriterleri niteliksel olarak daha iyi ifade edilir.

Son zamanlarda, dünya çapında toplu taşıma sektörü, ulaşımındaki ciddi sorunları ele almak için radikal bir dönüşüm geçirmiştir. Şu anda otomobiller toplu taşımadan daha fazla kullanılmaktadır. Bunun sonuçları trafik sıkışıklığı, gürültü ve hava kirliliği, büyük enerji tüketimi ve çevre kirliliğidir. Ulaşım planlaması da otomobil dışı türlere daha fazla vurgu yapılmasını ve çevresel etkiler ve hareketlilik gibi faktörlerin daha fazla dikkate alınmasını içerecek şekilde genişlemiştir. Mevcut sorunları ele almak amacıyla toplu taşımanın olumlu ve olumsuz yönleri ve yolcuların tercih nedenleri incelenmiştir.

Toplu taşıma kullanmama nedenleri şunlardır:

- Otobüs duraklarında uzun beklemeler,
- Kapasitesinden fazla yolcusu olan araçlar,
- Uzun sefer aralıkları,
- Araçların yavaşlığı,
- Hizmetlerin güvenilmezliği,
- Transfer ihtiyacı,
- Yük taşımada zorluk,
- Yüksek fiyat,

- Duraklara erişim zorluğu,
- Diğer.

Toplu taşıma kullanmayı tercih etme nedenleri şunlardır:

- Ucuz yolculuk,
- Hızlı yolculuk,
- Özel otomobil eksikliği,
- Düşük kaza riski,
- Park yeri bulma zorluğu,
- Pratiklik (daha az yorucu yolculuk),
- Ehliyetin olmaması,
- Diğer.

Yolcular bu nedenlerle toplu taşımayı tercih etmektedir.

Hizmet kalitesinde aranan nitelikler aşağıdaki gibidir:

- Düşük sefer aralığı,
- Yolculuk süresi,
- Toplu taşıma durağı sayısı,
- İç mekânların, koltukların vb. temizliği,
- Toplu taşıma araçlarında konfor,
- Toplu taşıma araçlarında güvenlik,
- Toplu taşıma duraklarında konfor,
- Hizmetler hakkında bilgi,
- Toplu taşıma araçlarında koltukların mevcudiyeti,

- Diğer. (Mazzula & Eboli, 2006)

Toplu taşımanın olumsuz özellikleri azaltıldığında ve müşteriler tarafından algılanan kalite istenen düzeye ulaştığında toplu taşımaya olan talep artacaktır. Dünyanın birçok ülkesinde toplu taşımanın yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir. ABD'de yapılan bir çalışmada işverenler ve belediyeler işe giderken özel araç kullanımını azaltarak toplu taşıma, bisiklet ve yürüme eğilimini artırmaya çalışmışlardır. Bu teşviklere yönelik eğilimin artırılmasının yanı sıra dengeli bir politika izlenmiştir. Bu çalışmaya ek olarak ücretsiz otoparklar devreye sokulmuştur (Hamre & Buehler, 2014). Burada özel araçların belirli noktalarda (Park and Ride vb.) bırakılarak toplu taşımaya aktarma yapılabilmesi esas alınmıştır.

2.1. Hizmet Seviyesi Ölçümlerinin Önemi

Ulaşım sorunlarının uzun vadede çözülebilmesi için toplu taşıma kullanımının artırılması gerekmektedir. Özel araç kullanma potansiyeli olan kişileri toplu taşımaya çekebilmek için dikkate alınması gereken faktörler vardır. İnsanlar ulaşım sisteminde tercih yaparken güvenliği ön planda tutmaktadır. Daha sonra, toplu taşıma sistemi insanları, malzemeleri ve malları en az zaman ve maliyetle taşımalıdır. Üçüncü olarak, mümkün olan en yüksek konfor sağlanmalıdır.

Toplu taşıma yatırımları yapılırken taşınan yolcu sayısı, kapasiteler, sıklık vb. kriterler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kriterler toplu taşımanın yapıldığı yere göre farklılık gösterebilir. Genel olarak ulaşım için kullanılan sistemin güvenli, hızlı,

ekonomik, konforlu, düzenli ve sık aralıklı olması gerekmektedir (Yalınız & ark., 2011).

Toplu taşımada amaçlanan hizmet kalitesine ulaşmak için eksiklikler tespit edilmelidir. Hangi alanlarda iyileştirmeler yapılacağına karar verilmelidir. Bunun için standartlara göre ölçümler yapılmalıdır.

3. Toplu Taşımada Hizmet Seviyesi Standartları

3.1 Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Araştırma Kurulu Toplu Taşıma İşbirliği Araştırma Programı'nın (TCRP) Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi (QOS) El Kitabı (TCQSM) yöntemi

TCRP Raporu 165: Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi El Kitabı, Üçüncü Baskı (TCQSM), toplu taşıma kapasitesi ve hizmet kalitesi hakkında araştırmaya dayalı rehberlik sağlayan kapsamlı bir referans dokümandır. Çeşitli toplu taşıma türlerini kapsar, toplu taşıma kullanılabilirliğini değerlendirmek için bir çerçeve sunar ve kapasite ve operasyonel özellikleri hesaplamak için nicel teknikler içerir. Kılavuz, toplu taşıma sistemlerini ve yolcu deneyimlerini geliştirmek için her biri bir öncekinin üzerine inşa edilen üç baskı ile gelişmiştir (TCRP, 2013).

İlk versiyon (TCRP Belge 6, 1999) otobüs ve demiryolu toplu taşıma kapasitesinin ve hizmet kalitesinin değerlendirilmesine yönelik yöntemleri tanıtmıştır. Yolcuların bakış açısından hizmet kalitesinin değerlendirilmesine zemin hazırlamış ve Karayolu Kapasite El Kitabı 2000'deki (HCM2000) toplu taşıma bölümlerini etkilemiştir.

İkinci sürüm (TCRP Raporu 100, 2003) bilgi boşluklarını doldurmaya odaklanmıştır. Feribot kapasitesi, talebe duyarlı toplu taşıma (DRT), Engelli Amerikalılar Yasası (ADA) konuları ve toplu taşıma tercihi konularını kapsamıştır. Ayrıca, TCQSM toplu taşıma hizmet kalitesi çerçevesini geliştirmiştir.

Üçüncü baskı (güncel, TCRP Raporu 165, 2013) toplu taşıma kapasitesi ve hizmet kalitesi üzerine yeni araştırmaları içermektedir. Üretim sözleşmesi sırasında yapılan orijinal araştırmaları da içerdiğinden toplu taşıma profesyonelleri için değerli bir kaynaktır.

TCQSM için yapılan kullanıcı erişim çalışmaları, farklı teknik geçmişlere sahip çeşitli gruplar içeren bir kullanıcı tabanı ortaya çıkarmıştır. Teknik olmayan kullanıcılar, toplu taşıma kapasite ve hizmet kalitesi kavramlarını ve çeşitli faktörlerin bu unsurlar üzerindeki etkisini detaylı hesaplamalara ihtiyaç duymadan anlamak istediklerini ifade etmişlerdir. Buna cevaben, TCQSM'nin 3. baskısı, kavramları ve hesaplama yöntemlerini net bir şekilde ayırarak kullanıcı dostu bir yaklaşım benimsemiştir. Bu ayırım, hem kılavuz içindeki bölümlerin organizasyonunda hem de bölümler içindeki materyallerin sunumunda belirgindir. Bu tasarım, teknik olmayan kullanıcıların kılavuzun teknik odağı tarafından aşırı yönlendirilmiş hissetmeden ilgili bilgilere erişebilmelerini sağlar. Aynı zamanda, TCQSM teknik kullanıcılar için kapsamlı içerik sağlamaya devam etmekte, varsayılan değerler gibi hesaplamalar için gerekli tüm bilgileri ilgili yöntemlerle birlikte sunmakta ve böylece kılavuzun genel erişilebilirliğini ve kullanılabilirliğini geliştirmektedir.

Versiyon 2'de yolcu memnuniyetinin değerlendirilmesi için A, B, C, D, E ve F harfleri kullanılmıştır (TCRP, 2003). TCRP 165'te harf sınıflandırması bulunmamaktadır. Her bir kriter hem yolcu hem de işletmeci perspektifinden değerlendirilmektedir. Hizmet seviyeleri daha sonra kategorize edilmiştir. Bunun nedeni, yolcuların sık ve düzenli hizmet almaları halinde hizmeti kaliteli bulacakları ve memnun olacaklarıdır. Ancak bu durum işletmecileri fiziksel ve mali sıkıntıya sokacak bir duruma getirebilir. TCRP 165'te taşıma operatörlerinin kendi durumlarını yansıtan yorumlarını görmek mümkündür (TCRP, 2013).

Hizmet kalitesi, yolcular tarafından algılanan toplu taşıma performansının bir ölçüsüdür. Toplu taşıma hizmetinin müşterilerin ihtiyaçlarını ne kadar iyi karşıladığını yansıtır ve bu da yolcu sayısı üzerinde etkili olabilir. Ancak, yolcuların arzu ettiği hizmet kalitesi ile bir toplu taşıma kurumunun bütçe kısıtlamaları nedeniyle ya da toplu taşıma hizmete olan talebe bağlı olarak gerçekçi bir şekilde sağlayabileceği hizmet kalitesi arasında bir denge kurmak önemlidir. Daha yüksek hizmet kalitesi potansiyel yolcular için daha caziptir ve daha düşük hizmet kalitesine kıyasla yolcu sayısının artmasını sağlar. Ancak, her zaman böyle olmasa da, daha iyi hizmet kalitesinin daha yüksek maliyetlerle de sonuçlanabileceğini unutmamak önemlidir.

Bu TCRP projesi, kurumların sistemlerini etkileyen ya da potansiyel olarak etkileyebilecek en önemli müşteri hizmetleri sorunlarını belirleyebilmelerini sağlamak amacıyla müşteri memnuniyeti anketleri yürütme konusunda toplu taşıma kurumları için rehberlik geliştirmiştir. Projenin anketlerinde yolculardan 46 toplu taşıma sistem özelliğini 1 ila 10 arasında derecelendirmeleri ve

son bir ay içerisinde bu özelliklerle ilgili bir sorun yaşıyıp yaşamadıklarını belirtmeleri istenmiştir (TCRP, 2013).

Karşılaştırma kolaylığı açısından, ankete katılan 46 özellik şu dokuz kategoride gruplandırılmıştır: konfor, rahatsızlıklar, zamanlama, ücretler, temizlik, yüz yüze bilgilendirme, pasif bilgilendirme, güvenlik ve transferler. Zamanlama ile ilgili özellikler mevcut endişe alanlarının başında gelirken, bunu konfor ve rahatsızlıklar (örn. gürültücü yolcular) takip etmektedir. Potansiyel sorunlar (hâlihazırda sorun teşkil etmeyen ancak yine de yolcuları endişelendiren alanlar) analiz edildiğinde, ücretler ve zamanlama en büyük endişe kaynağı olurken, bunları konfor ve güvenlik takip etmiştir. Son 30 gün içinde bu alanda bir sorun yaşamamış olan yolcular arasında yüksek düzeyde endişe yaratma potansiyeli en düşük olan kategori rahatsız edicilik olmuştur.

TCRP 165 yöntemi sabit güzergâhlı toplu taşıma hizmetleri için QOS ölçütleri ve bu ölçütlerin hesaplanması ve yorumlanmasına ilişkin yöntemler içerir. Feribot kapasitesi, talebe duyarlı toplu taşıma (DRT), Raylı Sistem kapasitesi ve İstasyon kapasitesi için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Ölçütler iki alanda gruplandırılmıştır: (a) kullanılabilirlik ve (b) konfor ve rahatlık. Temel altı QOS ölçütü şunlardır: (a.1) Sıklık, (a.2) Hizmet Süresi, (a.3) Erişim, (b.1) Yolcu Yüğü, (b.2) Güvenilirlik, (b.3) Seyahat Süresi,

Temel kullanılabilirlik ölçütleri, hizmetin ne sıklıkla sağlandığını (sıklık), ne kadar süreyle sağlandığını (çalışma saatleri) ve hizmetin nerede sağlandığını (erişim) tanımlar. Bu ölçütler birlikte ele alındıklarında toplu taşıma kullanılabilirliğinin hem zamansal hem de mekânsal yönlerini tanımlamaktadır. Ancak, bir

hizmetin potansiyel bir yolcunun kullanmak istediği yerde ve zamanda mevcut olması yeterli değildir. Yolcuların nereye gideceklerini ve hizmeti nasıl kullanacaklarını bilmeleri (bilgi sağlama), doğru ücretlendirme araçlarına sahip olmaları ya da bunları temin edebilmeleri ve seyahat etmek istedikleri zamanda mevcut kapasitenin (örneğin bir park et ve bin bölgesinde, araçta) olması gerekir.

Toplu taşımanın belirli bir yolculuk için bir seyahat seçeneği olabilmesi için toplu taşıma hizmetinin mevcut olması asgari bir gerekliliktir. Ancak, toplu taşıma taşımacılığının konfor ve rahatlık unsurları da yolcuların hizmetten memnuniyetine ve hizmeti kullanma olasılığına katkıda bulunur. Sabit hatlar için konfor ve rahatlığın temel ölçütleri yolcu yükü (kalabalığı yansıtır), güvenilirlik (planlanan zamana uyum performansını yansıtır) ve toplu taşıma-otomobil seyahat süresi farkıdır (toplu taşıma hizmetinin otomobil moduna göre zaman rekabetçiliğini yansıtır). Yolcu memnuniyetine katkıda bulunan ancak ölçülmesi ya da tahmin edilmesi daha zor olan diğer konfor ve rahatlık faktörleri arasında emniyet, güvenlik ve personelin müşterilerle etkileşimi yer almaktadır (TCRP, 2013).

3.2 TS EN 13816 ve TS EN 15140 Avrupa Standartları

3.2.1 TS EN 13816 Avrupa Standardı

Türkiye'nin de üye olduğu 3 Avrupa Standardizasyon Organizasyonundan CEN tarafından 2001 yılında onaylanan bu standart 34 Avrupa ülkesinde geçerlidir. Bu standart "Ulaştırma - Lojistik ve hizmetler - Toplu taşıma - Hizmet kalitesinin tarifi, hedefi ve ölçümü", toplu taşıma araçlarında hizmet kalitesinin

ölçülmesi, hedefin belirlenmesi ve isimlendirilmesi için gerekli şartları kapsar ve hangi ölçüm metodunun kullanılması gerektiği konusunda yol gösterir. (TS EN 13816, 2002)

Hizmeti sunan işletmeler bu standartta yer alan kurallara uyduklarında, niteliği ne olursa olsun büyük oranlarda fayda elde edilmektedir. Bu standarda göre toplu taşıma hizmetlerinin kalitesi esas alındığında dört ana madde bulunmaktadır. Bunlar;

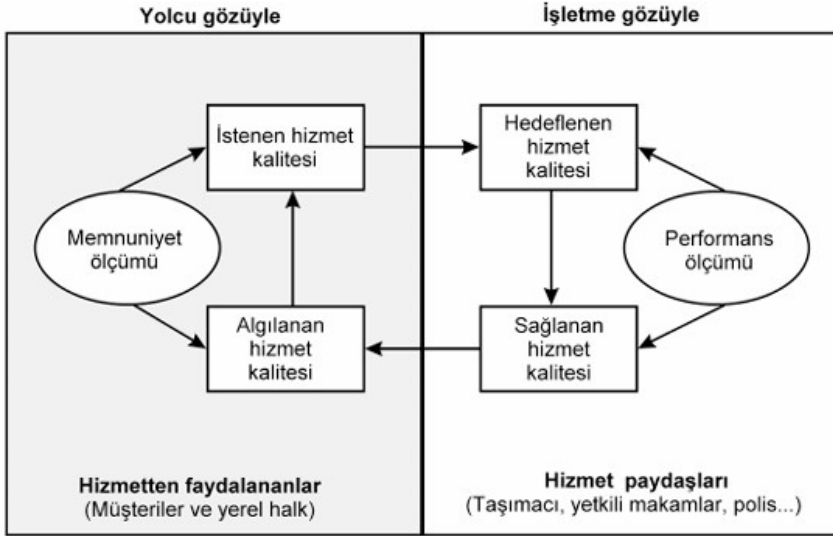
İstenen Hizmet Kalitesi, müşteri tarafından açıkça veya dolaylı olarak talep edilen kalite düzeyidir.

Hedeflenen Hizmet Kalitesi, operatörün müşterilere sağlamayı amaçladığı kalite düzeyidir.

Sağlanan Hizmet Kalitesi, günlük olarak ulaşılan kalite düzeyidir.

Algılanan Hizmet Kalitesi, müşteri tarafından algılanan kalite düzeyidir. (TS EN 13816, 2002).

TS EN 13816 Standardı, hizmet kalitesini tanımlarken hizmet kalitesi döngüsünü kullanmıştır. Hizmet kalitesi döngüsü Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Hizmet kalitesi döngüsü (TS EN 13816, 2002).

Toplu taşımanın genel kalitesini belirlemek için birçok kriterin ele alınması gerekmektedir. Toplu taşımanın kalitesi üzerine sunulan hizmete müşterinin bakışını yansıtan kriterleri standart 8 ayrı kategoriye ayırmıştır.

1) Uygunluk: Sunulan hizmetin coğrafya, süre, sıklık ve ulaşım şekli bakımından kapsamı,

2) Erişilebilirlik: Diğer ulaşım türleriyle ara bağlantılar dâhil toplu taşıma sistemine erişim,

3) Bilgilendirme: Yolculukların planlanma ve icrasına yardımcı olmak üzere toplu taşıma sistemine ilişkin bilgilerin sistematik sunumu,

4) Süre: Seyahatlerin planlama ve icrasına ilişkin zaman ile ilgili hususlar,

5) Müşteri ilişkileri: Herhangi bir bireysel müşterinin ihtiyaçları ile standart hizmet arasında mümkün mertebe en yakın dengeye ulaşmak amacıyla ortaya konulan hizmet hususları,

6) Konfor: Toplu taşıma yolculuklarını daha rahat ve beğenilir kılmak amacıyla takdim edilen hizmet unsurları,

7) Güvenlik: Müşterilerin, uygulanan tedbirlerden ve bu tedbirlerin bilinmesini sağlamaya yönelik faaliyetlerden kaynaklanan bireysel korunma duygusu,

8) Çevresel etki: Sunulan bir toplu taşıma hizmetinin çevre üzerindeki etkisi.

TS EN 13816 standardında hizmet kalitesi döngüsü, hizmet kalitesinin boyutları ve hizmet kalitesi kriterleri dikkate alınarak hizmet kalitesi ölçüm yöntemleri belirlenmiştir. TS EN 13816 standardı, hizmet kalitesinin belirlenmesi için iki tür anket tanımlamaktadır:

-Memnuniyeti ölçmek için Müşteri Memnuniyeti Anketleri (CSS) ve

-Performansı ölçmek için Gizli Müşteri Denetimleri (MCA).

Toplu taşıma için önemli kriterleri belirlemek için pazarda ön araştırma yapılmalı ve müşteriler bu kriterler çerçevesinde objektif olarak ankete katılmalıdır. Öncelikle yolcu için önemli olan kriterlerin belirlenmesi ve bunlara değinilmesi tavsiye edilir. Daha sonra ilgili diğer kriterler de ankete dâhil edilmelidir.

Anketler, tüm kullanıcılar dâhil olmak üzere güzergâh üzerindeki tüm kalkış noktalarından bir örneklemini kapsamalı ve standart piyasa uygulamalarına uygun olmalıdır. Müşteri

memnuniyeti anketleri yolculuktan önce veya sonra yapılabilir, önemli olan kolaylık ve herhangi bir önyargıdan kaçınmaktır. Tablo 1 bu anketler için kriterleri ve memnuniyet ölçümlerini göstermektedir (TS EN 13816, 2002).

Tablo 1. Müşteri Memnuniyeti Anketleri (CSS) ölçümleri

Kriterler	Memnuniyet ölçümleri	Performans Hedefi
1. Uygunluk 1.1 Toplu taşıma araç şekilleri	- Yolcuların ihtiyaçlarını karşılayan bir toplu taşıma aracına erişim	Tüm bölgelerde uygun toplu taşıma şekillerinin olması
1.2 Güzergâh	- İstedığınız zaman istediğiniz yere gidebilme - Kullanılabilirlik	Ulaşım ağı az sayıda aktarmalı olmalı
1.3 Süreç	- Sefer sıklığı	Hizmet aralığının kısa olması
1.4 Kolaylık	Hedef kullanıcılar için - örn: - Engelli yolcular için uygunluk - Çocuklar için elverişli koşulların sürdürülmesi - Yaşlılar için uygunluk - Ev ve iş arasında seyahat eden düzenli yolcular için kolaylık	Mevcut ve potansiyel olan tüm kullanıcılar için hizmete erişim kolaylığı
1.5 Düzenlilik	- Ulaşım ağına güven	Kullanıcılara güven verilmesi
2.Erişilebilirlik 2.1 Harici ara irtibat	- Kullanıcılarla irtibat (örn. otoparklardan erişim)	Erişim kolaylığına dönük önlemler
2.2 Dâhili Ara temas	- örn. asansörler ve yürüyen merdivenler	Erişim kolaylığına dönük önlemler
2.3 Biletleme	- Bilet satın alma kolaylığı - Doğru veya en uygun bileti temin eden kullanıcı	Ulaşım ağı dâhilinde bilet satış noktaları olması Ulaşım ağı dışında bilet alma imkânı sağlanması.
3. Bilgilendirme 3.1 Genel bilgiler	- Bilgi hizmetinin kullanılabilirliği - Bilgilerin doğruluğu, güncelliği ve anlaşılabilirliği	Tam, doğru, anlaşılır ve faydalı bilgi sunulması

3.2 Yolculuk bilgileri (normal koşullar)	- İstasyonlarda, duraklarda ve araçlarda bilgilendirme - Olması muhtemel bilgileri sağlama hizmeti - Bilgilerin doğruluğu ve faydası	Tam, doğru, anlaşılır ve faydalı bilgi sunulması
3.3 Yolculuk bilgileri (normal dışı koşullar)	- İstasyonlarda, duraklarda ve araçlarda bilgilendirme - Hoparlör sisteminin mevcudiyeti - Duyuruların kullanışlılığı	Tam, doğru, anlaşılır ve faydalı bilgi sunulması
4. Süre 4.1 Yolculuk Süresi	- Yolculuk süresi	Yolculuk süresini en aza indirmek
4.2 Hareket tarifesine uyum	- Zaman çizelgesine göre zamanında hizmet verilmesi - Sistematik olma - Sağlanan hizmetin güvenilirliği	Maksimum seviyede güvenilirlik
5. Müşteri Hizmetleri 5.1 Sorumluluk	- Genel	Müşteriye taahhüt edilen hizmetin gerçekleştirilmesi için tasarlanan müşteri hizmetleri bildirgesi
5.2 Müşteri arayüzü	- Kullanıcıya hizmet - Kullanıcıların sorunlarını ve taleplerini ele alma yetkinliği	Müşteri istek ve şikâyetlerine karşılık verilmesine ilişkin standartlar/zaman ölçütleri
5.3 Kadro	- Eleman bilgisi - Görünüm/davranış - Yeterli sayıda personel	Müşterilerin karşılanmasına ilişkin standartlar
5.4 Destek	- Kullanıcılarla iletişim - Personelin yardımseverliği	Personel desteğine ilişkin standartlar
5.5 Biletleme seçenekleri	- Bilet satın alma, fiyatlandırma ve seçenek çeşitliliği	Müşteri ihtiyaçlarına uygun bilet alma tercihleri

6. Konfor 6.1 Yolcuların konfordan faydalanabilirli-ği 6.2 Oturma düzeni ve kişisel alan	- Kalabalıklık seviyesi	Konfora ilişkin standartlar
6.3 Sürüş konforu	- Sürüş - Araç konforu ve temizliği	Biniş esnasındaki konfora ilişkin standartlar
6.4 Çevresel Koşullar	- İstasyon/durak hizmetleri - Yolculuk atmosferi - Temizlik - Araç atmosferi	Ortam koşullarına ilişkin standartlar
6.5 İsteğe bağlı konfor tesisleri	- İstasyonlarda ve duraklarda konfor olanaklarının mevcudiyeti - Araç içi konfor olanaklarının mevcudiyeti	Konfor imkânlarının tanımlanmış müşteri standartlarına uygun şekilde sağlanması
6.6 Ergonomi	- İstasyon ve durakların tasarımı	İndirme-bindirme(A/B) noktalarının müşteri ihtiyaçlarına uygun olarak tasarlanması
7. Güvenlik 7.1 Suç Önleme	- Polisiye olaylar bakımından güvenlik algısı	Yolculara güvenli ve tehlikesiz hizmet temini
7.2 Kaza Önleme	- Trafik güvenliği	Müşterilerin ve yol kullanıcılarının güvenliği
8. Çevresel etki 8.1 Kirlilik	- Gürültü ve diğer kirlilik	Kirlilik/atık seviyesi aşılmamalıdır
8.2 Doğal kaynaklar		Birim ünite çıktı başına enerji tüketiminin azaltılması
8.3 Altyapı		

Gizli müşteri denetimlerinin amacı hizmet kalitesini objektif olarak ölçmektir. Bu, yolculuk sırasında yolcu gibi davranan ve sağlanan hizmeti belirli kriterlere göre değerlendiren uzman denetçiler aracılığıyla gerçekleştirilir. Objektif puanlama sağlamak için denetimler dikkatli bir şekilde yürütülmeli ve belirlenen

standartlara göre puanlanmalıdır. Dengeli sınıflandırma sistemleri sağlamak için, puan tutarsızlıklarını en aza indiren dereceli kontrol listelerinin kullanılması tavsiye edilir. Tablo 2'de gizli müşteri denetimlerinde değerlendirilen kalite kriterleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Gizli müşteri denetimleri (MCA) Kalite Kriterleri

Kriterler	Performans Ölçümü
Bilet Satın Alma	Hedeflenen performans: Güzergâh üzerinde bilet satış noktalarının bulunması. Güzergâh dışı noktalarda da bilet satış noktaları bulunmalıdır. Seyahat dışında da bilet satın almak mümkün olmalıdır. Performans ölçümü: Bilet satış hizmeti performansı
Bilgilendirme	Hedeflenen performans: Güzergâh ve sağlanan hizmet hakkında eksiksiz, kolay anlaşılır ve faydalı bilgiler Performans ölçümü: Zaman çizelgesi ve bilgi materyalinin mevcudiyeti
Tarife uyumu	Hedeflenen performans: Kullanıcıların tarifeye olan güvenini en üst düzeye çıkarmak Performans ölçümü: Tarife Uyumluluğu
Personel	Hedeflenen Performans: Yolculara standartlarda belirtilen şekilde davranılır Performans ölçümü: Yolcular standart dâhilinde karşılandı, Çalışanın bilgisi, dürüstlüğü ve kibarlığı, Personelin dış görünümü
Konfor	Hedeflenen Performans: Müşterilerin standartlar dâhilinde mümkün olduğunca rahat ettirilmesi Performans ölçümü: Araç hareket halindeyken konfor durumu, Biniş/İniş noktalarında veya araçlarda bulunan diğer konfor özellikleri

Ayrıca Doğrudan performans ölçümleri ile bazı sistem özellikleri ölçülebilmektedir. Doğrudan performans ölçümleri, performansın izlenmesine ve tanımlanmış ölçeklerle kıyaslanmasına imkân sağlar. Doğrudan performans ölçümleri ya sürekli bazda faaliyet kayıtlarından ya da temsili olarak alınan örnek gözlemler kullanılarak fiili hizmet performansını kontrol eder.

Doğrudan performans ölçümleri, performansın belirlenmiş ölçekler çerçevesinde izlemesine ve hedefinin belirlenmesine imkân sağlar. Ölçüm

3.2.2 TS EN 15140 Avrupa Standardı

TS EN 15140 "Toplu taşımacılık - Sunulan hizmet kalitesini ölçmeye yönelik sistemler için temel şart ve tavsiyeler" Avrupa standardı, EN 13816 standardı çerçevesinde, toplu taşıma sistemlerinde hizmet kalitesinin ölçülmesi için tavsiyeler ve temel gereklilikler sağlar. Ölçümlerin pratikte uygulanmasına rehberlik etmenin yanı sıra denetim sürecinde ortaya çıkabilecek olumsuz durumları tespit etmeyi ve ele almayı amaçlamaktadır. Bu belgede özetlenen standartlar ve tavsiyeler, hizmet sağlayıcı tarafından gerçekleştirilen ölçümlerin yanı sıra üçüncü taraf ölçümleri için de geçerlidir (TS EN 15140, 2006).

EN 15140 standardına göre ölçülen her bir kalite kriterinin 'uygun' veya 'uygun değil' şeklinde açık bir tanımı olmalıdır. Ölçülen kalite 'uygun' ya da 'uygun değil' olarak kaydedilmelidir (Üvenç ve Kulluk, 2019).

EN 15140 standardı, bir ölçüm sisteminin tasarlanmasında yer alan konuları ana hatlarıyla belirtir:

- **Müşteri perspektifini tanımlamak**; müşteri perspektifinin nasıl değerlendirildiğini açıklamak,

- **Yönetim perspektifini tanımlamak**; operasyonel sürece uyumun nasıl sağlandığını açıklamak,

- **"Uyum" / "uyumsuzluk" tanımı**; mümkünse tablo halinde açıklama,

- **Hizmeti kullanan müşterilerin oranı**; göstergenin nasıl hesaplandığını veya tahmin edildiğini açıklamak,

- **Hizmet standardı ve başarı düzeyi**; konuya ilişkin kısa açıklama (Üvenç ve Kulluk, 2019)

4. Sonuçlar

Toplu taşımayı geliştirmek ve cazibesini artırmak için hem müşterilerin hem de uzmanların görüşlerini dikkate almak önemlidir. Bunlara bakarak sistemdeki eksiklikler giderilmeli ve müşteri talepleri dikkate alınmalıdır.

TCRP 165 standardı incelendiğinde, Avrupa Standartlarının daha geniş yaklaşımına kıyasla daha spesifik ve formüle edilmiş bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Standartlara uyum sağlandığında, otomobilden daha üstün nitelikli bir toplu taşıma sistemi oluşacaktır. Bu da özellikle ana hedef kitle olan özel araç kullanıcıları için toplu taşımayı daha cazip ve tercih edilir kılacaktır. Bu sayede otomobillerin neden olduğu trafik sorunlarının çözülmesi mümkün olacaktır.

Toplu taşımanın enerji verimliliği, çevre koruma, maliyet azaltma ve yolların verimli kullanımı gibi birçok faydası vardır. Bu nedenle yolcuları toplu taşımaya çekmek çok önemlidir. Bunu

başarmak için toplu taşıma sistemlerinin hizmet kalitesini ölçmek ve buna göre yolcu çekecek önlemler almak önemlidir.

Birçok şehirde, yolcu sayısını artırmak ve böylece özel araç trafiğini azaltmak amacıyla son yıllarda ücretsiz toplu taşıma sistemleri uygulamaya konulmuştur. Birçok şehirde toplu taşıma sistemi gelirlerinin maliyetleri karşılama oranı %20-40 civarındadır. Ancak özel araç sahiplerini toplu taşımaya çekmek için en önemli kriter ulaşım ücreti değildir, konfor ve erişilebilirlik gibi diğer kriterler çok daha önemlidir. Bu nedenle özellikle araç sahipleri için önemli olan hizmet kalitesi göstergelerinin doğru ölçülmesi ve buna göre önlemler alınması trafik sorunları, çevre koruma, enerji verimliliği ve maliyetlerin azaltılması konularında fayda sağlayacaktır.

Kaynakça

Güner, S. (2017). Toplu Ulaşım Sistemlerinde Operasyonel Etkinlik ve Hizmet Kalitesi Analizi, *Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi*, 26-27 Ekim 2017, İstanbul

Hamre, A., & Buehler, R. (2014). Commuter mode choice and free car parking, public transportation benefits, showers/lockers, and bike parking at work: evidence from the Washington, DC region. *Journal of Public Transportation*, 17(2), 67-91.

Mazzulla, G., & Eboli, L. (2006). A service quality experimental measure for public transport.

Nandan, S. (2010). Determinants of customer satisfaction on service quality: A study of railway platforms in India. *Journal of public transportation*, 13(1), 97-113.

TCRP, 2003. Transit Cooperative Research Program: Report 100, Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd Edition, Washington, D.C.

TCRP, 2013. Transit Cooperative Research Program: Report 165, Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd Edition, Washington, D.C.

Türk Standardı, TS EN 13816, (2002). ICS 01.040.30; 03.220.01, Ulaştırma-Lojistik ve hizmetler-Toplu ulaşım; Hizmet kalitesinin tarifi, hedefi ve ölçümü, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara

Türk Standardı, TS EN 15140, (2006). ICS 03.220.01, Toplu taşıma hizmet kalitesini Ölçen sistemler İçin Temel Tavsiye ve Şartlar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara

Tyrinopoulos Y. & Antoniou C. (2008). Public Transit User Satisfaction: Variability and Policy Implications. *Transport Policy*, 15: 260-272.

Üvenç, G. & Kulluk, S. (2020). Toplu taşımada hizmet kalitesi yönetimi uygulaması: Hizmet kalitesinde performans ölçüm sisteminin tanımlanması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 737-748

Yalınız, P., Bilgic, Ş., Vitosoglu, Y. & Turan, C. (2011). Evaluation of urban public transportation efficiency in Kutahya, Turkey, *Procedia Social and Behavioral Sciences* 20, 885–895

Yalınız, P., Kırış, Ş., Üstün, Ö., & Bilgiç, Ş. (2023). An integrated quality function deployment and multichoice goal programming approach for sustainable transportation: The case of Eskişehir. *Journal of Urban Planning and Development*, 149(1), 04022054.

BÖLÜM V

Polimerlerin ve Polimer Kompozitlerin Yanıcılık Karakterizasyonunda Kullanılan Laboratuvar Teknikleri

Ceyda BİLGİÇ¹
Şafak BİLGİÇ²

1. Giriş

Malzemeler genellikle; metaller, seramikler ve organik malzemeler olarak üç temel gruba ayrılırlar. Bu üç grubun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri vardır. Bu üç ana grubun yanında, farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak amacıyla, kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozitlerin çoğu polimer matristen hazırlanır. Matris olarak

¹ Doç. Dr., Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, Orcid No: 0000-0002-9572-3863

² Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, Orcid No: 0000-0002-9336-7762

kullanılan polimerler, ucuz ve kolaylıkla çalışılabilen malzemelerdir. Diğer taraftan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler, kolaylıkla ve hızla yanarlar (Friedrich, Fakirov, & Zhang, 2005; Bar, Alagirusamy & Das, 2015).

Polimer matrisler performanslarını iyileştirmek için çeşitli doğal ve sentetik bileşiklerle karıştırılırlar. Dolgu olarak adlandırılan inorganik bileşikler bu amaçla kullanılırlar. İnorganik bir nanoparçacık yeni nanokompozitler geliştirmek için mükemmel kuvvetlendirici ve destek verici materyaldir. Nanokompozitler genellikle nano boyuttaki kil ve benzeri inorganik parçacıkların polimer yapı içerisinde dağılımı ile üretilen malzemelerdir. Matris malzemesini oluşturan polimerin tek başına sahip olduğu özellikler veya geleneksel kompozitler ile kıyaslandığında eşi benzeri olmayan düşük alev alabilirlik avantajının yanı sıra gelişmiş mekanik özelliklere de sahiptirler. Ayrıca, alev alabilirliği azaltan ama aynı zamanda polimerin mekanik özelliklerini de kötüleştiren birçok alev geciktiriciye göre de büyük bir avantaj sağlamaktadırlar (Morgan & ark., 2002; Zanetti & ark., 2001).

Yangınlarda; ısı altında, bu bileşiklerden ayrılan su molekülleri soğutma etkisi ile yanmayı azaltır. Aynı zamanda, nanokompozitin yapısında bulunan kil nedeniyle, kil-polimer karışımında yakıt olan polimer miktarı azalacağından, ikinci bir yanmayı azaltma etkisi ortaya çıkar. Avrupa Birliği ülkelerinde ve diğer gelişmiş ülkelerde meydana gelen yangın sayısı, ülkemizde meydana gelen yangın sayısına oranla daha fazladır. Ancak buna rağmen ortaya çıkan maddi ve manevi zarar ülkemize göre çok azdır.

Bunun en önemli sebebi yangını önleyici ve yayılmasını engelleyici tedbirlerin alınmış olması, bireylerin yangın konusunda daha bilinçli olmalarıdır (Üçgöl & Turak, 2015; Gu & ark., 2007). Yangın geometrik olarak büyür. Başlangıcında bir bardak su ile söndürülebilecek bir yangın, ikinci dakikada bir kova su ile üçüncü dakikada bir fiçı su ile ancak söndürülebilir. Yangın yerinde sıcaklık çok hızlı bir şekilde yükselir. Bunun için yangınlarda ilk dakikalar hatta saniyeler çok önemlidir (Özcan & ark., 2000).

Kompozitlerin yanma performanslarını ölçmek için yapılan kapsamlı deneyler yüksek maliyetli ve zaman alıcı olabilir. Özellikle, yanma odası testi gibi yüksek ölçekli yanma testi, yangın testini uygulamak ve kayda değer veriyi elde edebilmek için özel ayarlamalar yapılmış ileri düzey tesislere gereksinim duyulmaktadır (Nguyen & ark., 2014; Nguyen & Kim, 2008). Elde edilmiş deneysel sonuçlar gerçek hayatta meydana gelen karmaşık yanma olaylarını her zaman karşılamayabilir. Bu nedenle, yanan bir kompozitin termoyapısal özelliklerinin belirlenebilmesi için modellerin geliştirilmesi kompozitlerin yangından kaynaklı hasar proseslerinde gereklidir.

Sentetik malzemelerin oluşturduğu çevresel kaygılar, maliyeti ve tükenmesi yenilenebilir, ekonomik ve çevre dostu malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. İnorganik atık madde genellikle biyobozunur değildir ve canlıda toksisiteye neden olur (Lee & Pandey, 2012; Lee, Salit, & Hassan, 2014). Diğer yandan, doğal lifler ve biyo bazlı polimerler ve dolgu maddeleri tamamen biyolojik olarak parçalanabilir malzemelerdir (Du & ark., 2014; Du & Fang, 2011; Terzopoulou & ark., 2016). Hafifliği ve düşük

maliyeti nedeniyle otomobillerde ve inşaat uygulamalarında doğal elyaf takviyeli kompozit malzemeler tercih edilmektedir (Holbery & Houston, 2006; Ahmad, Choi & Park, 2015). Bununla birlikte, bu kompozitler aralarında yüksek yanıcılığın kritik öneme sahip olduğu bazı zayıflıklara sahip olmaktadır (Zhang & Horrocks, 2003; Zhang & ark., 2015; Dorez & ark., 2013; Dorez & ark., 2014). Şu anda doğal liflerin ve biyo bazlı kompozitlerin yanıcılık özelliği üzerinde sınırlı miktarda literatür mevcuttur. Otomotiv, havacılık, deniz, inşaat ve elektronik endüstrilerindeki uygulamalarını genişletmek için bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Bourbigot & Duquesne, 2007; Bourbigot & Duquesne, 2009; Bourbigot & Fontaine, 2010; Chapple & Anandjiwala, 2010).

Polimer kompozitlerin yangın geciktiriciliğini artırmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır; bu yöntemler mühendislik yaklaşımı, daha az yanıcı polimerler ve yangın geciktirici (FR) katkı maddelerini içerir (Nakamura & ark., 2013). Mühendislik yaklaşımı ucuz bir yöntemdir ancak güvenli olarak kabul edilemez. Düşük yanıcı polimerler dayanıklı ama pahalı bir yöntemdir. FR katkı maddelerinin kompozitlere dâhil olması en yaygın ve iyi kabul edilen yöntemdir. FR katkı maddeleri genellikle yangın yayılımını durdurmak için farklı şekillerde hareket eden nano veya mikro toz dolgu maddeleridir (Chen & ark., 2014; Hamdani & ark., 2009).

Polimerlerin ve polimer kompozitlerin termal davranışlarının, termal ayrışması ve yanıcılığı üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Kompozitlerde bulunan doğal elyaflar, düzgün polimer matrislere kıyasla ısı yayma oranı ölçütü (HRR), toplam ısı salınımı (THR) ve duman üretimini

bastırmıştır (örnek: termo-plastik (Borysiak, Pauksza, & Helwig, 2006; Subasinghe & Bhattacharyya, 2014; Subasinghe, Das & Bhattacharyya, 2016) ve termoset polimerler (Chai & ark., 2012)). Bununla birlikte, doğal liflerin eklenmesiyle kompozitlerin dikey ve yatay yanma oranları azaltılmıştır (Chai & ark., 2012; Jeenchan, Suppakarn, & Jarukumjorn, 2014). Diğer yandan, kompozitlerde herhangi bir dikey yanma derecesi elde edememiş ve kenevir kumaşının yeniden güçlendirilmiş epoksi kompozitinin Limit Oksijen İndeksi Testi (LOI) sonucunda, doğal elyafın yanıcılık üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığını göstermiştir (Szolnoki & ark., 2015). Kompozitin yangın performansı, mühendislik uygulamaları için bağlayıcı düzenlemeleri karşılamak için hala yetersizdir. Özellikle dikey yanma deneyleri sonucunda, kompozitlerin çoğunun 10 saniyelik alev uygulamasından sonra yandığı tespit edilmiştir. Buradan hareketle, arzu edilen yangın performansına ulaşılma ihtiyacı, doğal elyaf bazlı polimerik kompozitler için yangın geciktirme alanında çok sayıda araştırma yapılmasına öncelik etmiştir.

2. Yanıcılık Karakterizasyonunda Kullanılan Laboratuvar Teknikleri

2.1. UL94 Standardına Uygun Yanma Testleri ((Yatay Yanma Testi) (Underwriters Laboratory UL 94 Testi))

UL-94 testi, Underwriters Laboratory Inc. (ABD) tarafından “cihazlar ve cihazlardaki parçalar için plastik malzemelerin tutuşabilirliğini” değerlendirmek için geliştirilmiştir. Küçük aleve maruz kalan polimerik malzemelerin tutuşabilirliğini ve alev yayılımını ölçerek bir ürünün gerekli düzenlemelere uygun olup

olmadığını kontrol etmek yaygın bir prosedürdür (Laoutid & ark, 2009).

UL 94 testi, elektrik endüstrisinde kullanılan malzemelerin tutuşma direncini belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Test sonuçları yanıcılık dereceleri V-0, V-I veya V-2 olarak verilmektedir. V-0 derecesi, bir malzemenin alabileceği en iyi yanıcılık derecesidir. Malzemelerin derecelendirildiği kriterler, alev kaynağı dikey bir numuneden çıkarıldıktan sonra yanan malzemenin sönmesi için geçen süreye ve ayrıca yanan numuneden damlaların düşüp düşmediğine bağlıdır. Test numunesinin boyutu için spesifikasyonlar, 12,7 x 1,27 x 0,16 cm veya 12,7 x 1,27 x 0,32 cm'dir. Bu iki numuneden herhangi biri dikey olarak bir kelepçeye monte edilir, böylece alt kısımdaki uç, belirtilen bir cerrahi pamuğun 0,6 cm kalınlığındaki tabakasının 30,5 cm üzerinde olacaktır. Test numunesi, genellikle saniyeler boyunca alttan bir alev kaynağına maruz bırakılır. Alev kaynağı daha sonra kaldırılır. Numune sönerse, numune on saniye daha aleve maruz bırakılır (Wang & ark., 2010; Kandola & ark., 2013).

2.2. Dikey Yanma Testi (ASTM D-568 ve D-3801)

Numune, alttan tutuşabilmesi için dikey olarak asılır. Ateşlemeden sonra, ateşleme kaynağı (genellikle bir bunsen brülörü) geri çekilir ve numunenin belirli bir süre (10 saniye) içindeki yanma süresi ölçülür. Numune tüm süre boyunca yanmazsa, söndürme süresi not edilir. Yanan maddeler temas halindeyken ateşleme kaynağıdır, ancak hızla çıkarıldıklarında kendi kendine sönen olarak adlandırılırlar. Bu test, benzer malzemelerin yanma

özelliklerinin ölçülmesinde en yararlıdır. Reçinenin (resin) damlamasına dikkat edilmelidir (Özdemir, 2020; Göktaş, Erhan, & Aslan, 2022; Çetin & Tiyek, 2021).

2.3. Yatay Yanma Hızı Testi (ASTM D-635)

Bu test, numunenin yatay olarak desteklenmesi dışında dikey yanma testine benzer. Bu test gevşektir (daha az sıkı) ve dikey test malzemeleri ayırt edemediğinde (ayrım yapamadığında) kullanılır. Yatay testte sadece kendini destekleyen malzemeler test edilmelidir (Özdemir, 2020; Göktaş, Erhan, & Aslan, 2022; Çetin & Tiyek, 2021).

2.4. Limit Oksijen İndeksi Testi (LOI) Sınırlayıcı Oksijen İndeksi Testi (ASTM D-2863)

Bu test muhtemelen laboratuvar testlerinin en doğrusudur. LOI testinde bir numune kapalı bir bölme (genellikle bir cam veya şeffaf plastik muhafaza) içinde olacak şekilde dikey olarak asılır. Hazne, hazne içindeki atmosferin kontrol edilebilmesi için oksijen ve azot gazı girişleri ile donatılmıştır. Numune alttan ateşlenir ve atmosfer, sadece yanmayı sürdürmek için minimum oksijen miktarını belirleyecek şekilde ayarlanır. Oksijen/azot atmosferinin yüzdesi olarak ifade edilen bu minimum oksijen içeriğine oksijen indeksi denir. Daha yüksek sayılar, yanıcılığın azalmasıyla ilişkilidir.

Sınırlayıcı oksijen indeksi testi (LOI), malzemelerin yanıcılığını ve tutuşmaya karşı direncini ölçmek için kullanılan küçük ölçekli bir testtir. LOI testleri, ASTM D2863 ve ISO 4589 dâhil olmak üzere uluslararası test standartlarına göre standardize

edilmiştir. LOI testleri, malzemenin tutuşmasını ve yanmasını destekleyecek minimum oksijen yüzdesini ölçer. Cam bir baca içerisine dikey olarak yerleştirilen çubuk şeklindeki bir numune yanmanın gözlemlenmesini sağlar. Test sırasında bacanın altından belirli bir oksijen konsantrasyonuna sahip oksijen-azot karışımı verilir ve numunenin üstüne küçük alev uygulanır. 30 saniyelik aleve maruz kaldıktan sonra numune tutuşmazsa, oksijen konsantrasyonu artar. Numunenin 3 dakika boyunca yanması veya numunenin 5 cm'sinin tüketilmesi için minimum oksijen yüzdesi, oksijen konsantrasyonu değiştirilerek bir dizi testle tespit edilir.

Havanın %21 oksijen içerdiği düşünülürse; LOI değeri %21'in altında olan malzemeler “yanıcı”, LOI değeri %26'nın üzerinde olanlar ise yanmayı herhangi bir dış enerji kaynağı katkısı olmadan sürdüremedikleri için “kendi kendine sönen” olarak sınıflandırılır. LOI değerleri arttıkça alev özelliklerinin de arttığı söylenebilir. Test gerçek bir yangın senaryosunu yansıtmadığından LOI testlerinin sınırlamaları vardır. LOI genellikle oda sıcaklıklarında ölçülür, oysa oksijen indeksi değerleri gerçek yangında ortaya çıkan daha yüksek sıcaklıkla değişebilir. LOI testi, malzemelerin gerçek yangın performansını tahmin etmede yetersiz olmakla birlikte, yanıcılık ve tutuşabilirliğin sınıflandırılmasında yararlı bir testtir (Laoutid & ark, 2009).

2.5. Koni Kalorimetre Testi (ISO 5660) (ASTM E1354)

Koni kalorimetre testi, binalarda kullanılan yüzey kaplama malzemelerinin yangına tepkisini belirlemek için kullanılan tezgâh ölçekli bir testtir. Test aparatı temel olarak bir elektrikli ısıtıcı, bir

ateşleme kaynağı ve bir gaz toplama sisteminden oluşur. Test numunesi 100 x 100 mm ölçülerindedir ve 6 mm ile 50 mm arasında bir kalınlığa sahiptir. Test sırasında numune, düşük ısı kaybı olan yalıtkan bir seramik malzeme üzerine yatay olarak monte edilir. Numunenin oryantasyonu (yönü) da dikey olabilir, ancak bu konum esas olarak keşif (araştırma) çalışmaları için kullanılır (Brown, Fawell, & Mathys, 1994).

Test numunesi monte edildikten ve doğru konuma yerleştirildikten sonra, elektrikli ısıtıcıdan gelen bir ısı akışına maruz bırakılır. Isıtıcı çıkışı 0-100 kW/m² aralığında seçilebilir, ancak genellikle ısı çıkışı 25-75 kW/m² aralığındadır. Test numunesinin üzerindeki gaz karışımı, alt yanıcılık sınırından daha yüksek olduğunda, bir elektrik kıvılcım kaynağı tarafından ateşlenir. Testin süresi normalde 10 dakikadır ancak sabit değildir ve malzemeye bağlı olarak değişebilir.

Birçok değişken ölçülür ancak her testten elde edilen ana sonuçlar şunlardır:

- Ateşleme zamanı (Time to ignition) (TTI)
- Kütle kaybı oranı (Mass loss rate) (MLR)
- Isı yayma oranı (Heat release rate) (HRR)

Test ekipmanına bir gaz analizörü eklenirse, duman ve zehirli gazların üretimini de hesaba katmak mümkündür.

Isı yayma hızı ölçümleri, yanıcı malzemelerin alev özelliklerini araştırmak için en güvenilir tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir. Koni kalorimetre, bu ölçümler için kullanılan bir

tezgâh ölçekli cihazdır. "Koni" adı, yangın testi sırasında numuneyi ısıtmak için kullanılan kesik koni şeklindeki ısıtıcıdan gelir. Genel olarak koni kalorimetreler, bir ısı akışına maruz kalan bir numunenin yanma gazlarındaki oksijen tüketimini ölçme temelinde çalışır. Oksijen tüketimi ve gaz akışı ölçümleri, salınan ısı miktarını hesaplamak için kullanılır.

Koni Kalorimetresinde; ısı salınım hızı, oksijen tüketimi tekniği yerine bir termopil (ısı pili) kullanılarak belirlenir. 100x100x4 mm boyutlarındaki kare şekilli numuneler bir yük hücresinin (loadcell) üzerine yerleştirilmekte ve konik ısıtıcılar bilinen bir ısı akışı oluşturarak numuneyi yukarıdan homojen olarak (eşit şekilde) ısınlamaktadır. Yanma daha sonra bir elektrik kıvılcımı ile tetiklenir. Isı yayma oranı, yanan test numunesinin üzerinde bulunan bacada bulunan termopillerin çıktılarının ölçümlerinden değerlendirilir. Termopillerin milivolt (mV) biriminde elde edilen çıktıları, kW/m^2 biriminde birim alan başına ısı yayma hızına dönüştürülür. Bu dönüşüm, daha önce kalorifik değeri bilinen propanın aynı aparatta yakılmasıyla elde edilen kalibrasyon grafiği vasıtasıyla gerçekleştirilir.

Maksimum (En yüksek) Isı Yayılma (Salınım) Oranı (Peak Heat Release Rate (PHRR)) olarak adlandırılan maksimum ısı yayma oranı, polimerlerin yangın performansını değerlendirmek için önemli bir parametredir. Yanma sırasında numuneden salınan maksimum enerjiyi temsil eder ve yanmanın yangın büyüme aşamasında alev yayılması ile ilgilidir. Toplam Isı Gelişimi (Total Heat Evolved (THE)), HRR'ye karşı zaman eğrilerinin entegrasyonu ile hesaplanan başka bir parametredir. Yangın boyunca numuneden

yayılan (ıkan) toplam ısıyı temsil eder. Temsili saf polimer ve alev geciktirmeli polimer için zamana karşı ısı yayılma (salınım) hızı (HRR) ve zamana karşı toplam ısı gelişim (THE) grafiklerine bir örnektir.

Bu parametrelere ek olarak, Kütle Kaybı Koni Kalorimetresi, Tutuşma Sresini (Time to Ignition (TTI)), Toplam Yanma Sresini (Total Burning Time (TBT)), Toplam Kütle Kaybını (Total Mass Loss (TML)), ve Maksimum Isı Yayılma Hızına Ulaşma Sresini (Time to Peak Heat Release Rate (TTP)) belirleyebilir. Ateşleme Süresi (TTI), kıvılcım ve ateşleme arasındaki zaman aralığıdır. Numunenin tutuşabilirliğini ortaya çıkarır. Toplam Yanma Süresi (TBT), alevin tutuşması ile söndürülmesi arasında geçen süredir. Maksimum Isı Yayılma Hızı Zamanı (TTP), ısı salınım hızının maksimum değerlere ulaştığı zamandır.

Yangın Büyüme İndeksi (Fire Growth Index (FGI)) ve Yangın Büyüme Hızı (Fire Growth Rate (FIGRA)) yukarıda elde edilen verilerden yorumlanabilir. Yangın Büyüme İndeksi (FGI), PHRR'nin TTI ile bölünmesiyle hesaplanabilir ve yangının yayılmasına malzeme katkısını temsil eder.

Yangın Büyüme Hızı (FIGRA), PHRR'yi TTP'ye blerek hesaplanabilir ve yangının yayılma hızına malzeme katkısını temsil eder. THE/TML Oranı, alev geciktirme etkisinin gaz fazında mı yoksa yoğun fazda mı olduğunu değerlendirmek için bir diğer önemli parametredir. Eklenen alev geciktirici gaz fazında aktif ise, malzemenin THE/TML oranı saf malzemeninkinden önemli ölçüde değişir (Laoutid & ark., 2009; Sinha & Kuruma, 2020).

2.6. Radyant Panel Testi (Radiant Panel Test (ASTM E-162))

Amerika Birleşik Devletleri'nde mühendislik termoplastikleri için yaygın olarak kullanılan laboratuvar ölçekli bir alev yayılma testi, ASTM E162 Radyant Panel Testidir. Test numunesini radyan bir panele ve küçük bir pilot aleve maruz bırakan test aparatına bir numune yerleştirilir. Numune 15,24 cm genişliğinde ve 45,72 cm uzunluğundadır ve 680°C sıcaklıkta tutulan bir radyan panele 30°'lik bir açıyla eğimlidir. Test edilen numunenin kalınlığı, nihai ürün boyutsal kalınlığına göre belirlenir. Dışarı verilen (yayılan) uçucu gazları tutuşturmak için test numunesinin üstüne küçük bir alev yerleştirilir. Numunenin yanma hızı ölçülür (Fs) ve plakadan yükselen ısı da test parçasının üzerindeki bir baca yığınının ölçülür (Q). Bu birleşik değerler, yanan alt tabaka (substrat) için alev yayılma endeksini (I) belirler (Demirel & Altındaş, 2013).

2.7. Duman Odası Testi (Smoke Chamber Test (ASTM E-662))

Yanma araştırmaları, alevlerin asla ulaşmadığı odalarda birçok yangın ölümünün meydana geldiğini göstermiştir. Bu nedenle yangında oluşan dumanın niteliği çok önemlidir. Bu test, hem alevli hem de için için yanan koşullar altında zamanın bir fonksiyonu olarak üretilen dumanın yoğunluğunu ölçmek için tasarlanmıştır. Bu test orijinal olarak Ulusal Standartlar Bürosu (National Bureau of Standards (NBS)) tarafından geliştirildiğinden, test bazen NBS duman yoğunluğu testi olarak adlandırılır. Test aparatı, odacık içine yerleştirilen bir numunenin yanmasıyla oluşan dumandan optik

yoğunluğun azalmasını ölçmek için bir optik ışık kaynağı ve detektör içeren yaklaşık 3 x 3 x 2 fitlik kapalı bir kutudur (duman odası). Örnek küçüktür (genellikle 3 x 3 x ¼ inç). Sonuçlar genellikle 1,5 veya 3,0 dakika sonra duman yoğunluğu, Ds, olarak ifade edilir (Dowbysz & Samsonowicz, 2021; Sertsova & ark., 2010; Schartel, 2010; Schartel & ark., 2003; Schartel & Hull, 2007).

2.8. Steiner Tünel Testi (Steiner Tunnel Test (ASTM E-84))

Bu test, büyük (25 x 2 fit) bir oda içinde bir numunenin yanmasıyla ortaya çıkan alev yayılımını ve dumanı ölçer. Testin temel kullanımı yapı malzemeleri içindir. Numune haznenin üst kısmına takılır ve bir ucunda yangın başlatılır. Yanma hızı ve derecesi rapor edilir. Bu testi gerçekleştirmenin maliyeti, büyük numune boyutu nedeniyle malzemelerin maliyeti gibi nispeten yüksektir (Morgan, 2023; Morgan & Gilman, 2013).

2.9. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA) tekniği, test edilen malzemelerde fiziksel ve kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine neden olmak için ısı kullanır. TGA, artan bir sıcaklık ortamına yerleştirildiğinde bir polimer malzemenin kütle değişiminin nicel bir ölçüsünü sağlar. Kütledeki bu değişikliklere dehidrasyon, ayrışma veya oksidasyon neden olabilir. TGA, artık char (kömür) miktarlarını ölçerek polimerlerin alev geciktiriciliğinin bazı göstergelerini sağlayabilir. Artan miktarlarda artık char (kömürle) ile, polimer malzemenin yanmasına karşı artan bir dirençle bir korelasyon bulunmuştur. Alev geciktirici olmayan malzemelerin TGA'sı, alev geciktirici mekanizmanın ne zaman ve nasıl

etkinleştirildiğini belirlemek için içlerinde alev geciktiriciler bulunanlarla karşılaştırılabilir. Bu, alev geciktirici mekanizmanın buhar veya yoğun fazda meydana gelip gelmediğini gösteren bir gösterge olabilir (Norouzi, Zare & Kiany,2015; Avelino & ark., 2019; Hetterich & Butschkau, 2020).

TGA, polimer bozulmadan önce oluşacak alev geciktirici mekanizmayı belirlemek için de kullanılabilir. Bu, alev geciktirici için optimum reaksiyon sıcaklığıdır, böylece plastik yanmaya başlamadan önce reaksiyona girecek ve plastik yanma sürecine müdahale edecektir. Deneyler hem izotermal ağırlık kaybı ölçümlerini hem de izotermal olmayan teknikleri içerir. İzotermal teknik, polimer numunesinin istenen sıcaklığa neredeyse anında ısıtılmasını gerektirir. İzotermal olmayan teknik, zamanın bir fonksiyonu olarak numune sıcaklığının programlanmış doğrusal bir artışını içerir. TGA eğrisini farklılaştırarak zamana karşı kütle kayıp oranını (DTG eğrisi) elde etmek için de çok uygundur. DTG, termal ayrışmanın çeşitli aşamalarının meydana geldiği sıcaklık aralığını ve bunların oluşma sırasını belirlemek için iyi bir prosedürdür. Ayrışma hızına ek olarak, ayrışma sürecine dâhil olan ısı da ilgi çekicidir (Joseph & Ebdon, 2000; Weinert & Döring, 2021; Zhou & ark., 2020; Laoutid & ark, 2009).

2.10. Piroliz GC/MS Spektroskopisi (Pyrolysis GC/MS Spectroscopy)

Elektron yük-kütle spektrometresinde organik bileşikler gaz fazına buharlaştırılır ve genellikle bir elektron ışınyla etkileşim ve molekülden bir elektronun çıkarılmasıyla iyonize edilir. Bu iyonlaşma süreci gerçek bir elektron etkisi olmadığından, moleküle

iletken enerji kontrol edilemez. Deneyler, elektron ışını enerjisi organik bileşiklerin görünme potansiyelini aşarsa (yaklaşık 9-13 eV (Madorsky, 1964)) katyonların (moleküler iyonlar veya ana iyonlar) üretildiğini göstermiştir. Elektron voltajının artmasıyla, birincil radikal iyonlarını daha fazla parçalanma reaksiyonları ile stabilize etmek için buharlaşmadan kaynaklanan termal uyarımla birlikte moleküler iyonlara ek enerji aktarılabilir. Fragman iyonlarının yoğunluğu, moleküler iyonların yoğunluğundan 40 eV'ye kadar artarken, 40 ile 100 eV arasında neredeyse sabit bir oran bulunur. Elektron etkisiyle indüklenen parçalanma reaksiyonlarının mekanizmaları, organik bileşiklerin fonksiyonel grupları veya sınıfları için karakteristiktir ve bilinmeyen moleküler iyonları tanımlamak için kullanılabilir. Polimerler bir kütle spektrometresine getirilirse, ne buharlaşabilir ne de iyonize edilebilir. Polimer numunelerinin ısıtılması üzerine, üretilen uçucu piroliz ürünleri iyonize edildiğinden ve iyon kaynağından ayrılmadan önce toplam iyon akımı olarak kaydedildiğinden, ilk termal ayrışmanın sıcaklığı çok hassas bir şekilde tespit edilebilir. Bir kütle spektrometresinin duyarlılığı 10^{-9} g aralığında olduğundan, yeterli miktarda piroliz ürünleri yaklaşık ağırlık kaybı (% polimer/mm) bozunma oranlarında buharlaştırılır. Düşük bozunma oranları, düşük piroliz sıcaklıkları ve seçici bozunma mekanizmaları anlamına gelir; bu, piroliz ürünlerindeki karakteristik yapısal elemanları koruyacak ve tanısal fragmanların bozunma mekanizmalarının aydınlatılmasına izin verdiği varsayımına karşılık gelecektir (Arao & ark., 2014; Umemura & ark., 2014).

Tüm kütle spektrometreleri üç farklı bölgeden oluşur: iyonlaştırıcı, iyon analizörü, detektör iyonlaştırıcı: GC-MS'de, kütle analizi için gerekli yüklü parçacıklar (iyonlar) Elektron Etkisi (EI) İyonizasyonu ile oluşturulur. GC'den çıkan gaz molekülleri, yüksek enerjili bir elektron ışınıyla (70 eV) bombardımana tutulur. Bir moleküle çarpan bir elektron, o molekülden başka bir elektronu uzaklaştırmaya yetecek kadar enerji verebilir (Ahmad, Choi & Park, 2015).

2.11. Diğer Teknikler

Yaygın diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), düşük uygulanabilir sıcaklığı (600°C'nin altında) nedeniyle termal ayrışma işlemi için kullanılamaz. 1200°C'lik yüksek bir sıcaklıkta TGA ve DSC ile aynı anda yapılan eş zamanlı termal analiz (STA), ayrışma sırasında ortaya çıkan veya emilen ısıнын ölçülmesinde çok faydalıdır. Termal bozunma işleminin kinetiğine ve termodinamiğine ek olarak, ayrışma işleminin doğası ile ilgili endişeler de vardır. Kızılötesi spektroskopisi (IR) ve termal buharlaştırma analizi (TVA) gibi uçucu maddeleri karakterize etmek için kullanılabilecek başka yöntemler de vardır. Bu, karakterizasyonlarını katı hal kimyası ve fizikte kullanılan araçlarla sınırlar. Kömürün kimyasal yapısı genellikle element analizi ile karakterize edilir. Diğer özellikler mikroskopi, çeşitli spektroskopiler, X-ışını kırınımı ve termal iletkenlik ile karakterize edilir. Genel olarak, polimerlerin ısıl bozunma süreçleri çeşitli ve karmaşık olduğundan ve polimerlerin yangın performansı da kullanılan test yöntemlerine ve deneysel koşullara bağlı olduğundan,

polimerlerin yangın davranışını değerlendirmek kolay değildir (Ahmad, Choi & Park, 2015; Kim, Lee, & Yoon, 2021).

3. Sonuç

Polimer ve polimer kompozitlerin yanıcılığı, özellikle mevcut polimer matrislerin kapsamlı çeşitliliği göz önüne alındığında, tek bir çözümün bulunamadığı çok karmaşık bir bilimsel sorun olmaya devam etmektedir. Uygun alev geciktiricilerin seçimi, aleve dayanıklı kompozitlerin oluşturulmasını ve kullanım çeşitliliğinin artırılmasını destekler. Polimerlerle birlikte nispeten düşük miktarlarda alev geciktiricilerin kullanılması çok umut verici sonuçlar göstermektedir. Dolayısıyla polimer ve polimer kompozit malzemelerde alev geciktiriciliğin iyileştirilmesi büyük bir görevdir, ancak en uygun alev geciktirici katkı maddelerinin etkili bir şekilde seçilmesi ve eklenmesi, aleve dayanıklı polimer kompozitlerin üretilmesine katkıda bulunacaktır. Literatürde incelenen ve bildirilen polimer ve polimer kompozitler için kullanılan çok çeşitli alev geciktirici sistemler ve bunların test metodları analiz edilmiş ve karşılaştırmalı olarak sınıflandırılmıştır. Alev yayılma mekanizmalarını ve farklı yangın söndürme yaklaşımlarını anlamak için girişimlerde bulunulmuştur. Kompozit malzemelerin yangın performans davranışlarını iyileştirmek için uyarlanabilecek çeşitli yaklaşımlar çalışılmış ve kompozit malzemelerin özelliklerinin alev geciktirici malzemelerinin eklenmesiyle nasıl değiştiği incelenmiştir.

Yukarıdaki bölümlerde görülebileceği gibi, polimerik malzemelerin yanıcılık özelliklerini ve yanma özelliklerini

değerlendirmek için çok çeşitli analitik teknikler ve test yöntemleri mevcut olmasına rağmen; test yöntemlerinin çoğu doğası gereği kuralcıdır (teorilere dayanır) ve gerçek bir yangın senaryosunda malzemelerin gerçek davranışını tam olarak yansıtmayabilir. Buna ek olarak, çeşitli küçük, orta ve büyük ölçekli yöntemler genellikle söz konusu malzemenin yanıcılığının bazı spesifik yönlerine odaklanma eğilimindedir ve sıklıkla anlamlı korelasyonlardan yoksundur.

Bu nedenle, belirli bir testin sonuçları, belirli bir yangın senaryosunda, belirli bir numuneyi içeren belirli bir yangın riskine veya yangın tehlikesine karşı güçlü bir şekilde etki altında kalmıştır. İdeal olarak, gerçek ölçekli yangın senaryolarında çeşitli katı malzemelerin davranışları, malzemelerin kendine özgü özelliklerine (yoğunluğu, termal iletkenliği, ısı kapasitesi, termal yayılımı vb. gibi) bakılarak, pahalı ve genellikle zaman alıcı, büyük ölçekli testlerin gerçekleştirilmesine gerek kalmadan, diğer kaynaklardan ilgili ampirik parametreler kullanılarak tahmin edilebilmelidir. Bununla birlikte, katı polimerik malzemelerin yanma işlemlerinin karmaşık doğası ve yangınların tekrarlanabilirliğinin zayıf olması nedeniyle bu görev oldukça zordur. Bu, yangın güvenliği araştırmalarında yer alan bilim camiasının, çeşitli test yöntemlerini ve farklı ölçeklerde gerçekleştirilen sonuçları uyumlu hale getirecek metodolojileri formüle etmeye çalışmak için daha yoğun bir çaba göstermesini gerektirmektedir. Bunu yaparak, yakın gelecekte, bilimsel olarak sağlam ve ekonomik olarak uygulanabilir küçük ve orta ölçekli laboratuvar deneyleri yoluyla elde edilen ampirik parametrik değerlendirmelerden, gerçek yangın senaryolarında

çeşitli malzemelerin gerçekçi davranışlarını tahmin etmek mümkün olabilir.

Kaynaklar

Ahmad, F., Choi, H. S., & Park, M. K. (2015). A review: natural fiber composites selection in view of mechanical, light weight, and economic properties. *Macromolecular materials and engineering*, 300(1), 10-24.

Arao, Y., Nakamura, S., Tomita, Y., Takakuwa, K., Umemura, T., & Tanaka, T. (2014). Improvement on fire retardancy of wood flour/polypropylene composites using various fire retardants. *Polymer degradation and stability*, 100, 79-85.

Avelino, F., Silva, K. T., Mazzetto, S. E., & Lomonaco, D. (2019). Tailor-made organosolv lignins from coconut wastes: Effects of green solvents in microwave-assisted processes upon their structure and antioxidant activities. *Bioresource technology reports*, 7, 100219.

Bar, M., Alagirusamy, R., & Das, A. (2015). Flame retardant polymer composites. *Fibers and polymers*, 16(4), 705-717.

Bourbigot, S., & Duquesne, S. (2009). Intumescence based fire retardants. *Fire retardancy of polymeric materials*, 2, 129-162.

Bourbigot, S., & Duquesne, S. (2007). Fire retardant polymers: recent developments and opportunities. *Journal of Materials Chemistry*, 17(22), 2283-2300.

Bourbigot, S., & Fontaine, G. (2010). Flame retardancy of polylactide: an overview. *Polymer Chemistry*, 1(9), 1413-1422.

Borysiak, S., Paukszta, D., & Helwig, M. (2006). Flammability of wood-polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12), 3339-3343.

Brown, J. R., Fawell, P. D., & Mathys, Z. (1994). Fire-hazard assessment of extended-chain polyethylene and aramid composites by cone calorimetry. *Fire and materials*, 18(3), 167-172.

Chai, M. W., Bickerton, S., Bhattacharyya, D., & Das, R. (2012). Influence of natural fibre reinforcements on the flammability of bio-derived composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2867-2874.

Chapple, S., & Anandjiwala, R. (2010). Flammability of natural fiber-reinforced composites and strategies for fire retardancy: a review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 23(6), 871-893.

Chen, B., Gao, W., Shen, J., & Guo, S. (2014). The multilayered distribution of intumescent flame retardants and its influence on the fire and mechanical properties of polypropylene. *Composites science and technology*, 93, 54-60.

Çetin, E. A., & Tiyek, İ. (2021). Borik Asit Katkılı Poliakrilonitril-Ko-Vinil Asetat Polimerinden Elektroçekim Yöntemiyle Nanolifli Tekstil Yüzeylerinin Üretimi Ve Termal Karakterizasyonu. *Journal Of The Institute Of Science And Technology*, 11(1), 771-785.

Demirel, F., & Altındaş, S. (2013). Yapı Malzemelerinin Avrupa Yangına Tepki Sınıfları, Konunun Türkiye-Avrupa Genelinde İrdelenmesi Ve Ulusal Sınıfların Yeni Avrupa Sınıflarına Uyarlanması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 39-54.

Dorez, G., Taguet, A., Ferry, L., & Lopez-Cuesta, J. M. (2013). Thermal and fire behavior of natural fibers/PBS biocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, 98(1), 87-95.

Dorez, G., Taguet, A., Ferry, L., & Cuesta, J. M. L. (2014). Phosphorous compounds as flame retardants for polybutylene succinate/flax biocomposite: Additive versus reactive route. *Polymer degradation and stability*, 102, 152-159.

Dowbysz, A. M., & Samsonowicz, M. (2021). Smoke Generation Parameters from the Cone Calorimeter Method and Single-Chamber Test. *Environmental Sciences Proceedings*, 9(1), 22.

Du, B., & Fang, Z. (2011). Effects of carbon nanotubes on the thermal stability and flame retardancy of intumescent flame-retarded polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 96(10), 1725-1731.

Du, Y., Wu, T., Yan, N., Kortschot, M. T., & Farnood, R. (2014). Fabrication and characterization of fully biodegradable natural fiber-reinforced poly (lactic acid) composites. *Composites Part B: Engineering*, 56, 717-723.

Friedrich, K., Fakirov, S., & Zhang, Z. (Eds.). (2005). *Polymer composites: from nano-to macro-scale*. Springer Science & Business Media.

Göktaş, S., Erhan, D. , & Aslan, S. (2022). Çinko Borat Katkılı CTP Kompozit Malzemelerin Üretimi, Mekanik Ve

Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (40), 111-116.

Gu, J. W., Zhang, G. C., Dong, S. L., Zhang, Q. Y., & Kong, J. (2007). Study on preparation and fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant coatings. *Surface and coatings technology*, 201(18), 7835-7841.

Hamdani, S., Longuet, C., Perrin, D., Lopez-Cuesta, J. M., & Ganachaud, F. (2009). Flame retardancy of silicone-based materials. *Polymer Degradation and Stability*, 94(4), 465-495.

Hetterich, M., & Butschkau, D. (2020). Flame-retardant thermoplastic elastomers with adhesion to polyamides. *Adhesion Adhesives Sealants*, 17(1), 12-15.

Holbery, J., & Houston, D. (2006). Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications. *Jom*, 58(11), 80-86.

Jeencham, R., Suppakarn, N., & Jarukumjorn, K. (2014). Effect of flame retardants on flame retardant, mechanical, and thermal properties of sisal fiber/polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 56, 249-253.

Joseph, P., & Ebdon, J. R. (2000). Recent developments in flame-retarding thermoplastics and thermosets. *Fire retardant materials*, 1, 220-263.

Kim, Y., Lee, S., & Yoon, H. (2021). Fire-safe polymer composites: flame-retardant effect of nanofillers. *Polymers*, 13(4), 540.

Kandola, B. K., Price, D., Milnes, G. J., & Da Silva, A. (2013). Development of a novel experimental technique for quantitative study of melt dripping of thermoplastic polymers. *Polymer degradation and stability*, 98(1), 52-63.

Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M., & Dubois, P. (2009). New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. *Materials science and engineering: R: Reports*, 63(3), 100-125.

Lee, C. H., Salit, M. S., & Hassan, M. R. (2014). A review of the flammability factors of kenaf and allied fibre reinforced polymer composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.

Lee, J. C., & Pandey, B. D. (2012). Bio-processing of solid wastes and secondary resources for metal extraction—a review. *Waste management*, 32(1), 3-18.

Madorsky, S. L. (1964). Thermal degradation of organic polymers, *Polymer Reviews*, (No. 7). Interscience Publishers, New York.

Morgan, A. B. (2023). Revisiting the “Steiner Tunnel” test method covered under ASTM E84: An overview and analysis of the test method. *Journal of fire sciences*, 41(6), 288-320.

Morgan, A. B., & Gilman, J. W. (2013). An overview of flame retardancy of polymeric materials: application, technology, and future directions. *Fire and Materials*, 37(4), 259-279.

Morgan, A. B., Harris Jr, R. H., Kashiwagi, T., Chyall, L. J., & Gilman, J. W. (2002). Flammability of polystyrene layered silicate (clay) nanocomposites: carbonaceous char formation. *Fire and Materials*, 26(6), 247-253.

Nakamura, R., Netravali, A. N., Morgan, A. B., Nyden, M. R., & Gilman, J. W. (2013). Effect of halloysite nanotubes on mechanical properties and flammability of soy protein based green composites. *Fire and Materials*, 37(1), 75-90.

Nguyen, C., & Kim, J. (2008). Synthesis of a novel nitrogen-phosphorus flame retardant based on phosphoramidate and its application to PC, PBT, EVA, and ABS. *Macromolecular Research*, 16(7), 620-625.

Nguyen, Q. T., Tran, P., Ngo, T. D., Tran, P. A., & Mendis, P. (2014). Experimental and computational investigations on fire resistance of GFRP composite for building façade. *Composites Part B: Engineering*, 62, 218-229.

Norouzi, M., Zare, Y., & Kiany, P. (2015). Nanoparticles as effective flame retardants for natural and synthetic textile polymers: application, mechanism, and optimization. *Polymer Reviews*, 55(3), 531-560.

Özcan, O., Sağman, N., İnce, A., Sağlık, E., Oruç, A., Göktaş, G., Akgün, N., Dere, A., İşyerleri İçin Yangın Güvenlik Eğitimi, İtfaiye Eğitim Merkezi Yayınları No:2, İstanbul, (2000).

Özdemir, F. (2020). Perlit İçeriğinin Odun Plastik Kompozitlerin Yanma Dayanımına Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(3), 852-860.

Schartel, B. (2010). Phosphorus-based flame retardancy mechanisms—old hat or a starting point for future development. *Materials*, 3(10), 4710-4745.

Schartel, B., Braun, U., Schwarz, U., & Reinemann, S. (2003). Fire retardancy of polypropylene/flax blends. *Polymer*, 44(20), 6241-6250.

Schartel, B., & Hull, T. R. (2007). Development of fire-retarded materials—interpretation of cone calorimeter data. *Fire and Materials: An International Journal*, 31(5), 327-354.

Sertsova, A. A., Koroleva, M. Y., Yurtov, E. V., Pravednikova, O. B., Dutikova, O. S., & Gal'Braikh, L. S. (2010). Fire-resistant polymer nanocomposites based on metal oxides and hydroxides. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 44(5), 772-777.

Sinha Ray, S. & Kuruma, M. (2020) Flame-retardancy testing. In: *Halogen-Free Flame-Retardant Polymers*. Cham: Springer International Publishing ss 11-14.

Szolnoki, B., Bocz, K., Soti, P. L., Bodzay, B., Zimonyi, E., Toldy, A., ... & Marosi, G. (2015). Development of natural fibre reinforced flame retarded epoxy resin composites. *Polymer Degradation and Stability*, 119, 68-76.

Subasinghe, A., & Bhattacharyya, D. (2014). Performance of different intumescent ammonium polyphosphate flame retardants in PP/kenaf fibre composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 65, 91-99.

Subasinghe, A., Das, R., & Bhattacharyya, D. (2016). Study of thermal, flammability and mechanical properties of intumescent flame retardant PP/kenaf nanocomposites. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 7(3), 202-220.

Terzopoulou, Z. N., Papageorgiou, G. Z., Papadopoulou, E., Athanassiadou, E., Reinders, M., & Bikiaris, D. N. (2016). Development and study of fully biodegradable composite materials based on poly (butylene succinate) and hemp fibers or hemp shives. *Polymer Composites*, 37(2), 407-421.

Umemura, T., Arao, Y., Nakamura, S., Tomita, Y., Tanaka, T. (2014). Synergy effects of wood flour and fire retardants in flammability of wood-plastic composites. *Energy Procedia*, 56, 48-56.

Üçgül, İ., & Turak, B. (2015). Tekstil katı atıklarının geri dönüşümü ve yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 3(3).

Wang, Y., Zhang, F., Chen, X., Jin, Y., & Zhang, J. (2010). Burning and dripping behaviors of polymers under the UL94 vertical burning test conditions. *Fire and Materials: An International Journal*, 34(4), 203-215.

Weinert, M., & Döring, M. (2021). N-phosphorylated Iminophosphoranes based on 9, 10-Dihydro-9-oxa-10-phosphaphenanthrene-10-oxide and their flame-retardant behavior in epoxy resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(9), 49902.

Zanetti, M., Camino, G., Thomann, R., & Mülhaupt, R. (2001). Synthesis and thermal behaviour of layered silicate–EVA nanocomposites. *Polymer*, 42(10), 4501-4507.

Zhang, S., & Horrocks, A. R. (2003). A review of flame retardant polypropylene fibres. *Progress in Polymer Science*, 28(11), 1517-1538.

Zhang, Q., Zhan, J., Zhou, K., Lu, H., Zeng, W., Stec, A. A., ... & Gui, Z. (2015). The influence of carbon nanotubes on the combustion toxicity of PP/intumescent flame retardant composites. *Polymer Degradation and Stability*, 115, 38-44.

Zhou, X., Qiu, S., Mu, X., Zhou, M., Cai, W., Song, L., Hu, Y. (2020). Polyphosphazenes-based flame retardants: A review. *Composites Part B: Engineering*, 202, 108397.

BÖLÜM VI

Doğu Karadeniz Havzası, Rize ili Özelinde Taşkın koruma Yapı Tiplerinin belirlenmesi

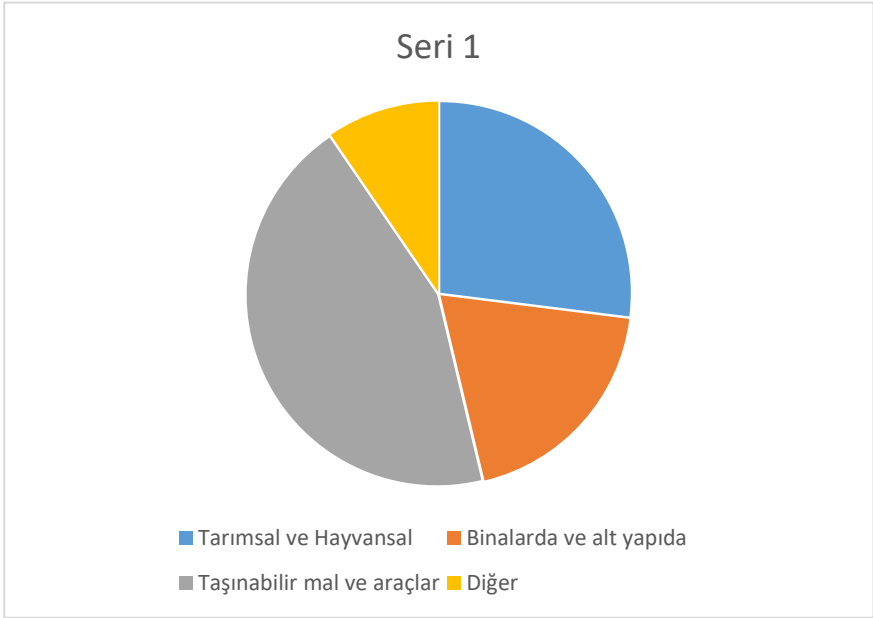
Çağla ÇOLAK¹

Giriş

Taşkın afeti tarih boyu dünya da çok büyük zararlar yol açmakla birlikte, Son yıllarda iklim değişimi, yaşanan ani yağışlar ve artan nüfusa paralel oluşan yapılaşma sorunları nedeniyle taşkınlar da yaşanan zararlar da büyük artış görülmektedir. Dünyada Son 20 yılda sel, deprem, yangınlar, fırtına ve volkan patlamaları sonucunda ölen 560 bin kişinin %49'u sel ve taşkınlar sonucunda hayatını kaybetmiştir. En fazla can kaybının yaşandığı doğal afetler sel ve taşkınlar olmuştur. [1]. Türkiye genelinde ise 1975 ve 2002 yılları arasında taşkın sayısı 487 iken 2003 ve 2015 yılları arasında taşkın sayısı 722 'dir. [2]. Taşkın zararlarının sonuçları incelendiğinde, Şekil 1'de görüldüğü üzere; Tarımsal ve hayvansal

¹ Dr., Öğretim Üyesi, Avrasya Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Trabzon/Türkiye, Orcid: 0000-0002-4903-416X,caqlack61@hotmail.com

%45 2, Binalarda ve altyapı %32 3, Taşınabilir mal ve araçlar %7 4, Diğer %16'dır. Tablo 1'de Taşkın etkilerinin doğada verdiği zararlar ve bu zararların nedenleri özetlenmektedir [3].



Şekil 1: Türkiye de taşkın zararlarının sonuçları

Tablo 1: Taşkınların etkileri ve nedenleri [4]

Taşkın Etkileri	Taşkın Nedenleri
• Zemin cinsi • Arazi yapısı • Akarsu Debisi	• İklim değişikliği dolayısı ile yağış şiddetlerindeki artış, • Yağışın zamansal ve mekânsal dağılımındaki değişiklikler • Her türlü atıkların dere yatakları ve civarına atılması, • Yanlış arazi kullanımları ve bitki örtüsü tahribinin neden olduğu heyelanlar, • Yukarı havzadan gelen katı maddelerin (bitki kök ve dalları, kaya parçası vb.) sürüklenerek akarsu yataklarının hidrolik kapasitelerini azaltması, geçiş yapılarını tıkaması, • Dere yataklarından düzensiz kum çakıl alınması • Kapasiteleri yetersiz ve tekniğine uygun olmayan sanat yapıları (köprü ve menfezler), • Dere yataklarına yapılan uygunsuz müdahaleler, • Dere yataklarından izinsiz ve tekniğine uygun olmayan şekilde enine boru hattı (içmesuyu, doğalgaz, kablo vb.) geçişleri • Yol yapım çalışmaları ile dere yataklarının daraltılması, hafriyat dökülmesi, • Yapılaşma için uygunsuz yer seçimleri, yanlış mekânsal planlamalar ve uygulamalardır. • Dere yataklarının ve taşkın kontrol tesislerinin üzerinin kapatılması, • Dere üzerinde sanat yapılarının tam kapasite çalışmıyışı

1954 yılında 6200 sayılı Kanun ile DSİ kurulmuş ve taşkın sular ve sellere karşı koruyucu tesisler meydana getirmek görevi bu kuruma verilmiştir. Taşkın sular ve sellere karşı koruyucu önlemlerin detayları ise ancak 2006 yılında yürürlüğe konulan “Dere Yatakları ve Taşkınlar Konulu Başbakanlık Genelgesi” ile

düzenlenmiştir. 2010 yılında yürürlüğe konulan “Akarsu ve Dere Yataklarının Islahı Konulu Başbakanlık Genelgesi” ile de ıslah çalışmaları ile ilgili ilave tedbirler getirilmiştir. Ayrıca 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu ile büyükşehir belediyelerine de dere ıslahı yapma görevi verilmiştir. Taşkın Yönetiminden Sorumlu Kurum -Kuruluşlar ve Görevleri;

- DSİ; Dere Islah Çalışmaları, Akarsu Yataklarının Düzenlenmesi, Rüşbat Temizliği, Taşkın Tesislerinin Bakım – Onarımı
- ÇEM; Yukarı Havza Sel Kontrolü Eylem Planlar
- OGM; Yukarı Havza Sel Kontrol Çalışmaları
- SYGM; Ani Taşkın ve Erken Uyarı Sistemleri
- MGM; Strateji ve Politikaları Belirleme, TYP’ leri Hazırlama - Takibini Yapma, Taşkın Yönetiminin Koordinasyonu [2].

Su Yönetimi genel müdürlüğü tarafından hazırlanan Taşkın yönetim Planlanması 12 Mayıs 2016 tarih, Cumhurbaşkanlığının (1) nolu Kararnamesi ile yürürlüğe girmiş olup, Taşkın planlarının hazırlanması, uygulanması ve izlemesine ait yönetmelik esaslar çerçevesinde belirlenmiştir. Tablo 2’de Taşkın Yönetim Planlarının hazırlanması, hedefleri ve bu kapsamda yapılan çalışmalar verilmektedir.

Tablo 2: Taşkın planlarının hazırlanması, hedefleri ve yapılan çalışmalar [5]

Sorumluluk	Hedefler	Havza planlaması Kapsamında Yapılan çalışmalar
TC. Tarım ve Orma bakanlığı (Su işleri Geel Müdürlüğü); • Hazırlama, • Takip • Koordinasyon	• Yeni Taşkın Risklerinden Kaçınmak • Mevcut Taşkın Riskinin Azaltılması • Taşkına Direnci Arttırmak • Taşkın tehlikesi ve Taşkın Riski hakkında bilinci arttırmak	• Mevcut Havzada Taşkın Kontrol tesisleri • Taşkın Su derinliği Haritaları • Tekerrürlü Taşkın Debi hesapları ve taşkın görülen dereleri hidrolojik Özellikleri • Tekerrürlü Taşkın Debilerine gösterimi karşılaştırmalı olarak taşkın bölümlerinin gösterimi • Risk Altında Bulunan Yerleşim ve Akarsular • Çevresel Kayıplar • İnsan sağlığına etkiler • Etkilenen nüfus • Yapısal Zararlar • Tarımsal Zararlar • Toplam ekonomik kayıplar
Havza Yönetim Heyetleri; • Yürütülme • Raporlanma		
Görev ve Sorumlulukları ilgili mevzuatla kendilerine verilmiş olan İlgili Kurum ve Kuruluşlar; Planda yer alan Tedbirleri Uygulanması		

Türkiye de sel ve taşkın açısından en hassas bölge Doğu Karadeniz Bölgesidir. Trabzon'un Köprübaşı ilçesine bağlı Beşköy mahallesinde “7 Ağustos 1998 yılında meydana gelen sel ve heyelan felaketinde 47 kişi hayatını kaybetmiştir 62 konut, 63 işyeri, Belediye garajı, İlköğretim Okulu, değirmen, cami ve cami lojmanı yıkılmıştır” [7] Tablo 2 ‘de görüldüğü üzere Taşkın Koruma Yapı tipleri ve yapılma nedenleri verilmektedir.

Tablo 3: Taşkın koruma yapı tipleri ve yapılma nedenleri [4],[5]

Enine Yapılar (Nehir yatağına dik)	Eğim Düşürmek	Şut Yapıları	
	Yukarı havzada erozyonu kontrol altına alarak sediment oluşumunu önlemek	Tersip Bendi	
		Islah sekisi veya taban kuşakları	
		Geçirgen Tersip Bendi	

	Taşkın sularını rezervuarda geçici olarak depolayarak, belirli bir zamanda oluşan taşkın akımını daha uzun bir zamana yayarak öteleyen ve bu sayede mansaptaki emniyetli yatak kapasitesi kadar çıkış debisi sağlayan yüksekliği az olan barajlardır	Sel kapanı	
Boyuna Yapılar (Nehir Yatağına Paralel)	Taşkın sularına karşı koruyucu tedbir maksadı ile bir nehir boyunca inşa edilmiş olan suni dolgudur	İstifli Taş Tahkimat	

	Taşkın sularının membadan mansaba kadar kontrollü bir şekilde iletilmesini sağlayan yapılardır	Beton Duvar	
--	--	-------------	--

Araştırma Alanı Doğu Karadeniz Havzası Rize, Çayeli Büyükköy beldesi taşkın koruma projesi olup, tamamlanmış projeler arasındadır. 160 m beton duvar, 1250 m istifli taş tahkimat, 187 adet düşü, 3 adet taban kuşağı inşa edilmiştir. Araştırma ile, Taşkın açısından önemli illerden biri olan Rize ili, Çayeli beldesinde taşkına neden olan unsurlar ve önlemeye yönelik yapılması uygun görülen taşkın koruma tesisleri ve kesitlerini belirleme sürecinde çalışma modeli ortaya konularak, mühendislik pratiğinde taşkın koruma çalışmalarının proje ve arazi etütlerine katkı sağlanması hedeflenmektedir. [6]

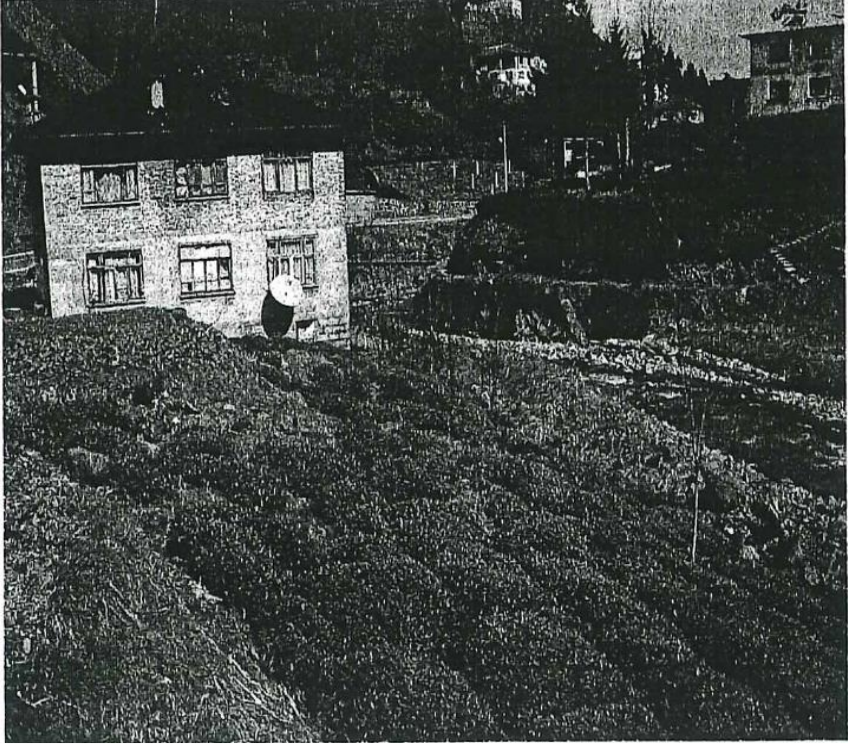
Bulgular ve Tartışma

Araştırma Alanı

Etüt sahası Şekil 1 de verildiği üzere, 1/25000 ölçekli Artvin F45-d3 paftasından alınmıştır. Araştırma Alanı Rize İli, Çayeli İlçesinin güneyinde, Rize şehir merkezine 24 km mesafededir. Bölgede Karadeniz iklimi hakimdir. Yağışlar her mevsim olmakla birlikte ilkbahar ve sonbahar ayları daha fazladır. Araştırma alanı yerleşime ve tarıma müsaade etmeyecek şekilde eğimlidir ve çaylık arazi ve yerleşim yerlerinden oluşmaktadır. Alüvyon araziler dere kenarlarındadır. Diğer bölümlerde eğimin %80 'i %25 in üstündedir.

Yerleşim yeri darlığı nedeniyle dere yatağında yapılaşmalar meydana gelmekte ve dere yatağı daralması nedeniyle yerleşim yerleri zarar görmektedir. Araştırma alanı Şekil 2’de görüldüğü üzere, genel olarak yerleşimler arazi eğimi ve tarım verimi açısından nehir taban arazilerinden oluşmaktadır. Araştırma alanında taşkından etkilenen yerler ;

- Mevcut yollar ve köprüler,
- Tarım arazisi ve yerleşim yeri
- Tarım arazisi
- Yerleşim yerleri



Şekil 2: Dere Yatağı taşkın sahasında yerleşim ve tarım arazisi

Şekil 3'te Yaşanan Taşkınlarda dere yatağında çok aşırı Rusubat yığılmaları ile kesit daralmaları ve buna bağlı olarak kıyı oyulmaları görülmektedir.



Şekil 3: Rusubat yığılmasına bağlı kıyı oyulmaları

Aşağıda verilen 4 problemlili dere için şu çalışmalar gerçekleştirilmiştir;

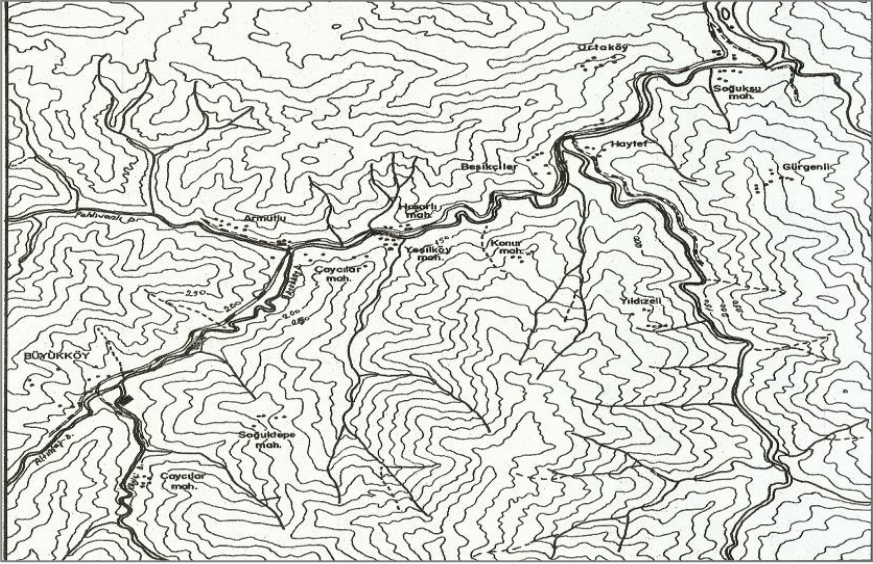
- Arazi çalışmaları öncesi Drenaj alanları ve hidrolojik verilerden taşkın debileri hesaplanmıştır. (Q500 ve Q100)
- Belirlenen veriler ışığı altında haritadan belirlenen akarsu yatak eğimine bağlı olarak taşkın kesiti

belirlenerek, arazi öncesi taşkın sahası için bir öngörü elde edilmiştir. Arazide vaziyet planı ve taşkın kesitleri gibi proje çalışmasının ön çalışması olarak aşağıda belirtilen veriler oluşturulmuştur;

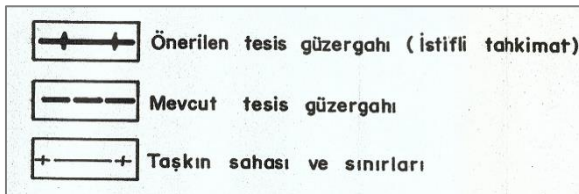
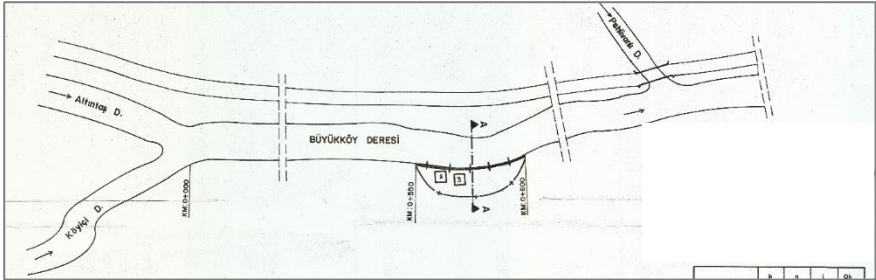
- Arazi üzerinde dere yatağına ait veriler (dere tabanı, sürüntü malzemesi, kıyı erezyonu ve heyelan)
- Taşkın bölgesinde Mevcut tesisler, köprüler, yerleşim yerleri ve tarım arazileri, taşkın sınırları, yan dereler
- Taşkın bölümlerine ait doğal dere yatağı kesiti

Proje çalışmaları aşağıda belirtilen 4 adet problemlili dere için yapılmıştır;

- Rize Büyükköy Beldesi, (Büyükköy deresi) Yeşilköy mahallesi
- Rize Büyükköy Beldesi, (Köyiçi Deresi), Derecik Köyü
- Rize Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi
- Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Deresi
- Rize Büyükköy Beldesi, (Büyükköy deresi) Yeşilköy mahallesi
- Şekil 4’de Rize Büyükköy Beldesi (Büyükköy Deresi) Yeşilköy mahallesine ait 1/ 25000 ‘lik harita verilmektedir.

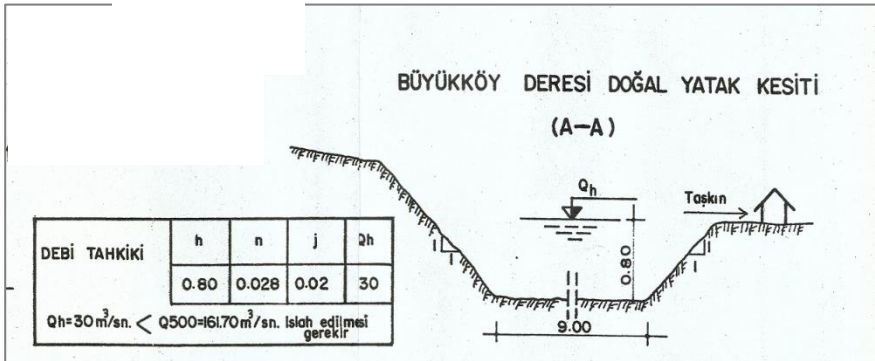


Şekil 4: Rize Büyükköy Beldesi, (Büyükköy deresi) Yeşilköy mahallesi 1/25000'lik harita [7]

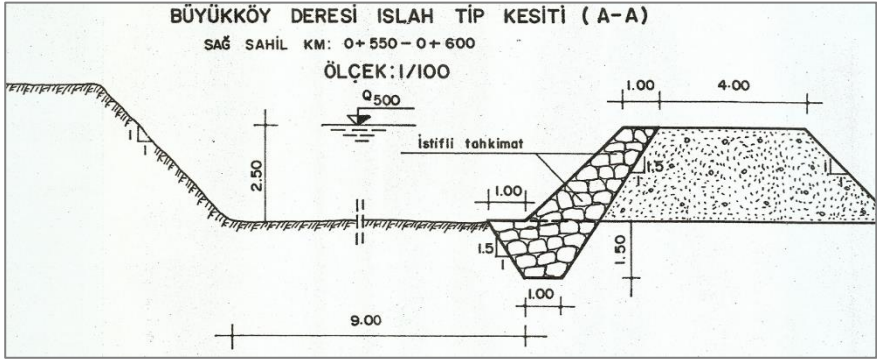


Şekil 5: Büyükköy Beldesi, (Büyükköy deresi) Yeşilköy mahallesi 0+550 ve 0+600 arası [7]

Şekil 5’te görüldüğü üzere, Büyükköy Beldesi, (Büyükköy deresi) Yeşilköy mahallesine ait arazi çalışmaları neticesinde hazırlanan vaziyet planı verilmektedir. Başlangıç 1/25000’lik haritası baz alınarak Köyiçi ve Altıntaş deresi birleşim noktasıdır. Bitiş noktası pehlivanlı deresi birleşim noktasıdır. 2 Röper arası arazide incelenmiş olup, 0+550 ve 0+600 arasında yerleşim +tarım arazisi taşkından korunması gerekliliği tespit edilmiştir. Şekil 6a’da A-A kesiti ile taşkın ve doğal dere yatağı, Şekil 6b’de akış yönüne göre sağ sahil istifli taş tahkimat taşkın koruma yapısı önerilmektedir. Şekil 6a’da görüldüğü üzere Manning formülüne göre yapılan hidrolik hesap neticesinde doğal dere yatağının geçirdiği debinin takım debisinden çok aşağıda olduğu görülmektedir. Taşkın tarım arazisi +yerleşim alanları üzerine etkili olacağından hesap taşkın debisi Q500 alınmaktadır. Tablo 3’te Q500 ve Q100 için seçilen kesitten geçen debinin taşkın debilerini geçirip geçirmediği kontrol edilmektedir. Yerleşim+tarım arazisi olması nedeniyle Q500 debisine karşılık gelen $h=2.5\text{m}$ yükseklik taşkın yüksekliği olarak alınmaktadır.



Şekil 6: A-A doğal dere yatağı kesiti [7]



Şekil 7: 0+550 ve 0+600 arası Islah tip Kesiti [7]

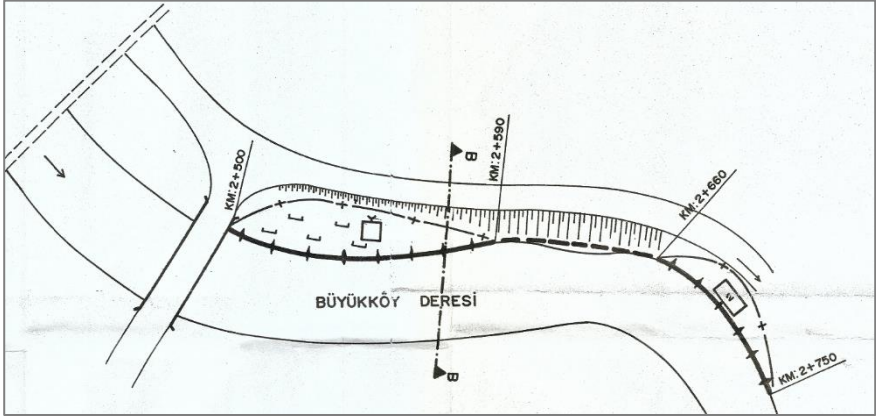
Tablo 3. Büyükköy deresi taşkın koruma kesiti hidrolik hesap tablosu [7]

DEBİ TAHKİKİ	h	n	j	$j^{1/2}$	A	Ç	R	$R^{2/3}$	Qh
	2.50	0.028	0.02	0.14	28.09	15.70	1.73	1.44	210
	2.00	0.028	0.02	0.14	21.72	14.29	1.52	1.32	145

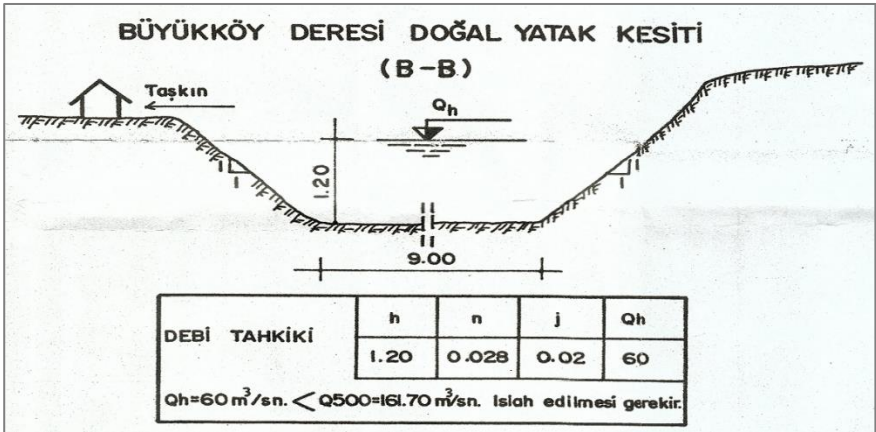
$Q500 = 161.70 \text{ m}^3/\text{sn.} < Qh = 210 \text{ m}^3/\text{sn.}$
 $Q100 = 121.90 \text{ m}^3/\text{sn.} < Qh = 145 \text{ m}^3/\text{sn.}$

} Islah tesisi yeterlidir.

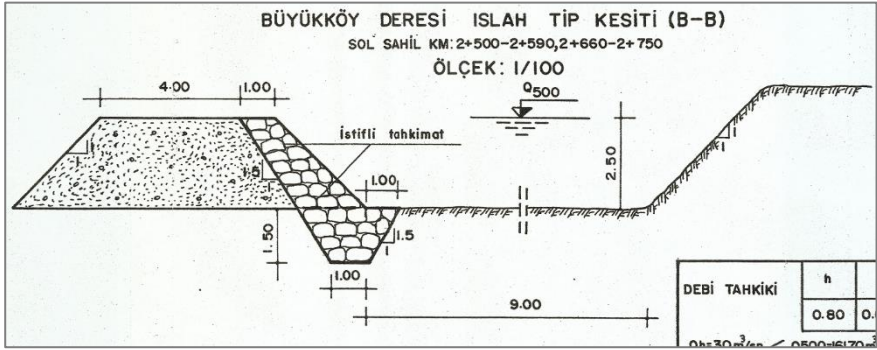
Şekil 7’de vaziyet planından görüleceği üzere, 2+500 km deki köy yolu köprü ile dere boyu devam eden ana yola bağlanmakta ve bu bölümden itibaren (2+000 ve 2+590), (2+660 ve 2+750) km arasında yerleşim + tarım arazileri için istifli taş tahkimat yapısı ve mevcut taşkın koruma yapısı verilmektedir. Şekil 8a’ da Doğal dere verilen doğal dere yatağı taşkın yüksekliğine göre taşkın sahaları + ile işaretlenmektedir. Yine arazi gözlemleri neticesinde kıyı boyunca erozyona neden olacak şev yapısı planda verilmektedir.



Şekil 8: Büyükköy Beldesi, (Büyükköy deresi) Yeşilköy mahallesi 2+500 ve 2+750 arası [7]

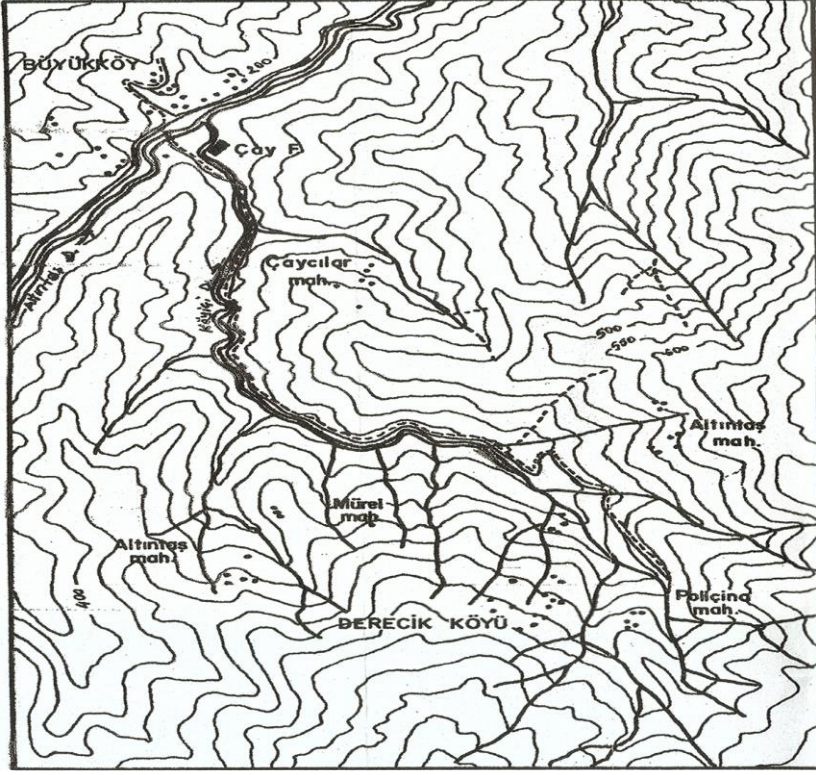


Şekil 9: B-B doğal dere yatağı kesiti [7]



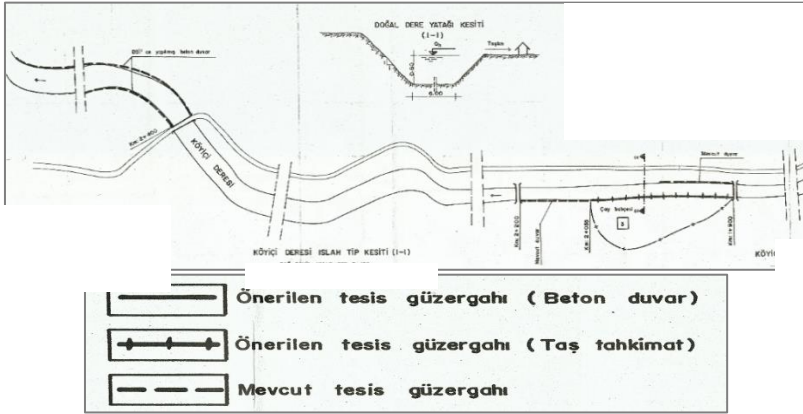
Şekil 10: (2+500 ve 2+590) ve (2+660 ve 2+750) arası ıslah tip kesiti [7]

1. Rize Büyükköy Beldesi, (Köyiçi Deresi), Derecik Köyü
Şekil 9'da Rize Büyükköy Beldesi (Köyiçi Deresi) Derecik Köyüne ait 1/ 25000 'lik harita verilmektedir.



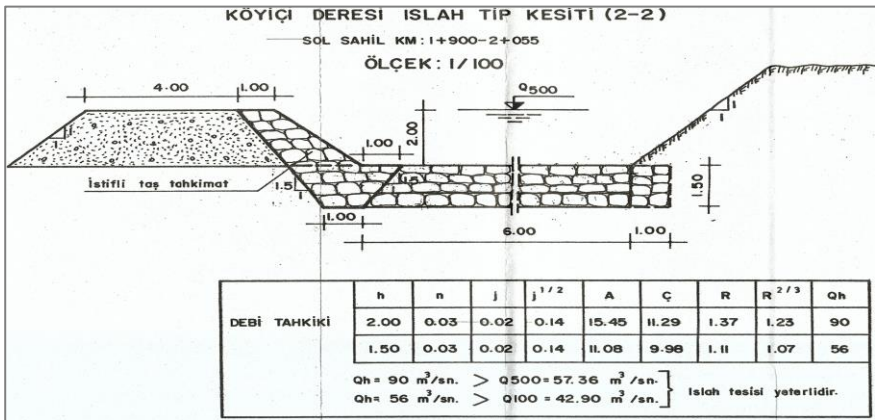
Şekil 11: Rize Büyükköy Beldesi, (Köyiçi Deresi), Derecik Köyü
1/25000 'lik harita [7]

Şekil 10 'da vaziyet planından görüleceği üzere, 1+900 km'deki ile dere boyu devam eden ana yola bağlanmakta ve bu bölümden itibaren (1+900 ve 2+050) arası önerilen sol sahil istifli taş tahkimat tesis güzergahı, (2+050 ve 2+200) km arasında mevcut duvar ve 2+400 km de köprü başlangıç olmak üzere DSİ 'ce yapılmış mevcut beton duvar güzergahı verilmektedir. Şekil 10'da yerleşim +tarım arazileri için Q500 debisine göre kesit hesabı yapılarak taşkın yüksekliği 2m olarak hesaplanmıştır. Şekil 10 'da Doğal dere verilen doğal dere yatağı taşkın yüksekliğine göre taşkın sahaları + ile işaretlenmektedir.

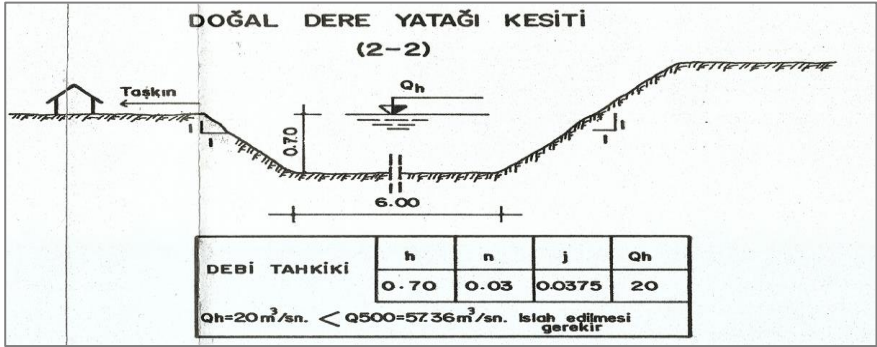


Şekil 12: Köyiçi Deresi 1+900 km ve 2+200 arası [7]

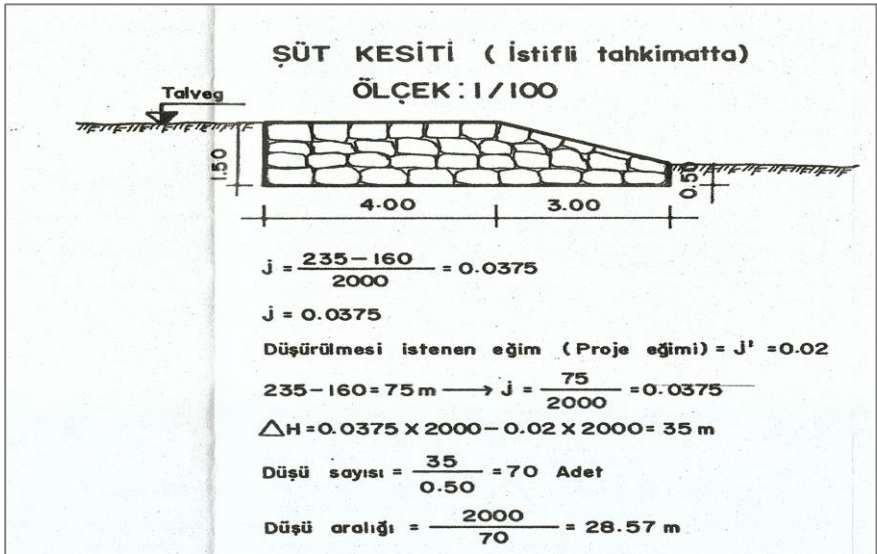
Şekil 11’de Büyükköy Beldesi, (Köyiçi Deresi), Derecik Köyü 1+900 ve 2+055 km arası Köyiçi Deresi Islah tip Kesiti verilmektedir. Şekil 12’de Önerilen tesis yerine ait doğal dere yatağı kesiti ve geçirdiği debi hesaplanmaktadır. Doğal dere yatağı eğimi 0.0375’e göre önerilen ıslah tip kesiti Q500 ve Q100 taşkın debilerini karşılamamaktadır. (Eğim 0.02 olduğunda karşılamaktadır.) Bu nedenle Şekil 12’de önerilen ıslah tip kesiti olan bölümlerinde yatak eğimi 0.02 için 70 adet düşü hesaplanmıştır.



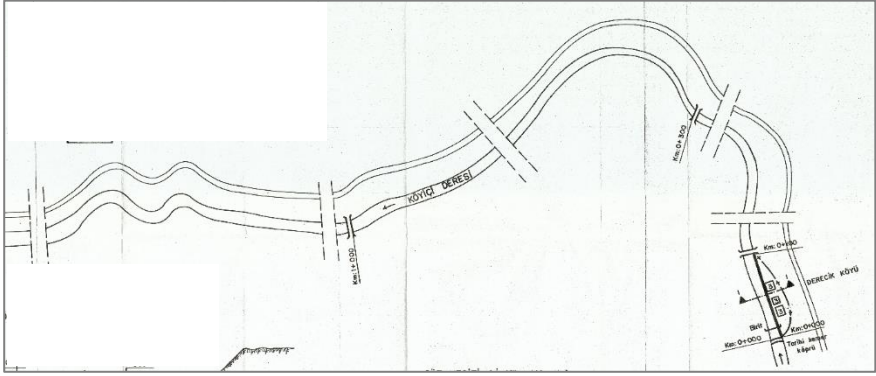
Şekil 13: 1+900 ve 2+200 arası ıslah tip kesiti [7]



Şekil14: 2-2 Doğal dere yatağı kesiti [7]

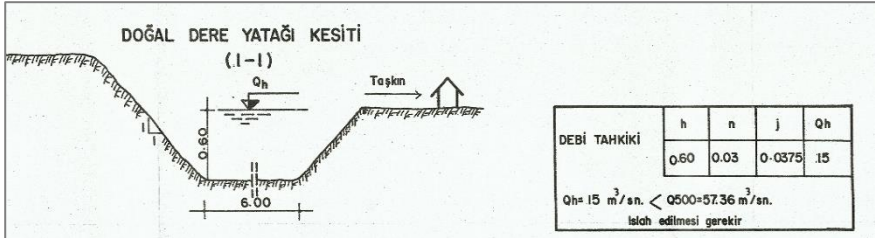


Şekil 15: İstifli taş tahkimat bölümünde düşü kesiti, aralığı ve sayısı [7]

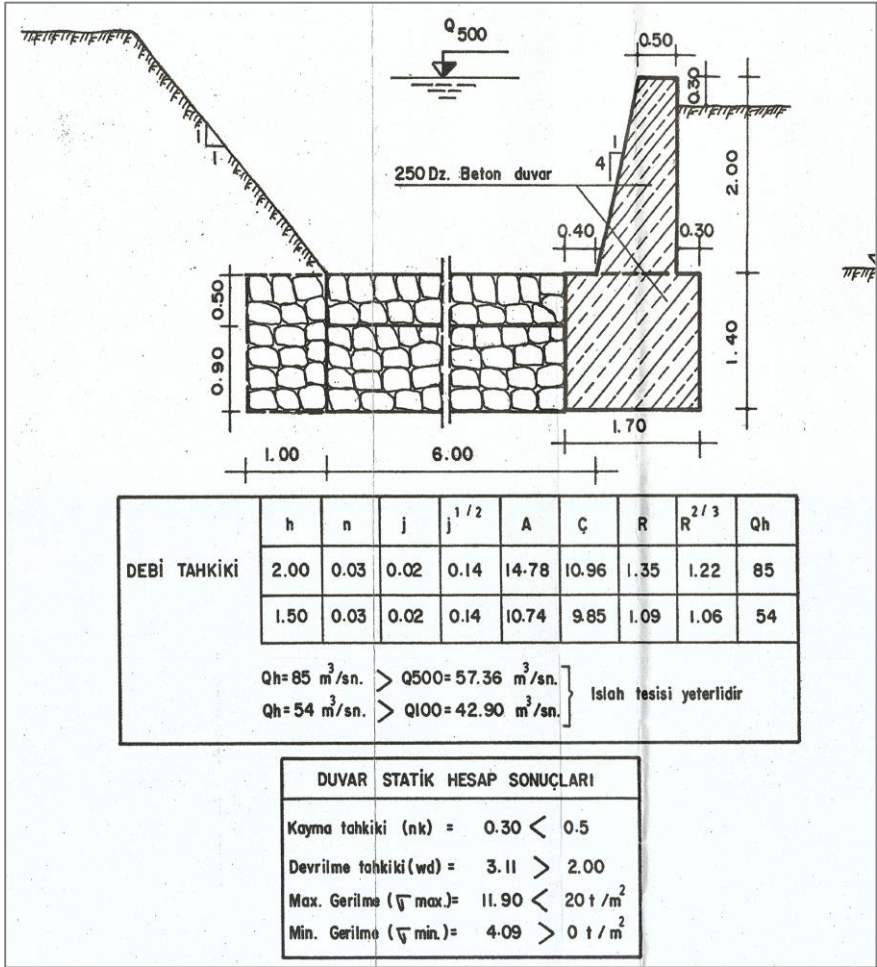


Şekil 16: Büyükköy Beldesi, (Köyiçi Deresi), Derecik Köyü 0+000 ve 0+100 arası [7]

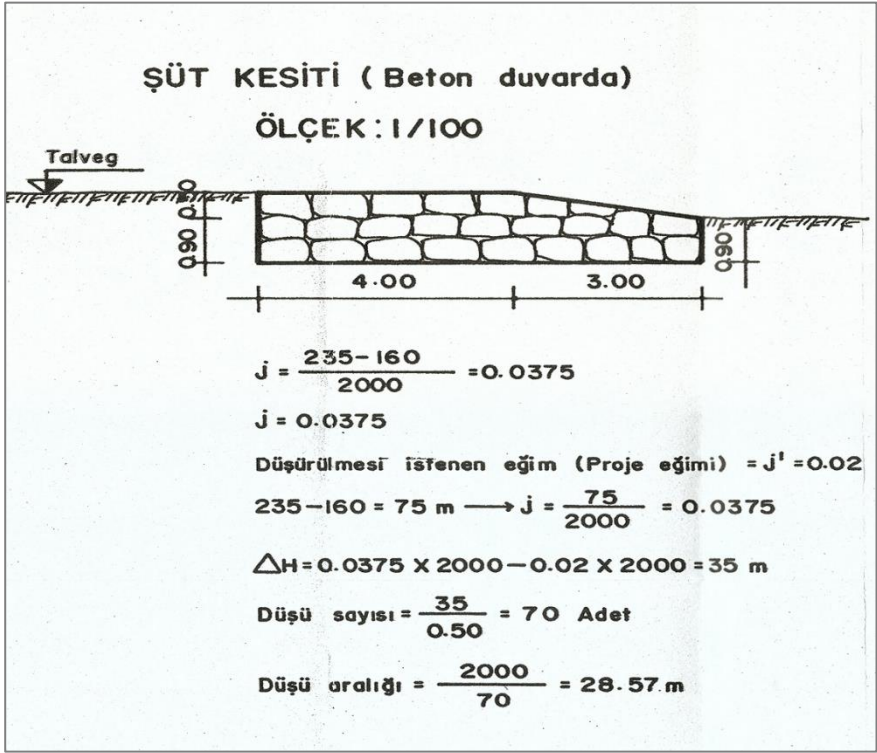
Şekil 15'te görüldüğü üzere bu bölümde de doğal dere yatağı eğimi 0.0375 olduğundan eğim 0.02 ye düşürülerek Şekil 17'de şüt kesiti belirlenerek ve şüt sayısı hesaplanmıştır. Şekil 16'da 0+000 ve 0+100 km arasında yerleşim yerleri olması nedeniyle taşkın koruma beton duvar önerilmektedir.



Şekil 17: Taşkın duvar bölümünde doğal dere yatağı kesiti ve debi [7]



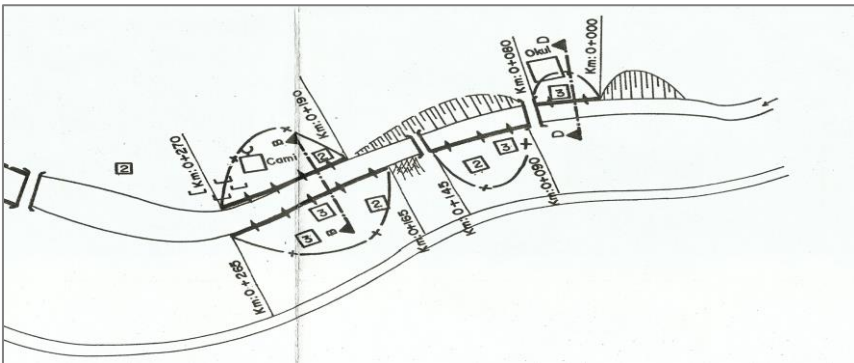
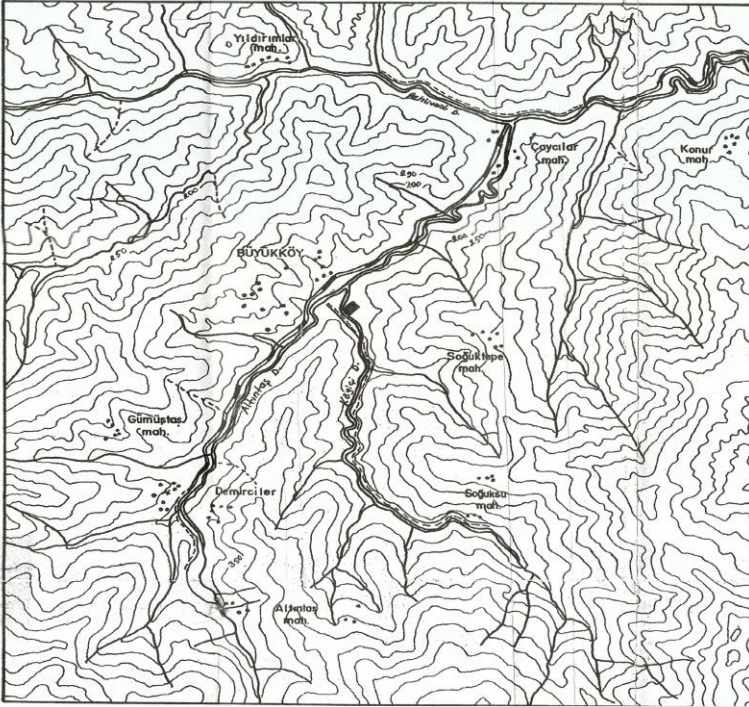
Şekil 18: 0+000 ve 0+100 km arası ıslah tip kesiti [7]



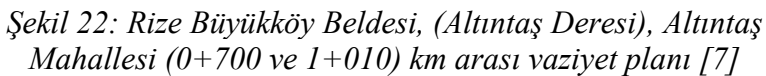
Şekil 19: Beton Duvar bölümünde şüt kesiti [7]

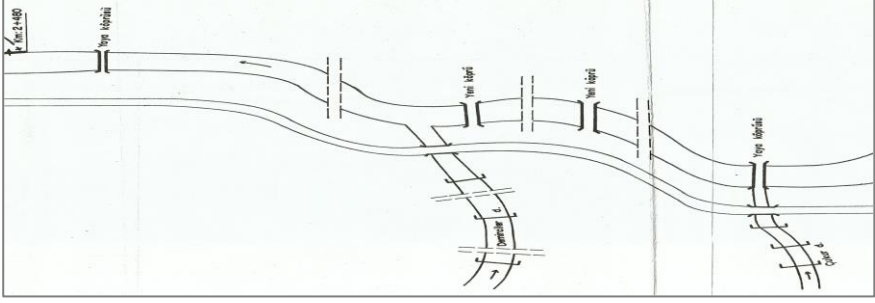
2. Rize Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi

Şekil 18'de Rize Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi ait 1/ 25000 'lik harita verilmektedir. Şekil 19 'da vaziyet planından görüleceği üzere, 0+000 km ile 0+080 km arası sağ sahil istifli taş tahkimat, 0+090 ve 0+145 km arası sol sahil istifli taş tahkimat ve 0+165 ve 0+265 arasında sol sahilse istifli taş tahkimat, 0+190 ve 0+270 arası sağ sahil istifli tahkimat önerilmektedir Planda kıyı şevleri ve tarım arazisi + yerleşim yerleri taşkın sınırı + olarak gösterilmektedir. Bu güzergahta 2 köprü bulunmaktadır.



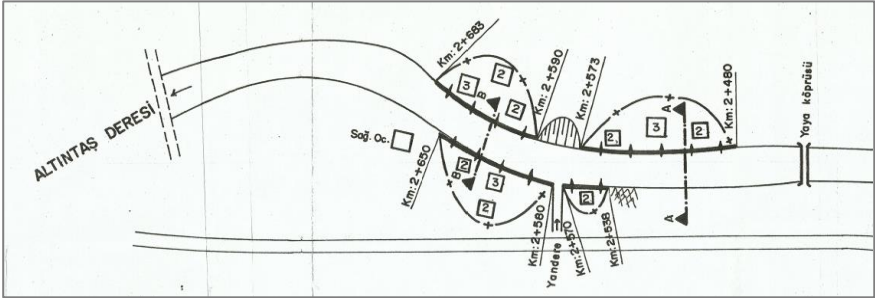
Planda korunması gereken araziler tarım arazileri + yerleşim yerleridir ve taşkın sınırı + olarak gösterilmektedir. Şekil 21’de 2+480 km’ye kadar 2 yaya köprüsü ve 2 yeni köprü bulunmaktadır. Çukur ve demirçiler dereleri bu bölümde birleşmekte ve rusubat malzemesi getirdiğinden iki yan dere üzerinde 3 adet taban kuşağı önerilmektedir.



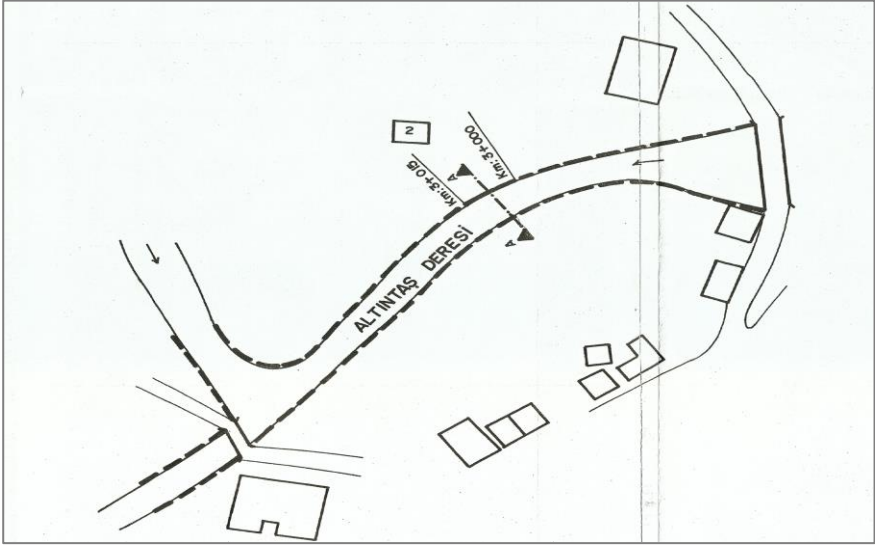


Şekil 23: Rize Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 2+480 km arası vaziyet planı [7]

Şekil 22 'de 2+480 ile 2+590 km arası sağ sahil istifli taştahkimat, 2+573 ve 2+590 km arası dik şev, 2+590 ve 2+683 arası sağ sahil istifli taş tahkimat, 2+538 ile 2+570 ve 2+580 ile 2+650 arası sol sahil istifli taş tahkimat önerilmektedir. Taşkın alanları yerleşim yerleri + tarım arazileridir. Taşkın alanları + ile belirtilmiştir.

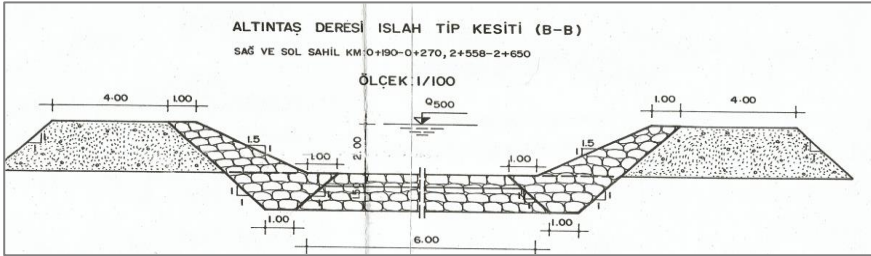


Şekil 24: Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 2+480 ve 2+683 km arası vaziyet planı [7]



Şekil 25: Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi
3+000 ve 3+015 km arası vaziyet planı [7]

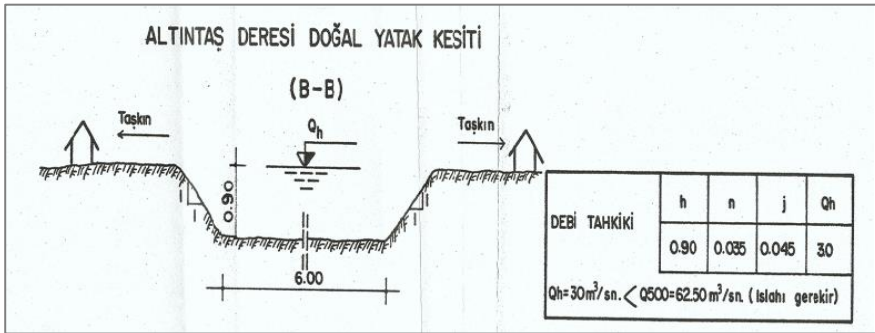
Şekil 23'te Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 3+000 ve 3+015 km arası önerilen taşkın koruma yapısı ve mevcut yapı gösterilmektedir. Koruma yerleşim yeri olarak düşünülecektir.



Şekil 26: Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi
0+190 ve 0+270, 2+550 ve 2+650 km arası vaziyet planı [7]

Şekil 24. Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 0+190 ve 2+270, 2+558 ve 2+650 arası taşkın koruma yapısı ve Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi

0+190 ve 2+270, 2+558 ve 2+650 arası doğal dere yatağı kesiti en kesiti verilmektedir. Mevcut doğal dere yatağı eğimi ($j=0.045$) oldukça yüksektir ve kesit Q500 taşkın debisini karşılamamaktadır. Şekil 25 'de görüldüğü üzere Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 0+190 ve 2+270, 2+558 ve 2+650 arası Q500 taşkın debisini karşılayan eğim $j=0.03$ 'dür. Bu nedenle Şekil 26'da bu eğime düşürülecek şüt sayısının hesaplanması gerekmektedir.



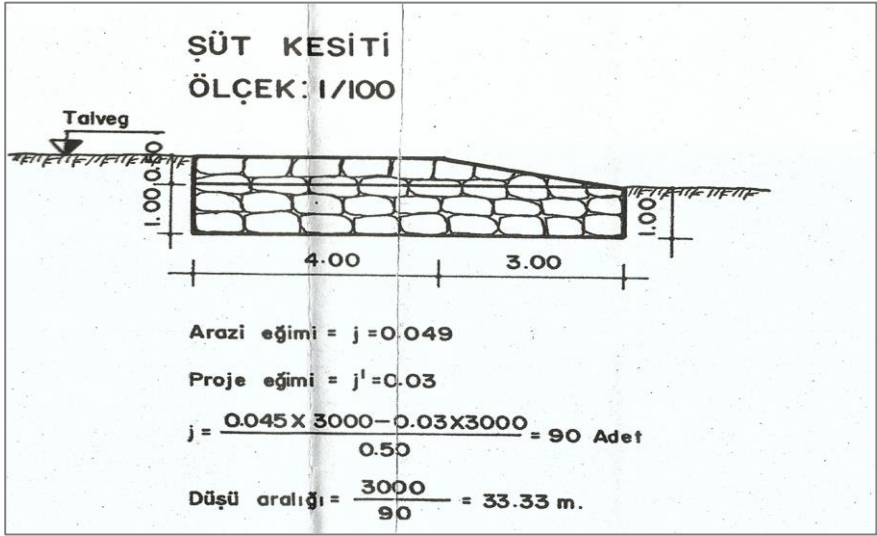
Şekil 27: Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 0+190 ve 2+270, 2+558 ve 2+650 arası doğal dere yatağı kesiti [7]

DEBİ TAHKİKİ	h	n	j	$j^{1/2}$	A	Ç	R	$R^{2/3}$	Qh
	2.00	0.035	0.03	0.173	14.77	10.86	1.36	1.22	90
	1.50	0.035	0.03	0.173	10.61	9.65	1.10	1.07	56

$Q_h = 90 \text{ m}^3/\text{sn.} > Q_{500} = 62.50 \text{ m}^3/\text{sn.}$
 $Q_h = 56 \text{ m}^3/\text{sn.} > Q_{100} = 46.80 \text{ m}^3/\text{sn.}$

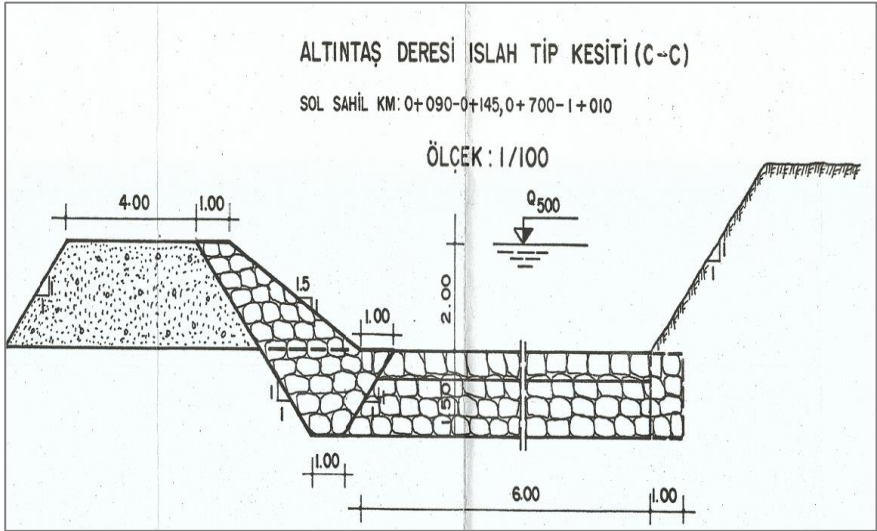
İslah tesisi yeterlidir

Şekil 28: Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 0+190 ve 2+270, 2+558 ve 2+650 arası hidrolik hesap [7]

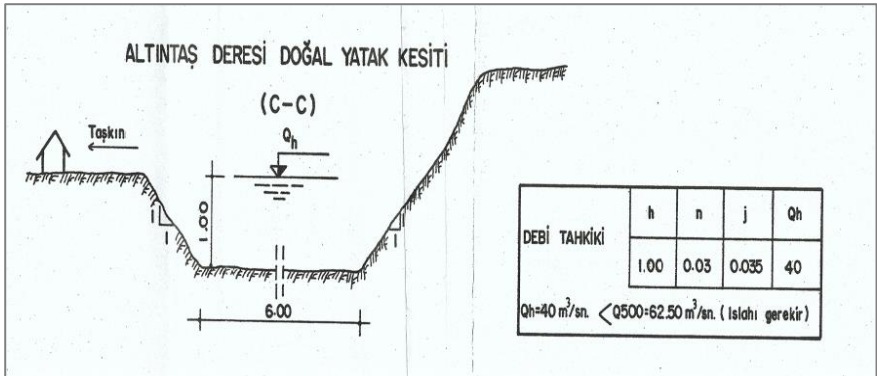


Şekil 29: Büyükköy Beldesi, (Altıntaş Deresi), Altıntaş Mahallesi 0+190 ve 2+270, 2+558 ve 2+650 arası şüt kesiti ve şüt hesabı [7]

Şekil 27, Şekil 29’da belirtilen kilometrelerde önerilen istifli taş tahkimat yapısı en kesiti, bu bölümlere ait doğal dere yatakları, hidrolik hesap ve düşü sayıları verilmektedir. Şekil 31 ‘de Altıntaş Deresi 3+000 ve 3+015 km arası (Yerleşim yeri olması nedeniyle) Beton duvar taşkın koruma yapısı en kesiti verilmektedir. Şekil 32 ‘de bu bölüm için hidrolik hesap Şekil 33’te beton duvar statik hesap tahkikleri, Şekil 34’te şüt en kesiti, Şekil 35’te şüt sayısı hesabı Şekil 36 ‘da doğal dere yatağı kesiti verilmektedir.



Şekil 30: 0+090 ve 0+145,0+700 ve 1+010 arası taşkın koruma yapısı kesiti [7]

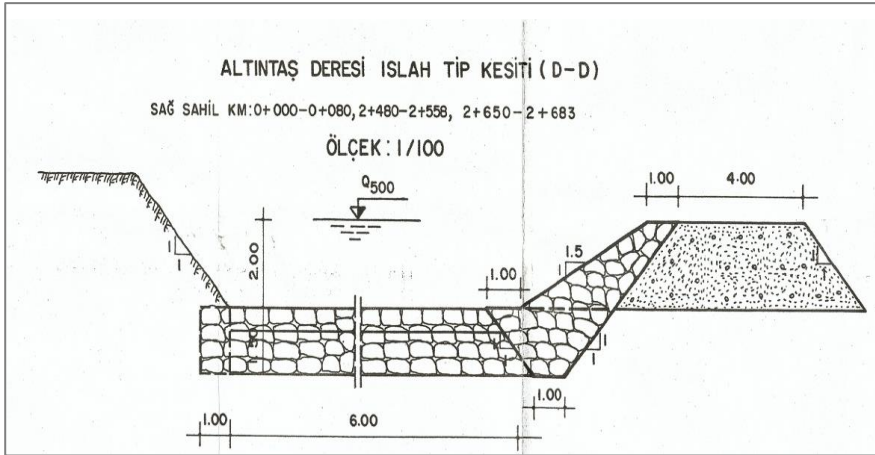


Şekil 31: 0+090 ve 0+145,0+700 ve 1+010 arası doğal dere yatağı kesiti [7]

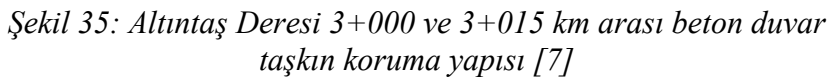
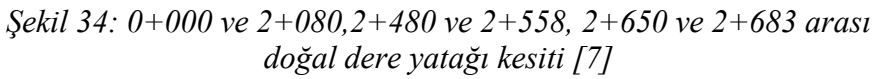
	h	n	j	$j^{1/2}$	A	Ç	R	$R^{2/3}$	Qh
DEBİ TAHKİKİ	2.00	0.035	0.03	0.173	15.52	11.33	1.37	1.23	95
	1.50	0.035	0.03	0.173	10.84	9.94	1.09	1.05	57

$Qh=95 \text{ m}^3/\text{sn} > Q500=62.50 \text{ m}^3/\text{sn}.$
 $Qh=57 \text{ m}^3/\text{sn} > Q100=46.80 \text{ m}^3/\text{sn}.$ } İslah tesisi yeterlidir.

Şekil 32: 0+090 ve 0+145,0+700 ve 1+010 arası önerilen taşkın en kesiti hidrolik hesap [7]



Şekil 33: 0+000 ve 2+080,2+480 ve 2+558, 2+650 ve 2+683 arası önerilen taşkın en kesiti hidrolik hesap [7]

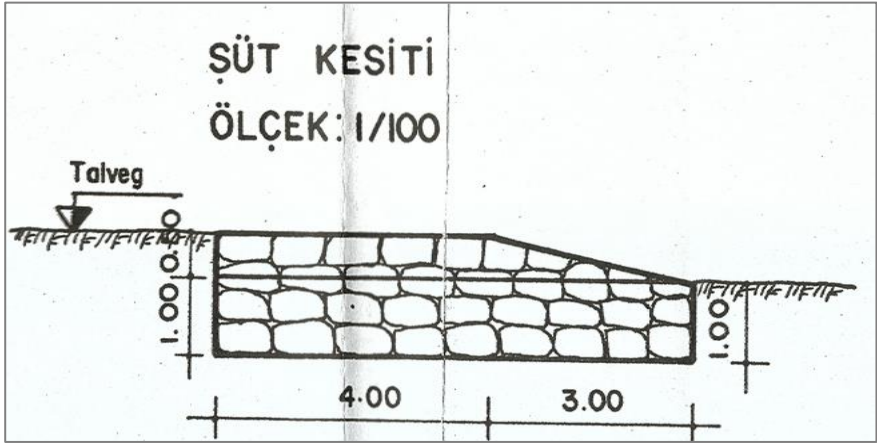


	h	n	j	$j^{1/2}$	A	Ç	R	$R^{2/3}$	Qh
DEBİ TAHKİKİ	2.50	0.035	0.03	0.173	16.17	11.07	1.46	1.29	103
	2.00	0.035	0.03	0.173	12.99	10.14	1.28	1.18	76
$Q_h = 103 \text{ m}^3/\text{sn.} > Q_{500} = 62.50 \text{ m}^3/\text{sn.}$ $Q_h = 76 \text{ m}^3/\text{sn.} > Q_{100} = 46.80 \text{ m}^3/\text{sn.}$									
} İslah tesisi yeterlidir.									

Şekil 36: Altıntaş Deresi 3+000 ve 3+015 km arası beton duvar hidrolik hesap [7]

DUVAR STATİK HESAP SONUÇLARI	
Kayma tahkiki (nk)	= 0.37 < 0.50
Devrilme tahkiki (wd)	= 2.27 > 2.00
Max. Gerilme ($\nabla_{\max}$)	= 10.08 < 20
Min. Gerilme ($\nabla_{\min}$)	= 7.78 > 0

Şekil 37: Altıntaş Deresi 3+000 ve 3+015 km arası beton duvar statik hesap [7]



Şekil 38: Altıntaş Deresi 3+000 ve 3+015 km arası beton duvar bölümü şüt en kesiti [7]

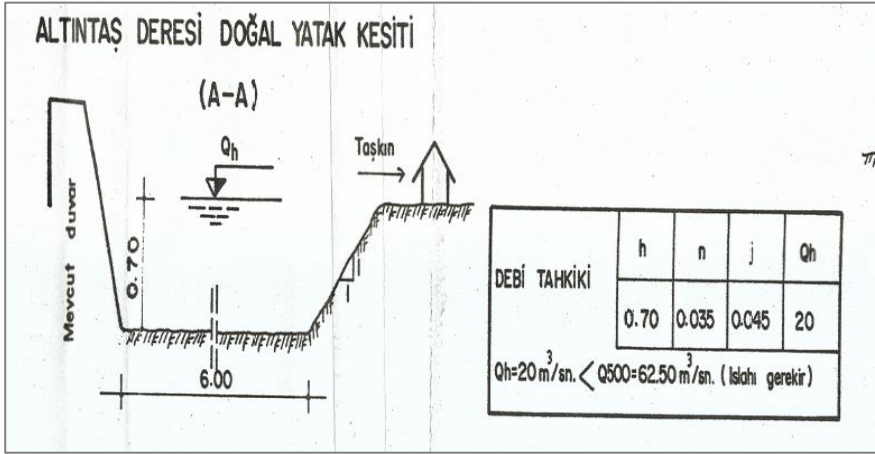
Arazi eğimi = $j = 0.049$

Proje eğimi = $j' = 0.03$

$$j = \frac{0.045 \times 3000 - 0.03 \times 3000}{0.50} = 90 \text{ Adet}$$

Düşü aralığı = $\frac{3000}{90} = 33,33 \text{ m.}$

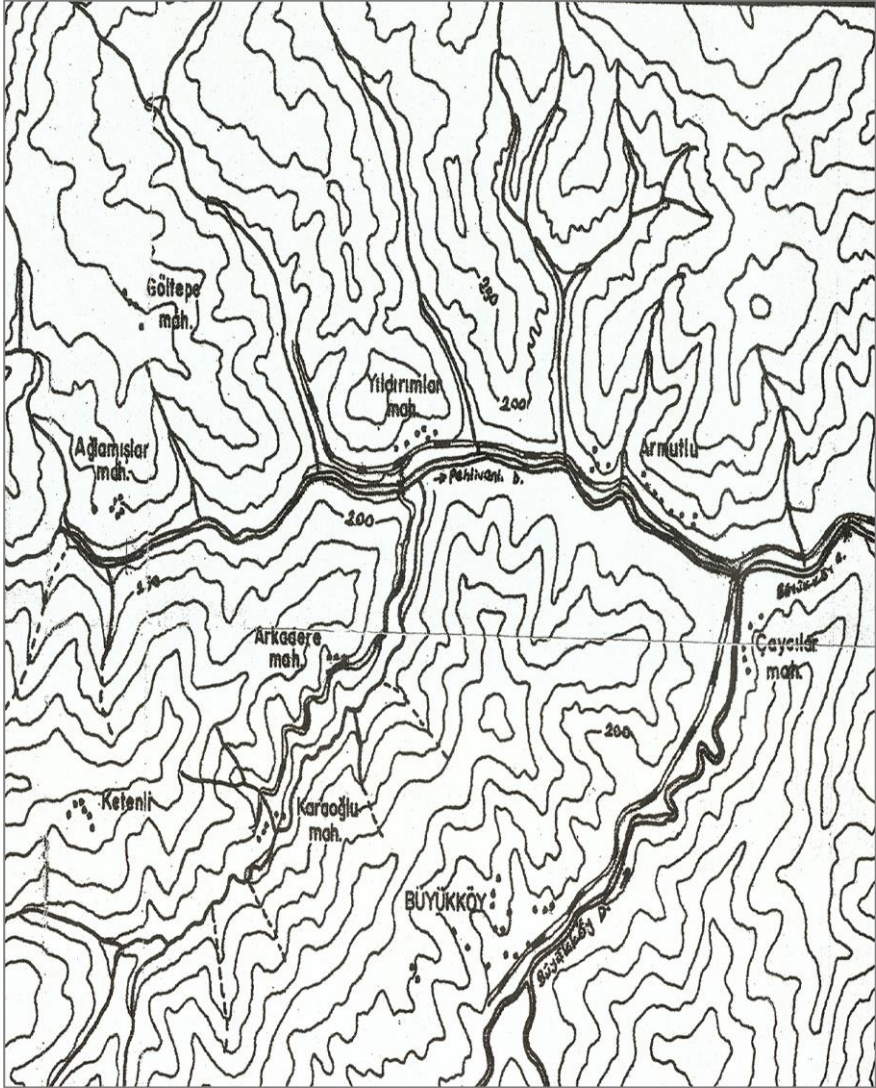
Şekil 39: Altıntaş Deresi 3+000 ve 3+015 km arası beton duvar bölümü şüt sayısı hesabı [7]



Şekil 40: Altıntaş Deresi 3+000 ve 3+015 km arası beton duvar bölümü doğal dere yatağı kesiti [7]

3. Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Deresi

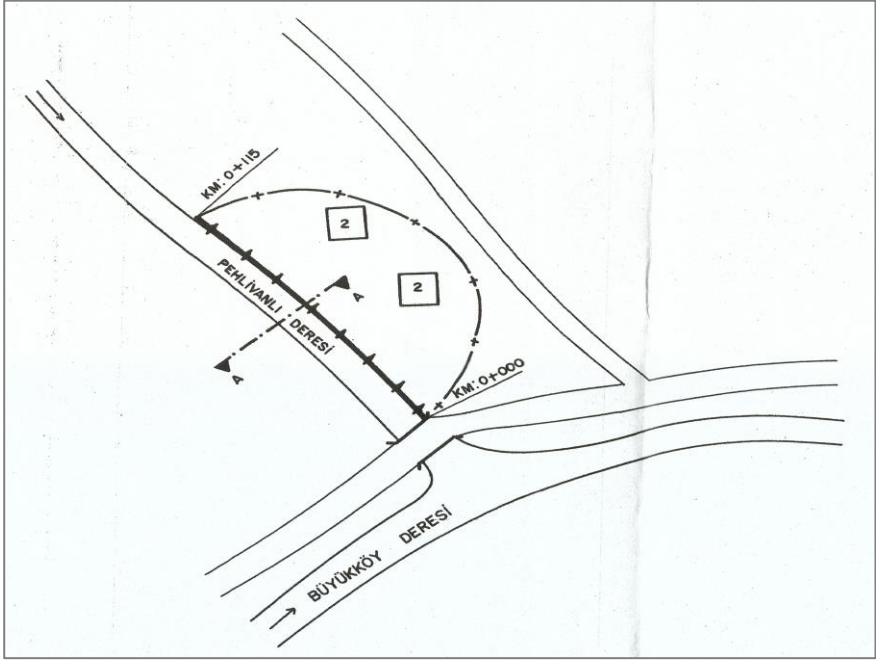
Şekil 37 'de Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Deresi 1/25000 'lik haritası verilmektedir.



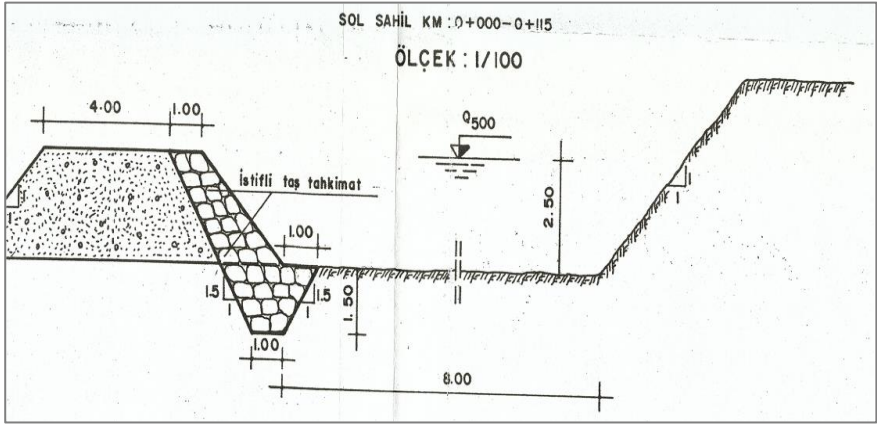
Şekil 41: Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı deresi 1/25000 'lık harita [7]

Şekil 38 'de Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Vaziyet Planı verilmektedir. Planda (0+000) ve (0+115) km arasında bulunan yerleşim yeri+tarım arazisi için sol sahil istifli taş tahkimat

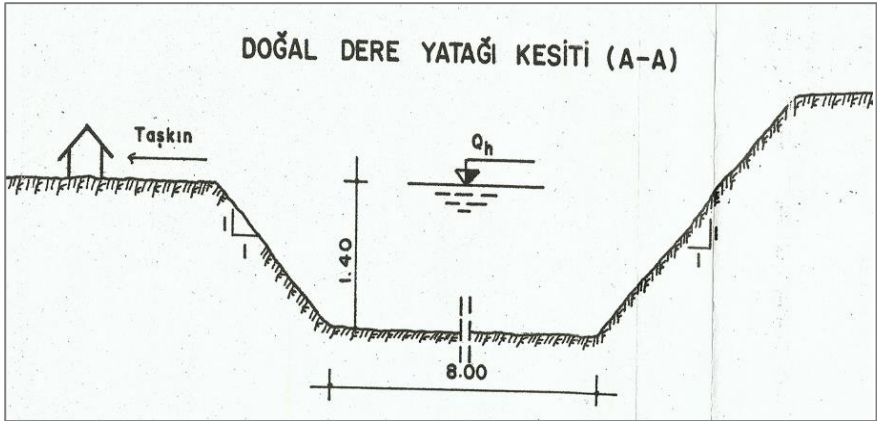
yapılmıştır. Şekil 39’da Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Deresi Taşkın tesisi en kesiti, Şekil 40 ‘da Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Deresi Taşkın tesisi en kesiti, Şekil 41’de Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Deresi hidrolik hesap tablosu verilmektedir. Akarsu yatak eğimi değiştirilmeden 2..5 m de kesitin geçirdiği debi Q500 den daha küçük olduğu için bu bölümde şüt önerilmemiştir.



Şekil 42: Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı vaziyet planı [7]



Şekil 43: Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı deresi taşkın tesisi en kesiti [7]



Şekil 44: Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı deresi taşkın tesisi en kesiti [7]

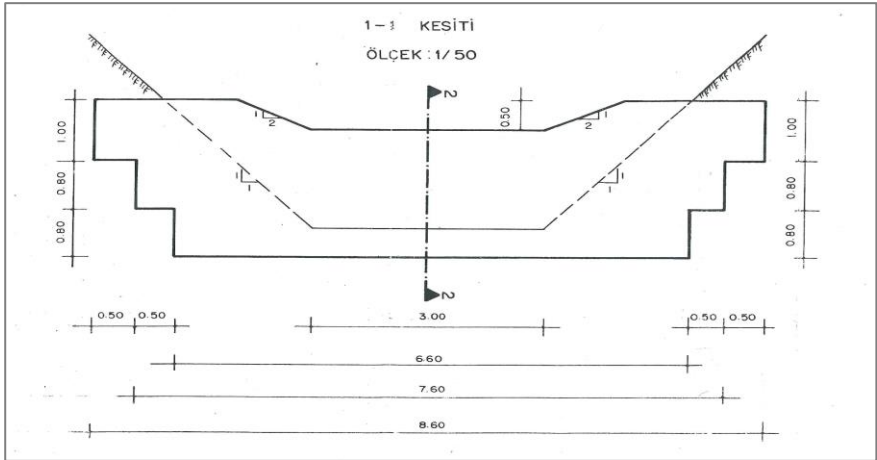
DEBİ TAHKİKİ	h	n	j	$j^{1/2}$	A	Ç	R	$R^{2/3}$	Qh
	2.50	0.03	0.03	0.173	24.27	14.45	1.71	1.43	205
	2.00	0.03	0.03	0.173	18.89	12.95	1.45	1.44	139

$Q500=149.1 \text{ m}^3/\text{sn.} < Qh=205 \text{ m}^3/\text{sn.}$
 $Q100=113.2 \text{ m}^3/\text{sn.} < Qh=139 \text{ m}^3/\text{sn.}$ } İslah tesisi yeterlidir.

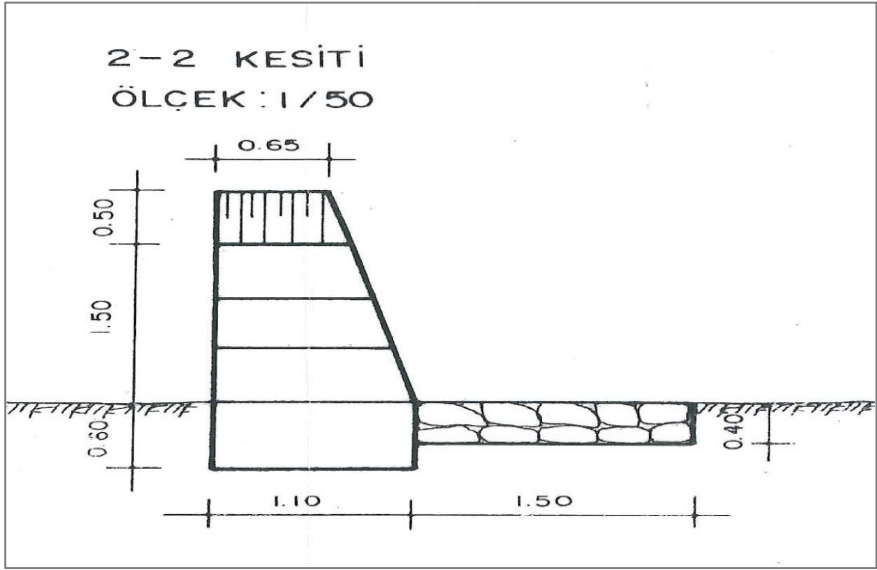
Şekil 45: Rize Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı deresi hidrolik hesap [7]

Çukur Deresi ve Demirciler Deresi

Arazide yapılan incelemeler neticesinde Altıntaş deresi yan kolu olan çukur ve demirciler deresi kıyılarda dik yamaçlar nedeniyle büyük yağışlarda heyelan ve erozyona neden olarak rusubat malzemesini mansaba taşımaktadır. Derelerin debisi az, ancak akarsu yamaçları 45 derecelik eğime sahiptir. Rusubat malzemesinin mansap kısmına taşınmaması amacıyla yamaç stabilitesi ve rusubat malzemesini tutmak için taban kuşağı önerilmiştir.

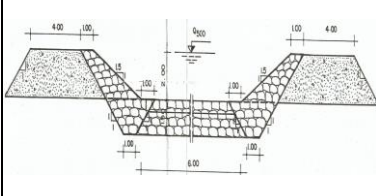
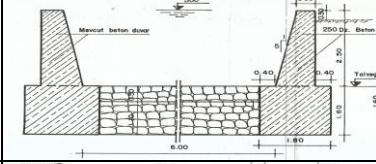
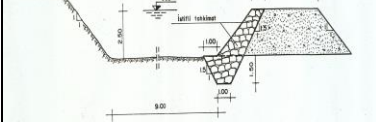
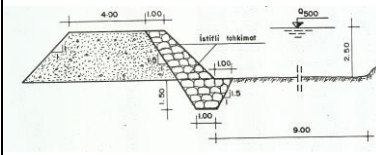
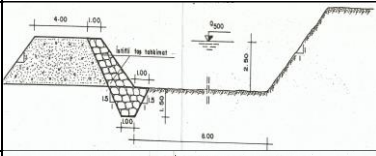
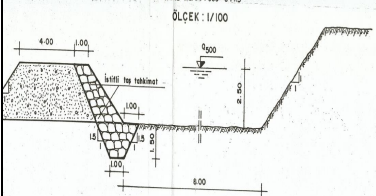


Şekil 46: Çukur ve Demirciler deresinde taban kuşağı 1-1 kesiti [7]



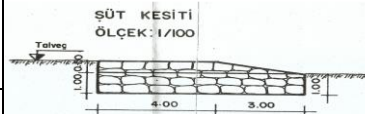
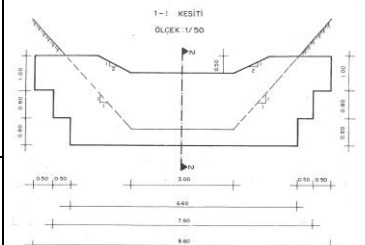
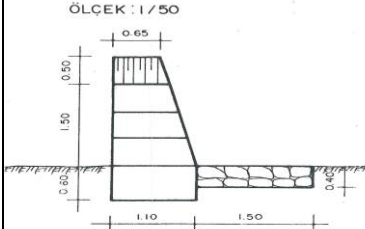
Şekil 47: Çukur ve Demirciler deresinde taban kuşağı 2-2 kesiti [7]

Tablo 3'te Araştırma alanına ait derelerde taşkın koruma yapıları ve önerilen tesisler koruma yapılan sahanın niteliğine göre listelenmektedir.

Altıntaş Mahallesi	5	Sağ sahil ve Sol Sahil (0+190)-(0+270), (2+550)-(0+650)	İstifli Taş tahkimat	
Altıntaş Mahallesi	6	(3+000)-(3+015)	Mevcut Beton Duvar	
Yeşilköy Mahallesi	7	Sağ Sahil (0+550)-(0+600),	İstifli Taş tahkimat	
Yeşilköy Mahallesi	8	Sol Sahil (2+500)-(2+590), (2+660), (2+750)	İstifli Taş tahkimat	
Büyükköy beldesi	9	Sağ Sahil (0+000)-(0+115),	İstifli Taş tahkimat	
Pehlivanlı Deresi		Sol Sahil (0+000)-(0+015),	İstifli Taş tahkimat	

Tablo 4’de Araştırma alanında enine taşkın koruma tesisi tipleri verilmektedir.

Tablo 5: Araştırma alanında Seçilen enine taşkın koruma yapıları

ENİNE YAPI	Önerilen Tesis	Önerilen Tesis No	Yeri	Adet	Plan ve Kesit
	Düşü	10	Köyiçi Deresi	70	 Şüt Kesiti
			Altıntaş Deresi	90	
	Taban Kuşağı	11	Çukur Deresi (Altıntaş Deresi Yan kolu)	3	 1-1 KESİTİ ÖLÇEK: 1/50  2-2 KESİTİ ÖLÇEK: 1/50
			Demirciler Deresi (Altıntaş Deresi Yan kolu)	3	

Tablo 5'te hidrolik hesaplarla ilişkili parametreler özetlenmektedir.

Tablo 6: Boyuna taşkın koruma yapıları -kesit ve adet seçiminde etkili parametreler

Taşkın Yapısı No	n	Akarsu yatak Eğimi	Doğal yatak Debisi (m ³ /sn)	Kesit seçiminde etkili Hesap Debisi (m ³ /sn) Q500	Hesap Debisi (m ³ /sn) Q100	Q500 için H Yüksekliği (debi) (m) (m ³ /sn)	Q100 için H Yüksekliği (debi) (m) (m ³ /sn)	Hesap Eğimi
1	0.03	0.0375	20	57.36	42.90	2.0(85)	1.5(54)	0.02
2	0.03	0.0375	20	57.36	42.90	2.0(90)	1.5(56)	0.02
3,4	0.035	0.045, 0.035	30, 40	62.50	46.8	2.0(95)	1.5(57)	0.03
5	0.035	0.045	30	62.50	46.8	2.0(90)	1.5(56)	0.03
6	0.035	0.045	20	62.50	46.8	2.5(103)	2.0(76)	0.03
7	0.028	0.02	30	161.70	121.80	2.5(210)	2.0(145)	0.02
8	0.028	0.02	60	161.70	121.80	2.5(210)	2.0(145)	0.02
9	0.03	0.03	80	149.1	113.1	2.5(205)	2.0(139)	0.03
10	0.03	0.03	80	149.1	113.1	2.5(210)	2.0(145)	0.03

Sonuçlar

Şekil 48’de Taşkın tiplerinin belirlenmesinde çalışma işleyişi Modellenmektedir.



Şekil 48: Taşkın tipi belirlenmesinde çalışma modeli

1. Proje öncesi çalışmaları

Şekil 49’da Proje öncesi Çalışma Modeli verilmektedir.



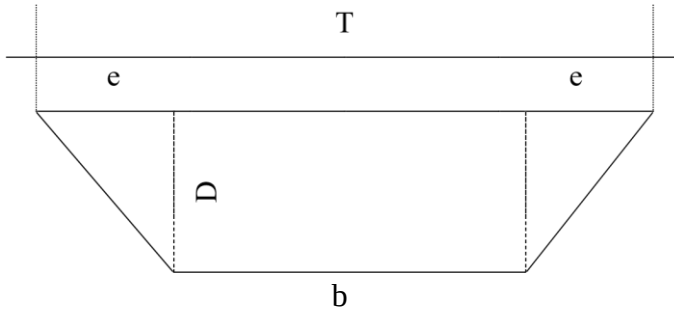
Şekil 49: Proje öncesi çalışma modeli

Şekil 49’da verildiği üzere, Büro ön çalışmalarına öncelikle Araştırma alanına ait taşkın kesiti için ön çalışma yapılarak başlamak gerekmektedir. Taşkın alanlarının arazide belirlenmesi çok önemlidir. Bu bağlamda 1/25000’lik haritalar temin edilir. Taşkın şikayetleri olan derelerin- Q500 ve Q100 taşkın debi hesaplarında kullanılmak üzere- drenaj alanları harita üzerinden plankote ile hesaplanır. Tarım+Yerleşim veya sadece tarım arazileri nedeniyle Q100 ve Q500 taşkın debilerinin hesaplanması gerekmektedir. Q500 ve Q100 taşkın debisini geçirecek dere kesitinin Manning formülü ile hesaplanması, arazi çalışmaları sırasında taşkın yayılım alanının ve taşkın sınırlarının öngörülmesi açısından önemlidir. Q100 ve Q500 taşkın debilerinin belirlenmesi için hidrolojik veriler önemlidir. Akım gözlem değeri bulunmayan veya yetersiz olan akarsu havzalarında, yağış büyüklüğüne, biçimine ve eğimine bağlı olarak DSI’nin taşkın hidrolojisi hesaplarında

yaygın olarak kullanılan sentetik birim hidrograf ve Amprık yöntemler şunlardır;

- DSİ Sentetik Birim Hidrograf Yöntemi (CGS),
- Mockus Üçgen Birim Hidrograf Yöntemi,
- Synder Yöntemi,
- Mc Math Yöntemi,
- Rasyönel Yöntem

Akım gözlem değeri bulunmayan akarsu havzalarının proje taşkınları en az iki sentetik birim hidrograf yöntemi ile hesaplanmalı, bu yöntemlerle bulunan proje taşkınları bölgesel taşkın frekans analizi, noktasal taşkın frekans değerlerinin proje yerine taşınması ve daha önce havzalarda hesaplanmış proje taşkınları ile karşılaştırılarak doğruluğu sağlanmalıdır (DSİ 1990). İkinci aşamada, aşağıda verilen Manning formülünde kullanılmak üzere j Doğal dere yatağı eğimi 1/25000’lik haritalardan çıkarılarak doğal dere yatağı kesiti belirlenir. Şekil 50’de Manning formülünde kullanılan Doğal dere yatağı kesiti verilmektedir.



Şekil 50: Akarsu enkesiti

$$R = \frac{A}{C} \quad (1)$$

Q: Debi (m^3/sn)
R: Hidrolik yarıçap (m)
A: Islak alan (Su yüzeyinin temas ettiği kesit alan değeri)
(m^2)
Ç: Islak çevre (Su yüzeyinin değdiği kesitin çevre değeri)
(m)
J: Yatak eğimi (Harita üzerinden hesaplanılır)
n: pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir. n'in çeşitli değerleri DSI(1983)'den alınarak Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7: Manning formülündeki pürüzlülük katsayısı değerleri

n=0.016	Normal beton kanallar
n=0.014	Tuğla ve kesme kanallar
n=0.018	Moloz taş duvar veya harçlı pere kaplamalar
n=0.028	Kuru duvar veya kuru pere kaplamalar
n=0.028	Kuruda açılmış düzgün kesitli, tabanı kum, çakıllı bitkili kanallar
n=0.035	Şevleri bozulmuş, bitki kaplı kum birikintili kanallar
n=0.038	Doğal kaynaklarda patlayıcı ile açılmış şevleri düzelmemiş kanallar
n=0.050	Vahşi dereler, düzensiz ve iri çakıllı kayalık yataklar
n=0.038	Taşkın yatakları ve vadi tabanları

Manning formülü bir kanalda uygulanacağı zaman kanalın tabanı ve malzemesi bilindiğinden “n” pürüzlülük katsayısını tahmin etmek zor değildir. Fakat akarsularda genellikle yatak malzemesi değişiktir. Herhangi bir düzensizlik türbülansı artırır ve dolayısıyla pürüzlülük büyür.

Manning Formülü:

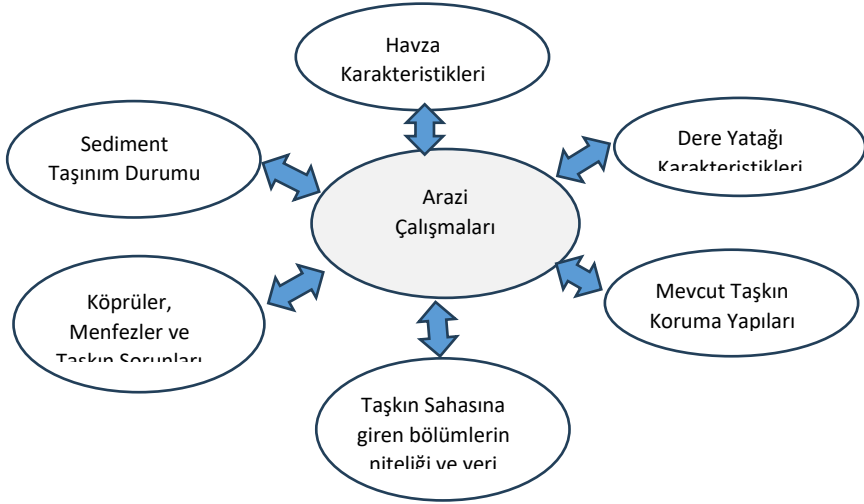
$$V=1/n.(R^{2/3}).(J^{1/2})$$

Havza ve akarsu yatak karakteristikleri ile sediment raporlarının idare tarafından yapılmış olması gerekmektedir. Mevcut çalışmalar hazırlanmadan arazi çalışmaları başlatılması

mümkündür. Ancak proje sürecine kadar bu raporların hazırlanması taşkın koruma tip ve kesitinin netleşmesi açısından çok önemlidir.

2. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları eksiksiz yapılması projelendirme süreci açısından çok önemlidir. Şekil de Arazi çalışmalarında yapılması gereken çalışmalar verilmektedir.



Şekil 51: Arazi çalışmasında gereken tespitler

Dere yatağının tabanı, (kaya, kum, çakıl vs..) dere yatağına yapılacak olan boyuna ve enine yapıların tespitinde kullanılan Manning katsayısı ve rüsubat malzeme taşınımı açısından önemlidir. Rüsubat malzemesi için arazide memba ve mansap için gerekli kontroller şunlardır;

Memba; Dere yatağı zemini, kıyı erozyonu ve yamaç stabilitesi

Mansap; Malzeme ile kıyı oyulması olup olmadığı ve sanat yapıları ve köprülerde tıkanma ve tıkanmaya neden olan malzeme (ağaç parçaları, kaya, toprak vs.)

Özellikle mansap kısmında ki çalışmalar malzemenin nereden geldiği ve taşkının nedenlerini belirlemek açısından önemlidir. Arazide Gerekli görülen yerlerden resimler çekilerek, Problemlili yerlerde ki Zemin cinsi hakkında idare tarafından daha önce bölgede yapılan jeolojik, jeoteknik ve sürüntü malzemesi raporlarından yada teknik elemanlardan bilgi edinilir. Şayet raporlar mevcut değilse ve taşkın koruma sayısı ve yeri için proje çalışması için yeterli bilgi edinilememişse raporların hazırlanması için gerekli çalışmaların başlatılması talep edilir. Zira Yamaçların heyelan durumu, sediment miktarı, dere yatağı ve yamaçların zemin cinsi, yamaç molozu durumu, özellikle yamaçlarda vejetasyon durumu dere yatağı daralmalarına bağlı enine yapı önerisi açısından önemlidir. Araştırma sahası genellikle eğimi yüksek arazilerden oluştuğu için yamaç stabilitesinin ve yamaç molozlarının da dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Arazide dere boyunca taşkın olabilecek kilometreler, bazı röperler (köprüler, yerleşim yerleri, camiler vs.) dikkate alınarak işaretlenir. Ayrıca mevcut yapılar varsa dere boyunca kilometre tutularak yerleri ve Dere Yatağı Kesitleri belirlenir. Son olarak, hangi bölümlerin tarım arazisi hangi bölümlerin Tarım+Yerleşim yeri olduğunun belirtilmesi taşkın tipi ve kesiti açısından önemlidir. Yapılan çalışmaların taşkın koruma tipi ve yerinin seçimi açısından ilişkileri Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8: Arazi çalışması -yapılan çalışmalar-proje çalışması ile ilişkileri

Arazi Çalışması	Yapılan Çalışmalar	Taşkın koruma Proje Çalışması ile ilişkisi
Havza Karakteristikleri	Topoğrafik durum, havza fiziksel drenaj özellikleri, havzanın bugünkü kullanım durumu, (mevcut depolama ve benzeri tesisler, tarım, orman, yerleşim, sanayi alanları vb.) jeolojik yapı, toprak yapısı, bitki örtüsü ve erozyon durumu	Enine koruma yapısının tipi Boyuna koruma yapılarının yeri; Oyulmalar ve heyelanların belirlenerek
Dere Yatağı Karakteristikleri	Akarsuyun eğimi, şekli, boyutu konumu ve drenaj özellikleri, akarsuyun sediment karakteristiklerini (Yatak sürüntü ve askı malzemesi, dane çapı, mineraloji vb.) ve akarsuyun yatağının hidrolik karakteristikleri ve akım şartlarını	Manning formülünde verilerin belirlenmesi ve en kesitin ortaya konması Enine yapının belirlenmesi
Sediment Taşınım Durumu	Sediment taşınımı ve taşkınlar itibariyle darboğazlar ve riskli alanlar tespit	Enine yapıların yeri ve tipinin belirlenmesi
Köprüler, Menfezler	Akarsu güzergahı boyunca köprü kilometreleri, köprü altlarında malzeme birikip birikmediği ve malzemenin cinsi	Enine yapı tipi ve tespiti Boyuna yapı yerlerinin vaziyet planında netleşmesi
Taşkın Sahasına giren bölümlerin niteliği, yeri	Tarım arazi	İstifli taş tahkimat (Q100)
	Yerleşim	Beton Duvar (Q500)
	Tarım+Yerleşim	İstifli taş tahkimat (Q500)
Mevcut Taşkın Koruma Yapıları	Akarsu güzergahı boyunca mevcut taşkın koruma yapıların kilometresi ve kesitleri	Mevcut duruma göre kesit yeterliliğinin belirlenmesi ve vaziyet planlarına işlenmesi

3. Proje çalışmaları

Proje çalışmalarını şu başlıklarda toplayabiliriz;

- Taşkın vaziyet Planları; Dere Boyunca taşkın olan yerleşim alanları ve tarım arazileri, yamaçlarda şevler işaretlenir.

Boyuna ve enine taşkın koruma yapıları, mevcut köprüler, mevcut yapıların kilometreleri işaretlenir. Önerilen tesislerin en kesitleri ve bu bölümlerde ki doğal dere yatağı kesitleri belirtilir.

- Taşkın En kesitleri ve Hesapları; En kesitlerin belirlenmesinde önerilen kesitin yerleşim yerleri ve yerleşim + tarım arazileri için Q500, sadece tarım arazileri için Q100 taşkın debisini geçirmesi gerekmektedir. Taşkın tipi olarak yerleşim yerleri için beton duvar, tarım arazileri için istifli taş tahkimat önerilmelidir. Taşkın debisinin proje kesitini geçirmemesi durumunda akarsu eğiminin düşürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle taşkın debisini geçirecek bir akarsu eğimi ve bu eğimi sağlayacak kadar şut sayısı belirlenir. Bu nedenle enine yapı olan eğim düşürücü şut yapısının taşkın debisi, akarsu eğimi ve taşkın yapısı kesiti ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır.
- Enine yapılar; Araştırma alanında yamaç stabilitesini korumak ve rüsubat malzemesini toplamak amacıyla taban kuşağı önerilmiştir. Proje de önerilen dereler üzerinde yerleri belirtilir. Bu bağlamda, Rüsubat raporu, jeoteknik ve jeolojik raporlar, akarsu yatak karakteristikleri ve havza karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Enine yapıların tipinin ve sayısının hazırlanması için gerekli olan projeler Islah yapıları uygulama projeleri Yapım İşi Genel Teknik Şartnamesi, DSİ Proje ve İnşaat Dairesi 2004 Şartnamesi ile verilmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Dölek, İ. (2013). Muş'ta yaşanan sel ve taşkınlara neden olan doğal faktörlerin analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (28), 408-422.
- [2]. T.C. Sayıştay Başkanlığı. (2022). *Taşkın risk yönetimi. Sayıştay raporu*. Sayıştay Başkanlığı, Ankara.
- [3]. Kerim, A., & Süme, V. (2019). Taşkınlar, taşkın koruma ve kontrol yapıları; Rize ilinde örnek çalışmalar. *Türk Hidrolik Dergisi*, 3(1), 1-13.
- [4] Selek, B., & Deniz, S. (2017). Türkiye'de taşkın kontrolü faaliyetlerinin genel değerlendirilmesi ve yeni çalışmalar. *DSİ Teknik Bülteni*, 123.
- [5] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2017). Türkiye'de Yeni Çalışmalar. *DSİ Teknik Bülteni*, 123.
- [6] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). *Doğu Karadeniz Taşkın Yönetimi Planı*. (30/04/2024 tarihinde https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1%2026.12.2022/DOGU_KARADENIZ_HAVZASI_Taskin_Yonetim_Plani.pdf adresinden ulaşılmıştır).
- [7] Çolak, Ç. (2006). *Rize Çayeli Büyükköy Beldesi, Pehlivanlı Deresi, Büyükköy Deresi, Altıntaş Mahallesi ve Derecik Köyü Köyüiçi Deresi Taşkınlarından Korunması, İstikşaf Raporu*, DSİ 22.Bölge Müdürlüğü, Trabzon.
- [8] Akman, M. U. (2021). Taşkın koruma ve kontrol yapılarının değerlendirilmesi. *Türk Hidrolik Dergisi*, 5(1), 25-31.

