

TÜRKİYE'DE KARAYOLLARINDA EROZYON KONTROLÜNDE KULLANILAN YÖNTEMLER VE BİTKİLER

(METHODS AND PLANTS USED IN EROSION CONTROL ON HIGHWAYS IN TURKEY)

Volkan KÜÇÜK ¹, Muratcan KAYAN ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı, ISPARTA/Türkiye volkankucuk@sdu.edu.tr , ORCID: 0000-0002-8245-1686

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı, ISPARTA/Türkiye kayanmuratcan@gmail.com , ORCID: 0000-0002-3990-1370

Doi: <https://doi.org/10.53463/splandes.202500368>

Corresponding Author/İletişim yazarı: Volkan KÜÇÜK

E-mail: volkankucuk@sdu.edu.tr



ÖZET

Erozyon, yerkabuğundaki toprak parçalarının su, rüzgar, buz ya da yerçekimi gibi doğal etmenler veya insan faaliyetleriyle yerinden taşınması sürecidir. Bu süreç, özellikle karayolları çevresinde dik eğimli arazilerde ve çıplak toprak yüzeylerinde daha belirgin hale gelir. Karayolları, doğal ekosistemleri önemli ölçüde değiştirerek erozyon riskini artıran mühendislik projeleridir. Türkiye'de özellikle Orta Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde su ve rüzgar erozyonu yaygın olarak görülmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'deki karayollarındaki erozyonun nedenleri ve etkileri, erozyon kontrol yöntemleri ve bu alanda kullanılan bitkiler üzerinde durulmuştur. Karayolu yapımı sırasında doğal bitki örtüsünün kaybı, toprak yapısının bozulması ve suyun doğal akışının değişmesi gibi faktörler erozyon riskini artıran başlıca etmenlerdir. Erozyon kontrolü, karayollarının stabilitesinin sağlanması, altyapı güvenliğinin korunması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem taşır. Türkiye'de uygulanan erozyon kontrol yöntemleri arasında bitkilendirme, geomatik yöntemler, biyoteknik çözümler ve mühendislik yapıları yer almaktadır. Bu yöntemlerin etkinliği, bölgesel stratejilerle desteklenen entegre bir yaklaşım benimsenerek artırılabilir. Türkiye'deki başarılı erozyon kontrol projeleri, özellikle Orman Genel Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen ağaçlandırma çalışmaları ve diğer önleyici projelerle örnek teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: : Bitkilendirme, Erozyon, Erozyon Kontrol Yöntemleri, Karayolları, Peyzaj Planlaması

ABSTRACT

Erosion is the process of soil particles being displaced from their original location due to natural factors such as water, wind, ice, or gravity, or through human activities. This process becomes more pronounced, especially in areas with steep slopes and bare soil surfaces around highways. Highways are engineering projects that significantly alter natural ecosystems, increasing the risk of erosion. In Turkey, water and wind erosion are commonly observed, particularly in the Central Anatolia, Eastern Anatolia, and Southeastern Anatolia regions. This study focuses on the causes and effects of erosion on highways in Turkey, erosion control methods, and the plants used for this purpose. The main factors contributing to increased erosion risk during highway construction include the loss of natural vegetation, soil structure degradation, and changes in the natural flow of water. Erosion control is of great importance for maintaining the stability of highways, ensuring infrastructure safety, and achieving environmental sustainability. Erosion control methods implemented in Turkey include afforestation, geomatic techniques, biotechnical solutions, and engineering structures. The effectiveness of these methods can be enhanced through an integrated approach supported by regional strategies. Successful erosion control projects in Turkey, particularly afforestation efforts and other preventive projects carried out by the General Directorate of Forestry and the General Directorate of Highways, serve as exemplary models.

Keywords: Afforestation, Erosion, Erosion Control Methods, Highways, Landscape Plan

1. GİRİŞ

1.1. Erozyonun Tanımı ve Türleri

Erozyon, yer kabuğundaki toprağın su, rüzgar, buz veya yerçekimi etkisiyle yerinden taşınarak başka bir alanda birikmesi sürecidir (Deniz ve Ok, 2016). Bu süreç, yalnızca doğal faktörlerle değil, insan faaliyetleriyle de hızlandırılabilir; özellikle inşaat, yol yapımı ve arazi kullanım değişiklikleri erozyon riskini artırmaktadır (Dursun ve Dursun, 2018; Özmiş ve Tolunay, 2016).

Erozyon türleri genel olarak su erozyonu, rüzgar erozyonu, kütle hareketi ve buz erozyonu olarak sınıflandırılabilir. Karayolu çevresinde en yaygın görülen erozyon türleri ise su ve rüzgar erozyonudur (Karaoğlu, 2018; Parlak, 2015). Bu türler, dik eğimlerin ve çıplak toprak yüzeylerinin bulunduğu alanlarda özellikle kritik öneme sahiptir (Görçelioğlu, 1996).

Türkiye’de yapılan araştırmalar, özellikle orman yolları ve karayolu projeleri kapsamında erozyon sorunlarının eğimli arazilerde yoğunlaştığını göstermektedir (Bozyiğit ve Kaya, 2017; Koçan, 2007). Yol inşaatı sırasında bitki örtüsünün tahrip edilmesi, toprağın yapısının bozulması ve yüzeyin sıkışması gibi etkenler, erozyon süreçlerini hızlandırmaktadır (Göktürk, Ölmez, Temel, ve Öncül, 2004; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016). Ayrıca, geosentetik malzemelerin ve bitkilendirme tekniklerinin uygulanmadığı alanlarda toprak kaybının daha ciddi boyutlara ulaşabileceği belirlenmiştir (Özçelik ve Rimoldi, 2019).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, karayolu projelerinde erozyon kontrol yöntemlerinin yalnızca toprağın korunmasını değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği de sağladığını ortaya koymaktadır ((Çalışkan, 2025). Bu bağlamda, erozyon kontrolü, hem mühendislik hem de ekolojik perspektiflerden ele alınması gereken çok boyutlu bir konu olarak önem kazanmaktadır.

1.2. Karayollarında Erozyonun Nedenleri ve Etkileri

Karayolları, doğal topografyayı ve ekosistemleri önemli ölçüde değiştiren mühendislik projeleridir. Bu tür projelerde geniş alanlar açığa çıkarılır ve doğal bitki örtüsü yok edilir, bu da erozyon riskini artırır (Çalışkan, 2025; Deniz ve Ok, 2016). Karayollarında erozyona yol açan başlıca etkenler şunlardır::

- **Doğal Bitki Örtüsünün Kaybı:** Karayolu yapımı sırasında doğal bitki örtüsü ortadan kaldırılır ve toprak çıplak hale gelir, bu da yağmur suları ve rüzgarın doğrudan yüzeye etki etmesine yol açar (Ertekin ve Çorbacı, 2010; Özçelik ve Rimoldi, 2019). Yapılan araştırmalar, bitki örtüsünün yok edilmesinin eğimli arazilerde erozyon oranlarını katlanarak artırdığını ortaya koymaktadır (Göktürk vd., 2004; Parlak, 2015).
- **Toprak Yapısının Bozulması:** Yol yapımı sırasında kullanılan ağır makineler toprağın sıkışmasına neden olur ve suyun toprağa nüfuz etmesini zorlaştırır. Bu durum, yüzey akışını ve dolayısıyla erozyon riskini artırır (Bozyiğit ve Kaya, 2017; Dursun ve Dursun, 2018). Nitekim baraj havzalarında yapılan çalışmalar, yol ve inşaat faaliyetlerinin erozyon süreçlerini hızlandığını göstermektedir (Bozyiğit ve Kaya, 2017).
- **Hidrolojik Değişiklikler:** Yol kenarında yapılan düzenlemeler, suyun doğal akışını değiştirerek birikim alanları oluşturabilir ve erozyon oranını artırabilir. Özellikle teraslama ve yol drenaj sistemlerinin yetersiz olması, yüzey akışını artırarak toprağın taşınmasına neden olmaktadır (Görçelioğlu, 1996).

Erozyonun etkileri arasında tarım arazilerinin kaybı, su kaynaklarının kirlenmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması ve altyapıya zarar verilmesi yer almaktadır (Kaba, 2019; Özmiş ve Tolunay, 2016). Özellikle Türkiye gibi engebeli ve farklı iklim koşullarına sahip bir ülkede bu etkiler, karayolu güvenliği ve ekonomik kayıplar açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Kaba, 2019; Yalçinkaya, Çakar, ve Say, 2022).

1.3. Türkiye’de Erozyonun Genel Durumu

Türkiye, engebeli arazi yapısı ve değişken iklim koşulları nedeniyle erozyonun yaygın olduğu bir ülkedir (Deniz ve Ok, 2016; Dursun ve Dursun, 2018). Özellikle Orta Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yoğun olarak su ve rüzgar erozyonu görülmektedir. Tarım alanlarının korunması ve karayollarının güvenliğinin sağlanması için erozyon kontrolü, hem bölgesel hem de ulusal düzeyde önemli bir konu haline gelmiştir (Yüksek, Küçük, Erdoğan Yüksel, ve Güner, 2010).

Erozyon kontrolü ile ilgili ulusal politikalar, 1970’lerden itibaren çeşitli projelerle desteklenmiştir. Orman Genel Müdürlüğü ve Karayolları Genel Müdürlüğü, bu alanda öncü kurumlar olmuştur. Örneğin, Artvin’de gerçekleştirilen ağaçlandırma projeleri, erozyon kontrolünde başarılı örneklerden biridir (Yüksek vd., 2010).

1.4. Karayollarında Erozyon Kontrolünün Önemi

Karayollarında erozyon kontrolü, sadece doğal kaynakların korunması için değil, aynı zamanda altyapının güvenliği ve sürdürülebilirliği açısından da hayati öneme sahiptir (Bozyiğit ve Kaya, 2017; Görçelioğlu, 1996). Erozyon nedeniyle yolların stabilitesi bozulabilir, bu da hem ekonomik kayıplara hem de can güvenliği riskine yol açabilir.

Erozyon kontrolünün önemini daha iyi anlamak için peyzaj planlama ve bitkilendirme çalışmaları kritik rol oynamaktadır. Bu çalışmalar, toprak kaybının azaltılması ve yamaç stabilitesinin sağlanması açısından etkili bir çözüm sunar (Ertekin ve Çorbacı, 2010).

Elde edilen bilgiler ve literatür incelemeleri, karayollarında erozyon kontrolünün etkili bir şekilde uygulanabilmesi için bilimsel ve teknik yöntemlerin birleştirildiği entegre bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Karayollarında erozyon kontrolü ile ilgili özelleşmiş bölgesel stratejiler, ulusal stratejilerin tamamlayıcı bir parçasıdır (Hasdemir ve Demir, 2000).

2. KARAYOLLARINDA EROZYON KONTROLÜ

2.1. Erozyon Kontrolünde Kullanılan Yöntemlerin Genel Kapsamı

Erozyon kontrol yöntemleri, toprağın korunması, suyun düzenlenmesi ve rüzgar etkilerinin azaltılması gibi amaçlarla geliştirilmiş farklı teknikleri kapsar. Bu yöntemler genel olarak mekanik, biyolojik ve kimyasal yöntemler olarak sınıflandırılır.

- **Mekanik Yöntemler:** Mekanik yöntemler, erozyonun fiziksel olarak engellenmesine odaklanır. Bunlar arasında teraslama, istinat duvarları, taş dolgular ve hendek kazıları yer alır. Karayollarında bu yöntemler genellikle dik yamaçların stabilitesini sağlamak ve su akışını düzenlemek için kullanılır. Örneğin, Hasdemir ve Demir (2000), orman yollarını karayollarından ayıran mekanik yöntemlerin etkinliğini değerlendirmiş ve bu yöntemlerin özellikle dik eğimlerde önemli olduğunu belirtmiştir (Hasdemir ve Demir, 2000).
- **Biyolojik Yöntemler:** Bitki örtüsü, erozyon kontrolünün en doğal ve sürdürülebilir yoludur. Bitkilerin kök sistemleri toprağı stabilize ederken, yüzeydeki yapraklar yağmur damlalarının etkisini azaltır. Bu yöntem, özellikle ağaçlandırma ve çalılendirme

çalışmalarıyla karayolu kenarlarında etkili bir şekilde uygulanabilir. Kaba (2019), Ağrı'da yapılan ağaçlandırma projelerinde bitki türlerinin doğru seçiminin erozyonu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir (Kaba, 2019).

- **Kimyasal Yöntemler:** Kimyasal yöntemler, toprağın fiziksel yapısını güçlendirmek amacıyla çimento, polimer ve diğer bağlayıcı maddelerin uygulanmasını içerir. Bu yöntemler, genellikle acil müdahale gereken bölgelerde kısa vadeli çözümler sunar.

2.2. Türkiye’de Kullanılan Yöntemler ve Bölgesel Uygulamalar

Türkiye’nin farklı bölgelerinde, bölgesel özelliklere ve erozyon türüne bağlı olarak çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Özellikle orman ekosistemleri ve dağlık bölgelerde, erozyon kontrolünde ağaçlandırma, teraslama, seddeleme ve biyoteknik uygulamalar öne çıkmaktadır. Artvin yöresinde yapılan çalışmalar, dik yamaçlarda yürütülen ağaçlandırma ve toprak koruma uygulamalarının erozyonu azaltmada önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Göktürk vd., 2004).

Çayır ve mera alanlarında ise, erozyonla mücadele için otlatma baskısının azaltılması, doğal bitki örtüsünün korunması ve toprak ıslahı uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır (Balabanlı, Türk, ve Yüksel, 2005). Bu tür alanlarda yapılan araştırmalar, özellikle uygun bitki türlerinin kullanımıyla toprağın yüzey akışına karşı daha dirençli hale geldiğini ortaya koymaktadır.

Baraj havzaları ve akarsu yataklarında ise, su erozyonunun kontrolü için sedde, bent, teraslama ve ağaçlandırma projeleri uygulanmıştır. Konya Altınapa Barajı havzasında yapılan incelemeler, yanlış arazi kullanımı ve yol açma faaliyetlerinin erozyon oranlarını artırdığını, buna karşılık erozyon kontrol önlemlerinin havza yönetiminde kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır (Bozyiğit ve Kaya, 2017).

Ayrıca, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yapılan ağaçlandırma projeleri, büyük ölçekli erozyon kontrol çalışmaları açısından dikkat çekicidir. Atatürk Barajı örneğinde, erozyon kontrolü amacıyla uygulanan ağaçlandırma projelerinin hem toprak kaybını azalttığı hem de bölgenin ekolojik dengesine katkı sağladığı tespit edilmiştir (Yalçinkaya vd., 2022).

2.2.1. Ağrı İli Örneği

Ağrı’da, özellikle yüksek eğimli alanlarda yapılan ağaçlandırma çalışmaları biyolojik yöntemlerin başarısını ortaya koymaktadır. Bu projelerde yerel iklim koşullarına uygun türler seçilmiş ve geniş alanlarda uygulama yapılmıştır (Kaba, 2019). Çalışmalarda Robinia pseudoacacia (Yalancı Akasya) ve Betula pendula (Adi Huş) gibi türlerin kullanıldığı ve erozyon oranını belirgin bir şekilde düşürdüğü raporlanmıştır. Benzer şekilde, Türkiye’nin farklı yörelerinde yapılan araştırmalar da ağaçlandırma projelerinin eğimli arazilerde toprak kaybını azaltmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Yalçinkaya vd., 2022).

2.2.2. Artvin Merkez Seyitler Köyü Örneği

Artvin’de yapılan çalışmalarda biyolojik ve mekanik yöntemler bir arada kullanılarak uzun vadeli başarı hedeflenmiştir (Yüksek vd., 2010). Bu bölgede yapılan ağaçlandırma çalışmalarının toprak yapısını olumlu etkilediği ve erozyon oranlarını büyük ölçüde azalttığı ifade edilmektedir. Projelerde teraslama ve bitkilendirme birlikte uygulanmış, özellikle dik yamaçlarda ağaçlandırma faaliyetlerinin erozyon kontrolünde kritik bir rol oynadığı belirlenmiştir (Göktürk vd., 2004). Ayrıca, bölgesel arazi kullanım kararlarında erozyon önlemlerinin sürdürülebilir başarı için önemli olduğu vurgulanmaktadır (Bozyiğit ve Kaya, 2017).

2.2.3. Iğdır-Aralık'ta Rüzgar Erozyonu Çalışmaları

Iğdır-Aralık bölgesi, rüzgar erozyonunun yoğun görüldüğü alanlardan biridir. Bu bölgede yapılan çalışmalarda, rüzgar bariyerleri ve bitki şeritleri kullanılarak etkili bir kontrol sağlanmıştır (Karaoğlu, 2018). Özellikle *Populus* (Kavak) gibi hızlı büyüyen ağaç türlerinin tercih edilmesi, rüzgar hızını düşürmede ve toprak yüzeyinin korunmasında başarılı sonuçlar vermiştir. Çayır ve mera alanlarında yürütülen uygulamalar da, bitki örtüsünün korunması ve güçlendirilmesinin rüzgar erozyonu kontrolünde etkin rol oynadığını göstermektedir (Balabanlı vd., 2005).

2.3. Türkiye'de Erozyon Kontrolü Stratejilerinin Başarı Kriterleri

Türkiye'deki erozyon kontrol projelerinin başarısı, çeşitli kriterlere bağlıdır. Bu kriterler arasında şunlar öne çıkar:

- Uygulama bölgesinin iklim, toprak ve topografya özelliklerinin dikkate alınması.
- Kullanılan bitki türlerinin yerel ekolojik şartlara uygunluğu.
- Mekanik ve biyolojik yöntemlerin bir arada ve dengeli bir şekilde kullanılması.

Erozyon kontrolünde başarılı bir uygulama için bölgesel özelliklere uygun entegre yaklaşımların benimsenmesi önemlidir. Özellikle karayolları gibi büyük ölçekli projelerde, farklı yöntemlerin bir arada kullanılması uzun vadeli çözümler sunmaktadır (Ertekin ve Çorbacı, 2010). Nitekim Artvin yöresinde yapılan ağaçlandırma ve teraslama çalışmalarında, bölgesel topografyanın ve iklimin dikkate alınmasının başarıda belirleyici olduğu vurgulanmaktadır (Göktürk vd., 2004). Benzer şekilde, çayır-mera alanlarında yapılan araştırmalar da, uygun bitki türü seçiminin ve otlatma baskısının düzenlenmesinin erozyon kontrolünde kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Balabanlı vd., 2005).

Bunun yanı sıra, büyük ölçekli baraj havzalarında yürütülen projelerde mekanik ve biyolojik yöntemlerin birlikte kullanıldığı entegre yaklaşımların daha kalıcı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Bozyiğit ve Kaya, 2017; Yalçinkaya vd., 2022).

3. BİTKİLERLE EROZYON KONTROLÜ

3.1. Bitkilerin Erozyon Kontrolündeki Rolü

Bitkiler, erozyon kontrolünde en doğal ve etkili çözümlerden biridir. Kök sistemleri, toprağı fiziksel olarak bir arada tutarak stabilizasyon sağlar, yaprakları ise yüzeydeki su akışını yavaşlatarak yağmurun erozyon etkisini azaltır. Bunun yanında, bitkiler yüzey sıcaklığını düzenler ve su buharlaşmasını azaltır. Bu özellikleriyle biyolojik yöntemlerin temel unsurlarını oluştururlar (Ertekin ve Çorbacı, 2010). Özellikle karayolları gibi geniş alanlarda yapılan uygulamalarda, bitkilerin erozyon kontrolüne olan katkıları uzun vadeli çözümler sunar.

Türkiye'de farklı bölgelerde yapılan çalışmalar, bitki örtüsünün varlığının erozyon oranlarını ciddi biçimde azalttığını ortaya koymaktadır. Örneğin, mera alanlarında bitkisel çeşitliliğin korunmasının ve otlatma baskısının kontrol altına alınmasının, toprak kaybını önlemede önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir (Balabanlı vd., 2005). Benzer şekilde, ormanlık alanlarda yürütülen ağaçlandırma projeleri, kök sistemleri sayesinde toprağı güçlendirerek erozyon sürecini yavaşlatmaktadır (Göktürk vd., 2004).

3.2. Karayollarında Kullanılan Bitki Türleri

Karayollarında erozyon kontrolü için seçilen bitki türleri, bölgenin ekolojik özelliklerine, toprak yapısına ve iklimine uygun olmalıdır. Türkiye'de farklı bölgelerde yapılan çalışmalar, yerel koşullara uygun bitki türlerinin tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Baraj havzaları ve

eğimli arazilerde uygulanan projelerde, hızlı büyüyen türler ile derin köklü ağaç ve çalıların bir arada kullanıldığı görülmektedir (Bozyiğit ve Kaya, 2017). Ayrıca, geniş ölçekli ağaçlandırma çalışmalarında yerel iklime uyum sağlayabilen türlerin seçilmesinin başarı oranını artırdığı vurgulanmaktadır (Yalçinkaya vd., 2022).

3.2.1. Ağaç Türleri

Ağaçlar, derin ve güçlü kök sistemleri sayesinde toprağın hem yüzeysel hem de derin seviyelerde stabilizasyonuna katkı sağlar. Karayollarında yapılan uygulamalarda, doğru türlerin seçimi uzun vadeli erozyon kontrolü açısından kritik önem taşır. Türkiye’de bu amaçla yaygın olarak kullanılan bazı ağaç türleri şunlardır:

- **Çam (Pinus):** Eğimli arazilerde sıkça tercih edilen çam türleri, hızlı büyümeleri ve güçlü kök sistemleri sayesinde toprak stabilitesini sağlar.
- **Meşe (Quercus):** Yerel türlerden biri olan meşe, uzun ömürlü ve dayanıklı bir ağaçtır. Karayolları kenarında toprak stabilitesini artırmada başarılıdır.
- **Kavak (Populus):** Hızlı büyüyen bu tür, özellikle rüzgar erozyonu kontrolünde etkili olmuştur.
- **Akçaağaç (Acer):** Karayolları çevresinde görsel bir estetik sunarken, toprak tutma kapasitesi yüksektir.

3.2.2. Çalı Türleri

Çalılar, yamaçlarda ve yüzeysel erozyonun yoğun olduğu alanlarda kullanılır. Geniş kök sistemleri sayesinde yüzey toprağını stabilize ederler. Türkiye’de öne çıkan bazı çalı türleri:

- **Laden (Cistus):** Kurak koşullara dayanıklı olan bu tür, yüzey erozyonunu azaltmada etkilidir.
- **Funda (Calluna vulgaris):** Genellikle asidik ve azot açısından fakir topraklarda yetişen bir çalı türüdür. Yüzeyi kaplayarak toprak kaymalarını engellemeye yardımcı olur.

3.2.3. Otsu Bitkiler

Otsu bitkiler, hızlı gelişim göstermeleri sayesinde kısa sürede yüzeyi kaplayarak geçici bir stabilizasyon sağlar. Özellikle toprak kaybının yoğun olduğu alanlarda, mekanik yöntemlerle birlikte uygulandığında etkinliği artar. Karayollarında sıklıkla tercih edilen çim türleri, hem toprak yüzeyini koruyucu örtü oluşturmaları hem de bakım kolaylıkları nedeniyle öne çıkmaktadır.

3.3. Bitkilendirme Çalışmalarının Planlanması

Başarılı bir bitkilendirme çalışması, bölgenin iklim koşulları, toprak yapısı ve erozyon türüne uygun türlerin seçilmesiyle mümkün olur. (Ertekin ve Çorbacı, 2010). Bitkilendirme projelerinin planlanmasında şu faktörlerin dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir:

- Yerel bitki türlerinin tercih edilmesi.
- Mekanik yapılarla entegre bir şekilde uygulanması.
- Bitkilerin bakım ve sulama gereksinimlerinin hesaplanması.
- Planlama sürecinde yerel uzmanların ve ekolojik verilerin kullanılması, projelerin başarısını artırmaktadır.

3.4. Türkiye’de Örnek Bitkilendirme Projeleri

3.4.1. Artvin’de Ağaçlandırma Çalışmaları

Artvin, biyolojik yöntemlerin başarıyla uygulandığı bölgelerden biridir. (Yüksek vd., 2010). Artvin Merkez Seyitler Köyü’nde gerçekleştirilen ağaçlandırma projelerinde karaçam ve meşe gibi türlerin kullanıldığını ve bu türlerin hem erozyonu azalttığını hem de toprak yapısını iyileştirdiğini rapor etmiştir.

3.4.2. Iğdır’da Rüzgar Bariyerleri

Iğdır-Aralık bölgesinde rüzgar erozyonunu kontrol etmek amacıyla kavak ve benzeri hızlı büyüyen türlerin kullanıldığı projeler, rüzgar hızını düşürmede başarılı olmuştur (Karaoğlu, 2018).

3.4.3. Ağrı’da Bitkilendirme Çalışmaları

Ağrı’da yapılan ağaçlandırma çalışmaları, erozyon kontrolünde biyolojik yöntemlerin etkinliğini bir kez daha göstermiştir. Bu projelerde karaçam, meşe ve yerel otsu türlerin kullanımı dikkat çekmiştir (Kaba, 2019).

4. PEYZAJ PLANLAMA VE KARAYOLLARINDA EROZYON KONTROLÜ

4.1. Peyzaj Planlamanın Erozyon Kontrolüne Etkisi

Peyzaj planlama, erozyon kontrolünde bütüncül bir yaklaşım sunar. Doğal süreçlerle uyumlu olarak gerçekleştirilen peyzaj düzenlemeleri, hem çevresel sürdürülebilirliği sağlar hem de altyapı projelerinin güvenliğini artırır. Karayollarında peyzaj planlama, erozyon risklerini azaltma ve görsel estetik sağlama amacıyla yapılır.

Yarma ve dolgu yapımları sırasında şev stabilitesinin bozulması, peyzaj planlamasının su akışını düzenlemek, toprak stabilitesini artırmak ve çevresel etkileri en aza indirmek için kritik bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Ertekin ve Çorbacı, 2010).

4.2. Karayollarında Peyzaj Uygulamaları

Peyzaj uygulamaları, erozyon kontrolünde mekanik ve biyolojik yöntemlerin uyumlu bir şekilde birleştirilmesini içerir. Karayollarında yapılan uygulamalar genellikle şu başlıklar altında ele alınır:

- **Yamaç Stabilizasyonu:** Karayollarının eğimli kesimlerinde teraslama ve bitkilendirme kombinasyonu, toprak kaymalarını önlemede önemli bir yöntemdir. Yamaçlara uygun bitki türlerinin seçilmesi, hem erozyon riskini azaltır hem de uzun vadeli dayanıklılık sağlar (Hasdemir ve Demir, 2000).
- **Yağmur Suyu Yönetimi:** Peyzaj planlaması, yağmur suyu akışını düzenlemek ve erozyonu önlemek için etkili bir araçtır. Drenaj kanalları, yağmur bahçeleri ve suyun doğal olarak sızmasına izin veren yeşil alanlar, karayolları çevresinde yaygın olarak kullanılan uygulamalardır.
- **Bitkilendirme Alanları:** Karayolları kenarında yer alan alanların yerel bitki türleriyle kaplanması, yüzey erozyonunu önemli ölçüde azaltır. Bu tür alanlar, aynı zamanda rüzgar etkisini kırmada da etkili olabilir (Ertekin ve Çorbacı, 2010).

4.3. Orman Yolları ile Karayollarının Kıyaslanması

Orman yolları ve karayolları, erozyon kontrolü açısından farklı zorluklar ve gereksinimler sunar. Hasdemir ve Demir (2000), orman yollarının dar ve daha az yoğun kullanıldığı için erozyon kontrolüne daha uygun olduğunu, ancak karayollarında büyük ölçekli ve entegre çözümler gerektiğini belirtmiştir (Hasdemir ve Demir, 2000).

Orman yollarında, bitkisel örtü daha az bozulduğu için erozyon riski daha düşüktür. Buna karşın karayolları, geniş alanlarda büyük ölçekli mühendislik müdahaleleri gerektirir.

4.4. Peyzaj Planlamanın Uzun Vadeli Faydaları

Peyzaj planlaması, karayolları çevresindeki ekosistemin sürdürülebilirliği için uzun vadeli faydalar sağlar. Bu faydalar arasında şunlar yer alır:

- **Toprak Kaybının Azaltılması:** Bitki örtüsü ve drenaj sistemlerinin uyumlu kullanımı sayesinde toprak kaybı en aza indirilebilir.
- **Ekolojik Koridorlar:** Karayolları çevresinde oluşturulan yeşil alanlar, yaban hayatı için geçiş koridorları sunar.
- **İklim Düzenlemesi:** Yeşil alanlar, yerel mikroiklimi düzenleyerek sıcaklık farklarını ve buharlaşmayı azaltır.

4.5. Türkiye’de Örnek Peyzaj Projeleri

Türkiye’de peyzaj planlama ve erozyon kontrolü projeleri, özellikle kırsal alanlardaki karayollarında uygulanmıştır. Öne çıkan projelerden bazıları şunlardır:

- **Artvin Ağaçlandırma Çalışmaları:** Artvin’de gerçekleştirilen peyzaj projelerinde, karayolu kenarındaki yamaçlar yerel bitki türleriyle kaplanmış ve toprak stabilitesi artırılmıştır (Yüksek vd., 2010).
- **Iğdır Rüzgar Bariyerleri:** Iğdır’da, peyzaj planlaması rüzgar erozyonunu kontrol etmek için kullanılmıştır. Kavak ve diğer hızlı büyüyen türlerle oluşturulan rüzgar bariyerleri, bölgedeki toprak kaybını büyük ölçüde azaltmıştır (Karaoğlu, 2018).

5. TÜRKİYE’DE EROZYON KONTROLÜ İÇİN STRATEJİLER VE GELECEK PERSPEKTİFİ

5.1. Politika ve Yönetim Yaklaşımları

Erozyon kontrolü, etkili bir politika ve yönetim stratejisi olmadan sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilemez. Türkiye’de erozyon kontrolüne yönelik politikalar, genellikle çevre koruma ve altyapı projelerini birleştiren yaklaşımlarla şekillendirilmiştir. Ancak, uygulamada karşılaşılan zorluklar nedeniyle bölgesel ve ulusal düzeyde daha entegre yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Öne çıkan politika ve yönetim yaklaşımları şunlardır:

- **Ulusal Erozyon Kontrol Stratejileri:** Türkiye, erozyon kontrolüne yönelik ulusal düzeyde stratejiler geliştirmiştir. Özellikle Karayolları Genel Müdürlüğü ve Orman Genel Müdürlüğü, bu alanda aktif rol oynamaktadır. Ancak, bu stratejilerin bölgesel özelliklere göre özelleştirilmesi gerekmektedir (Hasdemir ve Demir, 2000).
- **Yerel Yönetimlerin Rolü:** Belediyeler ve yerel yönetimler, erozyon kontrol projelerinde uygulama ve denetim süreçlerinde kritik bir role sahiptir. Bölgesel ihtiyaçlara yanıt veren planların yerel düzeyde geliştirilmesi, projelerin başarısını artırabilir.

- **Kamu-Özel İşbirlikleri:** Özel sektörün de dahil olduğu işbirlikleri, erozyon kontrol projelerine finansman ve teknoloji katkısı sağlayabilir. Bu tür işbirlikleri, sürdürülebilir projelerin hayata geçirilmesinde önemli bir fırsat sunmaktadır.
- **Hukuki Düzenlemeler ve Teşvikler:** Türkiye’de erozyon kontrolüne yönelik hukuki çerçevenin güçlendirilmesi gereklidir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen teşvik programları, karayollarında erozyon kontrolü için etkili bir destek sağlayabilir.

5.2. Eğitim ve Toplum Farkındalığı

Erozyon kontrolü projelerinin başarısı, yalnızca mühendislik çözümlerine değil, aynı zamanda toplumun bu süreçlere katılımına ve farkındalığına bağlıdır. Türkiye’de erozyonun ciddi bir sorun olduğu birçok bölgede, halkın bu konuda bilinçlenmesi ve projelere dahil edilmesi için etkin programlar geliştirilmelidir.

Toplum farkındalığı artırmaya yönelik öneriler şunlardır:

- **Eğitim Programları:** Okullarda erozyon kontrolü ve çevre koruma bilincini artıracak eğitim programları geliştirilmelidir. Genç nesillere bu bilinci aşılama, uzun vadede sürdürülebilir bir yaklaşım sağlar (Kaba, 2019).
- **Yerel Halkın Katılımı:** Yerel halkın erozyon kontrol projelerine aktif katılımını sağlamak, hem projelerin sahiplenilmesini hem de başarı oranını artırır. Bunun için halka yönelik seminerler, çalıştaylar ve uygulamalı eğitimler düzenlenebilir.
- **Bilgilendirme Kampanyaları:** Erozyonun etkilerini ve kontrol yöntemlerini anlatan bilgilendirici kampanyalar, medya ve sosyal medya aracılığıyla geniş kitlelere ulaşabilir.
- **Sivil Toplum Kuruluşları ile İşbirliği:** Sivil toplum kuruluşları , toplum farkındalığını artırmak ve projelere destek sağlamak için önemli bir aracı olabilir. Türkiye’de çevre konularında çalışan sivil toplum kuruluşları , erozyon kontrol projelerinde etkin bir şekilde yer alabilir.

5.3. İklim Değişikliği ve Erozyon Kontrolü

İklim değişikliği, erozyon kontrolü açısından yeni tehditler ve fırsatlar yaratmaktadır (Çalışkan, 2025; Deniz ve Ok, 2016). Artan yağış yoğunluğu ve ani sel olayları, su erozyonu risklerini artırırken, rüzgar hızlarındaki değişimler rüzgar erozyonunu daha yaygın hale getirmektedir (Karaoğlu, 2018; Tüfekçioglu ve Yavuz, 2016). Ayrıca sıcaklık artışı ve kuraklık, toprak yapısında bozulmalara yol açarak toprak parçacıklarının taşınabilirliğini artırmaktadır (Bozyiğit ve Kaya, 2017).

Rüzgar erozyonu özellikle düz veya düze yakın, kuru, nem içeriği düşük, çıplak veya zayıf bitki örtüsüne sahip, kumlu veya gevşek yapıli topraklarda görülür. Bununla birlikte ince tekstürlü fakat kuru topraklar da yüksek rüzgar potansiyeli olan bölgelerde risk altındadır (Karaoğlu, 2018; Parlak, 2015). İklim değişikliği ile bu tür risklerin artması, bitki bariyerleri ve vegetatif önlemlerin önemini artırmaktadır. Bu önlemler uygulanmadığında rüzgar erozyonu çevresel ve sağlık açısından ciddi bir tehdit haline gelebilir (Özçelik ve Rimoldi, 2019).

Bu bağlamda, erozyon kontrol projelerinin iklim değişikliğine uyum sağlayacak şekilde planlanması gerekmektedir. Sürdürülebilir ve adaptif yaklaşımlar, hem altyapı güvenliğini hem de doğal kaynakların korunmasını destekleyebilir. Araziye uygun bitkilendirme, drenaj sistemleri ve geosentetik uygulamalar, iklim kaynaklı erozyon risklerinin azaltılmasında etkili stratejiler olarak öne çıkmaktadır (Çalışkan, 2025; Deniz ve Ok, 2016; İlknur, 2002).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Karayollarında erozyon kontrolü, çevresel sürdürülebilirlik, altyapı güvenliği ve doğal kaynakların korunması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Türkiye, coğrafi ve iklimsel çeşitliliği nedeniyle farklı bölgelerde çeşitli erozyon türleriyle karşı karşıyadır. Bu çalışma, literatür taramaları ve bölgesel uygulamalardan elde edilen bulgular doğrultusunda, Türkiye’de karayollarında erozyon kontrolüne yönelik mevcut yöntemleri ve uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele almıştır.

Elde edilen temel bulgular şunlardır:

- **Biyolojik Yöntemlerin Önemi:** Yerel bitki türlerinin kullanımı, uzun vadeli ve sürdürülebilir çözümler sunmakta etkili olmuştur. Ağrı’daki ağaçlandırma projelerinde toprak stabilitesinin artırılmasında biyolojik yöntemlerin başarılı olduğu gözlemlenmiştir (Kaba, 2019; Pekal ve Tilki, 2010).
- **Mekanik ve Biyolojik Yöntemlerin Entegrasyonu:** Mekanik yapılar ile bitkilendirme uygulamalarının birlikte kullanılması, yamaç stabilitesinin sağlanması ve yüzey su akışının düzenlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Artvin ve Iğdır’da yapılan uygulamalar, bu entegrasyonun erozyon kontrolünde etkili olduğunu göstermektedir (Karaoğlu, 2018; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016; Yüksek vd., 2010).
- **Peyzaj Planlamasının Etkisi:** Karayollarında peyzaj planlaması, erozyon kontrolü ile estetik ve çevresel faydaları birleştirmekte önemli bir araçtır. Toprak kaybının önlenmesi, yamaç stabilitesinin sağlanması ve çevresel uyumun artırılması açısından peyzaj planlama çalışmaları kritik bir rol oynamaktadır (Ertekin ve Çorbacı, 2010; İlknur, 2002).
- **İklim Değişikliğinin Etkisi:** İklim değişikliğinin, özellikle rüzgar ve su erozyonunu arttırabileceği öngörülmektedir. Bu durum, erozyon kontrol projelerinde daha dayanıklı ve uzun vadeli yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir (Karaoğlu, 2018).
- **Toplum Katılımının Önemi:** Yerel halkın projelere dahil edilmesinin, hem maliyetleri düşürdüğü hem de başarı oranını arttırdığı görülmüştür. Eğitim ve farkındalık çalışmaları bu sürecin temelini oluşturmaktadır (Kaba, 2019).

6.2. Öneriler

Karayollarında erozyon kontrolünün etkinliğini arttırmak ve Türkiye’de sürdürülebilir, bilimsel temelli bir yaklaşım geliştirmek amacıyla aşağıdaki stratejik öneriler sunulmaktadır:

Yerel Koşullara Özgü Çözümler: Her bölgenin toprak yapısı, iklim koşulları ve erozyon türüne uygun özelleştirilmiş stratejiler geliştirilmelidir (Deniz ve Ok, 2016; Dursun ve Dursun, 2018).
Örneğin:

- Karadeniz Bölgesi’nde su erozyonuna yönelik teraslama ve yağmur suyu yönetimi uygulamaları,
- İç Anadolu’da rüzgar erozyonunu önlemek için rüzgar bariyerleri ve bitki şeritleri oluşturulmalıdır (Karaoğlu, 2018; Parlak, 2015).

Teknoloji Kullanımı: Erozyon alanlarının erken tespiti ve etkili müdahaleler için teknoloji entegrasyonu kritik öneme sahiptir. Uydu görüntüleme, drone teknolojisi, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve toprak analitiği, erozyon risk haritalarının oluşturulması ve süreçlerin optimize edilmesinde etkili araçlar olarak kullanılabilir (Çalışkan, 2025; Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016).

Eğitim ve Toplum Katılımı: Erozyon kontrol projelerinin kalıcı ve sürdürülebilir olması, yerel halkın aktif katılımı ve bilinçlendirilmesi ile mümkündür. Eğitim programları, farkındalık çalışmaları ve katılımcı planlama süreçleri, hem maliyetleri azaltmak hem de uygulama başarısını artırmak için önemlidir (Kaba, 2019; Özmiş ve Tolunay, 2016).

İklim Değişikliğine Uyumlu Stratejiler: Erozyon kontrolü, iklim değişikliğinin etkilerine karşı dayanıklı olacak şekilde planlanmalıdır. Bu amaçla:

- Daha dayanıklı bitki türleri belirlenmeli,
- Su yönetimi sistemleri güncellenmeli ve esnek stratejiler oluşturulmalıdır.

Peyzaj Planlaması ve Estetik Yaklaşım: Peyzaj planlaması, erozyon kontrolü ile birlikte çevresel estetiği artıracak şekilde entegre edilmelidir. Bu yaklaşım, projelerin yerel halk tarafından benimsenmesini kolaylaştırır ve sosyal kabulü artırır (Ertekin ve Çorbacı, 2010; Koçan, 2007).

Bu entegre yaklaşım, yerel koşullara uyumlu stratejiler, teknoloji kullanımı, toplumsal katılım, iklim değişikliğine adaptasyon ve peyzaj planlamasını birleştirerek, karayollarında erozyon kontrolünü hem teknik hem çevresel açıdan sürdürülebilir kılmakta ve doğal kaynakların korunmasına katkı sağlamaktadır (Çorbacı ve Ertekin, 2010; Deniz ve Ok, 2016; Karaoğlu, 2018).

KAYNAKLAR

- Balabanlı, C., Türk, M., Ve Yüksel, O. (2005). *Erozyon Ve Çayır-Mera İlişkileri*. *Terms Of Percent Crop Residue Cover And Erosion Control*.
- Bozyiğit, R., Ve Kaya, B. (2017). *Altınapa Barajı Havzasında (Konya) Erozyon Ve Önlemler*. *Ertekin, M., Ve Çorbacı, Ö. L. (2010). Karayollarında Peyzaj Planlama Ve Bitkilendirme Çalışmaları*.
- Çalışkan, B. (2025). *Research On Environmental Impacts Of Highway Construction Projects Using Spatial Analysis*. *Göktürk, A., Ölmez, Z., Temel, F., Ve Öncül, Ö. (2004). Artvin Yöresi Potansiyel Erozyon Sahaları İle Ağaçlandırma Ve Erozyon Kontrol Çalışmalarına Genel Bir Bakış*.
- Çorbacı, Ö. L., Ve Ertekin, M. (2010). *Karayollarında Peyzaj Planlama Ve Bitkilendirme Çalışmaları*. *Görçelioğlu, E. (1996). Ağaçlandırma Alanlarında Su Ve Toprak Koruma Amacıyla Kullanılan Teraslar Ve Orman Yollarında Erozyon Kontrolü*.
- Deniz, T., Ve Ok, K. (2016). *Erozyon Kontrolü Çalışmalarında Değer Analizi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 66(1). Hhttps://Doi.Org/10.17099/Jffiu.183 38*. *Hasdemir, M., Ve Demir, M. (2000). Türkiye’de Orman Yollarını Karayollarından Ayıran Özellikler Ve Bu Yolların Sınıflandırılması*.
- Dursun, İ., Ve Dursun, E. (2018). *Evaluation Of Various Soil Tillage Methods In İlknur, G. D. (2002). Yüzey Artıklarıyla Erozyon Kontrolüne Uygun Toprak*

- İşleme Ve Ekim Alet—Makina Setlerinin Hesaplama Yöntemiyle Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 8(2), 149-156. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000728
- Kaba, A. C. (2019). *Ağrı İlinde Erozyon Kontrolü Amaçlı Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi*. Geliş Tarihi Gönderen <https://openaccess.artvin.edu.tr/Xmlui/Handle/11494/2361>
- Karaoğlu, M. (2018). *IĞDIR-ARALIK'TA RÜZGAR EROZYONU ÇALIŞMALARI*.
- Koçan, N. (2007). *Gümüşhane-Trabzon Karayolu Güzergahı Peyzaj Değerlerinin İrdelenmesi*.
- Özçelik, H., Ve Rimoldi, P. (2019). *Şevlerde Erozyon Kontrolü İçin Geosentetiklerin Kullanımı Ve Tasarımı*.
- Özmiş, M., Ve Tolunay, A. (2016). *Burdur Yöresi Erozyon Kontrolü Hizmetlerinin Ekonomik Değerinin Ve Toplumun Ödeme Eğiliminin Belirlenmesi*. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 99. <https://doi.org/10.19113/Sdufbed.02416>
- Parlak, M. (2015). *Çanakkale – Lapseki (Güney Marmara, Türkiye) Karayolu Kenar Eğimlerindeki Erozyonun Belirlenmesi*.
- Pekal, K., Ve Tilki, F. (2010). *Artvin Çoruh Nehri Su Havzasında Erozyon Kontrolü Amaçlı Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi*.
- Tüfekçioğlu, M., Ve Yavuz, M. (2016). *Yüzeysel Toprak Erozyonunun RUSLE Modeli Kullanılarak Belirlenmesi: Yusufeli Örneği, Artvin Determining Surface Soil Erosion Using RUSLE Methodology: Case Study İn Yusufeli, Artvin*. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2). <https://doi.org/10.17474/Acuofd.47342>
- Yalçinkaya, N. M., Çakar, M. M., Ve Say, N. (2022). *Erozyon İle Mücadele Kapsamında Ağaçlandırma Projelerinin Etkinliği: Atatürk Barajı Örneği*. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 282-300. <https://doi.org/10.47495/Okufbed.1018855>
- Yüksek, F., Küçük, M., Erdoğan Yüksel, E., Ve Güner, S. (2010). *Artvin Merkez Seyitler Köyünde Erozyon Kontrol Amaçlı Yapı Lan Ağaçlandı Rma Çalışması Nı N Bazı Toprak Özelliklerine Etkisi*.