



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**TÜRKİYE’DE BAZI TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİNİ
UYGULAMA POTANSİYELİ: ÇATALCA ÖRNEĞİ**

Hilal TÜRKDOĞDU

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hüseyin Emrullah ÇELİK

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Peyzaj Mimarlığı Programı

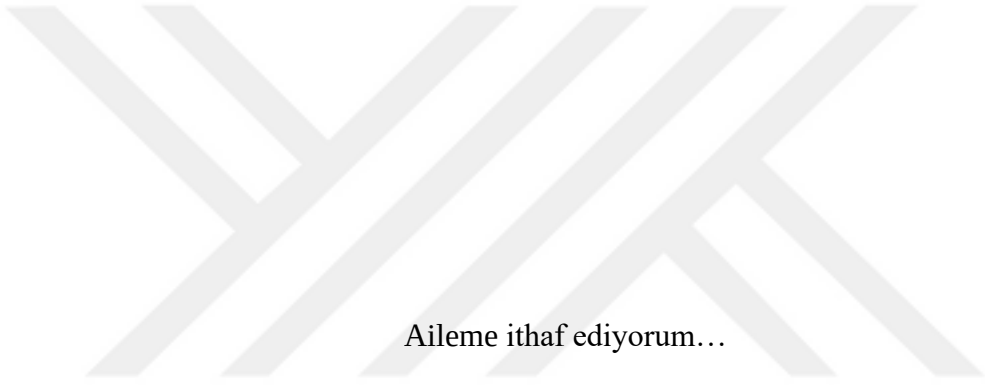
Aralık, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Hilal TÜRKDOĞDU tarafından, **Prof. Dr. Hüseyin Emrullah ÇELİK** danışmanlığında hazırlanan " **TÜRKİYE'DE BAZI TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİNİ UYGULAMA POTANSİYELİ: ÇATALCA ÖRNEĞİ** " başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **21/12/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Hüseyin Emrullah ÇELİK İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Üniversitesi Orman İnşaatı ve Transportu Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAK İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Üniversitesi Havza Yönetimi Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Fatma Ayçim TÜRER BAŞKAYA İstanbul Teknik Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Mustafa VAR Yıldız Teknik Üniversitesi Şehircilik Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Ufuk Fatih KÜÇÜKALİ İstanbul Aydın Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret



BÜTÇE DESTEKLERİ

TÜRKİYE’DE BAZI TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİNİ UYGULAMA POTANSİYELİ: ÇATALCA ÖRNEĞİ

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon

Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 34893.

Çalışma ayrıca Kalyon İnşaat, Natural Peyzaj ve OGM tarafından da desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez sürecinde değerli görüş ve katkıları ile en büyük destekçim olan tez danışmanım Prof. Dr. Hüseyin E. ÇELİK'e, tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAK'a ve Doç. Dr. Ayçim TÜRER BAŞKAYA'ya teşekkür ederim. Çalışmam boyunca bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyen Dr. Öğretim Üyesi Muhittin İNAN'a ve toprak örneklerinin analizi için İÜC Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim dalı imkânlarından yararlanmamı sağlayan Prof. Dr. Ferhat GÖKBULAK'a ayrıca teşekkür ederim. Arş. Gör. Reyhan SAĞLAM'a laboratuvar çalışmalarındaki desteği için çok teşekkür ederim.

Araştırma için yer tahsis eden ve malzeme sağlayan Kalyon İnşaat proje direktörü Ali DURDU'ya, proje müdürü Eftal GÖKÇE'ye, deneme parseli için malzeme sağlayan ve uygulamayı gerçekleştiren Natural Peyzaj firması genel müdürü Savaş AKCAN ile Orman mühendisi Ali Ersan YILMAZ'a ve firma çalışanlarına, arazi çalışmalarının planlanmasında yardım eden ve fidan temin eden İstanbul OBM Ağaçlandırma Şube Müdürü Talip KAVLAK'a, arazi çalışmalarının planlanmasında yardım eden OGM Ağaçlandırma Daire Başkanlığı Etüt Proje Şube müdürü Nuran KARAÇORLU'ya, arazi çalışmaları sürecinde desteğini esirgemeyen tüm OGM çalışanlarına teşekkür ederim.

Doktora sürecinde katıldığım, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2237-A Bilimsel Eğitim Etkinlikleri Desteği ile gerçekleşen, Analitik Doğa – Kümeleme ve Ordinasyon Teknikleri (Etkinlik No: 1129B372000372) Doğal Ekosistemler İçin CBS ve Uydu Görüntüleri Kullanarak Çevresel Altlıkların Hazırlanması (Etkinlik No:1129B372100477), Doğa Bilimlerinde İstatistiksel Modelleme Teknikleri ve Uygulamaları (Etkinlik No: 1129B37000706) projelerindeki tüm öğretim üyelerine çok teşekkür ederim.

Desteklerini her an hissettiğim aileme, arkadaşlarıma ve öğretim üyelerine teşekkür ederim. Son olarak kızım Nevra Zeynep TÜRKDOĞDU'ya sabrı ve sevgisi için ayrıca teşekkür ederim.

Aralık 2022

Hilal TÜRKDOĞDU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	5
2.1. PEYZAJ ONARIM TEKNİĞİ- TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ	5
2.2. TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ: TEKNİKLER VE YÖNTEMLER	9
2.2.1. Canlı Kazık.....	9
2.2.2. Canlı Dal Demetleri	11
2.2.3. Canlı Çit Tesisi.....	13
2.2.4. Bitkilendirilmiş Jeogridler	18
2.2.5. Dal Demeti Yöntemi	19
2.2.6. Canlı Oyuntu Onarımı.....	20
2.2.7. Bitkilendirilmiş Ahşap Kafes (Çatma) Duvar	21
2.2.8. Canlı Yamaç Izgarası	24
2.2.9. Canlı Eşik	26
2.2.10. Bitkisel Kaplama	26
3. YÖNTEM	28
3.1. ARAŞTIRMA ALANI	28
3.1.1. Toprak Biyomühendisliği Uygulaması	28

3.1.2. Türkiye’de Uygulanan Bazı Erozyon Kontrol/Toprak Biyomühendisliği Yöntemleri.....	30
3.2. YÖNTEM	31
3.2.1. Bazı Toprak Biyomühendisliği Yöntemlerinin Uygulanması.....	31
3.2.2. Yersel Yöntemle Ölçüm ve İzleme	40
3.2.3. İnsansız Hava Aracı ile İzleme.....	42
4. BULGULAR	45
4.1. TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ UYGULAMASININ SONUÇLARI.....	45
4.1.1. Erozyon Miktarının Belirlenmesi.....	45
4.1.2. Bitkilendirme Başarısının İzlenmesi	49
4.1.3. Toprak Analiz Sonuçları	55
4.2. TÜRKİYE'DE UYGULANAN BAZI TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ YÖNTEMLERİ	55
4.3. UYGULANAN YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	77
5. TARTIŞMA.....	81
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR.....	91
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	99
ETİK KURUL İZİN YAZISI	100
KURUM İZNİ YAZILARI.....	101
ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Canlı kazık tesisi (Tuttle ve diğ., 1992).	10
Şekil 2.2: Canlı kazık (Lewis, 2000a).	11
Şekil 2.3: Canlı dal demeti tesisi (Lewis, 2000a).	12
Şekil 2.4: Canlı çit tesisi (Lewis, 2000a).	14
Şekil 2.5: Söğüt çelikleri ile yapılan canlı çitler (Görcelioğlu, 2002).	15
Şekil 2.6: Çalı fidanları ile yapılan canlı çitler (Görcelioğlu, 2002).	16
Şekil 2.7: Oyuntu içerisinde canlı kazıklarla oluşturulan palizat (Schiechtl, 1985).	17
Şekil 2.8: Bitkilendirilmiş jeogrid (Gray ve Sotir, 1996).	18
Şekil 2.9: Bitkilendirilmiş jeogrid kesiti (Allen ve Leech, 1997) (Miller, 1992).	19
Şekil 2.10: Bitkilendirilmiş jeogrid (Eubanks ve Meadows, 2002).	19
Şekil 2.11: Dal demeti yöntemi (Lewis, 2000a).	20
Şekil 2.12: Canlı oyuntu onarımı (Lewis, 2000a).	21
Şekil 2.13: Bitkilendirilmiş ahşap kafes (çatma) duvar (Tuttle ve diğ., 1992).	23
Şekil 2.14: Şev stabilizasyonu için tek sıra (solda) veya çift sıra (ortada) boyuna elemanlarla elde edilmiş ve bitkilendirilmiş duvarlar, kıyı koruması ve restorasyonu için bitkilendirilmiş (sağda) tomruk kafes duvarlar (Donat, 1995).	23
Şekil 2.15: Bitkilendirilmiş tomruk kafes duvar (Goldsmith ve diğ., 2013).	24
Şekil 2.16: Bitkilendirilmiş tomruk kafes duvar (Lewis, 2000a).	24
Şekil 2.17: Canlı yamaç ızgarası şematik gösterimi ön görünüş (a), kesit (b) (Gray ve Sotir, 1996).	25
Şekil 2.18: Dal kaplama (Eubanks ve Meadows, 2002).	27
Şekil 3.1: Araştırma alanının konumu.	28
Şekil 3.2: Araştırma alanı (a) tünelin (b) güneye bakan şevinde bulunuyor.	29

Şekil 3.3: Türkiye'nin farklı bölgelerinde incelenen erozyon kontrol alanları.	30
Şekil 3.4: Araştırma alanında kullanılan tekniklerin uygulama planı.	32
Şekil 3.5: Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi.	33
Şekil 3.6: Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre dünya iklimi.	33
Şekil 3.7: Tekstür analizi.	35
Şekil 3.8: Araştırma alanında belirlenen tekniklerin uygulandığı parseller (Mart 2020).	36
Şekil 3.9: Canlı dal demetlerinin hazırlanması (a) hendeklere yerleştirilmesi (b), kazıklarla sabitlenmesi (c) üzerinin kapatılması (d).	37
Şekil 3.10: Köklü yalancı akasya fidanlarının budanması ve dikimi.	37
Şekil 3.11: Yamaç ızgaralarının hazırlanması ve demirlerle sabitlenmesi.	38
Şekil 3.12: Ateş dikenli fidanlarının dikimi (a, b) ve budanması (c, d).	39
Şekil 3.13: Tüplü yayılcı ardıç fidanlarının dikimi ve budanması.	39
Şekil 3.14: Erozyon çubuğu (pini).	41
Şekil 3.15: Erozyon çubuklarının deneme parsellerine yerleştirilmesi; planı(a) görünümü (b).	42
Şekil 3.16: İHA ile çekilen fotoğrafların Pix4d programında analizi (YKN tanımlanması)... ..	43
Şekil 3.17: İHA ile çekilen fotoğrafların Pix4d programında analizi (Ortofoto harita oluşturma).	43
Şekil 4.1: Eylül 2020 İHA ile üretilen ortofoto harita.	46
Şekil 4.2: Ağustos 2021 İHA ile üretilen ortofoto harita.	46
Şekil 4.3: Temmuz 2022 İHA ile üretilen ortofoto harita.	47
Şekil 4.4: Cloud Compare programında nokta bulutlarının karşılaştırılması.	47
Şekil 4.5: Cloud Compare programında nokta bulutlarının karşılaştırılması.	48
Şekil 4.6: Deneme parselleri genel görünüm (Haziran 2020).	49
Şekil 4.7: Deneme parselleri genel görünüm (Eylül 2020).	49
Şekil 4.8: Deneme parselleri genel görünüm (Aralık 2020).	50
Şekil 4.9: Deneme parselleri genel görünüm (Mayıs 2021).	50
Şekil 4.10: Deneme parselleri genel görünüm (Eylül 2021).	51

Şekil 4.11: Deneme parselleri genel görünüm (Aralık 2021).....	51
Şekil 4.12: Deneme parselleri genel görünüm (Haziran 2022).	52
Şekil 4.13: Deneme parselleri genel görünüm (Ekim 2022).	52
Şekil 4.14: Fidanların yaşama yüzdeleri.	53
Şekil 4.15: Yalancı akasya fidanlarının yaşama yüzdeleri.	53
Şekil 4.16: Yayılıcı ardıç fidanlarının yaşama yüzdeleri.	54
Şekil 4.17: Ateş dikenli fidanlarının yaşama yüzdeleri.	54
Şekil 4.18: Türkiye’de incelenen erozyon kontrol alanları.	56
Şekil 4.19:Çelik tel ağ (solda), geonet serilmesi (sağda).	59
Şekil 4.20: Geonet çit (solda), ahşap kafes (çatma) eşik (sağda).	60
Şekil 4.21:Çuval sedde (solda), örme çit (sağda).	60
Şekil 4.22:Kutu gabion eşik (solda), çalı takviyeli teras (sağda).	60
Şekil 4.23:Geonet- serme geosentetik (solda), geosentetik hücre serilmesi (sağda).....	61
Şekil 4.24: Örme çit.....	61
Şekil 4.25: Kutu gabion eşik (solda), kafes tel çit teras (sağda).....	62
Şekil 4.26:Kafes tel çit teras (solda), teras yapımı-fidan dikimi (sağda).	63
Şekil 4.27:Taş kordon.....	63
Şekil 4.28: Karelaj rüzgâr perdesi.	64
Şekil 4.29: Örme çit ve perde yapımı.	65
Şekil 4.30: Kafes tel çit teras, kafes tel eşik, teraslama, fidan dikimi (solda), çuval sedde (sağda).	66
Şekil 4.31: Harçlı taş duvar eşik- harçlı ıslah sekisi.....	67
Şekil 4.32: Cep tipi teras- taş kordon.	67
Şekil 4.33: Örme çit.....	70
Şekil 4.34: Kafes tel çit teras.	71
Şekil 4.35: Fidan dikimi, makineli teras yapımı.....	73
Şekil 4.36: Kuru duvar eşik.	74

Şekil 4.37: Kafes tel çit teras.....	75
Şekil 4.38: Kafes tel eşik.....	76
Şekil 4.39: Ekolojik kutu.....	77



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Çatalca radar sahası istasyonu meteorolojik parametreler.	29
Tablo 3.2: Tez iş akışı	44
Tablo 4.1: Aylık ortalama taşınan toprak miktarı.....	45
Tablo 4.2: Araştırma alanının genelinde bazı toprak özelliklerine ait ortalamaların (ortalama ve standart hata) karşılaştırılması.	55
Tablo 4.3: Türkiye’de incelenen erozyon kontrol alanları.	56
Tablo 4.4: Türkiye’de kullanılan toprak biyomühendisliği yöntemlerinin sınıflandırılması....	79
Tablo 4.5: Türkiye’de kullanılan toprak biyomühendisliği yöntemlerinin uygulandıkları yöreler.....	80

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklama
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
İHA	: İnsansız Hava Aracı
YKN	: Yer Kontrol Noktası

ÖZET

[DOKTORA TEZİ]

TÜRKİYE’DE BAZI TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİNİ UYGULAMA POTANSİYELİ: ÇATALCA ÖRNEĞİ

[Hilal TÜRKDOĞDU]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Peyzaj Mimarlığı Programı

[Danışman : Prof. Dr. Hüseyin Emrullah ÇELİK]

Toprak biyomühendisliği; erozyon, sel ve sığ kitle hareketlerinin kontrolü için tohum, bitki, bitki parçası ve bitki toplulukları gibi canlı materyalin kullanılmasıdır. Bu yöntemle; yamaçlar, kazı ve dolduru şevleri, kıyılar, akarsu/nehir yatakları gibi alanların stabilizasyonu ve bitkilendirilmesi ile işletmesi bitmiş açık maden sahalarının rehabilitasyonu mümkündür. Yöntem malzemelerin yerel olarak, düşük maliyetle temin edilebilmesi ve istihdam açısından sürdürülebilir niteliğe sahiptir.

Bu araştırmanın birinci amacı, kuzey Akdeniz ve orta Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılan bazı toprak biyomühendislik yöntemlerini bir yamaçta uygulayarak başarısını test etmek, ikinci amacı da Türkiye’de erozyon kontrolü/toprak biyomühendisliğinde kullanılan yöntemleri belirlemektir.

İstanbul ili Çatalca ilçesinde yeni inşa edilen Kuzey Marmara Otoyolunda bir kazı şevinde çıplak köklü fidan dikimi, tüplü fidan dikimi, tohum ekimi ile Türkiye’de kullanılmamış olan canlı dal demetleri ve canlı yamaç ızgarasından oluşan toprak biyomühendisliği yöntemleri uygulanmıştır. Yöntemlerin erozyon kontrolündeki başarıları, yersel ölçümle (metal erozyon çubukları) ve insansız hava aracı (İHA) ile belirlenmiştir.

Yöntemlerin erozyon koruma oranları; ot tohumu ekimi, canlı dal demeti, çıplak köklü fidan dikimi, canlı yamaç ızgarası ve kaplı fidan dikimi şeklinde sıralanmıştır.

Araştırma kapsamında kullanılan bitkilerin yaşama yüzdeleri; *Robinia pseudoacacia* L. için % 74,36, *Juniperus horizontalis* Moench için % 88,64 *Pyracantha coccinea* M.Roem. için % 97,78'dir.

Türkiye’de toprak biyomühendisliği konusunda kullanılan yöntemleri belirlemek için 12 ilde 29 farklı sahaya gidilerek yaygın olarak kullanılan yöntemler belirlenmiştir. Bu yöntemlerin kuru duvar eşik, kafes tel eşik, kafes tel çit teras, geonet serilmesi, ahşap eşik, kutu gabion eşik, taş kordon, örme çit, sulu ekim, çuval sedde, çalı takviyeli/demetli teras, ekolojik kutu, örme çit ve perde yapımı, karelaj şeklinde rüzgâr perdesi, ön kumul teşkili-ön rüzgâr perdesi, cep tipi teras, fidan dikimi, tohum ekimi, toprak işleme, harçlı ıslah sekisi ve harçlı taş duvar eşik olduğu görülmüştür. |

Aralık 2022 , |121| sayfa.

Anahtar kelimeler: |Türkiye, Toprak biyomühendisliği, Yamaç stabilizasyonu, Erozyon pin yöntemi. |



ABSTRACT

[Ph.D. THESIS]

**[APPLICATION POTENTIAL OF SOME SOIL BIOENGINEERING TECHNIQUES
IN TURKEY: EXAMPLE OF ÇATALCA]**

[Hilal TÜRKOĞDU]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Landscape Architecture

Landscape Architecture Programme

[Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin Emrullah ÇELİK]

Soil bioengineering is the use of living material such as seeds, plants, plant parts and plant communities to control erosion, torrent and shallow mass movements. With this method; it is possible to stabilize and plant areas such as slopes, cut and fill slopes, coasts, stream/river beds, and rehabilitation of abandoned open-pit mines. The method is sustainable in terms of the local availability of materials at low cost and the employment.

The first aim of this research is to test the success of some soil bioengineering methods commonly used in northern Mediterranean and central European countries by applying them on a slope, and the second aim is to determine the methods used in erosion control/soil bioengineering in Turkey.

Soil bioengineering methods consisting of bare-root planting, container-grown planting, seeding and, live branch bundles and live slope grid, which have not been used in Turkey, were applied in a cut slope on the newly built Northern Marmara Highway in Çatalca district of

Istanbul province. The success of the methods in erosion control was determined by ground survey (metal erosion pins) and unmanned aerial vehicle (UAV).

The protection rates of the methods are listed as follows: grass seeding, live fascines, bare root planting, live slope grating and container-grown planting.

The survival percentages of the plants used in the study were: 74.36% for *Robinia pseudoacacia* L., 88.64%, for *Juniperus horizontalis* Moench and 97.78% for *Pyracantha coccinea* M.Roem.

In order to determine the methods used in soil bioengineering in Turkey, 29 different sites in 12 provinces were visited and commonly used methods were determined. These methods are dry wall sill, wire fence sill, wire fence terrace, geonet cover, wooden sill, box gabion sill, stone cord, wattle fence, hydroseeding, soil filled bag sill, brush reinforced terrace, eco box, brush and wooden fence, grid windbreake, foredune formation, windbreaks, pocket-type terrace, planting, grass seeding, tillage, check dam with mortar and sill with mortar. |

December 2022, |121| pages.

Keywords: | Turkey, Soil bioengineering, Slope stabilization, Erosion pin method.

“This study was funded by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University-Cerrahpaşa. Project number: 34893”

The study was also supported by Kalyon Construction, Natural Peyzaj and General Directorate of Forestry. |

1. GİRİŞ

Orta Avrupa ülkelerinde 19. yüzyılın ikinci yarısında karayolu ve demiryolu yapımıyla ortaya çıkan kazı ve dolgu şevlerinin stabilizasyonu, ekosisteme verilen zararların ortadan kaldırılması, bozulan ekosistemin yeniden kazanılması gibi amaçlarla yapılan bitkilendirme çalışmalarıyla peyzaj onarımı çalışmalarının başladığı kabul edilmektedir. Bu dönemde, taş ve kaya yuvarlanmalarına, toprak kaymalarına, çığlara, sel ve taşkınlara, havzalardaki ve akarsu yataklarındaki erozyon ve sedimantasyon ilişkin birçok araştırma yapılmış ve bunlara karşı aktif ve pasif önlemler ve yöntemler geliştirilerek geniş çapta uygulamaya aktarılmıştır (Görçelioğlu, 2002).

Toprak ve su biyomühendisliği, teknoloji ile biyolojiyi birleştiren, toprak ve altyapıları korumak için bitki ve bitki topluluklarını kullanan, peyzaj gelişimine katkıda bulunan bilimsel bir disiplindir.¹ Toprak biyomühendisliği sadece yüzey yenileme sistemi değil, gerçek bir arazi güçlendirme sistemidir (Sotir, 1990). Hem canlı hem de cansız materyalin (örneğin ahşap) toprak biyomühendisliğine tipik olarak dahil edilmesi (Stokes ve diğ., 2014; Schiechl ve Stern, 1997; Evette ve diğ., 2009; Bischetti ve diğ., 2014), uygulamanın teknik (koruma ve stabilizasyon), ekolojik (eko-sistemik restorasyon), peyzaj (peyzaj entegrasyonunu iyileştirme) ve sosyoekonomik (daha verimli ve istihdam kaynağı) yönler hakkında bilgi gerektirdiğini göstermektedir. Toprak biyomühendisliği; ekosistemlerin nasıl çalıştığını anlamaya çalışmak, doğaya dayalı yöntemleri kullanmak; daha düşük maliyetli, daha sürdürülebilir ve büyük ölçeklerde daha kolay uygulanabilir oldukları için bozulmuş alanların geri kazanımında en iyi yol gibi görünmektedir (Stokes ve diğ., 2010; Giupponi ve diğ., 2003).

Soil bioengineering teriminin bazı dillerdeki karşılıkları şunlardır: Almanca'da ingenieurbiologie (mühendislik biyolojisi), Fransızca'da genie biologique (biyolojik mühendislik), İtalyanca'da ingegneria naturalistica (doğal mühendislik), İspanyolca'da bioingenieria de suelos veya ingenieria naturalistica (toprak biyomühendisliği veya doğal mühendislik). Terimin Türkçeye doğal mühendislik/toprak biyomühendisliği şeklinde çevrilmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür (Çelik, 2006).

¹ (<http://ecomedb.io/about-us-ecom-ed-ecoengineering..> Erişim tarihi: 10 Mayıs 2019).

Toprak biyomühendisliği, bazı mühendislik işlevlerini yerine getiren yapılar inşa etmek için canlı bitki malzemelerinin kullanılmasıdır. Genellikle, toprak biyomühendisliği, yüzey stabilitesi ve erozyon problemlerinin ortaya çıktığı sahaları ve çeşitli bozulmuş alanları onarmak için kullanılabilir (Polster, 2003). Toprak biyomühendisliği- eko-mühendislik; erozyon, sel ve sığ kitle hareketlerini, ağırlıklı olarak bitki veya bitki parçaları kullanılarak kontrol etmek yöntemidir. Kullanılan bitkilerin kendi kendini yenileme özellikleri (Mickovski, 2015), bitkinin doğal bileşenlerinin kullanılması gibi nedenlerle ekolojik restorasyon ilkeleriyle iyi bir şekilde bütünleşir (Polster, 2003).

Terimin kökeni, Alman otoyollarının inşası sürecinde 1936 yılında Biyomühendislik Araştırma Ofisi'nin kurulmasına dayanmaktadır. Ancak toprak biyomühendisliğinin kökeninin Alman kültürünün teknik gelişme ve çevre koruma arasında bir uzlaşma ihtiyacının giderek daha fazla farkına vardığı önceki iki yüzyıla dayandığı kabul edilmelidir. İkinci Dünya Savaşı'nın yol açtığı yıkım disiplinin gelişimini durdurmuş ve ancak ekonomik bağlam iyileştiğinde ve teknik gelişme ile çevre koruma arasındaki uzlaşma sorunu kalkınma (teknoloji) ve doğa (yaşam kalitesi) arasında önemli bir konu haline gelmiş, toprak biyomühendisliği yeniden keşfedilmiş ve dünya çapında popülerlik kazanmıştır (Bischetti ve diğ., 2014).

Toprak biyomühendislik teknikleri dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Lewis, 2000; Stokes ve diğ., 2010; Bischetti ve diğ., 2014). 1930'larda Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmıştır. O zamandan beri toprak biyomühendisliği, kazı ve dolgu şevlerinin stabilizasyonu ve yeniden bitkilendirilmesi amacıyla canlı yapılar geliştirmek için mekanik, hidrolojik, biyolojik ve ekolojik ilkeleri kullanılmaktadır. Canlı odunsu bitki materyali, ana bileşenini oluşturmaktadır (Sotir ve diğ., 1998).

Bitki ve bitki parçalarını kullanmasından dolayı, çevreci yaklaşımların artmasına paralel olarak popüleritesi artmıştır. Görsel niteliği yüksek, çevre dostu ve uygun maliyetli bu yöntemden yararlanarak yamaçlar, kazı ve dolduru şevleri, işletmesi bitmiş açık maden sahalarının rehabilitasyonu, kıyıları, akarsu/nehir yatakları gibi alanların stabilizasyonu ve bitkilendirilmesi mümkündür (Gray ve Sotir, 1996). Bu yöntemde bitki parçaları, toprağı stabilize etmek ve güçlendirmek için başlıca yapısal bileşen olarak kullanılmaktadır. Toprak biyomühendisliği, erozyon, sediment ve taşkın kontrolü amacıyla yapılar inşa etmek için mekanik, biyolojik ve ekolojik kavramları birleştiren uygulamalı bir bilimdir (Sotir, 1990).

Kullanılan yöntemler emek yoğun niteliktedir. Yöntemler tek başına bitkisel veya yapısal çözümlerden daha maliyet etkindir ve çevreye uyumludur. Kendi kendini onarma-yenileme özelliği vardır. Makineli çalışmanın mümkün olmadığı çok eğimli alanlarda uygun bir seçenek oluşturur. Yöntem; malzemelerin yerel olarak ve düşük maliyetle temin edilebilmesi, doğal peyzaj öğelerinin kullanılması, halkın istihdamı vb. açılardan sürdürülebilir niteliğe sahiptir (Gray ve Sotir, 1996).

Tezin ilk amacı bazı toprak biyomühendisliği tekniklerinin İstanbul ili Çatalca ilçesi koşullarında bir karayolu şevinde uygulanmasıdır. Tezin ikinci amacı, toprak biyomühendisliği yöntemlerinin hangilerinin Türkiye’de hangi bölgelerde kullanıldığını belirlemektir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların değerlendirilmesi ve izlenmesi için Türkiye’de bazı sahalara gidilmiş, projede çalışan veya çalışmış olan uzmanların destek ve görüşleri alınmıştır. Diğer ülkelerde kullanılan yöntemlerin Türkiye’nin farklı iklim bölgeleri için uygulanabilirliği çeşitli parametreler dikkate alınarak incelenmiş, kuzey Akdeniz ülkelerinde kullanılmakta olan toprak biyomühendisliği tekniklerinin hangilerinin ülkemizde uygulama şansının bulunduğu açıklanmıştır.

Toprak biyomühendisliği tekniklerinin Türkiye’de uygulama potansiyelinin teze konu olarak seçilmesinde bu konuda uygulamalı bir araştırmanın olmaması etkili olmuştur.

Erişilmek istenen sonuç bu tekniklerin kullanımı ile daha sürdürülebilir peyzaj onarımının mümkün olduğunu kanıtlamak ve Türkiye’de sıklıkla kullanılmayan tekniklerin uygulanabilirliğini, süre- maliyet- sonuç evreleri ile deneyimleyerek ortaya koymak ve başarılı olan tekniklerin yaygınlığını artırmaktır.

Tez altı bölümden oluşmaktadır;

Giriş bölümünde, araştırma kapsamında genel bilgi verilmiş, araştırmanın amacı, önemi, neden yapıldığı açıklanmış ve erişilmek istenen sonuç anlatılmıştır.

Kavramsal Çerçeve bölümünde, peyzaj onarım tekniği ve toprak biyomühendisliği kavramları açıklanmış, bazı toprak biyomühendisliği teknikleri anlatılmıştır.

Yöntem bölümü, araştırma alanı ve yöntem olarak iki başlıkta incelenmiştir. Araştırma alanı başlığı kapsamında, ilk olarak araştırma alanının konumu ve iklim özellikleri açıklanmış, ardından Türkiye’de uygulanan bazı toprak biyomühendisliği yöntemleri kapsamında arazi

incelemesi açıklanmıştır. Yöntem bölümünde seçilen toprak biyomühendisliği tekniklerinin araştırma sahasına uygulanması anlatılmıştır. Topraktaki aşınma miktarını bulmak amacıyla erozyon çubukları (pinleri) ve insansız hava aracı ile izleme yöntemleri kullanılmıştır. Toprak koşullarında değişiklik olup olmadığını bulmak amacıyla incelenen bazı toprak koşulları açıklanmıştır.

Bulgular bölümünde, deneme alanında uygulanan bazı toprak biyomühendisliği tekniklerinin başarısı uygulama sonrası yersel yöntemle ve insansız hava aracı ile izlenmiş ve elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Fidanların yaşama yüzdelere, uygulama öncesi ve iki vejetasyon dönemi sonrası tekrarlanan toprak analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Tezin ikinci amacı olan ülkemizdeki bazı toprak biyomühendisliği yöntemlerine ait durum tespitini gerçekleştirmek için Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yirmi dokuz araştırma alanı incelenmiş ve bu alanlarla ilgili bulgulara yer verilmiştir.

Tartışma bölümünde, Akdeniz ülkelerinde kullanılan toprak biyomühendisliği tekniklerinin Türkiye'de kullanılabilirliği, erozyon ölçüm sonuçları, fidanların yaşama yüzdeleri, toprak analiz sonuçları gibi arazi çalışması sonuçları ile Türkiye'de çeşitli sahalara gidilerek elde edilen mevcut durumu gösterir bulgular güncel kaynaklarla birlikte değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Sonuç ve Öneriler bölümünde; Erozyon kontrol/peyzaj onarım tekniği konularının ülkemizde geliştirilmesi iyileştirilmesi için daha sürdürülebilir, doğal ve ekonomik çözümler sunan toprak biyomühendisliği tekniklerinin ülkemizde uygulanmasının yaygınlaştırılması üzerinde durulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde peyzaj onarım tekniği ve toprak biyomühendisliği kavramları ile bazı toprak biyomühendisliği tekniklerinin açıklamalarına yer verilmiştir.

2.1. PEYZAJ ONARIM TEKNİĞİ- TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ

Peyzaj onarımı için uluslararası literatürde; rehabilitasyon, reklamasyon, restorasyon, remediasyon, doğallaştırma kavramları kullanılmaktadır. Ulusal literatürde ise peyzaj/doğa onarımı, peyzaj restorasyonu, peyzaj rehabilitasyonu, peyzaj rejenerasyonu, peyzaj reklamasyonu, peyzaj koruma ve biyoteknik çalışmalar gibi kavramlar öne çıkmaktadır.

Peyzaj onarımı, doğal alanlarda olduğu kadar kırsal ve kentsel alanlarda doğal nedenlerle ya da çeşitli insan etkinlikleri sonucunda tahrip edilen veya bozulan alanların iyileştirilmesi, geliştirilmesi, bakımı ve korunması ve doğal alanlarda kültürel etkinliklerin karşılıklı olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla uygun biyolojik ve teknik önlemlerin planlı olarak uygulanması yaklaşımıdır. Bozulmuş bir alanın peyzaj onarımı, esas itibari ile restorasyon, reklamasyon, rehabilitasyon ve bozulmaya yol açan kullanımdan sonra iyileştirme-bakım kavramlarını içermektedir (Görçelioğlu, 2002).

Restorasyonda, önceden var olan ekosistemi geri getirmek hedeflenir (Rooney ve diğ., 2012). Restorasyon; eski bir duruma veya konuma veya bozulmamış veya mükemmel bir duruma geri getirme eylemi, orijinal duruma geri getirmek veya sağlıklı veya dinç bir duruma getirmek anlamına gelir (Box, 1974).

Reklamasyon (yeni kullanımlar oluşturma); araziye iyileştirerek öncekinden farklı bir kullanıma, örneğin maden alanından tarıma sunmaktır (Lima ve diğ., 2016).

Rehabilitasyon (doğaya yeniden kazandırma), bir şeyi önceki durumuna geri getirme eylemi olarak tanımlanır (Box, 1974; Wali, 1992). İşlem restorasyona benzeyebilir ancak burada arazinin eski mükemmel haline ulaşmaktan çok belli bir oranda iyileştirmek söz konusudur (Lima ve diğ., 2016).

Remediasyon, arazide herhangi bir kullanımı engelleyen bir zararlı özelliğin, toksisitenin ortadan kaldırılmasıdır (Rooney ve diğ., 2012).

Peyzaj onarımı teorik olarak üç yöntemle sağlanabilir (Güney 2007, Yavuzşefik ve Uzun 2005, Görcelioğlu, 2002): 1) canlı materyalle onarım (biyolojik onarım) (bitkisel kaplama). 2) cansız materyalle onarım (teknik onarım: teknik materyallerle, kaya, taş, beton vb.). 3) kombine onarım (biyoteknik onarım) (canlı ve cansız malzemelerin birlikte kullanılması).

Peyzaj onarımının uygulandığı alanlar genellikle eğimli, bitki örtüsünden ve bitkisel topraktan yoksun bulunmakta, dolayısıyla çoğu durumlarda doğrudan doğruya bitkilendirmeye, yani sadece canlı materyalle onarıma elverişli yetişme ortamı koşulları taşımamaktadır. Dolayısıyla, peyzaj onarımına gereksinme duyulan alanlarda genel olarak öncelikle materyalle birtakım önlemlerin alınması ve böylece ortamın canlı materyalle onarıma elverişli duruma getirilmesi, ya da canlı materyalle onarımın cansız materyalle yapılan tesislerle desteklenmesi, yani kombine onarım suretiyle zaman kazanılması söz konusu olur. Bu açıdan yukarıda sözü edilen üç tip onarımın, kullanılan materyale göre,

- 1) cansız materyalle onarım (teknik onarım)
- 2) kombine onarım (biyoteknik onarım) olmak üzere başlıca iki yöntem olarak irdelenmesi uygun olur (Köseoğlu ve Özkan, 1984; Görcelioğlu, 2002).

Cansız materyalle onarım yöntemi, çeşitli kitle hareketlerini, dere yataklarındaki, doğal ya da yapay göl ve deniz kıyılarındaki aşınmaları, kar çığlarını ve rüzgârın olumsuz etkilerini önlemek ya da azaltmak amacıyla çakıl, taş, kaya, beton, demir, ağaç vb. gibi yalnız cansız materyal kullanılarak oluşturulan teknik tesisleri kapsar (Görcelioğlu, 2002).

Kombine onarım yöntemi ise, peyzaj onarımında gerekli görülen çalışmaların canlı ve cansız materyalin birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilmesini sağlayan önlem ve tesisleri içine alır (Görcelioğlu, 2002).

Peyzaj onarım çalışmalarında genellikle kombine onarım yöntemi tercih edilmektedir. Bunun nedeni, canlı materyalin cansız materyale göre üstünlüklerinden yararlanma isteğidir. Kombine onarım yönteminin cansız materyalle onarım yönteminden üstünlükleri şöyle sıralanabilir (Köseoğlu ve Özkan 1984):

1. Cansız materyalle yapılan tesisler pahalıdır ve zamanla aşınarak bozulabilmektedir. Buna karşılık daha az masraf gerektiren canlı materyal ağırlıklı kombine onarımla gerçekleştirilen-peyzaj bölümlerinin korunması, biyolojik ve ekolojik işlevlerin geliştirilmesi, estetik düzenleme vb. çalışmalar, canlı materyalin zamanla kendini yenileyebilme yeteneği sayesinde çok uzun ömürlü olur.

2. Canlı materyal, elastik olması ve olumsuz faktörlerin enerjisini azaltması sayesinde su, rüzgâr, çığ ve kitle hareketlerinin etkilerini hafifletmede, kazı ve dolduru şevlerinin stabilitesini sağlamada ve gürültüye karşı korumanın gerçekleştirilmesinde cansız materyale oranla genellikle daha uygundur.

3. Canlı materyalle peyzaja kazandırılan çeşitli işlevleri cansız materyalle sağlamak olanaksızdır. Örneğin kültürel (tarımsal) peyzajda sınır ağaçlandırmaları, canlı çitler, koruyucu rüzgâr perdeleri veya şeritleri, kıyı ve yamaçlardaki ağaçlandırmalar vb. sayesinde çevreye yeni biyotoplar kazandırılmaktadır. Bu biyotoplar bitki örtüsü bakımından yoksul tarımsal alanlarda çok sayıda yararlı hayvan türüne barınak oluşturur. Ayrıca bu alanlarda cansız materyalle estetik yönden hareketliliği sağlamak da olanaksızdır.

4. Canlı materyalle biyolojik, ekolojik ve estetik ilkelere ve düzenleme tekniğine uygun biçimde planlanıp uygulanan tesisler, peyzajın görünümünde ve strüktüründe rahatlık ve yararlı bir etki yaratmakta, ayrıca biyolojik ve ekolojik çeşitliliği korumakta ve arttırmaktadır.

Bütün bu üstünlüklerin yanı sıra, canlı materyalle onarımın cansız materyalle onarıma oranla bazı dezavantajlarını da belirtmek gerekir. Bunlar şöyle özetlenebilir (Köseoğlu ve Özkan 1984):

1. Canlı materyalle onarım, ancak onarım alanında bitki yetişmesine uygun koşulların varlığı ya da bu koşulların sağlanması durumunda yapılabilir.

2. Canlı materyalle onarım (ekim-dikim çalışmaları), yılın ancak belli zamanlarında yapılabilir.

3. Canlı materyalle onarımın etkili olabilmesi (kendisinden beklenen işlevleri yerine getirmeye başlayabilmesi) için, çalışmanın tamamlanmasından sonra uzun bir sürenin geçmesi gerekir.

Buna karşılık cansız materyalle onarım hemen her yerde ve koşulda yapılabilmekte, yılın her mevsiminde uygulanabilmekte ve yapım biter bitmez hemen etkinlik sağlanabilmektedir.

Ayrıca cansız onarım için gerekli -taş, toprak vb.- yapı malzemesinin genel olarak sağlanması çok kolaydır. Bu gibi nedenlerle peyzaj onarımında kimi durumlarda cansız materyalle onarım yöntemine başvurulması zorunludur. Ancak, peyzaj mimarlığında yine de olabildiğince canlı materyalle onarım yöntemi, cansız materyalle onarım tekniklerine tercih edilmelidir.

Peyzaj onarım tekniğinin amacı ve görevi; tahrip edilmiş alanların stabilize edilmesi, bu alanların ekolojik koşullarının iyileştirilmesi ve herhangi bir alanın kullanılır biçime dönüştürülmesidir. Diğer bir ifade ile açılmış yaraların onarımı, yapılan zararların belirli ölçüde veya olanaklar elveriyorsa tümünün ortadan kaldırılarak ekolojik yönden en uygun duruma getirilmesi ve geliştirilmesidir (Yavuzşefik, 2000).

Toprak ve su biyomühendisliği, mekanik ve / veya biyolojik özellikleri hakkında bilgi sahibi olarak bitkileri canlı yapı malzemesi olarak kullanan tekniklerdir (Barker ve diğ., 2004; Stokes ve diğ., 2004). Biyomühendislik, “ekolojik ilkelere uygun, insan toplumunu her ikisinin de yararına doğal çevresiyle bütünleştiren sürdürülebilir sistemlerin tasarımı” olarak tanımlanan iyi bilinen bir ekolojik mühendislik bileşenidir (Mitsch ve Jørgensen, 2003; Mitsch, 2012).

Biyomühendislik: doğal tehlikeleri/afetleri kontrol etmek (örn. toprak erozyonu, şiddetli sel ve toprak kaymaları) (Norris ve diğ., 2008; Dhital ve diğ., 2015), ekolojik restorasyon veya doğa tabanlı türlerin alana getirilmesi (Li ve diğ., 2006; Rauch ve diğ., 2014) ve toprak, hava ve su kalitesini arttırmak (Pretty ve diğ., 2003; Woolsey ve diğ., 2007) için kullanılır (Rey ve diğ., 2019).

Toprak biyomühendisliği klasik biyoteknik stabilizasyonun bir parçası veya özel bir alanı olarak görülmektedir. Bitki kök ve gövde parçalarının yamaç stabilizasyonunda ana yapısal ve mekanik elementler olarak hizmet etmesi bağlamında tek yöntemdir. Bu yöntemde bitkiler toprak donatısı ve drenaj sağlama ile toprak hareketini engelleme yönünde hizmet ederler. Çözümlerin; ekonomi, inşaat kolaylığı, bitki örtüsünün veya bitkilerin yapıya dahil edilmesi açısından klasik inşaat mühendisliği çözümlerine göre doğal avantajları vardır. Doğal mühendislik yöntemleri yüzeysel erozyon ve sığ kitle hareketlerini kontrol etmek ve önlemek amacıyla kullanılır. Farklı yöntemler veya yöntemlerin kombinasyonu, doğal yamaçlar, yolların kazı ve dolduru şevleri, moloz döküm alanlarının kaplanması, malzeme alınmış kıyılar ve akarsu kıyıları gibi alanlarda kullanılabilir (Gray ve Sotir, 1996). Ayrıca toprak biyomühendislik teknikleri, peyzaj yapımı, dere restorasyonu ve rekreasyon projeleri alanlarında da kullanılmaktadır (Bischetti ve diğ., 2014).

Bloemer ve diğ. (2015) toprak ve su biyomühendislik önlemlerini geleneksel mühendislik yöntemleriyle karşılaştırdığında avantajlarını şu şekilde sıralamıştır:

- Bitki ve bitki topluluklarının gelişme ve yenilenme yetenekleri nedeniyle daha uzun ve sürekli fonksiyonel gelişim
- Doğal bitki örtüsü süksesyonu çerçevesinde daha gelişmiş bir bitki topluluğunun oluşturulması
- Bitkiler geliştikçe stabilite artışı
- Bitkilerin doğal adaptasyon kabiliyeti ile bozulmaya karşı olumlu tepki
- Bitkilerin elastikiyetleri, çekilmeye karşı dirençleri ile maruz kaldıkları kuvvetlere adaptasyonu
- Bitkilerin yapılandırma işlevi
- Biyoçeşitlilik ve habitat işlevselliğinde artış (ekoloji)
- Peyzajın geliştirilmesi (peyzaj estetiği)
- Sosyo-ekonomik faktörlerin desteklenmesi (turizm, yerel rekreasyon)
- Düşük etkili, az enerji kullanan ve doğanın kendini geliştirmesini teşvik eden önlemler

2.2. TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ: TEKNİKLER VE YÖNTEMLER

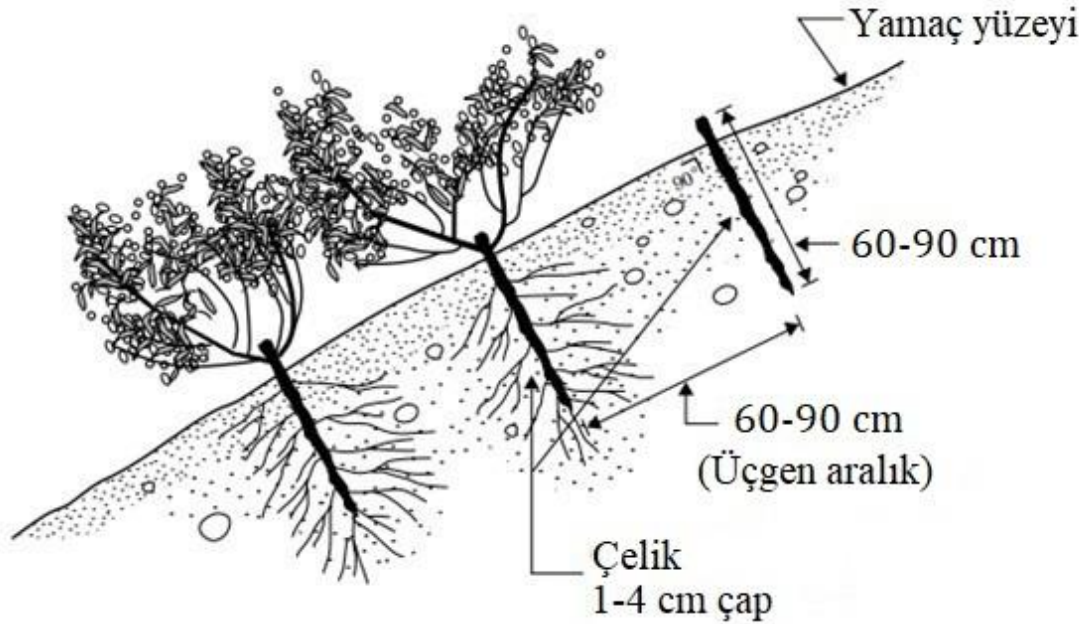
Toprak biyomühendisliğinde yaygın olarak şu yöntemler kullanılmaktadır: canlı kazık, canlı dal demetleri, canlı çit tesisi, bitkilendirilmiş jeogridler, dal demeti yöntemi, canlı oyuntu onarımı, bitkilendirilmiş (canlı) kafes duvar, canlı yamaç ızgarası, canlı taşıntı barajı (live check dam), bitkisel kaplama (Allen ve Leech, 1997; Tuttle ve diğ., 1992; Eubanks ve Meadows, 2002; Lewis, 2000a; Goldsmith ve diğ., 2013; Lewis ve diğ., 2001; Howell, 1999; Holm and Stenlund, 2005).

2.2.1. Canlı Kazık

Toprak erozyonunun ve sığ toprak kaymalarının kontrolü için bir vejetasyon örtüsü oluşturmanın hızlı ve etkili bir yolu, köksüz çeliklerin dikilmesi ya da çakılmasıdır. Kolayca kök yapan bitki türlerinden hazırlanan çelikler belli koşullarda zemine dikildiği ya da çakıldığı takdirde, yeşerip gelişeceklerdir (Görcelioğlu, 2004). Canlı kazıklar, toprak parçacıklarını

güçlendirerek ve birbirine bağlayarak ve fazla toprak nemini çekerek toprağı stabilize eden canlı bir kök örtüsü oluşturacaktır (Eubanks ve Meadows, 2002).

Canlı kazık tesisinde en yaygın kullanılan bitki türü söğüttür. Ancak kavak ve kızılca da kullanılabilir. Çoğu söğüt ve kavak çeliğı nemli toprakta kolayca köklenip yeşerir. Canlı kazıklar, diğer koruma önlemlerini sabitlemek, gölge sağlamak ve toprakta uzun süreli kök yapısı sağlamak için bir araç olarak kullanılmaktadır (Lyn ve Newton, 2015). Çok elverişsiz ortamlarda bile söğüt çelikleri çok güçlü gelişme gösterir ve diğer türler alana gelinceye kadar öncü tür olarak görev yapar. Başka türlerin çelikleri de kullanılabilir. Çelikler uzun ve düzgün olmalı, eğri dal ve gövdelerden çelik alınmamalıdır. Yöreye özgü ve kolayca kök yapabilen bitki türlerinden sağlıklı ve oldukça düzgün çelikler seçilmelidir. Çelikler dikkatli kesilmeli, uçlarda yarıma ve kabuk sıyrılması olmamalıdır. Çelikler üzerindeki dallar çıkıntı bırakılmadan budanmalıdır. Çapı 4 cm'ye kadar olan çeliklerin uzunluğu en az 45 cm olmalıdır. Yamaç ve şevlerde canlı kazıklarla çit oluşturmada daha kalın ve daha uzun (90-120 cm boyunda) çelikler kullanılması arzu edilir. Çeliklerde minimum çap 6-7mm'dir; çeliğın besin rezervi çap büyüdükçe arttığından çapı 2,5 cm'den büyük çelikler tercih edilir (Görcelioğlu, 2004).

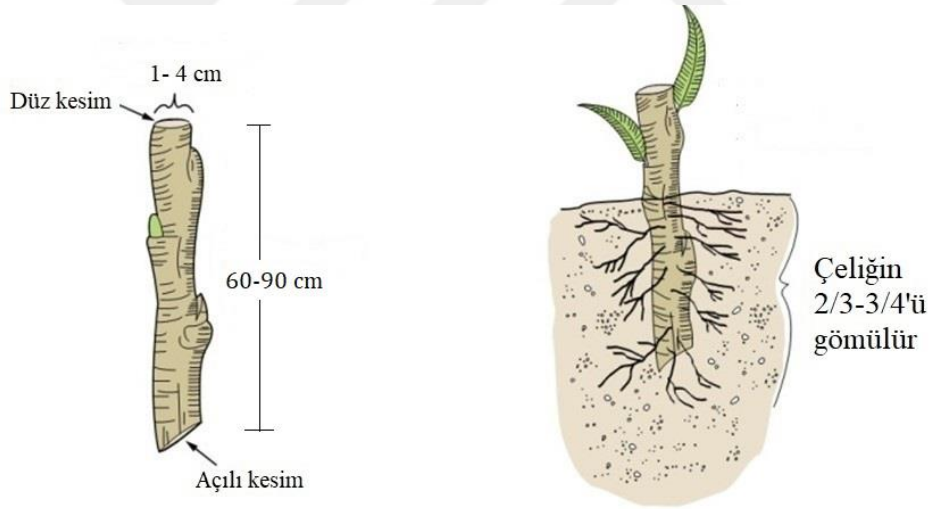


Şekil 2.1: Canlı kazık tesisi (Tuttle ve diğ., 1992).

Çeliklerde en yoğun ve güçlü sürgünler, uç çevresel tomurcukların oluşturduğu halkanın hemen altından çıkar. Çelikler tomurcuk halkası çelik tepesinden 2,5-10 cm aşağıda kalacak şekilde kesilmelidir. Dikimden sonra toprak üzerinde en az iki tomurcuk halkası kalmalıdır (Şekil 2.2).

Çeliklerin kurumasına izin verilmemeli kesildikleri (hazırlandıkları) gün içinde dikilmeleri sağlanmalıdır. Taşıma, depolama ve dikim sırasında çelikler toprak içinde ve nemli olarak muhafaza edilmelidir (Görcelioğlu, 2004).

Söğüt ya da kullanılan diğer uygun türlerden vejetasyon periyodunun başlamasından önce çelik alınmalı ve dikilmelidir. Bu dönem yaprakların sonbaharda sararmaya başlamasıyla ilkbaharda canlanmanın başlaması arasındaki süreyi kapsar. Çelikler kalın uçları toprağa girecek şekilde dikilmelidir. Çelikler olabildiğince derine sokulmalı, çelik boyunun en az %80'inin toprağa girmesi sağlanmalıdır. Amaç, köklenme için yüzey alanını en üst düzeye çıkarmaktır, böylece iyi bir kök sistemi sağlıklı bir sürgün sistemi geliştirecektir ². Dikim sırasında çelik kabuğunun sıyrılması ve/veya çelik ucunun ezilip yarılması önlenmelidir. Dikimin ardından çeliğin çevresindeki toprak sıkıştırılmalıdır (Görcelioğlu, 2004). Doğru şekilde hazırlanır, işlenir ve yerleştirilirse canlı kazık kök salacak ve büyüyecektir (Eubanks ve Meadows, 2002). Yöntem basit, ekonomik ve hızlıdır (Gray ve Sotir, 1996).



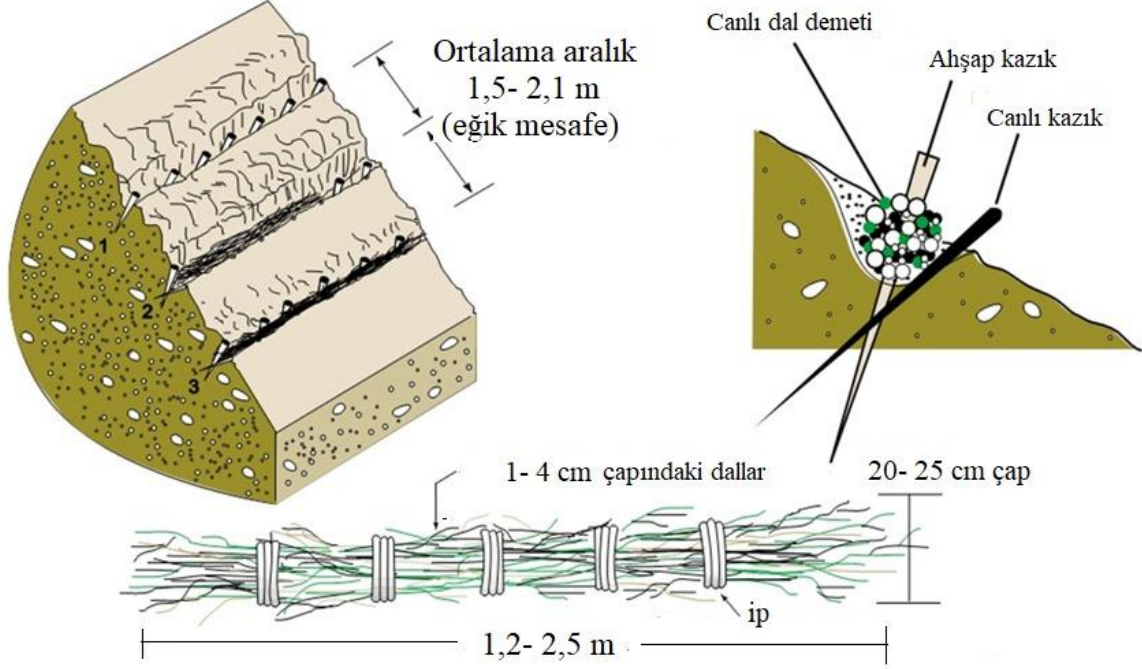
Şekil 2.2: Canlı kazık (Lewis, 2000a).

2.2.2. Canlı Dal Demetleri

Yamaç ve şevlerin biyoteknik yöntemlerle stabilizasyonunda en önemli tekniklerden biridir. Canlı dal demetleri yöntemi yüzey erozyonunu veya çizgi erozyonunu anında azaltır. Toprak işlemenin zor olduğu dik, kayalık yamaçlar için uygundur. Toprağı şev yüzeyinde tutar. Nemli toprak koşulları için uygundur (Lewis, 2000a) (Şekil 2.3). Bu uygulamada önce şevin tesviyesi, şev yukarısında derivasyon (kafa) hendeklerinin açılması, menfez ve topuk duvarı yapımı vb.

² (<http://www.adfg.alaska.gov/index.cfm?adfg=streambankprotection.staking>, Erişim tarihi: 10 Mayıs 2019).

gibi çalışmalar tamamlanır. Mümkünse şev eğimi 1:1'e, hatta altına düşürülür. Oyuntular varsa doldurulur (Görcelioğlu, 2004).



Şekil 2.3: Canlı dal demeti tesisi (Lewis, 2000a).

Eğim arttıkça daralmak üzere genellikle 1,5-2 m eğik aralıklarla eşyükselti eğrilerine paralel hendekler kazılır. Hendeklerin genişlik ve derinliği 30-50 cm arasındadır. Yakın çevreden temin edilen kolay köklenebilir bitki materyalinin (örn. söğüt, kızılcık, kıızılağaç) gövdeleri ve dalları uzun demetler haline getirilir. 50 cm aralarla tel ya da plastik bantlarla bağlanan 20-25 cm çapındaki dal demetleri en az 60 cm boyundaki ahşap kazıklar ve/veya canlı kazıklarla sabitlenir ve uç kısımları bindirmeli olarak hendeklerin içine yerleştirilir (Lyn ve Newton, 2015; Lewis, 2000a). Dal demetlerinin her biri, çapı 1 cm'den az olmayan en az 5 canlı dal içermelidir. Diğer dallar kuru olabilir. Demetlerde dalların kalın uçları aynı tarafa gelmemeli, böylece dal demetinin çapı her noktada aşağı yukarı aynı kalmalıdır (Görcelioğlu, 2004; OGM, 1998; Gray ve Sotir, 1996; Çelem, 1988). Canlı dal demetleri kazıklarla sabitlendikten sonra, yüzeyde bazı canlı dallar bırakarak, demetlerin sadece üst kısımları açığa çıkana kadar hendek toprakla doldurulur (Lyn ve Newton, 2015; Çelik, 2006; Görcelioğlu, 2002; Görcelioğlu, 2004).

Kazıklar mümkün olduğu kadar sürgün verme yeteneği yüksek ağaç türlerinden seçilmelidir (OGM, 1998). Tespit kazıklarının düşey olarak zemine çakılmaları ve dal demetinin üst hizasına kadar toprağa girmeleri gerekir (Görcelioğlu, 2002; Görcelioğlu, 2004).

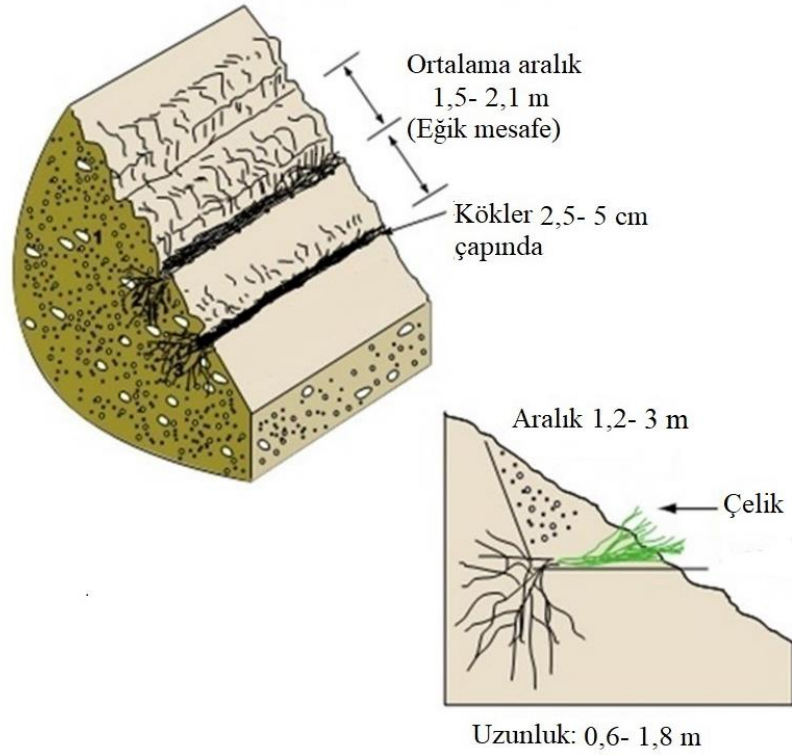
Bu tesisin şev topuğundan yukarı doğru bir sıra izlenerek uygulanması gerekir. Hendeklerin kazılması ile dal demetlerinin hendeklere yerleştirilip üzerlerinin toprakla örtülmesi arasında geçecek sürenin, toprağın ve dalların kurumaması için bir saati aşmaması gerekir (Gray ve Leiser, 1989). Dal demetlerinin üzeri, bir üstteki hendek kazısından çıkan toprakla örtülür. Bu tesisin yapımı vejetasyon dönemi dışında gerçekleştirilmeli yapımı izleyen bir yıl boyunca zaman zaman kontrol edilmeli ve bozulan kısımlar onarılmalıdır (Görcelioğlu, 2004). Dal demetleri köklenerek yüzey erozyonunu kontrol etmeye yardımcı olur ve stabilizasyonu sağlar (Eubanks ve Meadows, 2002; Steinfeld, 2007).

Şevlerin ve dere kıyılarının biyoteknik stabilizasyonu için, uzun kıyı yamaçlarında erozyon kontrolü için etkilidirler. Canlı dal demetlerinin oluşturduğu teraslar, sedimenti hapsederek vejetatif oluşumu teşvik eder. Kısmen gömülü demetler, güçlü, uzun vadeli koruma sağlayarak köklenir ve büyür (Goldsmith ve diğ., 2013).

2.2.3. Canlı Çit Tesisi

Yamacın topuğundan başlayarak, eşyükselti eğrilerine paralel olarak 60-90 cm genişliğinde bir teras açılır. Teras tabanı, şev yüzeyine doğru yükselmek üzere en az 10° lik bir eğim açısına sahip olmalıdır (Görcelioğlu, 2004). Dal çelikleri terasın üzerine çapraz veya bindirmeli olarak yerleştirilmelidir. Dalların ince uçları dışarda kalacak şekilde teras tabanına yerleştirilir ve üstteki terasın kazısı ile doldurulur (Şekil 2.4). Toprağın dışında kalan çelik uçları yüzeysel akışla taşınan sedimenti tutmaya yarar (Tuttle ve diğ. 1992).

Bu sistemlerin, eğimi %50'ye kadar olan yamaçlarda düşey aralık 4,5 m'yi geçmeyecek şekilde uygulanması önerilir. Canlı çit tesisi, gerilim azaltıcı veya güçlendirici olarak çalışır. Tesisin yamacın dışına çıkan kısmı yüzeysel akışı geciktirmeye ve yüzeysel erozyonu azaltmaya yardımcı olur (Tuttle ve diğ. 1992).



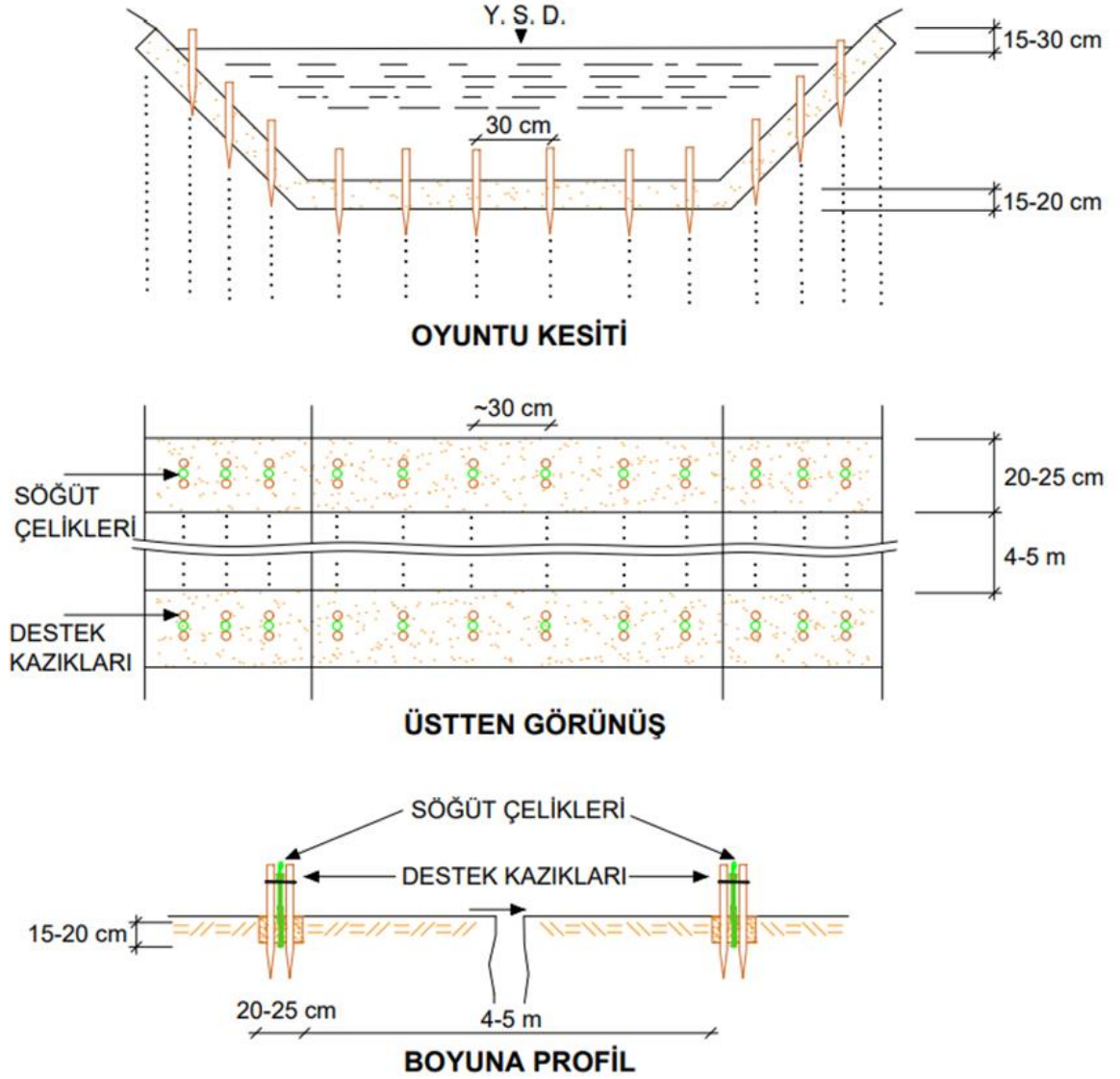
Şekil 2.4: Canlı çit tesisi (Lewis, 2000a).

Canlı çitler, genellikle yayvan profilli, düşük eğimli, toprağı yeterince nemli ve su çekim alanı küçük oyuntularda söz konusu olur ve söğüt çelikleri ya da çalı fidanları ile yapılır.

Söğüt çelikleri ile yapılan canlı çitler

Söğüt çelikleri ile canlı çit yapımı şöyledir (Şekil 2.5);

- Oyuntunun yan yüzleri arazinin elverdiği ölçüde 1:1 veya daha düşük bir eğime kadar tesviye edilir.
- Oyuntu eksenine dik doğrultuda, 4-5 metre aralıklarla ve 15-20 cm derinlikte, 20-25 cm genişlikte hendekler açılır.
- Bu hendekler içine 30'ar cm aralıklarla bir sıra halinde söğüt çelikleri dikilir. Çeliklerin oyuntu eksenine doğrultusunda iki yanına destek kazıkları çakılarak, çelikler bu kazıklara bağlanır.
- Bu şekilde oluşturulan canlı çitler de oyuntunun iki yanında yüksek su düzeyinin 15-30 cm yukarısına kadar sürdürülür.
- Çeliklerin dikilmesinden ve kazıkların çakılmasından sonra hendekler kazıdan çıkan toprakla doldurularak sıkıştırılır (Görcelioğlu, 2002).



Şekil 2.5: Söğüt çelikleri ile yapılan canlı çitler (Görcelioğlu, 2002).

Çalı fidanları ile yapılan canlı çitler

Çalı fidanları ile canlı çit yapımı şöyledir (Şekil 2.6);

-Oyuntunun yan yüzleri arazinin elverdiği ölçüde 1:1 veya daha düşük bir eğime kadar tesviye edilir.

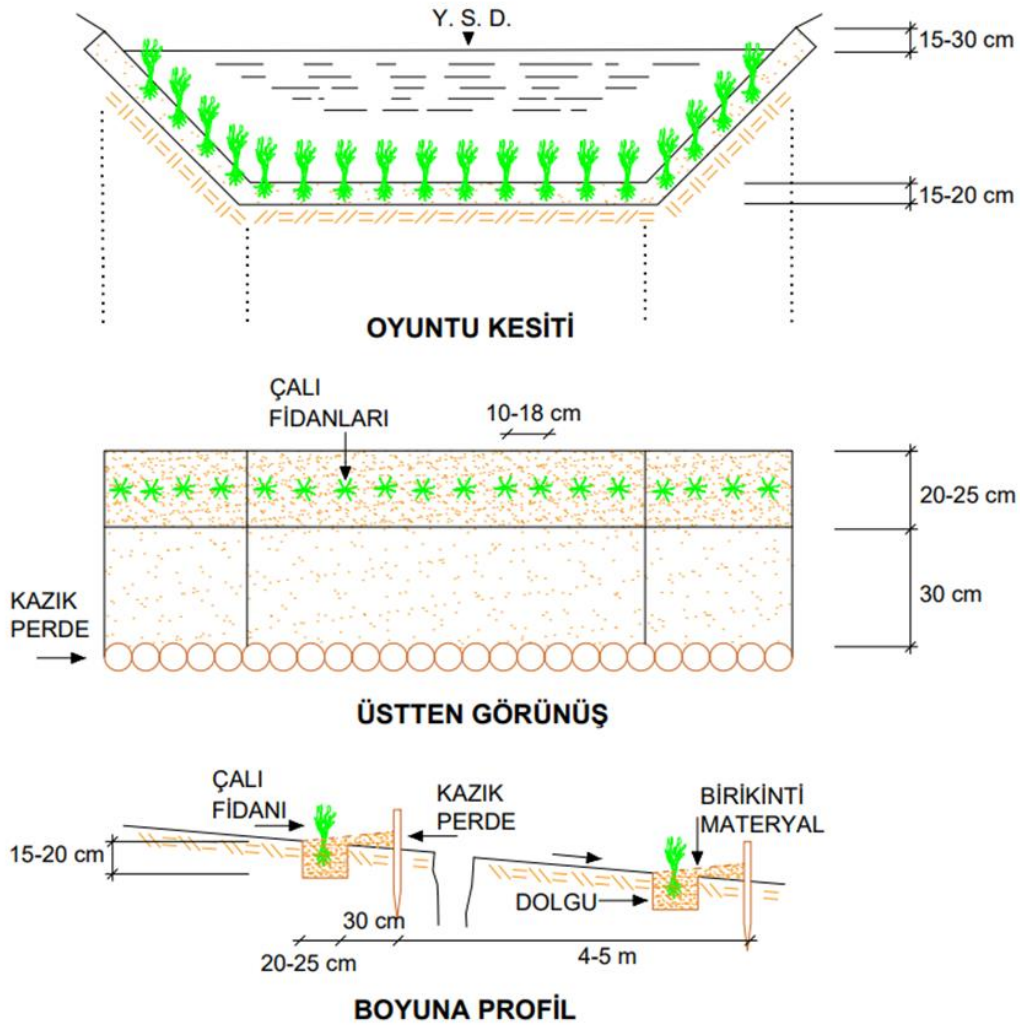
-Oyuntu eksenine dik doğrultuda, 4-5 metre aralıklarla ve 15-20 cm derinlikte, 20-25 cm genişlikte hendekler açılır.

-Bu hendeklerin içine 10-15 cm aralıklarla bir sıra halinde çalı fidanları dikilir.

-Bu canlı çitler de oyuntunun iki yanında yüksek su düzeyinin 15-30 cm yukarısına kadar sürdürülür.

-Fidanlar dikildikten sonra hendekler kazıdan çıkan toprakla doldurularak sıkıştırılır. Canlı çitlerin aşağı tarafında ve çit sırasına 30 cm kadar mesafede, çite paralel olarak yan yana çakılan bir sıra kazıkla bir perde oluşturulur (Görcelioğlu, 2002).

Bu kazık perdesinin görevi, tutacağı taşıntı materyalle fidanların önünde ve çevresinde bir toprak dolgu oluşmasını sağlamak, böylece fidanlar iyice yerleşip tutununcaya kadar oyuntu tabanının o kesiminin oyulmasını ve fidan köklerinin açığa çıkmasını önlemektir. Perde ile fidanlar arasında birikecek olan toprak ayrıca fidanlara taze besin maddesi ve nem sağlamak suretiyle de yararlı olur (Görcelioğlu, 2002).



Şekil 2.6: Çalı fidanları ile yapılan canlı çitler (Görcelioğlu, 2002).

Kazıklarla yapılan canlı perde (palizat)

Canlı kazıklar kullanılarak yapılan ve palizat adı verilen perde tipi oyuntu tahkim tesislerinin yapımı şöyledir:

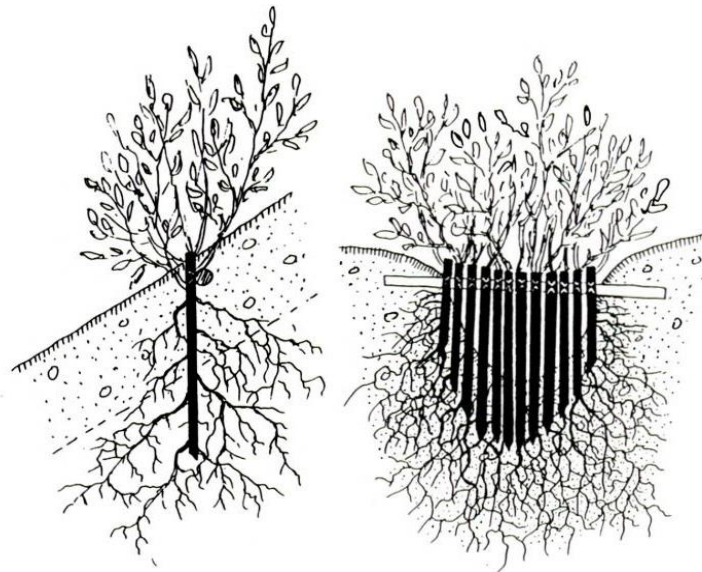
-Palizat yapımı için, çapları en az 5 cm olan canlı kazıklar kullanılır. Kazık boyları, oyuntu derinliğinin yaklaşık 1,5 katı kadar olmalı, kazık çaplarının ve boylarının bütün kazıklarda aynı olmasına dikkat edilmelidir.

- Bir uçları sivriltilmiş kazıklar, oyuntu eksenine dik bir hat boyunca ve aralarında çok az boşluk kalacak şekilde yan yana zemine çakılır. Kazık uzunluklarının 2/3'ü zemin (toprak) üzerinde kalmalıdır. Kazıkların üst hizası, oyuntu ortasındakiler biraz fazla çakılarak, suyu oyuntu ortasına yönlendirecek şekilde düzenlenebilir.

-Sonra bu kazıklar, oyuntunun iki yan yüzüne sağlam şekilde tespit edilmiş yatay bir -canlı ya da cansız- kazığa ince söğüt dallarıyla ya da telle sıkıca ve ayrı ayrı bağlanır. Bu çapraz kazığın canlı (kök yapabilir nitelikte) olması daha iyi sonuç verir.

-Kazık perdenin tamamlanmasından sonra, kazıkların arka ve ön tarafına yeterli bir mesafe boyunca kazıkların üst hizasına kadar toprak doldurulur.

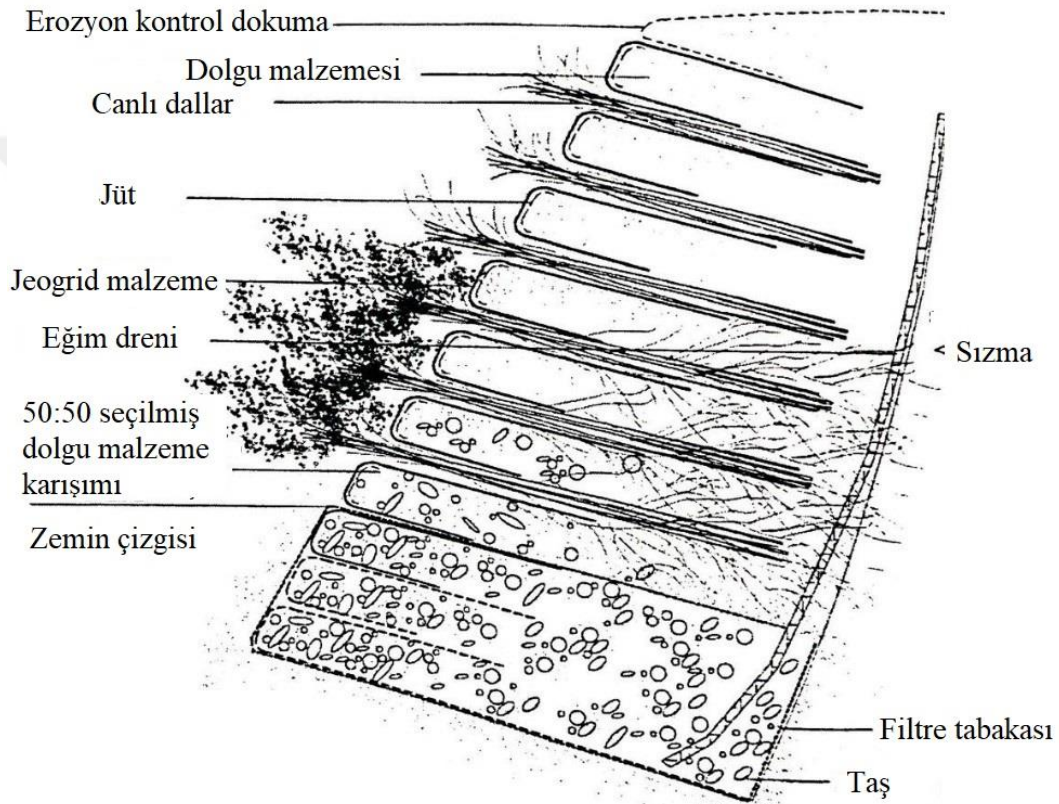
-Böyle bir tesisin her bir metresi için 5-20 adet kazık gerekir. Bu tesislerin yapımı vejetasyon dönemi dışında tamamlanmalıdır (Görcelioğlu, 2002; Schiechl, 1985) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Oyuntu içerisinde canlı kazıklarla oluşturulan palizat (Schiechl, 1985).

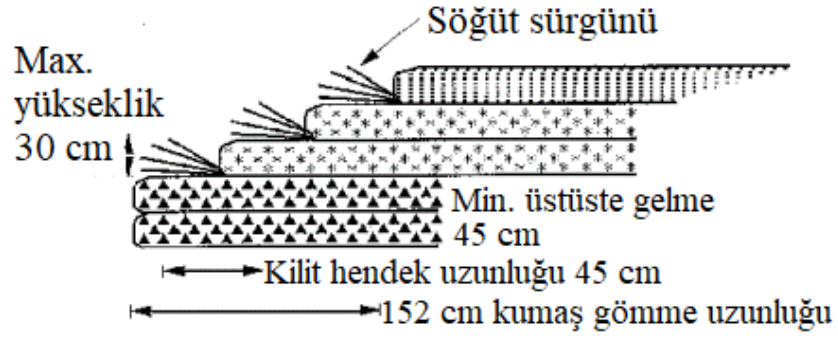
2.2.4. Bitkilendirilmiş Jeogridler

Bitkilendirilmiş jeogrid, doğal veya sentetik jeotekstil ile sarılmış toprak katmanları arasına yerleştirilmiş dal çeliklerinden oluşur (Şekil 2.8). Dallar çapraz veya bindirmeli bir şekilde dizilir. Dalların ince uçları toprak katmanlarından dışarı çıkarak yüzeysel akışı yavaşlatır ve sedimenti tutar. Jeogrid ve jeotekstil klasik cansız güçlendirmelerde olduğu gibi dallar geriye yamaca doğru uzanır. Öte yandan klasik güçlendirmelerin tersine, dallar canlıdır, toprak içindeki kısımları köklenir, ayrıca yatay yamaç dreni olarak çalışır (Gray ve Sotir 1996).

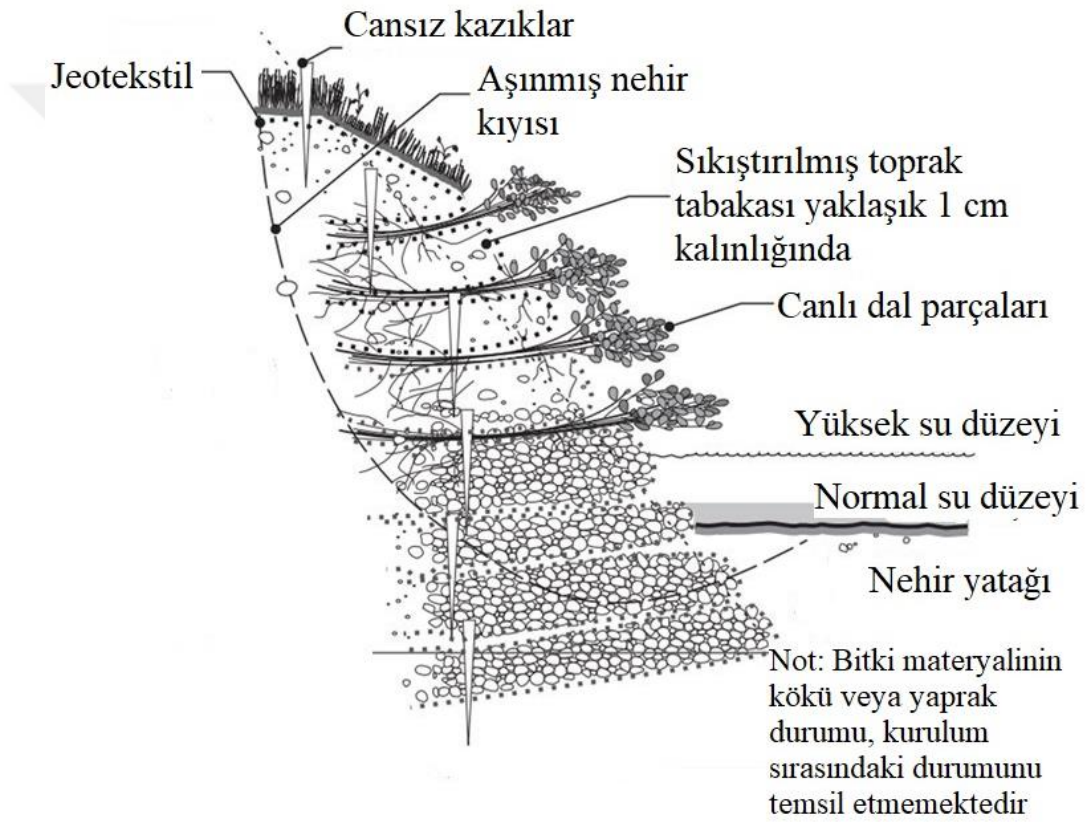


Şekil 2.8: Bitkilendirilmiş jeogrid (Gray ve Sotir, 1996).

Miller (1992)'e göre tesis mühendislikte yol ve köprü yaklaşım dolgularında kullanılan sentetik kumaş istinat duvarlarından esinlenmiştir (Allen ve Leech, 1997) (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Bitkilendirilmiş jeogrid kesiti (Allen ve Leech, 1997) (Miller, 1992).

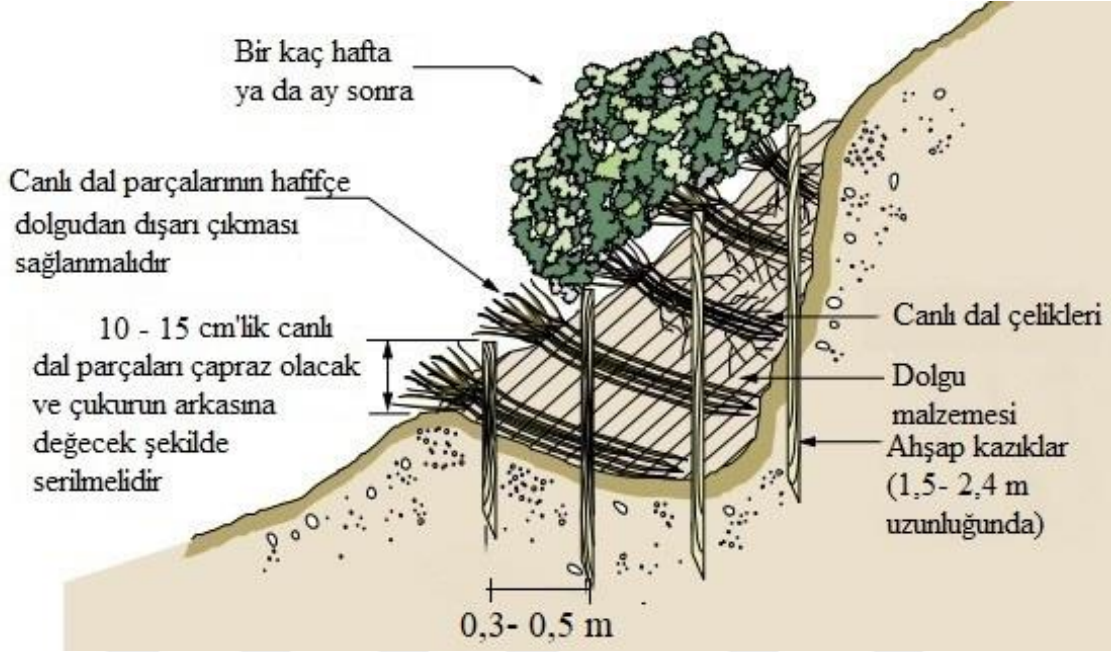


Şekil 2.10: Bitkilendirilmiş jeogrid (Eubanks ve Meadows, 2002).

2.2.5. Dal Demeti Yöntemi

Dal demeti yöntemi, küçük bölgesel oyuntuları onarmak için canlı dal parçaları katmanlarından ve sıkıştırılmış dolgudan oluşur (Tuttle ve diğ., 1992; Fay ve diğ., 2012) (Şekil 2.11). Dallar, bölgesel oyuntu veya sedimentleri hapseder, kökler ise arka dolgunun her tarafına ve çevreleyen toprağa yayılarak birleşik bir kütle oluşturur. Nehir kıyılarındaki oyuntuları onarır. Bitkilerin üst kısımları büyümeye başladıkça yüzey erozyonunu ve aşınmayı azaltır. Bitkisel bir dere yatağını hızla kurar. Doğal bitki örtüsünün kolonizasyonu için koşulları iyileştirir. Anında

zemin takviyesi sağlar (Eubanks ve Meadows, 2002). Bu yöntem, canlı çit yöntemine çok benzer. Ana fark, bu teknikte yatay olarak yerleştirilmiş hareketli malzeme ve yamaca düşey olarak yerleştirilmiş cansız malzeme kullanılması ve küçük oyuntulardaki boşlukları tamir etmede daha iyi olmasıdır (Tuttle ve diğ., 1992).



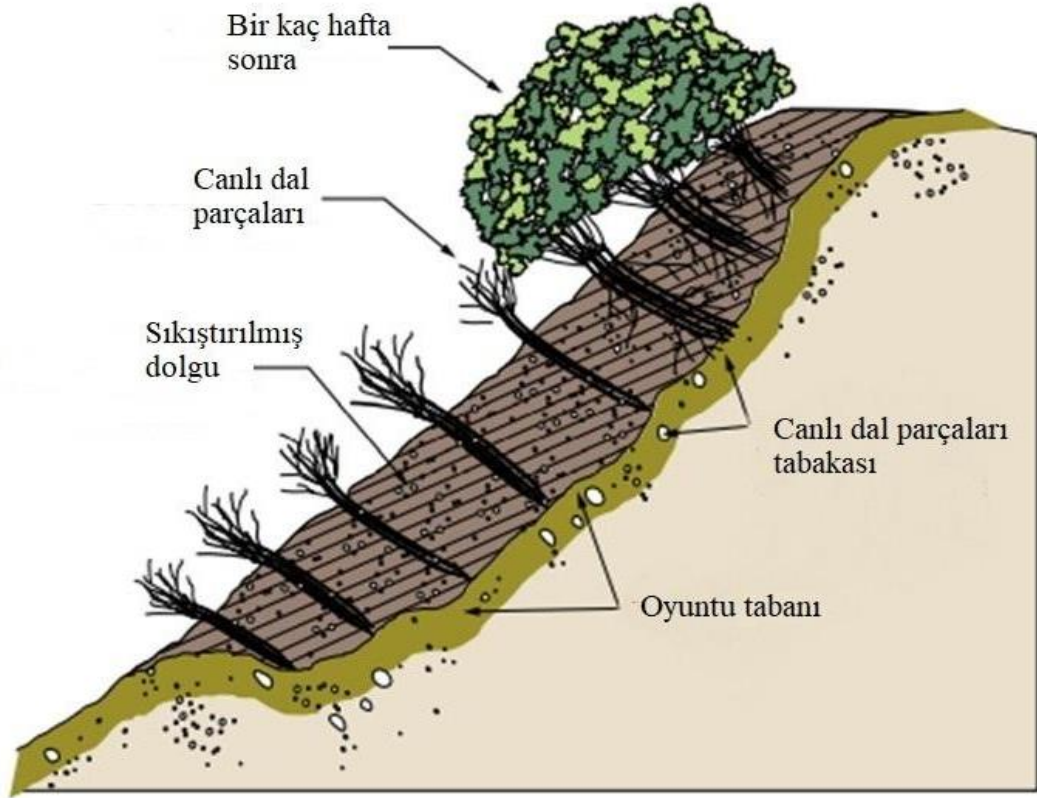
Şekil 2.11: Dal demeti yöntemi (Lewis, 2000a).

Hendeğin en alt noktasından başlanmalı ve tahta kazıklar düşey olarak 1–1,5 m zemine çakılmalı ve 0,3–0,5 m aralıklarla yerleştirilmelidir (Tuttle ve diğ., 1992). Tahta kazıklar 7,5–10 cm çapında 1,5–2,4 m uzunluğunda olmalıdır. 10–15 cm kalınlığında bir canlı dal tabakası düşey kazıkların arasına çapraz bir şekilde büyüyen uçlar dışarı bakacak şekilde, yamaç yüzeyine doğru yerleştirilir. Canlı dallar oyuntunun arkasındaki bozulmamış toprağa temas edecek ve yeniden inşa edilmiş nehir yatağından ve yamaç yüzeyinden hafifçe uzanacak kadar uzun olmalıdır (Fay ve diğ., 2012; Tuttle ve diğ., 1992; Lewis, 2000a) (Şekil 2.11). Her bir dal tabakasını bir sıkıştırılmış toprak tabakası takip eder. Canlı dalların kurummasını önlemek için toprak nemli olmalıdır. Dal dolgusu, oyuntunun 1,2 m'den daha derin veya 1,5 m'den daha geniş olduğu alanlarda etkili değildir (Tuttle ve diğ., 1992; Fay ve diğ., 2012).

2.2.6. Canlı Oyuntu Onarımı

Canlı oyuntu onarımı, küçük büyük oyuntuları onarmak için dal çelikleri toprak katmanlarının münavebeli olarak sıkıştırılarak kullanıldığı bir yapıdır. Dal demeti yöntemine benzer şekilde, bu yöntem küçük ve büyük oyuntuların onarımı için daha uygundur (Tuttle ve diğ., 1992).

Yamacın en alçak noktasından başlayarak, derenin veya oyuntunun en alt ucuna ve yamaca dik olacak şekilde dal tabakası yerleştirilir. Canlı dal çelikleri çapı 1-5 cm arasında değişebilir. Dere veya oyuntunun arkasındaki bozulmamış toprağa değecek kadar uzun olmalı ve yeniden inşa edilen şev yüzünden hafifçe uzanmalıdır. Dal çelikleri ve toprak katmanlarının münavebeli olarak sıkıştırılarak kullanıldığı yapıdır (Şekil 2.12) (Tuttle ve diğ., 1992).



Şekil 2.12: Canlı oyuntu onarımı (Lewis, 2000a).

2.2.7. Bitkilendirilmiş Ahşap Kafes (Çatma) Duvar

Geleneksel kafes duvarlarda yapısal elemanlar betondan, kütüklerden ve farklı kesitlerde keresteden imal edilir (Gray ve Sotir, 1996; Lyn ve Newton, 2015; Tuttle ve diğ., 1992; Görcelioğlu, 2004). Yapı tekniğine uygun bir dolgu malzemesi ile doldurulur ve kafesin aralarına köklenmiş dal çelikleri yerleştirilir (Gray ve Sotir, 1996; Goldsmith ve diğ., 2013; Lewis, 2000b) (Şekil 2.13, Şekil 2.14, Şekil 2. 15).

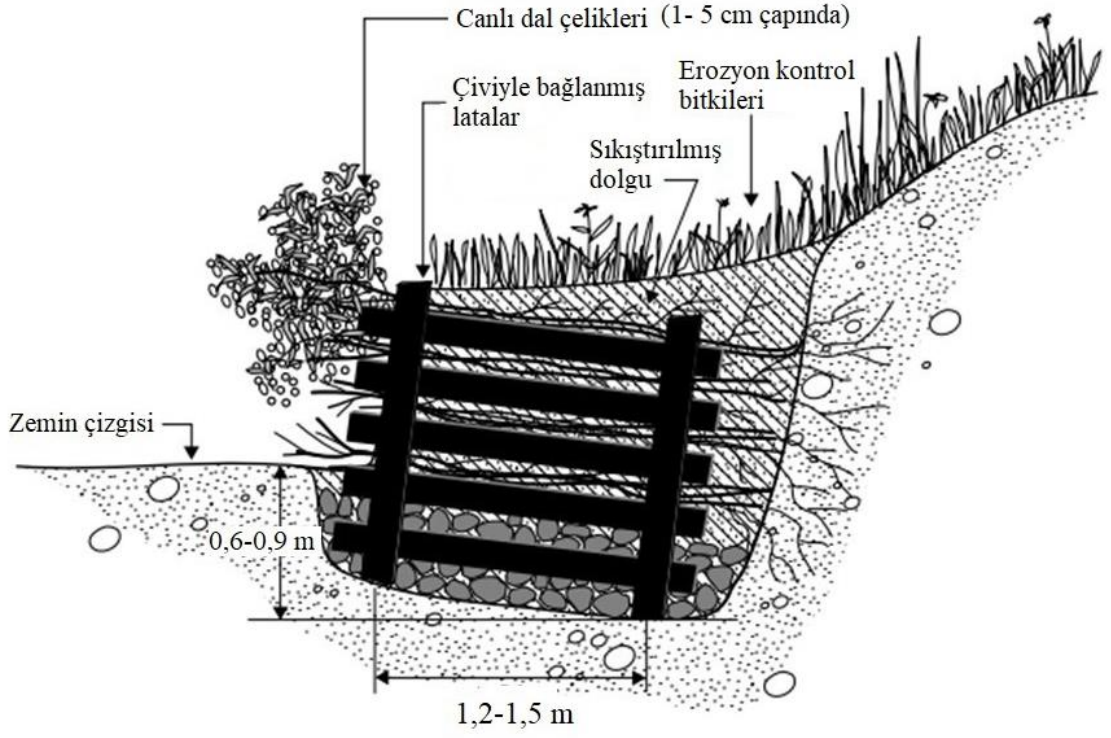
Bir kafes yapının ya da bir istinat yapısının arkasındaki dolgu, yapının doğru bir biçimde işlevini yerine getirebilmesi için bazı mekanik ve hidrolojik özelliklere sahip olmalıdır. İdeal olarak bu dolgu iri taneli, serbest drenajlı granüler malzemeden oluşmalıdır. Dolguda aşırı

miktarda kil, silt ve organik madde bulunmamalıdır. Bitkiler zamanla dolgu içine nüfuz edip dolguyu yekpare bir kitleye dönüştürerek iç stabiliteyi güçlendirir (Görcelioğlu, 2004).

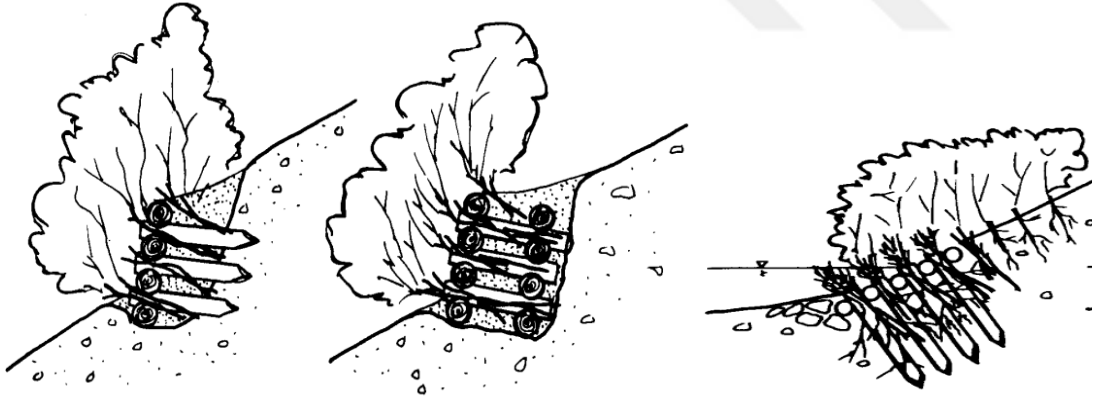
Bir yapının ön boşluklarına, olgunlaşınca büyük çap yapan türden fidanların dikilmemesi önemlidir. Söğüt ve kavak gibi çok su tüketen vejetasyon, toprak suyunu transpirasyonla kullanarak yamaç güvenliğini arttırmada belirgin bir rol oynayabilir. Yamaçtaki vejetasyon, toprağı kök sistemi içerisinde bağlayarak, sızıntı suların yol açtığı erozyonu da engelleyebilir. Birbiriyle bağlantılı köklerin oluşturduğu kalın ve lifli kök dokusu (kök keçesi), suyun hareketini önlemez, fakat toprak partiküllerini yerinde tutar. Böyle bir kök sistemine sahip vejetasyon, en yararlı vejetasyondur. Kafes duvar gibi boşluklara sahip yapıların bu boşluklarında yetişen vejetasyon da aynı işlevi görür (Görcelioğlu, 2004).

Çapları 10-25 cm aralığındaki ahşap, beton, çelik veya plastik malzemeden oluşan enine ve boyuna elemanlar dönüşümlü olarak üst üste konularak tek veya çift sıra kutu benzeri kafes duvar (genişlik: 1,2-1,5 m) oluşturacak şekilde birleştirilir (Donat, 1995) (Şekil 2.13). Arka dolgunun ve kafes içine doldurulacak materyalin drenaj özelliklerinin, yapının performansı ve hizmet ömrü üzerinde büyük etkisi vardır. Serbestçe drene olan granüler materyalin kullanılması, dolgu içerisinde sızıntı sulardan kaynaklanan basınç artışını engeller ve ahşap elemanların ömrünü uzatır (Görcelioğlu, 2004).

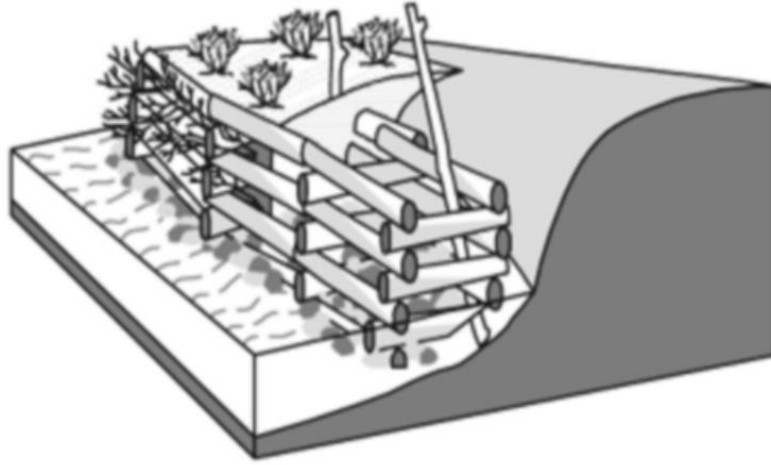
Serbest drenaj koşulu hem toprak istinat yapısının mekanik stabilitesi açısından hem de ıslak toprağı toleransı olmayan vejetasyon açısından çok önemlidir. Vejetasyonun gelişmesi, bir miktar su ve besin maddesi tutmaları için genel olarak toprak içerisinde ince tanecikler de bulunması gerekir. Bu ince materyaller ya da toprak ıslah katkıları ya bir yüzey tabakası içine karıştırılarak, ya da yüzeye yakın biçimde seyrek (dağınık) olarak açılacak küçük cepler içine konularak arka dolgusuna katılabilir. Ahşap ya da beton açık kafes tipi yapılarda hedef, yapı ve şev yüzünün bitkilendirilmesidir (Görcelioğlu, 2004).



Şekil 2.13: Bitkilendirilmiş ahşap kafes (çatma) duvar (Tuttle ve diğ., 1992).



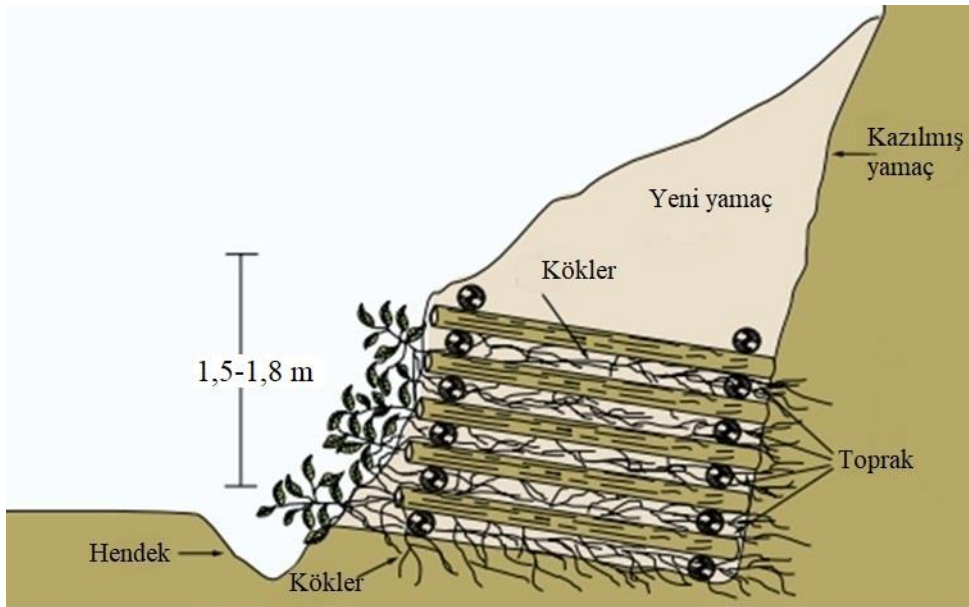
Şekil 2.14: Şev stabilizasyonu için tek sıra (solda) veya çift sıra (ortada) boyuna elemanlarla elde edilmiş ve bitkilendirilmiş duvarlar, kıyı koruması ve restorasyonu için bitkilendirilmiş (sağda) tomruk kafes duvarlar (Donat, 1995).



Şekil 2.15: Bitkilendirilmiş tomruk kafes duvar (Goldsmith ve diğ., 2013).

Canlı dallar kök saldıktan ve tuttuktan sonra, ardından gelen bitki örtüsü yavaş yavaş ahşap elemanların yapısal işlevlerini üstlenir (Lewis, 2000a) (Şekil 2.16).

Estetik açıdan çekici olması, kısa inşaat süresi ve hızlı stabilizasyon yapının avantajları, kerestenin dayanıklılığının sınırlı olması, sınırlı inşaat yüksekliği, özellikle prefabrik kafes duvarlar için yüksek malzeme maliyetleri (ahşap kafes/çatma duvarlar hariç) yapının dezavantajları arasında sayılabilir (Donat, 1995).

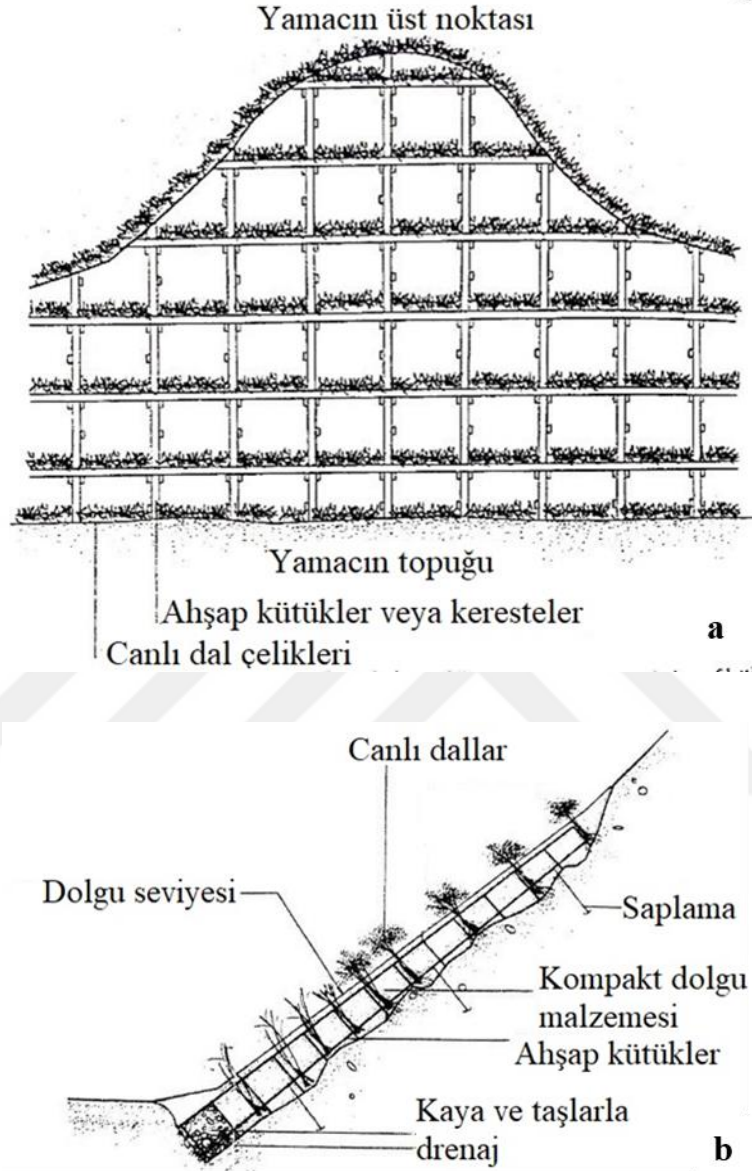


Şekil 2.16: Bitkilendirilmiş tomruk kafes duvar (Lewis, 2000a).

2.2.8. Canlı Yamaç Izgarası

Canlı yamaç ızgarası, yüksek eğimli bir yamaca bağlanmış enine ve boyuna elemanlardan oluşan kafes benzeri bir yapıdır. Elemanları işlenmemiş kütük veya kerestedir. Izgara zemine

oturacak şekilde inşa edilir. Açıklıklar uygun bir dolgu malzemesi ve dal çelikleri ile doldurulur (Şekil 2.17). %65'ten daha dik yamaçların bitkilendirilmesinde kullanılır (Gray ve Sotir, 1996).



Şekil 2.17: Canlı yamaç ızgarası şematik gösterimi ön görünüş (a), kesit (b) (Gray ve Sotir, 1996).

Yöntemde ahşap, metal, plastik veya beton profillerden oluşan elemanlar (1,5 x 1,5- 2,0 x 2,0 m boyunda), canlı veya cansız kazıklarla yamaç yüzeyine sabitlenir (Donat, 1995).

Izgara kazıklarla veya tohum veya çelikle gelen bitki örtüsü yamacın veya kaymanın güvenliğini uzun süre sağlar. Izgaralar, üç boyutlu, çift sıra olarak inşa edilebilir: iki ızgara, canlı malzeme ve gözenekli toprak katmanlarıyla doldurulduğunda kutu benzeri kafesler oluşturur. Canlı yamaç ızgaraları, geleneksel bitkilendirme yöntemlerinin başarısız olduğu,

devam eden erozyon nedeniyle tehlike altında olan aşırı dik yamaçlarda veya küçük kaymalarda kullanılır (Donat, 1995).

Yüzeyde ve derinde etkili olması, az bakım gerektirmesi, birçok varyasyon ve kombinasyonu mümkün kılması, bitkilendirmeyi mümkün kılması yöntemin avantajları, işçilik ve malzeme maliyetlerinin yüksek olması, derine ulaşan etkinin köklenmeden sonra meydana gelmesi ve genellikle daha küçük alanlar için kullanılır olması (maks. yükseklik: 15-20 m) ise yöntemin dezavantajları arasında sayılabilir (Donat, 1995).

2.2.9. Canlı Eşik

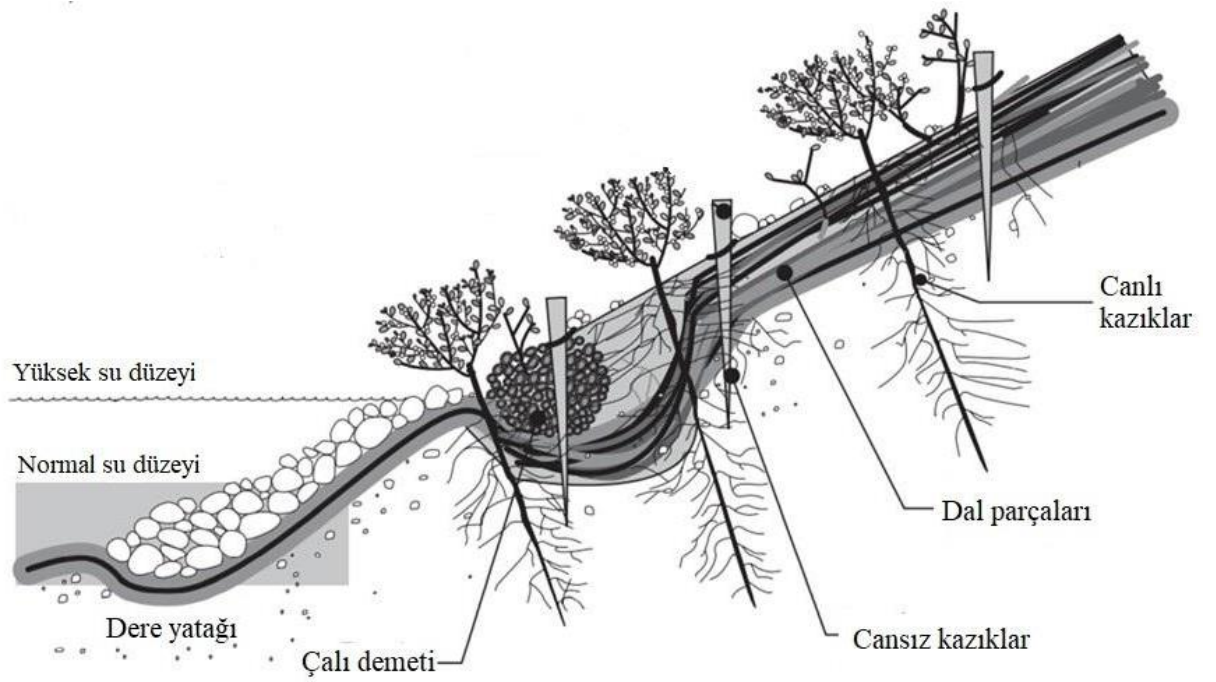
Canlı eşik oluşturmak için, kalın odunsu kazıklar (6-30 aylık, 2 m uzunluğunda, 2-5 cm çapında) oyuntunun içine enine tesis edilir. Bu barajlar güçlü bir engel oluşturarak, eğim yönünde hareket eden malzemeyi tutar. Zamanla oyuntu tabanında küçük bir basamak oluşur. Teknik 45 dereceye kadar eğimli yamaçlarda kullanılabilir. Küçük ölçekli heyelanlara çokça konu olan malzemelerden oluşan alanlarda bu teknik kullanılmamalıdır. Canlı eşiklerin aralığı eğimin dikliğine ve enkesitin genişliğine göre değişir. Canlı eşikler normalde 3-5 m aralıkla inşa edilir ve kazıklar 3-5 cm aralıkla çakılır. Düşük eğimli oyuntularda kazık aralığı daha fazla olabilir. Önerilen kazık aralığının sık olmasından dolayı bozulan kısımların onarımına gerek kalmayabilir ancak uygulamadan birkaç yıl sonra ağaçların veya çalılıarın aralanması gerekebilir (Howell, 1999).

2.2.10. Bitkisel Kaplama

Bitkisel kaplamanın ana amacı, dengesi bozuk olan yamaç ve/veya şev yüzeylerini vejetatif materyalle örtterek şiddetli yağmurların, dolunun, yüzeysel akışın, rüzgârın, donun ve diğer faktörlerin yol açtığı erozyona karşı toprağı korumaktır. Geniş bir alanda hızlı bir korumanın zorunlu olduğu yerlerde birim alan başına fazla miktarda fidan, tohum ya da bitki kısımları (çelik) kullanılarak uygulanır. Bitkisel kaplama aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir;

- Yüzeyin dallarla kaplanması
- Çim kalıpları ile kaplama
- Emülsiyon içerisinde tohum püskürtme (sulu ekim)
- Kuru ekim
- Malçlı ekim
- Tohum keçeleri serme uygulaması
- Yüzeyi toprak dolgulu beton bloklarla kaplama (Görcelioğlu, 2004).

Dal kaplama, yüzeye serilen ve sabitlenen dallardan oluşan bir tabakadır. Dallar 1,8- 2,7 m uzunluğunda olmalıdır. Dalların 20-30 cm'lik kısmı kazıklar kullanılarak, topukta zemine sabitlenmelidir (Şekil 2.18). Tüm dallar açıkta kalırsa yöntem başarılı olmaz. Dere yatağı üzerinde hemen koruyucu bir örtü oluşturur. Bu teknik göl kıyılarında da etkilidir. Genelde farklı stabilizasyon teknikleri ile birleştirilerek kullanılır. Sarp, hızlı akan nehirlerde etkilidir. Taşkın koşulları sırasında taşıntıyı filtreler (Eubanks ve Meadows, 2002). Akarsu kenarları boyunca hızlı bitkilendirme ve habitat restorasyonunu sağlar. Çimlenme için bir mikro iklim yaratarak doğal bitki türlerinin yayılmasını artırır (Holm and Stenlund, 2005).



Şekil 2.18: Dal kaplama (Eubanks ve Meadows, 2002).

3. YÖNTEM

Araştırma iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm İstanbul ili Çatalca ilçesi koşullarında bazı toprak biyomühendisliği tekniklerinin uygulaması, ikinci bölüm Türkiye’de uygulanmış erozyon kontrol yöntemlerinin belirlenmesidir.

3.1. ARAŞTIRMA ALANI

3.1.1. Toprak Biyomühendisliği Uygulaması

Araştırma alanı İstanbul ili Çatalca ilçesinde Kuzey Marmara Otoyolu T-1 T-2 Aç Kapa Tünelinin güney bakılı kazı şevinde 41,1689243, 28,3870875 coğrafi koordinatlarında yer almaktadır (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Araştırma alanı %25 eğimdedir. Toprak tekstürü kumlu killi balçıktır.



Şekil 3.1: Araştırma alanının konumu.



Şekil 3.2: Araştırma alanı (a) tünelin (b) güneye bakan şevinde bulunuyor.

Araştırma alanına yakın iki meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Gözlem süresi daha uzun (17 yıl) olduğu için Çatalca radar sahası istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bu verilere göre yörede yıllık ortalama yağış miktarı 964,5 mm, yıllık ortalama sıcaklık 12,6 °C, yıllık evapotranspirasyon miktarı 525 mm'dir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Çatalca radar sahası istasyonu meteorolojik parametreler.

Meteorolojik Parametreler (2005-2021)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Aylık ortalama yağış (mm)	96,32	88,2	78,11	56,19	52,63	54,64	35,98	26,71	126,5	136,9	98,06	114,3	964,5
Aylık ortalama sıcaklık (°C)	3,5	4,2	6,4	10,3	15,1	19,5	21,7	22,0	18,7	13,8	9,9	5,7	12,6
Evapotranspirasyon (mm)	8,3	10,38	21,63	42,18	80	78,64	36	26,7	126,5	49,92	30,75	14	525,0

Yörede yağışın mevsimlere dağılımı dengeli değildir. Yıllık yağışın %37,5'i sonbaharda, %31'i kışın, %19,4'ü ilkbaharda ve %12,2'si yaz aylarında düşmektedir.

3.1.2. Türkiye’de Uygulanan Bazı Erozyon Kontrol/Toprak Biyomühendisliği Yöntemleri

Türkiye’de OGM tarafından uygulanan ve başarılı sonuçlar alınan erozyon kontrol/toprak biyomühendisliği yöntemlerini belirlemek amacıyla özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki başarılı çalışmalar incelenmiştir. Yer belirlemek amacıyla Orman Genel Müdürlüğü (OGM) Ağaçlandırma Daire Başkanlığı Etüt Proje Şube müdürü Nuran KARAÇORLU ve İstanbul OBM Ağaçlandırma Şube Müdürü Talip KAVLAK ile görüşülmüştür. Bu şekilde belirlenen noktalara gidilmiş, kullanılan erozyon kontrol yöntemleri, alanı ve çevre koşullarını iyi tanıyan uzmanlarla ve mümkün olduğunca çalışmanın uygulanmasında görev almış kişilerle görüşülerek varsa proje kitapçıklarından yararlanarak belirlenmiştir.

Bu amaçla Marmara, İç Anadolu, Karadeniz, Doğu Anadolu, Akdeniz olmak üzere beş bölgede yer alan toplam 12 ilde (İstanbul, Bolu, Ankara, Çorum, Tokat, Elâzığ, Adana, Niğde, Mersin, Karaman, Konya, Burdur) OGM tarafından uygulanmış 28, İÜC Orman Fakültesi tarafından uygulanmış 1 erozyon kontrol sahası incelenmiştir (Şekil 3.3).

Araştırmanın süresinde (2020-2022) Akdeniz bölgesinde meydana gelen orman yangınları nedeniyle bazı araştırma sahalarında kayıplar olmuş ve bu sahalar gidilememiştir. Bazı erozyon kontrol çalışmaları diğer çalışmalarla benzer veya başarısız olması nedeniyle bu noktalara gidilememiştir.



Şekil 3.3: Türkiye’nin farklı bölgelerinde incelenen erozyon kontrol alanları.

3.2. YÖNTEM

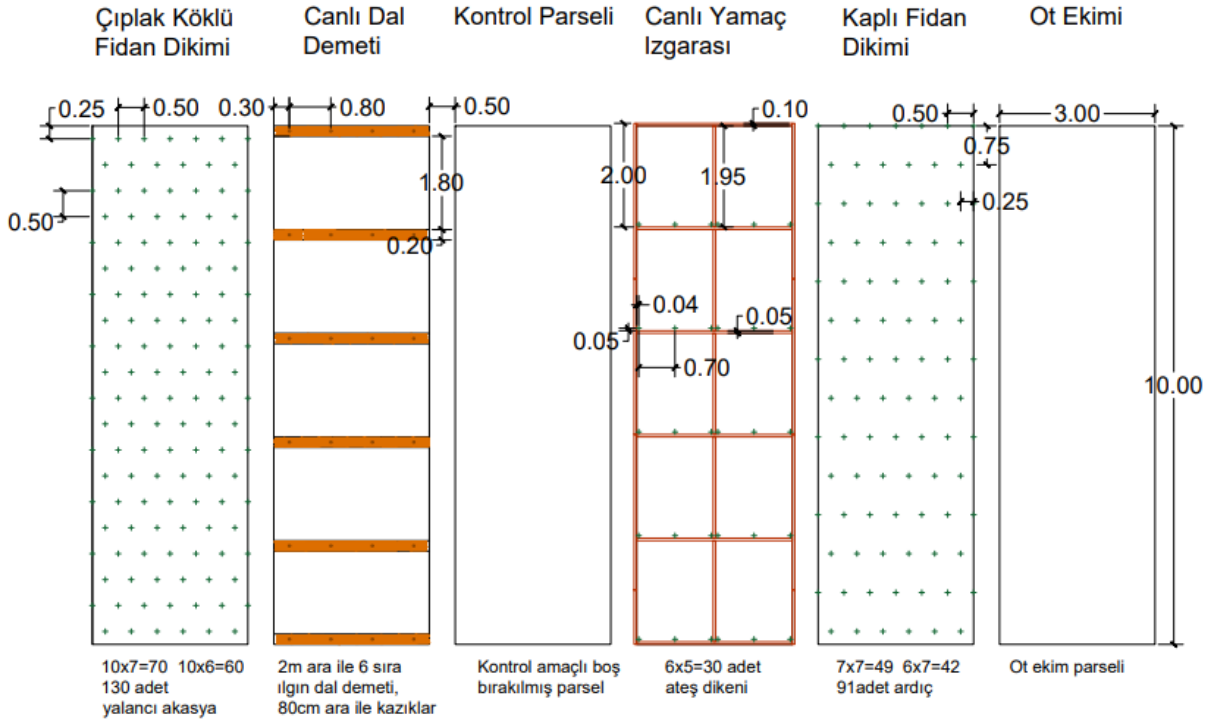
3.2.1. Bazı Toprak Biyomühendisliği Yöntemlerinin Uygulanması

Deneme parsellerinde; canlı dal demetleri, çıplak köklü fidan dikimi, kaplı fidan dikimi, ot tohumu ekimi ve canlı yamaç ızgarası olmak üzere beş toprak biyomühendisliği yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemlerden canlı dal demeti ve canlı yamaç ızgarası Türkiye’de daha önce kullanılmamıştır. Her yöntem için bir parsel ayrılmış, parsellerin boyutları eğik olarak 10 m uzunluğunda ve 3 m eninde belirlenmiştir. Bir parsel kontrol amaçlı boş bırakılmıştır. Araştırma alanı on sekiz deneme parselinden oluşmaktadır (Şekil 3.4). İzleme kolaylığı açısından parseller arasında 50 cm mesafe bırakılmıştır. Hudson (1993)’e göre deneme parseli sayısının istatistiki açıdan anlamlı olması için yöntemler üç kere tekrar edilmiştir. Araştırma Haziran 2020- Ekim 2022 tarihleri arasındaki iki vejetasyon periyodu boyunca aylık olarak izlenmiştir. İzleme planında erozyon miktarı ölçümü ve fidan yaşama yüzdelerinin belirlenmesi yer almaktadır.

Erozyon miktarı şöyle ölçülmüştür: Erozyon çubukları deneme parsellerine tesis edilmiş, ardından uygulanan yöntemlerin erozyon kontrol başarısı uygulama sonrası yersel ölçümle (demir çubuklar, pin) ile araştırma süresinde 26 kez izlenmiştir.

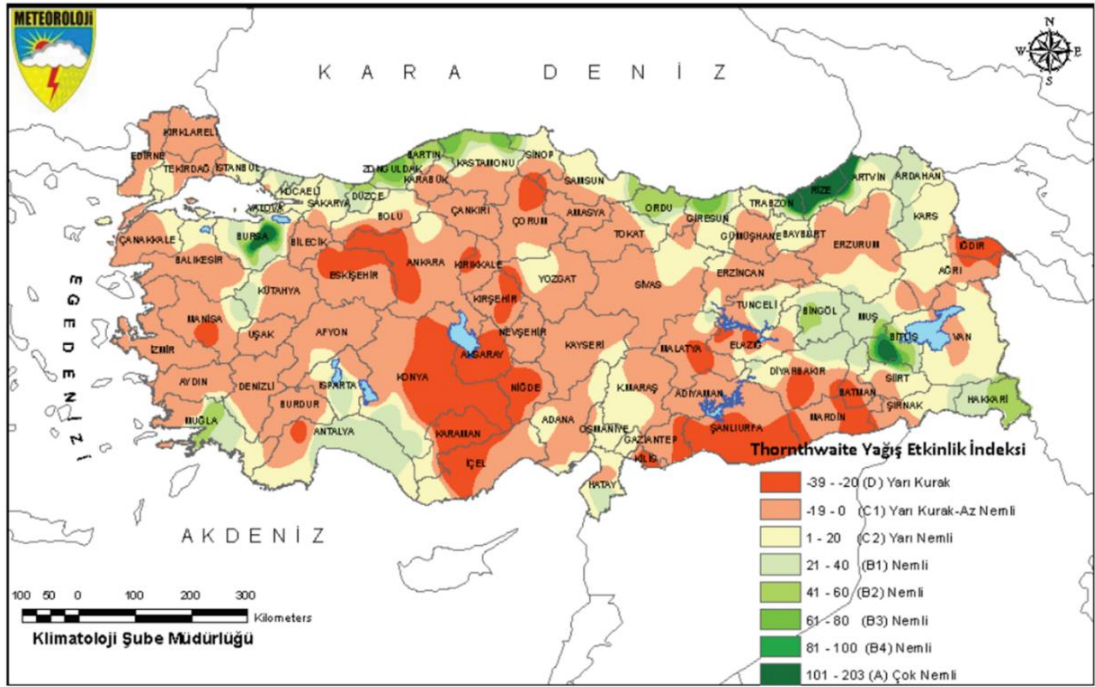
Alanda yukarıda sayılan tekniklerden canlı dal demetlerinde *Tamarix tetrandra* Pall. ex M.Bieb. (ılgın), çıplak köklü fidan dikiminde *Robinia pseudoacacia* L. (yalancı akasya), canlı yamaç ızgarasında *Pyracantha coccinea* M.Roem. (ateş diken), kaplı fidan dikiminde *Juniperus horizontalis* Moench (yayılcı ardıç) bitkileri kullanılmıştır. Fidanların yaşama yüzdeleri 26 ayın sonunda hayatta kalan bitki sayılarına göre hesaplanmıştır.

Bitkilerin toprağa organik madde katkısını belirlemek amacıyla araştırmanın başında ve sonunda alınan toprak örnekleri analiz edilmiştir.

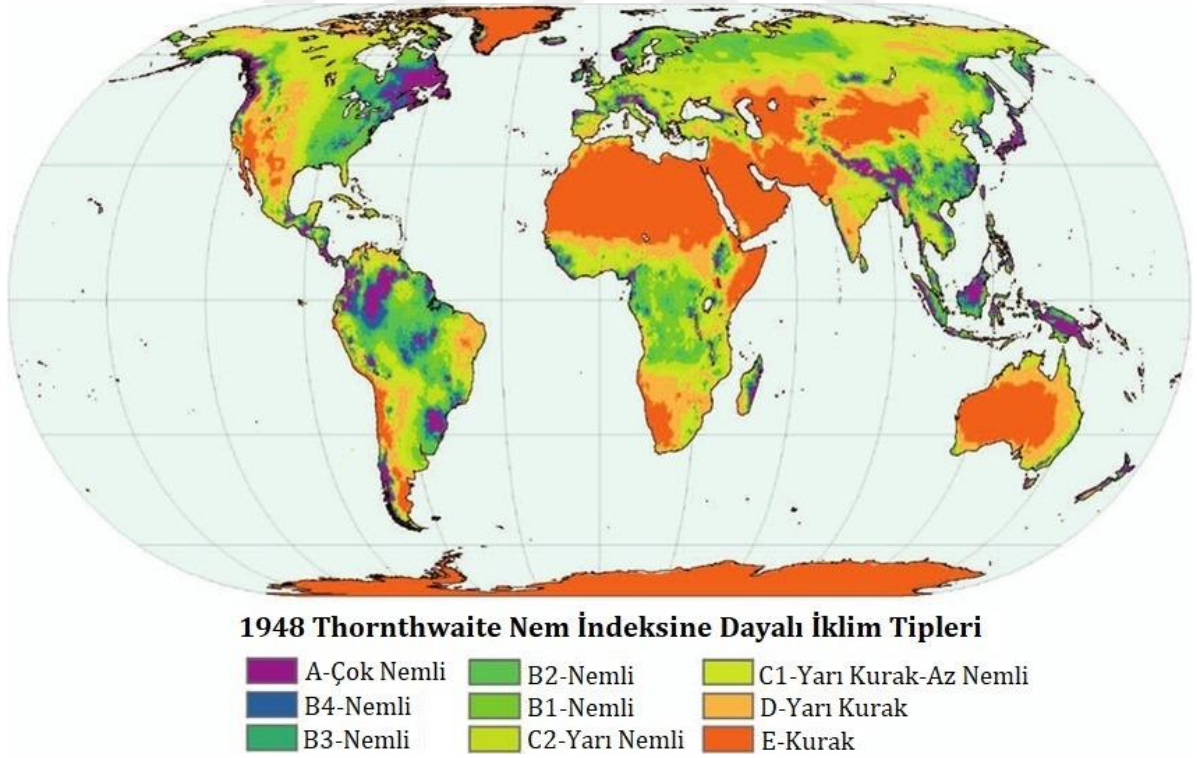


Şekil 3.4: Araştırma alanında kullanılan tekniklerin uygulama planı.

Akdeniz ülkeleri ve Türkiye'nin iklimi, Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre incelenmiştir. Makroklima ölçeğinde Türkiye, İtalya, Yunanistan, İspanya, Portekiz gibi Akdeniz ülkeleri ile aynı kuşakta yer almaktadır (Özyuvacı, 1999). Bu ülkelerde uygulanan toprak biyomühendisliği yöntemlerinin yine Akdeniz iklim kuşağında olan Türkiye'de uygulanıp uygulanamayacağı araştırılmıştır (Şekil 3.5, Şekil 3.6).



Şekil 3.5: Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi.³



Şekil 3.6: Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre dünya iklimi.⁴

³ (https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thornthwaite.pdf., Erişim tarihi: 20 Aralık 2022).

⁴ (Source: https://www.researchgate.net/publication/250171991_A_Revised_Thornthwaite-Type_Global_Climate_Classification., Erişim tarihi: 20 Aralık 2022).

3.2.1.1. Toprak analizleri

Araştırma kapsamında 2019 ve 2022 yıllarında 18 deneme parselinin her birinden uygulama öncesi (Kasım- Aralık 2019) ve iki vejetasyon dönemi sonrası (Eylül 2022) biri yamacın üst tarafında diğeri alt tarafında olmak üzere 2 noktadan, 0-20 cm derinlikten toplam 36 adet toprak örneği alınmıştır. Uygulama sonrası kullanılan tesislerin etkisi kısa sürede sadece üst toprakta olacağından üst toprak örnekleri alınmış, örnekler laboratuvarda analiz edilerek toprağın; nem analizi, ateşte kayıp, toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), tekstür analizi, erodibilite (toprağın erozyona duyarlılığı), tarla kapasitesi ve kireç içeriği belirlenmiştir. Bu analizler dışında uygulanan köklü fidan dikimi tekniğinde ölü örtü (dökülen yapraklardan ve ölmüş bitki kalıntılarından oluşan toprak örtüsü) oranlarının tayini için her deneme parselinde 50x50 cm'lik 3 alandan örnek alınmıştır.

Analizler İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Orman Fakültesi Havza Yönetimi Anabilim Dalı Laboratuvarında yapılmıştır.

Toprak biyomühendisliği yöntemleri erozyon kontrolunda kullanılmaktadır. Aynı zamanda yapılan işlemler erozyonu önlediğinde burada kullanılan bitkilerin de gelişimini etkilediğinden toprağın su ekonomisini etkileyen koşulları da iyileştirmektedir. Uygulanan yöntemlerin çalışma sürecindeki dönemde toprak koşullarına katkı sağlayıp sağlamadığını belirlemek için toprak analizleri yapılmıştır.

Toprak analizleri sonucunda elde edilen verilerin analiz edilebilmesi için, SPSS 26 (Statistical Package for Social Science) paket programı kullanılmıştır. Toprak analizlerinin Kasım 2019 ve Eylül 2022 tarihlerine göre farklılık gösterip göstermediğini tespit etmek için t-testi yapılmıştır. Toprak analiz sonuçları hakkında genel bilgileri öğrenebilmek amacıyla frekans analizi yapılmış, analizlerde anlamlılık düzeyi için %95 güven aralığı ($p < 0,05$) kullanılmıştır.

Ateşte kayıp: 550C° de 3 saat süresince yakılan örnekler üzerinde % olarak saptanmıştır (Howard ve Howard, 1990).

Toprak reaksiyonu (pH)-Elektriksel iletkenlik (EC): 1/5 toprak-su oranı kullanılarak hazırlanan çözeltilerde portatif WTW Multi340i cihazı ile ölçülmüştür.

Tekstür: Bouyoucos Hidrometre metoduna göre yapılmış ve USDA (Uluslararası Toprak Tekstür Üçgeni) kullanılarak toprak tekstürü belirlenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Tekstür analizi.

Toprağın aşınabilirliğini ölçmek amacıyla erodibilite indekslerinden dispersiyon oranı, Bouyoucos Hidrometre metoduna göre tekstür analizinde belirlenen dispersleşmiş ve dispersleşmemiş toz kil oranı kullanılarak, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Dispersiyon oranı, 15'ten büyükse toprak erozyona duyarlı, 15'ten küçük ise toprak erozyona dayanıklı olarak değerlendirilmiştir (Özhan, 2004).

$$\text{Dispersiyon Oranı} = \frac{\% \text{ Toz} + \% \text{ Kil (Dispersleştirilmemiş)}}{\% \text{ Toz} + \% \text{ Kil (Dispersleştirilmiş)}} \times 100$$

Tarla kapasitesi: ICE-Model CS International santrifüjde 1/3 atm. basınç altında 30 dk santrifüje edilen ve çıkarılan nemli toprak örnekleri tartılmış, aynı örneklerin 105 °C'deki kuru ağırlıkları belirlenerek ağırlıklar arasındaki farktan nem yüzdeleri bulunmuştur (Özyuvacı, 1976).

Toprakların kireç içerip içermediği örnekler üzerine %10'luk hidroklorik asit (HCl) damlatılarak köpürme var ise toprağın kireç içerdiği, köpürme yok ise toprağın kireç içermediği sonucuna varılmıştır. Köpürmenin şiddetine göre az, orta ve çok köpürenler sırasıyla az, orta ve çok kireçli, köpürmeyenler kirecsiz olarak sınıflandırılmıştır.

3.2.1.2. Belirlenen Toprak Biyomühendisliği Tekniklerinin Uygulanması

Araştırma alanında çıplak köklü fidan dikimi, kaplı fidan dikimi ve ot tohumu ekimi ile Türkiye'de daha önce uygulanmamış olan canlı dal demetleri ve canlı yamaç ızgarası olmak üzere beş toprak biyomühendisliği tekniği uygulanmış, bir parsel kontrol amaçlı boş bırakılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Araştırma alanında belirlenen tekniklerin uygulandığı parseller (Mart 2020).

Canlı dal demetleri

Dal demetleri için ılgın (*Tamarix tetrandra* Pall. ex M.Bieb.) çelikleri Kuzey Marmara Otoyolu (3. Boğaz köprüsü dahil) Kınalı - Odayeri kesiminden alınarak aynı gün içinde araştırma alanına getirilmiştir. 2 metre ara ile genişliği ve derinliği 20-30 cm olan eş yükselti eğrilerine paralel 6 sıra hendek açılmıştır. Dallardan 20-30 cm çapında ve 3 m uzunluğunda 50 cm ara ile bağlanarak oluşturulan demetler hendeklere yerleştirilmiş 100 cm ara ile çakılan 50 cm boyunda 4-8 cm kalınlığındaki kazıklarla sabitlenmiştir. Her bir demet için en az 5-10 adet canlı ılgın çeliği kullanılmıştır. Demetlerin hendeklere yerleştirilmesinin ardından demetlerin üzeri hendeğin toprak ile örtülmüştür (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Canlı dal demetlerinin hazırlanması (a) hendeklere yerleştirilmesi (b), kazıklarla sabitlenmesi (c) üzerinin kapatılması (d).

Çıplak köklü fidan dikimi

Araştırma alanında Lüleburgaz orman fidanlığından sağlanan 3+0 yaşında 130 adet çıplak köklü yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) fidanı kullanılmıştır. Yalancı akasya fidanlarının gövdeleri 30-40 cm boyunda budanmış ve 50x50 cm ara ile üçgen tasarımda dikilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Köklü yalancı akasya fidanlarının budanması ve dikimi.

Canlı yamaç ızgarası

Araştırma alanında ızgaraların yapımında 5x10 cm ve 10x10cm kesitlerindeki çıkma kalaslar kullanılmıştır. Bir parseldeki ızgara dış çerçevede 10x10cm boyutundaki kalaslar, iç bölümlerde 5x10 cm boyutundaki kalaslar ile oluşturulmuştur. İç bölümde ızgara yatay aralığı 1,5 m, eğim yönündeki ızgara aralığı 2 m alınmıştır. Izzaraların toprağı a teması sağılanmış ve 60 cm uzunluğunda kesilmiş ve J şeklinde kıvrılmış demirler ile 12 yerden toprağı a sabitlenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11:Yamaç ızgaralarının hazırlanması ve demirlerle sabitlenmesi.

Yatay elemanların hemen üzerine 30 adet tüplü ateş dikenı (*Pyracantha coccinea* M. Roem) fidanı 70 cm ara ile her sıraya 6 adet dikilmiş ve kök gelişiminin daha hızlı olması için 10-15 cm boyunda budanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Ateş dikeneni fidanlarının dikimi (a, b) ve budanması (c, d).

Kaplı fidan dikimi

Araştırma alanında 50x75 cm aralık- mesafe ile 91 adet kaplı fidan üçgen tasarım ile dikilmiştir. Dikimde yayılcı ardıç (*Juniperus horizontalis* Moench) fidanı kullanılmış ve ardıçlar 30 cm boyunda budanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Tüplü yayılcı ardıç fidanlarının dikimi ve budanması.

Ot tohumu ekimi ile bitkilendirme

Ot tohumu ekimi ile bitkilendirme amacıyla metrekaareye 30 g karışık tohum uygulanmıştır. Türkiye’de ağaçlandırma projelerinde çizgi ekimi uygulandığından deneme parselinde 10 cm ara ile çizgi ekimi yöntemi uygulanmıştır. Ot karışımı; %40 *Festuca arundinacea*, %25 *Lolium perenne*, %20 *Dactylis glomerata* %10, *Phleum pratense*, %5 *Trifolium repens*’ten oluşmaktadır.

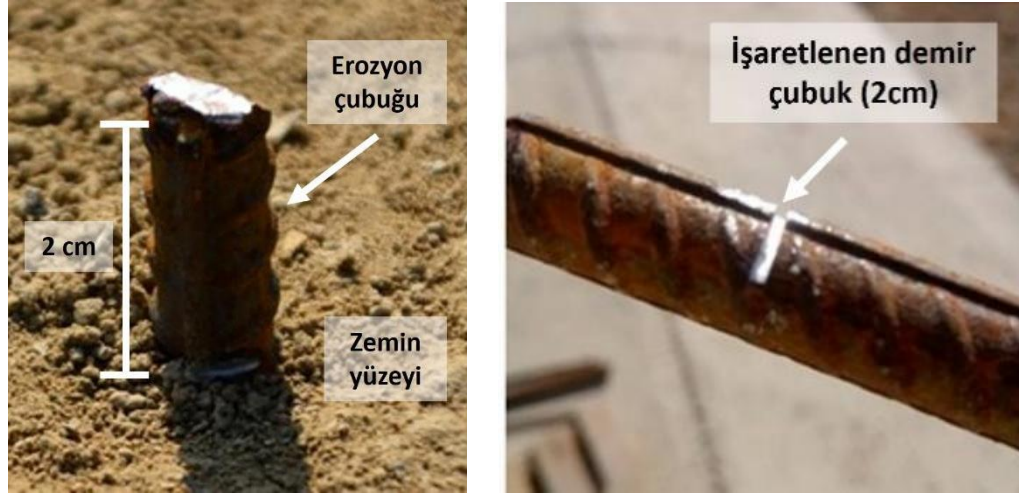
Kontrol parseli

Deneme parsellerindeki değişimi ortaya koymak için üç parsel kontrol parseli olarak boş bırakılmıştır.

3.2.2. Yersel Yöntemle Ölçüm ve İzleme

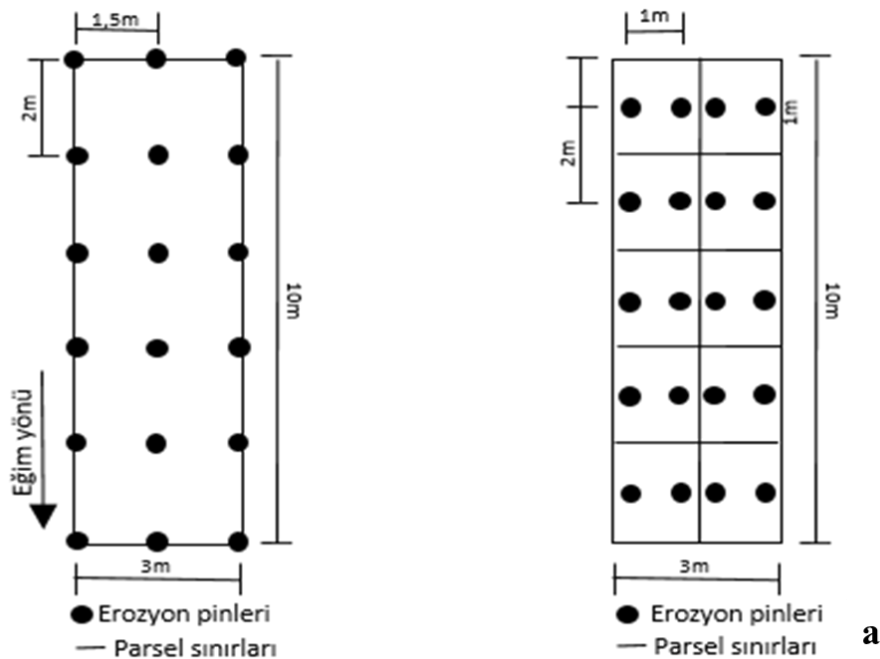
Çok sayıda çalışmada kullanılan erozyon çubukları ile ölçüm, yamaçlardaki toprak erozyonu ve birikimini belirlemek için kullanılan en etkili, en basit ve en ucuz yöntemlerden biridir (Benito ve diğ., 1992; Díaz-Fierros ve diğ., 1987; Edeso ve diğ., 1999; Haigh, 1977; Hancock ve Lowry, 2015; Shi ve diğ., 2011; Sirvent ve diğ., 1997). Birçok çalışmada erozyon çubuklarının kullanılmasının nedeni, pratik kullanımıyla kısa vadede yüksek doğruluk payında sonuçlar ortaya çıkarmasıdır (Tüfekçioğlu, 2018).

Özhan (2004); erozyon ölçme yöntemleri arasında saydığı demir çubuklar yardımı ile erozyon miktarının belirlenmesini “arazi yüzeyinin değişik noktalarına demir çubuklar çakılarak çubuğun en üst yüzeyi ile toprak yüzeyi aynı düzeye getirilir. Belirli aralıklarla bu çiviler kontrol edilerek derinlik farkı belirlenir ve taşınan toprak miktarı daha önce belirlenmiş olan iki yüzey arasındaki farklardan yararlanmak suretiyle hesaplanır” şeklinde açıklamaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Erozyon çubuğu (pini).

Çalışmada erozyonu ölçmek için erozyon çubukları kullanılmıştır. Taşınan toprak miktarının değişip değişmediğini bulmak için toprağa 30 cm uzunluğunda 330 adet demir çubuk (30 cm uzunluğunda, 10 mm çapında) çakılmıştır. Bu amaçla, yamaç ızgarası yönteminin uygulanacağı parsel dışındaki her bir parsel için eğim yönünde 2m, yatayda 1,5 m aralıklarla 18 adet demir çubuk, yamaç ızgarası yönteminin uygulanacağı parselde ise 20 adet demir çubuk, 28 cm'lik kısmı toprağa çakılı 2 cm'lik kısmı toprak üzerinde görünür şekilde toprağa çakılmıştır. Toprak üzerinde kalan 2 cm'lik kısım, toprak aşınmasını izlemek amacıyla demir testeresi ile 1-2 mm derinliğinde kesilerek işaretlenmiştir. Toprak aşınma miktarı bu işarete göre ölçülmüştür (Şekil 3.14, Şekil 3.15).





b

Şekil 3.15: Erozyon çubuklarının deneme parsellerine yerleştirilmesi; planı(a) görünümü (b).

Çalışma uygulamayı izleyen iki vejetasyon dönemi boyunca izlenmiştir. Topraktaki aşınma 330 erozyon çubuğu için her ay ölçülmüştür. İki dönem sonunda uygulanan tekniklerin başarı oranları; toprak aşınma miktarları ve toprak analizleri sonucunda elde edilen veriler ile değerlendirilmiştir.

Verilerin analizinde SPSS 26 paket programı kullanılmıştır. Sayısal değişkenlerde (*toprak aşınma miktarı*) normal dağılım çarpıklık değerleri hesaplanarak bulunmuştur. Sayısal verilerin normal dağılıma uygunluğuna çarpıklık değerlerine göre karar verilmiştir. Normal dağılım kurallarına göre çarpıklık değerlerinin $\pm 1,5$ arasında olması gerekmektedir (Tabachnick ve Fidel, 2013). Kullanılan yöntemlerin parsellere göre toprak aşınma miktarları arasında anlamlı farklılık olup olmadığını test etmek için One Way Anova testi kullanılmıştır. Gruplar arasındaki farklılıkta Tukey HSD Testi kullanılmıştır. Tüm çalışmada anlamlılık düzeyleri 0.05 ve 0.01 değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. İnsansız Hava Aracı ile İzleme

Araştırma sahasında öncelikle yer kontrol noktaları (YKN) belirlenmiş, ardından belirlenen YKN'lerin koordinatları jeodezik GPS ile alınmıştır. Uçuşlar DJI Mavic 2 pro cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Fotoğraflar Pix4d programında çift ızgara (grid) yöntemi kullanılarak 30 m yükseklikten 80 derece kamera açısıyla enine (%85) ve boyuna (%75) bindirmeli olarak çekilmiştir. Analiz sırasında 5 adet YKN kullanılmıştır.

Tez iş akışı Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2: Tez iş akışı

GİRİŞ	- Araştırmanın amaç ve kapsamının belirlenmesi - Araştırmanın hipotezi ve özgünlük değeri - Metodoloji ve yaklaşım
KAVRAMSAL ÇERÇEVE	- Konuya ve metoda ilişkin literatür araştırması - Araştırma alanında uygulanacak tekniklerin belirlenmesi - Araştırma konusuna ilişkin yöntem ve araştırma aşamalarının belirlenmesi
YÖNTEM	- Araştırma alanının tanıtımı - Araştırma alanında belirlenen tekniklerin uygulanması - Toprak analizleri - Yersel yöntemle ölçüm ve izleme - İHA ile izleme
BULGULAR	- Arazi çalışmasının sonuçları - Türkiye’de kullanılan toprak biyomühendisliği yöntemleri
TARTIŞMA	- Türkiye’de toprak biyomühendisliği tekniklerinin uygulanma potansiyelinin tartışılması - Türkiye’de uygulanan tekniklerin başarı durumlarının tartışılması - Araştırma alanında uygulanan toprak biyomühendisliği tekniklerinin başarı durumlarının ve elde edilen diğer bulguların literatür ile birlikte tartışılması.
SONUÇ VE ÖNERİLER	- Bulgular - Çalışmanın özgün değeri ve sürdürülebilirliği - Öneriler

4. BULGULAR

Bu bölümde tez kapsamında Çatalca'daki bir otoyol şevinde gerçekleştirilen toprak biyomühendisliği uygulamasının sonuçlarına ve Türkiye'de kullanılan bazı erozyon kontrol/toprak biyomühendisliği yöntemlerine ilişkin bulgulara yer verilmiştir.

Toprak kaybının miktarını gösteren veriler, bitkilendirme başarısı ve toprak analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

4.1. TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ UYGULAMASININ SONUÇLARI

4.1.1. Erozyon Miktarının Belirlenmesi

Araştırma kapsamında deneme parsellerindeki erozyon miktarı, yersel yöntemle ve insansız hava aracı ile izleme olarak iki farklı yöntemle belirlenmiştir:

4.1.1.1. Yersel Yöntemle Erozyon Miktarının İzlenmesi

Yersel yöntemle izlemede kullanılan demir çubuklardan özellikle yamaç topuğunda bulunanlar zaman içinde erozyon sonucunda sedimentle gömülmüştür. Bu çubukların ölçü oyukları dikkate alınarak yanlarına daha uzun demir çubuklar çakılmış ve ölçüme devam edilmiştir. Bitkilerin büyümesi nedeni ile ölçümler zorlaştığında budanarak ölçüme devam edilmiştir Taşınan toprak yükseklik olarak verilmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: Aylık ortalama taşınan toprak miktarı.

	Uygulanan Yöntem					Kontrol ^f
	Çıplak köklü fidan dikimi Yalancı akasya ^a	Tüplü fidan dikimi/Yayılcı Ardıç ^b	Canlı yamaç ızgarası/Ateş diken ^c	Ot tohum ekimi ^d	Canlı dal demetleri/İlgün ^e	
Ort.(cm) ±S.S.	1,65±1,72	2,79±2,81	2,74±1,53	0,98±2,24	1,18±2,26	2,58±2,11
Test istatistiği	p=0,06** Fark: b,c>a,f>d,e					

Parsellerdeki ortalama aşınma miktarları en az aşınma miktarından en çok aşınma miktarına göre sıralama şöyledir; ot parsellerinde 0,98 cm, canlı cal demeti (ılgın) parsellerinde 1,18cm, çıplak köklü fidan dikimi (yalancı akasya) parsellerinde 1,65 cm, kontrol parsellerinde 2,58 cm,

canlı yamaç ızgarası (ateş diken) parsellerinde 2,74 cm, tüplü fidan dikimi (yayılcı ardıç) parsellerinde ise 2,79 cm'dir.

4.1.1.2. İnsansız Hava Aracı ile İzleme

Araştırma alanı Eylül 2020- Ekim 2022 tarih aralığında 15 kez İHA (insansız hava aracı) ile görüntülenmiş ve ortofoto haritalar oluşturulmuştur (Şekil 4.1- 4.3).

İHA ile alımlar; 3 Eylül 2020, 5 Ekim 2020, 31 Ekim 2020, 4 Aralık 2020, 14 Ocak 2021, 25 Şubat 2021, 20 Nisan 2021, 30 Mayıs 2021, 13 Temmuz 2021, 21 Ağustos 2021, 22 Eylül 2021, 26 Şubat 2022, 27 Mayıs 2022, 23 Temmuz 2022 ve son olarak 25 Ekim 2022 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1:Eylül 2020 İHA ile üretilen ortofoto harita.

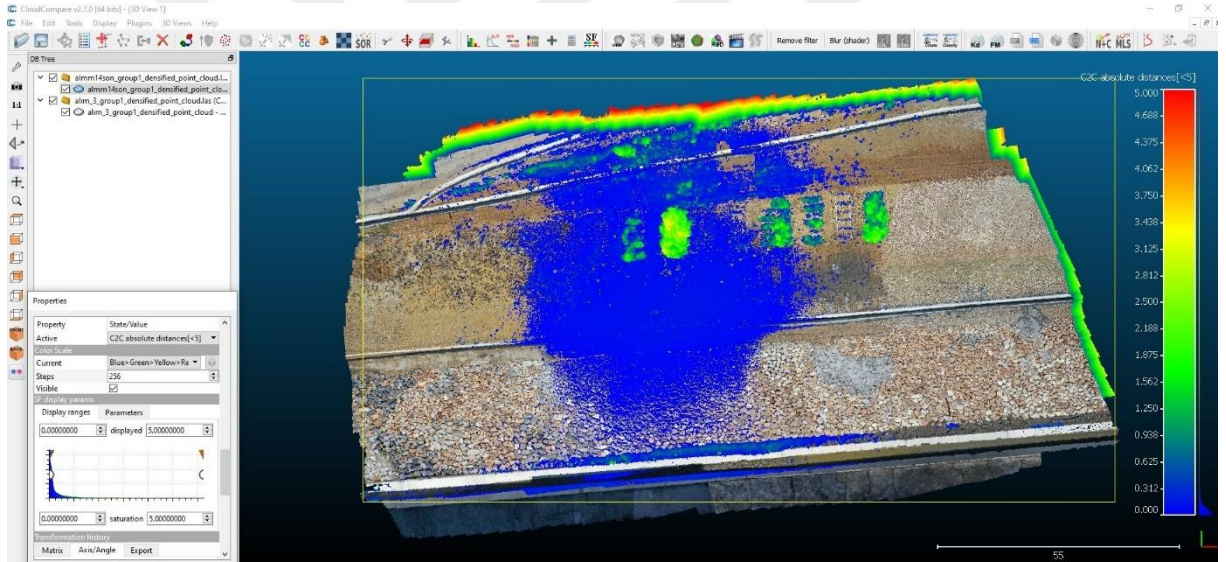


Şekil 4.2:Ağustos 2021 İHA ile üretilen ortofoto harita.

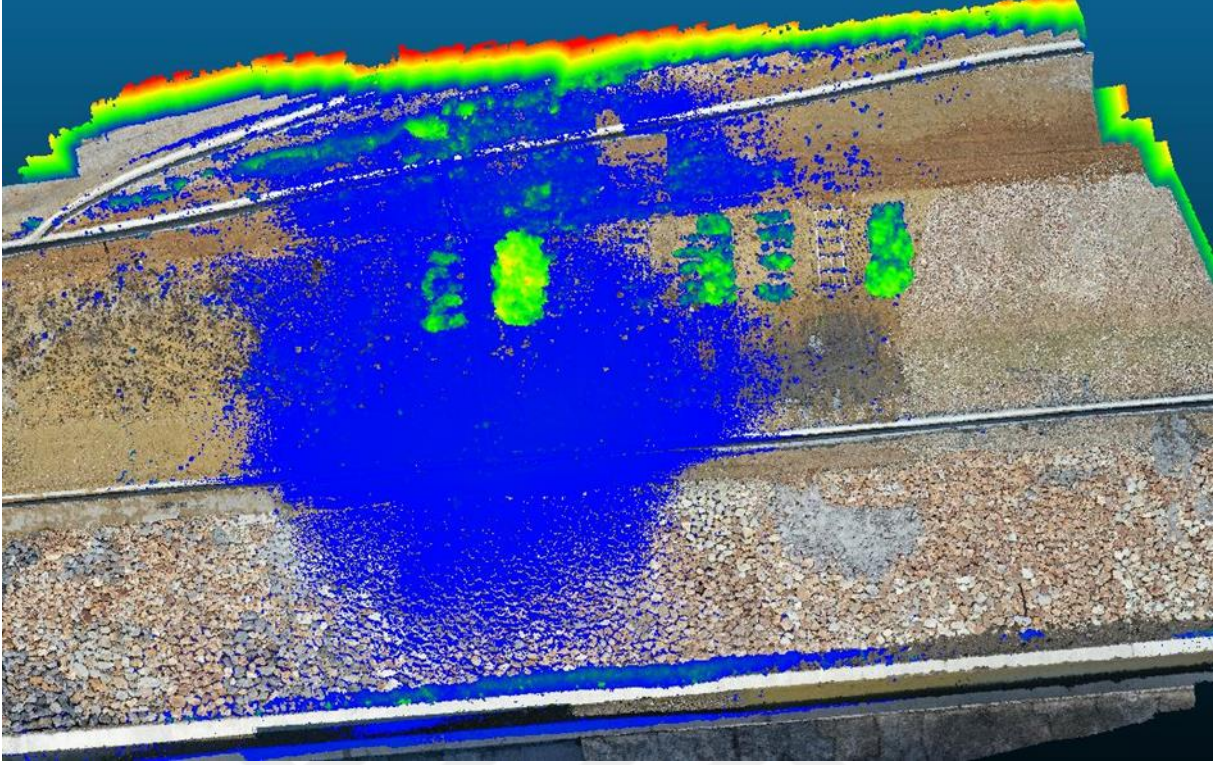


Şekil 4.3: Temmuz 2022 İHA ile üretilen ortofoto harita.

Cloud Compare programında karşılaştırılan Ekim 2020 ve Temmuz 2022 aralığındaki iki görüntü arasındaki yüzeydeki genel değişim Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Cloud Compare programında nokta bulutlarının karşılaştırılması.

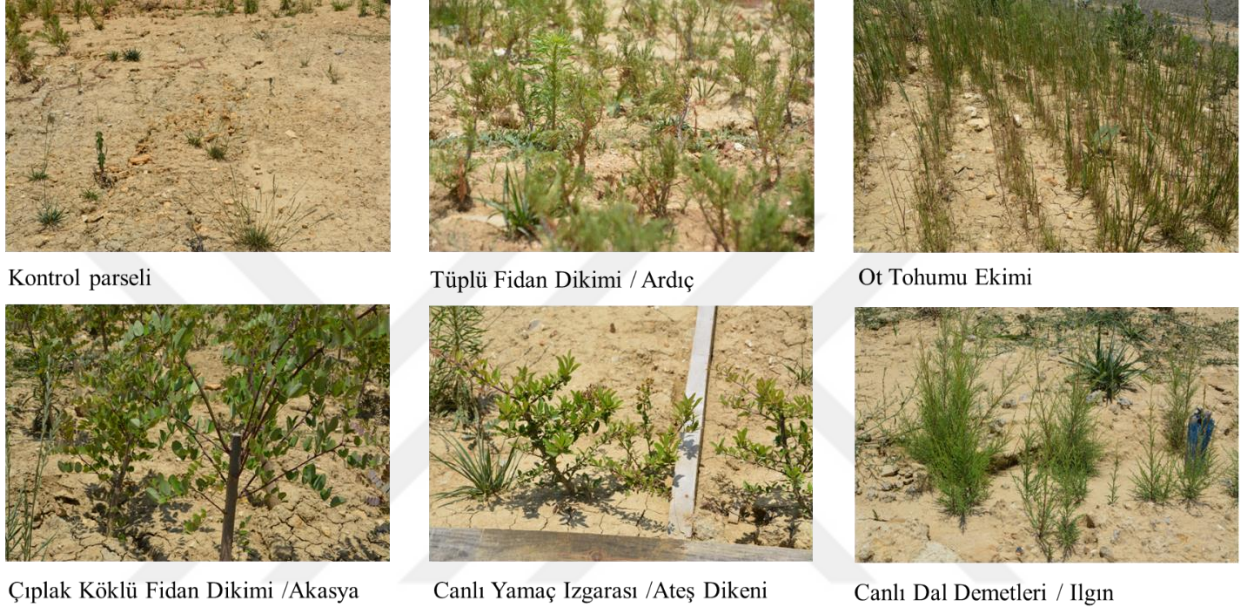


Şekil 4.5: Cloud Compare programında nokta bulutlarının karşılaştırılması.

Her deneme parseli içindeki yüzeysel değişimleri belirlemek amacıyla ERDAS Imagine 2015 yazılımı “Point Cloud” araçları kullanılmıştır. Değişik toprak biyomühendisliği yöntemleri uygulanan parsellerde meydana gelen aşınma/birikme miktarları hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Ekim 2020 ve Temmuz 2022 İHA görüntüleri kullanılmıştır. Bu yöntemle, üzerinde bitki örtüsü bulunmayan alanlarda aşınma/birikme miktarları tespit edilebilmektedir. Ancak elde edilen sonuçlar yersel ölçüm değerleri ile ilişkilendirilememiştir. Bunun nedeni deneme parsellerinde kullanılan bitkilerin süreç içerisinde parseli tamamen veya kısmen kapatmasından dolayı İHA görüntülerinden üretilen nokta bulutu verisinin yer yüzeyini temsilde yetersiz kalmasıdır. İHA nokta bulutu verisi vejetasyon örtüsünün üstünden gelen yansılardan oluştuğu için zemin yüzeyindeki değişimlere ait veri elde edilememiştir.

4.1.2. Bitkilendirme Başarısının İzlenmesi

Deneme parsellerinde uygulanan toprak biyomühendisliği tekniklerinin ve bitkilerin başarısı her ay izlenmiştir (Şekil 4.6- 4.13). Çıplak köklü fidan dikimi, tüplü fidan dikimi ve canlı yamaç ızgarası tesislerinde kullanılan yayılcı ardıç, yalancı akasya ve ateş dikenini fidanlarının sayılarını ve sağlıklarını izleme sonuçlarına göre, tüm fidanların hayatta kalma oranları (Schlüter, 1971'den Lammeranner ve diğ., 2005)'in belirttiği eşik değeri %70'in üzerindedir.



Şekil 4.6: Deneme parselleri genel görünüm (Haziran 2020).



Şekil 4.7: Deneme parselleri genel görünüm (Eylül 2020).



Kontrol parseli



Tüplü Fidan Dikimi / Ardıç



Otlar Ekimi



Çıplak Köklü Fidan Dikimi / Akasya



Canlı Yamaç İzgarası / Ateş Dikeni



Canlı Dal Demetleri / Ilgın

Şekil 4.8: Deneme parselleri genel görünüm (Aralık 2020).



Kontrol parseli



Tüplü Fidan Dikimi / Ardıç



Otlar Ekimi



Çıplak Köklü Fidan Dikimi / Akasya



Canlı Yamaç İzgarası / Ateş Dikeni



Şekil 4.9: Deneme parselleri genel görünüm (Mayıs 2021).



Şekil 4.10: Deneme parselleri genel görünüm (Eylül 2021).



Kontrol parseli



Tüplü Fidan Dikimi / Ardıç



Genel görünüm



Çıplak Köklü Fidan Dikimi /Akasya

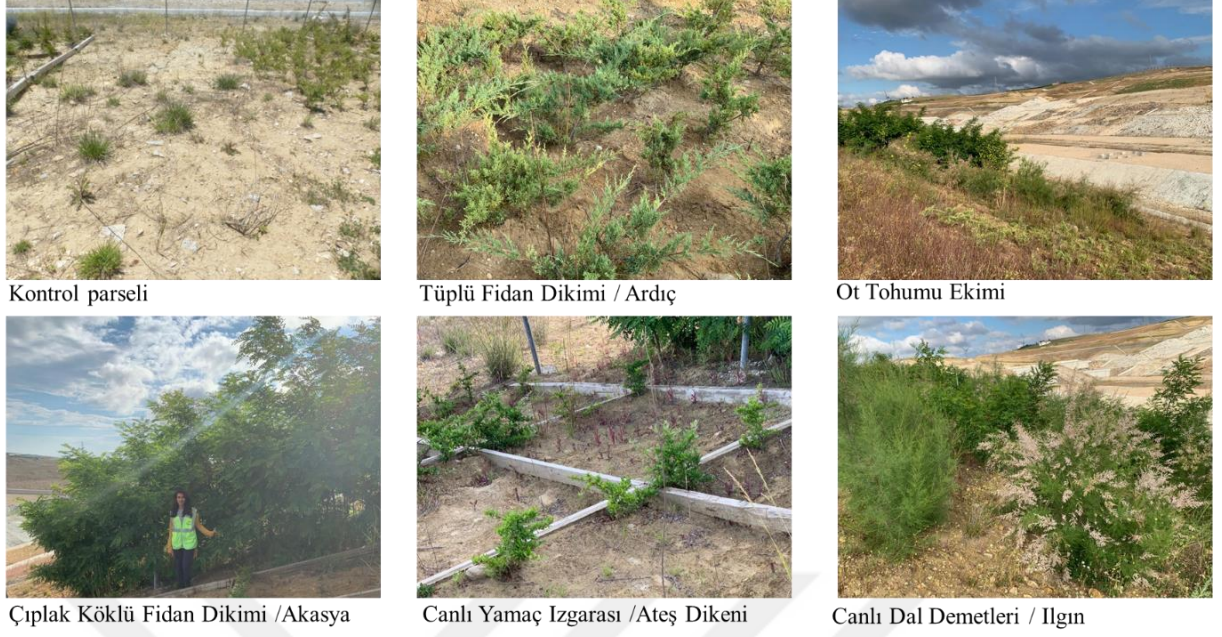


Canlı Yamaç İzgarası /Ateş Dikeni



Canlı Dal Demetleri / Ilgın

Şekil 4.11: Deneme parselleri genel görünüm (Aralık 2021).

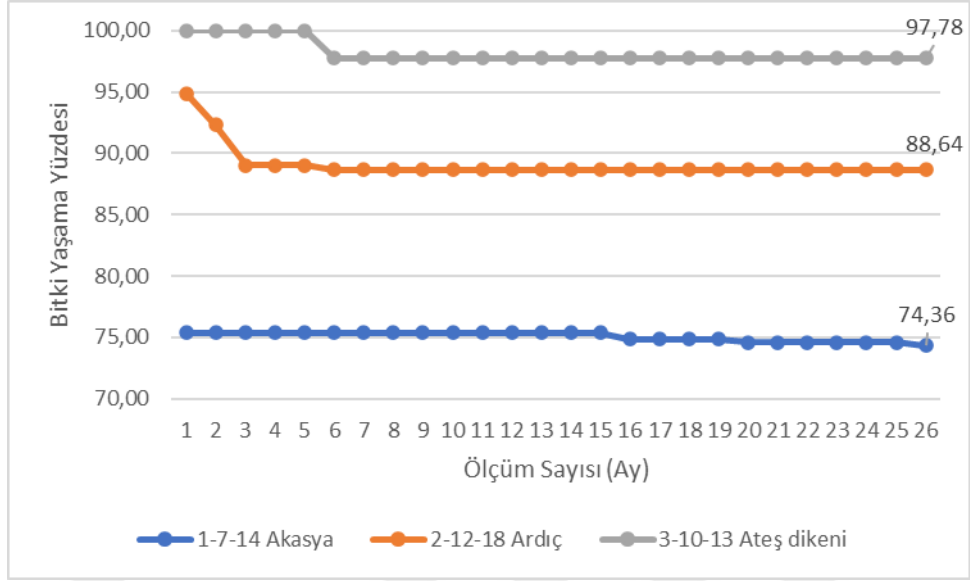


Şekil 4.12: Deneme parselleri genel görünüm (Haziran 2022).



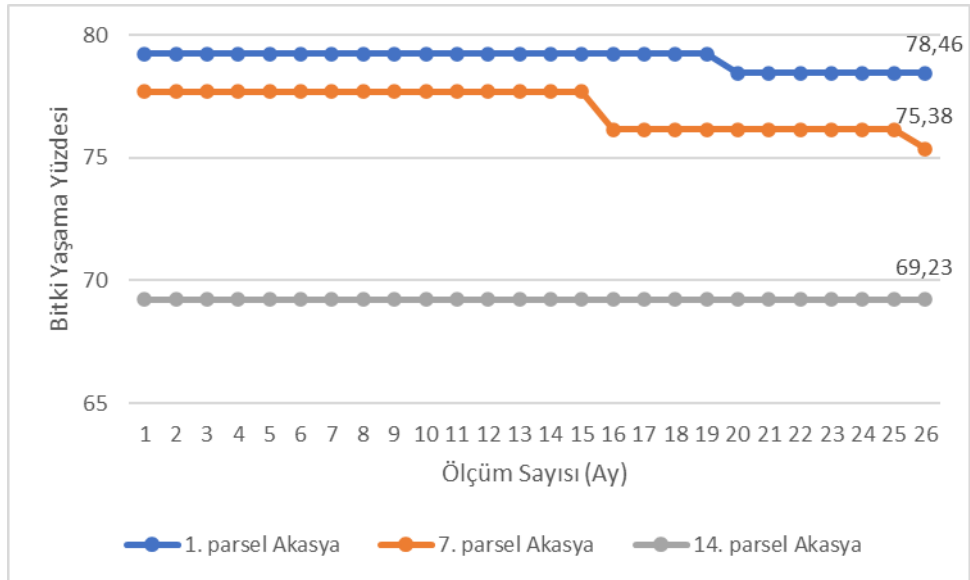
Şekil 4.13: Deneme parselleri genel görünüm (Ekim 2022).

Dikilen fidanların yaşama yüzdeleri; izleme döneminin başında ve sonundaki ölçümlere göre; *Robinia pseudoacacia* L. (yalancı akasya) için % 74,36, *Juniperus horizontalis* Moench (yayılcı ardıç) için % 88,64, *Pyracantha coccinea* M.Roem. (ateş diken) için % 97,78'dir (Şekil 4.14).



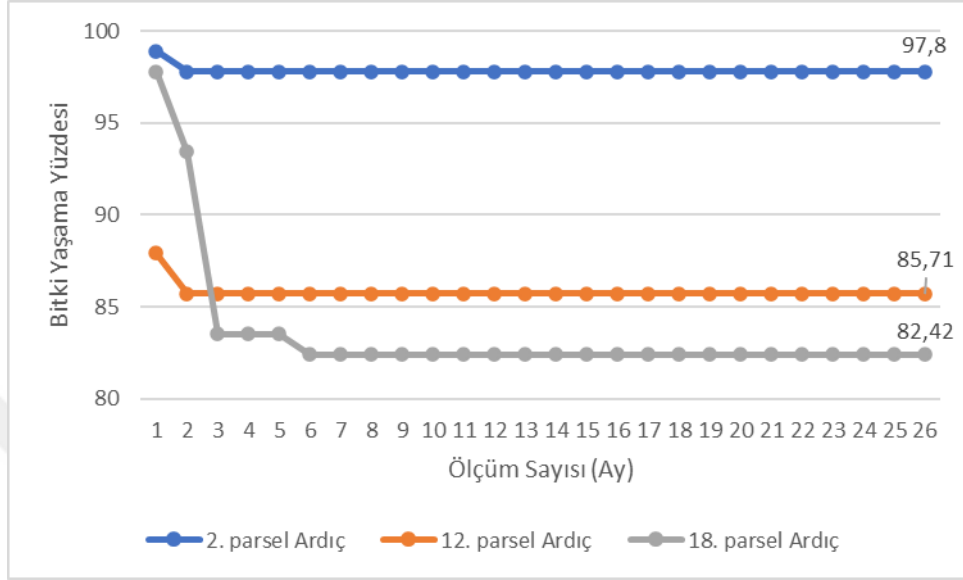
Şekil 4.14: Fidanların yaşama yüzdeleri.

1. ölçüm (18 Temmuz 2020) sırasında, 14. parselde bulunan yalancı akasya sayılarındaki düşüş sahadaki inşaat faaliyetlerinden dolayı 30 yalancı akasya fidanının zarar görmesinden kaynaklanmaktadır. Çıplak köklü fidan dikim parsellerindeki fidan yaşama yüzdeleri 1. parsel için %78,46, 7. parsel için %75,38, 14. parsel için %69,23'tür. (Şekil 4.15). Bu zarar dışında yalancı akasya parsellerinin başarı durumları değerlendirildiğinde ise başarı durumu %80,56 olarak kabul edilmiştir.



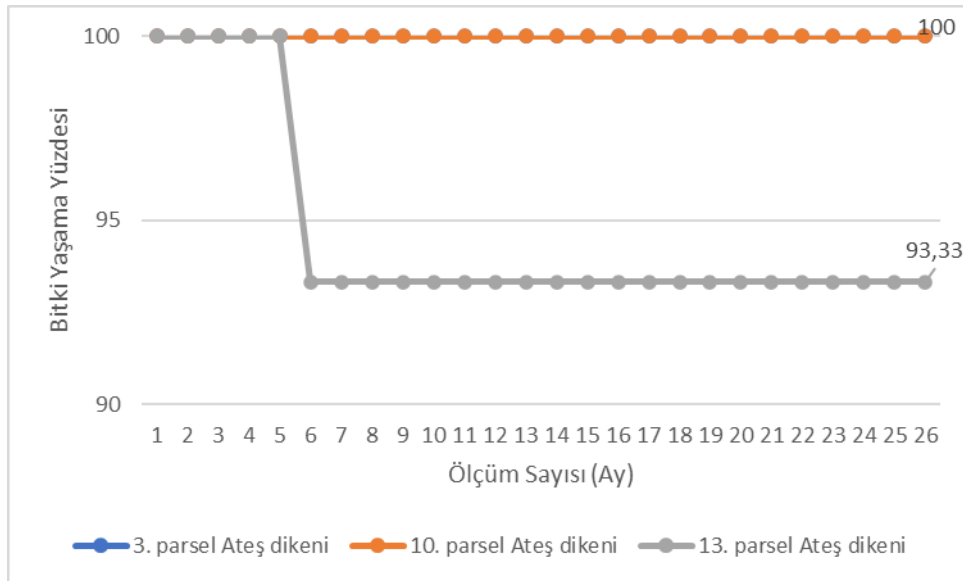
Şekil 4.15: Yalancı akasya fidanlarının yaşama yüzdeleri.

Yayılcı ardıç dikim parsellerindeki azalmalar bitki kurumaları nedeniyle olmuştur. Tüplü fidan dikim parsellerindeki fidan yaşama yüzdeleri 2. parsel için %97,8, 12. parsel için %85,71, 18. parsel için %82,42'dir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Yayılcı ardıç fidanlarının yaşama yüzdeleri.

1. ölçüm (18 Temmuz 2020) sırasında, 13. parselde bulunan ateş dikenini sayılarındaki düşüş sahadaki inşaat faaliyetlerinden dolayı 2 fidanın zarar görmesinden kaynaklanmaktadır. Canlı yamaç ızgarası tesis edilen parsellerdeki fidan yaşama yüzdeleri 3. ve 10. parsel için %100, 13. parsel için %93,33'tür (Şekil 4.17). Bu zarar dışında ateş dikenini parsellerinin başarı durumları değerlendirildiğinde ise başarı durumu %100 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.17: Ateş dikenini fidanlarının yaşama yüzdeleri.

Ot tohumu ekilen parsellerde sıralarda herhangi bir eksilme olmamış otlar tüm yüzeyi kaplamıştır. Canlı dal demeti uygulanan parsellerde ılgın çeliklerinin tamamı gelişmiştir.

Dikilen fidanların yaşama yüzdeleri farklılık göstermiştir. Yaşama yüzdesi ortalamaları; yalancı akasya için %75, yayılıcı ardıç için %89, ateş dikenini için %98'dir. Fidanların yaşama yüzdeleri arasındaki bu farklar istatistiksel açıdan önemlidir ($p < 0,05$).

4.1.3. Toprak Analiz Sonuçları

Araştırma sahasının 2019 ve 2022 yıllarındaki toprak analiz sonuçlarına göre ölçüm döneminin sonunda toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), tarla kapasitesi değerleri değişmemiştir. Toprağın organik madde içeriğinde de kayda değer bir artış gözlenmemiştir (Tablo 4.2).

Aynı toprak özelliğini gösteren ve aynı üstel ifadelerle sahip ortalamalar arasında yıllara göre istatistiksel anlamda önemli bir farklılık yoktur ($p > 0,05$).

Tablo 4.2: Araştırma alanının genelinde bazı toprak özelliklerine ait ortalamaların (ortalama ve standart hata) karşılaştırılması.

Yıllar	Toprak Analizleri							
	pH		EC		Tarla Kapasitesi		Ateşte Kayıp	
	Ort.	S.H.	Ort.	S.H.	Ort.	S.H.	Ort.	S.H.
2019	8,37 ^{a*}	± 0,02	183,66	± 8,46	32,68 ^{a*}	± 1,85	12,95 ^{a*}	± 0,91
2022	8,39 ^{a*}	± 0,04	155,03	± 4,19	28,57 ^{a*}	± 1,74	12,48 ^{a*}	± 0,70
p	,635		,004*		,110		,679	

* $p < 0,05$

4.2. TÜRKİYE'DE UYGULANAN BAZI TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ YÖNTEMLERİ

Türkiye’de toprak biyomühendisliği tekniklerinin bir kısmı (örme çit, kordon, sulu ekim, kuru ekim) Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından erozyon kontrolünde kullanılmaktadır. Ancak toprak biyomühendisliğinin ülkemizde sıklıkla kullanılmayan teknikleri de bulunmaktadır. Araştırmanın ikinci bölümünü Türkiye’de toprak biyomühendisliği çerçevesinde uygulanan yöntemleri belirlemek oluşturmaktadır. Bu kapsamda OGM Toprak Muhafaza ve Havza Islahı Dairesi Başkanlığı, Ağaçlandırma Dairesi Başkanlığı ve bölge müdürlüklerindeki birimler (Ağaçlandırma Etüt ve Proje Şube Müdürlüğü, Ağaçlandırma ve Silvikültür Şube Müdürlükleri, Toprak Muhafaza ve Erozyon Kontrolü Şube Müdürlüğü) ile

görüülerek Türkiye genelinde kurak ve yarı kurak bölgelerdeki bazı ağaçlandırma ve erozyon kontrolu uygulama alanları belirlenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Türkiye’de incelenen erozyon kontrol alanları.

Bazı alanlar için uygulama aşamasında çalışmış kişilerle görüşülmüş böylece Türkiye’de yapılan bazı toprak biyomühendisliği çalışmalarına ait mevcut durum incelenmiştir. İncelenen alanlardan bir tanesi İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Orman Fakültesi tarafından diğerleri OGM tarafından uygulanmıştır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Türkiye’de incelenen erozyon kontrol alanları.

Projenin/Proje Sahasının Adı:	Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy)
Çubuk Maden Sahası Rehabilitasyon Projesi	Ankara/ Çubuk / Ovacık Köyü
Faaliyet Süresi Bitmiş Maden Sahalarının Rehabilitasyon Projesi	
Gökçeyurt Model Eğitim Sahası	Ankara / Gökçeyurt
Gökçeyurt Erozyon Kontrolu Uygulama Revizyon Projesi	
İnöz Sel Kontrolu Uygulama Projesi	Ankara/ Beypazarı/ (Başören- Boyalı- Geyikpınar-Beypazarı Merkez)

Tablo 4. 3 (devam): Türkiye’de incelenen erozyon kontrol alanları.

Hırkatepe Köyü Sel Kontrolü Uygulama Projesi	Ankara/ Beypazarı/ Hırkatepe Köyü
Oltan Çok Amaçlı Uygulama Projesi	Ankara/ Beypazarı/ Ayaş
Yalnızçam Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Ankara/ Beypazarı/ Yalnızçam
Seben Sel Kontrolü Projesi	Bolu/Seben/ Çatak- Kaşbıyıklar- Nimetli
Seben Ağaçlandırma Projesi	
Çatak Sel Kontrolü Projesi	
Kaşbıyıklar Ağaçlandırma Projesi	
Nimetli Erozyon kontrolu uygulama projesi	
Burdur Çevresi Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Çalışmaları	Burdur
Çakıt Çayı Erozyon Kontrolü Projesi	Niğde / Ulukışla, Bor ve Pozantı / 39 Köy
Adana Ağyatan Kumul Tespit Projesi	Adana / Karataş /Adalı-Bebeli
Acıdere-2 Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi	Mersin / Mut /Palantepe-Köçelerli-Kumçukuru
Mut Göksu Havzası- Acıdere Havzası Toprak Muhafaza Uygulama Projesi	Mersin / Mut
Tokat Çakmakdere Erozyon Kontrol	Tokat/Merkez ilçesi/ Hasanbaba
Tokat Behzat Deresi Erozyon Kontrol	Tokat/Merkez/13 köy
Tokat Behzat Deresi Revizyon Projesi	
Tokat Artova Erozyon Kontrol	Tokat/Artova/ Artova merkez, Çelikli, Tuzla, Kunduz, Kunduzağılı, Salur, Sağlıca
Tokat Merkez Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi	Tokat/Merkez /Hasanbaba, Aluç, Ballıdere, Bakışlı, Ahmetalan, Dedeli
Tokat Günevi Erozyon Kontrol	Tokat/Merkez/Günevi
İğdir Dere Erozyon Kontrol- İğdir Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi Revizyon	Tokat / Artova / İğdir, Salur, Çelikli, İğdir
Yörüklü Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Çorum/ Sungurlu/ Yörüklü, Çayan

Tablo 4. 3 (devam): Türkiye’de incelenen erozyon kontrol alanları.

Çorum İli Sungurlu İlçesi Budaközü Deresi Sol Sahil Yandereleri Sel Kontrol Uygulama Projesi	Çorum/ Sungurlu/ Cevheri, Kemallı, Küçükincesu, Küçük Polatlı, Köm, Merkez, Sungurlu, Yenidoğan Mah.
Uğurludağ Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Çorum/ Uğurludağ / Karaevliya köyü, Merkez dut köyü
Mahmatlı Sel Kontrol Uygulama Projesi	Çorum/ Sungurlu/ Mahmatlı, Arıcı, Çiçekli
Pınarkaya Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Karaman
Karaköydere Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Karaman / Ayrancı /Küçükkoraş
Karaköydere Erozyon Kontrol Uygulama Projesine ait proje revizyonu	
Küçükkoraş- Hoduktepe Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Karaman / Ayrancı /Küçükkoraş
Karapınar Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Konya/ Karapınar
Kartaltepe Ağaçlandırma Projesi	İstanbul /Bayrampaşa
Durusu (Terkos) Kumul Tespit ve Ağaçlandırma Çalışmaları	İstanbul /Arnavutköy
Uluova Mikrohavza Erozyon Kontrol Uygulama Projesi	Elâzığ/ Uluova
Karakaya Orta Sol Sahil Mikro Havza Projesi (Kömürhan)	Elâzığ/ Karakaya

Türkiye genelinde incelenen erozyon kontrol çalışmalarının yerleri, uygulamada kullanılan tesisler ve bitkilendirmede kullanılan türler aşağıda verilmiştir.

Projenin/Proje Alanının Adı: Çubuk Maden Sahası Rehabilitasyon Projesi- Faaliyet Süresi Bitmiş Maden Sahalarının Rehabilitasyon Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Ankara / Çubuk / Ovacık Köyü

Uygulama tarihi: 2015

İnceleme tarihi: 11.10.2021

Kullanılan tesisler: Kafes tel eşik, kafes tel çit teras, tohum ekimi, sulu ekim, fidan dikimi, makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, geonet serilmesi (Şekil 4.19).

Kullanılan türler:⁵ Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Sedir (*Cedrus* sp.), Servi (*Cupressus sempervirens* L.), Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Akçaağaç (*Acer* sp.), Söğüt (*Salix* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Dişbudak (*Fraxinus* sp.), Ardıç (*Juniperus* sp.), Adi kadıntuzluğu (*Berberis vulgaris* L.), İhlamur (*Tilia* sp.), Huş (*Betula* sp.), Ateş dikenini (*Pyracantha* sp.).



Şekil 4.19:Çelik tel ağ (solda), geonet serilmesi (sağda).

Projenin/Proje Alanının Adı: Gökçeyurt Model Eğitim Sahası- Gökçeyurt Erozyon Kontrolü Uygulama Revizyon Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Ankara / Gökçeyurt

Uygulama tarihi: 2013

İnceleme tarihi: 11.10.2021

Kullanılan tesisler: Kuru duvar eşik, kafes tel eşik, kafes tel çit teras, geonet serilmesi, geonet eşik, geonet çit, ahşap eşik, gabion eşik, makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, taş kordon, çalı takviyeli teras, örme çit, el ile teras yapımı, sulu ekim, geosentetik hücre serilmesi, harçlı ıslah sekisi, çuval sedde, fidan dikimi (Şekil 4.20-4.23).

⁵ Bu çalışmalarla ilgili proje kitapçıklarında çoğu durumda bitkilerin sadece Türkçe adları verilmiştir. Latince verilen bitki adlarında da çoğu durumda tür adı belirtilmediği için tür adları verilememiştir.

Kullanılan türler: Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Sedir (*Cedrus* sp.), Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Kokarağaç (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle).



Şekil 4.20: Geonet çit (solda), ahşap kafes (çatma) eşik (sağda).



Şekil 4.21: Çuval sedde (solda), örme çit (sağda).



Şekil 4.22: Kutu gabion eşik (solda), çalı takviyeli teras (sağda).



Şekil 4.23:Geonet- serme geosentetik (solda), geosentetik hücre serilmesi (sağda).

Projenin/Proje Alanının Adı: Seben Sel Kontrolü Projesi - Seben Ağaçlandırma Projesi - Çatak Sel Kontrolü Projesi - Kaşbıyıklar Ağaçlandırma Projesi - Nimetli Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Bolu / Seben / Çatak- Kaşbıyıklar- Nimetli

Uygulama tarihi: 2013-2014

İnceleme tarihi: 13.10.2021

Kullanılan tesisler: Kuru duvar eşik, kafes tel eşik, kafes tel çit teras, kutu gabion eşik, makineli teras yapımı, makineli toprak işleme, fidan dikimi, örme çit (Şekil 4.24, Şekil 4.25).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.), Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), Kuşburnu (*Rosa canina* L.).



Şekil 4.24: Örme çit.



Şekil 4.25: Kutu gabion eşik (solda), kafes tel çit teras (sağda).

Projenin/Proje Alanının Adı: Burdur Çevresi Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Çalışmaları

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Burdur

Uygulama tarihi: 2013

İnceleme tarihi: 22.10.2021

Kullanılan tesisler: Kafes tel eşik, kafes tel çit teras, çalı takviyeli teras, örme çit, makineli teras yapımı, makineli toprak işleme, fidan dikimi, otlandırma (Şekil 4.26).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Lübnan Sediri (*Cedrus libani* A.Rich.), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Gladiçya (*Gleditsia triacanthos* L.), Kokarağaç (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), Kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.), Sivri meyveli dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl), Akçaağaç (*Acer* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.), Ilgın (*Tamarix* sp.), Kapari (*Capparis ovata* L.), Korunga (*Onobrychis sativa* Lam.), Katırtırnağı (*Spartium junceum* L.) Patlangaç (*Colutea cilicica* Boiss. & Balansa), Ayırık otu (*Agropyron repens* (L.) P.Beauv.), Yonca (*Medicago sativa* L.), Yalancı sinameki (*Colutea arborescens* L.), Üçgül (*Trifolium repens* L.), Çayır düğmesi (*Sanguisorba officinalis* L.), Süpürge otu (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).



Şekil 4.26:Kafes tel çit teras (solda), teras yapımı-fidan dikimi (sağda).

Projenin/Proje Alanının Adı: Çakıt Çayı Erozyon Kontrolü Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Niğde / Ulukışla, Bor ve Pozantı / 39 Köy

Uygulama tarihi: 1982

İnceleme tarihi: 21.03.2022

Kullanılan tesisler: Taş kordon, kuru duvar eşik, örme çit, makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi, tohum ekimi, otlandırma (Şekil 4.27).

Kullanılan türler: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Sedir (*Cedrus* sp.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Korunga (*Onobrychis sativa* Lam.), Kayısı (*Prunus armeniaca* L.), İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.)



Şekil 4.27:Taş kordon.

Projenin/Proje Alanının Adı: Adana Ağyatan Kumul Tespit Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Adana / Karataş / Adalı-Bebeli

Uygulama tarihi: 2014

İnceleme tarihi: 22.03.2022

Kullanılan tesisler: Örme çit ve rüzgâr perdesi yapımı, fidan dikimi, karelaj şeklinde rüzgar perdesi, ön kumul teşkili-ön rüzgar perdesi (Şekil 4.28, Şekil 4.29).

Kullanılan türler: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Halep çamı (*Pinus halepensis* Mill.), Servi (*Cupressus sempervirens* L.), Fıstık çamı (*Pinus pinea* L.), Ilgın (*Tamarix smyrnensis* Bunge), Hayıt (*Vitex agnus-castus* L.), Kıbrıs akasyası (*Acacia cyanophylla* Lindl.), Asma (*Vitis* sp.), Menengiç (*Pistacia terebinthus* L.), Mersin (*Myrtus communis* L.), Sandal (*Arbutus andrachne* L.), Böğürtlen (*Rubus sanctus* Schreb.), İskenderun kauçuğu (*Ficus nitida* Thunb.), Zakkum (*Nerium oleander* L.), Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), Keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua* L.), Karadut (*Morus nigra* L.), Gladiçya (*Gleditsia triacanthos* L.), İncir (*Ficus carica* L.), Nar (*Punica granatum* L.), Sığla (*Liquidambar orientalis* Mill.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Pırnal meşesi (*Quercus ilex* L.).



Şekil 4.28: Karelaj rüzgâr perdesi.



Şekil 4.29: Örme çit ve perde yapımı.

Projenin/Proje Alanının Adı: Acıdere-2 Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi- Mut Göksu Havzası- Acıdere Havzası Toprak Muhafaza Uygulama Projesi-1989

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Mersin / Mut / Palantepe-Köçelerli-Kumçukuru

Uygulama tarihi: 2016

İnceleme tarihi: 25.03.2022

Kullanılan tesisler: Kafes tel çit teras, kafes tel eşik, kuru duvar eşik, çuval sedde, el ile toprak işleme, makineli teras yapımı, makineli toprak işleme, fidan dikimi (Şekil 4.30).

Kullanılan türler: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Ilgın (*Tamarix smyrnensis* Bunge), Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), Menengiç (*Pistacia terebinthus* L.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Zakkum (*Nerium oleander* L.), Meşe (*Quercus* sp.), Söğüt (*Salix* sp.), Kokarağaç (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), Delice (*Olea oleaster* Hoffmanns.& Link), Kapari (*Capparis spinosa* L.), Lavanta (*Lavandula* sp.), Korunga (*Onobrychis sativa* Lam.).



Şekil 4.30: Kafes tel çit teras, kafes tel eşik, teraslama, fidan dikimi (solda), çuval sedde (sağda).

Projenin/Proje Alanının Adı: Tokat Çakmakdere Erozyon Kontrol

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Tokat / Merkez ilçesi / Hasanbaba

Uygulama tarihi: 2000-2013 (tamamlama)

İnceleme tarihi: 18.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi.

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Sedir (*Cedrus* sp.), Meşe (*Quercus* sp.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Tokat Behzat Deresi Erozyon Kontrol- Tokat Behzat Deresi Revizyon Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Tokat / Merkez / 13 köy

Uygulama tarihi: 1955-1980-2001-2005-2013

İnceleme tarihi: 18.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, el ile toprak işleme, makineli teras yapımı, cep tipi teras, fidan dikimi, kuru duvar eşik, harçlı ıslah sekisi, harçlı taş duvar eşik, örme çit, taş kordon (Şekil 4.31, Şekil 4.32).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Sedir (*Cedrus* sp.), Saplı meşe (*Quercus robur* L.). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.).



Şekil 4.31: Harçlı taş duvar eşik- harçlı ıslah sekisi.



Şekil 4.32: Cep tipi teras- taş kordon.

Projenin/Proje Alanının Adı: Tokat Artova Erozyon Kontrol

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Tokat / Artova / Artova merkez, Çelikli, Tuzla, Kunduz, Kunduzağılı, Salur, Sağlıca

Uygulama tarihi: 2002

İnceleme tarihi: 18.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi, tohum ekimi, kuru duvar eşik, kafes tel eşik.

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Sedir (*Cedrus* sp.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Ardıç (*Juniperus* sp.), Meşe (*Quercus* sp.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Iğdır Dere Erozyon Kontrol- Iğdır Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi Revizyon

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Tokat / Artova / Iğdır, Salur, Çelikli, Iğdır

Uygulama tarihi: 1986-1987

İnceleme tarihi: 18.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, el ile toprak işleme, fidan dikimi, otlandırma.

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Söğüt (*Salix* sp.), Iğde (*Elaeagnus* sp.), Ceviz (*Juglans* sp.), Kavak (*Populus* sp.), Korunga (*Onobrychis sativa* Lam.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Tokat Günevi Erozyon Kontrol

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Tokat/Merkez/Günevi

Uygulama tarihi: 2002-2013

İnceleme tarihi: 18.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli teras yapımı (buror teras), makineli toprak işleme, fidan dikimi, tohum ekimi, kuru duvar eşik.

Kullanılan türler: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Sedir (*Cedrus* sp.), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Tokat Merkez Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Tokat/Merkez /Hasanbaba, Aluç, Ballıdere, Bakışlı, Ahmetalan, Dedeli

Uygulama tarihi: 2003

İnceleme tarihi: 18.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli teras yapımı, makineli toprak işleme, el ile toprak işleme, fidan dikimi, kuru duvar eşik, çalı takviyeli/demetli teras.

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Sedir (*Cedrus* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Meşe (*Quercus* sp.), Ardıç (*Juniperus* sp.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Çorum İli Sungurlu İlçesi Budaközü Deresi Sol Sahil Yan dereleri Sel Kontrol Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Çorum/ Sungurlu/ Cevheri, Kemallı, Küçükincesu, Küçük Polatlı, Köm, Merkez, Sungurlu, Yenidoğan Mah.

Uygulama tarihi: 2015

İnceleme tarihi: 19.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi, kafes tel eşik.

Kullanılan türler: Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Dut (*Morus* sp.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Uğurludağ Erozyon Kontrol Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Çorum/ Uğurludağ / Karaevliya köyü, Merkez Dut Köyü

Uygulama tarihi:2001

İnceleme tarihi: 19.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, el ile toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi, örme çit (Şekil 4.33).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), (*Cedrus* sp.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Ceviz (*Juglans* sp.), Meşe (*Quercus* sp.), Dişbudak (*Fraxinus* sp.), Akçağaç (*Acer* sp.), At kestanesi (*Aesculus* sp.).



Şekil 4.33: Örme çit.

Projenin/Proje Alanının Adı: Mahmatlı Sel Kontrolü Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Çorum/ Sungurlu/ Mahmatlı, Arıcı, Çiçekli

Uygulama tarihi:2017

İnceleme tarihi: 19.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme (çukur şeklinde ve gradoni), makineli teras yapımı, el ile toprak işleme, fidan dikimi, kafes tel eşik.

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Yabani kiraz (*Cerasus avium* (L.) Moench).

Projenin/Proje Alanının Adı: Yörüklü Erozyon Kontrol Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Çorum/ Sungurlu/ Yörüklü, Çayan

Uygulama tarihi:2001-2019 (revizyon)

İnceleme tarihi: 19.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme (çukur şeklinde ve gradoni), makineli teras yapımı, fidan dikimi,

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Sedir (*Cedrus* sp.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Karaköydere Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi- Karaköydere Erozyon Kontrolü Uygulama Projesine ait proje revizyonu

Projenin/Proje Alanının Adı: Küçükkoraş- Hoduktepe Erozyon Kontrol Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Karaman / Ayrancı /Küçükkoraş

Uygulama tarihi: 2018

İnceleme tarihi: 20.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli teras yapımı (meror teras, buror teras), makineli toprak işleme, fidan dikimi, tohum ekimi, kafes tel çit teras (Şekil 4.34).

Kullanılan türler: Meşe (*Quercus* sp.), Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Meşe (*Quercus* sp.), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.), Ardıç (*Juniperus* sp.), Sedir (*Cedrus* sp.), Zerdali (*Centaurea solstitialis* L.), Tuz çalısı (*Atriplex* sp.), Adi kadıntuzluğu (*Berberis vulgaris* L.).



Şekil 4.34: Kafes tel çit teras.

Projenin/Proje Alanının Adı: Pınarkaya Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Karaman

Uygulama tarihi: 2008-2015

İnceleme tarihi: 20.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli teras yapımı (buror teras), makineli toprak işleme, fidan dikimi.

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Sedir (*Cedrus* sp.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Dişbudak (*Fraxinus* sp.), Ardıç (*Juniperus* sp.), Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.).

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Karaman / Ayrancı / Küçükkoraş

Uygulama tarihi: 1999-2018

İnceleme tarihi: 20.04.2022

Kullanılan tesisler: Makineli teras yapımı (meror teras, buror teras), fidan dikimi.

Kullanılan türler: Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Sedir (*Cedrus* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), Meşe (*Quercus* sp.), Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Ardıç (*Juniperus* sp.), Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Dişbudak (*Fraxinus* sp.), Tuz çalısı (*Atriplex* sp.), Adi kadıntuzluğu (*Berberis vulgaris* L.), Zerdali (*Centaurea solstitialis* L.), Yabani iğde (*Hippophae rhamnoides* L.), Çitlenbik (*Celtis* sp.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Uluova Mikrohavza Erozyon Kontrolu Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Elâzığ/ Sivrice/ Kavak Köyü

Uygulama tarihi: 2018

İnceleme tarihi: 27.06.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi, kafes tel eşik.

Kullanılan türler: Sedir (*Cedrus* sp.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Akasya (*Robinia* sp.), Dişbudak (*Fraxinus* sp.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Karakaya Orta Sahil Erozyon Kontrol Projesi (Kömürhan)

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Elâzığ / Kömürhan-Baskil

Uygulama tarihi: 1991

İnceleme tarihi: 27.06.2022

Kullanılan tesisler: Makineli toprak işleme, makineli teras yapımı (buror teras), fidan dikimi, tohum ekimi (Şekil 4.35).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Sedir (*Cedrus* sp.), Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Meşe (*Quercus* sp.) (tohum ekimi).



Şekil 4.35: Fidan dikimi, makineli teras yapımı.

Projenin/Proje Alanının Adı: Gürsöğüt-Yalnızçam Erozyon Kontrol Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Ankara/ Beypazarı/ Gürsöğüt-Yalnızçam

Uygulama tarihi: 2017

İnceleme tarihi: 02.06.2020

Kullanılan tesisler: Kuru duvar eşik, makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi, tohum ekimi (Şekil 4.36).

Kullanılan türler: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Sedir (*Cedrus* sp.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.).



Şekil 4.36: Kuru duvar eşik.

Projenin/Proje Alanının Adı: İstanbul Hızlı Tramvay Kartaltepe İstasyonu Şev Tahkimi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): İstanbul/ Bayrampaşa-Kartaltepe

Uygulama tarihi: 1988

İnceleme tarihi: 06.06.2018

Kullanılan tesisler: Örme çit, fidan dikimi, otlandırma.

Kullanılan türlerden bazıları: Boz söğüt (*Salix cinerea* L.), Sepetçi söğütü (*Salix viminalis* L.), Ladin (*Picea abies* (L.) H. Karst.), Defne (*Lauris nobilis*), Korunga (*Onobrychis sativa* Lam.), Taş yoncası (*Melilotus* sp.), Kuş fiği (*Vicia cracca* L.), Katır tırnağı (*Spartium junceum* L.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Durusu (Terkos) Kumul Tespit ve Ağaçlandırma Sahası

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): İstanbul/ Durusu (Terkos)

Uygulama tarihi: 1961-1987

İnceleme tarihi: 05.06.2018

Kullanılan tesisler: Rüzgâr perdesi yapımı, ön kumul teşkili-ön rüzgâr perdesi, fidan dikimi.

Kullanılan türler: Sahil çamı (*Pinus pinaster* Aiton.), Fıstık çamı (*Pinus pinea* L.), Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A.Mey.) Yalt.) Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Servi (*Cupressus sempervirens* L.), Ilgın (*Tamarix* sp.),

Yalancı iğde (*Hippophae rhamnoides* L.), Sivri meyveli dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl), Melez kavak (*Populus × euramericana* (Dode) Guinier.), Akçağaç (*Acer negundo* L.), Çınar (*Platanus occidentalis* L.), Kestane (*Castanea* sp.), Kum çavdarı (*Ammophilla arenaria* (L.) Link), Çivit otu (*Isatis arenaria* Azn.), Katır tırnağı (*Sarothamnus scoparius* (L.) W.D.J.Koch)

Projenin/Proje Alanının Adı: İnözü Sel Kontrolü Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Ankara / Beypazarı / (Başören-Boyalı-Geyikpınar-Beypazarı Merkez)

Uygulama tarihi: 2014

İnceleme tarihi: 02.06.2020

Kullanılan tesisler: Kafes tel eşik, çalı takviyeli/demetli teras, fidan dikimi, makineli teras yapımı, makineli toprak işleme (Şekil 4.37).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), İğde (*Elaeagnus* sp.), Akasya (*Robinia* sp.).



Şekil 4.37: Kafes tel çit teras.

Projenin/Proje Alanının Adı: Oltan Çok Amaçlı Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Ankara/ Beypazarı-Ayaş

Uygulama tarihi: 2015

İnceleme tarihi: 02.06.2020

Kullanılan tesisler: Kafes tel çit teras, fidan dikimi, tohum ekimi, makineli toprak işleme.

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Sedir (*Cedrus* sp.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.).

Projenin/Proje Alanının Adı: Ankara Beypazarı İlçesi Hırkatepe Köyü Sel Kontrol Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Ankara / Beypazarı

Uygulama tarihi: 2016

İnceleme tarihi: 02.06.2020

Kullanılan tesisler: Kafes tel eşik, makineli toprak işleme, makineli teras yapımı, fidan dikimi (Şekil 4.38).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.), Dut (*Morus* sp.), Meşe (*Quercus* sp.), Kuşburnu (*Rosa canina* L.), Dağ eriği (*Prunus spinosa* L.).



Şekil 4.38: Kafes tel eşik.

Projenin/Proje Alanının Adı: Karapınar Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi

Proje Sahasının Yeri (İl/İlçe/Köy): Konya/ Karapınar

Uygulama tarihi: 2019-2020

İnceleme tarihi: 20.04.2022

Kullanılan tesisler: Ekolojik kutu, makineli toprak işleme, fidan dikimi (Şekil 4.39).

Kullanılan türler: Karaçam (*Pinus nigra* J.F. Arnold), Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Badem (*Prunus amygdalus* Batsch.), Mahlep (*Prunus mahaleb* L.), İğde (*Elaeagnus* sp.), Sedir (*Cedrus* sp.), Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), Alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.), Kokarağaç (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.), Zerdali (*Centaurea solstitialis* L.), Tuz çalısı (*Atriplex* sp.), Adi kadıntuzluğu (*Berberis vulgaris* L.).



Şekil 4.39: Ekolojik kutu.

4.3. UYGULANAN YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada Türkiye genelinde; 28 tanesi OGM, 1 tanesi de ve İÜC Orman Fakültesi tarafından tamamlanan toplam 29 proje sahası ziyaret edilerek incelenmiştir.

İncelenen 29 sahanın bir tanesi model eğitim sahası (Ankara Gökçeyurt), iki tanesi kumul tespit projesidir (Adana Ağyatan kumul tespit projesi, Durusu (Terkos) kumul tespit ve ağaçlandırma çalışmaları), bir tanesi maden sahası rehabilitasyon projesi (Ankara Çubuk) geriye kalanlar erozyon kontrolü ve sel kontrolü uygulama projeleridir.

Türkiye genelinde incelenen, Thornthwaite iklim sınıflamasına göre çoğunlukla yarı kurak iklime sahip alanlarda en çok kullanılan toprak biyomühendisliği yöntemleri şu şekilde sınıflandırılabilir: sel kontrolü amacıyla harçlı taş ıslah sekisi; oyuntu kontrolü amacıyla harçlı taş duvar eşik; kuru duvar eşik, kafes tel eşik, kutu gabion eşik, çuval sedde, taş kordon tesislerinin kullanıldığı görülmüştür. Oyuntu kontrolü tesislerinden geonet eşik ve ahşap eşik gibi dünyada kullanılmakta olan tesisler sadece model eğitim sahasında varken, incelenen erozyon kontrol sahaslarında kullanılmamıştır.

Tabaka erozyonu kontrolü ve su ekonomisini iyileştirmek amacıyla elle ve daha çok makineli teras, çalı demet/takviyeli teras, kafes tel çit teras kullanılmıştır. Kumul tespitinde; rüzgâr perdesi, karelaj şeklinde rüzgâr perdesi, örme çit tesislerinin kullanıldığı görülmüştür (bkz. s 64, 65) (Tablo 4.4). Geonet ve geosentetik hücre serilmesi ve geonet çit sadece model eğitim sahasında bulunmuştur (bkz. s 60, 61) (Tablo 4.5).

Yüzey stabilitesi genel olarak makineli teras, örme çit, kafes tel çit ile sağlanmıştır. Özellikle makinenin yaygın olmadığı eski tarihli uygulamalarda ve makine ile çalışmanın mümkün olmadığı eğimlerde teraslar el ile yapılmıştır. Örme çitin yerini çoğu yerde tel kafes çit almıştır.

Kütle ve yüzey stabilizasyonu sağlandıktan sonra bazı alanlarda elle veya makineli toprak işleme ve ardından doğal gençleştirme (tohum ekimi) veya ağaçlandırma (fidan dikimi), yoluyla alanlar bitkilendirilmiştir. Ağaçlandırmaya az sayıda uygulamada otlandırmanın eşlik ettiği görülmüştür. Otlandırmada kuru ekim, az sayıda sulu ekim yöntemi (hydroseeding) kullanılmıştır. Bazı uygulamalarda ağaçlandırmada orman ağacı fidanlarının yanında meyve ağaçlarının ve çalıların da kullanıldığı belirlenmiştir (bkz. s 66,73-76).

Kumullarda; rüzgâr perdesi, ön kumul teşkili-ön rüzgâr perdesi, karelaj şeklinde rüzgâr perdesi teknikleri kullanılmıştır. Maden sahası rehabilitasyon projesinde, makineli toprak işleme ve teras yapımının yanında kafes tel eşik, kafes tel çit teras, geonet serilmesi, tohum ekimi, sulu ekim, fidan dikimi teknikleri kullanılmıştır. Karayolu şev onarım sahalarında, kafes tel çit teras ve örme çit kullanılmıştır.

Gökçeyurt model eğitim sahasında ise Türkiye’de kullanılan ve kullanılmayan 19 uygulama eğitim amaçlı uygulanmıştır (Tablo 4.5).

Konya Karapınar’da su tutma kapasitesini geliştirmek açısından ekolojik kutu (eco box) kullanılmıştır.

Tablo 4.4: Türkiye'de kullanılan toprak biyomühendisliği yöntemlerinin sınıflandırılması.

Sel kontrolü	Oyuntu kontrolü	Yüzeysel erozyon kontrolü	Toprak işleme	Bitkilendirme	Kumul tespit
Harçlı ıslah sekisi	Kuru duvar eşik	Kafes tel çit teras	Elle	Ağaçlandırma	Rüzgâr perdesi yapımı
	Kafes tel eşik	Taş kordon	Makineli	Tohum ekimi	Ön kumul teşkili
	Ahşap eşik	Cep tipi teras		Otlandırma	Karelaj şeklinde rüzgâr perdesi
	Kutu gabion eşik	Çalı/demet takviyeli teras		Sulu ekim (hydroseeding)	
	Örme çit	Makineli teras yapımı (meror teras, buror teras, çukur şeklinde)			
	Çuval sedde	Geonet çit			
	Harçlı taş duvar eşik	Geonet serilmesi			
	Geonet eşik	Geosentetik hücre			

Tablo 4.5: Türkiye'de kullanılan toprak biyomühendisliği yöntemlerinin uygulandıkları yöreler.

			KULLANILAN TESİSLER																									
			Harçlıslah sekisi	Harçlı taş duvar eşik	Kuru duvar eşik	Kafes tel eşik	Kafes tel çit teras	Geonet serilmesi	Geonet eşik	Geonet çit	Ahşap eşik	Kutu gabyon eşik	Taş kordon	Cep tipi teras	Örme çit	Çuval sedde	Geosentetik hücre serilmesi	Çalı takviyeli/demetli teras	Ekolojik kutu	Rüzgar perdesi yapımı	Karelaç şeklinde rüzgâr perdesi	Ön kumul teşkili-ön rüzgâr perdesi	Makinelî teras yapımı	Makinelî toprak işleme	El ile toprak işleme	Fidan dikimi	Tohum ekimi	Otlandırma
	TARİH	PROJENİN YERİ/ ADI																										
1	1955-2013	Tokat/ Behzat Deresi EK-RP																										
2	1961-1987	İstanbul/ Terkos Kumul AS																										
3	1982	Niğde/ Niğde Çakıt Çayı EKP																										
4	1986-1987	Tokat/ İğdir Dere EK-EKUPR																										
5	1988	İst./Kartaltepe Şev Tahkimi																										
6	1991	Elazığ/Kömürhan EKP																										
7	1999-2018	Karaman /Karaköydere EKUP-R																										
8	2000-2013	Tokat/ Tokat Çakmakdere EK																										
9	2001	Çorum/ Uğurludağ EKUP																										
10	2001-2019	Çorum/ Yörüklü EKUP																										
11	2002	Tokat/ Tokat Artova EK																										
12	2002-2013	Tokat/ Tokat Günevi EK																										
13	2003	Tokat/Tokat Merkez EKUP																										
14	2008-2015	Karaman/ Pınarkaya EKUP																										
15	*2013	Ankara/ Gökçeyurt MES-EKUP																										
16	2013	Burdur/Burdur Çevresi AEKÇ																										
17	2013-2014	Bolu/Seben-Çatak SKP																										
18	2014	Adana/Ağyatan Kumul TP																										
19	2014	Ankara/ İnözü SKUP																										
20	2015	Ankara/ Ayaş Oltan ÇAUP																										
21	2015	Ankara/ Çubuk MSRP																										
22	2015	Çorum/ Sungurlu SKUP																										
23	2016	Mersin-Mut/Acidere-2 EKUP																										
24	2016	Ankara/ Beyp.Hırkatepe SKP																										
25	2017	Ankara/ Yalnızçam EKUP																										
26	2017	Çorum/ Mahmatlı SKUP																										
27	2018	Elazığ/ Uluova Mikrohavza KP																										
28	2018	Karaman/ Küçükkoraş EKUP																										
29	2019-2020	Konya/ Karapınar EKUP																										

KP: Kontrol Projesi **SKP:** Sel Kontrolü Projesi **EKP:** Erozyon Kontrolü Projesi **EKUPR:**Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi Revizyon **TP:** Tespit Proj

EKUP: Erozyon Kontrolü Uygulama Projesi **ÇAUP:** Çok Amaçlı Uygulama Projesi **SKUP:** Sel Kontrol Uygulama Projesi ***MES:** Model Eğitim Sahası

EK: Erozyon Kontrol **MSRP:** Maden Sahası Rehabilitasyon Projesi **AEKÇ:** Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Çalışmaları **RP:** Revizyon Projesi

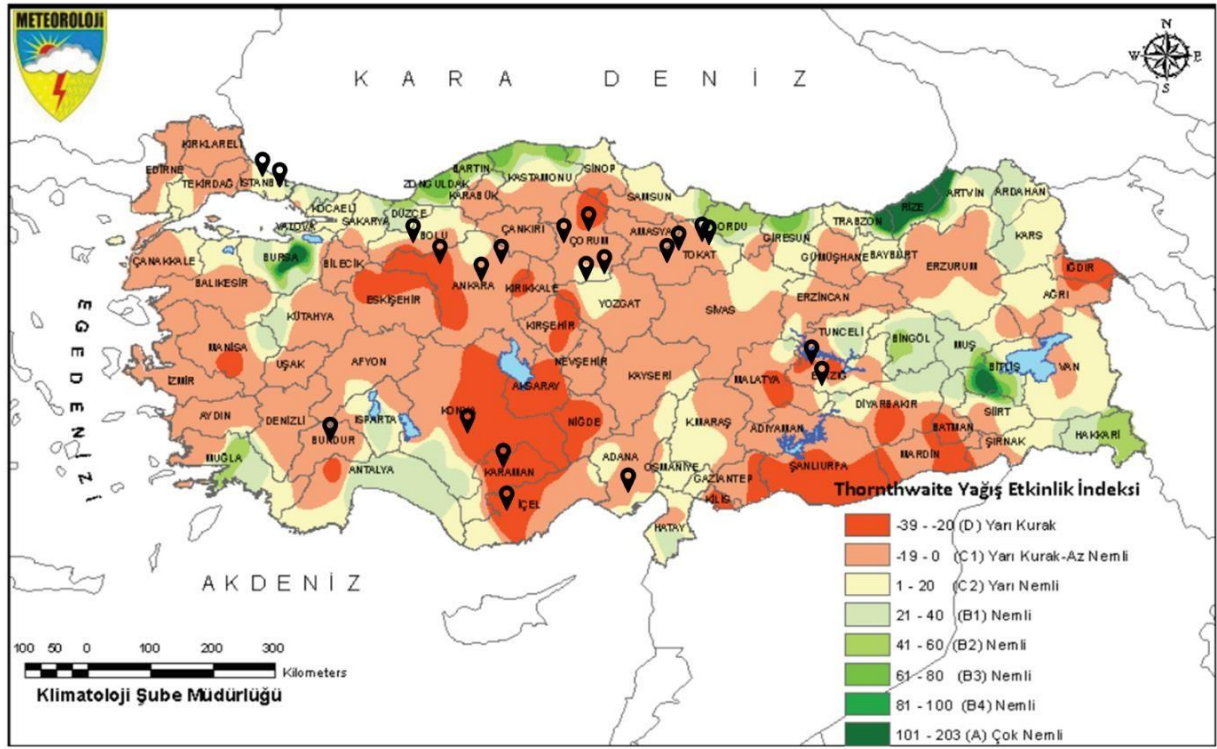
5. TARTIŞMA

Kuzey Akdeniz ülkelerinde hem kırsal alanlarda hem şehir içinden geçen akarsu yataklarında ve yamaçlarda erozyonun önlenmesinde ve sığ heyelanların duraylılığının sağlanmasında inşaat mühendisliği araçları yerine toprak biyomühendisliği araçları kullanımı giderek artmaktadır. 21. yüzyılda hızla artan çevre sorunlarına ekolojik temelli çözüm önerilerinin getirilmesi ve küresel ısınma ile önemi artan yeşil alanların çoğaltılması açısından toprak biyomühendisliği tekniklerinin daha fazla kullanılması gerekmektedir.

Karayolu inşaatı sırasında ortaya çıkan şevlerin onarımının doğa ile insanı bütünleştiren, yolun yakın çevresindeki peyzaja uygun, ekolojik, işlevsel ve estetik olması önemlidir. Türkiye’de son yıllarda artmış olan karayolu yapımı ile ortaya çıkan kazı ve dolgu şevlerinde sorunlu, (örneğin heyelanlı) alanların stabilizasyonu için ağırlıklı olarak inşaat mühendisliği önlemleri (örneğin taş veya asfalt kaplama) kullanılmaktadır. Oysa sığ heyelanların ve oyuntuların toprak biyomühendisliği teknikleriyle onarılması sağlanabilir. Stokes ve diğ. (2010) ve Giupponi ve diğ. (2003)’in belirttiği gibi bozulmuş alanların geri kazanılmasında daha düşük maliyetli, daha sürdürülebilir ve büyük ölçeklerde daha kolay uygulanabilir oldukları için en iyi çözüm doğaya dayalı yöntemleri kullanmaktır.

Araştırmanın ilk bölümünde, kuzey Akdeniz ülkelerinde kullanılan bazı toprak biyomühendisliği tekniklerinin Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre (Şekil 5.1) Türkiye’nin kuzey Akdeniz ülkeleri ile benzer ekolojik özelliklere sahip bölgelerinde kullanılıp kullanılamayacağı incelenmiştir. Bu amaçla İstanbul ili Çatalca ilçesinde bazı toprak biyomühendisliği teknikleri uygulanmış ve tekniklerin Türkiye’de de benzer ekolojik koşullara sahip alanlarda uygulanabileceği anlaşılmıştır.

Araştırma kapsamında yarı nemli iklim tipine sahip İstanbul Çatalca’daki deneme alanında kullanılan canlı dal demeti, canlı yamaç ızgarası gibi Türkiye’de kullanılmayan toprak biyomühendisliği tesisleri yarı nemli iklim tipine sahip diğer yörelerde de denenebilir. Canlı dal demetli yöntemi yöreye göre değişen türlerle OGM tarafından da uygulanabilir.



Şekil 5.1: Thornthwaite yağış indeksi haritası üzerinde incelenen alanlar⁶

Deneme parsellerinde erozyon çubukları ile gerçekleştirilen yersel ölçüm değerlerine göre kullanılan yöntemlerin başarıları en az aşınma miktarından en çok aşınma miktarına göre; ot tohumu ekimi, canlı dal demeti, çıplak köklü fidan dikimi, kontrol parseli, canlı yamaç ızgarası ve tüplü fidan dikimi olarak belirlenmiştir.

Morgan ve Tadesse (1996) laboratuvar ortamında farklı eğim tiplerinde (5, 7, 9, 11 ve 13 derece) iki çim uygulamasında (*Festuca ovina* ve *Poa pratensis*) yaptıkları araştırmada *Festuca ovina*'nın toprak kaybında daha etkili olduğu ve bu durumu büyük kök yoğunluğu ve gövdelerin ve yaprakların iç içe doğası ile açıklamıştır. Deneme parsellerinde bu araştırma ile aynı ot türü olan ve karışımın %40'ını oluşturan *Festuca arundinacea*, çim tohumlarının da olduğu karışık ot tohumu ekilen parsellerde de erozyon oranı diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Ot tohumu ekiminde ot toprağı kısa sürede kapladığı için sonuçların başarılı olduğu söylenebilir.

Canlı yamaç ızgarası tesisi ve tüplü fidan dikilen parsellerde tepe tacının oluşmaması nedeni ile aşınmanın daha yüksek çıktığı yorumlanmaktadır. Canlı dal demetleri parselinde aşınmanın daha az olduğu belirlenmiştir. Aşınmanın az olmasının dal demeti sıralarında kayıp olmaması

6 (https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thornthwaite.pdf, Erişim tarihi: 20 Aralık 2022).

ve canlı dalların iyi gelişimlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Köklü yalancı akasya fidanlarının kullanıldığı parsellerden özellikle 14. parseldeki aşınma değerinin düşük olması (1,00) bitki gelişiminin yüksek olmasına ve tepe çatısının kısa sürede oluşmasına bağlanabilir. Bu oranın ilerleyen zamanda daha da düşeceği tahmin edilmektedir. Yalancı akasya uygulanan diğer parsellerde değerler daha yüksek çıkmıştır ancak ilerleyen zamanda bitki gelişimlerinin artması ve tepe tacının oluşmasını takiben oranların düşeceği varsayılabilir. Kontrol parsellerinde ölçülen aşınma değerleri iki parselde de araştırma geneline göre yüksektir (3,26, 3,46). Ancak yalancı akasya dikilen parselle yan yana olan kontrol parselinde, yalancı akasya fidanlarının çok iyi gelişimi ve kontrol parseline yayılması gibi nedenlerle erozyon miktarının düştüğü (1,02) düşünülmektedir.

Canlı yamaç ızgarasında kalaslar toprağı tutmuş ve ateş dikeni fidanlarının yaşama başarısını artırmıştır.

Yalancı akasya, ateş dikeni ve yayılıcı ardıç dikilen parseller arasında farklılıklar olmakla birlikte, hepsinde ciddi bir toprak koruma özelliği vardır. Zaman içinde aşınma oranının bu bitkilerin kullanıldığı parseller için düşeceği düşünülmektedir.

Araştırmanın sonuçlarına göre Marmara bölgesi için erozyon kontrolunda başarılı olan bu tekniklerin Türkiye'nin farklı bölgelerindeki başarısının yağış faktörüne bağlı olarak artması beklenmektedir.

Kontrol parselinin boş bırakılmasına karşın, erozyon oranının ortalama düzeyde olması sahanın koruma altında olmasına (otlatmaya ve dışarıdan girişe kapalı) ve araştırma alanında kullanılan ot ve bitki tohumları ile çevreden gelen tohumlar sayesinde otla kaplanmasına bağlanabilir. Sonraki araştırmalar için parseller arası mesafenin örneğin 1m alınması, etkileşimin azalması ve izlemenin kolay olması açısından önerilebilir.

İHA ya entegre fotogrametrik kameralar ile aşınma/birikme tespiti çıplak alanlarda oldukça başarılıdır. Çalışma alanında bitki örtüsünden dolayı toprak yüzeyi görülemediği için fotogrametrik kameralar ile tespit başarılı olmamıştır. Bitki örtüsü olan parsellerde İHA'ya entegre LİDAR kameraları kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilebilir. Lidar verisi bitki örtüsünden geçerek yersel örnekleme için bir teknoloji olduğu için fotogrametrik kameralardan daha uygun bir ölçüm tekniğidir.

Aerts ve diğ., (2006) ve Poesen ve diğ., (1990)'a göre bozulmuş yamaçlardaki bitki örtüsünün restorasyonunun erozyonun azaltılması üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir. Yeterli bir bitki örtüsü ile toprak yüzeyi daha iyi korunur ve erozyonla taşınan toprak miktarı azaltılmış olabilir (Bochet ve diğerleri, 1998). Zeminde bitki örtüsünün varlığı yüzey pürüzlülüğünü artırır ve dolayısıyla yüzey akış oranını azaltır. Böylece yüzeysel akışın aşındırma kapasitesi azalır (Govers ve diğ., 1990).

Araştırmada elde edilen bulguların sonuçları benzer araştırmaların sonuçlarıyla uyumludur. Toprak biyomühendisliği yönteminin küçük kanallarda kıyıların kayma mukavemetini artırmada özellikle etkili olduğu (Zimmerman ve diğ., 1967), kanal ve taşkın yatağı stabilitesini önemli oranda kontrol ettiği (Erskine ve diğ., 2001) ve çayır bitki örtüsünün yoğun olduğu yamaçlardaki şevlerde aşınmanın daha az olduğu (Saynor ve ark., 2003) görülmektedir. Tüfekçioğlu (2006), Tüfekçioğlu (2018), Acar (2019), Pakih (2019) ve Yıldırım (2019)'un araştırmaları ile benzerlik göstermektedir. Anılan araştırmaların uygulandığı yörelerdeki yıllık toplam yağış miktarları arttıkça erozyon miktarlarının da arttığı görülmektedir. Buna ek olarak erozyon miktarı üzerinde toprak yapısının erozyona olan duyarlılığı (erodibilitesi) ve araştırma alanında bitki kullanılıp kullanılmadığı da etkilidir.

Tüfekçioğlu (2018) yıllık 372 mm yağış alan Erzurum Oltu ilçesinde ortalama 2,66 cm, Acar (2019), yıllık 358,5 mm yağış alan Tortum Kuzey Mikro Havzası'nda, ortalama 1,6 cm/yıl erozyon miktarı bulmuştur. Bu değerler yıllık 964,5 mm yağış alan İstanbul'un Çatalca ilçesinde elde edilen 1,91 cm'den daha azdır.

Araştırma alanındaki fidan yaşama yüzdeleri izleme döneminin başında ve sonundaki ölçümlere göre; % 74,36- % 97,78 aralığındadır. Sahadaki inşaat faaliyetleri sırasında yalancı akasya ve ateş dikenini fidanlarının bir kısmı 1. ölçüm sırasında tahrip edilmiş, bu nedenle başarı bir parça düşük çıkmıştır. Bu zarar dışında parsellerin başarı durumları değerlendirildiğinde başarı; yalancı akasya parseli için %80,56, ateş dikenini parseli için %100 olarak kabul edilebilir. Schlüter (1971)'den Lammeranner ve diğ. (2005)'e göre, toprak biyomühendisliği uygulamalarında %70 ve üstü bitki yaşama oranını başarılı kabul etmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde araştırma alanındaki fidanlar başarılıdır.

Araştırmada kullanılan bitki türü ve bitki yaşama yüzdesi, Hosseini ve Shafai (2019)'ın araştırmaları ile benzerlik göstermektedir. Hosseini ve Shafai (2019) yıllık yağışın 442 mm

olduğu İran'ın Ilam Eyaleti, Seimareh nehri kıyısında, ılgın bitkisini kullanmış ve yüksek başarı elde etmiştir.

Araştırma kapsamında elde edilen fidan yaşama yüzdeleri ve toprak analizleri sonuçları, Fox ve diğ. (2010) araştırmalarının sonuçları ile karşılaştırıldığında toprak tekstürleri açısından benzerlik göstermektedir. Ancak fidan yaşama yüzdeleri ve başarı oranları açısından farklılık göstermektedir. Fox ve diğ. (2010), yağışın 991 mm olduğu yörede söğütle yaptıkları araştırmada çeşitli toprak biyomühendisliği tekniklerini kullanmış ve fidan yaşama yüzdeleri 2 yıl sonunda yağışın daha yüksek olmasına karşın %27,3- %72,1 olarak belirlenmiştir.

Pekal ve Tilki (2010) yağışın 662,9mm olduğu Çoruh havzasında yaptıkları erozyon kontrolü ağaçlandırma çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yalancı akasya, sedir ve fıstıkçanı türlerinin büyüme performanslarını ve yaşama yüzdelerini ortaya koymuş; yaşama yüzdeleri tüplü Fıstık çamı için %85, tüplü Toros sediri için %82 ve çıplak köklü yalancı akasya fidanları için %80 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca yalancı akasyanın en fazla çap ve boy artımına sahip olduğu ve 1. yıl sonunda en yüksek büyüme performansı gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmanın fidan yaşama yüzdeleri bu araştırma ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca çıplak köklü yalancı akasya dikimi yapılan deneme parsellerindeki bitki gelişimi ve boy artımı bu araştırma ile benzerlik göstermektedir.

Doktora süresi içinde iki vejetasyon dönemi sürdürülebilen araştırmanın daha uzun sürmesi durumunda daha güvenilir sonuçlara ulaşılması mümkündür. Ayrıca teknikler Türkiye'nin diğer iklim bölgelerinde ve farklı eğim koşullarında yinelendiğinde daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilir.

Araştırma alanındaki bitki türlerinin seçiminde, türlerin bölgeye ve karayolu çevreinde kullanıma uygun olmasına ek olarak fidan temininin kolay ve ekonomik olması da etkili olmuştur.

Schiechl (1980) kurak ve yarı kurak zonlarda sulama yoksa doğal mühendislik uygulamasının çok sınırlı olduğunu ifade etmiştir. Araştırmanın yapıldığı Marmara bölgesi, Akdeniz ülkeleri ve Karadeniz bölgesi kadar çok yağış almayan bir bölge olduğundan uygulanan tekniklerin nispeten az yağışa karşın başarılı olduğu belirlenmiştir. Diğer Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi, yöntemin Türkiye'nin daha yağışlı bölgelerinde daha başarılı olması mümkündür. Öte yandan Çelik (2006)'e göre Türkiye'de Thornthwaite'e göre yarı nemli, nemli, çok nemli iklim tiplerinin görüldüğü (Şekil 5.1) daha çok dağların denize bakan yamaçlarını içine alan yaklaşık

%11'lik bölümünde toprak biyomühendisliği önlemleri daha başarılı olabilir. Yöntem, araştırmanın yer aldığı Marmara bölgesinin deniz etkisine nispeten uzak bir noktasındaki yağış ve sıcaklık koşullarını taşıyan Türkiye'nin diğer bölgelerinde de uygulanabilir. Yağışı araştırma alanı ile aynı olsa bile sıcaklığı düşük bölgelerde sıcaklık faktörünün başarıyı ne kadar etkileyeceği araştırılmalıdır. Bu yüksek başarı oranında sahanın koruma altında olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.

Toprak biyomühendisliği uygulamaları izlenmeli, böcek istilasının bulunup bulunmadığı sürekli kontrol edilmeli, kurumuş bitkiler veya bitki kısımları çıkarılmalı ve tamamlanmalıdır (Çelik, 2006).

Araştırma parsellerinde sulama, gübreleme, mikoriza, bakım, tamamlama, malç vb. başarıyı artıran işlemler uygulanmamıştır. Yöntemlerin araştırma alanındaki gibi yağışın mevsimsel dağılımları iyi olmayan diğer bölgelerde de uygulanabilme şansı vardır ancak proje bütçelerinin el verdiği ölçüde sulama ve sayılan olanaklardan yararlanıldığında başarının daha da artacağı düşünülmektedir.

Sürdürülebilir toprak biyomühendisliği tekniklerinin uygulandığı bu çalışmada amaç şevleri en kısa sürede bitki örtüsü ile kaplayarak toprak koruma oranını artırmak olduğuna göre, fidan dikiminin çizgi ot tohumu ekimi veya tam alanda ekim ile karma olarak uygulanması başarı oranını artıracaktır.

Araştırmanın bir karayolu şevinde uygulanan kısmının olumlu sonuçlar vermesinin, karayolu şevlerinin stabilizasyonunda toprak biyomühendisliği önlemlerine inanç ve güvenin artmasına ve daha fazla kullanılmasına yardımcı olacağı umulmaktadır.

Araştırmanın ikinci bölümünde Türkiye'de erozyon kontrolü ve ağaçlandırma sahaları, kumul ağaçlandırma sahaları, maden onarım sahaları, karayolu şev onarım sahaları ve model eğitim sahasında uygulanan toprak biyomühendisliği teknikleri_ incelenmiştir. İncelenen alanlardan Beypazarı, Elâzığ, Karaman, Karapınar, Konya, Mut, Nallıhan, Niğde ve Ulukışla Thornthwaite iklim sınıflamasına göre yarı kurak iklim sınıfına girmektedir. Ankara, Adana, Burdur, Çorum, Tokat yarı kurak- az nemli iklim sınıfına girmektedir. Bolu, İstanbul ve Karataş yarı nemli iklim sınıfına girmektedir ⁷ (Şekil 5.1).

⁷ (https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thornthwaite.pdf, Erişim tarihi: 20 Aralık 2022).

İncelenen alanlarda gerekliyse oyuntu kontrol önlemlerinin alındığı, alanlar çoğunlukla yarı kurak iklime sahip olduğu için su hasadı ve toprak koruma amacıyla teras uygulanarak yüzeysel erozyon kontrol önlemi alındığı ve doğal gençleştirme veya ağaçlandırma yoluyla başarılı sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir.

Yarı kurak iklim tipine sahip ancak diğer yörelere göre daha az yağış alan Karapınar’da görülen ekolojik kutu uygulamasının fidan yaşama oranını artırdığı görülmüştür.

Türkiye’de kullanılan yöntemlerden canlı kazıklar, köklü çelikler, çalı demetli teras, fidan dikimi, otlandırma, kutu gabion eşik, teras yapımı, ahşap eşik, örme çit, kuru duvar eşik, jeogrid, geonet serilmesi, dal demeti yöntemi ve sulu ekim dünyada da toprak biyomühendisliği konusunda uygulanan tekniklerdendir (Allen ve Leech, 1997; Tuttle ve diğ., 1992; Eubanks ve Meadows, 2002; Lewis, 2000a; Goldsmith ve diğ., 2013; Lewis ve diğ., 2001; Howell, 1999; Holm and Stenlund, 2005)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak biyomühendisliği dünyada birçok bölgede yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada uygulanan bazı toprak biyomühendisliği teknikleri Türkiye’de de erozyon kontrolunda kullanılmaktadır. Bazıları ise Türkiye için yenidir. Türkiye’de daha önce kullanılmamış toprak biyomühendisliği tekniklerinin kullanımı konusunda uygulamalı bir araştırma bulunmaması, toprak biyomühendisliği tekniklerinin Türkiye’de uygulama potansiyelinin teze konu olarak seçiminde etkili olmuştur.

İstanbul ili Çatalca ilçesinde Kuzey Marmara otoyolunun bir şevinde seçilen beş toprak biyomühendisliği tekniği (canlı dal demetleri, çıplak köklü fidan dikimi, canlı yamaç ızgarası, kaplı fidan dikimi ve ot tohumu ekimi) uygulanmıştır. Bunlardan canlı dal demetleri ve canlı yamaç ızgarası Türkiye için yenidir.

Araştırma alanındaki toprak tekstürü kumlu killi balçık özelliktedir. Tüm topraklar bazik özellik göstermektedir. Topraklar erozyona duyarlıdır ve tuzluluk problemi bulunmamaktadır. Uygulama öncesi ve sonrası tekrarlanan toprak analiz değerleri arasında özellikle organik madde içeriği açısından önemli bir farklılık bulunmamıştır.

Türkiye’nin genel olarak yarı kurak bir iklime sahip olması nedeniyle araştırma alanında uygulanan toprak biyomühendisliği yöntemlerinde kullanılan bitkiler, kuraklık, kirli hava koşulları gibi zor koşullara dayanıklı, yol kenarı kullanımına uygun bitkilerdir.

Araştırma kapsamında kullanılan bitkilerin yaşama yüzdeleri; izleme döneminin başında ve sonundaki ölçümlere göre; *Robinia pseudoacacia* L. için %74,36, *Juniperus horizontalis* Moench için % 88,64, *Pyracantha coccinea* M.Roem. için % 97,78’dir. Schlüter (1971)’den Lammeranner ve diğ. (2005)’e göre bitkilerin yaşama yüzdeleri %70’in üzerinde olduğu için yaşama yüzdeleri başarılı kabul edilebilir.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre, uygulanan yöntemlerin en az aşınma miktarından en çok aşınma miktarına göre sıralaması şöyledir; ot (0,98 cm), canlı dal demeti (ılgın) (1,18 cm), çıplak köklü fidan dikimi (yalancı akasya) (1,65 cm), kontrol (2,11 cm), canlı yamaç ızgarası (ateş diken) (2,74 cm) ve tüplü fidan dikimi (yayılıcı ardıç) (2,78 cm).

Erozyon kontrol/peyzaj onarım tekniği konularının ülkemizde geliştirilmesi, iyileştirilmesi için ot tohumu ekimi, canlı dal demetleri gibi toprak biyomühendisliği tekniklerinin ülkemizde

kullanımının yaygınlaşması ile daha sürdürülebilir peyzaj onarımının mümkün olacağı düşünülmektedir. Özellikle karayolu şev stabilizasyonunda toprak biyomühendisliği tekniklerinin kullanılması hem ekolojik hem de maliyet etkin olmasından dolayı doğru bir seçimdir.

Uygulanan toprak biyomühendisliği yöntemlerin yıllık yağış miktarı, sıcaklık miktarı vb. gibi parametreler göz önüne alındığında Akdeniz ve Karadeniz Bölgelerinin denize bakan yamaçlarında daha başarılı olacağı düşünülmektedir. Diğer iklim bölgelerinde özellikle kurak ve soğuk bölgelerde yöntemlerin ne derece başarılı olacağı başka bir çalışmaya konu olmalıdır.

Araştırma süresi doktora süresine bağlı olarak iki yıldır. Daha uzun süreli projeler sonucunda daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

Sonuç olarak tez kapsamında uygulanan ve başarısı periyodik olarak izlenen araştırmaya göre, Türkiye’de sıklıkla kullanılmayan bazı sürdürülebilir toprak biyomühendisliği tekniklerinin araştırma alanıyla benzer ekolojik koşullara sahip alanlarda uygulanabileceği anlaşılmıştır.

Araştırmanın sonraki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçların OGM, Karayolları Genel Müdürlüğü, belediyeler gibi çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından dikkate alınması ve yeni proje ve uygulamalarda başarılı olan canlı dal demetleri ve ot tohumu ekimi gibi tekniklerin yaygın olarak kullanılması önerilebilir.

Toprak biyomühendisliği araştırmalarının devamı sonucunda yöntem güveninin artması ve uygulamaya dönüşmesi beklenmektedir. Kısa sürede sonuç almak amacıyla uygulanan inşaat mühendisliği tekniklerinin kullanılması yerine toprak biyomühendisliği yöntemlerinin uygulanması ile ekolojik olarak üstün, nispeten ekonomik bu uygulamaların yaygınlaşması umulmaktadır.

Türkiye’nin genelinde kullanılan erozyon kontrol/toprak biyomühendisliği yöntemlerini belirlemek için beş farklı bölgede, 29 saha incelenmiş ve bu sahalarda (OGM ve İÜC Orman Fakültesinin uyguladığı) 27 yöntem tespit edilmiştir (Tablo 4.4 ve 4.5).

En çok kullanılan toprak biyomühendisliği yöntemleri şu şekilde sınıflandırılabilir: sel kontrolü amacıyla harçlı taş ıslah sekisi, oyuntu kontrolü amacıyla; harçlı taş duvar eşik, kuru duvar eşik, kafes tel eşik, kutu gabion eşik, çuval sedde, taş kordon.

Yüzeysel erozyon kontrolü ve su ekonomisi amacıyla teras, çalı demet/takviyeli teras, kafes tel çit teras kullanılmaktadır. Kumul tespitinde; rüzgâr perdesi, karelaj şeklinde rüzgâr perdesi, örme çit tesislerinin kullanıldığı görülmektedir.

Kitle ve yüzey stabilizasyonu sağlandıktan sonra gerekiyorsa toprak işleme ve ardından doğal gençleştirme (tohum ekimi) veya ağaçlandırma (fıdan dikimi), yoluyla alanlar bitkilendirilmiştir. Kitle ve yüzey stabilizasyonu ve ardından bitkilendirmenin başarılı olduğu belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

Acar, A., 2019, *Çoruh Nehri Havzasına Bağlı Tortum Kuzey Mikro Havzasında Kanal ve Oyuntu Erozyonuyla Gerçekleşen Toprak Kaybının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Artvin.

Allen, H.H. and J.R. Leech, 1997, *Bioengineering for Streambank Erosion Control*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report EL-97-8, Vicksburg, Mississippi.

Barker, D.H., Watson, A.J., Sombatpanit, S., Northcutt, B., Magliano, A.R. (Eds.), 2004, *Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization*, Science Publishers Inc., Enfield, NH.

Benito, G., Gutiérrez, M., Sancho, C., 1992, Erosion rates in badland areas of the central Ebro Basin (NE-Spain), *Catena*, 19, 269–286.

Bischetti, G.B., Di Fi Dio, M., Florineth, F., 2014, On the origin of soil bioengineering, *Landscape Research*, 1–13.

Bloemer, S., Fernandes, J. P., Florineth, F., Geitz, P., Gerstgraser, C., Graf, F., ... & Molon, M., 2015, European Guidelines for soil and water bioengineering, *European Federation of Soil Bioengineering*.

Box, T. W., 1974, Land rehabilitation: prompt passage of federal reclamation law recommended for Ford Foundation study, *Coal Age*, 79(5).

Çelem, H., 1988, *Sorunlu Alanlarda Bitkilendirme Tekniği*, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Ders Kitabı No: 304, Ankara, 69.

Çelik, H.E., 2006, Soil Bioengineering In Slope Stabilization: Potential And Difficulties in Turkey, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 56, 37-54.

Dhital, Y. P., & Tang, Q., 2015, Soil bioengineering application for flood hazard minimization in the foothills of Siwaliks, *Ecological Engineering*, 74, Nepal, 458-462.

Díaz-Fierros, F., Rueda, E. B., & Moreira, R. P., 1987, Evaluation of the USLE for the prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia (NW Spain), *Catena*, 14(1-3), 189-199.

Donat, M., 1995, Bioengineering techniques for streambank restoration, *A Review of Central European Practices*, Vancouver, BC, Canada: Watershed Restoration Program. Ministry of Environment, Lands and Parks, and Ministry of Forests.

Edeso, J.M., Merino, A., González, M.J., Marauri, P., 1999, Soil erosion under different harvesting managements in steep forestlands from northern Spain, *Land Degradation and Development*, 10, 79–88.

Eubanks, C., & Meadows, D., 2002, *A soil bioengineering guide for streambank and lakeshore stabilization* (Vol. 606), US Department of Agriculture Forest Service, Technology and Development Program, Publication FS, 683.

Erskine, W. D., Saynor, M. J., Evans, K. G., & Boggs, G. S., 2001, *Geomorphic research to determine the off-site impacts of the Jabiluka Mine on Swift (Ngarradj) Creek*, Northern Territory, Supervising Scientist Report, 158.

Evette, A., Labonne, S., Rey, F., Liebault, F., Jancke, O., & Girel, J., 2009, History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe, *Environmental Management*, 43(6), 972.

Fay, L., Akin, M., & Shi, X., 2012, *Cost-effective and sustainable road slope stabilization and erosion control*, Vol. 430, Transportation research board.

Fox, P. J., Wu, T. H., & Trenner, B., 2010, *Bio-engineering for land stabilization* (No. FHWA/OH-2010/5), Dept. of Transportation, Ohio.

Giupponi, C. and Shechter, M., 2003, *Climate Change in the Mediterranean: Socio-economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation*, Edward Elgar Publications, Glos, UK.

Goldsmith, W., Gray, D., & McCullah, J., 2013, *Bioengineering case studies: Sustainable stream bank and slope stabilization*, Springer Science & Business Media.

Görcelioğlu, E., 2002, *Peyzaj Onarım Tekniği*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Yayın No 473, 168-170.

Görcelioğlu, E., 2004, *Biyoteknik Yapılar*, İÜ Orman Fakültesi Yayınları, 4512/483, 70-71, 110-112, 119-122.

Gray, D.H. & Leiser, A.T., 1989, *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA.

Gray, D. H., & Sotir, R. B., 1996, *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*, John Wiley & Sons, 215, 232, 247, 252.

Güney, A., 2007, *Şev Stabilizasyon Yöntemleri*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Peyzaj Onarım Teknikleri Ders Notları, İzmir.

Haigh, M. J., 1977, The use of erosion pins in the study of slope evolution, *British Geomorphological Research Group Technical Bulletin*, 18, 31-49.

Hancock, G.R., Lowry, J.B.C., 2015, Hillslope erosion measurement-a simple approach to a complex process, *Hydrological Processes*, 29, 4809–4816.

Holm, L., & Stenlund, D., 2005, *Minnesota soil bioengineering handbook*, Minnesota Department of Transportation.

Hosseini, A., & Shafai, B. M., 2019, Investigation of root tensile strength of riparian tamarix trees in direction of river flow and riverbank slope in order to use in soil bioengineering, *İran su araştırma dergisi*, 13 (1), 41-48,

Howard, P. J. A. and Howard, D. M., 1990, Use of organic carbon and loss on ignition to estimate soil organic matter in different soil types and horizons, *Biology and Fertility of Soils*, 9(4), 306–310.

Howell, J., 1999, *Roadside bio-engineering. His Majesty's Government of Nepal*, Department of Roads.

Hudson, N., 1993, *Field measurement of soil erosion and runoff*, 68(2), Reconnaissance methods, Food & Agriculture Org.,

Köseoğlu, M., Özkan. B., 1984, *Peyzaj Onarım Tekniği*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Ders Kitabı. Bornova, İzmir.

Lammeranner, W., Rauch, H. P., & Laaha, G., 2005, Implementation and monitoring of soil bioengineering measures at a landslide in the Middle Mountains of Nepal, *Plant and Soil*, 278(1), 159-170.

Lewis, L., 2000a, *Soil Bioengineering: An alternative for Roadside Management: A Practical Guide*, San Dimas Technology & Development Center.

Lewis, L., 2000b, *Soil Bioengineering: An alternative for roadside management*, Technical Report 0077-1801-SDTDC, US Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center, San Dimas, CA, 44.

Lewis, L., Salisbury, S. L., Hagen, S., & Mark Maurer, L. A., 2001, *Soil bioengineering for upland slope stabilization*. Research Project WA-RD, 491.

Li, X., Zhang, L., & Zhang, Z., 2006, Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China, *Ecological Engineering*, 26(3), 304-314.

Lima, A. T., Mitchell, K., O'Connell, D. W., Verhoeven, J., & Van Cappellen, P., 2016, The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation, *Environmental Science & Policy*, 66, 227-233.

Lyn, D. A., & Newton, J. F., 2015, Approaches to the Design of Biotechnical Streambank Stabilization: Volume III—Design Guidelines.

Mickovski, S. B., 2015, Resilient design of landslip prevention measures: a case study, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Forensic Engineering*, 168(2), 96-106.

Miller, D. E., 1992, Bio-engineered stream channel used to restore New Jersey brook, *Land and Water*, 12-14.

Mitsch, W.J., Jørgensen, S.E., 2003, Ecological engineering: a field whose time has come, *Ecological Engineering*, 20, 363–377.

Mitsch, W.J., 2012, What is ecological engineering?, *Ecological Engineering*, 45, 5–12.

Norris, J.E., Stokes, A., Mickovski, S.B., Cammeraat, E., van Beek, R., Nicoll, B.C., Aachim, A. (Eds.), 2008, *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.

OGM, 1998, Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü, Erozyon Kontrolü ve Mera Islahı Dairesi Başkanlığı 14 Nolu tamim.

Özhan, S., 2004, *Havza Amenajmanı*, İ.Ü Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü Yayın No: 4510, Orman Fakültesi Yayın No: 481, İstanbul.

Özyuvacı, N., 1976, *Arnavutköy Deresi Yağış Havzasında Hidrolojik Durumu Etkileyen Bazı Bitki-Toprak-Su İlişkileri*, İ.Ü.Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü.Yayın No: 2082, Orman Fakültesi Yayın No: 221, İstanbul

Özyuvacı, N., 1999, *Meteoroloji ve Klimatoloji*, İ. Ü. Rektörlük Yayın No: 4196, Orman Fakültesi Yayın No: 460, İstanbul, ISBN 975-404-544-5.

Pakih, H., 2019, *Çoruh Nehri Havzasına Bağlı Oltu Mikro havzasında Kanal ve Oyuntu Erozyonuyla Gerçekleşen Toprak Kaybının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Artvin.

Pekal, K., & Tilki, F., 2010, Artvin Çoruh nehri su havzasında erozyon kontrolü amaçlı ağaçlandırma çalışmalarının değerlendirilmesi, *III Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin.

Polster, D. F., 2003, Soil bioengineering for slope stabilization and site restoration, *Mining and the Environment Conference III*, 25-28 May 2003 Sudbury, Laurentian University, Ontario, Canada

Pretty, J.L., Harrison, S.S.C., Shepherd, D.J., Smith, C., Hildrew, A.G., Hey, R.D., 2003, River rehabilitation and fish populations: assessing the benefit of instream structures, *Journal of applied ecology*, 40, 251–265.

Rauch, H.P., Sutili, F.J., Hörbinger, S., 2014, Installation of a riparian forest by means of soil bioengineering techniques monitoring results from a river restoration work in Southern Brazil, *Open Journal of Forestry*, 4, 161–169.

Rey, F., Bifulco, C., Bischetti, G. B., Bourrier, F., De Cesare, G., Florineth, F., ... & Stokes, A., 2019, Soil and water bioengineering: Practice and research needs for reconciling natural hazard control and ecological restoration, *Science of the total environment*, 648, 1210-1218.

Rooney, R. C., Bayley, S. E., & Schindler, D. W., 2012, Oil sands mining and reclamation cause massive loss of peatland and stored carbon, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(13), 4933–4937.

Saynor, M.J, Erskine, W.D. ve Evans, K.G., 2003, *Bank Erosion in The Ngarradj Catchment: Results of Erosion Pin Measurements Between 1998 And 2001*, Supervising Scientist Report, Supervising Scientist, Darwin NT, 176.

Schiechtl, H. M., 1980, *Bioengineering for land reclamation and conservation*, University of Alberta Press, Edmonton, Alberta, Canada.

Schiechtl, H. M., 1985, *FAO watershed management field manual: vegetative and soil treatment measures* (No. 1-5), Food & Agriculture Org.

Schiechtl, H.M., and Stern, R., 1997, *Water Bioengineering Techniques for Watercourses, Bank and Shoreline Protection*, Blackwell Science, Oxford, UK.

Schlüter, U., 1971, Die Eignung von Holzarten für den Busch-und Heckenlagenbau: Untersuchungen an mergelhaltigen Kalkstein-und Lößlehmböschungen, Ulmer, Stuttgart.

Shi, Z., Wen, A., Zhang, X., Yan, D., 2011, Comparison of the soil losses from ⁷Be measurements and the monitoring data by erosion pins and runoff plots in the Three Gorges Reservoir region, China, *Applied Radiation and Isotopes*, 69, 1343–1348.

Sirvent, J., Desir, G., Gutierrez, M., Sancho, C., Benito, G., 1997, Erosion rates in badland areas recorded by collectors, erosion pins and profilometer techniques (Ebro Basin, NE-Spain), *Geomorphology*, 18, 61–75.

Sotir, R.B., 1990, Introduction to soil bioengineering restoration, in: J.J. Berger. (Ed.) *Environmental restoration: science and strategies for restoring the earth*, *Proceedings of Conference on Restoration*, Berkeley, CA, USA, January 1988 (Washington, DC: Island Press).

Sotir, R. B., Difini, J. T., & Mckown, A. F., 1998, Soil Bioengineering Biotechnical Stabilization of a Slope Failure, In *Proceedings, The Sixth International Conference on Geosynthetics*.

Steinfeld, D. E., 2007, *Roadside revegetation: an integrated approach to establishing native plants*, Federal Highway Administration, Western Federal Lands Highway Division, Technology Deployment Program.

Stokes, A., Spanos, I., Norris, J.E., Cammeraat, E., 2004, *Eco-and Ground Bio-engineering: the Use of Vegetation to Improve Slope Stability: Proceedings of the First International Conference on Eco-engineering 13-17 September 2004*, Springer Science & Business Media, 103.

Stokes, A., Sotir, R., Chen, W. & Ghestem, M., 2010, Soil bio- and eco-engineering in China: Past Experience and future priorities, *Ecological Engineering*, 36, 247–257.

Stokes, A., Douglas, G., Fourcaud, T., Giadrossich, F., Gillies, C., Hubble, T., ... & Walker, L.R., 2014, Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners, *Plant Soil*, 377, 1–23.

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S., 2013, *Using multivariate statistics*, 6th edn Boston. Ma: Pearson.

Tadesse, L. D., & Morgan, R. P. C., 1996, Contour grass strips: a laboratory simulation of their role in erosion control using live grasses, *Soil technology*, 9(1-2), 83-89.

Tuttle, R. W., Ralston, D. C., Sotir, R. B., Gray, D. H., Adams, C. A., Saele, L. M., ... & Reckendorf, F. F., 1992, *Soil bioengineering for Upland slope protection and erosion reduction: Chapter 18*, Department of Agriculture, Washington (EUA).

Tüfekçioğlu, M., 2006, *Riparian land-use impacts on stream bank soil and phosphorus losses from grazed pastures*, MS thesis. Iowa State University, Ames, ABD.

Tüfekçioğlu, M., 2018, Gully and streambank erosion and the effectiveness of control measures in a semi-arid watershed, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 8233-8243.

Wali, M. K., 1992, *Ecosystem Rehabilitation*, Vol. 1: Policy Issues; Vol. 2: Ecosystem Analysis and Synthesis.

Woolsey, S., Capelli, F., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Paetzold, A., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S.D., Tockner, K., Weber, C., Peter, A., 2007, A strategy to assess river restoration success, *Freshwater Biology*, 52, 752–769.

Yavuzşefik, Y., 2000, *Peyzaj Onarım Tekniği*, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Orman Fakültesi Yayını, Düzce.

Yavuzşefik, Y., ve O. Uzun, 2005, *Peyzaj Onarım Tekniği*, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Orman Fakültesi Yayını, Düzce.

Yıldırım, C., 2019, *Çoruh Nehri Havzasına Bağlı Olur Mikro Havzasındaki Sediment Üretiminin Erozyon Çubuk Yöntemi, Askıda Katı Madde Ölçümü ve Geowepp Tahmin Modeli ile Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

Zimmerman RC, Goodlett JC & Comer GH., 1967, The influence of vegetation on channel form of small streams, *Symposium on river morphology*, Publishion No: 75, 255-275.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

TÜRKİYEDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TOPRAK BİYOMÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİNİ UYGULAMA POTANSİYELİ

ORJİNALLİK RAPORU

% 17	% 15	% 2	% 7
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 6
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	% 2
3	avesis.istanbulc.edu.tr İnternet Kaynağı	% 1
4	ormanweb.sdu.edu.tr İnternet Kaynağı	% 1
5	doczz.biz.tr İnternet Kaynağı	% 1
6	dergipark.ulakbim.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
7	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	% 1
8	tatd.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1

Submitted to Istanbul Aehir Aniversitesi

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Hilal TÜRKDOĞDU
(İmza)

