

 TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Cilt 29 Sayı 5 Eylül 2018

Teknik Dergi

- Science Citation Index Expanded
- Scopus
- 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 yayım 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. Yayım 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 erişilemeyen 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 Eylül 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 5 September 2018*

Cilt 29 Sayı 5 Eylül 2018

Teknik Dergi

Sahibi:

TMMOB İnşaat Mühendisleri
Odası adına
Cemal GÖKÇE

Yazı İşleri Müdürü:

Bahaettin SARI

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 ALTINBILEK
Davut ARDITI
Deniz ARTAN İLTER
Cem AYDEMİR
Yusuf AYYAZ
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
Kutay ÇELEBİOĞLU
Oğuz Cem ÇELİK
Hilmi Berk ÇELİKOĞLU
Ender DEMİREL
Fatih DİKBAŞ
Seyyit Ümit DİKMEN
Ahmet Anıl DINDAR
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
İlgin 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

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Teknik Dergi

Cilt: 29 Sayı: 5 Eylül 2018

İÇİNDEKİLER

Sürücü Davranışlarının Sinyalize Kavşak Başarımı Üzerindeki Etkisi.....	8563
Serhan TANYEL, Mehmet KOYUNCU, S. Pelin ÇALIŞKANELLİ	
Türkiye’de Devlet Karayollarında Kaza Oranlarının ve Kaza Örüntüsünün Analizi.....	8589
Murat ÖZEN, Fikret ZORLU	
Tsunami Afeti Sonrası Yapısal ve Yapısal Olmayan Önlemler ve Farkındalık Çalışmaları: Japonya Örneği.....	8605
Hasan Gökhan GÜLER, Ceren ÖZER SÖZDİNLER, Taro ARIKAWA, Ahmet Cevdet YALÇINER	
Borulu Sulama Şebekeleri Optimizasyonu.....	8631
Gökhan MARIM, Yakup DARAMA, Zafer BOZKUŞ	
Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylerle Araştırılması.....	8651
Fuat ARAS	
TEKNİK NOT	
Betonarme Kesitlerin Kapasite Momentlerinin Yaklaşık Hesabı.....	8669
Uğur ERSOY, M. Emre ÜNAL	

Sürücü Davranışlarının Sinyalize Kavşak Başarımı Üzerindeki Etkisi

Serhan TANYEL¹

Mehmet KOYUNCU²

S. Pelin ÇALIŞKANELLİ³

ÖZ

Çalışmada, kentiçi sinyalize kavşaklardaki sürücü davranışlarının, kavşak başarımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, İzmir kent merkezinde yer alan üç sinyalize kavşakta sürücü anketleri ile eş zamanlı tepki süresi ve kuyruk uzunluğu verileri toplanmıştır. Anketlerden elde edilen sürücü davranışlarını açıklayıcı çeşitli ölçeklerden yararlanarak özellikle sürücü tepki sürelerinin modellenmesine çalışılmıştır. Analizler sonucunda, sürücülerin yaş ve tecrübeleri arttıkça güvenlik algılarının da arttığı görülmüştür. Güvenlik ölçeği değerinin 39~50 arasında değiştiği; buna bağlı olarak, başlangıç tepki sürelerinin uzadığı ve sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin de yaklaşık %20 oranında arttığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sinyalize kavşak, sürücü tepki süresi, sürücü davranış karakteristikleri.

ABSTRACT

The Effect of Drivers' Behavior on Performance of Signalized Intersections

In this study investigating the effect of driver behavior on performance of signalized intersections is aimed. For this purpose, a questionnaire is drawn up to assess simultaneously queue length and start response time data at three signalized intersections in İzmir city center. Especially start response times of drivers are tried to be modeled using various physiological scales which explain drivers' behavior. Analyses have shown that, as the age and experience of drivers increase, their perception of safety also increases. It is found that perception of safety changes between 39~50 years of age and with respect to this, start response times are extended and average delay values increase by approximately 20% at signalized intersections.

Keywords: Signalized intersection, driver-response time, driver behavior characteristics.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.07.2016 günü ulaşmıştır. 25.07.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.369397

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

2 Ege Üniversitesi, Psikoloji Bölümü, İzmir - mehmet.koyuncu@ege.edu.tr

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

1. GİRİŞ

Günümüz toplumunda hareketliliğin vazgeçilmezliği temelinde önem kazanan “trafik” yaşamda herkesi etkileyen bir olgu olarak karşımıza çıkmakta ve gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda güvenli trafik ortamının yaratılmasında sürücülerin davranışlarının, bu davranışların altında yatan süreçlerin anlaşılması ve sisteme uymayı olanaklı kılacak şekilde değiştirilme çalışmalarının yapılması büyük önem taşımaktadır. Ancak, bireyin sisteme uyması kadar sistemin de bireylere uygun hale getirilmesi önemlidir. Bu amaçla yol tasarımında sürücülerin yetenek ve becerileri ile sürücülük stili dikkate alınmalıdır.

Yol tasarımında uyarıların çarpıcılığı ile sürücünün yol ve yol çevresine ilişkin beklentisinin önemli olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bir deneysel çalışmada, beklentinin nesnelerin teşhis edilmesindeki etkisi deneklere trafik ortamından resimler verilerek incelenmiştir [1]. Resimlerde bir gruba trafik işaretleri beklentiye uygun yerde (örn. yolun sağında) verilmiş, diğer gruba ise beklentinin aksine bir yerde sunulmuştur (örn. yolun sol tarafında). Deneklerden buradaki trafik işaretini teşhis etmeleri istenmiştir. Beklentiye uygun resimlerde hedef ortalama 1.1 saniye ve %6 hata ile; buna karşılık beklentiye uygun olmayan resimlerde 1.7 saniye ve %33 hata ile teşhis edilmiştir. Bu çalışmanın da ortaya çıkardığı gibi trafik öğelerinin algılanmasında çarpıcılıktan çok beklentiler etkili olmaktadır. Bu sonuca göre yanlış beklentiler ortaya çıkaran trafik ortamları son derece tehlikelidir; çünkü trafik uyarı işaretleri algılanamayacağı için beklentinin değiştirilmesi çok zor olacaktır.

Yaşlı sürücülerin görsel bilişsel fonksiyonları ile kaza sıklığı arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmada, karmaşık olan sürücülük görevini başarabilmek için en önemli değişkenlerin “ faydalı görüş alanı” ve “görsel/bilişsel bilgiyi işleme” olduğu bulunmuştur [2]. Faydalı görüş alanı, araç sürme sırasında, özellikle de çevredeki (periferdeki) olaylara dikkatin yönlendirilmesi gerektiği kavşaklarda çok kritik bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmada kavşak kazası yapan deneklerin %95’inin ve birden fazla kaza yapanların ise tümünün, faydalı görme alanı testinde başarısız oldukları görülmüştür.

Bilişsel becerilerle araç sürme becerisi arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalarda, bilişsel ve psiko-motor testler ile gerçek trafik ortamında gözlenen sürücü davranışları arasındaki korelasyonlar incelenmiştir [3, 4]. Bu çalışmalar sonucunda, zihinsel kapasite, karmaşık tepki zamanı, görsel bellek, algı, konsantrasyon/dikkat arasında anlamlı korelasyonlar bulunmuştur. Bununla birlikte başka bir çalışmada kavşak kazaları ile genel zeka arasında negatif korelasyon olduğu ortaya çıkmıştır [5].

Trafik psikolojisi alanında yapılan çalışmalarda sürücülük becerisi ve sürücülük stili birbirinden ayrı olarak ele alınmaktadır. Sürücülük becerisi, kişilerin bilişsel ve psiko-motor yetenekleri bakımından ne derece araç kullanmaya uygun olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte sürücülük stili ise kişilerin sahip oldukları yetenekleri araç kullanırken nasıl ifade ettikleriyle ilişkilidir ve sürücü davranışları, tutumları, kişilik özellikleri bu başlık altında ele alınmaktadır. Ülkemizde yapılan bir çalışmada sürücülük becerisi yüksek olan ancak hız ihlali yapma, yeterli takip mesafesi bırakmama gibi davranışları nedeniyle güvenli sürücülük stiline sahip olmayan sürücülerin daha fazla kaza yaptıkları ve ceza aldıkları bulunmuştur [6]. Başka bir çalışmada ise hız ihlali nedeniyle ehliyeti alınmış sürücülerin, alkol nedeniyle alınmış sürücülere oranla bilişsel ve psiko-motor testlerde daha başarılı olduklarını belirtmişlerdir. Bu bulgular sürücülerin hız davranışlarının altında bilişsel ve motor

yetersizliklerden çok kişilik özelliklerinin, trafik kurallarına ilişkin tutum ve inançların yattığını düşündürmektedir [7].

Trafik mühendisliği kapsamında sürücü davranışları, kavşak kapasitesi, takip aralığı, aralık kabulü gibi faktörlerde ön plana çıkmaktadır. Özellikle trafik güvenliği üzerine yapılan araştırmalarda, kavşak kapasite ve başarımlar analizlerinde sürücü davranışlarının doğru tanımlanması ve tahmin edilmesi tasarım aşamasında kilit rol oynamaktadır. Bu analizlerde sürücü davranışlarını en iyi yansıtan parametrelerden birisi ise sürücü tepki süresidir. Tepki süresi bir sürücünün, karayolu üzerindeki bir durumu algılaması, değerlendirmesi, karar ve tepki vermesi için geçen sürenin tamamı olarak tanımlanabilir. Sürücülere ait tepki süresi, büyük oranda duruş görüş uzunluğu ve kaza analizleri ile ilgili çalışmalarda incelenmekteyse de özellikle sinyalizasyon kavşaklarında sürücü başlangıç tepki süreleri, kavşak kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir.

Başlangıç tepki süresi, sürücünün yeşil yandığı andan itibaren ışığın değiştiğini fark ederek, ayağını pedala giderek aracı harekete geçirdiği ilk ana kadar geçen süre olarak tanımlanabilir [8]. Akçelik v.d. [9] başlangıç tepki süresini, kuyruk boşalım akım oranının, kuyruk boşalım hızının ve kuyruk boşalım zaman aralıklarının hesaplanmasında kullanmışlardır:

$$V_s = V_n [1 - e^{-m_v(t-t_r)}] \quad (1)$$

$$Q_s = Q_n [1 - e^{-m_q(t-t_r)}] \quad (2)$$

$$h_s = \frac{h_n}{[1 - e^{-m_q(t-t_r)}]} \quad (3)$$

Bu bağıntılarda t , yeşil sürenin başlangıcından itibaren geçen süreyi (saniye); t_r , başlangıç tepki süresini (start response time) (saniye); V_s , t anındaki kuyruk boşalım hızını (km/saat); V_n , en yüksek kuyruk boşalım hızını (km/saat); Q_s , t anındaki kuyruk boşalım akım oranını (araç/saat); Q_n , en yüksek kuyruk boşalım akım oranını (araç/saat); h_s , t anındaki kuyruk boşalım takip aralığını (saniye); h_n , en küçük kuyruk boşalım takip aralığını (saniye); m_v , kuyruk boşalım hız modeline ait bir parametreyi ve m_q kuyruk boşalım akım oranı modelindeki bir parametreyi ifade etmektedirler. Yine bilindiği üzere $h_s = 3600/Q_s$ ve $h_n = 3600/Q_n$ şeklinde de bulunabilmektedir.

Yukarıdaki bağıntılar incelendiğinde, özellikle “ h_n ” değerinin, doymuş akıma karşılık gelen zaman cinsinden aralık değeri olduğu görülebilmektedir. “ h_n ” değeri başlangıç tepki süresine bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [9]:

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

Burada “ d_a ”, araçların hızlanma süresindeki ortalama gecikme süresini (saniye), “ t_s ” ise başlangıç kayıp süreyi göstermektedir “ d_a ” ve “ t_s ” değerleri, sinyalden ayrılan araçların trafik akımı üzerindeki etkileri açısından önemli parametreler olmakla birlikte bu çalışma kapsamında hesaplanma yöntemleri üzerinde durulmayacaktır. Yukarıda tanımlanmış olan bağıntılar incelendiğinde, tüm bağıntılarda başlangıç tepki süresinin (t_r) önemli bir yeri olduğu görülmektedir.

Çeşitli araştırmacılar, başlangıç tepki süresi için farklı değerler önermişlerdir. Akçelik v.d. ile Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Transportation Engineers), başlangıç tepki süresini 1,0 saniye olarak kabul etmişlerdir [9, 10]. Cemet v.d. [11], 0,9 saniye değerini kullanmışlardır. Li ve Prevedourus [12] doğru geçiş yapan ve sola dönen sürücülerin başlangıç tepki sürelerini sırasıyla 1,76 ile 1,42 saniye olarak bulmuşlardır. AIMSUN benzetim programında, sinyalde ilk sırada bekleyen sürücülere ait başlangıç tepki süresi 1,35 saniye olarak alınmaktadır. Ülkemizde Çalışkanelli [13], İzmir kent merkezinde 10 sinyalize kavşakta başlangıç tepki sürelerini ölçmüş; çalışmanın sonucunda sinyal devre süresinin başlangıç tepki süresini uzattığı ancak kırmızı süre uzadıkça sürücülerin daha hızlı tepki verdiklerini; aracın körüklü otobüs olmasının ve kavşak yaklaşımının tek şerit olmasının da tepki süresini uzattığı bulunmuştur. Diğer önemli sayılabilecek bir bulgu da, cinsiyetin başlangıç tepki süresine olan etkisidir. Analizler, sürücünün erkek olmasının, başlangıç tepki süresini kısalttığını göstermiştir. Çalışkanelli'nin gözlemleri başlangıç tepki süresinin yoğun olarak 0,62~3,22 saniye aralığında değiştiğini ortaya koymuştur.

Çalışmada, sürücü davranışları ile sürücü başlangıç tepki süreleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmış ve farklı sürücü davranışlarının sinyalize kavşak başarımı üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Bu amaçla, İzmir kent merkezinde yer alan üç sinyalize kavşakta yol kenarı anketleri yapılmış ve anket yapılan sürücülerin başlangıç tepki süreleri gözlemlenerek bir model elde edilmeye çalışılmıştır.

2. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Çalışmada İzmir'de yer alan Lunapark, Karşıyaka Anıt ve Cin Deresi Kavşaklarında gözlemler gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Anketler, 2013 yılı içerisinde İzmir Emniyet Müdürlüğü Trafik Denetleme Şube Müdürlüğü tarafından görevlendirilmiş olan Trafik Emniyet Ekiplerinin desteği ve kontrolünde hafta içi standart günlerden birinde (Salı, Çarşamba veya Perşembe), trafik akışını en az aksatacak şekilde saat 14.00~16.00 arasında ve açık hava (yağmur v.b. etkilerin olmadığı) koşullarında gerçekleştirilmiştir. Gözlem verileri, eş zamanlı olarak gerçekleştirilen video kamera çekimleri ile eş zamanlı olarak yapılan yol kenarı anketlerinden elde edilmiştir. Video kamera çekimlerinden, trafik hacim değerleri ve toplam kuyruk uzunluklarının yanı sıra anket yapılan sürücülere ait başlangıç tepki süresi verileri elde edilmiştir. Anketlerden ise başlangıç tepki süresi elde edilmiş olan sürücülere ait kişilik ölçek verileri toplanmıştır.

2.1. Çalışma Kapsamında Hazırlanmış Olan Sürücü Anketleri

Sürücü davranışları, tutumları ve kişilik özelliklerinin trafik ortamındaki önemi göz önüne alınarak; ankete katılan sürücülerin belirtilen özellikler bağlamında incelenmesi hedeflenmiştir. Projenin en önemli aşamalarından birisi, uygulanacak anket ve ölçeklerin belirlenmesidir. Yürütülen çalışmada araştırma konusunu anlamamızda yardımcı olacak ve Türkiye de kullanılmak üzere geçerliği ve güvenilirliği yapılmış ölçekler seçilmiştir. Bu ölçeklere ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur:

Tablo 1. Gözlem Yapılan Kavşaklar

Kavşağın Adı	Trafik Hacmi (taşıt/saat/şerit)	İncelenen Yaklaşım	Şerit Tipi	Devre Süresi (saniye)	Şerit Genişliği (m)
Lunapark	744	Girne	2 Doğru Geçiş	105	3,30
	324		Sola Dönüş		3,00
Cin Deresi.	150	Narlıdere	2 Doğru Geçiş	85	3,20
	819		Sola Dönüş		2,50
Anıt	312	Konak	2 Doğru Geçiş	88	3,65

Bireysel Bilgi Formu, sürücülerin yaş, eğitim düzeyi, meslek, kullandığı araç türü gibi demografik özelliklerini inceleyen sorulardan oluşmaktadır. Bireysel Bilgi Formunda ayrıca, sürücülerin araç kullanma ve sürücülük deneyimlerine ilişkin kaç yıldır ehliyet sahibi oldukları, kaç yıldır aktif olarak araç kullandıkları, aylık ortalama kaç km yol kat ettikleri, araç kullanma nedenleri gibi sorular yer almaktadır. Bunun yanı sıra Bireysel Bilgi Formunda sürücülere, ehliyetlerinde şu anda ceza puanı olup olmadığı (varsa kaç puan olduğu), son üç yıl içinde aldıkları ceza sayıları (türüne göre ayrıntılı olarak) ve yaşamları boyunca karıştırdıkları kaza sayıları (kaza türü ve zamanı ile birlikte) sorulmaktadır. Sürücülere hava ve yol koşulları uygun olduğunda şehir içi ve şehirlerarası yollarda ortalama kaç km hızla araç kullandıkları sorusu da yöneltilmektedir. Buna ek olarak sürücülerin aşırı sollama yapma eğiliminde olup olmadıklarını belirlemek amacıyla kendilerini sollama yapma açısından diğer sürücülerle karşılaştırma yaparak değerlendirmeleri istenmektedir.

Lajunen ve Summala [14] tarafından geliştirilen ve Türkçe'ye Lajunen ve Özkan [15] tarafından uyarlanan **Sürücülük Becerisi Ölçeği** 20 maddeden oluşmaktadır. Araç kullanma becerisi ve güvenli sürücülük becerisi olmak üzere iki alt boyutu bulduğu bu ölçekte sürücüler, belirtilen sürücülük becerileri açısından kendilerini ne düzeyde güçlü ya da zayıf bulduklarını 5'li bir ölçek üzerinde işaretlemektedirler. Envanterden alınan yüksek puanlar sürücülük becerilerinin iyi olduğunun bir göstergesidir. Araç kullanma becerileri alt boyutu ise 11 maddeden oluşmaktadır (örn., "Yoğun trafikte kolaylıkla şerit değiştirme). Güvenlik becerileri alt boyutu ise 9 maddeden oluşmaktadır (örn., "Hız sınırlarına uyma").

Sümer, Ayvaşık ve Er [16] tarafından geliştirilen **Sürücü Heyecan Arama Envanteri** 33 maddeden oluşmaktadır. Envanter maddeleri 6 basamaklı Likert tipi bir ölçek üzerinden (1=beni hiç tarif etmiyor; 6=beni çok iyi tarif ediyor) değerlendirilmektedir. Envanter, genel heyecan arama boyutu, trafikte risk alma boyutu ve trafikte heyecan arama boyutu olmak üzere üç alt boyuttan oluşmaktadır. Envanterden alınan yüksek puanlar heyecan arama eğiliminin yüksek olduğunu göstermektedir.

Lajunen ve Parker [17] tarafından geliştirilen **Saldırgan Sürücülük Göstergeleri Ölçeği** 14 maddeden oluşmaktadır. Sürücülerden belirtilen durumlar ile ne sıklıkla karşılaştıklarını ve bu durumları kendilerinin ne sıklıkla yaptıklarını 5'li Likert tipi ölçek (0= Hiç bir zamandan

4= Sık sık'a) üzerinde belirtmeleri istenmektedir. Ölçeğin saldırgan davranış ve saldırgan uyarı olmak üzere iki alt boyutu vardır.

Lunapark Kavşağı'nda yapılan uygulamalarda 178 sürücü (%45), Cin Deresi Kavşağı'nda yapılan uygulamalarda 109 sürücü (%27), Karşıyaka Anıt Kavşağı'nda yapılan uygulamalarda ise 111 sürücü (%28) olmak üzere toplam 398 sürücü anket çalışmalarına katılmayı kabul etmiştir. Çalışmaya katılan sürücülerin %82'si erkek, %18'i ise kadındır. Ankete katılan sürücülerin büyük kısmının (%58) 31-50 yaş aralığında yer aldıkları görülmektedir. Bunu %17 ile 25-30 yaş aralığındaki sürücüler takip etmektedir. 25 yaşın altında sadece %8 oranında sürücü anketi cevaplamıştır. 51-60 yaş aralığında %14, 60 yaş üstü ise sadece %3 oranında sürücü ankete cevap vermeyi kabul etmiştir. Bu sonuçlar, tecrübeli kabul edilebilecek sürücü oranının yüksek olduğunu göstermektedir.

Ankete katılan sürücülerin eğitim durumlarına göre dağılımları incelendiğinde, %46'sının üniversite veya yüksek okul mezunu oldukları görülmektedir. Bu grubu %26 ile lise mezunları izlemektedir. Ortokul ve ilkokul mezunlarının oranları ise (%14 ve %13) birbirine çok yakındır. Ankete katılanların %1'i ise sadece okur-yazardır.

Sürücülerin meslek gruplarına göre dağılımları incelendiğinde, %40 gibi önemli bir oranının serbest meslek sahibi oldukları görülmektedir. Ev hanımları sürücülerin %3'ünü, öğrenciler ise %5'ini oluşturmaktadırlar. Emeklilerin %13 gibi önemli bir oranda yer aldıkları görülmektedir. Ankete katılan memurların oranı ise sadece %10'dur. Bunda anket yapılan saatlerin, memurların mesai saatleri kapsamında olmasının önemli bir etkisi olduğu söylenebilir.

Ankete katılan sürücülerin gelirlerine göre dağılımları incelendiğinde ise, toplamda %41'lik bir kısmının asgari gelir sahibi veya 1001-2000 TL arasında geliri olan kişilerden oluştuğu anlaşılmaktadır. Sürücülerin %21'inin geliri ise 4000 TL'nin üstündedir.

Ankete katılan sürücülerin %73 gibi yüksek bir oranının 10 yıldan uzun süredir ehliyet sahibi olduğu; %71'inin ise 10 yıldan fazladır aktif olarak araç kullandıkları görülmektedir. Buna göre, anket yapılan sürücülerin %70'ten fazlası çok tecrübeli, yaklaşık %10'luk bir kısmının ise tecrübeli sürücü olduğu söylenebilir.

Ankete katılan sürücülere ne sıklıkta araç kullandıklarına dair sorulan soruya "hergün araç kullanıyorum" şeklinde cevap verenlerin oranı, tüm anket yapılan sürücülerin içinde %83 gibi çok büyük bir değerdedir. Bu da, kavşak başarımı ile sürücü psikolojisi arasında bir ilişki arandığında, örneklemin doğru seçildiğini göstermektedir.

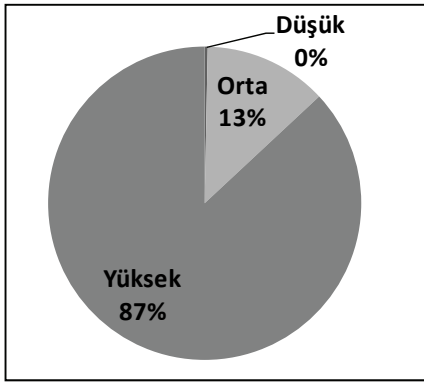
Anket kapsamında elde edilmeye çalışılan Kişilik Ölçeklerine ilişkin bulgular, üç ana envanter başlığı altında değerlendirilmiştir:

1. Sürücülük becerileri,
2. Trafikte heyecan arama,
3. Sürücü saldırganlık düzeyi.

İki alt boyutu bulunan Sürücülük Becerileri Envanteri'nden her iki boyut açısından 0 ile 50 arasında puanlar alınabilmektedir. 0 ile 16 arasında alınan puanlar sürücünün sürücülük becerilerini düşük değerlendirdiğine; 17-34 arası alınan puanlar orta düzeyde

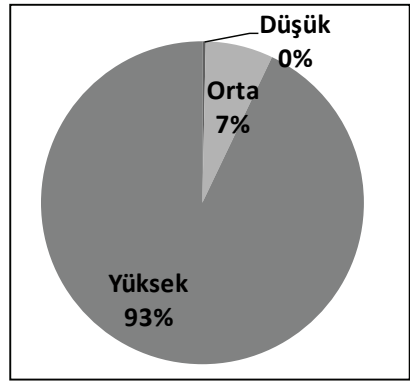
değerlendirdiğine; 35-50 arasında alınan puanlar yüksek düzeyde değerlendirdiğine işaret etmektedir.

Çalışmaya katılan sürücülerin kendi becerilerini değerlendirme düzeyleri incelendiğinde çok yüksek bir orana sahip grubun hem sürücülük hem de güvenlik becerilerini en yüksek düzeyde değerlendirdikleri göze çarpmaktadır (Şekil 1). Bu değerlendirmelerin sürücülerin öznel görüşlerine dayandığı unutulmamalıdır. Bu nedenle beceri değerlendirmelerinde gözlenen yüksek puanlar, sürücülerin becerilerini olduğundan daha yüksek algılama eğilimlerine işaret ediyor olabilir. Güvenli sürücülük becerileri puanı, aynı şekilde, araç kullanma becerileri puanlarına benzer bir dağılım göstermektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi bu ölçekte de değerlendirme sonuçları sürücülerin öznel görüşlerine dayanmaktadır. Ancak elde edilen bu sonuçlar, farklı ülkelerde yapılmış olan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla tutarlıdır. İsveç'te sürücülerin % 75'i, Amerika Birleşik Devletleri'nde %90'ı, Polonya'da ise % 69'u güvenli araç kullanma becerilerinin diğer sürücülerden daha üstün olduğunu belirtmişlerdir [18].



(a)

Araç kullanma beceri puanı



(b)

Güvenli sürücülük beceri puanı

Şekil 1. Sürücülük becerileri puan dağılımları

Saldırganlık ölçeğinden alınan düşük puanlar saldırganlık düzeyinin düşük olmasına; yüksek puanlar ise saldırganlık düzeyinin yüksek olmasına işaret etmektedir. 0-18 arasında alınan puanlar, sürücünün araç kullanırken genellikle öfkelenme düzeyinin düşük olduğunu ve sakin bir şekilde araç kullandığını düşündürmektedir. 19-37 arası alınan puanlar sürücünün çok sık öfkelenmese bile zaman zaman oldukça öfkelenebileceği fikrini açığa çıkarmaktadır. 38-56 arasında alınan puanlar ise sürücünün trafik ortamında sıklıkla öfkelenebileceğine işaret eder. Çalışma kapsamında saldırganlık düzeyi puanı düşük olan katılımcıların oranının %11, orta düzeyde olan katılımcıların oranının %51.5 ve yüksek düzeyde olan katılımcıların oranının %37.5 olduğu bulunmuştur.

Uygulanan üç ölçekten elde edilen puanların (Sürücülük Becerileri Envanteri, Sürücü Saldırganlık Ölçeği, Sürücü Heyecan Arama Envanteri) kavşaklara göre herhangi bir

farklılaşma gösterip göstermediğini incelemek üzere tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Ölçek alt boyutlarına ilişkin betimsel istatistikler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Farklı kavşaklara göre ölçek alt boyutlarına ilişkin betimsel istatistikler

Kavşak	Ölçek alt boyutu	N	Minimum	Maksimum	Ort.	SS
Lunapark Kavşağı	Araç kullanma	169	21,00	50,00	40,02	5,37
	Güvenlik	166	23,00	50,00	41,63	5,00
	Saldırganlık	163	2,00	56,00	33,67	11,08
	Genel Heyecan	166	18,00	92,00	47,61	16,04
	Trafikte Heyecan	176	7,00	42,00	22,90	8,23
	Trafikte Risk	170	8,00	43,00	15,47	7,46
Cinderesi Kavşağı	Araç kullanma	106	10,00	50,00	39,92	6,02
	Güvenlik	106	10,00	50,00	41,30	5,55
	Saldırganlık	108	2,00	56,00	31,27	11,23
	Genel Heyecan	104	18,00	89,00	45,57	15,69
	Trafikte Heyecan	108	7,00	42,00	22,43	8,13
Trafikte Risk	105	8,00	48,00	14,41	7,21	
Anıt Kavşağı	Araç kullanma	98	30,00	49,00	39,49	4,86
	Güvenlik	96	33,00	50,00	41,71	4,24
	Saldırganlık	91	3,00	52,00	30,36	12,18
	Genel Heyecan	98	22,00	72,00	46,54	14,65
	Trafikte Heyecan	111	7,00	37,00	22,32	7,12
	Trafikte Risk	108	8,00	38,00	14,86	7,05

Araç kullanma becerileri alt boyutundan alınan puanların farklı kavşaklarda farklılaşma göstermediği bulunmuştur $\{F(2,313)=0,147, p>0,05\}$. Benzer şekilde, güvenli sürücülük becerileri açısından da bir farklılaşma bulunmamaktadır $\{F(2,309)=0,163, p>0,05\}$. Araç

kullanma becerileri ve güvenli sürücülük becerilerinde elde edilen sonuçlarla tutarlı olarak, saldırganlık ölçeği açısından da aynı durum geçerlidir. Farklı kavşaklarda uygulamaya katılan sürücülerin saldırganlık puanları birbirinden farklı değildir $\{F(2,306)=2,167, p>0,05\}$.

Sürücü Heyecan Arama Envanteri'nin "genel heyecan arama", "trafikte heyecan arama" ve "trafikte risk alma" boyutlarından elde edilen puan ortalamaları uygulama yapılan kavşaklar açısından herhangi bir farklılaşma göstermemektedir, boyutları açısından sırasıyla $F(2,308)=0,542, p>0,05$; $F(2,327)=0,162 p>0,05$; $F(2,317)=0,696 p>0,05$ değerleri elde edilmiştir. .

Sürücü özelliklerini hesaba katarak yapılacak bir model önerisinde sürücü profilinin İzmir ilinin farklı bölgelerindeki kavşaklarda değişkenlik göstermemesi önem taşımaktadır. Yapılan anket sonucunda elde edilen veriler, incelenen kavşaklarda çalışma kapsamında ele alınan özellikler açısından sürücülerin farklılık göstermediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, yapılan anketler ve gözlemler sonucu elde edilen bilgilerin birlikte değerlendirilebileceklerini göstermektedir.

2.2. Başlangıç Tepki Süresi Verilerinin Toplanması

Çalışma kapsamında toplanan ikinci veri grubu, anket yapılan sürücülere ait başlangıç tepki sürelerinin ölçülmesidir. Başlangıç tepki süreleri, kuyrukta ilk sırada bulunan sürücülerle ve ikinci ve daha sonraki sıralarda yer alan sürücüler için ayrı toplanmıştır. Başlangıç tepki sürelerinin elde edilebilmesi için kavşağa birden fazla video kamera yerleştirilmiştir. Kameralardan ikisi farklı şeritlerden kavşağa giriş yapan taşıtların plakalarını okuyacak şekilde yerleştirilmiştir. İki kamera ile sinyal değişimi ve sürücülerin ilk tepkileri birlikte görülebilecek şekilde konumlandırılmıştır. Gözlemlerle eş zamanlı olarak, kavşakta her bir devre süresinde şerit başına oluşan kuyruk uzunlukları ve araç plakaları da gözlemciler tarafından toplanmıştır. Bu veriler, büro ortamında birleştirilerek sürücülere ait tepki süreleri tespit edilebilmiştir.

Tüm tepki süreleri, büroda tek bir gözlemci tarafından toplanmıştır. Başlangıç tepki süresi (veya sinyal DUR çizgisinde ilk sırada bulunan sürücüye ait reaksiyon süresi), trafik ışığının kırmızıdan yeşile döndüğü an ile sürücünün bulunduğu aracın ilk hareketini yaptığı an arasında geçen süre gözlemlenerek elde edilmiştir. Tepki sürelerinin belirlenmesinde kuyrukta bekleyen sürücünün önündeki aracın ilk hareketi kadar, sürücünün trafik ışığının yeşile dönmesi durumunda gösterdiği tepki de büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle tüm sürücülerin tepki süreleri, sinyalin yeşile dönmesinden itibaren ölçülmüş ve kuyruk sırasına göre kuyrukta arkada olan sürücünün tepki süresinden, öndeki sürücünün tepki süresi çıkarılmıştır. Yapılan incelemeler ve hesaplamalar, kuyrukta 2. sıradan itibaren bekleyen bazı sürücülerin, trafik ışığının yeşil yanmasının ardından önlerindeki araç hareket etmeden tepki verdiklerini göstermiştir. Bu sebeple bazı tepki süreleri negatif (-) olarak bulunmuştur. Bu sürücüler toplam gözlemlerin sadece %6'sını oluşturmaktadır. Anket yapılan sürücülerin başlangıç tepki sürelerine ait bazı tanımlayıcı istatistik değerleri Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3 incelendiğinde, Lunapark kavşağındaki sürücülerin tepki sürelerinin diğer sürücülere oranla daha kısa olduğu görülmektedir. Ancak standart sapma değeri, Lunapark kavşağında diğer kavşaklara oranla daha büyüktür. En uzun tepki süreleri ise Cindersesi kavşağında

gözlemlenmiştir. Bu farklılığın, Çalışkanelli'nin [13] çalışmasında da bulunduğu gibi kırmızı süre, yaklaşım kolundaki şerit sayısı, taşıt kompozisyonu vb unsurlardan kaynaklandığı söylenebilir.

Tablo 3. Gözlemlerden elde edilmiş olan başlangıç tepki sürelerine ait tanımlayıcı istatistikler

Kavşak Adı Veri Grubu		Ortalama	Standart Sapma	Medyan
Anıt	İlk Araçlar	1,52	0,65	1,34
	Kuyrukta 2. sıradan itibaren yeralan araçlar	1,22	0,56	1,17
Lunapark	İlk Araçlar	1,37	0,97	1,13
	Kuyrukta 2. sıradan itibaren yeralan araçlar	1,10	0,83	0,99
Cinderesi	İlk Araçlar	1,98	0,75	1,84
	Kuyrukta 2. sıradan itibaren yeralan araçlar	1,59	0,65	1,61

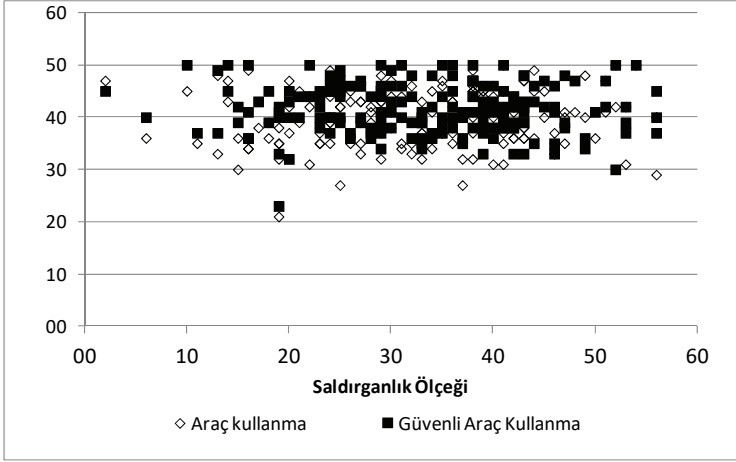
3. KİŞİLİK ÖLÇEKLERİ İLE KAVŞAK BAŞARIMI İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Çalışma kapsamında ulaşılmaması beklenen en önemli hedef, sürücülerin davranış özellikleri ile kavşak başarımı arasında bir ilişkinin elde edilmesidir. Bu amaçla, sürücülerin tepki süreleri bağımlı değişken olarak kabul edilmiş, sürücü davranışlarına etki edebilecek bağımsız değişkenler ise aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Sürücülerin cinsiyeti
- Sürücülerin kuyrukta buldukları konum (veya kuyruktaki sıra numaraları)
- Sürücülük beceri envanteri
 - Araç Kullanma
 - Güvenlik
- Trafikte heyecan arama
 - Genel heyecan arama
 - Trafikte heyecan arama
 - Trafikte risk alma
- Sürücü saldırganlık düzeyi

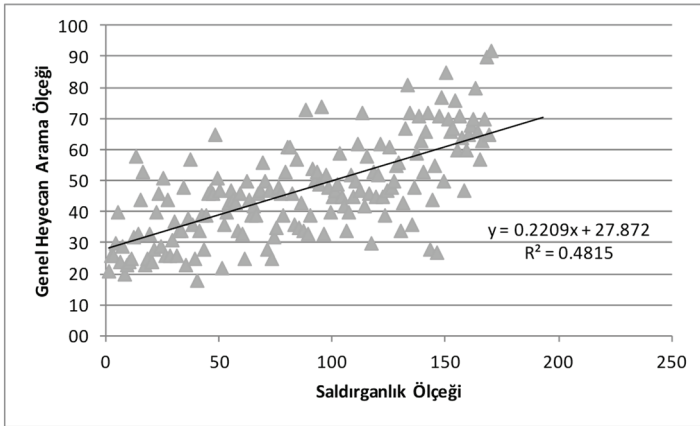
Yukarıda tanımlanan parametrelerden özellikle kişilik ölçeklerine ait parametreler arasındaki ilişki irdelenmiş, böylece modelleme aşamasında içsel bağımlılıktan kaynaklanan modelleme hataları en aza indirgenmeye çalışılmıştır.

Şekil 2'de sürücü saldırganlık düzeyi ile araç kullanma becerisi ve güvenlik parametreleri arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil incelendiğinde, sürücülerin saldırganlık düzeyleri ile sürücülük beceri envanterleri arasında anlamlı bir ilişki olmadığı anlaşılmaktadır.



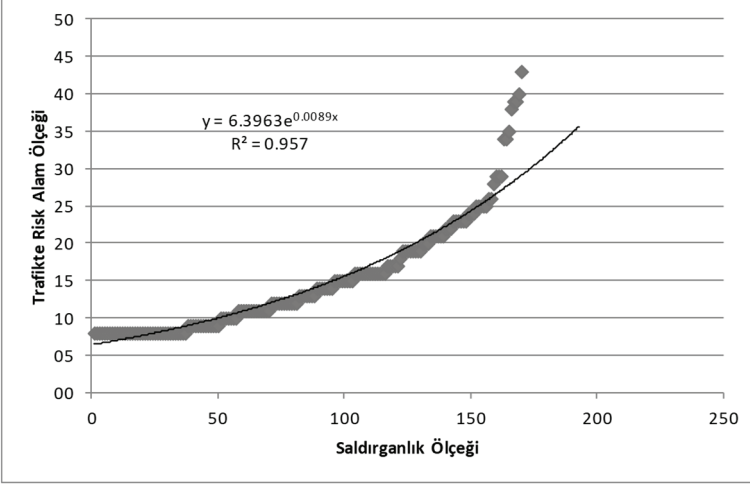
Şekil 2. Saldırganlık düzeyi ile araç kullanma becerisi ve güvenlik parametreleri arasındaki ilişki

Sürücü saldırganlık düzeyi ile trafikte heyecan arama envanteri arasındaki ilişki irdelendiğinde ise farklı bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Şekil 3'te Genel Heyecan Arama ile Saldırganlık Düzeyi arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi, iki parametre arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.



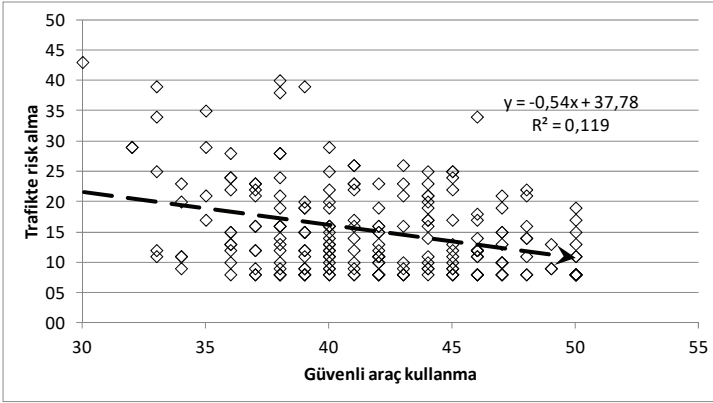
Şekil 3. Genel Heyecan Arama ile Saldırganlık Düzeyi arasındaki ilişki

Sürücülerin saldırganlık düzeyi ile trafikte risk alma ölçeği değerleri arasındaki ilişki irdelendiğinde, trafikte risk alma parametresinin büyük oranda saldırganlık düzeyine bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Sürücülerin saldırganlık düzeyi ile trafikte risk alma arasındaki ilişki

Güvenlik ölçeği ile trafikte risk alma arasındaki ilişki ise Şekil 5'te sunulmuştur. İki parametre arasında anlamlı bir ilişki olmamasına rağmen, sürücülerin güvenlik algısı arttıkça risk alma eğilimlerinin de azaldığı söylenebilir.



Şekil 5. Güvenlik ölçeği ile trafikte risk alma arasındaki ilişki

Modelleme aşamasında, Sürücülük Beceri Envanteri altında yer alan araç kullanma ve güvenlik ölçekleri, modelleme aşamasında birlikte değerlendirilmemişlerdir. Benzer şekilde Trafikte Heyecan Arama Envanteri altında yer alan genel heyecan arama, trafikte heyecan arama ve trafikte risk alma parametreleri ile, büyük oranda ilişkili oldukları saldırganlık düzeyi ölçeklerinin de aynı modelde yer almaları uygun bulunmamıştır.

Çalışma kapsamında sürücülere ait tepki süreleri ile cinsiyet, aracın kuyruktaki konumu, saldırganlık ve güvenlik ölçekleri arasında regresyon analizi kullanılarak ampirik bir bağıntı elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan ilk analiz sonuçları Tablo 4'te sunulmaktadır:

Tablo 4. İlk regresyon analizi sonucu

	β	Std. Hata	t-ist	p-değeri
Kuyruktaki Sıra No	-0,219	0,077	-2,849	0,007
Saldırganlık Ölçeği Puanı	0,004	0,007	0,522	0,605
Güvenlik Ölçeği Puanı	0,035	0,008	4,153	0,000
Cinsiyet	0,279	0,188	1,488	0,146
$R^2=0,906$ SS=61,205 MS=15,301 F-değ=79,344 F-test olasılığı=3,8x10 ⁻¹⁷				

Tablo 4 incelendiğinde, saldırganlık ve cinsiyet değişkenlerinin, sürücü tepki süresi ile anlamlı bir ilişkilerinin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu sonuç doğrultusunda regresyon analizi yenilenmiş ve Tablo 5'te sunulan değerler elde edilmiştir.

Tablo 5. İkinci regresyon analizi sonucu

	β	Std. Hata	t-ist	p-değeri
Kuyruktaki Sıra No	-0,231	0,079	-2,912	0,006
Güvenlik Ölçeği Puanı	0,043	0,005	9,262	0,000
$R^2=0,896$ SS=59,156 MS=29,578 F-değ=149,769 F-test olasılığı=3,8x10 ⁻¹⁷				

Tablo 5'ten de görülebileceği gibi, sürücüler kuyrukta ne kadar geride bulunuyorlarsa, o oranda hızlı tepki vermektedirler. Bu, kuyruk uzunluğunun sürücü davranışları üzerindeki etkisini kanıtlayan önemli bir bulgu olarak ön plana çıkmaktadır.

Güvenlik ölçeğinin de sürücülerin tepki süresi üzerinde büyük etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Summala yapmış olduğu çalışmalarda [18, 19], "sıfır-risk" adında bir model önermiştir. Bu modele göre, sürücüler algıladıkları riski (tehlikeli olayın öznel olasılığının seviyesinin ürünü ve olayın sonuçlarının öznel önemi) sifıra eşit olarak devam ettirme çabasındadırlar. Çalışmada, sürücülerin riskin arttığını algıladıkları durumda, riski azaltacak risk telafi mekanizmalarını devreye soktuklarını belirtmiştir (örn., düşük hız, uzak takip mesafesi vb.) [15]. Bu çalışma sonucunda da güvenlik ölçeği yüksek olan sürücülerin tepki süreleri ile güvenlik ölçeği arasındaki ilişki şu şekilde açıklanabilir:

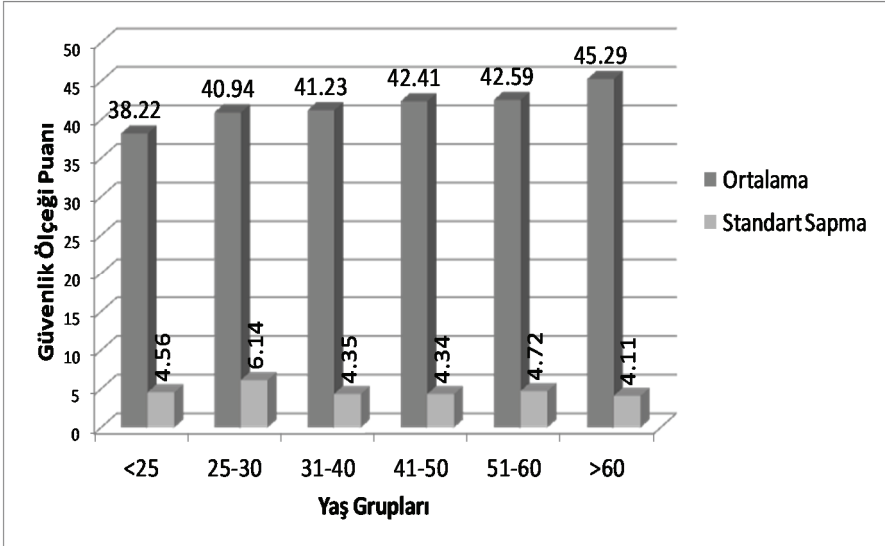
- Sinyalde güvenlik ölçeği yüksek olan ve ilk sırada bekleyen sürücüler, sinyal yeşile döndüğünde hemen harekete geçmemekte, diğer yönlerden kavşağa kural dışı girişi

yapması mümkün olan taşıt veya yayaları gözlemlemekte; böylece kaza risklerini azaltmaktadırlar.

- Sinyalde güvenlik ölçeği yüksek olan ve ikinci sıradan itibaren kuyrukta bekleyen sürücüler, önlerindeki aracın hareket etmesini beklemekte ve bir süre uzaklaştıktan sonra hareket etmektedirler.

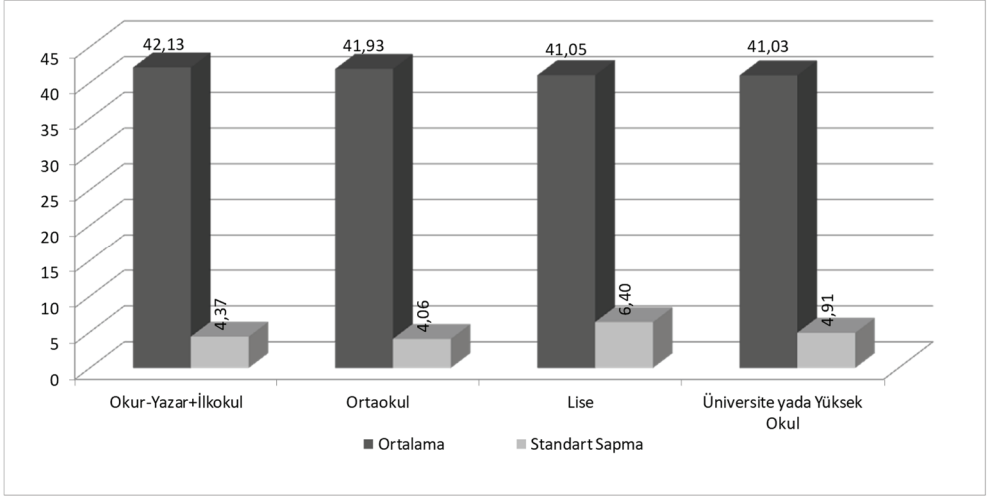
Güvenlik ölçeğinin demografik verilere göre değişimi ile ilgili olarak aşağıdaki hususlar ön plana çıkmaktadır:

- Güvenlik ölçeği; sürücü yaşlandıkça artmaktadır (Şekil 6). Bu durum, yaşlanan sürücülerin tecrübelerini artmasının yanı sıra, fiziksel yeteneklerinin zaman içinde azalmasıyla da ilişkilidir. Şekil 6 incelendiğinde, 60 yaş üstü grubun güvenlik ölçek ortalamalarının diğer yaş gruplarına göre daha yüksek olduğu; ancak standart sapmalarının en düşük değere ulaştığı görülmektedir. Buna karşın 25~30 yaş aralığındaki sürücülerin güvenlik ölçeğine ait standart sapma değeri diğer gruplara oranla çok yüksektir. Bu yaş aralığının, sürücü becerilerinin değişiminin en fazla olduğu dönem olarak kabul edilebileceği anlaşılmaktadır.
- Cinsiyet farklılıkları açısından güvenlik ölçeğinin değişimi irdelendiğinde, kadın sürücülerin erkelere oranla daha yüksek bir ortalamaya sahip oldukları (kadın sürücülerin ortalaması 41,42; erkek sürücülerin ortalaması 40,66'dır); ancak standart sapma değerlerinin erkek sürücülere oranla daha yüksek olduğu (kadın sürücüler için standart sapma değeri 5,35; erkek sürücüler için 4,37'dir) bulunmuştur. Bu da kadın sürücülerin güvenli sürüş algılarının erkelere oranla daha değişken olduğunu ortaya koymaktadır.

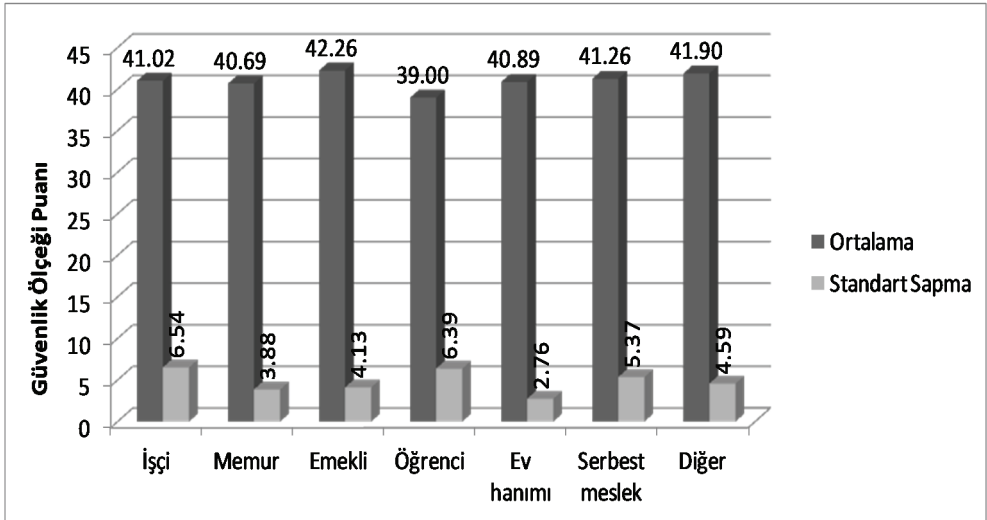


Şekil 6. Yaş gruplarına göre güvenlik ölçeği ortalama ve standart sapmaları

- Eğitim durumuna göre güvenlik ölçeğine ait ortalama ve standart sapma değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, okur-yazar ve ilkokul mezunlarının güvenlik ölçeğine ait ortalamalarının yüksek olduğu, standart sapmalarının ise ortaokul mezunlarından sonra ikinci en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Lise ve üniversite veya yüksek okul mezunlarına ait grupların ortalamaları birbirine çok yakındır. Lise mezunlarının standart sapma değeri ise diğerlerine oranla çok yüksektir. Bu bulgular, eğitim seviyesi düşük olanların güvenlik ölçeğinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. Eğitim durumuna göre güvenlik ölçeği ortalaması ve standart sapmaları



Şekil 8. Mesleklere göre güvenlik ölçeği ortalaması ve standart sapmaları

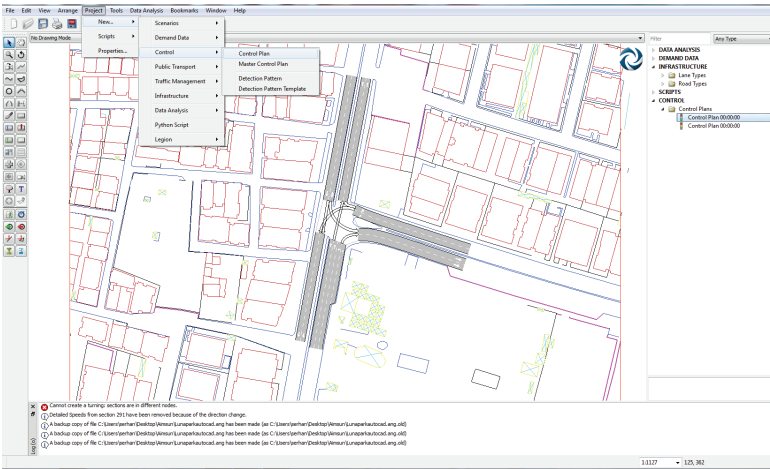
- Şekil 8’de ise meslek gruplarına göre ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde güvenlik ölçek ortalaması en düşük ve standart sapması en yüksek grubun öğrenci grubu olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek ortalama ise Emekli grubunda görülmüştür. Bu sonuçlar, yaş gruplarından elde edilen sonuçlarla da örtüşmektedir.

Yukarıdaki analizlerden çalışma kapsamındaki sürücü örnekleminin “güvenli”, “sakin” ve “temkinli” araç kullanma eğiliminde olduğunu söylemek mümkündür. Bu bulgu Lajunen ve Özkan’ın [15] bulgularıyla da uyumludur.

4. SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARINA BAĞLI SİNYALİZE KAVŞAK BAŞARIMININ DEĞİŞİMİ ÜZERİNE BİR TARTIŞMA

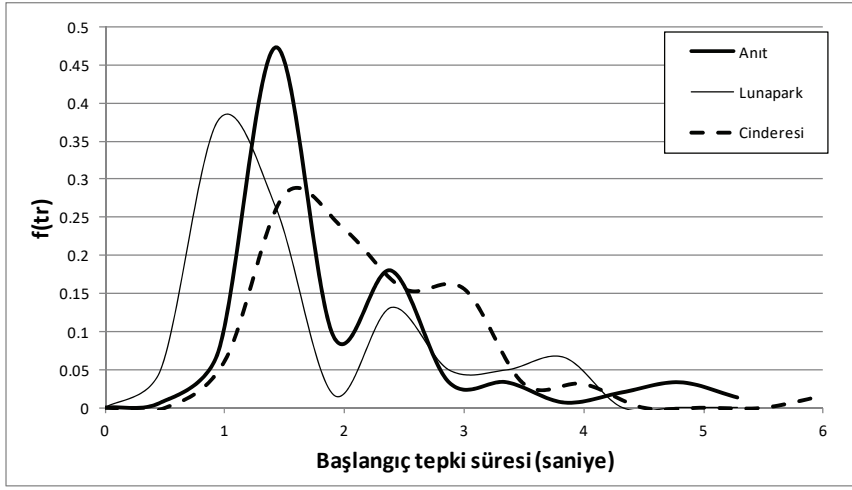
Çalışmanın bu kısmında, farklı sürücü davranışlarının kavşak başarımını nasıl etkilediği irdelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, AIMSUN benzetim programından yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen üç kavşağa ait AIMSUN programında benzetim modelleri hazırlanmıştır. Örnek bir program görüntüsü Lunapark Kavşağı için Şekil 9’da verilmiştir.

AIMSUN programı, sürücüler ve araçlarla ilgili detaylı veri girişine olanak tanımaktadır [20]. Bu amaçla, modellenen kavşağı kullanan taşıt karakteristiklerinin yanı sıra, her taşıta ait sürücü tepki süreleri de programa girilebilmektedir. Programda sinyalde en önde bekleyen sürücüler ile kuyrukta bekleyen diğer sürücülere ait tepki sürelerinin başlangıç kabulü olarak 1,35 saniye alınmaktadır. Ancak önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, başlangıç tepki süreleri kavşağın özelliklerine bağlı olarak değişiklikler gösterebilir. Benzetim programının ölçeklendirilmesinde her kavşak için gözlemlenmiş olan başlangıç tepki süresi dağılımları kullanılmıştır. Böylece sürücü davranışları daha sağlıklı bir biçimde modele yansıtılabilmektedir. Şekil 10’da, ilk sıradaki taşıtlara ait başlangıç tepki sürelerinin dağılımı görülmektedir.

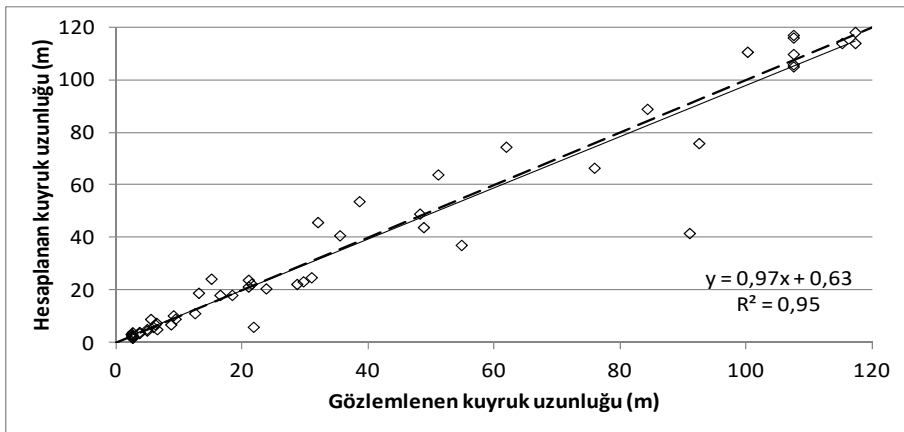


Şekil 9. Lunapark kavşağının AIMSUN programında oluşturulmuş modeli

Oluşturulan benzetim modellerinin uygunluğuna, kavşaktan toplanan kuyruk uzunluğu değerleri ile modelden elde edilen kuyruk uzunluğu değerleri karşılaştırılarak karar verilmiştir. Gecikme ve kuyruk uzunluğu modellerinin uygunluğunun tanımlanabilmesi için en az 15 dakikalık veri gruplarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla incelenen her üç kavşağa ait toplam 3 veri grubu elde edilmiş ve yine toplamda arazide yapılan çekim ve gözlemlerden elde edilen 31 ortalama kuyruk uzunluğu değeri ölçeklendirmenin doğruluğunun test edilmesinde kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 11’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde gözlenen kuyruk uzunluğu verileri ile modelden elde edilen kuyruk uzunluğu değerlerinin birbirleriyle uyumlu oldukları anlaşılmaktadır.



Şekil 10. Anket yapılan kavşaklara ait başlangıç tepki sürelerinin olasılık yoğunluk grafiği



Şekil 11. Gözlemlenen ve AIMSUN'dan elde edilen ortalama kuyruk uzunluklarının karşılaştırılması

AIMSUN programının ölçeklendirilme sürecinden de anlaşılacağı gibi, sürücülerin tepki süreleri özellikle benzetim programlarının gerçek koşullara uygun olarak modellenmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu da sürücü kişilik ölçekleri ile sürücülere ait tepki süreleri arasında bir ilişki aranmasının doğru bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın bu kısmında sürücülerin güvenlik ölçeklerinin değişiminin kavşak başarımı üzerindeki etkisi, AIMSUN programında hazırlanmış olan bir senaryo ile tartışılmaya çalışılacaktır.

Senaryo kurgusunun, sürücü davranışlarındaki farklılıkları yansıtabilmesi için Tablo 5'te önerilmiş olan aşağıdaki bağıntının kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür:

$$t_r = -0,231 * \text{Kuyruk Sıra No} + 0,043 * \text{Güvenlik} \quad (5)$$

Bağıntıda t_r , sürücülere ait tepki süresi (saniye)'dir. Bağıntıdan, sinyalde bekleyen sürücülere ait ortalama tepki sürelerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Ancak bağıntının kullanılabilirliğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, anket çalışması gerçekleştirilmiş olan üç kavşaktaki (Lunapark, Karşıyaka Anıt ve Cin Deresi) gönüllü sürücülere yapılmış olan anket sonuçlarından elde edilen güvenlik ölçek değerleri kullanılarak; sürücülere ait tepki süreleri hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, iki ana grupta toplanmıştır:

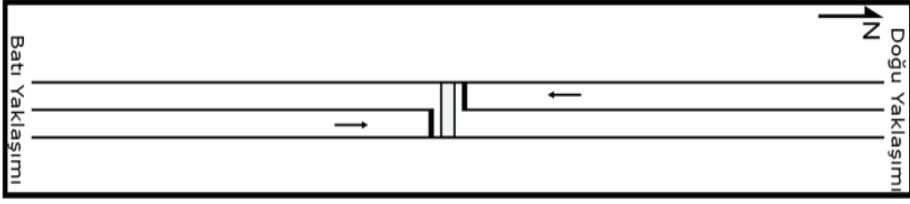
1. Sinyalde ilk sırada bulunan sürücülere ait tepki süreleri;
2. Sinyalde ikinci sıradan itibaren kuyrukta bekleyen sürücülere ait tepki süreleri.

Elde edilen veriler, anket sırasında eş zamanlı olarak toplanmış tepki süreleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Tablo 6'da görülmektedir. Tablo incelendiğinde, (5) bağıntısından elde edilen verilerin ortalamasıyla, gözlemlerden elde edilen verilerin ortalamalarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Diğer yandan hesap verilerinin sadece ortalama tepki sürelerinin hesaplanmasında kullanılabileceği de anlaşılmaktadır (standart sapmaların çok farklı olmalarının yanı sıra medyan, en küçük ve en büyük değerlerdeki farklılıklar da bu sonucu desteklemektedir).

Tablo 6. Gözlem verileri ile modelden elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Veri Grubu	Tanımlayıcı İstatistikler					
	Ortalama	Sapma	Medyan	Küçük	Büyük	
İlk araçlar	<i>Gözlemlenen</i>	1,572	0,858	1,360	0,500	3,900
	<i>Hesaplanan</i>	1,572	0,212	1,548	0,777	1,939
Kuyrukta 2. sıradan itibaren yer alan	<i>Gözlemlenen</i>	1,266	0,740	1,189	0,125	3,664
	<i>Hesaplanan</i>	1,282	0,212	1,259	0,478	1,650

Çalışma kapsamında Şekil 12'de görülen 2x1 bir yol üzerinde yer alan bir yaya sinyali AIMSUN programında oluşturulmuştur. Analizlerde Batı Yaklaşımı'ndan gelen araçların başarımları incelenmiştir.



Şekil 12. AIMSUN programında oluşturulan trafik sinyaline ait plan

Senaryo iki aşamadan oluşmaktadır:

1. İlk sırada bekleyen sürücülere ait başlangıç tepki süreleri bağıntı (5) yardımıyla hesaplanmış; kuyrukta bekleyen diğer sürücülerin tepki sürelerinin ortalaması 1,27 saniye olarak kabul edilmiştir.
2. Sinyalde ilk sırada bekleyen sürücülerin başlangıç tepki süreleri 1,40 saniye olarak kabul edilmiştir. Sinyaldeki kuyruğun en az 4 araçtan oluştuğu kabulü ile kuyrukta bekleyen sürücülerin tepki süreleri (5) bağıntısı kullanılarak hesaplanmış; hesaplanan değerlerin ortalaması alınarak programa girilmiştir.

Senaryo kapsamında ayrıca aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Devre süresi toplam 80 saniye olup; incelenen yaklaşıma (anayola) ait yeşil süre 40 saniye olarak kabul edilmiştir.
- Trafik hacminin 0~1500 taşıt/saat/şerit aralığında değiştiği öngörülmüştür.
- Sürücülere ait güvenlik ölçeği değerleri 25~50 arasında değişmektedir.
- Sürücülere ait tepki sürelerinin 0,75 saniyeden daha az olamayacağı kabul edilmiştir (AIMSUN programı daha düşük değerleri kabul etmemektedir).

Senaryolar, her bir güvenlik aralığı ve hacim değeri için 100'er tekrar yapılarak gerçekleştirilmiş; elde edilen sonuçların ortalamaları değerlendirmelerde kullanılmıştır. Her bir tekrarda, 15 dakikalık ilk ısınma süresi (warm-up time) tanımlanmış olup benzetim programı 60 dakikalık trafik akım koşulları için çalıştırılmıştır. Senaryolarda kullanılan değerler, Tablo 7'de sunulmuştur.

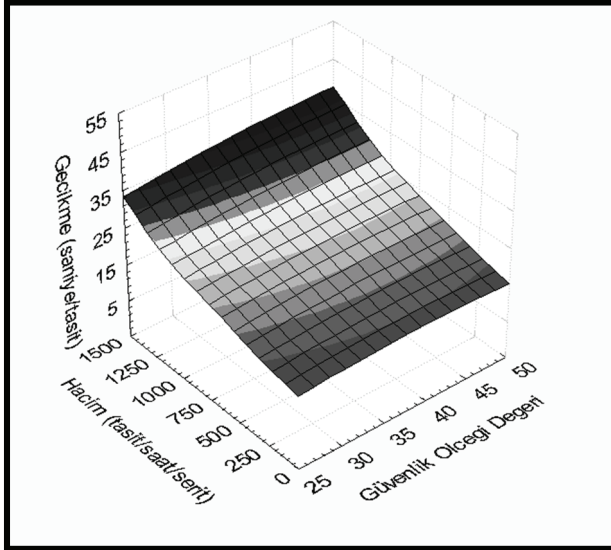
Senaryo 1'den elde edilen gecikme değerlerinin grafik gösterimi Şekil 13'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde, güvenlik ölçeği daha düşük olan sürücülerden oluşan trafik akımının daha düşük gecikme değerleri verdiği görülmektedir. Sürücülerin güvenlik ölçeği değeri arttıkça ortalama gecikme değerleri de artmaktadır. Ancak farklı güvenlik ölçekleri için elde edilmiş olan değerlerin birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir.

Şekil 14'te ise Senaryo 2'ye ait ortalama gecikme değerleri kullanılarak çizilmiş olan grafik görülmektedir. AIMSUN programı, 0,75 saniyeden daha düşük tepki sürelerini dikkate almadığından, 25~35 aralığındaki güvenlik ölçek değerlerine ait sonuçlar birbirleriyle aynıdır. Ancak, sürücülere ait güvenlik ölçeği değiştikçe gecikmeler arasındaki farklar Senaryo 1'e oranla daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Özellikle bu durum güvenlik

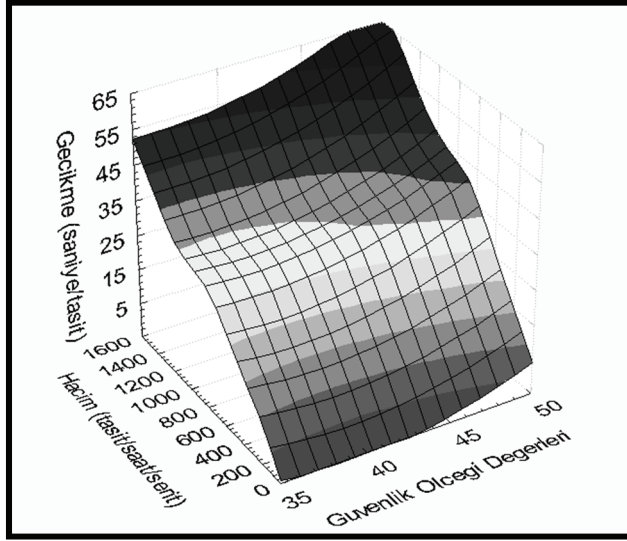
ölçeği değerinin 40'ı aşması durumunda daha açık olarak görülmektedir. Gecikme değeri yaklaşık %20 oranında artmaktadır.

Tablo 7. Senaryolarda kullanılan değerler

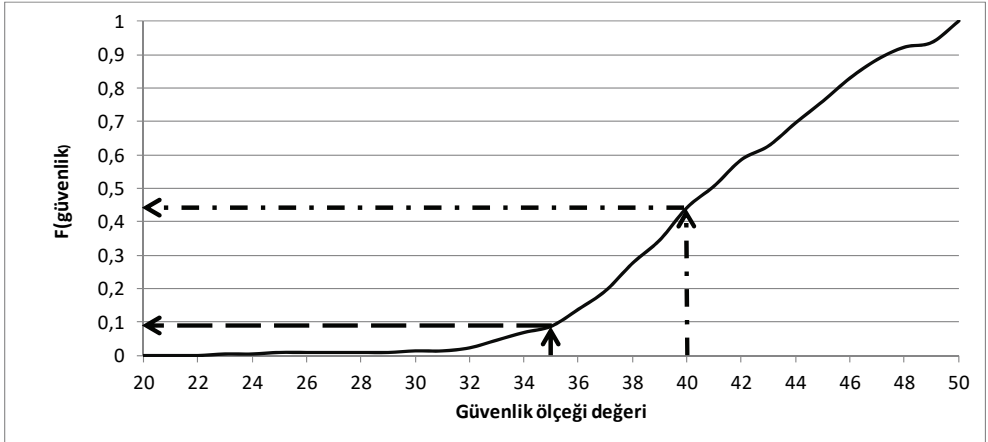
Güvenlik Ölçeği Puanı	Devre Süresi(sn)	Yeşil Süre (sn)	Tepki Süreleri (saniye)			
			Senaryo 1		Senaryo 2	
			İlk Araçlar	Kuyruktaki Araçlar	İlk Araçlar	Kuyruktaki Araçlar
25			0,86	1,27	1,40	0,75
30			1,08	1,27	1,40	0,75
35			1,29	1,27	1,40	0,75
40	80	40	1,51	1,27	1,40	0,96
45			1,72	1,27	1,40	1,19
50			1,94	1,27	1,40	1,42



Şekil 13. Senaryo 1'den elde edilen ortalama gecikme grafikleri



Şekil 14. Senaryo 2'den elde edilen ortalama gecikme grafikleri



Şekil 15. Ankete katılan sürücülere ait güvenlik ölçeği değerlerinin olasılık dağılım fonksiyonu

Şekil 15'te, ankete katılan sürücülere ait güvenlik ölçeği değerlerinin olasılık dağılım fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, güvenlik ölçeği değeri 35 ve daha küçük olan sürücü oranı %10'nun altındadır. Güvenlik ölçeği değeri 40 ve üstünde olan sürücüler ise tüm sürücülerin yaklaşık %55'ini oluşturmaktadır. Buna göre, bir sinyalizasyon kavşağında bekleyen sürücüler, yeşil ışık yandığında daha uzun tepki süreleri ile; dolayısıyla daha uzun takip aralıklarıyla kavşaktan ayrılmaktadır. Bu da, ideal doymuş akım değerinin düşmesine yol açmaktadır. Çalışkanelli v.d. [21] ile Çalışkanelli ve Tanyel'in [22]

çalışmalarında yapılan gözlemler sonucunda, sinyalize kavşaklardaki ideal doygun akım değerinin yaklaşık 1720 taşıt/saat/şerit olduğu bulunmuştur. Bu değer, Amerika Birleşik Devletleri [8] ve Avustralya'da [9] kullanılan değerlerden oldukça düşüktür. Buna göre çalışmanın sonuçları, Çalışkanelli v.d. (2013) ile Çalışkanelli ve Tanyel'in (2017) çalışmalarını destekler niteliktedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, kentiçi sinyalize kavşaklardaki sürücü davranışlarının, kavşak başarımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, İzmir kent merkezinde yer alan üç kavşakta sürücü anketleri ile eş zamanlı tepki süresi ve kuyruk uzunluğu verileri toplanmıştır. Anketlerden elde edilen sürücü davranışlarını açıklayıcı çeşitli ölçeklerden yararlanarak özellikle sürücü tepki sürelerinin modellenmesine çalışılmıştır. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yapılan anket sonuçları, sürücülerin %37,5'inin yüksek saldırganlık düzeyine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak beklenenin aksine, sürücülerin başlangıç tepki sürelerinin modellenmesinde, saldırganlık ölçeğinin değil; güvenlik ölçeğinin etkin olduğu anlaşılmıştır.
- Analizler sonucunda, sürücülerin yaş ve tecrübeleri arttıkça güvenlik ölçeği puanları da artmaktadır.
- Cinsiyet açısından güvenlik ölçeğinin değişimi irdelendiğinde, kadın sürücülerin daha yüksek bir ortalamaya sahip oldukları, ancak standart sapma değerlerinin erkek sürücülere oranla daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.
- Meslek gruplarına göre güvenlik ölçek ortalaması en düşük ve standart sapması en yüksek grubun öğrenci grubu olduğu görülmüştür. En yüksek ortalama ise emekli sürücülere ait grupta olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar, tecrübe arttıkça güvenlik ölçek puanının da arttığı sonucu ile örtüşmektedir.
- Sürücülere ait güvenlik ölçeği değeri arttıkça ortalama gecikme değerleri de artmaktadır. Bu, güvenli sürüş becerileri yüksek olan sürücülerin kavşağa daha dikkatli giriş yaptığı ve/veya öndeki aracı daha güvenli bir aralıkla takip ettiklerini göstermektedir. Sonuçlar, ankete katılan sürücülerin güvenlik ölçek değerlerinin yaklaşık 39~42 arasında değiştiğini göstermektedir.
- Bir kırmızı ışıkta kuyrukta bekleyen sürücülerin tepki sürelerinin, kavşak başarımında ilk sırada bekleyen sürücülerin başlangıç tepki sürelerine oranla daha fazla etkili oldukları görülmüştür.
- Benzetim programı kullanılarak yapılan analizler ise sürücülere ait güvenlik ölçeği değeri arttıkça ortalama gecikme değerlerinin de arttığını ortaya koymuştur. Bu, güvenli sürüş becerileri yüksek olan sürücülerin kavşağa daha dikkatli giriş yaptığı ve/veya öndeki aracı daha güvenli bir aralıkla takip ettiklerini göstermektedir. Diğer yandan, bu durum ideal doygun akım değerinin düşmesine de yol açmaktadır.

Farklı şehirlerde yapılacak olan anket çalışmalarının, bölgesel sürücü farklılıkları ortaya koyması bakımından yararlı bir çalışma olacaktır. Buna bağlı olarak ülkemiz sürücü

davranışlarını analiz etmeye yönelik çeşitli modellerde kullanılacak bazı temel trafik akım parametrelerinin belirlenmesinde büyük yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Semboller

d_a	: araçların hızlanma süresindeki ortalama gecikme süresi (saniye)
h_n	: en küçük kuyruk boşalım takip aralığı (saniye)
h_s	: t anındaki kuyruk boşalım takip aralığı (saniye)
m_q	: kuyruk boşalım akım oranı modelindeki bir parametre
m_v	: kuyruk boşalım hız modeline ait bir parametre
Q_n	: en yüksek kuyruk boşalım akım oranı (araç/saat)
Q_s	: t anındaki kuyruk boşalım akım oranı (araç/saat)
t	: yeşil sürenin başlangıcından itibaren geçen süre (saniye);
tr	: başlangıç tepki süresi (start response time) (saniye)
t_s	: ise başlangıç kayıp süre (saniye)
V_n	: en yüksek kuyruk boşalım hızı (km/saat)
V_s	: t anındaki kuyruk boşalım hızı (km/saat)

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] Theeuwes, J., Hagenzieker, M. P. 1993, Visual search of traffic scenes: On the effect of location expectations, In A. Gale., et al (Eds.), Vision in Vehicle IV (149- 158). Amsterdam: North Holland. Thesis Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield.
- [2] Owsley, C., Ball, K., Sloane, M.E., Roenker, D.L., Bruni, J. R. 1991, "Visual cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers", Psychology and Aging, 6 (3), pp. 403-415.
- [3] Bukasa, B., Wenninger, U. & Brandstatter, C. (1990), Validierung verkehrspsychologischer Testverfahren, Kleine Fachbuchreihe, 25. Austrian Road Safety Board. Vienna: Listeras edition.
- [4] Karner, T. & Neuwirth, W. (2001), Validation of traffic psychology test procedures according to driving samples, Yayınlanmamış proje ön raporu.

- [5] Smith, D. I. & Kirkham, R. W. (1982), Relationship between intelligence and driving record, *Accident Analysis & Prevention*, 14(6), pp. 439-442.
- [6] Sümer, N. & Özkan, T. (2002), Sürücü davranışları, becerileri, bazı kişilik özellikleri ve psikolojik belirtilerin trafik kazalarındaki rolleri, *Türk Psikoloji Dergisi*, 17 (50), pp. 1-22.
- [7] Amado, S., Koyuncu, M. & Kaçaroglu, G. (2004), Güvenli sürücülüğün değerlendirilmesinde etkili olan faktörler: Sürücünün demografik özellikleri, deneyimi, kişilik özellikleri ve psiko-teknik değerlendirme, *Türk Psikoloji Dergisi*, 19(53),pp. 23-43.
- [8] Transportation Research Board (TRB)(2010), Highway capacity manual. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- [9] Akçelik, R. ve Besley, M. & Roper, R. (1999), Fundemantal relationships for traffic flows at signalized intersections, ARRB Transportation Research Ltd., Research Report ARR 340.
- [10] Institute of Transportation Engineers. 1994. Determination of Vehicle Signal Change and Clearance Intervals, *Publication IR-073*, Washington, D.C.
- [11] Clement, S. J.; Taylor, M. A. P.; Yue, W. L. 2004. Simple platoon advancement: a model of automated vehicle movement at signalized intersections, *Transportation Research Part C*, 12, 293-320.
- [12] Li, H.; Prevedouros, P. D. 2007 Detailed observations of saturation headways and start-up lost time, Transportation Research Board of National Academies, *Journal of Transportation Research Board 1802*, 44-53.
- [13] Çalışkanelli, S. P. (2010), Sinyalizasyon sistemlerinden ayrılan araçların takip aralığı dağılımının incelenmesi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [14] Lajunen, T., & Summala, H. (1995), Driving Experience, Personality, and Skill and Safety Motive Dimensions in Drivers' Self-assessments, *Personality and Individual Differences*, 3, pp. 307-318.
- [15] Lajunen, T., & Özkan, T. (2004), Kültür, Güvenlik Kültürü, Türkiye ve Avrupa'da Trafik Güvenliği, Tubitak Proje No: SBB-3023, Ankara.
- [16] Sümer, N., Ayvaşık, H.B., Er, N. (1999-2003), Sürücü seçme ve değerlendirme için bilgisayar destekli psikoteknik test sistemi geliştirme projesi, TÜBİTAK-BİLTEN ve METEKSAN LTD. A.Ş. tarafından desteklenmiştir.
- [17] Lajunen, T., and Parker, D., "Are Aggressive People Aggressive Drivers? A Study of the Relationship Between Self-reported General Aggressiveness, Driver Anger and Aggressive Driving" *Accident Analysis and Prevention*, volume 33, p. 243-255 (2001).
- [18] Summala, H., Modeling Driver Behavior: A Pessimistic Prediction?, ed: L. Evans and R. C. Schwing , *Human behavior and traffic safety*, Plenum, New York, (1985). pp. 43-65.

- [19] Summala, H., "Risk Control Is Not Risk Adjustment: The Zero-risk Theory of Driver Behaviour and Its Implications. Special Issue: Risky Decision-making In Transport Operations" *Ergonomics*, volume 31, p. 491-506 (1988).
- [20] TSS-Transportation Simulation Systems, Aimsun 6.1 User Manual, 2005-2010.
- [21] Çalışkanelli S. P., Özuysal M, Figen C., Tanyel S, "Sinyalize Kavşaklardaki Başlangıç Tepki Süresinin İncelenmesi"10. Ulaştırma Kongresi, İzmir, 167-177, 2013.
- [22] Çalışkanelli, S.P.; Tanyel, S. Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin İrdelenmesi, İMO Teknik Dergi, (Basım Aşamasında, Ocak 2018'de basılacaktır), 2017.

Türkiye’de Devlet Karayollarında Kaza Oranlarının ve Kaza Örüntüsünün Analizi

Murat ÖZEN¹
Fikret ZORLU²

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye’de 2009 ile 2013 yılları arasında devlet karayolları kesimlerinde istatistiksel ve coğrafi yöntemler kullanılarak kaza analizleri yapılmıştır. Çalışmanın coğrafi analizler aşamasında global Moran's I değeri hesaplanarak kaza oranlarının mekânsal korelasyonunun olup olmadığına bakılmıştır. Kazaların hangi yol kesimlerinde daha yüksek oranda gerçekleştiğini tespit etmek için milyar taşıt-km başına düşen ölümlü ve/veya yaralanmalı (ÖY) kaza sayısı göstergesi kullanılmıştır. Bu kesimlerin coğrafi dağılımı incelendiğinde dağınık (kümelenmemiş) bir örüntü ortaya çıkmaktadır. Ulaşım ve trafik araştırmaları yazınında taşıt hacmi kaza sayısını açıklayan en önemli etkeni olarak gösterilmektedir. Bu çalışmada kaza oranları incelenerek taşıt yoğunluğu dışında pek çok etkenin açıklayıcı olabileceği iddia edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trafik kazaları, devlet karayolları, kazaların coğrafi analizi.

ABSTRACT

An Analysis of Crash Rates and the Crash Pattern on State Highways in Turkey

This study comprises a statistical and geographic analysis of traffic crashes on road segments of state highways in Turkey for the period of 2009 to 2013. At the geographic analysis stage, Global Moran's I value is used to measure the level of spatial concentration of crashes. Fatal and injury (FI) crashes per billion vehicle-kilometer traveled (VKT) is selected as a measure of exposure to identify state highway segments with higher crash rates. The geographic distribution of the road segments with higher rates shows a dispersed (not clustered) pattern. Researches in transportation and traffic literature showed that traffic volume is the most effective explanatory factor of traffic crashes. This research argues that many other factors may have significant influence on crash rates.

Keywords: Traffic crashes, state highways, geographic analysis of the crashes.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 23.01.2017 günü ulaşmıştır. 30.01.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.308318

1 Mersin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin - ozen.murat@mersin.edu.tr

2 Mersin Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Mersin - fikretzorlu@yahoo.com

1. GİRİŞ

Trafik kazaları, dünyadaki başlıca ölüm nedenleri arasında sekizinci sırada bulunmaktadır, 15-29 yaş aralığındaki genç nüfus için ise başlıca ölüm nedenidir [1,2]. Dünyada trafik kazalarında yılda bir milyondan fazla kişi ölmekte ve bu kazaların toplam maliyeti milyar dolar seviyesine ulaşmaktadır [3]. Mevcut eğilimlerin devam etmesine izin verilirse yakın gelecekte trafik kazaları ölüm sebeplerinde beşinci sıraya yükselecektir [2]. Bu rakamlar, trafik kazalarının dünyada ciddi bir güvenlik ve sağlık sorunu olarak ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Türkiye’de de benzer bir durum gözlenmektedir. 2015 yılında trafik kazalarında 7 bin 530 kişi ölmüş ve 304.000 kişi yaralanmıştır [4]. Bu kazalar, Türkiye’de Gayri Safi Yurt İçi Hasıla ürününün yaklaşık %1,1’i düzeyinde maddi zarara mal olmaktadır [2]. Artan nüfus ve gelir seviyesine paralel olarak özel otomobil sahipliği, tüketime bağlı olarak ticaret ve ulaşım araçlarının kullanımı da giderek artmaktadır. Son 10 yıl içinde trafiğe kayıtlı taşıt sayısı %79,4 artmıştır. Buna rağmen, kişi başına düşen taşıt sayısı hala gelişmiş ülkelerin gerisindedir. 2015 yılı verilerine göre Türkiye’de 1.000 kişi başına düşen taşıt sayısı 254’tür [5,6]. OECD tarafından 2016 yılında yayınlanan verilere göre bu değer İngiltere’de 568, Fransa’da 665, Almanya’da 681 ve ABD’de 862’dir [7].

Literatürde trafik güvenliğini analiz etmek ve değerlendirmek için çeşitli ölçütler kullanılmaktadır. *Milyon kişi başına ölüm*, bir kişinin trafik kazasında ölme riskini ifade etmektedir. Fakat bu oran tek başına ülkelerin trafik güvenlik risklerini karşılaştırmak için anlamlı sonuçlar vermemektedir; burada taşıt sayısı, taşıt kullanım sıklığı, yoğunluğu gibi etkenlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Trafik güvenliği riskini değerlendirmek için *milyar taşıt-km başına ölüm* sayısı en uygun gösterge olarak kabul edilmekte ve ülkeler bu göstergeye göre karşılaştırılmaktadır [3]. Güvenilir taşıt-km verilerinin olmadığı durumlarda *trafiğe kayıtlı taşıt başına ölüm* sayısı bir alternatif bir gösterge olarak kullanılabilir [7]. Türkiye’de trafik kazalarında milyon kişi başına düşen ölüm sayısı 2015 yılı için 96’dır [4,6]. Bu sayı AB-28 ülkeleri için ortalama 51 ve ABD için 102 olarak yayınlanmıştır [7,8]. Görüldüğü gibi, Türkiye’de 1.000 kişi başına AB ülkeleri kadar taşıt düşmemesine rağmen milyon kişi başına düşen ölüm sayısı daha yüksektir. En güvenilir karşılaştırma ölçütü olan *milyar taşıt-km başına düşen ölüm* sayısına bakıldığında, 2015 yılı verilerine göre Türkiye’de bu değer 66,5 olduğunu görmekteyiz. Türkiye bu değeri 2023 yılı öncesinde 10’un altına düşürmeyi hedeflemektedir [9]. AB-28 ülkeleri için ortalama değer yayınlanmamasına rağmen bazı ülkelere ait değerler karşılaştırma yapmak için kullanılabilir. İngiltere, Almanya ve Fransa’daki oranlar sırasıyla 3,6, 4,6 ve 5,9 olarak yayınlanmıştır. Dünyada kişi başına düşen taşıt sayısı en yüksek ülke olan ABD’nde bu değer 6,7’dir [7].

Yukarıda sunulan rakamlar trafik güvenliğinin Türkiye’de ciddi bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde bu konudaki ulusal düzeydeki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmaların çoğunluğunda lokal düzeyde kara noktaların analizi yapılmıştır. Bu şekilde tespit edilen kaza yoğunlaşma analizleri noktasal bazda çözümlere olanak sağlamaktadır ancak yol kesimi bazında çözümler için yeterli olamamaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, bu çalışmada Türkiye devlet karayolu ağında 2009-2013 yılları arasında gerçekleşen ölümlü ve yaralanmalı kazaların yol kesimleri bazında dağılımları ve bunların taşıt hacmi, taşıt-km ve yol özellikleri ile ilişkisi irdelenmiştir. Ulusal düzeyde karayolu yatırım politika ve önceliklerinin belirlenmesi için talep analizi kadar güvenlik analizinin de yapılması önem taşımaktadır. Bu amaçla, kaza analizi ile trafik güvenliğinin en fazla sorunlu

(kaza riskinin yüksek) olduğu yol kesimleri saptanmıştır. Bu bulgulardan yararlanılarak devlet karayollarında yeni yatırım ve iyileştirme çalışmaları yapılabilir.

Bu çalışma sırasıyla aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır. Bölüm 2’de karayolu trafik güvenliği ile ilgili geçmiş literatür kısaca özetlendikten sonra, Bölüm 3’de Türkiye’deki ulusal trafik kaza verileri incelenmiştir. Bölüm 4’de çalışma kapsamında kullanılan veri ve yöntemler anlatılmıştır. Bölüm 5 çalışma sonuçları ortaya konduktan sonra Bölüm 6’da sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Karayolu trafik kazalarının güvenlik ve risk analizleri hakkında kapsamlı bir literatür bulunmaktadır. Bu çalışmalar küresel veya ulusal düzeydeki kapsamlı değerlendirmelerden kaza düzeyindeki adli incelemelere kadar uzanmaktadır. Bu çalışmaların odak noktaları tüm taşıtlardan, kamyonlar, otobüsler, otomobiller, iki tekerlekli motosikletler ve bisikletler ve yayalar gibi belirli bir kullanıcı gruplarına kadar farklılık göstermektedir. Tüm bu çabalar ulaşım sistemlerindeki riski en aza indirerek sistem kullanıcılarının güvenliğini arttırmayı ve çevreye verilen zararları en aza indirmeye yönelik karar ve yatırımlara girdi sağlayacak bilgi ve değerlendirmeleri sunmayı hedeflemektedir.

Trafik kazalarındaki yaralanmaların şiddetlerini etkileyen risk faktörlerini belirleyebilmek için çeşitli yöntem ve yaklaşımlar kullanılmaktadır [10]. Bu yöntemler arasında logit modeller [11,12] ve sıralı probit regresyon modelleri [13-15] gibi çok değişkenli regresyon yaklaşımları sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tür regresyon modellerinin en önemli avantajı kazaların yaralanma şiddetini etkileyebilecek birçok faktörü aynı anda analiz edilebilmesidir [16]. Fakat bu tür modeller, trafik özellikleri (Yıllık Ortalama Günlük Trafik, hız sınırı ve trafik kontrolü vb.), sürücü özellikleri (yaş, cinsiyet, eğitim seviyesi, kaza ve ceza geçmişi, madde etkisi altında ve dikkat dağınıcılığı kullanımı, yardımcı cihaz kullanımı vb.), kaza özellikleri (kaza konumu, çarpışma tipi, kazaya karışan araçların sayısı ve türü, kazaya neden olan eylem vb.), çevresel faktörler (hava durumu, arazi tipi, ışık durumu vb.), zamansal faktörler (kaza günü, saati ve mevsimi vb.), karayolu geometrik özellikleri (yol sınıfı, yüzey koşulları, yatay ve düşey dönemeçlerin varlığı, bölünmüş/bölünmemiş yol vb.) gibi kaza düzeyinde çok detaylı veriye ihtiyaç duymaktadır [11,17].

Türkiye’de trafik kaza verileri çoğunlukla bütünleşik olarak yayınlanmaktadır. Bu istatistikler, toplam kaza sayısını, kazaya karışan araçların sayısını ve türünü, toplam ölüm ve yaralanma sayılarını içermektedir. Ulusal düzeyde detaylı kaza seviyesinde veri olmaması nedeniyle, trafik güvenliğindeki bölgesel ve taşıt tipine bağlı değişimler ayrıntılı olarak incelenememiştir. Sadece Erdoğan [18], 2001 ve 2006 yılları arasında il düzeyinde trafik kaza ve ölüm sayılarındaki farklılıkları incelemeye çalışmıştır. Çalışmada trafikteki gerçek hareketliliği tam olarak yansıtmamasına rağmen, il düzeyinde taşıt-km verisi eksikliği nedeniyle, kişi başına ve trafiğe kayıtlı taşıt sayısına düşen kaza ve ölüm sayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, yüksek kaza ve ölüm oranlarının rastgele dağılmadığını ve İstanbul, Ankara ve Antalya’yı birbirlerine bağlayan illerde kümelenildiğini göstermiştir.

Öte yandan, yerel ve bölgesel çalışmalar için belirli düzeye kadar kaza düzeyinde detaylı veri elde etmek mümkündür. En sık rastlanan yerel kaza verileri kazanın coğrafi koordinatlarını ve tarihini, kazaya karışan araç sayısı ve türlerini, ölü ve yaralı sayılarını içermektedir. Kaza

noktasının coğrafi koordinatları bu veriler arasında olduğundan yakın geçmişteki çalışmaların çoğunluğu kaza sıcak noktalarının mekânsal ve zamansal analizine odaklanmaktadır [19-24]. Modelleme aşamasında kaza düzeyinde yeteri kadar detaylı veri kullanan iki yerel çalışma dikkat çekmektedir. Bu çalışmaların ilkinde 2008 ile 2013 yılları arasında Kars ve Erzurum’daki kazaların şiddetini etkileyen faktörleri ortaya çıkarmak için multinominal logit analizi kullanılmıştır [25]. Bu dönemde meydana gelen 47.387 kazadan rastgele seçilen 11.771 kazanın şiddeti ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Çalışma sonuçları 65 yaş üstü sürücülerin, ilköğretim mezunu sürücülerin, tek aracın karıştığı kazaların, yaya geçitlerindeki kazaların, il yolları, devlet karayolları ve otoyollardaki kazaların kaza şiddetini arttırdığını göstermiştir. Bir diğer çalışmada otobüs kazalarındaki hasar şiddetini etkileyen faktörleri araştırmak için sıralı probit modeli kullanılmıştır [26]. 2002 yılında Türkiye’de meydana gelen 3.467 otobüs kazasından elde edilen verilerin kullanıldığı çalışmada hasarsız, az hasar, orta hasar ve yüksek hasar olmak üzere dört hasar seviyesi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar gece veya kötü hava şartlarında meydana gelen kazaların hasar şiddetini arttırdığını göstermiştir.

Türkiye’de karayolu ağında kesimlerin trafik güvenliği seviyelerini karşılaştırmalı olarak inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın bu eksikliği gidermesi ve katkı sağlaması amaçlanmaktadır. Literatürde kazaların mekânsal/coğrafi dağılımlarını inceleyen pek çok çalışmada farklı parametre ve faktörler (nüfus, gelir, iklim, şehirci/şehir dışı ayrımı, taşıt sahipliği vd.) incelenerek sorunun çözümüne yönelik bulgular ortaya çıkarılmıştır [27-30]. Türkiye’de detaylı çalışmaların yapılamamasının en önemli nedenlerinden bir tanesi yeterli detayda istatistiksel verilerin bulunamamasıdır. Bu sorunu aşmak için belirli koridorlar bazında kaza raporlarına ulaşılması, saha çalışması yapılması ve buna bağlı analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

3. ULUSAL KAZA VERİLERİ

Tablo 1’de sunulan son 15 yıllık dönemde, Türkiye nüfusu 65,0 milyondan 78,7 milyona (% 21 artış), ehliyetli sürücü sayısı 15,0 milyondan 27,5 milyona (%83 artış) ve kayıtlı taşıt sayısının 8,6’dan 20 milyona (%133 artış) yükseldiği görülmektedir [5-6,31]. Bu süreçte toplam taşıt-km düzenli bir şekilde artarak 51,7’den 113,2 milyara (%119 artış) yükselmiştir [32]. Türkiye 2015 yılından itibaren uluslararası düzeyde tavsiye edilen kaza sonrası 30 günlük gözlem süresini uygulamaya başlamıştır. 2015 yılına kadar yalnızca kaza noktasında meydana gelen ölüm ve yaralanmalar kayıt altına alınırken, 2015 yılından itibaren kaza anını takip eden 30 günlük süre içerisinde meydana gelen ölümler ve yaralanmalar kaza istatistiklerinde gösterilmeye başlanmıştır. Bu nedenle 2015 yılı öncesi ve sonrasındaki trafik kaza istatistiklerini karşılaştırırken veri toplama sürecindeki bu değişime dikkat edilmelidir. 2015 yılında trafik kazalarında meydana gelen ölümlerin %50,9’u (3.831) kaza noktasında %49,1’i (3.699) ise kaza sonrasındaki 30 gün içerisinde meydana gelmiştir. Bu değerler kaza sonrasındaki süreçte en az kaza noktasındaki kadar ölümün meydana geldiğini ve veri toplama sürecindeki bu gelişmenin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu sayede Türkiye’de trafik güvenliği problemi artık daha gerçekçi bir şekilde incelenebilecek ve diğer ülkelerle daha güvenilir karşılaştırmalar yapılması mümkün olacaktır.

Veri toplama sürecindeki yukarıda bahsedilen değişiklik nedeniyle, 2002 yılı verileriyle 2014 yılı verileri (2015 yerine) karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de 2002 ile 2014 yılları arasında ölü

sayısının düzenli bir şekilde 4.093'den 3.524'e düştüğü görülmektedir. Bundan daha önemlisi, milyar taşıt-km başına ölü sayısının 79,2'den 34,2'ye ciddi bir azalma gösterdiği görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) yıl içerisinde meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kazaları ayrı ayrı yayınlamamaktadır. Bunun yerine ölümlü ve/veya yaralanmalı (ÖY) kazalar ve bu kazaların sonucunda meydana gelen ölüm ve yaralanmalar birlikte yayınlanmaktadır. Milyar taşıt-km'deki ÖY kaza sayısı bazı dalgalanmalar göstererek 1.273'den 1.636'ya yükselmiştir. Benzer şekilde milyar taşıt-km'deki yaralı sayısı 2.253'ten 2.768'e yükselmiştir. Görüldüğü gibi milyar taşıt-km'deki ölü sayısı azalmakta iken, ÖY kaza ve yaralı sayısı ise artmaktadır.

Tablo 1. 2002 – 2015 yılları arasında Türkiye'deki ölümlü ve yaralanmalı kaza istatistikleri [31]

Yıl	Kayıtlı Taşıt	Milyon Taşıt-km	ÖY Kaza	Ölü	Yaralı	Milyar Taşıt-km'de		
						ÖY Kaza	Ölü	Yaralı
2002	8.655.170	51.664	65.748	4.093	116.412	1.273	79,2	2.253
2003	8.903.843	52.349	67.031	3.946	118.214	1.281	75,4	2.258
2004	10.236.357	57.767	77.008	4.427	136.437	1.333	76,6	2.362
2005	11.145.826	61.129	87.273	4.505	154.086	1.428	73,7	2.521
2006	12.227.393	64.577	96.128	4.633	169.080	1.489	71,7	2.618
2007	13.022.945	69.609	106.994	5.007	189.057	1.537	71,9	2.716
2008	13.765.395	69.771	104.212	4.236	184.468	1.494	60,7	2.644
2009	14.316.700	72.432	111.121	4.324	201.380	1.534	59,7	2.780
2010	15.095.603	80.124	116.804	4.045	211.496	1.458	50,5	2.640
2011	16.089.528	85.495	131.845	3.835	238.074	1.542	44,9	2.785
2012	17.033.413	93.989	153.552	3.750	268.079	1.634	39,9	2.852
2013	17.939.447	99.431	161.306	3.685	274.829	1.622	37,1	2.764
2014	18.828.721	102.988	168.512	3.524	285.059	1.636	34,2	2.768
2015*	19.994.472	113.274	183.011	7.530	304.421	1.616	66,5	2,687

* Türkiye 2015 yılı itibariyle kaza sonrası 30 günlük gözlem süresini uygulama koymuştur.

Bu eğilimin sebeplerinden bir tanesi Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından uygulanan bölünmüş yol politikası olabilir. Bölünmüş devlet karayollarının uzunluğu 2002 ile 2014 yılları arasında 5.573 km'den 21.099 km'ye yükseltilmiştir. Böylece 2014 yılı sonu itibariyle devlet karayollarının %63,1'i bölünmüş yol haline getirilmiştir. Bu durum kazalardaki karşıdan gelen taşıtla kafa kafaya çarpışmaları ve bunun sonucu meydana gelen ölümleri azaltmıştır. Bu hipotezin sınanması için bu çalışmada sadece belirli bir düzeyde analizler yapılmıştır. Bölünmüş ve bölünmemiş yollar arasında kaza oranı açısından fark olup olmadığı ve en fazla kaza yaşanan yol kesimlerinin belirli bölgelerde yoğunlaşıp yoğunlaşmadığı tespit edilmiştir. Ancak, detaylı ve daha güvenilir bulgulara varabilmek için

son 5 yıl içinde inşa edilmiş olan bölünmüş yollarda önce-sonra analizinin yapılması ve her bir yıl için karşılaştırmalı kaza oranı değışimlerinin incelenmesi gerekmektedir.

Tablo 1’de görüldüğü gibi genel olarak artma eğilimde olan milyar taşıt-km’deki ÖY kaza sayısında, 13 Temmuz 2010 tarihinde bölünmüş devlet karayollarında hız sınırının 90 km/s’den 110 km/s’e yükseltilmesinin de katkısının olduğu muhtemeldir. Bu iki durum birlikte incelendiğinde; hız sınırının yükseltilmesinin daha fazla kazaya sebep olduğu ama yolların bölünmüş olması sebebiyle bu kazaların şiddetinin ve bunun sonucunda meydana gelen ölümlerin azaldığı yorumu yapılabilir. Bu bir ön tespit ve hipotez olup, her bir kaza için detaylı analiz yapılması durumunda bölünmüş yollardaki kaza şiddetinin etkisi ortaya çıkarılabilir. Bu konuda daha güvenilir bir tespit yapabilmek için, hız sınırının artmasının kazaların oranına ne düzeyde etkisi olduğuna yönelik nokta, kesim ve yıl bazında ayrı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

4. VERİ VE YÖNTEM

Türkiye’de ÖY kazalar trafik polisi ve jandarma birimleri tarafından sorumluluk alanlarına göre raporlanır ve saklanır. Maddi hasarlı kazalar ise ilgili sürücüler tarafından rapor edilir ve toplanan veriler trafik sigortası bilgi merkezi veri tabanında saklanır. Bu çalışma kapsamında 2009-2013 yılları arasında trafik polisi sorumluluğu altındaki bölgelerde meydana gelen tüm ÖY kazalara ait veriler kullanılmıştır. Bu kazalar çalışma süresince Türkiye’de meydana gelen tüm ÖY kazaların %83,9’una karşılık gelmektedir. Elde edilen veriler her bir kaza için kaza tarihini, kaza noktasının coğrafi koordinatlarını, kazaya karışan araçların türünü ve sayısını, meydana gelen ölüm ve yaralanmaların sayısını içermektedir. Bu veri trafik polisi sorumluluğu altındaki tüm kazaları içerdüğü için şehiriçi sokak ve caddelerde, il yollarında, devlet karayollarında ve otoyollarda meydana gelen kazaları içermektedir. Bu sürede Türkiye’de trafik polisi sorumluluğundaki bölgelerde toplam 566.337 ÖY kaza meydana gelmiştir. Bu kazaların 264.918’ine (%46,8) tek araç, 301.419’una (%53,2) ise birden fazla araç karışmıştır. Verisi alınan kazaların yaklaşık %1,5’i hatalı koordinat kodlamalarından dolayı çalışma kapsamından çıkarılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında kazaların coğrafi koordinatları ArcGIS 10.0 ortamında 100 metre içerisindeki en yakın yola (sokak, cadde, il yolu, devlet karayolu veya otoyol) atanmıştır. Kaza koordinatları atanırken cihazların hassasiyet düzeyleri nedeniyle gerçek noktadan sapmalar olabilmektedir. Bu nedenle 100 metre hata payı dikkate alınarak her bir yol tipi üzerindeki ÖY kaza sayısı, ölüm ve yaralanmalar bulunmuştur. Fakat Türkiye’de güvenilir taşıt-km verisi sadece devlet karayollarında düzenli yayınlandığı için diğer yol türleri çalışma kapsamından çıkarılmıştır. Şekil 1’de Türkiye’deki devlet karayolu ağı görülmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise Dünya Sağlık Örgütü’nün de ülkeler arası karşılaştırma yapmak için tanımladığı aşağıdaki denklem kullanılarak her bir devlet karayolu kesimi için milyar taşıt-km’deki ÖY kaza sayısı, ölü sayısı ve yaralı sayısı hesaplanmıştır. Trafik kazalarının ender görülen olaylar olması sebebiyle beş yılın kazaları ve taşıt-km değerleri birleştirilerek bu oranlar hesaplanmıştır. Böylece her bir kesime yeteri miktarda kaza düşme olasılığı artırılmış ve kesimler arasında kaza sayılarındaki ufak değışimlerin kaza oranlarını ciddi oranda arttırmasının önüne geçilmiştir. Elde edilen sonuçlar ArcGIS 10.0 ortamında tematik haritalar şeklinde görüntülenerek yorumlanmıştır.

$$R_i = 10^9 * \frac{C_i}{VKT_i} \quad (1)$$

Bu denklemde, i devlet karayolu kesimleri için kullanılan indeksi, C ise i . devlet karayolu kesimindeki beş yıllık toplam ÖY kaza, ölü veya yaralı sayısını göstermektedir. Taşıt-km ise i . devlet karayolu kesimindeki beş yıllık toplam taşıt-km değerini, R ise i . devlet karayolu kesiminde milyar taşıt-km'deki ÖY kaza, yaralanma ve ölüm sayısını göstermektedir.



Şekil 1. Türkiye devlet karayolu ağı

Yukarıda belirtilen kaza oranlarına ek olarak, her bir devlet karayolu kesimindeki Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT), Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafik (YOGATT), taşıt-km, ağır taşıt-km ve ağır taşıt yüzdesi (%AT) gibi değişkenlerle kaza sayıları ve kaza oranları arasındaki korelasyonlar hesaplanarak kazalarda etkili olan faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Bir sonraki aşamada global *Moran's I* değeri hesaplanarak kaza oranlarının mekânsal korelasyonunun olup olmadığına bakılmıştır. *Moran's I* değeri -1 ile 1 aralığında değişir. Pozitif *Moran's I* değeri benzer değerlerin kümelenmesini, negatif *Moran's I* değeri ise benzer olmayan değerlerin kümelenmesini gösterir. 0 değeri ise herhangi bir kümelenme olmadığını gösterir. *Moran's I* değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır [33].

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij}) (\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2)} \quad (2)$$

Bu denklemde, \bar{X} değişkenin ortalamasını, X_i değişkenin bir noktadaki değerini, X_j değişkenin diğer bir noktadaki değerini, W_{ij} ise i ve j noktalarının göreceli konumları arasındaki mekânsal ağırlığı ifade etmektedir. *Moran's I* değerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını gösteren Z-skoru değeri ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$Z = \frac{I-E(I)}{\sqrt{V(I)}} \quad (3)$$

$E(I)$ değeri I ’nin beklenen değerini ifade etmektedir ve $-I/(N-I)$ ’e eşittir. $V(I)$ ise I değerinin varyansını göstermektedir. *Moran’s I* değeri kaza oranı yüksek değerlerin mi yoksa kaza oranı düşük değerlerin mi kümelendiği bilgisini vermez. Herhangi bir kümelene görölmesi durumunda kümelenemenin türünü belirlemek için *General G* istatistiğine bakılması gerekir. Olası kümelenemelerin yerlerini belirlemek için ise yerel *Moran’s I* analizinin yapılması gerekmektedir.

5. BULGULAR

Çalışmada incelenen 2009-2013 döneminde, her bir yılda meydana kazaların coğrafi koordinatlarının yol ağına atanması sonucunda devlet karayollarına düşen ÖY kaza sayısı, bu kazalardaki ölüm ve yaralanmalar Tablo 2’de gösterilmiştir. Bu tabloda ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında yapılan bu atamanın güvenilirliğini sınamak için TÜİK tarafından devlet karayolları için yayınlanmış bütünleşik kaza istatistikleri de sunulmuştur [31]. Bu çalışmada kullanılan yöntem ile elde edilen sonuçlar TÜİK tarafından yayınlanan değerlere oldukça yakındır. Aradaki küçük farklar muhtemelen kaza koordinatlarının atanması sırasında kullanılan yöntemsel farklılıklardan kaynaklanmaktadır. TÜİK ölümlü ve/veya yaralanmalı kazaları birlikte yayınladığı için ölümlü kazaların sayısı ancak bu çalışmada önerilen yöntem ile elde edilebilmektedir. TÜİK verileri bütünleşik olduğu için yıllık toplam ÖY kaza, ölü ve yaralı sayısını sunmaktadır. Bu çalışmada ise kazaların hangi yol kesimlerinde olduğu saptanmaya çalışıldığından, kaza koordinat verileri Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında yol kesimlerine atanmış ve hem kesim bazında hem de yıl bazında detaylı kaza sayıları elde edilmiştir.

Tablo 2. Yıllara göre devlet karayollarındaki ÖY kaza sayıları [31]

Yıl	Bu çalışmada hesaplanan				TÜİK		
	Ölümlü Kaza	ÖY Kaza	Ölü	Yaralı	ÖY Kaza	Ölü	Yaralı
2009	1.351	27.567	1.780	58.505	27.063	1.903	60.831
2010	1.197	28.767	1.583	61.100	27.175	1.685	63.447
2011	1.199	32.398	1.590	67.765	30.975	1.649	69.248
2012	1.171	33.383	1.523	70.099	33.045	1.617	72.571
2013	1.281	36.461	1.620	72.987	35.068	1.731	77.121
Toplam	6.199	149.151	8.096	330.456	154.326	8.585	343.218
Ortalama	1.240	29.830	1.619	66.091	30.865	1.717	68.643

Türkiye’de 708 kesimden meydana gelen devlet karayollarının toplam uzunluğu 31.341 km’dir. Bu kesimlerin uzunlukları 2 km’den 106 km’ye kadar değişmekte olup, ortalama kesim uzunluğu 45 km’dir. Tablo 2’de görüldüğü gibi 2009 ile 2013 yılları arasında devlet

karayollarında yılda ortalama 1.240 ölümlü kazada 1.619 kişi ölmektedir. Toplam 708 kesimde gerçekleşen kazalar, kesim başına yılda (5 yıllık ortalama) 1,75 ölümlü kaza olduğunu göstermektedir. Bazı kesimlerin bu ortalamadan yüksek, bazılarının ise düşük olması kazaların coğrafi dağılımının incelenmesini gerektirmektedir. Yapılan analizler bu kesimlerin yaklaşık yarısında yıl içerisinde herhangi bir ölümlü kaza yaşanmadığını göstermiştir. Kesim düzeyinde bu kadar küçük değerlerle yapılacak karşılaştırmanın hatalı yorumlara yöneltebileceği gerçeğinden yola çıkılarak bu çalışmada öncelikli olarak ÖY kazalara odaklanılmıştır.

Tablo 3’de bu çalışmada önerilen yöntem ile hesaplanan devlet karayollarında milyar taşıt-km’deki ÖY kaza, ölüm ve yaralanma sayıları gösterilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan devlet karayollarındaki taşıt-km değerleri, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından her yıl kesim düzeyinde detaylı olarak yayınlanan trafik ve ulaşım bilgilerinden alınmıştır [34]. Tablo 3 incelendiğinde, 2009 ile 2013 yılları arasında devlet karayollarında milyar taşıt-km’de yılda ortalama 520 ÖY kaza meydana geldiği ve bu kazalarda 26,6 kişinin öldüğü, 1.084 kişinin yaralandığı görülmektedir. Devlet karayollarındaki milyar taşıt-km’deki ölümler ciddi biçimde azalmakta olup, yaralanmalar ise yıllar arasında belirgin bir değişim göstermemektedir. Milyar taşıt-km’deki ölüm sayılarındaki düşüşte devlet karayollarındaki bölünmüş yol oranının artmış olmasının etkisi muhtemeldir. Milyar taşıt-km’deki ÖY kaza sayısında ise 2010 yılı sonrası bir miktar artış göze çarpmaktadır. Her ne kadar 2010 sonrası elimizde kesin bir yargıya varmaya yetecek kadar yıl verisi olmasa da, bu artışta 2010 yılında bölünmüş devlet karayollarındaki hız sınırının 90 km/s’den 110 km/s’e yükseltilmesinin etkisi olması muhtemeldir. Bu iki nokta trafik güvenliği açısından incelenmesi gereken konular arasında olmasına rağmen henüz detaylı olarak incelenmemiştir.

Tablo 3. Devlet karayollarında milyar taşıt-km’deki ÖY kaza, ölü ve yaralı sayıları

Yıl	ÖY Kaza	Milyar Taşıt-km	ÖY/ Milyar Taşıt-km	Ölü/Milyar Taşıt-km	Yaralı/Milyar Taşıt-km
2009	27.567	51,9	531	34,3	1.127
2010	28.767	58,2	494	27,2	1.050
2011	32.398	62,2	521	25,6	1.089
2012	33.383	64,6	525	23,6	1.085
2013	36.461	68,0	536	23,8	1.073
Ortalama	31.715	61,0	520	26,6	1.084

Tablo 4’de devlet karayollarındaki ÖY kazaları etkileyen faktörleri tespit etmek için kesim düzeyinde hesaplanan korelasyon katsayıları görülmektedir. Bu analizde,

- Her bir kesimdeki 5 yıllık ortalama YOGT, YOGATT, taşıt-km, ağır taşıt-km, %AT ile yine her bir kesimdeki 5 yıllık ortalama ÖY kaza, ölü ve yaralı sayıları arasındaki korelasyon katsayıları,

- Her bir kesimdeki 5 yıllık ortalama YOGT, YOGATT, taşıt-km, ağır taşıt-km, %AT ile her bir kesim için Denklem 1 kullanılarak hesaplanan milyar taşıt-km’deki ÖY kaza, ölü ve yaralı sayıları arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Tablo 4. Devlet karayollarında ÖY kaza, ölü ve yaralanmalara etki eden faktörler

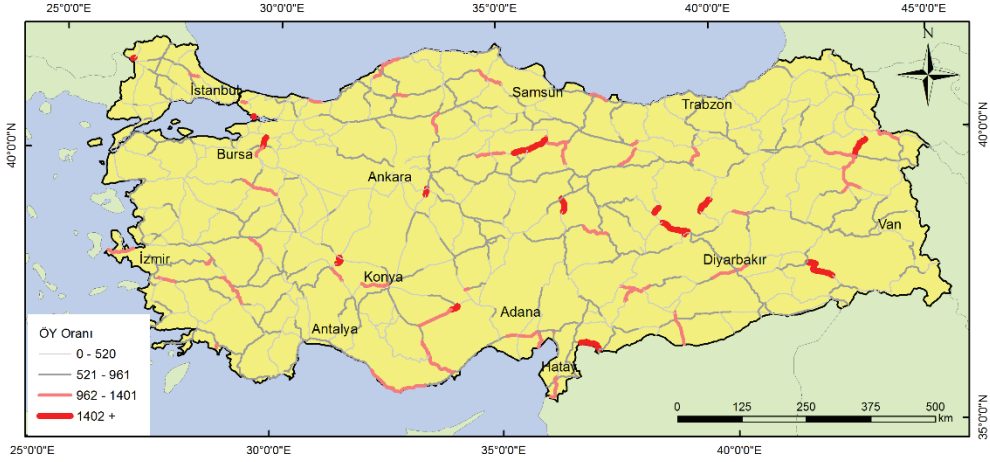
Değişken	Sayı			Milyar taşıt-km’deki		
	ÖY Kaza	Ölü	Yaralı	ÖY Kaza	Ölü	Yaralı
YOGT	0,69	0,53	0,64	-0,03	-0,02	-0,06
YOGATT*	0,58	0,62	0,60	-0,02	0,07	0,03
Taşıt-km	0,84	0,70	0,80	-0,01	0,01	-0,03
Ağır taşıt-km*	0,72	0,79	0,77	0,00	0,10	0,00
%AT*	-0,09	0,12	-0,02	-0,08	0,19	0,03

* Ağır taşıtlar kamyonları, kamyon+römorkları, çekici+yarı römorkları ve otobüsleri içermektedir.

Hesaplamalarda kullanılan her bir devlet karayolu kesimindeki YOGT, YOGATT, taşıt-km, ağır taşıt-km ve %AT verileri her yıl düzenli olarak KGM tarafından yayınlanan istatistiklerden alınmıştır [34]. Her bir kesimdeki ÖY kaza, ölü ve yaralı sayıları ise bu çalışma kapsamında kazaların coğrafi koordinatlarının yol ağına atanması sonucunda elde edilmiştir. Devlet karayolu kesimlerindeki ortalama hız verileri düzenli ve güvenilir bir şekilde yayınlanmadığı için bu çalışma kapsamında hız ile ilgili bir korelasyon analizi yapılamamıştır. Kesim düzeyindeki korelasyon analizin sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- ÖY kaza sayıları ile YOGT, taşıt-km ve ağır taşıt-km arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. ÖY kaza sayıları ile YOGATT arasındaki korelasyon bir miktar daha düşüktür.
- Ölü sayıları ile taşıt-km ve ağır taşıt-km arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Ölü sayıları ile YOGATT arasındaki korelasyon yükseğe yakındır.
- Yaralı sayıları ile taşıt-km ve ağır taşıt-km arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Yaralı sayıları ile YOGT ve YOGATT arasındaki korelasyon yükseğe yakındır.
- Milyar taşıt-km’deki ÖY kaza, ölü ve yaralı sayıları ile seçilen değişkenler arasında anlamlı korelasyonlar bulunamamıştır.
- %AT ile ilgili anlamlı korelasyonlar bulunamamıştır.

Bu değerlere bakarak, devlet karayolu kesimlerindeki ÖY kaza, ölü ve yaralı sayılarında, kesimlerdeki taşıt-km değerlerinin (taşıt-km ve ağır taşıt-km) taşıt sayılarından (YOGT ve YOGATT) daha etkili olduğu yorumu yapılabilir. YOGATT ve ağır taşıt-km ile ilgili korelasyonlar yüksek çıkarken, %AT ile ilgili korelasyonların düşük çıkması ise ÖY kaza, ölü ve yaralı sayılarında kesimlerdeki ağır taşıt yüzdesi yerine ağır taşıt sayısının etkili olduğunun göstergesidir.



Şekil 2. Devlet karayolu kesimlerinde milyar taşıt-km'deki ÖY kaza sayıları

Tablo 5. Milyar taşıt-km'deki ÖY kaza sayısı en yüksek 20 devlet karayolu kesimi

İl	Uzunluk (km)	Bölünmüş Yol	Milyon Taşıt-km	ÖY Kaza	Ölü	Yaralı	ÖY/Milyar Taşıt-km
Edirne	4	Hayır	4,8	32	1	45	6.742
Konya	19	Hayır	27,6	81	0	129	2.939
Konya	15	Hayır	55,8	152	0	226	2.725
Ağrı	48	Hayır	32,8	78	2	97	2.378
Elazığ	70	Hayır	137,4	326	2	578	2.373
Gaziantep	47	Hayır	110,1	203	10	388	1.844
Malatya	18	Hayır	12,6	23	1	38	1.824
Sivas*	31	2013	32,3	55	3	154	1.704
Tunceli	38	Hayır	115,8	194	4	385	1.675
Tokat	62	Hayır	195,8	328	7	538	1.675
Kırıkkale	13	2013	7,3	12	0	31	1.654
Siirt	85	Hayır	208,2	309	6	587	1.484
Kocaeli	3	Hayır	88,4	126	1	267	1.426
Bursa	23	Hayır	102,8	146	2	235	1.420
Bingöl	36	Evet	197,6	275	10	648	1.392
İstanbul*	12	2013	438,2	607	12	986	1.385
Osmaniye	2	Hayır	14,5	20	0	55	1.384
Gümüşhane	44	Hayır	101,5	140	20	377	1.380
Aydın	35	Evet	601,9	829	25	1441	1.377
Adana	37	Hayır	186,8	257	5	349	1.376

*2013 yılında bölünmüş yol haline gelmiştir.

Devlet karayolu kesimlerindeki milyar taşıt-km’deki ÖY kaza sayıları Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu tematik harita oluştururken ortalamanın altındaki kesimler ($R < 520$), ortalamanın bir standart sapmaya kadar üzerindeki kesimler ($R < 520 + 440$), ortalamanın iki standart sapmaya kadar üzerindeki kesimler ($R < 520 + 2 * 440$) ve kaza oranı daha büyük kesimler şeklinde dört grup oluşturulmuştur. Moran’s I analizi sonuçları devlet karayolu kesimlerindeki milyar taşıt-km’deki ÖY kaza sayılarının 0,05 güvenlilik düzeyinde anlamlı bir şekilde kümelenmediğini ve rastgele dağıldığını göstermiştir (I: 0,05; Z-skor: 1,81 ve p-değeri: 0,07). General G istatistiği sonuçları da milyar taşıt-km’deki ÖY kaza sayıları yüksek ve düşük bölgelerin rastgele dağıldığını göstermiştir (General G: 0,00; Z-skor: 0,12 ve p-değeri: 0,91). Tablo 5’de milyar taşıt-km’de ÖY kaza sayısı en yüksek 20 kesime ait bilgiler listelenmiştir. Bu tablodaki taşıt-km, ÖY kaza, ölü ve yaralı sayıları 2009-2013 arasındaki toplam değerleri göstermektedir. Görüldüğü gibi bu kesimlerin neredeyse hepsi bölünmemiş karayoludur ve uzunlukları oldukça değişkenlik göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye’de devlet karayolu kesimlerinde 2009 ile 2013 yılları arasında meydana gelen kazaların mekânsal analizi yapılmıştır. Her bir kesime ulusal düzeyde karşılaştırma yapabilecek kadar yeteri miktarda kaza düşmesini sağlamak amacıyla ÖY kazalara yoğunlaşmıştır. Kaza analizlerinde literatürde en yaygın gösterge olarak kullanılan milyar taşıt-km’deki kaza sayısı kullanılmıştır. Yapılan analizler devlet karayollarında milyar taşıt-km’de ortalama 520 ÖY kaza meydana geldiğini, bu kazalarda 26,6 kişinin öldüğünü ve 1.084 kişinin yaralandığını göstermiştir. Bu değerlere bakıldığında devlet karayollarındaki trafik güvenliğinin Türkiye ortalamasından daha iyi seviyede olduğu görülmektedir. Daha yüksek hizmet seviyesine göre tasarlanmış devlet karayollarında trafik güvenliğinin daha iyi olması istenen bir sonuçtur.

Kesim düzeyinde yapılan korelasyon analizleri sonucunda kesimlerdeki ÖY kaza, ölü ve yaralı sayılarında taşıt-km değerlerinin (taşıt-km ve ağır taşıt-km) taşıt sayısından (YOGT ve YOGATT) daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, ÖY kaza, ölü ve yaralı sayılarında kesimlerdeki ağır taşıt yüzdesinin etkili bir faktör olmadığı, ağır taşıtlar sayısının ise etkili bir faktör olduğu görülmüştür.

Kazaların coğrafi dağılımı incelendiğinde Türkiye’deki devlet karayollarında dağınık bir örüntü (kümelenme olmadığı) tespit edilmiştir. Bu sonuçlar belirli bölgeler ya da koridorlarda değil, yol ağının sadece belirli kesimlerinde ÖY kaza oranının oransal olarak daha yüksek olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yol altyapısının yeterliliği ve buna bağlı olarak trafik güvenliği açısından bölgeler arasında bir dengesizlik bulunmamaktadır. Belirli bir bölgede yoğunlaşma altyapı yatırımlarının dengesiz dağıldığını işaret eder. Mevcut durum ise iki farklı sonucu işaret etmektedir:

Birincisi, belirli bölgelerde yoğunlaşma olmamakla beraber kaza oranları birden fazla bölgeyi birleştiren koridorlar bazında yüksek çıkabilir. Kaza yoğunluk haritası incelendiğinde böyle bir dağılım ortaya çıkmamaktadır. Bu şekilde bir sonuç çıksaydı belirli bölgelerde altyapının yetersiz olduğu, ya da yol güvenliğinin yeterince sağlanmadığı sonucuna varılabilirdi. Böyle bir durum, yol yatırım ve iyileştirme önceliklerinde bölgeler arasında öncelik sıralamasını gerektirirdi. Ancak bulgular, taşıt hacimleri açısından bazı bölgelerdeki (Marmara, Ege, Çukurova) belirli koridorların

yoğun olmakla beraber bu bölgelerdeki yollarda trafik güvenliği açısından diğer bölgelerden daha olumsuz sonuçların olmadığını göstermektedir.

İkinci durum ise kaza yoğunluğu yüksek olan yol kesimlerinin belirli bölge ya da koridorlarda yoğunlaşmadan ülke genelinde dağılmış olmasıdır ki elde edilen sonuçlar bu şekildedir. Dolayısıyla her bölgede belirli sayıda yol kesimi trafik güvenliği (kaza oranı) açısından yüksek risk taşımaktadır. Bu sonuç her bölgede sadece sorunlu yol kesimlerine odaklanılarak çözümler geliştirilmesinin daha etkili sonuçlar vereceğini (kaza oranlarının düşürülebileceğini) göstermektedir.

Ülke genelinde karayolu ağında kaza oranlarının en yüksek olduğu 20 yol kesimi bütün bölgelere dağılmış durumdadır. Bu yollarda kaza oranlarının yüksek olma nedenleri aşağıdaki olasılıklarla açıklanabilir:

Kaza oranlarının en yüksek olduğu bu yol kesimlerinin tamamına yakını bölünmemiş yoldur. Bölünmüş yol yatırım kararlarında sadece taşıt hacminin değil kaza oranının da bir etken olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece kaza oranları azaltılabilir.

Kaza oranlarının yüksek olduğu her bir yol kesiminin geometrik özellikleri (dönemeç yarıçapları, eğim, şerit genişliği, güvenlik şeridi vd.) standartlara uygun olmayabilir. Bu etkenin ne düzeyde etkili olduğunun saptamak için her kesim için detaylı saha çalışmasının yapılması bundan sonraki çalışmalar için önerilmektedir.

Bu yol kesimlerinde kavşakların aralıkları ve geometrik ölçüleri standartlara uygun olmaması yüksek kaza oranlarının nedenlerinden bir tanesi olabilir. Dolayısıyla kaza oranlarının yüksek olduğu kesimlerde kavşak konumlarının incelenmesi ve gerektiği takdirde kavşak tasarımlarının iyileştirilmesi kaza sayısı ve oranının düşürülmesinde etkili bir önlem olabilir.

Kaza oranlarının yüksek olduğu kesimlerinde ortalama taşıt hızları, ağır taşıt trafiği ve bu taşıtların karıştığı kazalar ve iklimsel koşullar yüksek kaza oranlarına etki edebilecek diğer faktörler arasındadır. Bu faktörlerin etkinin incelenmesi için detaylı saha çalışması ve istatistiksel analizler bundan sonraki çalışmalar için önerilmektedir.

Yukarıda sıralanan etkenleri kapsayan analizler sonrasında kazaların en yüksek oranda görüldüğü karayolu kesimlerinde yeni yatırım, iyileştirme, bakım ve önlemlerin alınması için yeterli düzeyde bilimsel dayanak oluşturulabilir. Bu yöndeki çalışmalar kamunun önemli düzeyde kaynak ayırdığı karayolu altyapı yatırımlarının sadece talebe (ya da taşıt hacmine) göre değil aynı zamanda trafik güvenliğini (can ve mal kayıplarının ve yaralanmaların azaltılması) esas alarak planlanması ve gerçekleştirilmesi ile sağlanabilir. Bununla birlikte trafik kazalarına etki eden faktörlerin daha detaylı olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Bu durum kaza verilerinin daha detaylı bir şekilde toplanmasıyla mümkün olabilir. Bu sağlandığı takdirde belirli taşıt hatta belirli çarpışma tipine bağlı kazalar bile detaylı olarak incelenebilecek ve bunları önleyebilecek stratejiler geliştirilebilecektir.

Semboller

- C : Devlet karayolu kesimindeki 5 yıllık toplam ÖY kaza, ölü veya yaralı sayısı
i : Devlet karayolu kesim indeksi

- ÖY : Ölümlü ve/veya yaralanmalı kaza
R : Devlet karayolu kesimindeki milyar taşıt-km’deki ÖY kaza, ölü veya yaralı sayısı
TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu
YOGATT : Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt Trafik
YOGT : Yıllık Ortalama Günlük Trafik
%AT : Ağır Taşıt Yüzdesi

Kaynaklar

- [1] Lozano, R.,Naghavi, M., Foreman, K., Lim, S., Shibuya, K., Aboyans, V., ... ve AlMazroa, M. A., Global and Regional Mortality From 235 Causes of Death for 20 Age Groups in 1990 and 2010: A Systematic Analysis For The Global Burden Of Disease Study 2010. The Lancet, 380(9859), 2095-2128, 2013.
- [2] World Health Organization. Violence, Injury Prevention& World Health Organization. Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action, Luxemburg. World Health Organization, 2013.
- [3] Mathers, C., Fat, D. M. ve Boerma, J. T. The Global Burden of Disease: 2004 Update, Switzerland. World Health Organization, 2008.
- [4] Türkiye İstatistik Enstitüsü. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2015. Türkiye, 2016. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21611>
- [5] Türkiye İstatistik Enstitüsü. Motorlu Kara Taşıtları, Aralık 2015. Türkiye, 2016. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21600>
- [6] Türkiye İstatistik Enstitüsü. Temel İstatistikler: Nüfus ve Demografi. Türkiye, 2016. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>
- [7] Organisation for Economic Co-operation and Development/International Transport Forum. *Road Safety Annual Report 2016*, Paris. OECD Publishing, 2016.
- [8] European Commission. Road Safety Evolution in the EU by Population. 2016. http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/observatory/historical_evolution_popul.pdf
- [9] Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü. Stratejik Plan 2012-2016. Türkiye, 2015. http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Kurumsal/StratejikPlan/sp12_16.pdf
- [10] Khattak, A. J., Schneider, R. J. ve Targa, F., Risk Factors in Large Truck Rollovers and Injury Severity: Analysis of Single-Vehicle Collisions. In Proceedings of theTransportation Research Board 82nd Annual Conference, Washington, D.C., 2003.
- [11] Khorashadi, A., Niemeier, D., Shankar, V. ve Mannering, F., Differences in Rural and Urban Driver-Injury Severities in Accidents Involving Large-Trucks: An Exploratory Analysis. Accident Analysis & Prevention, 37(5), 910-921, 2005.

- [12] Savolainen, P., Mannering, F., Probabilistic Models of Motorcyclists' Injury Severities in Single-And Multi-Vehicle Crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 955-963, 2007.
- [13] Kockelman, K. M., Kweon, Y. J., Driver Injury Severity: An Application of Ordered Probit Models. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 313-321, 2002.
- [14] Gray, R. C., Quddus, M. A., ve Evans, A., Injury Severity Analysis of Accidents Involving Young Male Drivers in Great Britain. *Journal of Safety Research*, 39(5), 483-495, 2008.
- [15] Khattak, A., Luo, Z. ve Gao, M., Investigation of Factors Associated with Truck Crash Severity in Nebraska. Report 25-1121-0001-104, 2012.
- [16] Chang, L. Y., Chien, J. T., Analysis of Driver Injury Severity in Truck-Involved Accidents Using a Non-Parametric Classification Tree Model. *Safety science*, 51(1), 17-22, 2013.
- [17] Dong, C., Richards, S. H., Huang, B., ve Jiang, X., Identifying the Factors Contributing to the Severity of Truck-Involved Crashes. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 22(2), 116-126, 2015.
- [18] Erdogan, S., Explorative Spatial Analysis of Traffic Accident Statistics and Road Mortality among the Provinces of Turkey. *Journal of Safety Research*, 40(5), 341-351, 2009.
- [19] Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T. ve Gullu, M., Geographical Information Systems Aided Traffic Accident Analysis System Case Study: City of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 174-181, 2008.
- [20] Murat, Y. Ş., Şekerler, A., Trafik Kaza Verilerinin Kümeleme Analizi Yöntemi ile Modellenmesi. *Teknik Dergi*, 20(98), 2009.
- [21] Keskin, F., Yenilmez, F., Çolak, M., Yavuzer, I. ve Düzgün, H. S., Analysis of Traffic Incidents in METU Campus. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19, 61-70, 2011.
- [22] Kundakci, E., Tuydes-Yaman, H., Understanding the Distribution of Traffic Accident Hotspots in Ankara, Turkey. In *Proceedings of the In Proceedings of the Transportation Research Board 93rd Annual Conference*, Washington, D.C., 2014.
- [23] Kaygisiz, Ö., Düzgün, Ş., Yildiz, A. ve Senbil, M., Spatio-Temporal Accident Analysis for Accident Prevention in Relation to Behavioral Factors in Driving: The Case of South Anatolian Motorway. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 33, 128-140, 2015.
- [24] Erdogan, S., İlçı, V., Soysal, O. M. ve Kormaz, A., A Model Suggestion for the Determination of the Traffic Accident Hotspots on the Turkish Highway Road Network: A Pilot Study. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(1), 169-188, 2015.
- [25] Celik, A. K., Oktay, E., A Multinomial Logit Analysis of Risk Factors Influencing Road Traffic Injury Severities in The Erzurum and Kars Provinces of Turkey. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 66-77, 2014.

- [26] Uçar, Ö., Tatlıdil, H., Factors Influencing the Severity of Damage in Bus Accidents in Turkey during 2002: A Application of the Ordered Probit Model. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 36(1), 2007.
- [27] Baker, S. P., Whitfield, R. A. ve O'Neill, B., Geographic Variations in Mortality from Motor Vehicle Crashes. New England Journal of Medicine, 316(22), 1384-1387, 1987.
- [28] Fridström, L. ve Ingebrigtsen, S., An Aggregate Accident Model based on Pooled, Regional Time-Series Data. Accident Analysis & Prevention, 23(5), 363-378, 1991.
- [29] Van Beeck, E. F., Mackenbach, J. P., Looman, C. W., ve Kunst, A. E., Determinants of Traffic Accident Mortality in The Netherlands: A Geographical Analysis. International Journal of Epidemiology, 20(3), 698-706, 1991.
- [30] Aguero-Valverde, J., ve Jovanis, P. P., Spatial Analysis of Fatal and Injury Crashes in Pennsylvania. Accident Analysis & Prevention, 38(3), 618-625, 2006.
- [31] Türkiye İstatistik Enstitüsü. Trafik Kaza İstatistikleri - Karayolu, 2009-2013. Türkiye İstatistik Enstitüsü. Türkiye, 2016.
- [32] Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü. Karayolları Üzerindeki Seyir ve Taşımalar. Türkiye, 2016.
<http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/SeyirveTasimalar/SeyirVeTasimalar.pdf>
- [33] Moran, P.A.P., Notes on Continuous Stochastic Phenomena, Biometrika 37, 17-23, 1950.
- [34] Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü. Trafik ve Ulaşım Bilgileri. Türkiye, 2016.
<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/TrafikveUlasim.aspx>

Tsunami Afeti Sonrası Yapısal ve Yapısal Olmayan Önlemler ve Farkındalık Çalışmaları: Japonya Örneği

Hasan Gökhan GÜLER¹
Ceren ÖZER SÖZDİNLER²
Taro ARIKAWA³
Ahmet Cevdet YALÇINER⁴

ÖZ

11 Mart 2011 tarihinde gerçekleşen 9.0 şiddetindeki depremin yarattığı tsunami, Japonya'nın doğu kıyısı boyunca çok sayıda can kaybına ve ciddi hasara yol açmıştır. 2011 Tsunamisi'nin ardından Japonya'da yapılan planlama ve yeniden yapım çalışmaları alınması gereken önlemlere önemli bir örnek teşkil etmektedir. Bu çalışmada afetin beş yıl ardından bölgeye yapılan iki farklı saha araştırma gezisinde gözlemlenen yapısal ve yapısal olmayan önlemler ile afet yönetimi ve afet farkındalığı yaratma çalışmaları ayrıntılarıyla sunulmuş ve Türkiye'deki mevcut çalışmalar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tsunami, Japonya, afet önlemleri, afet farkındalığı.

ABSTRACT

Structural and Non-Structural Countermeasures and Awareness Studies After the Tsunami Disaster: Case of Japan

Tsunami generated by the earthquake with a magnitude of 9.0 on March, 11, 2011 caused a high number of casualties and significant economic loss. Planning and reconstruction studies following the 2011 Tsunami in Japan are important examples of countermeasures to be taken against tsunamis. In this study, observations from two field surveys conducted after five years following the tsunami event, focusing on structural and non-structural countermeasures in addition to disaster management and creation of disaster awareness studies are presented in details, and current measures in Turkey are also discussed.

Keywords: Tsunami, Japan, disaster countermeasures, disaster awareness.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 12.04.2017 günü ulaşmıştır. 30.01.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.307568

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

2 Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeofizik Bölümü, İstanbul - ceren.ozler@boun.edu.tr

3 Chuo Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tokyo - arikawa@civil.chuo-u.ac.jp

4 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - yalciner@metu.edu.tr

1. GİRİŞ

Japonya'nın Tohoku bölgesinin Pasifik kıyıları açığında 11 Mart 2011'de yerel saatle 14.46'da meydana gelen 9.0 (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) hesaplamalarını göre 9.1) büyüklüğündeki deprem, tarih boyunca Japonya çevresinde kayıt altına alınan en büyük deprem olmuştur [1]. Afetin sonrasında yapılan incelemelerde, yaklaşık 450 km x 200 km bir bölge fay kırılma bölgesi olarak belirlenmiştir [2]. Depremin ardından oluşan tsunami, depremden ilk olarak yaklaşık 20 dakika sonra ulaştığı Japonya'nın doğu kıyısı boyunca 2000 km'lik bir kıyı çizgisini etkilemiştir [3]. Depremin ilk titreşimlerinden yaklaşık iki dakika sonra Japon Meteoroloji Ajansı tarafından verilen uyarıda depremin büyüklüğü 8.1 olarak tahmin edilirken, en fazla 3 metre tsunami tırmanma yüksekliği beklendiği açıklanmıştır [4]; fakat kıyı yerleşim bölgelerinde oluşan tsunaminin boyutları tahmin edilenden çok daha büyük olmuştur. Resmi rakamlara göre 20000'e yakın insanın hayatını kaybettiği ve/veya halen kayıp olduğu belirlenen afetin ardından Japonya'nın bütün doğu kıyasına [2], afetin en büyük hasarı verdiği Tohoku bölgesine [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], Japonya anakarasının kuzeyinde yer alan Hokkaido adasına [12] ve depremin merkez üssünün güneyinde yer alan Tokyo şehrine [13] odaklanarak yapılan çeşitli saha incelemeleri ile bu büyük afetin etkileri ortaya konmuştur. İlk verilen tsunami uyarılarındaki düşük seviyelere karşılık, saha araştırmalarında ortalama tsunami tırmanma yüksekliği (run-up height) 10 metre ve ortalama tsunami baskın derinliği (inundation height) 10-15 metre gibi çok daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Ölçülen en yüksek tırmanma yükseklikleri ise Ryorı ve Taro şehirlerinde deniz düzeyine göre 40 m olarak ölçülmüştür [2].

2011'de gerçekleşen tsunami öncesi birçok otorite, Japonya'yı tsunamiye karşı en hazır ülkelerden biri olarak değerlendirmiştir. Gerek yapısal (*kıyı koruma yapıları*) gerekse yapısal olmayan (*sayısal modelleme çalışmaları, sosyal farkındalık çalışmaları ile birlikte erken uyarı sistemi*) önlemler, Japonya'nın doğu kıyasının böyle bir afete hazır olduğu yönündeki görüşleri güçlendirmiştir. Öte yandan, gerçekleşen depremin büyüklüğünün önceden göz önüne alınan en kötü senaryoları aşan özellikle olması ve dolayısıyla önlemlerin bu deprem büyüklüğüne göre düşünülmemesi, yetkili kuruluş Japonya Meteoroloji Ajansı tarafından depremden hemen sonra yapılan ilk tahminlerin gerçekleşen afet boyutuna kıyasla çok daha düşük ölçekte olması [14] ve bazı kıyı bölgelerinde yapılan tsunami uyarılarına rağmen - oransal olarak az da olsa- bazı insanların panik ve trafik sıkışıklığı gibi nedenlerle tahliye olamaması temel sebepleriyle afetin meydana getirdiği can ve mal kaybı çok büyük olmuştur. Birçok araştırmacıya göre [2, 4, 5, 15, 16] alınan önlemler, afetin etkilerini tümünden ortadan kaldırmasa da hayatını kaybedenlerin sayısını azaltmış, bölgede yaşayan insanların tahliyesi için daha fazla süre kazandırmıştır. Erken uyarı sisteminin -tsunami büyüklüğünü doğru tahmin edememesine rağmen- hızlı bir şekilde çalışması ve bölgede yaşayan Japon halkının afetler konusunda deneyimli ve eğitilmiş olması gibi sebeplerle hemen her mahallesi tsunami baskınına uğramış olan kıyı şehirlerinin (örnek olarak Taro, Miyako, Yamada, Kamaishi, Otsuchi, Onagawa, Rikuzentakata, Kesennuma, Arahama) nüfusunun %88'i kurtulmuştur [16, 17]. Fudai kentinde -tsunami önlemi olarak inşa edilen 15 m yüksekliğindeki kıyı duvarlarının da etkisiyle- can kaybı 8 olarak belirlenmiştir. Sonraki araştırmalarda belirlendiği üzere, fayların kırılma süresinin en az 150 saniye olması, depremin başlamasından yaklaşık iki dakika sonra ilk uyarıyı veren Japon Meteoroloji Ajansı'nın yanılmasının kabul edilebilir olduğuna işaret etmektedir [4]. Bu yanılma her ne kadar kabul edilebilir olsa da, verilen tsunami erken uyarısında depremin ve dolayısıyla tsunaminin

büyükliğünün yanlış tahmin edilmesi kıyı koruma yapıları yeterli olmayan kıyı şehirlerindeki can kaybı oranını ciddi şekilde arttırmıştır. Öte yandan, bazı araştırmacılar tarafından can kaybının ve hasarın büyüklüğünün sebepleri arasında, özellikle Fukushima Nükleer Santrali'nin tasarımında gözetilmesi gereken bazı mühendislik hesaplamalarında bölgede oluşabilecek muhtemel tsunaminin yanlış seçildiği gösterilmektedir [18]. Literatürde yer alan karşıt görüşler bir kenara bırakıldığında yaygın olarak ortaya çıkan görüşe göre, önlemlerin afetin yıkıcılığını engelleyememesinin başlıca sebebi, bu büyüklükte bir depremin bölgede öngörülmemesidir [19].

2011 Büyük Doğu Japonya Tsunamisi sonucunda birçok kıyı koruma yapısı (*dalgakıranlar, tahkimatlar ve kıyı duvarları*) hasar almış veya yıkılmıştır. Kıyı yapılarının tasarımı ile ilgili Japon şartnameleri [20], 2011 afetinin ardından olası tsunamilerin büyüklüklerinin aşamalı olarak değerlendirildiği (*bkz. Bölüm 2*) bir şekilde güncellenmiştir [15]. Kıyı yapılarının yanı sıra, tsunami baskını kıyı şeridinden içeriye doğru ilerledikçe, 128530 adet tek ya da az katlı binanın, 230332 adet çok katlı binanın ve 78 köprünün de yıkılmasına veya kısmen hasar almasına yol açmıştır [2]. Japon tasarım şartnamelerinde tsunami yüklerine yönelik yaklaşımların tekrar gözden geçirilerek güncellenmesi çalışmaları halen devam etmektedir [21]. 2011 afetinin ardından, Amerikan İnşaat Mühendisleri Odası da minimum tasarım yüklerinin verildiği ASCE 7 isimli şartnameye yeni bir bölüm ekleyerek, tsunami yüklerinin ve etkilerinin yapı tasarımında göz önünde bulundurulması gerekliliğini yasal kurallara bağlamışlardır [22].

Doğu Akdeniz'de tarihteki tsunami olayları incelendiğinde, tarih boyunca Türkiye kıyılarını etkilemiş olan çok sayıda tsunami olayının gerçekleştiği görülmektedir [23, 24, 25, 26]. Türkiye kıyılarını etkileyen tsunami afetleri sismik kaynaklı olabileceği gibi, su altı zemin kayması ya da volkanik olaylara bağlı olarak da oluşabilir [24, 27]. Tarihsel belgelere dayandırılarak yapılan çalışmalarda, son iki bin yılda sadece Marmara Denizi'nde 35 tsunami ve son 3500 yılda Doğu Akdeniz'de 120 tsunami olayı gerçekleştiği belirlenmiş [23, 26], Marmara Denizi'ndeki [27, 28] ve Doğu Akdeniz'deki [29] aktif fayların gelecekte zarar verici tsunami yaratma potansiyeli taşıdıkları sonucuna varılmıştır. Öte yandan, mevcut bilimsel verilerle yaklaşık olarak belirlenen deprem büyüklüklerinin 2011 Japonya Depremi örneğinde olduğu gibi, bölgede gerçekleşecek deprem büyüklüğünden daha az olarak tahmin edilmesi durumu bilimsel olarak da mümkün olup, kabul edilebilirdir [4]. Bütün bu veriler ışığında, Türkiye kıyıları için daha ileri tsunami araştırmalarının yapılması, muhtemel bir afet durumunda alınması gereken önlemlerin saptanarak ortaya konulması ve gelecekte yapılması planlanan kıyı yapıları ile mevcut kıyı yapılarının tsunami afeti sırasında nasıl etkileneceğinin belirlenmesi Türkiye kıyıları için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, 2011 Büyük Doğu Japonya Tsunamisi'nin etkilediği Tohoku bölgesine afetten hemen sonra ve afetten beş yıl sonra, çalışmanın yazarları tarafından yapılan saha araştırmalarının sonuçları ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuş, afet sonrası geçen beş yıl içerisinde ortaya koyulan yapısal ve yapısal olmayan çözümler ile afetin hemen sonrası yapılan incelemeler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş, afetin sosyal etkilerine dair yapılan gözlemlere değinilmiş ve Japonya'da 2011 Tsunamisi'nden sonra değişen afet yönetimi düşüncesi ile Türkiye'deki mevcut uygulamalar yapılan gözlemler ışığında karşılaştırılmıştır. Gözlemlere dayalı ve tsunamilerin etkilerine odaklanan bir değerlendirme olan bu çalışmanın; sadece tsunamiler özelinde değil, diğer afetler ile bağlantılı olarak daha geniş bir afet yönetimi algısının, Japonya örneğinde olduğu gibi Türkiye'de de hayata

geçirilmesine katkı sunması çalışmanın ana amaçlarından biridir. Bu çalışmayı atfı yapılan diğer benzeri çalışmalardan ayıran en önemli nokta ise, “afetler ile birlikte yaşamak ve toplumda afet farkındalığı yaratmak” olarak özetlenebilecek önlem stratejileri geliştirme ve afet yönetimi algısının, çeşitli örnekler kullanılarak tartışılmasıdır.

2. 2011 TSUNAMİSİ’NİN ETKİLERİ, AFETİN ARDINDAN ALINAN YENİ ÖNLEMLER VE AFETİN 5 YIL SONRASINDA MEVCUT DURUM

Tsunamilerin yıkıcı etkisinin geçtiğimiz yüzyılda en çarpıcı örneklerinden birisi 2004 Endonezya Sumatra Tsunamisi’dir. 26 Aralık 2004 tarihinde gerçekleşen moment magnitüd 9.1 büyüklüğündeki depremin oluşturduğu tsunaminin etkisiyle 283100 kişinin hayatını kaybettiği kayıtlara geçmiştir [30]. Yüzyılın en ölümcül depremi olarak bilinen afet sırasında 10 metreyi geçen tsunami yükseklikleri gözlemlenmiş, NOAA Tsunami Kataloğu’na göre kaydedilen en yüksek tırmanma yüksekliği 33 metreye kadar ulaşmıştır. 2004 Endonezya Tsunamisi’nin Dünya ölçeğinde yarattığı büyük travmanın ve korkunun ardından tsunami üzerine yapılan araştırmalar yoğunluk kazanmış, okyanus ve denizlere kıyısı olan ülkelerde ulusal düzeyde ve ayrıca uluslararası kuruluşlar tarafından desteklenen birçok araştırma projeleri gerçekleştirilmiş, tsunaminin yıkıcı etkilerinin azaltılması için başta Japonya, ABD ve Avrupa Birliği’nin kıyı ülkeleri olmak üzere pek çok bölgede yapısal, yapısal olmayan ve sosyal önlemler alınması için çalışmalar süregelmiştir.

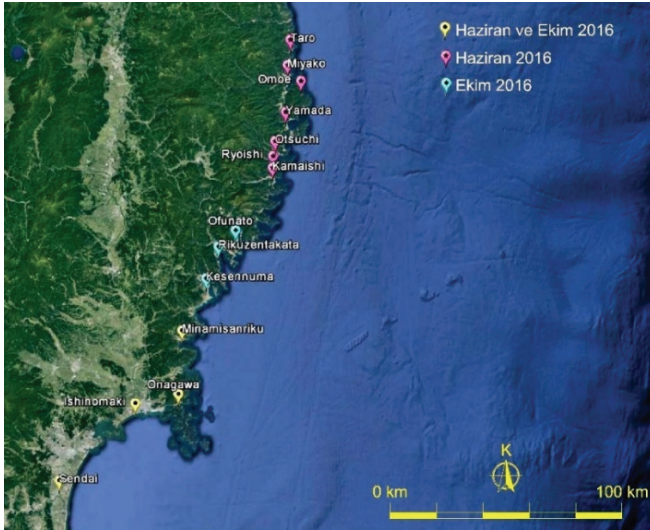
2011 Tsunamisi sonrası Japonya’da içerisinde teknik şartnamelerde yapılan güncellemelerin de yer aldığı birçok değişiklik, tsunami afetlerinden alınan derslere bağlı değişen yeni önlem anlayışına göre yapılmıştır. 2011 afeti öncesinde Japon araştırmacılar ve hükümetindeki yaygın kanı, tsunami afetinin çeşitli kıyı koruma yapıları ile önlenebileceği yönündeydi. 2011 afeti sonrasında ise bu anlayış, yapılan gözlemler ve alınan derslere bağlı olarak değiştirilmiştir. Bu değişimin en temel sebeplerinden biri, yakın kıyıda tsunami ile ilintili hidrodinamik parametrelerin (*tsunami genliği, akım derinliği, akım hızları, tsunami etkisi ile yapılara etkiyen kuvvetler gibi*); diğer bir deyişle, kıyı yapıları ana tasarım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan; temelde tsunaminin oluşumunu, denizde ve karada ilerlemesini hesaplayan sayısal modellerin ana girdisi olan fay kırılma parametrelerinin belirlenmesinde karşılaşılan belirsizliklerdir. Okal’a [4] göre birçok kırılma bölgesi, aletli dönemde yapılan ölçümlerden çok daha büyük depremler üretebilmektedir ve bu büyük depremlerin beklenenden daha büyük boyutlarda tsunamilere yol açması ihtimaller arasındadır. Bununla birlikte, bir yörede oluşabilecek en büyük depremin boyutları bilinebilse dahi, bu büyüklükteki depremlerin oluşturacağı tsunamilerin kara içerisinde ilerlemesini engelleyecek yükseklikteki kıyı duvarlarını uzun mesafeler boyunca inşa etmek hem ciddi ekonomik problemler hem de turizm ve balıkçılık gibi faaliyetlerin sürdürülebilmesi için çeşitli zorluklar ortaya çıkarmaktadır [16, 21]. Ayrıca, bu tip büyük kıyı yapıları, kıyı alanlarında yaşayan insanların denizle olan ilişkisinin arasına bir set çekmekte ve bu durum bazı bölgelerde yöre halkının tepkilerine yol açabilmektedir. Örneğin, Tohoku bölgesinde yer alan Kesennuma şehrinde liman şeridi boyunca yer alan kıyı duvarlarına yöre halkı olumsuz tepki vermektedir. Öte yandan, Taro ve Miyako gibi şehirlerde kıyı duvarlarının yapılması yöre halkı tarafından olumlu karşılanmaktadır. Kıyı duvarlarının yüksekliklerine ve yapımına dair Japon halkı genelde ortak bir görüş bulunmamaktadır. Yukarıda ifade edilen gözlemler sonucunda, Japonya’da bütünlük ve katmanlı bir afet yönetimi algısı ortaya konulmuştur [15, 16, 31]. Buna göre, yapısal ve yapısal olmayan çözümlerin birlikte

kullanılması esas alınmalıdır [15, 16, 21]. Kıyı koruma yapılarının boyutlarının “Birinci Seviye Tsunamiler”e göre; diğer bir deyişle, yinelenme periyodu 100 yıl olan tsunamilere göre belirlenmesi ve dalga aşmasına izin verilmeyecek biçimde tasarlanması önemlidir. “İkinci Seviye Tsunamiler”; diğer bir deyişle, yinelenme periyodu 100 yıldan fazla olan tsunamiler için ise kıyı koruma yapılarının üzerlerinden aşan sürekli akım (*tsunami overflow*) esnasında yıkılmamaları ve/veya yıkılmalarının gecikmesi için gerekli önlemler alınması önem kazanmıştır. Yapısal önlemler yıkımın önlenmesi ve/veya geciktirilmesi için çalışırken, yapısal olmayan etkin erken uyarı ve afet önleme mekanizmaları devreye sokularak, bölgede yaşayan insanların ve canlıların afetin etkileyebileceği bölgeden hızlıca tahliye edilmeleri planlanmaktadır. Böylelikle, yinelenme periyodu yüksek olan tsunamilerin oluşması durumunda dahi can kaybının minimum düzeye çekilebileceği düşünülmektedir.

2.1. Saha Araştırmalarının Özeti

2011 Büyük Doğu Japonya Tsunamisi'nin etkilerinin ve afetin beş yıl ardından afet bölgesindeki durumun değerlendirildiği bu çalışma, çalışmanın yazarları tarafından bölgede gerçekleştirilen üç saha incelemesindeki gözlemlerden oluşmaktadır.

Bu saha araştırmalarından ilki, çalışmanın yazarlarından Ahmet Cevdet Yalçiner ile Japonya, ABD ve Türkiye’de çalışan tsunami araştırmacıları Anawat Suppasri, Erick Mas, Nikos Kalligeris ve Öcal Necmioğlu’ndan oluşan ekip tarafından, afetin hemen ardından 29 Mayıs 2011 – 4 Haziran 2011 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Yalçiner vd. [17] tarafından sunulan ve afetten hemen sonraki durumu yansıtan ilk saha araştırmasının sonuçları, bu makalede sunulan afetten 5 yıl sonrasındaki durum gözlemleriyle karşılaştırma yapmak için kullanılmıştır.



Şekil 1. 2016'da Gerçekleştirilen Saha Araştırmalarında Ziyaret Edilen Şehirler

Afet bölgesine yapılan diğer iki saha araştırması ise, afetten 5 yıl sonra 2016 yılında, Japon hükümeti ve Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) tarafından desteklenen, Japonya Deniz-Yer Bilimleri ve Teknoloji Ajansı (JAMSTEC) ile Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü işbirliğiyle gerçekleştirilmekte olan ve Japonya ile Türkiye'den çeşitli üniversitelerin yer aldığı "Marmara Bölgesi'nde Deprem ve Tsunami Zararlarının Azaltılması ve Türkiye'de Afet Eğitimi Projesi (MarDiM)" isimli Japon-Türkiye ortak araştırma projesi kapsamında yapılmıştır. Araştırmalardan ilki 5-8 Haziran 2016 tarihleri arasında çalışmanın yazarlarından Taro Arikawa ve Ceren Özer Sözdinler ile Chuo Üniversitesi lisans öğrencileri Hirano Hiroaki, Endo Masoto ve Kawai Koki tarafından, ikincisi ise 26 Ekim – 29 Ekim 2016 tarihleri arasında çalışmanın yazarlarından Taro Arikawa ve Hasan Gökhan Güler ile Chuo Üniversitesi lisans öğrencileri Suzuki Kohei ve Shota Takagawa tarafından gerçekleştirmiştir. 2016 içerisinde yapılan saha araştırmalarında ziyaret edilen kıyı şehirleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

2.2. Yapısal ve Yapısal Olmayan Etkiler ve Çözüm Yöntemleri Üzerine Gözlemler

2011 Tsunamisi'nin ardından, Japonya'daki tsunamiye karşı alınan önlemler tekrar gözden geçirilmiş, yapısal ve yapısal olmayan önlemlerin performansları değerlendirilerek gerektiği yerlerde güncellemeler yapılmıştır. Yapısal önlemleri temel olarak yeniden inşa edilen kıyı yapıları ve kot yükseltme çalışmaları oluştururken; yapısal olmayan önlemleri sayısal modelleme çalışmaları ve uyarı sistemleri oluşturmaktadır. Afetin etkilerini azaltmak ve gelecek afetlere yönelik önlemler almak amacıyla üretilen çözüm yöntemleri ile ilgili tespitler arasında öncelikli olanı, yapısal ve yapısal olmayan çözümlerin 2000 km gibi uzun bir kıyı şeridi boyunca beş yıl gibi kısa sayılabilecek bir sürede ayrıntılarıyla tasarlanması, planlanması ve neredeyse tamamıyla hayata geçirilmesidir. Bu duruma tek istisna Fukushima'da bulunan ve afet esnasında soğutma sistemleri bozularak devre dışı kalan nükleer santraldir. Nükleer santraldeki son durumu takip eden Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından 1 Şubat 2017'de yayınlanan bildirimine göre [32], örneklenen suda bulunan radyasyon miktarı tehlike oluşturacak değerden düşük bulunmuştur. Nükleer santrallerin özellikleri sebebiyle, bu etkinin ortadan kaldırılması gelişmeler olumlu yönde olsa dahi uzun zaman alacaktır. Çalışmanın bu kısmında, afetin yapısal ve yapısal olmayan etkileri ve afetin beş yıl ardından saha araştırmalarında gözlemlenen çözüm yöntemleri tartışılmaktadır.

2.2.1. Yapısal Etkiler ve Çözüm Yöntemleri

2.2.1.1. Dalgakıranlar ve Kıyı Duvarları

Saha araştırmaları sırasında gezilen şehirlerden Kamaishi ve Ofunato'da bulunan limanları koruyan benzer yapısal özelliklere sahip keson tipi tsunami dalgakıranları 2011 Tsunamisi sırasında yıkılmışlardır. Arikawa vd. [33] tarafından Kamaishi dalgakıranının yıkılma mekanizması incelenmiş, dalgakıranın üzerinden aşan sürekli akımın yarattığı su seviyesi farkı sebebiyle oluşan basınç kuvveti farkı ve bununla birlikte dalgakıranın üzerinden aşan sürekli akım ile dalgakıran keson blokları arasındaki 50'şer cm'lik aralıktan geçen şiddetli akıntının dalgakıranın liman tarafındaki taş dolgu temelde yarattığı oyulma dalgakıranın kaymasına ve devrilmesine yol açmıştır. Kamaishi dalgakıranının tsunami etkisi ile yıkılmasının ardından, Kamaishi limanında ciddi oranda hasar oluşmuştur (Fotoğraf 1). Afetin ardından yeni dalgakıran inşasına başlanmış ve yeni dalgakıran 2016 yılında

tamamlanmıştır (Fotoğraf 2). Keson tip olarak inşa edilen yeni dalgakıran eskisi ile benzer yerde olacak şekilde 990 m ve 670 m uzunluklarında iki dalgakırandan oluşmaktadır. Dalgakıranlar arası boşluk 300 m'dir. Yıkılmış olan dalgakırandan farklı olarak yeni dalgakırandaki deniz tabanı üzerindeki dolgu malzemesi (yaklaşık 30 m kalınlığında taş ağırlığı 30-800 kg arası taş dolgu) üzerine keson bloklar yerleştirilmeden önce yaklaşık 10 m kalınlığında taş ağırlığı 800-1000 kg arası olan daha dayanımlı büyük dolgu malzemesi kullanılmıştır. Kamaishi dalgakıranı 63 metre su derinliğinde inşa edilmesi sebebiyle dünyanın en derin dalgakıranı olma özelliğine sahiptir. Kamaishi dalgakıranının koy girişinde yer alması tsunami dalgalarının kıyıya yaklaşık 6 dakika daha geç gelmesini sağlamakta ve böylece yöre halkına kıyıda uzaklaşmak ve tsunami kaçış tepelerine yönelmek için zaman kazandırmaktadır. Fakat öte yandan dalgakıranların varlığının köşe noktalarda enerji birikimleri sebebiyle karada bazı bölgelerde daha yüksek dalga hızlarına yol açtığı da sayısal modellemelerle ispatlanmıştır [34]. Dalgakıranın gerek tsunami gerekse fırtına dalgalarından koruduğu liman bölgesinde oldukça yüksek miktarlarda yük elleçlenmektedir. Aynı zamanda limanın güneyinde petrol depolama tesisi de bulunmaktadır. Limanda genel olarak çelik, kum taşı, kömür, petrol ürünleri, yem ve mısır ürünleri yüklenip boşaltılmaktadır ve sadece 2015 yılı içinde toplam 2.1 milyon ton civarında yük işleme alınmıştır.



Fotoğraf 1. Afetin Hemen Ardından Kamaishi Limanı (Tarih: Haziran, 2011)



Fotoğraf 2. Yeniden İnşa Edilen Kamaishi Dalgakıranı (Tarih: Haziran, 2016)

Kamaishi dalgakıranı ile benzeri yapıdaki Ofunato dalgakıranı da Kamaishi dalgakıranı ile aynı şekilde yıkılmıştır. Bölgedeki en önemli çimento üretim merkezi ve uğrak bir konteyner limanı olan Ofunato limanının yeniden düzenleme çalışmaları sırasında dalgakıranların tekrar inşa edilmesine karar verilmiştir. Ofunato limanına Ekim 2016'da yapılan saha araştırma gezisi sırasında, dalgakıranın büyük oranda yeniden inşa edildiği gözlemlenmiştir (Fotoğraf 3). Afet sonrasında güncellenen tasarımda, dalgakıranın yüksekliğinin 5.1 metreden 11.3 metreye çıkarılması ve dalgakıranın liman tarafındaki taş dolgu temelinin Fotoğraf 3'te gösterilen özel beton bloklar ile yükseltilmesi planlanmıştır. Kullanılacak beton bloklar ile dalgakıranın dalgalara karşı dayanımını artırması ve sürekli dalga aşması sırasında liman tarafında oluşabilecek oyulmaların önüne geçilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, kuzey ve güneyde yer alan dalgakıranların arasındaki boşluğa, en büyük konteyner gemilerinin geçebileceği derinlik gözetilerek ters T-bloklar yerleştirilecek ve batık bir dalgakıran inşa edilecektir.



Fotoğraf 3. Yeniden İnşa Edilen Ofunato Dalgakıranı (Tarih: Ekim, 2016)

Ofunato limanının yavaşma yapıları boyunca kıyı duvarları yapımı Ekim 2016'da yapılan saha araştırmaları sırasında devam etmekteydi (Fotoğraf 4). Bu kıyı duvarları, liman içerisine dalgakıranlar arasında bulunan açıklıktan ve/veya dalgakıranın üzerinden aşarak girebilecek olan dalgaların karada ilerlemesinin azaltılması amacıyla yapılmaktadır. Kıyı duvarlarının, su seviyesi yükselmesine dayanıklı hale gelmesi ve aynı zamanda da ince olmalarını sağlamak amacıyla kazıklı temeller kullanılmıştır. Japonya'da yaygın olarak görülen kıyı duvarlarının bir diğer örneği de Kesennuma şehrinde yer almaktadır. Kesennuma limanı yavaşma yapıları boyunca uzanan bu duvarları benzerlerinden ayıran en önemli özellik, bunların üzerlerinde açılan pencerelerdir (Fotoğraf 5). Bu pencereler, yöre halkının kıyı duvarları ile ilgili deniz-insan ilişkisinin engellenmesinden ileri gelen şikâyetlerini önlemek amacıyla açılmıştır. Fakat, pencerelerin kıyı duvarlarının boyutlarına göre oldukça küçük olması, tahmin edilebileceği gibi bunların işlevsiz olmalarına yol açmıştır.



Fotoğraf 4. Ofunato Limanı Kıyı Duvarları Yapımı (Tarih: Ekim, 2016)



Fotoğraf 5. Kesennuma Limanı Kıyı Duvarları (Tarih: Ekim, 2016)

Yeniden inşa edilen kıyı duvarı örnekleri Haziran 2016'da gerçekleştirilen saha araştırma gezisinde Miyako ve Yamada şehirlerinde gözlenmiştir. Miyako şehrinde dik yüzeyli kıyı duvarı yaklaşık 8 metre yükseklikte ve tüm kıyı şeridini kapsayacak şekilde inşa edilmektedir (Fotoğraf 6). Burada deniz ile kıyı duvarı arasındaki bölgede sadece balıkçılık faaliyetlerine izin verilirken duvarın arka tarafından itibaren ise kötü yükseltilmiş yollar ve yerleşim yerleri planlanmıştır. Fotoğraf 7'de Miyako şehri kıyı duvarı inşaatının bittikten sonraki durumu illüstrasyon bir çizim ile gösterilmektedir.



Fotoğraf 6. Miyako Şehri Kıyı Duvarları (Tarih: Haziran, 2016)



Fotoğraf 7. Miyako Şehri Kıyı Duvarları İllüstrasyonu (Tarih: Haziran, 2016)

Bir benzer örnek de Yamada şehrinde gözlenmiştir. Yamada şehrinde de kıyı duvarı yaklaşık 7 metre yükseklikte inşa edilirken eski duvar gibi yatık yüzeyli değil, yeni teknolojiyle inşa edilen diğer örneklerde olduğu gibi dik yüzeyli olarak inşa edilmektedir (Fotoğraf 8).



Fotoğraf 8. Yamada Şehri Eski ve Yeni Kıyı Duvarları (Tarih: Haziran, 2016)

2.2.1.2. Kıyı Tahkimatları

2011 öncesinde yapılan kıyı tahkimatlarında yapıların sadece yükseklikleri göz önüne alınmıştır [21]. Tahkimatların üzerinden aşan sürekli akım, 2011 afetinde birçok tahkimatın yıkılmasına yol açmıştır. 2011 afeti sonrasında değişen afet yönetimi düşüncesinde göz önüne alınan iki seviyeli tsunami önlemlerine göre, İkinci Seviye Tsunamiler'in oluşması durumunda bu yapıların üzerinden aşmaya izin verilmektedir. Bu nedenlerle, 2011 sonrasında yapılan kıyı tahkimatları Türkçe'de "inatçı", "direnci" anlamlarına gelen "nebaritsuyoi" kelimesiyle adlandırılmış ve 2011 öncesinde yapılan tasarımlara nazaran güçlendirilmişlerdir. Bu güçlendirme üç aşamada tarif edilmektedir: Kara tarafındaki topuğun güçlendirilmesi, kret ve kara tarafı boyunca koruma tabakasında daha ağır beton bloklar kullanılması ve beton bloklar arasındaki bağlantıların güçlendirilmesi. Böylelikle, kara tarafında dalga aşması ile oluşan sürekli akımın yarattığı oyulmanın önüne geçilerek kıyı tahkimatlarının tsunami etkisi altında performansları artacaktır.

Ekim 2016'da bölgede yapılan saha araştırmalarında iki farklı noktada yeniden inşa edilen kıyı tahkimatları görülmüştür. Bunlardan ilki, Fotoğraf 9'da verilen Kesenuma yakınlarındaki Koizumi bölgesinde yer alan ve Ekim 2016'da halen yapım aşamasında olan, tamamlandıklarında yüksekliği 14.7 metre olacak olan kıyı tahkimatlarıdır. İkinci kıyı tahkimatı ise Sendai bölgesinde, Sendai havalimanının hemen yakınında yapılan saha araştırmalarında incelenmiştir. Tahkimatın Ekim 2016'da tamamlanmış hali Fotoğraf 10'da sunulmuştur.



Fotoğraf 9. Koizumi Kıyı Tahkimatı İnşaattı (Tarih: Ekim, 2016)



Fotoğraf 10. Sendai Kıyı Tahkimatı (Tarih: Ekim, 2016)

2.2.1.3. Kot Yükseltme Çalışmaları ve Yeniden Şehir Planlaması

2011 Tsunamisi'nin etkisiyle birçok kıyı şehri tümünden veya büyük oranda yıkılmıştır. Bu şehirlerin yeniden yapılması esnasında, tsunami baskın alanları gözetilerek yeni şehir yerleşim planları oluşturulmuştur. Buna göre yer yer kot, yapay dolgu alanları kullanılarak yükseltilmiş, yer yer kıyıda kalan yerleşim birimleri, yüksek yerlere taşınmıştır. Dolgu alanlarla kot yükseltme çalışmaları örnekleri Haziran 2016 saha gezisinde Otsuchi ve Minamisanriku (Fotoğraf 11) şehirlerinde gözlenmiştir. Kademeli şekilde dolgu yapılarak yükselen bu tepelik bölgeler çeşitli ileri zemin etütleri uygulanarak sağlamlaştırılmaktadır. Kıyı tahkimatı art alanında yer alacak kıyı yerleşim yerleri kotu yükseltilmiş bu alanlarda inşa edilecektir. Bu sayede bölge halkının ve yerleşim yerlerinin "İkinci Seviye Tsunamiler" esnasında oluşacak yüksek seviyelerdeki tsunami baskınlarından korunması hedeflenmektedir. Ekim 2016'da bölgeye yapılan saha gezilerinde, yine Minamisanriku şehrinde kot yükseltme çalışmaları gözlemlenmiş (Fotoğraf 12), yeniden yerleşimin gerçekleştirildiği yüksekte yer alan mahalleler ziyaret edilmiştir.



Fotoğraf 11. Kot Yükseltme Çalışmaları, Minamisanriku (Tarih: Haziran, 2016)



Fotoğraf 12. Kot Yükseltme Çalışmaları, Minamisanriku (Tarih: Ekim, 2016)

2.2.1.4. Binalar

2011 afeti sırasında birçok bina yıkılmış veya hasar almıştır. Gokon ve Koshimura [7] tarafından Sendai, Kesenuma, Onagawa, Ishinomaki gibi afetin etkili olduğu şehirlerin de

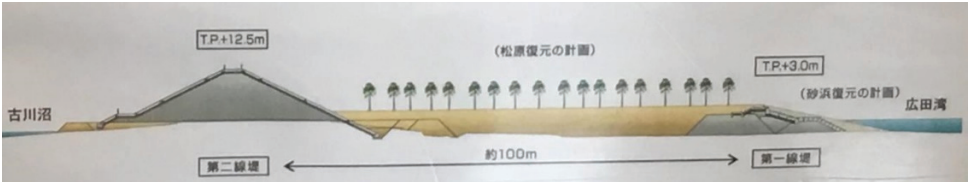
içinde yer aldığı Miyagi eyaletinde yapılan araştırmalar binaların %29.4'ünün yıkıldığı veya zarar gördüğünü ortaya koymuştur (Fotoğraf 13). Beklenildiği üzere betonarme yapıların ahşap yapılara göre daha az hasar aldığı gözlenmiştir. Öte yandan birçok betonarme yapının da devrildiği veya ağır hasar aldığı görülmüştür. Japon tasarım şartnamelerinde hali hazırda yer alan tsunami yükleri ile ilgili bölümlere ek olarak bina kırılma analiz eğrilerinin de şartnamelere eklenmesi konusunda araştırmalar halen devam etmektedir [35]. Böylelikle binaların kendi özelliklerine göre tasarımın şekillenmesi mümkün olabilecektir.



Fotoğraf 13. Hasar Almış Betonarme Yapı, Otsuchi (Tarih: Haziran, 2016)

2.2.1.5. Yapısal Çözümlerin Birlikte Kullanılması

2011 afeti sonrasında yeniden inşa edilen şehirlerden bazılarında, birden fazla yapısal çözümün birlikte kullanıldığı çözümler de gözlenmiştir. Bu tip çözümlerde, genellikle kıyı tahkimatları ile kıyı ormanları birlikte kullanılmaktadır. Örneğin, afetten en çok etkilenen şehirlerden biri olan Rikuzentakata'da kıyı tahkimatları ve kıyı ormanları Şekil 2'de verildiği gibi birlikte kullanılmaktadır. Böylelikle daha ekonomik yapıların üretilmesi hedeflenmektedir. Rikuzentakata'da, Ekim 2016'da yapılan saha araştırmalarında, Şekil 2'de gösterilen ve 3 metre yüksekliğinde kıyı tahkimatının yapımı tamamlanmış, 12.5 metre yüksekliğindeki tahkimatın (Fotoğraf 14) yapımı büyük ölçüde tamamlanmıştır.

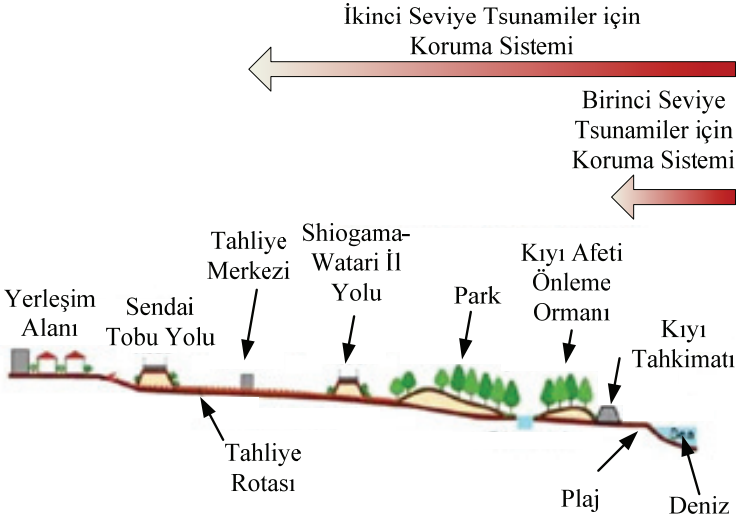


Şekil 2. Kıyı Tahkimatı ve Kıyı Ormanları, Rikuzentakata (Tarih: Ekim, 2016)

Yapısal çözümlerin birlikte kullanılması, Rikuzentakata'dan daha kapsamlı olarak Sendai kıyılarında gözlenmiştir. Sendai kıyılarında gerçekleştirilen çok katmanlı kıyı afetleri koruma sistemine göre kıydan başlayıp karada iç kesimlere doğru kademeli olarak planlanan kıyı afetleri koruma sistemleri uygulanmaktadır [36]. Bu aşamalar kıydan başlayarak karaya doğru konumlanacak şekilde yüksek kıyı duvarları inşa edilmesi, kıyı duvarlarının arkasına kıyı afetlerine karşı koruma ormanları yapılması, orman bölgesinin arkasında yer alan şehirlerarası otopanın bulunduğu kottan viyadükler ile yükseltilerek yeniden inşa edilmesi, sonrasında tsunami kaçış tepeleri ve kuleleri yapılması ve tüm bu yapılardan sonra karada en iç kesimlere de kıyı yerleşim bölgelerinin inşası olarak planlanmaktadır. Sendai bölgesinde, yapısal çözümlerin birlikte kullanılması ile ilgili çizimler Şekil 3'te verilmiştir.



Fotoğraf 14. Rikuzentakata Kıyı Tahkimatı (Tarih: Ekim, 2016)



Şekil 3. Yapısal Çözümlerin Birlikte Kullanılması, Sendai (Koshimura vd. [36]'dan alınarak Türkçeleştirilmiştir.)

2.2.2. Yapısal Olmayan Etkiler ve Çözüm Yöntemleri

2.2.2.1. Sayısal Modelleme Çalışmaları

Sayısal modeller tsunami oluşumunu, ilerlemesini, kıyıda yükselmesini ve kıyı içerisinde ilerlemesinin boyutlarını belirlemek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tsunami afeti ile ilgili önlemler, çalışılan bölgede gerçekleşen tarihi tsunamilerden elde edilmiş veriler ve sayısal modeller ile yapılan benzetimler yardımıyla belirlenen bu parametrelere dayandırılarak alınmaktadır. Tsunami benzetim çalışmalarını hassas bir şekilde gerçekleştirebilen sayısal modellerin başlıca örnekleri arasında TUNAMI N2 [37], MOST [38], COMCOT [39], NAMIDANCE [40], JAGURS [41], NEOWAVE [42] ve STOC-CADMAS/SURF [43] bulunmaktadır. 2011 afetinin ardından sayısal modellerin performanslarını arttırmak için, daha hassas verilerin elde edilmesine ve kullanılmasına başlanmıştır. LIDAR ve/veya uydu fotoğrafları kullanılarak verilerin elde edildiği çeşitli yöntemler ile yüksek çözünürlüklü topoğrafik ve bina verileri oluşturulmakta ve bu veriler benzetim çalışmalarında kullanılarak daha ayrıntılı çözümler ortaya konulmaktadır. Japonya'da 2011 afeti sonrasında yüksek hesaplama kapasitesine sahip sistemler kullanılarak, gerçek zamanlı tsunami benzetimi yapılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucunda 10 dakikadan az zamanda gerçek zamanlı uyarı verilmesi hedeflenmektedir [21]. Tsunami erken uyarı sistemi ile ilgili ülkemizdeki çalışmalar Bölüm 2.4'te ayrıca tartışılacaktır.

2.2.2.2. Diğer Çalışmalar

2011 Tsunami sırasında verilen uyarı depremin boyutlarını yukarıda ifade edilen teknik sebepler nedeniyle tam olarak ortaya koyamamıştır. 2011 afeti sırasında uyarıların yanlış veriler içermesi (*depremin büyüklüğü, tsunami yüksekliği gibi*), insanları yanlış yönlendirerek kayıpların sayısını arttırmıştır [14]. Yanlış tahminlerin yıkıcı etkisinin önüne geçmek için, Japon Meteoroloji Ajansı'nın 2011 afeti sonrasında planladığı gelişmeleri içeren çalışmada ilk üç dakika içerisinde verilmesi beklenen erken uyarının en kötü duruma göre verilmesi gerekliliği belirtilmiştir [44].

2011 afeti sırasında insanlar erken uyarının ardından yüksek yerlere doğru hareket etmeye çalışırken, karşılaşılan en önemli sorunlardan bir tanesi de, tsunaminin muhtemel yüksekliğinin bilinmemesi sebebiyle, çıkılan yüksek yerlerin yeterince yüksek olmamasıdır. Bu sebeple düz bir plato üzerine kurulu Sendai şehrinde çok sayıda insanın hayatını kaybettiği bilinmektedir. Erken uyarı sistemi ile ilgili yapılan güncelleme çalışmaları haricinde, 2011 afeti ile belirlenen tsunami baskın alanları, afetin ardından güncellenen uyarı levhaları ile hemen her yerde 2011 tsunamisinin baskın alanının ulaştığı yükseklikler belirtilerek insanların bilgisine sunulmuştur (Fotoğraf 15). Bu sayede afet durumunda insanların kaçmaları gereken yükseklikler belirtilmiştir.

2.3. Farkındalık Oluşturma Çalışmaları

Okal [4] tsunami araştırmacıları ve yerel otoriteler için en zorlu görevi, kıyı bölgelerinde yaşayan ve ciddi risk altında olan insanlara, kıyı afetlerine ve özellikle tsunamiye yönelik farkındalık kazandırmak olarak tanımlamaktadır. Bununla birlikte, Madran [45] yapıları

kentlerin yaşamındaki önemli olayların en somut belgeleri olarak tanımlamakta ve bir yapının geçirdiği değişikliklerin kent belleğinin sürekliliğini sağladığını belirtmektedir. Afetin beş yıl sonrasında yapılan saha araştırmaları süresince farkındalık oluşturma, afetle birlikte yaşama ile kent belleğinin yaratılması ve sürekliliğinin sağlanması konularında gözlemler yapılmıştır. Saha araştırmaları boyunca ziyaret edilen istisnasız bütün şehirlerde yukarıda ifade edilen amaçlara hizmet edecek şekilde bilinçli olarak yerinde bırakılmış hasarlı binalar ve/veya semboller; afet esnasında çekilen fotoğrafların kronolojik bir şekilde sunulduğu ve afet sonrasında enkazdan toplanan cisimlerin sunulduğu küçüklü/büyükü birçok müzeler veya sergiler; yeniden yapım süreçlerinin ayrıntılı olarak anlatıldığı alanlar yaratıldığı görülmüştür. Böylelikle bölgede yaşayan insanlar tarafından geçmişte kalan afetlerin unutulmaması, afetlerle birlikte yaşamının öğrenilmesi ve gelecek nesillere yaşanan bu afetin boyutlarının çarpıcı bir şekilde aktarılmasının sağlanabilmesi hedeflenmiştir. Bunlara bir örnek tsunami afeti sırasında ağır hasar almış olan Otsuchi Belediye Başkanlığı binasıdır (Fotoğraf 13). Ağır hasar almış ve kullanılamaz halde olan betonarme bina yıkılmayarak müze haline getirilecek ve böylece yaşanan afetin gelecek nesiller tarafından da hatırlanması sağlanacaktır.



Fotoğraf 15. 2011 Tsunamisi Baskın Derinliği İşareti, Kamaishi (Tarih: Haziran, 2016)

Hasarlı yapıların ve bazı sembollerin yerinde bırakılarak farkındalık yaratılmaya çalışılmasının en çarpıcı örneklerinden biri Rikuzentakata'da yer almaktadır. 2011 tsunamisinde neredeyse tamamen yok olan şehrin kıyı şeridi boyunca yer alan çam ormanından geriye sadece bir ağaç kalabilmiştir. Bu çam ağacı deniz suyuna maruz kaldığı için ölmüş olsa da, çevresindeki betonarme binalar bile ağır hasar alarak yer değiştirirken yerinde sabit kalması, ağacın bölge halkı için sembol haline gelmesini sağlamıştır. “Mucize Çam Ağacı” olarak isimlendirilen ağaç koruma altına alınarak bir anıt haline getirilmiştir. Fotoğraf 16a'da verilen *Mucize Çam Ağacı*'nın 500 metre kadar ilerisinde, afetten etkilenerek ağır hasar almış bir betonarme bina yine sembolik olarak yerinde bırakılmıştır (Fotoğraf 16b). Benzeri biçimde, afetin boyutlarının hatırlanabilmesi ve sürekli hazır olunabilmesinin sağlanması amacıyla Minamisanriku'da tamamen kullanılmaz hale gelen yerel yönetim binası (Fotoğraf 11) yerinde bırakılmıştır.



(a) Mucize Çam Ağacı



(b) Enkazı Yerde Bırakılan Betonarme Bina

Fotoğraf 16. Rikuzentakata (Tarih: Ekim, 2016)

Yaklaşık 20000 kişinin hayatını kaybettiği bu afet sırasında birçok trajedi de yaşanmıştır. Bu trajedilerden belki de en çarpıcı olanı Ishinomaki şehri yakınlarında yer alan Okawa İlköğretim Okulu'nda gerçekleşmiştir. Kitakami Nehri'ne yaklaşık 500 metre uzaklıkta olan bu okulda, nehrin de etkisiyle yükselen su seviyesi 74 öğrenci ile 10 öğretmen ve hizmetlinin ölümüne yol açmıştır. Japon Meteoroloji Ajansı tarafından verilen tsunami uyarısına rağmen, tahliye için yeterli süre varken boşaltılmayan bu okul Japonya'da ulusal düzeyde bir travma yaratmış, yerel yönetim bu olaydan dolayı ölen öğrencilerin aileleri tarafından sorumlu tutulup dava açılmış, Ekim 2016'da yapılan saha araştırması sırasında sonuçlanan davada yerel yönetim suçlu bulunmuştur. Japonya'da her birimdeki personele ayrıntılı acil durum ve afet eğitimi verilmesinin gerekliliğinin sembolü haline gelen Okawa İlköğretim Okulu da yerinde bırakılmış, okulun bahçesine de hayatını kaybeden öğrenciler anısına bir anıt inşa edilmiştir (Fotoğraf 17).

Afet bölgesinde bilinçli olarak bırakılan enkazın ve sembollerin dışında birçok müze, sergi ve anıt da ziyaret edilmiştir. Gidilen istinasız bütün şehirlerde değişik ölçeklerde yer alan bu müze ve sergilerde, o şehirde afet sırasında yaşanan olaylar fotoğraflar ve videolar ile gösterilmekte, enkazdan toplanan bazı eşyalar sergilenmektedir. Japon toplumunun afet farkındalığı yaratmak adına gösterdiği direncin belki de en çarpıcı örneklerine, su seviyesinin 18 metreye ulaştığı Onagawa şehrinde rastlanmıştır. Bu örneklerden ilki, çevresine göre yüksekte bulunan ve ilk katı su altında kalan hastanede gözlemlenmiştir. Bölgedeki birçok büyük ölçekli müze ve serginin yanı sıra, halen faaliyette olan şehir hastanesinin belli bir bölümü afet ile ilgili Onagawa şehrine dair kapsamlı bir sergiye çevrilmiştir. İkinci örnek ise Onagawa şehrinde bulunan bir kafede, kahve servis edilen bardakların üzerinde "11 Mart 2011'i Asla Unutma!" ifadesi ile şekil bulmuştur. Japon toplumunun afetlere karşı mücadelesinde yılmadığını gösteren bir başka örnek ise Rikuzentakata'da yer alan ve yeniden yapım çalışmalarının anlatıldığı sergide, afet sırasında yaşanan bazı olayların sunumunda yazılan "Asla Vazgeçmeyeceğiz!" mesajları ile somutlaştırabilir. Afetin en etkili olduğu

Sendai şehrinde yer alan “Büyük Doğu Depremi Anıtı” da yine benzeri bir algıyla tasarlanmıştır. Fotoğraf 18’de verilen bu anıtın siyah kısmı afeti yenmeyi vasiyet eden kayıpları bir çekirdek şeklinde tasvir ederken, beyaz kısmı ise bu çekirdekten filizlenen çiçeği sembolize etmektedir.



Fotoğraf 17. Okawa İlköğretim Okulu (Tarih: Ekim, 2016)



Fotoğraf 18. Büyük Doğu Depremi Anıtı, Sendai (Tarih: Ekim, 2016)

Yukarıda verilen örneklerden açıkça anlaşılabilceği gibi, Japon toplumunun afet farkındalığı yaratmak, afetlerle birlikte yaşamak ve afetlerle mücadele etmek konusunda bir bütün olarak çok duyarlı ve dirençli olduğu gözlemlenmiştir. Bu yönelim, Japonlara özgü bir el sanatı olan “kintsugi” sanatını akıllara getirmektedir. Bu el sanatında, parçalanmış “değerli” cisimler, erimiş altın yardımıyla birleştirilerek yeniden bir bütün haline getirilmektedir. Japon toplumunun algısı, bu sanatta olduğu gibi, yıkılan-hasar almış şehirleri tekrar baştan inşa ederken geçmiş afetlerden birçok kalıntıyı ortada bırakmak, birçok müze ve sergi ile afetleri hafızalarda canlı tutmak, bu sayede gelecekteki afetlere hazırlıklı olmak ve afetler ile birlikte yaşayabilmek olarak şekillenmiştir. Bununla birlikte, kent belleği de etkili bir şekilde oluşturulabilmiştir. Bu noktada, Japon toplumunun afet algısı ile kintsugi sanatı arasında bir analogi kurmak mümkün olmaktadır.

2.4. Türkiye'deki Durum

Türkiye'de afet yönetimi ile ilgili belirgin çalışmaların tarihi çok eskiye dayanmasa da, Osmanlı Dönemi'nden başlayarak çeşitli girişimler olmuştur. Kuzucu [46] tarafından ortaya koyulan çalışmaya göre, 1892 yılında Heyet-i Tahlisiye isimli bir arama-kurtarma örgütü kurulmuş, başta İstanbul olmak üzere yaşanan büyük yangınların ardından arama-kurtarma-ilk yardım çalışmalarını bu örgütün yürütmesi planlanmıştır. Fakat, o dönemdeki savaş koşulları sebebiyle, bu örgütün devletten destek alması sağlanamamış ve aktif bir faaliyette bulunamamıştır. Türkiye'deki afet yönetimi çalışmaları 1999 İzmit Depremi'nin ardından yoğunluk kazanmış, 2009 tarihinde ise afet yönetimi üzerine çalışan kurumlar birleştirilerek Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) altında toplanmıştır. Afet yönetiminin tek elde toplanması, alınacak önlemler ve önlemlerin hayata geçirilmesi açılarından büyük önem taşımaktadır.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), 2005 yılında UNESCO-Hükümetlerarası Oşinografik Komisyonu'nun bir alt organı olarak kurulan "Kuzey-Doğu Atlantik, Akdeniz ve Bağlantılı Denizler için Tsunami Erken Uyarı ve Zararları Hafifletme Sistemi Hükümetlerarası Eşgüdüm Grubu (ICG/NEAMTWS)" çalışmalarına en başından itibaren aktif olarak katılmıştır ve bu kapsamda hizmet vermek üzere kurulan Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi çalışmalarına 2009 yılından itibaren diğer ulusal kurum ve kuruluşların da önemli katkıları ile devam etmektedir. 1 Temmuz 2012 tarihinde deklare ettiği Tsunami Aday Gözlem Sağlayıcı görevini başarı ile ifşa eden KRDAE, 26 Ekim 2016 tarihinde Bükreş'te gerçekleştirilen 13. ICG/NEAMTWS oturumunda akredite olarak Tsunami Gözlem Sağlayıcısı statüsüne ulaşmıştır. Gözlem alanı içerisinde yer alan depremlerden moment magnitüdü 5.5 ve üzeri olan depremlerin tsunami potansiyellerine göre değerlendiren KRDAE, değerlendirmeler sonucu gerekmesi durumunda üye ülkelere tsunami uyarı mesajları göndermekte ve su seviyesi gözlemleri yaparak tsunaminin gerçekleşip gerçekleşmediğini takip etmektedir.

Türkiye'de yapı tasarımında kullanılan şartnamelerin hiçbirinde tsunami ile ilgili yükler göz önüne alınmamaktadır. Türkiye kıyılarında gerçekleşebilecek tsunamilerin, kıyı içerisinde ilerlemelerinin çok etkin olamayacağını, birçok çalışmada görülmesi sebebiyle bina tasarım şartnamelerinde tsunami yüklerine yer verilmesine gerek olmadığı düşünülmektedir. Hâlbuki Türkiye kıyılarının hemen hepsi tarih boyunca tsunami etkisi altında kalmıştır. Bu sebeple, sanılan aksine kıyı yapılarının tasarımında tsunami etkisinin göz önüne alınması oldukça gereklidir. Özellikle koruduğu alan itibarıyla, yıkılması veya hasar alması durumunda ciddi can ve mal kaybına yol açacak kıyı yapılarının da tsunami etkisi altındaki performanslarının incelenmesi, muhtemel bir afet durumu için önem taşımaktadır. Örneğin, tsunami etkisi altındaki performansı değerlendirilen Haydarpaşa Dalgakıranı'nın, muhtemel bir tsunami etkisi altında kronman duvarının kayması suretiyle yıkılacağı Japonya'da yapılan deneysel çalışmalar yardımıyla ortaya konmuştur [19].

Afet farkındalığı, afetler ile birlikte yaşamak ve kent belleğinin devamlılığının sağlanması konularında ise Türkiye ve Japonya arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır. Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı tarafından desteklenen, ODTÜ ve Boğaziçi Üniversitesi'nin de içinde bulunduğu 16 ülkeden 26 katılımcı kurumun ortaklaşa gerçekleştirdiği "Avrupa için Tsunamilere Karşı Araştırma, Strateji, Saptama ve Risk Azaltma Projesi (ASTARTE)" (<http://www.astarte-project.eu>) kapsamında geçmiş tsunamilerin etkilediği Güllük Körfezi'ndeki çeşitli yerleşim alanlarında (Güllük, Güvercinlik, Yalıkavak) tsunami

farkındalık anketleri uygulanmıştır [47]. Bu anketin sonuçlarına göre, ender görülen doğal afetlerden olması nedeniyle tsunamiler ve kıyı alanlarına etkileri hakkında çok düşük bir farkındalık olduğu ortaya çıkmış, tsunami farkındalığının artırılabilmesi için eğitim verilmesi gerekliliği ortaya konmuştur. Bu amaç doğrultusunda 1999 İzmit Depremi'nden 1 yıl sonra hizmete başlamış olan KRDAE bünyesindeki Afete Hazırlık Eğitim Birimi (AHEP), özellikle ilk ve orta öğrenim seviyesindeki öğrenciler olmak üzere çeşitli bakanlıklar, sivil toplum örgütleri ve yerel yönetimler ile yapılan protokoller aracılığıyla çok çeşitli kesimlere afet eğitimi vermektedir. Dört ana eğitim programı uygulanan AHEP'te başlıca temel afet bilinci, yapısal olmayan tehlikelerin azaltılması, depreme karşı yapısal bilinç ve sivil savunma görevleri konularında eğitimler verilmektedir. MarDiM projesi kapsamında da AHEP tarafından tsunami bilgilendirme el kitabı ve ayrıca çocuklar için deprem ve tsunami videosu hazırlanmıştır (<https://www.youtube.com/watch?v=OJtmO737jFw>). Afet farkındalığı yaratmak ile ilgili olarak Japonya'da kullanılan diğer yöntemlerden olan müzeler ve sergiler, aynı yaygınlıkta olmasa da ülkemizde de bulunmaktadır. Deprem ile ilgili olarak Sakarya, Bolu, İzmir ve Kandilli'de müze veya sergiler özellikle 1999 İzmit Depremi sonrasında açılmıştır. Bu müzelerin ve sergilerin içeriklerinin geliştirilmesi, sayılarının artırılması, bilinirliklerinin özellikle medya yoluyla artırılması önem taşımaktadır. Depremlere ek olarak, tsunaminin de ülkemiz için önemli bir tehdit olduğu göz önüne alınmalı, 1999 İzmit Depremi'nin tetiklediği sualtı toprak kaymasının yol açtığı tsunaminin özellikle Gölçük'te yarattığı yıkım [48, 49] unutulmayarak tsunami farkındalığı yaratılması konusunda yapılan çalışmaların genişletilmesi gerekmektedir.

3. SONUÇLAR

Mevcut çalışmada, 2011 Büyük Doğu Japonya Tsunamisi'nin ardından bu afetin etkilediği Tohoku bölgesine, MarDiM projesi kapsamında Haziran 2016 ve Ekim 2016 tarihlerinde yapılan iki ayrı saha araştırma gezisinde afetin beş yıl sonrasında bölgedeki gelişmelere ilişkin gözlemler; afeti ve afet sonrasını inceleyen birçok yayının taranmasıyla elde edilen bilgiler ile harmanlanarak sunulmuştur. Yapılan gözlem ve incelemelere göre varılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde ifade edilmektedir:

1. 2011 Tsunamisi ile Japon araştırmacıların ve hükümetinin afet ile ilgili algısı değişmiş, “afetlerin etkilerinin tamamen ortadan kaldırılması” düşüncesinin yerini “afetlerle birlikte yaşamak için gerekli önemlerin alınması” algısı almıştır.
2. Değişen afet algısına göre, yapısal ve yapısal olmayan çözümler birlikte planlanmış, projelendirilmiş ve uygulamaya geçirilerek büyük oranda tamamlanmıştır.
3. 2011 Tsunamisi ile birlikte, afet eğitim çalışmalarına ağırlık verilmiş; tsunamiye karşı farkındalık yaratmak için afetten etkilenen birçok yapı ve simge yerinde bırakılmış, müzeler ve sergiler ile afetin etkilerinin gelecek kuşağa yansıtılması amaçlanmıştır. Afet farkındalığı yaratmak ile ilgili Japon halkının duyarlılığı ve direnci, oturduğu düşünsel zemin bakımından Japonlara özgü bir sanat olan “kintsugi” ile büyük benzerlikler içermektedir. Nesnenin parçalanmamış hali bir bütün olarak güzel/işlevsel olsa da, birleştirildikten sonra ortaya çıkan ürün de parçalanmanın izlerini de taşıyarak yeni bir bütünlük, güzellik/işlevsellik ortaya çıkarmaktadır. Japonya'da afetin beş yıl sonrasında yapılan gözlemler kintsugi sanatı ile bir analogi şeklinde düşünülebilir. Yeniden yapılan şehirler yeni bir

güzellik/işlevsellik oluştururken; müzeler, sergiler, sembol olarak kullanılan enkaz ve anıtlar da afet farkındalığı, afetle birlikte yaşamak ve kent belleğinin sürekliliğinin sağlanması noktasında bir bütünlük oluşturmuştur.

4. Türkiye ile yapılan karşılaştırmalarda, afet yönetimi ile ilgili bütünlük yaklaşımı, erken uyarı merkezi, afet eğitimi gibi bazı önemli çalışmaların yapılmasına rağmen yapısal çözümler noktasındaki yeterliliğin ve afet eğitiminin yaygınlığının sorgulanması gerektiği görülmüştür. Bununla birlikte, afetlere dair çalışmaların tasarım şartnamelerine de yansıtılması için çalışmalar yapılması gerekliliği belirtilmiştir.
5. Türkiye’de afet farkındalığı ve afetlerle ilgili kent belleğinin yaratılması adına bazı şehirlerdeki deprem müzelerine rağmen halen bu konuda ciddi bir eksiklik olduğu görülmektedir. Bu eksiklik, afetlere hazırlıklı bir toplum yaratmanın önündeki en büyük engeldir.
6. Dördüncü ve beşinci maddelerde ifade edilen eksiklikler ancak Japonya örneğinde olduğu gibi katmanlı, bütünlük bir afet yönetimi algısıyla giderilebilir. Özellikle afet farkındalığı yaratmak ve afet eğitimi planlamak konularında mevcut çalışmada ortaya konulan gözlemlerin sadece tsunami özelinde değil, diğer afet türleri için de değerlendirilerek hayata geçirilmesiyle “afetler ile birlikte yaşamak” için bir adım atılabilecektir. Aksi takdirde 1999 İzmit Depremi ve Tsunamisinde olduğu gibi ciddi can ve mal kaybının önüne geçmek mümkün olmayacaktır.
7. Bu çalışmayı oluşturan saha araştırmaları, geniş bilimsel yazın taraması, yapısal ve yapısal olmayan çözümler tsunami afetine odaklanarak yapılmıştır. Öte yandan sosyal etkiler ile ilgili özellikle saha araştırmalarında yapılan gözlemler, esasen diğer afetlere karşı alınacak önlemlerde sosyal etkilere verilmesi gereken önemi ortaya koymaktadır. Bu noktadan bakıldığında, sosyal etkiler ile ilgili çözümlerin sadece deprem ve tsunamiler için değil, diğer doğal afetler için de göz önüne alınması gerekmektedir.

Teşekkür

Yazarlar proje kapsamında gerçekleştirilen saha araştırma gezilerini destekleyen MarDiM projesi ve Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı’na (JICA); saha araştırma gezileri sırasında çeşitli müzelerin, limanların ve önemli noktaların ziyaret edilmesi için gerekli izinleri veren, ihtiyaç duyulan teknik desteği sağlayan Miyagi ve Iwate İl yetkililerine ve Japonya Şehircilik, Altyapı, Ulaşım ve Turizm Bakanlığı’nın Tohoku Bölge Ofisi’ne bağlı Kamaishi Liman Ofisi’ne; saha araştırmalarına katılan Chuo Üniversitesi lisans öğrencileri Hirano Hiroaki, Endo Masoto, Kawai Koki, Suzuki Kohei ve Shota Takagawa’ya gösterdikleri işbirliği için; son olarak çalışmanın değerlendirme aşamasında yazım ile ilgili önerilerinden dolayı ODTÜ İnşaat Mühendisliği yüksek lisans öğrencilerinden Gizem Ezgi Çınar’a teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] Suppasri, A., Shuto, N., Imamura, F., Koshimura, S., Mas, E., Yalçiner, A. C., Lessons Learned From the 2011 GEJE: Perf. of Tsunami Countermeasures, Coast. Build. and Tsunami Evacuation in Japan. *Pure and App. Geophysics*, 170 (6-8), 993-1018, 2013.
- [2] Mori, N., Takahashi, T., Tohoku EQ Tsunami J. Survey Group, Nationwide Post Event Survey and Anal. of the 2011 Tohoku EQ Tsunami, *CEJ*, 52(1), 1250001, 2012.
- [3] Mori, N., Takahashi, T., Yasuda, T., Yanagisawa, H., Survey of 2011 Tohoku EQ Tsunami Inundation and Run-up. *Geo. Phy. Res. Let.*, Vol. 38, L00G14, 2011.
- [4] Okal, E. A., The Quest for Wisdom: Lessons from 17 Tsunamis, 2004-2014. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 373:20140370, 2015.
- [5] Suppasri, A., Koshimura, S., Imai, K., Mas, E., Gokon, H., Muhari, A., Imamura, F., Dam. Charac. and Field Sur. of the 2011 GEJE in Miyagi. *CEJ*, 52(1), 1250005, 2012a.
- [6] Suppasri, A., Mas, E., Koshimura, S., Imai, K., Harada, K., Imamura, F., Developing Tsunami Fragility Curves from the Surveyed Data of the 2011 Great East Japan Tsunami in Sendai and Ishinomaki Plains. *CEJ*, 52(1), 1250008, 2012b.
- [7] Gokon, H., Koshimura, S., Mapping of Building Damage of the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami in Miyagi Prefecture. *CEJ*, 54(1), 1250006, 2012.
- [8] Kakinuma, T., Tsujimoto, G., Yasuda, T., Tamada, T., Trace Survey Results of the 2011 Tohoku EQ Tsunami in the North of Miyagi Prefecture and Numerical Simulation of Bidirectional Tsunamis in Utatsusaki Peninsula. *CEJ*.54(1), 1250007, 2012.
- [9] Mikami, T., Shibayama, T., Esteban, M., Matsumaru, R., Field Survey of the 2011 Tohoku EQ and Tsunami in Miyagi and Fukushima Pref. *CEJ*.54(1), 1250011, 2012.
- [10] Ogasawara, T., Matsubayashi, Y., Sakai, S., Yasuda, T., Charac. of 2011 Tohoku EQ and Tsunami and its Impact on the Northern Iwate Coast. *CEJ*. 52(1), 1250003, 2012
- [11] Shimozono, T., Sato, S., Okayasu, A., Tajima, Y., Fritz, H. M., Liu, H., Takagawa, T., Propagation and Inundation Characteristics of the 2011 Tohoku Tsunami on the Central Sanriku Coast. *CEJ*. 52(1), 1250004, 2012.
- [12] Watanabe, Y., Mitobe, Y., Saruwatari, A., Yamada, T., Niida, Y., Evolution of the 2011 Tohoku EQ Tsunami of the Pacific Coast of Hokkaido. *CEJ*. 52(1), 1250002, 2012.
- [13] Sasaki, J., Ito, K., Suzuki, T., Wiyono, R. U. A., Oda, Y., Takayama, Y., Yokota, K., Furuta, A., Takagi, H., Behavior of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami and Resultant Damage in Tokyo Bay. *CEJ*.52(1), 1250012, 2012.
- [14] JMA (Japan Meteorological Agency), Lessons Learned from the Tsunami Disaster Caused by the 2011 Great East Japan Earthquake and Improvements in JMA's Tsunami Warning System. JMA, Tokyo, Japan, 2013.
- [15] Raby, A., Macabuag, J., Pomonis, A., Wilkinson, S., Rossetto, T., Implications of the 2011 GEJE on Sea Def. Design. *Int. J. Disaster Risk Reduction*. Vol. 14, 332-346, 2015.

- [16] Takahashi, S., Three Level Disaster Management for Resilient Coastal Communities. Int. Conf. Coast. Eng., Türkiye, 2016.
- [17] Yalçiner, A. C., Özer, C., Zaytsev, A., Suppasri, A., Mas, E., Kalligeris, N., Necmioğlu, Ö., Imamura, F., Özel, N. M., Synolakis, C., Field Survey on the Coastal Impacts of March, 11, 2011 GEJE. AGU Fall Meeting, San Francisco USA, 2011.
- [18] Synolakis, C., Kanoğlu, U., The Fukushima Accident Was Preventable. Phil. Trans. R. Soc. A. 373: 20140379, 2015.
- [19] Guler, H. G., Arikawa, T., Oei, T., Yalciner, A. C., Performance of Rubble Mound Breakwaters under Tsunami Attack, A Case Study: Haydarpaşa Port, Istanbul, Turkey. Coastal Engineering, Vol. 104, 43-53, 2015.
- [20] JSCE (Japan Society of Civil Engineers), Standard Specifications for Concrete Structures, Technical Standards, Japan, 2002.
- [21] Suppasri, A., Latcharote, P., Bricker, J. D., Leelawat, N., Hayashi, A., Yamashita, K., Makinoshima, F., Roeber, V., Imamura, F., Improvement of Tsunami Countermeasures Based on Lessons from The 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami – Situation After Five Years. CEJ. (58), 4, 2016.
- [22] Chock, G., Yu, G., Thio, H. K., Lynett, P. J., Target Structural Reliability Analysis for Tsunami Hydrodynamic Loads of the ASCE 7 Standard. ASCE Journal of Structural Engineering. 142(11):04016092, 2016.
- [23] Yalciner, A.C., Alpar, B., Altinok, Y., Ozbay, I., Imamura, F., Tsunamis in the Sea of Marmara – Historical Documents for the Past, Models for the Future. Marine Geology, 190 (1-2), 445-463, 2002.
- [24] Yalçiner, A. C., Kuran, U., Minoura, K., Imamura, F., Takahashi, T., Papadopoulos, G., Ersoy, Ş., Türkiye Kıyılarında Depreşim Dalgası (Tsunami) İzleri. Türkiye Mühendislik Haberleri (430), 50/2005-4, 2005a.
- [25] Yalçiner, A. C., Özer, C., Karakuş, H., Zaytsev, A., Güler, I., Evaluation of Coastal Risk at Selected Sites against Eastern Mediterranean Tsunamis. Int. Conf. On Coast. Eng. Proceed., China, 2010.
- [26] Altinok, Y., Alpar, B., Ozer, N., Aykurt, H., Rev. of the Tsunami Catalogue Affecting Turkish Coasts and Surrounding Regions, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 11, 273–291, 2011.
- [27] Hebert, H., Schindele, F., Altinok, Y., Alpar, B., Gazioğlu, C., Tsunami Hazard in the Marmara Sea (Turkey): A Numerical Approach to Discuss Active Faulting and Impact on the Istanbul Coastal Areas. Marine Geology 2015, 23-43, 2005.
- [28] Latcharote, P., Suppasri, A., Imamura, F., Aytöre, B., Yalçiner, A. C., Possible Worst-Case Tsunami Scenarios around the Marmara Sea from Combined Earthquake and Landslide Sources. Pure and Applied Geophysics, 173: 3823, 2016.
- [29] Yalçiner, A. C., Pelinovsky, E., Zaitsev, A., Kurkin, A., Özer, C., Karakuş, H., Özyurt, G., Modeling and Visualization of Tsunamis: Mediterranean Examples. Tsunami and Nonlinear Waves, Ed.: Anjan Kundu, Springer, 2007.

- [30] Yalçiner, A. C., Özyurt, G., Özer, C., Karakuş, H., Şafak, I., 26 Aralık 2004 Hint Okyanusu Depreşim Dalgasının Benzetimi. *Türkiye Müh. Haberleri* (430), 2005b.
- [31] Synolakis, C., *The History of Real-Time Tsunami Warnings*, Int. Conf. Coast. Eng., Türkiye, 2016.
- [32] IAEA (International Atomic Energy Agency), Fukushima Daiichi Status Updates Website, <https://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/status-update>, 2017.
- [33] Arikawa, T., Sato, M., Shimosako, K., Hasegawa, I., Yeom, G.S., Tomita, T., Failure Mechanism of Kamaishi Breakwaters due to the Great East Japan Earthquake Tsunami. *Int. Conf. on Coast. Eng. Proceed.*, Spain, 2012.
- [34] Özer Sözdinler, C., Yalçiner, A. C., Zaytsev, A., Suppasri, A., Imamura, F., Investigation of Hydrodynamic Parameters and the Effects of Breakwaters during the 2011. *Pure and Applied Geophysics*, 172.12:3473-3491, 2015.
- [35] Suppasri, A., Charvet, I., Macabuag, J., Rossetto, T., Leelawat, N., Latcharote, P., Imamura, F., Building Damage Assessment and Implications for Future Tsunami Fragility Estimations. *Handbook of Coast. Dis. Mit. Eng. and Planners*, ed.: Esteban, M., Takagi, H., Shibayama, T., Elsevier, USA, 2015.
- [36] Koshimura, S., Hayashi, S., Gokon, H., The Impact of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Disaster and Impl. to the Reconst. *Soils and Foundations*. 54-4, 560-572, 2014.
- [37] Imamura, F., Yalçiner, A. C., Özyurt, G., TUNAMI Manual. Tohoku Uni., Japan, 2006.
- [38] Titov, V., Kânoğlu, U., Synolakis, C., Development of MOST for Real-Time Tsunami Forecasting. *ASCE J. Water., Port, Coast., and Ocean Eng.* 142(6):03116004, 2016.
- [39] Liu, P. L. F., Cho, Y. S., Yoon, S. B., Seo, S. N., Numerical Simulations of the 1960 Chilean Tsunami Propagation and Inundation at Hilo, Hawaii. *Recent Dev. in Tsunami Res.*, ed.: M. I. El-Sabh, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1994.
- [40] Yalciner, A. C., Pelinovsky, E., Zaytsev, A., Kurkin, A., Özer, C., Karakuş, H., NAMIDANCE Manual. METU Ocean Eng. Research Center, Ankara, Turkey, 2006.
- [41] Baba, T., Takahashi, N., Kaneda, Y., Inazawa, Y., Kikkajin, M., Tsunami Inundation Modeling of the 2011 Tohoku Earthquake using Three-Dimensional Building data for Sendai, Miyagi Prefecture, Japan. *Tsunami Events and Lessons Learned: Ecological and Social Sig.*, ed.: Kontar, Y. A., Fandino, V. S., Takahashi, T., Springer, 2014.
- [42] Yamazaki, Y., Kowalik, Z., Cheung, K. F., Depth-Integrated, Non-Hydrostatic Model for Wave Breaking and Runup. *Int. J. Numer. Meth. Fluids* 61(5), 473–497, 2009.
- [43] Arikawa, T., Tomita, T. Development of High Precision Tsunami Runup Calculation Method Based on a Hierarchical Simulation, *J. Dis. Research*. Vol 11, 639-646, 2016
- [44] Ozaki, T., JMA's Tsunami Warning for the 2011 Great Tohoku Earthquake and Tsunami Warning Improvement Plan. *J. Disaster Res.*7(sp), 439–445, 2012.
- [45] Madran, E., Kent Belleğinin Oluşumunda Mimarlık Yapıtları. *Mimarlık*, 298, 2001.

- [46] Kuzucu, K., Osmanlı Döneminde Afet Yönetimine Dönük Bir Girişim: 1892 Tarihli Arama Kurtarma Örgütü: Heyet-i Tahlisiye. Uluslararası Türk Dünyası Eğitim Bil. Ve Sos. Bil. Kong. Bild., Ankara, 2016.
- [47] ASTARTE Ekibi, Report on Preparedness Skills, Resources and Attitudes within the Communities – Deliverable 9.7, ASTARTE Project Deliverables, 2017.
- [48] Altınok, Y., Tinti, S., Alpar, B., Yalciner, A. C., Ersoy, Ş., Bortolucci, Armigliato, A., The Tsunami of August 17, 1999 in Izmit Bay. Nat. Hazards, Vol. 24, 133-146, 2001.
- [49] Yalçiner, A.C., Synolakis, C.E., Alpar, B., Borrero, J., Altınok, Y., Imamura, F., Tinti, S., Ersoy, Ş., Kuran, U., Pamukçu, S., Kanoğlu, U., Field Surveys and Modeling of the 1999 İzmit Tsunami. ITS 2011 Proceed., Seattle, USA, 2001.

Borulu Sulama Şebekeleri Optimizasyonu

Gökhan MARIM¹
Yakup DARAMA²
Zafer BOZKUŞ³

ÖZ

Borulu sulama şebekeleri ülkelerin tarımsal ürün yetiştirmesinde ve su tasarrufunda en önemli sistemlerdir. Günümüzde tarımsal amaçlı sulama, su tüketiminin en yüksek olduğu sektördür. Ülkemizde tarım sektörünün kullandığı su miktarı su potansiyelimizin %73 oranındadır. Ülkemizde ve genelde Dünyada nüfus artışı nedeniyle tarımsal üretimde su talebinin artması ve su kaynaklarımızın sınırlı olması nedeniyle sürdürülebilir su kaynakları yönetimi zorunlu olmaktadır. Son yıllarda ülkemizde yapılan sulama sistemleri yatırımlarının büyük bir çoğunluğunu, su kaybını ve tarımsal su kullanımını azaltan modern borulu sulama şebekeleri yatırımları oluşturmaktadır. Bu çalışma borulu sulama şebekelerinin tasarımlarının maliyet ve istenen işletme basınçları açısından optimum koşullara ulaşmasına odaklanmıştır. Optimizasyon problemi çözümünde heuristik tabanlı dinamik programlama ile birlikte doğrusal programlama yöntemi olan “Simplex” metodu kullanılmış olup, bu optimizasyon yazılımı DSİ borulu sulama şebekeleri için uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sulama, borulu şebeke, optimizasyon, doğrusal programlama, simplex metodu.

ABSTRACT

Optimization of Pipe Irrigation Networks

Pipe irrigation networks are the most important systems regarding a country's agricultural production and water conservation efforts. Today, irrigation for agriculture is the sector that leads to highest water consumption. The amount of water used by the agricultural sector in our country is 73% of our total water potential. Sustainable water resources management is mandatory because of the increase in water demand in agricultural production due to the population increase in our country and generally in the world and the limited water resources that exist. Irrigation systems constructed in our country in recent years constitute a great majority of investments, modern piped irrigation networks reduce water loss and economise

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.04.2017 günü ulaşmıştır. 30.01.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.306880

1 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve CBT Ana Bilim Dalı, Ankara -marim@sufen.com.tr

2 Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - yakup.darama@atilim.edu.tr

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

agricultural water use. This work focuses on achieving optimum conditions for the design of pipe irrigation networks in terms of cost and desired operating pressures. In order to solve the optimization problem, heuristic based dynamic programming and "Simplex Method" which is a linear programming method were used and the software of these optimizations were applied to State Hydraulic Works (DSİ) pipe irrigation networks.

Keywords: Irrigation, pipe network, optimization, linear programming, simplex method.

1. GİRİŞ

Borulu sulama şebekeleri ülkelerin tarımsal ürün yetiştirmesinde en önemli sistemlerdir. Günümüzde tarımsal amaçlı sulama, ülkemizde su tüketiminin en yüksek olduğu sektördür. Gelişmişliğin artması ile bu oran azalmakta ancak endüstriyel su kullanım oranı artmaktadır. İstenen miktarda ve istenen kalitede suyu toprakla buluşturmak sulama sistemlerinden beklenen en önemli işlemdir. Nüfus ve nüfus artışına bağlı gıda talebinin artması nedeniyle tarımsal alan miktarı artmıştır. Bu durum tarımsal amaçlı kullanılan su miktarını da arttırmıştır. Su kaynaklarının limitsiz olmaması ve suya talebin hızla artışı, sadece tarım sektöründe değil diğer sektörlerde de artması, sürdürülebilir su kaynakları yönetimini zorunlu hale getirmektedir. Tarımsal amaçlı sulamada kullanılan su miktarını azaltmak, tarımsal sulama sistemlerini verimli ve etkin bir şekilde kullanmak önemli bir konu haline gelmiştir. Ülkemizde su kullanım sektörleri arasında tarımsal sulamada kullanılan su miktarı %73 oranındadır [5]. Dünya ortalaması da %70 mertebesindedir. Gelişmiş ülkelerde ise bu oran %30 iken endüstride kullanılan su miktarı %59 oranındadır.

Ülkemizde yıllık ortalama 32 milyar m³ su tarım (%73) sektöründe, 5 milyar m³ (%11) endüstride, 7 milyar m³ (%15) içmesuyunda kullanılmaktadır [8]. Türkiye'de sulanan alan 4.9 milyon hektar (ha) olup, bu miktar toplam ekonomik olarak sulanabilir 8 milyon ha tarımsal alanın yaklaşık olarak %63'ünü oluşturmaktadır [9]. Türkiye'de son yıllarda sulama sektöründe önemli gelişmeler yaşanmakta olup, birçok bölgede borulu sulama şebeke yatırımı gerçekleştirilmektedir. Borulu sulama şebekeleri, hem tarımda sulama suyu kullanımını azaltmakta hem de tarımsal verimi arttıran modern sulama tekniklerine olanak sağlamaktadır. Son yıllarda sulama alanında yapılan DSİ yatırımlarının neredeyse tamamı borulu sulama şebekeleridir. Borulu sulama şebekelerinin klasik kanal sistemlerinin yerini alması daha kontrollü bir şekilde tarımda sulama suyu kullanımının azalmasına neden olacaktır.

Borulu sulama şebekeleri ortalama olarak 6-8 ha (6-8 000 m²) alana hizmet eden hidrantlar (su alma yapıları) ve suyu taşıyan borulardan oluşmaktadır. Avrupa ülkelerinde bir hidrantın ortalama servis alanı 13 ha iken Türkiye ortalaması 6.1 ha'dır [6]. Sulama şebekesi maliyetlerini düşürecek önemli bir çalışma da arazi toplulaştırma çalışmalarıdır. Çok mülkiyetli, parçalı arazilerden düzenli araziler tarım verimliliğini arttırmakta ve sulama şebekeleri maliyetlerini düşürmektedir. Hidrantlara damlama ve yağmurlama sistemleri bağlanarak bitkilere sulama suyu ulaştırılmaktadır. Bu sistemlerin çalışabilmesi için hidrantlarda minimum 25 m su basıncı bulunmalıdır. Bu makalede sunulan çalışma sulama sisteminin hidrantlara kadar olan kısmını kapsamaktadır.

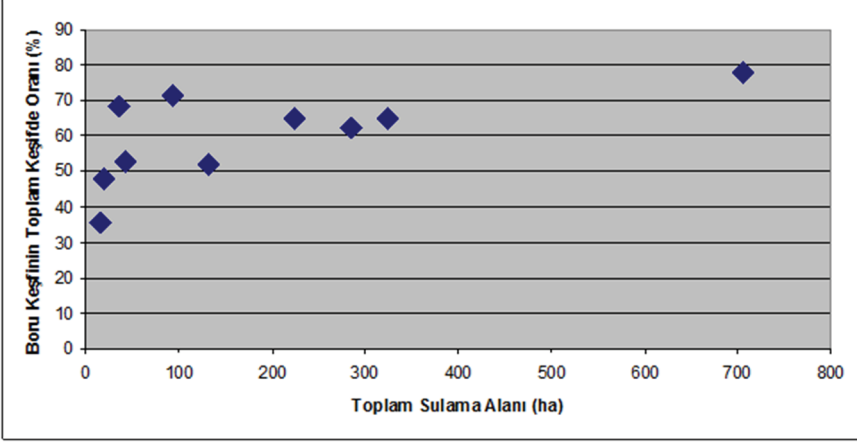
Devlet Su İşleri (DSİ) 'nin idari yapılanmasında toplamda 26 Bölgesi bulunmakta ve her bölgesinde de sulama projeleri tasarımları yapılmakta ve kontrol edilmektedir[8]. Farklı

sulama projeleri için yapılan çalışmada sulama şebekeleri maliyetlerinin %60'ını boru ile kazısının ve dolgusunun oluşturduğu tespit edilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 1'de görüldüğü üzere, toplam sulama alanı arttıkça boru maliyetinin oranı da artmaktadır. Sulama sistemi içinde sanat yapıları olarak adlandırılan yapıları, vantuz, tahliye ve hidrant gibi ek yardımcı yapılar oluşturmaktadır. Sanat yapılarının sayısı ve maliyetlerinin azaltılması, boru çapları büyüklüğüne ve sulama arazisinin kullanım durumuna bağlıdır. Borulu sulama şebekelerinde boru çaplarını belirlemek ve en ekonomik şebekeyi sağlamak bu çalışmanın ana amacıdır.

1987 yılında yapılan çalışmaya göre, borulu sulama şebekelerindeki karmaşıklıklar nedeniyle mevcut optimizasyon metodlarını kullanmak mümkün değildir [18].

Tablo 1. Borulu şebekelerde boru ve kazısı maliyet oranları

Proje adı	Brüt Alan (ha)	Boru ve kazısı bedeli (TL)	Boru maliyeti/ toplam maliyet (%)	Sanat yapıları bedeli (TL)	Sanat yapılarının toplam maliyetinin toplam maliyete oranı (%)
Edirne-Keşan Bahçeköy, Çamlıca-İhlamurdere, Yenimucahir-Gökyar Göleti ve Sulaması	284,8	937.357	62	569.585	38
Isparta Yalvaç Çakırcal Göleti ve Sulaması	132,0	405.117	52	375.287	48
Karaman-Ermenek Sarıvadi Göleti ve Sulaması	16,0	41.339	36	75.007	64
Tunceli Hozat Uzundal Göleti ve Sulaması	706,9	7.875.318	78	2.230.471	22
Bingöl Merkez Göltepesi Göleti ve Sulaması	325,0	1.709.711	65	923.042	35
Elazığ Karakoçan Bazlama Göleti ve Sulaması	224,0	1.418.897	65	771.681	35
Karaman-Ermenek Kazancı Göleti ve Sulaması	42,0	206.241	53	183.818	47
Konya Hüyük Göçeri Göleti ve Sulaması	20,0	38.085	48	41.506	52
Konya Hüyük Mutlu Göleti ve Sulaması	94,4	274.665	71	109.874	29
Konya Hüyük Burunsuz Göleti ve Sulaması	37,0	109.641	68	50.508	32
		Ortalama	60		40



Şekil 1. Sulama alanı ile şebeke maliyeti ilişkisi

Sulama şebekeleri tasarımında sıklıkla karşılaşılan problemler: (1) sulama sistemini oluşturan pompa, vana, boru gibi elemanların farklı özelliklerde olması, (2) problemin doğrusal olmayan ve bazen bir değere yakınsamaz olma özellikleri nedeniyle ulaşılan sonuçların güvenilir olmaması ve (3) orta büyüklükte bir şebeke için bile yüksek bilgisayar hafızasına ve uzun çözüm zamanına ihtiyaç duyulmasıdır [9]. Bu makalede anılan bu sorunların aşılmasına yönelik çalışma yapılmıştır.

Optimizasyon algoritmalarında ana çözüm metodları; doğrusal programlama, doğrusal olmayan optimizasyon metodları, Labye metodu, dinamik programlama metodlarıdır [13]. Theocharis ve arkadaşları [17] geliştirdikleri doğrusal optimizasyon programlama metodu ile Labye optimizasyon metodunu karşılaştırmış ve iki metodun sonuçları arasında % 1 civarında fark bulmuştur. Bu metodlardaki problem kısıtları boru uzunluğu ve piezometrik düşümlerdir. Boru sayısının artmasıyla problemin karmaşıklığı artmaktadır. Dinamik programlama ve basitleştirilmiş doğrusal olmayan optimizasyon metodu karşılaştırılmış ve iki metodun da aynı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [17]. Dinamik metodun dezavantajı şebekenin boyutu büyüdüğü zaman, prosedürler daha karmaşık hale gelmekte ve şebeke çözüm süreleri uzamaktadır. Örneğin dört farklı boru çapı arasından seçim yapılan on borudan oluşan şebeke için 1.048.576 (4^{10}) sayıda deneme yapılmalıdır. Diğer taraftan basitleştirilmiş doğrusal olmayan metod çok kolay ve pratiktir. Bahsedilen çalışmalarda [2] debi, boru boyutları ve pompa istasyonu enerji harcamaları optimize edilmeye çalışılmıştır. Tasarım debilerinin optimizasyonu Clement Metodu [3] kullanılarak yapılmıştır. Bu optimizasyon tekniği Türkiye’de 30 yıldır kullanılmaktadır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü için 1980 yılında Fransız BRL-GERSAR firması tarafından oluşturulmuş olan “Network Optimizasyonu” programı halen sulama debisi hesabında bu metodu kullanılmaktadır.

Network optimizasyon çalışmalarında doğrusal programlama ile integer programlama metodları da karşılaştırılmış, iki yöntemin de optimum sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [14]. Debi ve enerji ilişkisi, doğrusal olmayan dışbükey maliyet şebeke akımı problemi çözümü

ile araştırılmış ve kullanılan üç farklı algoritma Newton-Raphson tekniği ile karşılaştırılarak doğrusal olmayan dışbükey maliyet şebeke akımı problemi çözümünün optimum çözümden uzaklaştığı tespit edilmiştir [4].

Çok amaçlı iki hybrid algoritması; ParEGO [12] ve LEMMO [11] algoritmaları test edilmiştir ve bu testler sonucunda LEMMO [11] algoritmasının karmaşık şebekelerde daha iyi sonuç verdiği, ParEGO [12] yönteminin karmaşıklığın az olduğu şebekelerde başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [15]. Araştırmacılar [2], doğrusal olmayan programlama modelinde Excel tabanlı Solver programı ile hesaplanan boru çapları kullanarak şebekedeki her boru için gerekli debiyi Clement Metoduyla belirlemiştir.

GLOBE (küresel optimizasyon aracı) yazılımı ve EPANET [16] yazılımı arasında oluşturulan arayüz kullanılarak yapılan optimizasyon çalışması ile şebeke çözümleri gerçekleştirilmiştir [1]. Bu çalışmada akımın sürekliliği ve enerji kotu kısıtlarıyla doğrusal olmayan bir maliyet fonksiyonu bulunmuştur [1]. Örnek test problemleri çözümü için optimizasyon yazılımı olarak üst-sezgisel (meta-heuristic) algoritmalar içeren “GLOBE” yazılımı kullanılmıştır. Şebeke çözümü ise “EPANET” simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda doğrusal ve doğrusal olmayan metodlar karşılaştırılarak; bazılarının sonuçlarının uygun olmadığı, bazılarının ise pratik olmadıkları tespit edilmiştir [1].

2. YÖNTEM

Literatür çalışmalarında en uygun optimizasyon tekniği bulunmaya çalışılmıştır. En uygun optimizasyon çalışması seçimi için çözüm süresi, algoritma performansı ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu çalışmada DSİ tarafından kabul edilmiş ve halen kullanılan “Network Optimizasyonu” yazılımı sonuçları ile çalışma kapsamında geliştirilen optimizasyon algoritma sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, doğrusal programlama tekniği olan heuristik tabanlı dinamik programlama ve simplex yöntemi kullanılmıştır. 1986 yılında Fransız bir firma tarafından üretilen ve bugüne kadar DSİ tarafından güvenle kullanılmış olan “Network Optimizasyonu” yazılımı referans alınmış ve çalışmada geliştirilen yazılımların sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2.1. Borulu Sulama Sistemleri Optimizasyonu - Simplex Yöntemi

Simplex yöntemi en hızlı çözüm veren doğrusal programlama yöntemi olarak tanımlanmaktadır, [2]. Sulama şebekesindeki boruların maliyetinin optimizasyonu, istenen şebeke basınçlarının sağlanarak belirlenen şebeke uzunluğuna göre boru çapları optimize edilerek sağlanır. Şebeke boru maliyetlerini etkileyen değişkenler şebeke uzunluğu, boru çapları ve şebeke hidrolik yük kayıplarıdır. Boru çapları boru cinslerine göre belirli çaplarda liste halinde olan değerlerdir. Şebekede istenen basıncı sağlayan en düşük maliyet, Denklem (1)'de verildiği gibi maliyet fonksiyonunun en düşük değeri ile sağlanabilir. Amaç fonksiyonu Denklem (1)'deki gibidir.

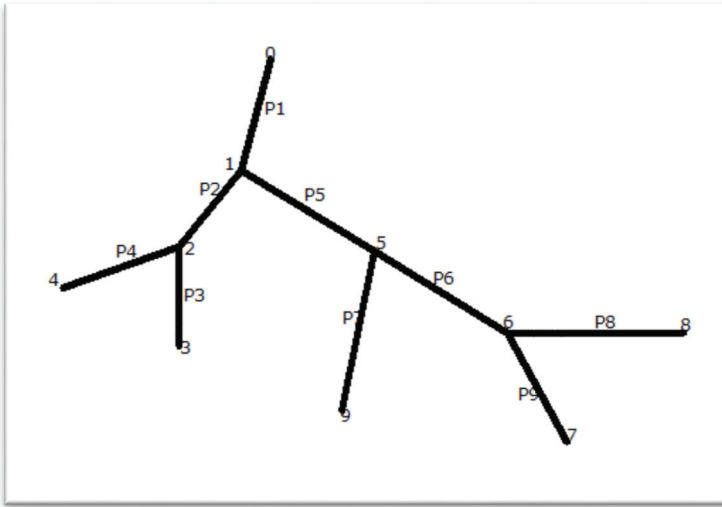
$$\text{Min } f(x) = CX \quad (1)$$

Burada C, birim metrede maliyet vektörü ve X ise boruların uzunluk vektörüdür. Problem kısıtları, özel fonksiyonel ve negatif olmayan kısıtlardır. İşletme açısından fonksiyonel kısıtlar, boru uzunluğu ve hidrolik kayıplardır. Denklem (2)'de verilen kısıt tüm boru uzunluklarının sıfırdan büyük olmasıdır.

Borulu sulama şebeke optimizasyonu problemi simplex algoritması kısıtları aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Dal şebekedeki toplam boru uzunluğu sabittir ve girdi olarak algoritmaya tanıtılır.

$$\sum_{j=1}^n L_{ij} = L_i \tag{2}$$

L_i : i nolu borunun toplam uzunluğu , L_{ij} =i nolu borunun j nolu elemanı



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
2	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0
5	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
7	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0

Şekil 2. Borulu şebeke için yol matrisi (Oklar "0" noktasından "7" noktasına yolu tanımlamaktadır).

Problem kısıtı, şebekenin amaç fonksiyonunu minimum yaparken Denklem (3)'teki eşitsizliği sağlayabilmektedir. Şebekedeki her hidranta istenen basınç, her boru segmentindeki hidrolik kayıp hesaplanıp şebeke planındaki dal sistemine göre başlangıç basıncından düşülerek bulunacaktır. Şebeke planı da belirli bir algoritma ile optimizasyon algoritmasına tanıtılacaktır. Şebeke planının tanıtılması yol matrisi, W_{ij} , ile sağlanacaktır. Denklem (3)'teki eşitsizliğin yol matrisi ile dönüşen son hali 4. denklemdir. (3) ve (4) nolu denklemlerdeki 25 terimi yüksek basınçlı sulamada sağlanması gereken metre su sütunu cinsinden minimum basınç yüksekliğidir.

$$E_0 - \sum_{j=1}^n L_{ij} H_{ij} > \sum_{j=1}^n A_j + 25 \quad (3)$$

A_j : Arazi kotu (m)

E_0 : Şebeke başlangıç noktası basıncı (m)

ΔH : Hidrolik kayıp (m)

$$E_0 - \sum_{j=1}^n A_j + 25 > \sum_{j=1}^n L W_{ij} \Delta H \times W_{ij} \quad (4)$$

Şebeke hidrolik kaybını ifade eden yol matrisi W_{ij} (örneğin 9 boru için) Şekil 2'de verilmiştir. Burada 9. boru 6 ve 7 noktaları arasında bulunmaktadır. Matristeki ifadesi 1'den -1'e gitmektedir. 6. satıra gelindiğinde 6. boru 5. noktadan 6. noktaya olacak şekilde matrise tanımlanmıştır. Şekil 2'de her sırada birer tane -1 ve 1 sayıları mevcutken birinci sırada birden fazla 1 sayısının olmasının sebebi iki ana kolun 1. noktada birleşmesidir. Böylelikle 9 borulu tüm şebeke matrise girilerek şebeke planı tanımlanmıştır. Tüm sulama şebekeleri planı yol matrisi ile algoritmaya tanıtılmaktadır.

2.2. Debi ve Talep Hesapları

Sulama sistemi toplam debisi talep yöntemi üzerinden hesaplanmaktadır. Bu yöntem sulama alanındaki her hidrant noktasında sürekli su sağlanmadığı ilkesine dayanmaktadır. Tüm hidrantların her zaman aynı anda açık olmadığı kabul edilmektedir. Bu yöntemle göre şebekedeki ana ve yan kollardaki debiler, şebekenin her noktasında ulaşılabilir olduğu ilkesi kullanılarak istatistiksel yöntemle hesaplanmaktadır. Şebekedeki tüm hidrantların aynı anda açık olmadığı kabul edilerek tüm hidrantların su ihtiyacı ayrı ayrı toplanarak bulunan debi miktarı aşağıda verilen Denklemler 9a, 9b ve 9c kullanılarak düşürülmektedir. Aksi takdirde her bir hidranttaki debi miktarının hidrant sayısı ile çarpılması sonucu elde edilen toplam debi miktarı çok yüksek çıkmaktadır. Bu durum boru çaplarını arttırdığı için ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle debi değeri düşürülerek boru çaplarının ekonomik ve hidrolik açıdan uygun tasarlanması mümkün olmaktadır.

$$Q_t = nq \quad (5)$$

Burada n aynı anda çalışan hidrant sayısı, q ise aynı anda çalışan hidrantların birinden çekilen debi miktarıdır. Diğer taraftan sulama alanı A'ya sürekli sağlanan debi ise aşağıda verilen denklemlerle hesaplanır.

$$Q_c = Aq_{max} \quad (6)$$

Burada q_{max} , A alanındaki ürün desenine ve aya göre hesaplanan sulama modülüdür (l/s/ha). Maksimum debinin 24 saat boyunca sürekli verilmesi pratik olarak mümkün olamayacağından, $Q_i > Q_c$ veya $nq > Aq_{max}$ kabulü yapılarak periyodik olarak alana maksimum debi düzenli olarak verilir. Bu eşitsizlik ifadesinin sağ tarafı fleksibilite katsayısı olarak adlandırılan boyutsuz F parametresi ile çarpılarak $nq = AFq_{max}$ eşitliğine dönüştürülür [7]. Sulama sistemi ister klasik veya borulu şebeke olsun debi denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$Q = nq = AFq_{max} \quad (7)$$

ve fleksibilite katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$F = \frac{nq}{Aq_{max}} \quad (8)$$

Burada n, aynı anda açık hidrant veya priz sayısı (klasik sistem için), q aynı anda açık olan hidrantların her birinin debisi (l/s), A sulama alanı (ha), F fleksibilite katsayısı olup, 1'den büyüktür. Fleksibilite katsayısı sulama alanının artmasıyla 1'e yaklaşır. Klasik sulama şebekeleri için Denklem (8)'le tanımlanan fleksibilite katsayısı, borulu şebeke için aşağıda verilen Denklem (9a) ile ifade edilebilir, [19].

$$F = H \left(1 + U \sqrt{\frac{1}{H} - \frac{1}{N}} \right) \quad (9a)$$

$$H = \frac{E \cdot q}{r \cdot d} \sum S_e \quad (9b)$$

$$r = \hat{T} / T, \quad (9c)$$

$$N = Q_i / q \quad (9d)$$

Burada U, Normal dağılım eğrisinde %95 çalışma olasılığına denk gelen sayıdır. Örneğin Prob(U)=0.05 ise $U=1.645$ tir. T bir günlük toplam süre ve 24 saate eşittir, T' sulama süresi, E net sulama alanının brüt sulama alanına oranı (Net alan/Brüt Alan), q teorik parsel için ortalama gerekli debi, ve S_e brüt alan, H ortalama kapasitede aynı anda çalışan hidrant sayısı Q_i hattın toplam debisi ve N toplam hidrant sayısıdır.

Tablo 2'de örnek bir sulama alanında Denklemler (9a, 9b ve 9c) kullanılarak sulama debisinin nasıl azaltıldığı gösterilmiştir. Bu tabloda sulama modülü 0.40 lt/s/ha olan ve üzerinde ortalama 218 adet hidrant bulunan 1742 ha brüt sulama alanında toplam sulama debisi 868 lt/s bulunmuştur. Örnek problemde görüldüğü üzere 218 adet hidrantın aynı anda açık olması durumunda ve her bir hidrantın 8 ha alanı 10 lt/s lik debiyle sulaması sonucunda 2180 lt/s sulama debisine ihtiyaç vardır. Uygulanan istatistiksel yöntem ile toplam maksimum debi miktarı 868 lt/s'ye düşürülmüştür. Bu metot her borunun mansabındaki sulama alanı için hesaplanmakta böylelikle her boru için ayrı ayrı tasarım debisi bulunmaktadır.

Tablo 2. Borulu sulama şebekesi örnek debi hesabı

Simge	Veriler	Birim	Açıklamalar
q_{max}	0,40	lt/s/ha	sulama modülü
U	1,645		Gauss ihtimal katsayısı (U=1.645)
E	0,9		net alan /brüt alan
T'	20	saat	sulama zamanı
T	24	saat	
r	0,833		
q	10	lt/s/8ha	teorik hidrant alanı debisi
ΣSe	1742	ha	brüt alan
	1567	ha	net alan
N	218		toplam hidrant sayısı
H	75,3		aynı zamanda çalışan hidrant sayısı
F	86,8		fleksibilite sayısı
Q	868	lt/s	toplam debi

2.3. Hidrolik Kayıp Hesapları

Türkiye'deki borulu sulama şebekelerinde hidrolik kayıplar Colebrook denklemi kullanılarak hesaplanır. DSİ tarafından kullanılan yazılımda da aynı denklem kullanılmaktadır. Colebrook bilindiği üzere deneme yanılma yapılarak kullanılan bir denklemdir. Denklem (10) da verilen hali DSİ Network programında kullanılan, basitleştirilmiş, tek bilinmeyenli denklemdir. Bu çalışmada geliştirilen optimizasyon metodu, DSİ Network metodu ile karşılaştırıldığı için aynı kayıp denklemi kullanılmıştır.

$$J = \frac{LQ^M D^{-N}}{100} \quad (10)$$

Burada J , hidrolik eğim (m/m), Q , debi (m^3/s), D , boru çapı (m), L, M, N parametreleri K pürüzlülük katsayısına bağlı olarak verilmektedir, [20]. DSİ uygulamalarında güvenli tarafta kalmak için PE ve CTP tipi boru kullanılmasına rağmen kayıp hesaplarında $K=0.5$ (beton borular için kullanılan katsayı) kullanılmaktadır. İleride oluşabilecek yeni sulama alanı taleplerini karşılayabilmek, boruların zamanla aşınmasından dolayı güvenli tarafta kalmak için hidrolik kayıplar olduğundan daha yüksek hesaplanmaktadır.

2.4. Heuristik Tabanlı Dinamik Modelleme Algoritması Sonuçları ve DSİ Network Programı İle Karşılaştırılması

Heuristik tabanlı dinamik modellemede boru çapı için hız sınırlarına göre belirlenen farklı boru çapı arasından seçim yapılmaktadır. Hidrantlarda minimum basınç yüksekliği koşulunu sağlayan hat debileri için hız limitlerine göre olası boru çapları hesaplanmaktadır. Algoritma hesaplamaları ile olası boru çapları arasından seçim yapılmaktadır. Heuristik tabanlı dinamik modelleme algoritmasında debi hesabı ve boru kayıpları için kullanılan hesap yöntemi, simplex algoritmasında ve DSİ Network yazılımında kullanılan yöntem ile aynıdır.

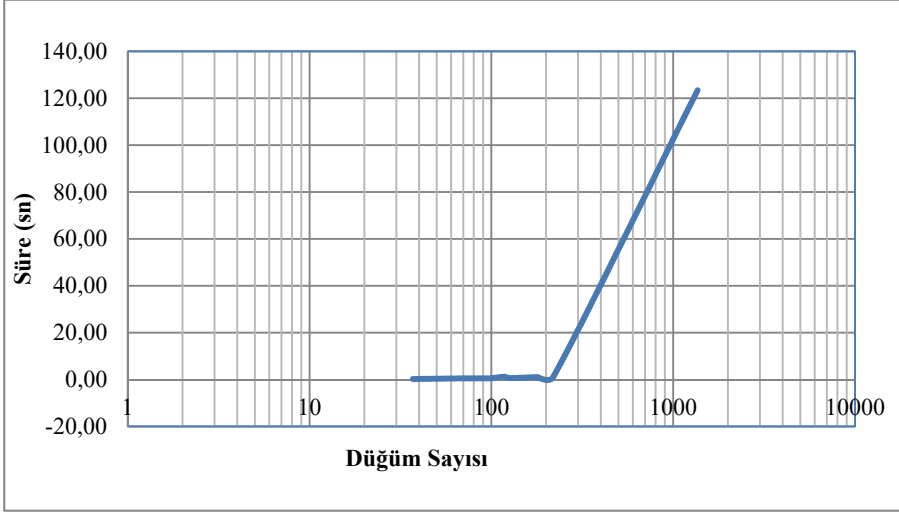
Algoritma, Excel programının arka planındaki visual basic kullanılarak yapılmıştır. DSİ Network programı sonuçları ile heuristik tabanlı dinamik modelleme sonuçları karşılaştırıldığında %99 oranda benzerlik tespit edilmiştir, (Tablo 3). On farklı şebeke için karşılaştırma yapılmıştır. DSİ'nin kullandığı Network programı ile kullanılan algoritma sonuçları karşılaştırıldığında en fazla fark %1.441 ile İvrindi Projesi şebekesi sonuçlarında görülmüştür, (Tablo 3).

Tablo 3 . Heuristik tabanlı dinamik algoritma ile DSİ Network yazılımı sonuçları karşılaştırması

Proje Adı	Toplam Sulama Alanı (ha)	Toplam Debi (l/s)	Toplam Düğüm Sayısı	DSİ Network Maliyeti (TL)	Heuristik Algoritma Maliyeti (TL)	Heuristik Maliyet Farkı (TL)	Heuristik Hata Oranı %
İvrindi	174,6	215	37	512899	520289	7390	1,441
Çamlı	66,1	66	41	121187	121187	0	0
Sapkanlı	254,9	278	72	1158316	1163489	5173	0,447
Kayı	342,2	239	96	862222	863507	1285	0,149
Çatköy	727	561	117	3289830	3298849	9019	0,274
Beyköy	502,3	393	125	920512	921543	1031	0,112
Yaylabeleden	451,7	352	147	1445082	1445082	0	0
Ayvalı	1609,5	1552	179	6002618	6019631	17013	0,283
Güney	482,5	373	219	1109347	1109347	0	0
Bulanık	6402	8894	1362	68101353	68283697	182344	0,268

Tablo 4. Heuristik tabanlı dinamik algoritma ile DSİ Network yazılımı sonuçlarının süre açısından karşılaştırılması

Proje Adı	Toplam Sulama Alanı (ha)	Toplam Debi (l/s)	Düğüm Sayısı	Heuristik Algoritması Maliyeti (TL)	Heuristik Çözüm Süresi (s)
İvrindi	174,6	215	37	520289	0,24
Çamlı	66,1	66	41	121187	0,26
Sapkanlı	254,9	278	72	1163489	0,51
Kayı	342,2	239	96	863507	0,51
Çatköy	727	561	117	3298849	1,18
Beyköy	502,3	393	125	921543	0,64
Yaylabeleden	451,7	352	147	1445082	0,76
Ayvalı	1609,5	1552	179	6019631	1,06
Güney	482,5	373	219	1109347	1,14
Bulanık	6402	8894	1362	68283697	123,43



Şekil 3. Şebeke düğüm sayısı & çözüm süresi grafiği

Sonuçlar değerlendirildiğinde, bu çalışmada geliştirilen Heuristik algoritma ile DSİ'nin kullandığı yazılım arasında maliyetler açısından Tablo 3'te görüldüğü gibi önemsenecek bir fark bulunmadığı görülmüştür. Ancak Heuristik algoritma performans açısından değerlendirildiğinde Tablo 4'te görüldüğü üzere şebeke alanı büyüdükçe çözüm süresi uzamaktadır. Bulanık sulaması (6402 ha) Tablo 4'te görüldüğü üzere 123 saniye sürmektedir. Şekil 3'de görüldüğü üzere düğüm sayısı yaklaşık olarak 200'ü geçtiğinde çözüm süresi doğrusal bir şekilde artmaktadır. Algoritmanın çözüm süresi performansını arttırmak amaçlı ikinci bir algoritma olarak "Simplex" yöntemi kullanılmıştır.

2.5. Simplex Yöntemi Algoritması Sonuçları ve DSİ Network Programı ile Karşılaştırılması

Simplex algoritması kullanılarak yapılan çalışmalar analiz edildiğinde, DSİ Network programı ile aynı sonuçları 1-2 saniye gibi kısa sürede verdiği görülmüştür. Simplex algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlar, DSİ Network yazılımı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 5'te görüldüğü üzere on sulama projesinin sekizinin maliyetleri aynı olup; iki tanesinin ise geliştirilen Simplex yazılımı sonuçları daha ekonomiktir. DSİ Network yazılımı ile bu çalışmada geliştirilen Simplex yazılımı algoritmasının çok benzer olduğu tahmin edilmektedir.

Tablo 5. Geliştirilen Network yazılımının sonuçları ile DSİ Network yazılımı sonuçlarının karşılaştırılması

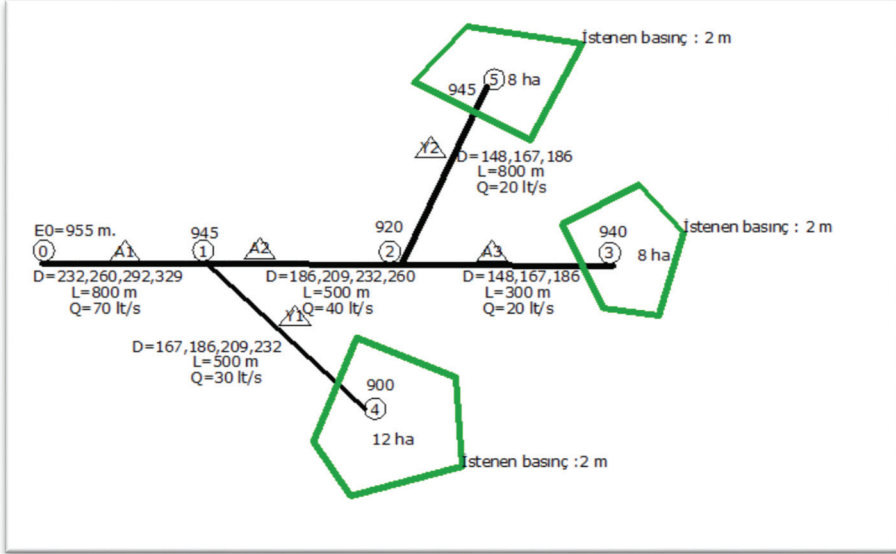
Proje Adı	Toplam Sulama Alanı	Toplam Debi	Toplam Düğüm Sayısı	DSİ Network Maliyeti	Yeni Yazılım (Simplex) Maliyeti	Yeni Yazılım (Simplex) Çözüm Süresi (sn)
İvrindi	174,60	215	37	512899	512899	0,0156
Çamlı	66,10	66	41	121187	121187	0,0000
Sapkanlı	254,90	278	72	1158316	1154435	0,0312
Kayı	342,20	239	96	862222	862222	0,0156
Çatköy	727,00	561	117	3289830	3289830	0,0312
Beyköy	502,30	393	125	920512	920512	0,0312
Yaylabeleden	451,70	352	147	1445082	1445082	0,0156
Ayvalı	1609,50	1552	179	6002618	6002619	0,0312
Güney	482,50	373	219	1109347	1109347	0,0312
Bulanık	6402,00	8894	1362	68101353	68093472	1,0608

2.6. Beş Borulu Bir Şebeke için Simplex, DSİ Network ve Excel (Doğrusal Yöntem) Çözümlerinin Karşılaştırılması

Beş ana borulu basit bir şebeke problemi; Excel, mevcut DSİ Network yazılımı ve bu çalışmada geliştirilen ve Simplex algoritmasını kullanan yazılımla çözülmüştür. Beş borulu şebeke teorik olarak oluşturulmuş gerçek olmayan bir şebekedir. Şebeke boruları üzerine içerisinden geçen debiler, boru uzunlukları ile bu debilere ve hız kriterlerine bağlı olası boru çapları yazılmıştır, (Şekil 4). Şebeke başlangıç kotu ve hidrant noktalarında istenen basınçlar da aynı şekilde gösterilmiştir. Böyle basit bir şebekenin DSİ Network, Excel ve bu çalışmada geliştirilen Simplex yöntemini kullanan algoritma ile çözümü yapılip karşılaştırılmıştır.

2.6.1. Excel Çözücü'de Beş Borulu Şebeke İçin Çözüm Örneği

Karmaşık şebekelerin çözümü Excel'de oldukça zordur. Büyük bir şebeke için kayıp denkleminin yazılması oldukça zor olup; hata yapma olasılığı çok yüksektir. Excel makroları ile boru kayıp denklemleri yazılabilir ancak Excel'in satır sınırı büyük sulama şebekeleri çözümüne olanak vermemektedir. Ancak yine de algoritmayı test etmek için Excel programının "Çözücü" aracı kullanılarak oluşturulan çözüm ile DSİ Network yazılımı sonuçları karşılaştırılmıştır. Öncelikle hız sınırlarına göre olası boru çapları her boru için hesaplanmıştır, (Tablo 6). Tablo 6'da görüldüğü üzere hız kriterlerine göre hesaplanan olası boru çapları için birim hidrolik kayıplar hesaplanmıştır. Her bir boru için hidrolik kayıplar hesaplanmış ve Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 4. Beş Borulu şebeke planı

Tablo 6. İç çaplar ve hız kriterleri

D iç çap (mm)	V _{min} (m/s)	V _{max} (m/s)	D iç çap (mm)	V _{min} (m/s)	V _{max} (m/s)
102	0,1	1,5	417	0,6	1,91
116	0,6	1,5	464	0,6	1,95
130	0,6	1,5	519	0,6	1,95
148	0,6	1,5	600	0,6	2,3
167	0,6	1,5	700	0,6	2,3
186	0,6	1,55	800	0,6	2,5
209	0,6	1,6	900	0,6	2,5
232	0,6	1,65	1000	0,6	2,5
260	0,6	1,65	1100	0,6	2,5
292	0,6	1,7	1200	0,6	2,5
329	0,6	1,7	1300	0,6	2,5
371	0,6	1,77	1400	0,6	2,5
			1500	0,6	2,5

Tablo 7. Olası boru çapları ve hidrolik verileri

		Debi Q (m ³ /s)	Boru Çapı D (m)	Kesit Alanı (m ²)	Akım Hızı (m/s)	Birim uzunlukta yük kaybı ΔH (m/m)
Boru 0	L01	0,07	0,232	0,0423	1,656	0,0150
	L02	0,07	0,26	0,0531	1,318	0,0081
	L03	0,07	0,292	0,0670	1,045	0,0045
	L04	0,07	0,329	0,0850	0,823	0,0024
Boru 1	L11	0,07	0,232	0,0423	1,656	0,0150
	L12	0,07	0,26	0,0531	1,318	0,0083
	L13	0,07	0,292	0,0670	1,045	0,0045
	L14	0,07	0,329	0,0850	0,823	0,0025
Boru 2	L21	0,04	0,26	0,0531	0,753	0,0028
	L22	0,04	0,232	0,0423	0,946	0,0050
	L23	0,04	0,209	0,0343	1,166	0,0086
	L24	0,04	0,186	0,0272	1,472	0,0158
Boru 3	L31	0,02	0,148	0,0172	1,163	0,0133
	L32	0,02	0,167	0,0219	0,913	0,0071
	L33	0,02	0,186	0,0272	0,736	0,0041
Boru 4	L41	0,03	0,167	0,0219	1,370	0,0157
	L42	0,03	0,186	0,0272	1,104	0,0070
	L43	0,03	0,209	0,0343	0,874	0,0049
	L44	0,03	0,232	0,0423	0,710	0,0028
Boru 5	L51	0,02	0,148	0,0172	1,163	0,0133
	L52	0,02	0,167	0,0219	0,913	0,0071
	L53	0,02	0,186	0,0272	0,736	0,0041

Tablo 8.1. Beş borulu şebeke için Excel sonuçları – Boru uzunluğu matrisi

Boru uzunluğu sonuç :	800	127,1273	172,8727	300	500	800		Matris sonucu	Boru uzunluğu (m)	Boru Kodu
Boru Kodu :	L12	L22	L23	L31	L41	L53				
Şebeke matrisi :	0	0	0	0	0	0	=	0,1	0,1	L0
	1	0	0	0	0	0	=	800	800	L1
	0	1	1	0	0	0	=	500	500	L2
	0	0	0	1	0	0	=	300	300	L3
	0	0	0	0	1	0	=	500	500	L4
	0	0	0	0	0	1	=	800	800	L5

Tablo 8.2. Beş borulu şebeke için Excel sonuçları – Kayıp matrisi

Kayıp Kodu :	ΔH_{12}	ΔH_{22}	ΔH_{23}	ΔH_{31}	ΔH_{41}	ΔH_{53}	Matris sonucu	Eo-(A+İstenen)	A (Arazi kotu)-m
Hidrolik kayıp matrisi :	0	0	0	0	0	0	0,000829	5	955
	0,008295	0	0	0	0	0	<= 6,636709	13	945
	0,008295	0,005004	0,008602	0	0	0	<= 9,7606	38	920
	0,008295	0,005004	0,008602	0,013258	0	0	<= 13,7381	18	940
	0,008295	0	0	0	0,015681	0	<= 14,47745	58	900
	0,008295	0,005004	0,008602	0	0	0,004049	<= 13	13	945
Olası boru çapı (mm) :	260	232	209	148	167	186		Toplam bedel	94612,3057
Boru bedeli (\$/m) :	48,4	39,38	32,58	18,34	22,19	25,97			

Tablo 9. Beş borulu şebeke çözümü sonuçları özeti

	Boru No	Debi Q (m ³ /s)	Boru Çapı D (m)	Kesit Alanı (m ²)	Akım hızı V (m/s)	Birim Uzunlukta yük kaybı ΔH (m/m)	L (m)
Boru 0	L01	0,07	0,232	0,0422733	1,6558927	0,0149843	0
	L02	0,07	0,26	0,0530929	1,3184433	0,0082948	0,1
	L03	0,07	0,292	0,0669662	1,0453036	0,0045413	0
	L04	0,07	0,329	0,0850123	0,8234104	0,002445	0
Boru 1	L11	0,07	0,232	0,0422733	1,6558927	0,0149843	0
	L12	0,07	0,26	0,0530929	1,3184433	0,0082948	800
	L13	0,07	0,292	0,0669662	1,0453036	0,0045413	0
	L14	0,07	0,329	0,0850123	0,8234104	0,002445	0
Boru 2	L21	0,04	0,26	0,0530929	0,7533962	0,0027698	0
	L22	0,04	0,232	0,0422733	0,9462244	0,0050036	327,1
	L23	0,04	0,209	0,034307	1,1659436	0,0086021	172,9
	L24	0,04	0,186	0,0271716	1,4721234	0,0157541	0
Boru 3	L31	0,02	0,148	0,0172034	1,1625635	0,0132583	300
	L32	0,02	0,167	0,021904	0,9130765	0,0070835	0
	L33	0,02	0,186	0,0271716	0,7360617	0,0040493	0
Boru 4	L41	0,03	0,167	0,021904	1,3696148	0,0156815	500
	L42	0,03	0,186	0,0271716	1,1040926	0,0089642	0
	L43	0,03	0,209	0,034307	0,8744577	0,0048947	0
	L44	0,03	0,232	0,0422733	0,7096683	0,0028471	0
Boru 5	L51	0,02	0,148	0,0172034	1,1625635	0,0132583	0
	L52	0,02	0,167	0,021904	0,9130765	0,0070835	0
	L53	0,02	0,186	0,0271716	0,7360617	0,0040493	800

Tüm şebeke boru uzunlukları için olası boruların çapları karşısına yazılmıştır. Maliyeti minimum tutacak istenen enerjileri sağlayacak olası boru çapları arasından seçim yapılmıştır. Excel'in "Çözücü" aracı ile maliyeti minimum yapacak istenen basınç yüksekliğini sağlayacak boru çapları bulunmuştur. Çözüm sonucunda görüldüğü üzere (Tablo 8.1 ve Tablo 9) 2. boru çapı 327. m'de değişmiş 232 mm'den 209 mm'ye düşmüştür. Çözüm sonucu ve 5 borulu şebeke bilgileri özet olarak Tablo 9'da verilmiştir.

2.6.2. DSİ Network Programında Beş Borulu Şebeke İçin Çözüm Örneği

1986 yılında Fransız BRL GERSAR firması tarafından geliştirilen DSİ genel müdürlüğünde 2 adet bilgisayarda yüklü olan "Network" yazılımı DOS ortamında çalışmaktadır. Firma temsilcilerine ulaşamadığı ve yazılım algoritması hakkında bir bilgiye ulaşamadığından optimizasyon denklemlerinde kullanılan algoritma bilinmemektedir. DSİ'nin 26 bölgesinde projelendirilen Türkiye'deki tüm sulama projeleri tasarımı bu yazılım ile üretilmektedir. Sulama projelerinin tasarımını yapan firmalar bu yazılımı kullanmak için DSİ Genel Müdürlüğüne çözüm alabilmek için gelmektedirler. Tasarım mühendisleri ve DSİ Bölge Müdürlüklerindeki kontrol teşkilatlarındaki kontrol mühendisleri için borulu sulama şebekelerini çözen bu yazılıma ulaşım pek kolay olmamaktadır. Bu nedenle yapılan hesaplarda hata yapma olasılığı artmaktadır.

Yazılımın girdi dosyası "Data" ve "Gen" uzantılı text dosyalarıdır. Data uzantılı dosyada şebekenin geometrisi, boru adları, boru uzunlukları, hidrant yerleri ve arazi kotları bilgileri bulunmaktadır. Gen uzantılı dosya olası tüm boru maliyetleri, hız limitleri, sulama modülü gibi şebeke hidrolik çözümü için gerekli bilgileri içermektedir. Data uzantılı dosyada maksimum satır sayısı limiti 1400'dür. 5 borulu sulama şebekesi için yapılan çözüm ve sonucu Ek 1'de sunulmuştur. 2. Borudaki redüksiyon boru değişim noktası excel çözümü ile aynıdır.

2.6.3. Simplex Tabanlı Algoritma ile Beş Borulu Şebekenin Çözümü

Bu çalışmada geliştirilen Simplex tabanlı yazılım 2016 yılında DSİ Genel Müdürlüğü ile yapılan protokol ile DSİ Genel Müdürlüğü ve Bölge Müdürlükleri tarafından kullanılabilir. Ayrıca tasarım firmaları tarafından da kullanılabilir. Yazılımın beş adet ara yüzü bulunmaktadır. Bu ara yüzlerden sulama şebekesi bilgileri alınmaktadır. Beş borulu şebeke için bu çalışmada geliştirilen Network yazılımı sonuçları Excel ve DSİ Network programlarında bulunan sonuçlarla birebir uyumludur (Tablo 10). İkinci borudaki redüksiyon yerleri dahi tüm sonuçlarda aynıdır. Tablo 10'da görüldüğü üzere her borunun uzunluğu başlangıç ve bitiş kotu ile verilmiştir. Boru çapı değişim noktaları boru uzunluğu vb özelliklerin değiştiği yerler Tablo 10'un satırında 1 ve 2 sayıları ile ifade edilmiştir. Tablo 10'da görüldüğü gibi 2. boru için boru çapı değişim noktası, redüksiyon yeri diğer çözümlerle aynıdır.

Tablo 10. Geliştirilen Network yazılımı Beş borulu şebeke için çözüm sonuçları

(a)

Başlangıç Noktası No	Bitiş Noktası No	Boru İsmi	Yapı Adı	Boru Uzunluğu	Başlangıç Kotu	Bitiş Kotu
0	1	A	A(Y1)	800	955	945
1	2	A	A(Y2)	500	945	920
2	3	A	H1	300	920	940
4	5	Y1	H1	500	945	900
6	7	Y2	H1	800	920	945

(b)

Başlangıç Noktası No	Bitiş Noktası No	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	İstenen düşü (m)	Toplam alan (ha)	Debi (l/s)
0	1	15	8,36	947	28	70
1	2	40	30,24	922	16	40
2	3	40	6,26	942	8	20
4	5	60	45,52	902	12	30
6	7	40	2,00	947	8	20

(c)

Başlangıç Noktası No	Bitiş Noktası No	Boru Tipi 1	Çap 1 (mm)	Uzunluk 1 (m)	Hız 1 (m/s)	Hidrolik Eğim (m/m)
0	1	PE	280	800,00	1,32	0,0082948
1	2	PE	250	326,90	0,95	0,0050036
2	3	PE	160	300,00	1,16	0,0132583
4	5	PE	180	500,00	1,37	0,0156815
6	7	PE	200	800,00	0,74	0,0040493

(d)

Başlangıç Noktası No	Bitiş Noktası No	Boru Tipi 2	Çap 2 (mm)	Uzunluk2 (m)	Hız 2 (m/s)	Hidrolik Eğim (m/m)	Hidrant Alanı (ha)
0	1						0
1	2	PE	225	173,10	1,17	0,0086	0
2	3						8
4	5						12
6	7						8

(e)

Başlangıç Noktası No	Bitiş Noktası No	Boru Bedeli 1	Boru Bedeli 2
0	1	42216,00	
1	2	14252,70	6333,85
2	3	6504,00	
4	5	12835,00	
6	7	23728,00	

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada iki farklı algoritma; heuristik tabanlı dinamik programlama ve simplex yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar; DSİ Network ve Excel programı ile karşılaştırılmıştır. Simplex algoritmasının daha iyi ve daha hızlı sonuç verdiği tespit edilmiştir. Her iki algoritmanın sonuçları DSİ tarafından kullanılan DSI Network yazılımı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada Simplex yöntemi sonuçlarının heuristik tabanlı dinamik programlama sonuçlarına göre daha ekonomik ve DSI Network yazılımı sonuçlarına daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada Simplex yöntemi kullanılarak geliştirilen algoritmanın sonuçları beş borulu bir şebeke için DSI Network ve Excel yazılımları sonuçları ile test edilmiştir. Üç yazılım sonucunun, boru değişim noktalarının bile aynı olmasından yola çıkılarak birebir aynı olduğu tespit edilmiştir.

Geliştirilen algoritma kullanılarak elde edilen yazılım ile ülkemize sulama şebekeleri çözümü algoritması bilgisi aktarılmış, DSİ tarafından 1986 yılında Fransız bir firmaya yaptırılmış olan yazılıma bağımlılıktan kurtulunmuştur.

Ekonomik sulamada borulu şebeke tasarımının önemli iki kademesi; boru güzergahlarının doğru seçilmesi ve boru çapları optimizasyon hesaplarının doğru yapılmasıdır. Bu çalışma ile yeni bir sulama şebekesi yazılımı ülkemize kazandırılmıştır. Simplex yöntemini kullanan bu yazılım, borulu sulama şebekelerini çözen bir araç olarak DSİ Genel Müdürlüğü ve Bölge Müdürlükleri tarafından kullanılmaktadır. Borulu sulama şebekelerinin güzergah tasarımının daha sağlıklı yapılabilmesi için yazılımın Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çalışmalarına devam edilmektedir. Yeni yazılımın CBS tabanlı çalışan versiyonu ile farklı güzergahlara göre en ekonomik şebeke çözümlerine ulaşılabilecektir. Farklı boru güzergahları için maliyet karşılaştırması yapılarak en uygun güzergah çözümü sunulabilecektir.

Yazılımın geliştirilmesi ile Türkiye'deki sulama sistemleri çözümleri farklı ülkelere de taşınabilecektir. Mevcut işletmede olan sorunlu çalışan sulama şebekelerinin sorunlarının çözümünde bu çalışmada geliştirilen yazılım kullanılabilir. Bu yazılım kullanım kolaylığı ve kolay ulaşılabilirliği sayesinde daha ekonomik borulu sulama şebekeleri tasarlanabilecektir. Çözümlerin hazırlanması ve kontrolü çok kısa bir süre de yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Adebe A.J., Solomatine D.P. 1998. Application of global optimization to the design of pipe networks
- [2] Alandi P.P., Alvarez J.F.O., Benito J.M.T.M., 2006, Optimization of irrigation water distribution networks, layout included , , Science Direct
- [3] Clements J.A., 1989, “Process Capability Calculations for non-normal distributions”, Quality Progress, Vol. 22, pp.95-100
- [4] Collins M.,Cooper L., Helgason R., Kennington J., LeblancL. 1978, Solving the Pipe Network Analysis Problem Using Optimization Techniques,
- [5] Çakmak B., Yıldırım M., Aküzüm T, 2008, Türkiye’de Tarımsal Sulama Yönetimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi.
- [6] Dal H., 2014. Sulama Şebekelerini Projelendirme Esasları Hakkında Genel Bilgiler, DSİ Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı Proje Semineri Ders Notları
- [7] Darama, Y., 2009, Introduction to Irrigation and Drainage Engineering”, Lecture notes, METU, Civil Engineering Department, 3rd Edition, Ankara, Turkey
- [8] DSİ’ce İşletilen ve Devredilen Sulama Tesisleri 2005 Yılı Değerlendirme Raporu. 2006, DSİ Gn. Md., İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [9] DSİ, 50.Yılında DSİ. 2004, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ İdari ve Mali İşler Daire Başkanlığı, Basım ve Fotofilm Şb.Md.84s. Ankara.
- [10] Eiger G., Shamir U., Ben-Tal A. 1994, Optimal design of water distribution networks Water Resources Research, Vol. 30 No:9 Pages 2637-2646
- [11] Jourden L., Corne D.W., Savic D. A Walters G., 2006, LEMMO: hybridising rule induction and NSGA II for multi-objective optimization problems .In Proc of the Eight International Conference on Computing and Control for the Water Industry , vol 2 pp 45-50
- [12] Knowles J., 2006, ParEGO: a hybrid algorithm with on-line landscape approximation for expensive multiobjective optimization problems.IEEE Transactiona on Evolutionary Computation 10(1),50-66
- [13] Labye, Y.; Olson, M.A.; Galand, A. y Tsiourtis, N.,1988. “Design and optimization of irrigation distributions networks.” Irrigation and Drainage n° 44. FAO. Roma
- [14] Mandl C.E., 1980, A survey of mathematical optimization models and algorithms for designing and extending irrigation and wastewater networks, Forschungsbericht /Research Memorandum No:157
- [15] Pierro F., Khu S., Savic D., Luigi B. 2008, Efficient multi-objective optimal design of water distribution networks on a budget of simulations using hybrid algorithms, Enviromental Modelling &Software

- [16] Rossman, L.A. 1993. EPANET, User's Manual Risk Reduction Engg.Laboratory, Office of Research &Dev't, U.S.Env.Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- [17] Theocharis M.E., Tzimopoulos C.D., Sakelariou M.A., Yannopoulos S.I.,Meletiou I.K., 2010, "Comparative Calculation of Irrigation Networks using Labye's Method, the linear programming, and simplified nonlinear method", Mathematical and Computer Modelling Journal, Science Direct, 51, pp. 286-295, Elsevier.
- [18] Walski, 1987, T.M., Battle of the network models: Epilogue, J. Water Resour. Planning Management, ASCE, V.11382, pp. 191-203
- [19] Sayan M. 2013. Sulama Şebekelerinde Esneklik (Fleksibilite) Katsayısının Hesaplanması, DSI Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı Proje Semineri Ders Notları syf. 163-168
- [20] Keleş M.2013. Basınçlı Sulama Şebekelerinde Network Optimizasyon Programının Kullanılması ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi 2013. DSI Proje ve İnşaat Dairesi Başkanlığı Proje Semineri Ders Notları syf. 71-87

Ek 1 : Beş Borulu Şebeke için DSI Network Yazılımı Sonucu - 2. Boru Redüksiyon Yeri

DIAMETER CALCULATION										
HYDRANT	BRANCH	REACH	FLOW (l/s)	DIAMETER (mm.)	VELOCITY (m/s)	LENGHT (m.)	HEAD LOSSES PER M.	TOTAL HEAD LOSSES (m.)	PIEZOMETRICAL LEVEL UPSTREAM	PIEZOMETRICAL LEVEL DOWNSTREAM
1	Ana-A1		30.0	260.	1.32	300.	8.29	6.64	960.00	953.36
1	Ana-A2		40.0	232.	.95	327.	5.00	3.12	953.36	950.24
2	Ana-H1		20.0	209.	1.17	173.	8.60			
3	Ana-H1		20.0	148.	1.16	300.	13.26	3.98	950.24	946.26
4	Y1-H1		30.0	167.	1.37	500.	15.68	7.84	953.36	945.52
5	Y2-H1		20.0	186.	.74	800.	4.05	3.24	950.24	947.00
RECAPITULATION										
DIAMETERS	LENGHT	PRICE								
102.	0.	0.								
116.	0.	0.								
130.	0.	0.								
148.	300.	5634.								
167.	500.	11240.								
186.	800.	20936.								
209.	173.	5650.								
232.	327.	12822.								
260.	800.	38192.								
292.	0.	0.								
329.	0.	0.								
371.	0.	0.								
417.	0.	0.								
464.	0.	0.								
519.	0.	0.								
584.	0.	0.								
700.	0.	0.								
800.	0.	0.								
900.	0.	0.								
1000.	0.	0.								
1100.	0.	0.								
1200.	0.	0.								
1200.	0.	0.								
1400.	0.	0.								
1500.	0.	0.								
TOTAL			2900.	94474.						
EXCLUDING ANY POSSIBLE BOOSTER, EXCLUDING MARGINAL SECTORS										

Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylerle Araştırılması

Fuat ARAS¹

ÖZ

Bu çalışmada betonarme yapılarda bulunan bölme tuğla duvarların bina dinamik özelliklerine olan etkisi deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Çalışmada, 1980'li yıllarda inşa edilmiş altı katlı betonarme bir bina deney numunesi olarak kullanılmıştır. Çalışılan binanın dinamik özellikleri çevresel titreşim analizleri ile belirlenmiştir. Daha sonra binanın zemin katında bulunan tuğla ve çimento harcıyla örülmüş bölme duvarlar doldurdukları çerçevelerden ayrılarak etkisizleştirilmiştir. Tekrarlanan çevresel titreşim analizleriyle, binanın zemin katında bölme duvarları olmaması durumunda dinamik özellikler belirlenmiştir. Çalışılan binanın iki hali için belirlenen dinamik özelliklerin karşılaştırılmasıyla, bölme duvarların yapı dinamik davranışlarına olan katkıları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bölme duvarlar, betonarme binalar; dinamik davranış, deneysel modal analiz, düzensizlikler.

ABSTRACT

Investigation of Effects of Infill Walls in Reinforced Concrete Buildings with Full-Scaled Experiments

In this study, the effects of partition walls into dynamic behavior of reinforced concrete building are investigated with experimental researches. A six-story reinforced concrete building, constructed in 1980s, is used as a test specimen. The dynamic characteristics of the studied building are determined by ambient vibration survey. Later on the partition walls, composed of bricks and cement mortar, are set ineffective by separating them from the frames they fill. The repeated ambient vibration survey gives the dynamic characteristics of the building which does not have partition walls on its ground floor. The comparison of the determined dynamic characteristics for two forms of the same building revealed the contribution of partition walls into the dynamic properties of the building.

Keywords: Partition walls, reinforced concrete buildings; dynamic behavior, experimental modal analysis, irregularities.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.04.2017 günü ulaşmıştır. 16.11.2017 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.317218

1 İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - fuataras@hotmail.com

1. GİRİŞ

Betonarme binalarda bulunan duvarlar, binaların iç bölümlerinin ayrılmasında ve mekânların dış etkilerden korunmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Genel olarak yapısal olmayan elemanlar olarak sınıflandırılan bölme duvarların yapıya kattıkları dayanım ve rijitlik etkisi tasarım aşamasında dikkate alınmamasına rağmen, yapının genel davranışını etkiledikleri bilinmektedir.

Son zamanlarda bölme duvarların yapısal davranışa olan etkilerinin ortaya çıkarılması ve tasarım aşamasında göz önüne gerçekçi olarak alınması için yapılmış birçok deneysel ve sayısal araştırmalar mevcuttur. Fiore ve diğ. literatürde bulunan çerçeve üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarını sonlu elemanlar yöntemi ile doğrulamaya çalışmıştır [1]. Bir başka çalışmada, Uva ve diğ. Güney İtalya'da bulunan bölme duvarlı betonarme bir bina için bölme duvarların etkisini doğrusal olmayan sayısal analizlerle araştırmışlardır. Mevcut yapının bölme duvarlarından alınan deney numuneleri laboratuvarında test edilmiş ve sonuçlar sayısal modellerde kullanılmıştır. Bölme duvarların değişik mukavemet değerlerine göre yapı dinamik davranışında ve performansında görülen değişimler sunulmuştur [2]. Köse ise sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş 189 adet bina için yapılan sayısal analizler sonunda bölme duvarların yapı periyoduna olan etkisini araştırmıştır. Yazar bölme duvarların yapıların periyotlarını % 5 - % 10 mertebesinde düşürdüğü sonucuna varmıştır [3]. Ayrıca, bölme duvarların yapı dayanım ve sünekliliğine olan katkısı sarsma tablası üzerinde yapılan deneylerle de araştırılmıştır [4 - 6]. Dolgu duvarların betonarme yapıların dinamik davranışına olan katkısını araştıran çalışmaların en önemlilerinden birisi Türkiye'de yürütülmüştür. İzmir Teknoloji Enstitüsü'nde bir Yüksek Lisans Tezi olarak tamamlanan çalışmada, dört adet 1/5 oranında küçültülmüş dört katlı ve tek açıklıklı deney numuneleri üzerinde bölme duvarların yapı dinamik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Gerçekleştirilen dinamik ve statik testler sonucunda yığma duvarların yapı dinamik özelliklerini değiştirmesi yanında, yapı rijitliği, yapı dayanımı ve yapı sönüm oranına yaptığı katkının altı çizilmiştir [7].

Tüm bu çalışmalar bölme duvarların betonarme yapıların genel davranışına olan etkileri için önemli bilgiler vermesine karşı, sayısal yöntemler ve laboratuvarında ölçeklendirilerek üretilmiş deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmeleri nedeniyle mertebe olarak tahmin edilmesi güç olan bir hata içermektedirler. Öyle ki, sayısal analizlere dayalı çalışmalar modelleme teknikleri, geometrik ölçümler, sınır koşulları ve malzeme özellikleri gibi birçok parametrede idealleştirme, genelleme ve varsayımlara dayalıdır. Laboratuvar şartlarında yapılan çalışmalar ise üretilen numunelerdeki ölçeklendirme, gerçek malzeme özelliklerinin ve sınır koşullarının yakalanması ve doğal yükleme koşullarının elde edilmesindeki zorluklar nedeniyle sorguya her zaman açıktır. Ayrıca, betonun zamana ve kullanım yüklerine bağlı olan davranışının laboratuvar şartlarında hazırlanan numunelerde göz önüne alınması hiç de kolay değildir.

Sunulan bu çalışma gerçek bir bina üzerinde yürütülmüştür. Çalışma kapsamında, 1980'li yıllarda inşa edilmiş altı katlı betonarme bir binanın dinamik özellikleri çevresel titreşim analizleriyle belirlenmiştir. Daha sonra binanın zemin katında bulunan bölme duvarları kırılarak etkisizleştirilmiştir. Çevresel titreşim analizleri tekrarlanarak zemin katında bölme duvarları olmayan yapının dinamik özellikleri elde edilmiştir. Elde edilen dinamik özelliklerin doğrudan karşılaştırılması binanın zemin katında bulunan bölme duvarların yapının dinamik özelliklerine olan katkısını tam olarak ortaya çıkarmıştır. Binanın ilk hali

yapım yılından 30 yıl sonra test edilmiştir ve bu süre içinde bina tümüyle konut olarak kullanılmıştır. Bu binanın çalışma kapsamında bir deney numunesi olarak kullanılması, sonuçların zamana bağlı etkileri de içeren gerçekçi bir çalışma olması açısından önemlidir.

Yapılardan elde edilen titreşim kayıtları birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Makine parçalarının titreşim analizleri, uçaklardaki titreşim problemlerinin belirlenmesi, yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi titreşim analizlerinin yaygın kullanıldığı alanlardan bazılarıdır [8, 9]. Yapılar üzerinde titreşimlerin ölçülmesi ve ölçümlerden yapı dinamik parametrelerinin belirlenmesi deneysel modal analiz veya operasyonel modal analiz yöntemleri olarak da bilinmektedir. Çevresel titreşim analizlerinin gerçek betonarme yapılarda uygulanması ve yapı dinamik özelliklerinin çıkarıldığı çalışmalar da mevcuttur. Michel ve diğ. Fransa'da bulunan 54 adet betonarme binada çevresel titreşim analizi yapmış ve elde edilen frekans değerlerini kendi yönetmeliklerindeki formüllerle karşılaştırmışlardır [10]. Yönetmeliklerde bulunan ampirik periyot formüllerini irdeleyen başka bir çalışma da Türkiye'de yapılmıştır. Yürütülen deneysel çalışmada 12 katlı betonarme bir binanın inşası sırasında binanın duvarsız, duvarlı ve sıvalı durumları için çevresel titreşim analizleri uygulanmış ve belirlenen periyotlar karşılaştırılmıştır [11]. Çalışma sonucuna göre, yapıya uygulanan sıvanın duvarlı yapıda yol açtığı periyot düşüşünün, duvarların duvarsız yapıda meydana getirdiği periyot düşüşünden yüksek olması ilk önce şaşırtıcı olmakla beraber duvarlı ve sıvasız yapıda duvarların yanal rijitliğe katkı yapmaması ve sıvanın yapı elemanları ve duvar arasında bağ oluşturması ile açıklanabilir. Ayrıca yapının duvarlı hali için belirlenen dinamik özelliklerin, duvar inşasından hemen sonra gerçekleştirilmiş olması sonuçların zaman bağlı deformasyon etkilerini içermediğini göstermektedir. Çevresel titreşim analizlerinin betonarme yapılara uygulandığı bir başka çalışmada ise titreşim analizlerini güçlendirme yapılacak bir binanın güçlendirmeden önceki ve sonraki durumları için uygulanmıştır. Ayrıca perde eklemesi için yıkılan bölme duvarların etkisi incelenmiş ve bu bölme duvarların yıkılmasının yapı periyodunu %11 civarında yükselttiği belirlenmiştir [12].

Literatürde bölme duvarların betonarme yapıların dinamik davranışına ve performansına yönelik yürütülmüş başka sayısal ve deneysel çalışmalar da vardır. Literatürde bulunan deneysel çalışmalar, sayısal analizlere göre daha güvenilir olmakla beraber, ölçkleme etkileri, numune hazırlama yöntemi, numune malzemesi ve detayları ve yükleme etkileri nedeni ile birçok belirsizliği de barındırmaktadır. Ayrıca zamana bağlı deformasyonlar yığma duvar etkisini araştıran bir deneysel projede üretilecek numunelerin yıllarca yük altında bekletilmesini gerektirmektedir. Bu nedenlerden dolayı sunulan bu çalışma sonuçları bakımından kesin ve önemli bilgiler verecektir.

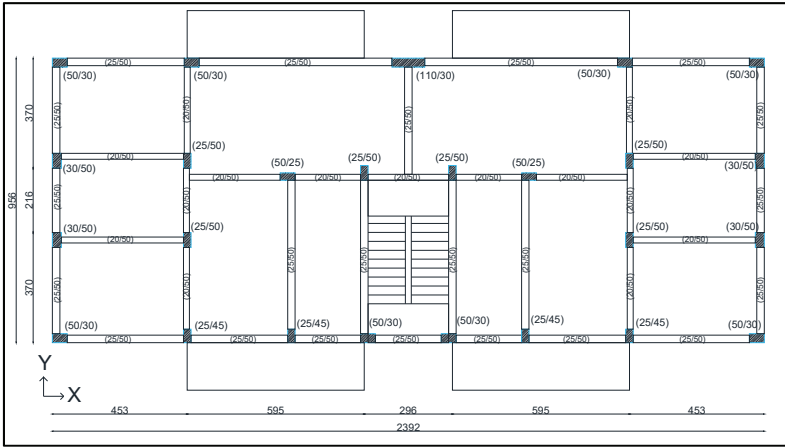
2. ÇALIŞMANIN YÜRÜTÜLDÜĞÜ BİNA

Bu çalışma kapsamında deney numunesi olarak kullanılan bina İstanbul ili Üsküdar ilçesi sınırlarında bulunmaktadır ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Bina 1980'li yıllarda 1975 tarihli deprem yönetmeliğine [13] göre inşa edilmiş, altı katlı, zemin ve normal katlarında ikişer bağımsız bölüm ve bodrum katında bir daire ve teknik oda olan bir yapıdır. Bodrum katının etrafında betonarme perde yoktur. Halk arasında çift daire olarak anılan bu bina tipi Türkiye'de sıklıkla projelendirilip inşa edilen bir bina örneğidir.

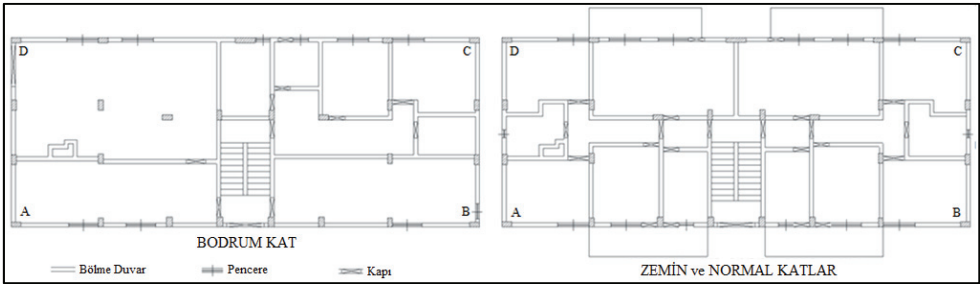
Binanın taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve kirişli döşeme sisteminden oluşmaktadır. Temel sistemi sürekli temeldir. Kolon ve kiriş boyutları katlar arasında değişmemektedir. Şekil 2 yapının taşıyıcı sistem detayını göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada önemli olduğundan dolayı duvar yerleşimleri de detaylı olarak Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın yürütüldüğü bina



Şekil 2. Binanın belirlenen taşıyıcı sistemi



Şekil 3. Bina bodrum, zemin ve normal katları duvar yerleşimleri

3. BİNANIN MEVCUT HALİ İÇİN ÇEVRESEL TİTREŞİM ANALİZİ

Deneysel modal analiz yöntemiyle yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesi için çalışılan yapının serbestlik derecesi kadar ölçümün alınması gerekmektedir. Betonarme binaların en bilinen özelliklerinden birisi olan ve döşemeler tarafından sağlanan rijit kat seviyeleri sayesinde binadan alınması gereken ölçüm sayısını azalmaktadır. Betonarme yapılarda, bina kat seviyeleri bir bütün olarak hareket ettiğinden her bir kat için birbirine dik iki doğrultunun birinde iki, diğerinde ise bir olmak üzere toplam üç ölçüm binanın ötelenme ve burulma modlarının belirlenmesi için yeterlidir. Burulma modunun genel olarak beklenmediği düzenli binalarda her kattan alınan iki eksenli ölçümlerle de binanın ötelenme modları tespit edilebilir.

Yürütülen bu çalışmada, Kinematics marka 3 adet, 3 eksenli TSA-SMA model ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerlerin iki yatay doğrultusu binanın boyuna (X) ve enine (Y) doğrultusu ile eşleştirilmiş ve tüm çalışma boyunca aynı yapılandırma kullanılmıştır. Altı katlı binanın dinamik özelliklerinin baskın frekanslar ve mod şekilleri olarak üç adet ivmeölçerle tek ölçümle belirlenmesi mümkün değildir. Çünkü sahip olunan üç adet ivmeölçer ile binada üç noktanın X ve Y yönlerindeki modal yer değiştirmelerinin elde edilmesine yönelik kayıt alınabilir ve binanın baskın frekansları ve üç noktanın X ve Y yönlerindeki modal yer değiştirmeleri elde edilebilir. Oysaki binanın ötelenme modunun belirlenmesi için bina yüksekliğince her kattan ölçüm alınması gerekmektedir. Ayrıca burulma modunun her katta belirlenmesi için her katta en az iki adet ölçüme gerek vardır. Sahip olunan ivmeölçer sayısının ölçüm alınması gereken nokta sayısından az olduğu durumlarda birden fazla ölçüm seti alınması ve ivmeölçerlerden birisinin referans ivmeölçeri olarak her ölçüm setinde sabit bir yerde tutulması, diğer ivmeölçerlerin farklı yerlerden alınacak ölçümler için kullanılması yöntemi uygulanabilir. Her ölçüm setinde, eşzamanlı olarak üç noktadan alınan titreşim kayıtları işlenerek üç noktanın belli frekansta binanın mod şeklindeki modal yer değiştirme değeri elde edilir. Sonraki ölçüm setinde, ivmeölçerlerden birisi yer değiştirmez, diğer ikisi yer değiştirir. Böylelikle ikinci ölçümde yine üç noktanın belli frekanstaki modal yer değiştirmeleri elde edilir. İki ölçüm seti, yer değiştirmeyen ivmeölçerin modal yer değiştirmesi eşitlenerek birleştirilebilir. Böylelikle ölçüm seti sayısı artırılarak yüksek serbestlik dereceli sistemlerin dinamik özellikleri az sayıda ivmeölçer kullanılarak elde edilebilir [14, 15].

Çalışmanın yürütüldüğü binanın çatı seviyesinden, erişimin tehlikeli olması nedeniyle, ölçüm alınmamıştır. Bu nedenle bina ötelenme modları her iki yönde temel ve kat seviyelerinden alınan ölçümlerle belirlenmiştir. Ayrıca binanın en üst katında burulma modunun belirlenmesine yönelik üç ivmeölçerle tek ölçüm yapılmıştır. Şekil 4 çalışma kapsamında ivmeölçerlerle kayıt alınmasını ve bu kayıtlardan birisinin X, Y ve Z (düşey) doğrultularındaki değişimlerini göstermektedir. Çalışma kapsamında her ölçüm için kayıt süresi 20 dakika olarak belirlenmiştir ve ölçümler saniyede 200 kayıt alınarak gerçekleştirilmiştir. Brincker kuralına göre kayıt süresinin yapı periyodunun en az 1000 katı olması doğru bir sistem tanımlama için gereklidir [16]. Ayrıca binadan saniyede 200 kayıt alınması, baskın frekansların doğru olarak ortaya çıkarılması açısından yeterli hassasiyeti barındırmaktadır. Bu nedenlerle, kayıt süresi ve veri kayıt frekansı, çalışılan binada doğru bir sistem tanımlama için gerekli özelliklere sahiptir.

Yapılardan alınan ölçümlerden yapı dinamik özelliklerinin belirlenmesi için geliştirilmiş farklı sistem tanımlama yöntemleri mevcuttur. Sinyallerin zaman ortamından, FFT (Fast

Fourier Transform) dönüşümleriyle frekans ortamına geçirilmeleri binanın baskın frekanslarının belirlenmesi için yeterlidir. Ancak, mod şekillerinin belirlenmesi için ilave analizlerin yapılması gereklidir. Bu noktada sistem tanımlama ile ilgili birçok yöntem vardır ve bu yöntemlerle ilgili detaylı bilgi bu çalışmada kullanılan Frekans Ortamında Ayrışım, FOA (Frequency Domain Decomposition, FDD) dışında verilmeyecektir. Bayraktar ve diğ. [8] tarafından da açıklandığı üzere, bilinmeyen etki ve ölçülen tepki fonksiyonları arasındaki bağıntı,

$$[G_{yy}(w)] = [H(w)]^* [G_{xx}(w)] [H(w)]^T \quad (1)$$

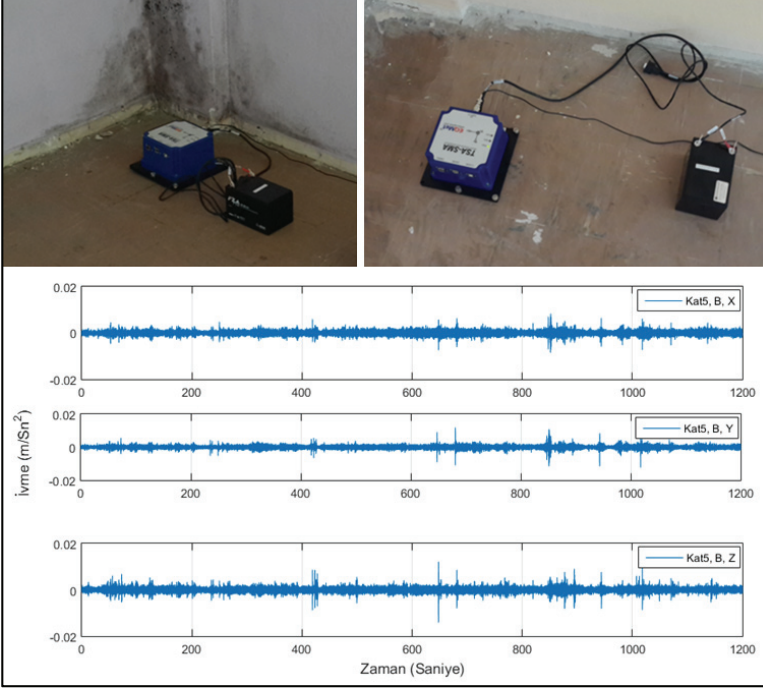
şeklinde tanımlanmaktadır. Burada $[G_{xx}(w)]$ ve $[G_{yy}(w)]$ etki ve tepki sinyallerine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonlarını, $[H(w)]$ ise frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. Bu ifadedeki * ve T fonksiyonların eşlenik ve transpozisini göstermektedir. Bu bağıntıda etkinin beyaz gürültü olduğu varsayılarak etki sinyaline ait spektral yoğunluk fonksiyonu sabit alınmıştır. Tepki sinyaline ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu, tekil değer ayrışımı gerçekleştirilerek ayrık değerler olarak,

$$G_{yy}(jw_i) = U_i S_i U_i^H \quad (2)$$

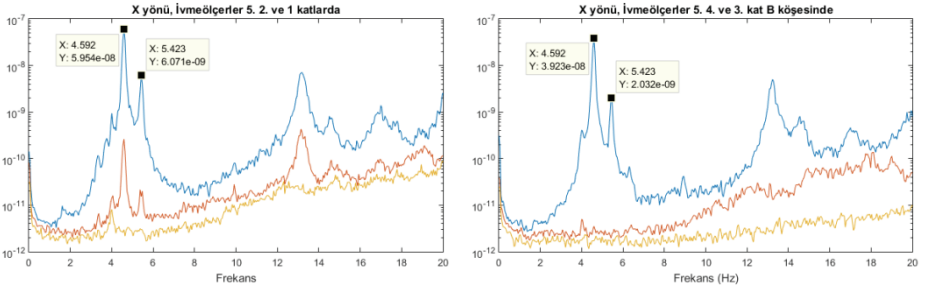
şeklinde verilmektedir. Burada; U_i , u_{ij} tekil vektörlerinden (mod vektörlerinden) oluşan birim matrisi, S_i , s_{ij} tekil değerlerden (öz değerlerden) oluşan diyagonal matrisi göstermektedir. Bu yöntemde yapıyı titreştirmek amacıyla uygulanan kuvvetin genliği ve zamanla değişimi tam olarak bilinemediğinden dolayı, ölçümler yapının ölçüm yapılan frekans aralığında tahrik edilmesini temin edebilecek kadar uzun süreli alınmalıdır. Ölçümlerde sadece yapıya ait tepkiler zaman ortamında belirli noktalardan ölçülmekte ve farklı yöntemler kullanılarak yapı dinamik parametreleri elde edilmektedir [8, 10].

Çalışma kapsamında Matlab programının SVD (Singular Value Decomposition) ve CPSD (Cross Power Spectral Density) fonksiyonlarından yararlanılmıştır [17]. Eş zamanlı dinamik ölçümler üç adet ivmeölçerle gerçekleştirildiğinden üzerinde çalışılan ve daha önce açıklanan matrisler 3x3 boyutundadır. Analizler X ve Y yönleri için ayrı ayrı yürütülmüştür. Şekil 5 ve Şekil 6 binada, beşinci kat B köşesi referans noktası olarak alındığında, ivmeölçerlerin 5. 2. ve 1. katlarda ve 5. 4. ve 3. katlarda olmaları ölçüm setlerinde, elde edilen CPSD matrislerinin tekil değerlerini X ve Y yönleri için göstermektedirler.

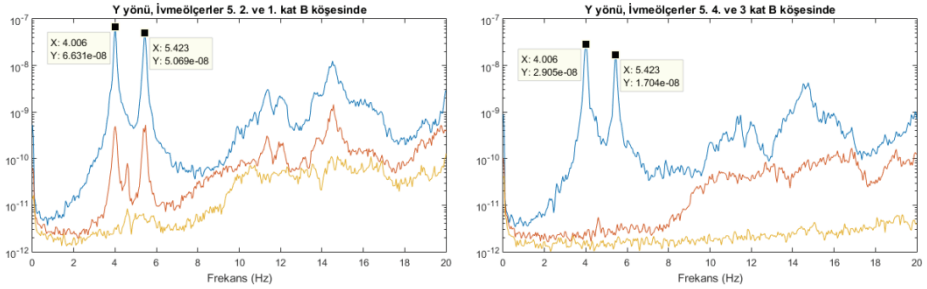
Frequency domain decomposition methodunun binanın birinci modunu Y tönünde 4,01 Hz'lik frekansla, ikinci modunu X yönünde 4,59 Hz frekansla verdiği açıkça görülmektedir. Ayrıca her iki yönde de ikinci baskın frekans olarak 5,42 Hz'lik değer dikkat çekmektedir. Bu ortak tepe noktası, binanın her iki doğrultuda da modal yer değiştirmeye sahip olduğunun göstergesidir. Bu ise, açıkça bu frekansta, binanın burulma moduna sahip olduğunun göstergesidir. Bir başka değişle binanın üçüncü modu 5,42 Hz'lik frekansla burulma modu olarak tespit edilmiştir. Bu yöntemle elde edilen mod şekilleri B köşesi boyunca Şekil 7'de gösterilmiştir. Mod şekillerinin tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Binanın diğer modları 10 Hz'in üzerindeki frekans değerlerinde tespit edilebilir. Ancak çalışılan yapının genel özellikleri nedeniyle bu modlar yapının davranışını belirlemede çok önemli değildir.



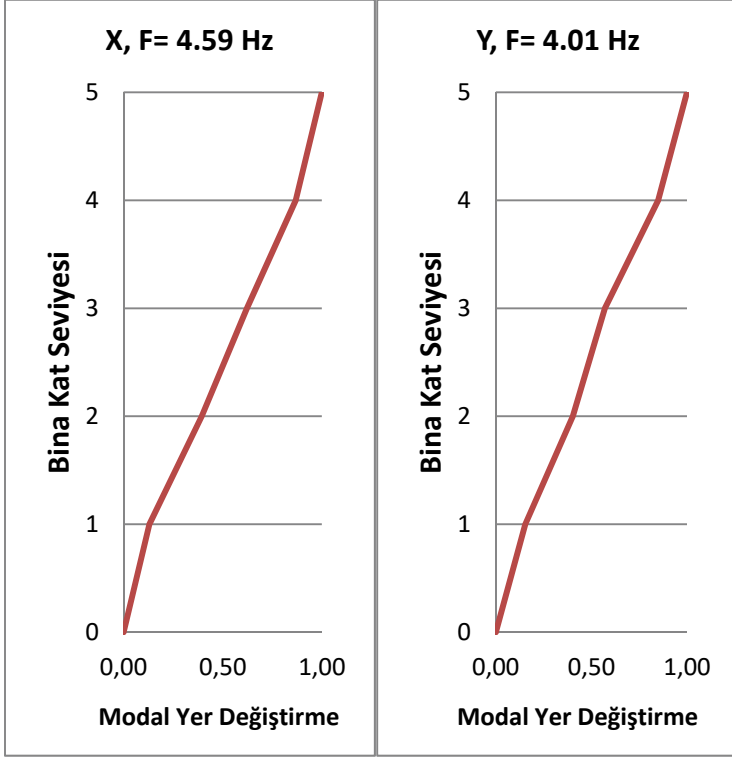
Şekil 4. Binadan titreşim ölçümlerinin alınması ve 5. Kat B köşesinden alınan ivme ölçümlerinin X, Y ve Z yönündeki değerleri



Şekil 5. B köşesi için X yönünde elde edilen CPSD Matris tekil değerleri (iki set ölçüm)



Şekil 6. B köşesi için Y yönünde elde edilen CPSD Matris tekil değerleri (iki set ölçüm)



Şekil 7. FOA yöntemi ile elde edilen mod şekilleri

4. ZEMİN KAT BÖLME DUVARLARIN YIKILMASI

Çalışmanın genel hedefi betonarme yapılarda duvar etkilerini titreşim analizleri ile incelemek olduğu için binanın duvarsız halinin elde edilmesi gerekmiştir. Bu nedenle zemin kattaki tüm bölme duvarlar, içinde buldukları çerçevelerden 10 – 15 cm aralıkla ayrılmıştır.



Şekil 8. Duvar ayırma sonrasında yapı içinden görünüş

Ayırma işlemi darbe etkisi yaratan ve duvarların kırılmasını sağlayan aletlerle yapılmış ve betonarme çerçevenin zarar görmemesine özen gösterilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9 binada gerçekleştirilen duvar – betonarme çerçeve ayırma işlemini göstermektedir. Uygulanan ayırma işleminden sonra duvarlar insan gücüyle bile düzlemleri dışında oynatılabilecek duruma gelmiştir.



Şekil 9. Duvar ayırma işlemi sonrası yapının dışarıdan görünüşü

5. ZEMİN KATINDA BÖLME DUVARLARI OLMAYAN BİNADA ÇEVRESEL TİTREŞİM ANALİZİ

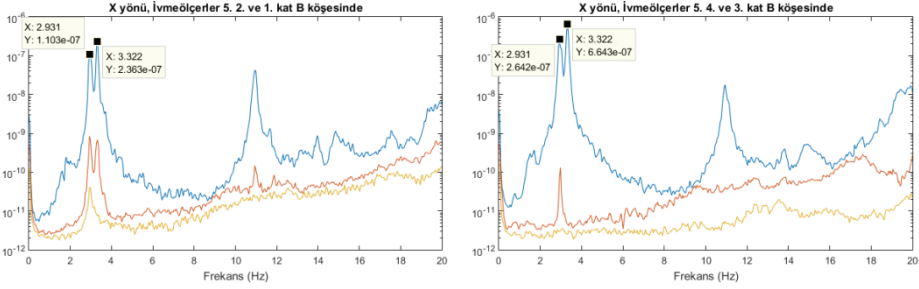
Bina zemin katında gerçekleştirilen duvar ayırma işleminden sonra binadan titreşim kayıtları alınmıştır (Şekil 10). Kayıtlar ve yöntemle ilgili tüm detaylar, binanın mevcut durumu (zemin kat bölme duvarları yıkılmadan önceki durum) için uygulananlarla aynıdır.



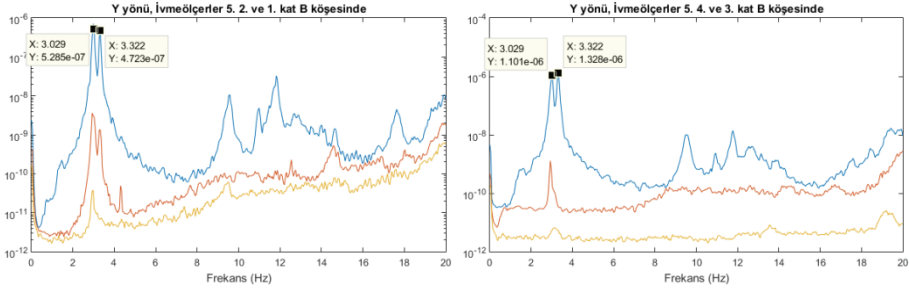
Şekil 10. Zemin katında bölme duvarları etkisizleştirilmiş binadan titreşim kayıtlarının alınması

Binanın zemin katında bulunan duvarların ayrılmasından sonra alınan ivme kayıtları FOA metodu ile değerlendirilmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12 binada beşinci kat B köşesi referans

noktası olarak alındığında ivmeölçerlerin 5. 2. ve 1. katlarda ve 5. 4. ve 3. katlarda olmaları ölçüm setlerinde elde edilen CPSD matrislerinin tekil değerlerini X ve Y yönleri için göstermektedirler. Buna göre X yönünde 0 – 10 Hz aralığında, 2,93 Hz ve 3,32 Hz frekans değerlerinde iki adet baskın frekans elde edilmiştir. Binanın Y yönünde ise, 0 – 10 Hz aralığında, 3,03 Hz ve 3,32 Hz değerlerinde iki adet baskın frekans elde edilmiştir. Buna göre binanın ilk modu X yönünde hareket, ikinci modu Y yönünde hareket, üçüncü modu ise burulma modu olarak tanımlanabilir. Bu yöntemle elde edilen mod şekilleri B köşesi boyunca Şekil 13'te gösterilmiştir. Mod şekillerinin tepe noktası deplasmanı bir olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Binanın 4. ve diğer yüksek modları 10 Hz'in üzerinde tespit edilmiştir.



Şekil 11. Zemin katı duvarsız binada B köşesi için X yönünde elde edilen CPSD matris tekil değerleri (iki set ölçüm)



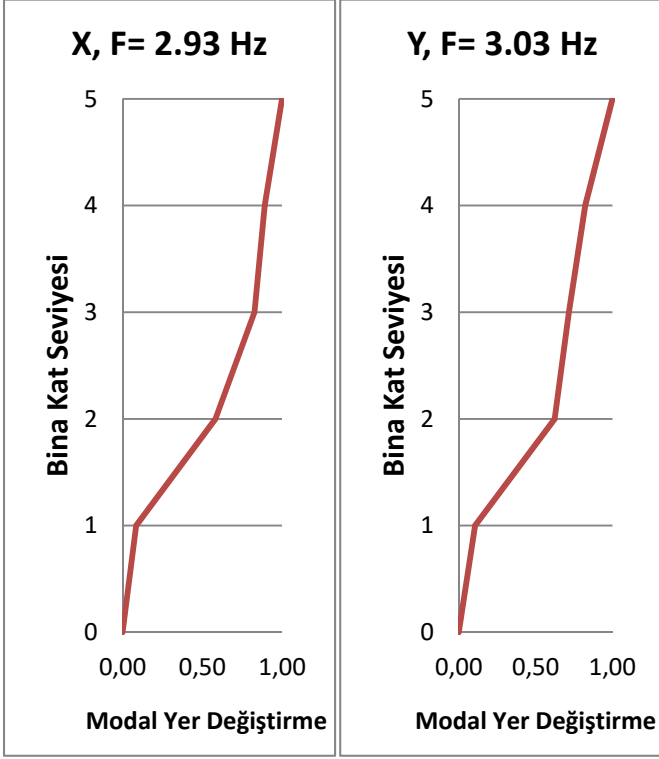
Şekil 12. Zemin katı duvarsız binada B köşesi için Y yönünde elde edilen CPSD matris tekil değerleri (iki set ölçüm)

6. DUVARLI VE DUVARSAZ BİNANIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Betonarme yapılarda kullanılan bölme duvarların, yapıların dinamik özelliklerine olan etkilerini ortaya çıkarmaya yönelik yürütülen bu çalışmada açıklandığı üzere gerçekleştirilen deneyler ve analizler çalışmanın amacına tam olarak ulaşmasını sağlamıştır.

Binanın orijinal ve zemin katında bölme duvarları olmadığı hali için ayrı ayrı gerçekleştirilen dinamik tanımlama sonuçları Şekil 7 ve Şekil 13'ün doğrudan karşılaştırılması ile görülebilir. Buna göre orijinal binanın birinci modu Y yönünde 4,01 Hz, ikinci modu X yönünde 4,59

Hz, üçüncü mod ise burulma olarak 5,42 Hz'lik frekansla elde edilmiştir. Zemin katında bölme duvarları kaldırılan binada yapılan analizlere göre, binanın birinci mod X yönünde 2,93 Hz, ikinci modu Y yönünde 3,03 Hz, üçüncü modu ise burulma olarak 3,32 Hz'lik frekansla elde edilmiştir. Binanın her iki hali için belirlenmesi mümkün olan yüksek modlar 10 Hz'den büyük frekans değerleri ile elde edilmiş ve bina genel davranışını temsil etmemelerinden dolayı değerlendirme dışı bırakılmıştır.



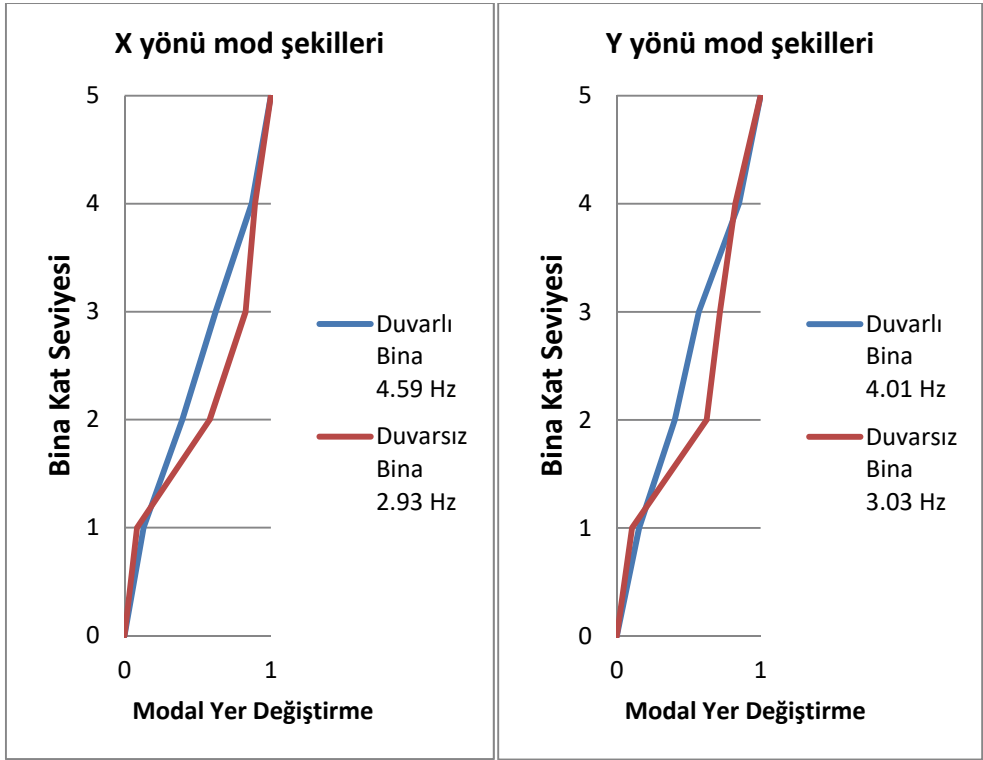
Şekil 13. Zemin katında bölme duvarları olmayan binanın FOA ile elde edilen mod şekilleri

Elde edilen titreşim frekanslarına göre bölme duvarların yapı rijitliğine olan katkısı açıktır. Yürütülen deneysel çalışma sonuçları yapı periyoduna bağlı olarak da değerlendirilebilir. Buna göre yapı zemin katında bulunan bölme duvarların kaldırılması yapının X yönündeki periyodunu 0,218 saniyeden 0,341 saniyeye çıkarmıştır. Ayrıca yine aynı nedenden dolayı yapının Y yönündeki periyodu 0,25 saniyeden 0,33 saniyeye çıkmıştır. Yapının burulma modu periyodu ise 0,184 saniyeden 0,301 saniyeye çıkmıştır.

Yapının zemin katında bulunan bölme duvarların, yapı frekansını etkileme durumlarının daha iyi anlaşılması için bölme duvar kaynaklı frekans artırma oranı, Δ_i , her mod için Denklem 3 ile hesaplanabilir. Bu denklemde $f_{Duvarlı}$, zemin katında bölme duvarları olan yapının titreşim frekansını, $f_{Duvarsız}$ ise zemin katında bölme duvarları olmayan yapının titreşim frekansını göstermektedir.

$$\Delta_i = \frac{f_{Duvarlı} - f_{Duvarsız}}{f_{Duvarsız}} \quad (3)$$

Elde edilen sonuçlara göre zemin kat bölme duvarları yapının X yönündeki frekansını % 57 artırmaktayken bu oran Y yönü için % 32, burulma modu için ise % 63'tür. Elde edilen bu değerler literatürde karşılaşılan diğer çalışmaların sonuçlarına [3, 7, 11, 12] göre daha yüksektir. Yürütülen çalışmada, ilk önce 30 yaşlarında olan betonarme bir binanın duvarlı halinin test edilmesi, daha sonra binanın zemin katında bulunan bölme duvarların yıkılması ve testlerin tekrarlanması nedeniyle tüm gerçekçi koşulların elde edildiği açıktır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, zamana bağlı malzeme davranışı ve gerçek servis yükleri nedeniyle betonarme çerçeveler ve duvarlar arasındaki bağ ve etkileşimi tam olarak içermektedir. Bölme duvar etkilerinin incelenmesinde önemli olan bu parametrelerin göz önüne alınması belirlenen etkiyi beklediği üzere daha yüksek göstermektedir.



Şekil 14. Binanın iki durumu için elde edilen mod şekilleri

Kat seviyelerinde elde edilen modal yer değiştirmelerin değerlendirilmesi durumunda, orijinal binada bu değerlerin kat seviyesine bağlı olarak düzgüne yakın bir şekilde arttığı görülmektedir. Ancak, zemin katında bölme duvarları kaldırılmış binada modal yer değiştirmelerin birinci ve ikinci kat seviyeleri arasında diğer katlara göre çok fazla arttığı açıkça görülmektedir. Duvar kaldırma işleminin yapıldığı zemin kata denk gelen bu bölümde

belirlenen yüksek görelî modal yer değiştirme farkı rijitlik azalmasının ve bölme duvarların yapı davranışına olan etkisinin en önemli göstergesidir. Şekil 14 binanın zemin katında bölme duvarların olması ve olmaması durumları için X ve Y yönündeki mod şekillerini göstermektedir. Yürürlükteki Türk Deprem Yönetmeliği'nde [18] açıklanan ve yapılmasından kaçınılması önerilen düzensiz bina tanımlamalarından, katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat düzensizliği) durumunun bölme duvarların kaldırılmasından sonra açıkça ortaya çıktığı görölmektedir. Bu durum aşağıdaki bölümde detaylı olarak incelenmiştir.

7. KOMŞU KATLAR ARASI RİJİTLİK DÜZENSİZLİğİNİN İRDELENMESİ

Türk Deprem Yönetmeliği'nde [18], komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'nci kattaki ortalama kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesiyle elde edilen katsayının (η_{ki}) 2'den fazla olma durumu olarak tanımlamıştır.

Binanın orijinal ve zemin katının duvarsız hali için elde edilen ve Şekil 14'de gösterilen modal yer değiştirmeler, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği kontrolü için kullanılabilir. Özellikle düzenli taşıyıcı sisteme ve dikdörtgen geometriye sahip binalarda deprem kuvvetleri altında oluşan görelî yanal ötelenmeler, binanın dinamik mod şekillerine yakın hesaplanır. Bu kabulde, Tablo 1 mevcut duvarlı binanın, Tablo 2 ise zemin katında duvar bulunmayan binanın yumuşak kat düzensizliği kontrolünü göstermektedir. Tablolarda h_i : kat yüksekliğini, ϕ_i : kat modal yer değiştirmesini, $\Delta\phi_i$: kat görelî modal yer değiştirmesini ve η_{ki} : kat rijitlik düzensizliği katsayısını göstermektedir. Düzenlenen tabloda η_{ki} üst kat görelî modal yer değiştirme oranının alt kat görelî modal yer değiştirme oranına oranı olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle Rijitlik Düzensizliği Katsayısının 2'den büyük ve 0,5'den küçük olma halleri komşu katlar arasında rijitlik düzensizliğinin varlığına işaret etmektedir.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre duvarlı binada zemin ve bodrum kat görelî modal yer değiştirmelere göre hesaplanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı X ve Y yönlerinde 2 değerini aşarak yumuşak kat düzensizliğinin varlığına işaret etmiştir. Hesaplanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı 2,72 ve 2,17'dir. Diğer katlar arasında rijitlik düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 1. Duvarlı binada komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin kontrolü

Kat	h_i	Duvarlı Bina - X Yönü				Duvarlı Bina - Y Yönü			
		ϕ_i	$\Delta\phi_i$	$\Delta\phi_i / h_i$	η_{ki}	ϕ_i	$\Delta\phi_i$	$\Delta\phi_i / h_i$	η_{ki}
5	2.9	1.000	0.132	0.045	0.535	1.000	0.151	0.052	0.541
4	2.9	0.868	0.246	0.085	1.080	0.849	0.279	0.096	1.664
3	2.9	0.622	0.228	0.079	0.863	0.570	0.168	0.058	0.675
2	2.9	0.394	0.264	0.091	2.722	0.403	0.248	0.086	2.162
1	3.9	0.130	0.130	0.033		0.154	0.154	0.040	

Tablo 2. Zemin katta duvar bulunmayan binada komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin kontrolü

Kat	h_i	Duvarsız Bina - X Yönü				Duvarsız Bina - Y Yönü			
		ϕ_i	$\Delta\phi_i$	$\Delta\phi_i / h_i$	η_{ki}	ϕ_i	$\Delta\phi_i$	$\Delta\phi_i / h_i$	η_{ki}
5	2.9	1.000	0.109	0.038	1.698	1.000	0.177	0.061	1.664
4	2.9	0.891	0.064	0.022	0.262	0.823	0.106	0.037	1.145
3	2.9	0.827	0.245	0.084	0.493	0.717	0.093	0.032	0.179
2	2.9	0.582	0.497	0.171	7.823	0.624	0.519	0.179	6.600
1	3.9	0.085	0.085	0.022		0.106	0.106	0.027	

Zemin katta bölme duvar bulunmayan binada zemin kat ve bodrum kat için hesaplanan Rijitlik Düzensizliği Katsayıları, X ve Y yönünde 7,82 ve 6,6 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle bölme duvarların komşu katlar arasında rijitlik düzensizliği kontrolünde dikkate alınması gerekliliği açıktır. Elde sonuçlar özellikle zemin katlarının ticari alanlar olarak kullanılması için bölme duvarsız olarak inşa edilen binalardaki düzensizlik durumlarının ortaya çıkarılması için önemlidir. Bina tasarımlarında kullanılan sayısal modeller genel olarak bölme duvarları ihtiva etmediğinden bu düzensizliğin kontrol edilmesinde de bölme duvarlar göz önüne alınmamaktadır. Bu durum önemli bir eksiklik olarak görülmektedir.

8. SONUÇLAR

Bölme duvarların betonarme yapıların dinamik özelliklerine olan etkisini ortaya çıkarmak için mevcut bir binanın deney numunesi olarak kullanılmasıyla yürütülen bu çalışmada önemli bulgular elde edilmiştir. Binanın mevcut halinin dinamik özellikleri çevresel titreşim analizleriyle elde edildikten sonra zemin katında bulunan bölme duvarları etkisizleştirilmiş ve dinamik özellikleri tekrar elde edilmiştir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar hiçbir varsayım ve kabule dayanmadan kesindir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Mevcut binanın birinci modu Y yönünde 4,01 Hz, ikinci modu X yönünde 4,59 Hz, üçüncü modu ise burulma olarak 5,42 Hz'lik frekansla elde edilmiştir. Aynı binanın zemin katında bölme duvarları kaldırıldıktan sonra, binanın birinci modu X yönünde 2,93 Hz, ikinci modu Y yönünde 3,03 Hz, üçüncü modu ise burulma olarak 3,32 Hz'lik frekansla elde edilmiştir.

Buna göre bölme duvarlar yapının rijitliğine önemli katkılar yapmaktadır. Buna göre, zemin katta bölme duvarların varlığı yapının X yönündeki frekansını 2,93 Hz'den 4,59 Hz'e çıkarmıştır ve bu fark %57'lik bir yükseliş ifade etmektedir. Aynı şekilde, zemin katta bölme duvarların varlığı yapının Y yönündeki frekansını 3,03 Hz'den 4,01 Hz'e çıkarmıştır ve bu fark % 32'lik bir yükselişe denk gelmektedir. Burulma modu için elde edilen frekans yükselişi % 63'tür.

Literatürde yürütülen diğer çalışmalara göre daha yüksek olarak elde edilen etki, yürütülen çalışmanın, gerçek bir binada yürütülen ve zamana bağlı malzeme davranışını tam içeren bir çalışma olması nedeniyle, özgünlüğü açısından önemlidir.

Binanın zemin katında bölme duvarların olması ve olmaması için elde edilen mod şekillerinin karşılaştırılması, bölme duvarların Türk Deprem Yönetmeliği'nde (2007) tanımlanan yumuşak kat düzensizliğinin kontrol edilmesinde oldukça etkili olduklarını göstermiştir. Özellikle zemin katlarının ticari amaçlarla kullanıldığı ve bu nedenle bölme duvarların olmadığı binalarda, yumuşak kat düzensizliğinin kontrolünde bölme duvar etkilerinin göz önüne alınmamasının hatalara neden olacağı açıktır.

Semboller

- $f_{\text{Düvarlı}}$: Zemin katı duvarlı binanın titreşim frekansı
 $f_{\text{Düvarsız}}$: Zemin katı duvarsız binanın titreşim frekansı
 $[G_{xx}(w)]$: Etki sinyallerine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonları
 $[G_{yy}(w)]$: Tepki sinyallerine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonları
 $[H(w)]$: Frekans davranış fonksiyonu
 h_i : Kat yüksekliği
 U_i : Tekil mod vektörlerinden oluşan birim matrisi,
 u_{ij} : Tekil mod vektörleri
 S_i : Tekil öz değerlerden oluşan diyagonal matrisi
 s_{ij} : Tekil öz değerler
 T : Transpoze operasyonu
 $*$: Eşlenik operasyonu
 Δ_i : Zemin kat duvarlarının neden olduğu modal frekans artışı
 $\Delta\phi_i$: Katlar arası görelî modal yer değiştirme
 ϕ_i : Modal yerdeğiştirme
 η_{ki} : Rijitlik düzensizliği katsayısı

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK, Kariyer Geliştirme Programı kapsamında yürütülen 214M235 numaralı proje içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca analizler için verilen destekten ötürü yazar, University of Alberta'dan, Dr. Mustafa Gül'e teşekkürü borç bilir.

Kaynaklar

- [1] Fiore, A., Netti, A., Monaco, P., The influence of masonry infill on the seismic behaviour of RC frame buildings, *Engineering Structures*, 44, 133–145, 2012.
- [2] Uva, G., Porco, F., Fiore, A., Appraisal of masonry infill walls effect in the seismic response of RC framed buildings: A case study, *Engineering Structures* 34, 514–526, 2012.
- [3] Köse, M. M. Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls, *Engineering Structures*, 31, 93-102, 2009.
- [4] Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., Noland, L., Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames, *J. Struct. Eng*, 122(3), 228–237, 1996.
- [5] Zarnic, R., Gostic, S., Crewe, A. J., and Taylor, C. A., Shaking table tests of 1:4 reduced-scale models of masonry infilled reinforcedconcrete frame buildings, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 30(6), 819–834, 2001.
- [6] Hashemi, A., and Mosalam, K. M., Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill Wall, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 35(14), 1827–1852, 2006.
- [7] Çankaya, M. A., Dynamic Behavior of Reinforced Concrete Frames with Infill Walls, MASTER Thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir, 2011.
- [8] Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık, A. C., Sevim, B., Şahin, A., Özcan, D. M., Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 5185-205, 2010.
- [9] Ewins, D. J., *Modal Testing: Theory and Practice*. John Wiley & Sons, New York, 1995.
- [10] Michel, C., Gueguen, P., and Bard, P.-Y., Dynamic parameters of structures extracted from ambient vibration measurements: An aid for the seismic vulnerability assessment of existing buildings in moderate seismic hazard regions, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 593–604, 2008.
- [11] Guler, K., Yuksel, E., and Kocak, A., Estimation of the fundamental vibration period of existing RC buildings in Turkey utilizing ambient vibration records. *J. Earthquake Eng.*, 12(S2), 140–150, 2008.
- [12] Soyoz, S., Taciroglu, E., Orakcal, K., Nigbor, R., Skolnik, D., Lus, H., Safak, E., Ambient and Forced Vibration Testing of a Reinforced Concrete Building before and after Its Seismic Retrofitting. *J. Struct. Eng*. 139:1741-1752, 2013.
- [13] ABYYHY, Afet Bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara, 1975.
- [14] Aras F., Frequency variation in construction stages and model validation for steel buildings, *Steel and Composite Structures*, 22, 647-662, 2016.
- [15] Aras F., Ambient and forced vibration testing with numerical identification for RC buildings, *Earthquakes and Structures*, 11, 809-822, 2016.

- [16] Brincker, R., Ventura, C., and Andersen, P., “Why output-only modal testing is a desirable tool for a wide range of practical applications” In 21st international modal analysis conference (IMAC), Kissimmee, Florida, 2003.
- [17] Matlab, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States, 2012.
- [18] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye, 2007.

TEKNIK NOT

Betonarme Kesitlerin Kapasite Momentlerinin Yaklaşık Hesabı

Uğur ERSOY¹
M. Emre ÜNAL²

ÖZ

Bu çalışmada betonarme kiriş ve kolon kesitlerinin kapasite momentlerinin yaklaşık hesabı için Deprem Yönetmeliği'nde yer alan öneriler tartışılmaktadır. Bu öneriler kullanılarak hesaplanan yaklaşık moment kapasiteleri daha gerçekçi, daha kesin hesaplarla elde edilenlerle karşılaştırılıp irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, kiriş, kolon, kapasite momenti, yaklaşık hesap.

ABSTRACT

Approximate Methods for Calculating Capacity Moments of Beam and Column Cross Sections

Recommendations are made in the Turkish Seismic Code for calculating approximate moment capacities of reinforced concrete beam and column cross-sections. Moments obtained using these recommendations are compared with those calculated using more exact methods.

Keywords: Reinforced concrete, beam, column, capacity moment, approximate moments.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada kiriş ve kolon kesitlerinin kapasite momentlerinin yaklaşık olarak saptanmasına yönelik Deprem Yönetmeliği'nde yer alan öneriler irdelenmektedir. Bu önerilerle elde edilen kapasite momentleri, çok daha gerçekçi yöntemlerle hesaplananlarla karşılaştırılmaktadır[1]. Bu çalışmada kiriş ve kolon kesitlerinin daha kesin kapasite momentleri (M_p), Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen sargı donatısına sahip kesitler için, donatıdaki pekleşme dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Kapasite momentinin hesabında "SARGILI.xls" yazılımı kullanılmıştır[2]. Bu yazılımda sargılı ve sargısız beton için Kent

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 06.12.2017 günü ulaşmıştır. 31.01.2018 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2018 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• DOI: 10.18400/tekderg.369100

1 Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - ugur.ersoy@boun.edu.tr

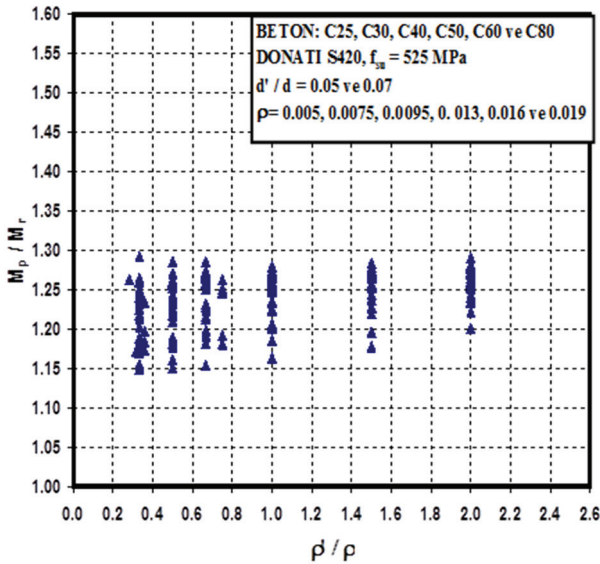
2 Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - emre.unal@boun.edu.tr

ve Park modelleri kullanılmıştır. Donatı çeliği için ise pekleşmeli elasto-plastik model kullanılmış, pekleşmenin 0.01 birim deformasyonda başladığı varsayılmıştır.

2. DİKDÖRTGEN KİRİŞ KESİTLERİNİN KAPASİTE MOMENTİ M_p 'NİN YAKLAŞIK HESABI

Deprem Yönetmeliğinde kirişlerdeki en büyük kesme kuvveti hesaplanırken düşey yükün yanı sıra iki uçtaki momentlerin de dikkate alınması gerekmektedir[1]. Doğal olarak kirişte oluşan en büyük kesme kuvveti hesaplanırken kiriş uçlarında oluşacak momentlerin de maksimum olması gerekir. Başka bir deyişle sözü edilen moment, sargı etkisi ve pekleşmeyi de içeren beton ve çelik modellerinin kullanıldığı yazılımlardan elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden belirlenen en büyük moment olmalıdır. “Kapasite Momenti” olarak tanımlanan bu moment M_p olarak gösterilecektir.

Deprem yönetmeliğinde kapasite momentinin yaklaşık olarak taşıma gücü momentini 1.4 ile çarpılarak elde edilebileceği belirtilmektedir[1]. Şekil-1’de moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen kapasite momentinin, taşıma gücü momentine oranının ρ'/ρ oranı ile değişimi gösterilmiştir.

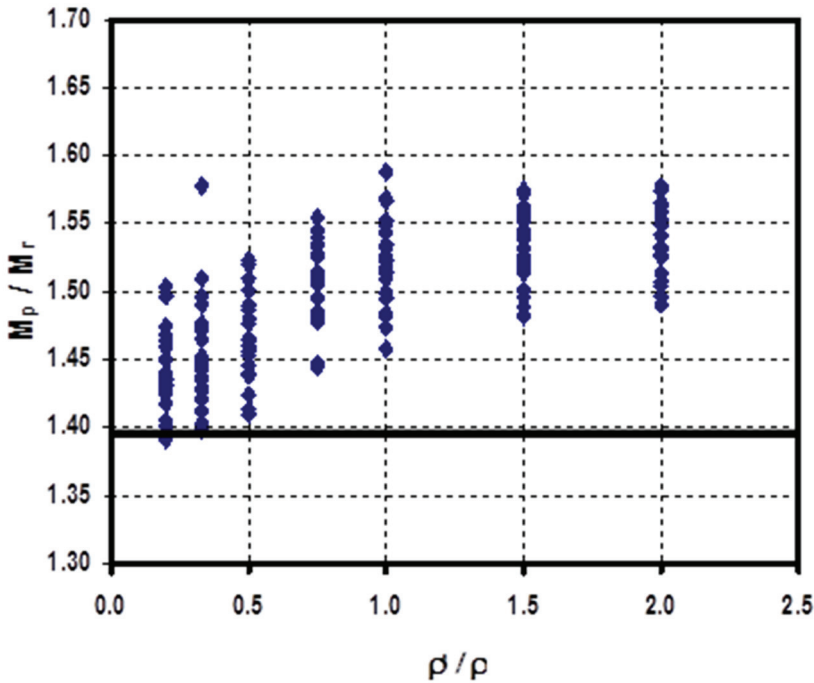


Şekil 1. M_p/M_r oranının ρ'/ρ oranı ile değişimi

Şekil-1’in oluşturulmasında altı beton sınıfı, altı çekme donatısı oranı dikkate alınmıştır. Görüldüğü gibi M_p/M_r oranı 1.15 ile 1.3 arasında değişmektedir. M_r , kiriş kesitinin malzeme hesap dayanımları kullanılarak hesaplanan taşıma gücü momentidir. Bu durumda yönetmelikteki 1.4 çarpanının fazla güvenli tarafta kaldığı sonucuna varılabilir. Ancak Deprem Yönetmeliği’nde donatı çeliğinin deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının, ilgili çelik standartlarında öngörülen karakteristik akma dayanımının 1.3

katından daha fazla olamayacağı belirtilmektedir[1]. Kapasite momenti oluşabilecek en büyük moment olarak tanımlandığından, donatı akma dayanımında izin verilen bu artış dikkate alınmalıdır. Şekil-2'deki M_p değerleri $f_y=1.3f_{yk}$ temel alınarak hesaplanmıştır.

Şekil-2'de görüldüğü gibi, donatı akma dayanımı artırılınca M_p/M_r oranlarının alt sınırı 1.4 olmaktadır. Bu durumda Deprem Yönetmeliği'nde önerilen 1.4 çarpanının güvenli sonuç vermediği ve bu çarpanın artırılması gerektiği söylenebilir. Bu konuda bir karara varmadan önce ülkemizde üretilen donatı çeliği ile ilgili yapılmış deneysel bir çalışmaya göz atmakta yarar vardır. Bu çalışmada S420 donatı çeliğinden alınan 1698 numuneye çekme deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçları değerlendirildiğinde numunelerin yaklaşık %10'unda $f_y>1.3f_{yk}$ ve %20'sinde ise $f_y>1.2f_{yk}$ olduğu gözlenmiştir[3]. Bu istatistiksel çalışmadan elde edilen sonuçlar ve Şekil-2 göz önüne alındığında, çarpanın en az 1.5 olmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır

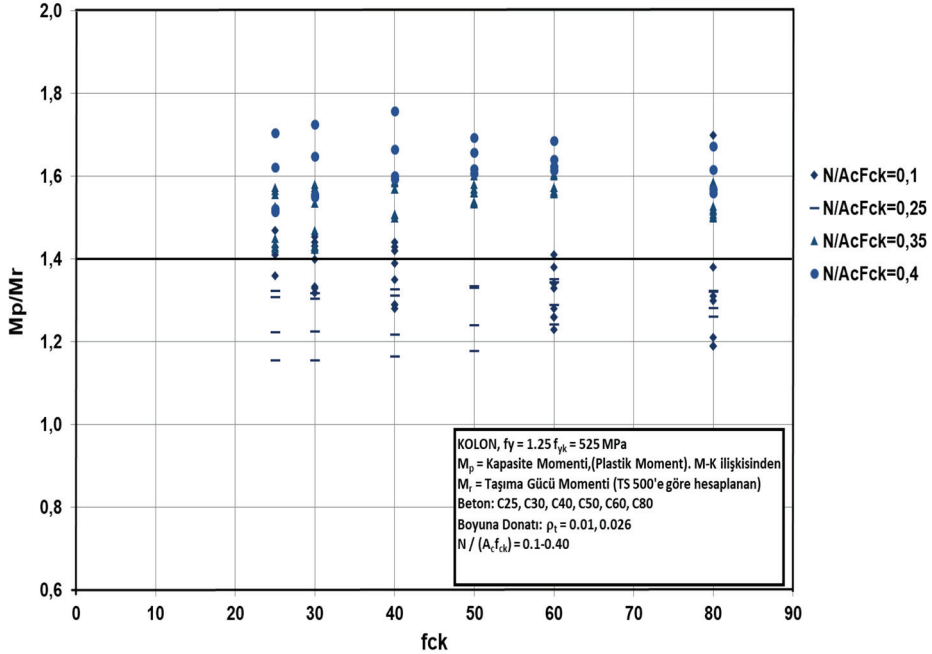


Şekil 2. M_p/M_r oranının ρ'/ρ oranı ile değişimi

3. DİKDÖRTGEN KOLON KESİTLERİNİN KAPASİTE MOMENTİ M_p 'NİN YAKLAŞIK HESABI

Türk Deprem Yönetmeliği'nde en büyük kolon kesme kuvveti hesaplanırken birleşimdeki kirişlerin kapasite momentlerinin kullanılmasına izin verilmektedir. Güvenli tarafta kalacak daha basit bir hesap yöntemi olarak da kesme kuvveti hesabında kolon kapasite momentlerinin temel alınabileceği belirtilmektedir. Aynı yönetmelikte kolon kesitlerinin kapasite momentlerinin yaklaşık olarak kolon kesitin taşıma gücü momentinin 1.4 ile

çarpılması ile hesaplanabileceği belirtilmektedir. Şekil-3'te çeşitli kolon kesitlerinin kapasite momentlerinin taşıma gücü momentine oranının (M_p/M_r) beton dayanımına göre değişimi gösterilmiştir. M_p hesaplanırken donatı akma dayanımı $1.3f_{yk}$ alınmıştır. Şekil-3'te boyuna donatı oranı $\rho_t = 0.01-0.026$, eksenel yük düzeyi de ($N_d/A_c f_{ck}$) 0.1-0.4 olan kesitler ele alınmıştır. Şekilden görülebileceği gibi M_p/M_r oranı yaklaşık 1.2 ile 1.8 arasında değişmektedir. Depremde kolona etkiyen en büyük kesme kuvveti M_p ile hesaplanacağından, yaklaşık hesapta $M_p = 1.4M_r$ yerine $M_p = 1.5M_r$ veya $M_p = 1.6M_r$ kullanılmasının daha uygun olacağı söylenebilir.



Şekil 3. Kolonlarda M_p/M_r oranının beton dayanımına göre değişimi

4. SONUÇ

Bu çalışmada kiriş ve kolon kesitlerinin kapasite momentlerinin taşıma gücü momentlerine oranı irdelenmiştir. Kapasite momentleri moment-eğrilik ilişkisinden, donatı akma dayanımı %30 artırılarak hesaplanmıştır. Taşıma gücü momentleri ise TS 500'e göre hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kiriş kesitlerinde kapasite momentinin taşıma gücü momentine oranı yaklaşık 1.4 ile 1.6 arasında değişmektedir. Deprem Yönetmeliği'nde bu oranın 1.4 alınması önerilmektedir. Yazarlar oranın 1.5 olmasının daha uygun olacağı kanısındadır.
- Kolon kapasite momentinin taşıma gücü momentine oranının yaklaşık 1.2 ile 1.8 arasında değiştiği gözlenmiştir. Deprem yönetmeliğinde bu oran 1.4'tür. Yazarlar oranın 1.5 veya 1.6 alınmasını önermektedir.

Semboller

A_c – beton kesit alanı

A_{st} – kesitteki toplam donatı alanı

b – kesit genişliği

d – kesitin faydalı yüksekliği

d' – basınç donatısının kesit kenarına olan uzaklığı

f_{cd} – betonun hesap basınç dayanımı

f_{ck} – betonun karakteristik basınç dayanımı

f_y – donatı çeliği akma dayanımı

f_{yd} – donatı çeliği hesap akma dayanımı

f_{yk} – donatı çeliği karakteristik akmadayanımı

M_p – betonarme kesitin kapasite momenti

M_r – kiriş kesitinin taşıma gücü momenti

N_d – kesite uygulanan aksinel kuvvet

ρ – kiriş çekme donatısı oranı

ρ' – kiriş basınç donatısı oranı

ρ_t – kesitteki toplam donatı oranı

Kaynaklar

- [1] “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik,” Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007, Ankara
- [2] Ersoy, U., Özcebe, G., “Betonarme” Evrim Yayınları, 2001, İstanbul
- [3] M., Tangüler, “Yapı Denetim Sistemi Kapsamında Elde Edilen Çelik Çekme Deneysel Sonuçlarına Dair Bir İrdeleme,” İMO Mühendislik Haberleri 481, Ankara, 2014

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 yalın 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. Aynı 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

Sürücü Davranışlarının Sinyalize Kavşak Başarımı Üzerindeki Etkisi.....	8563
Serhan TANYEL, Mehmet KOYUNCU, S. Pelin ÇALIŞKANELLİ	
Türkiye’de Devlet Karayollarında Kaza Oranlarının ve Kaza Örüntüsünün Analizi.....	8589
Murat ÖZEN, Fikret ZORLU	
Tsunami Afeti Sonrası Yapısal ve Yapısal Olmayan Önlemler ve Farkındalık Çalışmaları: Japonya Örneği.....	8605
Hasan Gökhan GÜLER, Ceren ÖZER SÖZDİNLER, Taro ARIKAWA, Ahmet Cevdet YALÇINER	
Borulu Sulama Şebekeleri Optimizasyonu.....	8631
Gökhan MARIM, Yakup DARAMA, Zafer BOZKUŞ	
Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylerle Araştırılması.....	8651
Fuat ARAS	
TEKNİK NOT	
Betonarme Kesitlerin Kapasite Momentlerinin Yaklaşık Hesabı.....	8669
Uğur ERSOY, M. Emre ÜNAL	