

 TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Cilt 29 Sayı 1 Ocak 2018

Teknik Dergi

- Science Citation Index Expanded
- Journal Citation Reports / Science Edition
- Engineering Index
- Concrete Abstracts (American Concrete Institute)
- National Technical Information Service (US NTIS)
- CITIS
- Ulrich's International Periodical's Directory
- TÜBİTAK / ULAKBİM

tarafından taranmaktadır.

TEKNİK DERGİ YAYIN İLKELERİ

Teknik Dergi, inşaat mühendisliğinin bütün alanlarını içeren, Science Citation Index Expanded (Genişletilmiş Bilimsel Atıf Endeksi) kapsamında bilimsel ve teknik bir dergidir. Ocak, Mayıs ve Eylül aylarında Türkçe, Mart, Temmuz ve Kasım aylarında İngilizce olmak üzere yılda altı sayı olarak yayımlanır. Derginin yayın ilkelerinden başlıcaları aşağıda özetlenmektedir:

1. Yalnızca özgün bilimsel araştırma çalışmalarını ve ilginç mühendislik uygulamaları yansıtan yazılara yer verilir. "Özgünlük" kapsamı içinde, çalışmanın ya yeni bilgi üretmiş olması veya varolan bilgiye yeni bir boyut kazandırmış olması, ya da yeni bir yöntem geliştirmiş veya bilinen bir yöntemi elle tutulur bir ölçüde ilerletmiş olması koşulu aranır.
2. Bilimsel çalışmaların öndeğerlendirme sonuçlarını aktaran yazılar ile bilimsel içeriği makale için yeterli görülmeyen, ancak okuyucuya yararlı bilgi aktarabileceği düşünülen yazılar, "teknik not" olarak yayımlanabilir.
3. Yayın tarihinden başlayarak üç ay içinde, okurlardan alınan tartışma yazıları, Yayın Kurulu'nca değerlendirildikten sonra, yazarın yanıtı ile birlikte yayımlanır.
4. Yayımlanmak üzere gönderilen yazılar iki veya üç danışman tarafından değerlendirilir; kabul-red kararı Yayın Kurulu tarafından verilir. Yazıları değerlendiren danışman adları yazarlara bildirilmez. Yeterli görülmeyen yazıların danışman önerileri doğrultusunda geliştirilmesi genel yaklaşımdır. Amaçlanan düzeye eriştirilemeyen yazılar reddedilir.
5. Yazardan, yazının daha önce "dergi makalesi veya kitap bölümü olarak yayımlanmamış" olduğunu belirten imzalı bir bildirim alınır. Yayın Kurulu, yazının ufak tefek değişikliklerle başka bir dergide/kitapta yayımlanmış olduğu ya da intihal vb bir başka etik ihlali bulunduğu kanısına ulaşırsa, yalnızca o yazı değil, o yazarın hiçbir yazısı yayımlanmaz.
6. Daha önce bir konferansa bildiri olarak sunulmuş olan bir çalışmayı geliştirerek aktaran yazılar yayımlanabilir. Bu durumda, daha önce sunulduğu konferans, birinci sayfada dip not olarak belirtilir.
7. Ayrıca, yazar(lar) tarafından imzalanmış, yazının telif hakkının TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası'na devredildiğini bildiren bir belgenin yazı ile birlikte gönderilmesi istenir.

Baskı: Yorum Basın Yayın Sanayi Ltd. Şti.

Başkent Organize Sanayi Bölgesi No: 12 Malıköy - Sincan / Ankara - Tel: 0.312.395 21 12

Baskı tarihi: 1 Ocak 2018 / 2.000 adet basılmıştır. Üyelerine parasız dağıtılır.

Yerel süreli yayın.

Yayın Kurulu'nun yazılı onayı olmaksızın alıntı yapılamaz.

 TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

*Technical Journal
of
Turkish Chamber of Civil Engineers
Volume 29 Number 1 January 2018*

Cilt 29 Sayı 1 Ocak 2018

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Sahibi:

TMMOB İnşaat Mühendisleri
Odası adına
Cemal GÖKÇE

Yazı İşleri Müdürü:

Hüseyin KAYA

Yazışma Adresi:

Teknik Dergi
İnşaat Mühendisleri Odası
Necatibey Cad. No:57
Kızılay 06440 Ankara
Tel : 0 (312) 294 30 00
Faks: 0 (312) 294 30 88
Web: www.imo.org.tr
E-posta:teknikdergi@imo.org.tr

Yayın Kurulu:

Süheyl AKMAN
Ender ARKUN
İsmail AYDIN
Özer ÇİNİCİOĞLU
Metin GER
Gürkan Emre GÜRCANLI
Alper İLKİ
Cem OĞUZ
Kutay ORAKÇAL
Günay ÖZMEN
Baki ÖZTÜRK
İsmail ŞAHİN
Tuğrul TANKUT

Yayın Sıklığı:

İki ayda bir yayımlanır

Editör:

Tuğrul TANKUT

Yardımcı Editörler:

Ender ARKUN
İsmail AYDIN
Özer ÇİNİCİOĞLU
Metin GER
Gürkan Emre GÜRCANLI
Alper İLKİ
Kutay ORAKÇAL
İsmail ŞAHİN

Yayın Sekreteri:

Cemal ÇİMEN

ISSN : 1300-3453

Danışmanlar:

Bu liste, son iki yayın yılında danışmanlık yapmış olan kişileri içerir ve her Ocak sayısında yenilenir.

Emine AĞAR
Sami Oğuzhan AKBAŞ
Özge AKBOĞA KALE
M. Vefa AKPINAR
Zuhal AKYÜREK
Hilmi Doğan ALTINBİLEK
Davut ARDITI
Deniz ARTAN İLTER
Cem AYDEMİR
Yusuf AYVAZ
Selim BARADAN
Bekir Oğuz BARTIN
Bilge BAŞ
Zerrin BAYRAKDAR
İdris BEDİRHANOĞLU
Serkan BEKİROĞLU
Niyazi Özgür BEZGİN
İlknur BOZBEY
Zafer BOZKUŞ
Zekai CELEP
Halim CEYLAN
Barlas Özden ÇAĞLAYAN
Özgür ÇAKIR
Necati ÇATBAŞ
Erkan ÇELEBİ
Oğuz Cem ÇELİK
Hilmi Berk ÇELİKOĞLU
Fatih DİKBAŞ
Seyyit Ümit DİKMEN
Ahmet Anıl DİNDAR
Emrah DOĞAN
Nilay ELGİNÖZ KANAT
Murat Altuğ ERBERİK
E. Mete ERDEMGİL
Ercan ERDİŞ
Esin ERGEN PEHLEVAN

Ayşen ERGİN
Gökmen ERGÜN
Güngör EVREN
Ergun GEDİZLİOĞLU
Haluk GERÇEK
Mustafa GÖĞÜŞ
Ilgın GÖKAŞAR
M. Halis GÜNEL
Mehmet Şükrü GÜNEY
Aslı Pelin GÜRGÜN
Soner HALDENBİLEN
Zeki HASGÜR
Zeynep İŞİK
Recep İYİSAN
Murat KARACASU
Engin KARAESMEN
Erhan KARAESMEN
Halil KARAHAN
Mustafa KARAŞAHİN
C. Melek KAZEZYILMAZ ALHAN
Engin KEYDER
Veysel Şadan Özgür KIRCA
Niyazi Uğur KOÇKAL
Özgür KURÇ
Hilmi LUŞ
Yetiş Şazi MURAT
Sepanta NAIMI
Dilek OKUYUCU
Mehmet Hakkı OMURTAG
Engin ORAKDÖĞEN
Akin ÖNALP
Aybike ÖNGEL
Bihra ÖNÖZ
Halit ÖZEN
Hakkı Oral ÖZHAN
Hulusi ÖZKUL

Beliz ÖZORHON ORAKÇAL
Turan ÖZTURAN
Gül POLAT TATAR
Altuğ SAYGILI
Hasan SAYGIN
Serdar SELAMET
Osman SİVRİKAYA
Serdar SOYÖZ
İbrahim SÖNMEZ
Ayşe Filiz SUNAR
Özkan ŞENGÜL
Aykut ŞENOL
Ali Ünal ŞORMAN
Ergin TARI
Erhan TEKİN
H. Onur TEZCAN
Onur Behzat TOKDEMİR
Nabi Kartal TOKER
Mustafa TOKYAY
Tamer TOPAL
Cem TOPKAYA
Ahmet TORTUM
Ahmet TÜRER
Handan TÜRKÖĞLU
Mehmet UTKU
Alper ÜNLÜ
Tanvir WASTI
Mert Yücel YARDIMCI
Ufuk YAZGAN
Emine Beyhan YEĞEN
Osman YILDIZ
Koray Kamil YILMAZ
M. Tuğrul YILMAZ
M. Semih YÜCEMEN
Yeliz YÜKSELEN AKSOY
Nabi YÜZER

Teknik Dergi, özgün bilimsel araştırmalar ile ilginç uygulama çalışmalarına yer veren ve bu niteliği ile hem araştırmacılara hem de uygulamadaki mühendislerle seslenmeyi amaçlayan hakem sistemini etkin kullanan bir dergidir.

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Cilt: 29 Sayı: 1 Ocak 2018

İÇİNDEKİLER

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı.....	8153
Kadir AKGÖL, Banihan GÜNAY	
İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi	8167
Meriç YILMAZ, A. Melih YANMAZ, Mete KÖKEN	
Sığ Rijit Tabaka Üzerinde Yer Alan Kohezyonsuz Zeminlerdeki Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü Hakkında Sayısal Modelleme Esaslı Parametrik Bir Çalışma.....	8185
Güneş BABAGİRAY, Sami Oğuzhan AKBAŞ	
Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı.....	8199
İrşad BAYIRHAN, Selçuk NAS	
Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi	8225
S. Pelin ÇALIŞKANELLİ, Serhan TANYEL	
TARTIŞMA	
Türkiye'nin En Uzun Sulama Tüneli Suruç Tünelinde Geoteknik ve Tahkimat Tasarımları.....	8249
İbrahim ÇOBANOĞLU ve Necat ÖZGÜR'ün katkıları	

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı

Kadir AKGÖL¹
Banihan GÜNAY²

ÖZ

Kentiçi yol ağları üzerinde herhangi iki noktayı birbirine bağlayan bir güzergahın biçimsel düzgünlüğünü bir kalite göstergesi olarak kullanan rasyonellik kavramı son yıllarda yeni bir araştırma sahası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada şehirlerin yol ağı rasyonelliklerinin ölçülmesinde kullanılan güzergah rasyonellik ölçekleri için Monte Carlo tabanlı alternatif bir yöntem önerilmiştir. Böylece mevcut yaklaşımlara tüm dünyada uygulanabilir bir form kazandırılmış ve yöntem daha verimli bir hale getirilmiştir. Analizler, oluşturulan bir yazılım yardımıyla Google Maps'ten otomatik olarak veri çekerek gerçekleştirilmiştir. Yazılım için rastgele nokta seçimi, en büyük üçgenler ve homojen dağılım algoritmaları oluşturulmuştur. Son olarak, önerilen yöntemin bir uygulaması Ankara kentinde test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yol ağı geometrisi, rasyonellik değerlendirmesi, Google Maps, güzergah.

ABSTRACT

The Use of the Monte Carlo Method for the Rationality Calculations of Urban Road Networks

The concept of rationality, which uses the layouts of the routes connecting pairs of points on an urban road network as a quality indicator, has been a new research field in recent years. In this study, a new, Monte Carlo based, method is proposed for measuring the rationality of road networks. By improving the scales that were developed earlier by previous work, the applications of the route rationality scales on various types of road networks of various sizes became possible. This was achieved by writing a piece of software which is capable of accessing Google Maps and retrieving huge amounts of location and route data for very fast computations. The technique used three algorithms, i.e. random point selection, the greatest triangles, and the homogeneous dispersion. Finally, an application of the method is tested in Ankara.

Keywords: Network geometry, rationality evaluation, Google Maps, route.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 06.07.2015 günü ulaşmıştır. 18.04.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mart 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.345376

1 Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - kadirakgol@akdeniz.edu.tr

2 Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - banihangunay@akdeniz.edu.tr

1. GİRİŞ

Yol ağı tasarımları, ulaştırmada en zorlayıcı problemlerden birisidir [1]. Kentsel alanlarda bu problemlerin üstesinden gelebilmek ve ulaşım sistemlerinin daha verimli yönetilmesini sağlayabilmek için ağ topolojisi ve operasyonel yönetimin geliştirilmesi gerekmektedir [2]. Kentsel tasarım ve planlamada mekânsal kalite son derece önemli bir konudur [3]. Ulaşım problemlerine getirilen öneriler bu kalitenin sınırları içinde çözüm üretmekte, yani kullanıcıya şehrin yol ağının elverdiği ölçüde fayda sağlamaktadır. Örneğin hiç trafiğin olmadığı bir saatte bile, evinden iş yerine giden bir kişi kuş uçuşu mesafesi “ d ” km olan iki nokta arasında “ $d+x$ ” km mesafe katederek gidiyorsa bu kişinin “ x ” değerinin büyüklüğüyle orantılı bir ulaşım problemi var demektir. İkinci olarak, bu iki nokta arasında yapılan seyahat için minimum yolculuk süresi ve üçüncü olarak, bu noktalar arasındaki alternatif bağlantıların bulunma ya da bulunmama durumu da birer ulaşım problemidir. Özellikle çarpık kentleşmenin görüldüğü ülkelerde kentsel dönüşüm süreçlerinde bu problem dikkate alınarak çözüm üretilmelidir. Aynı durum ilk defa yol ağı oluşturulan bölgeler için de geçerlidir. Chen vd.’e göre [4] yeni bir yerleşim yerinin oluşum sürecinde, yol yapımında ilgili standartlara başvurulsa da bilimsel ve etkili bir yol ağının kalitesini belirlemede eksiklikler vardır.

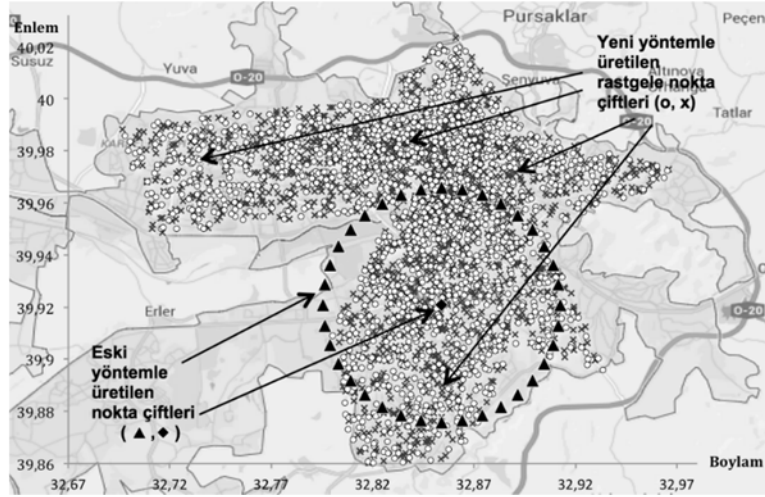
Yol ağları, boyutu, yapısı, yoğunluğu ve çeşitli işlevlerine bağlı olarak farklı kombinasyonlarda planlanmalıdır [5]. Hükümetler kısıtlı imkanlar çerçevesinde yol ağları planlamakta ve yol ağlarının geliştirilmesi için dikkatli seçimler yapmak zorunda kalmaktadır [6]. Hükümetlerin en iyi yatırım kararlarından biri yol ağlarının iyileştirilmesidir [7], fakat mevcut ya da iyileştirme yapılan yol ağlarının kalitesini ölçecek, planlanan yol ağları arasında seçim yapma imkanı verecek bir yöntemle sahip değildir. Burada yol ağlarının kalitesinin ölçülmesi ve güzergahların “rasyonelliği” kavramı ortaya çıkmaktadır. Bir güzergahın rasyonelliğinden bahsedebilmek için bu güzergahın bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Güzergah ideal olarak bize en kısa mesafeli, en hızlı ve bu güzergaha alternatif güzergahların bol olduğu bir yolculuğu sunmalıdır [8-10].

Akgöl ve Günay [11] daha önceki bir çalışmada güzergah rasyonellik ölçeklerini oluşturmuş ve yol ağlarının rasyonelliğini sayısal olarak ölçecek bir yöntem geliştirmiştir. Bu sayede istenilen güzergahların farklı kriterlere göre rasyonellikleri hesaplanabilmektedir. Yine aynı çalışmada güzergah rasyonellik ölçekleriyle yol ağlarının rasyonelliğini hesaplayabilmek için yol ağı üzerinde nokta çifti belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Daha sonra bu nokta çiftleri arasında Google Maps’i kullanarak (el ile teker teker) güzergah hesabı yapmış, güzergahların rasyonelliklerini her bir kriter için belirlemiş ve ortalamalarını alarak şehirlerin yol ağı rasyonelliklerini kıyaslamıştır. Ancak nokta çifti belirlemek için oluşturulan bu yöntemle yol ağının tamamını kapsayan bir analiz her zaman yapılamamaktadır. Sadece bir dairenin üzerindeki noktalardan şehir merkezine ve merkezden bu noktalara gidip gelen yol güzergahları çalışılabilir. Bu çalışmada ise güzergah rasyonellik ölçeklerinin uygulanabilirliğini arttıracak alternatif bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem ile Google Maps’ten veri çekilerek her türlü yol ağını kapsayacak şekilde analiz yapılabilmektedir. Ayrıca daha fazla veri üretilerek temsil kabiliyeti daha yüksek sonuçlar elde edilmektedir. Örnek olması bakımından Ankara kenti için yöntemin uygulaması yapılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Geliştirilen Alternatif Yöntemin Altyapısı

Mevcut güzergah rasyonellik ölçekleriyle bir şehirde rasyonellik ölçümü yapabilmek için öncelikle şehrin yol ağı üzerinde belirli sayıda nokta çifti belirlenmekte ve nokta çiftleri arasındaki güzergahlar herhangi bir dijital harita uygulamasında hesaplanmaktadır. Sonra bu haritadan elde edilen verilerle, bu güzergahlara ait rasyonellikler hesaplanmaktadır. Son olarak ise bu değerlerin ortalaması alınmaktadır. Bir önceki bölümde de değinildiği gibi [11] bu nokta çiftlerini belirleyebilmek için sistematik nokta seçimi yöntemi hali hazırda geliştirilmiştir. Bu yöntemle şehir merkezinde bir nokta belirlenmekte, bu nokta merkez kabul edilerek bir çember oluşturulmakta ve çemberin üzerinde eşit aralıkta 36 adet nokta seçilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Yol ağı üzerinde eski [11] ve yeni yöntemle üretilen nokta çiftleri

Eski yöntemle Google Maps'te merkez nokta ile çevre noktalar arasında gidiş ve geliş olarak toplam 72 güzergah hesabı yapılmaktadır. Rasyonellik hesapları ise bu güzergahlar için Google Maps'in verdiği yolculuk mesafesi, süresi ve alternatif sayısı verilerine göre yapılmaktadır. Hesaplanan bu güzergahlara ait rasyonellik ortalamaları, şehrin yol ağı rasyonelliğini vermektedir fakat bu yöntem ile şehrin tamamını kapsayan bir ölçüm yapılamamaktadır. Bu da analizin o şehri temsil kabiliyetini azaltmaktadır. Bu çalışmada ise yol ağı üzerinde nokta çifti üretimi için yeni bir yöntem geliştirilerek, şehrin tamamını temsil edebilecek bir analiz yapılması sağlanmıştır (bkz. Şekil 1). Böylece rasyonellik analizleri yapılırken sadece gerçek yolculuklara ait güzergahlar değil şehrin tamamını kapsayan rastgele güzergahlar üretilmiştir. Çünkü yol ağının tamamı üzerinde mevcut durumda olmasa bile gelecekte yolculuk yapılması potansiyeli vardır.

Geliştirilen bu yeni teknik ile nokta çiftleri yol ağı üzerinde Monte Carlo yöntemine göre rastgele seçilmektedir. Böylece yeterli sayıda nokta çifti üretildiğinde yol ağı üzerinde homojen olarak dağılmış ve şehrin tamamını kapsayan güzergahlar elde edilebilmektedir.

Üretilen her bir güzergahla birlikte güzergahın rasyonellik değeri de hesaplanmaktadır. İteratif işlem içerisinde bir sonraki güzergah hesaplandığında hem güzergahın rasyonelliği hem de önceki tüm güzergahlarla beraber rasyonellik ortalaması belirlenmektedir. Böylece rasyonellik değerleri kümülatif olarak hesaplanmakta ve son hesaplanan ortalama, aynı zamanda yol ağının rasyonellik değerini vermektedir. Güzergah sayısı arttıkça kümülatif olarak hesaplanan rasyonellik değerlerindeki değişim miktarı azalmaktadır. Yol ağı üzerinde üretilen nokta çiftlerinin yeterli sayıya ulaşmış olup olmadığına karar verebilmek için kümülatif olarak ortalaması alınan son 1000 değer incelenmiştir. Bu değerlerdeki değişim miktarı %0,5'in altında kalana kadar iterasyon devam ettirilmiştir. Bu durumda son 1000 güzergah, kümülatif olarak hesaplanan rasyonellik değerini %0,5 arttırmıyor ya da %0,5 azaltmıyorsa güzergah üretme işlemi ve analiz sonlandırılmıştır. 1000 olarak belirlenen bu sayıya yapılan analizlerde deneme yanılmalar sonucu ulaşılmıştır. Denemeler son 200 güzergah olarak başlamış, bu sayı yeterli olamamıştır. 200 güzergahтан sonrasında rasyonellik değerindeki değişim miktarının yine %0,5'ten fazla olduğu görülmüş olup son 800 güzergahlı denemelere ulaşıldığında rasyonellik değerindeki değişimin artık çok fazla etkilenmediği tespit edilmiştir. Güvenli tarafta kalmak için bu sayı 1000 olarak seçilmiştir.

2.2. Nokta Çiftlerinin Üretimi

Bir şehrin yol ağı içerisinde homojen olarak dağılmış nokta çiftlerini üretebilmek için kullanılan Monte Carlo yönteminde '0' ile '1' arasında rastgele ve homojen dağılımda sayılar üretilebilmekte fakat uygulanabilmesi için programlama gerekmektedir [12]. '0' ile '1' arasında üretilen rastgele bir sayıdan yola çıkarak koordinat değeri bilinen herhangi iki nokta arasındaki rastgele nokta seçimi için (1) ve (2) nolu denklemler geliştirilmiştir.

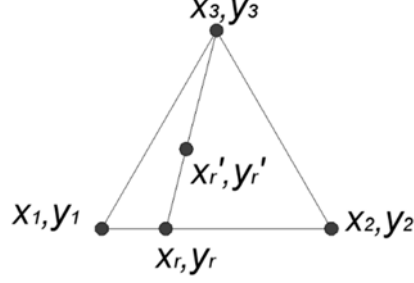
$$x_r = (x_2 - x_1) \cdot rand + x_1 \quad (1)$$

$$y_r = (y_2 - y_1) \cdot rand + y_1 \quad (2)$$

Burada,

- $rand$: rastgele üretilen sayı (0, 1),
- x_i, y_i : i 'inci noktanın koordinat değeri,
- x_r, y_r : rastgele seçilen noktanın koordinat değeridir.

Ancak üretilmek istenilen noktanın, bir doğru parçası üzerinde değil bir geometrik şeklin içinde kalması gerekmektedir. Dolayısıyla geliştirilen bu yeni yöntemin eklenecek ilave adımlarla desteklenmesi gerekmektedir. Bunun için en büyük üçgenler yöntemi geliştirilmiştir. Rastgele üretilen nokta çiftlerinin tüm yol ağını kapsayan ve yol ağının dışına çıkmayan bir şekilde seçilebilmesi için öncelikle bir üçgenin içinde rastgele noktanın nasıl üretileceği incelenmiştir. Bu durum iki aşamalı bir şekilde çözülmüştür. İlk aşama üçgenin tabanında bulunan iki köşegen arasında kalan rastgele bir nokta üretmek, ikinci aşama ise rastgele üretilen bu nokta ile üçgenin diğer köşegeni arasında kalan yeni bir rastgele nokta üretmek olmuştur (*Şekil 2*). Bir üçgenin içinde rastgele noktalar üretebilmek için (3), (4), (5) ve (6) nolu işlem adımları takip edilmiştir.



Şekil 2. Üçgen içinde seçilen rastgele nokta

$$x_r = (x_2 - x_1) \cdot rand_1 + x_1 \quad (3)$$

$$y_r = (y_2 - y_1) \cdot rand_1 + y_1 \quad (4)$$

$$x_r' = (x_r - x_3) \cdot rand_2 + x_3 \quad (5)$$

$$y_r' = (y_r - y_3) \cdot rand_2 + y_3 \quad (6)$$

Burada;

$rand_i$: rastgele üretilen i 'inci sayı,

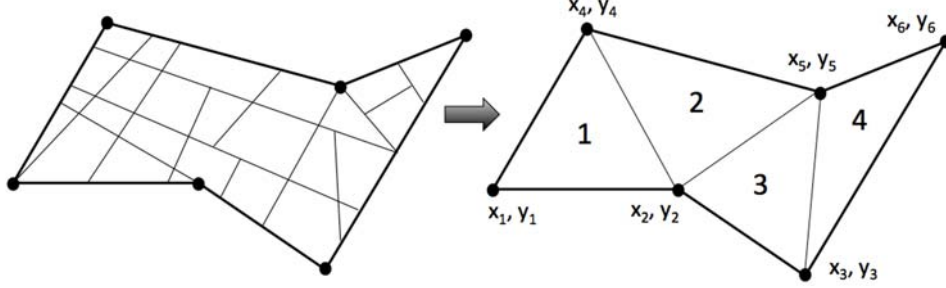
x_i, y_i : i 'inci köşegenin koordinat değeri,

x_r, y_r : taban kenarı üzerinde rastgele seçilen noktanın koordinat değeri ve

x_r', y_r' : üçgenin içinde rastgele seçilen noktanın koordinat değeridir.

Üçgenin içinde üretilen rastgele nokta elde etme yöntemi yol ağının geometrisine uyarlanmıştır. Yani sadece üçgenin değil farklı geometrik şekillerin de içinde kalan noktalar üretilmiştir. Örnek olarak Şekil 3'te verilen bir yol ağı ele alınacak olursa en dışta kalan çizgiler yol ağının sınırını yani içerisinde nokta üretilecek geometrik şekli vermektedir. Şekil mümkün olan en büyük üçgenlere bölünmüştür. Burada önemli olan tüm yol ağının üçgen parçalarına bölünmesi ve bu üçgenlerin köşe koordinatlarının belirlenmesidir. Bölünecek üçgen sayısının en az sayıda tutulması yapılacak işlemlerin sadece sayısını azaltacak, sonuçları etkilemeyecektir. Örneğin Şekil 3'te sadece 4 üçgen için işlem yapılmıştır. (x_i, y_i) değerleri köşe noktaların koordinat değerleridir.

Ayrıca rastgele nokta seçimi ve en büyük üçgenler yöntemleriyle üretilen noktaların yol ağı üzerinde homojen olarak dağılması sağlanmalıdır. Bunun için üçgenlere bölünmüş bir yol ağında hangi üçgenin içinde kaç nokta üretileceği belirlenmelidir. Örneğin alanları eşit olan üçgenlere bölünmüş bir yol ağında, bazı üçgenlerin içinde 100, diğerlerinde ise 10'ar nokta üretilmiş olması yol ağının geneline bakınca bir homojenlik oluşturmaz. Bunun için oluşturulan üçgenlerin alanlarına bağlı bir katsayı yöntemi geliştirilmiştir. Katsayılar her üçgen için (7) nolu işlem adımıyla üretilmektedir. Bu işlem adımı her üçgen için bir kez yapıldıktan sonra, her üçgene ait bir katsayı elde edilmiştir.



Şekil 3. Örnek bir yol ağı ve yol ağı geometrisinin en büyük üçgenlere bölünmesi

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^j (A_i)}{\sum_{i=1}^n (A_i)} \quad (7)$$

Burada;

D_j : j 'inci üçgenin katsayısı,

A_j : j 'inci üçgenin alanı ve

n : oluşturulan üçgen sayısıdır.

Daha sonra, elde edilmek istenen nokta sayısı kadar rastgele sayı üretilmiştir. Son olarak, üretilen rastgele sayıların elde edilen katsayılarından büyüklük küçüklük durumu (8), (9) ve (10) nolu işlem adımlarında sınanmıştır. Bu sınamaya ile nokta çiftleri, alanlarına bağlı olarak üçgenlere dağıtılmıştır. Burada *rand*, '0' ile '1' arasında üretilen rastgele bir sayıdır.

$$rand < D_1 \quad \rightarrow 1 \text{ nolu üçgen} \quad (8)$$

$$D_{j-1} < rand < D_j \quad \rightarrow j \text{ nolu üçgen} \quad (9)$$

$$D_{n-1} < rand \quad \rightarrow n \text{ nolu üçgen} \quad (10)$$

2.3. Verilerin Elde Edilmesi

Verilerin elde edilebilmesi için Java programlama dili kullanılarak Google Maps ile entegre çalışan bir yazılım geliştirilmiştir. Bu programla ilk olarak bir şehrin yol ağı üzerinde kalacak nokta çiftleri üretilmesi sağlanmıştır. Sonra bu nokta çiftleri arasında Google Maps uygulamasında güzergah hesabı yaptırılmış ve bir nokta çifti arasında kaç alternatif güzergah bulunduğu, bu güzergahlara ait yolculuk mesafesi ve yolculuk süresi verileri uygulamadan otomatik olarak çekilmiştir. Nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler ise navigasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan, enlem ve boylama göre trigonometriyi kullanarak gemi ve uçakların yerlerinin belirlenmesine yarayan Haversine formülü ile hesaplanmıştır [13, 14]. Bu formül aşağıdaki şekilde düzenlenerek (11) rasyonellik analizi için gerekli tüm veriler elde edilmiştir.

$$r = 2 \cdot R \cdot \sin^{-1} \sqrt{\sin^2 \left(\frac{x_2 - x_1}{2} \right) + \cos(x_1) \cdot \cos(x_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{y_2 - y_1}{2} \right)} \quad (11)$$

Burada,

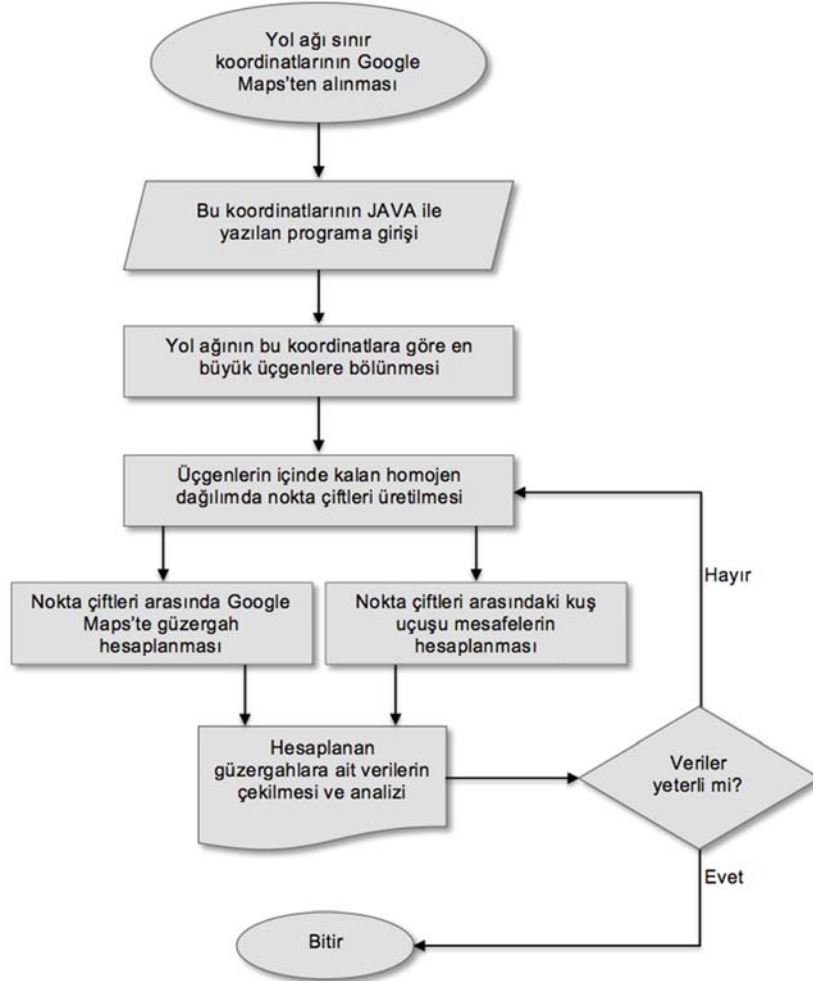
x_i : i 'inci noktanın enlemi (x koordinatı),

y_i : i 'inci noktanın boylamı (y koordinatı),

r : (x_1, y_1) başlangıç noktası ile (x_2, y_2) bitiş noktası arasındaki kuş uçuşu mesafe,

R : Dünyanın yarıçapıdır.

Analiz adımlarının daha iyi anlaşılması için yapılan işin akış şeması Şekil 4'te verilmiştir. Yazılımın arayüzü ve ürettiği Excel çıktısı ise Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Monte Carlo tabanlı rasyonellik analizi akış şeması

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı

Sıra	x1	y1	x2	y2	Km1	Dk1	Km2	Dk2	Km3	Dk3	Alt	Mesafe	Rasyonellik	K. Rasyonellik
1	39.9857489	32.7168476	39.9802144	32.8522413	22.2	25	17.4	26	19.9	27	3	11.5523278	1.921690624	1.921690624
2	39.9880125	32.7919471	39.9994089	32.8637294	7.6	19	8.6	19	10.1	21	3	6.24501972	1.216969735	1.56933018
3	39.9291319	32.8423												
4	39.8886918	32.8263												
5	39.9835351	32.8632												
6	39.8817091	32.8062												
7	39.9521287	32.8955												
8	39.9606607	32.8539												
9	39.9755923	32.7987												
10	39.9775099	32.742												
11	39.9789908	32.8589												
12	39.9063781	32.8637												
13	39.9873627	32.7885												
14	39.911932	32.9082												
15	39.9729213	32.8532												
16	39.9550211	32.8518												
17	39.9693674	32.8354												
18	39.9095467	32.8780												
19	39.90414	32.8328												
20	39.9840248	32.7225												
21	39.9785915	32.8542												
22	39.9619624	32.8808												
23	40.0037565	32.8673												
24	39.9790553	32.7565												
25	39.9899084	32.8657												
26	39.9843446	32.8839												
27	39.9784642	32.8289												
28	39.9660314	32.907371	39.9083323	32.8719718	10	20	10.1	22	0	0	2	7.09038141	1.410361364	1.483882413
29	39.9580803	32.8514116	39.9662645	32.8595188	2.2	3	1.9	4	0	0	2	1.1426445	1.925358241	1.499086407
30	39.9786278	32.8077575	39.9591115	32.7409731	9.2	18	9.9	19	11.3	19	3	6.09110063	1.510400263	1.499463535

Sınır Koordinatları

Şehir : Merkez :

1. (x, y) : 2. (x, y) :

3. (x, y) : 4. (x, y) :

5. (x, y) : 6. (x, y) :

7. (x, y) : 8. (x, y) :

9. (x, y) : 10. (x, y) :

11. (x, y) : 12. (x, y) :

13. (x, y) : 14. (x, y) :

Satır : Radyal : Hesapla

Şekil 5. Java programlama dilinde geliştirilen programın arayüzü ve ürettiği Excel çıktısı

2.4. Rasyonellik Kriterleri

Güzergah rasyonellik ölçekleri üç kriterden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, kuş uçuşu mesafe kriteridir. İki nokta arasındaki kuş uçuşu mesafe ile en kısa yolu veren güzergahın uzunluğu bu güzergahın rasyonelliği hakkında bilgi verecektir. Güzergahın uzunluğunun kuş uçuşu mesafeye oranı en ideal durumda 1,0'dir. Bu kriter göre, belirlenen nokta çifti arasındaki güzergah mesafesinin (d), yine bu nokta çifti arasındaki kuş uçuşu mesafeye oranının (r) 1,0'e yakın çıkması istenir. Bu değer iki farklı uzunluğun oranından elde edildiği için birimsizdir.

İkinci kriter ise ortalama hız kriteridir. Yol ağlarındaki tüm yolların aynı standartlarda olması mümkün değildir. Bu durumda aynı uzunluğa ve kuş uçuşu mesafeye sahip iki farklı güzergah için yolculuk süreleri farklı olabilir. Bu da yolculuk süresinin yol ağlarının rasyonelliği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Burada asıl etken ise güzergahta yapılabilecek ortalama hız değeridir. Bu çalışmada güzergahlarda yapılan ortalama hızlar, yolculuk mesafesi ve süresine göre "km/sa" cinsinden hesaplanmıştır. Farklı güzergahlar için hesaplanan ortalama hız değerlerinden büyük olanı bu kriter göre o güzergahın daha rasyonel olduğu anlamına gelir.

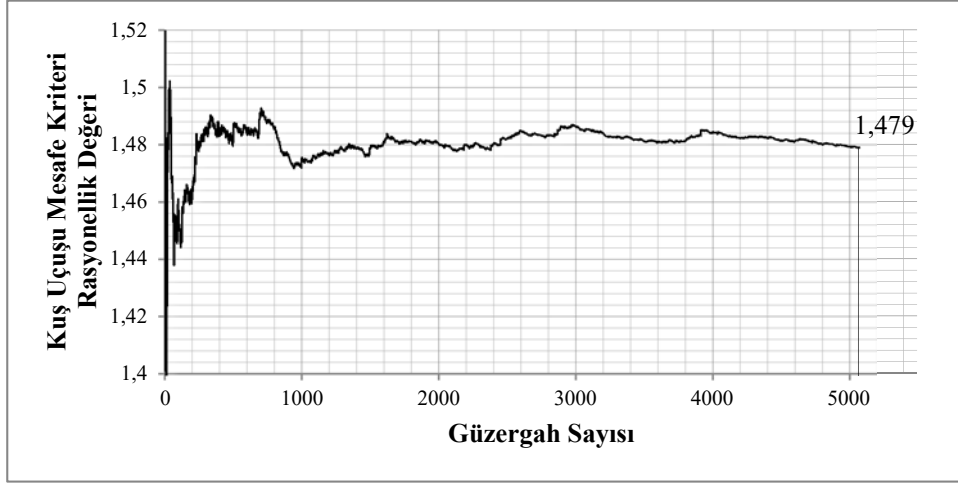
Bir yol ağının rasyonelliği mesafe, süre ve hız gibi faktörlerin yanı sıra iki nokta arasında bulunan alternatif güzergahların sayısı da ilgilidir. Trafik tıkanıklığı ya da yol üzerinde yapılan bir çalışmanın olması durumlarında, iki nokta arasında alternatif güzergahların bulunması önem kazanmaktadır. Bu yüzden son kriter alternatif güzergah kriteri olarak belirlenmiştir. Bu kriter için üretilen nokta çiftleri arasındaki alternatif güzergahların sayısı tespit edilmektedir. Kıyaslanan güzergahlar arasında hesaplanan değerlerin büyük çıkması bu kriter göre o güzergahın daha rasyonel olduğunu gösterir [11]. Google Maps uygulaması en fazla 3 alternatif güzergah önerdiği için bu kriter göre elde edilen değerlerin 3'e yakın

çıkması istenir. Bu üç kriter için gerekli olan veriler Google Maps'ten iki nokta arasında yol tarifi olarak elde edilebilmektedir.

Bu kriterler yol ağının bize sunduğu hizmet kalitesinin ölçülmesi açısından önemlidir. Böylece bir şehrin yol ağının hangi bölgelerinde iyileştirmeler yapılması gerektiği ya da alternatif yollara ihtiyaç duyulacağı gibi sorulara cevap bulunabilecektir. Yine daha geniş açıdan bakıldığında yatırım yapılması gereken şehirlerin belirlenmesinde de bir öncelik sıralaması yapılabilecektir.

3. ÖRNEK UYGULAMA

Örnek uygulama için Ankara kentinin seçildiği çalışmada ilk olarak şehrin yol ağı sınırlarını veren koordinat değerleri Google Maps'te belirlenmiştir. Bu koordinat değerleri geliştirilen programa girilerek çok sayıda rastgele nokta çifti oluşturulmuştur. Bu nokta çiftleri arasında Google Maps aracılığıyla güzergahlar hesaplanmış, bu güzergahlara ait veriler çekilmiş ve kuş uçuşu mesafeler hesaplanmıştır (üretilen nokta çiftlerinin dağılımı için bkz. Şekil 1). Böylece belirlenen üç kritere göre rasyonellik hesaplarına geçilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi kuş uçuşu mesafe kriterine göre rasyonellik değeri 1,479 çıkmıştır. Grafikten okunan son değer aynı zamanda yol ağının rasyonellik değerini vermektedir. Verilerin standart sapması 0,337; varyasyon katsayısı 0,228; çarpıklık katsayısı 68,98; basıklık katsayısı ise 5,53 çıkmıştır. Verilerin pozitif değerlere doğru genişlemekte ve görece dik bir dağılıma sahiptir.

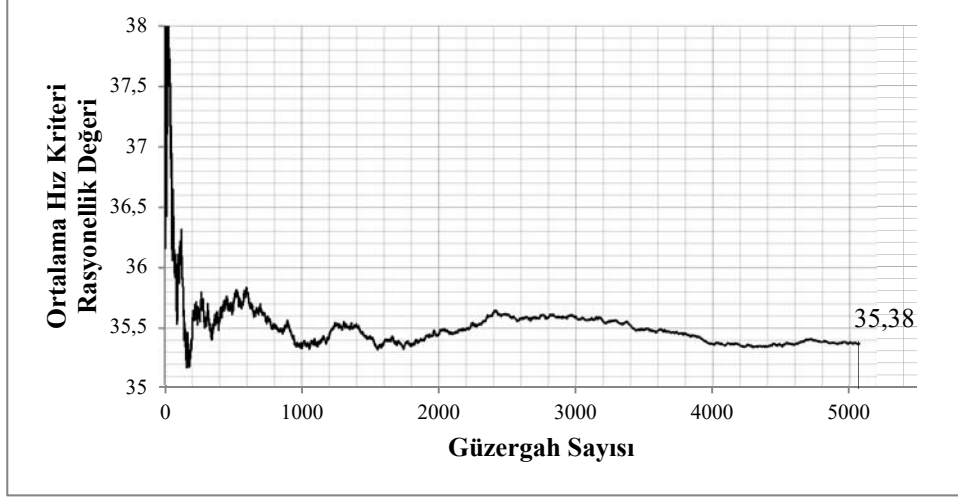


Şekil 6. Kuş uçuşu mesafe kriterine göre rasyonellik

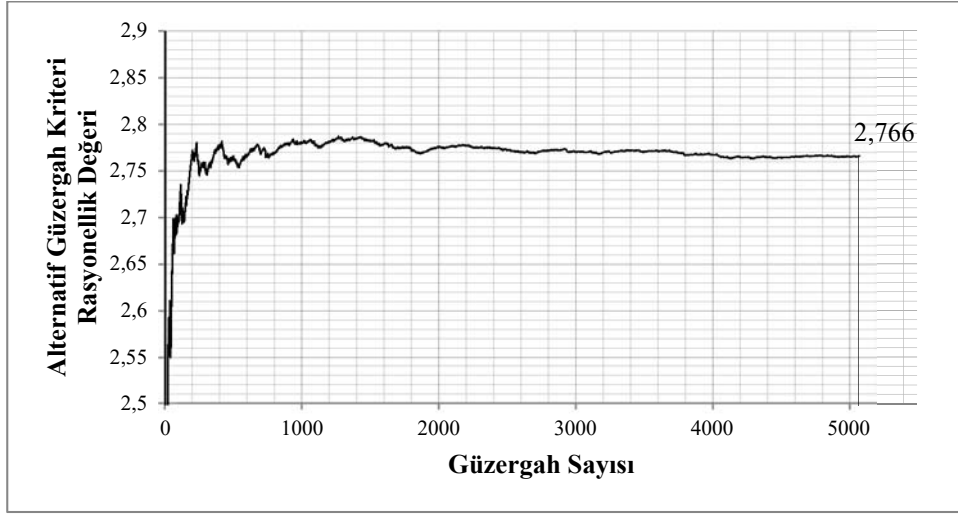
Ortalama hız kriteri için Şekil 7 incelendiğinde yol ağında yapılabilen ortalama hızın 35,38 km/sa olduğu görülmektedir. Standart sapma 0,303; varyasyon katsayısı 0,008; çarpıklık katsayısı 1503,29; basıklık katsayısı ise 29,56 çıkmıştır. Verilerin pozitif değerlere doğru genişleyen ve görece dik bir dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Alternatif güzergah kriteri için ise rasyonellik Şekil 8'de görüldüğü üzere 2,766 çıkmıştır. Verilerin standart sapması

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı

0,027; varyasyon katsayısı 0,01; çarpıklık katsayısı 243,38; basıklık katsayısı ise -13,36 çıkmıştır. Veriler pozitif değerlere doğru genişlediği ve dağılımın ise diğerlerinden farklı olarak görece düz olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Ortalama hız kriterine göre rasyonellik

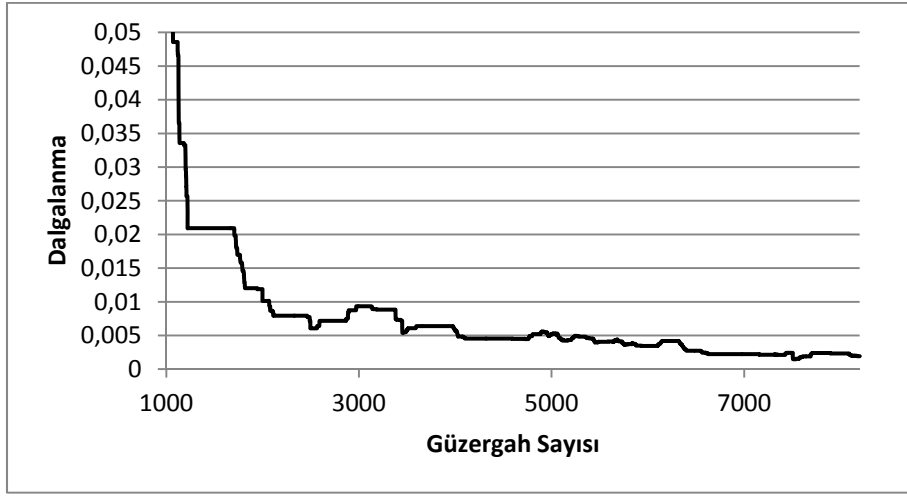


Şekil 8. Alternatif güzergah kriterine göre rasyonellik

Bu üç kriter için yapılan analiz 5070'inci güzergahta sonlandırılmıştır. Bunun nedeni Bölüm 2.1'de açıklandığı üzere kuş uçuşu mesafe kriteri için oluşturulan rasyonellik grafiğinde 4070'inci güzergahtan sonraki 1000 güzergah için rasyonellik değerindeki dalgalanmanın

%0,5'in altında kalmış olmasıdır. Diğer kriterler için bu dalgalanma daha erken %0,5'in altında kalmış olsa da kuş uçuşu mesafe kriteri için veri üretilmeye devam etmiştir. Üretilen veriler diğer kriterler için de kullanılmıştır. Böylece bu kriterlere ait grafiklerdeki dalgalanmalar %0,5'in çok daha altına düşmüş ve güven aralığı son iki kriter için artmıştır.

Meydana gelen dalgalanmaların 5070'inci güzergahtan sonra nasıl devam edeceğini görmek için bir süre daha (8200'üncü güzergaha kadar) analiz devam ettirilmiştir. Bu test iterasyonda kötüye gitme olup olmadığını görmek adına bir defaya mahsus yapılmıştır. Şekil 9'da görüldüğü gibi dalgalanma 5070'inci güzergaha kadar %0,5 üstündedir. Grafikte %0,5'lik dilime yaklaştıkça dalgalanma azalmakta ve grafik daha durağan bir hal almaktadır. Güzergah sayısı 8200'e yaklaştığında ise dalgalanma %0,2'lere kadar düşmektedir.



Şekil 9. Rasyonellik değerlerindeki dalgalanmanın güzergah sayısına göre değişimi

5. SONUÇ

Güzergah rasyonellik ölçekleri, yol ağlarının kalitesini ölçmek için geliştirilmiş yeni bir yöntemdir. Bu çalışmada güzergah rasyonellik hesabı için var olan üç ölçek kullanılarak alternatif bir yöntem oluşturulmuştur. Böylece mevcut yöntem daha verimli bir hale getirilerek tüm dünyada uygulanabilir bir form almıştır. El ile yapılan analizler geliştirilen bir program yardımıyla daha kısa sürede yapılmış, insandan kaynaklanacak hatalar sıfıra indirgenmiş ve çok daha fazla veri üretilmiştir. Yine bu yöntemle, programlamadan da faydalanılarak farklı geometrik özelliklere sahip yol ağlarında rasyonellik analizi yapılabilme şansı elde edilmiştir. Hepsinden önemlisi veriler Google Maps'ten otomatik olarak çekilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Kümülatif rasyonellik değerlerindeki dalgalanma %0,5'in altında kalana kadar iterasyon sürdürülmüştür. Bu da analiz sonuçlarının istatistiki olarak %99,5 güven aralığında kalmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada örnek olarak Ankara kentinde bir uygulama yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre rasyonellik değeri kuş uçuşu mesafe kriteri için 1,479; ortalama hız kriteri için 35,38; alternatif güzergah kriteri için ise 2,766 çıkmıştır. Analizler bu örnek için 5070 güzergahın

rasyonellik değeri ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Güzergah sayısı artırıldığında kümülatif olarak hesaplanan rasyonellik değerlerindeki dalgalanmaların da azaldığı, 5070 güzergah için dalgalanmanın %0,5'in altına düştüğü bulunmuştur. Araştırmanın bundan sonraki aşamasında yöntem birçok şehirde uygulanacak, bu şehirlerin yol ağı rasyonellikleri kıyaslanacaktır. Yine farklı şehirlerde yapılacak rasyonellik analizleri incelenerek rasyonellik sınır değerleri oluşturulacak ve bir şehrin yol ağının rasyonel olup olmadığına doğrudan karar verilebilecektir.

Bu yöntemle ilk defa bir sayısal analiz yöntemiyle yetkililer tarafından yol ağlarına yapılacak yatırımlarda, hangi şehirlere ve hangi yol ağı tiplerine öncelik verilmesi gerektiği ya da yapılacak alternatif planlardan hangisinin daha verimli olacağı tespit edilebilir hale gelmiştir. Özellikle Türkiye gibi kentsel dönüşümün gündemde olduğu ülkelerde yeni yapılan şebeke planlamalarının bu analize tabi tutulması, şehrin yol ağı rasyonelliğini arttıracaktır. Böylece yolculuklar açısından zaman ve maliyet tasarrufu sağlanabilecektir. Ayrıca iki farklı kente ait yol ağları birbirleri ile kolayca kıyaslanabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Yang, H., Bell, M. G. H., Models and algorithms for road network design: a review and some new developments, *Transport Reviews*, 18, 257-278, 1998.
- [2] Badia, H., Estrada, M., Robusté, F., Competitive transit network design in cities with radial street patterns, *Transportation Research Part B: Methodological*, 59, 161-181, 2014.
- [3] Khan, A. Z., Moulaert, F., Schreurs, J., Miciukiewicz, K., Integrative Spatial Quality: A Relational Epistemology of Space and Transdisciplinarity in Urban Design and Planning, *Journal of Urban Design*, 19, 393-411, 2014.
- [4] Chen, K., Wang, J. J., Han, F., Qiu, L. P., The Research of New City Road Network Level Structure Based on Supply and Demand Balance, *Applied Mechanics and Materials*, 178, 1857-1861, 2012.
- [5] Marshall, S., *Urban pattern specification*, Institute of Community Studies, London, 2005.
- [6] Szeto, W., Lo, H. K., Strategies for road network design over time: robustness under uncertainty, *Transportmetrica*, 1, 47-63, 2005.
- [7] Santos, B. F., Antunes, A. P., Miller, E. J., Interurban road network planning model with accessibility and robustness objectives, *Transportation Planning and Technology*, 33, 297-313, 2010.
- [8] Chen, A., Yang, H., Lo, H. K., Tang, W. H., Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results, *Transportation Research Part B: Methodological*, 36, 225-252, 2002.
- [9] Jakimavičius, M., Mačerinskiene, A., A GIS-based modelling of vehicles rational routes, *Journal of Civil Engineering and Management*, 12, 303-309, 2006.

- [10] Murat, Y. Ş., Uludağ, N., Bulanık mantık ve lojistik regresyon yöntemleri ile ulaşım ağlarında rota seçim davranışının modellenmesi, *Teknik Dergi*, 19, 2008.
- [11] Akgöl, K., Günay, B., Şhiriçi Yol Ağlarında Bir Kalite Göstergesi Olarak Güzergah Rasyonellik Skalaları, 10. Ulaştırma Kongresi, İzmir, Türkiye, 2013.
- [12] Niederreiter, H., *Random number generation and quasi-Monte Carlo methods* 63: SIAM, 1992.
- [13] Robusto, C., The cosine-haversine formula, *American Mathematical Monthly*, 38-40, 1957.
- [14] Chopde, N. R., Nichat, M., Landmark Based Shortest Path Detection by Using A* and Haversine Formula, *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1, 298-302, 2013.

İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi

Meriç YILMAZ¹
A. Melih YANMAZ²
Mete KÖKEN³

ÖZ

Alüvyonlu akarsu tabanına inşa edilen köprülerde, köprü ayaklarının emniyetli tasarımı için ayaklar etrafında oluşan maksimum oyulma derinliğinin pik tasarım debisine erişme süresine kadarki zamansal gelişimini incelemek gerekmektedir. Bu çalışmada, akım doğrultusuna paralel arka arkaya konumlanmış ikili köprü ayakları etrafında, temiz su ve üniform taban malzemesi koşullarında oluşan oyulma çukurunun yüzey özelliklerini incelemek amacıyla deneysel bir araştırma yürütülmüştür. Deneyler, değişik ayak çapı ve ayaklar arası mesafelerde ikili özdeş silindirik ayaklar kullanılarak değişik akım şiddetleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, maksimum temiz su oyulmasının zamansal değişimini tahmin eden bir denklem üretilmiştir. Deneylerin test aralığında, önerilen denklemin deneysel bulgularla uyum gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Köprü, orta ayak, grup etkisi, zaman, temiz su, oyulma.

ABSTRACT

Time-Evolution of Clear Water Scouring at Dual Bridge Piers

Time evolution of the maximum scour depth around piers up to peak value of the design flow is required for safe foundation design of bridges crossing alluvial rivers. This study deals with an experimental work conducted to investigate the surface characteristics of scour-holes around dual piers aligned with the flow direction under clear water conditions with uniform bed material. Experiments are conducted using different sizes of identical cylindrical dual piers for different spacing and flow intensities. Eventually a scour-prediction equation is developed to determine the temporal variation of maximum clear water scour depth. In the test ranges of the experiments, the results of the proposed equation are found to be in relatively good agreement with the experimental results.

Keywords: Bridge, pier, group effect, time, clear water, scour.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 14.08.2015 günü ulaşmıştır. 18.04.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mart 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.345263

1 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - smeric@metu.edu.tr

2 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - myanz@metu.edu.tr

3 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - mkoken@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünyada her yıl çok sayıda köprü orta ve kenar ayakları etrafında oluşan aşırı oyulma nedeniyle yıkılmaktadır. Bu durum hem can kaybına hem de olumsuz sosyo-ekonomik koşullara yol açmaktadır. Bu nedenle, bu konunun detaylı araştırılması diğer hidrolik odaklı konular arasında öncelik kazanmaktadır. Güvenli köprü ayak tasarımı için oyulma mekanizmasının anlaşılması bir önkoşuldur. Ancak, oyulma çukuru etrafındaki üç boyutlu ayrılmanın ve akım-ayak-taban malzemesi etkileşiminin karmaşık yapısı nedeniyle orta ayaklar etrafında oluşan oyulma mekanizması bugüne kadar teorik olarak tamamen tanımlanamamıştır [1, 2]. Böylece, yirminci yüzyılın ortalarından beri artan bir eğilimle bu konu çeşitli yönleriyle ele alınarak yoğunlukla laboratuvar ortamında araştırılmıştır [3]. Ayrıca, hem yeni tasarlanan köprülere hem de mevcut köprülere uygulanabilirlikleri göz önüne alınarak, çeşitli oyulma önleyici düzenlemelerin tasarımı da önem kazanmıştır. Bu nedenle, köprülerin aşırı oyulmaya bağlı yıkılma riskinin azaltılması amaçlanmıştır [4].

Yersel koşullarla uyumlu özel çözüm sunabilmek için tasarımın hidrolojik boyutu göz önünde bulundurulmalıdır [5]. Tasarım taşkın hidrografının niteliği, söz konusu havzanın özelliklerine ve hidro-meteorolojik koşullarına göre belirlenmektedir. Daha önceki çalışmalarda yoğunlukla kararlı akım koşulları altında tekil orta ayak etrafında oluşan denge oyulma derinliğinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Oyulma derinliğinin kararsız akım koşulları altında belirlenmesi üzerine, bazıları Kothyari ve diğerleri (1992), Hager ve Unger (2010), Schillinger (2011) ve Kalantari (2014) tarafından yürütülen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [6, 7, 8, 9]. Temiz su koşulları altında denge oyulma derinliğine, oyulma çukuru içindeki kaydırıcı ve tutucu kuvvetlerin birbirini dengelediği durumda erişilmektedir. Başlangıçta çok hızlı gelişen oyulma çukuru, kararlı akım şartlarında zaman içinde asimtotik olarak değişerek dengeli koşullara ulaşmaktadır. Laboratuvar koşullarında bu süre birkaç günü bulmaktadır [10]. Ancak, doğada tasarım hidrografının pik süresi, denge koşuluna ulaşma süresi kadar uzun sürmemektedir [11]. Dolayısıyla, köprü ayağı temellerini temiz su oyulması koşullarında denge oyulma derinliğine göre tasarlamak, ayak temel derinliğini gereğinden yüksek hesaplamaya yol açabilir. Tasarım taşkın hidrografının pik değerine erişme süresi bilindiğinde, denge oyulma koşuluna kıyasla daha düşük oyulma derinlikleri ve dolayısıyla daha ekonomik çözümler elde edilebilir [1]. Yani, oyulma derinliğinin zamansal gelişiminin incelenmesi, köprü ayak temeli tasarımı için uygun bilgi sağlamaktadır. Geleneksel uygulamada oyulma derinliğinin zamansal değişimi, tasarım hidrografının pik değerine erişme süresi boyunca pik debi değerinin sabit olduğu varsayımıyla incelenmektedir. Bu yaklaşım, oyulma derinliği gelişiminin kararsız akım koşullarında modellenmesi durumuna göre daha güvenli tarafta kalmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, akım doğrultusunda konumlanmış ikili orta ayaklar etrafındaki birleşik oyulma çukuru yüzey özelliklerinin zamansal değişimini incelemektir. Değişik ayak çapı ve ayaklar arası mesafelerde özdeş ikili ayaklar kullanılarak, temiz su koşullarında değişik akım şiddetleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Böylece, ayaklar etrafındaki maksimum temiz su oyulması derinliğinin zamansal değişimini tahmin eden bir ampirik oyulma tahmin denklemi üretilmiştir.

2. İLGİLİ LİTERATÜRE GENEL BAKIŞ

Tekil orta ayaklar etrafındaki oyulma derinliğinin zamansal değişimi üzerindeki öncü çalışmalar 20. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır [12]. O zamandan beri en kapsamlı çalışmalardan biri Ettema (1980) tarafından yürütülmüştür [13]. Yanmaz ve Altınbilek (1991) tekil silindir ve kare kesitli ayaklarda temiz su oyulmasının zamansal değişimini tahmin eden yarı-ampirik bir model üretmiştir [1]. Model daha sonra silindir ayaklar için Yanmaz (2006) tarafından güncellenmiştir [14]. Bu model, temiz su koşullarında tekil silindir ayaklardaki oyulma çukuru kütle korunum prensibinin uygulanmasına dayanmaktadır. Melville ve Chiew (1999), Ettema (1980) tarafından yürütülen ve ilave yapılan deneylerin sonuçlarını kullanarak orta ayaklarda oyulmanın zamana bağlı gelişimi için bir yöntem geliştirmiştir [11, 13]. Bu yöntem, denge zamanının, t_e , yani denge oyulma derinliğine ulaşma süresinin belirlenmesine dayanmaktadır.

Literatürde oyulma tahmin denklemleri çoğunlukla tekil ayaklar için üretilmiştir. Ancak, geoteknik ve yapısal gereksinimler doğrultusunda köprüler normalde orta ayak grupları ile tasarlanmaktadır. Orta ayaklar, akım doğrultusu boyunca arka arkaya veya akım doğrultusuna dik olarak yan yana gibi çeşitli dizilişlerle yerleştirilebilir. Ayak grubu yerleşimi matris düzeninde $i \times j$ olarak tanımlanabilir. Burada, i akım doğrultusuna dik ayak sayısı, j ise akım doğrultusuna paralel ayak sayısıdır. Komşu ayaklar arasında taban malzemesi yüklü akım etkileşimine bağlı ileri seviye karmaşıklıktan dolayı, ilgili literatürde oyulma üzerinde ayak grup etkisi hakkında sınırlı bilgi bulunmaktadır [15]. Ayak grupları üzerindeki eski deneysel çalışmalar, ayaklar arası mesafenin denge oyulma derinliği üzerine etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

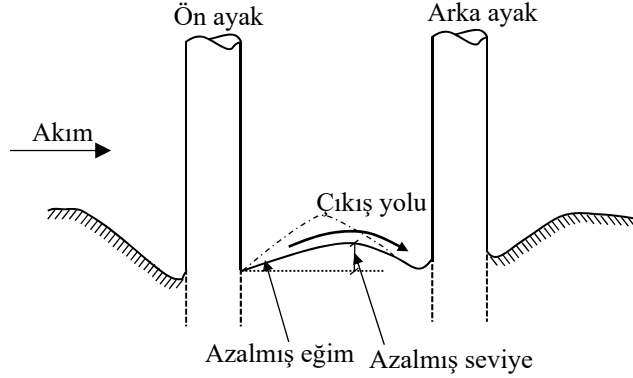
Bu makalenin geri kalanında akım doğrultusunda hizalanmış ayaklar ($1 \times j$) etrafında oyulma mekanizması üzerinde durulmaktadır. Tekil ayak oyulmasında başlıca etkenler düşey akım, atnalı çevrimsi ve kuyruk çevrimsidir. Ancak, akım doğrultusunda hizalanmış ayaklar durumunda, güçlendirme, siperleme ve çevrimsi saçınımı olarak tanımlanan ilave mekanizmalar oluşur [16].

Ön ayak etrafındaki oyulma derinliğini etkileyen mekanizma güçlendirme mekanizmasıdır. Bu mekanizmaya göre, ön ve arka ayaklar etrafındaki oyulma çukurlarının çakışması sonucunda ön ayaktaki oyulma derinliği artmaktadır. Tekil ayak durumunda, taban malzemesi oyulma çukurundan atnalı çevrimsileri ile süpürülür ve mansap yönünde belirli bir mesafe boyunca taşınır. Daha sonra, yetersiz enerji nedeniyle mansap yönünde daha fazla taşınmayacağı için tabanda birikir. Ancak, arka ayak olması durumunda oyulma çukurları çakışabilir ve bu durum, ön ayağın çıkış yolunda taban seviyesinin ve eğiminin azalmasına yol açabilir (bkz. Şekil 1). Azalan taban seviyesi ve eğimi, oyulma çukurundan aşınan malzemenin daha az enerjiyle taşınabilmesine yol açar. Böylece, taban malzemesi ön ayak etrafındaki oyulma çukurundan kolayca taşınır ve ayağın memba yüzündeki oyulma derinliği, tekil ayak durumuna göreceli olarak artar. Güçlendirme mekanizmasının şiddeti, artan ayaklar arası mesafe ve akım açısı ile birlikte azalır [17].

Siperleme mekanizmasında, bir ön ayağın varlığı arka ayağın yaklaşım hızını düşürür. Böylece, ön ayak etrafından aşınan taban malzemesi, arka ayağın membaında birikir. Bu durum, akımın tabandan yukarıya ve arka ayağın etrafına yönelmesine neden olur [2]. Yönlenecek akım, arka ayağın atnalı çevrimsilerinin kuvvetini düşürür. Dolayısıyla, azalan yaklaşım hızı ve kuvvetini yitiren atnalı çevrimsileri, arka ayağın membaında daha düşük

İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi

oyulma derinliğine yol açar. Siperleme mekanizmasının etkinliği, ayaklar arası mesafe arttıkça giderek azalır ve sonra kaybolur.



Şekil 1. Güçlendirme mekanizmasının şematik gösterimi [2]

Çevrinti saçınımı, taban malzemesinin arka ayak etrafından kalkmasına neden olur. Çevrıntiler ön ayaktan saçıldığında, ayağın yanlarında yollar takip ederek mansap yönüne hareket ederler. Saçılan çevrıntinin takip ettiği yolun arka ayakla mesafesi ve kuvveti, arka ayak etrafındaki oyulmanın şiddetini doğrudan etkiler. Ancak, akım doğrultusunda hizalanan ayaklar durumunda, arka ayak saçılan çevrıntilerin izlediği yol ile çakışmaz. Bu nedenle, bu mekanizma çapraz konumlanmış ayaklarda olduğu kadar etkili değildir.

Akım doğrultusunda arka arkaya konumlanmış ikili ayaklar (1×2) ve ayaklar arası mesafenin etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Akım doğrultusuna paralel arka arkaya ve akım doğrultusuna dik yan yana dizilmiş ikili ayaklar etrafındaki oyulma derinliği Hannah (1978) tarafından çeşitli ayaklar arası mesafelerde çalışılmıştır [16]. Deneylerin süresi 7 saat olarak belirlenmiş ve denge oyulma derinliğinin %80'ine ulaşıldığı ifade edilmiştir. Akım doğrultusuna paralel konumlanmış ayaklarda, ön ayağın membaındaki oyulma derinliği, d_s , $\lambda = 1$ iken tekil ayak durumu ile aynı bulunmuştur. Burada, λ ayak çapının (b) merkezden merkeze ayaklar arası mesafeye (d) oranıdır. Ayaklar arası mesafe arttıkça ($\lambda < 1$), güçlendirme mekanizmasının etkisiyle $\lambda \approx 0.33$ iken maksimum d_s değeri gözlenmiştir. Oyulma derinliği, bu maksimum değerinden azalan λ değeri ile birlikte düşmüştür. Güçlendirme mekanizmasının etkisi, bu deneysel koşullar altında yaklaşık $\lambda < 0.09$ değerine kadar sürmüştür. Ayaklar arası mesafe daha da arttığında, oyulma çukurlarının çakışması ortadan kalkmış, böylece oyulma derinliği tekil ayak durumu ile aynı bulunmuş ve ayaklar etrafında birbirinden bağımsız oyulma çukurları oluşmuştur.

Nazariha (1996) değişik yerleşimli ayak grupları üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir [2]. Çalışmada denge oyulma derinliğine ulaşmak amacıyla bazı deneylerin süresi 90 saat olarak alınmıştır. Daha sonra, tüm deneylerin süresi 2 saat olarak belirlenmiş ve bu süre sonunda görülen oyulma derinlikleri, 90 saatlik deneyler sonunda belirlenen bir katsayı ile çarpılarak denge oyulma derinliğine eşitlenmiştir. Arka arkaya hizalanmış ayak yerleşiminde $\lambda \geq 0.2$

iken, ayaklar arası mesafenin, güçlendirme ve siperleme mekanizmalarının oyulma mekanizması üzerinde baskın olduğu gözlenmiştir. Daha büyük λ değerlerinde daha büyük oyulma derinliği elde edilmiştir.

Beg (2004) tarafından akım doğrultusuna paralel konumlanmış ayaklar için yapılan çalışmada, deney süresi 8 saat olarak belirlenmiş ve denge oyulma derinliğine ulaşıldığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada, ön ayağın membaındaki oyulma derinliğinin $\lambda = 0.33$ değerinde maksimuma ulaştığı, $\lambda = 0.50$ değerinde ise $\lambda = 0.33$ durumu ile neredeyse aynı derinliğe ulaştığı görülmüştür [18].

Ataie-Ashtiani ve Beheshti (2006) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, deney süreleri 7 saatin üzerinde tutulmuş ve denge oyulma derinliğine ulaşıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada ise, ön ayağın membaındaki oyulma derinliğinin farklı deneylerde $\lambda = 0.33$ ve $\lambda = 0.50$ değerlerinde maksimuma ulaştığı görülmüştür [15]. Ayrıca Ataie-Ashtiani ve Beheshti (2006), HEC-18 denklemi ve Melville ve Coleman (2000) denklemi için iki ayrı düzeltme çarpanı önermiştir [15, 19, 20].

Ayak gruplarında ayaklar arası mesafenin etkisi Gao ve diğerleri (2013) tarafından da çalışılmıştır [21]. Deney sürelerinin 9 – 12 saat olarak belirlendiği çalışmada denge oyulma derinliğine ulaşıldığı ifade edilmiştir. Akım doğrultusuna paralel ayak gruplarında, ön ayağın membaında maksimum oyulma derinliğinin $\lambda = 0.33$ değerinde gözlemlendiği belirtilmiştir.

Ayrıca, ayak grupları etrafında oyulma derinliğinin gelişimi üzerine Kim ve diğerleri (2014) sayısal bir çalışma gerçekleştirmiştir [22]. Sayısal model denge oyulma derinliği görülene dek çalıştırılmış ve 100 dakikada bu derinliğe ulaşıldığı belirtilmiştir. Ayaklar arası mesafenin etkisinin yanı sıra oyulma derinliğinin zamansal gelişimi de araştırılmıştır. Çalışmada, maksimum denge oyulma derinliğine $\lambda \approx 0.4$ değerinde ulaşıldığı belirtilmiştir.

Yukarıda bahsi geçen tüm çalışmalarda, akım doğrultusuna paralel konumlanmış ayak gruplarında, maksimum oyulma derinliğinin ön ayağın membaında görüldüğü ve ayaklar arası mesafenin bu derinliği etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu makalede sadece konuyla doğrudan ilgili olan bilgi sunulmuştur. Köprü hidroliği kapsamında temel kavramlarla ilgili geniş bilgi için [23] numaralı kaynağa başvurulabilir.

3. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Giriş kısmında özetlenen hedefleri ortaya koymak amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneyler, ön ve arka ayağın etrafında oluşan oyulma çukurlarının çıkacağı bir aralıkta, değişik ayaklar arası mesafeler ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın nihai hedefi, yukarıda bahsedilen koşullarda ikili ayaklar etrafındaki maksimum oyulma derinliğinin zamansal değişimini hesaplayan ampirik oyulma tahmin denklemi üretmektir.

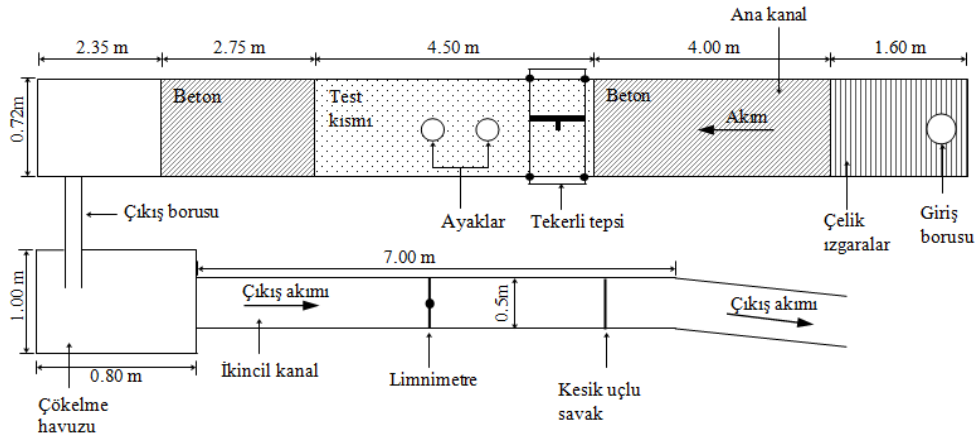
Literatürde, akım doğrultusuna paralel konumlanmış ayaklarda denge zamanını hesaplamak için açık bir denklem bulunmamaktadır. Bu nedenle, tekil ayaklarda temiz su oyulması için geçerli bir denklemi uygulamak, ikili ayak durumu için bir ön tahmin sağlayabilir. Bu amaçla, denge zamanı, t_e Melville ve Chiew (1999) tarafından sığ akımlar için önerilen Denklem (1) ile hesaplanabilir [11]. Bu çalışmanın deneysel koşulları kullanıldığında, denge zamanı laboratuvar ortamında 58 ila 93 saat olarak hesaplanmış olup, pek çok laboratuvar koşullarında kesintisiz olarak bu süreyle deneyleri gerçekleştirmek çok zordur.

$$t_e(\text{gün}) = 30.89 \frac{b}{u} \left(\frac{u}{u_c} - 0.4 \right) \left(\frac{d_0}{b} \right)^{0.25} \quad \left(\frac{d_0}{b} \leq 6 \right) \quad (1)$$

Burada, u = ortalama yaklaşım akımı hızı, u_c = tabanda hareketi başlatan ortalama yaklaşım akım hızı ve d_0 = yaklaşım akım derinliğidir. Bu çalışmada, oyulmanın başlangıç ve gelişme aşamalarının araştırılması planlanmış ve denge aşamasına yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Bu yaklaşım, taşkın yükselme aşamasının çekilme aşamasından normalde daha kısa olmasından dolayı makuldür. Ayrıca, prototip koşullarda tasarım taşkın pik değerine erişme süresi, ilgili denge oyulma derinliğine erişme süresine kıyasla çok kısadır. Aslında, bu ilk iki gelişim aşamasının sonunda denge oyulma derinliğinin %85 - %95'ine ulaşılmaktadır [24]. Bu nedenle, deneylerde maksimum test süresi 6 saat olarak belirlenmiştir ve bu süre, doğada tekil pikli taşkınların çoğunun pik değere erişme süresi mertebesinde [25].

4. DENEYSEL ARAŞTIRMALAR

Deneyisel araştırma Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidromekanik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, uzunluğu 15.2 m, genişliği 0.72 m ve derinliği 1.0 m olan dikdörtgen en-kesitli bir kanal kullanılmıştır (bkz. Şekil 2). Akım, ana kanala su deposundan giriş borusu yoluyla sağlanmıştır. Giriş borusu üzerine yerleştirilen ultrasonik akımölçer ile akımın debisi ayarlanmıştır. Giriş akımındaki türbülansı azaltmak amacıyla, kanalın membaında ilk 1.6 m uzunluğundaki havuz bölgesine çelik ızgaralar yerleştirilmiştir. Bu bölgenin ardından 4.0 m uzunluğunda, 0.001 taban eğimli beton kısım gelmektedir. Kanalın test kısmına 0.3 m kalınlığında taban malzemesi döşenmiş ve beton kısım bütünlük sağlayacak şekilde tabanı 0.001 eğime ayarlanmıştır. Test kısmında kullanılan taban malzemesinin medyan dane çapı, D_{50} , 0.88 mm olup geometrik standart sapması 1.28'dir. Bu özellikler ile kullanılan taban malzemesi üniform kabul edilmektedir [19]. Akım test kısmını geçtikten sonra malzemenin tutulduğu bir mansap havuzuna boşalmaktadır.



Şekil 2. Deney düzeneği

Ayaklar etrafında taban seviyesinin ölçümü, 32 adet suya batık aktarıcıdan (transducer) oluşan SeaTek 5 MHz Ultrasonik Mesafeleme Sistemi ile yapılmıştır. Sistem çıktı üretmek için bir iletişim programı olan CrossTalk ile anında etkileşimli çalışmaktadır. Deneylerde özdeş ikili ayak modelleri akım doğrultusuna paralel, arka arkaya yerleştirilmiştir. Ayak çapı, $b = 7.5$ cm, 6.3 cm ve 4.0 cm olmak üzere üç değişik silindirik ayak modeli kullanılmıştır. Maksimum ayak çapı, deneylerde daralma oyulması oluşmaması için 7.5 cm olarak belirlenmiştir. Yanmaz'a (1989) göre, ayak çapının kanal genişliğine oranı olan daralma oranının %10'dan az olduğu durumlarda, daralma oyulması ihmal edilebilir [26].

Deneylerde $d = 2b$, $3b$ ve $4b$ olmak üzere üç değişik merkezden merkeze ayaklar arası mesafe sınanmıştır. Dolayısıyla test edilen ayak çapının ayaklar arası mesafeye oranı, $\lambda = 0.25$, 0.33 ve 0.50'dir. Üç değişik akım şiddeti, $u/u_c = 0.917$, 0.936 ve 0.946 ile deneyler gerçekleştirilerek kanalda temiz su koşulları sağlanmıştır. Akım şiddetinde görülen u_c değişkeni, aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır [19]:

$$u_{*c} = 0.0115 + 0.0125D_{50}^{1.4} \quad (2)$$

$$\frac{u_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{d_0}{D_{50}} \right) \quad (3)$$

Burada u_{*c} kritik kayma gerilmesi hızıdır. Deneysel koşullar Çizelge 1'de sunulmaktadır. Burada Q akım debisi, $F_d = u/(AgD_{50})^{0.5}$ yoğunluk dane Froude sayısı, $\Delta = \rho_s/\rho - 1$ bağıl batmış yoğunluk, ρ_s taban malzemesi yoğunluğu, ρ su yoğunluğu ve g yerçekimi ivmesidir. Çizelge 1'de görüldüğü üzere, çalışma kapsamında deneyler iki kısımda gerçekleştirilmiştir. Deneylerin birinci kısmında (PR1-PR6), ikili ayaklar etrafında oyulma çukuru topografyasının zamansal değişimi elde edilmiştir. Çizelge 1'de #, farklı zamanlarda ölçüm alınan deney tekrarlanma sayısını ifade etmektedir. Bu kısımda iki farklı λ değeri ile ($\lambda = 0.25$ ve 0.33) deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin ikinci kısmı ise (R1-R7) ön ayağın membanda görülen maksimum oyulma derinliğinin zamansal gelişimini elde etmek amacıyla yapılmıştır. Suya batık çalışan aktarıcı sisteminin genişliği nedeniyle en büyük ayak çapında tüm λ değerleri ile deneyler yapılırken diğer ayak çaplarında sadece $\lambda = 0.25$ ve 0.33 değerleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kısmın çıktıları, ikili ayaklar etrafındaki maksimum oyulma derinliğinin zamansal değişimini tahmin edecek ampirik denklemin üretiminde kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmanın deneysel koşulları

Deney	#	b (cm)	λ	d_0 (cm)	Q (lt/s)	u/u_c	F_d
PR1	11	7.5	0.33	5.50	12	0.946	2.54
PR2	11	7.5	0.25	5.50	12	0.946	2.54
PR3	6	6.3	0.33	5.50	12	0.946	2.54
PR4	6	6.3	0.25	5.50	12	0.946	2.54
PR5	6	4.0	0.33	5.50	12	0.946	2.54
PR6	6	4.0	0.25	5.50	12	0.946	2.54

Çizelge 1. Çalışmanın deneysel koşulları (devam)

Deney	b (cm)	λ	d_0 (cm)	Q (lt/s)	u/u_c	F_d
R1-8	7.5	0.50	4.00	8	0.917	2.33
R1-10	7.5	0.50	4.75	10	0.936	2.45
R1-12	7.5	0.50	5.50	12	0.946	2.54
R2-8	7.5	0.33	4.00	8	0.917	2.33
R2-10	7.5	0.33	4.75	10	0.936	2.45
R2-12	7.5	0.33	5.50	12	0.946	2.54
R3-8	7.5	0.25	4.00	8	0.917	2.33
R3-10	7.5	0.25	4.75	10	0.936	2.45
R3-12	7.5	0.25	5.50	12	0.946	2.54
R4-8	6.3	0.33	4.00	8	0.917	2.33
R4-10	6.3	0.33	4.75	10	0.936	2.45
R4-12	6.3	0.33	5.50	12	0.946	2.54
R5-8	6.3	0.25	4.00	8	0.917	2.33
R5-10	6.3	0.25	4.75	10	0.936	2.45
R5-12	6.3	0.25	5.50	12	0.946	2.54
R6-8	4.0	0.33	4.00	8	0.917	2.33
R6-10	4.0	0.33	4.75	10	0.936	2.45
R6-12	4.0	0.33	5.50	12	0.946	2.54
R7-8	4.0	0.25	4.00	8	0.917	2.33
R7-10	4.0	0.25	4.75	10	0.936	2.45
R7-12	4.0	0.25	5.50	12	0.946	2.54

4.1. Oyulma Çukurlarının Zamana Bağlı Yüzey Özellikleri (I. Kısım Deneyler)

Çalışmanın bu kısmında, arka arkaya konumlanmış ayaklar etrafındaki oyulma çukurunun üç boyutlu topografik haritaları elde edilmiştir. Bu haritalar, oyulma çukuru özelliklerinin zamana bağlı değişimi hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu kısımdaki deneyler, temiz su koşullarında değişken akım şiddetlerinde benzer oyulma çukuru özellikleri oluşacağı için sabit bir akım şiddetinde, $u/u_c = 0.946$ ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler düzlenmiş taban ile başlatılmıştır. Başlangıçta çıkış vanası kapatılmış ve taban malzemesinin bozulmasına olanak vermeden kanal yavaşça arzulanan yaklaşım akımı derinliğine ulaşana dek su ile doldurulmuştur. Giriş vanası ayarlanarak test debisine ulaşıldığında çıkış vanası tamamen açılmıştır. Deneyler, belirlenmiş ölçüm zamanlarında durdurularak üç boyutlu topografik haritalar elde etmek amacıyla ayaklar etrafındaki oyulma ve birikme bölgelerinde ölçümler alınmıştır. PR3-PR6 deney gruplarında, ölçüm zamanları 5, 20, 60, 100, 150 ve 360 dakikadır. PR1-PR2 deney gruplarında ise, daha büyük ayak çapı kullanıldığı için daha geniş oyulma çukuru beklenmektedir. Bu nedenle, daha geniş olan oyulma çukurunun zamansal gelişimini daha sık aralıklarla gözlemlemek amacıyla ölçüm zamanları 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100, 150 ve 360 dakika olarak belirlenmiştir. Böylece, PR1-PR2 deney gruplarında 11, PR3-PR6 deney gruplarında ise 6 deney tekrarı yapılmıştır (bkz. Çizelge 1). Deneyler her

ölçüm zamanında, taban batimetrisinin bozulmaması için yavaşça durdurulmuştur. Ölçüm alındıktan sonra kanaldaki suyun boşaltılıp tabanın düzleştirilmesi ile en baştan tekrar edilen deney bir sonraki ölçüm zamanına kadar devam ettirilmiştir. Deneylerin en sonundaki (360 dakika) oyulma çukuru topografyası da haritalandıktan sonra kanaldaki su boşaltılmıştır. Bir sonraki deney grubu için, ayak çapı ve/veya ayaklar arası mesafe değiştirilip test kısmına yerleştirildikten sonra taban düzleştirilip deney ve haritalama işlemi tekrar edilmiştir.

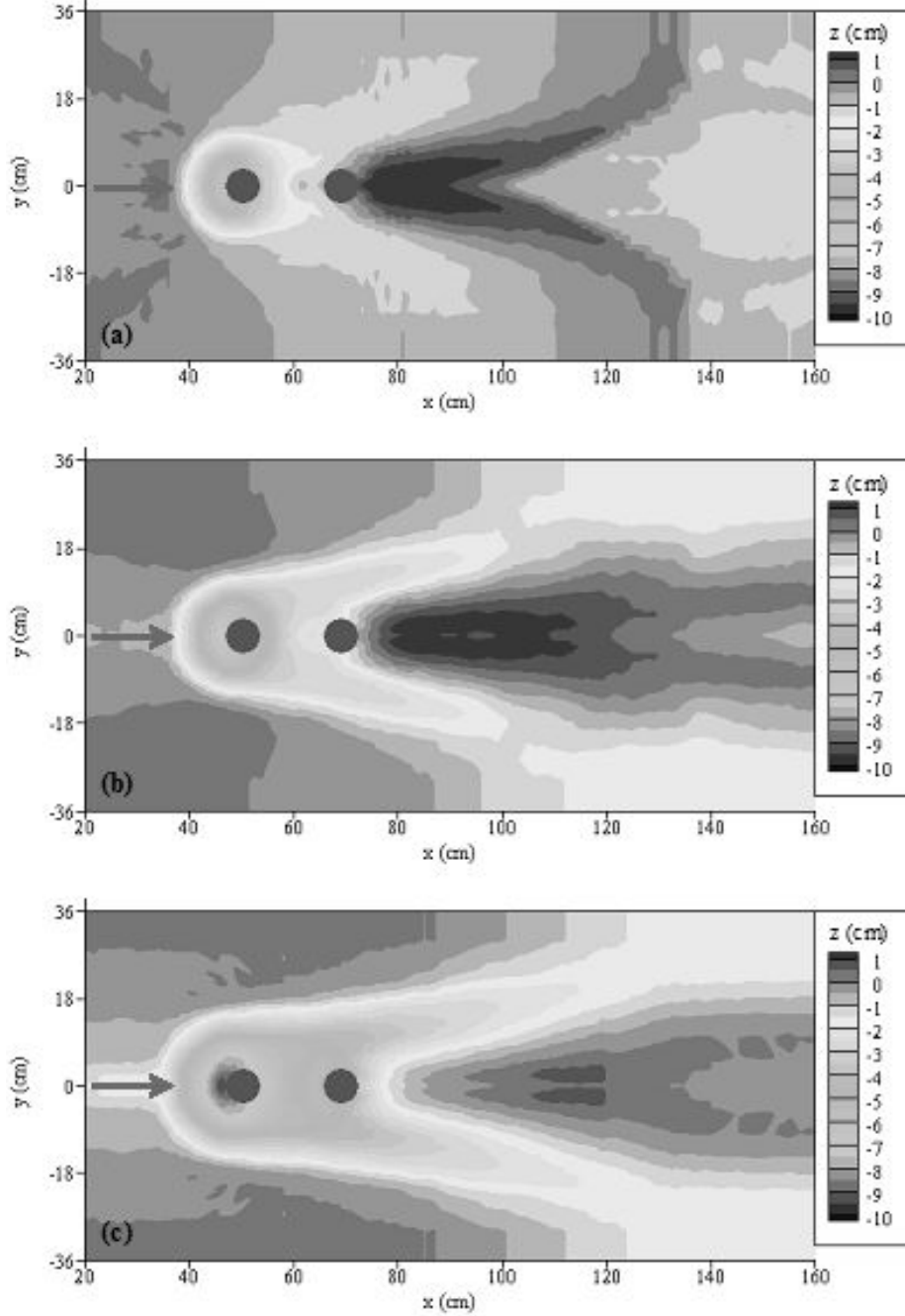
Anılan zamanlarda (t) yapılan ölçümler kullanılarak 46 adet zamana bağlı topografik harita üretilmiştir. Örnek olarak, PR3 deney grubunun $t = 5, 60$ ve 360 dakikadaki topografik haritaları Şekil 3'te sunulmuştur. Şekilde x ve y , sırasıyla akım doğrultusuna paralel ve dik koordinatı gösterirken, z kanal tabanına dik koordinattır. Şekil 3'te görüldüğü üzere, tekil ayaklar etrafında oyulma çukurunda olduğu gibi, ikili ayaklar etrafında oyulma çukuru sınırları da plan görüntüde atnalı şekline benzemektedir. Şekil 3'te sunulan PR3 deney grubu ile beraber tüm deney gruplarında, oyulmanın başlangıç kısımlarında atnalı şekli tamamen oluşmasa da, $t = 60$ dakikadan sonra şekil daha belirgin hale gelmekte ve deneylerin sonunda atnalı şekli açıkça görülmektedir.

Topografik haritalardan, akım doğrultusunda merkez eksen boyunca oyulma çukurunun profil görüntüsü elde edilmiştir. Örnek olarak, PR1 deney grubunda, taban profilinin zamana bağlı değişimi Şekil 4'te görülebilir. Şekilde görüldüğü üzere, maksimum oyulma derinliği her zaman ön ayağın membaında oluşmaktadır. Tüm deneylerde maksimum oyulma derinliği bu bölgede oluşmuştur. İkili ayaklarda, mütemadi temel gereksinimi dikkate alınacak olursa, ön ayağın memba yüzündeki maksimum oyulma derinliğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Böylece, bu ölçümler deneylerin ikinci kısmının kapsamını oluşturmaktadır.

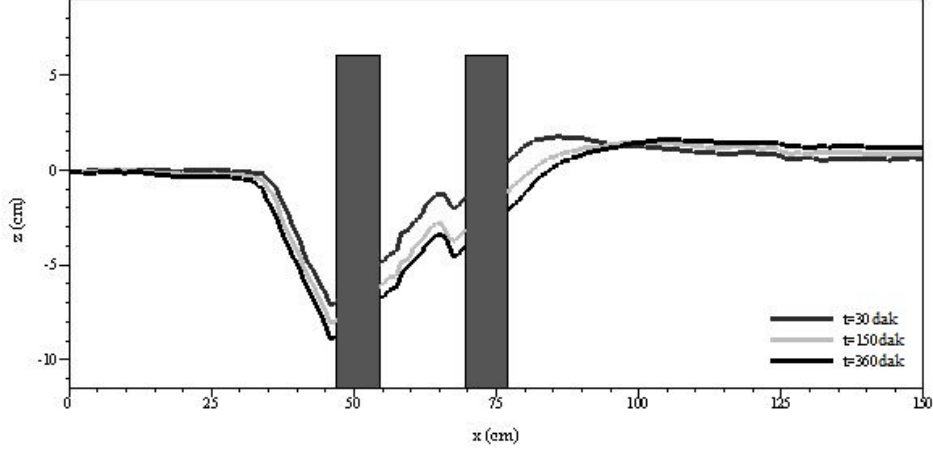
Şekil 4'te görüldüğü üzere, ayakların arasında bir birikme bölgesi oluşmaktadır ve bu bölgenin pik noktasının yeri, akım doğrultusu boyunca zamansal olarak sabit kalmaktadır. Pik nokta ile arka ayağın merkezi arasındaki mesafe, ayaklar arası mesafenin (d) yüzde oranı olarak hesaplanmıştır. PR1 deney grubu için, birikme bölgesinin pik noktası ile arka ayağın merkezi arasındaki mesafe d değerinin %37'sine eşittir. PR2 deney grubunda, yani aynı ayak çapı fakat farklı λ oranı kullanıldığında ise, ilgili mesafe d değerinin %38'ine eşit bulunmuştur. Bu mesafenin ilgili d değerine oranı PR3 ve PR4 deney gruplarında sırasıyla %39 ve %35, PR5 ve PR6 deney gruplarında ise sırasıyla %34 ve %33 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, ayak çaplarına göre deney bulguları incelenirse, birikme bölgesinde pik noktasının yerinin, λ değerinden neredeyse bağımsız olduğu kabul edilebilir. Arka ayağın mansabında ise bir başka birikme bölgesi oluşmaktadır. Bu bölge, deneylerin başlangıcında, yani oyulma hızının yüksek olduğu zamanda nispeten daha diktir. Bu birikme bölgesi zaman içinde mansap yönüne ilerlemekte ve yassılaşmaktadır (bkz. Şekil 4). PR1 deney grubunda bu birikme bölgesinde yapılan gözlemler, diğer deney gruplarında da aynı şekilde gözlenmiştir.

Ön ayağın membaında, ön ayağın mansabında (ayağın mansap yüzünden ayaklar arası birikme bölgesine kadar), arka ayağın membaında (ayağın mansap yüzünden mansap birikme bölgesine kadar) ve arka ayağın mansabında (ayağın mansap yüzünden mansap birikme bölgesine kadar) boyuna taban eğimleri zaman içinde sabit kalmaktadır. Ön ve arka ayağın membaındaki taban eğimleri neredeyse birbirleriyle aynı olup yaklaşık olarak taban malzemesinin iç sürtünme açısına eşittir. Ayrıca, ayakların mansap taban eğimleri de yine birbirine eşittir. Dolayısıyla, akım doğrultusuna paralel ikili ayaklar etrafındaki birleşik oyulma çukuru şeklinin zamandan bağımsız olduğu söylenebilir.

İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi



Şekil 3. PR3 deney grubunun topografik haritaları (a) $t = 5$ dak, (b) $t = 60$ dak ve (c) $t = 360$ dak

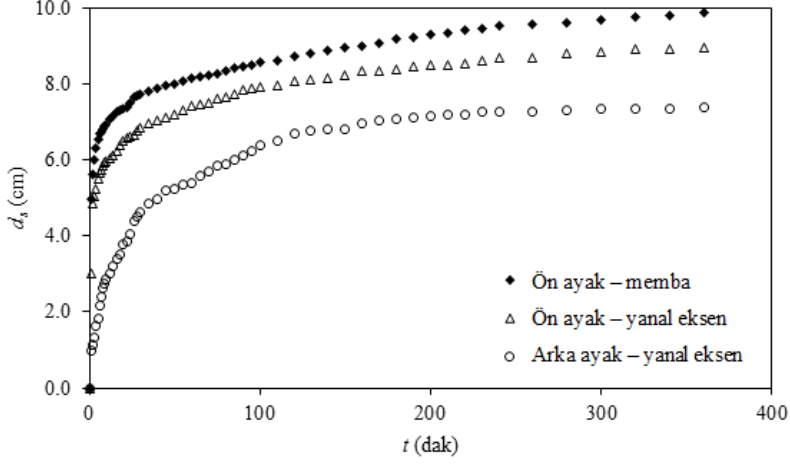


Şekil 4. PR1 deney grubunun merkez eksen boyunca taban profili

4.2. II. Kısım Deneyler

DeneySEL çalışmanın bu kısmında, ikili ayaklarda maksimum oyulma derinliğinin gelişimini daha sık aralıklarla ölçmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada, oyulma derinlikleri ön ayağın membaında ve yanal ekseninde, arka ayağın ise sadece yanal ekseninde ölçülmüştür. Ancak, daha önce belirtilen nedenlerden ötürü, ampirik modelin oluşturulmasında sadece maksimum oyulma derinliğinin zamansal değişimi ölçümleri kullanılmıştır. Çizelge 1’de belirtilen deneySEL koşullar altında, 21 adet deney gerçekleştirilmiş ve maksimum oyulma derinliklerinin sık ölçümleri alınmıştır. Deneylerde gözleendiği üzere, maksimum oyulma derinliğinin gelişimi, oyulma olayının başlangıcında çok hızlıyken, zaman içinde yavaşlamakta ve asimtotik olarak denge durumuna yaklaşmaktadır. Bununla beraber, belirli bir akım şiddetinde (u/u_c) ve λ değerinde, maksimum oyulma derinliğinin ayak çapı büyüdükçe yükseldiği açıkça gözlenmiştir. Ayrıca, belirli bir b ve λ değerinde, maximum oyulma derinliği artan akım şiddeti ile beraber yükselmektedir. Belirli b ve u/u_c değerinde ise, maksimum oyulma derinliği artan λ değeri ile beraber yükselmektedir (güçlendirme mekanizması).

Her iki ayağın yanal eksenlerindeki oyulma derinliğinin zamansal değişimini, ön ayağın membaında görülen maksimum oyulma derinliği ile kıyaslamak amacıyla, örnek olarak R1-12 deneyinin ölçümleri Şekil 5’te sunulmuştur. Arka ayağın yanal ekseninde oyulma derinliklerinin, siperleme mekanizmasına bağlı olarak her zaman ön ayağın membaında ve yanal eksenindeki oyulma derinliklerinden daha az olduğu gözlenmiştir. Ön ayağın yanlarında oluşan çevrintiler akımla beraber süpürüldükleri için, bu çevrintilerin aşındırma kapasiteleri ayağın membaına kıyasla daha azdır. Bu nedenle, ön ayağın yanal eksenindeki oyulma derinlikleri her zaman aynı ayağın membaına kıyasla daha düşük çıkmaktadır. Eksenlerdeki oyulma derinliği farklılıkları, tüm deneylerde benzer şekilde gözlenmiştir.



Şekil 5. R1-12 deneyinin değişik eksenlerde oyulma derinliklerinin kıyaslanması

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Arka arkaya konumlanmış ayak yerleşiminde, güçlendirme mekanizmasının şiddeti λ değerine bağlıdır. I. Kısım Deneylerde, λ değerinin güçlendirme mekanizması üzerindeki etkisi gözlenmiş, $\lambda = 0.33$ değerinde daha yüksek maksimum oyulma derinlikleri elde edilmiş ve d_s değerinin tüm ayak çapları için $\lambda = 0.25$ durumunda azaldığı gözlenmiştir. II. Kısım Deneylerin sonuçları I. Kısım ile uyumlu olup, $b = 6.3$ cm ve 4.0 cm ayak çapları için $\lambda = 0.33$ değerinde ölçülen maksimum oyulma derinlikleri, $\lambda = 0.25$ durumuna kıyasla daha yüksek bulunmuştur. En büyük ayak çapı için $\lambda = 0.33$ ve 0.25 değerlerinde benzer eğilim gözlenmiş, en fazla oyulma derinliği ise $\lambda = 0.50$ değerinde görülmüştür. Özetle, bu çalışmada maksimum oyulma derinliği $\lambda = 0.50$ durumunda en yüksek seviyeye ulaşmakta ve λ değeri azaldıkça oyulma derinliği de azalmaktadır. Bu noktada, literatürde çoğunlukla $\lambda \approx 0.33$ değerinde en yüksek oyulma derinliği gözlenirken bu çalışmada daha büyük bir λ değerinde gözlenmesine, ayak çapının kanal genişliğine oranındaki farklılıkların neden olduğu düşünülmektedir. Literatürde bahsi geçen çalışmalarda ayak çapı kanal genişliğinin %3.6-6.6'sında seyrederken bu çalışmada bu oran %5.6-10.4'tür. Dolayısıyla, akım alanını nispeten daha fazla daraltan ayaklar birbirine daha yakın konumlandığında, çevrintilerin girişiminin daha etkili olacağı ve oyulma derinliğinin daha fazla artacağı beklenmektedir.

Ön ayağın varlığı nedeniyle, oyulma olayında siperleme mekanizması gerçekleşmektedir. Siperleme mekanizması, ön ayağın membaındaki oyulma derinliklerinin aynı ayağın mansabındaki oyulma derinliklerinden fazla olduğu gözlenen I. Kısım Deneylerde açıkça görülmektedir (bkz. Şekil 4).

II. Kısım Deneylerin sonuçlarından yola çıkarak ön ayağın membaındaki maksimum oyulma derinliğini hesaplamak için çoklu doğrusal regresyon denklemi üretilmiştir. Oyulma olayında yer alan ana parametreleri bağımsız değişken olarak kullanarak, Denklem (4)'te verilen regresyon denklemi elde edilmiş ve determinasyon katsayısı, R^2 Denklem (5) kullanılarak 0.84 olarak hesaplanmıştır:

$$\frac{d_s}{b} = 0.081 \left(\frac{d_0}{b} \right)^{0.155} (F_d)^{2.357} (T_s)^{0.123} (\lambda)^{0.102} \quad (4)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \right]^2 \quad (5)$$

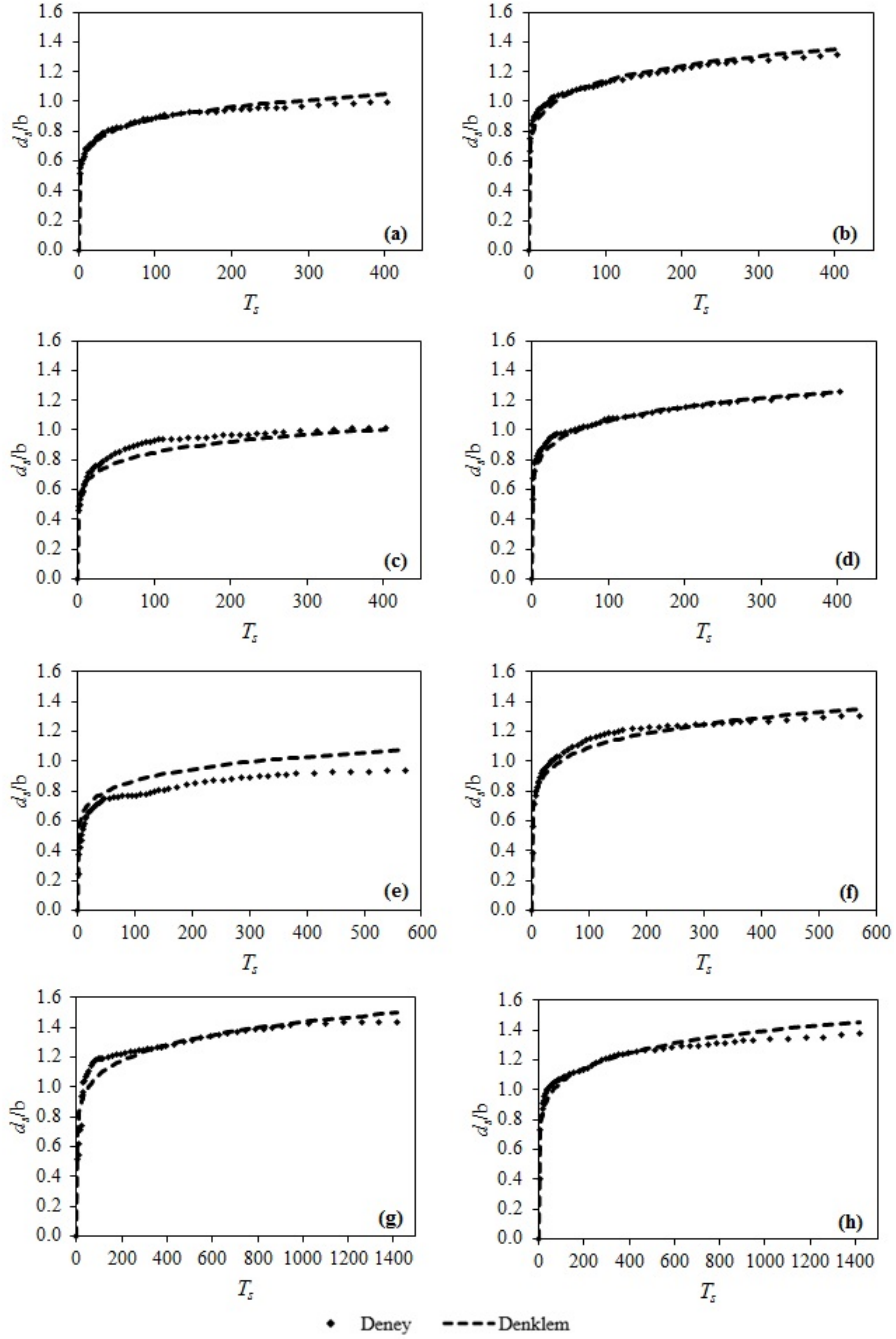
Burada, $T_s = tD_s(\Delta g D_{50})^{0.5}/b^2$ boyutsuz zaman olup daha önce orta ayak oyulma modellerinde kullanan Yanmaz ve Altınbilek (1991), Dey (1996) ve Yanmaz (2006) ile benzer şekilde hesaplanmıştır [1, 14, 27]. Denklem (5)'te m_i ve \bar{m} sırasıyla deneylerde ölçülen oyulma derinlikleri ve bu değerlerin ortalaması iken, p_i ve \bar{p} sırasıyla Denklem (4) ile hesaplanan oyulma derinlikleri ve bu değerlerin ortalamasıdır. Farklı akım şiddeti, ayak çapı ve ayaklar arası mesafe koşullarını temsil eden denklemin determinasyon katsayısı oldukça yüksektir. Denklem (4) medyan dane çapı $D_{50} = 0.88$ mm olan taban malzemesi ve λ değerinin 0.25 – 0.50 aralığında olduğu durumlar için geçerlidir. Deneysel ölçülen oyulma derinlikleri Denklem (4) sonuçları ile kıyaslanmıştır. Makale boyutunu büyütmemek için, örnek olarak sadece sekiz deneyin sonuçları grafik ortamında kıyaslanmış ve Şekil 6'da sunulmuştur. Denklem (4) ile hesaplanan ampirik denklem sonuçları, $\lambda = 1.65$ değerine sahip kuvars kum tabanda, deneysel çıktılar ile tatmin edici seviyede uyumludur. Denklem (4) kullanılarak Şekil 6'da sunulan eğrilerin saçılma indisleri (SI) Denklem (6) ile hesaplanmıştır ve bu değerler sırasıyla şöyledir: (a) 0.04, (b) 0.05, (c) 0.04, (d) 0.05, (e) 0.04, (f) 0.05, (g) 0.06 ve (h) 0.06. Bu değerlerin oldukça küçük olması, test verisinin uyum çizgisi etrafında kümelenildiğini göstermektedir. Yine Şekil 6'da sunulan deneylerin hata standart sapmaları (HSS) ise Denklem (7) ile hesaplanmıştır ve bu değerler sırasıyla şöyledir: (a) 0.02, (b) 0.03, (c) 0.04, (d) 0.03, (e) 0.04, (f) 0.06, (g) 0.08 ve (h) 0.06. Burada, d_s/b boyutsuz parametresinin en düşük ve en yüksek değer aralığının genişliği göz önünde bulundurulduğunda, hesaplanan hata standart sapma değerleri (0.02-0.08) göreceli olarak oldukça düşüktür.

$$SI = \frac{\left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n-1}} \right]}{\bar{p}} \quad (6)$$

$$HSS = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (m_i - p_i) - \overline{(m_i - p_i)} \right]}{n-1} \quad (7)$$

Literatürde, ikili ayak gruplarında önceden yapılan çalışmaların bulguları ile Denklem (4)'ün kıyaslanması mümkün olmamıştır. Zira, önceki çalışmalarda denge oyulma derinliğine ulaşılmış veya yaklaşılmışken mevcut çalışmada oyulmanın başlangıç ve gelişme aşamaları içinde zamansal gelişimi üzerinde durulmuştur. Literatürde oyulmanın zamansal gelişimi üzerinde durulan sayısal çalışmada [22] ise 100 dakikada denge oyulma derinliğine ulaşıldığı ifade edilmiş olup bu süre fiziki model koşullarında gerçek dışıdır; dolayısıyla bir kıyaslama yapılmamıştır. Benzer çalışmalar gelecekte yapıldığı takdirde, mevcut çalışmanın bulguları ile bir karşılaştırma imkanı olacaktır.

İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi



Şekil 6. Deneysel veriler ve bunlardan elde edilen oyulma tahmin denkleminin kıyaslaması
(a) R1-8, (b) R1-12, (c) R2-8, (d) R3-12, (e) R4-8, (f) R5-12, (g) R6-10 ve (h) R7-10

6. SONUÇ

Akım doğrultusuna paralel konumlanmış ikili silindir ayaklar etrafında maksimum temiz su oyulması derinliğini hesaplamak için bir ampirik denklem üretilmiştir. Deneysel verilerden üretilen ampirik denklem deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ampirik denklemin zamana bağlı maksimum oyulma derinliği için tatmin edici tahminler sunduğu görülmüştür.

Arka arkaya konumlanmış ikili ayaklarda maksimum oyulma derinliği her zaman ön ayağın memba yüzünde oluşmaktadır. Ön ayağın yanal eksenindeki oyulma derinlikleri aynı ayağın memba yüzündeki oyulma derinliklerinden, arka ayağın yanal eksenindeki oyulma derinlikleri ise ön ayağın memba ve yanal eksenindeki oyulma derinliklerinden her zaman daha düşüktür. Belirli akım şiddeti ve λ değerinde, maksimum oyulma derinliği ayak çapı büyüdükçe artmaktadır. Ayrıca, belirli ayak çapı ve λ değerinde, maksimum oyulma derinliği akım şiddeti büyüdükçe artmaktadır. Ek olarak, belirli ayak çapı ve akım şiddetinde, maksimum oyulma derinliği λ değeri büyüdükçe artmaktadır. Bu durum, ayak gruplarında güçlendirme mekanizmasının bir sonucudur. Ayrıca, güçlendirme mekanizması kuvvetinin λ değeri azaldıkça düştüğü gözlenmiştir. Arka ayağın membaındaki oyulma derinliği, ön ayağın mansabına kıyasla her zaman daha düşüktür. Bu durum, ayak gruplarında siperleme mekanizmasının sonucudur. Ayaklar arasında birikme bölgesinin pik noktası zaman içinde yer değiştirmemektedir. Her iki ayağın da memba ve mansabında boyuna taban eğimleri zaman içinde sabit kalmaktadır. Ayakların memba taban eğimleri birbiriyle neredeyse aynı olup yaklaşık olarak taban malzemesinin iç sürtünme açısına eşittir. Ayakların mansap taban eğimleri de yine birbirine neredeyse eşittir. Böylece, arka arkaya konumlanmış ikili ayaklar etrafında birleşik oyulma çukuru şeklinin zamandan bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Ampirik denklemin λ değeri için önerilen uygulama aralığı 0.25 – 0.50'dir. Deneysel verilerden üretilen ampirik denklem deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ampirik denklemin zamana bağlı maksimum oyulma derinliği için tatmin edici tahminler sunduğu görülmüştür.

Semboller

- b = ayak çapı;
 D_{50} = medyan dane çapı;
 d = merkezden merkeze ayaklar arası mesafe;
 d_0 = yaklaşım akım derinliği;
 d_s = oyulma derinliği;
 F_d = yoğunluk dane Froude sayısı;
 g = yerçekimi ivmesi;
 HSS = hata standart sapması;
 i = akım doğrultusuna dik ayak sayısı;
 j = akım doğrultusuna paralel ayak sayısı;
 m_i = deneylerde ölçülen oyulma derinlikleri;

İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi

- \bar{m} = deneylerde ölçülen oyulma derinliklerinin ortalaması;
 p_i = denklem ile hesaplanan oyulma derinlikleri;
 \bar{p} = denklem ile hesaplanan oyulma derinliklerinin ortalaması;
 Q = akım debisi;
 R^2 = determinasyon katsayısı;
 SI = saçılma indisi;
 T_s = boyutsuz zaman;
 t = zaman;
 t_e = denge zamanı;
 u = ortalama yaklaşım akımı hızı;
 u_c = tabanda hareketi başlatan ortalama yaklaşım akım hızı;
 u_{*c} = kritik kayma gerilmesi hızı;
 x = akım doğrultusuna paralel koordinat;
 y = akım doğrultusuna dik koordinat;
 z = kanal tabanına dik koordinat;
 A = bağıl batmış yoğunluk;
 λ = ayak çapının ayaklar arası mesafeye oranı;
 ρ = su yoğunluğu;
 ρ_s = taban malzemesi yoğunluğu;
= deney tekrarlanma sayısı.

Kaynaklar

- [1] Yanmaz, A. M., Altınbilek, H. D., Study of time dependent local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(10), 1247–1268, 1991.
- [2] Nazariha, M., Design relationships for maximum local scour depth for bridge pier groups. PhD thesis, University of Ottawa, Ottawa, Canada, 1996.
- [3] Köse, Ö., Yanmaz, A. M., Scouring reliability of bridge abutments. *Turkish Chamber of Civil Engineers Digest* 2010, 21, 1387–1402, 2010.
- [4] Yanmaz, A. M., Apaydın, M., Bridge scour risk assessment and countermeasure design. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 26(4), 499–506, 2012.
- [5] Yanmaz, A. M., Coşkun, F., Hydrological aspects of bridge design: Case study. *Journal of Irrigation Engineering*, 121(6), 1–8, 1994.

- [6] Kothyari, U., Garde, R., Ranga Raju, K., Temporal variation of scour around circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(8), 1091–1106, 1992.
- [7] Hager, W. H., Unger, J., Bridge pier scour under flood waves. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(10), 842–847, 2010.
- [8] Schillinger, M., Temporal pier scour evolution under stepped hydrographs. MSc thesis, University of Clemson, SC, 2011.
- [9] Kalantari, O., Time-dependent local scour of circular bridge pier. PhD thesis, The Graduate College at the University of Nebraska-Lincoln, NE, 2014.
- [10] Breusers, H. N. C., Nicollet, G., Shen, H. W., Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15(3), 211–252, 1977.
- [11] Melville, B., Chiew, Y., Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(1), 59–65, 1999.
- [12] Chabert, J., Engeldinger, P., Etude des affouillements autour des piles de ponts. Laboratoire National d’Hydraulique, Chatou, France, 1956.
- [13] Ettema, R., Scour at bridge piers. Rep. No.216, 1980.
- [14] Yanmaz, A. M., Temporal variation of clear water scour at cylindrical bridge piers. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33(8), 1098–1102, 2006.
- [15] Ataie-Ashtiani, B., Beheshti, A. A., Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), 1100–1104, 2006.
- [16] Hannah, C. R., Scour at pile groups. Research Rep. No. 28-3. Civil Engineering Dept., Univ. of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 1978.
- [17] Hosseini, R., Amini, A., Scour depth estimation methods around pile groups. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 00(0000), 1–13, 2015.
- [18] Beg, M., Mutual interference of bridge piers on local scour. Proc. of ICSE2, Singapore, 111–118, 2004.
- [19] Melville, B. W., Coleman, S. E., Bridge scour. Highlands Ranch, Colorado, USA: Water Resources Publications, 2000.
- [20] Richardson, E. V., Davis, S. R., Evaluating scour at bridges. *Hydraulic Engineering Circular No:18, Report No: FHWA NHI 01-001*, FHWA, US. Dept. of Transportation, Washington, D.C, 2001.
- [21] Gao, P., Duan, M., Zhong, C., Yuan, Z., Wang, J., Current induced scour around single piles and pile groups. Proc. of 23rd International Offshore and Polar Engineering, Alaska, USA, 9, 472-477, 2013.
- [22] Kim, H. S., Nabi, M., Kimura, I., Shimizu, Y., Numerical investigation of local scour at two adjacent cylinders. *Advances in Water Resources*, 70, 131–147, 2014.
- [23] Yanmaz, A.M. Köprü hidrolöği, Ankara: ODTÜ Yayıncılık, 2002.
- [24] Hoffmans, G., Verheij, H. J., Scour manual. Rotterdam, Netherlands: Balkema, 1977.

- [25] Selamoğlu, M., Modeling temporal variation of scouring at dual bridge piers. PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2015.
- [26] Yanmaz, A. M., Time-dependent analysis of clear-water scour around bridge piers. PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1989.
- [27] Dey, S., Sediment pick-up for evolving scour near circular cylinders. *Applied mathematical modelling*, 20(7), 534–539, 1996.

Sığ Rijit Tabaka Üzerinde Yer Alan Kohezyonsuz Zeminlerdeki Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü Hakkında Sayısal Modelleme Esaslı Parametrik Bir Çalışma

Güneş BABAGİRAY¹
Sami Oğuzhan AKBAŞ²

ÖZ

Sığ derinlikte rijit tabaka içeren kohezyonsuz zeminlerdeki yüzeysel temellerin taşıma gücü, temel genişliği ve şekli, rijit tabaka derinliği ve zemin içsel sürtünme açısı değişkenlerinin etkisinde, sonlu elemanlar yöntemi ile parametrik olarak irdelenmiştir. Kullanılan sonlu elemanlar yönteminin ne derecede gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğunun belirlenebilmesi için Texas A&M Üniversitesi'nde, genişlikleri 1 m ve 3 m arasında değişen sığ temeller üzerinde gerçekleştirilen yükleme deneylerinin sonuçlarından faydalanılmıştır. Dört farklı içsel sürtünme açısı (32°, 35°, 40°, 45°) ve temel genişliği (B=1m, 1.5m, 2.5m, 3m) ile kare/dairesel ve şerit temeller için rijit tabakanın taşıma gücü üzerindeki etkisinin ortadan kalkacağı kritik derinliği etkileyen faktörler araştırılmıştır. Modellemeler, beklenildiği üzere artan derinlikle rijit tabakanın etkisinin azalmakta olduğunu göstermekle birlikte, söz konusu etkinin daha önce açık şekilde etkileri ortaya konulmamış olan içsel sürtünme açısı, temel genişliği ve şekli ile ilişkileri ortaya konularak, tasarım abakları oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yüzeysel (sığ) temeller, taşıma gücü, rijit tabaka etkisi, sonlu elemanlar yöntemi.

ABSTRACT

A Numerical Modelling Based Parametric Study on the Bearing Capacity of Shallow Foundations on Cohesionless Soils Underlain by a Shallow Rigid Layer

A finite element-based parametric study was conducted to examine the effect of shallow rigid layer on the bearing capacity of shallow foundations in cohesionless soils considering footing width, shape, rigid layer depth, and the effective stress friction angle of the soil. The results of full-scale load tests on footings with widths that range between 1 m and 3 m conducted in the National Instrumentation Site at Texas A&M University were used to calibrate the finite

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 23.10.2015 günü ulaşmıştır. 18.04.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mart 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.345394

1 Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - gunesaydin@gazi.edu.tr

2 Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - soakbas@gazi.edu.tr

element models. The factors that influence the critical depth at which the rigid layer has no more influence on the bearing capacity of square/circular and strip footings were investigated for a series of drained friction angles (32°, 35°, 40°, 45°) and footing widths (B=1m, 1.5m, 2.5m, 3m). As expected, results indicate a diminishing rigid layer effect with increasing depth, but more importantly, the influences of drained friction angle, footing width and shape that have not been previously examined in detail, were revealed and presented in the form of design charts.

Keywords: Shallow foundations, bearing capacity, rigid layer effect, finite element method.

1. GİRİŞ

Yüzeysel temellerin etki derinliği içerisinde bulunan zemine kıyasla rijit bir tabakanın taşıma gücü faktörü N_γ ve buna bağlı olarak taşıma gücü üzerindeki etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur [1, 2, 3, 4]. Bu konudaki ilk çalışmalarda [örn. 1] söz konusu etki derinliği (H) temel genişliğine (B) eşit olarak değerlendirilerek, rijit tabakanın temel genişliğinden büyük bir derinlikte olduğu durumlarda taşıma gücü faktörü N_γ 'da herhangi bir düzeltmeye ihtiyaç duyulmamıştır. Daha yakın tarihli bir çalışmada [3] ise genişlikleri 50 mm ile 500 mm arasında değişen model ve prototip ölçekli temellerin farklı derinliklerde rijit tabaka üzerinde yer alan kohezyonsuz zeminlerdeki yükleme sonuçları derlenmiş, rijit tabaka etkisinin yaklaşık $H/B = 1.5$ değerinde ortadan kalktığı ortaya konulmuştur. Şaşırtıcı biçimde, aynı çalışmada, derlenen sonuçlar dışında, $H/B = 0.5-4.0$ aralığında, rölatif sıklığı %24, %57 ve %87 olacak şekilde hazırlanmış kum zemin üzerinde genişlikleri 0.102 m ile 0.457 m arasında değişen rijit model kare ve dairesel temeller üzerinde yapılan yükleme deneylerinde ise kritik H/B oranının 3'e kadar yükseldiği gözlenmiştir. Mevcut çalışmanın yazarları tarafından 100 mm genişlikte, uzunluğu ise 100 mm ile 400 mm arasında değişen kare ve dikdörtgen model temeller üzerinde gerçekleştirilen yükleme deneylerinde de, Cerato ve Lutenegeger [3] tarafından elde edilen sonuçları destekleyecek şekilde kritik H/B değerinin 2.0-2.5 mertebelerine ulaşabildiği gözlenmiştir [4]. Söz konusu daha yüksek H/B oranının sebebi için bir hipotez, literatürden toplanan deney verilerinin temiz, kötü derecelenmiş kumlar, son iki çalışmanın [3, 4] ise iyi derecelenmiş kum üzerinde gerçekleştirilen deneylere ait olmasıdır. İyi derecelenmiş kumda daha yüksek içsel sürtünme açısına ulaşarak, yenilme yüzeyinin derine doğru itilmesi olasılığı mevcuttur. Rölatif sıklık (D_r) ya da efektif içsel sürtünme açısının (ϕ') rijit tabaka etkisi ile ilişkisi, rijit tabaka mevcudiyetindeki taşıma gücü faktörü (N_γ^*) ile doğal N_γ arasındaki oranın (δ), 101.6 mm çapındaki temellerde, değişen rölatif sıklıkta daha önce hiçbir çalışmada tanımlanmadığı şekilde farklı değerler alması ile de ortaya konulmuştur [3]. Taşıma gücü faktörü N_γ 'nın birçok araştırmacı tarafından [örn. 5, 6] belirlendiği üzere, boyut etkisi olarak da nitelendirilen bir biçimde temel genişliğinin bir fonksiyonu olması bu ilişkileri daha da karmaşık hale getirmektedir.

Yukarıda yer verilen araştırma sonuçları incelendiğinde, rijit tabaka etkisi ile rölatif sıklık arasındaki ilişkiye sadece bir araştırmada ve model veya prototip ölçekteki temelleri içeren son derece sınırlı deneysel veri ile işaret edildiği, bunun dışında δ değerinin temel şekli ve genişliğine bağlı olup olmadığının anlaşılabilmesi için literatürde Cerato ve Lutenegeger [3] tarafından da ifade edildiği üzere yeterli veri bulunmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu noktalardan hareket ederek, özellikle gerçek temel boyutlarındaki davranışı temsil edebilmek amacı ile, mevcut çalışmada sığ derinlikteki rijit tabaka üzerinde bulunan yüzeysel temellerin

taşıma gücü, temel genişliği ve şekli, rijit tabaka derinliği ve zemin içsel sürtünme açısı değişkenlerinin etkisinde, PLAXIS 2-D paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile sayısal modelleme gerçekleştirilerek irdelenmiştir. Sonuçların genelleştirilmesinde en kritik nokta kullanılan sonlu eleman yönteminin ne derecede gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğunun belirlenebilmesi olduğundan, kalibrasyon için Texas A&M Üniversitesi'nde, genişlikleri 1 m ve 3 m arasında değişen sığ temeller üzerinde gerçekleştirilen yükleme deneylerinden [7] faydalanılmıştır.

2. YÜZEYSEL TEMEL YÜKLEME DENEYLERİ

Texas A&M Üniversitesi Geoteknik Test Alanı'nda yapılan eksenel yükleme deneyleri, yaklaşık 0.75 m derinlikteki, 1 m, 1.5 m, 2.5 m ve iki adet 3 m genişlikte ve 1.2 m kalınlıkta kare betonarme temeller üzerinde gerçekleştirilmiştir [7]. Literatürde az sayıda rastlanabilen büyük ölçekli yükleme uygulamalarından biri olmaları dışında, bu testlerin mevcut çalışmada kıyaslama ölçütü olarak seçilmesinin nedenleri, yükleme gerçekleştirilen zeminin çok sayıda saha ve laboratuvar deneyi yardımı ile son derece detaylı biçimde karakterize edilmiş olması ve yük-deformasyon ölçümlerinin kalitesinin yüksekliğidir. Test alanında 6 adet standart penetrasyon testi (SPT), 5 adet konik penetrasyon testi (CPT), 4 adet presiyometre testi (PMT) ve 3 adet sondaj kuyusu kesme testi (BHST) gerçekleştirilmiştir. Temellerin ve saha testlerinin yerleşim planları ve bazı zemin testlerinin özet profilleri Şekil 1'de görülmektedir. Zemin modülü PMT ve rezonant kolon deneyleriyle, içsel sürtünme açıları ise BHST, CPT ve SPT testleriyle belirlenen test alanındaki siltli kum zemin için, ortalama dane çapı $D_{50}=0.2$ mm, ortalama SPT darbe sayısı 18 darbe/0.3m, CPT uç mukavemeti 6 MPa, PMT limit basıncı 800 kPa, PMT modülü 8.5 MPa, BHST içsel sürtünme açısı 32° , birim hacim ağırlık 15.5 kN/m^3 olarak belirlenmiştir [7]. Test alanında yeraltı su seviyesi yaklaşık 5 m derinliktedir. Yükleme testleri boyunca temellerin yaptığı deplasmanlar, LVDT (Doğrusal Değişken Fark Dönüştürücü) ile ölçülmüştür. Ortalama 30 dakikalık süre boyunca sabit artan yükleme yapılarak, her temel için yük-oturma eğrileri elde edilmiştir. 150 mm oturma değerine kadar gerekli olan yükler, 1 m, 1.5 m, 2.5 m, 3 m boyutlarındaki temeller için sırasıyla 1740 kN, 3400 kN, 7100 kN ve 9625 kN olarak belirlenmiştir [7].

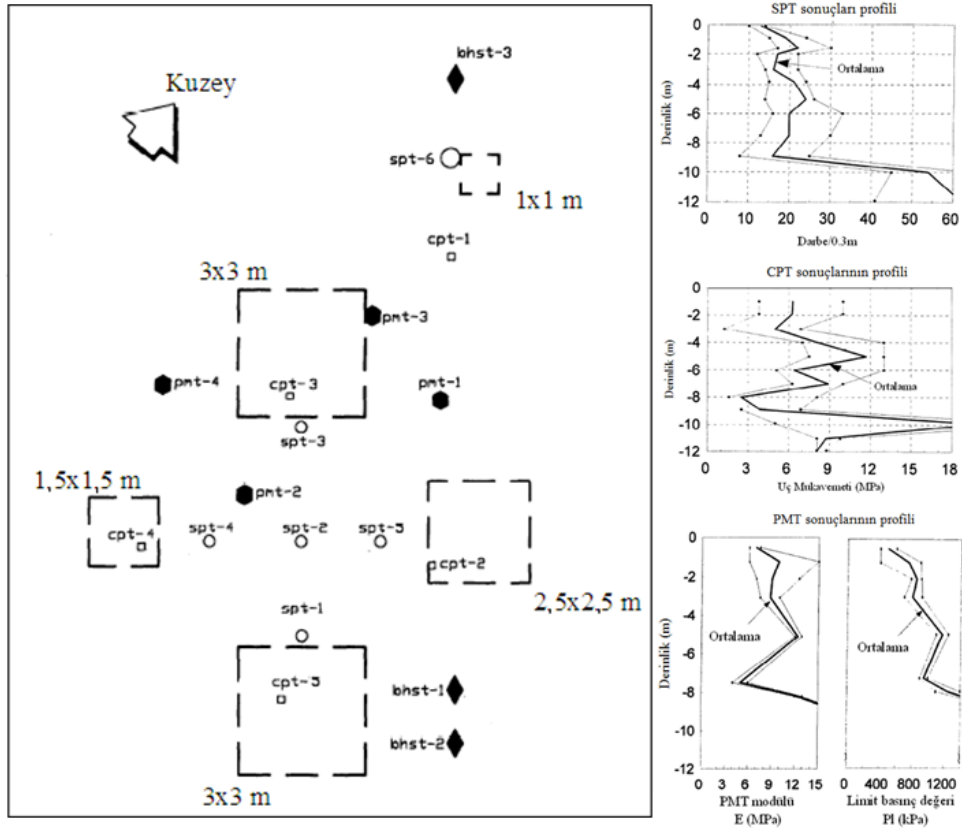
3. SONLU ELEMAN MODELİ KALİBRASYONU VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Sonlu eleman analizlerinde güvenilir sonuçlara ulaşılabilmesi için, zeminin davranışını yeterince iyi temsil edebilecek gerilme-birim deformasyon ilişkileri kullanmanın son derece önemli olduğu açıktır. Çoğu zemin, bir hiperbol ile yaklaşık olarak tasvir edilebilen, düşük birim deformasyonlarda dahi doğrusal olmayan gerilme-birim deformasyon eğrilerine sahiptir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen sonlu eleman analizlerinde de zemin davranışı, modülün gerilmeye bağlı olduğu hiperbolik bir model olan "Hardening Soil Model" (Pekleşen Zemin Modeli) ile tanımlanmıştır [8]. Model hakkında detaylı bilgi çeşitli kaynaklarda verilmektedir (örn. [9]).

Texas A&M Geoteknik Test Alanı'nda bulunan siltli kumun, mümkün olduğu kadar gerçekçi şekilde modellenebilmesi için, sonlu eleman analizlerinde kullanılan malzeme

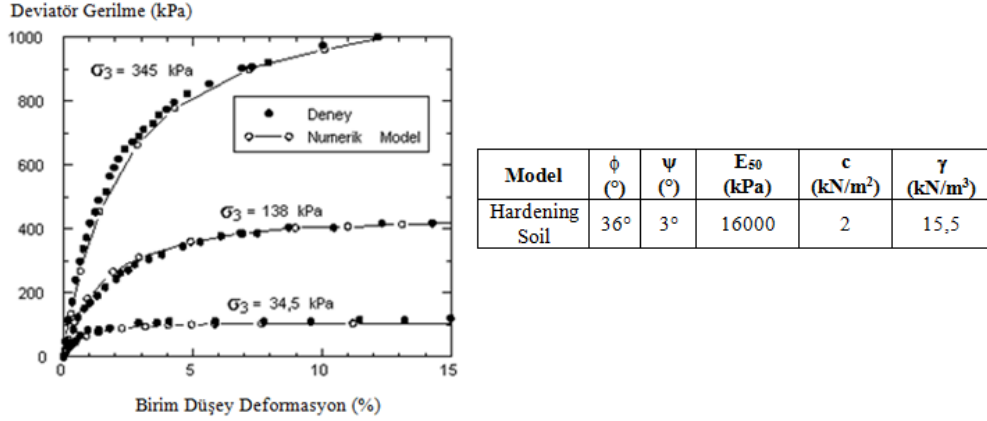
parametrelerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede sonuçları kullanılan testlerden en önemlileri, üç değişik efektif çevre basıncı (34.5 kPa, 138 kPa, 345 kPa) altında gerçekleştirilen konsolidasyonlu–drenajlı (CD) üç eksenli basınç testleridir. Bu testler, presiometre ve rezonant kolon deneyleri sonuçlarından yararlanılarak tespit edilen zemin modülü ile sondaj deliği kesme testi, konik penetasyon ve standart penetasyon testleri sonuçlarından elde edilen içsel sürtünme açıları da temel alınarak, sonlu eleman yöntemi ile modellenmiştir. Gerçekleştirilen parametrik analizler sonucunda, pekleşen zemin modeli ile zemin içsel sürtünme açısı 36° , dilatasyon açısı 3° , zemin modülü 16000 kPa, kohezyon 2 kN/m², birim hacim ağırlık ise 15.5 kN/m³ seçildiğinde, deneyler ile son derece uyumlu eğrilerin elde edildiği ortaya çıkmıştır (Şekil 2). Deneysel olarak elde edilen gerilme–birim deformasyon eğrilerinin, sonlu eleman analizlerinden elde edilenler ile yüksek uyumlu olmasını sağlayan söz konusu zemin parametrelerinin sonlu eleman modellemelerinde kullanılması uygun bulunmuştur.



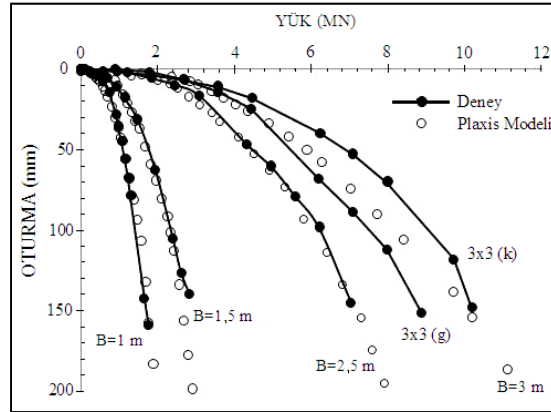
Şekil 1. Temellerin ve saha deneylerinin konumları ve zemin test profilleri [7]

Analizlere yönelik zemin parametrelerinin yukarıda anlatıldığı şekilde belirlenmesinin ve kullanılan zemin modelinin uygunluğunun teyit edilmesinin ardından, Texas A&M Üniversitesi'nde gerçekleştirilen B=1 m, 1.5 m, 2.5 m, 3 m boyutlarındaki kare temellerin

yüklemeye deneylerindeki davranışları da sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Sonlu eleman programının iki boyutlu modelleme sınırlaması sebebi ile aksel simetriden yararlanılarak kare temeller, eşdeğer dairesel temele dönüştürülmüş ve sistemin yalnızca 1/4'ü modellenmiştir. Testler ve sonlu eleman modelinden elde edilen sonuçlar Şekil 3'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Üç eksenli basınç testinin sonuçlarının sonlu elemanlar modellemesi ile karşılaştırması ve modellemede kullanılan parametreler



Şekil 3. Sonlu elemanlar analizi ve yüklemeye deneyleri sonucunda elde edilen yük-oturma grafikleri

Beş yüklemeye deneyi için de yeterince uyumlu olarak ortaya çıkan bu sonuçlar, kullanılan sonlu eleman yönteminin ve hiperbolik zemin modelinin, kohezyonsuz zeminler üzerinde yer alan aksel basınç altındaki sığ temellerin davranışını mevcut çalışma için yeterince başarılı bir şekilde temsil edebildiğini göstermektedir.

4. RİJİT TABAKA ETKİSİ VE MODELLEME SONUÇLARI

4.1. Kare ve Dairesel Temeller

Çeşitli koşullar ve geometrilerde, temel altında yer alan rijit tabaka varlığının etkisini yitirdiği kritik derinliği belirlemek üzere sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar ile efektif içsel sürtünme açısının (ϕ'), temel boyutlarının (B) ve rijit tabaka derinliğinin (H), sığ rijit tabaka üzerinde yer alan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

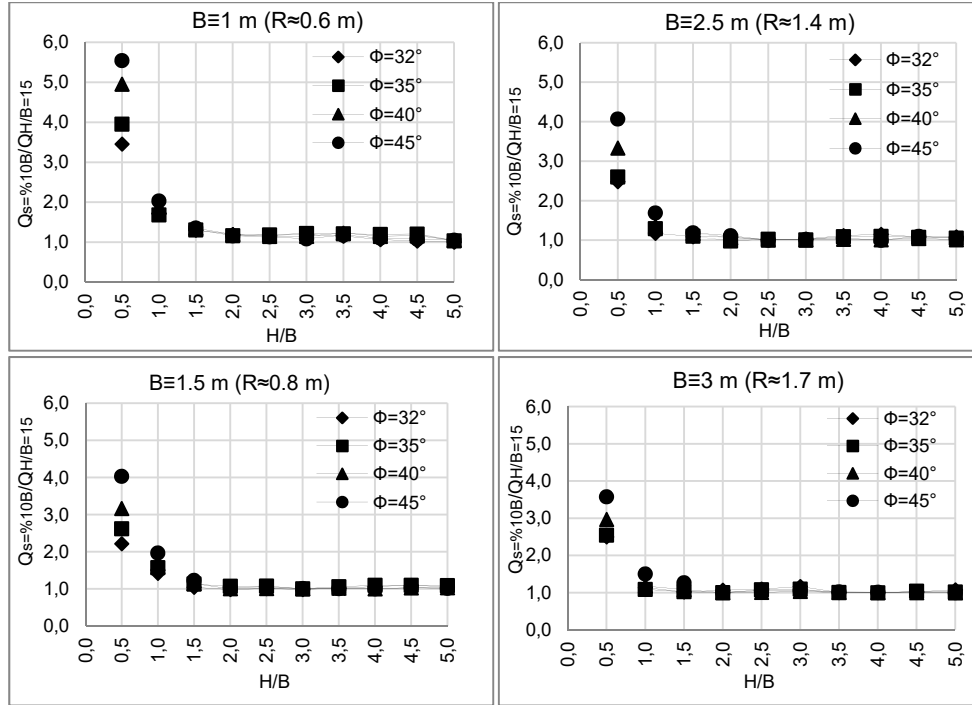
Modellenen kare temel genişlikleri (B) ve rijit tabakanın temele uzaklıkları (H) Tablo 1'de özetlenmiştir. İçsel sürtünme açılarının etkilerini değerlendirebilmek için, tüm temeller sırasıyla 32°, 35°, 40° ve 45° içsel sürtünme açısına sahip kum tabakalar üzerinde yer almaktadır. H/B=15, rijit tabakanın temeli etkilemeyecek kadar derinde olduğu uzaklığı temsil etmektedir.

Kohezyonsuz zeminlerde zemin modülü (E) değerinin artan rölatif sıklık, buna bağlı olarak da yükselen içsel sürtünme açısı ile daha büyük değerler alması beklenir. Gerçekleştirilen çalışmada sunulan sonuçlar çerçevesinde ise, inceleme konusu rölatif sıklık aralığında modülde ortaya çıkması beklenen değişimin sonuçlar üzerindeki etkisinin oldukça sınırlı olduğu, farklı modüller kullanılarak yapılan analizlerle belirlenmiştir. Bu sebeple ve özellikle diğer parametrelerin incelenen sonuçlara etkisini daha rahat çözümleyebilmek amacı ile tüm analizlerde pekleşen zemin modeli modülleri sabit kabul edilerek içsel sürtünme açısı ile değişimleri ihmal edilmiştir.

Tablo 1. Modellemelerde kullanılan B ve H boyutları

B=1 m (R≈0.6 m)		B=1.5 m (R≈0.8 m)		B=2.5 m (R≈1.4 m)		B=3 m (R≈1.7 m)	
H/B	H(m)	H/B	H(m)	H/B	H(m)	H/B	H(m)
0.50	0.50	0.50	0.75	0.50	1.25	0.50	1.50
1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	2.50	1.00	3.00
1.50	1.50	1.50	2.25	1.50	3.75	1.50	4.50
2.00	2.00	2.00	3.00	2.00	5.00	2.00	6.00
2.50	2.50	2.50	3.75	2.50	6.25	2.50	7.50
3.00	3.00	3.00	4.50	3.00	7.50	3.00	9.00
3.50	3.50	3.50	5.25	3.50	8.75	3.50	10.50
4.00	4.00	4.00	6.00	4.00	10.00	4.00	12.00
4.50	4.50	4.50	6.75	4.50	11.25	4.50	13.50
5.00	5.00	5.00	7.50	5.00	12.50	5.00	15.00
15.00	15.00	15.00	22.50	15.00	37.50	15.00	45.00

Tüm modellemelerde sınır etkilerinin ihmal edilebilir düzeylere çekilebilmesi amacıyla, modellenen zemin en az 15 m genişlikte seçilmiştir. Farklı H/B oranlarında temel genişliğinin %10'u değerindeki oturmalara ($s=\%10B$) denk gelen ve nihai taşıma gücünü temsil eden yük değeri, $Q_{s=\%10B}$ ile gösterilmiştir. H/B=15 oranındaki, diğer bir deyişle sığ rijit tabaka etkisinin bulunmadığı durumda $s=\%10B$ ' ye karşılık gelen yük değeri ise, $Q_{H/B=15}$ ile ifade edilmiştir. Nihai taşıma gücünün tanımlanmasında oturmaların temel genişliğinin %10'u olarak seçilmesinin herhangi bir teorik altyapısı bulunmamakla birlikte, kolay hatırlanabilir ve göçme durumundaki ortalama zemin birim deformasyonuna yakın bir değer olması ile farklı boyutlardaki temelleri benzer şekilde değerlendirebilmesi açısından bunun yararlı bir yaklaşım olduğu söylenebilir [3,4]. Analiz sonuçlarına göre, kare (eşdeğer dairesel) temelerde $Q_{s=\%10B}/Q_{H/B=15}$ (δ) oranlarının rijit tabaka mesafesinin temel genişliğine oranı (H/B) ile değişimi, içsel sürtünme açıları da dikkate alınmak üzere, Şekil 4'te gösterilmiştir.

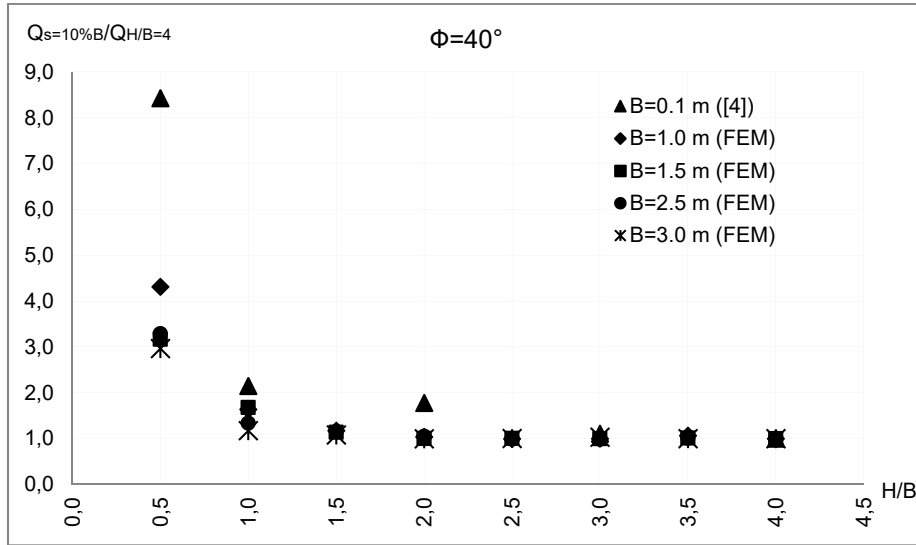


Şekil 4. Kare temelerde farklı temel genişlikleri ve içsel sürtünme açıları için sonlu eleman analizlerine göre $H/B - Q_{s=\%10B} / Q_{H/B=15}$ ilişkisi

Şekil 4 incelendiğinde, analiz edilen temel genişlikleri için, kritik H/B değerinin büyük ekseriyetle ve hemen hemen tüm koşullarda güvenli bir biçimde 1.5 mertebesinde kabul edilebileceği görülebilmektedir. Bu değer, Cerato ve Lutenegger [3] ile Babagiray vd. [4] tarafından gerçekleştirilen model ölçekli güncel çalışmalarda belirlenen kritik tabaka derinliğinden daha düşük olmakla birlikte, Cerato [10] tarafından derlenen daha eski tarihli veri seti ile uyumlu olduğu göze çarpmaktadır. Şekil 4'te yüksek içsel sürtünme açısı (40°-45°) ve düşük temel genişliğine sahip modellerin söz konusu genellemenin bir miktar dışında

kaldığı ve kritik H/B değerinin bu şartlarda 2.0 seviyesine kadar yükseldiği anlaşılmaktadır. Şekil 4'ten açıkça görüldüğü kadarı ile, kritik H/B değeri içsel sürtünme açısı ile yükselmekte, artan temel genişliği ile azalmaktadır. Cerato [10], gerçekleştirdiği model deneyler sonucunda, 304.8 mm genişlikteki temelin 101.6 mm genişliğine oranla çok daha düşük δ değerine sahip olduğunu belirterek, kritik H/B'nin temel genişliğine bağlı olabileceği savını ortaya koymuştur. Şekil 5'te mevcut çalışmanın 40° içsel sürtünme açısı için sonuçları, Babagiray vd. [4] tarafından 0.1 m genişlikte kare temeller için ($\phi = 41.6^\circ$) elde edilen deneysel veri noktaları da eklenerek sunulmaktadır. Her ne kadar etkisi son derece küçük olsa da, deneysel veriler H/B = 4 ile sınırlı olduğundan, δ hesaplanırken $Q_{H/B=15}$ yerine $Q_{H/B=4}$ ile oranlandığı gözden kaçırılmamalıdır. Şekil 5'ten de kolayca görülebileceği üzere, temel genişliği özellikle düşük rijit tabaka derinliklerinde δ üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu sonuç, daha önce son derece küçük bir aralıktaki temel genişliklerini kapsayan sınırlı deneysel veriye dayalı olarak Cerato [10] tarafından öne sürülen bu iddiayı uygulamada kullanılan boyuttaki temeller için de destekler niteliktedir.

Yukarıda açıklanan davranış özellikleri ışığında, Cerato ve Lutenegger [3] ile Babagiray vd. [4] çalışmalarında, genişliği 0.1 m ile 0.5 m arasında değişen model temeller ve yüksek içsel sürtünme açısına sahip ve buna bağlı olarak yenilme yüzeyinin daha derinde oluştuğu iyi derecelenmiş kum kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu araştırmalarda elde edilen 2.0–3.0 aralığındaki yüksek H/B oran sınırları da açıklanabilmektedir.



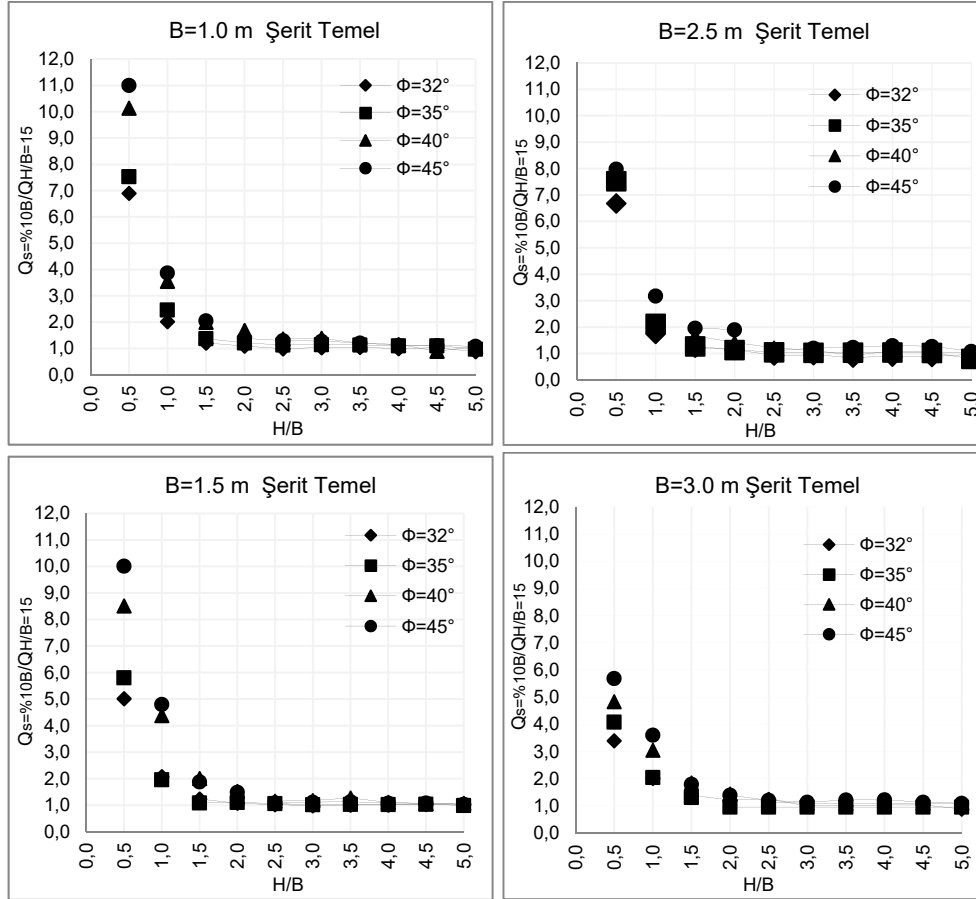
Şekil 5. $\phi = 40^\circ$ için farklı genişliklerdeki kare temellerde $H/B - Q_s = 10\%B / Q_{H/B=4}$ ilişkisi

4.2. Şerit Temeller

Cerato [10], üç farklı sıklıkta kum kullanarak, 101.6 mm genişliğe sahip kare ve dairesel temeller üzerinde gerçekleştirdiği deneyler sonucunda, kritik H/B oranının temel şekliyle bağımsız olduğunu belirlemiştir. Söz konusu çalışmada dikdörtgen temellere yer verilmemesinden yola çıkan Babagiray vd. [4] ise B/L oranı 1 ile 4 arasında değişen temelleri

aynı çerçevede incelemiş ve rijit tabaka mevcudiyetinde, kare ile dikdörtgen temellerin değerlendirilmesinde Terzaghi [11] tarafından önerilen şekil faktörlerinin kullanımını önermişlerdir. Bu analizlerin sadece model temeller üzerinde gerçekleştirilmiş olmasından hareket ile, sıg rijit tabaka varlığında şekil etkisi hususunun da açıklığa kavuşturulması amacıyla, yukarıda özetlenen eksenel simetrik analizlere ek olarak şerit temelleri de değerlendirebilmek için düzlem birim deformasyon şartları altında sonlu eleman modelleri de incelenmiştir. Bu modellemelerde de kullanılan içsel sürtünme açıları önceki analizler ile uyumlu olarak sırasıyla, 32°, 35°, 40° ve 45°'dir. Böylelikle, şerit temeller altında bulunan rijit tabakanın etkisini kaybettiği derinlik de içsel sürtünme açısı (ϕ) ve temel genişliği (B) değişkenleri dikkate alınarak araştırılmıştır.

Şerit temeller için, $Q_{s=\%10B}/Q_{H/B=15}$ (δ) oranlarının rijit tabaka mesafesinin temel genişliğine oranı (H/B) ile değişimi, içsel sürtünme açıları da dikkate alınmak üzere, Şekil 6'da gösterilmiştir.



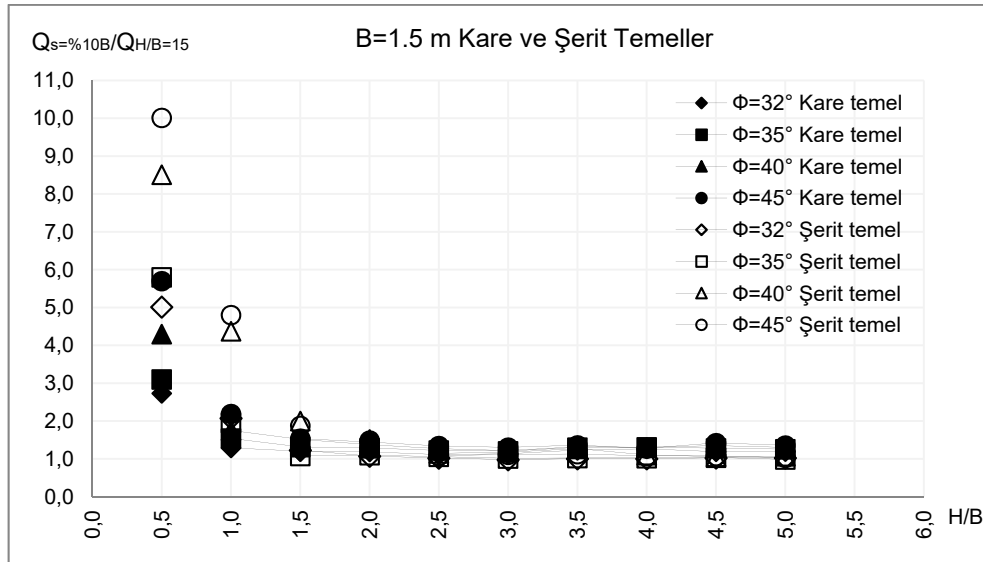
Şekil 6. Şerit temellerde farklı temel genişlikleri ve içsel sürtünme açıları için sonlu eleman analizlerine göre $H/B - Q_{s=\%10B}/Q_{H/B=15}$ ilişkisi

Şekil 6 incelendiğinde, şerit temelerde rijit tabaka üzerinde davranışın kare temeller ile büyük oranda paralellik göstermekle birlikte, sayısal açıdan farklar taşıdığı anlaşılmaktadır. Öncelikle δ , aynı genişlikte temeller göz önünde bulundurulduğunda, şerit temelerde daha yüksek değerler almaktadır. Bu durum Şekil 7'de 1.5 m genişlikte temeller için örneklenmiştir. Şerit temelerde de kritik H/B değeri artan genişlik ve azalan rölatif sıkılık veya içsel sürtünme açısı ile düşmektedir. Fakat, kare temellerden farklı olarak, kritik H/B değeri 2.0 mertebesinde ve yüksek içsel sürtünme açısı (40° - 45°) ve düşük temel genişliğine sahip modellerde 2.5-3.0 aralığında yer almaktadır.

Görüldüğü üzere, temel genişliği ve içsel sürtünme açısının etkisi benzer şekilde gerçekleşmekle birlikte, temel uzunluğunun genişliğine oranının artması ile rijit tabaka daha derin seviyelerde de yenilme yükü üzerinde etkili olabilmektedir. Sunulan tüm bu veriler ışığında, sığ rijit tabaka varlığında, Cerato ve Lutenegeger [3] veya Meyerhof [2] tarafından sınırlı genişlik aralığında yapılmış olan araştırmalar sonucu belirlenmiş olanın aksine, H/B oranı ve daha az önemli olsa da rölatif sıkılık veya içsel sürtünme açısından bağımsız bir şekil faktöründen bahsetmek mümkün görünmemektedir.

Mevcut çalışmada gerçekleştirilen modelleme şartları dikkate alındığında, kohezyonsuz zemin üzerinde, yüzeysel temel kabulü ile ve ayrıca taban eğim faktörleri, yük eğim faktörleri ve zemin eğim faktörleri taşıma gücü eşitliğinde dikkate alınmayacağından, herhangi bir H/B değeri için aynı genişlikteki kare ve şerit temellerin taşıma gücü oranları aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$\frac{q_{ult-kare}}{q_{ult-şerit}} = \frac{N_{\gamma-kare}^*}{N_{\gamma-şerit}^*} S_{\gamma} \quad (1)$$

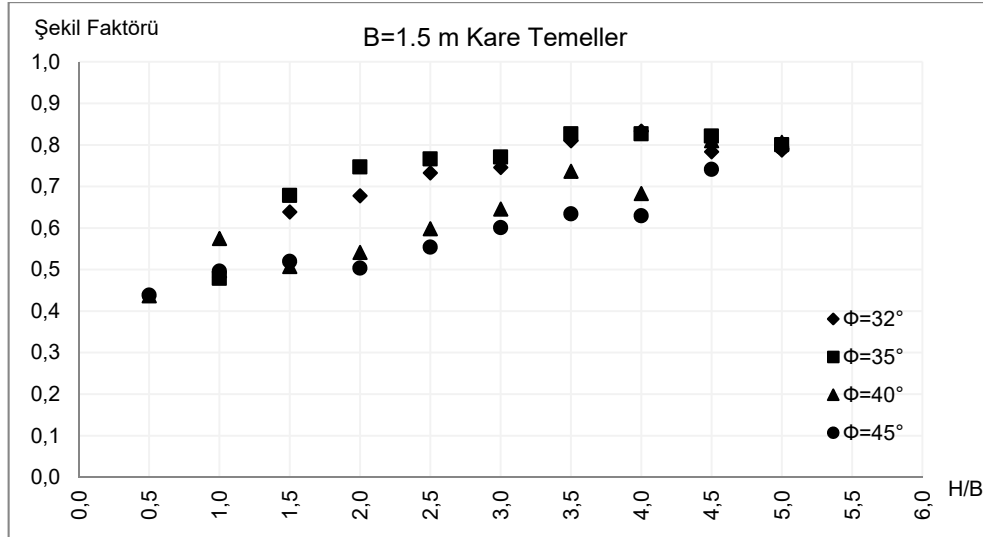


Şekil 7. 1.5 m genişlikte kare ve şerit temelerde farklı içsel sürtünme açıları için sonlu eleman analizlerine göre H/B-Qs=%10B/QH/B=15 ilişkisinin karşılaştırılması

Eşitlik 1’de $q_{ult-kare}$ ve $q_{ult-şerit}$ sırası ile aynı genişlikteki kare ve şerit temeller için nihai taşıma gücü basınçlarını, $N_{\gamma}^*_{kare}$ ve $N_{\gamma}^*_{şerit}$ ise sırası ile kare ve şerit temeller için belirli bir H/B değerinde rijit tabaka mevcudiyetindeki taşıma gücü faktörü değerlerini ifade etmektedir. Şerit temel için şekil faktörü genel yaklaşım ile uyumlu biçimde 1 kabul edilmiştir.

Şekil 7’de de görüldüğü üzere, rijit tabaka varlığında taşıma gücü değerleri şerit ve kare temeller için farklılık göstermektedir. Eşitlik 1 göz önünde bulundurularak, herhangi bir H/B değerindeki rijit tabaka mevcudiyetindeki taşıma gücü faktörünün sadece içsel sürtünme açısı ve rijit tabaka derinliğine bağlı olduğu kabulü yapılarak $N_{\gamma}^*_{kare}$ ve $N_{\gamma}^*_{şerit}$ değerleri eşit kabul edildiğinde, söz konusu fark sadece kare temel şekil faktörü s_{γ} ile açıklanabilir. Bu kabul ile hesaplanan kare temel şekil faktörleri Şekil 8’de sunulmaktadır.

Şekil 8’de görüldüğü üzere, herhangi bir H/B oranı için şerit ve kare temellerde sadece içsel sürtünme açısına bağlı bir N_{γ}^* değeri kabulü yapıldığında, kare temel şekil faktörü (s_{γ}), rijit tabaka derinliği ve içsel sürtünme açısına bağlı bir değişken halini almaktadır. Söz konusu şekil faktörü, rijit tabakanın etkisini yitirdiği yüksek H/B değerlerinde ise Terzaghi [11] tarafından kare temeller için önerilen 0.8 değerine yakınsamaktadır.



Şekil 8. 1.5 m genişlikte kare temellerde farklı içsel sürtünme açıları ve H/B değerlerinde şekil faktörü

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada sığ rijit tabaka mevcudiyetinin kohezyonsuz zeminler üzerindeki sığ temel taşıma gücü üzerindeki etkisi, kritik derinlik, temel şekli, temel genişliği ve zemin içsel sürtünme açısı değişkenleri çerçevesinde sonlu eleman yöntemi ile parametrik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

- Kohezyonsuz zeminlerde temel taşıma gücü üzerinde rijit tabaka etkisinin ortadan kalktığı derinlik olarak tanımlanan kritik derinliğe ait literatürde sunulan çelişkili

sonuçlara, zemin efektif içsel sürtünme açısı ve temel genişliğinin karşılıklı etkileşimi çerçevesinde bir açıklama getirilmiştir. Kritik H/B, artan rölatif sıklık ve azalan temel genişliği ile artma eğilimi göstermektedir. Söz konusu değerler yüksek rölatif sıklık ve küçük temel genişliklerinde kare temellerde 2.0'a kadar yükselebildiği anlaşılmıştır.

- Daha sık rastlanılan temel tasarım parametreleri ($\phi' < 40^\circ$, $B > 1$ m) söz konusu olduğunda ise rijit tabaka mevcudiyetinin kare temel taşıma gücü üzerindeki etkisi H/B, 1.5 değerini aştığında güvenle ihmal edilebilir.
- Daha önce çeşitli araştırmacılar tarafından öne sürülen aksine, etkili rijit tabaka derinliğinin temel şekli ile de ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Kritik H/B değeri, azalan B/L ile artış eğilimi göstermektedir. Şerit temellerde kritik H/B değeri genellikle 2.0 mertebesinde, yüksek içsel sürtünme açısı ($40^\circ - 45^\circ$) ile düşük temel genişliğine sahip modellerde ise 2.5-3.0 aralığında yer almaktadır. Bu husus en kolay şekilde, şerit temelin kare temele göre daha derine inen gerilme soğanları kapsamında açıklanabilir.
- Sabit bir rijit tabaka derinliği için eşit genişlikte şerit ve kare temellerde sadece içsel sürtünme açısına bağlı bir N_γ^* değeri kabulü yapıldığında, şekil faktörü (s_γ), rijit tabaka derinliği ve içsel sürtünme açısına bağlı bir değişken halini almakta ve kare temeller için artan H/B ile 0.8'e yakınsamaktadır. Bu sebeple, rijit tabaka içeren tasarım uygulamalarında taşıma gücü ve şekil faktörlerini ayrı ayrı ele almak uygun ve kullanışlı olmayacaktır.
- Mevcut çalışmada 32° ile 45° arasındaki içsel sürtünme açıları ve 1 m ile 3 m arasında değişen temel genişlikleri için derinliğine bağlı olarak rijit tabaka mevcudiyetinde taşıma gücünde meydana gelen artışlar kare ve şerit temeller için grafiksel olarak sunulmuştur. Uygulamada kohezyonsuz zeminler üzerinde yer alan sığ temel tasarım parametre aralığını büyük oranda içeren söz konusu grafikler gerekli enterpolasyonların yapılması sureti ile kohezyonsuz zeminlerdeki tüm kare ve dikdörtgen temeller için tasarım abakları olarak kullanılabilir.

Semboller

B	Temel genişliği
BHST	Sondaj kuyusu kesme testi
c	Zemin kohezyonu
CD	Konsolidasyonlu drenajlı üç eksenli basınç testi
CPT	Konik penetrasyon testi
D ₅₀	Numunenin ağırlıkça geçen %50'sine karşılık gelen tane çapı
D _r	Rölatif sıklık
E ₅₀	Gerilmeye bağlı zemin modülü
FEM	Finite element method (sonlu elemanlar yöntemi)
H	Temel ile rijit tabaka arasındaki tabaka kalınlığı

kN	KiloNewton
kPa	KiloPascal
L	Temelin uzunluğu
LVDT	Doğrusal değişken fark dönüştürücü
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	MegaPascal
PMT	Presiyometre testi
q_{ult}	Nihai taşıma gücü basıncı
R	Eşdeğer dairesel temel yarıçapı
s	Oturma miktarı
s_γ	Şekil faktörü
SPT	Standart penetrasyon testi
N_γ	Taşıma gücü faktörü
N_γ^*	Değiştirilmiş taşıma gücü faktörü
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ϕ'	Zeminin efektif içsel sürtünme açısı
ψ	Dilatasyon Açısı
δ	Yük değerlerinin oranları

Kaynaklar

- [1] Mandel, J., Salencon, J., Force portante d'un sol sur une assise rigide (Etude Theorique), Geotechnique, Vol 22, No 1, 79-93, 1972.
- [2] Meyerhof, G. G., Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations, Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, Canada, Vol 1, No 1, 16-26, 1963.
- [3] Cerato, A. B., Lutenegeger, A. J., Bearing Capacity of Square and Circular Footings on a Finite Layer of Granular Soil Underlain by a Rigid Base, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol 132, No 11, 1496–1501, 2006.
- [4] Babagiray, G., Akbas, S. O., Anıl, O., Sığ Rijit Tabaka Mevcudiyetinin Kohezyonsuz Zeminler Üzerindeki Yüzeysel Temellerin Taşıma Kapasitesine Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Vol 28, No 1, 187-198, 2013.

- [5] Shiraishi, S., Variation in Bearing Capacity Factors of Dense Sand Assessed by Model Loading Tests, *Soils and Foundations*, Vol 30, No 1, 17-26, 1990.
- [6] Akbas, S. O., Kulhawy, F. H., Axial Compression of Footings in Cohesionless Soils. II: Bearing Capacity, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, Vol 135, No 11, 2009.
- [7] Briaud, J. L., Gibbens, R., Behaviour of Five Large Spread Footings in Sand, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 787–796, 1999.
- [8] Schanz, T., Vermeer, P.A., Bonnier, P.G., The Hardening Soil Model: Formulation and Verification, *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*, Balkema, Rotterdam, 1999.
- [9] Brinkgreve, R.B.J., PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analysis-version 8, Balkema, Rotterdam, 2002.
- [10] Cerato, A. B., Scale Effects of Shallow Foundation Bearing Capacity on Granular Material, *Doktora Tezi*, University of Massachusetts, 2005.
- [11] Terzaghi, K., *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, 1943.

Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı

İrşad BAYIRHAN¹
Selçuk NAS²

ÖZ

Türkiye'nin en büyük organize sanayi bölgesi olan Aliğa Organize Sanayi Bölgesi'nin hammaddeye ve pazara yakınlığını ile lojistik avantajları; bölgenin Ege Denizi'ne bağlantısını sağlayan Güzelhisar Deresi'nin iç suyolu kanalı olarak planlanması düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada Güzelhisar Deresi'nin, Aliğa Organize Sanayi Bölgesi'ne yönelik; iç suyolu taşımacılığı için tasarlanması, elverişliliğinin analiz edilmesi ve bölgenin bu anlamda planlanması amaçlanmıştır. Güzelhisar Deresi'nde yapılması düşünülen kanalın, teknik tasarımı çerçevesinde; uluslararası standartlar göz önüne alınarak suyolu sınıfı belirlenmiş ve seçilen kanal enkesitine göre dere ıslahı gerçekleştirilerek, referans gemi tespitinde bulunulmuştur. Referans seçilen gemi ebatları doğrultusunda suyolunun ulaştırma mühendisliği açısından tasarımı ve ilgili mühendislik yapıları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç suyolu taşımacılığı, kanal, suyolu elemanları.

ABSTRACT

The Design of Güzelhisar River as Inland Waterway for Aliaga Organized Industrial Zone

Logistic advantages of closeness to raw materials and markets of the Aliaga Organized Industrial Zone which is the biggest zone of organized industry in Turkey; instigated the idea of planning of the Güzelhisar River as an inland waterway which would connect the region to the Aegian Sea. In this study; the design of an inland waterway, its analysis in view of suitability of the existing Güzelhisar River, for the purpose of access from the sea to the Aliaga Organized Industrial Zone is proposed. The technical design of the considered passageway of the Güzelhisar River was investigated regarding waterway class properties in international standards, channel cross section was designed in view of the selected vessel sizes. Related engineering structures and desing of the waterway in compliance with terms of transportation engineering is proposed.

Keywords: Inland waterway transportation, channel, waterway elements.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 17.02.2016 günü ulaşmıştır. 18.04.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mart 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.346896

1 İstanbul Gelişim Üniversitesi, Deniz ve Liman İşletmeciliği, İstanbul - ibayirhan@gelisim.edu.tr

2 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, İzmir - snas@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye, nehirlerden yararlanma potansiyelleri bakımından önemli bir coğrafyaya sahiptir. Ülkedeki nehirlerden turizm, balıkçılık ve spor gibi pek çok rekreasyonel alanda yararlanılmaktadır. Ancak, akarsu rejimlerinin genel olarak ulaşım için uygun olmaması, bugüne kadar aktif kullanılmamalarının esas nedenidir. Yakın geçmişte, ülke içindeki seyir olanaklarının incelenmesi, bunlardan bazılarının ıslah edilip iç su yolu olarak kullanılması ve böylece ülke taşıma hizmetlerine bir katkıda bulunabilmesi amacıyla çeşitli fizibilitele yapılmıştır. Bugün Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Atatürk, Karakaya ve Keban Barajlarının değişik kesimlerinde feribotlarla geçişler yapılmaktadır. Van Gölü'nde ise Van-Tatvan tren feribotlarıyla küçük boyutlu ulaşım hizmeti verilmektedir.

Türkiye'de ülke içi yüklerin büyük bir kısmı karayolu ile taşınmaktadır. Bu yüklerin bir bölümü, denizyolu, demiryolu ve iç su yolu gibi diğer taşıma modlarına aktarılırsa trafik yoğunluğu azalmış olacaktır. Bu durumda, sadece ekonomik yönden değil, trafikteki can ve mal emniyeti yönünden de önemli bir adım atılmış olacaktır [1]. Diğer taraftan, su yolu taşımacılığı diğer modlara nazaran, daha ekonomik olmasının yanı sıra aynı zamanda daha ekolojiktir. Bu sebeplerle, iç sularımızın aktif kullanılmaması, ülkemiz açısından üzerinde düşünülmesi ve çalışma yapılması gereken çok önemli bir husustur. İç suların taşımacılığa kazandırılması ile birlikte, su yoluna yakın bölgelerde, ülke ekonomisinde ve sosyal yaşamda büyük bir kalkınma ve gelişme yaşanması muhtemeldir [2].

Tüm bu gerekçelerle ve farkındalıklarla, Türkiye'nin en büyük organize sanayi bölgesi olan Aliğa Organize Sanayi Bölgesi'nin (ALOSBİ) hammaddeye ve pazara yakınlığını ile lojistik avantajları; bölgenin Ege Denizi'ne bağlantısını sağlayan Güzelhisar Deresi'nin iç su yolu kanalı olarak planlanması düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Gerek Güzelhisar Deresi'nin coğrafi konumu gerekse "Ağır Sanayi Bölgesi" Aliğa/Aliğa limanları ile ALOSBI arasındaki yük hareketleri, bölge için Güzelhisar Deresi'nin İç Suyolu Kanalı olarak tasarımı çalışmasının oluşturulmasındaki temel nedenlerdir.

2. BÖLGENİN TANIMI

Aliğa, petro-kimya sanayinin kurulmasıyla birlikte 15-20 yıl içinde bir sanayi kentine dönüşmüştür. 1960'lı yılların başına kadar tarımsal yoğunluklu ekonomik etkinliğe sahip olan Aliğa, 1961 Anayasası uyarınca, "Ağır Sanayi Bölgesi" olarak kabul edilince, 1970'lerden itibaren sanayi yoğunluklu ekonomiye dayalı bir karakter kazanmaya başlamıştır. Makro ölçekteki kamu yatırımları olan PETKİM ve TÜPRAŞ gibi dev sanayi kuruluşlarının bölgede kurulmasıyla başlayan sanayileşme hızını arttırarak devam etmiştir. Nemrut Limanının kuzeyine yerleşen, Türkiye'nin en büyük petrokimya endüstrisi, Petrol Ofisi ve çeşitli sıvılaştırılmış gaz depo ve dolun tesisleri; güneyinde irili-ufaklı ark ocakları ve demir çelik fabrikalarının kurulması Aliğa'nın bir sanayi kentine dönüşmesini sağlamıştır [3] [4].

Güzelhisar Deresi'nin yakınında olması nedeniyle su gereksinimi duyan kimya sektörü Aliğa'da, demir-çelik ve haddehane tesisleri Nemrut Körfezi'nde kurulmuştur. Güzelhisar Deresi üzerinde kurulmuş olan Güzelhisar Barajı daha çok petro-kimya tesislerine hizmet vermektedir. Güzelhisar Deresi, Aliğa ilçe sınırları içinde akan tek deredir. Yunt dağlarından doğup ve yaz-kış kurumadan akmaktadır. Güzelhisar Deresi, Kocaçay ve Sirce çayının birleşmesi ile bu adı almıştır. Yaklaşık 565 km²'lik drenaj alanı olan Güzelhisar

Deresinin uzunluğu kollarıyla beraber 70 km civarındadır. Ortalama debisi 3,71 m³/sn., maksimum debisi ise 5,7 m³/sn. olarak ölçülmüştür. Topografik olarak ise kabaca üçgeni andıran Güzelhisar Havzası, batıdan Çandarlı Körfezi ve Aliğa Koyu ile sınırlanmaktadır [4].



Şekil 1. Güzelhisar Deresi [5]

Güzelhisar dere hattı üzerinde kurulmuş olan, ALOSBI ise hammaddeye ve pazara yakınlığını sağlayan bu lojistik avantajları sayesinde, yerel sanayi sektörlerine paralel olarak; demir-çelik, makine, otomotiv, gıda, mobilya, plastik, ısıtma-soğutma, madeni yapı elemanları ve enerji sektörlerinde ağırlıklı kuruluşlara ev sahipliği yapmaktadır. Bunun yanında, bölgenin %40'ını kapsayan alanın Kimya İhtisas Bölgesi ilan edilmesi, ALOSBI'yi kimya sektörünün de önemli bir merkezi haline getirmiştir. Kimya sektörü için hammadde üreten dev kuruluşlara yakınlığı ile kimya havzasının merkezinde yer alan ALOSBI bu anlamda büyük bir öneme sahiptir [6].

Türkiye toplamında ton/yük elleçlemesi içerisinde; İzmit, BOTAŞ ve Ambarlı limanlarının ardından Aliğa Limanları dördüncü sıraya yerleşmiştir. ALOSBI, bu çerçevede stratejik önemini yanı sıra; Aliğa Limanları, İzmir-Çanakkale Otoyolu ve İzmir-Bandırma Demiryolunun kesişim noktasında yer alan bir lojistik merkez kimliğiyle ön plana çıkmaktadır [6]. ALOSBI, Çandarlı Limanı'na 14, Aliğa limanlarına 9 km mesafede bulunmaktadır. Çandarlı'ya kadar uzanan çevreyolu, TCDD'nin yakın gelecekte bölgedeki yük taşımacılığına yönelik planlamaları, İzmir-İstanbul Otoyolu projesinin Aliğa'ya bağlantısı ve Türkiye'deki demir-çeliğin yüzde 58'i üreten Aliğa'nın artan ticaret hacmi bölgenin stratejik açıdan önemini ortaya koymaktadır [7].

3. ÇALIŞMANIN METODOLOJİSİ

3.1. Literatür Taraması ve Verilerin Elde Edilmesi

Güzelhisar Deresi'nin iç su yolu kanalı olarak planlaması ve tasarımına yönelik yapılan araştırmada genel olarak ikincil kaynak araştırması yapılmıştır. İlk olarak “İç Suyolu Taşımacılığı” başlığı ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Daha sonra çalışmanın ana konusu olan “Kanal Tasarımı” başlığı ile ilgili taramalar gerçekleştirilmiştir. İç su yolu tasarım

Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı

süreçleri ve karakteristikleri incelendikten sonra; belirlenen akış diyagramına ve seçilen su yolu sınıfına göre, referans gemiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Tasarım çevresini sosyo-ekonomik ve fiziksel yönleriyle tanımlayan çalışmalar derlenmiştir.

Güzelhisar Deresi'ne yönelik özellikle su yolu derinlik ve ebatları ve su yolu hattına dair güzergah bilgileri için ise birincil kaynak araştırması olan nitel veri toplama yöntemi benimsenmiş ve yapılandırılmış görüşme yöntemi ile DSİ İzmir 2. Bölge Müdürlüğü yetkilileri ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır.

ALOSBİ için Güzelhisar Deresi'nin iç su yolu kanalı olarak planlaması ve tasarımı için gerekli tüm dokümanlar sağlanamamış ancak topoğrafik veriler için DSİ'den temin edilen 1/250 000 ölçekli havza topoğrafya haritası ve dere civarını gösteren uydu haritalarına göre çalışma yapılmıştır. Çalışmada ayrıca, Güzelhisar Havzası mansap bölgesi üzerinde önemli birimleri gösteren DSİ'nin bilgisayar ortamında Güzelhisar Kanal Tasarımına yönelik olarak hazırlanmış bir harita kullanılmıştır. Akarsuya ait hidrolik ve hidrolojik veriler için öncelikle Güzelhisar rasat verileri araştırılmıştır. Bu amaçla Bayramlıkuyu akım-ölçüm istasyonunun en son 1973 yılına ait verilerine ulaşılmıştır. Ancak bu çalışmada DSİ'nin yayımlanmamış verilerine göre elde edilen güncel debi verileri kullanılmıştır. Ayrıca akarsuyun rejimi, derinlik, boyut ve genel coğrafik bilgileri için ve Güzelhisar Barajı'na ait veriler DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden sağlanan veriler kullanılmıştır.

3.2. Kanal Tasarım Süreci ve Yöntemi

Kanal tasarım sürecinde, incelenen genel yaklaşımlar ilk önce su yolu için arzulanan sınıfının belirlenmesini önermektedir. İç su yolu taşımacılığında bu sınıflar için temel referans ECMT (European Conference of Ministers of Transport) tarafından standart kabul edilen muhtelif ebatlardır. Ardından, su yolu sınıfına uygun taşıma araçları seçilmektedir. Su yolu profilinin belirlenmesi ise: normal, dar, yüksek hacimli veya tek şeritli profil olarak, su yolu boyutlarına ve beklenen trafik hacmine bağlıdır. Hidrolik parametrelerin tanımlanması etabı, uygulama alanı tasarımında doğru seçimi yapmak için özellikle önemlidir. Su yolu kesitleri, loklar, köprüler, limanlar gibi diğer ayrıntıların seçilmesi bir sonraki adımdır. Su yolu elemanlarına göre ve seyir emniyetinin sağlanması amacıyla uygun marka ve işaretleri kullanılması gerekmektedir.

Genel yaklaşımlarda öngörülen tasarım süreçleri, ilk önce referans geminin belirlenmesi doğrultusunda olsa da, aslında bu yaklaşımların yeni bir yapay kanal yapımı için daha sağlıklı işleyeceği söylenilebilir. Bir akarsuyun seyir olanakları tespiti ile ilgili bir çalışma yapıldığında ise, ilk olarak su mühendisliği temelinde akarsuyun seyre yönelik elverişliliğin ölçülmesi ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Bu husus; debi, akış hızı ve kesit alanları gibi temel parametrelerin, teknik analizin başında ele alınması gereğini ortaya çıkarmaktadır. Bu anlamda, akarsu havzasına ait genel topografik bilgiler, hidrolik ve hidrolojik veriler; gelecekte yapılması düşünülen tesislerin, akarsu rejimi üzerinde etkisi bakımından özellikle önem kazanmaktadır.

Kanal tasarım sürecinde genellikle bir basamağı tamamlayarak diğer basamağa sorunuz olarak geçmek mümkün olmamaktadır. Karşılan problemler bir önceki basamağa dönmeyi ya da faaliyetleri bir sonraki basamağı düşünerek yapmayı gerekli kılmaktadır. Bu nedenle araştırma sürecinde bir yo-yo yaklaşımı kullanılmıştır.

Güzelhisar Kanal tasarım sürecinde genel olarak Rijkswaterstaat'ın (RWS) [8] oluşturduğu akış diyagramı referans alınmış olsa da, daha önce seyire yönelik ıslahı yapılmamış olan bu su yoluna yönelik akarsu ıslah faaliyetleri esas alınmış, gemi tespiti belirlenen su yolu alt yapısına göre seçilmiştir. Ardından bir yo-yo yaklaşımı ile tespit edilen maksimum gemi draftına göre kanal en kesiti ele alınmıştır.

3.3. Kullanılan Parametreler

İç suyollarının ECMT temelinde, uluslararası ve bölgesel yaklaşımlarla ayrılmış olduğu sınıfların bir derlemesi Tablo 1'de maksimum boyutlar bazında özetlenmiştir [9]. Tablo verileri bu çalışma için orijinal ECMT tablosundan farklı olarak RWS'nin [8] ve PIANC'ın [10] (Permanent International Association of Navigation Congresses) bu alanda yaptığı çalışmalar ile revize edilerek oluşturulmuştur.

Tablo 1. İç Suyolu Sınıflandırması ve Gemi Boyutları

Suyolu Sınıfı	Gemiler, Barçlar ve Konvoylar			
	Uzunluk (m.)	En (m.)	Draft (m.)	Tonaj (t.)
I	38.50	5.05	1.80 - 2.20	250 - 400
II	50 - 55	6.60	2.50	4.00 - 650
III	67 - 80	8.20	2.50	650 - 1000
IV	80 - 85	9.50	2.50 - 2.80	1000 - 1500
Va	95 - 110	11.40	2.50 - 4.50	1500 - 3000
Vb	172 - 185	11.40	2.50 - 4.50	3200 - 6000

Tablo 1'de orijinal ECMT şablonunda yer alan gemiler, barçlar ve konvoylar için uzunluk, en, draft ve tonaj bilgileri belirtilmiştir. Suyolu sınıfı gemilerin özellikle yatay boyutları ile belirlenmektedir. Tablo 1'de bir su yolu sınıflandırılması için; belirli bir standart sınıfta, referans geminin en küçük boyutlarının alt sınırı yer almaktadır. Referans geminin en büyük boyutları ise su yolları ve mühendislik yapılarının tasarlanması için temel olarak kullanılmaktadır.

Özellikle daha önce seyir için ıslahı yapılmamış olan Güzelhisar Deresi'nde draft, yerel koşullara her şeyden daha çok bağlıdır. Bunun yanında bahsi geçen diğer husus -yatay boyutlar- referans gemi eni doğrultusunda en uygun su yolu sınıfı ve profilinin tespit edilebilmesi için yüzey ve taban genişliğidir. Suyolu sınıf ve profilleri için verilen trapez enkesitin referans derinlik ve genişlik standartları Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2'de yer alan " W_t " yüzey genişliği, " W_d " taban genişliğidir. Derinlik sütununda ilk rakamlar CVB [11] (Waterway Management Authorities Committee) yönergelerine ve ikinci rakamlar RWS [8] güncel verilerine göre maksimum draft ölçülerine dayanmaktadır. Yeni su yolları inşası veya mevcut olanların genişletilmesi söz konusu olduğu zaman, ikinci değerlerin baz alınması önerilmektedir.

Tablo 2. Minimum Suyolu Profilleri

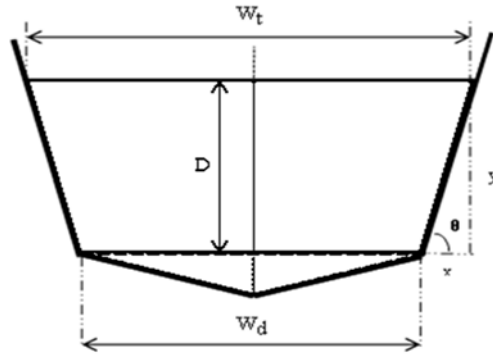
Profil	Sınıf	Minimum Suyolu Profili (m)		
		Derinlik D	Genişlik	
			W_t	W_d
Normal	I	3.1 - 3.5	20.4	10.2
	II	3.5 - 3.6	26.4	13.2
	III	3.5 - 3.8	32.8	16.4
	IV	3.9 - 4.2	38	19
	Va - Vb	4.9 - 5.6	46	22.8
Dar	I	2.9 - 3.3	15.3	10.2
	II	3.3 - 3.4	19.8	13.2
	III	3.3 - 3.5	24.6	16.4
	IV	3.6 - 3.9	28.5	19
	Va - Vb	4.6 - 5.2	34	22.8
Tek Şeritli	I	2.9 - 3.3	10.2	5.1
	II	3.3 - 3.4	13.2	6.6
	III	3.3 - 3.5	16.4	8.2
	IV	3.6 - 3.9	19	9.5
	Va - Vb	4.6 - 5.2	22.8	11.4

Suyolu derinliği için yapılan araştırmalarda Eloit ve diğerleri [12], RWS [8], PIANC [13] ve UBAK/UKİ [14] etütleri (Ulaştırma Bakanlığı Ulaştırma Koordinasyonu İdaresi) yaklaşımları baz alınarak, yapılan inceleme sonucunda su yolu profillerine göre birbirine yakın referans aralıkları tespit edilmiştir. Buna göre: normal profilde düşük su seviyesine göre, su yolu derinliği (D) referans geminin yüklüken (T) ve hareketsiz iken draftının en az 1,4 katı olmalıdır. Suyolunun dar veya tek şeritli profiline sahip olan yerlerinde, bu faktör 1,3 kat olarak geçerlidir. Her zaman mevcut olması gereken bu derinlik, su yolu bakımı veya tarama ile beklenen siltasyon düzeyine ve tarama sıklığına bağlı olarak, burada belirtilen su yolu derinliğe eşit veya daha büyük olması gerektiği anlamına gelir. Diğer taraftan, seyir halindeki geminin, su yolunun tabanına önemli bir etki yapmaması için, geminin suya en fazla batan kısmının tabandan en az d=50 cm yüksekte bulunması istenir. Seyir hızlarının küçük ve yatağın devamlı olarak bakımlı tutulması halinde, Avrupa'da bazı su yollarında d=30 cm ye müsaade edilmiş bulunmaktadır.

Suyolu genişliği için incelenen yaklaşımlarda ise [15], [8], [11], [13], [14], [12]; genel olarak su yolu genişliği belirlenirken karşılaşan iki geminin yan yana geçebilmeleri için hızlarını azaltma ve manevra yapma durumlarına göz önüne alınmıştır. Bu sebeple normal ya da dar su yolu profil alt düzleminde, genişlik (W_d); gemi eninin (B), en az iki katı olmalıdır. Tek şerit profili olduğu yerlerde taban genişliğinin, en azından referans geminin enine eşit olması gerekmektedir. Yüzey düzlemine göre genişlik (W_t), sırasıyla normal, dar ve tek şeritli profiller için; referans gemi eninin, en az 4, 3 ve 2 katı genişliğine sahip olması

gerekmektedir. Buradaki W_d taban genişliği su yolu enkesitinin en derin noktasının genişliği olmasından ziyade; çeşitli şekillerde var olabilen kanal ve nehir vadi tabanı kesitlerinin, trapez ya da dörtgen kabul edilen taban genişliğidir.

Şekil 2’de Güzelhisar Kanal için seçilen trapez enkesit görülmektedir. Güzelhisar Deresi için hesaplamalarda bu trapez enkesit göz önünde tutulacaktır. Minimum seyir seviyesindeki trapez en kesitin yüzölçümü "A", referans geminin batmış kısmının yüzölçümü 'f' ise $n=A/f$ oranına göre "n" su yolunun enkesit katsayısıdır [14].



Şekil 2. Seçilen Trapez Enkesit

Suyolunda bir geminin diğer bir geminin yanından geçebilmesi için "n" ye en az iki değerinin verilmesi gerektiği öngörülmektedir. Bu katsayı küçüldükçe, seyir halindeki gemilerin yamaçlara ve tabanlara olan sürüklenme etkisi artan değerler alır. Bu nedenle, yüzey genişliğinin; enkesit yamaç eğimi "m" ise $W_{tmin}=W_{dmin}+2m.D$ formülü sağlaması gerekmektedir. Şekil 2’de belirtilen trapez enkesit için şu denklemler kullanılacaktır:

$$A - \text{trapez enkesit alanı (m}^2\text{)} \rightarrow A = (W_t + W_d) \cdot D \cdot 1/2 \quad (1)$$

$$m - \text{trapez enkesitin eğimi (m)} \rightarrow m = \tan\theta = \Delta y/\Delta x \rightarrow y=D \text{ ve } x=W_d/2 \text{ için}$$

$$m = 2 \cdot D / W_d \quad (2)$$

Bu şekilde belirlenen trapezin alanı, doğal akarsularda ortalama hızın (V) değeri olan 1 ile 2 m/sn. ile çarpılarak, minimum seyir seviyesinde, su yolundan geçmesi gereken "Q" debisi için bir fikir edinilebilir:

$$Q - \text{seyir kesitinden geçen debi (m}^3\text{/sn.)} \rightarrow Q = V \cdot A \quad (3)$$

Ancak hem seyir emniyeti açısından hem de ekonomik bir taşımacılık gerçekleştirilebilmesi için iç suyollarında boyuna akım en kesit üzerinde ortalama olarak 0,5 m/sn.’den büyük olmamalıdır [8].

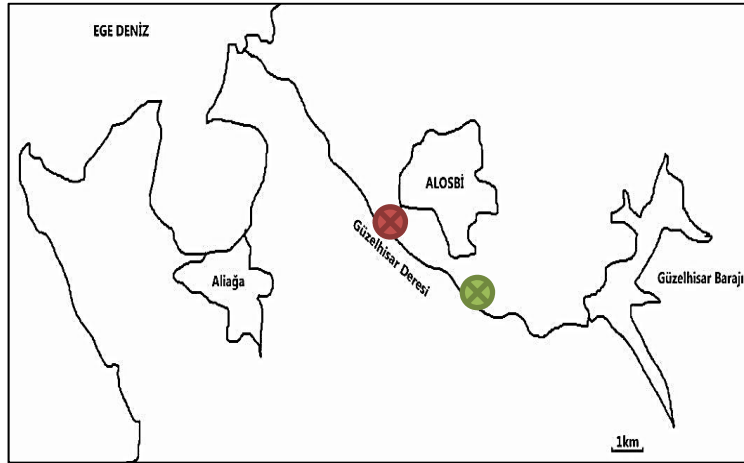
Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı

Planlanan suyolunda dönüşler için ise kanal kıvrımlarında kıvrım eğrisi yarıçapı (R) ve kıvrım açısı (α) değerlerine göre minimum genişlik artışının sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla [15], [8], [13], [14], [16] çeşitli yaklaşımlar ele alınarak, Güzelhisar Deresi için "L" referans gemi uzunluğu iken normal profilde $R=6L$, dar ve tek şeritli profilde $R=4L$ ve $\alpha \leq 30^\circ$ olarak alınacaktır. Tasarımda, görünürlük ve seyir konforu açısından, suyolu kıvrımları iç kısımları üzerine genişletilmektedir. Düz bölüm ve dönüş genişliği arasındaki geçiş, suyolu eksenine göre 1/20 tanjant oranında, kademeli olmalıdır. Dönüş öncesinde ve sonrasında suyolunun, 1,5.L uzunluğunda düz bir bölümü olması gerekmektedir. Gemi dönüş alanları için RWS [8], OCDI [16] (The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan) ve IMO [17] (International Maritime Organization) verileri incelenerek, Güzelhisar suyolu altyapısına göre dönüş manevrasına uygun basen genişliği veya ayrı bir dönüş alanı sağlanacaktır.

Güzelhisar'ın yukarıda belirtilen şartları sağlaması halinde, temelde suyolu olarak kullanılma şartlarını sağladığı söylenebilir. Bu şartların doğal olarak yerine gelmemesi halinde, ilgili işlah çalışmaları belirlenmeli ve seyir için gereken minimum su derinliği sağlanmalıdır.

4. GÜZELHİSAR KANAL TASARIMI

Güzelhisar Deresi'nin iç suyolu kanalı olarak tasarımı için gerekli tüm dokümanlar sağlanamamıştır. Bu nedenle hesaplamalarda ve ölçümlerde kullanılan rakamlar yaklaşık değerlerdir. Elde edilen az sayıda veriler, uygun kabullerle tamamlanarak bir tasarım ve planlama yapılmasına çalışılmıştır. Bu nedenle bulunan sonuçların değerlendirilmesinde, bu faktörün daima göz önünde tutulması gerekecektir.

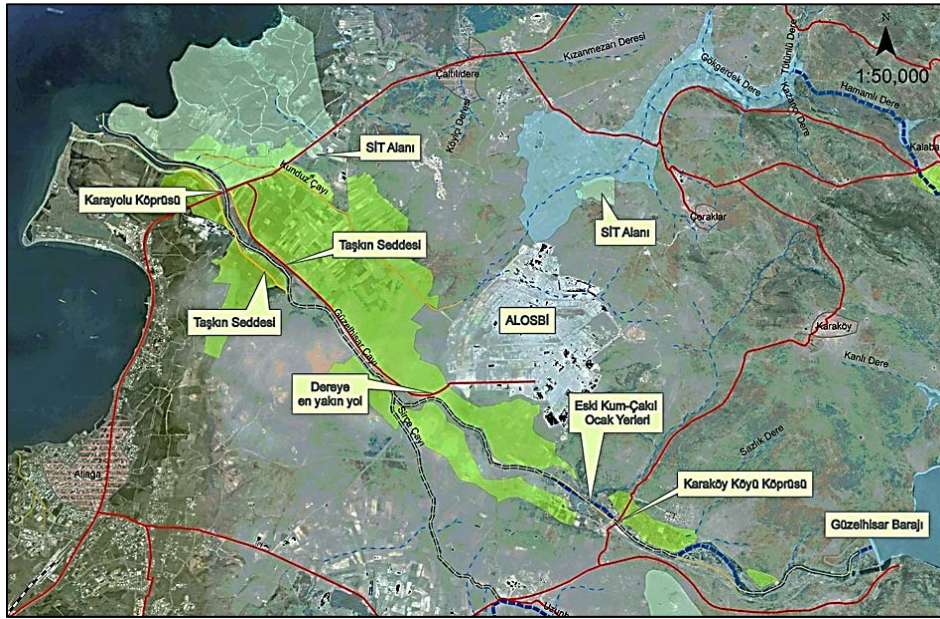


Şekil 3. Tasarımı Planlanan Alan

Şekil 3'de Güzelhisar Deresi çevresinin kuşbakışı görünümü düzleme aktarılmıştır. Haritada barajdan denize doğru; Güneydoğu-Kuzeybatı uzantısında kuş uçuşu yaklaşık 15 km olan

mansap alanının, denizden ALOSBI'ye kadar olan 6340. m'si bölge çıkış kapısının ve kanalın karayoluna en yakın olduğu yerdir. Şekil 3'de kırmızı renkle işaretlenen bu noktanın denizden seyir uzunluğu ise 7325 m, yüzey eni 10 m, su kotu ise 5 m'dir. Kuş uçuşu 9500 m'de ise tespit edilen gölet alan, birinci konuma göre daha geniş bir yatağa sahip olması sebebiyle olası bir gemi dönüş sahası olarak değerlendirilebileceği düşünülerek tasarımda belirlenen ikinci konumdur. Şekil 3'de yeşil renkle belirtilen söz konusu havuz alanı aynı zamanda kanala paralel uzantıda bir yay görüntüsü veren ALOSBI sınırının suyoluna en yakın olduğu ikinci noktadır. Bu noktalar; akarsu yatağı doğrultusunda -genel dere ıslahı içerisinde- deniz ulaştırması için ele alınacak bölgeler olarak tespit edilmiş ve genel normlarıyla seyire elverişlilik açısından incelenmesi gereken hat olarak belirlenmiştir. İkinci noktadan baraja kadar olan diğer hatta ise yalnızca genel debi kontrolü açısından bakılmıştır.

Şekil 4'te Güzelhisar Havzası mansap bölgesinin üzerinde yer alan önemli birimler belirtilmiştir. Derenin iki yanında da Güzelhisar mansap sulama ovaları için taşkın koruma amacıyla yapılan seddeler bulunmaktadır. Kuzey taşkın seddesi üzerinde aynı zamanda ALOSBI'yi E87 Karayoluna bağlayan yol bulunmaktadır. Bu durum tasarımda ele alınması gereken taşkın seddeleri ve kara taşıt (aynı zamanda kanal bakım) yolu inşaat maliyetleri açısından oldukça önemlidir.



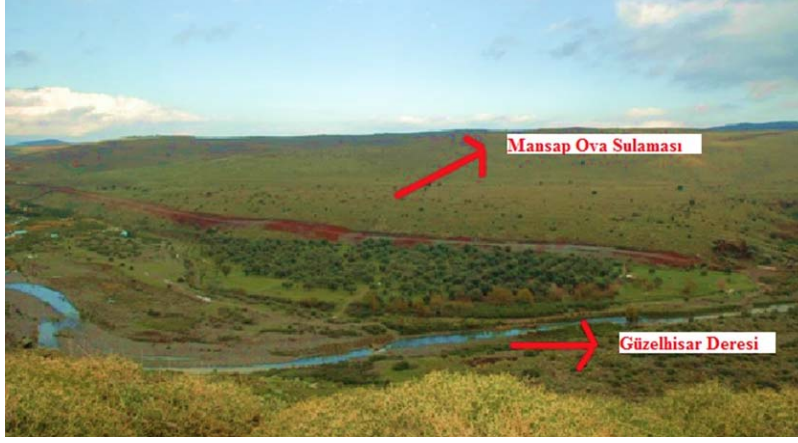
Şekil 4. Güzelhisar Havzası

Hali hazırdaki taşkın seddeleri ve karayolu, planlanan kanal için de kullanıma elverişlidir. Bölgede bulunan eski kum ve çakıl ocakları Karaköy Köprüsü civarında yatağın nispeten sığlaşmasına ve genişlemesine sebep olmuştur. Havza üzerinde tasarımı planlanan iç suyolu

Güzelhisar Deresi'nin Aliağa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı

taşımacılığı için belirtilen tüm bu lokal özelliklerin yanında ele alınması gereken en önemli noktalardan biri de Güzelhisar Barajı'dır.

450 km² yağış alanına sahip Güzelhisar Barajı'nın yılda gelen ortalama potansiyel su miktarı 109 milyon m³'dür. Barajın dere tabanı yükseltisi 12,5 m talveg kotu 86 m ve baraj gölü normal su yükseltisi 107 m'dir [18], [19]. Güzelhisar Barajı içme suyu, sulama ve özellikle için endüstri suyu sağlaması amacıyla yapılmıştır. Şekil 5'de görüldüğü gibi 2012 yılında faaliyete geçen mansap sulama projesi ile tarım alanlarına barajdan direkt olarak su transferi gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle Güzelhisar Deresi'nden beslenen büyük bir tarım alanı için suyolunun eskisi kadar etkisi olmadığını söylemek mümkündür. İlk başlarda kanal tasarımı için potansiyel problemlerden biri olarak sayılacak bu faktörün, yerini sulama projesine bırakması; akarsuyun iç suyolu taşımacılığına yönelik kullanılması adına büyük bir avantaj olarak yorumlanabilir.



Şekil 5. Güzelhisar Mansap Ovaları Sulama Sistemi

DSİ'nin mevcut ölçümlerine göre Güzelhisar deresinin yazın en sığ yerinde 2–3 metre aralığında bir derinlik olduğu belirtilmektedir. Tablo 2'ye göre, tasarımı planlanan Güzelhisar Deresi için minimum derinlik sınıf I suyolu ve tek şeritli profil olması durumunda dahi D=2,9–3,3 metre aralığında olmalıdır. Ancak derenin 15 km batısında yer alan Güzelhisar barajı ile havza içerisindeki su miktarını kontrol etmek ve/veya yatak tabanında gerekli dip taraması yapmak, derinlik kıstasına daha geniş bir çerçeveden bakılmasına olanak sağlar. Bu durumda suyolu sınıfı ve profili için daha çok seçenek mümkün olabilmektedir.

Ana hatları ile tarif edilen mansap akarsu hattı ve çevresinin seyire yönelik ıslahı bu bilgiler ışığında ele alınmaktadır. Havzanın topoğrafya haritasına göre kıvrımlı bir yatakta 15 km kadar akarak denize dökülen derede, kıvrımlar, dere içerisinde gözlenen kara çıkıntıları ve ada kayaların, yok edilerek su formuna dahil edileceği düşünülmüştür. Şu halde derenin ıslahı ile yeni uzunluğunun 14 km'ye indirilebileceği anlaşılmıştır.

Dere yatağındaki yüzey genişlikleri, hat boyunca oldukça istikrarsız boyutları ile dikkat çekmektedir. Dere ağzından, Güzelhisar'ın bir kolu olan Kunduz Çayı ayrımına kadar yüzey genişliklerinin yer yer 160 m ye kadar ulaştığı görülmektedir. ikinci nokta olarak bahsi geçen

eski ocak alanı; sığ bir havuz olarak, dere ağzı dışındaki en geniş alanı oluşturmaktadır. 1 km'lik hat boyunca yüzey eninin 300 m'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir.

Suyolu hattı üzerinde çok farklı ebatlarda gözlemlenen yüzey genişlikleri, derenin 3,71 m³/sn. olan ortalama debisi ve derinliği göz önüne alındığında derenin; tüm sınıf ve profil standartlarına kendiliğinden haiz olmadığını söylemek mümkündür. Diğer taraftan uluslararası trafiği olan bir suyolunda minimum sınıf IV niteliklerini taşıma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu nedenle tasarımda; yük hareketlerine göre çevresindeki büyük limanlara besleme yapması planlanan bu kanalında maksimum sınıf III bir suyolunun yeterli olacağı düşünülmüştür. Bu dayanak ile özellikle sınıf III'ün üzerindeki bir seviyede hangi profil olursa olsun suyolunun ıslah ve yapı maliyetinin ekonomik olmayacağı düşünülmektedir. Bu temel ile Tablo 2 ışığında sınıf III'e kadar olan suyolu profillerinin gereklilikleri ve aranan standartları; minimum seyir kesit alanı (A), trapez olarak düşünülen enine kesitin eğimi (m) ve ihtiyaç duyulan debi (Q) miktarı Tablo 3'de hesaplanmıştır.

Tablo 3. Sınıf ve Profillerin; Kesit Alanı (A), Trapez Eğimi (m) ve Debi (Q) Değerleri

Sınıf	$A = (W_t + W_d) \cdot D \cdot 1/2$	$m = 2 \cdot D / W_d$	$Q = V \cdot A$
Normal Profil			
I	$A = (20,4+10,2) \cdot 3,5 \cdot 1/2 = 53,55$	$m = 2 \cdot 3,5 / 10,2 = 0,68$	$Q = 0,5 \cdot 53,55 = 26,77$
II	$A = (26,4+13,2) \cdot 3,6 \cdot 1/2 = 71,28$	$m = 2 \cdot 3,6 / 13,2 = 0,54$	$Q = 0,5 \cdot 71,28 = 35,64$
III	$A = (32,8+16,4) \cdot 3,8 \cdot 1/2 = 93,48$	$m = 2 \cdot 3,8 / 16,4 = 0,46$	$Q = 0,5 \cdot 93,48 = 46,74$
Dar Profil			
I	$A = (15,3+10,2) \cdot 3,3 \cdot 1/2 = 42,07$	$m = 2 \cdot 3,3 / 10,2 = 0,64$	$Q = 0,5 \cdot 42,07 = 21,03$
II	$A = (19,8+13,2) \cdot 3,4 \cdot 1/2 = 56,1$	$m = 2 \cdot 3,4 / 13,2 = 0,51$	$Q = 0,5 \cdot 56,1 = 28,05$
III	$A = (24,6+16,4) \cdot 3,5 \cdot 1/2 = 71,75$	$m = 2 \cdot 3,5 / 16,4 = 0,42$	$Q = 0,5 \cdot 71,75 = 35,87$
Tek Şerit Profil			
I	$A = (10,2+5,1) \cdot 3,3 \cdot 1/2 = 25,24$	$m = 2 \cdot 3,3 / 5,1 = 1,29$	$Q = 0,5 \cdot 25,24 = 12,62$
II	$A = (13,2+6,6) \cdot 3,4 \cdot 1/2 = 31,96$	$m = 2 \cdot 3,4 / 6,6 = 1,03$	$Q = 0,5 \cdot 31,96 = 15,98$
III	$A = (16,4+8,2) \cdot 3,5 \cdot 1/2 = 43,05$	$m = 2 \cdot 3,5 / 8,2 = 0,85$	$Q = 0,5 \cdot 43,05 = 21,51$

Minimum seyir kesitin alanı, standart şevlere göre alındığı varsayılarak referans ebatların oluşturduğu belli bir 'm' ile gerekli debi hesaplanmıştır. Birim kesitlerde ihtiyaç duyulan debinin bulunabilmesi için, verilen yüzey-taban genişlikleri ve minimum derinlik temelinde, söz konusu kesitte akış hızı (V), tavsiye edilen; 0,5 m/sn. değerinde alınmıştır.

Tablo 3'de bulunan değerlerin, I, II ve III suyolu sınıfları ve normal, dar ve tek şeritli profil; derinlik ve genişlik referansları ile birlikte gösterimi Tablo 4'de yer almaktadır. Tablo 4 incelendiğinde 3,71 m³/sn. ortalama debi, 5,7 m³/sn. maksimum debiye sahip Güzelhisar'ın, sınıf I ve tek şeritli profilde dahi debisini minimum iki katına çıkarması gerektiği anlaşılmıştır.

Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı

Tablo 4. Suyolu Sınıf I, II ve III Gereklilikleri

Profil	Sınıf	Minimum Suyolu Profili (m)			A Seyir Enkesit Alanı (m ²)	m Trapez Enkesitin Eğimi (m)	Q Seyir kesitinden geçen Q ₀ debisi (m ³ /sn.)
		Derinlik D	Genişlik				
			W _t	W _d			
Normal	I	3.1-3.5	20.4	10.2	53,55	0,68	26,77
	II	3.5-3.6	26.4	13.2	71,28	0,54	35,64
	III	3.5-3.8	32.8	16.4	93,48	0,46	46,74
Dar	I	2.9-3.3	15.3	10.2	42,07	0,64	21,03
	II	3.3-3.4	19.8	13.2	56,1	0,51	28,05
	III	3.3-3.5	24.6	16.4	71,75	0,42	35,87
Tek Şeritli	I	2.9-3.3	10.2	5.1	25,24	1,29	12,62
	II	3.3-3.4	13.2	6.6	31,96	1,03	15,98
	III	3.3-3.5	16.4	8.2	43,05	0,85	21,51

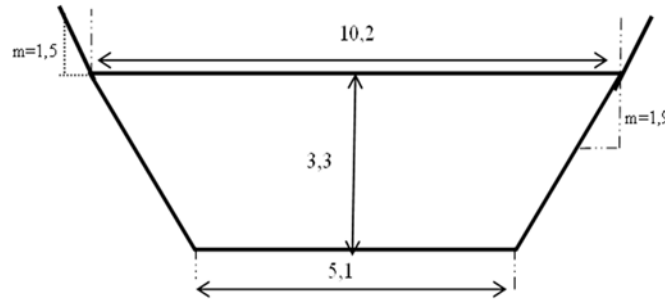
Mevcut durumun çözümüne yönelik ilk aşama suyolu sınıfının belirlenerek Güzelhisar'ın çevresel şartları ve teknik olanakları ile gerekli olan debinin sağlanmasının mümkün olup olmadığının araştırılmasıdır. Yük hareketinin tek bir noktadan sağlanacağı (ALOSBİ) Güzelhisar'ın sınıf I suyolu olarak boyutlandırılması ekonomik bakımdan daha uygun olacaktır. Güzelhisar böyle bir profil tasarımında, kanal debisinin artırılmasına yönelik bir çok seçenek için elverişlidir. Ancak bu çalışmada çevresel bir unsur olan Güzelhisar Barajının kullanımı ve deniz ulaştırma yapıları ile debinin sabitliğinin sağlanması yönünde bir çözüm ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan veriler yatağın gerekli ıslahı ve barajın elverişli kullanımı ile seyir açısından ihtiyaç duyulan debiyi sağlayabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla teknik tasarım suyolu sınıfının belirlenmesinden sonraki aşama, debinin artırılmasında birinci öncelik olan baraj potansiyelinin kullanımını ve deniz ulaştırma yapılarının istenilen debinin korunmasını sağlamaktır. DSİ'den temin edilen gölet karakteristikleri formu verilerine göre 2015 yılında Güzelhisar barajının geçmiş on yılları baz alınarak hesaplanan aktif hacmi 145 hm³'tür, ve ortalama içme ve kullanma suyu 57,40 hm³/yıl olarak belirtilmiştir. Bu durumda barajdan faydalanılabilme imkanı bu çapta bir taşımacılık için uygun görülmektedir. Ancak suyolunda kaydedilen ortalama debi Q=3,71 m³/sn. olduğundan, Güzelhisar Barajının bir düzenleme haznesi olarak planlanıp çalıştırılması halinde bile hesaplanan Q=12,62 m³/sn. debisini yılın her gününde sağlayamayacağı düşünülmelidir. Bu durumda gerekli su derinliğini sağlamak amacı ile kabartma tesislerinin ve bunların aşılması; bir su seviyesinden gelen gemilerinin diğer bir seviyeye nakli için lokların (eklüz) inşası zorunlu olmaktadır. Bu sayede tüm seviyelerde eşit bir derinliğe erişilebilme olanağı mevcuttur.

Lok odası için gerekli olan su miktarı havuzun uzunluğu ve genişliği ile orantılıdır. Diğer bir faktör olarak ise loktan geçmesi beklenen gemilerin sayısı ve boyutlarıdır. Bu amaçla suyolunun trafik hareketine göre bir lokun derinlik, genişlik ve uzunluğuna yönelik genel denklemlerde sınıf I ve tek şeritli profil referans alınacaktır. Suyolundaki bu tür yapıların

gemilerin ortalama hızlarını düşüreceği ve suyolunun kapasitesini azaltacağı göz önünde tutularak lokların sayısını çoğaltmaktan kaçınılmalıdır. Buna karşılık suyun kabartılmasının sedde yüksekliklerini arttıracak ve maliyeti yükselteceği göz önünde tutularak, 14 km'lik hat boyunca yalnızca bir lokun kurulması tespitinde yarar görülmüştür.

Özetle Güzelhisar Barajının güncel durumunun debi kontrolünde, bir ulaştırma yapısı olan gemi asansörü (lok) yapısının kanal ağzına yakın bir noktada kurulması ile gerekli olan derinliğe erişilebileceği anlaşılmaktadır. Bu varsayımlarla $Q=12,62 \text{ m}^3/\text{sn}$. iken derinlik $D=3,3 \text{ m}$ 'ye ulaşacak ve kabartıcı tesisler çalıştırıldığında bütün kesitlerde hemen hemen sabit bir derinlik elde edilecektir.

Bu düşünce ile Şekil 6'da suyolundan geçebilecek bu debiyi $0,5 \text{ m}/\text{sn}$. bir akış hızı ile geçirecek yatağın şekli araştırılmıştır. Bunun için $m=1,9 \text{ m}$, $W_d=5,1 \text{ m}$ ve $W_t=10,2 \text{ m}$ alınarak minimum seyir enine kesiti belirlendikten sonra bu kesit, akarsuyun ıslah edilmemiş yatağındaki minimum su seviyesi ile çakışması istenmiştir. Akarsuyun gerçek enkesitleri belirlenememiş olduğundan ıslah çalışmasının yatakta bu yönde, belirlenen en kesit modelinde olması istenmektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi seddelerin su ile temasta olan yüzeylerinde $m=1,9 \text{ m}$ hava ile temasta olan bölümlerinde $m=1,5 \text{ m}$ alınmıştır. Tarım alanları için taşkın seddeleri akarsu yatağının iki yanında da mevcuttur.



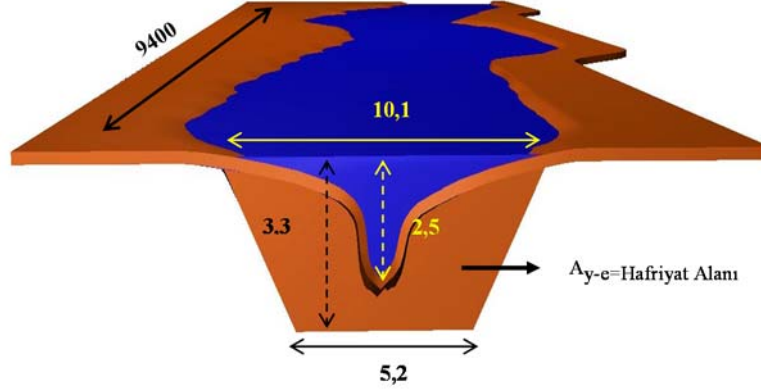
Şekil 6. Güzelhisar Kanal için Tespit Edilen Enkesit Modeli

Ancak mecraya yönelik yapılması planlanan bu seddelerin, ana drenaj kanalının kıyı koruma yapısı niteliği taşıması ön görülmüştür. Ayrıca mevcut taşkın seddeleri hat üzerindeki bazı kısımlarda suyolundan oldukça uzaktadır. Bu nedenle tasarımda 1-1,5 metrelik bir sedde yüksekliği uygun görülmüştür.

Güzelhisar Deresi'nin iç suyolu tasarımına yönelik bu bilgilerle; öncelikle mevcut yatağın, bölüm başında belirlenen seyir hattının ikinci noktası olarak sığ havuz alanına kadar ıslah edilmesi gerekmektedir. Bu nokta Şekil 3'de yeşil renkle belirtilen kısımdır. Buna göre Şekil 7'de derenin ıslah edilmemiş mevcut yatağı ile planlanan enkesit profili çakıştırılmış ve 9400 metrelik yatak hattı boyunca çıkarılması gereken hafriyat hacmi belirlenmiştir. Mevcut yatağın enkesitleri belirlenememişse de en küçük yüzey eni $W_t=10 \text{ m}$ olduğu bilinmekte ve derinliğin ortalama $D=2,5 \text{ m}$ alınması ile ortalama debi $Q=3,71 \text{ m}^3/\text{sn}$. bir yatak modeli çıkartmak mümkündür. $Q=V.A$ debi formülüne göre; tabii akarsularda ortalama hızın değeri olan 1-2 m/sn. aralığından bir değer alınarak yatağın kesit alanı (A) için yaklaşık bir değer bulunabilir. Ancak $3,71 \text{ m}^3/\text{sn}$. değeri için matematiksel modelde hız (V) büyüdükçe vadi

Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı

kesiti keskinleşerek çok küçük m² değerinde bir alan ortaya çıkacak, gerçekte akarsuyun bu hızda şimdiye kadar yapması gereken sedimentasyon yok sayılmış olacaktır.



Şekil 7. Tespit Edilen Enkesit Modeli ve Eski Yatak

Çünkü fiziksel olarak böyle bir hızda yatak tabanının formunu tamamen koruduğunu varsaymak gerçekten uzak olacaktır. Bu nedenle akarsu ortalama hız değerinin en küçük eşiği olan 1 m/sn. ilk değer olarak formülde yer almalıdır. Bunun yanında 0,5 m/sn. öngörülen tahmin doğrultusunda ikinci hız değeri olarak yer alacak ve bulunan "A" sayılarının ortalaması yaklaşık bir değerle mevcut yatağın kesit alanı olarak kabul edilecektir. Bunun nedeni Güzelhisar Deresi'nde gözlemlenen; 2-3 m aralığındaki minimum derinlik ve 10 m minimum su hattı yüzey genişliğindeki bir kesitten yaklaşık olarak 0,5-1 m/sn. aralığındaki bir hız değerinin daha gerçekçi bulunarak tahminlenmesidir. Buna göre eski yatak enkesit alanı $V = 1$ m/sn. için;

$$A = Q / V \rightarrow A = 3,71 / 1 = 3,71 \text{ m}^2 \quad (4)$$

$$\text{ve } V = 0,5 \text{ m/sn. için; } A = 3,71 / 0,5 = 7,42 \text{ m}^2 \quad (5)$$

A ortalama değeri için ise;

$$(3,71 + 7,42) / 2 = 5,565 \text{ m}^2 \text{ 'dir.} \quad (6)$$

Bu durumda mevcut yatağın ortalama kesit alanı; $A=5,565 \text{ m}^2$ değerindedir. Hesaplamalarda bulunan mevcut enkesit alanı eski yatak enkesiti atfıyla "A_e" ifadesiyle simgelenmiştir. Planlanan enkesit alanı ise Tablo 4'de belirtildiği gibi $A=25,24 \text{ m}^2$ değerinde alınmış ve yeni yatak kesiti "A_y" olarak simgelenmiştir. Şekil 19'da karşılaştırılan bu iki kesit alanı için ortaya çıkan fark, birim kesitlerden çıkarılması gereken hafriyat miktarıdır. 9400 m uzunluktaki hat için bir hacim hesabı yapmak gerekirse:

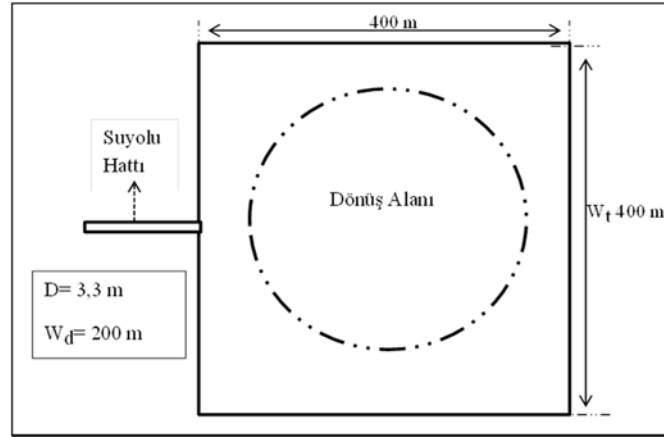
$$A_y - A_e = 25,24 - 5,565 = 19,675 \text{ m}^2 \quad (7)$$

$$A_{y-c} \cdot \ell = 19,675 \cdot 9400 = 184\,945 \approx 185\,000 \text{ m}^3 \quad (8)$$

Bu rakam belirlenen uzunlukta yapılacak tarama ve drenaj çalışmalarında çıkarılması gereken toprak miktarıdır. Tasarımın bu aşamasından sonra 9400 m uzunlukta gelinen havuz alanı bir dönme sahası olarak ve ikinci iskele noktası olarak düşünülmüştür.

İç suyollarında gemi dönüş alanı olarak kullanılan sahalarda genellikle 1000 m'yi geçmemektedir. Söz konusu alan ise birinci nokta olarak tabir edilen yola en yakın kısımdan iskele sahasına kadar yaklaşık bu uzunluk mesafesindedir. Ayrıca dairesel dönüş manevrasına imkan verebilecek formda tasarlanan alanın "R" manevra çapına göre $R > 5L$ bağıntısına uygun olması gerekmektedir. Burada "L" referans gemi uzunluğudur. Belirlenen enkesit alanında bu suyolundan geçebilecek en uzun gemi boyu, sınıf I su yolundaki birleşik üniteler göz önüne alındığında $L=80$ m olmalıdır. Bu durumda $R > 400$ m olmalıdır ve tasarımda dönme alanı için ihtiyaç duyulan maksimum genişlik olarak 400 m'lik bir kesit alanı planlanacaktır. Dönüş alanı olarak düşünülen bu bölge eski kum ocaklarına yakınlığı ile oldukça geniş bir yüzölçümüne sahiptir. Deniz-Baraj yönünde hattın 9400-9800. metreleri arasında olması planlanan bu sahanın seçilen en kesitine göre planı Şekil 8'deki gibidir.

Aşağıdaki matematiksel işlemlerde Şekil 8'deki gibi boyutlara sahip bir sahanın kesit alanı hesaplanmıştır. Bulunan alandan eski kesit alanı çıkartılarak 400 m için yeni kesitin toplam hacmiyle farkı bulunmuş ve bu alandan çıkarılacak hafriyat hesaplanmıştır.



Şekil 8. Gemi Dönüş Alanı Plan Görünümü

$$A_y = (400 + 200) \cdot 3,3 \cdot 1/2 = 990 \text{ m}^2 \quad (9)$$

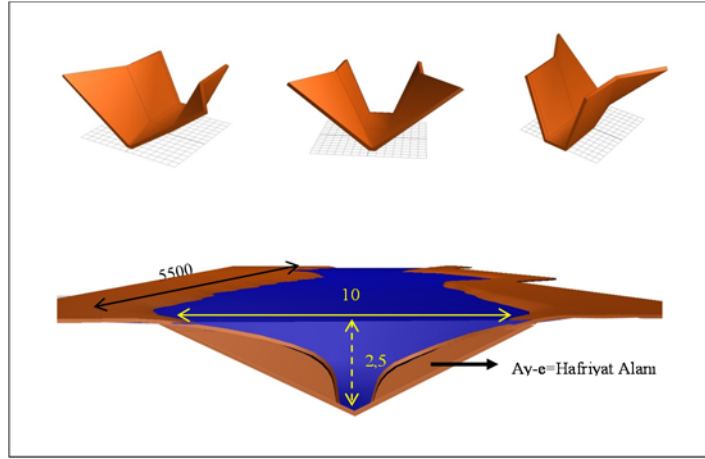
$$A_{y-c} \cdot \ell = (990 - 5,565) \cdot 400 = 393\,774 \approx 393\,800 \text{ m}^3 \quad (10)$$

Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı

Baraj mansap alanının kalan 5200 m²'lik hattında ise seyir yapılmayacağı varsayılarak, ortalama debiyi sağlayacak daha ekonomik bir kesit seçilmesi öngörülmüştür. Oluşacak kesit değişikliği için ise iki kesiti birbirine bağlayan bir geçiş yapısı (rakortman) uygun görülmüştür. Seçilen bu kesitin daha ekonomik olması aslında daha küçük bir alanın taranması imkanını ihtiva eder. Bu durumda "A" sayısındaki düşüş ortalama debiyi kaldırabilmesi adına "V" akış hızının artmasına sebep olacaktır buda hidrolik anlamda su yolu dengesini bozabilir. Her ne kadar dönüş alanına kadar olan bölümde bir genişlikten bahsedilse de kesitleri birbirine bağlayan geçiş yapısında uygun dirençlerin kullanılması hızın istenen seviyede tutulması için daha doğru bir tercih olacaktır. Bunun yanında direnç yapılı bir çözüm ile su yolu formunun seyire yönelik hesaplandığı ölçüde devam ettirmek de maliyet açısından kıyaslanması gereken diğer bir yoldur.

Birinci çözüm için su yolunun akış hızının bu doğrultuda daha fazla olduğu düşünülerek, başta belirtilen alt eşik $V=1$ m/sn. olarak kabul edilmiştir. Bu durumda $12,62$ m³ istenen debi için $A=12,62$ m² olarak bulunmaktadır. Söz konusu alan için, su yolunun minimum 10 m olan yüzey eni ve 2,5 m ortalama derinliği düşünüldüğünde; daha çok küçültmenin ekonomik olmayacağı sonucuna varılabilir. Bulunan bu "A" değerini verebilecek optimal enkesit eski yatağın bilinen ebatları doğrultusunda üçgen olmalı ve geçiş yapısı, trapezi üçgene bağlayan formda olmalıdır. Şekil 9'da optimal üçgen enkesit ve eski yatak kesitleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca yeni kesiti su yoluna bağlayan geçiş yapısının örneği gösterilmiştir. Bu doğrultuda çıkarılması gereken hafriyat; 36 700 m³ olarak bulunmuştur:

$$A_{y-e} \cdot \ell = (12,62 - 5,565) \cdot 5200 = 36\ 686 \approx 36\ 700 \text{ m}^3 \quad (11)$$



Şekil 9. Model Geçiş Yapısı ve Üçgen Enkesit

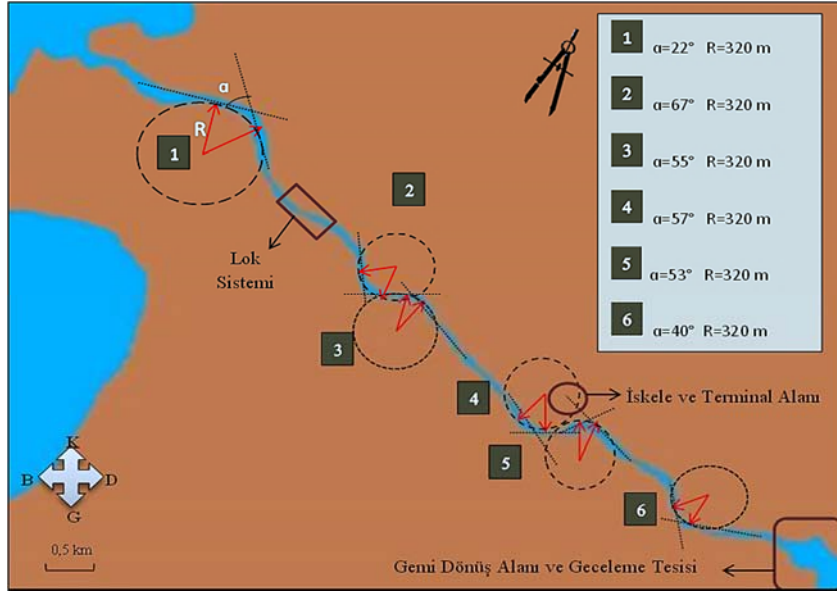
İkinci çözüm için yapılan hesaplama ise yine ilk hatta taranması gereken alan ile aynı şekilde bir enkesitle, aşağıdaki gibidir:

$$A_{y-e} \cdot \ell = 19,675 \cdot 5200 = 102\,310 \text{ m}^3 \quad (12)$$

Bu çözümde ana seyir hattı için hesaplanan $A_{y-e}=19,675 \text{ m}^3$, baraja kadar kalan hattın suyolu uzunluğu ile çarpılarak, tarama ile çıkartılması gereken hafriyat miktarı bulunmuştur. Bu iki çözümün kıyaslanması için birinci miktarın tarama maliyeti ile geçiş yapısının maliyeti toplanarak, ikinci çözümdeki tarama maliyeti ile kıyaslanmalıdır.

Akarsu hattında planlanan bu ıslah faaliyetlerine ek olarak, tasarımın başında bahsi geçen; düz bölüm ve kanal kıvrımları arasındaki dönüşler, tespit edilen suyolu sınıfı doğrultusunda yeniden ele alınmalıdır. Kıvrımlı bir yatakta 15 km kadar akarak denize dökülen dere, düz bölümler ve kıvrımların arasındaki toplam 6 dönüş kademeli geçiş konforuna yönelik olarak düzenlenmelidir. Tespit edilen sınıf I suyolu ve tek şerit profil için kıvrım eğrisi yarıçapları; $R=4L$ ve kıvrım açıları; $\alpha \leq 30^\circ$ olarak alınmıştır. Tasarım kanalından geçmesi beklenen en uzun gemi uzunluğu $L=80 \text{ m}$ 'dir. Bu durumda $R=320^\circ$ olarak alınmıştır. Şekil 22'de Güzelhisar kanal dönüşleri söz konusu 6 dönüş noktasında ele alınmış ve şekil üzerinde tasarımı planlanan lok, iskele ve gemi dönüş alanlarına da konumsal olarak yer verilmiştir. Buna göre 1. dönüş noktası dışındaki diğer 5 dönüş noktasında α açısı 30° 'nin üzerindedir.

Gerçekte ıslah planı öncesinde 15 km'lik suyolunun, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı noktalarında yapılacağı varsayılan kanal düzenlemelerinin toplam ölçüsü yaklaşık olarak 650 metredir. Yaklaşık 350 metrelik kara çıkıntıları ve ada kayalar ile toplamda elde edilen 1 km'lik uzunluk suyolu hattını 14 km'ye indirmekte ve bulunan bu değer tasarımın başında bulunan genel biçimlendirme tahmini ile örtüşmektedir.



Şekil 10. Güzelhisar Kanal Dönüşleri

Tasarımda, görünürlük ve seyir konforu açısından, su yolu kıvrımları kanalın iç kısımları üzerine genişletilmektedir. Düz bölüm ve dönüş genişliği arasındaki geçiş, su yolu eksenine göre 1/20 tanjant oranında, kademeli olarak (yaklaşık 5°) genişlemekte ve dönüş öncesinde ve sonrasında su yolunun, 1,5L uzunluğunda düz bir bölümü her dönüş noktasında halihazırda sağlanmaktadır.

5. REFERANS GEMİNİN BELİRLENMESİ

Güzelhisar kanal tasarımında varılan sonuç itibarıyla, sınıf I su yolu ve tek şeritli profilin daha uygun olacağı düşünülmüş ve gerekli altyapı analizi bu doğrultuda yapılmıştır. Dolayısıyla su yolu sınıfı seçildikten sonra, referans gemi, itilir barçlar ve birleşik üniteler de bu doğrultuda tanımlanmalıdır. Bu gemi, su yolunun ulaştırma mühendisliği açısından tasarımını ve ilgili mühendislik yapılarını belirler [8]. Kanal ıslahı için minimum gereklilikler ve tip enkesit seçildikten sonraki yapısal tasarım; referans gemi ile ilgili gerekliliklerin doğurduğu ihtiyaç veya kombinasyonu ile belirlenmiştir.

Güzelhisar Deresi'nin 3,3 m derinliğe ve 10,2 m yüzey genişliğine sahip olması istenmiştir. Bu durumda, referans gemi boyutları doğrultusunda Tablo 5; Güzelhisar'da kullanılması mümkün olan standart gemilerin maksimum boyutlarını, yüklü draftları ve yük kapasitelerini göstermektedir [8], [9], [10], [20].

Sınıf I su yolları için yapılan bu derleme ile Güzelhisar Deresi iç su yolu taşımacılığında kullanılması gereken gemilerin tasarımı için, belirtilen referanslarla hareket etmek mümkündür.

Tablo 5. Güzelhisar Kanalına Yönelik Referans Gemiler

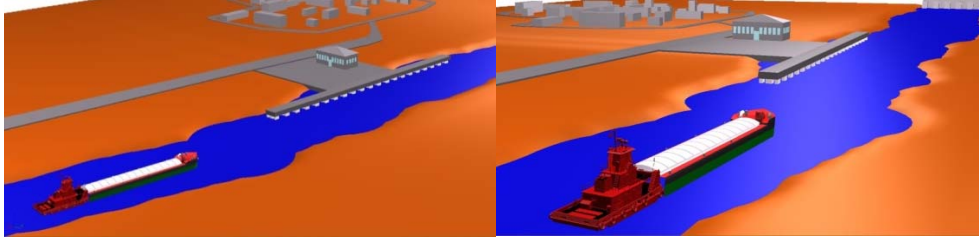
Filo Tipi	Tanımı	En (m)	Boy (m)	Yüklü Draft (m)	Kargo Kapasitesi (Ton)
Yük Gemileri (Barç Gemiler)	Gross Finow	4,7	41	1,4	180
	Finowmax	4,6	40	1,7	240
	Gross Finow (2)	5,1	41	1,75	270
	Finowmax (2)	5,05	38,5	2,2	300-400
	Peniche Barç (Spits ya da Freycinet)	5,05	38,5	2,5	365-400
İtilir-Çekilir Barçlar	Bir barç (önde veya arkada)	5,2	55	1,9	400
Birleşik Üniteler	İki Peniche barç Uzun (Birbirine bağlı iki Peniche)	5,05	80	2,5	900

Kullanılacak gemi bizzat Tablo 5'deki referanslardan olabileceği gibi, benzer boyutlarda aynı tip ya da Sınıf I tek şeritli profil kanal özellikleri temelinde yeni bir tasarım da olabilir.

6. TASARIMDA DİĞER SUYOLU ELEMANLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Her iç su yolu, içinde bulunduğu mevcut ulaştırma sisteminin bir parçasını oluşturur. Bu nedenle iç su yolu taşımacılığına yönelik planlanan bir kanal, boyutları ve sunduğu hizmet düzeyleri ile kendisine en yakın ulaştırma modu ile koordine edilmelidir [8].

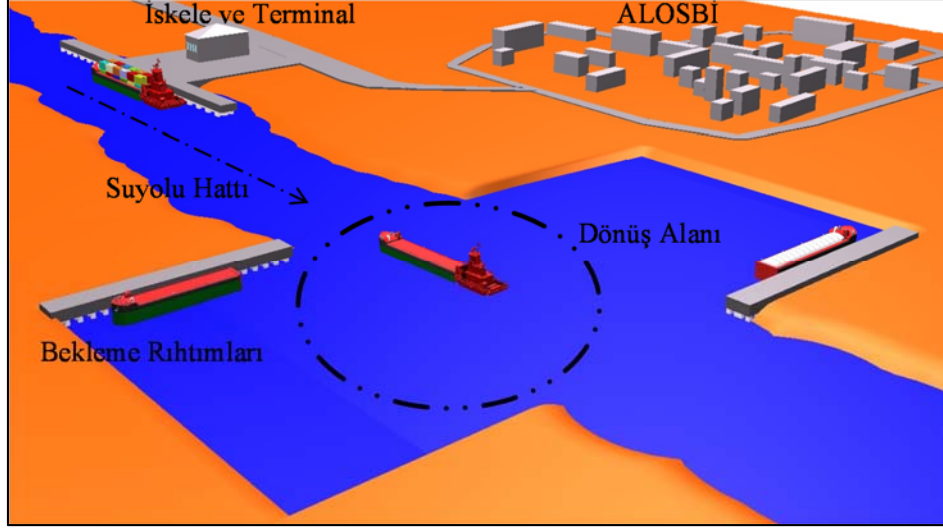
Güzelhisar Deresi'nde planlanan ulaştırma hattı ALOSBI sınırlarına paraleldir. Bu bölge taşıma hattının odak noktasını oluşturmaktadır ve iskele ve terminal olarak kullanılması planlanan bölgedir. Şekil 11'de canlandırılan bu noktanın seçilmesindeki en önemli etken ALOSBI giriş kapısının yakında olması ve karayolu bağlantısının kanala en yakın noktalarından biri olmasıdır. Bunun yanında böyle bir seçim seyir hattını minimumda tutarak daha ekonomik bir taşıma imkanı sağlamaktadır.



Şekil 11. Kanal Üzerinde Planlanan İskele ve Terminal Alanı

Bu noktanın iskele planlamasında uygun yanaşma düzeni ve gemi bağlama yöntemi olarak sürekli rıhtım boyunca bağlanma şekli benimsenmiştir. Mümkün olduğunca minimum bağlanma halatı ile maksimum yüke karşı dayanabilen bir düzen istenmektedir. Kanalda kullanılması muhtemel maksimum gemi boyu 80 metredir. Rıhtım alanı, iki itilir barç ya da bir tek birleşik ünite bağlanacak şekilde 1,2L bir alan uzunluğunda dolayısıyla 100 m olarak planlanmıştır. Rıhtım alanının yanaşma yeri derinliği, kanal derinliği ile aynı yani 3,3 metredir. Şu halde rıhtım kapasitesi de 1000 dwt'dir. Planlanan rıhtım ayakları; sedde yükseklikleri ile paralel olarak, kanal tabanından 5 m yükseklikteki sütunlardan oluşmaktadır. İskele apron genişliğinde OCDI [16] ve DLH'nin [21] de kullandığı değerler baz alınmış; 4,5 metrenin altında bir derinlik ve düşük gemi trafiği göz önünde tutularak 10 m olarak tespit edilmiştir. Geri saha genişliğinin ise minimum 90 m olması gerekmektedir. Bu alan içinde depolama alanı, yük transfer alanı ve hizmet binaları ihtiyaca göre farklı çeşit ve büyüklüklerde yer alabilecektir.

Tasarımda belirlenen diğer su yolu elemanları ise lok sistemi ve gemi dönüş alanıdır. Şekil 12'de tasarım çizimine yer verilen gemi dönüş alanının konumu, yeri ve boyutlandırılması ilişkin planlamaya, önceki kısımda ele alınan kanal tasarımında yer verilmiştir. Gemi dönüş alanı aynı zamanda kanal gemilerinin barınacağı bir geceleme tesisi olarak da kullanılabilir. Dalgadan salınımından izole olan bu alan gemilerin emniyetli bir şekilde bağlanabileceği ve konaklayabileceği bir yer olarak değerlendirilecektir. Bu amaçla dönüş alanının imarında bağlanma yerleri, şamandıralar, işaret ve ışıklandırma sistemleri aynı zamanda geceleme ve konaklama tesisi standartlarında olmalıdır.



Şekil 12. Gemi Dönüş Alanı

Lok tasarımında ise sisteminin türü ve teknik yapısı ile ilgili ayrıca özel bir çalışma yapılmalı ve bu kurulumun yerel koşullara uygun olup olmadığı ayrıca değerlendirilmelidir. Lok, lok odası ve kapılarının boyutlandırılmasında; eşik hasar riski ve gemilerin sorunsuz bir hızla girip çıkabilmesi ihtiyacı göz önünde tutulmaktadır. Ayrıca lok tasarımı ve kurulumunda doğal koşullar inşaat maliyetleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Ancak tasarımın temel faktörleri, loktan geçmesi beklenen gemilerin sayısı ve boyutlarıdır. Bu anlamda tasarımda OCDI'nin [16] belirlemiş olduğu lok uzunluk, derinlik ve genişlik denklemleri kullanılabilir. Güzelhisar kanal derinliği 3,3 m, belirtilen maksimum gemi boyu 80 m ve gemi eni 5,1 metredir. Lokun sahip olması gereken etkin su derinliği, kanal derinliği ile aynı seviyedir. Etkin genişlik hesaplamalarında lok odasında yan yana sıralanan gemi sayısı denklemin değişkenlerinden biridir. Ancak planlanan lok odası için; kanalın tek şerit bir su yolu profilinde ve düşük gemi trafiğine sahip olacağı düşünülerek bu şekilde bir oda sıralamasından kaçınılmıştır. Bu nedenle genişlik hesabında yalnızca en açıklığı göz önünde tutulacaktır. Uzunluk hesaplamasında ise arka arkaya sıralanma değişkeni Güzelhisar Kanal'da iki şekilde mümkün olmalıdır. Ya tespit edilen maksimum gemi uzunluğunda tekli gemi geçişi, ya da bu ebatlarda lok odasını kullanmaya elverişli diğer kombinasyon sıralarıdır. Bu kombinasyonların uzunluğu maksimum gemi boyu 80 m ve boy açıklığı toplamını (yaklaşık 82 m) geçmemelidir. Bu şekilde belirlenen lok odasının ebatları genel olarak 5,3 m genişliğe, 82 m uzunluğa ve 3,3 m derinliğe sahiptir.

Güzelhisar Deresi'nin iç su yolu kanalı olarak tasarımı ve planlamasında ele alınan tüm bu yapısal unsurların yanında, seyir emniyeti açısından su yolu hattı boyunca uygun işaret, marka ve ışıklandırma sistemleri konumlandırılmalıdır. Ayrıca Güzelhisar Kanalı için bir su yolu yönetim otoritesi oluşturulmalı ve detaylı bir nehir bilgi sistemi sağlanmalıdır. Lok mekanizmasına ait kontrol merkezi, su yolu trafiğinin yönetilmesi ve operasyonel süreç yönetiminin sağlanması adına bu tarz bir işletme örgütüne ihtiyaç olacaktır.

7. KANAL MALİ ANALİZİNDE ELE ALINMASI GEREKEN UNSURLAR

Diğer birçok yatırım projesinde olduğu gibi iç su yolu kanalı projelerinde de yatırım kararı, farklı karar verme süreçlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Genel olarak mühendislik maliyetlerin ve faydaların analizi, ulaştırma altyapı projelerinin yatırım açısından değerlendirilmesinde en çok başvurulan yöntemdir.

Güzelhisar Kanal projesinin yaratacağı faydalar incelendiğinde ilk olarak bölgeye yönelik gerçekçi bir sosyo-ekonomik etki değerlendirme çalışması yapılmalıdır. Ancak bu çalışmada yalnızca temel maliyet faktörlerinden olan, inşaat maliyetleri ve araç maliyetlerine yönelik bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Altyapı işletme maliyetleri, aktarma maliyetleri ve diğer dışsal maliyetler bu çalışmada yer almamaktadır. Bu nedenle yapılan maliyet hesaplamasının yalnızca bir avan projeye fikir vermesi amaçlanmıştır.

Maliyet tahminlemede havzanın bazı özellikleri ve mevcut altyapısının, önemli ölçüde maliyet avantajı sağlayacağı görülmüştür:

- Kanal ulaştırma hattı boyunca düşünülen karayolu yerine, ALOSBI'yi İzmir-Çanakkale yoluna bağlayan mevcut yolun kullanımı, yüksek değerde bir yatırım tasarrufu sağlamaktadır.
- Güzelhisar Deresi'nde kanalın her iki yanında da taşkın seddeleri bulunmaktadır.
- Güzelhisar mansap ovalarının sulama sistemleri kanaldan bağımsız olarak, doğrudan baraja bağlı borularla yapılmaktadır. Ayrıca barajın yapılma amacı yalnızca su temininin sağlanmasıdır.
- Planlamada Güzelhisar Kanalı'nın yol açacağı ciddi bir çevresel zarar görülmemektedir. Kanalda mevcut ekosistemin korunması amacıyla fizibilite aşamasında lok sisteminin devamına yalnızca bir balık pasajı imarı da düşünülebilir.
- Dere yatağının ıslahında ve tarama işlerinde elde edilecek büyük miktardaki toprak, kum ve çakıl kanal altyapısının inşaatında kullanılacaktır.

Gemi Maliyetleri: Çalışmanın, Referans Geminin Belirlenmesi kısmında açıklanan muhtelif büyüklük ve tipteki gemiler; Türkiye'deki tersanelerin çoğunda inşa edilebilecek vasıf ve ölçülerdedir. Seçilen gemi sayıları bu aşamada planlamaya dair bir fikir verebilmesi amacıyla 5,2Bx17Lx1,5t ebatlarında 2 adet kıçtan sevk edilen itme botu (römorkör), 2 adet 5,1Bx38,5Lx2,5t ebatlarında tank barç ve 2 adet 5,1Bx38,5Lx2,5t ebatlarında üç ambarlı çok amaçlı barç şeklindedir.

Tarama işleri ve Dere Yatağının Islahı: 15 km lik dere yatağında ada kayalar, kara çıkıntıları ve dönüşler planlandığı şekilde ıslah edilerek 14 km lik yeni seyir hattı oluşmuştur. Genel dere ıslahı maliyet kalemini oluşturan bu giderler, toplam tarama işleri maliyetlerine katılmalıdır. Ardından 9400 m ana su yolu hattı, 400 m dönüş alanı (geceleme tesisi) ve baraja kadar seyir gerçekleşmeyecek olan kalan 5200 m'lik hattın tasarımda belirtilen derinliğe ulaşması amacıyla taranması istenmiştir. Dönme alanından baraja kadar devam edecek olan hatta yönelik iki seçeneğe bir tasarım söz konusudur. Birinci seçenekte su yolu enkesiti anahat düzeninde devam ederken, diğer seçenek; daha ekonomik bir tasarım olacağı öngörüsü ile trapez enkesiti, üçgen enkesite bağlayan bir ara geçiş yapısı (menfez) ve devamında ihtiyaç duyulan debiyi sağlamaya yeterli daha dar bir su yolu sunmaktadır. Birinci seçenekte toplam taranacak alandan çıkarılacak hafriyat miktarı 618 110 m³'tür. İkinci

seçenekte ise toplam 615 500 m³ bir hafriyat alanı ve farklı enkesitleri bağlayan bir ara geçiş platformu maliyete eklenecektir.

Kıyı Duvarları: Belirlenen enkesit modellerine göre kanalın kıyı duvarlarının inşaat maliyetleri hesaplanırken, toplam metrekareye göre kullanılacak beton ve demir, kalıp, iksa ve işçilik giderleri ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Kıyı duvarları palplanş ve istinat duvarlarını oluşturan yapı unsurları göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Kıyı Duvarları iki taraflı olarak ana hatta 18 800 m ve dönüş alanında 1580 m boyunca sedde yükseklikleri ile beraber kanal tabanından 5 m yükseklikte planlanmıştır. 10 400 m'lik baraja kadar olan kısım için birinci seçenekte ana hat yüksekliğinde 5 m, ikinci seçenekte ise 4 m yüksekliktedir. 153 900 m² ve 143 500 m² değerlerine göre iki seçeneğin tarama işleri ve kıyı duvarlarının toplam maliyetleri karşılaştırılmış ve ikinci seçeneğin daha ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır.

Suyolu Elemanları: Tasarımda belirlenen iskele ve terminal alanında, 100 m²'lik bir terminal alanı ve 10 m apron genişliğine sahip, 100 m uzunluğunda bir rıhtım yapılması düşünülmüştür. Dönme alanında yapılacak geceleme tesisi için 100 m uzunluğunda iki adet rıhtım yapılması uygun bulunmuş ve muhtelif ölçülerine göre bu rıhtımların her birinde sedde yüksekliğine paralel olarak 5 m yükseklikte 12 adet sütun üzerine inşasına karar verilmiştir. Geri saha ve rıhtımlarda kullanılacak yapıların beton, hasır, mıcır ve kalıp gibi maliyet kalemleri her bir yapı için ayrı ayrı hesaplanarak toplam giderler oluşturulmalıdır. Lok ünitesinin maliyet hesaplanmasında, tasarımda yer alan muhtelif ebatlar ile elde edilen yaklaşık değerlere göre mekanizmanın beton, çelik ve mekanik aksamlarının maliyetleri araştırılmalıdır. Planlanama yer alan diğer suyolu elemanları, liman ekipmanları, iki katlı prefabrik iskele binası, bağlama yerleri ve dubaları, işaret fenerleri, marka, işaret ve aydınlatmalar için maliyet hesaplamasına da yer verilmelidir. Ayrıca liman ekipmanları içerisinde ilk etapta bir adet mobil vinç ve bir rıhtım kreyini yeterli görülmüştür.

8. SONUÇ

ALOSBİ'nin hammaddeye ve pazara yakınlığını ile lojistik avantajları; bölgenin Ege Denizi'ne bağlantısını sağlayan Güzelhisar Deresi'nin iç suyolu kanalı olarak planlanması düşüncesini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle çalışma, bir ulaştırma altyapı projesi için öneri mahiyetinde oluşturulmuştur. Araştırma için gerekli tüm dokümanlar sağlanamamıştır. Genel olarak DSİ'den sağlanan akarsuya ait az sayıdaki veriler, uygun kabullerle tamamlanarak bir tasarım ve planlama yapılmasına çalışılmıştır.

Kanal tasarımına yönelik incelenen yaklaşımlarda öngörülen süreçler, ilk önce suyolu sınıfı ve referans geminin belirlenmesi doğrultusundadır. Güzelhisar gibi bir akarsuyun seyir olanakları tespiti ile ilgili bir çalışma yapıldığında ise, ilk olarak akarsuyun seyire yönelik elverişliliğin ölçülmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle bu çalışmada derenin seyire elverişliliğin analizi araştırma sürecinin ana hattını oluşturmuştur. İkincil husus ise olası müdahaleler ile bir kanal tasarımı yapıp yapılamayacağıdır. Bu noktada Güzelhisar Barajının kullanım müsaitliği gerekli olan debinin sağlanmasına ilham verici bir unsur olmuş, yapılan araştırmalar ile baraj suyunun bir düzenleme haznesi ile eklüzlü (lok) bir çözüme imkan verdiği anlaşılmıştır. Bu sayede her daim sabit bir derinlik sağlanabilecektir. Ardından tespit edilen suyolu sınıfına göre ihtiyaç duyulan debiyi geçirecek kanalın şekli araştırılmıştır.

Güzelhisar kanal tasarımında, uluslararası standartlar göz önüne alınarak sınıf I suyolu ve tek şeritli profilin daha uygun olacağı düşünülmüş ve gerekli altyapı analizi bu doğrultuda

yapılmıştır. Güzelhisar Deresi'nin 3,3 m derinliğe ve 10,2 m yüzey genişliğine sahip olması istenmiştir. Kanalın model enkesiti olarak ise trapez enkesit seçilmiştir. Ardından enkesit yüzölçümü ve eğiminin hesaplanma için gerekli formüller verilmiş ve bu şekilde belirlenen trapezin alanı için, 0,5 m/sn. hız değeri ile çarpılarak suyolundan geçmesi gereken minimum debi miktarı $Q=12,62 \text{ m}^3/\text{sn.}$ olarak bulunmuştur. Söz konusu debinin sağlanması için Güzelhisar Barajının bir düzenleme haznesi olarak planlanıp çalıştırılması ve bir adet lok inşası zorunlu olacaktır. Bu varsayımlarla kabartıcı tesisler çalıştırıldığında bütün kesitlerde hemen hemen sabit bir derinlik elde edilebilmektedir.

Bunun için minimum seyir enine kesiti belirledikten sonra bu kesit, akarsuyun ıslah edilmemiş yatağındaki minimum su seviyesi ile çakışması istenmiştir. Akarsuyun gerçek enkesitleri belirlenememiş olduğundan ıslah çalışmasının yatakta bu yönde, belirlenen enkesit modelinde olması istenmektedir. Bu şekilde kanalın seyir hattı, dönüş alanı ve baraja kadar kalan suyolu hattı belirlenmiştir. Ayrıca Akarsu hattında düz bölüm ve kanal kıvrımları arasındaki dönüşler, tespit edilen suyolu sınıfı doğrultusunda ele alınmıştır. Tasarımda mevcut akarsu yatağının ıslahı bu açıdan ele alınmıştır ve ardından seyir hattı, taşıma araçları ve diğer suyolu elemanları belirlenmiştir. Tercih edilen suyolu sınıfı, referans gemi ve kanal planlaması çerçevesinde Güzelhisar Deresi'nin taşımacılık için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Semboller

- A : en kesitin yüzölçümü
- B : referans gemi genişliği
- D : derinlik
- d : draft-taban arası derinlik
- f : geminin batmış kısmının yüzölçümü
- ℓ : uzunluk
- L : gemi tam boyu
- m : yamaç eğimi
- n : suyolu en kesit katsayısı
- R : kıvrım eğrisi (kurp) yarıçapı
- T : yüklü draft
- V : akarsu hızı
- Q : seyir kesitinden geçen debi
- W_d : en kesit taban genişliği
- W_t : en kesit yüzey genişliği
- α : kıvrım açısı

Kaynaklar

- [1] Ağırlioğlu, N., Şaşal, M., Işık, S., ve Saltabaş, L., Aşağı Sakarya Nehrinde İç Su Yolu Taşımacılığı Potansiyeli. Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ve TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. Ankara. 1-3 Kasım 2001.
- [2] Taşdemir, A. ve Nohut, S., İç Suların Deniz Taşımacılığında Kullanılmasının Tarihi Geçmişi ve Önemi: Fırat Örneği, Gemi ve Deniz Teknolojisi, 195, 42-47, 2013.
- [3] Aliğa Ticaret Odası, Aliğa'nın Ekonomisi ve Aliğa'nın Coğrafi Konumu, ALTO İnternet Sitesi, alto.org.tr, 2009.
- [4] Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB), İzmir İl Koordinasyon Kurulu Aliğa Bölgesi Değerlendirme Raporu, Haziran 2012.
- [5] Eroğlu, İ. ve Bozyiğit, R., Güzelhisar Çayı Havzasında Yapısal Unsurların Jeomorfolojik Birimlere Etkileri, Selçuk Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi, 32: 169-190, 2011.
- [6] ALOSBI, ALOSBI İnternet Sitesi, alosbi.org.tr, 2015.
- [7] Akkan, A., Liman Yatırımları ile Büyüme Hız Kazanacak, Yeni Asır Gazetesi, 31.08.2013.
- [8] Rijkswaterstaat, Waterway Guidelines 2011, Delft. RWS Centre for Transport and Navigation, 2011.
- [9] ECMT, Resolution No. 92/2 On New Classification Of Inland Waterways, CEMT/CM(92)6/FINAL, European Conference Of Ministers Of Transport, Atina, 1992.
- [10] PIANC, Standardization of Ships and Inland Waterways Dimensions, Brüksel. General Secretariat of PIANC, 1990.
- [11] CVB, Waterway Guidelines, Rotterdam. Directorate-General for Public Works and Water Management, 1996.
- [12] Eloit, K., Verwilligen, J. ve Vantorre, M., Detailed Design for Inland Waterways: the Opportunities of Real-Time Simulation, Smart Rivers 2013 Congress, The World Association For Waterborne Transport Infrastructure, 23-27 Eylül, Maastricht ve Liege, 2013.
- [13] PIANC, Approach Channels: A Guide for Design, Brüksel. General Secretariat of PIANC, 1997.
- [14] UBAK/UKİ ve İTÜ 75/7-UKİ 25302/A1, Aşağı Seyhan Nehrinde Navigasyon Olanaklarının İncelenmesi, Teknik ve Mali Fizibilite Ön Etüdü, 204.093 UKİ 6.099, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Ulaştırma Koordinasyonu İdaresi ve İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1976.
- [15] Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C., ve Narayanan, R., Hydraulic Structures. New York. Taylor & Francis, 2005.

- [16] The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, Tokyo. OCDI, 2009.
- [17] IMO, Annex 6: Resolution MSC.137(76) Standards for Ship Maneuverability, MSC 76/23/Add.1, International Maritime Organization, Londra, 2002.
- [18] Devlet Su İşleri, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, İzmir: İzmir İli İşletmedeki Tesisler, DSİ Resmi İnternet Sitesi, dsi.gov.tr, 2015.
- [19] İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi, Güzelhisar Barajı ve Aliğa İçme Suyu Arıtma Tesisi, İZSU Resmi İnternet Sayfası, izsu.gov.tr, 2015.
- [20] Müller, E., Innovative Transport Vehicles: Rhine; Competitive and Sustainable Growth Programme, European Strategies to Promote Inland Navigation Working Papers, 3(1), 2-51, 2003.
- [21] DLH, Ulaştırma Kıyı Yapıları Master Plan Çalışması Sonuç Raporu, Yüksel Proje, Belde Proje ve T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları Limanlar Ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara, 2010.

Sinyalize Kavşaklarda Doymun Akım Değerinin İrdelenmesi

S. Pelin ÇALIŞKANELLİ¹
Serhan TANYEL²

ÖZ

Kavşakların başarımının, bölgesel gözlemler olmadan, çeşitli öngörülen/varsayılan değerler kullanılarak yapılan analizlerle değerlendirilmesi gerçekçi sonuçlar vermemektedir. Çalışmanın ana amacı sinyalize kavşakların kapasitesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri olan doymun akım değerinin araştırılmasıdır. Çalışmada, İzmir, Bursa ve Denizli kent merkezlerindeki toplam on kavşaktan elde edilen verilerden yararlanarak; ışıklı (sinyalize) kavşaklar için temel (ideal) doymun akım değeri ile doymun akımı etkileyen bazı düzeltme faktörlerine ait parametreler önerilmeye çalışılmıştır. Analizler, temel doymun akım değerinin 1720 otomobil/saat/şerit gibi düşük bir değer olduğunu; ışıklı dönel kavşaklarda ise bu değer 1634 otomobil/saat/şerit'e düştüğünü göstermiştir. Çalışmada ayrıca ağır araçlar, sola ve sağa dönen araçlar için "Eşdeğer Otomobil Birim" değerleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sinyalize kavşaklar, doymun akım, sinyalize yuvarlakada kavşak, eşdeğer otomobil birimi.

ABSTRACT

Investigation of Saturation Flow Value at Signalized Intersections

Determination of the performance of intersections by using hypothetical or default values without regional observations may lead to unrealistic results. The main goal of this study is to investigate the ideal saturation flow value which is one of the most important parameters in predicting capacity of signalized intersections. In this study, values for ideal saturation flow and parameters of various correction factors were recommended by using the observations obtained from 10 signalized intersections from İzmir, Bursa and Denizli provinces. Analyses have shown that, ideal saturation flow value for signalized intersections can be a rather low value such as 1720 passenger cars/hr/lane, dropping to 1634 veh/hr/lane for signalized traffic roundabouts. Furthermore, passenger car equivalence values for heavy, right turning and left turning vehicles were also suggested.

Keywords: Signalized intersections, saturation flow, signalized traffic circles, passenger car equivalent.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 08.03.2016 günü ulaşmıştır. 18.04.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 31 Mart 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.346592

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - pelin.caliskanelli@deu.edu.tr

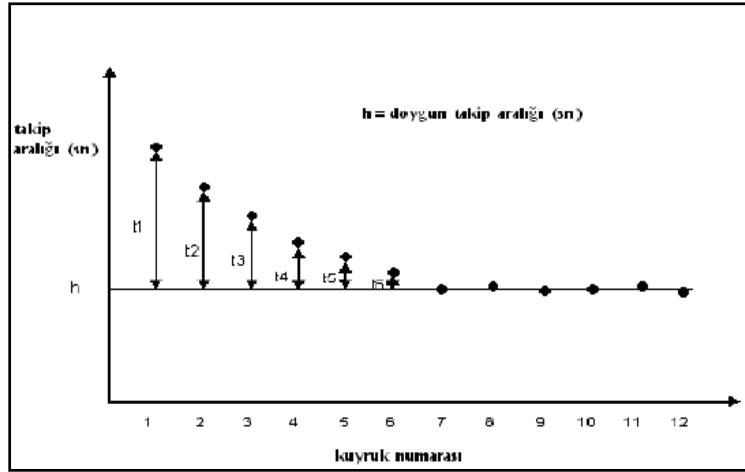
2 Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - serhan.tanyel@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Doygun akım, ışıklı (sinyalize) bir kavşakta ışık yeşile döndükten sonra en fazla boşaltılabilecek olan araç sayısıdır. Başka bir ifade ile kavşak kolunda sürekli bir kuyruk bulunması ve ışığın bir saat süreyle yeşil yanması durumunda bir şeritten geçebilecek olan en yüksek araç sayısıdır [1]. Şekil 1' de görülebileceği gibi ilk aracın arkasında hareket eden araçların takip aralığı değerinin ikinci araçtan itibaren düşmeye başladığı ve yaklaşık altıncı araçtan itibaren sabit kaldığı söylenebilir [2]. Araçlar arasında sabit kaldığı kabul edilen ve kavşaktan bir saat içinde geçirilebilecek olan en yüksek araç sayısını belirlemek amacıyla kullanılan bu sabit değere doymuş takip aralığı adı verilir. Doygun takip aralığına bağlı olarak, doymuş akım değeri;

$$S = 3600/h_n \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada S; doymuş akım (araç/saat/şerit), h_n ; ortalama doymuş takip aralığı (saniye) dir



Şekil 1. Kuyruk numarasına bağlı olarak takip aralığı değerlerinin değişimi [2]

Doygun akım, başlangıç gecikmesine uğrayan araçlar ve doymuş takip aralığı değerine bağlı olarak belirlenen bir kavramdır. Bölgesel gözlemler olmadan, çeşitli yöntemlerde öngörülen/varsayılan değerler kullanılarak yapılan analizler çoğunlukla ışıklı kavşak sistemlerinin başarımının değerlendirilmesinde gerçekçi sonuçlar vermemektedir [3]. Her ülkede hatta şehirde şerit kullanımı, şerit kapasitesi, araç takip aralığı ve sürücü davranışı gibi faktörler değişkendir [4]. Bu sebeplerle, çeşitli araştırmacılar, yaptıkları çalışmalarla farklı ülkelerde kullanılmak üzere geçerli olabilecek doymuş akım değerini belirlemeye çalışmışlardır. Nittymaki ve Pursula [5], çalışmalarında çeşitli ülkelerde kullanılmakta olan temel doymuş akım değerlerinin 1800~2475 otomobil/saat/şerit aralığında değişebildiğini

belirtmişler ve kendi ülkelerinde kullanılmakta olan temel doygun akım değerini (doğru giden araçlar için) 1940 otomobil/saat olarak güncellemişlerdir.

Her ne kadar, doygun takip aralığına altıncı araçtan sonra erişildiği düşünülmekeyse de son yıllarda yapılan araştırmalar, kuyruk uzunluğu arttıkça takip aralığı değerinin düştüğünü göstermektedir [6, 7]. Joseph ve Chang [8] çalışmalarında doygun takip aralığı değerine 3'üncü ile 7'nci araçtan itibaren ulaşıldığını bulmuş; buna bağlı olarak doygun akım değerinin de 1900 ile 2200 otomobil/saat arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Rahman ve diğerleri [9], inceledikleri kavşaklar için doygun akım rejiminin tek şeritli yollarda kuyruktaki 4'üncü araçta, iki şeritli yollarda, iç şeritte 3'üncü araçta, dış şeritte 5'inci araçta, üç şeritli yollarda ise doygun akım rejiminin 3'üncü, 5'inci ve 6'ncı araçtan itibaren başladığını bulmuşlardır.

Ülkemizde doygun akım üzerine yapılan önemli çalışmalardan birinde Çetin ve Murat [10], doygun akımın hesaplanması için sürücü davranışına bağlı bir matematiksel model önermişlerdir. Çalışmalarında tek bir kavşakta yaptıkları gözlemler, ışıklı kavşaklarda sol şeritteki doygun akım değerinin 1765~1784 otomobil/saat; orta şeritte 1603~1628 otomobil/saat ve sağ şeritte ise 1111~1126 otomobil/saat aralığında değiştiğini göstermiştir. Çalışma kapsamında önerilen bağıntıyı kullanarak farklı hız, ivme ve araç uzunlukları için doygun akım değerinin 732~4330 otomobil/saat aralığında değişebileceğini hesaplamışlardır. Burada 4330 otomobil/saat değerinin kuramsal bir değer olduğu unutulmamalıdır. Özdemir [11] tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, İstanbul'daki üç kavşakta yapılan gözlemler sonucunda, temel doygun akım değeri 1891 otomobil/saat/şerit olarak bulunmuştur. Ülkemizde yapılan diğer bir çalışmada ise Çalışkanelli v.d. [12], İzmir kentinde yapılan gözlemlerden ışıklı kavşaklarda kuyruktaki ilk sırada bekleyen sürücülerin başlangıç tepki sürelerinden yola çıkarak temel doygun akım değerini 1722 otomobil/saat olarak hesaplamışlardır. Çalışkanelli ve Tanyel [13] ise çalışmalarında, ışıklı bir kavşak yaklaşımında kuyruktaki bekleyen araçlar pozisyon numaralarına göre ele alındıklarında; kuyruktaki bekleyen ilk sıradaki araçlar haricindeki araçların takip aralıklarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenemediğini görmüşlerdir. Bu sonuç, kuyruktaki ilk sırada bekleyen sürücülerin kavşak başarımındaki önemini ortaya koymaktadır. Çalışkanelli ve Tanyel [13] aynı çalışmada, temel doygun akım değerinin 1650 otomobil/saat/şerit olabileceğini belirtmişlerdir.

Çalışmada, temel doygun akım değeri için bir tartışma ortaya konması hedeflenmiştir. Bu amaçla İzmir'den sekiz, Bursa'dan bir ve Denizli'den bir kavşak olmak üzere toplam on kavşakta yapılmış olan gözlemlerden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında, ağır araç, sola ve sağa dönen araçların etkilerinin yanı sıra ışıklı yuvarlakada kavşakların etkileri üzerinde de durulmaya çalışılmıştır.

2. GÖZLEM VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Çalışma kapsamında, İzmir kent merkezinde sekiz, Bursa'da ve Denizli'de birer olmak üzere toplam on kavşakta gözlemler yapılmıştır. Kavşaklara ait bazı geometrik özellikler ile, saatlik trafik hacim ve devre süresi ile ilgili bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Gözlemler, hafta içi zirve saatlerde video kamera kullanılarak kavşak yakınındaki yüksek bir binadan gerçekleştirilmiş; kamera kayıtları daha sonra büro ortamında, veriler arasında

Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi

gözlemcilerden kaynaklanabilecek farklılıkları en aza indirmek amacıyla, tek bir gözlemci tarafından izlenerek veriler elde edilmiştir. Gözlemlerde, her bir devre süresi için ilk olarak trafik ışığının yeşile döndüğü an kaydedilmiştir; bu işlemin ardından her aracın arka tamponlarının kavşak DUR çizgisini geçiş süreleri tespit edilmiş ve boşaltım aralıkları hesaplanmıştır. Analizlerde kuyruk uzunluklarının şerit başına 8 araç/devre'den daha uzun olduğu veri grupları kullanılmıştır. Toplamda analizlerde kullanılabilir 516 veri grubu elde edilebilmiştir. Gözlem yapılan kavşaklarda ayrıca, her bir devrede gözlemlenen araç kompozisyonu, sola ve sağa dönüş yapan araç sayıları ile her bir şeritteki kuyruk uzunluğu verileri de toplanmıştır.

Tablo 1. Gözlem yapılan kavşak yaklaşımlarına ait bilgiler

Kavşak Adı	Yaklaşım Kolu	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği (m)	Dönüş Şeridi Tipi ve Genişliği **	Yaklaşım hacmi (araç/saat)	Ortlama Kuyruk Uzunluğu (araç/şerit)	Devre süresi (saniye)	Gözlem Sayısı
Lunapark (İzmir)	Girne Bulv. Kuzey Yaklaşımı	2	3,30	Sola Dönüş 60 m	2446	17,0	105	51
	Gürne Bulv. Güney Yaklaşımı	2	3,40	Sağa Dönüş 30 m	1096	10,3		
	Atatürk Bulvarı	2	3,50		574	9,8		25
Balçova Çağdaş Taksi (İzmir) *	Mithat Paşa Cad. Doğu Yaklaşımı	3	3,50		1684	8,0	95	59
Çankaya (İzmir)	Fevzi Paşa Bulvarı	3	3,60		1635	9,9	86	40
Bomova Adliye (İzmir) *	Haydar Aliyev Bulv. Özkankar Yaklaşımı	3	3,00		1567	7,4	76	15
Atatürk Anadolu Lisesi (Bursa)	Stadyum Cad. Kuzey Yaklaşımı	2	3,25		1090	9,7	88	72
Cin Deresi (izmir)	Mithat Paşa Cad. Doğu Yaklaşımı	2	3,20	Sola Dönüş 50 m	1413	9,2	85	15
	Mithat Paşa Cad. Batı Yaklaşımı	2	3,20		759	6,1		
Vali Konağı (İzmir)	Mustafa Kemal Sahil Bulv. Doğu Yaklaşımı	3	3,60	Sola Dönüş 75 m	3559	11,7	70	50
	Mustafa Kemal Sahil Bulv. Batı Yaklaşımı	3	3,60		2067	10,9		
Rektörlük (İzmir)	Cumhuriyet Bulv. Güneybatı Yaklaşımı	2	3,25		1588	9,15	70	35
Yunuslar (İzmir) *	Girne Bulv. Kuzey Yaklaşımı	2	3,65		540	6,3	75	50
Pekdemir (Denizli)*	Pekdemir Yaklaşımı	3	3,5		1228	8,85	96	51

* Bu kavşaklar sinyalize yuvarlakada kavşaktır.

** Sola ve sağa dönüş cepleri, yaklaşım şerit sayısına dahil değildir.

Sinyalize kavşak kapasite ve hizmet düzeyi hesaplarında en etkin parametre olan doygun akımın belirlenmesi ile ilgili olarak yapılmış olan birçok çalışma ve kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Yöntemlerin hepsinde doygun akım oranının doygun yeşil süre içinde sabit olduğu kabul edilmektedir [14]. Bu yöntemlerden en çok kabul görenlerden bir tanesi “takip aralığı” yöntemidir. Takip Aralığı Yönteminde; sinyal yeşile döndüğünde, ilk sırada bekleyen birkaç araç göz ardı edilerek kuyruktan boşalan araçların, sinyal-dur

çizgesindeki ortalama takip aralığı değeri hesaplanır. Doygun akım değeri, hesaplanan ortalama takip aralığına bağlı olarak belirlenir [14, 15].

Takip aralığı yönteminin benimsendiği ve doygun akım değerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan hesap süreçlerinden birisi HCM 2010 yöntemidir [1]. Bu yöntemde sinyal çizgisinde beklemekte olan araçların takip aralıklarının dördüncü sıradaki araçtan sonra istikrarlı/sabit düzeye geldiği kabul edilir. HCM 2010'e göre araçlar arasındaki doygun takip aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$h_n = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=5}^n h_{ij}}{\sum_{i=1}^m (n_i - 4)} \quad (2)$$

Burada, h_n ; doygun takip aralığı (saniye), h_{ij} ; i. devrede, kuyruktaki j. aracın kuyruğu boşaltma takip aralığı (saniye), n_i ; i. devrede kuyruktaki araç sayısı ($n_i > 4$), m ; gözlemlenen devre sayısıdır. Tablo 2'de analizlerde kullanılan veri tablosuna ait bir örnek görülmektedir.

Tablo 2. Analizlerde kullanılan veri gruplarına ait bir örnek

Hacim (taşıt/saat)	Devre Süresi	Yeşil Süre	Şerit Genişliği	% minibüs	% otobüs	% kamyon	Sağa Dönüş Oran (%)	Sola Dönüş Oran (%)	Yuvarlaka Ada	Kuyruk uzunluğu	Doygun Akım (taşıt/saat)
663	70	43	3,50	0,08	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	13	1530,76
546	86	39	3,00	0,08	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	11	1321,72
630	86	39	3,00	0,00	0,20	0,13	0,00	0,00	0,00	11	1308,89
410	88	40	3,30	0,00	0,20	0,00	0,09	0,00	0,00	11	1586,02
375	95	50	3,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,89	1,00	10	1399,78
675	95	50	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	1,00	10	1570,11
788	95	50	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	1,00	10	1372,65
462	86	39	3,00	0,00	0,27	0,09	0,00	0,00	0,00	10	974,95
450	95	50	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	1,00	9	1528,53
375	95	50	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	1,00	9	1373,42
713	95	50	3,40	0,11	0,00	0,00	0,00	0,80	1,00	9	1849,95
713	95	50	3,40	0,22	0,00	0,00	0,00	0,72	1,00	9	1714,29
588	86	39	3,00	0,00	0,23	0,08	0,00	0,00	0,00	9	1622,64
462	86	39	3,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	9	1570,68
288	75	21	3,30	0,00	0,00	0,00	0,88	0,12	1,00	8	1492,38
240	96	21	3,30	0,20	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	8	1140,32
600	95	50	3,40	0,13	0,00	0,00	0,34	0,00	1,00	8	1651,75

3. TEMEL (İDEAL) DOYGUN AKIM DEĞERİ

Doygun akım, hesaplamalarda kullanılırken inceleme yapılan kavşak yaklaşımındaki trafik akım ve yönetim özelliklerine, akım içerisindeki ağır araç oranına, şerit özelliklerine, topoğrafik özelliklere, yaya hareketliliğine ve kavşağın bulunduğu bölgenin özelliklerine bağlı olarak çeşitli düzeltme faktörleri ile çarpılarak düzeltilir [1]. Kapasite analizlerinde kullanılan temel doygun akım değeri HCM 2000'e göre uygun (ideal) şartlar altında 1900 otomobil/saat/şerit olarak kabul edilmektedir [16]. HCM2010'da ise nüfusu 250 000'i aşan kentlerde temel doygun akım değeri 1900 otomobil/saat/şerit; diğer kesimlerde ise 1750 otomobil/saat/şerit olarak önerilmektedir [1]. Ancak uygun şartların geçerli olmadığı pratik

Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi

şartlar altında bu değer aşağıdaki bağıntı yardımıyla düzeltilerek kullanılır. Işıklı kavşaklarda bir şerit grubuna ait doygun akım değeri aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir [1]:

$$S = S_o \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_g \times f_p \times f_{LU} \times f_{bb} \times f_a \times f_{RT} \times f_{LT} \times f_{Lpb} \times f_{Rpb} \quad (3)$$

Burada S ; doygun akım oranı, S_o ; temel doygun akım değeri, N ; şerit sayısı, f_w ; şerit genişlik faktörü, f_{HV} ; ağır araç düzeltme faktörü, f_g ; yaklaşım kolu eğim düzeltme faktörü, f_p ; parklanma düzeltme düzeltme faktörü, f_{LU} ; şerit kullanım oranı faktörü, f_{bb} ; otobüs durağı etkisi düzeltme faktörü, f_a ; bölge tipi faktörü, f_{RT} ; sağa dönüş düzeltme faktörü, f_{LT} ; sola dönüş düzeltme faktörü, f_{Lpb} ; sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü, f_{Rpb} ; sağa dönüşler için yaya düzeltme faktörüdür.

Çalışma kapsamında yapılan analizlerin ilk adımı olarak, temel doygun akım değerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçla aşağıda belirtilen özellikleri taşıyan veriler kullanılmıştır:

1. Kuyrukta hiç ağır araç yer almamaktadır.
2. Kuyrukta sağa veya sola dönüş yapan araç yer almamaktadır.
3. İncelenen şerit, yuvarlak ada sinyalize bir kavşakta yer almamaktadır.
4. Kavşağa yakın bir mesafede (100 m'den yakın) otobüs durağı yer almamaktadır.
5. Yol kenarında park hareketi yoktur.
6. İncelenen devrede yaya hareketi yoktur veya ihmal edilebilecek düzeydedir.
7. Eğim değeri %1'in altındadır.
8. Şerit genişliği 3,0~3,6 metre'dir.
9. 8 otomobil/şerit/devre'den daha kısa kuyruk uzunlukları dikkate alınmamıştır.

Temel doygun akımın tespit edilebilmesi için yukarıdaki özelliklere sahip toplam 100 (yüz) veri, Çankaya, Rektörlük, Atatürk Anadolu Lisesi ve Vali Konağı kavşaklarından elde edilebilmiştir. Verilerin elde edilmesinde Bölüm 2'de açıklanan HCM2010 yöntemi kullanılmıştır. Bu dört kavşağa ait doygun takip aralığı değerleri ile ilgili tanımlayıcı istatistikler ve varyans analizi sonuçları Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Doygun takip aralığı değerleri ile ilgili tanımlayıcı istatistikler ve varyans analizi sonuçları

Kavşak Adı	Doygun Takip Aralığı (saniye)				Varyans Analizi	
	Ortalama	Std. Sap.	En Küçük	En Büyük		
Çankaya (İzmir)	2,08	0,30	1,70	2,58	Ser. Der.	3
Atatürk Anadolu Lisesi (Bursa)	2,03	0,25	1,50	2,43	HKT	0,27
Vali Konağı (İzmir)	2,11	0,39	1,59	2,94	OKH	0,09
Rektörlük (İzmir)	2,07	0,27	1,55	2,81	F ist.	0,86
Tüm veriler	2,088	0,32	1,50	2,94	P	0,46

HKT, hata kareleri toplamı; OKH, ortalama karesel hatayı tanımlamaktadır.

Tabloda tüm verilerin ortalaması olarak bulunmuş olan 2,088 saniye doymuş takip aralığı değeri kullanılarak; temel doymuş akım değerinin ortalama 1724 araç/saat/şerit alınabileceği görülmektedir. Bu değer, Çalışkanelli v.d. [12] tarafından bulunmuş olan 1722 araç/saat/şerit değerine çok yakındır. Çalışkanelli v.d.[12] kuyrukta ilk sırada bulunan sürücülerin başlangıç tepki sürelerinin ortalamasının 1,39 saniye, standart sapmasının ise 0,93 olduğunu hesaplamışlardır. Akçelik v.d. [17], başlangıç tepki süresi değeri kullanılarak doymuş akım takip aralığı değerinin aşağıdaki bağıntıdan elde edilebileceğini önermişlerdir:

$$h_n = t_r + d_a - t_s \quad (4)$$

Bağıntıda t_r , kuyrukta ilk sırada bekleyen sürücülerin ortalama başlangıç tepki süresini (saniye); d_a , araçların hızlanması süresindeki ortalama gecikme süresini (saniye), t_s ise başlangıç kayıp süreyi (saniye) göstermektedir. Hesaplarda kullanılan " d_a " değeri, araçların (çalışmanın bu kısmında araç kavramı birim otomobil değeri olarak kabul edilmiştir) kavşaktan hiç durmadan 50 km/saat hız ile geçtikleri kabul edilerek farklı hızlar için hesaplanmış değerlerin ortalamasıdır.

Akçelik v.d. [17] çalışmalarında " d_a " değerini 2,8 saniye; t_s değerini ise 2,1 saniye olarak kabul etmiştir. Çalışkanelli vd.d [12] aynı kabulü yapmış; ortalama t_r değerini 1,39 saniye olarak (4) denkleminde yerine koyduklarında temel doymuş akım değerini 1722 araç/saat/şerit olarak hesaplamışlardır. Buna göre, ideal doymuş akıma karşılık gelen h_n takip aralığının hesaplanmasında iki ana parametre öne çıkmaktadır. Bunlardan birisi, kuyrukta ilk sırada yer alan sürücülere ait başlangıç tepki süresi, diğeri ise kayıp zaman değeridir.

Işıklı bir kavşakta ışığın yeşile dönmesi ile araçlar hareket etmeye başlarlar. Ancak yeşil sürenin başında kuyruğun ilk sıralarında bulunan birkaç araç sinyalin değiştiğini algılayıp hareket edene kadar fazladan bir süreye ihtiyaç duymaktadır. Kuyrukta ilk sırada yer alan bu ilk birkaç aracın gecikmesinden kaynaklanan süreye başlangıç kayıp zaman adı verilir. Özellikle etkin yeşil sürenin hesaplanmasında kullanılan parametrelerden biri olan başlangıç kayıp zaman değeri HCM 2010'da kuyruğun ilk dört sırasında duran araçların fazladan gecikmeye uğrayacağı kabulü ile hesaplanmaktadır [1]. Başlangıç kayıp zaman, araç tipi, eğim; kavşaktaki yaya hareketleri; sürücüden sürücüye değişen reaksiyon süresi; psikolojik faktörler ve kavşak geometrisi gibi birçok faktörden etkilenmektedir.

Başlangıç kayıp zaman süresinin belirlenebilmesi için farklı ülkelerde, çeşitli araştırmacılar tarafından birçok hesap yöntemi önerilmiştir. Bonneson [18] kuyruktaki ilk birkaç aracın istenen hıza ulaşırken nispeten uzun boşalma aralıklarıyla birbirlerini takip ettiğini belirtmiştir. Başlangıç kayıp zamanı, bu ilk birkaç aracın kaybettiği zamanları ekleyerek bulmuştur:

$$t_s = \sum_{i=1}^Z (h_i - h_n) \quad (5)$$

Burada t_s , başlangıç kayıp zaman (sn/faz); h_i , "i." kuyruktaki aracın aralık değeri (sn); Z, h_n 'den büyük olan aralığa sahip araçların sayısı olarak ifade edilmiştir.

Sinyalize Kavşaklarda Doymun Akım Değerinin İrdelenmesi

McShane v.d. [19] yaklaşımına göre başlangıç kayıp zaman, gözlenen takip aralığı değerleri ile ilk dört aracın ideal doymun takip aralığı değerleri arasındaki farka eşittir.

$$t_s = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 (t_{ij} - h_n)}{n} \quad (6)$$

Burada i , devre sayısı; j , kuyruktaki aracın pozisyonu; n , toplam devre sayısı; t_{ij} , kuyruktaki her bir aracın takip aralığı olarak tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen kavşaklar için başlangıç kayıp zaman değeri, McShane v.d. [19] yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Temel doymun akım hesaplarında kullanılan 100 adet farklı devreden elde edilen veriler kayıp zaman değeri hesaplamalarında da kullanılmıştır. Hesaplanan kayıp zaman değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4' te verilmiştir.

Tablo 4. Başlangıç kayıp zaman verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

Ortalama	Standart Hata	Medyan	Standart Sapma	Basıklık	Çarpıklık	Aralık	En Küçük Değer	En Büyük Değer
2,05	0,11	1,90	1,21	-0,35	0,47	5,26	0,01	5,27

Tablo 4'ten de görülebileceği gibi, literatürde genel kabul gören 2 saniye'lik kayıp zaman değerinin, ülkemiz için de geçerli kabul edilebileceği anlaşılmaktadır. Kayıp zaman değerinin ortalamasının 2,05 saniye olması; Akçelik v.d. [17] tarafından önerilen ve Çalışkanelli v.d. [12] tarafından da hesaplarda kullanılan 2,1 saniye değerinin kabul edilebilir bir değer olduğunu da göstermektedir.

Yapılan tüm bu değerlendirmeler, Çalışkanelli v.d. [12] tarafından bulunmuş olan 1,39 saniye'lik başlangıç tepki süresi kullanıldığında bu çalışma kapsamında incelenen kavşaklar için temel doymun akım değerinin **1720 otomobil/saat/şerit** olarak kabul edilebileceğini göstermiştir.

4. TEMEL DOYGUN AKIM DÜZELTME FAKTÖRLERİ

Bir kavşaktaki temel doymun akım değerinin yanı sıra, temel doymun akım değerini ve dolayısıyla kavşak kapasitesini etkileyen diğer faktörlerin de incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Bağını (3)'ten de görülebileceği gibi literatürde çok sayıda düzeltme faktörü yer almakla birlikte çalışma kapsamında incelenen kavşakların veri toplanan yaklaşımlarında aşağıda belirtilen doymun akım düzeltme faktörü analizleri için yeterli sayıda ve uygunlukta veri toplanamamıştır:

1. Otobüs durağı etkisi (incelenen kavşak yaklaşımlarında 100 metre mesafede otobüs durağı bulunmamaktadır);

2. Parklanma düzeltme faktörü (gözlem yapılan saatlerde incelenen yaklaşım kollarında araç parkına izin verilmemektedir).
3. Yaya etkisi (İncelenen kavşak yaklaşımlarının bir kısmında yaya hareketi yoktur veya ihmal edilebilecek düzeydedir. Yaya hareketlerinin yoğun olduğu saatlerde, trafik polislerinin trafik akımını yönettiği gözlemlenmiştir. Bu sürelerde yapılan gözlemler, analiz dışı bırakılmıştır).
4. Eğitim (eğitim değerleri %1'in altındadır bu nedenle ihmal edilmiştir).
5. Bölge Tipi Faktörü (İzmir'deki kavşakların tümü, Merkez Kent olarak adlandırılan alan içerisinde yer almaktadır. Denizli ve Bursa'daki kavşaklar da kent merkezi içinde bulunmaktadır. Dolayısıyla Bölge Tipi Faktörünün etkisi çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır).
6. Şerit kullanım oranı faktörü (Şerit kullanım oranı faktörü HCM 2010'da bir manevra tipi için -doğru geçiş, sola veya sağa dönüş gibi- birden fazla özel/ veya bir manevraya özel olarak ayrılmış şeritler bulunması durumu için önerilmektedir. Bu anlamda incelenen kavşaklar arasında sadece tek bir kavşak (Vali konağı) tam anlamıyla bu tanıma uymaktadır. Ancak bu kavşakta, söz konusu etkiyi tanımlayabilmek için kullanılacak yeterli veri sayısı bulunmamaktadır).

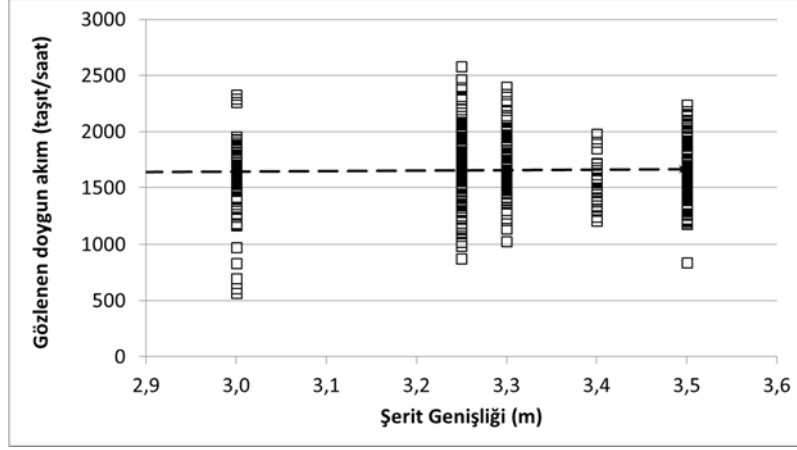
Sonuç olarak çalışma kapsamında, şerit genişliği, ağır araç etkisi, sola-sağa dönüş manevraları için düzeltme faktörü analizleri yapılmıştır. Bu faktörlerin yanı sıra, ışıklı yuvarlakada kavşaklar için de bir düzeltme faktörü önerisi getirilmeye çalışılmıştır. İlk aşamada, düzeltme faktörleri kısaca irdelenecek ve daha sonra ise düzeltme faktörlerinin parametrelerinin hesaplanmasına geçilecektir.

4.1. Yaklaşım Kolu Şerit Genişliğinin Doygun Akım Üzerindeki Etkisi

Şerit genişliği ve doygun akım arasındaki ilişki ile ilgili olarak birçok farklı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların en önemlilerinden birisi Leong [20] tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada, Sidney'de 23 tane sinyalize kavşak yaklaşım kolu incelenmiş ve yaklaşım kolu genişliğinin 2,75m ve 3,6m arasında değişmesi durumunda şerit genişliğinin doygun akım üzerinde önemli bir etkisi olmadığı bulunmuştur. Abu-Rehmen [21], Chang Chien [22] ve İbrahim vd. [23] gibi araştırmacılar ise, farklı şerit genişliğine sahip kavşaklarda yaptıkları gözlemlerden yararlanarak şerit genişliği faktörü için regresyon analizine dayalı bağıntılar geliştirmişlerdir.

Highway Capacity Manual 2010'da (HCM 2010) [1], şerit genişliklerinin 2,4 m (8 ft) ile 4,8 m (16 ft) arasında değişebileceği belirtilmiştir. 3,0 m~3,9 m (10 ft~12,9 ft) aralığında, şerit genişliğinin doygun akım üzerinde bir etkisi olmadığı vurgulanmıştır. 3,0 m' den küçük şerit genişlikleri için düzeltme katsayısı olarak "0,96", 3,9 m' den daha büyük şerit genişlikleri için de düzeltme faktörü olarak "1,04" değeri önerilmiştir.

Çalışmada gözlem yapılan kavşaklardaki şerit genişlikleri 3;0~3;5 metre aralığında değişmektedir. Yapılan gözlemlerden elde edilen doygun akım değerleri ile şerit genişlikleri arasındaki ilişki Şekil 2'de görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, doygun akım değeri ile şerit genişliği arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Bu sonuç, Leong'un [20] çalışmasında ve HCM 2010'da yer alan bulgularla örtüşmektedir.



Şekil 2. Şerit genişliği-doygun akım ilişkisi

4.2. Ağır Araçların Doygun Akım Üzerindeki Etkisi

Ağır araçlar, fiziksel büyüklüklerinden ve düşük hızlanma ve/veya yavaşlama kabiliyetlerinden dolayı, özellikle kavşaklarda trafik akımını olumsuz yönde etkilemektedirler. Eşdeğer otomobil birimi (EOB) değerleri, ağır araçların trafik operasyonları üzerindeki bu olumsuz etkilerini yansıtabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Eşdeğer otomobil birimi (EOB), mevcut koşullar altında bir ağır aracın trafik üzerinde yaptığı etkinin aynısını yapacak otomobil sayısını veren bir katsayıdır. En basit şekli ile bir trafik akımı içindeki ağır araç sayısı, ağır aracın cinsine (minibüs, kamyon, otobüs v.b.) ait EOB değeri ile çarpılarak ağır araçların trafik üzerindeki etkileri hakkında bir fikir edinilebilir. HCM 2010'da tüm ağır araç türleri (otobüs, kamyon v.b.) birlikte değerlendirilmiş ve tüm ağır araçlar için EOB değeri 2,00 olarak önerilmiştir.

“TS6407 Şehir İçi Ulaşım Hesaplamalarında Kullanılan Araç Tiplerine Göre Otomobil Eşdeğeri Katsayıları” standardında, çeşitli tipteki araçlara ait EOB değerleri verilmiştir (Tablo 5) [24]. Diğer ülkelerde, genellikle ağır araç sınıfına dahi sokulmayan minibüsler, ülkemizde yolcu taşıma amacıyla kullanılmaları nedeniyle ağır araç olarak nitelendirilmektedir. EOB değerlerinden, ışıklı kavşaklarda incelenen şerit gruplarının doymuş akım değerlerinin belirlenmesi amacıyla “ağır araç düzeltme faktörü (f_{HV})”nın hesaplanmasında yararlanılmaktadır. Ağır araç düzeltme faktörü, genel olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [25]:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + \sum_i P_i (EOB_i - 1)} \quad (7)$$

Burada P_i , “i” aracının akım içerisindeki yüzdesini; EOB_i ise “i” aracının eş değer otomobil birimini ifade etmektedir.

Tablo 5. TS6407'ye göre eş değer otomobil birimleri [24]

Araç Cinsi	Şehir İçi Yollarda	Dönel Kavşaklarda	Işıklı kontrollü Kavşaklarda
Özel otomobil, taksi, sepetli motosiklet, triportör, yüksüz 1500kg'a kadar olan pikap	1,00	1,00	1,00
Minibüs, Dolmuş, Taksi	1,15	1,30	1,27
Yüksüz 1500kg'a kadar ağır ticari kamyon, at arabası	2,00	2,80	1,75
Kent içi ve dışı yolcu otobüsü (körüklü dâhil), servis otobüsü, trolleybüs, tramvay	3,00	2,80	2,25
Motosiklet, mopet	0,75	0,75	0,33
Bisiklet	0,33	0,50	0,20

4.3. Sola ve Sağa Dönüş Hareketlerinin Doymun Akım Üzerindeki Etkisi

Bir ışıklı kavşağın başarımını etkileyen en önemli faktörler arasında, sola ve/veya sağa dönüş yapan araçların oranı ve bu manevrayı yapan sürücülerin davranışları da bulunmaktadır. Özellikle sola dönüş manevrası, karşı yönden gelen trafik akımıyla kesiştiği için ayrı bir faz süresi tanımlanmasını gerektirebilir. Sağa ve sola dönüşlerin incelenmesinde aşağıdaki hususlar dikkate alınmaktadır [16]:

- Sağa dönüşler için
 - Sağa dönüşler için özel şerit varlığı,
 - Sinyal faz türü (korumalı, izinli ya da korumalı & izinli) [korumalı fazda yayalar ile karşılaşma tamamen engellenmektedir.];
 - Yaya geçidini kullanan yaya hacmi;
 - Paylaşımlı şeritten sağa dönüş oranı;
 - Korumalı fazın korumalı kısmını kullanan araç oranı.
- Sola dönüşler için:
 - Sola dönüşler için özel şerit varlığı;
 - Sinyal fazı türü (korumalı, izinli, korumalı & izinli);
 - Paylaşımlı şeritten sola dönüş oranı;
 - İzinli sola dönüşlerde karşı yöndeki akım oranı.

Sola ve sağa dönüşler için ayrı bir dönüş şeridi veya cebinin varlığı, bu manevraların, kavşak kapasitesi üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmektedir. Korumalı fazların varlığı ise, sürücü davranışlarından kaynaklanan olumsuzlukları (kaza olasılığı gibi) en aza indirmekle birlikte, devre süresini uzattığından kapasitenin azalmasına yol açabilmektedir. Sağa dönüşler, genelde katılım şeklinde gerçekleştiği için birçok uygulamada sürücü davranışları açısından önemli bir sorun yaratmamaktadır. Hatta uygun geometri ve trafik akım koşulları altında, sağa dönüş manevrasına katılacakları akımdaki araçlara öncelik vermek kaydıyla, ayrı bir faz süresi tanımlanmaksızın sürekli olarak izin verilebilmektedir [1,16].

Sağa ve sola dönüşler için de, ağır araçlara benzer bir bağıntı kullanılabilmesi mümkündür [26]. Buna göre sağ dönüş ve sola dönüş yapan araçlar için de birer EOB önerilmesi uygun olacaktır. Sağa dönüş düzeltme faktörü (f_{RT}) ile sola dönüş düzeltme faktörü (f_{LT}) aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$f_{RT} = \frac{1}{1 + P_{RT}(EOB_{RT} - 1)} \quad (8)$$

$$f_{LT} = \frac{1}{1 + P_{LT}(EOB_{LT} - 1)} \quad (9)$$

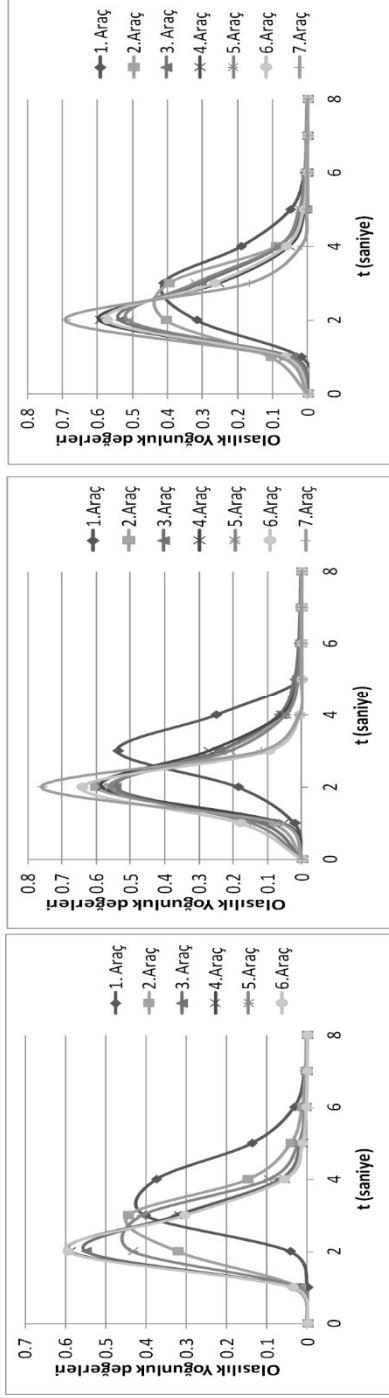
Bağıntılarda, P_{RT} , sağa dönen araç oranını; EOB_{RT} , sağa dönen araçlara ait eş değer otomobil birimini; P_{LT} sola dönen araç oranını; EOB_{LT} , sola dönen araçlara ait eş değer otomobil birimini ifade etmektedir (hesaplarda dikkate alınan sağa ve sola dönen araçlar otomobildir).

Çevik [27] yaptığı çalışmada, ışıklı bir kavşakta kuyrukta ilk sırada bekleyen aracın sola dönüş yapan bir araç olması durumunda EOB_{LT} değerinin 1,02; doğru geçiş yapan bir araç olması durumunda ise 1,04 olduğunu bulmuştur. Canseven [28], Antalya Güllük kavşağından elde ettiği değerlerden, sağa dönen otomobillerin EOB değerinin 1,19 olduğunu hesaplamıştır. Çalışkanelli ve Tanyel [13] ise, sola ve sağa dönüş yapan sürücülerin ortalama başlangıç tepki sürelerinin, doğru geçiş yapan sürücülere oranla daha düşük olduğunu göstermiştir.

4.4. Işıklı Yuvarlakada Kavşakların Doygun Akım Üzerindeki Etkisi

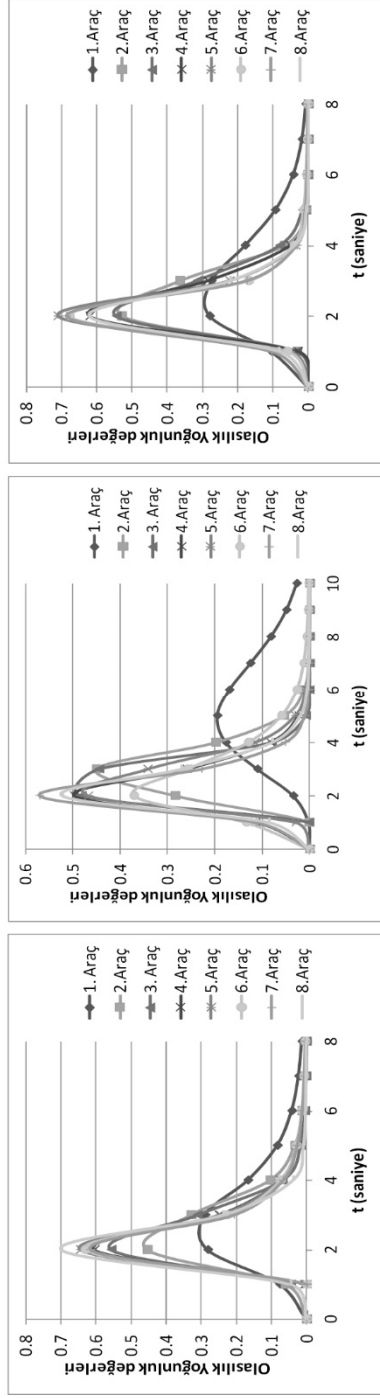
Türkiye’de ışıklı yuvarlakada kavşaklar çok uzun bir süredir kavşak tasarımının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu tür kavşaklar, ülkemiz sürücülerini tarafından daha fazla kabul görmekle birlikte, özellikle sola dönüşlerden kaynaklanan depolama alanlarının nispeten kısıtlı olması sebebiyle doğru geçiş yapmak isteyen araçların maruz kaldıkları gecikmelerin beklenenin çok üstünde olması gibi bir olumsuzluğa yol açabilirler. Bununla birlikte kavşak içerisinde araçların birbirlerinin görüş alanını kapatması durumu da söz konusudur. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için kavşak ortasına yerleştirilecek ada çapının, bütün sola dönecek araçları depolayacak şekilde belirlenmesi gerekir [29].

Işıklı kavşaklarla ilgili yapılan çalışmalar dünyada ancak son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Çalışmaların bir kısmı trafik güvenliği üzerine yoğunlaşırken [30]; bir grup araştırmacı da ışıklı dönel kavşakların sinyal optimizasyonu ve başarımı üzerine çalışmışlardır. Bunlardan Qian ve diğ. [31] tarafından yapılan çalışmada, düzenli ve fazla trafik akımının bulunduğu kavşaklarda araç kesişmesi ve kavşak tıkanıklığı problemlerini ortadan kaldırmak için ışıklı yuvarlakada kavşak uygulamasının etkin bir çözüm olduğunu ortaya koymuşlardır. Bai ve diğ. [32], ışıklı yuvarlakada kavşakta merkez adanın yarıçapı ve devre sürelerinin ortalama araç gecikmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Maher [33], Tracz ve Chodur [34] ve Ma v.d. [35] sinyal sürelerinin optimizasyonu ile kavşaktaki gecikmelerin azaltılması üzerine çalışmalar yapmışlardır.



a) Sağ şerit b) Orta Şerit c) Sol Şerit

Şekil 3. Işıklı yuvarlakada kavşaklara ait kuyruk boşalım takip aralıklarının olasılık yoğunluk grafikleri



a) Sağ şerit b) Orta Şerit c) Sol Şerit

Şekil 4. Işıklı kavşaklara ait kuyruk boşalım takip aralıklarının olasılık yoğunluk grafikleri

Ülkemizde ışıklı yuvarlakada kavşakların kapasite ve başarımı üzerine yapılmış olan en önemli çalışmalardan bazıları Çakıcı ve Murat [36, 37] tarafından yapılmış olan çalışmalardır. Araştırmacılar çalışmalarında, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin ve sola dönüş hacimlerinin artması durumunda ortalama araç gecikmelerinin önemli düzeyde arttığı, buna karşılık oluşturulan örnek durumlar için farklı faz planları ve sinyal sürelerinin uygulanması ile birlikte ortalama araç gecikmelerinin önemli oranda azaltılabileceği sonucuna varmışlardır. Bunun yanı sıra, dönüş şeridi sayısının ikiden üçe çıkartılması durumunda, dönüş şeritlerindeki örülme bölgelerinden dolayı, ortalama araç gecikmelerinin az da olsa arttığını tespit etmişlerdir.

Işıklı yuvarlakada kavşaklarla, diğer ışıklı kavşakların sürücüler tarafından kullanım farklılıkları, kuyruk boşalım takip aralıklarının dağılımları incelendiğinde daha sağlıklı bir biçimde anlaşılabilir. Şekil 3'te, ışıklı bir yuvarlakada kavşağa, Şekil 4'te de diğer ışıklı kavşaklara ait şerit ve araçların kuyruk pozisyonuna göre kuyruk boşalım değerlerinin olasılık yoğunluk fonksiyon grafikleri görülmektedir.

Şekil 4 incelendiğinde, ışıklı kavşaklarda sol ve sağ şeritte, 2. araçtan itibaren eğrilerin en sık görülen (mod) değerlerine karşılık gelen tepe noktalarının yaklaşık aynı zaman cinsinden aralık değerine karşılık geldiği söylenebilir. Yine 2. araç'tan itibaren, sıra numarası arttıkça mod'a karşılık gelen zaman cinsinden aralık değerinin daha fazla görülmesi; diğer bir deyişle, kuyrukta 8. Sırada bulunan sürücülerin, kuyrukta kendilerinden daha ön sıralarda bulunan sürücülere oranla daha kısa aralıklarla öndeki aracı takip etmeleri beklenir. Ancak Şekil 4 incelendiğinde, sol şeritte 5. sırada bekleyen sürücülerin nispeten daha kısa takip aralık değerlerini tercih ettikleri; sağ şeritte 5. sırada bekleyen sürücülerin ise 6. ve 7. Sırada bekleyen sürücülere oranla daha kısa aralıklarla öndeki aracı takip ettikleri anlaşılmaktadır. Orta şeride ait grafikler incelendiğindeyse, sürücülerin takip aralıklarına dair herhangi bir düzen görülmemektedir. Birbirlerinden çok farklı mod değerleri olduğu, ancak bunun yanı sıra eğrilerin bir düzen içerisinde yer almadıkları açıkça anlaşılmaktadır. Bu durum, orta şeritteki sürücülerin, sol ve sağ şeritteki sürücülerden daha fazla etkilendikleri ve kuyruk boşalımı sırasında bu etki sebebiyle çok farklı zaman cinsinden aralık değerleri ile öndeki araçları takip ettikleri söylenebilir.

Işıklı yuvarlakada kavşaklara ait grafikler incelendiğinde ise, orta şeritteki olasılık yoğunluk eğrilerinin 1. araçlara ait olasılık yoğunluk eğrisi hariç, birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Sol ve sağ şeritlerde ise 1. ve 2. araçlara ait eğrilerin diğerlerine oranla daha farklı oldukları anlaşılmaktadır. Genel olarak orta şeritteki sürücülerin takip aralıklarının daha düzenli olduğu söylenebilir. Bu sonuç, diğer ışıklı kavşaklardan elde edilen sonuçlardan farklıdır. Bunun sebebinin, ışıklı yuvarlakada kavşaklarda, orta şeritte seyahat eden sürücülerin sol ve sağ şeride oranla, yan yol katılımlarından daha az etkilenmeleridir.

4.3. Düzeltme Faktörlerinin Parametrelerinin Belirlenmesi

Doygun akımın hesaplanmasında üç farklı yöntem kullanılmaktadır:

Çarpımsal yöntem [1, 16]

$$S = S_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \dots$$

Eklenik yöntem [38]

$$S = S_0 + \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 \dots$$

ve Birleşik (combined) yöntem [39, 40].

HCM 2010'da [1] çarpımsal yöntemin tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında da çarpımsal yöntem kullanılarak düzeltme faktörlerinin parametrelerinin hesaplanması tercih edilmiştir. Ancak, önceki bölümlerde de açıklandığı gibi incelenen kavşaklarda otobüs durağı, parklanma etkisi, yaklaşım kolu eğimi, şerit kullanım oranı faktörü ve bölge tipi faktörü hakkında analiz yapılmamıştır. Ayrıca, Bölüm 4.1'de açıklandığı üzere, şerit genişlikleri ile ilgili bir analiz de çalışmanın bu bölümünde yer almamaktadır. Basit bir yaklaşımla, yukarıda sunulan bağıntılar kullanılarak sinyalizasyon bir kavşağın, doymuş akım değeri aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir:

$$S = S_0 \times f_{HV} \times f_{RT} \times f_{LT} \times f_{sy} \quad (10)$$

(10) bağıntısında yer alan düzeltme katsayılarının hesaplanmasında kullanılacak eşdeğer otomobil birim katsayıları ile azaltma katsayısının hesaplanabilmesi için Excel programında yer alan çözücü seçeneği kullanılmıştır. Excel programının “çözücü” eklentisi “genelleştirilmiş, indirgenmiş gradyan” olarak isimlendirilen, Waren ve Lasdon [41, 42] tarafından geliştirilmiş doğrusal olmayan bir optimizasyon koduna dayanmaktadır. Çözücü kullanılırken, gözlenen değerler ile hesaplanan değerlerin farklarının karelerinin toplamını en küçük (minimum) yapan katsayıları belirlemek hedeflenmiştir.

Çözücü programında ilk aşamada temel doymuş akım değeri olarak HCM 2010'da nüfusu 250000'den fazla olan kentler için kullanılan 1900 otomobil/saat/şerit değeri kullanılmıştır. Diğer katsayılar (minibüs, otobüs, kamyon, sağa veya sola dönen araçlar için EOB değerleri) ise “1” olarak alınarak işlemlere başlanılmıştır. Hesaplar sonucunda sapma oranı (deviation ratio) değeri 0,230'dan 0,181'e düşürülmüş ve bu değeri veren katsayılar kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında, minibüs, otobüs ve kamyon değerleri için farklı EOB değerleri hesaplanması hedeflenmiştir. Ancak yapılan analizler sonucunda, veri sayılarının az olması sebebiyle kamyon ve otobüs için anlamlı EOB değerleri bulunamamıştır. Bu sebeple, otobüs ve kamyon değerleri birlikte değerlendirilmiştir. Minibüsler içinse, anlamlı bir katsayı elde edilmesi mümkün olmuştur.

Çözücü programının çalışması sonucunda, S_0 değeri, 1724,65 araç/saat/şerit olarak bulunmuştur. Bu değer, Bölüm 3'te bulunan değerlere çok yakındır. S_0 , Bölüm 3'te önerilmiş olan 1720 araç/saat/şerit olarak sabit bir değer olarak alındığında; incelenen ışıklı kavşağın bir şeridine ait doymuş akım değerinin aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilmesi mümkündür:

$$S = 1720 * \frac{1}{1 + P_{minibüs}(1,33 - 1) + P_{HV}(2,0 - 1)} * \frac{1}{1 + P_{RT}(1,40 - 1)} * \frac{1}{1 + P_{LT}(0,96 - 1)} \quad (11)$$

Bağıntıda $P_{minibüs}$, kuyruktaki minibüs oranını (%); P_{HV} , kuyruktaki otobüs ve kamyon oranını (%) ifade etmektedir. Bağıntı incelendiğinde, aşağıdaki hususlar ön plana çıkmaktadır:

Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi

- Minibüsler, kavşak kapasitesini önemli oranda düşürmektedir. Bunun ana sebebi, özellikle yolcu minibüslerinin kavşak girişlerinde yolcu indirme ve bindirme yapmaları; aynı sebeple yolcu bekleme amacıyla kavşaktan istenenden yavaş geçmeleri ve diğer araçların hareketlerini engellemeleridir. Bu değer, TS6407’de Işıklı Kontrollü Kavşaklarda *Minibüs, Dolmuş, Taksi* için tanımlanmış olan 1,27 EOB değerine ile de uyumludur.
- Kamyon ve otobüslere ait EOB değerinin, HCM2000 ve HCM2010’da olduğu gibi 2,0 otomobil/ağır araç olduğu anlaşılmaktadır. TS6407’de Işıklı Kontrollü Kavşaklarda *Yüksüz 1500kg’a ağır ticari kamyon* için tanımlanmış olan 1,75 EOB değeri ile *Kent içi ve dışı yolcu otobüsü (körüklü dahil), servis otobüsü, trolleybüs, tramvay* için tanımlanmış olan 2,25 EOB değeri ile uyumlu kabul edilebilir.
- Hesaplamalar sonucunda karşılaşılan önemli sonuçlardan biri sağa dönen araçlara ait EOB değeridir. Sağa dönüş yapan araçların EOB değeri 1,40 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan 516 veriden 52 adedi, yuvarlakada olmayan ve sadece otomobillerin sağa dönüş yaptığı devre verisi olarak ayrılmıştır. Bu verilere ait EOB değeri, (8) bağıntısından çekilerek hesaplanmıştır. Hesaplanan sağa dönüşü ait EOB değerlerinin ortalaması 1,38; standart sapmaları ise 0,21 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, çözücünden elde edilen sonuçların doğruluğunu da göstermektedir.
- Hesaplamalar sonucunda, sola dönen araçların EOB değeri ise 0,96 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, genel kabullere ters düşmektedir. Ancak benzer şekilde Çalışkanelli ve Tanyel’in [13] çalışmasında, sola dönüş yapan sürücülerin başlangıç tepki süreleri, doğru geçen veya sağa dönen sürücülere oranla daha küçük bulunmuştur. Gözlem yapılan kavşaklarda, sola dönüş için ayrılan yeşil süre, doğru geçiş yapan veya sağa dönen araçlar için ayrılan yeşil süreye oranla daha kısadır. Bunun sonucunda, sola dönüş yapacak sürücüler, sürenin kısalığının da farkına vararak daha hızlı bir şekilde kavşaktan geçiş yapma ve böylece gecikmelerini en aza indirme eğiliminde olabilirler. Bu da, sola dönüşlere ait EOB değerinin küçük olması sonucunu doğurabilir.

Bu çalışmada, ışıklı yuvarlakada kavşakların etkisinin belirlenmesi amacıyla bir düzeltme katsayısı (f_{sy}) elde edilmeye çalışılmıştır. Yine çözücü programından elde edilen f_{sy} değerinin, “0,95” olduğu bulunmuştur.

Çalışma sonucunda, sinyalize yuvarlakada kavşakların, doygun akım üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada 1720 otomobil/saat/şerit olarak önerilmiş olan ideal doygun akım değerinin, sinyalize yuvarlakada kavşaklarda %5 oranında düştüğü anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak sinyalize yuvarlakada kavşaklar üzerinde yapılacak olan analizlerde ideal doygun akım değeri 1634 otomobil/saat/şerit olarak alınabilir. Bunun yanı sıra, ışıklı yuvarlakada kavşaklar için bir düzeltme faktörü (f_{sy}) tanımlanabilir. Bu değer, yukarıda da açıklandığı gibi, hesaplamalarda 0,95 olarak alınabilir.

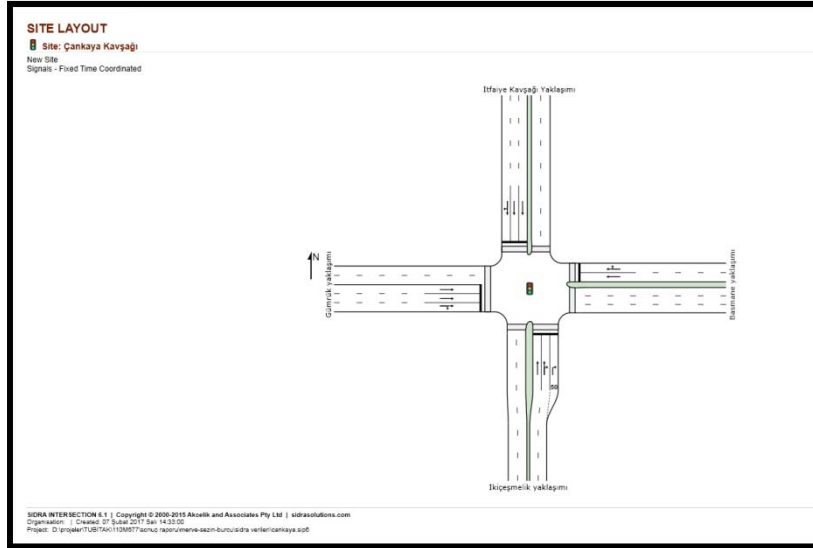
5. SONUÇLARIN TEST EDİLMESİ

Çalışma kapsamında elde edilmiş olan doygun akım değerleri ile EOB değerlerinin geçerliliklerinin test edilmesi amacıyla aaSIDRA 6.0 programından yararlanılması öngörülmüştür. SIDRA gibi analitik ve ampirik hesap yöntemlerine dayalı analiz programları kullanıcıların kavşak modeline daha fazla hakim olmalarını ve hangi değişkenin ne gibi sonuçlar verebileceğini daha sağlıklı öngörebilmelerini sağlayabilirler.

aaSIDRA programında, özellikle dönel kavşakların kalibrasyonu (ölçeklendirilmesi) amacıyla bir çevre faktörü tanımlaması yapılmıştır. Çevre faktörü (ÇF parametresi), dönel kavşakların farklı ülkelerdeki kapasitelerinin belirlenmesi için SIDRA standart modelinin kalibre edilmesi amacıyla kullanılmış ve kavşağa ait çevresel koşullarını tanımlayan; hesaplanan kapasite değerlerinde azaltma (yüksek kapasitede) veya artırma (düşük kapasitede) planlamasının yapılmasına olanak sağlayan bir parametredir. Bu parametre, çalışma kapsamında "1" olarak alınmış; çalışma kapsamında hesaplanan değerler programda ilgili alanlarında kullanılarak hesapların yapılması tercih edilmiştir.

Çalışmada, Karşıyaka Yunuslar, Konak Çankaya ve Bursa Atatürk Lisesi kavşaklarının aaSIDRA modelleri oluşturulmuştur. aaSIDRA programında modelin oluşturulmasında kavşağın geometrisinin doğru oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla aaSIDRA'da farklı alt menülerde veri girişi yapılması gerekmektedir. Şekil 5'te Çankaya kavşağına ait SIDRA çizimi görülmektedir. Şekil 6'da da şerit geometrik özelliklerinin giriş menüsü yer almaktadır.

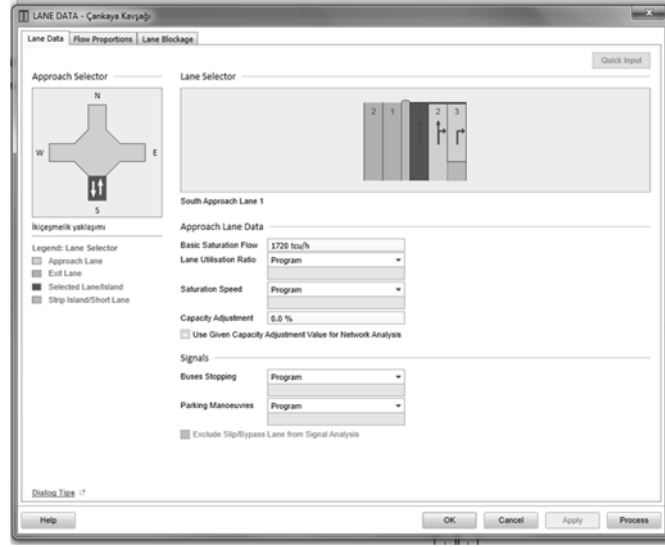
Konak Çankaya ve Bursa Atatürk Lisesi kavşaklarında ideal doygun akım değeri çalışma kapsamında elde edilmiş olan 1720 otomobil/saat/şerit olarak alınmıştır. Karşıyaka Yunuslar Kavşağı'nda ise ışıklı yuvarlakada kavşak olması sebebiyle bu değer %5 oranında azaltılarak 1634 otomobil/saat/şerit olarak programa girilmiştir.



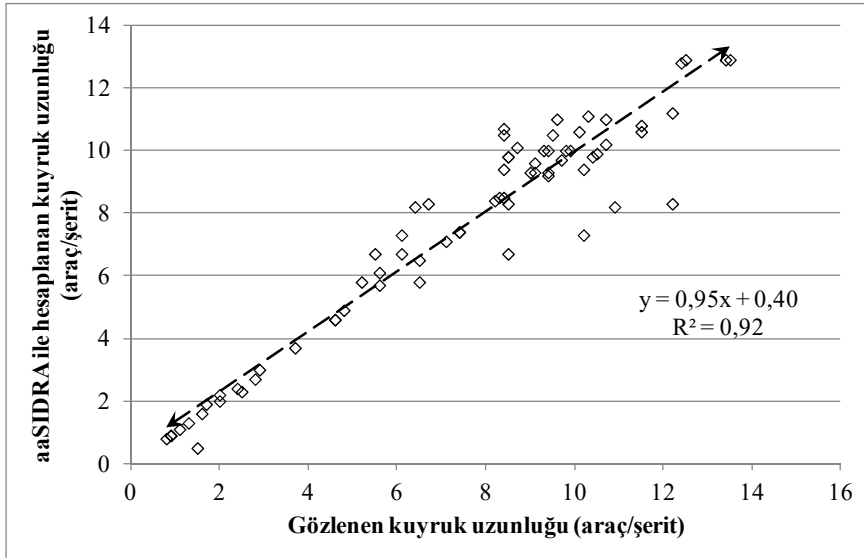
Şekil 5. Çankaya kavşağına ait SIDRA çizimi

Bilindiği üzere SIDRA programı ışıklı yuvarlakada kavşak seçeneğini içermemektedir. Ancak SIDRA 6.0 programının bir özelliği olarak birden fazla kavşak birleştirilerek bir kavşaklar sistemi oluşturulabilmektedir. Karşıyaka Yunuslar kavşağı, birbirine yakın ve birlikte çalışan yakın mesafeli kavşaklar sistemi olarak modellenmiştir.

Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi



Şekil 6. Şeritlere ait geometrik özelliklerin modele girişi



Şekil 7. aaSIDRA ile hesaplanmış kuyruk uzunlukları ile gözlemlenmiş kuyruk uzunluklarının karşılaştırılması.

Sürücü davranışlarının modele yansıtılmasında kullanılabilir bir diğer değişken de başlangıç kayıp zaman değeridir. Bu çalışma kapsamında kayıp zaman değerinin 0,01~5,27 saniye gibi geniş bir aralıkta değişebildiği görülmüştür. aaSIDRA programı kayıp zaman

değerini 3 saniye olarak kabul etmiştir. Programda ayrıca bu değer in sadece tam sayı alınabileceği belirtilmektedir. Çalışmada SIDRA programının kabul ettiği değerler kullanılmıştır.

Araçlara ait sola ve sağa dönüş EOB değerleri ise, programa sırasıyla 0,96 ve 1,40 olarak tanımlanmıştır. Minibüsler ayrı bir araç grubu olarak tanımlanmıştır ve EOB değeri 1,33 olarak girilmiştir. aaSIDRA'da ağır araç EOB değeri 1,65; uzun kamyon için ise 2,5 olarak tanımlanmıştır. Ağır araç EOB değeri 2,0 olarak değiştirilmiştir.

SIDRA modellerinde kalibrasyon (ölçeklendirme) kriteri olarak kuyruk uzunluğu seçilmiştir. Ölçeklendirme işlemi için her kavşakta yapılan gözlemlerden yararlanarak 15'er dakikalık veri grupları oluşturulmuştur (15 dakika boyunca kırmızı ışıkta şerit başına kuyrukta bekleyen araçlar sayılarak ortalamaları alınmıştır). Gözlemlenen ve hesaplanan kuyruk uzunluk değerlerinin karşılaştırması, Şekil 7'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde programın uygun sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, İzmir kent merkezindeki sekiz, Bursa ve Denizli kent merkezlerinde yer alan birer olmak üzere toplam on kavşaktan elde edilen verilerden yararlanarak; ülkemizdeki ışıklı kavşaklar için temel doymun akım değeri ile doymun akımı etkileyen bazı düzletme faktörlerine ait parametreler önerilmeye çalışılmıştır. Çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Hesaplamalar sonucunda, temel doymun akım değerinin 1720 araç/saat/şerit olduğu anlaşılmıştır. Bunun ana sebebi olarak, özellikle kuyrukta bekleyen sürücülerin, kuyrukta daha ön sıralarda bekleyen sürücülerini yurtdışındaki sürücülere oranla daha uzun aralıklarla takip etmeleridir.
- Analizler sonucunda ışıklı yuvarlakada kavşaklar için temel doymun akım değerinin 1634 araç/saat/şerit olduğu hesaplanmıştır. Diğer bir değişle ışıklı yuvarlakada kavşaklarda; şerit başına doymun akımda yaklaşık %5'lik bir azalma meydana gelmektedir.
- Çalışmanın diğer önemli bir sonucu, sola dönen araçlara ait EOB değerinin, doğru geçiş yapan araçlardan daha düşük hesaplanmış olmasıdır. Gözlem yapılan kavşaklarda, sola dönüş için ayrılan yeşil süre, doğru geçiş yapan veya sağa dönen araçlar için ayrılan yeşil süreye oranla daha kısadır. Bunun sonucunda, sola dönüş yapacak sürücüler, sürenin kısalığının da farkına vararak daha hızlı bir şekilde kavşaktan geçiş yapma ve böylece gecikmelerini en aza indirme eğilimindedirler.
- Çalışmada ayrıca minibüslere ait EOB değerinin 1,33; otobüs ve kamyon gibi ağır araçlar için ise EOB değerinin ışıklı kavşaklarda 2,0 olduğu bulunmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar ışıklı kavşakların kapasite ve başarımlarında kullanılan doymun akım değeri ile ilgili önemli bulguları içermektedir. Sonuçlar, ülkemizdeki sürücü davranışlarının diğer ülkelerden önemli oranda farklılıklar içerebileceğini göstermektedir. Ülkemizin farklı kentlerinde ve/veya bölgelerinde yapılacak benzer çalışmalar ile gözlem sayısının artacağı ve ışıklı kavşak performanslarının daha doğru olarak yapılabileceği

Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi

düşünülmektedir. Bu durum ülkemizdeki özellikle büyük kentlerdeki hızla artan trafik sıkışıklığı sorununun azaltılması için yardımcı bir etken olabilecektir.

Semboller

- b_{SY} : kavşağın sinyalize yuvarlakada olması durumunda kullanılacak azaltma katsayısı,
 d_a : araçların hızlanması süresindeki ortalama gecikme süresi (saniye),
 EOB_i : "i" aracının eş değer otomobil birimi
 EOB_{LT} : sola dönen araçlara ait eş değer otomobil birimi
 EOB_{RT} : sağa dönen araçlara ait eş değer otomobil birimi
 f_a : bölge tipi faktörü,
 f_{bb} : otobüs durağı etkisi düzeltme faktörü,
 f_g : yaklaşım kolu eğim düzeltme faktörü,
 f_{HV} : ağır araç düzeltme faktörü,
 f_{Lpb} : sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü,
 f_{LT} : sola dönüş düzeltme faktörü,
 f_{LU} : şerit kullanım oranı faktörü,
 f_p : parklanma düzeltme düzeltme faktörü,
 f_{Rpb} : sağa dönüşler için yaya düzeltme faktörü
 f_{RT} : sağa dönüş düzeltme faktörü,
 f_{sy} : yuvarlakada düzeltme faktörü
 f_w : şerit genişlik faktörü,
 h_i : "i." kuyruktaki aracın aralık değeri (saniye);
 h_{ij} : i. devrede, kuyruktaki j. aracın kuyruğu boşaltma takip aralığı (saniye),
 h_n : ortalama doygun takip aralığı (saniye)
 i : devre sayısı;
 j : kuyruktaki aracın pozisyonu;
 m : gözlemlenen devre sayısı
 n : toplam devre sayısı;
 N : şerit sayısı,
 n_i : i. devrede kuyruktaki araç sayısı ($n_i > 4$),
 P_{HV} : kuyruktaki otobüs ve kamyon oranı

P_i	: “ i ” aracının akım içerisindeki yüzdesi
P_{LT}	: sola dönen araç oranı
$P_{minibüs}$: kuyruktaki minibüs oranı
P_{RT}	: sağa dönen araç oranı
S	: doyun akım miktarı (araç/saat)
S_o	: temel (ideal) doyun akım değeri (araç/saat),
t_{ij}	: kuyruktaki her bir aracın takip aralığı (saniye)
t_r	: kuyrukta ilk sırada bekleyen sürücülerin ortalama başlangıç tepki süresi (saniye);
t_s	: başlangıç kayıp süre (saniye)
W	: şerit genişliği (m)
Z	: h_n 'den büyük olan aralığa sahip araçların sayısı

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik araştırma Grubu'nun desteklemiş olduğu 110M677 no.lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Transportation Research Board (TRB), “Highway capacity manual”, Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council, 2010.
- [2] Bester, C. J, Meyers, W. L., “Saturation flow rates”. In Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference (560-568), Pretoria, 2007.
- [3] Akova, M., Kavşak sinyalizasyon hesabında duruş, kalkış ve boşaltma koşullarının etkisi, hesap yöntemleri ve ülkemiz gerçeklerine uygun yöntem araştırılması. Doktora tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 1979.
- [4] Murat, Y. Ş. “Sinyalize kavşaklarda bulanık mantık tekniği ile trafik uyumlu sinyal devre modeli”, İTÜ, Doktora tezi, 2001.
- [5] Nuttmaki, J, Pursula, M., “Saturation flows at signal-group-controlled traffic signals”, Transportation Research Record 1572, Paper No: 970233, 1996.
- [6] Lin, F. B., Tseng, P. Y., “Fallacies and implications of conventional saturation flow model of queue discharge behavior at signalized intersections”, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, pp. 1610-1623, 2005.
- [7] Lin, F. B. , Thomas, D. R., “Headway compression during queue discharge at signalized intersection”, Journal of the Transportation Research Board, 1920, pp. 81-85, 2005.

- [8] Joseph, J., Chang, G. L., “Saturation flow rates and maximum critical lane volumes for planning applications in Maryland”, *Journal of Transportation Engineering*, ASCE 131 (12),pp. 946-952, 2005.
- [9] Rahman, M. M., Ahmed, S. N., Hassan, T., “Comparison of saturation flow rate at signalized intersections in Yokohama and Dhaka”, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, pp. 959-966, 2005.
- [10] Çetin, M. Murat, Y. S. Doygun Akımın Belirlenmesinde Sürücü davranışlarına Bağlı Bir Matematik Model, *İMO Teknik Dergi*, 24 (2), 6399-6414, 2013.
- [11] Özdemir, M. “Benefits of Signal Optimization in Isolated Intersections”, Boğaziçi University, Institute for Graduate Studies in Science and Engineering, Master of Science Thesis, İstanbul, 2001.
- [12] Çalışkanelli S. P., Özuysal M, Figen C., Tanyel S, "Sinyalize Kavşaklardaki Başlangıç Tepki Süresinin İncelenmesi"10. Ulaştırma Kongresi, İzmir, 167-177, 2013.
- [13] Çalışkanelli, S.P.; Tanyel, S. Investigating The Driver Response Time at Signalized Intersections, *Transport*, (Kabul edilmiştir, basım aşamasındadır), 2016.
- [14] Tarko, A. P., Tracz, M., “Uncertainty in saturation flow predictions”, *Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity*, 310-321, 2000.
- [15] Greenshields, B. D., Schapiro, D., Ericksen, E. L., “Traffic performance at urban intersections”, Saugatuck, Conn., Eno Foundation for Highway Traffic Control, 1947.
- [16] Transportation Research Board (TRB)., “Highway Capacity Manual”, Washington, D.C. Transportation Research Board, National Research Council, 2000.
- [17] Akçelik, R., Besley, M., and Roper, R., *UFundamental relationships for traffic flows at signalized intersections*. ARRB TransportationResearch Ltd.,Research Report ARR 340, 1999.
- [18] Bonneson, J.A., *Study of Headway and Lost time at Single Point Urban Interchanges*. Transportation Research Record 1365, TRB, National Research Council, Washington, DC., 1992.
- [19] McShane, W.R., Roess R.P., *Basic principles of intersection signalization*, Traffic Engineering (2nd Edition), Prentice Hall, Inc. Chapter 16, 1998.
- [20] Leong, H.J.W.; *Some Aspects of Urban Intersection Capacity*, PIVC. 2nd Conf. Austmlian Road Res. Board, 2(1), 305-308, 1964.
- [21] Abu-Rahmeh, F.W., *Saturation flow and lost time at traffic signals*, Ph.D. Thesis Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, 1982.
- [22] Chang Chien, *Saturation Flow at Signal Controlled intersection in Bangkok*, MSc Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1978.
- [23] Ibrahim, W.H.W., Vien, L.L.; Sadullah, A.F.M., *Determination of ideal saturation flow at signalised intersections under Malaysian road conditions*, Malaysian University Transportation Forum, University of Malaya, Kuala Lumpur: 304–311, 2002.

- [24] Türk Standartları Enstitüsü, TS 6407 Şehir içi ulaşım hesaplamalarında, araç tiplerine göre kullanılacak oto birim katsayıları, Türk Standard, TS 6407, Ankara, 2013.
- [25] Kockelman, K. M.; Shabih, R.; Effect of Vehicle Type on the Capacity of signalized Intersections, The Case of Light Duty Trucks, Journal of Transportation Engineering, Vol. 126, No. 6, pp. 516-512, 2000.
- [26] Bonneson, J.; Nevers, B.; Nguyen, T.; Fong, T.; “Guideliness for quantifying the influence of area type and other factors on saturation flow rate”, Texas Transportation Institute, Project number: PR9385-V2, Texas, United States, 2005.
- [27] Çevik, O.; Sinyalize kavşak yaklaşımlarındaki şerit seçim davranışlarının modellenmesi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2011.
- [28] Canseven, G.; Ağır Araç Oranının Sinyalize Kavşak Kapasitesine Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002.
- [29] Ayfer, M.Ö., Trafik Sinyalizasyonu, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1977.
- [30] Brabender, B. D.; Vereeck L.; Safety Effects of Roundabouts in Flanders: Signal Type, Speed Limits and Vulnerable Road Users, Accident Analysis & Prevention, 39 (3), pp. 591-599, 2007.
- [31] Qian, H., Li, K., Sun, J.; The Development and Enlightenment of Signalized Roundabout, 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2, Hunan, IEEE, pp. 538-542, 2008.
- [32] Bai, Y., Chen W., Xue K.; Association of Signal-Controlled Method at Roundabout and Delay, 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 1, Changsha, IEEE, pp. 816-820, 2010.
- [33] Maher, M.; The Optimization of Signal Settings on a Signalized Roundabout Using the Cross-Entropy Method, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 23 (2), pp. 76-85, 2008.
- [34] Tracz, M., Chodur, J.; Performance and Safety of Roundabouts with Traffic Signals, SIIIV-5th International Congress – Sustainability of Road Infrastructures 2012 (Procedia-Social and Behavioral Sciences), 53, pp. 788-799, 2012.
- [35] Ma, W., Liu, Y., Head, L., Yang, X.; Integrated Optimization of Lane Markings and Timings for Signalized Roundabouts, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 36, pp. 307-323, 2013.
- [36] Murat, Y. S., Cakici, Z., “Statistical Analysis of Vehicle Delay Measurements Considering Different Time Durations”, *International Civil Engineering & Architecture Symposium for Academicians (ICESA-2014)*, 17-20 May, Side-Antalya, 2014.
- [37] Çakıcı, Z., Murat, Y. Ş., Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi, 11. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 105-116, 2015.
- [38] Kimber, R.M., McDonald, H.; Hounsell, N.B.; The Prediction of Saturation Flow for Road Junctions Controlled by Traffic Signals. *TRRL Research Report 67*, 1986.

Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi

- [39] Akcelik, R.; *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. ARRB Research Record 123, Australian Road Research Board, 1981.
- [40] Teply, S.; *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections*: Institute of Transportation Engineers, District 7–Canada and The University of Alberta, 1984.
- [41] Waren, A.D., and Lasdon, L.S., “The status of nonlinear programming software”, *Operations Research*, 27(3): 431–456; 1979.
- [42] Lasdon, L.S., and Waren, A.D. “Large scale nonlinear programming”. *Computers and Chemical Engineering*, 7(5): 595–604; 1983.

TARTIŞMA

Türkiye'nin En Uzun Sulama Tüneli Suruç Tünelinde Geoteknik ve Tahkimat Tasarımları[†]

İbrahim ÇOBANOĞLU'nun katkıları*

Suruç ovasının sulanması amacıyla inşa edilen Suruç Tüneli güzergahında yapılan çalışmalar ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile hazırlanmış olan çalışma büyük ölçüde kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu tür büyük mühendislik projelerinde oluşturulmuş detay jeoloji haritaları büyük önem taşımaktadır. Ancak başta Şekil 1'de olmak üzere toplam uzunluğu 17.2 km olan tünele ait konum ve ilgili jeoloji haritası sunulduğu haliyle bir jeolojik harita özelliği taşımamaktadır. Zira bir jeoloji haritasında olması gereken unsurlar;

- 1- Haritanın başlığı
- 2- Haritanın ölçeği
- 3- Lejand (birim isimlendirmeleri ve yaşlandırmaları)
- 4- Yön (kuzey işareti)
- 5- Harita bir alıntı ise mutlaka kaynağa ait referans

olarak sıralanmaktadır. Benzer durum Şekil 2'de sunulan güzergah enine kesitinde de görülmektedir.

“Jeoloji” başlığı altında güzergah içerisinde kireçtaşı ve marn birimlerine rastlandığı ifade edilmiştir. Bu iki litoloji “Gaziantep Birimi” olarak adlandırılmıştır. Bu şekilde adlandırılacak bir jeolojik oluşumun “birim” adıyla tanımlanması hatalıdır. Makalede bahsedilen jeolojik oluşum formasyon niteliğinde yayılım sunmaktadır. Zira, bir veya daha fazla litolojiden oluşan, belirli bir yayılım sunan ve 1/25.000 ölçekli haritada gösterilebilen jeolojik oluşum “Formasyon” olarak adlandırılmaktadır. İnceleme alanında yer alan kireçtaşı birimi de “Gaziantep Formasyonu” adıyla ilk olarak [1] tarafından isimlendirilmiştir.

Ayrıca, tünel güzergahının bazı kesimlerinde yüzeyde alüvyon ve yamaç molozu birimlerinin görüldüğü ifade edilmektedir. En fazla 2 m kalınlığında olduğu bildirilen yamaç molozu birimi CL – ML sembolü ile tanımlanmıştır ki bu durum “Yamaç Molozu” olarak tanımlanmış birim için büyük bir zıtlık oluşturmaktadır. Zira yamaç molozu, tanım olarak bir yamaçta yer alan kaya külesinden fiziksel, kimyasal veya biyolojik ayrışmalarla aşınıp, yamaç eteklerinde taşınarak biriken değişik boyutlarda köşeli tanelerden oluşan taneli malzemedir. Bu özellikleriyle GW veya GP gibi bir grup sembolü ile gösterilir ve tipik kaba taneli yapılarıyla karakterize edilirler. İstif içerisinde taşınma sırasındaki çökelmeye bağlı olarak ince taneli seviyeler bulunursa da bu durum yamaç molozunun genel karakterini değiştirmez.

Makale içindeki “3 Geoteknik İncelemeler” başlığı altında ise tünel güzergahında kireçtaşı, marn ve fay zonu olmak üzere 3 ayrı birimin bulunduğu ifade edilmiştir. Burada ayırtlanmış

[†] Celal AĞAN, Serkan ERTÜRK, Teknik Dergi Cilt 28, Sayı 3, Temmuz 2017. 7897-7926

* Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli - icobanoglu@pau.edu.tr

Tartışma

olan ve “fay zonu” şeklinde isimlendirilmiş oluşum Şekil 2’de gösterilmeye çalışılmış olan fay düzlemleridir. İfade edilmeye çalışılmış ve birim olarak adlandırılmış zon genel özellikleriyle bir fay zonudur. Fay zonları, düzlemsel geometrik özellikleri ile tanımlanan jeolojik oluşumlar olup ayrı bir jeolojik birim olarak tanımlanamazlar. Ancak bu zon içerisinde gelişmiş bir jeolojik materyalin olması (fay breşi, fay kili vb) durumunda fay zonuna ait birimin özellikleri tanımlanır ve detaylı olarak araştırılır. Tablo 3’de gösterildiği şekilde bir fay zonunun UCS (tek eksenli sıkışma dayanımı) değeri 1 MPa, RQD değeri ise % 0 şeklinde ifade edilemez. İlgili tablodaki bu değerinde ne şekilde elde edildikleri hakkında bir bilgi (testlerin türü, örnek boyutları vb) de görülmektedir.

“3.1. Süreksizlik ölçümleri, kinematik analizler” başlığı altında tünel güzergahı boyunca 75 süreksizlik ölçümünün yapıldığı ifade edilmektedir. Uzunluğu ile ülkemizin en büyük, dünyanın ise 5. büyük sulama tüneli olduğu belirtilen 17.2 km uzunluğundaki tünel güzergahı için 75 adet süreksizlik ölçümünden bahsetmek, yapılacak analizin sadece kinematik analiz olması koşulunda bile mümkün değildir. Ayrıca, burada yapılan kinematik analizlerde hem kireçtaşı ve hem de marn birimleri için öngörülmuş içsel sürtünme açısı değerlerinin 25 ve 15 derece alınması, kinematik analizler için uygun değildir. Zira bu değerler, makale içerisinde “3.4. Laboratuvar test sonuçları” başlığı altında da belirtildiği üzere direkt kesme deneyi ile bulunmuş en düşük sayısal parametreler olup kaya malzemesini temsil etmektedir. Oysa kinematik analizlerde, ölçümlenmeleri yapılan süreksizlik yüzeylerine ait sürtünme açısı değerlerinin kullanılması gerekmektedir. Çünkü, kinematik analizlere konu olan husus tamamen kayanın kütleli özellikleri ile ilgilidir. Dolayısı ile analizlerde kullanılacak sürtünme açılarının mutlak surette süreksizlik yüzeylerine ait sürtünme açısı değerleri olması gerekmektedir. Bunun için de eğimlendirme masası deneyi gibi süreksizlik yüzeyi sürtünme açısını verebilecek deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu haliyle yapılan kinematik analizler yanlış sonuçların elde edilmesine ve değerlendirilmesine neden olacaktır.

Çalışmanın bütünü içinde ağırlıklı olarak kaya kütle sınıflamalarının bulunduğu görülmektedir. Adı geçen “4.Kaya Kütlelerinin Karakterize Edilmesi” başlıklı bölümde Q, RMR ve Hoek Brown sınıflamaları bir arada yapılmıştır. Bilindiği üzere bütün kaya kütle sınıflamaları, kaya kütleleri üzerinde yapılan ve detaylı arazi incelemeleri ile yüzey özelliklerinin tanımlandığı tecrübeye dayalı sınıflamalardır. Kaya kütlelerinin tanımlanması amacıyla “Hat Etüdü” adı verilen ve detayları Kaya Mekaniği kitaplarında da yer alan arazi çalışmaları yürütülür [2]. Bu çalışmalarla, [3] kaynağında detayları sunulmuş olan süreksizlik yüzey ölçümleri (süreksizlik aralığı, devamlılığı, pürüzlülük ve dalgalılığı, açıklığı, dolgu malzemesi ve ayrışma derecesi vb) gerçekleştirilir. 17.2 km uzunluğunda olduğu belirtilen tünel güzergahında böylesi bir çalışmanın yapılabilmesinin zorluğu kesindir. Bu amaçla belirlenmiş hatlar boyunca alınacak ölçümlerle kaya kütlelerine ait özelliklerin ortaya konulması gerekmektedir. Böylesi bir çalışmada, hat uzunluklarının, konumlarının ve diğer yüzey özelliklerinin de tanımlanmış olması beklenir ki, makalede bu ölçümlerin detaylarına hiçbir şekilde rastlanmamaktadır. [4], hat etüdü çalışmalarında kaya mostralarında ve hat boyunca fotoğraflandırmanın önemini vurgulamıştır. Makalede, yapıldığı ifade edilen kaya kütle sınıflandırma çalışmalarına veya kaya yüzleklerine ait herhangi bir ölçüm fotoğrafı makale içinde bulunmamaktadır. Bu durum okuyucunun, kaya kütlelerine ait koşulları değerlendirip canlandırmasını da zorlaştırmaktadır. Ayrıca, hat boyunca alınan süreksizlik ölçümleriyle hazırlanmış gül diyagramları, çok sayıda süreksizlik yüzeylerinin kolay bir şekilde değerlendirilmeleri açısından önem taşımaktadır. Yazarın kendi çalışmasından hat etüdü için bir örnek Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Örnek bir hat etüdü çalışmasında kaya yüzleklerinin görünümü (solda), çatlak aralıklarının ölçümü (ortada) ve alınmış süreksizlik ölçümleri ile hazırlanmış gül diyagramı (sağda).

RQD parametresi, hem RMR ve hem de Q kaya kütlesi sınıflaması için önemli bir girdi parametresidir. Yapılan sınıflamalarda kireçtaşı ve marn birimlerine ait değerler aynı alınmasına rağmen, fay zonu çökeli için RMR sınıflamasında (makalede Tablo 3) % 0 olarak alınan RQD değeri Q sınıflamasında % 15 olarak alınmıştır. Bu durum, RMR ve Q değerini değiştireceğinden, makale içerisinde incelenmiş olan kaya kütlesine ait dayanım, deformasyon modülü ve tahkimat basıncı değerlerinin de farklı elde edilmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] Wilson, H. H. ve Krummenacher, R. 1957. Geology and oil prosoects of the Gaziantep Region SE Turkey. Petrol Daire Bşk. Teknik arşivi, Ankara (yayımlanmamış).
- [2] Ulusay, R., Sönmez, H., 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, No: 60, 292 s., Ankara.
- [3] ISRM, 1981. Suggested Methods: Rock characterization, testing and monitoring, Pergamon Press, 211 p., London.
- [4] Hudson, J.A., Priest, S.D., 1979. Discontinuities and rock mass geometry. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, Abstracts, 16, 339 – 362.

Necat ÖZGÜR'ün katkıları*

Celal Ağan ve Serkan Ertürk tarafından yazılan "Türkiye'nin En Uzun Sulama Tüneli Suruç Tünelinde Geoteknik ve Tahkimat Tasarımları" adlı makalenin ÖZ ve GİRİŞ bölümlerinde Suruç Tünelinin 7 m son kesit çapı ve 17.2 km uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun sulama tüneli olacağı belirtilmektedir. Yine GİRİŞ bölümünde "Atatürk Barajında iki adet 26.5 km uzunluğunda ve 7.62 çapında sulama tüneli (Şanhurfa Tüneli) bulunmaktadır." ifadesi de yazarlara aittir. Böylece kendilerini tekip etmektedirler.

* necatozgur@yahoo.com

Tartışma

YAZARIN YANITI

Yazar bu tartışma yazısına süresi içinde bir yanıt göndermemiştir.

TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI TEKNİK DERGİ YAZIM KURALLARI

1. Yazı tümüyle (metin, çizelgeler, denklemler, çizimler) bilgisayarda düzenlenmeli ve baskıya hazır biçimde teslim edilmelidir. Yazı, A4 (210 x 297 mm) boyutlu kağıda, Word ortamında, 10 punto (ana başlık 15 punto) Times New Roman font kullanılarak, bir aralıkla yazılmalı, kağıdın sol ve sağ yanında 40 mm, üst ve alt yanlarında 52.5 mm boşluk bırakılmalıdır.
2. Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 25 sayfadan, teknik notlar 6 sayfadan daha uzun olmamalıdır.
3. Yazı, kağıda basılmış bir örneğiyle birlikte, elektronik ortamda (CD veya e-posta eki) gönderilmelidir.
4. Metin yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, Türkçe yazım kurallarına uygun olmalı, üçüncü tekil şahıs ve edilgen fiiller kullanılmalı, devrik cümleler içermemelidir.
5. Başlık kısa (en çok 10 kelime) ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir.
6. Bölümler (i) öz ve anahtar kelimeler, (ii) diğer dilde başlık, öz ve anahtar kelimeler, (iii) ana metin, (iv) semboller, (v) teşekkür (gerekliyse) ve (vi) kaynaklar sırası içinde düzenlenmelidir.
7. İki dildeki öz çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 100 kelimeyi aşmamalıdır. Gerekli görüldüğünde, öz(ler) yazara sorulmadan yeniden yazılabilir. En az üç tane anahtar kelime verilmelidir. İki dildeki başlık ve öz ve anahtar kelimeler birinci sayfaya sığdırılmalı, birinci sayfanın altında on satır boş bırakılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır.
8. Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır (TS1212).
9. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalı, ayrıca metnin sonunda (Kaynaklardan önce) tüm semboller alfabetik sıra ile (önce Latin, sonra Yunan alfabesi) listelenmelidir.
10. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir.
11. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, herbirine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.
12. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.
13. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir.
14. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir.
15. Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:
Kaynak makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.
Örnek : Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., 29, 65-72, 1962.
Kaynak kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, kitabın adı, cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl.
Örnek : Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.
Kaynak bildiri ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı, yapıldığı yer, yıl.
Kaynak tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu üniversite, yıl.
Kaynak rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl.
16. Teknik Dergi'de yayımlanmış bir yazı ile ilgili tartışma yazıları, en fazla iki sayfa olmalı, değinilen noktaları somut ve kısa biçimde ifade etmeli, yazarı değil içeriği eleştirmeli ve nezaket kurallarına uygun bir dille yazılmalıdır. Yazar yanıtları da yukarıda belirtilen ilkelere uygun olmalıdır.
17. Ayrı bir sayfada düzenlenmiş bir bilgi notu yazı ile birlikte gönderilmelidir. Bilgi notunda, (i) yazar adları, iş ve ev adresleri ile telefon numaraları, (ii) yazarların kısa birer özgeçmişleri ve (iii) yazarlarca imzalanmış olan "Bu yazının tümüyle özgün bir çalışmanın ürünü olduğunu ve daha önce, bu veya buna benzer bir biçimiyle, hiçbir yerde yayımlanmadığını, dürüstlük içinde bildiririm." notu bulunmalıdır.

İÇİNDEKİLER

Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı.....	8153
Kadir AKGÖL, Banihan GÜNAY	
İkili Köprü Ayaklarında Temiz Su Oyulmasının Zamansal Gelişimi	8167
Meriç YILMAZ, A. Melih YANMAZ, Mete KÖKEN	
Sığ Rijit Tabaka Üzerinde Yer Alan Kohezyonsuz Zeminlerdeki Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü Hakkında Sayısal Modelleme Esaslı Parametrik Bir Çalışma.....	8185
Güneş BABAGİRAY, Sami Oğuzhan AKBAŞ	
Güzelhisar Deresi'nin Aliğa Organize Sanayi Bölgesi İçin Suyolu Olarak Tasarımı.....	8199
İrşad BAYIRHAN, Selçuk NAS	
Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi	8225
S. Pelin ÇALIŞKANELLİ, Serhan TANYEL	
TARTIŞMA	
Türkiye'nin En Uzun Sulama Tüneli Suruç Tünelinde Geoteknik ve Tahkimat Tasarımları	8249
İbrahim ÇOBANOĞLU ve Necat ÖZGÜR'ün katkıları	