

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER



EDİTÖR

Doç. Dr Engin ÖZDEMİR

ARALIK 2025

YAYLIK 5022

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / Aralık 2025 - Ankara
ISBN / 978-625-8570-41-0

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
0312 384 80 40
www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro
Sertifika No: 42488

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE
DEĞERLENDİRMELER**

ARALIK 2025

EDİTÖR

Doç. Dr Engin ÖZDEMİR

gece
kitaplığı

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ARCGIS TABANLI HAVZA ANALİZİ İLE HİDROLOJİK SÜREÇLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Meral KORKMAZ 7

BÖLÜM 2

YANAL HAREKETSİZ ÇERÇEVELERDE KANİ YÖNTEMİ

Mehrzađ MOHABBİ , Fethi İŞSEVER 23

BÖLÜM 3

FARKLI VİDA KAZIKLAR İÇİN KAZIK PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Umud DAĞLI , Bahadır OK , Sami DÖNER 35

BÖLÜM 4

TRABZON KENT MERKEZİ OTOGAR YAPISININ ULAŞIM AĞINA ETKİSİ

Erman ÇAVDAR , Ayşegül ÇELENK ÇAVDAR 45

BÖLÜM 1

ARCGIS TABANLI HAVZA ANALİZİ İLE HİDROLOJİK SÜREÇLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Meral KORKMAZ¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Munzur Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 62000, Tunceli, Türkiye meralkorkmaz@munzur.edu.tr ORCID(s): 0000-0001-5689-2560

1. GİRİŞ

Hidrolojik çalışmalarda akarsuların incelenmesi, suyun doğal çevrimini anlamak açısından temel bir gerekliliktir. Akarsu sistemleri, bulundukları bölgelerin topografyası tarafından belirlenen doğal sınırlar çerçevesinde havzalara ayrılır ve her havza kendi içinde bütüncül bir hidrolojik birim oluşturur. Bu nedenle havzaların doğru biçimde belirlenmesi; su kaynaklarının sürdürülebilir planlanması, taşkın riskinin azaltılması, kentsel altyapı projelerinin sağlıklı yürütülmesi ve dere yataklarında ortaya çıkan çevresel sorunların çözümünde kritik bir rol oynar. Havza ölçeğinde yapılan analizler, doğal drenaj ağlarının yapısını ortaya koyarak hem ekolojik süreçlerin hem de insan faaliyetlerinin su rejimi üzerindeki etkilerini bilimsel olarak değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır (Görgülü, 2021).

Havzalardaki çevresel sorunların çözümünde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yazılımlar havza analizi yapılmasında kullanılmaktadır. Özellikle hidrolojik sorunların çözümünde bu yazılımlar büyük önem taşımaktadır (Garipağaoğlu ve Uzun 2021). Yeryüzü şekillerinin, ekosistem bileşenlerinin, iklimsel koşulların ve arazi kullanımının mekânsal olarak analiz edilebilmesi, coğrafi araştırmaların en önemli adımlarından biridir. Günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve özellikle ArcGIS yazılımı, geniş ölçekli doğal çevre analizlerinin hızlı, doğru ve bütüncül bir biçimde gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır (Isioye, 2012). CBS temelli analizlerin temelini oluşturan Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM), kökeni 1950’li yıllarda geliştirilen Sayısal Arazi Modeli (DTM) kavramına dayanan ve arazi yüzeyinin üç boyutlu yapısını ayrıntılı biçimde temsil eden en önemli veri setlerinden biridir. DEM, arazi üzerinde kare veya altıgen gibi düzenli desenlerle yükseklik değerlerinden oluşan bir dizinin oluşturulmasını içerir. DTM, yalnızca gerçek zemin yüksekliğini ifade ederken, DEM her yerde maksimum yükseklik değerini temsil eder. DEM, son 25 yılda arazi ve arazi unsurlarının yükseklikle birlikte anlık görüntüsünü sağlayan yaygın bir araç hâline gelmiştir (Shingare, 2013). DEM verileri; eğim, bakı, yükseklik, drenaj ağları, erozyon hassasiyeti ve ekolojik uygunluk gibi pek çok mekânsal parametrenin üretilmesinde temel bileşendir (Wilson, 2000; Nardi, 2008).

Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM), arazi yüzeyinin sayısal olarak temsil edilmesini sağlayan ve jeomorfik ile hidrolojik özelliklerin çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan temel veri modelleridir (Barnes, 2014). Ancak DEM’lerde sıkça karşılaşılan çukurlar ve düzlükler, akış yönü tanımlama ve sınır hücrelerine sürekli drenaj sağlama gerekliliklerini bozarak analizlerin doğruluğunu önemli ölçüde düşürmektedir. Bu sorunların giderilebilmesi için çukurların doldurulması veya yarıma yöntemleriyle çözülmesi gerekmekte olup, giderek artan yüksek çözünürlüklü verilerin işlenebilmesi adına daha verimli algoritmaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Barnes, 2014).

Chen vd. tarafından önerilen spill-line tabanlı uyarlanabilir algoritma, özellikle çukur alanlarda oluşan anormal akış yönü sorunlarını etkili biçimde gidermeyi hedeflemektedir. Bu yöntem, araziye uyumlu inceltme (terrain-adaptive thinning) mantığıyla spill-line çizgilerinin doğal vadileri takip etmesini sağlayarak çöküntülerin doğru şekilde ortadan kaldırılmasına imkân verir. Çalışma, DEM verilerinin hidrolojik analizlerde daha güvenilir sonuçlar üretmesini sağlayan gelişmiş bir ön işleme yaklaşımı sunmaktadır (Chen, 2025).

Bunun yanı sıra Barnes vd. tarafından geliştirilen Priority-Flood algoritması, DEM üzerindeki çukur alanların doldurulmasına yönelik en etkili ve en hızlı yöntemlerden biri olarak literatürde önemli bir yer edinmiştir. Algoritma, araziye dış sınırlarından iç kısımlara doğru bir öncelik kuyruğu (priority queue) kullanarak “su basma” mantığıyla işler ve her hücrenin mutlaka bir drenaj çıkışı olacak şekilde

sayısal yükselti modelini düzelterek tüm çöküntüleri ortadan kaldırır. Hem tamsayı hem de kayan noktalı verilerde optimal zaman karmaşıklığına ulaşması, onu diğer depresyon doldurma yöntemlerinden daha hızlı ve verimli kılmaktadır. Ayrıca algoritmanın varyasyonları, drenaj ağlarının belirlenmesi, havza etiketleme ve akış yönü çıkarımı gibi hidrolojik analizlerin doğruluğunu artıran ek işlevler sunmaktadır (Barnes, 2014).

Nardi ve çalışma arkadaşları, DEM tabanlı drenaj ağlarının oluşturulmasında düz alanların önemli bir sorun oluşturduğunu vurgulayarak, düz alan giderme ve akış yönü algoritmalarının sonuçlar üzerindeki etkisini değerlendiren fiziksel temelli bir düzeltme modeli önermiştir (Nardi, 2008). Martz ve Garbrecht (1998), DEM tabanlı otomatik drenaj analizlerinde çukurlar ve düz alanların ele alınışına yönelik mevcut varsayımların yetersiz olduğunu belirterek hem yüksek hem de düşük kotlu hücrelerin etkisini dikkate alan ve çukurları yarma (breaching) temelli iki yeni algoritma önererek daha gerçekçi akış yönleri üreten bir yaklaşım geliştirmiştir. Planchon ve Darboux (2002), geleneksel çukur doldurma yöntemlerinin aksine yüzeyi önce suyla kaplayıp ardından fazla suyu geri çekme prensibiyle çalışan, hızlı, basit, uygulanabilirliği yüksek ve çeşitli yüzey eğimlerine uyarlanabilen yenilikçi bir çukur doldurma algoritması geliştirmiştir.

Mevcut çalışmaların da ortaya koyduğu üzere, veri çıkarımı, yönetimi, mekânsal analiz ve haritalama süreçleri; ekohidrolojik bilgi sistemlerinin oluşturulmasında temel bileşenlerdir. Hidrolojik analizlerin ana veri kaynağı olan Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM), GRID, TIN ve vektör tabanlı DLG formatlarında üretilmekte ve akış yönü, akış birikimi, akış uzunluğu ve akarsu ağları gibi çok sayıda hidrolojik parametrenin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. ESRI tarafından geliştirilen ArcGIS'in hidrolojik analiz araçları, DEM tabanlı topografya ve drenaj ağı çıkarımlarında geniş ölçekte kullanılmakta olup, güçlü görselleştirme ve analiz kapasitesi sayesinde farklı havzalarda güvenilir hidrolojik değerlendirmeler yapılmasına imkân tanımaktadır

Tunceli ili, hem jeomorfolojik çeşitlilik hem de hidrolojik dinamikler açısından dikkat çekici bir yapıya sahiptir. Bölgenin yüksek dağları, derin vadileri ve kırılğan ekolojik yapısı; yağış rejimi, tektonik süreçler ve insan faaliyetlerinden güçlü biçimde etkilenmektedir. Son yıllarda su kaynaklarının yoğun kullanımı, tarım ve yerleşim alanlarının plansız arazi kullanımı nedeniyle,

- su kaynaklarıyla ilgili çevresel sorunlar,
- dere yataklarının kontrolsüz kapatılması,
- toprak erozyonu ve arazi bozulumu hızlanmakta,
- ekolojik sistemler üzerindeki baskı yoğunlaşmakta ve bu süreçler bölgenin sosyal ve ekonomik gelişimini doğrudan etkilemektedir.

Bu nedenle Tunceli için, hidrolojik bilgilerden yararlanarak etkili bir karar destek sistemi geliştirmek, mekânsal ve zamansal değişimleri izlemek ve sürdürülebilir arazi stratejileri oluşturmak için DEM tabanlı ekohidrolojik analizlerin yapılması büyük önem taşımaktadır. ArcGIS 10.8'in sunduğu hidroloji analiz araçları, Tunceli yükselti dağılımı, bakı özellikleri, eğim değerleri ve drenaj ağlarının belirlenmesi için güçlü bir altyapı sunmakta; böylece bölgenin ekolojik potansiyeli, erozyon riski ve çevresel duyarlılığı bütüncül biçimde değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışmada iki küresel veri kaynağından (SRTM 30 m ve Google Earth Pro), sayısallaştırılmış topografik haritadan ve arazi ölçümlerinden elde edilen referans DEM'den oluşturulan modeller test edilecek; elde edilen verilerin doğruluğu ve bölgenin jeoekolojik özelliklerinden sapma durumları

değerlendirilecektir. Böylece Tunceli iline özgü, DEM ve ArcGIS tabanlı yüksek doğruluklu bir ekohidrolojik analiz altyapısı oluşturulacaktır.

2. MATERYAL VE METOTLAR

Çalışma alanı olarak seçilen Tunceli ili, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Yukarı Fırat Havzası içerisinde konumlanmaktadır. Doğu boylamları 38°19'–40°26', kuzey enlemleri ise 39°36'–38°46' arasında bulunmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere çalışma alanı; doğuda Bingöl, kuzeyde Erzincan, güneyde Elâzığ ve batıda Keban Baraj Gölü ile çevrilidir. Toplam yüzölçümü 7.774 km² olan bölgenin yükseltisi 800 m ile 3000 m'nin üzerine kadar değişmektedir. Arazinin yaklaşık %70'i dağlık alanlar, %25'i platolar, %5'i ise dar düzlüklerden oluşmakta olup bu durum Tunceli'nin belirgin şekilde yüksek, sarp ve parçalı bir topografyaya sahip olduğunu göstermektedir. Bölgedeki dağlık yapı, sert karasal iklim koşulları ile birlikte, yüksek rakımlarda önemli miktarda yağış oluşumunu desteklemekte ve yer yer çok derin vadiler geliştiren güçlü akarsu ağlarının meydana gelmesine neden olmaktadır (Korkmaz, M., Kuriqi, 2024).

Bu çalışma, Tunceli ilinin topografik ve hidrolojik karakteristiklerinin Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) temelli Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak analiz edilmesine dayanmaktadır. Analizlerde ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılmış olup tüm veri işleme, raster analiz, hidrolojik modelleme ve haritalama süreçleri bu yazılımda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan DEM verisi, USGS EarthExplorer ve NASA ASTER GDEM platformlarından temin edilen 30 m çözünürlüklü raster yükseklik verileridir. Veri işleme süreci; DEM'in hazırlanması, ön işleme adımları, eşyükselti eğrilerinin üretimi ve hidrolojik modellerin oluşturulması şeklinde sıralanmıştır.

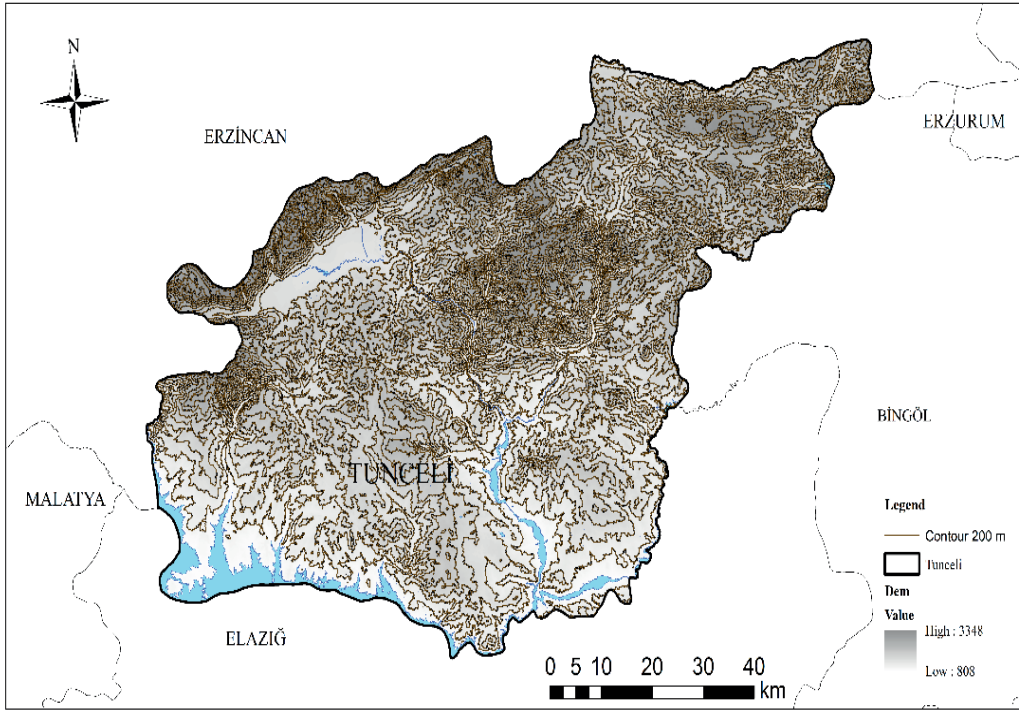
2.1. DEM Verisinin Temini ve Ön İşleme

Tunceli iline ait 30 m çözünürlüklü ASTER GDEM rasteri, NASA Earthdata üzerinden indirilmiş ve ArcGIS 10.8 ortamına aktarılmıştır. Veri üzerinde aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

Projeksiyon Dönüşümü:

Veriler WGS84 coğrafi koordinat sisteminden **UTM Zone 37N** sistemine dönüştürülmüştür.

- **Mozaikleme ve Clip İşlemi:** Tunceli il sınırlarının bulunduğu shapefile kullanılarak DEM rasteri kesilmiş ve çalışma alanı netleştirilmiştir.
- **Bozuk Hücre Düzenleme:** NoData değerleri yeniden örnekleme yöntemiyle giderilmiş ve analizlere uygun bir DEM elde edilmiştir.
- **Topografik Görselleştirme:** DEM öncelikle ham gri tonlu formatta analiz edilmiş, ardından yükseklik aralıklarına göre sınıflandırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 2. Tunceli İli 200 m Aralıklı Eşyüksekti Eğrileri Haritası

2.3. DEM Çöküntülerinin Giderilmesi (Sink Filling)

DEM üzerinde görülen çukurlar (sinks), akış yönü ve akış birikimi hesaplamalarını bozacağından, raster veri **Fill** aracı ile düzeltilmiştir (Esri, 2025).

Sink Filling adımları:

1. *Spatial Analyst* → *Hydrology* → *Fill* aracı seçildi.
2. DEM rasteri girdi olarak tanımlandı.
3. Arazi yüzeyi taranarak tüm çukurlar dolduruldu.
4. Böylece **depresyonsuz DEM** oluşturuldu.

Bu işlem Tunceli'nin gerçek drenaj hatlarının modellenmesini mümkün kılmıştır.

2.4. Akış Yönü (Flow Direction) Analizi

Şekil 3, sink fill işleminden sonra akış yönü, ArcGIS 10.8'in **D8 algoritması** kullanılarak hesaplanmıştır. Bu algoritma bir hücreden suyun; kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı olmak üzere sekiz olası yöne akabileceğini varsayar (Esri, 2025).

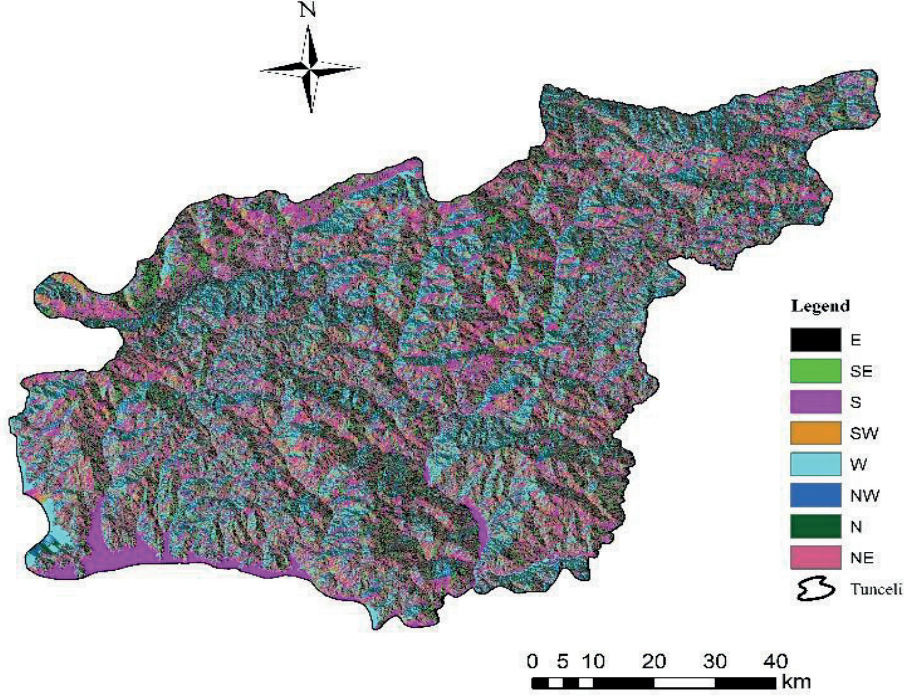
Akış yönü şu prensiple belirlenir:

$$S = \frac{\Delta Z}{D}$$

Burada:

ΔZ = hücreler arasındaki yükseklik farkı, D = hücre merkezleri arasındaki mesafe

Tunceli’de akış yönlerinin çoğunlukla kuzeydeki yüksek dağlık kesimlerden güneye, Keban Baraj Gölü’ne doğru yöneldiği tespit edilmiştir.



Şekil 3. Tunceli İli Hidrolojik Akış Yönleri Dağılımı

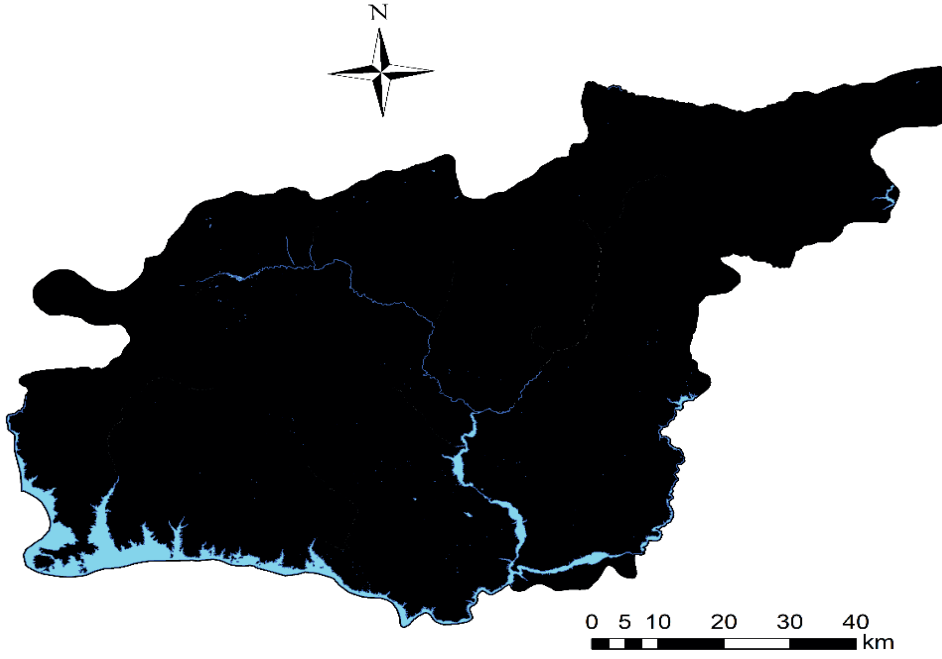
2.5. Akış Birikimi (Flow Accumulation)

Flow Direction rasteri kullanılarak **Flow Accumulation** analizi yapılmış ve her hücrenin kaç hücreden su topladığı hesaplanmıştır (Esri, 2025). Böylece:

- Munzur Çayı,
- Pülümür Çayı,
- Peri Suyu,
- Mercan Deresi

gibi ana drenaj koridorları belirginleşmiştir (Şekil 4).

Akış birikimi haritası, akarsu ağı çıkarımı için temel veri setini oluşturacaktır.



Şekil 4. Hidrolojik Akış Birikimi Raster Haritası

2.6. Akış Uzunluğunun (Flow Length) Hesaplanması

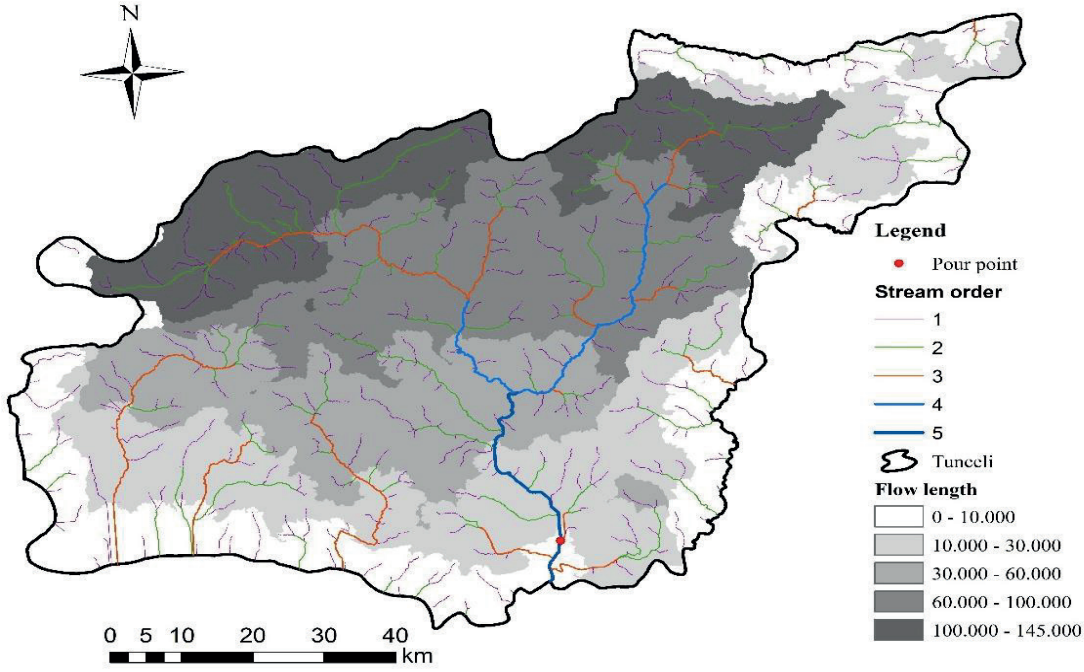
Akış uzunluğu, yüzey üzerinde bir hücreden nihai çıkış noktasına kadar olan en uzun akış yolunu ifade eder. Bu uzunluk; yüzeyde suyun akış yönüne göre aşağı yöndeki (downstream) veya yukarı yöndeki (upstream) toplam mesafenin hesaplanmasıyla elde edilir.

Şekil 5'te Tunceli ili için akış uzunluğu analizi, ArcGIS 10.8'in Flow Length aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında:

- Flow Direction rasteri giriş verisi olarak kullanılmış,
- Her bir hücre için aşağı akış yönünde (downstream) toplam su akış mesafesi hesaplanmıştır.

Akış uzunluğu haritası, özellikle Munzur Vadisi, Pülümür Vadisi ve Peri Suyu Havzası gibi belirgin dere yataklarında yüksek değerler göstermekte; dağlık alanlarda ise kısa ve keskin akış yolları ile karakterize edilmektedir. Bu analiz, drenaj yoğunluğunun ve akış yollarının topoğrafya ile ilişkisini anlamak için kritik öneme sahiptir.

Tunceli ili için oluşturulan Flow Length rasteri, bölgenin dağlık topoğrafyasına bağlı olarak oldukça değişken akış uzunlukları ortaya koymuştur. Analiz sonucunda akış uzunlukları 0 ile 145.433 metre arasında değişmektedir. Munzur Dağları'nın kuzey kesimleri en uzun akış mesafelerine sahip olup, bu durum bu alanların Tunceli içindeki başlıca su toplama bölgeleri olduğunu göstermektedir. Pülümür ve Peri Suyu vadilerinde ise daha kısa akış uzunlukları görülmüştür. Elde edilen Flow Length haritası, Tunceli'nin drenaj yapısının hem yüksek eğim hem de kompleks vadiler nedeniyle oldukça parçalı olduğunu doğrulamaktadır.



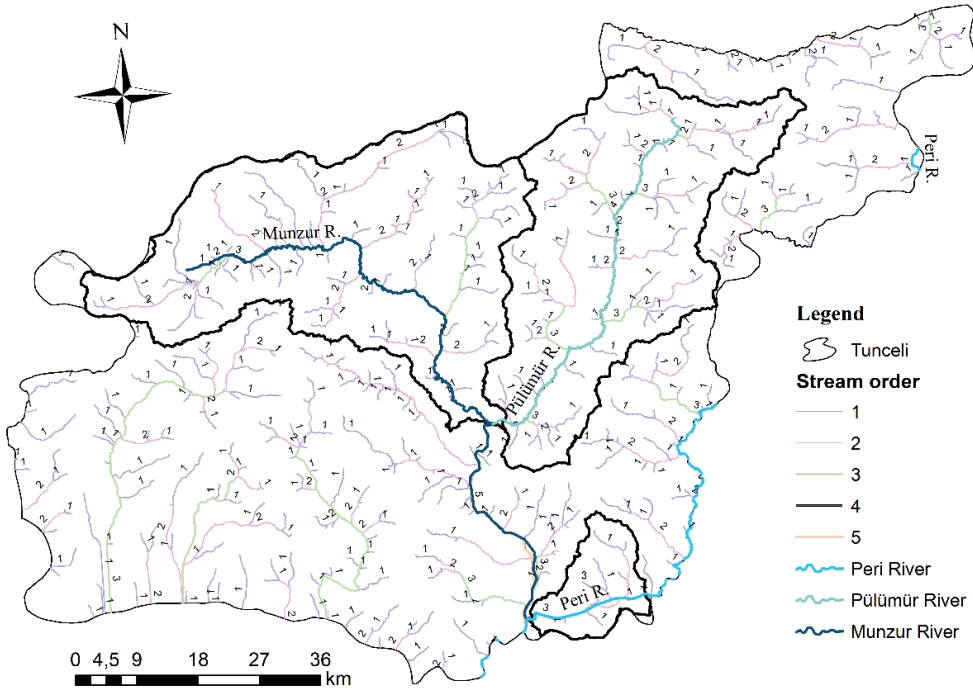
Şekil 5. Tunceli İli Akış Uzunluğu (Flow Length) Dağılımı ve Strahler Dere Sıralaması Haritası

2.7. Akarsu Derecelendirmesi (Stream Order)

Tunceli ilinin drenaj ağının yapısını daha iyi analiz edebilmek amacıyla akarsu kolları derecelendirilmiştir. Akarsu derecesi, bir kolun yukarı havzasındaki tributary sayısına göre belirlenmekte olup akarsunun büyüklüğü ve davranışının anlaşılmasında önemli bir göstergedir. Birinci derece akarsular yukarı havzasında kol bulunmayan en küçük akarsulardır ve kirliliğe karşı en hassas olan akarsu tiplerini oluşturur. Derecelendirme için iki temel yöntem kullanılmaktadır. Strahler yöntemi akarsu ağının hiyerarşik yapısını tanımlarken, Shreve yöntemi akarsu büyüklüğünü yukarı havza kollarının toplam sayısına göre belirlemektedir (Singh, 2021).

Strahler yönteminde, yukarı havzasında herhangi bir kol bulunmayan tüm akarsu bağlantıları 1. derece olarak sınıflandırılır. Aynı derecedeki iki akarsu kolu birleştiğinde dereceleri bir üst seviyeye çıkar; örneğin iki birinci derece kolun birleşmesi ikinci derece bir kol, iki ikinci derece kolun birleşmesi üçüncü derece bir kol oluşturur. Ancak farklı derecelerdeki kolların birleşmesi durumunda derecede artış gerçekleşmez ve birleşme sonrası akarsu en yüksek dereceli kolun derecesini korur (Strahler, 1964). Strahler yöntemi yaygın olarak kullanılmakla birlikte, yalnızca aynı derecedeki kolların birleşmesinde derecenin artması nedeniyle ağdaki tüm bağlantıları hesaba katmaz ve ağdan bir kolun eklenmesi veya çıkarılması durumlarında sonuçlar daha hassas hâle gelebilir.

Shreve yöntemi ise akarsu ağındaki tüm bağlantıları dikkate alan toplamalı (additive) bir yaklaşıma sahiptir. Strahler yönteminde olduğu gibi, başlangıç kolları 1 değeri ile başlar; ancak iç bağlantılarda dereceler toplanarak ilerler. Bu nedenle Shreve değerleri akarsu büyüklüğü (magnitude) olarak da adlandırılır ve bir akarsuyun yukarı havzasındaki toplam bağlantı sayısını ifade eder (Shreve, 1966).



Şekil 5. Tunceli Havzasında Strahler yöntemine göre belirlenen 1–5 derece akarsu ağı ve ana akarsu sistemleri (Munzur, Pülümür ve Peri).

Bu çalışmada Stream Order analizi aşağıdaki veri bileşenleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5):

Flow Direction rasteri (D8 algoritması ile hesaplanmıştır),

Flow Accumulation rasteri,

Flow Accumulation rasterine uygulanan 7.500 hücrelik eşik değeri ile oluşturulan grid akarsu ağı,

Stream to Feature aracı ile elde edilen vektörel akarsu hattı verisi.

Analiz Süreci:

Flow Accumulation rasterine 7.500 hücrelik eşik değeri uygulanarak yalnızca belirgin drenaj yollarını temsil eden akarsu hücreleri seçilmiştir. Bu eşik değeri, Tunceli'nin dağlık topoğrafyasına uygun bir drenaj ağı üretmektedir.

Eşik değeriyle oluşturulan grid akarsu ağı, Stream to Feature aracı kullanılarak vektör formuna (polyline) dönüştürülmüştür.

Son olarak vektörel akarsu hattı ve Flow Direction rasteri birlikte kullanılarak Strahler Stream Order sınıflandırması yapılmış ve 1., 2., 3., 4. ve 5. derece akarsu kolları net bir şekilde belirlenmiştir.

2.8. Drenaj Havzalarının Belirlenmesi (Watershed Analysis)

Tunceli ili için nihai hidrolojik değerlendirme, drenaj havzalarının ayrıntılı biçimde belirlenmesiyle tamamlanmıştır. Drenaj havzası; akışın belirli bir çıkış noktasına yöneldiği, su bölümü çizgileriyle sınırlandırılan doğal bir hidrolojik birimdir. Aynı havza içerisinde yer alan tüm hücreler, akış yönü modeline göre birbirine bağlıdır ve suyun aynı terminal noktasına ulaşmasını sağlar. Bu özellik, havzaların hem hidrolik hem de ekolojik analizlerde temel mekânsal birimler olarak kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada drenaj havzaları ArcGIS 10.8 Basin ve Watershed araçları kullanılarak çıkarılmış olup analiz şu veri bileşenlerine dayanmaktadır (Esri, 2025):

- Flow Direction rasteri (D8 algoritması ile üretilmiş)
- Flow Accumulation rasteri
- Snap Pour Point ile hassaslaştırılmış çıkış noktaları

Analiz Süreci

1. Akış birikimi rasteri üzerinde yüksek akım potansiyeli gösteren noktalarda ilk pour point (çıkış noktaları) belirlenmiştir.
2. Bu noktalar, Snap Pour Point aracıyla en yüksek akış birikimi hücrelerine hizalanarak doğru konumlandırılmıştır.
3. Watershed aracı uygulanarak her çıkış noktasına karşılık gelen alt havzalar üretilmiştir.
4. Elde edilen raster havza çıktıları poligon formuna dönüştürülmüş ve sınıflandırılarak haritalandırılmıştır (Şekil 6).

Üretilen drenaj havzası haritası (Şekil 6), Tunceli'nin hidrolojik açıdan oldukça parçalı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bölge topografyasına uyumlu şekilde üç ana havza sistemi belirlenmiştir:

- 1 numaralı havza: Munzur Çayı ve yan kollarını içermekte olup il genelinde en geniş drenaj alanına sahiptir.
- 2 numaralı havza: Pülümür Çayı çevresindeki alt kolları kapsamaktadır.
- 3 numaralı havza: Peri Suyu'nun Tunceli sınırları içerisindeki akış havzasını temsil etmektedir.

Bu üç havza, Tunceli'nin kuzeyindeki yüksek dağlık alanlardan başlamış; güneye doğru Keban Baraj Gölü'ne yönelen akış sistemleri oluşturmuştur. Havzaların konumu ve büyüklükleri, bölgenin jeomorfolojik yapısı ile tamamen uyumlu olup hidrolojik modelin doğruluğunu desteklemektedir.

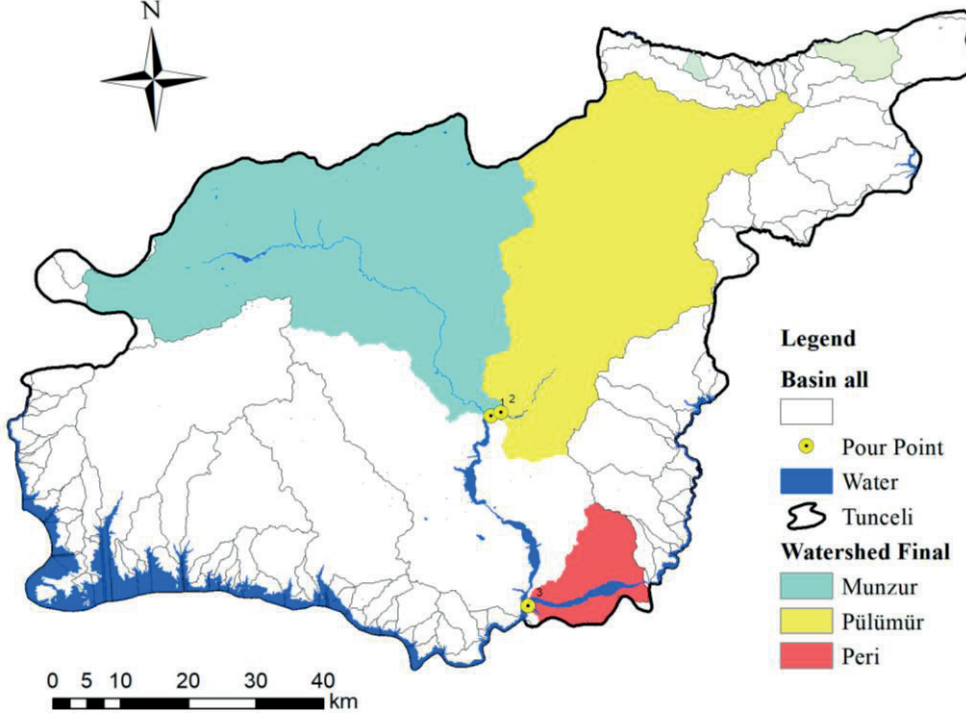
Ayrıca akarsu segmentasyonu kapsamında Shreve akarsu sıralaması uygulanmış; her kolun pozitif katkısının havza içindeki toplam akış potansiyelini temsil ettiği belirlenmiştir. Bu yöntem özellikle alt havzalardaki drenaj yoğunluğunun değerlendirilmesinde önemli avantaj sağlamıştır.

ArcGIS 10.8 ortamında Watershed aracı ile tüm alt havzalar çıkarılmıştır. Tunceli'nin yüksek eğimli ve parçalı topoğrafyası nedeniyle toplamda çok fazla küçük havza

oluşturmuştur. Bu havzaların tamamı hidrografik analiz için uygun olmadığından, çalışma kapsamında yalnızca belirgin drenaj yapısını temsil eden büyük havzalar değerlendirilmiştir.

Bu amaçla tüm havzaların alan değerleri hesaplanmış ve Shape Area ≥ 5.2 km² olan havzalar seçilmiştir. Bu eşik değeri Tunceli'nin topoğrafik özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenmiş olup, literatürdeki minimum havza alanı seçimi yaklaşımla uyumludur.

Sonuç olarak toplam **66 büyük havza** tanımlanmış ve analizlerde bu havzalar kullanılmıştır.



Şekil 6. Tunceli İli Drenaj Havzaları (Watershed) Haritası

3. SONUÇLAR

Bu çalışma, Tunceli ilinin jeomorfolojik ve hidrolojik özelliklerinin Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve ArcGIS 10.8 tabanlı mekânsal analiz teknikleri kullanılarak ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini sağlamıştır. Elde edilen bulgular, ilin drenaj sistemi, akarsu ağlarının organizasyonu, havza sınırlarının belirlenmesi ve genel topoğrafik yapısının bilimsel olarak doğru şekilde modellenebildiğini göstermektedir.

Çalışmada kullanılan 30 metrelik DEM verisi, Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, Stream Network ve Watershed araçlarıyla işlenmiş; böylece Tunceli'nin dağlık ve karmaşık topoğrafyasının hidrolojik açıdan gerçekçi bir temsili elde edilmiştir. Sink Fill işlemi sonrası oluşturulan akış yönü rasteri, ilin kuzeyindeki yüksek dağlık alanlardan güneye, Keban Baraj Gölü yönüne doğru organize olmuş belirli bir drenaj rejimi ortaya koymuştur. Bu durum, Tunceli'nin drenaj yapısının hem jeolojik hem de jeomorfolojik kökenli olduğunu; Pülümür, Munzur ve Peri vadilerinin arazi eğimi ile doğrudan ilişki gösterdiğini kanıtlamaktadır.

Flow Accumulation analizi, başlıca akarsu koridorlarının belirlenmesi açısından kritik veriler sağlamış; özellikle Munzur Çayı'nın çok geniş bir toplama alanına sahip olduğu, Pülümür Vadisi'nin

kuzey kesimlerden yüksek miktarda yüzey akışı aldığı, Peri Suyu'nun ise Tunceli'nin güneydoğu kesimlerinde daha orta ölçekli bir drenaj yapısı oluşturduğu ortaya konmuştur. Bu karakteristik özellikler, ilin drenaj sisteminin homojen olmadığını, aksine jeolojik yapı, eğim değerleri ve topoğrafik kırılmalılık nedeniyle üç ana hidrolojik bölgeye ayrıldığını göstermektedir.

Akış uzunluğu (Flow Length) analizleri, kuzeydeki yüksek plato ve dağlık alanlarda 100 km'ye yaklaşan akış uzunluklarının olduğunu, bu bölgelerin il genelindeki başlıca su toplama alanları olduğunu ortaya koymuştur. Buna karşın güneydeki daha düşük topoğrafik bölgeler kısa ve keskin akış yollarına sahiptir. Bu bulgu, Tunceli'de erozyon eğilimlerinin mekânsal dağılımına, sediman taşınım süreçlerine ve vadilerin gelişim aşamalarına yönelik önemli ipuçları sunmaktadır.

Çalışmanın en önemli çıktılarından biri, akarsu ağlarının Strahler hiyerarşisine göre sıralanmasıdır. Analiz sonuçları, Munzur Havzası'nın 4–5. derece ana akarsu kollarını barındırdığını; Pülümür Havzası'nda daha genç ve daha az dallanmış 2–3. derece kolların baskın olduğunu; Peri Suyu Havzası'nın ise nispeten daha küçük akış ağlarına sahip olduğunu göstermiştir. Shreve sıralaması ise, özellikle Munzur Vadisi boyunca çok yüksek akış katkı değerlerinin biriktiğini ortaya koymuştur. Bu durum, havzalar arasında hidrolik kapasite ve drenaj yoğunluğu açısından net bir ayrım bulunduğunu desteklemektedir.

Watershed aracı ile elde edilen alt havzaların büyük bir kısmı mikro ölçekli olduğundan, hidrolojik açıdan anlamlı havzaların belirlenmesi amacıyla $\text{Shape_Area} \geq 5.2 \text{ km}^2$ eşiği kullanılmış ve toplamda 66 büyük havza seçilmiştir. Bu havzalar ArcGIS ortamında birleştirilerek Tunceli'nin üç büyük hidrolojik sistemi oluşturulmuştur: Munzur Havzası, Pülümür Havzası ve Peri Havzası. Bu son sınıflandırma, ilin gerçek fiziki coğrafyası ile tam uyumludur ve hidrolojik modelin doğruluğunu güçlü biçimde destekler niteliktedir.

Sonuç olarak bu çalışma, DEM tabanlı hidrolojik analizlerin Tunceli'nin doğal yapısını anlamada son derece etkili olduğunu göstermektedir. ArcGIS 10.8'in sunduğu mekânsal analiz araçları sayesinde ilin drenaj yapısı, akarsu ağları, havza sınırları ve yüzey akış dinamikleri bütüncül ve ayrıntılı bir şekilde ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen havza haritaları, Tunceli'de:

- taşkın risk analizlerinde,
- erozyon–sediman taşınım modellerinde,
- su kaynakları yönetimi ve baraj planlamasında,
- ekolojik koridor planlaması ve habitat sürekliliği analizlerinde,
- arazi kullanım karar destek sistemlerinde

doğrudan kullanılabilir niteliktedir.

Bölgenin topoğrafik yapısının karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda, yüksek çözünürlüklü DEM tabanlı analizlerin ileride daha gelişmiş hidrolojik modellemelere ve uzun dönemli ekosistem–hidroloji izleme sistemlerine entegre edilmesi mümkündür. Bu çalışma, söz konusu modeller için güçlü bir temel oluşturmakta ve Tunceli'nin mekânsal planlama, çevresel yönetim ve sürdürülebilir havza yönetimi süreçlerinde önemli bir veri seti sunmaktadır.

Özellikle düzensiz kentleşme ve sanayileşmenin hızla arttığı küçük şehirlerde, imar planlamasının kritik önem taşıdığı dağlık alanlarda dere yataklarının kontrollü ve planlı bir biçimde kapatılması ya da yönlendirilmesi konusunda bu çalışma önemli bir referans niteliği sunmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- Barnes, R., Lehman, C., & Mulla, D. (2014). Priority-flood: An optimal depression-filling and watershed-labeling algorithm for digital elevation models. *Computers & Geosciences*, 62, 117-127.
- Chen, J., Zou, N., Chen, Y., & Liu, Y. (2025). Spill-line-driven DEM correction: An adaptive algorithm for hydrological depression processing. *Journal of Hydrology*, 134034.
- Esri. (n.d.). *An overview of the Hydrology toolset*. In ArcGIS Pro Spatial Analyst documentation. Retrieved March 3, 2025, from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.4/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>
- Garipağaoğlu, N., & Uzun, M. (2021). Development stages of basin management and different models. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 43, 338-357.
- Görgülü, E., & Göl, C. (2021). Coğrafi bilgi sistemleri ile havza morfometrik analizi: Sarayköy Göleti Havzası (Çankırı) örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 107-118.
- Isioye, A. O., & Jobin, P. (2012). An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources. *Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology (AJEST)*, 2(1).
- Martz, L. W., & Garbrecht, J. (1998). The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models. *Hydrological processes*, 12(6), 843-855.
- Nardi, F., Grimaldi, S., Santini, M., Petroselli, A., & Ubertini, L. (2008). Hydrogeomorphic properties of simulated drainage patterns using digital elevation models: the flat area issue/Propriétés hydro-géomorphologiques de réseaux de drainage simulés à partir de modèles numériques de terrain: la question des zones planes. *Hydrological sciences journal*, 53(6), 1176-1193.
- Ni, F. Q., Tan, Y. S., Xu, L. P., & Fu, C. W. (2010, May). DEM and ArcGIS-based extraction of eco-hydrological characteristics in Ya'an, China. In *2010 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications* (pp. 1-5). IEEE.
- Planchon, O., & Darboux, F. (2002). A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena*, 46(2-3), 159-176.
- Shingare, P. P., & Kale, S. S. (2013). Review on digital elevation model. *International Journal of Modern Engineering Research*, 3(4), 2412-2418.
- Shreve, R. L. (1966). Statistical law of stream numbers. *The Journal of Geology*, 74(1), 17-37.
- Singh, K. (2021). Stream Order Delineation using SRTM 30 meter Resolution Digital Elevation Model (DEM) and Hydrology Tools in ArcGIS 10.3 and QGIS: Mapping of Drainage Pattern of Mandi District, Himachal Pradesh, India. *The Asian Review of Civil Engineering*, 10(2), 9-17.

- Strahler, A. N., & Chow, V. T. (1964). Handbook of applied hydrology. *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*, 39-76.
- Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). (2000). Terrain analysis: principles and applications. John Wiley & Sons.
- Korkmaz, M., Kuriqi, A. Regional Climate Change and Drought Dynamics in Tunceli, Turkey: Insights from Drought Indices. *Water Conserv Sci Eng* 9, 49 (2024).
<https://doi.org/10.1007/s41101-024-00281-9>

BÖLÜM 2

YANAL HAREKETSİZ ÇERÇEVELERDE KANİ YÖNTEMİ

Mehrzađ MOHABBİ¹ , Fethi İŞSEVER²

¹ Doç Dr. Bingöl Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0001-8584-1658>

² Dr. Öğr. Üyesi Bingöl Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-8394-7026>

1.Giriş:

Kani çerçeve analiz yöntemi, (Moment Dağıtımı/Cross) yöntemine benzerdir(Antucheviciene et al., 2015). Her iki yöntemde de, açı-sehim (Slope-Deflection) denklemlerini çözmek için denklemlerin tamamını yazmaya gerek kalmadan yinelemeli Gauss-Seidel yöntemi (Gauss–Seidel iterasyon yöntemi) kullanılmıştır (Husain & Hasan, 2021). Cross yönteminde, yapının eleman uç momentleri, artışları üzerinde yapılan yinelemelerle elde edilirken, **Kani yönteminde yineleme bu bilinmeyenlerin kendileri üzerinde yapılır** (Kani, Gaspar 1957).

Bu yöntem esas olarak, yapının her bir düğüm noktası üzerinde, isteğe bağlı bir sırayla ve tekrarlı olarak gerçekleştirilen bir dizi basit sayısal işlemi içerir (Patil et al., n.d.). Yeterince tekrar ve gerekli sayıda rakam kullanılarak sonuçlar gerekli olan herhangi bir doğrulukla elde edilebilir. Çok katlı çerçevelerin analizleri ile ilgili çok sayıda modern hesaplamalar ve araştırmalar yapılmıştır (Dinu et al., 2015; Fedorova et al., 2020; Suresh Kumawat & Kalurkar, 2014). Kani yöntemi ise bu hesaplamalarının özel bir uygulamasıdır, Bu yöntemin avantajları; basitlik, hız, zaman, iş hacmi, alan ve doğruluk açısından ekonomik olmasıdır. Ancak, aşağıdaki iki özellik, bu yöntemin ayırt edici özellikleri olarak adlandırılabilir:

- Bu yöntem, hesaplama hatalarının otomatik olarak sonraki işlemlerde elimine edildiği bir **hata giderme yapısına** sahiptir. Bu özellik, tasarım sırasında gerekli olabilecek yük veya eleman uzunluklarındaki değişikliklerin, yapının tam bir yeniden analizi yapılmadan dahil edilmesini mümkün kılar. Bu değişiklikler, analizin herhangi bir aşamasında basitçe dahil edilebilir ve analize devam edilebilir
- Çerçeve tamamen düzensiz olsa ve yanal hareket (öteleme) açısından birden fazla serbestlik derecesine sahip olsa bile, hesaplamalar için **yalnızca tek bir tablo** gereklidir. Bu yöntem diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, bir çerçeve için daha az zaman ve iş gerektirir. Yukarıdaki avantajlar, Kani yöntemini her türlü sürekli giriş ve çerçevenin çözümü için en güçlü yöntemlerden biri haline getirir.

Bu bölümde, Kani yönteminin temel denklemleri geliştirilecektir. Açı-sehim ve Cross Dağıtım yöntemlerine benzer şekilde, çerçeveler iki farklı kategoriye ayrılır:

- Yanal Hareketsiz (Ötelemesiz) Çerçeveler
- Yanal Hareketli (Ötelemeli) Çerçeveler

Bu iki yapı kategorisine ait Kani denklemleri aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

2. Yanal Hareketsiz Çerçeveler

Yanal hareketi olmayan çerçevelerin ya düğüm noktalarında fiziksel olarak engellendiğini ya da simetrik olup simetrik yüklere maruz kaldığını hatırlatırız search (Blewitt, 2003). Şekil1-a böyle bir çerçevenin ij elemanını göstermektedir. j gibi bir düğüm noktasına bu türden çok sayıda eleman bağlanmış olabilir, bu nedenle uzak uç için genel bir işaret kullanılmıştır. Dönmeler ve momentler saat yönünde pozitif kabul edilmiştir. M_{ij} ve M_{ji} 'nin, uygulanan yükler altında oluşan i ve j uçlarındaki momentler olduğunu ve θ_i ve θ_j 'nin bunlara karşılık gelen dönmeleri gösterdiğini varsayalım.

ij elemanı için Eğim-Sapma denklemi aşağıdaki gibi yazılır

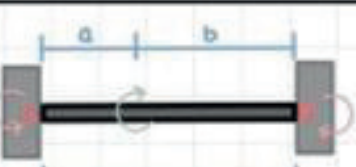
$$M_{ij} = M_{ij}^F + 2EK_{ij}(2\theta_i + \theta_j)$$

$$K_{ij} = \frac{I_{ij}}{L_{ij}} \quad I_{ij} \text{ Atalet momenti ve } L_{ij} \text{ uzunluk}$$

M_{ij} 'nin toplam moment olduğu kabul edilirse, denklem şu şekilde de yazılabilir

$$M_{ij} = M_{ij}^F + 2M'_{ij} + M'_{ji} \quad (1)$$

Bazı yükleme durumları için M'_{ij} miktarları şekil 1'de verilen tabeledan elde edilebilir

BEAM LOADING	MOMENT AT FIXED END	
	$FEM_A = -\frac{PL}{8}$	$FEM_B = \frac{PL}{8}$
	$FEM_A = -\frac{Pab^2}{L^2}$	$FEM_B = \frac{Pab^2}{L^2}$
	$FEM_A = -\frac{wL^2}{12}$	$FEM_B = \frac{wL^2}{12}$
	$FEM_A = -\frac{wL^2}{30}$	$FEM_B = \frac{wL^2}{20}$
	$FEM_A = -\frac{5wL^2}{96}$	$FEM_B = \frac{5wL^2}{96}$
	$FEM_A = \frac{M(b)\left[\frac{3a}{L} - 1\right]}{L}$	$FEM_B = \frac{M(a)\left[\frac{3b}{L} - 1\right]}{L}$

Şekil 1 ((Engineering Infinity, 2025)

Tanım gereği, bu ilişkilerde:

$$M'_{ij} = 2EK_{ij}\theta_i$$

$$M'_{ji} = 2EK_{ij}\theta_j$$

M'_{ij} 'nin, M_{ij} momenti üzerindeki etkinin bir payını içerdğđ göz önüne alındığında, buna M_{ij} üzerinde **i ucunun dönme payı** denir. Benzer şekilde, M'_{ji} , j ucunun M_{ij} üzerindeki dönme payı olarak adlandırılır.

Şimdi, i düğüm noktasındaki moment dengesi için, bu düğümüne bağı tüm elemanların uç momentlerinin cebirsel toplamı sıfır olmalıdır:

$$\sum_j M_{ij} = 0$$

Denklem (1) yerine konulursa:

$$\sum_j M_{ij}^F + \sum_j (2M'_{ij} + M'_{ji}) = 0 \quad (2)$$

Burada $\sum_j$, i düğümüne komşu olan tüm düğümlere ait toplamı göstermektedir. Şimdi, i düğümünün **karşı koyma momenti** (direnç momenti) aşağıdaki gibi yazılırsa:

$$M_i = \sum_j M_{ij}^F$$

Yani, M_i , i düğümündeki tüm ankastrelik uç momentlerinin (FEMS) cebirsel toplamıysa, bu durumda Denklem (2) aşağıdaki şekle dönüşür:

$$\sum_j M'_{ij} = -\frac{1}{2} \sum_j (M_i + M'_{ji}) \quad (3)$$

Denklem (3), i düğümüne bağı tüm elemanların dönme paylarının cebirsel toplamını belirler. Her eleman için M'_{ij} 'nin o elemanın K_{ij} değeriyle orantılı olduğı göz önüne alındığında, i'ye bağı elemanlara ait bireysel paylar, $\sum_j M'_{ij}$ 'nin bunların K_{ij} değerleri oranında dağıtılmasıyla elde edilebilir. Dolayısıyla, ij gibi bir elemanın payı şuna eşittir:

$$\begin{aligned} M'_{ij} &= \left(\frac{K_{ij}}{\sum_j K_{ij}} \right) \sum_j M'_{ij} \\ M'_{ij} &= -\frac{1}{2} \left(\frac{K_{ij}}{\sum_j K_{ij}} \right) \sum_j (M_i + M'_{ji}) \\ M'_{ij} &= R_{ij} \sum_j (M_i + M'_{ji}) \quad (4) \end{aligned}$$

Burada:

$$R_{ij} = -\frac{1}{2} \left(\frac{K_{ij}}{\sum_j K_{ij}} \right)$$

tanım gereğı **dönme katsayısıdır**. (1) ve (4) Denklemleri, yanal hareketi olmayan yapıların analizi için **Kani yönteminin temelini oluşturur**. Son denklem, ij elemanının i ucundaki dönme payını, i'deki karşı koyma momenti ve uzak uç j'deki dönme payı M'_{ji} cinsinden ifade eder. Denklem 1 ise, M_{ij} uç momentinin değerini, elemanın iki ucundaki dönme payları M'_{ij} ve M'_{ji} ve i'deki ankastrelik uç momentini M_{ij}^F cinsinden belirler. Doğal olarak, M_{ij} belirlenmeden önce hem M'_{ij} hem de M'_{ji} hesaplanmalıdır. Bu işlem, **yinelemeli Gauss-Seidel yöntemiyle** yapılır. Bu yöntem aşağıda özetlenmiş ve Örnek 1 ve sonraki örneklerle açıklanmıştır.

Yanal Hareketsiz Çerçevelerin Kani Yöntemiyle Analizinin Uygulanması: Aşağıdaki adımlar, Kani yöntemiyle yanal hareketsiz çerçevelerin analizinin prosedürünü özetler:

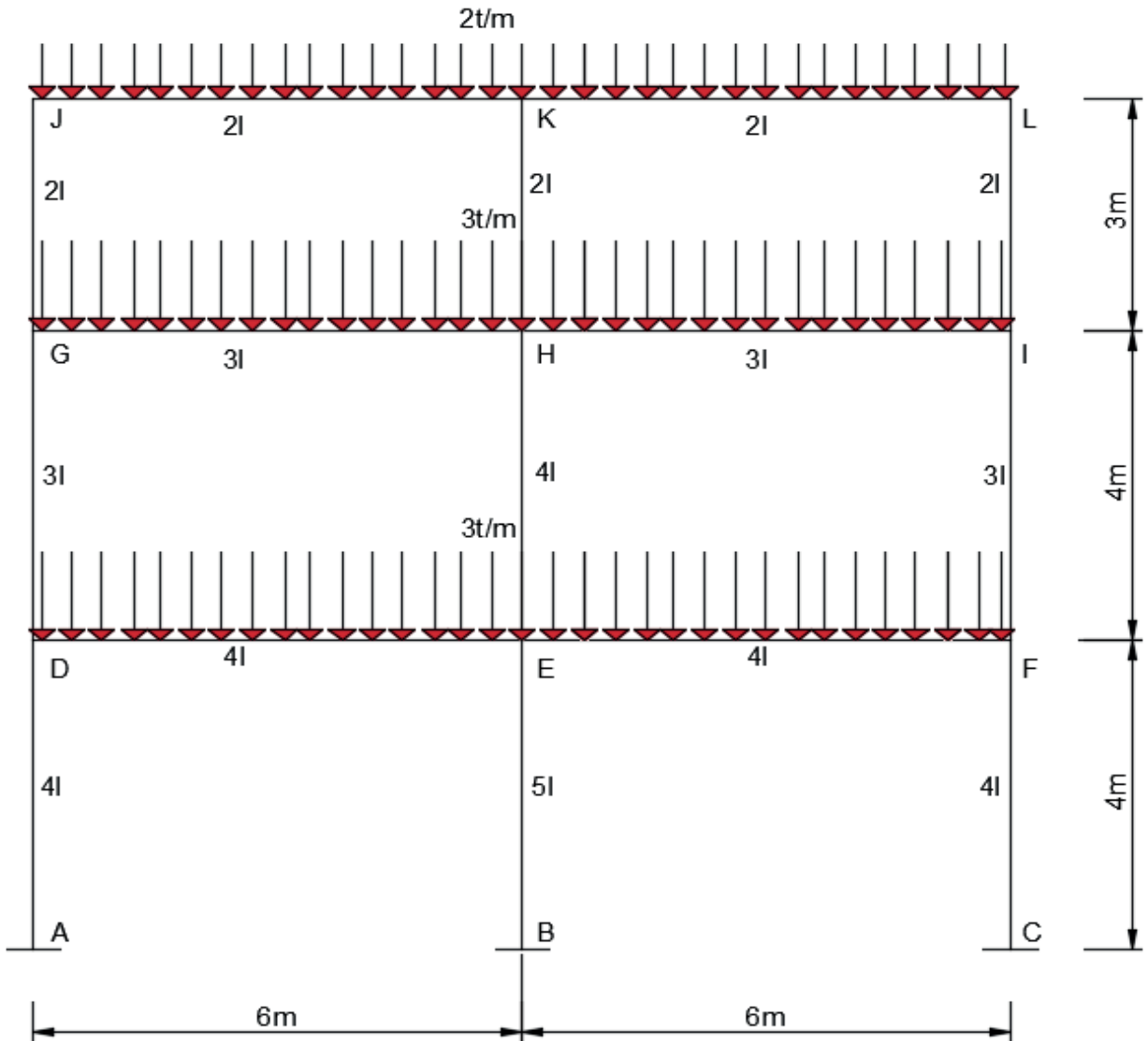
Adım (i): Tüm elemanların her iki ucundaki ankastrelik uç momentlerini hesaplayın ve ardından çerçevenin tüm düğüm noktalarının karşı koyma momentlerini elde edin.

Adım (ii): Çerçevenin tüm düğüm noktaları için K değerlerini ve elde edilen **Dönme Katsayılarını** R_{ij} hesaplayın.

Adım (iii): Denklem 4 üzerinde yinelemeli Gauss-Seidel yöntemini uygulayarak tüm elemanların iki ucundaki dönme paylarını (M'_{ij} ve M'_{ji}) hesaplayın.

Adım (iv): Her elemanın nihai uç momentlerini M_{ij} Denklem (1) kullanılarak belirleyin.

3. Örnek 1: Şekil 2-a'daki çerçeveyi analiz edin.



Şekil 2-a

Yapının simetrik ve simetrik yüklere maruz olması nedeniyle yanal hareketi yoktur. Adım adım çözüm ve gerekli açıklamalar aşağıda sunulmuştur.

Ankastrelik Uç Momentleri (FEMS): Tüm düğüm noktalarını kapalı (ankastre) varsayarak ankastrelik uç momentleri (FEMS) elde edilir.

$$M_{KJ}^F = -M_{IK}^F = M_{LK}^F = -M_{KL}^F = \frac{2(6.0)^2}{12} = 6.00 \text{ tm}$$

$$M_{HG}^F = -M_{OH}^F = M_{IH}^F = -M_{HI}^F = \frac{3(6.0)^2}{12} = 9.00 \text{ tm}$$

$$M_{ED}^F = -M_{DE}^F = M_{FE}^F = -M_{EF}^F = \frac{4(6.0)^2}{12} = 12.00 \text{ tm}$$

Ankastrelik uç momentleri (FEMS), hesaplamalar sırasında Şekil 2-b'ye uygun olarak ilgili uçlara girilir.

Düğüm Noktalarının Karşı Koyma Momentleri ($M_i = \sum_j M_{ij}^F$): i düğümündeki karşı koyma momenti M_i , bu düğüme bağılı elemanların ankastrelik uç momentlerinin cebirsel toplamı ile hesaplanır ve şekilde hesaplamalara dahil edilir.

$$M_J = -6.00 \text{ tm}$$

$$M_K = (6.00 - 6.00) = 0.00 \text{ tm}$$

$$M_H = (9.00 - 9.00) = 0.00 \text{ tm}$$

Ve diğere düğümler için de aynı şekilde işlem yapılır.

K_{ij} Değerleri Elemanlar İçin ($K_{ij} = \frac{I_{ij}}{L_{ij}}$):

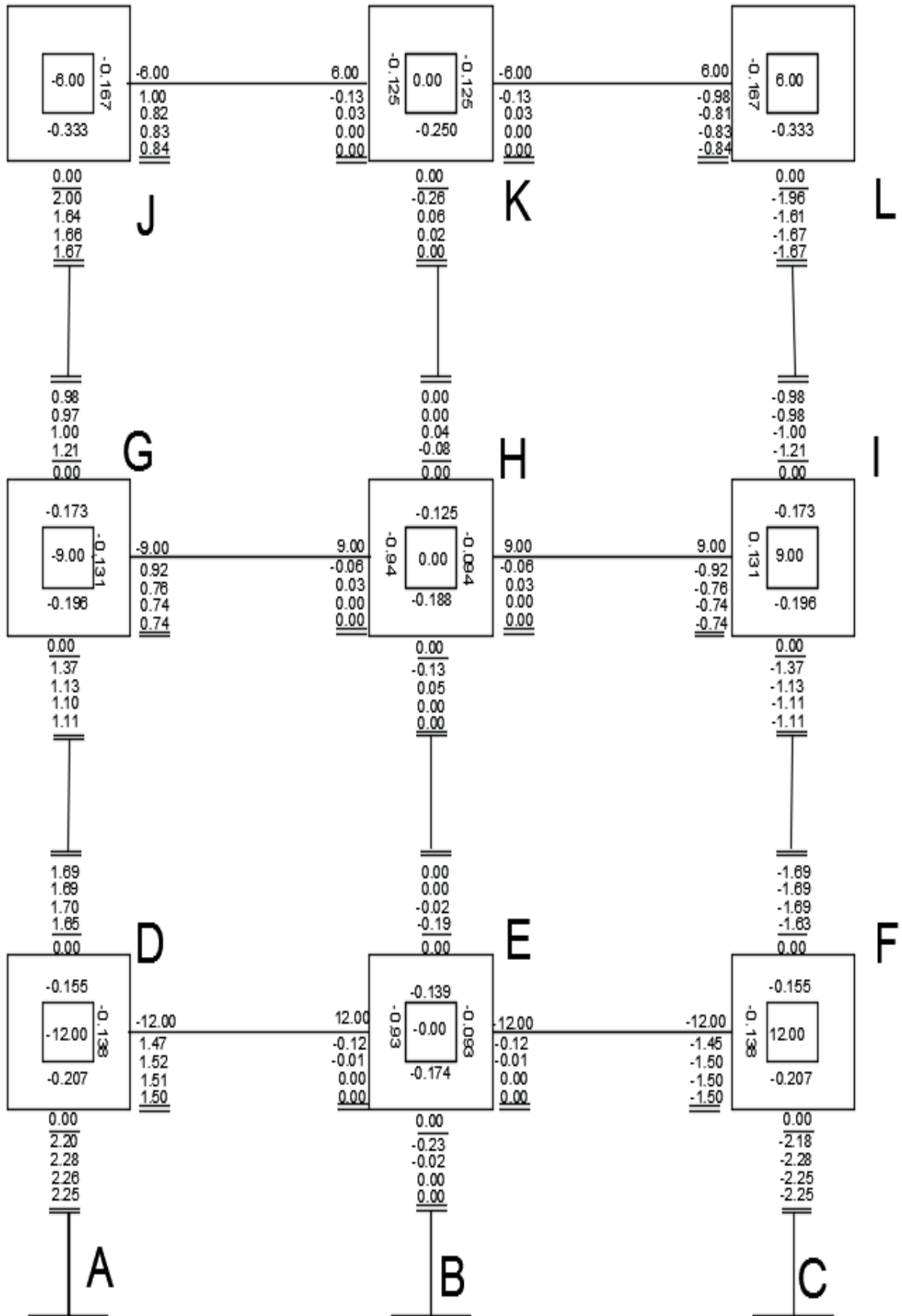
$$K_{AD} = K_{CF} = K_{EH} = \frac{4}{4.0} = 1.00I$$

$$K_{DE} = K_{EF} = K_{GJ} = K_{KH} = K_{LI} = 0.677I$$

$$K_{JK} = K_{KL} = \frac{2I}{6.0} = 0.333I$$

$$K_{GH} = K_{HI} = \frac{3I}{6.0} = 0.5I$$

$$K_{EB} = \frac{5I}{4.0} = 1.25I$$



Şekil 2-b

Dönme Katsayıları

$$R_{ij} = -\frac{1}{2} \left(\frac{K_{ij}}{\sum_j K_{ij}} \right):$$

$$R_{DA} = -\frac{0.5 \times 1.000}{2.417} = -0.207$$

$$R_{DE} = -\frac{0.5 \times 0.667}{2.417} = -0.138$$

$$R_{DG} = -\frac{0.5 \times 0.75}{2.512} = -0.155$$

Kontrol:

$$\sum R_D = -(0.207 + 0.155 + 0.138) = -0.5$$

Benzer şekilde:

$$\begin{array}{ll} R_{GD} = -0.196 & R_{GH} = -0.131 \\ R_{GJ} = -0.173 & R_{JG} = -0.333 \\ R_{JK} = -0.167 & R_{KJ} = -0.125 \\ R_{KL} = -0.125 & R_{KH} = -0.250 \\ R_{HE} = -0.188 & R_{HG} = -0.094 \\ R_{HI} = -0.094 & R_{HK} = -0.125 \\ R_{EB} = -0.174 & R_{EF} = -0.093 \\ R_{ED} = -0.093 & R_{EH} = -0.193 \end{array}$$

Dönme katsayıları, hesaplamalar sırasında Şekil 2-b'ye uygun olarak her bir elemanın ilgili ucuna yazılır.

Eleman Uçlarının Dönme Payları (M'_{ij}): i ucundaki M_{ij} momentinin dönme payı aşağıdaki denklemlerle hesaplanır

$$M'_{ij} = R_{ij} \sum_j (M_i + M'_{ji})$$

Bu ilişkide R_{ij} , ij elemanının dönme katsayısını, M_i , i ucundaki karşı koyma momentini ve M'_{ji} , θ_j dönmesinden kaynaklanan M_{ij} 'deki payı gösterir.

Dönme paylarını hesaplamak için, herhangi bir düğüm noktasından başlanabilir ve sırayla diğer düğümlere geçilebilir. Bu örnekte seçilen sıra **JKL-GHI-DEF** şeklindedir.

Çevrim I:

i) **J Düğümü:** Başlangıçta G ve K düğümleri kapalı (kilitli) varsayılır ve bu nedenle onların uç momentleri üzerindeki dönme payları sıfırdır. Bu nedenle, $M'_{KJ} = M'_{GJ} = 0$ alınarak,

J 'deki dönme payları şunlara eşittir:

$$M'_{JK} = -0.167(-6.0 + 0 + 0) = 1.00 \text{ tm}$$

$$M'_{JG} = -0.333(-6.0 + 0 + 0) = 2.00 \text{ tm}$$

Bu değerler J düğümünde ilgili ankastrelik uç momentlerinin altına girilir ve karışıklığı önlemek için yatay çizgilerle ayrılır.

(ii) **K Düğümü:** Yine $M'_{HK} = M'_{LK} = 0$ 'dır, ancak J düğümü için yapılan hesaplamalara dayanarak $M'_{JK} = 1.00 \sim tm$ 'dir.

$$M'_{KJ} = -0.125(0 + 1.00 + 0 + 0) = -0.125 \quad (\text{Varsayımsal olarak } -0.13)$$

Benzer şekilde: $M'_{KL} = -0.125 \quad (\text{Varsayımsal olarak } -0.13)$

$$M'_{LK} = -0.125 \quad (\text{Varsayımsal olarak } -0.13)$$

yukarıdaki işlemlere benzer hesaplamalar diğer düğümler üzerinde de yapılır ve sonuç olarak düğüm noktalarındaki dönme paylarının birinci tahmini belirlenir. Bu işlem **Birinci Çevrimi** tamamlar.

Çevrim II:

İkinci çevrim hesaplamaları, düğüm noktalarının dönme payları için daha iyi bir yaklaşım elde etmek için ilk sonuçları kullanır. Örneğin, G deki dönme payları aşağıdaki gibi elde edilir:

$$M'_{GJ} = -0.173(-9.00 + 2.00 - 0.06 + 1.65) = 1.00$$

$$M'_{GH} = -0.131(-9.00 + 2.00 - 0.06 + 1.65) = 0.76$$

$$M'_{GD} = -0.196(-9.00 + 2.00 - 0.06 + 1.65) = 1.13$$

Benzer hesaplamalar diğer tüm düğümler için yapılır ve elde edilen sonuçlar şekilde gösterilmiştir.

Çevrim III

Benzer şekilde, dönme payları için daha iyi bir yaklaşım belirlemek üzere ikinci çevrimin sonuçlarını kullanır. Ardışık iki çevrimin sonuçları arasındaki fark göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğunda, işlem bu aşamada sonlandırılır.

Nihai Uç Momentleri: M_{ij} uç momentleri, ankastrelik uç momentleri M_{ij}^F , yakın ucun dönme payının iki katı $2M'_{ij}$ ve uzak ucun dönme payının M'_{ji} cebirsel toplamı olarak Denklem 1 kullanılarak hesaplanır.

$$M_{ij} = M_{ij}^F + 2M'_{ij} + M'_{ji}$$

$$M_{DA} = 0.00 + 2(2.25) + 0.00 = 4.50 \text{ tm}$$

$$M_{DE} = -12.00 + 2(1.5) + 0.00 = -9.00 \text{ tm}$$

$$M_{GD} = 0.00 + 2(1.11) + 1.69 = 3.91 \text{ tm}$$

$$M_{GJ} = 0.00 + 2(0.98) + 1.67 = 3.63 \text{ tm}$$

$$M_{JG} = 0.00 + 2(1.67) + 0.98 = 4.32 \text{ tm}$$

$$M_{AD} = 0.00 + 2(0.00) + 2.25 = 2.25 \text{ tm}$$

$$M_{KJ} = 6.00 + 2(0.00) + 0.84 = 6.84 \text{ tm}$$

$$M_{HK} = M_{KH} = M_{HE} = M_{EH} = M_{EB} = M_{BE} = 0.00$$

$$M_{HG} = 9.00 + 2(0.00) + 0.74 = 9.74 \text{ tm}$$

$$M_{ED} = 12.00 + 2(0.00) + 1.5 = 13.50 \text{ tm}$$

Simetri nedeniyle, simetri ekseninin sağ tarafındaki momentler, eksenin sol tarafındaki benzer momentlerle aynı büyüklükte ve ters işaretli olacaktır. K ve H, E düğümlerinin dönmesi olmadığı için, bu düğümlerin ankastre varsayılması ve hesaplamaların yarım çerçeve üzerinde yapılmasıyla zaman ve işten tasarruf edilebilir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Kani Yöntemi, statik bakımdan tam belirli olmayan yapıların, daha ziyade sürekli kirişlerin ve yapısal çerçevelerin analizinde kullanılabilen klasik ancak ve sistematik bir çözümleme yöntemidir. Bu yöntemle, sistemin düğüm noktalarındaki moment dengesinin sağlanması ve tanımlanmış döndürme ile aktarım (carry-over) katsayılarının kullanılması sağlanır.

Yapı Statiğı II ders konuları kapsamında özellikle yapı analizinde bu yöntemin temel avantajları, hesaplama verimliliğı, analitik kesinlik ve kavramsal nitelikteki önem olmak üzere üç başlık altında incelenebilir.

Hesaplama Verimliliğı

- El ile Yapılan İşlem Hacminin Azalması: Geleneksel yinelemeli yöntemlere (örneğin Cross Yöntemi) nazaran Kani Yöntemi, analitik ilişkileri daha doğrudan formüle ederek son moment dengesine ulaşmak için gereken döngü sayısını büyük ölçüde azaltır. Böylece, özellikle elle yapılan hesaplarda işlem miktarını ve işlem süresini ciddi oranda azaltmaktadır.
- Orta ve yüksek derecede belirsizliğı olan yapıların el ile analizinde, karmaşık klasik yöntemlere nispetle daha uygulanabilir ve anlaşılır bir çözüm yolu sunar.
- Algoritma temelli ve sistematik yapı nedeniyle, nihai uç momentlerine olan yakınsama zamanı hızlanır. Böylecedaha önce tanımlanmış katsayıların kullanımı, daha az basamakta ve daha yüksek hesaplama şeffaflığıyla net sonuçlara ulaşılmasını sağlar.

Kavramsal Şeffaflık ve Analitik Kesinlik

- Diğer yöntemlere göre daha az sayıda tekrar gerektirmesi, sürekli yuvarlama hatalarından kaynaklanan sayısal hata oluşması riskini düşürür. Böylece nihai sonuç güvenilirliğini artırır bu da sayısal hata riskinde azalmaya neden olur.
- Kani Yöntemi'nde kullanılan katsayılar, eğilme rijitliği ile doğrudan ilişkilidir. Böylece sistem elemanlarının eğilme rijitliği ile ilişkilendirilmiş olur. Bunun neticesinde kesit boyutlarındaki, eleman uzunluğundaki ve mesnet koşullarındaki değişikliklerinin (örnek olarak ankastre veya mafsallı mesnetler) moment dağılımı üzerindeki etkileri analitik olarak net bir şekilde gözlenebilir.
- Yöntem, araştırmacıların düğüm noktalarındaki dönme davranışını, bir düğüme bağlı elemanlar arasındaki moment paylaşımını ve moment aktarımı mekanizmasını detaylı olarak kavramalarına imkân tanır.

Kavramsal Önem

- Kani Yöntemi klasik el hesaplama yöntemlerinden modern matris tabanlı analiz yöntemlerine geçişte önemli bir kavramsal köprü işlevi görür. Rijitlik yöntemi ve sonlu elemanlar analizinin temelini oluşturan bağıl rijitlik, düğüm dengesi ve moment aktarımı gibi kavramların anlaşılmasının zeminini oluşturur.
- Bu yöntemin düzenli ve algoritmik yapısı, inşaat mühendisliğinde araştırmacılar için karmaşık yapısal problemleri çözerken sistematik ve analitik düşünce yeteneklerini geliştirmelerine yardımcı olunur.
- Günümüzde yapısal analiz büyük ölçüde bilgisayar yazılımları vasıtası ile yapılsa da, Yöntem, mühendislere yazılım çıktılarının elle kontrol edilmesi ve yapı davranışının fiziksel olarak doğrulanmasında büyük ölçüde yardımcı olur.

Kaynaklar

- Antucheviciene, J., Kala, Z., Marzouk, M., & Vaidogas, E. R. (2015). Decision Making Methods and Applications in Civil Engineering. In *Mathematical Problems in Engineering* (Vol. 2015). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2015/160569>
- Blewitt, G. (2003). Self-consistency in reference frames, geocenter definition, and surface loading of the solid Earth. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(2). <https://doi.org/10.1029/2002jb002082>
- Dinu, F., Dubina, D., & Marginean, I. (2015). Improving the structural robustness of multi-story steel-frame buildings. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11(8), 1028–1041. <https://doi.org/10.1080/15732479.2014.927509>
- Fedorova, N. V., Vu, N. T., & Iliushchenko, T. A. (2020). Dynamic additional loading of the frame of a multi-story building after the failure of one of the structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 896(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012040>
- Husain, M. A., & Hasan, Z. H. (2021). Reduced Equations of Slope-Deflection Method in Structural Analysis. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 26(4), 51–62. <https://doi.org/10.2478/ijame-2021-0049>
- Kani, Gaspar. (1957) Analysis of Multistory Frames. New York: Frederick Unger Publishing,.
- Patil, P. R., Pidurkar, M. D., & Mohankar, R. H. (n.d.). Comparative Study of End Moments Regarding Application of Rotation Contribution Method (Kani's Method) & Moment Distribution Method for the Analysis of Portal Frame. In *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)* (Vol. 7, Issue 1). www.iosrjournals.org
- Suresh Kumawat, M., & Kalurkar, L. G. (2014). ANALYSIS AND DESIGN OF MULTISTORY BUILDING USING COMPOSITE STRUCTURE. In *www.ijscer.com* (Vol. 3, Issue 2). www.ijscer.com
- EngineeringInfinity.(2024).Fixedendmoment.https://www.linkedin.com/posts/engineeringinfinity_fixed-end-moment-activity_7316516511915925505-G6de/ Son Erişim Tarihi: 10.11.2025

BÖLÜM 3

FARKLI VİDA KAZIKLAR İÇİN KAZIK PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Umud DAĞLI¹, Bahadır OK², Sami DÖNER³

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, 0000-0002-6806-7194

² Doç.Dr. , Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, 0000-0001-8333-5671

³ Dr.Öğr. Üyesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, 0000-0002-5934-3548

1.GİRİŞ

Vida kazıklar, gövdesi boyunca spiral formda ilerleyen bir helis yüzeyine ve bununla uyumlu konik bir uca sahip olan, zemine döndürülerek yerleştirilen temel elemanlarıdır. Bu helisel yapı, kazığın zemine ilerlemesini kolaylaştırırken yük aktarımında hem uç hem de gövde boyunca ek taşıma yüzeyi oluşturan bir mekanizma yaratır. Bu nedenle vida kazıklar, düz yüzeyli geleneksel kazıklardan farklı bir işleyişe sahiptir ve yerleştirme şekli ile taşıma kapasitesini belirleyen özgün bir geometri sunar (Zhang et al., 2025). Bu kazık türünün mühendislikte kullanımı 19. yüzyıla uzanmakta olup, özellikle düşük mukavemetli ve suya doygun zeminlerde güvenilir temel çözümleri üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Dökme demirden üretilen ilk örnekler, dönemin kıyı ve deniz yapılarında, özellikle de fener temellerinde yaygın olarak uygulanmış ve kısa sürede etkili bir çözüm olarak benimsenmiştir (Lutenegger, 2011).

Günümüzde vida kazıklar; hızlı montaj, düşük titreşim ve geniş uygulama alanı gibi avantajları sayesinde hem kalıcı hem geçici yapılarda tercih edilmektedir. Helisel yüzeyin oluşturduğu mekanik kilitlenme ve artan çevresel etkileşim, özellikle kumlu zeminlerde hem basınç hem çekme yükleri altında güvenilir bir davranış sağladığı rapor edilmektedir (Das, 2021). Bu yönleriyle vida kazıklar, tarihsel gelişimi köklü olmakla birlikte modern mühendisliğin sunduğu üretim teknikleri ve tasarım olanaklarıyla güncel bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Bu bağlamda birçok araştırmacı yakın zamanda vida kazıklarla ilgili çalışmalar yürütmüşlerdir (Mohajerani ve ark. 2016; Ma ve ark. 2025; Wang ve ark., 2023; Ding ve ark., 2024; Ibrahim ve ark., 2025; Conghuan ve ark., 2024).

Vida kazığın performansını belirleyen temel unsurlar arasında helis adımı, helis yüksekliği, helis çapı ve kazık gövdesinin geometrisi yer alır. Bu parametrelerde yapılan değişiklikler, hem yerleştirme sırasında gerekli torku hem de kazığın nihai taşıma kapasitesini doğrudan etkiler. Modern tasarım yaklaşımı, geometrik özelliklerin yalnızca kazığın şeklini değil, aynı zamanda zeminle kurduğu ara yüzey davranışını da belirlediğini kabul etmektedir (Perko, 2009). Helis geometrisinin sağladığı avantajlar ile yüzey dokusunun zemin kazık ara yüzey davranışına katkısı birlikte değerlendirildiğinde, vida kazık tasarımında geometri-pürüzlülük ilişkisini ayrıntılı biçimde ele almak gerekmektedir. Bazı araştırmacılar vida kazık için geometri-pürüzlülük ilişkisi ile ilgili araştırmaların oldukça sınırlı olduğunu ve konu üzerine yapılacak araştırmaların kazık tasarım açısından faydalı olabileceğini bildirmişlerdir (Yang ve ark., 2023; Ma ve ark., 2022; Ma ve ark., 2023; Abbas ve ark., 2020; Chen ve ark., 2023). Helis adımı ve helis yüksekliği gibi parametrelerde yapılan değişikliklerin kazık pürüzlülüğünde oluşturduğu farklılıkların ortaya konulması, hem kazık-zemin etkileşiminin anlaşılması hem de tasarım sürecinde kullanılabilecek pratik verilerin oluşturulması açısından önem taşımaktadır (Han et al., 2018).

Günümüzde artan hammadde, üretim ve işçilik maliyetleri, geleneksel çelik vida kazıkların kullanımını ekonomik açıdan giderek daha maliyetli hâle getirmektedir. Özellikle vida kazık üretimi yapılan tesislerin uzağındaki uygulamalar için ulaştırma masrafları ile maliyetler daha da artmakta ve bu durum daha ekonomik çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Katmanlı imalat teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen vida kazıklar, ham madde maliyet avantajı ve fabrikadan bağımsız ve hızlı üretim imkânı sayesinde gelecekte alternatif bir yaklaşım olarak öne çıkabileceği düşünülmektedir. 3D yazıcı ile üretilen kazıklar, uygun ölçek ve kullanım koşullarında değerlendirildiğinde, yalnızca prototip üretimiyle sınırlı kalmayıp ekonomik bir mühendislik çözümü olarak da ele alınabilecek bir potansiyel sunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, helis adımı ve helis yüksekliğinin değişiminin kazık pürüzlülüğüne etkisini incelemektir. Ayrıca 3D yazıcıda vida kazıkların yüzey pürüzlülüğünün elde edilebilmesi de bu çalışmanın amaçlarından biridir. Bu amaçla gövde çapı ve toplam uzunluğu aynı olan üç farklı helis adımı ve helis yüksekliğine sahip kazıklar ve bir adet pürüzsüz kazık modellenmiştir. Bu

kazıkların yüzey pürüzlülükleri prototip olarak 3D yazıcı teknolojisi ile üretilmiştir. Bu prototip yüzey pürüzlülükleri ile karşılaştırmak için bir çeşit pürüzlü kazığın yüzey pürüzlülüğü prototip olarak çelik malzemeden üretilmiştir.

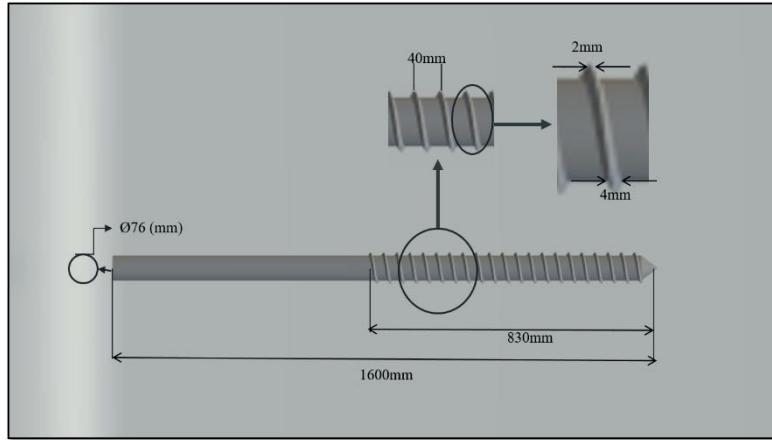
2. MATERYAL METOT

2.1 VİDA KAZIKLAR

Çalışma kapsamında beş farklı geometriye sahip vida kazık modeli ile referans amacıyla düz yüzeye sahip bir model tasarlanmıştır. Tasarlanan vida kazıkların helis aralığı (s) ve helis yüksekliği (b) parametreleri değişken iken dış çap ($\varnothing 76$ mm) ve toplam uzunluk (1600mm) gibi geometrik özellikleri sabit tutulmuştur. Kazıklar için değişken parametreler Tablo 1’de sunulmuştur. Ayrıca Tip C vida kazığının geometrik özellikleri Şekil 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Kazık Tipleri

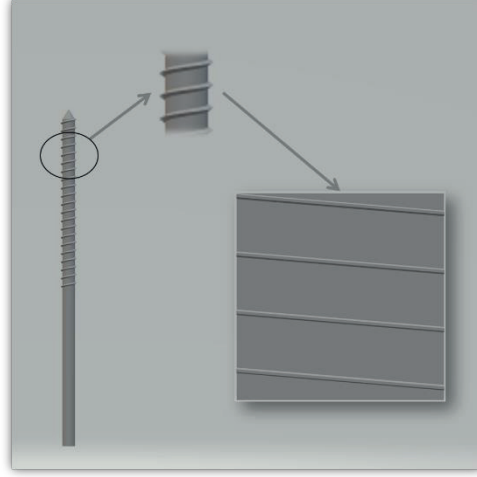
Kazık Tipi	Helis Aralığı (s) (mm)	Helis Yüksekliği (b) (mm)
A	20	10
B	40	5
C	40	10
D	40	15
E	60	10
F	-	-



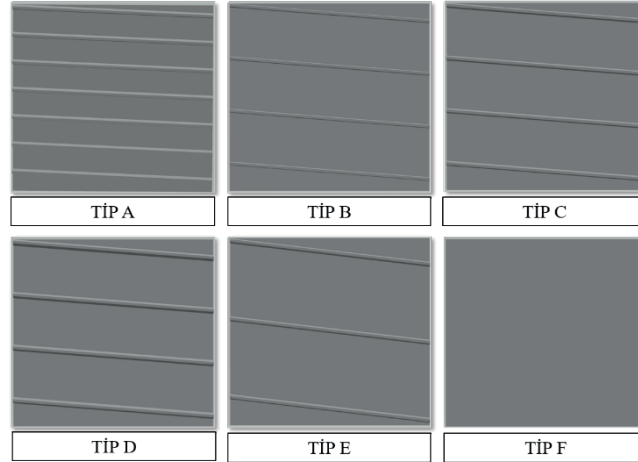
Şekil 1. Tip-C Vida Kazığı Tasarımı

2.2 PROTOTİP VİDA KAZIK YÜZEYLERİ

Kazıkların pürüzlü yüzeyini temsil etmesi amacıyla 15x15 cm² boyutlarındaki farklı helis geometrilerine sahip prototipler Autodesk Fusion 360 yazılımı vasıtası ile oluşturulmuştur. Kazıkların pürüzlülüğünü temsil edecek prototiplerin oluşturulma süreci Şekil 2’de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen beş farklı helisel geometriye sahip prototip vida kazık pürüzlü yüzeyleri ve bir adet düz gövdeli referans kazık yüzeyinin görüntüleri Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 2. Kazıkların Pürüzlü Yüzey Prototipinin Üretim Süreci

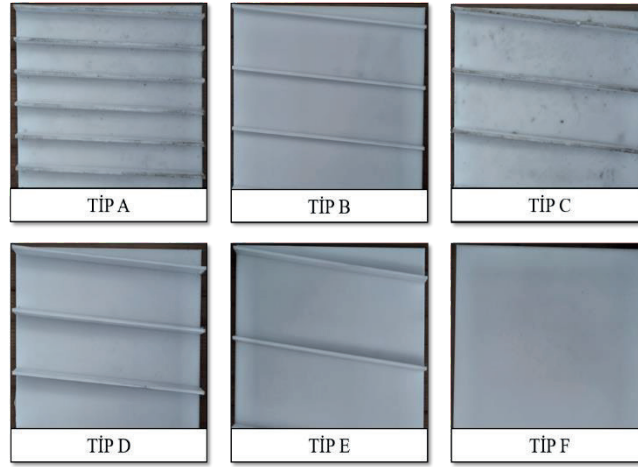


Şekil 3. Kazıkların Yüzeyleri

2.3 PROTOTİP VİDA KAZIK YÜZEYLERİNİN İMALATI

Vida kazıkların geleneksel olarak çelik malzemelerden kaynak, döküm gibi yöntemlerle üretilmektedir (Perko, 2009). Ancak laboratuvar ölçeğinde farklı geometrik tiplerin üretilebilmesi için katmanlı üretimin, bir diğer deyişle 3D yazıcının önemli bir alternatif olabileceği düşünülmektedir. 3D baskı teknolojisinin önemli avantajlarından biri farklı kazık yüzey pürüzlerini kolaylıkla üretilebilecek olmasıdır (Gibson ve ark. 2021). Bu çalışmada tasarlanan vida kazık yüzey prototipleri yoğunluğu 1.27 g/cm³ olan, 230-260°C nozzle sıcaklığı ve 70-90°C tabla sıcaklığında işlenebilen beyaz PETG (Polietilen Tereftalat Glikol) filamentini kullanılarak 3D yazıcı ile basılmıştır.

Her bir prototip 0.4mm nozzle kalınlığına sahip 3D yazıcıda %100 basım yoğunluğu, 100mm/s basım hızı, 80° tabla sıcaklığı ve 245° nozzle sıcaklığında yaklaşık 8 saatte üretilmiştir. Üretilen prototiplerin görüntüleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. 3D Yazıcıda Üretilmiş Prototip Kazık Yüzeyleri

Karşılaştırmak amacıyla 3D yazıcıyla üretilen prototiplere ek olarak bir adet Tip C geometrisine sahip vida kazık yüzey prototipi çelik malzemeden üretilmiştir. Çelik malzemesiyle üretilen prototipteki pürüzler kaynak yardımıyla oluşturulmuştur.

2.4 PÜRÜZLÜLÜK HESABI

Bu çalışmada farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip prototiplerin pürüzlülüklerini hesaplamak amacıyla kum değişimi metodu kullanılmıştır. Bu yöntem elde edilen pürüzlü yüzeyin boşluklarını tamamen kum ile doldurulduğu ve bu sayede elde edilen boşluk hacmini kullanarak pürüzlülük değerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu metot ile pürüzlülük (r) Denklem 1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Liu ve ark. 2023).

$$r = \frac{V_{kum}}{A} \quad [1]$$

Denklemdaki V_{kum} kum ile dolu olan boşluğun hacmi A ise pürüzlerin bulunduğu yüzeyin alanını ifade etmektedir. Farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip prototiplerin hacimleri Autodesk Fusion360 yazılımında verilmektedir. Diş yüksekliği boyunda tüm hacmin dolu olduğu düşünülerek elde edilen hacim değerinden prototipin hacmi çıkartılarak kum ile dolu olacak boşluğun hacmi elde edilmektedir. Pürüzlerin bulunduğu yüzey alanları tüm prototipler için eşit ve 15x15 cm² olduğu bilindiğinden boşluk hacminin bu değere oranı pürüzlülük değerini (r) vermektedir. Bu pürüzlülük hesap yöntemi ile tüm yüzey geometrilerine sahip prototiplerin pürüzlülük hesapları yapılmış olup Tablo 2’de verilmiştir.

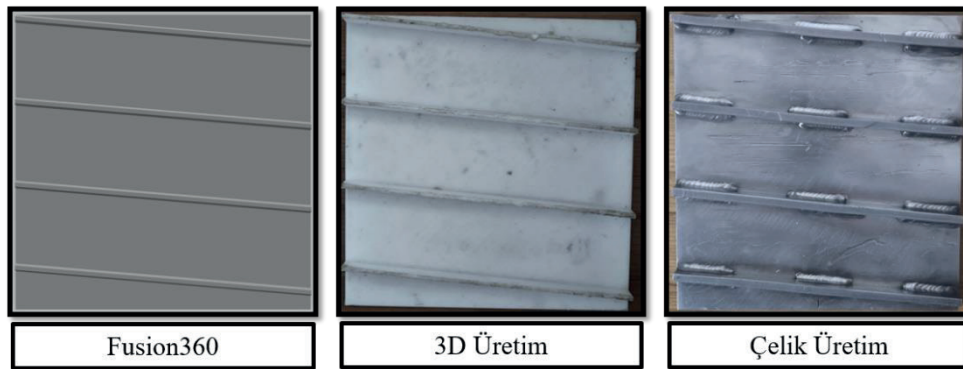
Tablo 2. Pürüzlülük Değerleri

Şekil Tipi	Pürüzlülük Değeri (r)
A	8,599
B	4,599
C	9,197
D	14,860
E	9,395
F	Pürüzsüz

3. BULGULAR

3.1 3D YAZICI İLE BASILMIŞ VE ÇELİKTEN ÜRETİLMİŞ PROTOTİP VIDA KAZIK YÜZEYLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

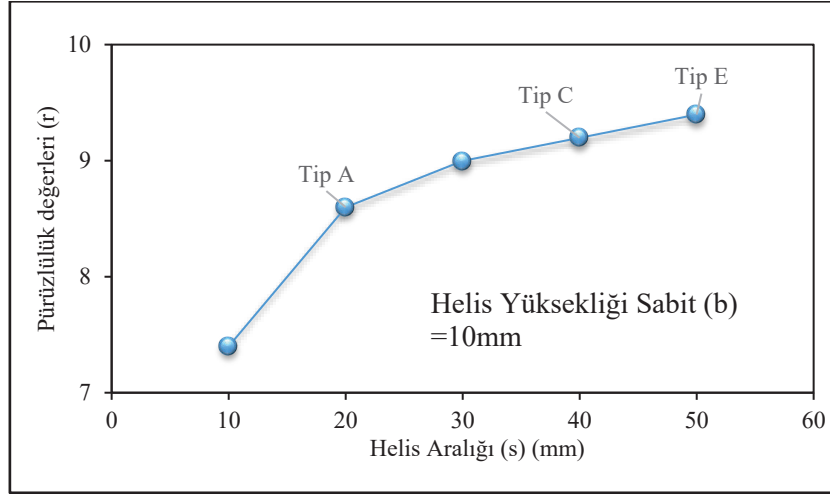
Çalışmada 3D yazıcıda prototip olarak vida kazık yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Elde edilen prototiplerin geleneksel yöntemle ve çelik malzeme ile elde edilecek vida kazık yüzey pürüzlülüğü ile karşılaştırılabilmesi için bir adet (Tip C) vida kazık pürüzlülüğü prototip olarak çelik malzeme ve kaynak yardımı ile üretilmiştir. 3D yazıcıda üretilen Tip C vida kazık prototip yüzey pürüzü ve çelik malzeme ile üretilen muadili Şekil 5'te sunulmaktadır. Elde edilen görsel bulgular 3D yazıcı ile geleneksel yöntemle üretilen vida kazık pürüzlülüğüne oldukça yakın pürüzlülüklerin elde edilebildiğini göstermiştir. 3D yazıcıda vida kazıkların pürüzlülüklerinin prototip olarak, çelik malzemeden yapılan muadiline benzer pürüzlülükte üretilebilmesi ileride vida kazıkların 3D yazıcı ile üretilebilmesi için bir potansiyele sahip olabileceğini göstermektedir.



Şekil 5. Vida Kazık Pürüzlülüğünde 3D Yazıcı ve Geleneksel Yöntemin Karşılaştırılması

3.2 VIDA KAZIK HELİS ARALIĞININ PÜRÜZLÜLÜĞE ETKİSİ

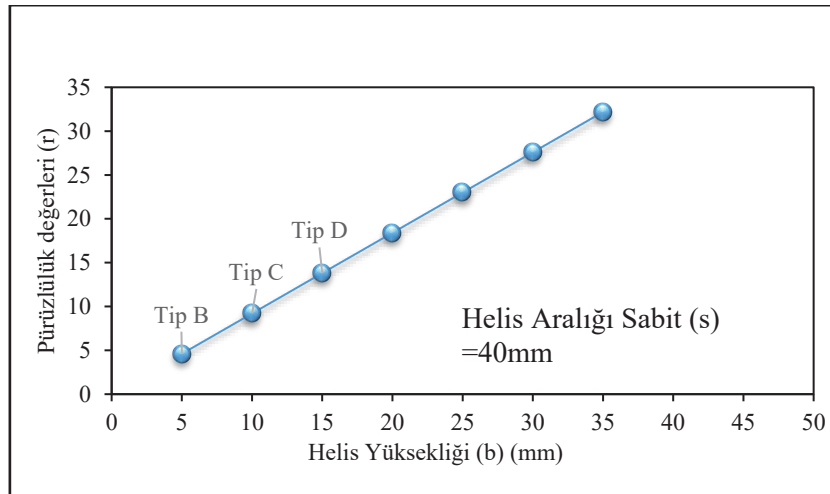
Vida kazıklar için helis yüksekliği sabit tutulduğunda pürüzlülük değerinin helis aralığı ile değişimi Şekil 6'da sunulmuştur. Helis aralığı-pürüzlülük eğrisi incelendiğinde önce helis aralığı artarken pürüzlülük değerlerinin hızla arttığı daha sonra artan helis aralıkları pürüzlülük artış miktarının azaldığı görülmüştür. Bu durum pürüzlülüğün hesap edildiği kum değişim metodu ile de doğrudan alakalı olduğu düşünülmektedir. Bu metotta pürüzlülük için boşluk hacminin ön planda tutulması sebebi ile artan helis aralıklarında pürüzlülük değeri artan hacme bağlı olarak artmıştır. Helis aralığı 10mm'den 20mm'ye çıkarıldığında pürüzlülük değeri yaklaşık %20 artarken, 20mm'den 30mm'ye çıkarıldığında yaklaşık %5, 30mm'den 40mm'ye çıkarıldığında ise yaklaşık %2'lik bir artış elde edilmiştir. Helis aralığı 40mm'den sonra helis aralığı artışında pürüzlülük değerindeki artışı %2'de sabit kalmıştır. Bu durum helis aralığının 40 mm'den fazla olmasının pürüzlülük değerinde oldukça yüksek bir artış yaratmadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 6. Helis Aralığı Pürüzlülük Değişimi

3.3 VIDA KAZIK HELİS YÜKSEKLİĞİNİN PÜRÜZLÜLÜĞE ETKİSİ

Vida kazıklarda helis aralığını sabit tutulduğunda pürüzlülük değerinin helis yüksekliği ile değişimi Şekil 7’de verilmiştir. Helis yüksekliği pürüzlülük grafiği incelendiğinde pürüzlülük değerlerinin helis yüksekliğine bağlı olarak doğrusal bir şekilde arttığı görülmüştür. Bu durum helis yüksekliğinin artması ile boşluk hacminin artması ve pürüzlülük hesabında da doğrudan bu boşluk hesabının kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada kullanılan vida kazık ölçüleri göz önüne alındığında vida kazık çapının helis yüksekliğine oranı Tip B’de 15,2 Tip C’de 7,6 Tip D’de 5,1 olarak belirlenmiştir. Literatürde mevcut birçok çalışmada benzer vida kazık çapı helis yüksekliği oranlarının kullanıldığı görülmektedir (Dourado ve ark. 2025; Khidri ve ark 2021; Khidri ve ark. 2024). Guo ve ark. 2018 yaptıkları referans çalışmasında 6,3, 7,4 ve 9,5 vida kazık çapı helis yüksekliği oranlarını kullanmışlar ve bu oranları yaygın olarak üretilen ürünlerden elde ettiklerini bildirmişlerdir. Günümüzde piyasada projeye özel farklı geometri ve ebatlarda vida kazık üretilse de yaygın olarak kullanılan vida kazıklarda bu oran yaklaşık 6 ile 14 arasında olduğu görülmüştür. Her ne kadar helis yüksekliği ile kazık yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olarak artsa aşırı helis yüksekliklerine sahip vida kazıkları üretim zorlukları dikkate alınarak helis yüksekliğinin belli oranlarda sabit tutulmasının uygun olabileceği düşünülmektedir. Bu bakıma bu çalışmada incelenen 15,2 vida kazık çapı helis yüksekliği oranının sınır kabul edilebileceği düşünülmüştür.



Şekil 7. Helis Yüksekliği Pürüzlülük Değişimi

4. SONUÇ

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır.

- 3D yazıcıların ham madde maliyet avantajı ve fabrikadan bağımsız olarak hızlı üretim imkânı sayesinde gelecekte vida kazık üretimi için bir alternatif olabileceği düşünülmektedir. 3D yazıcı ile ve ayrıyeten geleneksel yöntem ile çelik malzemeden üretilen prototip yüzey pürüzleri 3D yazıcının ileride üretim için sahip olabileceği potansiyelini güçlendirmiştir.
- Vida kazık helis aralığının artması vida kazığın pürüzlülüğünü artırmıştır. Bulgular 40mm helis aralığından sonraki helis aralığı artışlarının pürüzlülük değerinde oldukça küçük artışlar yarattığını göstermektedir.
- Helis aralığının sabit tutulup helis yüksekliğinin artması sonucu elde edilen pürüzlülük değerleri incelendiğinde helis yüksekliği ile yüzey pürüzlülüğünün doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ancak üretim ve maliyet açısından düşünüldüğünde helis yüksekliğini sınırlamanın uygun olacağı ön görülmektedir. Uygulamalarda ve birçok araştırmada vida kazık helis çapının yüksekliğine oranı 6 ila 14 arasında değişen değerlerde alındığı görülmüştür.
- Çalışmada yüzey pürüzlülüğü yüzeydeki boşluk hacmini dikkate alan kum değişimi metodu ile hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar sadece incelenen geometrilere sahip vida kazıklar ve kum değişim metodu pürüzlülük hesabı için geçerlidir.

KAYNAKÇA

- Abbas, H. O., & Ali, O. K. (2020). Comparing the axial performance of screw pile with ordinary piles in soft clay layer overlaying sandy soil. In *Modern Applications of Geotechnical Engineering and Construction: Geotechnical Engineering and Construction* (pp. 119-132). Singapore: Springer Singapore.
- Chen, Y., Deng, A., Zhao, H., Gong, C., Sun, H., & Cai, J. (2023). Model and numerical analyses of screw pile uplift in dry sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 61(6), 1144-1158.
- Das, B. M. (2021). *Principles of foundation engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Ding, P., Liu, Y., Shi, C., Meng, F., Li, W., Deng, Z., & Chang, X. (2024). Study on Bearing Mechanism of Steel Screw Pile. *Buildings*, 14(11), 3376.
- Dourado, João & Deng, Lijun. (2025). Field investigation of steel screw micropiles under axial loads in cohesionless and cohesive soils. *Soils and Foundations*. 65. 101705. 10.1016/j.sandf.2025.101705.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2021). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (3rd ed.). Springer.
- Guo, Zhengyang & Deng, Lijun. (2017). Field behaviour of screw micropiles subjected to axial loading in cohesive soils. *Canadian Geotechnical Journal*. 55. 34-44. 10.1139/cgj-2017-0109.
- Han, F., Ganju, E., Salgado, R., & Prezzi, M. (2018). Effects of interface roughness, particle geometry, and gradation on the sand–steel interface friction angle. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(12), 04018096.
- Ibrahim, I. W., & Karkush, M. (2025). The Axial Uplift Capacity of Screw Piles: A Review. *Journal of Engineering*, 31(6), 105-128.
- Khidri, M., Deng, L. Field Lateral Behaviour of Full-Scale Screw Micropiles in Cohesive and Cohesionless Soils. *Geotech Geol Eng* 42, 3711–3730 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02753-0>
- Khidri, Mujtaba & Deng, Lijun. (2021). Field axial cyclic loading tests of screw micropiles in cohesionless soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 143. 106601. 10.1016/j.soildyn.2021.106601.
- Le, C., Sun, Q., Zhang, P., Ding, H., & Jiang, Q. (2024). Experimental Study on Horizontal Bearing Characteristics of Screw Pile. *Journal of Ocean University of China*, 23(6), 1423-1435.
- Liu, Shan-wei & Zhang, Qian-qing & Ma, Bin & Li, Zhen-bao & Yin, Wei-ping & Lou, Qin-gang. (2023). Study on surface roughness effect on shear behavior of concrete-soil interface. *Engineering Failure Analysis*. 145. 107050. 10.1016/j.engfailanal.2023.107050.
- Lutenegger, A. J. (2011). Historical development of iron screw-pile foundations: 1836–1900. *The International Journal for the History of Engineering & Technology*, 81(1), 108–128. <https://doi.org/10.1179/175812109X12547332391989>

- Ma, H., Ma, G., & Zhang, W. (2025). Prediction method of screw pile bearing capacity under uplift load. *Soils and Foundations*, 65(4), 101662.
- Ma, J., Luo, L., Mu, T., Guo, H., & Tang, Y. (2022). Experimental study on characteristics of pile-soil interaction in screw piles. *Buildings*, 12(12), 2091.
- Mohajerani, A., Bosnjak, D., & Bromwich, D. (2016). Analysis and design methods of screw piles: A review. *Soils and Foundations*, 56(1), 115-128.
- Perko, H. A. (2009). *Helical piles: A practical guide to design and installation*. John Wiley & Sons.
- Wang, X., Chen, T., Wang, X., Li, J., Liu, D., Zhang, Y., & Jiang, D. (2023). Performance of screw piles in thick collapsible loess. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02263.
- Yang, T., Zheng, W., Xie, Y., Zhang, H., & Yue, X. (2023). Evaluating screw-shaft pile composite foundations in round Gravelly soil: A study using model tests and numerical simulations. *Heliyon*, 9(10).
- Zhang, L., Li, J., Ou, Q., et al. (2025). Experimental study on the vertical bearing performance of precast screw pile using transparent soil. *Acta Geotechnica*, 20, 3141–3161.
<https://doi.org/10.1007/s11440-025-02614-x>

BÖLÜM 4

TRABZON KENT MERKEZİ OTOGAR YAPISININ ULAŞIM AĞINA ETKİSİ

Erman ÇAVDAR¹ , Ayşegül ÇELENK ÇAVDAR²

¹ Arş. Gör. , Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı, ORCID ID: 0000-0002-0238-5245

² Öğr. Gör. , Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, ORCID: 0000-0001-8903-751X

1. Giriş

Ulaşım yapıları, kentlerin mekânsal organizasyonunu biçimlendiren, hareketlilik ağlarını yöneten ve kent yaşamının sürekliliğini sağlayan kritik altyapı bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu yapılar, yalnızca taşıma faaliyetinin gerçekleştiği teknik sistemler olarak değil; farklı kullanıcı gruplarını bir araya getiren, kentsel hizmet dağılımını yeniden düzenleyen ve kentle kurulan ilk temasın gerçekleştiği “eşik mekânlar” olarak okunmalıdır. Özellikle terminal ve otogar gibi düğüm noktaları, kent içi ve şehirlerarası akışların kesişiminde yer alarak, kentsel erişilebilirliği ve ulaşım performansını doğrudan etkileyen stratejik karar alanları üretmektedir. Bu nedenle otogarlar, kentteki ulaşım altyapısının işleyişi kadar, kentin imajı ve mekânsal kimliği üzerinde de belirleyici rol üstlenmektedir (Yılmaz Yıldırım, 2021).

Modern kentlerde ulaşım altyapıları; yüksek yoğunluklu yolculuk talebi, zamana duyarlı hareketlilik gereksinimleri, enerji ve kaynak verimliliği hedefleri ile afet ve acil durum senaryolarında süreklilik beklentileri nedeniyle giderek daha karmaşık bir sistem hâline gelmiştir. Bu sistem içinde terminal yapıları, yalnızca bir varış–ayrılış mekânı değil; ulaştırma mühendisliği, trafik mühendisliği, inşaat mühendisliği, makine mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği ve mimarlık disiplinlerinin eş zamanlı olarak devreye girdiği yüksek performanslı düğüm noktalarıdır. Mimarlık terminali; yönlenme, mekânsal deneyim ve kamusal alan üretimi bağlamında değerlendirirken; mühendislik disiplinleri terminali öncelikle kapasite, güvenlik, işletme sürekliliği, enerji performansı, yapısal dayanım ve kullanıcı–taşıt akışlarının optimizasyonu üzerinden tanımlar. Dolayısıyla terminal yapıları, disiplinlerarası bir tasarım alanı olmanın ötesinde, kentsel ölçekte mühendislik temelli kararların mekâna dönüştüğü bütünlüklü sistemlerdir.

Otogarların kent içi ulaşım ağındaki etkisi çoğu zaman iki düzeyde belirginleşmektedir: Birincisi, otogarin oluşturduğu trafik yoğunluğu nedeniyle çevresindeki yol ağında hacim artışı, pik saat yoğunluğu ve akış süreksizliklerinin ortaya çıkmasıdır. İkincisi ise otogarin konumunun, şehirlerarası otobüslerin kent merkezine giriş–çıkış biçimini belirleyerek kent içi trafik desenini yeniden düzenlemesidir. Kent merkezinde kalan otogarlar, şehirlerarası trafiği kentsel arterlere taşımak suretiyle merkezdeki ulaşım baskısını artırabilmekte; buna karşılık kentsel çeperde, ana akslara ve çevre yollarına yakın konumlanan terminaller, şehirlerarası akışların kent içi ağla çakışmasını azaltarak trafik yükünün dağılımında daha dengeli bir yapı oluşturabilmektedir. Bu çerçevede otogar yer seçimi, yalnızca arazi uygunluğu ve fonksiyonel program gereklilikleriyle açıklanabilecek bir mimari tercih değil; kentsel hareketliliği yönlendiren, erişilebilirliği yeniden tanımlayan ve mekânsal gelişme yönlerini etkileyen stratejik bir ulaşım planlama kararıdır. Bu çalışma, Trabzon’da uzun yıllar hizmet vermiş ve zaman içinde kentsel büyümenin merkezinde kalarak artan trafik yükü ile işlevsel sorunlar üretmeye başlayan eski otogar yapısı ile Değirmendere Vadisi üzerinde konumlanan yeni otogar projesini karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Analiz; yeni terminalin E-97 karayolu aksına doğrudan bağlanması üzerinden, ağır taşıt trafiğini kent içi trafikten ayırma potansiyelini, kent içi erişilebilirlik koşullarını ve bölgesel ulaşım ağıyla bütünleşme düzeyini tartışmaktadır. Bu çerçevede çalışmanın temel amacı, otogar yer seçiminin Trabzon ölçeğinde kentsel trafik deseni, ulaşım ağının işleyişi, erişilebilirlik ve mekânsal süreklilik üzerinde yarattığı etkileri ortaya koymak; terminal yapılarının kent içi ulaşım sisteminde yalnızca bir “hizmet binası”

değil, kentsel eşikleri yeniden üreten bir ağ bileşeni olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, otogarların mimari nitelikleri kadar, konum–bağlantı–işletme kararlarının da kentsel performans üzerinde belirleyici olduğunu vurgulayan bütüncül bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

2. Ulaşım Yapıları

Kentsel sistem içerisinde hareketin alışagelmış ya da potansiyel hatlarını oluşturan yol ağı, kentin mekânsal düzeninin kurulmasında en etkili araçlardan biridir. Kentler, genellikle düzenlenmiş yol kümeleri aracılığıyla yapılandırılmakta; bu kümelerin stratejik noktalarını ise yolların kesiştiği, bağlantıların kurulduğu ve hareket hâlindeki birimin yön değiştirme kararının verildiği düğüm noktaları oluşturmaktadır (Lynch, 2014). Bu noktalar, hareketin en yoğun yaşandığı dinamik alanlar olup, kentsel ölçekte kavşaklar bu duruma en belirgin örneklerdir. Kent parçalarını birbirine bağlayan bir omurga işlevi görmekten uzaklaşarak ayrıştırıcı bir etki yaratan ve yalnızca hızlı taşıt trafiğine hizmet eden ana arterlere dönüşen bulvarlar ise, basitleştirilmiş işlevsel sınıflamalarla tanımlanması güç, özgün kentsel mekânlar hâline gelmiştir. Bu tür ulaşım aksları, kentsel bütünleşmeyi desteklemek yerine, çoğu zaman mekânsal kopukluklar üretmekte ve kent içi ilişkileri zayıflatmaktadır (Özlü ve Dedeoğlu Özkan, 2021'den akt. Memlük ve Ercan, 2016).

Ulaşım yapıları, yalnızca hareketliliği sağlayan teknik altyapı elemanları olarak değil; kentsel organizasyonu yönlendiren, mekânsal hiyerarşileri yeniden tanımlayan ve kent imajını doğrudan etkileyen stratejik kentsel eşikler olarak değerlendirilmelidir. Bu bağlamda otogar yapıları; şehirlerarası ulaşım ağının kentle buluştuğu, farklı ölçeklerdeki hareketliliğin kesiştiği ve kentsel ulaşım sisteminin işleyişini doğrudan etkileyen kritik düğüm noktaları olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye’de ulaşım yapıları, ekonomik büyümenin dinamiklerini belirleyen, toplumsal refahı destekleyen ve kentsel gelişimin yönünü şekillendiren stratejik unsurlar arasında yer almaktadır (Arsal, 2004). Ulaştırma, en genel tanımıyla; kişilerin ve malların yer ve zaman faydası sağlamak amacıyla ekonomik, hızlı ve güvenli biçimde yer değiştirmesini ifade etmektedir (Oral ve Kıpık, 2019). Türkiye’de ulaşım altyapısı; karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu olmak üzere dört ana sistem üzerinden gelişmiş; özellikle 1950’li yıllardan itibaren karayolu ağırlıklı bir büyüme ve planlama yaklaşımı benimsenmiştir (Yayla, 2004). Türkiye’de yaşanan doğal afetler ve büyük ölçekli felaketler, kentlere erişim ve ulaşımın önemini daha da artırmıştır. Afet durumlarında hızlı ve etkin müdahale gereksinimi, ulaşım ağlarının sürekliliğini ve dayanıklılığını kritik bir planlama bileşeni hâline getirmiştir. Kasap ve Hamamcıoğlu’nun (2025) Depreme Dayanıklı Kentler bağlamında gerçekleştirdikleri çalışmada, ulaşım ağlarının kent içi çözümler açısından taşıdığı hayati öneme özellikle vurgu yapılmaktadır. Ulaştırma sistemi; her biri kendine özgü teknik, işlevsel ve mekânsal özellikler barındıran karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu ve boru hatları gibi farklı alt sistemlerden oluşmakta; bu sistemlerin bütüncül ve eşgüdümlü biçimde planlanması, kentsel sürdürülebilirlik ve erişilebilirlik açısından temel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Deniz, 2016).

2.1. Karayolu Yapıları ve Otogarlar

Yolcu taşımacılığında başlangıç ve varış noktaları, yük taşımacılığında ise üretim ve tüketim merkezleri arasında aktarmasız ulaşım olanağı sunması; yüksek taşıma kapasitesi, güzergâh seçiminde sağladığı esneklik ve yüklerin kısa ve orta mesafelerde görece daha hızlı taşınabilmesi, karayolu taşımacılığının temel özellikleri arasında yer almaktadır. Demiryolu, denizyolu ve havayolu taşımacılığında çoğunlukla aktarmalı bir sistemin söz konusu olması nedeniyle, bu ulaşım türleri için tamamlayıcı bir rol üstlenen karayolu taşımacılığı, dünyada olduğu gibi Türkiye’de de diğer ulaşım türlerine kıyasla daha hızlı bir gelişim göstermiştir (DPT, 2005’ten akt. Deniz, 2016).

Karayoluna bağlı üstyapı sistemleri kapsamında değerlendirilen terminal ve kavşak gibi odak–düğüm noktaları, bu noktaları birbirine bağlayan güzergâhlar (yol/rota) ve ulaşım ilişkisinin her türlü altyapı elemanı, ulaşım ağının temel bileşenlerini oluşturmaktadır (Kara, 2012’den akt. Shunk, 1992). Bu bağlamda otogarlar ve terminaller, şehirlerarası ulaşım ağının kentle kesiştiği, çok işlevli aktarma platformları olarak tanımlanmaktadır. Türkiye’de bu yapılar, yalnızca yolcu indirme–bindirme işleviyle sınırlı kalmamakta; alışveriş, yeme–içme ve konaklama gibi farklı hizmetleri bünyesinde barındıran, kentsel ölçekte alt merkezler olarak planlanmakta ve işletilmektedir (Erdoğan ve Kepenek, 2022).

Otogar alanlarının oluşturduğu yoğun trafik yükü, kent içi ulaşım sistemini doğrudan ve büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle yer seçiminde; kentin çeperlerinde, kent merkezine erişimin kolay olduğu, aynı zamanda araçların transit olarak kullanabileceği ana ulaşım akslarına yakın alanların tercih edilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımın temel amacı, otogar kullanıcılarının kent içi trafiğe girmesini önlemek ve otobüslerin en kısa sürede çevre yollarına bağlanmasını sağlamaktır. Böylece hem otobüsler hem de otogara gelen taşıtlar kent içi trafik yüküne dâhil olmamakta; kent merkezinde trafik yoğunluğu oluşmazken, kullanıcılar açısından da zaman tasarrufu ve ulaşım verimliliği sağlanmış olmaktadır (Erdoğan ve Kepenek, 2022).

3. Ulaşım Ağı: Trabzon Kent Merkezi

Trabzon, Doğu Karadeniz Bölgesi’nin en önemli kıyı kentlerinden biri olarak hem kent içi hem de şehirlerarası ulaşım açısından stratejik bir konuma sahiptir. Karadeniz kıyısı boyunca uzanan lineer yerleşim dokusu ile denizden kısa mesafede hızla yükselen topoğrafyası, kentin ulaşım sisteminin biçimlenmesinde belirleyici olmuştur. Bu özgün coğrafi yapı, ulaşım ağının ağırlıklı olarak doğu–batı doğrultusunda gelişmesine neden olurken; kuzey–güney yönlü bağlantıların ise yalnızca belirli vadiler üzerinden kurulabilmesini beraberinde getirmiştir.

Trabzon kent içi ulaşım hiyerarşisinde Sahil Yolu, ana omurga işlevi görmektedir. Bu aksa alternatif olarak geliştirilen Tanjant Yolu (Yavuz Selim Bulvarı) ile yapımı büyük ölçüde tamamlanan Kanuni Bulvarı, kentin güney çeperini çevreleyerek transit trafiği kent merkezinden uzaklaştırmayı ve mevcut trafik yükünü azaltmayı hedeflemektedir. Ancak Değirmendere, Zağnos ve Tabakhane vadileri gibi derin topoğrafik eşikler, kuzey–güney doğrultusunda

kıyı ile iç kesimler arasındaki erişimi önemli ölçüde sınırlandırmakta (Öksüz, 2010) ve bu alanları kentsel ulaşım açısından kritik düğüm noktalarına dönüştürmektedir. Bu vadiler arasında özellikle Değirmendere Vadisi, kentin ulaşım kurgusu içinde en stratejik koridor olarak öne çıkmaktadır. Trabzon–Gümüşhane–Erzurum (E-97) Karayolu bağlantısını barındıran bu aks (Görsel 1), liman ve sanayi bölgeleriyle kurduğu doğrudan ilişki nedeniyle ağır taşıt trafiğinin yoğunlaştığı güzergâhlardan biridir. Bununla birlikte, güzergâhın doğal ve kültürel değerleri, mevcut rekreasyon alanları ve bitki örtüsü, bu hattı aynı zamanda turizm rotası açısından da cazip kılmaktadır (Sezen ve Yılmaz, 2010).



Görsel 1. Trabzon-Gümüşhane- Erzurum Karayolu, E-97 (URL-3)

Trabzon–Değirmendere Vadisi’nin varlığı, tarihsel Trabzon kentinin kuruluşunda da belirleyici bir rol oynamıştır. Nitekim Doğu Karadeniz kıyısındaki kentlerin önemli bir bölümü, akarsuların denize ulaştığı noktalara yakın alanlarda konumlanmıştır. Bu yer seçimi üzerinde, vadilerin kıyı ile iç kesimler arasında doğal ulaşım koridorları oluşturması etkili olmuştur. Değirmendere Vadisi, yüzyıllar boyunca Asya’dan Karadeniz’e uzanan tarihî İpek Yolu güzergâhının izlediği başlıca akslardan biri olarak öne çıkmış; bu yönüyle Trabzon kent merkezi ile çevre yerleşimler arasındaki ulaşım bağlantılarında tarihsel süreç boyunca stratejik bir işlev üstlenmiştir (Akça, 2020). Trabzon’da kentsel gelişimin planlarla yönlendirilmesine yönelik ilk kapsamlı çalışmalardan biri olan Lambert’in 1938 Planı’nda; Sahil Yolu ile Cumhuriyet, Atatürk ve Reşadiye caddeleri kentsel ana arterler olarak ele alınmış ve bu yolların azami 30 metre genişlikte düzenlenmesi önerilmiştir. Sahil Yolu, kent içi yol niteliğinde planlanarak çevresinde yaya kullanımını önceleyen geniş gezinti ve rekreasyon alanları ile desteklenmiştir. Tekfurçayır’dan (Erdoğan) itibaren kentin yüksek kotlarını izleyen kornişli bir yol sistemi önerilmiş; bu güzergâh boyunca yer alan Boztepe’nin, yapılaşmaya açılmadan umumi park alanı olarak korunması öngörülmüştür. Mevcut yerleşim dokusu içerisindeki dar yolların ise ıslah edilerek genişletilmesi hedeflenmiş; yol genişliğinin en az 12 metre olacak şekilde her iki taraftan sağlanması ve yol ortasında konumlanan konutlarda yan bahçe mesafelerinin 6 metre olarak düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir.

NİP Raporu 1970 Planı'nda ise kentsel gelişimin temelini, doğu-batı aksı doğrultusunda öngörülen büyüme yaklaşımı ile Tanjant Yolu'nun ana ulaşım sistemi olarak kurgulanması oluşturmıştır. Bu bağlamda Tanjant Yolu, batıda mevcut yerleşim alanlarının devamı niteliğindeki konut gelişme alanlarını kent merkezi ve sanayi bölgelerine bağlayan ana aks olarak işlev görürken; doğuda, karayollarına paralel biçimde yerleşim alanları içerisinde bir ana arter niteliği kazanmıştır. NİP Raporu 1989 Planı'nda ise kentin doğu, batı ve merkez olmak üzere üç etap halinde gelişmesi öngörülmüş; bu durum ulaşım bağlantılarının ağırlıklı olarak doğu-batı doğrultusunda kurgulanmasına neden olmuştur. Ancak kentin güney yönünde büyümesiyle birlikte, kuzey-güney doğrultusunda yeni ulaşım bağlantılarına duyulan gereksinim artmıştır. Bu doğrultuda, belirli alanlara hizmet edecek şekilde yüksek kotlu bir korniş yolu önerilmiş; topoğrafyanın elverdiği ölçüde daha güneyden geçen, 17 m ve 15 m genişliklerinde, süreklilik gösteren ikinci bir yol sistemi tasarlanmıştır. Bu yolun, uygun eğim koşullarının sağlandığı noktalarda Tanjant Yolu kavşaklarına bağlanarak bütüncül bir ulaşım ağı oluşturması hedeflenmiştir. NİP Raporu 2002 Planı'nda ise yeni karayolu projeleri; uluslararası liman, yat limanı, balıkçı barınakları, karayolu geçişleri, geniş park alanları ile spor ve fuar alanlarını kapsayan Kıyı Planı kapsamında ele alınmıştır. Bu çerçevede geliştirilen Güney Çevre Yolu Projesi, Doğu Karadeniz kıyısı boyunca uzanan ve kent ile deniz arasındaki ilişkiyi kesen mevcut sahil karayolunun trafik yükünü uzun vadede güneye kaydırmayı amaçlamaktadır. Proje, artan ulaşım talebini karşılayacak stratejik bir aks olarak kurgulanmış ve erişme kontrollü yol (otoyol) statüsünde imar planlarına işlenmiştir (Beyazlı ve Özlü, 2020). Bu bağlamda, bir geçiş noktası olarak Trabzon'un bünyesinde barındırdığı ulaşım yapıları önem kazanmaktadır. Yılmaz Yıldırım'ın (2021) aktardığına göre Eski Trabzon Terminali; Rize-Artvin-Batum-Tiflis hattı ile Bağımsız Devletler Topluluğu ülkeleri, Gümüşhane-Bayburt-Erzurum ve Giresun-Ordu-Samsun-Ankara-İstanbul istikametleri olmak üzere üç ana karayolu ulaşım ağına hizmet vermektedir. Kent merkezine yaklaşık 2 km uzaklıkta konumlanan terminal, inşaat sürecinin tamamlanmasının ardından 1988 yılında hizmete açılarak faaliyete geçmiştir.

İl yol ağının yapısı da otogar erişimini belirleyen temel çerçeveyi sunmaktadır. Trabzon'da toplam yol ağı 1.103 km olup, bunun 242 km'si devlet yolu, 861 km'si il yolu niteliğindedir. Satış cinsi dağılımında ise 472 km BSK, 473 km SK ve 158 km diğer (parke, stabilize, toprak vb.) yol türleri yer almaktadır (URL-4). Bulvarlar, şehir geçişleri ve bağlantı yolları üzerinde yeni kapasite ve alternatif aksların üretilmesi, otogarın kent içi erişiminde tek koridora bağımlılığı azaltabilecek önemli bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Benzer biçimde Güney Çevre Yolu, 43,8 km uzunluğunda ve 2×3 şeritli bölünmüş yol standardında projelendirilmiş; şehir içi ve transit trafiğin ayrıştırılması hedeflenmiştir (URL-4). Bu tür bir ayrıştırma, kent merkezinde yer alan otogar çevresindeki trafik baskısını azaltma ya da akışları yeniden dağıtma potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla otogar kaynaklı ve otogar hedefli yolculuklarda seyahat süreleri ve güzergâh tercihleri değişebilecektir.

Trabzon'da toplu taşıma sistemi tamamen lastik tekerlekli araçlara dayanmaktadır. Belediye otobüsleri ile özel halk dolmuşlarının oluşturduğu bu yapı, kentin farklı ölçeklerdeki ulaşım gereksinimlerine yanıt vermektedir. Ancak raylı sistemlerin bulunmaması, karayolu altyapısı üzerindeki baskıyı artırarak özellikle yoğun saatlerde kapasite sorunlarını daha belirgin hâle getirmektedir. Bu nedenle, otogar ağının gelecekteki rolü açısından çok modlu ulaşım enteg-

rasyonu önem kazanmaktadır. Trabzon'da planlanan raylı sistem hattının 21 km uzunluğunda ve 40 istasyonlu olması öngörülmekte; ihale hazırlık çalışmalarının sürdüğü belirtilmektedir (URL-4). Şehirlerarası ulaşım bağlamında Trabzon, Karadeniz'i iç bölgelere bağlayan önemli bir geçiş noktasıdır. Trabzon–Gümüşhane–Erzurum aksı üzerinden Doğu Anadolu'ya uzanan karayolu bağlantıları, kentin liman, sanayi ve lojistik işlevleriyle bütünleşmekte; bu durum özellikle vadi koridorlarında ağır taşıt trafiğinin yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Kentte yer alan otobüs terminali ise yalnızca bir ulaşım yapısı olmanın ötesinde, şehirlerarası yolcu hareketliliğini kent içi ulaşım ağıyla buluşturan, çok işlevli bir kentsel eşik niteliği taşımaktadır.

3. Trabzon İli Yeni ve Eski Otogar Yapısının Ulaşım Ağına Etkisi

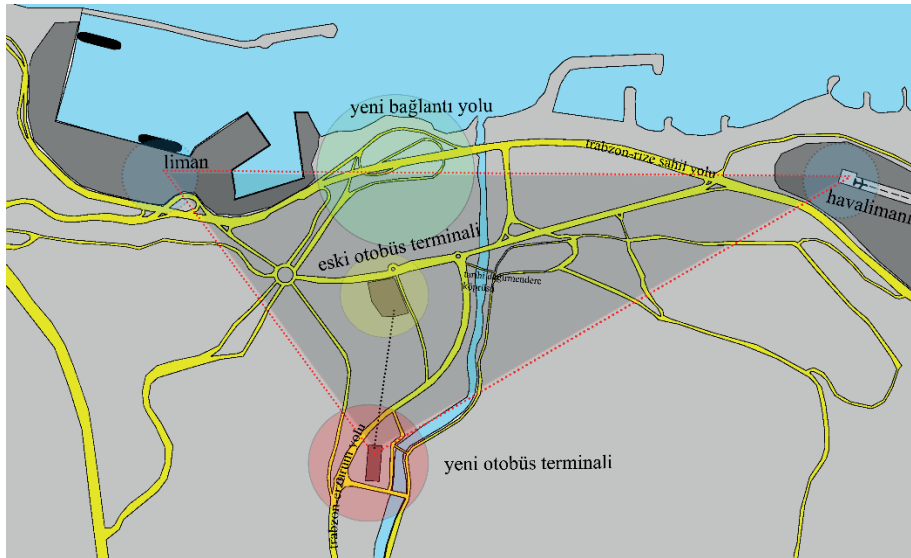
Trabzon, Karadeniz kıyısı boyunca uzanan lineer yerleşim yapısı ve denizden iç kesimlere doğru hızla yükselen topoğrafyası nedeniyle ulaşım ağının büyük ölçüde doğu–batı doğrultusunda geliştiği bir kenttir. Kuzey–güney yönlü bağlantılar ise Değirmendere, Zağnos ve Tabakhane vadileri gibi derin topoğrafik eşikler üzerinden sağlanmakta; bu durum belirli koridorları ulaşım açısından zorunlu ve stratejik hale getirmektedir. Bu coğrafi yapı içerisinde otogarların konumlanması, yalnızca bir ulaşım yapısının yer seçimi değil, aynı zamanda kentsel trafik yükünün dağılımı ve erişilebilirlik düzeyinin yeniden kurgulanması anlamına gelmektedir. Trabzon örneğinde yeni ve eski otogar yapılarının konumu ve ulaşım ağıyla kurduğu ilişkiler, kentin mekânsal ve işlevsel dönüşümünü okumak açısından önemli veriler sunmaktadır.

Kentte uzun yıllar hizmet veren eski otogar yapısı (Görsel 2), zaman içerisinde kentsel büyümenin merkezinde kalmış; artan yolcu kapasitesi, ağır taşıt hareketleri ve kent içi trafikle doğrudan temas etmesi nedeniyle işlevsel sorunlar üretmeye başlamıştır. Şehirlerarası otobüs trafiğinin kent merkezine kadar sokulması, özellikle pik saatlerde trafik yoğunluğunu artırmış; yaya, özel araç ve toplu taşıma hareketliliği ile çakışan bir ulaşım deseni ortaya çıkarmıştır. Bu durum, otogarın kent içi ulaşım sistemine yük bindiren bir unsur haline gelmesine neden olmuştur.



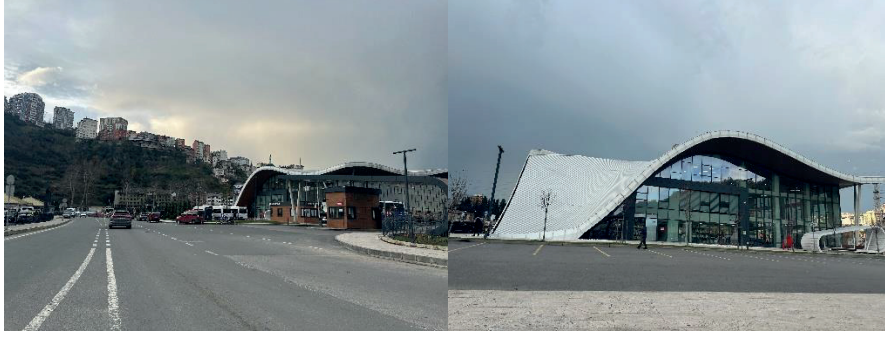
Görsel 2. Trabzon Şehirlerarası Eski Otobüs Terminali (URL-2)

Yeni otogar yapısının kentin güney kesiminde, özellikle Değirmendere Vadisi üzerinde konumlandırılması ise ulaşım planlaması açısından farklı bir yaklaşımı temsil etmektedir (Görsel 3). Trabzon–Gümüşhane–Erzurum karayolu aksına doğrudan bağlantı sağlayan bu konum, şehirlerarası ulaşımın kent merkezine girmeden dağıtılmasını mümkün kılmakta; ağır taşıt trafiğinin ana arterler üzerinden yönlendirilmesine olanak tanımaktadır. Böylece yeni otogar, yalnızca yolcu taşımacılığına hizmet eden bir yapı değil, kentin kuzey–güney yönlü en yoğun ulaşım aksıyla bütünleşen stratejik bir transfer noktası olarak işlev kazanmaktadır. Ancak bu yer seçimi, aynı zamanda toplu taşıma entegrasyonu açısından yeni gereksinimleri de beraberinde getirmektedir. Trabzon’da raylı sistemlerin bulunmaması ve toplu taşımanın tamamen lastik tekerlekli araçlara dayanması, yeni otogarın erişilebilirliğini büyük ölçüde belediye otobüsleri ve özel halk dolmuşları üzerinden tanımlamaktadır. Dolmuş odaklı sistemin baskınlığı, ana arterlerde dur-kalk sıklığını artırmakta ve trafik akış hızını düşürmektedir. Bu nedenle yeni otogarın ulaşım ağına entegrasyonu, yalnızca karayolu bağlantılarıyla değil; toplu taşıma organizasyonu, aktarma noktaları ve yolcu sirkülasyonunun bütüncül biçimde ele alınmasıyla anlam kazanmaktadır.



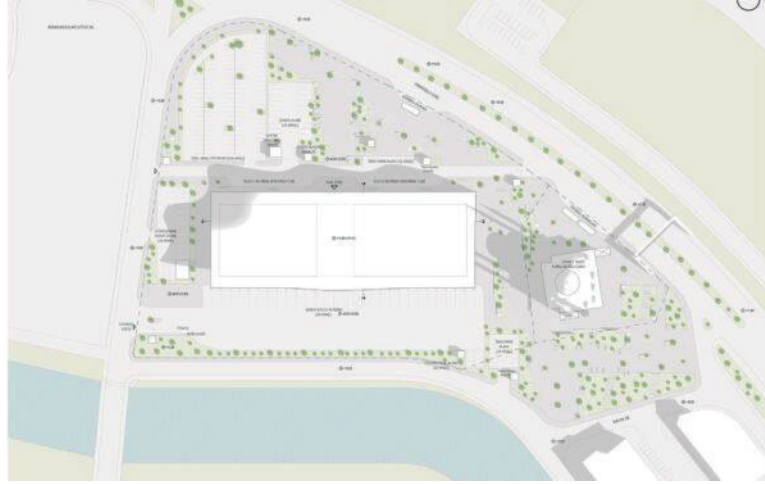
Görsel 3. Trabzon Şehirlerarası Yeni Otobüs Terminali (Çavdar ve Çelenk Çavdar, 2025).

Trabzon Şehirlerarası Yeni Otobüs Terminali (Görsel 4) Studio 3 Mimarlık tarafından tasarlanmış ve 2020 yılında inşasına başlanmıştır. Toplam inşaat alanı 11.069,51 m² olan yapı, 28 araç kapasiteli otobüs peronları ile 1.863,23 m² büyüklüğünde yolcu bekleme alanına sahiptir (URL-1).



Görsel 4. Trabzon Şehirlerarası Yeni Otobüs Terminali (Çavdar ve Çelenk Çavdar, 2025).

Yaklaşık 5.200 m² taban alanına oturan yapıda (Görsel 5); ulaşım ve hizmet birimlerinin yanı sıra yaklaşık 1.200 m² kiralanabilir ticari alan ile 800 m² büyüklüğünde ofis birimleri yer almaktadır (URL-1).



Görsel 5. Trabzon Şehirlerarası Yeni Otobüs Terminali Planı (URL-1)

Çalışma konusu olan yeni otobüs terminalinin bu vadi üzerinde konumlandırılması, yalnızca bir yapı yer seçimi değil; kentin en yoğun kuzey–güney ulaşım aksının trafik yüküyle doğrudan ve bütüncül biçimde entegre edilmesi anlamına gelmektedir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Yeni ve eski otogar yapılarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi, Trabzon’da ulaşım yapılarının kentsel sistem üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Kent merkezinde konumlanan eski otogar, zaman içerisinde kentsel büyümenin odağında kalarak önemli bir ulaşım yükü üretmiş; artan yolcu kapasitesi ve şehirlerarası otobüs trafiğinin doğrudan kent içi arterlerle çakışması nedeniyle işlevsel açıdan sorunlu bir düğüm noktasına dönüşmüştür. Özellikle pik saatlerde yaya, özel araç ve toplu taşıma hareketliliği ile şehirlerarası otobüs

trafiğinin kesişmesi, kent merkezinde trafik yoğunluğunu artırmış ve ulaşım performansını olumsuz etkilemiştir. Bu durum, otogarların zaman içinde değişen kentsel ölçek ve hareketlilik gereksinimlerine uyum sağlayamadığında işlevsel açıdan sürdürülemez hâle gelebileceğini göstermektedir. Buna karşılık yeni otogar yapısı, ulaşım ağını geliştirmeyi hedefleyen ve şehirlerarası ulaşım ile kent içi ulaşımı ayrıştıran bir planlama yaklaşımını temsil etmektedir. Değirmendere Vadisi üzerinde, Trabzon–Gümüşhane–Erzurum (E-97) karayolu aksına doğrudan bağlantı sağlayacak biçimde konumlandırılan yeni otogar, şehirlerarası otobüs trafiğinin kent merkezine girmeden ana arterler üzerinden dağıtılmasına olanak tanımaktadır. Bu yer seçimi, ağır taşıt trafiğinin kentsel yol ağıyla temasını azaltarak trafik yükünün mekânsal olarak yeniden paylaşılmasını mümkün kılmakta; yeni otogarı kent içi ve bölgesel ulaşım ağını birbirine bağlayan stratejik bir transfer ve yönlendirme düğümü hâline getirmektedir. Ancak yeni otogarın kentin güney kesiminde yer alması, erişilebilirlik ve toplu taşıma entegrasyonu açısından yeni planlama gereksinimlerini de beraberinde getirmektedir. Yaya yollarının eksikliği ve diğer ulaşım yapılarına erişimin kısıtlı olması ulaşım sürekliliği sekteye uğratmaktadır. Bu durum, yeni otogarın ulaşım ağındaki potansiyel faydalarının yalnızca karayolu bağlantısıyla değil; toplu taşıma organizasyonu, aktarma noktalarının kurgusu ve yolcu sirkülasyonunun bütüncül biçimde ele alınmasıyla açığa çıkabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla yeni terminalin başarısı, tekil bir yapı ölçeğinde değil, kent bütününde geliştirilecek bütünleşmiş ulaşım politikalarıyla doğrudan ilişkilidir.

Kanuni Bulvarı ve Güney Çevre Yolu gibi büyük ölçekli ulaşım projeleri, şehir içi ve transit trafiğin ayrıştırılmasına yönelik önemli potansiyeller sunmaktadır. Bu projelerin tamamlanması ve etkin biçimde işletilmesi, otogar çevresindeki trafik baskısını azaltarak güzergâh tercihlerini yeniden şekillendirebilir ve seyahat sürelerinde iyileşme sağlayabilir. Özellikle Güney Çevre Yolu’nun devreye girmesiyle birlikte, ağır taşıt trafiğinin kent merkezinden uzaklaştırılması, yeni otogarın bölgesel ulaşım ağı içerisindeki rolünü daha da güçlendirecektir.

Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, otogar yapılarının gelecekteki rolünün çok modlu ulaşım entegrasyonu ile doğrudan ilişkili olduğudur. Trabzon’da planlanan raylı sistem hattı ve havayolu ulaşımındaki artış, otogarın yalnızca karayolu odaklı bir yapı olmaktan çıkarak, farklı ulaşım türleri arasında geçişi mümkün kılan bir aktarma merkezi niteliği kazanmasını gerekli kılmaktadır. Bu potansiyelin tam anlamıyla hayata geçirilebilmesi, otogar–havalimanı–raylı sistem bağlantılarının hızlı, erişilebilir ve kullanıcı dostu bir biçimde bütüncül olarak tasarlanmasına bağlıdır. Aksi takdirde, yeni otogarın kent içi ulaşım sistemiyle bütünleşmesi sınırlı kalacak ve mekânsal avantajlar yeterince değerlendirilemeyecektir. Trabzon örneği, otogar yer seçiminin ve ulaşım ağıyla kurulan ilişkinin; kent içi trafik düzeni, erişilebilirlik, mekânsal süreklilik ve kentsel yaşam kalitesi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Yeni otogar yapısı, Trabzon’un ulaşım sisteminde yalnızca işlevsel bir yer değiştirmeyi değil; kentsel hareketliliğin yeniden örgütlenmesini, trafik yüklerinin mekânsal olarak yeniden dağıtılmasını ve ulaşım altyapısının daha bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasını temsil etmektedir. Bu bağlamda çalışma, ulaşım yapılarının; konum, bağlantı ve işletme kararlarıyla birlikte değerlendirilmesi gereken stratejik kentsel altyapılar olduğunu vurgulamakta ve benzer topoğrafik ve mekânsal koşullara sahip kentler için karşılaştırmalı bir planlama çerçevesi sunmaktadır.

Kaynakça

- Akça, M. D. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemi ile Çevresel Verilerin Modellenmesi: Trabzon-Değirmendere Vadisi Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Arsal, G. (2004). *Büyük Kentlerde Otogar Planlaması: İstanbul Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çavdar, E. Ve Çelenk Çavdar, A. (2025). Kişisel Arşiv.
- Deniz, T. (2016). Türkiye’de Ulaşım Sektöründe Yaşanan Değişimler ve Mevcut Durum. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 135-156. <https://doi.org/10.17295/dcd.79471>
- Beyazlı, D. ve Özlü, S., (2020). *Trabzon Kentinin Geçmişten Bugüne Mekânsal Planlama Serüveni*. Gelecek ve Kent (pp.3-18), Ankara: Nobel Yayınevi.
- Erdinç, E., & Kepenek, E. (2022). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Alternatifler Arası Otogar Yer Seçimi: Isparta Örneği. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(2), 483-500. <https://doi.org/10.30785/mbud.1160978>
- Kara, D. (2012). *Yer Seçim İlkeleri Doğrultusunda İstanbul Otogarlarının ve Öneri Otogar Alanlarının Çok Ölçütlü Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kasap, Ş., & Hamamcıoğlu, C. (2025). Depreme Dayanıklı Kentler Bağlamında Ulaşım Ağlarının Kritik Rolü: Farklı Ülkelerin Ulaşım Stratejilerinden Deneyimler ve Çıkarımlar. *Ege Mimarlık* (128), 56-67.
- Lynch, K. (2014). *Kent İmgesi*. İstanbul: Türkiye İş Bankası
- Memlük, N. O., & Ercan, M. A. (2016). Bir Kent Bulvarı’ndan Ana Artere Dönüşüm Süreci: Atatürk Bulvarı Örneği. *80 Sonrası Mekân ve Planlama*, 217.
- Oral, C., & Kıpkip, E. (2019). Ulaştırma Sektörünün Önemi Üzerine Kavramsal Bir Yaklaşım. *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), 58-64.
- Öksüz, M. (2010). Trabzon’da Dere Islahına İlk Örnek: Debbaghane ve Zağnos Derelerinin Yüz Yıl Önceki Hikâyesi. *Uluslararası Karadeniz İncelemeleri Dergisi*, 8(8), 91-109.
- Özlü, S., & Dedeoğlu Özkan, S., (2021). *Kentsel Mekânı Biçimlendiren Kent İçi Ulaşım Kararları: Kanuni Bulvarı*. Doğu Karadeniz Yapılı Çevre Tartışmaları (pp.190-215), Lyon: Livre de Lyon.
- Sezen, I. ve Yılmaz, S. (2010). Visual assessment for the evaluation of Erzurum-Bayburt-of highway as scenic road. *Scientific Research and Essay*, 5(4): 366-377.
- Yayla, N. (2004). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsan Yayınevi

Yılmaz Yıldırım, D. (2021). Kente Ulaşımı Sağlayan Binaların Kent İmajına Etkisi; Trabzon Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3), 578-593. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.888540>

İnternet Kaynakça:

URL-1: <https://www.arkitera.com/proje/trabzon-otobus-terminali/> (Erişim Tarihi: 29.12.2025)

URL-2: <https://www.kuzeyekspres.com.tr/haber/17294935/trabzonda-eski-otogari-yeri-ne-olacak-bu-istek-one-cikiyor> (Erişim Tarihi: 29.12.2025)

URL-3: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMimages/Haritalar/turistik.jpg> (Erişim Tarihi: 29.12.2025)

URL-4: https://www.uab.gov.tr/uploads/cities/61_Trabzon.pdf (Erişim Tarihi: 29.12.2025)