

BİTKİLENDİRME İLE ŞEV GÜÇLENDİRMESİNDE TEKİL KÖKLERİN ZEMİN MUKAVEMETİ ETKİLERİ

SOIL STRENGTH EFFECTS OF SINGLE ROOTS IN SLOPE REINFORCEMENT WITH VEGETATION

Engin NACAROĞLU¹, Berk YAĞCIOĞLU², Gülsüm Nur Yüksel³, Selçuk Toprak⁴

ÖZET

Yüzeysel şev yenilmeleri özellikle ulaşım ile ilgili olarak yol kenarlarında en sık karşılaşılan problemlerden birisidir. Bu problem geleneksel yöntemler ile engellenebildiği gibi bitkilendirme yöntemiyle doğa dostu ve ekonomik olarak da engellenebilmektedir. Bitkilendirme yöntemi çevre dostu ve görsel olarak avantajlı bir yöntem olsa dahi tasarımlarında bulunan bazı zorluklar nedeniyle geleneksel yöntemler kadar yaygın kullanılmamaktadır. Güçlendirme amacıyla kullanılan bitkinin gelişimi ve kök yayılımı için belirli bir süre gerekmektedir. Bu süre boyunca kökler gelişmekte ve köklerin şev stabilitesine etkileri değişmektedir. Bu değişkenlik tasarımın farklı zaman aralıklarında değiştirilmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca kökler geleneksel yapı elemanlarından farklı olarak çaplarına bağlı daha odunsu veya elastik davranmakta ve kesit alanlarına oranlı çekme dirençleri ve elastisite modülleri farklı çaplar için değişmektedir. Çalı tipi bitkilerde kök çaplarının sınırlı düzeyde kalması ve kendini yenilemesi nedeniyle kök etkileri daha az değişken ile tespit edilebilir. Fakat ağaç tipi bir bitkinin şev güçlendirmesi için kullanılması durumunda kök çapları sürekli olarak artmakta ve buna bağlı olarak kökler zamana bağlı olarak değişen elastisite modülü ve çekme direncine sahip farklı bir malzeme gibi davranmaktadır. Bu durumun yanı sıra ağacın dikildiği konumdan düşeyde ve yatayda uzaklaştıkça kök yapılarının çapları ve miktarları değişmektedir ve iyileştirmesi planlanan şev küçük hücrelere bölünerek, her hücre içindeki kök-zemin yapısı doğrultusunda tasarlanmalıdır. Türkiye’de yaygın olarak bulunan ve Türkiye’ye ekonomik katkı sağlayan Zeytin ağacının (*Olea europea L.*), ağaç tipi şev güçlendirmesi yöntemindeki yenilme düzlemine dik davranışı çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu değerlendirmeye bağlı olarak bitkilendirme ile şev güçlendirilmesi çalışmalarında kök yapılarına bağlı olarak tasarımda göz önüne alınması gereken değişkenlerin etkileri açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitkilendirme, şev stabilitesi, ekolojik mühendislik

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi, enacaroglu@pau.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Doktora Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, byagcioglu13@posta.pau.edu.tr

³ Yüksek Lisans Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, gyuksel16@posta.pau.edu.tr

⁴ Profesör Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, stoprak@gtu.edu.tr

ABSTRACT

Shallow slope failures are one of the most common problems encountered on roadsides, especially in transportation. While traditional methods like soil nailing can prevent this issue, an environmentally friendly and cost-effective alternative is vegetation. Despite its environmental benefits and visual appeal, the design of vegetation-based slope reinforcement presents certain challenges, resulting in its less widespread use compared to traditional methods. The development and root spread of the plant used for reinforcement requires a certain period, during which the roots evolve and their impact on slope stability fluctuates, necessitating design adjustments at different stages. Unlike traditional structural elements, roots exhibit varying behaviors based on their diameter, with tensile strength and modulus of elasticity changing in proportion to their cross-sectional area. When using tree-type plants for slope reinforcement, root diameters continuously increase to a certain level, resulting in changing material properties over time. Furthermore, the dimensions and quantities of root structures vary as one moves vertically and horizontally from the tree planting location, requiring the slope to be divided into small cells designed according to the root-soil structure within each cell. The behavior of the olive tree (*Olea europea* L.) in the tree-type slope reinforcement method was investigated within the scope of the study. This involved evaluating the relationship between roots of different diameters and sand soils based on their material properties. The study explains the effects of various variables that should be considered in the design of slope reinforcement with vegetation, depending on the root structures

Keywords: Vegetation, slope stability, ecological engineering

1. GİRİŞ

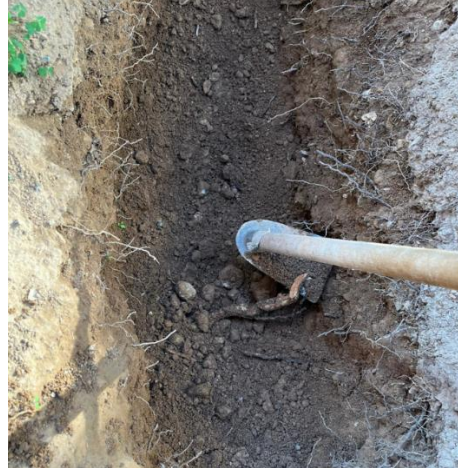
Şev yapılarının bitkilendirme ile güçlendirilmesi geleneksel yöntemlere göre görsel ve çevre dostu yanı ile avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca bitkilendirme yöntemi geleneksel yöntemlere kıyasla daha ekonomik ve karbon salınımı açısından daha çevre dostu olması ile öne çıkmaktadır (Yazdani vd., 2024). Bitki örtüsü, özellikle köklerin çoğunun yoğunlaştığı toprağın en üst katmanlarında, toprağın stabilitesini etkili bir şekilde iyileştirebilir (Nacaroğlu vd., 2021; Nacaroğlu vd., 2024). Bitkilendirme yöntemi hidrolojik ve mekanik olarak iki farklı koşul için şev yapısına etki etmektedir. Hidrolojik etki, köklerin suyu alması ile boşluk suyu basıncında azalma olmasını ifade eder, bu da toprağın hidrolik iletkenliğini azaltır, toprak kayma mukavemetini artırır. Çalışma kapsamında bu iki etki arasından mekanik etkiler değerlendirilmiştir. Mekanik etki, bitki köklerinin toprağın içine uzanması ile toprakla bağ kurarak kompozit bir malzeme olarak yükü paylaşması ve toprağın kayma mukavemetini arttırmasıdır (Tan vd., 2019). Mekanik etkiler arasından ilk unsur köklerin çaplarına bağlı olarak değişen malzeme özellikleridir. Köklerin değişen özelliklerini belirlemek için yaygın olarak çekme deneyleri yapılmaktadır. Kök çekme deneyleri ile bir kökün maksimum gerilme mukavemeti ve elastik modülü gibi mekanik özellikleri tahmin edilebilmektedir. Önceki çalışmalarda kök çapı ile mekanik özellikler arasında, güç fonksiyonu ilişkisi kurulmuştur ve kök çapı büyüdükçe çekme kuvveti artarken çekme mukavemeti ve elastik modülün azaldığı belirlenmiştir (Fan vd., 2021; Yang vd., 2021; Bankhead vd., 2017; Hao ve diğ. 2023; Mao vd 2023; Zhang vd., 2024). Kök yapılarının çaplarının artması köklerin daha odunsu davranışa sahip olmasına neden olmaktadır ve bu

duruma bağlı olarak çapları artan kokler daha plastik ve gevrek davranışa sahiptirler (Pohl vd., 2011, Schwarz vd., 2010).

Koklerin çekilmesi sonucu oluşan nihai kuvvet koklerin sağladığı mukavemet artışı ile ilgili önemli bir parametredir. Bu nihai kuvvet ile ilgili farklı malzemeler, kok geometrileri ve ekil açıları ile çalışmalar yapılmaktadır (Mickovski vd., 2007, Yang vd., 2021).

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada farklı çaplardaki koklerin kesme düzeyine dik yöndeki maksimum dayanım kuvvetleri değerlendirilmiştir. 1.04 mm ve 9.58 mm arasındaki çaplar dinamometre ile yüzeye dik doğrultuda çekilmiştir. Kok numuneleri 40 yaşındaki ağacın kok bölgesinde kazılmış 1 metre derinliğindeki gözlem çukurundan (şekil 1) temin edilmiş ve su içeriklerini kaybetmeyecek şekilde deneylere numune alımının hemen sonrasında başlanmıştır.



şekil 1. Zeytin kok numunelerinin elde edildiği gözlem ukuru

Kok yapılarına, kotu derecelendirilmiş kumda yatay çekme deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılan kokler 15 cm uzunluğunda deneylere alınmıştır ve her kok için farklı (u ve orta noktalarından) ap ölçümleri yapılarak ortalama kok çapı belirlenmiştir (şekil 2).



şekil 2. Zeytin kok numuneleri ölçümleri a) 15 cm uzunluğunda kesilmiş numune b) ap lm

Tablo 1’de deneyin gerçekleştirildiği zemine ait özellikler verilmiştir.

Özellik	Değer
Su içeriği	%5
İçsel Sürtünme Açısı	33°
Kohezyon	0.5 kPa
C _u	3.29
C _c	0.36
USGS sınıflandırması	SP

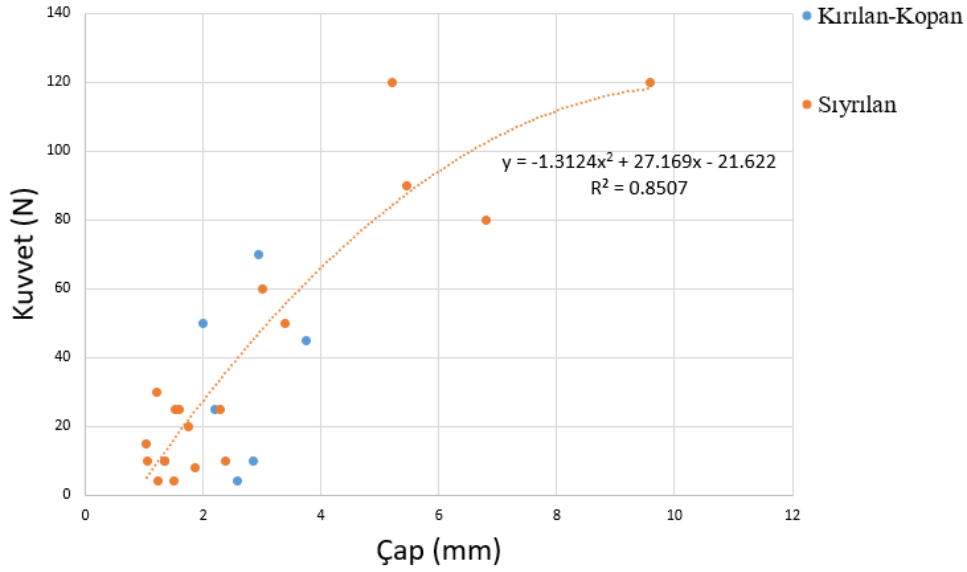
Zemine ait sıklık kontrolleri numunenin doldurulduğu kabın ağırlığına bağlı olarak sağlanmıştır. 7.3 kg ± 50 gram ağırlığının sağlandığı numuneler üzerinde çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda zemin numunesi kademeli olarak boşaltılarak deformasyon davranışları raporlanmıştır. Kırılan bir numune örnek olarak Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney süresince kırılmış (kopmuş) kök numunesi. a) Deney öncesi, b) Deney sonrası

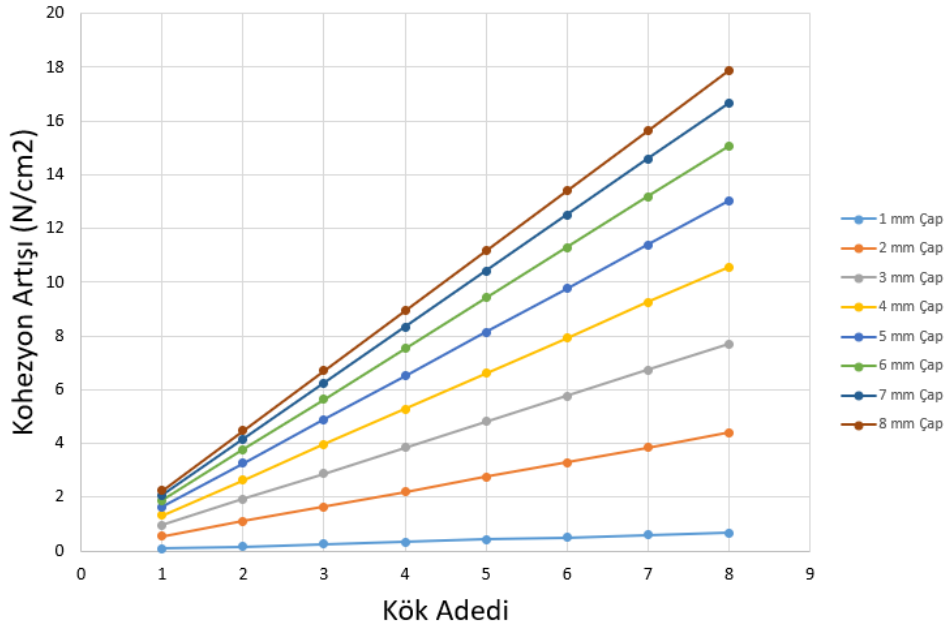
3. DEĞERLENDİRMELER

Deneylerde 2 farklı davranış gözlemlenmiştir. Birinci davranışta kökler kırılmıştır ve kırılan parça zemin içinden sökülüştür (Şekil 4). İkinci davranışta kökler zemin içinde belirli bir deplasmana gelene artan kuvvetler ile zeminde tutunmuş ve bu deplasman sonrasındaki hareketinde oluşan nihai kuvvetin üstüne çıkmamıştır fakat zemin içinde nihai kuvvet ile deplasmana devam etmiştir ve zeminden sıyrılmıştır (Şekil 5). Kırılma ve sıyrılmaya davranış mevsimlere ve kök türüne göre değişiklik göstermektedir. Pollen (2007) tarafından bu davranışa ait sınır koşullarını gösteren bir çalışma yapılmıştır.



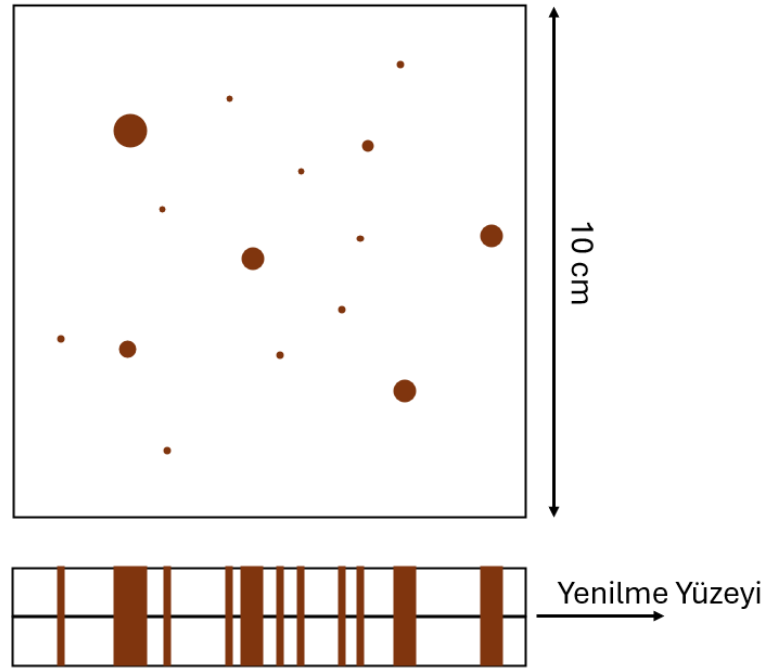
Şekil 6. Köklerin nihai kuvvet - çap ilişkisi

Denkleme göre 100 cm^2 'lik bir yenilme yüzeyi için düşey köklerin kazandırdığı dayanıma örnek bir abak hazırlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Kök çapları için kohezyon artışı

Abaklarda köklerin etkisinin kohezyon olarak belirtilmesinin sebebi köklerin normal gerilmeden bağımsız çalışabilmesidir. Kohezyon adlandırması, sonlu elemanlar analizlerindeki bünye modellerinde veya yenilme teorilerinde kök etkilerinin kolay tanımlanabilmesi için yaygınca kullanılmaktadır. Abak kullanımına ait örnek bir kesit (Şekil 8) verilmiştir. Kesitler ağaçların gelişim davranışı ve köklenme süreçleri için genelleştirilmelidir. Genelleştirilen köklerde oluşturulan güvenli kök miktarına bağlı olarak köklerin sağladığı dayanım geliştirilecek abaklar ile belirlenebilir. Şekil 9'da örnek bir numune alım işlemi gösterilmiştir.



Şekil 8. Örnek bir kök-zemin bloğu

Kesitte bulunan kök çapları Tablo 2'de verilmiştir. Verilen kök çapları için abaktan bölgenin kohezyonu 8.03 kPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. Temsili bir kök-zemin bloğu numune alınışı

Tablo 2. Kök çapları ve kök adedi

Çap	Adet	Tekil Kohezyon Etkisi (kPa)
1 mm	8	0.68
2 mm	1	3.96
3 mm	1	0.55
4 mm	3	1.88
6 mm	1	0.96

Abaklar bir konsept seviyesindedir ve aşağıdaki unsurlar doğrultusunda geliştirilmesi planlanmaktadır.

- Kökler 15 cm derinlik için deneye tabii tutulmuştur ve farklı derinliklerin eklenmesi gerekmektedir.
- Köklerin yenilme düzeyine dik olduğu varsayılmıştır ve kök açıları değiştirilerek açılı etkileri eklenmelidir.
- Normal gerilme, yanal toprak basıncına bağlı kök yüzeyindeki sürtünmeyi artıracığı için etkileri incelenmelidir.
- Farklı zemin koşulları eklenerek zemin parametrelerinin denkleme etkisi belirlenmelidir.
- Kırılan numunelerin su içeriklerine bağlı kök malzeme davranış analizleri yapılmalıdır.

4. SONUÇLAR

Köklerin kohezyona benzer şekilde mukavemet arttırıcı etkileri ile ilgili konsept bir abak hazırlanmıştır. Yapılan deneylerde kök yapılarının dayanıma etkileri doğrulanmıştır ve bu etkilerin kırılma ve sıyırılma şeklindeki davranışları açıklanmıştır.

Hazırlanan abağın geliştirilmesi ile köklerin yenilme düzlemindeki etkilerinin belirlenmesi sonucunda bitkilendirme yoluyla şev güçlendirmesi projelerinde bir abak yaklaşımı önerilmiştir. Kohezyonsuz veya düşük kohezyonlu şevlerin yüzeysel bölgelerinde, şevin içsel sürtünme açısı ile mukavemet üretecek yeterli gerilme olmaması sebebiyle özellikle bu bölgelerde kazanılan kohezyon ile şev yapısının kendini tutması ve yöntemin yüksek verimli olması beklenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 222M138 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Bankhead, N. L., Thomas, R. E., ve Simon, A. (2017), "A Combined Field, Laboratory and Numerical Study of The Forces Applied to, and The Potential for Removal Of, Bar Top Vegetation in a Braided River", Earth Surface Processes and Landforms, Vol 42(3), 439-459.
- Fan, C. C., Lu, J. Z., ve Chen, H. H. (2021), "The Pullout Resistance of Plant Roots in The Field at Different Soil Water Conditions and Root Geometries", Catena, Vol 207, 105593.
- Hao, G. L., Wang, L. G., Liu, X.F. ve Zhang, Y. (2023), "Geometric Distribution Characteristics and Mechanical Reinforcement Effect of Herbaceous Plant Roots at Diferent Growth Periods", Soil Till Res 229: 105682. ARTN 105682.
- Mao, Z., Bi, Y., Geng, M., ve An, N. (2023), "Pull-Out Characteristics of Herbaceous Roots of Alfalfa on The Loess in Different Growth Stages and Their impacts on Slope Stability", Soil and Tillage Research, Vol 225, 105542.

- Mickovski, S. B., Bengough, A. G., Bransby, M. F., Davies, M. C. R., Hallett, P. D., ve Sonnenberg, R. (2007), "Material Stiffness, Branching Pattern and Soil Matrix Potential Affect The Pullout Resistance of Model Root Systems", European Journal of soil science, Vol 58(6), 1471-1481.
- Nacaroğlu, E., Toprak, S., İmançlı, G., Şenay, O. ve Yağcıoğlu, B. (2021) "Şev Stabilitésinin Arttırılmasında Ekolojik Bir Yöntem: Bitkilendirme", 6. Uluslararası Deprem Mühendisliđi ve Sismoloji Konferansı, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
- Nacaroğlu, E., Yağcıoğlu, B., Yüksel, G.N., Toprak, S. (2024) "Determination of Root-Soil Structure Effects on Soil Strength from Direct Shear Test". In: Erberik, M.A., Askan, A., Kockar, M.K. (eds) Proceedings of the 7th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology. ICEES 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 401. Springer, Cham.
- Pohl, M., Stroude, R., Buttler, A. ve Rixen, C. (2011), "Functional Traits and Root Morphology of Alpine Plants", Annals of Botany, Vol 108(3), 537-545.
- Pollen, N. (2007), "Temporal and Spatial Variability in Root Reinforcement of Streambanks: Accounting for Soil Shear Strength and Moisture", Catena, Vol 69(3), 197-205.
- Schwarz, M., Lehmann, P. ve Or., D. (2007), "Quantifying lateral root reinforcement in steep slopes – from a bundle of roots to tree stands", Earth Surface Processes and Landforms, 35, 354–367
- Tan, H., Chen, F., Chen, J., ve Gao, Y. (2019), "Direct Shear Tests of Shear Strength of Soils Reinforced by Geomats and Plant Roots", Geotextiles and Geomembranes, Vol 47(6), 780-791.
- Yang, Q., Zhang, C., Liu, P., ve Jiang, J. (2021), "The Role of Root Morphology and Pulling Direction in Pullout Resistance of Alfalfa Roots", Frontiers in Plant Science, Vol 12, 580825.
- Yazdani, F., AliPanahi, P., & Sadeghi, H. (2024), "A Comparative Study Of Environmental and Economic Assessment of Vegetation-Based Slope Stabilization with Conventional Methods", Journal of Environmental Management, Vol 359, 121002.
- Zhang, Y., Liu, W., ve He, S. (2024), "Effect of Vegetation Growth on Morphological Traits of Vegetation and Biomechanical Features of Roots", Plant and Soil, Vol 494(1), 395-411.