Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

KONSOL İSTİNAT DUVAR ALTI KAZIKLARININ TEMEL ALTI KONUMU İLE YÜK DENGESİNİN DEĞİŞİMİ

VARIATION OF LOAD BALANCE WITH THE POSITION OF SUB-FOUNDATION PILES UNDER CANTILEVER RETAINING WALL

Betül ÇAĞDAŞ [1], Baran TOPRAK [2]

ÖZET

İstinat duvarları; eğimli arazilerde zemini tabii şev açısından daha dik bir açıda tutmak, zemini kaymaya karşı güvenli duruma getirmek ve doğal veya yapay şevlerin stabilitesini sağlamak amacıyla yapılan düşey veya düşeye yakın açılarda inşa edilen mühendislik yapılarına denilmektedir. Özellikle zayıf zemin koşullarına ve dik şev açılarına sahip alanlarda, yanal yüklerin istinat duvarının taşıyabileceği yüklerden fazla olması durumunda istinat duvarı altı kazıklar kullanılmaktadır. Konsol istinat duvarlarının temel altındaki kazıkların konumu, duvar-zemin etkileşimi ve yük aktarım mekanizması stabiliteyi arttırıcı yönde bir etki sağlamaktadır. Bu çalışmada, konsol istinat duvarı temel altındaki kazıkların konumunun, konsol istinat duvarlarının yük dengesi ve stabilitesi üzerindeki değişiklikler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, farklı kazık yerleşim konumuna sahip tasarımların kazık üzerinde farklı deformasyonlar ve sistem genelindeki davranışı önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Sonuç olarak, istinat duvarı altındaki kazıkların konumunun yük aktarım mekanizmasını doğrudan etkileyen kritik tasarım parametreleri olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kazıklı istinat duvarlarının tasarımında uygun kazık tasarım modelinin belirlenmesi yapının hem güvenli hem de ekonomik bir şekilde projelendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.
Anahtar Kelimeler: Konsol istinat duvarı, Kazık, Kazıklı temel, FEM.

ABSTRACT

Retaining walls are engineering structures constructed in vertical or near-vertical configurations to maintain soil at steeper angles than the natural slope, ensure slope safety against sliding and provide stability for natural or artificial slopes. Particularly in areas with weak soil conditions and steep slope angles, piles are used beneath retaining walls when lateral loads exceed the load-bearing capacity of the wall. The position of piles beneath the foundation of cantilever retaining walls has a stabilizing effect by influencing the wall–soil interaction and the load transfer mechanism. In this study, the impact of pile placement beneath the foundation on the load equilibrium and stability of cantilever retaining walls was examined in detail. The evaluations indicated that designs with different pile configurations lead to varying deformations in the piles and significantly alter the overall behavior of the system. Consequently, the position of piles beneath retaining walls is a critical design parameter that directly affects the load transfer mechanism. Therefore, determining an appropriate pile design model is of great importance for ensuring that pile-supported retaining walls are designed in a manner that is both safe and economical.
Keywords: Cantilever retaining wall, Pile, Pile foundation, FEM.

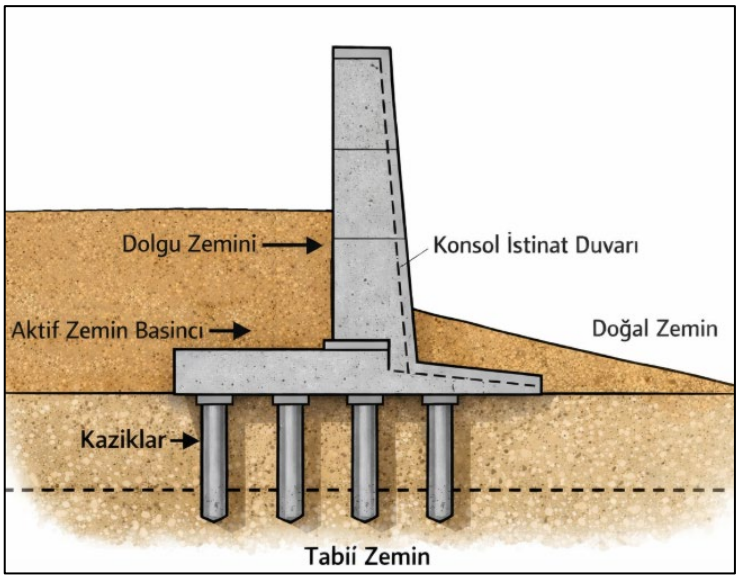
[1] Doktora Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, cagdasbetul08@gmail.com (Sorumlu yazar)
[2] Dr. Öğrt. Üyesi, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, baran@kku.edu.tr

1. GİRİŞ

Kentsel alanlarda yapılaşmanın hızla artması ve uygun zemin özelliklerine sahip alanların giderek azalması geoteknik mühendisliğinde daha karmaşık zemin–yapı etkileşimi problemlerini de beraberinde getirmektedir (Taşkın,2023). Bu kapsamda, zeminlerin yapılar üzerine uyguladığı yanal basınçlar tasarım açısından önemli bir yer tutmaktadır (Binici ve Öztürk,2019; Kayhan ve Demir 2016). Yanal zemin basınçları, zeminler tarafından düşey veya düşeye yakın yapılara etkiyen ve hem normal hem de kesme gerilmelerini içerebilen yükler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu basınçlar özellikle istinat duvarlarının projelendirilmesinde ve tasarımında istinat duvarı arkasındaki dolgunun ve altındaki temel zemininin özelliklerini tanımlamasında kritik rol oynamaktadır (Kelek,2021; Sönmez,2023). Bu nedenle istinat duvarları, farklı seviyelerde bulunan zemin kütlelerini emniyetli bir şekilde tutan ve mühendislik yapılarının stabilitesine katkı sağlayan önemli yapılardır (Coduto,1999).

İstinat duvarları, özellikle ani şev değişimlerinin bulunduğu zeminlerde meydana gelebilecek göçmeleri önlemek amacıyla inşa edilen önemli mühendislik yapılarıdır. Günümüzde karayolu, demiryolu ve kentsel altyapı uygulamaları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaları bu yapıların doğru seçimini ve güvenli tasarımını daha da önemli hale getirmektedir. Farklı türleri bulunmakla birlikte uygulamada en yaygın olarak betonarme konsol istinat duvarları tercih edilmektedir (Yıldırım,2019). Özellikle eğimli arazilerde ve düşük taşıma gücüne sahip zeminlerde inşa edilen istinat yapılarında stabilite, yalnızca üstyapıdan gelen yüklerin etkisiyle açıklanamayacak kadar karmaşık olup ayrıca temel sistemi ve zemin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, uygulamada ekonomik ve pratik çözümler sunmaları sebebiyle sıklıkla tercih edilen konsol istinat duvarları, farklı amaçlara hizmet eden çok sayıda inşaat mühendisliği uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür yapıların tasarımında çoğunlukla duvarın temel zemine ankastre olarak bağlandığı kabul edilmekte ancak dolgu zemini ile temel zemini arasındaki etkileşimler sistem davranışını önemli ölçüde değiştirerek sistem davranışını daha karmaşık bir hale getirmektedir. Bu etkileşimler gerilme dağılımı, deformasyon davranışı ve stabilite koşulları gibi önemli faktörler üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu nedenle, istinat duvarlarının gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesinde zemin–yapı etkileşiminin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır (Çakır ve Livaoğlu, 2013).

Zayıf veya heterojen zemin koşullarında ise konsol istinat duvarlarının altında kullanılan kazık temeller, yüklerin daha derin ve daha rijit zemin tabakalarına aktarılmasını sağlayarak taşıma gücünü ve genel stabiliteyi artırmaktadır. Kazıklı sistemler yalnızca düşey yüklerin taşınmasına katkı sağlamakla kalmayıp aynı zamanda yatay toprak basınçlarına karşı sistem rijitliğini artırarak duvar davranışını da iyileştirmektedir. Bununla birlikte, kazıkların temel altındaki yerleşimi ve konumu, yük aktarım mekanizmasını ve zemin–yapı etkileşimini önemli ölçüde etkileyen kritik bir tasarım parametresi olarak değerlendirilmektedir. Şekil 1.'de örnek konsol istinat duvarı şeması verilmiştir.



Şekil 1. Konsol istinat duvarı şeması

Bu çalışmada, literatürde konsol istinat duvarlarının tasarımı, zemin–yapı etkileşimi, sismik performansı ve optimum tasarımı gibi birçok çalışma bulunmakla birlikte konsol istinat duvarı altına yerleştirilen kazıkların temel altındaki yatay olarak farklı konumlarının sistemde oluşan deplasman davranışı üzerindeki etkileri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ayrıntılı olarak incelenmiş ve çalışmaya özgün bir katkı sağlanmıştır. Kazık yerleşim geometrisindeki değişimlerin, istinat duvarında meydana gelen deformasyon dağılımları üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, kazık düzeninin duvarın deformasyon karakteristiği üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymakta olup, bu parametrenin tasarım sürecinde kritik bir değişken olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu kapsamda elde edilen bulguların kazıklı konsol istinat duvarlarının daha güvenli ve ekonomik biçimde tasarlanmasına yönelik mühendislik uygulamalarına katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

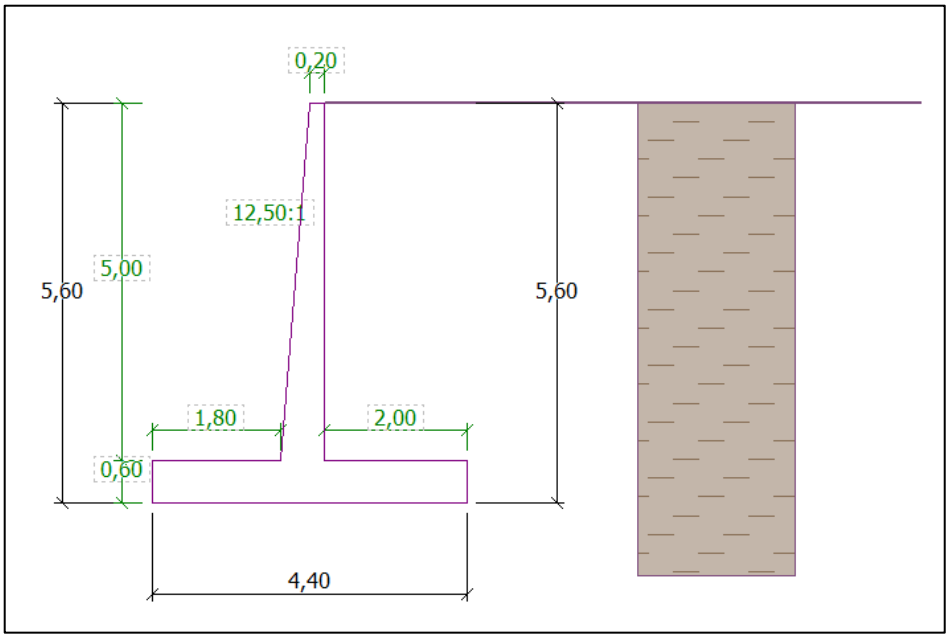
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, konsol istinat duvarı temel altına yerleştirilen kazıkların yerleşim düzeni ve aralarındaki mesafelerin, sistemin yük dengesi ve genel stabilitesi üzerindeki etkileri sayısal analiz yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Tasarım geometrisi Geo5 Geoteknik Hesap Programı'nda yapılırken analizler sonlu elemanlar analiz yöntemi (FEM) tabanlı MIDAS GTS NX Geoteknik Hesap Programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (Aslan ve Yağcı, 2018). Çalışma kapsamında, farklı kazık yerleşim senaryolarını temsil edecek şekilde model geometrileri oluşturulmuş ve uygun zemin koşulları altında analizler yapılmıştır. Oluşturulan modellerde, kazıkların konsol istinat duvarı altındaki konumları sistematik bir şekilde değiştirilerek tasarımın bu değişime verdiği tepkiler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, kazık yerleşiminin istinat duvar sisteminde meydana gelen deplasmanlar ve genel deformasyon davranışı üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir (Köktan ve Ertek, 2019).

2.1. Model Geometrisi

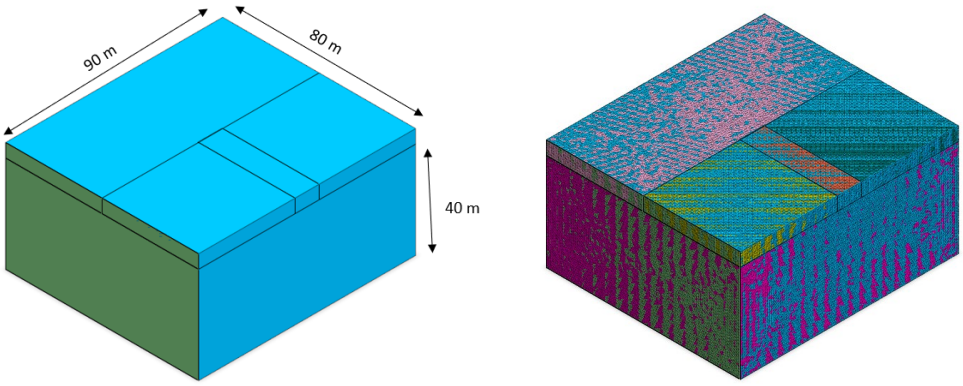
Geoteknik mühendisliği uygulamalarında sayısal analiz araçlarının kullanımı, tasarım süreçlerinin güvenilirliğini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmada, zemin-yapı etkileşiminin değerlendirilmesi amacıyla temel tasarımı, istinat yapıları ve zemin mekaniğinin birçok problemlerinin çözümünde tercih edilen bir mühendislik yazılımı olan Geo5 Geoteknik Hesap Programı'nda çalışmanın konsol istinat duvarı geometri modeli tasarlanmıştır.

Oluşturulan model, zemin üzerine oturan bir temel sistemi ve buna bağlı taşıyıcı elemanı temsil etmektedir. Temel taban genişliği 4,40 m olup taban kalınlığı 0,60 m'dir. Şekil Temel üzerinde yükselen gövde elemanı pasif bölge (ön taraf) 1,80 m uzunluğunda olurken aktif bölgede (arka taraf) ise 2,00 m uzunluğunda tasarlanmış ve Şekil 2'de verilmiştir. Yapının toplam yüksekliği 5,60 m olarak modellenmiştir. Sağ tarafta gösterilen taralı bölge ise zemin profilini temsil etmekte olup yapı-zemin etkileşiminin analizine olanak sağlamaktadır (Acarca vd.,2024).



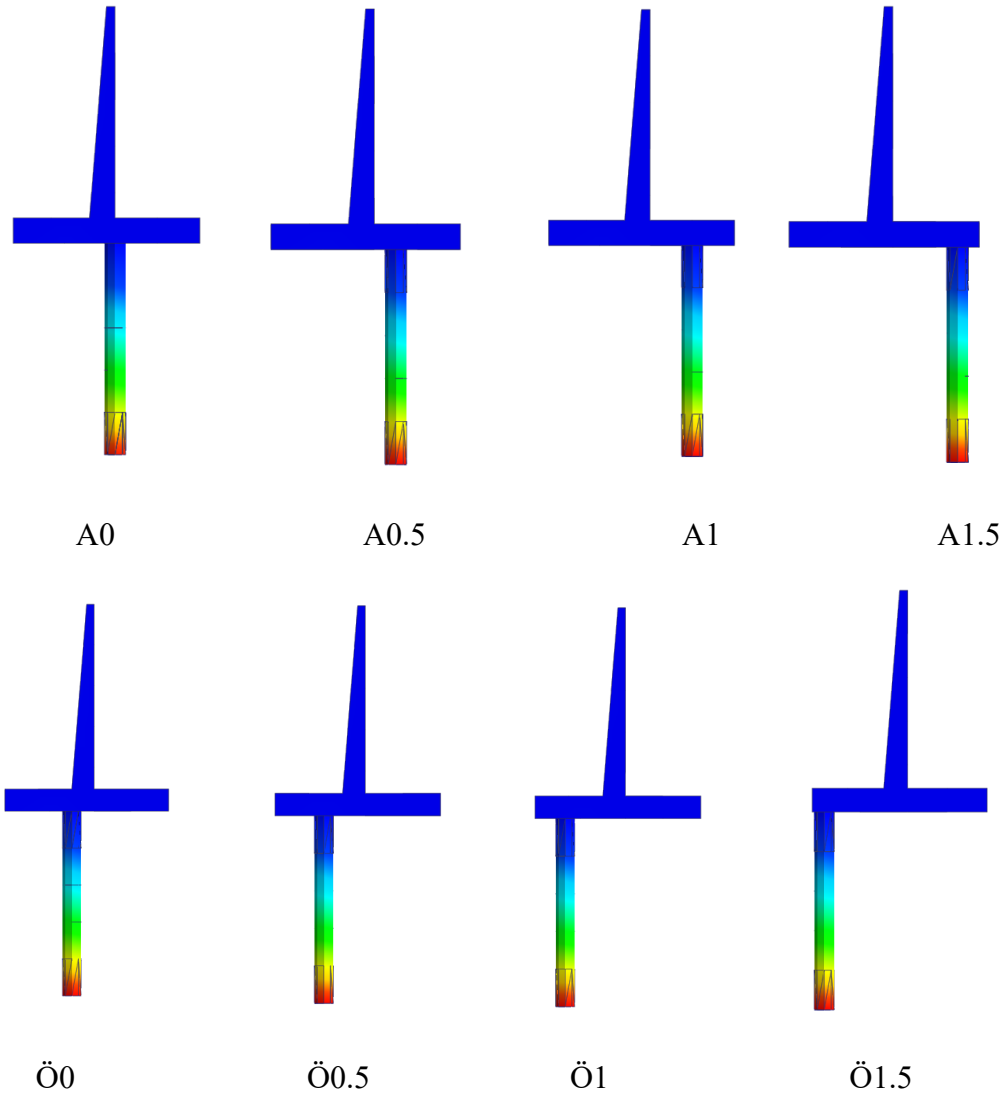
Şekil 2. Geo5 Konsol istinat duvarı model geometrisi

MIDAS GTS NX geoteknik analiz programı kullanılarak oluşturulan sayısal modellerde üç boyutlu analizler kapsamında ilk olarak 80 x 90 x 40 m boyutlarında bir zemin kütlesi tanımlanmıştır. Bu zemin ortamı içerisinde konsol istinat duvarı sistemi; 0,60 m temel kalınlığına sahip, 5 m duvar yüksekliği ve 10 m temel derinliği olacak şekilde modellenmiştir. Sistemi destekleyen kazık elemanları ise 0,5 m çapında ve 5 m uzunluğunda olacak şekilde tanımlanarak temel altına yerleştirilmiştir. Model oluşturma sürecinde farklı kazık yerleşim senaryolarını temsil edecek şekilde kazıkların konumları değiştirilmiş ve her bir durum için ayrı sayısal modeller tasarlanmıştır. Tanımlanan bu geometriler üzerinde uygun sonlu eleman ağı (mesh) oluşturularak analiz hassasiyeti artırılmıştır (Cao vd. 2024; Bekdaş vd. 2020).



Şekil 3. Tasarım geometrisi ve Mesh ağı

Model geometrisine ait tasarım geometrisi ve oluşturulan mesh ağı yapısı Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 4'te ise konsol istinat duvar altında kullanılan kazıkların konumları tasarım kesitlerinde verilmiştir.



Şekil 4. Kazık tasarım konumları

2.2. Zemin ve Konsol İstinat Duvar Parametre Değerleri

Tasarım modellerinin oluşturulması sürecinde analizlerde kullanılmak üzere belirli zemin parametreleri kullanılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan sayısal modellerde aynı zemin parametreleri kullanılarak farklı kazık yerleşim kombinasyonları değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan zeminin Elastisite modülü, Poisson oranı, Birim hacim ağırlık, Doygun birim hacim ağırlık, Kohezyon ve İçsel sürtünme açısı gibi temel mühendislik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Modelleme ve analiz aşamalarında zemin özellikleri sabit tutulup sistem davranışındaki değişimleri net bir şekilde anlayabilmek adına 6 özdeş kazık yerleşim konumları değiştirilerek incelenmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan zemin parametre değerleri

	Elastisite modülü (kPa)	Poisson oranı	Birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Doygun birim hacim ağırlık (kN/m^3)	Kohezyon (kN/m^2)	İçsel sürtünme açısı (θ)
Zemin	5000	0,30	20,00	21,00	12,00	19°

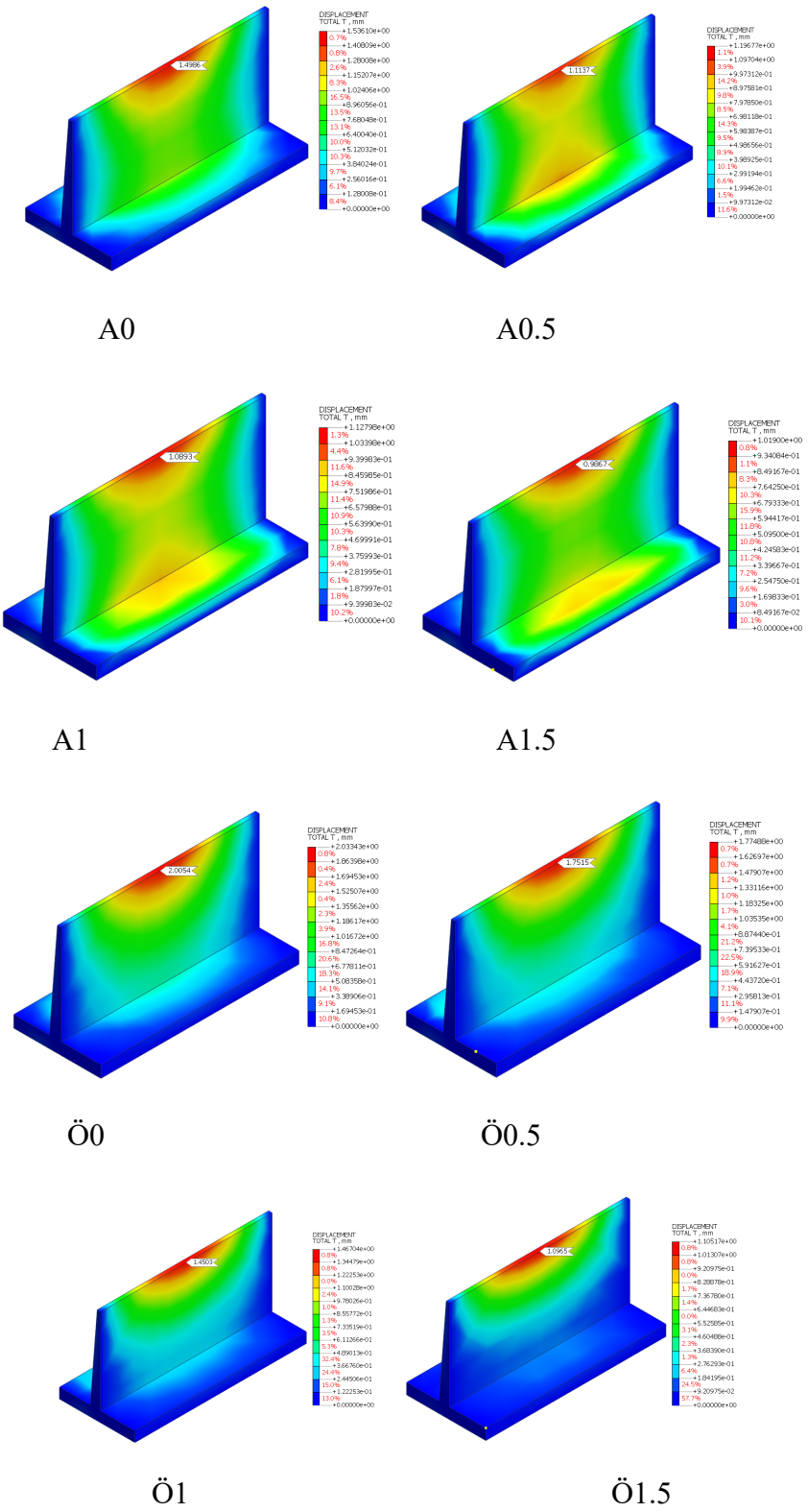
Oluşturulan her bir tasarım modeli için farklı kazık yerleşim düzeninin sistemde meydana getirdiği deplasman davranışları bu parametreler çerçevesinde analiz edilmiş ve elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi mümkün kılmıştır. Tasarım modellerinde kullanılan konsol istinat duvarı ve kazık sistemine ait tasarım parametreleri ise Tablo 2'de verilmiştir (Kahraman vd., 2025).

Tablo 2. Çalışmada kullanılan Konsol istinat duvarı ve Kazık parametre değerleri

Elastisite modülü (kPa)	Poisson oranı	Birim hacim ağırlık (kN/m^3)
30000000	0,30	22,00

3. ANALİZ SONUÇLARI

Çalışmada, konsol istinat duvarı temel altına yerleştirilen kazıkların farklı yerleşim konumlarına sahip modeller MIDAS GTS NX Geoteknik Hesap Programı kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda, kazıkların konsol önünde ve arkasında olmak üzere 0 m, 0,5 m, 1,0 m ve 1,5 m mesafelerde konumlandırıldığı toplam 8 farklı yerleşim senaryoları için ayrı ayrı sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir kazık konumu bağımsız bir tasarım modeli olarak ele alınmış ve sistem davranışı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda kazık yerleşimindeki değişimlerin istinat duvarı sisteminde meydana gelen yatay ve düşey deplasmanlar üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur. Şekil 5'te, farklı kazık yerleşim senaryolarına bağlı olarak tasarım modellerinden elde edilen deplasman dağılımlarına ait analiz sonuçları verilmiştir.

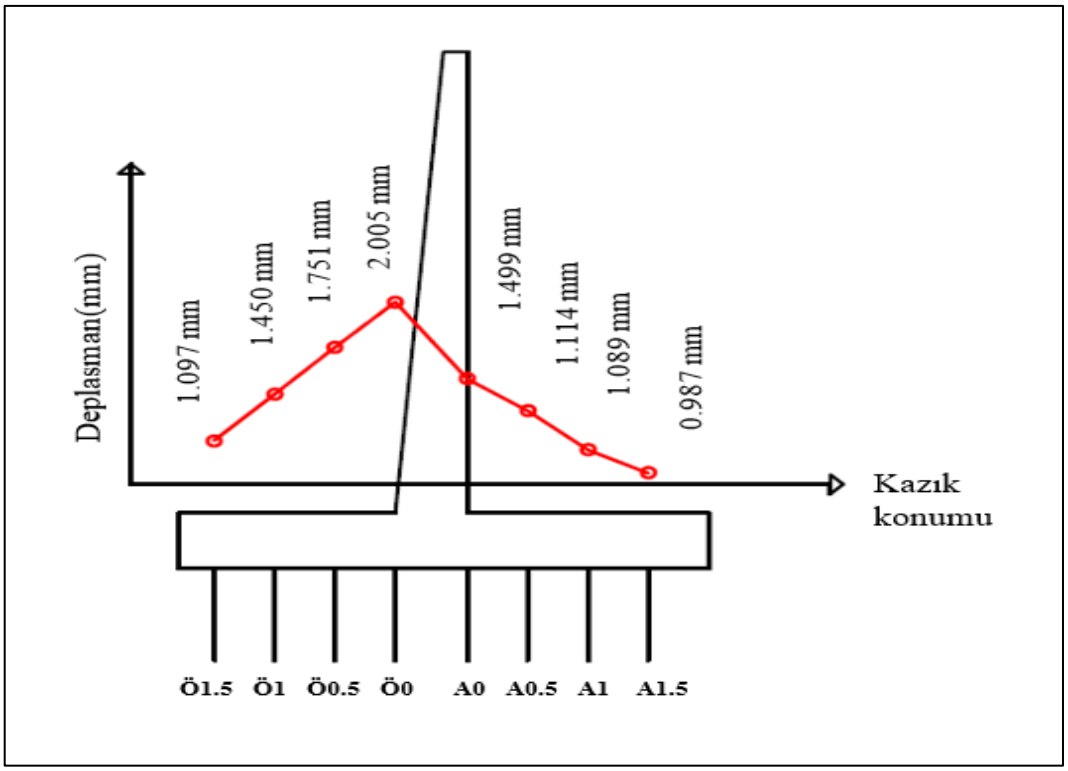


Şekil 5. Kazık tasarımlarına bağlı deplasman dağılımları

Tablo 3. Konsol istinat duvar Tepe deplasman değerleri

	Deplasman Tepe Değeri (mm)
Konsol Önü(Ö0)	2.005
Konsol Önü(Ö0.5)	1.751
Konsol Önü(Ö1)	1.450
Konsol Önü(Ö1.5)	1.097
Konsol Arkası(A0)	1.499
Konsol Arkası(A0.5)	1.114
Konsol Arkası(A1)	1.089
Konsol Arkası(A1.5)	0.987

Şekil 6'da Konsol istinat duvarı ve kazık yerleşim planının şematik gösterimine bağlı olarak deplasman değerleri verilmiştir.



Şekil 6. Konsol istinat duvarı-Kazık deplasman dağılımı

4. SONUÇLAR

Çalışmada, konsol istinat duvarı temel altına yerleştirilen kazıkların farklı yerleşim konumunun sistem davranışı üzerindeki etkileri sonlu elemanlar analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda, kazıkların konsol önünde ve arkasında farklı mesafelerde konumlandırıldığı toplam 8 farklı tasarım modeli oluşturulmuş ve her bir model için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, kazık yerleşimindeki değişimlerin istinat duvarında meydana gelen deplasmanlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda sistemin deformasyon davranışı ve yük aktarım mekanizması üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır;

- Modelleri oluşturulan toplamda 8 farklı kazık yerleşim kombinasyonları ile tasarımların analizleri yapılmıştır.
- Yapılan tasarımlar üzerinde elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında konsol istinat duvardaki en az deplasman tepe değerinin A1,5 konsol-kazık kombinasyonunda 0.987 mm olduğu gözlenirken en fazla deplasman tepe değerinin ise Ö0 konsol-kazık kombinasyonunda 2.005 mm deplasman elde edildiği gözlenmiştir.
- Kazıkların konsola olan mesafelerinin artması (0 m, 0,5 m, 1,0 m ve 1,5 m) yük aktarım mekanizmasını değiştirmekte ve buna bağlı olarak sistemde meydana gelen deplasman büyüklüklerinde değişimlere neden olmaktadır.
- Böylece kazıkların konsol önünde veya arkasında konumlandırılması duvarın deformasyon davranışını önemli ölçüde değiştirmekte ve özellikle konsol yatay yer değiştirmeler açısından farklı sonuçlar ortaya koymaktadır.
- Konsol istinat duvarı temel altına yerleştirilen kazıkların konumunun sistemde oluşan deplasmanlar üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- Kazık yerleşiminin uygun şekilde seçilmemesi durumunda, konsol duvar sisteminde daha büyük deplasmanlar meydana geldiği ve sistemin deformasyon karakteristiği açısından olumsuz etkiler oluşabileceği belirlenmiştir.
- Elde edilen sonuçlar; kazık sistemlerinde, kazıkların konumunun duvar tepe deplasman davranışı üzerindeki etkisinin oldukça belirgin olduğu ve bu parametrelerin tasarım sürecinde kritik bir değişken olduğunu ortaya koymakla birlikte kazık yerleşim düzeninin optimize edilmesinin istinat duvarı sistem güvenliğinin artırılması açısından büyük önem taşıdığını göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın büyük bir parçasını oluşturan MIDAS Bilişim Teknolojileri A.Ş. tarafından sağlanan MIDAS GTS NX Geoteknik Yazılım Hesap Program Paketini ve Fine Firması tarafından sağlanan GEO5 Geoteknik Yazılım Hesap Program Paketini bu çalışma için tarafımıza temin eden Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü aracılığıyla Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Binici, E. ve Öztürk, Ş. (2019), "Konsol İstinat Duvar Tasarımı Üzerine Parametrik Bir Çalışma" Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 9, Sayı: 1, 203-210.

Aslan, V. Ve Yağcı, B. (2018). "Konsol Diyafram Duvarların Yatay Deplasmanı için Parametrik Bir Çalışma" Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18 (2018) 015601 (616-628).

Acarca, Ş., Kelek, İ., Evirgen, B. ve Tuncan, A. (2024). "Investigation of cantilever retaining walls constructed in Turkey highways" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(3), 374-385, 2024.

Kelek, İ. (2021). "Karayolu Projelerinde İnşa Edilen İstinat Duvarların ve Donatılı Zemin Yapıların İncelenmesi" Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Kahraman, S., Keskin, İ. Ve Gürbüz, T.(2025). "Retaining Structures in Slope Stabilization: A Comparative Analysis on Safety and Cost Effectiveness" Journal of Civil Engineering Researchers, 2025-vol7(3)-p 15-28.

Çakır, T ve Livaoğlu, R. (2013), "Dolgu-Konsol İstinat Duvarı-Temel Zemin Etkileşim Sisteminin Dinamik Davranışının İncelenmesi" XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi, 26-30 Ağustos 2013, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.143-152

Köktan, U., Demir, G. Ve Ertek, M.K. (2019), "Bir Konsol İstinat Duvarının Sismik Davranışına Yeraltı Su Seviyesindeki Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi", GÜFBED/GUSTIJ (2019) 9 (2): 307-317.

Kayhan, A.H. ve Demir, A. (2016). "Betonarme konsol istinat duvarlarının parçacık sürü optimizasyonu ile optimum tasarımı" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 22(3), 129-135.

Sönmez, A.S. (2023). "Konsol İstinat Duvarlarının 2018 TBDY'ye Göre İrdelenmesi" Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Coduto, D.P. Geoteknik Mühendisliği-İlkeler ve Uygulamalar.

Bekdaş, C., Arama, Z. A., Kayakebir, A.E. ve Geem, Z.W. (2020). "Optimal Design of Cantilever Soldier Pile Retaining Walls Embedded in Frictional Soils with Harmony Search Algorithm". Applied Sciences, *10*(9), 3232.

Cao, J., Huang, Z., Song, W., Guan, J., Wang, J., Jie, X., Wang, T. Ve Xing, P. (2024). "Simulation and Analysis of Pile-Supported Cantilever Retaining Walls in High Embankment Road Applications". Proceedings of the 2024 6th International Conference on Hydraulic, Civil and Construction Engineering (HCCE 2024)

Taşkın, A.C. (2023). "TBDY (2018)'e Göre Konsol İstinat Duvarı Tasarımına Ait Bir Yazılım Programının Geliştirilmesi" KTÜ, Yüksek Lisans Tezi.

Yıldırım, E. (2019). "Betonarme Konsol İstinat Duvarları ile Geogrid Donatılı İstinat Duvarlarının Teknik ve Ekonomik Yönden Araştırılması" Konya Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.