

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEOSENTETİK MALZEMELERİN DEMİRYOLLARINDA KULLANIMI VE
BALAST- ALT BALAST TABAKA KALINLIKLARININ AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail AY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEOSENTETİK MALZEMELERİN DEMİRYOLLARINDA KULLANIMI VE
BALAST- ALT BALAST TABAKA KALINLIKLARININ AZALTILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İsmail AY
(501111414)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111414 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İsmail AY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GEOSENTETİK MALZEMELERİN DEMİRYOLLARINDA KULLANIMI VE BALAST- ALT BALAST TABAKA KALINLIKLARININ AZALTILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Murat ERGÜN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **30 Mayıs 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada günümüzde inşaat mühendisliğinin hemen her alanında kullanılmakta olan geosentetik malzemelerin demiryollarında kullanım alanları ve geogrid malzeme kullanılarak yapılacak güçlendirme çalışmaları ile balast ve alt balast tabaka kalınlıklarının azaltılması uygulamaları incelenmiştir. Yapılan yaklaşık yapım maliyet analizleri neticesinde, dünyanın birçok ülkesinde özellikle zemin koşullarının demiryolu alt yapısı için yeterli olmadığı ve balast kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde ekonomik olarak değerlendirilen geogrid malzeme ile güçlendirme uygulamalarının sağladığı yaklaşık kar oranları görülmüş, ülkemizde uygulanmasının da ekonomik açıdan avantajlı olacağı tespit edilmiştir.

Çalışmanın yönlendirmesinde ve yürütülmesinde katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini daima hissettiğim ve aile olmanın güzelliğini her an yaşatan annem Necla AY, babam Ramazan AY, dayım Hüseyin AY ve kardeşlerime minnetlerimi sunarım. Ailemin yanı sıra lisans eğitimim sürecinde tanışma imkânı bulduğum, değerli büyüğüm Muhammed Ömer ÖZTÜRK'e şahsıma maddi ve manevi katkılarından ötürü teşekkürlerimi arz ederim. Ayrıca tezin hazırlanma sürecinde, desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşım Hüseyin Ömer TOP'a, Sami BİNOL'a ve Ulaşım A.Ş.'de bulunan çalışma arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak tezin hazırlanma sürecinde hayatıma girerek yeni bir anlam kazandıran nişanlım Hafsa AKKALAYCI'ya verdiği destek ve gösterdiği anlayış için ayrıca teşekkür ederim.

Mayıs 2014

İsmail AY
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Kapsamı.....	2
2. GEOSENTETİK MALZEMELER.....	5
2.1 Geotekstil Malzemeler	6
2.1.1 Geotekstillerin fonksiyonları	7
2.1.1.1 Ayırma fonksiyonu.....	7
2.1.1.2 Filtrasyon fonksiyonu.....	8
2.1.1.3 Drenaj fonksiyonu	9
2.1.1.4 Güçlendirme fonksiyonu	9
2.1.1.5 Koruma fonksiyonu	10
2.1.1.6 Yalıtım fonksiyonu.....	10
2.1.2 Geotekstillerin kullanım alanları	11
2.1.2.1 Taşıyıcı tabakalar altında ayırıcı, filtre edici eleman olarak geotekstil malzemeler	12
2.1.2.2 Güçlendirici eleman olarak geotekstil malzeme.....	13
2.1.2.3 Ayırıcı özelliği ve filtre etkisi olan güçlendirici eleman olarak geotekstil malzeme	14
2.1.2.4 Geotekstil malzemelerin balast ve platform arasında kullanılışı.....	14
2.1.2.5 Taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında geotekstil malzemelerin etkisi.	16
2.1.3 Geotekstil malzemelerin uzun süreli davranışları.....	16
2.1.4 Geotekstil malzemenin dinamik etkilenişi.....	17
2.2 Geomembran Malzemeler	17
2.2.1 Geomembran malzemelerin fonksiyonları.....	18
2.2.2 Geomembranların kullanım alanları	19
2.2.2.1 Atık depolama alanlarında geomembran malzeme kullanımı	19
2.2.2.2 Yapılarının Su Yalıtımında Geomembran Malzeme kullanımı.....	21
2.3 Geogrid Malzemeler	22
2.3.1 Geogrid malzemelerin fonksiyonları	22
2.3.2 Geogrid malzemelerin kullanım alanları	24
2.3.2.1 Yol yapılarının platform zeminini iyileştirilmesinde geogrid malzemelerin kullanımı	24
2.3.2.2 İstinat yapılarının oluşturulmasında geogrid malzemelerin kullanımı.....	25

3. DEMİRYOLLARININ YAPISI	27
3.1 Demiryolu Altyapısı	28
3.1.1 Geoteknik Analiz ve Zemin Sınıflandırılması	31
3.1.2 Analitik Geoteknik çalışma.....	31
3.1.3 Zeminlerin Geoteknik sınıflandırılması	32
3.1.4 Hidrojeolojik şartlar	33
3.1.5 Demiryolu altyapısının sınıflandırılması	34
3.1.6 Altyapının mekanik karakteristikleri	36
3.1.7 Formasyon tabakası	37
3.1.8 Trafik yüklerinin altyapıya etkisi	39
3.1.9 Altyapıda bakım şartlarının etkisi	39
3.1.10 Demiryolu hatlarının dona karşı korunması	41
3.1.11 Don koruma tabaka kalınlığı.....	42
3.1.12 Demiryollarında altyapı kaynaklı olabilecek sorunlar	43
3.1.13 Arazi platformu hasarlarının nedenleri	45
3.1.14 Arazi platformu hasarlarının sonuçları	46
3.2 Demiryolu Üstyapısı.....	48
3.2.1 Balastlı ve Balastsız Üstyapı.....	51
3.2.2 Balast ve alt balastın fonksiyonları	52
3.2.3 Balastın Geometrik özellikleri	53
3.2.4 Balastın mekanik davranışı	54
3.2.5 Dingil Yüğü ve Trafik Yüğü.....	55
3.2.6 Dingil yüğü	55
3.2.7 Trafik yüğü.....	56
3.2.8 Demiryolu araçlarından kaynaklanan yükler	57
3.2.9 Balast tabakasının boyutlandırılması	57
3.2.10 Travers üzerinde yük dağılımı ile optimal balast yüksekliği hesabı.....	58
3.2.11 Sonlu elemanlar yöntemi ile balast tabakasının boyutlandırılması.....	59
3.2.12 Sayısal uygulama	60
3.2.13 Demiryolu araçlarından kaynaklanan yükler	61
4. DEMİRYOLLARINDA GEOSENTETİKLERİN KULLANIMI.....	63
4.1 Demiryollarında Geotekstil Malzemelerin Kullanımı	64
4.1.1 Demiryollarında geotekstil malzeme kullanım örnekleri	67
4.2 Demiryollarında Geomembran Malzemelerin Kullanımı.....	69
4.2.1 Geomembran malzeme ile tünel yalıtımının yapılması	70
4.2.2 Geomembranlar ile şev yapılarının oluşturulması	72
4.2.3 Demiryollarında geomembran malzeme kullanım örnekleri	73
4.3 Demiryollarında Geogrid Malzemelerin Kullanımı	76
4.3.1 Şev yapılarının oluşturulmasında geogridlerin kullanılması	77
4.3.2 Demiryolu Altyapı ve Balast Katmanlarında Geogridlerin Kullanılması	78
4.3.3 Altyapı ve balast tabakalarının geogrid malzemeler ile güçlendirilme analizleri.....	81
4.3.4 Örnek demiryolu projelerinde geogridlerin kullanımı	85
4.3.5 Alman demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı.....	85
4.3.6 Amerikan demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı.....	87
4.3.7 İngiliz demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı	87
4.3.8 Çek cumhuriyeti demiryollarında geogridlerin kullanımı	89
4.4 Demiryollarında Geosentetik Kullanımının Avantajları	90

5. BALASTLI DEMİRYOLU HATLARINDA GEOGRİD KULLANIMININ EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ.....	91
5.1 Uluslararası Uygulama Örnekleri.....	91
5.1.1 A.B.D. Victoria – Rosenberg arası hat yenileme çalışmaları	92
5.1.2 Yapılan yenileme çalışmalarının maliyet açısından değerlendirilmesi ...	93
5.2 Türkiye’de Balastlı Demiryolu Hattının Geogrid Güçlendirme İle Oluşturulması	95
5.2.1 Türkiye’de yapılacak örnek bir demiryolu inşaatının yapım maliyetleri	96
5.2.2 Tasarımları yapılan demiryolu hattının maliyetlerinin karşılaştırılması..	96
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR	105
EKLER.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR

USCS	: Birleşik Zemin Sınıflandırma sistemi
AASHO	: Amerikan Devlet Karayolu Ofisleri Birliği
UIC	: Uluslararası Demiryolları Birliği
CBR	: Kaliforniya Taşıma Oranı
AREMA	: Amerikan Demiryolu Mühendisliği ve Hat Bakımı Birliği

SEMBOLLER

σ_1	: N_1 Yükleme devir sayısına karşılık gelen gerilme
σ_2	: N_2 Yükleme devir sayısına karşılık gelen gerilme
N_1	: Yükleme devir sayısı
N_2	: Yükleme devir sayısı
P	: Dingil yükü
T	: Günlük trafik yükü
K	: Bakım katsayısı
I	: Hat kesimindeki yıllık bakım sayısı
I_m	: I değerinin alındığı hat ile aynı UIC grubuna ait ve aynı dingil yükünü taşıyan bir hattın ortalama yıllık bakım sayısı
τ	: Her bir hattaki iki bakım arasındaki trafik yükü
n	: Balast gözenekliliği
α	: uygulanan gerilmelere bağlı olan katsayı
ϵ_p^N	: 3 aks testine göre n 'inci deformasyon
ϵ_p^1	: 3 aks testine göre ilk deformasyon

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1 : Geosentetik malzemelerin fonksiyonları	5
Çizelge 3.1 : Demiryolu yapım maliyetleri	28
Çizelge 3.2 : Bazı kurumların standartlarına göre hidrojeolojik şartların iyi olması için belirli referans seviyesinden minimum yer altı su seviyesi	34
Çizelge 3.3 : UIC'e göre geoteknik karakteristikleri ve hidrojeolojik şartlara bağlı olarak altyapı kalitesinin sınıflandırılması.....	36
Çizelge 3.4 : UIC 1-4 hat grupları için altyapı zemin kalitesine bağlı olarak formasyon tabakaları.....	39
Çizelge 3.5 : Belli bir süre içinde tekrarlama sıklığına ve donma ihtimaline göre don indeksi	42
Çizelge 3.6 : İngiliz demiryolları standartlarına göre balast boyutları	53
Çizelge 3.7 : Balast boyutlandırma formülünde kullanılan N parametresi değerleri.....	60
Çizelge 3.8 : UIC 4 grubundaki bir hattın balast kalınlığının altyapı kalitesine bağlı çizelgesi	61
Çizelge 4.1 : İstanbul Metrosu İnşaatı Kapsamında Kullanılması İstenilen Geotekstil Malzemelerin Teknik Özellikleri	68
Çizelge 4.2 : İstanbul Metrosu İnşaatı Kapsamında Su Yalıtımında Kullanılacak Geomembran Malzemelerin Teknik Özellikleri	76
Çizelge 5.1 : Tek ve çift yönlü hatlar için gerekli balast miktarları	96

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Geotekstil malzemelerin ayırma fonksiyonu	7
Şekil 2.2 : Geotekstil malzemenin filtrasyon fonksiyonu.....	8
Şekil 2.3 : Geotekstil malzemenin drenaj fonksiyonu.....	9
Şekil 2.4 : Geotekstil malzemelerin güçlendirme fonksiyonu.....	9
Şekil 2.5 : Geotekstil malzemelerin koruma fonksiyonu.....	10
Şekil 2.6 : Geotekstil malzemelerin yalıtım fonksiyonu.	10
Şekil 2.7 : Filtreleme ve drenaj fonksiyonları ile geotekstillerin drenaj sistemi oluşturulmasında kullanımı.	11
Şekil 2.8 : Drenaj ve düzenli oturmaları sağlamak üzere karayolu altyapısında geotekstillerin kullanımı.....	13
Şekil 2.9 : Geotekstillerin balast tabakası altında kullanımı.....	15
Şekil 2.10: 1972 yılında yol dolgusu altına yerleştirilen geotekstil malzemenin 35 yıl sonra çıkarılması.	17
Şekil 2.11: Atık depolama alanı kesiti[8].	20
Şekil 2.12: Geomembran malzeme ile dış kaplaması oluşturulmuş bir depolama alanı.	20
Şekil 2.13: Taban geçirimsizlik tabakası teşkilinde değişik uygulamalar[8].	21
Şekil 2.14: Tünel su yalıtımında geomembran kullanımı.....	21
Şekil 2.15: Direkt kaymanın üç mekanizması[2].	22
Şekil 2.16: Partikül boyutlarındaki büyümenin direkt kayma direnci üzerindeki etkisinin kesit alan görüntüsü[2].	23
Şekil 2.17: Partikül boyutunun direkt kayma üzerindeki etkisinin grafiksel gösterimi.	23
Şekil 2.18: Geogrid malzemenin asfalt yol zemininde kullanımı.	24
Şekil 2.19: Geogrid malzeme ile şev yapılarının oluşturulması.	25
Şekil 2.20: geogrid malzeme ile şev yapısının oluşturulması.....	26
Şekil 3.1 : demiryolu tünel yarma ve istinat yapıları.....	29
Şekil 3.2 : Demiryolu köprü yapısı.....	29
Şekil 3.3 : demiryolu köprüsü.....	30
Şekil 3.4 : manş tüneli boyunca zeminin geoteknik özellikleri, fransa-ingiltere[11].	32
Şekil 3.5 : Demiryolu altyapısına drenaj sisteminin yerleştirilmesi[6].	33
Şekil 3.6 : Farklı zemin sınıflarına karşılık gelen CBR indeksleri[5].	37
Şekil 3.7 : Son yenilemeden itibaren yıllara göre bakım katsayısına göre bakım maliyetlerini (adamxsaat h/km hat) ve yıllık bakım sayısı (hem manuel hem mekanik) (UIC 1-3 hatları için)[11].	40
Şekil 3.8 : Tibet – Şangay demiryolu hattı.	41
Şekil 3.9 : Tibet Şangay arası demiryolu hattında don etkilerine karşı alınan önlem yapısı.	42
Şekil 3.10: Demiryolu hattı arazi platformunun çökmesi- Kanada, 2013.	44
Şekil 3.11: demiryollarında arazi platformu hasarları ve düzeltme çalışmaları.	44
Şekil 3.12: Travers hareketinden oluşan pompalama etkisiyle travers etrafında boşluk oluşması.	45

Şekil 3.13: Demiryolu arazi platform hasarları.	46
Şekil 3.14: Demiryollarındaki gürültü ve titreşimin etkisi.	47
Şekil 3.15: Demiryollarında ray kırılması.	48
Şekil 3.16: Tipik balastlı demiryolu hattı en kesiti.	49
Şekil 3.17: Demiryolu taşıyıcı ray ve travers elemanı.	50
Şekil 3.18: Demiryolu alt ve üst yapı sistemlerinin her kısmının taban alanları ve tren yüklerinin dağılımı.	50
Şekil 3.19: Balastlı ve balastsız demiryolu hattı tip kesiti.	51
Şekil 3.20: Balastlı demiryolu hattı.	52
Şekil 3.21: Fransız demiryollarının normal bir balastın granülometri diyagramı. ...	53
Şekil 3.22: UIC standartlarına göre günlük trafik yüküne bağlı olarak demiryolu hatlarının sınıflandırılması.	57
Şekil 3.23: Optimal balast yatağı yüksekliğinin hesaplanmasının şematik görünüşü	58
Şekil 4.1 : Demiryolu yapısında geosentetiklerin kullanım alanları.	63
Şekil 4.2 : Demiryollarında geotekstil malzeme ile drenaj yapısının oluşturulması.	64
Şekil 4.3 : Demiryollarında geotekstil malzeme serilimi.	65
Şekil 4.4 : Geosentetiklerin ayırma fonksiyonu[4].	66
Şekil 4.5 : Demiryolu altyapısına geotekstillerin serilmesi.	67
Şekil 4.6 : İstanbul metrosu 2. kısım inşaatında koruyucu geotekstil malzeme uygulaması.	69
Şekil 4.7 : Demiryolu tünellerinde geomembran uygulaması.	70
Şekil 4.8 : geomembran ile yalıtımı yapılmış bir örnek demiryolu tüneli kesiti.	71
Şekil 4.9 : Geomembran malzeme ile şev yapısı oluşturma.	72
Şekil 4.10: Taksim Metrosu Yenikapı uzatması tünel inşaatında yalıtım yapısının oluşturulması.	74
Şekil 4.11: Geomembran malzeme ile su yalıtımında kaynak uygulaması.	75
Şekil 4.12: Geogrid malzeme ile şev yapısı oluşturulması.	77
Şekil 4.13: geogrid şev güçlendirmesi uygulaması, Alman demiryolları[7].	78
Şekil 4.14: Geogrid malzeme ile balast, alt-balast ve zemin güçlendirmesi.	79
Şekil 4.15: Geogrid ve balast malzemesi arasındaki kilitlenme mekanizması.	79
Şekil 4.16: Hat yenileme çalışmalarında balast tabakası arasına geogrid malzeme serimi.	80
Şekil 4.17: Alt balast tabakasına geogrid yerleştirilerek aynı işlevi gören alternatif tabaka kalınlıkları[14].	81
Şekil 4.18: Piramit yük dağılımı şeması.	82
Şekil 4.19: Geogrid güçlendirme yapılmış(solda) ve güçlendirme yapılmamış(sağda) yolların tasarım şeması.	83
Şekil 4.20: Hochstadt – Probstzella arası demiryolu hattında geogrid malzeme ile yapılan iyileştirme çalışmaları.	86
Şekil 4.21: Almanya Hochstadt – Probstzella demiryolu projesinin çeşitli kesitleri için sahada yapılan deformasyon testlerinin sonuçları[10].	86
Şekil 4.22: Geogrid malzeme yerleştirilerek yapılan balast stabilizasyonu çalışması - Shirland, İngiltere.	88
Şekil 4.23: Geogrid malzeme ile güçlendirme yapılmış batı sahili ana hattı(vcm1) düşey oturmalarındaki standart sapma miktarları.	89
Şekil 5.1 : Victoria - Rosenberg arası demiryolu hattı.	92
Şekil 5.2 : Viktoria - Rosenberg arası demiryolu hattında yapılan geogrid serimi.	93
Şekil 5.3 : Seçilen bir demiryolu kesitinde geogrid güçlendirmesi yapılarak balast, alt balast tabaka kalınlıklarının azaltılması.	97

GEOSENTETİK MALZEMELERİN DEMİRYOLLARINDA KULLANIMI VE BALAST- ALT BALAST TABAKA KALINLIKLARININ AZALTILMASI

ÖZET

Teknolojik gelişmeler ve üretim imkânlarının artmasıyla birlikte ortaya çıkan, polipropilen, polyester, polietilen gibi sentetik malzemelerden üretilen, geosentetikler inşaat mühendisliğinin özellikle geoteknik mühendisliği alanında zemin iyileştirme çalışmaları kapsamında değerlendirilebilecek, yalıtım, drenaj, güçlendirme ve koruma uygulamaları yaygın bir kullanıma sahiptir. Üretim koşullarına göre geotekstil, geomembran, geogrid, geonet ve geokompozit olarak sınıflandırılmakta olan geosentetiklerin, ihtiyaca göre uygun özelliklerde üretim yapılabilmesi ve pratik uygulama imkânları sayesinde kullanımlarını daha cazip hale gelmektedir. Geosentetik malzemelerin her biri farklı fonksiyonlara sahip olduğundan farklı amaçlarda kullanılmaktadır. Geomembran malzemeler yalıtım, geogrid ve geonet malzemeler güçlendirme fonksiyonları ile kullanılırken geotekstil malzemeler drenaj, koruma, güçlendirme, ayırma ve filtreleme gibi fonksiyonları ile geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Alt yapı demiryolunun güvenli işletmesini sağlamak üzere demiryolu yapısının en önemli parçalarından biridir. Demiryolu altyapısındaki bir hasar üst yapı üzerinde hattın işletmeye kapatılmasına varacak kadar birçok zararlı etkiye sebebiyet verebilir. Aynı zamanda demiryolu altyapı maliyetleri, üst yapı, sinyal ve telekomünikasyon, elektrik ve proje bedelleri arasından toplam maliyete etkisi en yüksek olandır. Demiryolu alt yapısında görülebilecek en zararlı etkilerden birisi kötü zemin koşulları ve güçlendirme yapılmaması neticesinde ortaya çıkan, altyapı ve üst yapı üzerinde birçok kusur oluşturan arazi platformu hasarlarıdır. Bu sebeple demiryolu hatlarının altyapı ve üstyapı inşaatları ciddi mühendislik çalışmaları gerektirmektedir. Diğer taraftan ray araçlarının hareketlerinden kaynaklanan yüklerin zemine iletilmesini sağlayan ve demiryolu hattı yapım maliyetlerinde altyapı inşaatından sonra ikinci en yüksek etkiye sahip olan üstyapı inşaatı da demiryolu mühendisliği açısından dikkat edilmesi gereken bir diğer konudur. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, demiryolu alt yapı ve üst yapı tabakalarının yapım maliyetlerini düşürmek üzere geliştirilecek yöntemler demiryolu yapım maliyetlerini direk etkileyecektir. Demiryolu üst yapısının en önemli elemanlarından biri olan balast tabakası traverslerden aldığı yükleri geniş bir alana yayıp azaltarak zemine iletmektedir. Trafik yükü, işletme ve zemin koşullarına bağlı olarak belirlenmekte olan balast tabakası kalınlığı ile ilgili dünya genelinde yapılan araştırmalar balast tabakasında yapılacak güçlendirme çalışmalarının yük baskı dağılım açısını arttırarak tabakanın taşıma kapasitesini arttıracığı görüldüğünden balast tabaka kalınlığının azaltılmasına müsaade ettiğini göstermektedir.

Demiryolu altyapısı ve balast, alt balast tabakalarının oluşturulması demiryolu mühendisliğinin, demiryolu ve geoteknik mühendisliklerinin ortak çalışma alanı olarak kabul edilebilir. Bu tabakalarda kullanılabilecek ürünler her iki disiplinin de

Çalışma alanlarını ilgilendirmekte olduğundan geoteknik mühendisliği alanında kullanımı yaygınlaşan geosentetik malzemelerin demiryolu mühendisliği alanlarında kullanılması da bunun bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Geotekstil rnlerin demiryolu alt yapısında düzensiz oturmaları kontrol altında tutma, drenaj yapısını sağlama ve zemin tabakaları arasında ayırma görevleri ile kullanımı ile başlayan bu süreç günümüzde tünel yapılarının yalıtımlarında geomembran malzemelerin kullanımı ve şev yapılarının oluşturulması, demiryolu alt yapı stabilitesinin arttırılması için geogrid malzemelerin kullanımı ile de genişleyerek sürmektedir.

Yapılan bu çalışmada, geosentetik malzemelerin demiryollarında kullanımları araştırılmış ve tanecikli zemin ve balast malzemeleri arasında kilitleme mekanizmaları oluşturarak altyapı, balast ve alt balast tabakalarının güçlendirmesi çalışmalarında kullanılan geogrid malzemelere ait uygulama örnekleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonrasında, ABD'nin Viktoria-Rosenberg bölgeleri arasında yapılan demiryolu hattı iyileştirme çalışması verileri ile Amerikan malzeme tedarikçileri ile taşımacılık firmalarından edinilen yaklaşık birim maliyetler esas alınarak, bu projede balast tabakasının güçlendirilmesinde geogrid malzeme kullanımının ekonomik katkıları değerlendirilmiştir. Ayrıca yapılan araştırmalarda geogrid malzeme ile karayolu altyapısında yapılan güçlendirme işlemleri ve tasarım esasları incelenmiş ve demiryollarında balast tabakasında güçlendirme işlemlerine uyarlaması yapılmıştır. Türkiye'de imalatı yapılmak üzere örnek bir demiryolu kesiti oluşturularak, uyarlaması yapılan tasarım esaslarına göre balast tabakasında geogrid güçlendirmesi yapılarak oluşturulan 100 kilometrelik bir demiryolu hattının, balast ocağına 100 km ve 300 km mesafelerde olma durumları ile balast ve alt balast tabakası imalatının yaklaşık maliyet hesaplamaları yapılmış ve geogrid malzeme kullanımının proje maliyetine ekonomik katkıları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde çeşitli kaynaklarda dile getirildiği üzere Viktoria ile Rosenberg arası demiryolu hattında yapılan uygulamanın toplam proje maliyetine göre yaklaşık %5 dolaylarında kar sağlamıştır. Türkiye'de belirtilen şartlarda ve geogrid güçlendirme ile yapılacak bir demiryolu hattında ise balast imalatlarında malzeme ve nakliye maliyetleri açısından %20'ye yakın bir kar edinilebileceği grlmştir. Yapılan literatür taramalarında demiryolu hatlarında geogrid malzeme kullanarak yapılan güçlendirme çalışmalarının hat bakım maliyetlerini de düşüreceği görülmüş ancak incelenen projenin ve tasarımı yapılan hattın bakım durumlarına ait bir bilgi bulunmadığından bu tez kapsamına alınmamıştır.

THE USAGE OF GEOSYNTHETIC MATERIALS ON RAILWAYS AND REDUCING BALLAST- SUB BALAST LAYER THICKNESS

SUMMARY

Produced from polypropylene, polyster and polyethylene synthetic materials, geosynthetics come out with the technological developments and increasing production opportunities, have a wide range of applications in civil engineering such as insulation, drainage, reinforcement and protection which can be considered in the field of ground improvement works of geotechnical engineering. Classified as geotextile, geomembrane, geogrid, geonet and geocomposite according to the conditions of their production, geosynthetics usage becomes more attractive with the opportunity of production with appropriate features and the practical application conditions. Each geosynthetic material is used for different purposes because of having different functions. While geomembrane materials use for insulation function with their impermeable structure, geogrid and geonet materials with high bearing and tensile strength use for reinforcement functions, geotextile materials have a wide application field with their drainage, protection, reinforcement, separation and filtration functions because of having micron-sized gaps and durability to the environmental effects.

Infrastructure is one of the most important parts of the railway structure to ensure railway operation safety, any damage on railway infrastructure causes many harmful effects on superstructure and it may be causes canceling of the operations. Also infrastructure costs of a railway have the highest percentage among superstructure, signal and telecommunication, electricity and project costs. One of the most harmful damage on railway infrastructure is land platform damages caused by bad soil conditions and not having reinforcement application; causes many defects on infrastructure and superstructure. Therefore building the infrastructure and also superstructure of a railway requires a serious engineering work and applications. On the other hand building the superstructure layers of the railway which transmit the loads caused by trains movement also requires considering about. Also superstructure building costs of a railway come after the infrastructure costs, and forms the second highest cost level of a railway line construction. Thus, improvements made on these layers and methods developed to construct these layers to reduce the construction costs directly affect the railway construction costs. Ballast layer is one of the most important parts of the railway superstructure and transmits loads from sleepers to the soil and reduces loads by spreading them over a wide area. Ballast layer thickness is determined by some criteria including traffic loads, operation conditions and the soil conditions. Studies around the world show that any reinforcement on ballast layer allows reducing its thickness because of loading capacity improvement by increasing bearing stress distribution angle.

Railway infrastructure and the creation of ballast and sub-ballast layers may be considered as a common working field of geotechnical engineering and railway engineering. Geosynthetic materials usage in the field of railway engineering

emerges as a result of the concerns of both two disciplines about these materials which are used for the infrastructure and the ballast layers. As a result of this many applications of geosynthetic material occurs in railway engineering, around the world. Starting with the use of geotextile materials in railway infrastructure to keep differential settlements under control, build up drainage system and to separate different soil layers, use of geosynthetic materials continues by expanding with the use of geomembrane materials about the insulation of the railway tunnel structures and the use of geogrid materials to build taper structures and to increase railway infrastructure and superstructure stability. Geotextile and geomembrane usage around the world is almost become a regular application, on the other hand usage of geogrid as a reinforcement material is widening recently with taper structure construction and ballast, sub-ballast layer reinforcement. Also in Turkey, most of railway tunnels waterproofing applications made with geotextile and geomembrane materials. Geomembranes are used to provide impermeability and geotextile materials are used to protect impermeable geomembrane layer and provide drainage of the ground water. On the other hand many European countries and also U.S.A. have some geogrid ballast layer reinforcement applications to reduce ballast costs by reducing ballast quantities. Using geogrid materials between sub-ballast and formation layer provides reinforcement to the soil and improves the stability of the railway structure. This application can be used to increase the weak soils loading capacity and also to provide the same capacity with less ballast material. Application examples which are mentioned in this study show that ballast layer thickness can be reduced to almost half. This means that ballast requirement for the ballasted railway line projects which are away from the ballast quarries can be reduced by using reinforcement with geogrid materials and project costs also reduces.

In this study, the usage of geosynthetic materials in railway structures is searched and application examples of geogrid materials which are used to reinforce the infrastructure, ballast and sub-ballast layers of a railway by supplying a locking mechanism along these materials are investigated. After the investigations, the economic contributions of the ballast reinforcement with geogrid materials is evaluated with data of a railway line stabilizing work between Victoria and Rosenberg regions at USA and unit costs which provided from American material suppliers and transportation companies. Also the approximate costs of building ballast and sub-ballast layers of a railway line in Turkey based on a sample railway cross section which observed in studies with two different situations of being 100 and 300 kilometers away of the ballast quarry to the project area, is calculated and economic contributions to the project costs are evaluated. Project includes also ballast layer reinforcement with geogrid materials; design method is created to calculate the amount of required ballast material by using the tables and design criteria of geogrid which are obtained from literature searches. These calculations for ballast reinforcement are done with the equations which are achieved by modifying the design criteria for unpaved-road subgrade and filling reinforcements with geogrids. Resulting from these evaluations, as said in many different sources, the geogrid application between Victoria and Rosenberg railway line is provided approximately %5 income from of the total project cost. Constructing a railway line in Turkey with specified conditions and applying geogrid reinforcement, may provide approximately %30 incomes from the ballast layer manufacturing and transportation costs. One of most important effects on income level is transportation distance of the ballast material from quarry to the project site, the example of railway construction in Turkey shows that increasing transportation distance between quarry

and the project site from 100 to 300 kilometers increases income percentage of material supply and transportation from 23 to 35. In the literature surveys, it seems ballast and sub-ballast reinforcement with geogrid materials also decreasing the maintenance costs by reducing the ballast maintenance necessity and also building ballast layer with geogrid material reinforcement will have lower costs because of easy to install feature of geogrid and having the opportunity of installing with the help of ballast laying equipment. But having no such information and data about the maintenance conditions after reinforcement of the projects reviewed, this issue was not included in this study.

1. GİRİŞ

Geosentetik malzemeler günümüzde başta geoteknik mühendisliği olmak üzere birçok inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1900'li yılların başında geotekstilin hammaddesi olan sentetik fiber, PVC (polivinilklorür) den imal edilmiş olup, 1960'lı yılların ortasından itibaren örgüsüz dokumalar fabrikasyon olarak üretilmiştir. Bilinen ilk geosentetik malzeme uygulaması ise 1958 de ABD-Florida'da sahil erozyonunun kontrolü için kullanılan sentetik örgülü dokumalar (geotekstilller) olmuştur ve bu geotekstil malzeme uygulamasının halen görevini sürdürdüğü görülmektedir. Sonraki yıllarda geotekstil ürünlerin farklı fonksiyonlar ile kullanım alanının genişlemesi ve geomembran, geogrid ve Geokompozit ürünlerin oluşturulması ile geosentetiklerin kullanımı geoteknik gibi inşaat mühendisliğinin diğer alanlarında da hızla artmıştır. Polimer yapılı bu ürünlerin ihtiyaç durumuna göre yapısında uyarlamalar yapılarak üretilmesi, diğer yapı malzemelerine nazaran hafif yapıları ile nakliyelerinin kolay olması ve kolay uygulanabilir malzemeler olmaları kullanım alanlarının genişlemesinde önemli rol oynamaktadır.

Demiryollarının yapısal olarak incelediğimizde taşıyıcı yapısında işlevleri göz önünde bulundurularak balast, alt balast ve zemin tabakalarının büyük önem taşıdığı görülmektedir. Çoğunlukla doğal malzemeler kullanılarak oluşturulan bu tabakaların taşıyıcılıkları içeriklerinde malzeme yapısı ve granülometrisi, yapısal kalınlıkları ve sıkışma durumlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Demiryolu projeleri oluşturulurken ilgili hattın hangi şartlarda işletileceği ve trafik yükleri göz önünde bulundurularak bu taşıyıcı tabakaların özellikleri seçilmektedir. Özellikle trafik yükünün ağır olduğu demiryolu hatlarında zemin iyileştirme çalışmaları önem arz etmekte, balast ve alt balast tabaka kalınlıklarının da artmakta olduğu görülmektedir. Ancak yoğun tüketimle birlikte doğal kaynakların azalması, bazı bölgelerde ise ihtiyaç duyulan özellikle kaynakların bulunmaması mühendisleri farklı çözüm yollarına itmiş, geoteknik mühendisliği alanında yapılan zemin iyileştirme çalışmaları gözlenerek bu çalışmalarda kullanılan malzemeler demiryolu yapılarına da uyarlanarak kullanılmaya başlanılmıştır. Bu kapsamda, fabrikasyon ürünler olarak

karşımıza çıkan geosentetiklerin demiryolu yapılarının oluşturulmasında geniş yer bulduğu görülmektedir. Demiryolu drenaj yapılarının oluşturulmasında, ayrı malzeme özelliklerine sahip tabakalarının birbirine karışmasının önlenmesinde, su yalıtımını sağlayan malzemelerin korunmasında ve etkiyen yükler ile gerçekleşmesi muhtemel olan düzensiz oturmaların önüne geçmek üzere geotekstil malzemeler kullanılırken, su yalıtımının sağlanmasında geomembran malzemeler, güçlendirme yapılarının oluşturulmasında ise geogrid malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Demiryolu taşıyıcı yapılarında düzensiz oturmaları önleme üzere geotekstil malzemelerin ve tünel yapılarında geomembran malzemelerin kullanımının günümüzde oldukça yaygın olduğu bilinmekte ve Türkiye’de de kullanılmakta iken demiryollarında geogrid malzemeler kullanılarak yapılan çalışmalar ülkemizde henüz yaygın bir uygulama şansı bulamamıştır. Ancak ülkemizde de yapımı gerçekleşen yeni projeler kapsamında demiryolu yapısında düzensiz oturmaları önlemek amacıyla geotekstil ve güçlendirme amaçlı geogrid malzeme kullanımları görülmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Yapılacak tez çalışması ile ülkemizde uygulaması henüz yapılmamış ancak yurt dışı uygulama örnekleri mevcut olan geogrid malzeme kullanılarak balast ve alt balast tabakalarında yapılan güçlendirme çalışmaları ile tabaka kalınlıklarının azaltılması ile edinilen ekonomik kazanımlar değerlendirilerek Türkiye koşullarında benzer uygulamaların ekonomik açıdan uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, geosentetik malzemeler, fonksiyonları, kullanım alanları ve kullanım şekilleri belirtilerek tanıtılacaktır. Demiryolu yapısı ve bu yapıyı oluşturan tabakalar ve elemanlar tanıtılarak özelliklerinden bahsedilecek ve geosentetik malzemelerin demiryolu yapısındaki kullanım alanları incelenecektir. Bu genel değerlendirmeler sonrasında demiryollarında geosentetik malzeme uygulamalarından bahsedilecek, özellikle geogrid malzeme kullanılarak yapılan stabilizasyon çalışmaları ile balast ve alt balast tabakası kalınlıklarının azaltılması ile ilgili yurt dışı örneklerle yer verilecektir. Son olarak geogrid malzeme kullanılarak yurt dışında

yapılan bir demiryolu güçlendirmesi çalışması üzerinden yaklaşık maliyet hesapları yapılarak uygulamanın karlılık oranları incelenecek ve Türkiye’deki maliyetler göz önünde bulundurularak örnek bir demiryolu hattı için literatür taramalarındaki verilere dayanılarak oluşturulan tasarım metodu ile geogrid güçlendirme yapılması ve yapılmaması durumlarının yaklaşık maliyetleri hesaplanacak ve değerlendirmeleri yapılacaktır.

2. GEOSENTETİK MALZEMELER

ASTM'nin tanımına göre Geosentetikler, bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer Geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan, polimer yapılı düzlemsel ürünlerdir. Geosentetik malzemelerinin inşaat mühendisliği açısından bilinen ilk uygulaması geotekstil malzeme ile yapılan zemin iyileştirmesi uygulaması ile geoteknik mühendisliği alanında görülmüş olsa da farklı imalat türleri ve uygulama imkânları sayesinde kullanımı oldukça yaygınlaşmış olup günümüzde inşaat mühendisliğinin hemen her alanında kullanılmaktadır. Üretim çeşitlerine göre; geotekstiller, geogridler, geomembranlar, geonetler, geokompozitler ve geosentetik kil kaplamaları ve diğer bazı ürünleri de kapsamına alan geosentetikler uygulamalarda bilinen geleneksel malzemelerle birlikte yer almaktadır.

Geosentetik malzemeler inşaat mühendisliği projelerinde ayırma, drenaj, güçlendirme ve filtreleme gibi fonksiyonlar başta olmak üzere birçok amaçla kullanılmaktadır. Bu malzemelerin alternatif malzemelerin yerini almasında yer kazanma, malzeme kalite kontrolü, imalat kalite kontrolü, maliyetteki kazanımlar, teknik üstünlük, inşaat süresini kısaltma, malzemede gelişim, malzemede tedarik edilebilirlik ve çevresel duyarlılık açısından birçok avantaj sağlaması önemli rol oynamaktadır.

Çizelge 2.1 Geosentetik malzemelerin fonksiyonları.

Fonksiyon	Geotekstil	Geogrid	Geomembran	Geokompozit
Filtreleme	√√			√√
Drenaj	√			√√
Ayırma	√√			
Güçlendirme	√√	√√		
Yalıtım	√		√√	

2.1 Geotekstil Malzemeler

ASTM, Geotekstili “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer Geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü” olarak tanımlamaktadır.

Geotekstil malzemeler esas itibariyle poliester (PES), polipropilen (PP) veya polietilenden (PE-HD) imal edilir. Keçemsi hasırlar şeklinde, ya geokafesler veyahut da birleştirilmiş malzemeler olarak bulunur. Keçemsi malzemeler yüzeysel olarak üst üste konmuş liflerin veya sonsuz liflerin mekanik, termik veya kimyasal olarak sağlamlaştırılmasıyla elde edilir[1].

- Mekanik olarak sağlamlaştırılmış keçemsi hasırlar iğneleme yöntemiyle elde edilirler. Bu yöntemde kulaklı iğneler sıkıştırılacak olan lif hasırına daldırılıp tekrar geri çekilir ve bu şekilde lif sistemlerinin birbirine sarılması temin edilmiş olur. Mekanik olarak sağlamlaştırılmış keçemsi malzeme yumuşak olur, kolay şekil verilebilir ve hacimlidir.
- Termik olarak sağlamlaştırılmış keçemsi malzeme, genellikle basınç altında ısıtılarak bağlanır. Lifler alçak derecede eriyen bir kılıfa sahiptir ve üst üste gelen noktalarda erime ile bir birleşme oluşur.
- Kimyevi olarak sağlamlaştırılan keçemsi malzeme ise ısı muamelesi ile sertleşen bir birleştirme malzemesi ile ıslatılma yöntemiyle elde edilir. Liflerin birbiriyle temas ettikleri yerlerde katı bir birleşme oluşur. Bu nedenle de kimyasal yoldan sağlamlaştırılmış malzeme çok sert olur.

Bu keçemsi malzeme (geotekstil) suyu geçirir ve genellikle de esneme yeteneği vardır. Doku birbirine dik olarak yerleştirilmiş liflerden meydana gelir. Liflerin cinsi ve dokunma çeşidiyle birbirinden ayrılırlar.

Orta, kötü ve özellikle çok kötü altyapılar Geotekstil uygulaması ile iyileştirilebilir. Geotekstil 0.4-3 mm kalınlığında ve 70-350 gr/mtül ağırlığında sentetik polipropilen veya polyester fiberler içeren geçirgen geosentetiklerdir. Yapılarına göre geosentetikler iki farklı sınıfta incelenmektedirler, bunlar;

- Örülmüş Geotekstil, fiber tabakaya dik olarak

- Fiberlerin rastgele dağılı olduğu isotropik davranış gösteren örülmemiş geotekstil malzemelerdir.

Şekil değiştirme özellikleri fazla olan bu esnek geosentetik malzemeler,

- Granüler malzeme tabakalarını birbirinden ayırmak,
- Mekanik dayanımı yetersiz olan zeminde temas yüzeyini arttırarak zemini güçlendirmek,
- Küçük boşluklu yapısı ile filtre etmek,
- Su geçirgen yapısı ile drenajı sağlamak amaçları ile kullanılmaktadır[1].

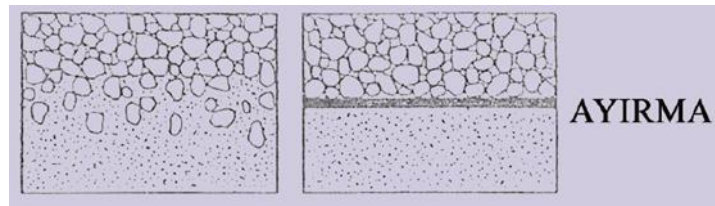
2.1.1 Geotekstillerin fonksiyonları

Boşluklu, kısmen dayanıklı yapısı ve kolay uygulanabilirliği ile geotekstilleri işlevsel fonksiyonları ile inşaat sektörünün birçok sahasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

İnşaat yapılarında geotekstillerin projelendirme çalışmaları yapılırken, geotekstillerin altı fonksiyonu göz önünde bulundurulmaktadır. Ham boşluklu yapısı ile geosentetikler; Ayırma, filtreleme, drenaj, koruma ve güçlendirme fonksiyonları ile kullanılırken boşluklu yapısı doyurularak yalıtım fonksiyonu ile de kullanılmaktadırlar.

2.1.1.1 Ayırma fonksiyonu

Geotekstil, ince daneli zemin ile kaba daneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde ayırma fonksiyonu görür. Böylece, üst yapıdan gelen dinamik veya statik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımını önlemiş olur. Geotekstilleri, süreklilik, esneklik, deforme olabilme, permeabilite ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinin sonucu olarak suyun doğal sirkülasyonuna engel olmadan değişik geoteknik özelliklere sahip iki zemini birbirinden ayırır[1].



Şekil 2.1: Geotekstil malzemelerin ayırma fonksiyonu.

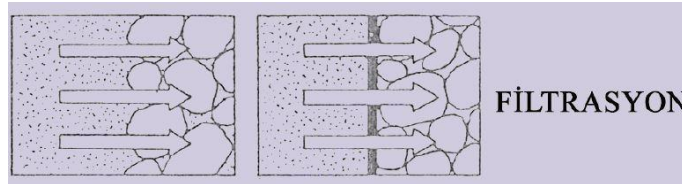
Geotekstil malzemeler ayırma amacıyla kullanıldıklarında bu fonksiyonlarına ilave olarak;

- Dinamik yükler altındaki ince daneli zeminlerin hareketini engellediği ve fazla suyun drenajına izin verdiği için, yolların servis ömrünün ve taşıma kapasitesini artırması,
- Kaliteli malzeme ile ince daneli zeminin birbirine karışmasını önlediği için, inşaatın durabileceği hava şartlarında bile devamlılığını sağlaması,
- Karayolu ve demiryolu inşaatlarında dolgu ve alt yapı çalışmalarında daha az agrega kullanılması ve daha iyi sıkışma oluşmasını sağlaması,

Fonksiyonlarını da yerine getirerek tek başına bir çok işlevi sağlamaktadır.

2.1.1.2 Filtrasyon fonksiyonu

Geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın belirlenmiş en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Filtrasyon isinde kullanılacak Geotekstilin uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan az etkilenme ve yüksek poroziteye sahip olması istenir[1].



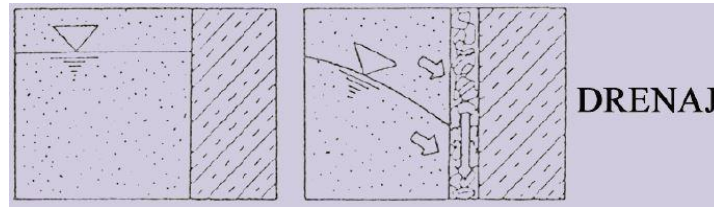
Şekil 2.2: Geotekstil malzemenin filtrasyon fonksiyonu.

Geotekstilin yerleştirilmesinden sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince daneli zemin de taşınır. İlk etapta taşınan bu malzeme Geotekstil malzemedan mutlaka geçmelidir. Böylece, Geotekstilin karşısında içerisinde ince daneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu doğal olarak elenmiş filtre tabakası işlevi görerek küçük parçacıkların Geotekstile doğru hareketini önler. Eğer bu ince daneler Geotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akısına engel olmamak ve boşluk suyu basıncı oluşumunu önlemek için, Geotekstilin geçirgenliği en az zeminin geçirgenliği kadar olmalıdır. Tıkanma

riskini ve Geotekstil sıkışarak geçirimsiz yapıya dönüşmesi de göz önüne alınarak güvenlik faktörü 10 veya önemli baraj yapılarının inşaatında 100 olarak alınır. [1].

2.1.1.3 Drenaj fonksiyonu

Geotekstil, kendi düzlemi boyunca (bünyesindeki) sıvı veya gazı istenilen çıkışa doğru taşır. Bu iletim sırasında, sıvı ya da gaz Geotekstil bünyesinde toplanır ve kendi düzlemi içerisinde aktarılır. Geotekstiller zemine nazaran, çok geçirgendir. Özellikle gözenekli olduklarında ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde su akımı sağlanabilir. Tünel, düşey dren, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi suyun tahliye edilmesi gereken inşaatlarda bu nedenle kullanımı faydalı olmaktadır.

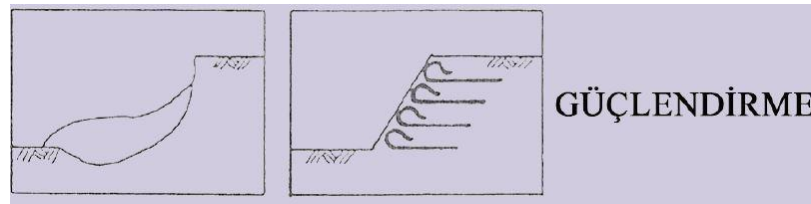


Şekil 2.3: Geotekstil malzemenin drenaj fonksiyonu.

Drenaj amacı ile kullanılacak geotekstil malzemeler, kendi düzleminde yüksek geçirgenlik, basınca karşı yüksek dayanım ve iyi filtre özelliklerine sahip olmalıdır.

2.1.1.4 Güçlendirme fonksiyonu

Noktasal yüklerin eşit olarak geniş bir alana yayılması ve oluşan gerilme kuvvetlerine direnerek, zemin kütleini güçlendirmesidir.



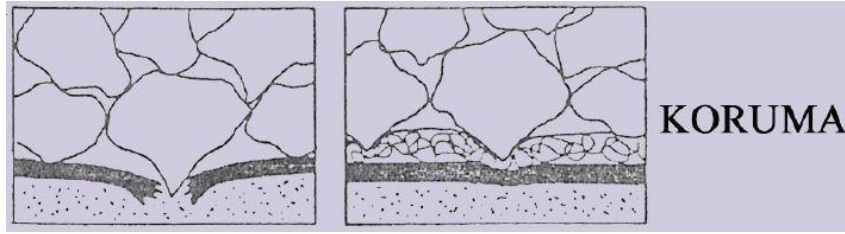
Şekil 2.4: Geotekstil malzemelerin güçlendirme fonksiyonu.

Zeminlerin aksine, Geotekstil malzemeler çekme direncine sahiptirler. Zemin yapısına katılarak çekme direncini ve kopmadan önce deformasyon kabiliyetini artırır, zeminin güçlendirilmesini sağlarlar. Güçlendirme sayesinde yumuşak zeminlerde gerçekleştirilecek yol inşaatlarında, güçlendirme işlemi için kullanılacak

agrega malzemesine olan ihtiyaç azaltılarak veya ortadan kaldırılarak önemli derecede malzeme tasarrufu yapılabilmektedir.

2.1.1.5 Koruma fonksiyonu

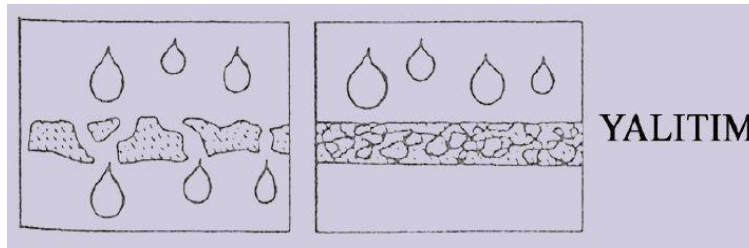
Geotekstil malzemeler, muhafazası gerekli görülen zemin tabakası veya yapı elemanının etrafına veya temas yüzeyine yerleştirilerek deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak, daha geniş bir alana yayarak istenilen malzemeyi korur. Örneğin; Asfalt kaplama ile eski yol kaplaması arasına veya geomembran ile su yalıtımı yapılmak istenilen beton yüzey arasına yerleştirilen geotekstil malzeme, arasına yerleştirildiği malzemeleri delinme, yırtılma gibi deformasyonlara karşı muhafaza eder.



Şekil 2.5: Geotekstil malzemelerin koruma fonksiyonu.

2.1.1.6 Yalıtım fonksiyonu

Geotekstil malzeme, geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilerek bir çeşit geomembran görevi görecekteki yapıya kavuşması sağlanır. Geotekstil malzemeler yalıtım fonksiyonu ile özellikle kaplaması yenilenecek karayollarında eski yol kaplamasının üzerine serilerek kullanılmaktadır. Yalıtım fonksiyonu ile kullanılacak geotekstilin, geçirimsiz yapıya kavuşabilmek üzere yeterli miktarda bitümü tutma özelliğine sahip olması gerekmektedir. [1].



Şekil 2.6: Geotekstil malzemelerin yalıtım fonksiyonu.

2.1.2 Geotekstillerin kullanım alanları

Geotekstil malzemeler oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Ancak ana başlıklar olarak incelemek istenirse geotekstil malzemeler, ayırma, filtreleme, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıtım fonksiyonları esas alınarak kullanılmaktadır.

Geotekstil malzemelerin asli görevi, gerilimlerin ve şekil bozulmalarının azaltılmasına yardımcı olmak ve eklenen katmanların taşıma kapasitesini arttırmak ve ömrünü uzatmaktır. Geo sentetik malzeme mevcut zemin ile platform veya dona karşı koruma tabakası arasına konularak kullanılır. Sıkıştırılıp düzeltilmiş platform üzerine yerleştirilir ve bir koruyucu malzeme ile örtülür. Geotekstil malzeme karayolu ve demiryollarında hem statik, hem dinamik etkileri zemine düzenli olarak dağıtarak düzensiz oturmaları engellemek üzere kullanılmaktadır. Bu durumda geotekstil malzemeler hem hidrolik, hem de mekanik oluşumların tesiri altındadır ve aynı zamanda ince malzemelerin daha iri daneli üst tabakalara pompalanmasına da engel olmalıdır[2].



Şekil 2.7: Filtreleme ve drenaj fonksiyonları ile geotekstillerin drenaj sistemi oluşturulmasında kullanımı.

Geotekstil malzemeler çürümeyen sentetik malzeme liflerinden imal edilmiş termik olarak bağlanmış veya iğnelenmiş keçemsi hasırlar veya kafeslerdir. Zeminin taşıma kapasitesi ne kadar azsa, o denli ağır keçelerin kullanılması gerekir. Termik olarak

sağlamlaştırılmış Geotekstillerin ağırlığı takriben 100-200 g/m², iğnelenmiş olanlarıki takriben bunun iki katıdır. Geotekstil malzemelerin uygulaması platform düzeltme işlemleri sırasında mekanize olarak yapılabilir. Bu sayede geotekstil malzeme uygulaması için ilave bir çalışma yapılması gerekmeyeceğinden, ilk yapım maliyetleri çok düşük olmakta, uygulama sonrası bölgedeki bakım ve yenileme masrafları azaltması söz konusu olacağından ve don zararı görülmediğinden, ekonomik açıdan da oldukça avantajlı olarak değerlendirilmektedir.

Geotekstil malzemelerin;

- Mevcut zemin ile çakıl kumu arasındaki filtre özelliğinin devamlılığı olmaması,
- Arazinin yanlamasına eğimi suyun akıtılması için yeterli görülmemesi,
- Arazinin sınırlı bölümlerinin taşıma kapasitesi düşük olması (güçlendirme ve yük dağılımı) ve yüksek kullanımlı hatlarda katman sisteminin uzun süreli davranışının kalitesini artırılmasına ihtiyaç duyulması durumlarında kullanımları gerekli görülmektedir[2].

*UIC 719'a göre demiryollarında balast tabakası kalınlıkları hesaplanırken zemin kalite sınıfının S1 veya S2 olması durumlarında zemin ile formasyon tabakası arasına geotekstil malzeme serilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde geotekstil malzemelerin ayırma, filtreleme ve güçlendirme fonksiyonları ile kullanım alanlarından bahsedilecek ve uygulama yöntemleri incelenecektir.

2.1.2.1 Taşıyıcı tabakalar altında ayırıcı, filtre edici eleman olarak geotekstil malzemeler

Taşıyıcı tabakalar arasında ayırıcı, filtre edici eleman olarak kullanılmak istenilen keçemsi yapıdaki geotekstil malzemeler mevcut zemin ile koruma tabakası temas alanına yerleştirilir.

İlgili bölgeye yerleştirilen geotekstil keçemsi malzemeler karışımları ve danelerin yer değiştirmelerini engeller ve bu şekilde taşıyıcı tabakanın dayanıklılık özelliklerini emniyete almış olur. Aynı zamanda bu geotekstil malzemeler boşluklu yapıları sayesinde eğime göre sıtış suyunu yönlendirir ve bu şekilde de zeminin taşıma kapasitesinin azalmasını önlerler[2]. Zemin yapısında yer alan ince daneli malzeme

keçemsi, boşluklu yapısının içlerine yerleşen geotekstil malzemeler stabilize olurlar ve bu sayede zemin ile geosentetik malzeme arasında bir birleştirilmiş malzeme etkisi sağlanmış olur.



Şekil 2.8: Drenaj ve düzenli oturmaları sağlamak üzere karayolu altyapısında geotekstillerin kullanımı.

Ayırıcı eleman ve filtre elemanı işlevi üstlenecek geosentetik malzemelerinden;

- Kütle bölü alan birimi $\geq 250 \text{ g/m}^2$
- Zımba delme kuvveti $\geq 2500 \text{ N}$
- Dikey olarak su geçirgenlik 20 kPa yükte $\geq 5 * 10^{-4} \text{ m/s}$
- Yatay olarak su geçirgenlik 20 kPa yükte $\geq 5 * 10^{-4} \text{ m/s}$
- Etkin delik genişliği: 0,06-0,2 mm
- 20 kPa yük altında kalınlık $\geq 15*$ etkin delik genişliği

Özelliklerini karşılaması beklenmektedir[2].

2.1.2.2 Güçlendirici eleman olarak geotekstil malzeme

Bu kullanım için Geotekstil malzemeler, en iyi sonuç için koruma tabakası içindeki bir ara platforma yerleştirilir. Bu amaçla, dane karışımı içinde güçlendirme etkisini geliştirebilen, yüksek derecede çekmeye dayanıklı malzemeler tercih edilir. Kullanılan geotekstillere dane büyüklüğü ile iyi bir dış tutma özelliği göstermelidirler. Geotekstil malzeme ile oluşturulan kafes yapılarının şekil bozulmalarını engellemelerinin yanı sıra yük dağıtıcı ve gerilim düşürücü etkileri vardır. Bu işlevlerini yerine getiren geo kafes yapılarının düşük taşıma kapasiteli bölgelerin

taşıma kapasitelerinin arttırılmasına oldukça etkili bir malzeme olduğu görülmektedir[2].

Güçlendirme elemanı olarak kullanılacak geotekstil malzemelerden aşağıdaki özellikler beklenmektedir[2]:

- İki ana yönde de azami çekme kuvveti $\geq 40 \text{ kN/m}$
- Azami çekme kuvvetlerinin tekdüzeliği 1:1-1:1,25
- Esnemedeki çekme kuvveti $\geq 10 \text{ kN/m}$
- Çekme kuvvetlerinin iki ana yönde tekdüzeliği 1:1 - 1,25
- İlmik genişliklerinin tekdüzeliği 1,1-1:0,75
- Asgari ilmik genişliği $\geq d_{80}^* \times 1,67$
- Azami ilmik genişliği $\leq 40 \text{ mm}$

* d_{80} değeri, dane dağılım eğrisinde % 80 elek geçirgenliğine tekabül eden ordinattaki dane büyüklüğüdür.

2.1.2.3 Ayırıcı özelliği ve filtre etkisi olan güçlendirici eleman olarak geotekstil malzeme

Ayırıcı özelliği ve filtre etkisi olan güçlendirici eleman olarak kullanılan geotekstil malzemeler temas alanlarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda geosentetik malzemenin kombine özelliklere sahip olması gerekir. Kullanılan malzeme, aynı zamanda Geo kafes eklenmiş keçemsi malzemelerdir. Kombine geosentetik malzemeler taşıma kapasitesini olumlu yönde etkileyerek arttırmaktadırlar[2]. Bütün taşıma sisteminin stabilizasyonunu, sürekli kullanım altında ve değişken hidrolik yüklenmeler altında taşıma kapasitesinin daha uzun süre dayanmasını sağlarlar.

2.1.2.4 Geotekstil malzemelerin balast ve platform arasında kullanılışı

Üstyapının güçlendirilmesi amacıyla Geotekstil malzemenin doğrudan balastın altına yerleştirilmesindeki avantaj açık seçik bellidir: Fazla malzeme hareketi yapmaya gerek kalmadan ve az masraflı olarak bir balast eleme işlemi sırasında yerleştirilebilir. Bu şekilde kullanılacak bir geotekstil malzemenin aşağıdaki özel niteliklere sahip olması beklenmektedir.

- Geotekstil ince malzemenin zeminden yukarıya doğru ilerlemesini engellemelidir; su geçebilmeli ama ince malzeme geçememelidir,
- Ara tabakanın suyu emip de taşıma kapasitesinden kayba uğramaması için su tahliyesini desteklemelidir ve dinamik kuvvetlere ve balastın baskısına karşı dayanıklı olmalıdır.

Termik olarak bağlanmış Geotekstil malzemelerin tamamen tıkanıp ve su geçirmez bir zar işlevine büründüğü, iğnelenmiş keçemsi malzemelerin ise iyi çalışma özelliklerini değiştirmediği, kaybetmediği gözleendiğinden deneyler iğneleme usulüyle bağlanmış ve sonsuz elyaftan mamul geotekstil malzemelerin diğerlerinden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Uygun geotekstil malzemesinin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Ağırlık $> 1000 \text{ g/m}^2$,
- Cins: İğnelenmiş elyaftan mamul keçemsi malzemeler,
- Çekme kuvveti altında azami esneme % 60,
- İlmik genişliği $< 75 \text{ } \mu\text{m}$
- Elyaf ayrıca reçine eklenerek sağlamlaştırılmış olmalıdır.



şekil 2.9: Geotekstillerin balast tabakası altında kullanımı.

Geotekstil malzemenin normal süratli hatların düzeltme çalışmaları sırasında, bölgesel olarak, doğrudan balastın altına yerleştirilmesi, sorunlu bu bölgelerin kullanım sürelerini uzatmak açısından uygun bir yöntemdir. Ancak uygulama

yapılırken, daha sonraki balast bakımlarından etkilenmemesi için geotekstil malzemenin yeterli derinlikte yerleştirilmesi uygun olacak, böylelikle malzemenin hasar görerek yapısının bozulması önlenmiş olacaktır.

2.1.2.5 Taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında geotekstil malzemelerin etkisi

Taşıyıcı özelliği arttırıcı etkinin, zeminin taşıma kapasitesi 10-30 MN/m² arasında iken taşıyıcı tabakanın 0,75 faktörüyle çarpılacağını ve azalacağını göz önünde bulundurabiliriz. Hem güçlendirmek amacıyla kullanılan, hem de ayırıcı olan ve filtre etkisine sahip Geotekstil malzemede dona karşı koruma tabakalarının kalınlıklarını 0,10 m azaltabiliriz[2].

Ayrıca UIC 719 R’de belirtildiği üzere, balast ve formasyon tabaka kalınlıkları hesaplanırken, zemin toprak kalitesinin S1 veya S2 olması durumlarında formasyon tabakasının altına geotekstil malzeme serilmesi gerekli görülmektedir. Bu durumlarda tabaka kalınlıkları hesaplanırken geotekstil malzeme kalınlığının da hesaba katılması gerekmektedir.

2.1.3 Geotekstil malzemelerin uzun süreli davranışları

1997 yılı Temmuz ayında Alman Demiryolları İşletmesi tarafından kullanımda olan Geotekstil malzemelerin uzun süreli davranışlarıyla ilgili bir inceleme yapılmıştır. Tekstil fiziği ve hidrolik açısından yapılan incelemeler, 1984 yılında yerleştirilmiş olan keçemsi malzemenin 13 yıl sonra hâlâ fonksiyonunu güvenli bir şekilde yaptığı sonucunu gösterdi. Kullanılmış olan keçemsi malzemede gerçi hafif mekanik bozulmalar görülüyordu, ama bunlar işlevini yerine getirmesini engellemiyordu.

1972 yılında Amerika Birleşik Devletlerinin The Smyrna, Delaware bölgesinde kumlu kil toprak zemin üzerinde bulunan asfaltsız bir tarla yolunun oluşturulmasında kullanılan geotekstil uygulaması üzerinde 35 yıl sonra gözden geçirilmek üzere çeşitli testler uygulanıyor(Şekil 2.10). Asıl amacı o günün şartlarında imal edilen geotekstillerin asfaltsız yol dolgusu altında gösterdiği performansın ölçülmesi olan çalışmanın neticesinde 35 yıl sonrasında da bu geotekstil malzemenin ayırma, Filtrasyon ve stabilizasyon fonksiyonlarını yerine getirebilir durumda olduğu görülüyor[23].



Şekil 2.10: 1972 yılında yol dolgusu altına yerleştirilen geotekstil malzemenin 35 yıl sonra çıkarılması.

2.1.4 Geotekstil malzemenin dinamik etkilenişi

Yapılan araştırmalara göre geotekstil malzeme ile güçlendirilmiş zeminlerde kritik titreşimin orta frekanslı bölgede, takriben 40 Hz civarında ortaya çıktığı belirtilmektedir[2]. Sistemin aşağıda gösterilen kısımları titreşimlerden olumsuz olarak etkilenebilirler:

- Geotekstil malzeme: Mukavemet sürekliliğinin etkilenmesi,
- Zemin: Sonradan sıkıştırmalar, havalandırmalar, suyun gözenek baskısındaki değişiklikler veya dane parçalanmaları dolayısıyla makaslama dayanıklılığının ve katılığın etkilenmesi,
- Geotekstil malzeme - zemin birleştirilmiş sistemi sürtünme davranışının veya sınır alanları makaslama dayanıklılığının etkilenmesi.

Bu etkilemeler dirençlerin azalması dolayısıyla statik benzeri etkiler olarak göz önünde bulundurulur.

2.2 Geomembran Malzemeler

Geomembranlar esnek polimer levhalar halinde üretilen ve özellikle sıvı/buhar geçirimsizlik özellikleri ile kullanılan Geosentetik ürünlerdir. Polimerik Geomembranlar, doğal kil veya diğer geçirimsizlik seçeneklerinin kullanılmasının mümkün olmadığı uygulamalarda kullanılmak üzere (su göletleri, madeni çözeltiler,

kirlenmiş endüstriyel sıvı atıklar, sızıntı suları, proses sıvıları gibi) geçirimsiz astarlar olarak tasarlanmıştır. Geomembranların en yaygın türleri, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), çok esnek polietilen (VFPE), polivinil klorür (PVC), güçlendirilmiş polietilen membran (CSPE) ve EPDM membranlardır[7].

Geomembran malzemeler, çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerine göre uygulama sahipleri ve tasarımcılara geniş bir ürün çeşitliliğiyle avantajlar sağlamaktadır. Bu fiziksel ve kimyasal özellikler, yerleştirme, dikim, kimyasal direnç ve uygun çevresel faktörler, kullanılabilecek en uygun ürünü seçmek ve malzemenin performansı açısından önemli faktörlerdir.

Her tip Geomembran malzemesi farklı performansa sahiptir ve bu performans dayanıklılık ve kullanım ömürlerini doğrudan etkilemektedir. Geosentetik sektöründe birçok membran çeşidi bulunmaktadır. Belirlenen bir uygulama için, gerekli özelliklerin doğru bir kombinasyonu ile uygulamanın gereksinimlerini karşılayacak doğru ürünü seçmek genelde zordur. Geomembran malzemeler; kimyasal dirençleri, mekanik özellikleri (elastik modülü, sünme dayanımı, yırtılma/delinme direnci v.b.) ve hava koşullarına karşı bozulma dirençleri göz önüne alınarak seçilmelidir. İyi ve doğru malzeme seçimi, uygun tasarım ve başarılı uygulama yöntemi ile birleştiğinde, sorunsuz bir geçirimsizlik sistemi oluşturulabilmektedir. Aksi takdirde yapılan uygulama hiçbir fayda sağlamamaktadır ve uygulamadan bir süre sonra geçirimsizlik sisteminde çözümü zor sorunlar meydana gelmektedir. (yırtılma, delinme, bozuna, çatlama vb.) Geomembranlar, madencilik tesislerinin tasarım ve çevresel performanslarında kritik ürünler haline gelmiştir. Madencilik sektörü genel olarak çözelti göletleri ve buharlaşma havuzlarında yaygın olarak Geomembran kullanmaktadır. Bu uygulamaların çok büyük boyutlu olması nedeniyle madencilik sektörü, Geomembran kullanımında önemli bir paya sahiptir.

2.2.1 Geomembran malzemelerin fonksiyonları

Geomembran malzemelerin esas fonksiyonu boşluksuz yapıları ile sıvı ve gaz geçişini engellemeleridir. Bununla birlikte fabrikasyon ürünler olan geomembranlar yapılarındaki malzeme özellikleri sayesinde aşağıdaki fonksiyonları da yerine getirmektedirler;

- Kimyasal maddelere karşı yüksek dirençli olduklarından çevrelediği yapıyı kimyasal etkilere karşı koruyucudur.
- Esnek yapısı sayesinde mekanik darbelere yüksek dayanım gösterir, üzerine gelecek darbeleri emerek yapıya olan etkisini azaltırlar.
- Çekme ve uzama mukavemeti yüksektir bu sayede kısmi hareket ve titreşimlerin etkili olduğu yapılara kısmi hareket esnekliği sağlar.
- Su ve nem geçirimsiz yapısı sayesinde, etrafını sardığı yapıda korozyona uğrayabilecek malzemeleri koruyarak korozyonu önler.

Bu fonksiyonlar göz önünde bulundurulduğunda, geçirimsizlik olması sebebiyle yalıtım yapısı oluşturmak üzere sıkça tercih edilen geomembranlar kimyasal ve fiziksel açıdan dayanaklı yapıları sayesinde doğrudan olmasa da koruyucu ve güçlendirici fonksiyon taşımaktadır.

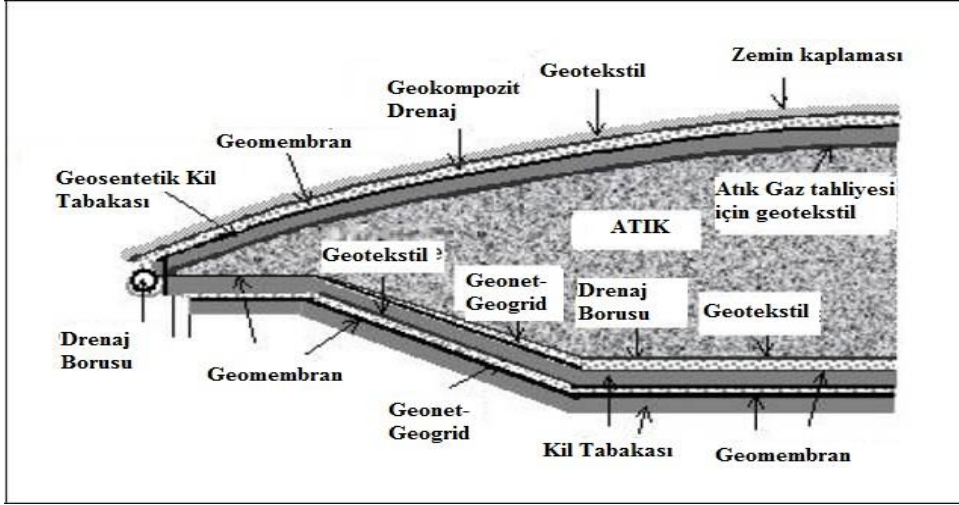
2.2.2 Geomembranların kullanım alanları

Geomembranlar, sektörel olarak geniş bir kitleye hitap etmektedir. Su koruma, madencilik, inşaat, atık yönetimi, su ürünleri tesisleri bu sektörlerden bazılarıdır. Diğer farklı uygulamaları ise, su koruma, taşıma ve depolama, gölet ve havzalar, evsel katı atık, tehlikeli atık, depolama alanları, göletler ve sızıntı suyu toplama havuzları, yağmur suyu toplama havuzları, özel ve ticari su peyzaj uygulamaları, yüzen kapak sistemleri ve diğer muhafaza sistemleridir. Bu uygulamaların tamamında, Geomembranların görevi toprak içerisine sıvı akışını engellemektedir ve depolama-muhafaza sistemlerinde sıvı engeli işlevini yerine getirmektedir. Geomembranların başlıca kullanım alanlarını atık depolama alanlarının ve yapıların su yalıtımlarının sağlanmasında geomembran malzemelerin kullanımı olarak iki ana başlıkta inceleyebiliriz.

2.2.2.1 Atık depolama alanlarında geomembran malzeme kullanımı

Geomembranlar geçirimsiz yapıları sayesinde günümüzde; katı, sıvı ve gaz atıkların muhafazasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Atık depolama alanlarının teşkili genel olarak bakıldığında bohçalama adı verilen teknik ile yapılmakta, atıkların çevresi geomembran ile sarılarak dışarı ile teması kesilmektedir. Atıklar bohçalama tekniği ile geomembranla kaplandıktan sonra toprak altına kalacak şekilde

gömülmektedir. Böylelikle bakteri vb. canlılar tarafından öğütülen atıkların sebep olduğu kötü koku ve görüntü insanlar rahatsız etmeyecek şekilde gizlenmektedir.

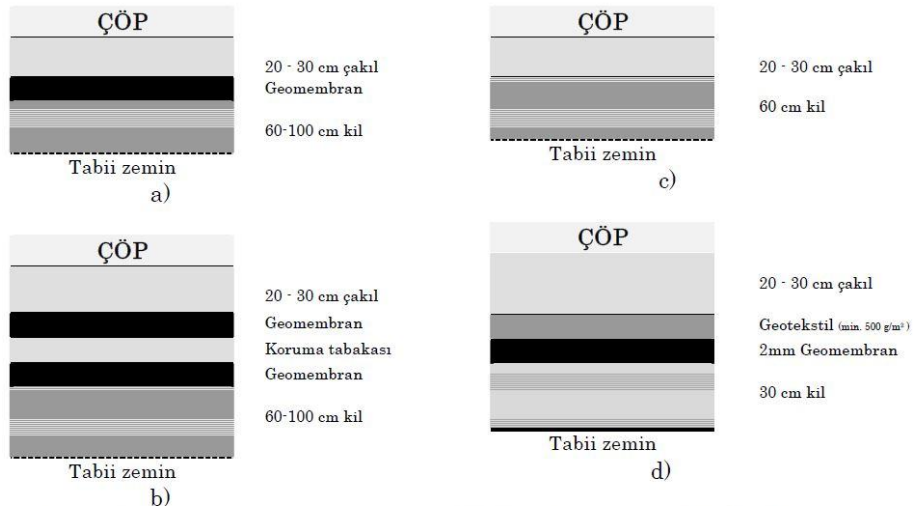


Şekil 2.11: Atık depolama alanı kesiti[8].

Sıvı atıkların veya katı atıklardan kaynaklanacak likit sızıntıların yer altı sularına karışarak kirletmesini önlemek üzere atık depolama alanının zemini geomembran kaplamanın yanı sıra geçirimsiz kil tabakasıyla da oluşturulabilmektedir. Ancak depolama alanının üst bölümünden yaşanabilecek sızma ve taşmaların önlenmesi amacıyla yapılan üst yüzeyde geçirimsiz kil tabakasını oluşturmak üzere gerekli basınç uygulaması yapılmasının sağlıklı olmayacağı düşünülmektedir. Bu sebeple kil tabakaların kuruma, donma ve çatlama gibi durumlarda onarımı zor olacağından depo kaplamalarında geçirimsiz kil tabakası yerine bir veya iki geomembran kullanılması tavsiye edilmektedir[8].



Şekil 2.12: Geomembran malzeme ile dış kaplaması oluşturulmuş bir depolama alanı.

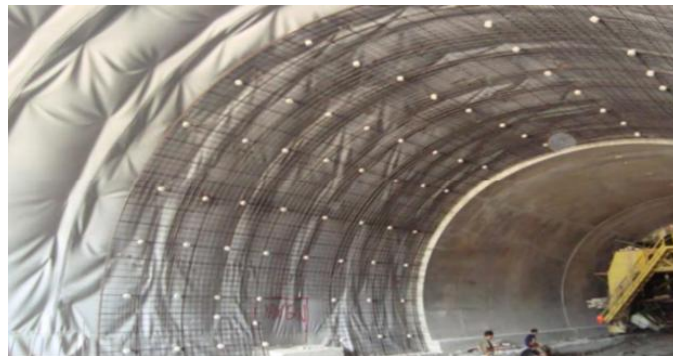


Şekil 2.13: Taban geçirimsizlik tabakası teşkilinde değişik uygulamalar[8].

2.2.2.2 Yapılarının Su Yalıtımında Geomembran Malzeme kullanımı

Yapıların daha uzun ömürlü, sağlıklı, konforlu ve güvenli bir ortam sağlayabilmesi için iç ve dış etkenlere karşı korunması gerekmektedir. Bu anlamda en önemli unsur yalıttır. Yapılarda su yalıtımı, ne şekilde, hangi şiddetle gelirse gelsin suyun yapıya ve içerisindeki aksamalara, demirlerin paslanmasına, çatlamalara, yapılarımızın yaşanabilirliğine zarar vermesini önlemek amacı ile yapılır[9]. Geçirimsiz yapısı ile geomembranlar günümüzde yapıların su yalıtımında en yaygın olarak kullanılan ürün durumundadır.

Özellikle yer altı yapılarının yalıtımını sağlamak üzere yapım aşamasında yapıların zemin ile temas edecek yüzeyleri geomembran ile kaplanarak su ve nem geçirimsizliği temin edilerek yapının muhafazası sağlanır. Şekil 2.14’de Antalya bölgesinde geomembran ile su yalıtımı yapısı oluşturulan bir tünel yapısı görülmektedir.



Şekil 2.14: Tünel su yalıtımında geomembran kullanımı.

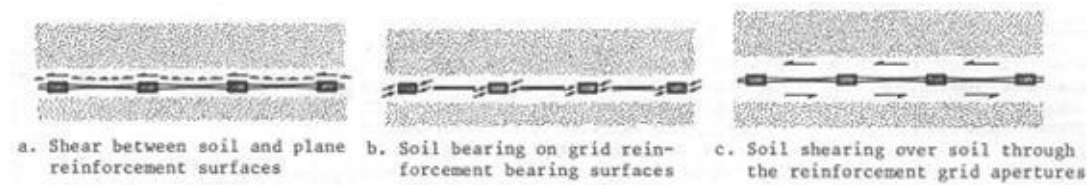
2.3 Geogrid Malzemeler

Yüksek deformasyon modüllü bu polimer malzemelerin hazırlanması için gerekli yöntemlerdeki gelişmeler sayesinde, özellikle de soğuk işleme yöntemindeki gelişmeler, bu malzemelerin donatı olarak kullanılmasını sağlamıştır. Günümüzde, geogrid malzemelerin en önemli kullanım alanları güçlendirmedir. Zeminlerin güçlendirilmesinde farklı birçok yöntem, malzeme ve yaklaşımlar olmasına karşın, geogrid malzemelerin bu alandaki kullanımları da hızla artmaktadır. Geogrid malzemelerin en önemli özelliği, açıklık olarak adlandırılan, zeminin içinden geçmesine izin verecek kadar genişlikte, enlemesine ve boylamasına olan şeritler arasındaki mesafelerdir. Geogrid malzeme şeritlerinin dayanımları yanında, aynı zamanda bağlanma dayanımları da önemlidir. Geogridler, zeminin deliklerinden geçmesine izin verdikleri için yükün uygulandığı boyuna şeritleri dik kesen enine şeritlerde bir pasif dayanım ve zahiri bir kohezyon oluşur. Aynı zamanda geogrid malzemenin zemine bağlanması da bu şeritler sayesinde olmaktadır[1].

2.3.1 Geogrid malzemelerin fonksiyonları

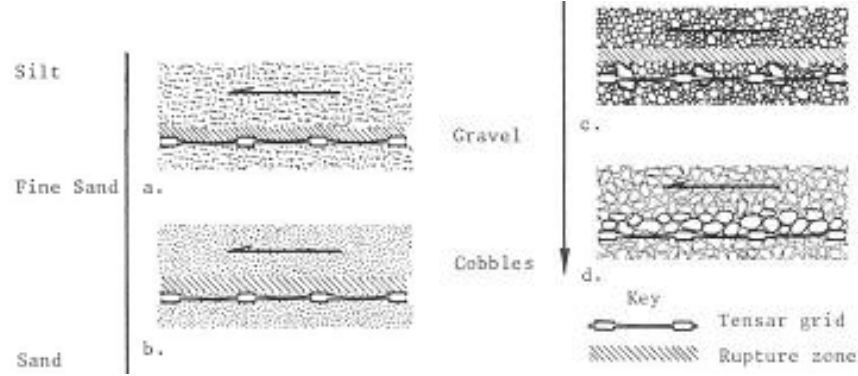
Boşluklu yapısı ile drenaj yapısını desteklediği bilinse de geogrid malzemelerin esas fonksiyonu güçlendirmedir. Güçlendirme fonksiyonu ile geogrid malzemeler granüler malzeme içeren yapıların ve zemin tabakalarının güçlendirilmesinde kullanılmaktadırlar.

Geogrid malzemelerin güçlendirme fonksiyonunu görmek üzere zeminler ve yapı malzemeleri arasındaki kesme kuvvetini ölçmek üzere bir dizi yüzey sürtünme testi yapılmıştır. Bu testlerde dikine bir kesme kutusu kullanılmış ve kaymaya olan direnci yüzey sürtünme açısıyla tanımlanmıştır. Şekil 2.15 de bu testler ile ortaya konulan direkt kaymaya direnen etkileşim mekanizmaları görülmektedir.



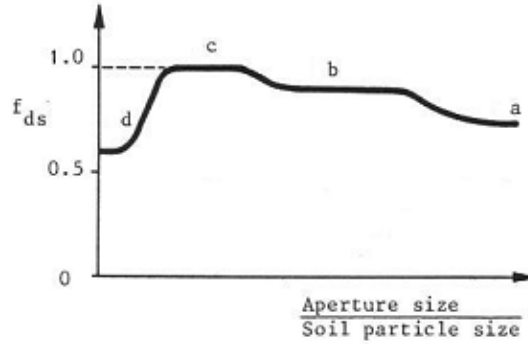
Şekil 2.15: Direkt kaymanın üç mekanizması[2].

Jewell ve ekibinin yaptığı testler neticesinde, zemin tanecik boyutlarının güçlendirme gridinin boşluk büyüklüğüne olan oranının kayma mukavemetine doğrudan etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 2.16: Partikül boyutlarındaki büyümenin direkt kayma direnci üzerindeki etkisinin kesit alan görüntüsü[2].

Yapılan hesaplamalara göre, geogrid malzemelerin güçlendirilmesi istenilen granüler tabakanın çok altına yerleştirilmesi durumunda çok az bir fayda edinildiği görülmektedir. Bu araştırmalara göre geosentetik malzemeleri güçlendirmesi yapılacak zemin tabakasının 200mm derinliği geçmeyecek şekilde, taban tabakasının orta bölümüne yerleştirmek en etkin faydayı sağlamaktadır[10].



Şekil 2.17: Partikül boyutunun direkt kayma üzerindeki etkisinin grafiksel gösterimi.

Chan yaptığı çalışmalar neticesinde granüler zeminlerin kalıcı oturmalarını azaltmada geosentetiklerin etkili olduğunu kanıtlandığını ve sertliği daha düşük olsa bile kalıcı oturmaya azaltmada geogridlerin geotekstil malzemelerden daha etkili olduğunu belirtmektedir. Öte yandan ağır trafik yüküne sahip asfalt yolların bakım sıklıklarının düşürülmesi açısından da geosentetik malzeme ile güçlendirilmesi

yapılmış zeminlerin güçlendirme yapılmamış zeminlere nazaran etkili olduğunu eklemektedir[10].

2.3.2 Geogrid malzemelerin kullanım alanları

Geogridlerin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlar, kaplamasız yollarda agreganın altında, toprak dolguların ve dolgu barajların güçlendirilmesinde, şev yenilmeleri ve heyelanlarının onarılmasında, kaplamalarda asfalt donatısı olarak sıralanabilir.

2.3.2.1 Yol yapılarının platform zeminini iyileştirilmesinde geogrid malzemelerin kullanımı

Geogrid malzemelerin yol platform zeminlerinin iyileştirilmesinde kullanımının esas amacı farklı oturmaları önleyerek zeminin taşıma gücünü arttırmaktır. Yolun kullanım özellikleri ve standartları arttıkça yolun zemin yapısı ve taşıma kapasitesinin gereklilikleri de artmakta ve yok maliyetleri de aynı oranda yükselmektedir. Geogrid malzemeler kendilerine etkiyen yüklemeleri kendi alanları boyunca yayarak zemin birim alanına gelen yük miktarını azaltırlar. Böylelikle daha düşük taşıma kapasitesine sahip zeminin kapasitesini arttırmaya da etkiyen yükü azaltarak, daha yüksek yükleri taşımasını sağlarlar. Özellikle zayıf zemin yapısına sahip olan bölgelerde geogrid malzeme kullanılarak yol platformlarının zeminlerinin güçlendirilmesi ekonomik olarak da tercih sebebi olmakta, alt yapı maliyetlerini düşürmektedir.



Şekil 2.18: Geogrid malzemenin asfalt yol zemininde kullanımı.

Yılmaz ve diğerleri, Zemini güçlendirmede alternatif yöntemlere göre daha kolay uygulanabilirliği ve istenilen dayanımda ürün üretiminin sağlanabilirliği ile daha ekonomik olarak farklı oturmaları önleyen ve dolayısıyla yapım maliyetlerini düşüren geogrid malzemeler, yol ömrünü arttırarak bakım ve onarım maliyetlerini de azaltmaktadır[1].

Hughes tarafından asfalt yollarda polimer geogrid güçlendirmelerin etkilerini incelemek üzere testler yapılmıştır. Bu testlerde iki asfalt deney yapısı oluşturulmuş ve asfalt altyapısında geogrid güçlendirmenin etkisini görmek üzere bu yapılara iki kesme kutusu deneyi uygulanmıştır. Yapılan testlerin neticesinde geogrid yerleştirilen yapının kalıcı oturmasında yaklaşık 3 kat düşüş görülmüştür. Ayrıca Hughes yaptığı testler ile kalıcı deformasyonu en alt seviyeye indirgeyebilmek için, geogrid tabakasının bitümlü tabakanın maksimum kesme kuvvetine maruz kaldığı bölüme ya da asfalt tabakasının altında kalıcı deformasyona sebebiyet veren daha alt tabakalara yerleştirilmesi gerektiğini belirtmiştir[10].

2.3.2.2 İstinat yapılarının oluşturulmasında geogrid malzemelerin kullanımı

Yüksek çekme mukavemetleri ve üretimine göre ayarlanabilir boşluklu yapıları sayesinde geogrid malzemeler özellikle yeşil şev yapılarının oluşturulmasında sıkça tercih edilmektedir. Geogrid malzemeler, Boşluklu yapısı sayesinde şev yapısının bitkilendirilmesine imkân sağlarken yüksek çekme mukavemetleri ve kolay uygulanabilirlikleri sayesinde çevreci istinat yapıları oluşturulmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.19: Geogrid malzeme ile şev yapılarının oluşturulması.

Geogrid malzeme kullanımı ile donatılarak oluşturulan şev yapıları arasında 40 metreye kadar donatılı duvarlar bulunmaktadır. Tayvan'ın Chung-Hsin kasabasında eğimli ve palyeli tasarım uygulanarak 35 metre boyunda bir istinat yapısı oluşturulmuştur. Şev açısının 60° olarak oluşturulduğu uygulamada her palyenin boyu 5 metre olarak tasarlanmış, palyeler arası uzaklık ise 2,5 metre olarak hesaplanmıştır. İstinat yapısının dış yüzeyine de çimlendirme uygulanarak hem doğal bir görünüm kazandırılmış hem de geogrid malzemenin güneşin zararlı etkilerinden korunması sağlanmıştır[1].



Şekil 2.20: Geogrid malzeme ile şev yapısının oluşturulması
(Chung-hsin, Taiwan).

Şev yapısının bitkilendirmesine olanak sağlayan geogrid malzemeler bu özelliği sayesinde çevreci bir yapı oluşturmalarının yanı sıra şev yüzeyinde yetiştirilecek bitki köklerinin şev malzemesini oluşturan toprağı tutması sayesinde yapının stabilitesi arttırılmaktadır.

3. DEMİRYOLLARININ YAPISI

Demiryolu projeleri oluşturulurken, ilgili güzergahta yapılması düşünülen hattın trafik yükü ve kullanım koşulları göz önünde bulundurularak bu koşulları taşıyabilecek üst yapı ile, ilgili güzergahın zemin özelliklerine göre alt yapı çalışmaları planlanır. Bu koşullar göz önünde bulundurulduğunda yapı olarak demiryolları incelenmek istenildiğinde altyapı ve üstyapı olarak iki ayrı başlık altında incelenmesi uygun olacaktır.

Demiryollarının yapım maliyetleri incelendiğinde altyapı yatırımlarının diğer aşamalarla kıyaslanırsa hatırı sayılır derecede yüksek olması göz önünde bulundurulduğunda, demiryollarında alt yapının oluşturulmasının mühendislik açısından daha titiz çalışarak yapılması gerektiği düşünülmektedir. Yeni bir demiryolu hattının yapım maliyeti, Güzergâh özellikleri, kamulaştırma maliyetleri, işçilik maliyeti gibi birçok faktöre bağlıdır. Güzergâhın durumuna göre sanat yapılarının (tünel, köprü vb.) fazla olması yapım maliyetlerini iki üç kat arttırabilirken, şehir merkezlerinde yapılacak projelerde kamulaştırma maliyetleri de maliyeti oldukça yukarı seviyelere taşıyabilmektedir[11]. Yapım maliyetlerini düşürebilmek üzere demiryolu güzergâh çalışmalarına ve zemin etütlerine büyük önem verilmekte, hem güzergâhın altyapı özellikleri incelenmekte hem de oluşturulacak bu hattın lojistik getirisi göz önünde bulundurularak demiryolu projeleri oluşturulmaktadır. Bununla birlikte yapımı zorunlu olan alt yapı ve sanat yapısı çalışmalarında, günümüzde artan malzeme teknolojisi ve çeşitliliği ile alternatif yöntemler geliştirilerek uygulamalar yapılmakta, yapım maliyetleri böylelikle düşürülmektedir. Demiryolu alt yapı ve üst yapı inşaatlarında geosentetik malzemelerin kullanımı ile malzeme tasarrufu sağlanması, yapının emniyetinin sağlanması ve ömrünün uzatılması da bu çalışmalar arasında gösterilmektedir.

Fransa, İspanya, Yunanistan ve Almanya'nın verilerine göre büyük inşaat projelerinin olmadığı hatlarda yapılan araştırmalar neticesinde ortaya çıkan maliyetlerin ortalama yüzde dağılımları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Demiryolu yapım maliyetleri[11].

Altyapı	45-30%
Sanat yapıları	10-25%
Hat	20%
Sinyal ve telekomünikasyon	10%
Elektrik çekim	10%
Proje	4-5%

3.1 Demiryolu Altyapısı

Milli Eğitim Bakanlığı'nın raylı sistemler teknolojisi ile alakalı hazırlattığı ders notlarının “Platform ve Tüneller” bölümünde Demir yolu Güzergâhının geçtiği doğal arazi üzerinde; yol kotunu ifade eden kırmızı çizgi ile arazi kotunu ifade eden siyah kot arasındaki yükseklik farkını ortadan kaldırarak, düzgün ve doğrusal bir demir yolu profilini elverişli kılan imalatlarla, bu imalatlar ve üstyapıyı dış etkenlere karşı koruyan ve üstyapının sağlıklı çalışmasına olanak sağlayan tesislerin tümüne demiryolu altyapısı denilmektedir. Dar anlamda ise altyapı, yükleri taşıyan zemin ve gerekli hallerde bunun üzerinde bulunan formasyon tabakasıdır. Bu tanımlar kapsamında demiryolu altyapısını oluşturan elemanlar şunlardır,

- **Platform:** Demiryolu üst yapısını destekleyen ve taşıyan zemin kesitini ifade eder, demiryolu Güzergâhında zeminin yeterli güvenirliliğe ve taşıyıcılığa sahip olmadığı hallerde, üst yapı imalatına başlamadan zeminde kazı yapılarak üst yapı arasında formasyon tabakası teşkil edilir. Formasyon tabakası da platform kesitine dâhildir.
- **Yarmalar:** Demir yolu güzergâhının geçtiği doğal arazide, arazi kotu (siyah çizgi) demiryolu geçki kotundan (kırmızı çizgi) yüksek ise, yüksek olan bölümlerin kazı ile çıkartılarak edilerek kademeli veya kadesiz şevlerin düzenlenmesi sonucu oluşturulan demir yolu bölümleridir.

- **Dolgular:** Demir yolu güzergâhının geçtiği doğal arazide, arazi kotunun (siyah çizgi) yol kotundan (kırmızıçizgi) düşük olduğu bölümlerde, çukur yerlerin doldurularak siyah kotun kırmızı kot seviyesine çıkarıldığı imalatlarla dolgu adı verilir.



Şekil 3.1: Demiryolu tünel yarma ve istinat yapıları.

- **Tüneller:** Demir yolu güzergâhının geçtiği doğal arazide, arazi kotunun (siyah çizgi) yol kotundan (kırmızıçizgi) çok fazla yüksekte kaldığı ve yarma oluşturma maliyetlerinin yüksek boyutlara ulaştığı bölümlerde, arazinin delinmesi suretiyle oluşturulan iki ucu açık geçitlere tünel denir.
- **Köprüler:** Akarsu, kara yolu, demir yolu veya benzeri engelleri geçmek üzere inşa edilen, imla altında olmayan ve açıklığı 8 m ve daha büyük olan sanat yapıları köprü denir.
- **Sağlamlaştırma ve önleme yapıları:** Dolgu ve yarma işlemi yapılan bölgelerde şev stabilitesini sağlamak, korumak amaçlı oluşturulan istinat duvarı ve benzeri yapılardır.

Teknolojinin gelişimi ve zamanın önem kazanmasıyla birlikte gelişim göstererek hızlarını arttıran, artan ihtiyaç sebebiyle yük taşımacılığında önemli bir yer kazanan raylı sistem araçlarının bu görevlerini güvenli bir şekilde yerine getirebilmeleri için demiryolu hattının mümkün mertebe sorunsuz olması gerekmektedir. Bu sebeple teşkil edilecek demir yolu altyapısı, belirlenen hızlarda üzerine etkimesi planlanan yükleri taşımalı, üst yapıyı gerektiğinde destekleyerek hat bakım maliyetlerini

düşürmeli ve hat ömrünü uzatmalıdır. Böylelikle sistem bir bütün olarak sağlıklı işleyerek gerekli güven ve konforu sağlayacaktır.



Şekil 3.3: Demiryolu köprüsü.

Hızların yükselmesi ve dingil yüklerinin artması altyapıya gelen gerilmelerin artmasına neden olmaktadır. Mevcut hatlarda balast altı tabakasının alt yüzeyi ve altyapının üst yüzeyi sıkışmış bir tabaka şeklindedir ve bu tabaka mümkün oldukça az değiştirilir, bundan dolayı altyapıyı yenileme imkânı oldukça azdır. Altyapı yenileme çalışmasını sadece sorunun olduğu alanlar için sınırlandırmak ve bunu periyodik bakım aralığında yapacak şekilde programlamak gerekir. Altyapıyı iyileştirme ve balast kalınlığını artırmak ekonomik ve teknik imkânlara bağlı olduğundan karar verilmesi de zor bir işlemdir. Bu sebeplerden ötürü, demiryolu altyapısının;

- Yolcu ve yük trenlerinin istenilen proje hızlarında konforlu ve güvenli hareketine imkân tanımak,
- Yük trenlerinden gelecek olan ağır dingil yüklerini güvenle taşımak,
- Üst yapıya sağlam bir destek yapısı oluşturarak hat bakım maliyetlerini azaltma görevlerini yerine getirmesi beklenmektedir[12].

Demiryolu altyapısı yukarıda bahsedilen görevleri yerine getirebilmek için;

- Demiryolu Güzergâhı boyunca zeminde ve sıkıştırılmış toprak dolguda aşırı oturmaların önüne geçilmeli,
- Demiryolu üstyapısının ağırlığı ve işletme yükleri altında stabilizasyonu sağlamalı,

- İmal edilen demiryolu hattının servis ömrü boyunca formasyon tabakası özellikleri bozulmamalıdır[12].

3.1.1 Geoteknik Analiz ve Zemin Sınıflandırılması

Demiryollarının yapım maliyetlerini doğrudan etkileyen bir faktör olan zemin özelliklerinin incelenmesi demiryolu projesinin hem tasarım hem de imalat aşamalarında yapılmaktadır. Geoteknik açıdan en uygun zemin özelliklerine sahip hat güzergâhı belirlendikten sonra imalat aşaması için tekrar bölgenin değerlendirmesi yapılmak üzere çeşitli analizler yapılır.

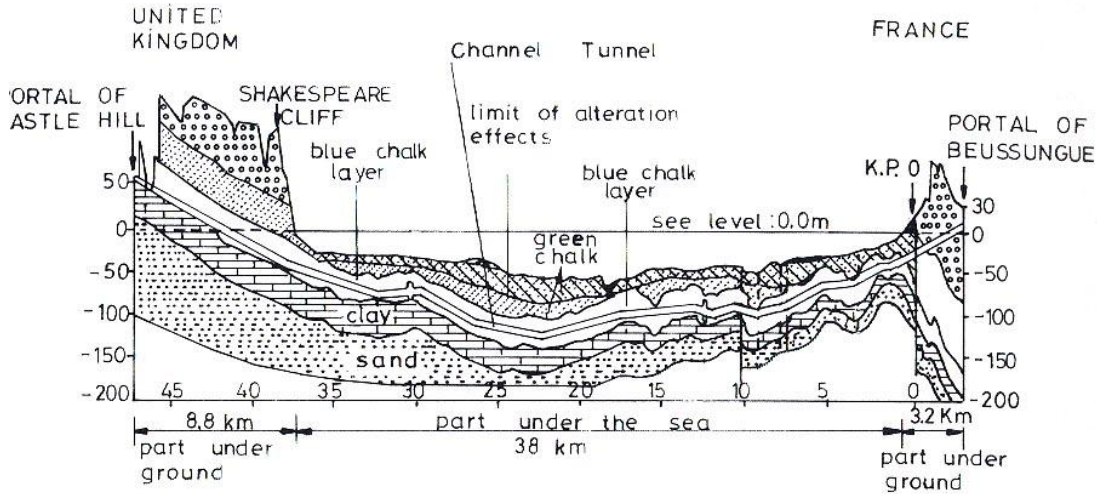
3.1.2 Analitik Geoteknik çalışma

Altyapı durumu demiryollarının konforu ve ömrü için ana etkenlerden olduğundan demiryolu altyapı inşaatlarına başlamadan önce, zeminin Geoteknik etüdünün yapılması yüksek önem arz etmektedir.

Geoteknik etüd çalışmaları neticesinde demiryolu projesi için aşağıdaki bilgiler elde edilir[11];

- Dolgu gerekecek bölgeler için proje kapsamında yer alan sahada dolgu malzemesi mevcut mu yoksa başka yerden dolgu malzemesi getirtmek gerekli mi?
- Güzergâhın zemin dayanımı zayıfsa dolgudan önce bir zemin iyileştirmesi yapılması gerekli mi?
- Güzergâh üzerinde zemin yer altı suları ne seviyede, altyapı açısından sorunlara neden olabilir mi?
- Zemin eğimleri uzun vadede stabilite açısından problem oluşturur mu?
- Güzergâh boyunca drenaj veya koruyucu önlem gerektirecek yarma yapısı ihtiyacı olan bölgeler var mı?

İngiltere ile Fransa arasında inşa edilen Manş Tüneli boyunca zeminin geoteknik karakteristikleri Şekil 'de görülmektedir. 38 kilometrelik bölümü denizin altından geçen tünele suyun penetrasyonunu önlemek üzere, mavi kireçtaşı tabakasına inşa edilmiştir.



Şekil 3.4: Manş tüneli boyunca zeminin geoteknik özellikleri, FRANSA-İngiltere[11].

3.1.3 Zeminlerin Geoteknik sınıflandırılması

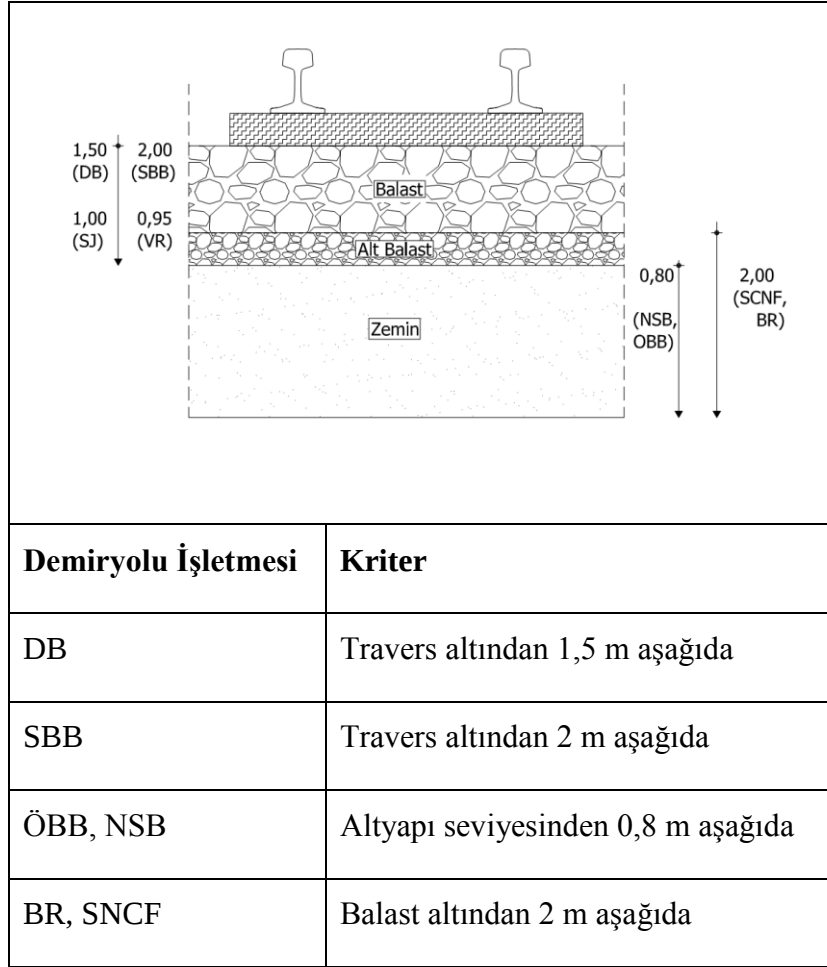
Mevcut demiryolu hatları için, üzerinde yıllar önce demiryolu hattı imalatı yapılmış olan zeminin Geoteknik etüdünün yapılması zorunlu olmasa da mekanik davranışın temel parametrelerini öğrenmek için yapılmasında fayda vardır. Bu amaçla karayolu mühendisliği projelerinde kullanılan değişik zemin sınıflandırmalarının kullanılabilmesi avantaj sağlamaktadır. Karayolu projelerinde bu sınıflandırmalar CBR indeksi gibi mekanik parametreler de hesaba katılarak, zemin granülometrisine ve Atterberg limitlerine (sıvılaşma limiti, plastisite limiti, büzülme limiti) göre yapılmaktadır.

Yabancı demiryolu kurumları zeminleri farklı şekillerde sınıflandırmaktadır:

- İngiltere, Fransa, Almanya, İsviçre; Kasandra sınıflandırması olarak da bilinen USCS (Birleşik Zemin Sınıflandırma sistemi) sınıflandırmasını kullanır.
- İskandinav ülkeleri malzemenin granülometri dağılımına göre sınıflandırır.
- İtalya, Yunanistan ve diğer ülkeler AASHO (Amerikan Devlet Karayolu Ofisleri Birliği) sınıflandırmasını kullanır.

İki veya daha fazla ince taneli malzeme içeren zeminler genelde ayrı olarak düşünülür. Benzer granülometrik bileşimine sahip bu zeminlerin hassas sınıflandırılması için plastisite karakteristikleri (Kasandra diyagramı) de bilinmelidir.

Çizelge 3.2 Bazı kurumların standartlarına göre hidrojeolojik şartların iyi olması için belirli referans seviyesinden minimum yer altı su seviyesi[12].



Uygun drenaj sistemine ve koşullarına sahip olmayan hatlarda, gerekli drenajın sağlanabilmesi için teknik ve finansal yönlerden suyun drene edilmesine destek olacak bir kum filtre tabakası oluşturulması veya Geotekstil malzeme serilmesinin fizibilitesi araştırılarak uygulaması yapılmalıdır. Aksi takdirde demiryolu altyapısında çeşitli deformasyonlar ile birlikte hattın kullanılamaz hale gelmesi de söz konusu olabilecektir.

3.1.5 Demiryolu altyapısının sınıflandırılması

Demir yolu altyapısı UIC sınıflandırmasına göre, Geoteknik karakteristikleri ve hidrojeolojik şartlarına bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır[11];

- S₃: Düşük oturmalar gösterir ve tren yüklerini çok iyi taşır.

- S_2 : Genelde orta miktarda oturma davranışı gösterir ve tren dingil yüklerini taşır.
- S_1 : Büyük miktarda oturma gösterir ve yalnızca az miktarda yeterli yük taşıyabilir.
- S_0 : Aşırı oturma gösterir ve yük taşıma kapasitesi çok düşüktür.

Yukardaki tanımlamalara altyapının yeterli dayanıma sahip kaya altyapısı da R olarak eklenmelidir.

UIC standartlarına göre uygulanabilir altyapı sınıflandırması Çizelge 3.3'de verilmiştir. Bu sınıflandırmada ince agrega yüzdesi, plastisite indeksi PI ve Los Angeles ve Deval katsayıları referans parametreleri olarak kullanılmaktadır.

Aşırı miktarda oturma göstereceği ve homojen bir yapısı olmaması sebebiyle karakteristiklerinin zaman içinde değişebileceği ve sonuç olarak balastın zeminin içine batması söz konusu olacağından S_0 kategorisindeki zemin, demiryolu hattının döşenmesi için uygun değildir.

Yeni bir demiryolu hattı imalatında güzergâh zemininde mümkün oldukça organik toprak kullanımından kaçınılır, güzergâh zemininde mevcut organik toprak var ise daha uygun malzeme ile değiştirilerek daha güçlü bir alt yapı elde edilir. Bunu belirlemenin mümkün olmadığı ve güzergâhın organik zemin bölgelerinden geçtiği eski demiryolu hatlarında özellikle yüksek dolgularda oturma riski olduğundan dikkatli bir şekilde takip edilmelidir. Bu koşullarda takip işlemi de meşakkatli olacağından ilgili bölgelerin, balast ve alt balast tabaka kalınlığı artırılabilir, geotekstil ve geogrid malzeme kullanımı ile beraber zemin iyileştirmesi çözümleri uygulanabilir.

Çizelge 3.3 UIC’e göre geoteknik karakteristikleri ve hidrojeolojik şartlara bağlı olarak altyapı kalitesinin sınıflandırılması[11].

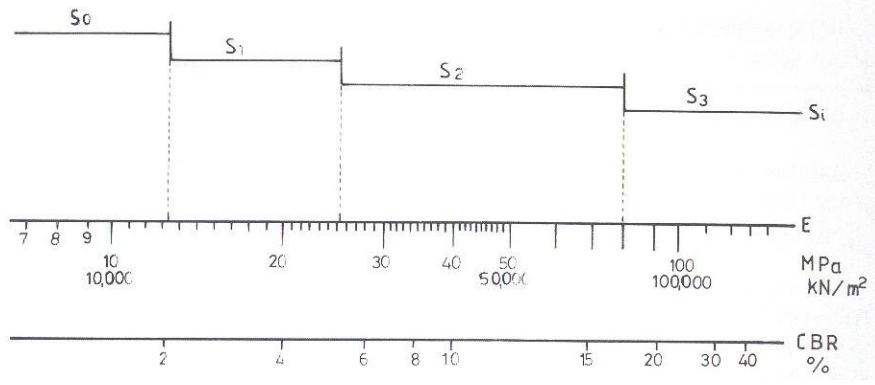
Zeminin Geoteknik sınıflandırması	Hidrojeolojik durumu	Demiryolu altyapı kalitesi
Düşük geçirgenli kaya	-	R
Orta geçirgenli kaya (kuru Deval>9, Los Angeles ≤30) <u>İnce tanecikli zemin*<5%</u>	-	S ₃
Yüksek geçirgenli kaya (6< kuru Deval<9, Los Angeles<33)	iyi	S ₃
Düzgün dağılılı ince malzemeli kum<5% İnce tanecikli toprak 5-15%	kötü	S ₂
Şilt PI>7 Siltli kum PI>7 İnce tanecikli toprak 15-40%	iyi	S ₂
Kırma taş Deval<6 ve Los Angeles>33	kötü	S ₁
Silt, kısmi plastik İnce tanecikli toprak >40%	-	S ₁
Organik toprak	-	S ₀

* İnce malzeme boyutu < 60m olan malzemedir.

3.1.6 Altyapının mekanik karakteristikleri

Demiryolu zemininin görevi ara tabakalar (balast ve alt balast) tarafından yeteri kadar azaltılan tren yüklerini taşımaktır. Yükleri uygun bir şekilde taşıması için zeminin bazı mekanik özelliklere sahip olması gerekir.

O.R.E tarafından yapılan bir seri test sonunda UIC’e göre zemin sınıflarının her biri için elastisite modülü aralıkları belirlenmiştir(Şekil 3.6). Kayalık zeminler için elastisite modülü kaya malzemesinin doğasına bağlı olarak değişir. R altyapı için elastisite modülü 3×10^4 kg/cm² dolayındadır.



Şekil 3.6 Farklı zemin sınıflarına karşılık gelen CBR indeksleri[5].

Altyapının sınıflandırmasında elastisite modülünün yanında taşıma kapasitelerinin de belirlenmesi gerekir. Şekil 3.6'da farklı altyapı zemin sınıflarına karşılık gelen CBR değerleri görülmektedir.

3.1.7 Formasyon tabakası

Demiryolu hattı güzergâhında altyapı zemini S₁ veya S₂ sınıfında ise balast tabakaları oluşturulmadan önce bu tabakalarının üzerine daha iyi kalitede bir malzemenin serilmesi demiryolu hat stabilitesinin sağlanması için faydalı görülmektedir. Demiryollarında alt yapı zemini ile balast tabakaları arasında oluşturulan bu tabakaya **formasyon tabakası** denilmektedir.

Formasyon tabakası, taban zeminine göre daha fazla sıkışmış olmalıdır. Buna göre, demiryolu imalatı ve işletmeciliği yapan birçok kurum, dolgu durumlarında zemin tabakalarının 95% CBR değerine, formasyon tabakasının 100% CBR değerine sahip olmasını ister [11].

Yüksek yol kalitesi, uzun dönem yol sağlamlığı, yüksek tren yoğunluğunda bile az bakım gerektirmesi ile karakterize edilir, işletme hızlarını ve dingil yüklerini arttırma imkânı sağlar. Demiryolu hattına bütün bir sistem gibi bakılması gerekir. Sistemin her bir tekil elemanı, ray ve traversten başlayan, balast yatağının plasto elastik özelliklerinden aşağıya doğru devam eden formasyon koruyucu tabakası ve zemine kadar giden, asıl hat kalitesinin bir birleşenidir. Bu birleşenlerin ana görevi trenlerin sebep olduğu kuvvetleri alt zemine iletmek ve dağıtmaktır. Bu sistemde sınırlandıran büyüklük hattın dayanım kapasitesidir. Yetersiz kapasite genellikle eksik veya zayıf drenaj nedeniyledir. Tekrarlayan hat konumu bozuklukları, ıslak noktalar (hattın

balast seviyesine kadar yükselen), don hasarından doğan kabarmalar, suyun toplandığı çukurları sebebi ile formasyon yüzeyinin bozulması altyapıyla ilgili bozulmaları gösterir[12].

Alt temel (formasyon) tabakası homojen, yoğunluğu fazla olmalıdır. Bu tabakanın kalınlığı altyapı kalitesine göre değişir. Koruyucu tabaka şu fonksiyonları gerçekleştirmek üzere yerleştirilir:

- **Destekleyicilik:** Zemin dayanım kapasitesi yetersiz ise, tabakanın yük dağıtma etkisi yüksek gerilmelerden alt zemini korur.
- **Dona karşı koruyuculuk:** Eğer formasyonun altındaki zemin dona karşı hassas ise termal yalıtım etkisi, dona hassas zeminleri dondan korur.
- **Filtreleyicilik ve ayırıcılık:** Balastın, altyapı ve ince zeminle karışmasını ve bunun balast içinde yükselmesini engeller.
- **Eşitleyicilik:** Dayanım kapasitesindeki büyük farklar olup, hat düzensizce desteklenmişse veya örneğin kaya zeminde düzgün formasyon oluşturulmamışsa düzgün yüzey sağlamak için kullanılır.
- **Düşük su geçirgenlikteki kaplayıcı olarak:** Suya karşı hassas zemini yüzey suyundan korur.

Bu tabaka balast yüksekliğini artırmayı önlediği için demiryolu hattı imalatında maliyet azalmasını ve balasttan zemine kadar elastisite modülünün kademeli değişimini sağlamaktadır. Aşağıdaki iki şart sağlandığı takdirde formasyon tabakası zemin iyileştirmede önemli bir fayda sağlar:

- Zemin malzemesinin su içeriği az olmalıdır, aksi takdirde zemin toprak malzemesi demiryolu hattında oluşacak titreşim ve dinamik yüklemeler ile formasyon tabakasının içine girer ve yanal eğimi bozar.
- Oluşturulacak formasyon tabakası homojen olmalı ve ince taneli malzemenin lokal konsantrasyonunu içermemelidir.

Formasyon tabakasının kalınlığı altyapı kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Yarı amprik olan bulunan formasyon tabakası kalınlığı değerleri Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.4 UIC 1-4 hat grupları için altyapı zemin kalitesine bağlı olarak formasyon tabakaları[11].

Altyapı kalitesi	Formasyon tabaka kalitesi	Formasyon tabaka kalınlığı(cm)
S ₁	S ₂	30-55
S ₁	S ₃	20-40
S ₂	S ₃	20-30

3.1.8 Trafik yüklerinin altyapıya etkisi

Trafik yüklerinin (hat tonajı) sıkıştırma etkisini ve bakım şartlarını analiz ederken karayolu mühendisliğinde Dormon Kuralı yeterli hassasiyetle kullanılabilir. Dormon Kuralı'na göre altyapının mekanik yüklemesi yükleme devir sayısının λ kuvveti ile ters orantılıdır[11].

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^\lambda \quad (3.1)$$

σ_1 ve σ_2 ; N_1 ve N_2 yükleme devir sayılarına karşılık gelen gerilmelerdir, λ 'nın ortalama değeri 0,2'dir.

P dingil yükü ve T günlük trafik yükü ise;

Denklem 3.1 şöyle olur:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{T_2/P_2}{T_1/P_1} \right)^\lambda \quad (3.2)$$

Dingil yüklerinin eşit olması durumunda $P_1=P_2$ denklem 3.2 şöyle olacaktır:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\lambda \quad (3.3)$$

3.1.9 Altyapıda bakım şartlarının etkisi

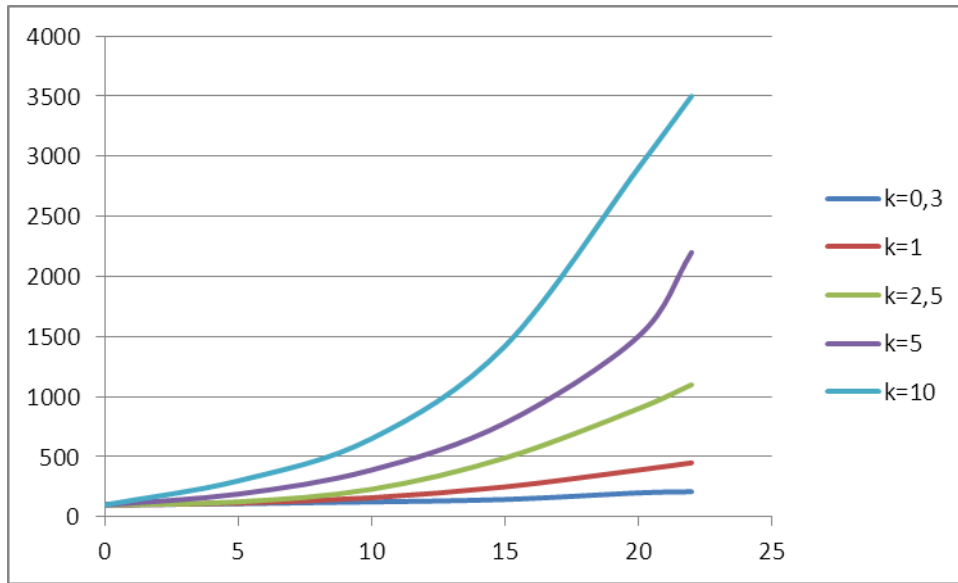
Hat bakım çalışmalarının miktarını dolayısıyla maliyetini belirlemek için bakım katsayısı k parametresi kullanılır. İki yenileme arasında toplam hat, her birinde aynı miktarda manuel veya mekanik bakım sayısı olacak şekilde kesimlere ayrılır. I bir

hat kesimindeki yıllık bakım sayısını gösterebilir ve I_m de aynı UIC grubuna ait ve aynı dingil yükünü taşıyan bir hattın ortalama yıllık bakım sayısını göstermektedir.

$$k = I / I_m \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’de belirtilen k bakım katsayısını vermektedir. $k=1$ ortalama bakım seviyesini gösterir, $k=0,5$ yeterli bakım seviyesini gösterir. Eğer altyapı zayıf durumda ise k değeri 10’a kadar çıkabilir.

k katsayısını kullanmak oransal bakım takvimini oluşturmak da faydalı olmaktadır. Şekil 3.7 son yenilemeden itibaren yıllara göre bakım katsayısına göre bakım maliyetlerini (UIC 1-3 hatları için) göstermektedir. Bakım maliyetlerinin anormal derecede arttığı kurlarda yenileme zamanı tahmini olarak belirlenebilir.



Şekil 3.7: Son yenilemeden itibaren yıllara göre bakım katsayısına göre bakım maliyetlerini (adamxsaat h/km hat) ve yıllık bakım sayısı (hem manuel hem mekanik) (UIC 1-3 hatları için)[11].

k_1 ve k_2 gibi iki farklı bakım katsayısına sahi p iki hattı düşünelim. Dormon Kuralını uygularsak,

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{\tau_2/P_2}{\tau_1/P_1} \right)^\lambda \quad (3.5)$$

τ her bir hattaki iki bakım arasındaki trafik yükünü gösterir. İstatiksel analiz τ değerinin T/k ile orantılı olduğunu göstermiştir. Bu değerler yerlerine yerleştirildiğinde Denklem 3.6 elde edilmektedir.

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{T_2/k_2/P_2}{T_1/k_1/P_1} \right)^\lambda \quad (3.6)$$

İki hattın aynı dingil yüküne ve trafik yüküne sahip olması durumunda ise 3.6 denklemi şu şekilde olur:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{k_2}{k_1} \right)^\lambda \quad (3.7)$$

Denklem 3.7'ye göre bakımın altyapının mekanik dayanımı üzerindeki etkisini hesaplamak mümkündür[11].

3.1.10 Demiryolu hatlarının dona karşı korunması

Demiryolu yapısında hapsolan su özellikle kış aylarında soğukların etkisi ile hacimce genişleyerek donacak, havaların ısınmasıyla çözülerek tekrar su formuna dönecek ve hacim kaybedecektir. Hacimsel bu değişimlere karşı demiryolu hatlarının stabilitesinin ve sürekliliğinin korunması için özellikle ağır soğuk iklim koşullarına sahip bölgelerde hat yapısı don etkilerine karşı korunmalıdır. Şekil 3.8'de görülen Tibet-Şangay demiryolu hattı dünya genelinde zorlu kış şartları sebebiyle don etkisinin yoğun olarak yaşandığı bilinen hatlardandır.



Şekil 3.8: Tibet – Şangay demiryolu hattı.

Demiryolu kurumlarının en soğuk kış günlerine göre don koruma tedbirlerini almalı ya da ekstrum durumlarda belli bir don penetrasyonunu kabul ederek ortalama kış şartlarına uygun altyapıyı yerleştirmeleri gerekir. Çizelge 3.5 belli bir süre içinde tekrarlama sıklığına ve donma ihtimaline göre don indeksini vermektedir.

Çizelge 3.5 Belli bir süre içinde tekrarlama sıklığına ve donma ihtimaline göre don indeksi.

Don indeksi	Donma ihtimali	Belli bir sürede beklenen tekrarlama sıklığı
F ₂	%50	2 yılda bir
F ₅	%20	5 yılda bir
F ₁₀	%10	10 yılda bir
F ₁₀₀	%1	100 yılda bir

3.1.11 Don koruma tabaka kalınlığı

Don olayından ötürü zemin kabarmasına karşı altyapıyı korumak için balast tabakasının (veya balast altının) altına bir malzeme veya malzeme karışımından oluşan bir tabaka eklenir. Don koruma tabakası için çakıl, cüruf gibi değişik malzemeler kullanılabileceği gibi balast ve alt balast tabakalarının altına yerleştirilecek Geotekstil ve Geogrid malzemeler de hattın drenaj sistemini ve stabilitesini destekleyerek veya viyadük benzeri yükseltme yapıları oluşturularak don etkilerine karşı demiryolu yapısını muhafaza edecektir.



Şekil 3.9: Tibet Şangay arası demiryolu hattında don etkilerine karşı alınan önlem yapısı.

Tibet – Şangay arası demiryolu hattında demiryolu platformu taşıyıcı kolonlarla yükseltilerek zeminde oluşan don etkilerine karşı korunmaya alınmıştır (Şekil 3.9).

Balast tabakası ve alternatif malzemeler kullanılarak yapılacak iyileştirme çalışmalarının yetersiz olacağı veya yapım maliyetlerinin yüksek olacağı tespit edilen bölgelerde bu tür bir uygulama ile de demiryolu yapısını don etkilerine karşı korumak mümkün olmaktadır.

3.1.12 Demiryollarında altyapı kaynaklı olabilecek sorunlar

Demiryolu altyapısı trenlerin güvenli ve konforlu çalışmasını sağlamak için gerekli standart hat kalitesine ulaşmak için oldukça önemlidir. Demiryolu kuruluşları tarafından yolcu konforu ve güvenlik adına yapılan üst yapı çalışmaları, alt yapıdan kaynaklı sorunların görülmesi halinde anlamını yitirecektir. Bu kıstaslar göz önünde bulundurulduğunda, demiryollarında oturmaların sınırlı olması, öngörülen yükler altında stabilizasyonun sağlanması, servis ömrü boyunca formasyon tabakalarının özelliklerinin bozulmaması demiryolu altyapısından beklenen özellikler olacaktır.

Altyapı çalışmaları için hesaplamalar yapılırken, hat için öngörülen dingil yükleri, travers tipi ve balast kalınlığının yanı sıra zeminin toprak tipi, hidrojeolojik şartlar ve mekanik dayanım şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Demiryolu altyapısının bu şartlar altında yukarıda belirtilen özellikleri sağlamaması halinde demiryolu yapısında ve işletmede çeşitli problemlerle karşılaşılması kaçınılmaz olmaktadır.

- Arazi Platformu Hasarları,

Trafiğin neden olduğu yük, hava şartlarının etkisi ile değişik zeminlerde değişik büyüklükte aşırı zorlamaya ve dolayısıyla arazi platformunun şeklinin bozulmasına ve hasar görmesine neden olabilir. Bu traversler altında düzensiz oturmalar olarak belirir[2].

Arazi platformunun hasarlanması neticesinde, hattı daha iyi durumda tutabilmek için daha fazla hat çalışmaları, yavaş geçilecek bölgeler ve onarım işleri gerekecektir.

Aşağıda listelenen hasarlar görülebilir[2]:

- Aynı çeşit kum gibi, aynı malzemedan meydana gelen zeminlerde, kumun, zemin titreşimleri neticesinde hareket ederek balast yatağı içinden travers üst yüzeyine kadar yürümesi,



Şekil 3.10: Demiryolu hattı arazi platformunun çökmesi- Kanada, 2013.

- Yapışkan olmayan veya az yapışkan olan zeminlerde dinamik yüklenmeler sonucu arazi platformunun ve zeminin gevşemesi ve bunun sonucu olarak çatlakların ve çatlak bölgelerinin oluşabilmesi,
- Çamur zeminlerde, hava yağışlı olduğu zamanlar arazi platformu çabucak dalgalanır ve çamurlaşmış zemin, yük değişikliklerine uğradıkça, balast yatağının üst düzeyine kadar pompalanır; yani su birikintileri oluşur ve traversler altındaki balast oturur (balast torbaları). Hat yerleşimi yağmurlu havalarda hemen bozulur ve hava kurduğunda oldukça çabuk gene sağlamlaşır,



Şekil 3.11: Demiryollarında arazi platformu hasarları ve düzeltme çalışmaları.

- Çok yapışkan, yük değişiklikleri nedeniyle sıkılaştıran zeminde traverslerin altında bir çukurlaşma oluşur ve zemin traversler arasında ve yan yol istikametinde

kabarıp. Bu zeminlerde de yağmurlu havalarda çamur, travers yanlarından balast üst yüzeyine pompalanır. Bu zemin şekil değişiklikleri hem yaş, hem de kuru havalarda ve çok yavaş olarak oluşur,



Şekil 3.12: Travers hareketinden oluşan pompalama etkisiyle travers etrafında boşluk oluşması.

- Kışın, yapışan zeminlerde (çamurlu veya killi) donma tümsekçikleri ve baharda da özellikle platform kenar bölgelerinde, erimeden oluş an gevşemeli hasarlar olur ve eşit boylu kum zeminlerde rüzgâr erozyonu ile zararlar oluşabilir. Öte yandan çok yapışan zeminlerde kurak zamanlarda kuruyarak çekmeden dolayı çatlaklar ve yağışlı zamanlarda da, özellikle sıcak iklim bölgelerinde, ıslanmadan dolayı şişme hareketleri oluşabilir.
- Arazi platformundaki bu hasarlar düşük yoğunluklu trafik altında iken uzun bir yerleşim süresinden sonra, yoğun trafikte ise daha kısa bir zaman sonra ortaya çıkar.

3.1.13 Arazi platformu hasarlarının nedenleri

Lichterberg'e göre yapım aşamasında uygun olarak projelendirilemeyen veya gerekli görülen imalatları sağlıklı olarak yapılamayan demiryolu hatlarında arazi platformu hasarlarının görülmesinin başlıca nedenleri[2]:

- Demiryolunun altyapısını oluşturan zeminin tasarım yüklerine uygun olmaması,
- Zeminin statik ve dinamik açıdan tasarlanandan fazla yük altında kalması,
- İmalat esnasında arazi platformunun yeterli olarak sıkıştırılmamış olması ve zeminin çeşitli sebeplerden hacim kaybına uğraması,

- Aşırı yağış ve taşkın durumlarında arazi platformu veya zeminin drenaj sisteminin yetersiz kalması,
- Zemin yer altı su seviyesinin yüksek olması,
- Zeminin kuruması ile oluşmuş çatlaklara yağış suyunun dolması ve buralarda tutulması,
- Demiryolu hattında geçerli olan işletme yüklerine uygun ve yeterli taşıma kapasitesine sahip olmayan ray formlarının kullanılması,
- Travers arası mesafelerin fazla olması, yatak yüzeylerinin küçük olması veya ağırlıkları yüksek traverslerin kullanılması,
- Demiryolu hattının inşası sırasında yapılmış olan diğer yanlışlar olarak gösterilebilir.

3.1.14 Arazi platformu hasarlarının sonuçları

Arazi platformu hasarları neticesinde, hattı iyi durumda tutabilmek için daha fazla hat bakım ve onarım çalışmaları gerekecek, hat genelinde hız limiti uygulanması gereken bölgeler oluşacağından işletme kayıpları olacaktır. Bu sebeplerden hem bakım maliyetleri artacak hem de işletme kazancı azalacaktır. Çok esnek zeminlerde arazi platformu hasarlarının oluşması ile beton traverslere fazla yüklenmeler olabilir ve beton traverslerde çatlaklar meydana gelebilir. Bu şekil esnek zeminler üzerindeki hatlarda ve trafik yükü altında daha fazla görülen değişik büyüklükteki oturmalar, raylara kaldıracabileceklerinden daha fazla yüklenilmesine, ray çeliğinin erkenden yorulmasına ve rayların yaşam sürelerinin kısalmasıyla da masrafa sebep olurlar.

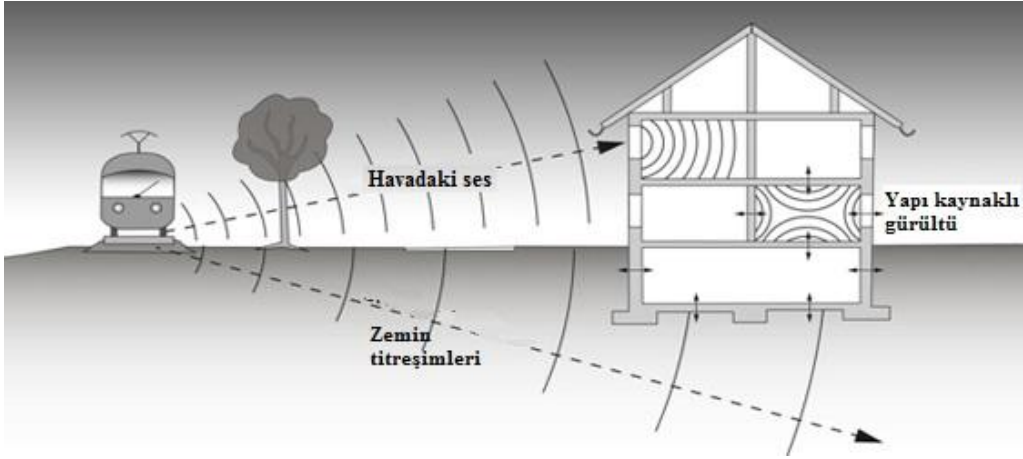


Şekil 3.13: Demiryolu arazi platform hasarları.

Çamur ve kil zeminlerde yıllar içinde balastın zemine bastırılmasıyla, sonradan içleri yağmur suyu dolan balast torbaları oluşur. Su, balast torbalanma bölgesinde zemini büyük derinliklere kadar yumuşatır ve yanlara su seviyesinin yüksekliğine tekabül eden bir baskı uygular. Bu dolgu bölgelerde, zeminin yürümeye başlamasından sonra uzun sürede şevlerin şişmesine ve arkasından da kırılmasına veya hemen baştan şevlerin ani kusmalarına neden olabilir.

- Gürültü ve titreşim sorunları,

Hat yapısında, özellikle birleşme noktalarında altyapıdan kaynaklı bozukluklar sebebiyle hat boyunca titreşim ve gürültüde artış görülecektir. Titreşim ve dolayısı ile gürültü seviyesinde ortaya çıkacak bu artış gerek yolcu konforunu azaltacağı, gerekse çevresel gürültü oluşturacağı için önüne geçilmelidir.



Şekil 3.14: Demiryollarındaki gürültü ve titreşimin etkisi.

- Ray hattında çatlak ve kırıklar,

Demiryolu hattı boyunca zeminde gerçekleşebilecek farklı oturmalar ve altyapının demiryolunda oluşan titreşimi yeterince sönmülememesi ray kaynaklarında veya ray boyunca etki edebilecek gerilmeler neticesinde rayın fiziksel yapısını bozarak çatlak ve kırık oluşumlarına sebep olacaktır. Ray hattında kırık görülmesi demiryolu işletmesi için işletmeyi ciddi anlamda tehlikeye düşürmekte olup, zamanında müdahale edilemeyen çatlakların da aynı şekilde yapı bozukluklarından ötürü kısa sürede kırıklara dönüşmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu çatlak ve kırıklara zamanında müdahale edilememesi durumunda raylı sistem araçlarının mevcut hızlarına da bağlı olarak deray olma riski yüksek olacaktır.



Şekil 3.15: Demiryollarında ray kırılması.

Demiryolu alt yapısında yeterli esnekliğin sağlanması ve bu esnekliğin üstyapı ile desteklenmesi ile alt yapı kaynaklı olarak gerçekleşebilecek ray çatlamları ve kırılmalarının önüne geçmek mümkün olacak, termal etkilerden oluşacak çatlaklar için de esnek bir yapı oluşturarak bu çatlakların kırığa dönüşmeden muhafaza süresini uzatmış olacaktır.

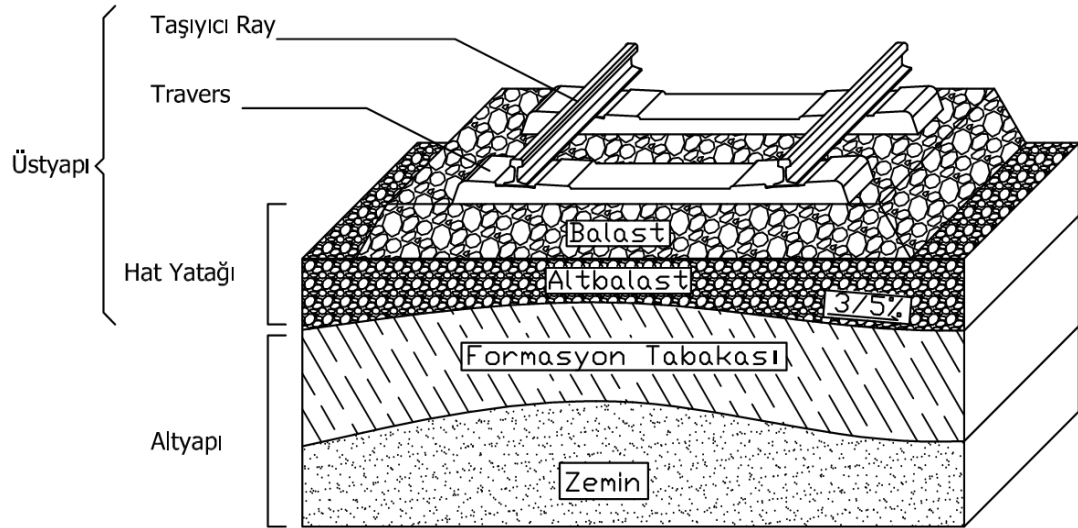
3.2 Demiryolu Üstyapısı

Demiryolu altyapısının üzerine döşenmiş bulunan, taşıtlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlayan demiryolu malzeme ve elamanlarının tümüne üstyapı adı verilmektedir. Demiryolu üstyapısı, demiryolu araçları ve bu araçların hareketlerinden kaynaklanan yükleri yayarak alt yapıya iletmektedir. Basit anlamda demiryolu üst yapısı ray ve traversler tarafından çerçevelendirilip balast tarafından desteklenerek oluşturulmaktadır. Çerçeveler demiryolu hattının en küçük birimi olup hat Güzergâhı oluşturmaktadırlar.

Üstyapının demiryolu için fonksiyon ve görevleri[12],

- Yol boyunca demiryolu vasıtalarına düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak,
- Demiryolu taşıtlarından gelen statik ve dinamik yükleri güvenli ve kalıcı şekil değiştirmelere uğramadan karşılamak ve bu kuvvetleri yayarak altyapıya iletme,
- Yeterli elastikliğe sahip olmak,

- Şekil bozukluğuna uğradığında, kolayca eski durumuna getirilebilir özellikte olmak,
- Yüzey sularını bünyesinden kolaylıkla ulaştırılabilir özellikte olmak,
- Uzun ömürlü ve ekonomik olmak olarak sıralanabilir.



Şekil 3.16 Tipik balastlı demiryolu hattı en kesiti.

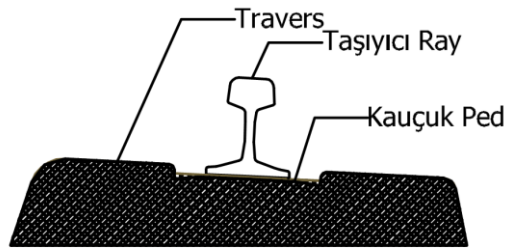
Demiryolu üst yapısını oluşturan elemanlar yerleşim sırasına göre yukarıdan aşağı takip edilirse şunlardır;

- **Raylar:** Demiryollarında tren tekerleklerini yönlendiren, tekerleklerle temas yüzeyi sağlayan ve demiryolu araçlarından kaynaklanan yükleri traverse ileten dökme çelik demiryolu elemanlarıdır.
- **Bağlantı elemanları:** Rayları, raylara ve traverslere bağlayarak stabilitesi yüksek bir çerçeve oluşturan, raylar ve ray ile travers arasında kuvvet aktarımını sağlayan, rayların şekil ve yer değiştirmelerini önleyen, üstyapıya gelen etkileri elastik şekil değiştirmelerle azaltan, cebire, krapo, ergo, bulon, tirfon ve selet gibi malzemelerdir.
- **Traversler:** Demiryolu yük aktarımı modeline uygun şekilde; raydan kendisine etkiyen kuvvetleri daha geniş bir yüzeyde karşılayıp yayarak balast tabakasına aktaran, yolun açıklığını saptayıp koruyan ve yolu yan etkilere karşı ekseninde tutan, raylara dik yönde belirli aralıklarla döşenmiş sömellerdir.

- **Balast tabakası:** Traversler tarafından iletilen tüm etkileri kalıcı çökmelere uğramadan ve daneleri arasındaki sürtünme ile yayarak platforma ileten ve yol çerçevesine elastik bir yatak oluşturan; 30-60 mm. ebadında kırılmış, keskin köşeli ve keskin kenarlı sert ve sağlam taşlar.

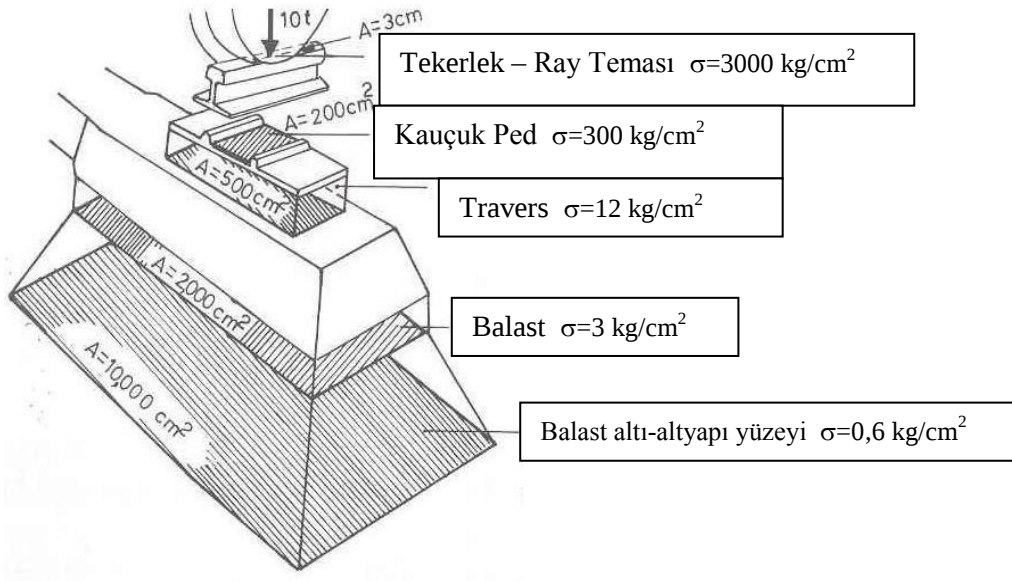
Demiryolu yapısına raylı sistem taşıtlarından gelen yükler zemin seviyesinden 2 m aşağıya kadar iner ve bu derinlik altyapıya bağlı olarak değişir.

Raylı sistemlerde Taşıt titreşimlerini daha düşük seviyelere indirmek için taşıyıcı ray ile travers/tespitleme betonu arasına elastik pedler yerleştirilir(Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Demiryolu taşıyıcı ray ve travers elemanı.

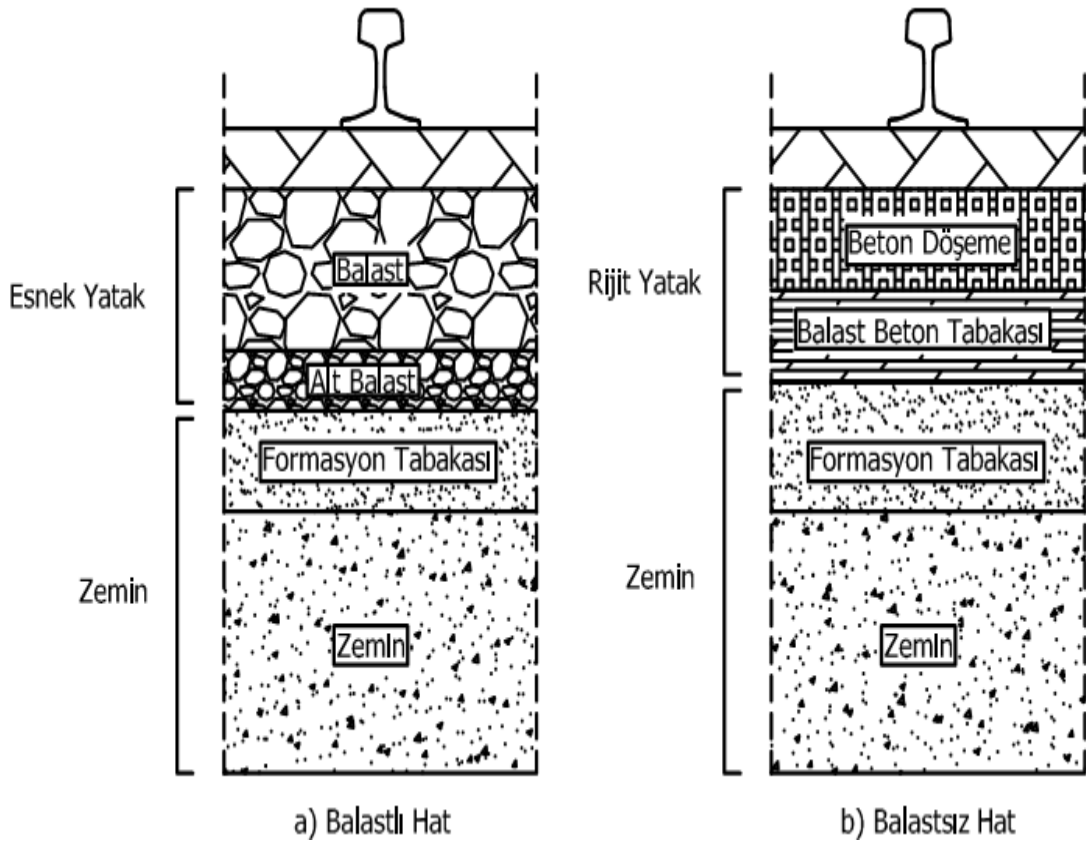
Demiryolu üst ve alt yapı sistemlerinde yukarıdan aşağıya doğru farklı tabakaların yüzey alanları kademeli olarak artmakta, gerilmeler de bu şekilde azaltılmaktadır. Buna göre, tekerlek yükünün temas ettiği noktadaki gerilme altyapıya yaklaşık 1/1.000-5.000 oranlarına düşerek inmektedir(Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Demiryolu alt ve üst yapı sistemlerinin her kısmının taban alanları ve tren yüklerinin dağılımı.

3.2.1 Balastlı ve Balastsız Üstyapı

Klasik demiryolu üstyapısı, balast yatağı içine hat çerçevesinin yerleştirilmesi ile oluşmakta ve balastlı üstyapı sistemi olarak isimlendirilmektedir. (Şekil 3.19) Bununla birlikte, demiryolu hattı balast yerine esnek olmayan rijit bir beton döşeme üzerine de kurulmuş olabilir. Esnek olmayan, balastsız üstyapı çoğunlukla kent içi raylı sistemlerde kullanılmaktadır ve tünel kesitlerinin küçülmesini sağladığı, bakımı kolaylaştırdığı için tünellerde kullanılması çok efektif görülmektedir. Ancak şehirlerarası raylı sistemlerde yeterli elastisiteyi sağlaması, yapım maliyetinin balastsız üst yapıya nazaran düşük olması, yüksek hızlarda yeterli yanıl direnci sağlaması sebebiyle çoğunlukla balastlı üstyapı tercih edilmektedir. Balastsız üstyapıda balastlı üstyapıya göre daha fazla gürültü ortaya çıkmaktadır ve bu husus görmezlikten gelinemeyecek bir durumdur. Balastsız üstyapı uygulaması yapılan tünellerde yolcular tarafından sarsıntı olarak hissedilen hat rijitliğindeki ani değişiklikler tünel giriş ve çıkışında değişik kalınlıklarda kauçuk pedler yerleştirerek azaltılabilir.



Şekil 3.19 Balastlı ve balastsız demiryolu hattı tip kesiti.

3.2.2 Balast ve alt balastın fonksiyonları

Demiryolu mühendisliğinde, traverslerin üzerine oturduğu kırma taş (ender durumlarda çakıl) tabakasına balast denir. Bununla birlikte, travers araları ve kafaları da balastla doldurulur(Şekil 3.20).

Üstyapıda balast başlıca şu görevleri yüklenmiştir:

- Platforma gelecek yüklerin daha geniş bir alana dağılmasını sağlamak,
- Tren titreşimlerinin büyük bir kısmını absorbe etmek,
- Yağmur suyu drenajını sağlamak,
- Hattın kaymasını engellemek (boyuna ve yanal)
- Hat Geometrisinin iyileştirilmesini ve hat hatalarının düzeltilmesini sağlar

İyi bir yük dağılımı ve hat stabilitesini elde etmek için uygun granülometride balast ve sıkıştırma gereklidir. Fakat balast tabakasını aşırı sıkıştırma durumu da suyun drenajını zorlaştırmaktadır. Demiryolu inşaatlarında balast tabakası oluşturulurken bu farklı talepleri karşılamak üzere en uygun çözüm bulunarak hem demiryolu hattı stabilitesi sağlanmalı hem de düzgün bir drenaj sistemi elde edilmelidir. Böylelikle bakım maliyeti nispeten düşük ve uzun ömürlü bir demiryolu hattı oluşturulmuş olur.



Şekil 3.20: Balastlı demiryolu hattı.

Balast tabakasının altına serilen alt balast tabakasının ;

- Altyapıyı balastın gömülmesine karşı koruması,
- Gerilmelerin daha geniş bir alana yayılmasını sağlaması,
- Yağmur sularının drenajına yardım etmesi,
- Platformun üstünde su akışının sağlanması için uygun bir yanal eğim sağlaması (genelde 3-5 %) istenilmektedir.

Alt balast tabakası kalınlığı genellikle 15 cm civarındadır ancak günümüzde geliştirilen geosentetikler gibi çeşitli malzemeler balast tabakasına olduğu gibi alt balast tabakasına ve formasyon tabakası ile alt balast tabakası arasına da katılarak tabaka kalınlıkları daha düşük seviyelere çekilebilmektedir.

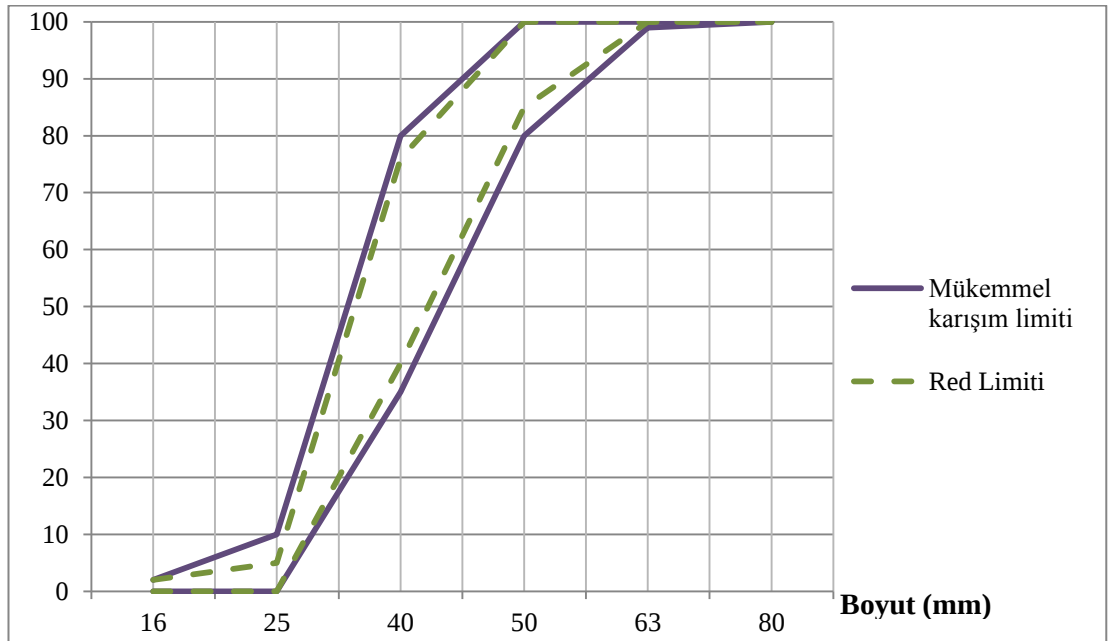
3.2.3 Balastın Geometrik özellikleri

Önceki bölümlerde bahsedilen fonksiyonlarını sağlayabilmesi için, balast sert, sivri köşeli (kübik veya çok yüzlü), temiz ve bütün boyutları birbirine yakın olmalıdır.

Şekil 3.21 Fransız Demiryollarına göre hazırlanmış uygun bir granülometriyi gösterir. 16 mm'den küçük olanlar 2 % ile, 63 mm'den büyük olanlar 3 % ile sınırlandırılır. Çizelge 3.6'da İngiliz Demiryollarına (14 mm - 50 mm) göre hazırlanmış granülometri vardır.

Çizelge 3.6 İngiliz demiryolları standartlarına göre balast boyutları.

Elek Açıklığı D(mm)	Elekten Geçen Oran (%)
50	100
28	20
14	0



Şekil 3.21: Fransız demiryollarının normal bir balastın granülometri diyagramı.

3.2.4 Balastın mekanik davranışı

Balastlı bir demiryolu hattında tren hareketleri gözlenirken balast tabakasında oturmalar ve gerilmelerin olması balast davranışının elastoplastik olduğunu göstermektedir.

Sahada ve laboratuvarıda yapılan ölçümler sonucu ilk yükleme anında balastın önemli miktarda bir plastik deformasyona uğradığı gözlenmektedir. Buna karşılık olarak balast tabakası denge durumunu koruyabilmek için hareket etmekte, ilk yüklemeden sonraki diğer yüklemelerde oluşan plastik deformasyonun toplam deformasyona katkısı az olmaktadır.

3 dingil testine göre n.ci yüklemede deformasyon ϵ_p^N ilk deformasyon ϵ_p^1 ile gösterilir.

$$\epsilon_p^N = \epsilon_p^1 (1 + 0,2 \log N) \quad (3.8)$$

Bu denkleme göre 10.000 inci yüklemedeki deformasyon ilk deformasyonun iki katı olur.

İngiliz Demiryollarının sabit gerilme altında yapılan laboratuvar testleri sonucu plastik deformasyon için aşağıdaki yarı ampirik formül bulunmuştur.

$$\epsilon_p^N = 0,082 (100 n - 38,2) (\sigma_1 - \sigma_3)^\alpha (1 + 0,2 \log N) \quad (3.9)$$

n: balast gözenekliliği (porosite)

α : uygulanan gerilmelere bağlı olan katsayı,

*düşük gerilmeler için $\alpha = 1 - 2$ arasında alır, yüksek gerilmeler için ise 3 alınabilir.

Elastisite modülüne göre, üç dingilli testler sonucu ilk 1000 yüklemede plastik deformasyon artar, ondan sonraki yüklemelerde deformasyon değişmez. İlk yükleme anında önemli bir plastik deformasyon görülür. 1000'inci yüklemedeki elastisite modülü ilkinin iki katı kadardır[2].

Balastlı demiryolu hatlarında, balastın trafik yükleri sebebiyle maruz kalacağı yükler neticesinde oluşacak deformasyonu sınırlı tutmak üzere balast malzemesi seçiminde uygun malzemeler kullanılmakta, bunun yanı sıra sentetik, geotekstil ve geogrid gibi malzemeler kullanılarak hem deformasyon sınırlı tutulmakta hem de gerilmelerin düzenli dağılması sağlanarak düzensiz deformasyonlar önlenmektedir.

3.2.5 Dingil Yüğü ve Trafik Yüğü

Demiryolu tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en önemli etkenlerden biri de yapısına etkiyen kuvvetlerdir. Bu sebeple, demiryolu kesit boyutlandırılması ve malzeme seçimleri yapılırken demiryolunun hangi amaçla kullanılacağı, ne tür dinamik ve statik yüklemelere maruz kalacağı bilinmelidir. Demiryolu hattının kullanım amacına göre farklılık gösterecek iki ana unsur şüphesiz dingil yüğü ve trafik yükleridir.

3.2.6 Dingil yüğü

Dingil yüğü ve hattın geçen trafik yüğü (tonaj) üstyapı ve altyapının yorulmasında önemli kriterlerdir. Hattın durumuna bağılı olarak hattın geçebilececek dingil yüğü belirlenir. Hatlar dingil yüküne göre dört kategoride sınıflandırılmıştır:

A: maksimum dingil yüğü 16 t

B: maksimum dingil yüğü 18 t

C: maksimum dingil yüğü 20 t

D: maksimum dingil yüğü 22.5 t

Kategori D, kategori C’de dingil yüklerinin özellikle yük taşımacılığında işletme maliyetlerini azaltmak için 20 tondan 22,5 tona çıkartılması nedeniyle ortaya çıkmıştır. Bu artış, yıllar süren araştırma ve çalışmalar sonucunda olmuştur. Basitleştirilmiş elastik teoriye göre 20 t dingil yüküne göre tasarlanmış köprülerden 22,5 t dingil yüğü geçmesi için hattın sağlamlaştırılması gerekli olduğu kabul ediliyordu. Malzemenin elastoplastik davranışı üzerinde yapılan araştırmalar 20 tona göre tasarlanmış köprülerin 22,5 t dingil yüküne de hiçbir sağlamlaştırma gerekmeksizin müsaade edeceği görülmüştür, çünkü elastik teorinin hesaba katamadığı taşıma kapasitesi vardır.

Bazı demiryolu kurumları daha yüksek dingil yüklerini kullanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri’nde (demiryolu sadece yük taşımacılığına sınırlandırılmıştır) dingil yükleri 25-32 t arasında ve Rusya’da (geniş aralıklı hatlar kullanılır) 25 t kadardır.

Bir dizi çalışma sonucunda ray yorulmasının dingil yükünün bir üssel fonksiyonu olduğunu görülmüştür ve rayda oluşan gerilmeler Q^a parametresi ile orantılıdır. Üs

değeri 3 ile 4 arasında ama 4'e daha yakındır. Sonuç olarak, dingil yükündeki artış, malzeme yorulmasının daha fazla artmasına neden olmaktadır.

3.2.7 Trafik yükü

Bir demiryolu hattında çok farklı araçlar çalışmaktadır: yolcu araçları, yük araçları, ana hat lokomotifleri, manevra motorları gibi. Araç yüklerinin cebrik toplamı gerçek trafik yükünü vermez çünkü hatta uyguladığı yükler ve hızlar farklıdır. Bundan dolayı, gerçek trafik yükünü hesaplamak için bazı parametreler gereklidir. Demiryolu mühendisliği trafik mühendisliğinin Yolcu Araç Birimi(YAB)'nin benzer bir yaklaşımını kullanır. Trafik yükünü (tonajı) hesaplamak için farklı trenlerin yükleri eşdeğer yolcu tren yüküne çevrilir.

İlk olarak hattın teorik yükü T_{teo} denklem 3.11'de verilen formülle hesaplanır,

$$T_{teo} = T_y + k_{yük} T_{yük} + k_{loko} T_{loko} \quad (3.10)$$

T_y = günlük yolcu trafik yükü

$T_{yük}$ = günlük yük trafik yükü

T_{loko} = günlük lokomotif trafik yükü

$k_{yük}=1.15$

$k_{loko}=1.40$

Daha sonra tren hızına göre trafik yükü hesaplanır.

$$T = S T_{teo} \quad (3.11)$$

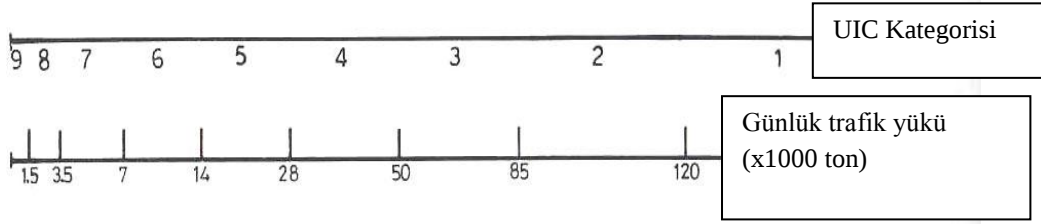
$S=1.0$; yolcu trafiksiz hatlar

$S=1.1$; karışık trafik hatları ve $V_{maks.} < 120$ km/sa

$S=1.2$; karışık trafik hatları ve $120 < V_{maks.} < 140$ km/sa

$S=1.25$; karışık trafik hatları ve $V_{maks.} > 140$ km/sa

Demiryolu hatları UIC standartlarına göre günlük trafik yüküne bağlı olarak sınıflandırılmakta ve bu sınıflandırmaya göre esas alan parametreler balastlı demiryolu hatlarında balast tabakasının boyutlandırılmasında kullanılmaktadır(Şekil 3.22).



Şekil 3.22: UIC standartlarına göre günlük trafik yüküne bağlı olarak demiryolu hatlarının sınıflandırılması.

3.2.8 Demiryolu araçlarından kaynaklanan yükler

Demiryolu araçlarından hatta gelen yükler doğrultularına bağlı olarak sınıflandırılabilir:

- **Düşey yükler:** Bu yükler demiryolu hattında mekanik gerilmelere neden olur. Düşey yükler altında hattın bazı kısımları(ray, travers) elastik davranış gösterirken, balast ve balast altı elastoplastik davranır. Üstyapı sisteminin değişik kısımları düşey yüklere göre boyutlandırılır.
- **Yanal Yükler:** Bu yükler aracın işletme güvenliğini etkiler ve bazı durumlarda dreymana neden olabilir.
- **Boyuna yükler:** Tren hareketi esnasında frenaj ve demerajdan kaynaklanan kuvvetlerdir ve hattaki köprülerin tasarımında göz önüne alınır.

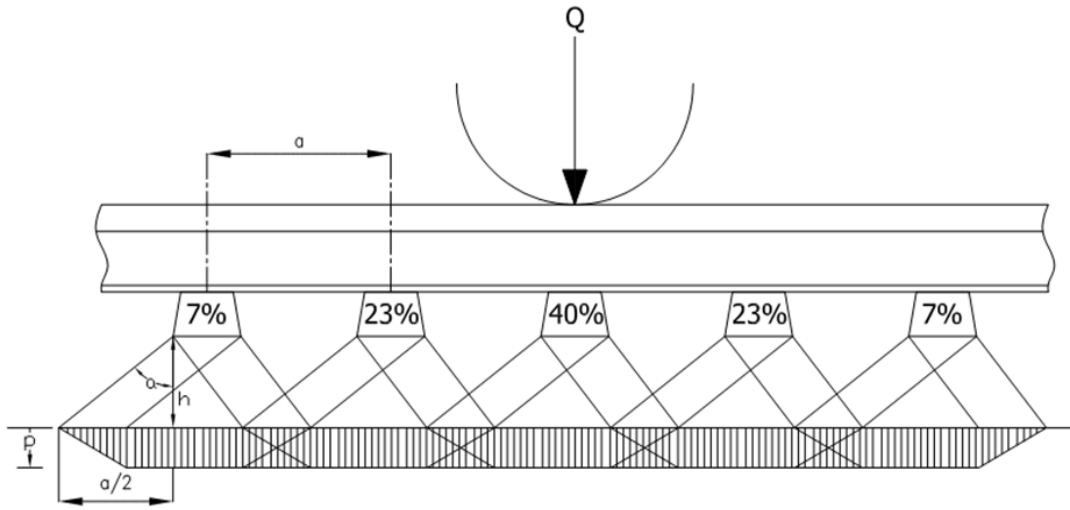
Aslında doğrusal olmayan davranışları doğrusal kabul edildiği zaman ortaya çıkacak hata, mesela mekanik özellik değerleri gibi parametrelerin hatalarından daha küçüktür. Demiryolu mühendisliğindeki yöntem tren hareketinden gelen düşey, yanal ve boyuna etkileri doğrusal kabul ederek ayrı ayrı incelemektir. Tabi ki bu farklı etkilerin analizinde kullanılan bir yaklaşımdır[2].

3.2.9 Balast tabakasının boyutlandırılması

Önceleri Boussinesq denklem abakları kullanılarak hesaplanan balast tabakası kalınlıkları optimal balast yüksekliği yaklaşımı ile yaklaşık olarak hesaplanabilecek olsa da günümüzde yaygın olarak demiryolu alt yapı ve işletme parametrelerinin göz önünde bulundurulması ile sonlu elemanlar analizi kullanılarak belirlenmektedir. Bu bölümde her iki yöntemi de inceleyerek hesap yöntemleri gözlenecektir.

3.2.10 Travers üzerinde yük dağılımı ile optimal balast yüksekliği hesabı

Lichterberg'e göre optimum balast yüksekliği, kullanımdaki balastın platforma eşit baskı yaptığı balast yüksekliğidir. Zemine etkiyecek eşit ve sürekli bir basma, baskı konilerinin şekilde gösterildiği gibi kesiştiği zaman oluşacaktır. Traverslerden zemine aktarılan yüklerin baskı şeması incelendiğinde optimal balast yüksekliğinin, baskı konilerinin de kesişmesi göz önünde bulundurulacağından, travers ara mesafeleri ile de bağlantılı olarak belirlenmesi gerektiği görülmektedir[2].



Şekil 3.23: Optimal balast yatağı yüksekliğinin hesaplanmasının şematik görünüşü [2].

Şekil 3.22'deki baskı geometrisi incelendiğinde optimum balast yüksekliği için denklem 3.10'da verilen eşitlik oluşturulabilir.

$$h = a / (2 \cdot \tan \alpha) \quad (3.12)$$

a: Ardışık iki travers arası mesafe,

h: Optimum balast tabakası yüksekliği,

α : Yüklerin demiryolu zeminine baskı açısı

38°'lik baskı yayılım açısı ve 75 cm travers aralığına sahip bir demiryolu hattı için optimum balast tabakası kalınlığı hesaplanmak istenirse;

$$a = 80 \text{ cm}$$

$$\alpha = 38^\circ$$

$$h = 75 / (2 \times \tan 38^\circ) = 75 / (2 \times 0,78) = 48 \text{ cm}$$

Optimal balast tabakası kalınlığı 48 cm olarak bulunacaktır.

3.2.11 Sonlu elemanlar yöntemi ile balast tabakasının boyutlandırılması

Balast tabakası boyutlandırması yapılırken daha önce Boussinesq denklem abakları kullanılarak tabaka kalınlıklarının belirlenmekte olduğu bilinmektedir. Buna karşın, daha sonra geliştirilen sonlu elemanlar analizi ile bütün demiryolu parametrelerinin hesaba katılmasına imkân vermekte olduğundan günümüzde balast tabakası boyutlandırmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Hat trafik yükü
- Travers uzunluğu ve malzemesi
- Tamirat miktarı
- Dingil yükü

Demiryolu yapısını etkileyen bu parametreler göz önünde bulundurularak, sonlu elemanlar analizi ile denklem 3.11'de verilen eşitlik oluşturulmuştur.

$$b(m) = N(m) - a(m) + g(m) - c(m) + d(m) \quad (3.13)$$

$N(m)$: Altyapı özelliklerine bağlı olarak belirlenen tabaka kalınlığı parametresi

$a(m)$: İşletme özellikleri ile belirlenen parametre

$g(m)$: Travers çeşidi ve uzunluğuna göre belirlenen parametre

$c(m)$: Hattın bakım/tamirat çalışmaları göz önünde bulundurularak seçilen parametre

$d(m)$: İşletmede hattı kullanmasına müsaade edilecek dingil yükü parametresi

Bu bölümde eşitliği oluşturan parametrelerin ne anlama geldiklerini ve nasıl belirlendikleri incelenerek belirli özelliklerdeki bir demiryolu hattının balast tabakası kalınlıkları hesaplanacaktır.

- İşletme özelliklerine bağlı $a(m)$ parametresi:

$a(m) = 0$	UIC hatları, grup 1 ve 2
$a(m) = 0.005$	UIC hatları, grup 3
$a(m) = 0.1$	UIC hatları, grup 4, 5, 6 yolcu trafikli 7, 8, 9
$a(m) = 0.15$	UIC hatları, grup yük trafikli 7, 8, 9

- Travers özelliklerine bağlı $g(m)$ parametresi:

$g(m) = 0$	ahşap travers ($L = 2.60$ m boyunda)
$g(m) = 2,5-L/2$	beton travers ($L(m)$: travers uzunluğu)

- $c(m)$ parametresi:

$c(m) = 0$	orta derecede hat bakım çalışmaları
------------	-------------------------------------

$c(m) = 0,1$ yüksek derecede hat bakım çalışmaları

- Dingil yüküne bağlı $d(m)$ parametresi:

$d(m) = 0$	dingil yükü	$P = 20 \text{ t}$
$d(m) = 0.05$	dingil yükü	$P = 22,5 \text{ t}$
$d(m) = 0.12$	dingil yükü	$P = 25 \text{ t}$
$d(m) = 0.25$	dingil yükü	$P = 30 \text{ t}$

Çizelge 3.7 Balast boyutlandırma formülünde kullanılan N parametresi değerleri.

Altyapı Toprak Kalitesi	Formasyon Tabakası		
	Kalite	Kalınlık $e(m)$	$N(m)$
S_1	S_1	-	0,55
	S_2	0,3-0,55	0,40
	S_3	0,2-0,40	0,35
S_2	S_2	-	0,40
	S_3	0,20-0,30	0,30
S_3	S_3	-	0,30
Kaya	R	-	0,25

3.2.12 Sayısal uygulama

Yıllık trafik yükü 15 milyon ton, maksimum dingil yükü 20 ton olan, 2,25 m uzunluğunda ikiz blok betonarme travers kullanılarak oluşturulmuş, orta seviyede bakım görmüş bir demiryolu hattının balast tabakası kalınlığını hesaplayalım.

Çizelge 3.2'deki verilerle UIC 4 hat (yıllık trafik yükü 10-18 milyon ton arasında) grubundaki bir hattın denklem 3.11 de belirtilen eşitlik kullanılarak balast kalınlığının bulunması şöyledir:

$$b(m) = N(m) - a(m) + g(m) - c(m) + d(m) + f(m)$$

- Yıllık trafik yükü 15 milyon ton $\longrightarrow$ UIC 4 grup $\longrightarrow a = 0,10 \text{ m}$
- İkiz blok betonarme traversler $\longrightarrow g = 0,125 \text{ m}$
($L = 2,25 \text{ m}$ uzunluğunda)
- Orta seviyede tamirat $\longrightarrow c = 0,05 \text{ m}$
- Dingil yükü = 20 t $\longrightarrow d = 0$

Denklem 3.11'deki formüle bu değerleri girdiğimiz zaman balast kalınlığı ile ilgili altyapı ve formasyon tabakası toprak kalitesine bağlı olarak bir çizelge elde ederiz. İlgili tabakaların toprak kalitesine bağlı olarak N parametresinin değişmesi sebebiyle farklı kalitedeki altyapı ve formasyon tabakalarına göre balast tabakası kalınlıkları çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 UIC 4 grubundaki bir hattın balast kalınlığının altyapı kalitesine bağlı çizelgesi.

Altyapı Toprak Kalitesi	Formasyon Tabakası Kalitesi	Balast Tabakası Kalınlığı b(m)
S ₁	S ₁	0,525
	S ₂	0,375
	S ₃	0,325
S ₂	S ₂	0,375
	S ₃	0,275
S ₃	S ₃	0,275
Kaya	R	0,225

İngiliz Demiryollarına göre hıza ve tonaja bağlı olarak balast kalınlığı çizelge 3.4'de verilmiştir. Bu değerler zayıf alt yapı haricinde çizelge 3.8'dekilere hemen hemen yakındır. Formül göz önünde bulundurulduğunda altyapının olumsuzluğundan ve fazla gerilmelerden dolayı balast kalınlığı arttırılması beklenmektedir. Küçük bir değerlendirme yaparsak, üst yapıyı desteklemek üzere oluşturulan alt yapı zeminin zayıf olması veya üst yapıya etkiyen yüklerin artması durumunda üst yapının yükü daha geniş bir alana yayması gerekeceğinden, balast tabakası kalınlığının artmasının da doğal karşılanması gerekmektedir.

3.2.13 Demiryolu araçlarından kaynaklanan yükler

Demiryolu araçlarından hatta gelen yükler doğrultularına bağlı olarak sınıflandırılabilir:

- **Düşey yükler:** Bu yükler demiryolu hattında mekanik gerilmelere neden olur. Düşey yükler altında hattın bazı kısımları(ray, travers) elastik davranış

gösterirken, balast ve balast altı elastoplastik davranır. Üstyapı sisteminin değişik kısımları düşey yüklere göre boyutlandırılır.

- **Yanal Yükler:** Bu yükler aracın işletme güvenliğini etkiler ve bazı durumlarda dreymana neden olabilir.
- **Boyuna yükler:** Tren hareketi esnasında frenaj ve demerajdan kaynaklanan kuvvetlerdir ve hattaki köprülerin tasarımında göz önüne alınır.

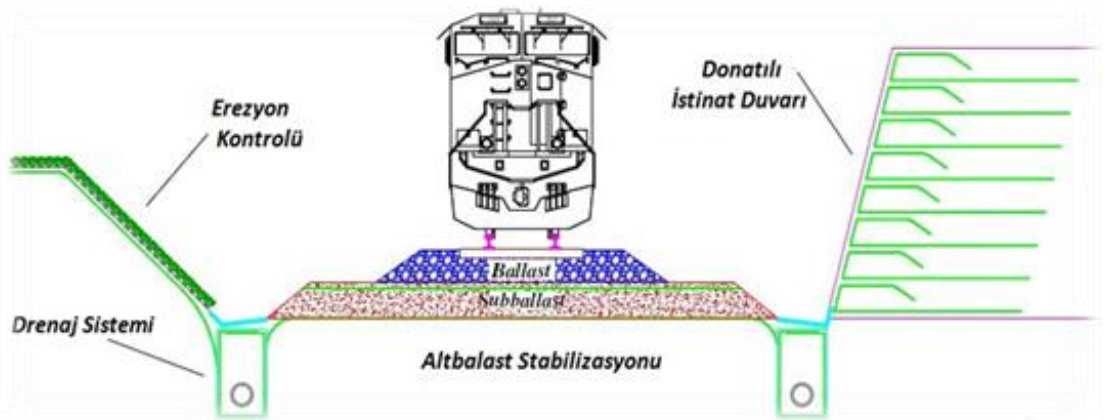
Aslında doğrusal olmayan davranışları doğrusal kabul edildiği zaman ortaya çıkacak hata, mesela mekanik özellik değerleri gibi parametrelerin hatalarından daha küçüktür. Demiryolu mühendisliğindeki yöntem tren hareketinden gelen düşey, yanal ve boyuna etkileri doğrusal kabul ederek ayrı ayrı incelemektir. Tabi ki bu farklı etkilerin analizinde kullanılan bir yaklaşımdır[2].

4. DEMİRYOLLARINDA GEOSENTETİKLERİN KULLANIMI

Geosentetik ürünler inşaat mühendisliğinin diğer alanlarında da görüldüğü gibi yapılarına göre demiryollarında birçok farklı işlevde kullanılmaktadırlar. Demiryollarında geosentetiklerin kullanımını esasen, düzensiz ve yüksek miktarda oturmaları önleyerek ve drenaj yapılarının oluşturulmasını sağlayarak demiryolu alt yapı ve üst yapısını güçlendirme, malzeme tasarrufu sağlama, şev yapılarının stabilitesini sağlama, tünel bölgelerinde su yalıtımını sağlama olarak belirtebiliriz(Şekil 4.1).

Geotekstil ürünler başta olmak üzere geomembran ve geogrid malzemelerin kullanımının dünya genelinde her geçen gün yaygınlaştığı görülmektedir. Özellikle geotekstil malzeme ile birlikte farklı yapıda geogrid malzemelerin birleştirilerek kullanılan Geokompozit ürünler kendilerine geniş bir kullanım alanı oluşturmaktadırlar.

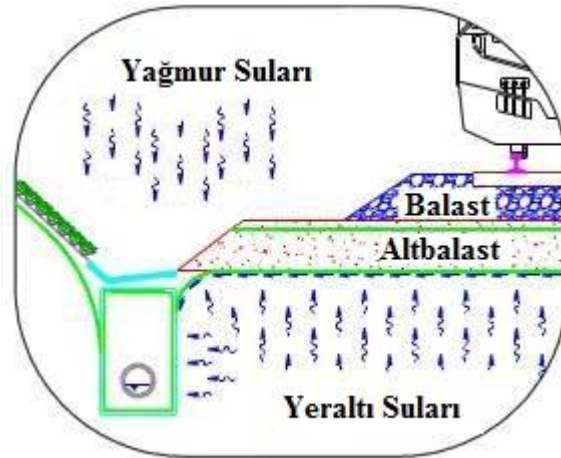
Geosentetiklerin hammaddesini ithal ürünlerin oluşturması ve ülkemizin doğal kaynaklar açısından zengin olması sebebiyle malzeme tasarrufu sağlama fonksiyonuyla günümüz Türkiye'sinde çok geniş bir kullanım alanı bulamasa da özellikle yalıtım ve drenaj konularında en yaygın kullanılan ürün olduğundan bahsetmemiz yerinde olacaktır.



Şekil 4.1 Demiryolu yapısında geosentetiklerin kullanım alanları.

4.1 Demiryollarında Geotekstil Malzemelerin Kullanımı

Geotekstiller demiryollarında en yaygın kullanım alanına sahip olan Geosentetik malzemelerdir. Çoğunlukla Geomembran ve Geogrid tabakalarına koruyucu, yardımcı eleman olarak kullanılıyor olsa da, gerilmelerin eşit dağıtılmasını sağlayıp şekil bozulmalarını önleyerek güçlendirme fonksiyonuyla da kullanılmaktadır. (Şekil 4.2) Aynı zamanda iyi birer ayırıcı olan Geotekstiller balast-alt balast-zemin tabakaları arasında kullanılarak bu farklı boyutlu taneciklerden oluşan tabakaların birbirine karışarak mekanik yapısının bozulmasını önlediği gibi su geçirgen özelliği ile drenaja yardımcı olmaktadır. Geotekstillerin kullanımı platform düzeltme işlemleri sırasında mekanize olarak yapılmaktadır ve bu şekilde bakım ve yenileme masraflarını azaltabildiğinden ve don zararı görüşmediğinden çok daha ekonomiktir[2].



Şekil 4.2: Demiryollarında geotekstil malzeme ile drenaj yapısının oluşturulması.

1997 yılı Temmuz ayında Alman Demiryolları İşletmesi tarafından kullanımda olan Geotekstil malzemelerin uzun süreli davranışlarıyla ilgili bir inceleme yapıldığında Geotekstil fiziği ve malzemede hafif mekanik bozulmalar görülüyor olsa da görevini yerine getirmesine engel olabilecek bir yıpranma gözlenmemektedir. Bir başka araştırma neticesinde de Kuzey Amerika demiryollarının zorlu çevre koşullarına rağmen uygun özelliklere sahip ve düzgün bir şekilde imalatı yapılan Geotekstillerin 18 yıl servis ömrü sonrasında bile çok yüksek dayanım sağladığı görülmüştür[3].

Geotekstiller demiryolu mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Demiryolu mühendisliğinde geotekstiller genellikle şekil 4.3’de görüldüğü gibi balast altı

tabakasının altına serilerek kullanılmaktadır, ayrıca tünel bölgelerinde geomembranlarla birlikte kullanımları da görülmektedir. Bu bölgelerde geotekstil malzemeleri kullanım amaçları;

- i) Altyapı üstüne hat ve taşıma yapısının düzgün ve uygun yerleşimini sağlamak; Geotekstilleri ince taneli malzemenin çakıl altyapı tabakasına girmesini önler ve altyapı üstünde uygun bir yanal eğim sağlarlar.
- ii) Tekrarlı yükler altında hat taşıma sistemlerinin mekanik dayanımlarını artırmak; Buna karşın Geotekstil balast ve balast altı tabakası kalınlıklarının azalmasını sağlamaz çünkü düşey yüklerin dağılımında bu tabakaların yerini alamaz.
- iii) Su yalıtımı için yerleştirilen Geomembran tabakasının korunmasını sağlamak; Geomembran tabakasının sert cisimler ve zemin daneleri tarafından zedelenmesini önlerler.



şekil 4.3: Demiryollarında geotekstil malzeme serilimi.

Bazı kurumlar geotekstilleri yardımcı bir geosentetik malzeme yerleşirmeden, balast altı tabakası kullanmadan, tek başına ve balast kalınlığını azaltılarak kullandıklarında balastın geotekstili delmesi, yanal eğimin bozulması gibi sorunlarla karşılaşmışlardır.

- iv) Filtreleme ve drenaj görevlerini yapmak; Geotekstiller boşluklu yapıları ile demiryolu yapısında drenajı sağlarken boşluk büyüklüklerinin kısıtlı olması sayesinde altyapı ve üst yapı tabakalarının karışması ile karşılaşılabilecek fiziksel bozuklukları önlerler.

Filtreleme ve drenaj amacıyla kullanılacak geotekstil malzemeler denklem 4.1 ve denklem 4.2’de belirtilen ilişkilerden seçilir:

$$\text{a-) Kohezyonsuz zemin } k_g \geq \frac{t_g k_s}{5d_{50}} \quad (4.1)$$

$$\text{b-) Kohezyonlu zemin } k_g \geq 100k_s \quad (4.2)$$

k_g : Gerekli Geotekstil permeabilitesi (cm/sn)

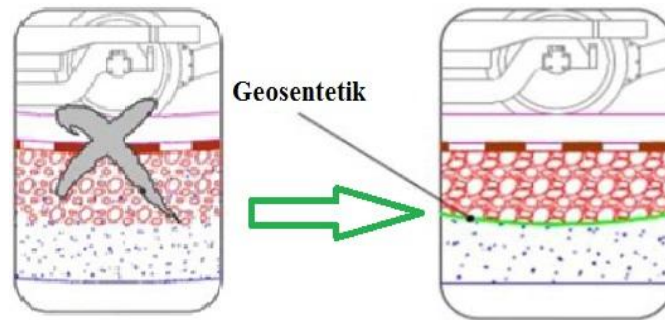
t_g : Geotekstil kalınlığı

k_s : zemin permeabilitesi (cm/sn)

d_{50} : Zemin malzemesinin %50 sinin geçtiği elek çapı

Geotekstil ayrıca altyapıyı don etkisine karşı da korur. Kullanmadan önce özel Geotekstilin kırılma dayanımı, kırılma uzaması, yırtılma dayanımı, basınç dayanımı, su permeabilitesi, ince malzemenin permeabilitesi gibi mekanik dayanım özelliklerine sahip olduğunu kontrol etmek gerekir. Bu mekanik özelliklerin değerleri ilgili manuellere açıklanan testler tarafından belirlenir[2].

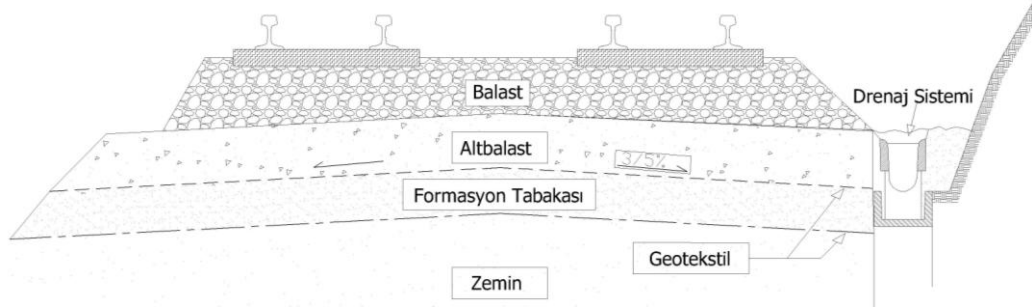
Demiryolu altyapısında Geotekstiller yukarıda bahsedilen üç amacı da sağlamaktadırlar. Buna karşın, çoğunlukla Geotekstiller alt balast tabakasını altyapı zemininden (formasyon tabakası, zemin) ayırmak için kullanılır(Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Geosentetiklerin ayırma fonksiyonu[4].

Demiryolu yapısında geotekstillerin kullanılması hat bakım maliyetleri önemli miktarda azaltmaktadır. Bundan dolayı bunların montaj maliyeti kısa zamanda karşılanmaktadır.

Şekil 4.3’de geotekstil malzemelerin demiryolu altyapısında alt balast tabakası, formasyon tabakası ve zemin tabakaları arasına ayırıcı fonksiyonundan faydalanmak üzere nasıl yerleştirildiği gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Demiryolu altyapısına geotekstillerin serilmesi.

4.1.1 Demiryollarında geotekstil malzeme kullanım örnekleri

Tünel yapılarının yalıtımının sağlanmasında geçirimsiz beton uygulamalarıyla birlikte geomembran kaplamalarının yapılması ve bu kaplamanın geotekstil keçeler kullanılarak korunması ile ilgili neredeyse imalatı yapılan tüm tünelleri örnek olarak göstermek mümkündür. Geomembranların ve geosentetiklerin kullanımı ülkemizde de dünya genelinde olduğu gibi neredeyse standart haline gelmiştir.

Bu bölümde İstanbul Taksim Metrosu Şişhane-Yenikapı ve 4. Levent-Hacıosman istasyonları arası tünellerinin yapımında su yalıtımını sağlayan geomembran malzemelerinin korunmasını sağlamak üzere yerleştirilen geotekstil malzemelerinin kullanımı incelenecektir.

Tünel ve istasyon yapılarında yapılacak bentonitli geotekstil uygulamalarda kullanılacak malzemenin toprağa gelen yüzündede dokumasız geotekstil, betona gelen yüzde örgü elyaf ve geotekstil fiberlerden oluşan, iki kat yalıtım örtüsü, iki katın ortasında en az $4,6 \text{ kg/m}^2$ volkanik esashlı, granül sodyum bentonit malzeme bulunacaktır. Malzemenin en az aşağıdaki Çizelge 5.2’de verilen teknik değerlere sahip olması istenmektedir[5].

Bentonitli geotekstil ile su yalıtımı yapılmadan önce, uygulama yapılacak yüzeylerde aşağıdaki önlemlerin alınması istenmektedir,

- Kum ve toprak alt tabakalar en az %85 proktor yoğunluğunda sıkıştırılacaktır.

- Beton yüzeylerde 18 mm'den büyük boşluk ve girintiler, çatlak ve eklemler, çimento harcı ya da bentonit ile doldurulacaktır.
- Beton yüzeylerdeki 18 mm'den fazla çıkıntılar kesilerek yüzey düzeltilecektir.

Çizelge 4.1 İstanbul Metrosu inşaatı kapsamında kullanılması istenilen geotekstil malzemelerin teknik özellikleri.

Özellik	Standart	İstenen (min) değer
Betona yapışma	ASTMD 903	65 n/m
Hidrolik Basınç	ASTMD 5385	70 m
Geçirgenlik	ASTMD 5084	1×10^{-9} cm/sn
Çekme mukavemeti	ASTMD 4595	300 N
Zımbalama mukavemeti	ASTMD 4833	600 N
Düşük sıcaklık esnekliği	ASTMD 1970	-30 °C etkilenmeyecek
Jeotekstil tabaka arası soyulma	ASTMD 4632	60 N
Bentonit içeriği	-	4.6 kg/m ²
Kuru tabaka kalınlığı	-	6.0 mm

Uygulamada su yalıtım tabakalarının örgülü tarafının korunmasına dikkat edilmesi istenmiş, Geotekstil malzemelerin yerleştirmesinde, enlemine ve boylamasına ve en az 10 cm bindirmeli olarak yapılmış ve düşey bindirmelerde en az 60 cm kademelendirme yapılarak uygulanmıştır.

Beton dökümü sırasında geotekstil tabakaların yerlerinden oynamaması için malzemenin, çivileme ile ya da 6 mm'lik kontrplak şeritlerle zemine bağlantısının yapılması gerekli görülmektedir.



Şekil 4.6: İstanbul metrosu 2. kısım inşaatında koruyucu geotekstil malzeme uygulaması.

İstanbul metrosu 2. Kısım inşaatı tünellerinde yapılan su yalıtımı uygulamalarında geomembran tabakasının hem tünel püskürtme betonu tarafında hem de 1. Faz betonu tarafında geotekstil keçe malzeme ile kaplandığı görülmüştür. (Şekil 4.6) Bu şekilde her iki yönden de koruma altına alınan geomembran malzemenin delinme ve yırtılma ile geçirimsizliğinin bozulma problemleri en aza indirilmek istenmektedir. Ayrıca püskürtme beton ile geotekstil keçe malzeme arasına yerleştirilen ince kabarcıklı naylon malzeme ile geotekstil malzemenin kısmen pürüzlü püskürtme beton yüzeyine olası sürtünmesinden kaynaklı deformasyonları da önlenmeye çalışılmıştır.

4.2 Demiryollarında Geomembran Malzemelerin Kullanımı

Geomembran ürünler geçirimsiz yapıları sayesinde inşaat mühendisliğinin birçok alanında yaygın olarak kullanıldığı gibi demiryolu inşaatlarında da su yalıtımını sağlamak üzere yıllar öncesinden yerini almış bulunmaktadır. Özellikle Yeni Avusturya Tünel Açma yöntemi (NATM) kullanılarak açılan tünellerde su yalıtımı Geomembranlarla başarılı şekilde sağlanmaktadır. Kazısı tamamlanan tünellerin taşıyıcı yapısı oluşturulduktan sonra gerekli koruma tabakası oluşturulur ve sonrasında geomembran malzeme ile kaplanarak su geçirimsiz yapı oluşturulur. Şekil 4.7’de bir demiryolu tünel yapısının geomembran malzeme ile kaplanarak su yalıtımının sağlanması gösterilmektedir[6].

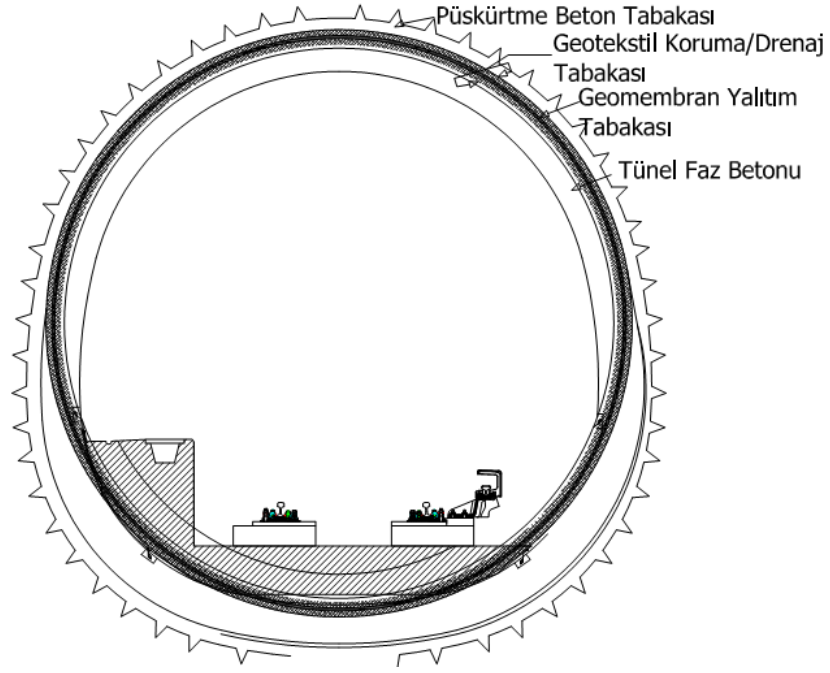


Şekil 4.7: Demiryolu tünellerinde geomembran uygulaması.

Demiryolu altyapısında suyun zemine ve demiryolu kesitinden dışarı drene edilmesi ile su yalıtımının sağlanması istenildiğinden altyapıda geomembran kullanımı yaygın olarak görülmemektedir. Ancak günümüzde tünellerin su yalıtımı büyük çoğunlukla geomembranlar kaplanarak sağlanmaktadır. Tünellerde geçirimsizliğin tam anlamıyla sağlanması için kazılan tünel betonuna uygulanan püskürtme betonu üzerine koruyucu geotekstil tabakası ile birlikte uygulanan geomembran tabakasının bağlantıları ısıtılabilir kaynak ile yapılarak birleşim yerlerinin geçirimsizlik testlerinin mutlaka yapılması gerekmekte, demir imalatları ve tünel betonu dökümü esnasında Geomembran tabakasının azami dikkatle muhafaza edilmesi gerekmektedir.

4.2.1 Geomembran malzeme ile tünel yalıtımının yapılması

Yalıtım yapılmaya hazır hale getirilen alan geomembran uygulamasını yapacak teknik ekip tarafından kontrol edilir. Eğer invertlere uygulama yapılacaksa öncelikle bu bölümlerin yalıtımı tamamlanır. Eğer bu işlem yapılmış ise tünel kemerlerinin izolasyonuna geçilir. Şekil 4.8’de örnek bir demiryolu kesitinde geomembran tabakasının yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Geomembran ile yalıtımı yapılmış bir örnek demiryolu tüneli kesiti.

- **Geotekstil Serilmesi**

Tünelde uygulama anolar halinde tamamlanır. Öncelikle bir ano belirlenir ve tünel iç çeperlerine rondelalar yardımı ile geotekstil döşenmesi işlemi yapılır. Ardından aynı anonun porozları döşenir. Porozlar drenaj borusunun üst kısmında bulunur. Ve yalıtımın altından gelen suyu kontrollü bir şekilde drenaj borularına taşır.

- **Geomembran Serilmesi**

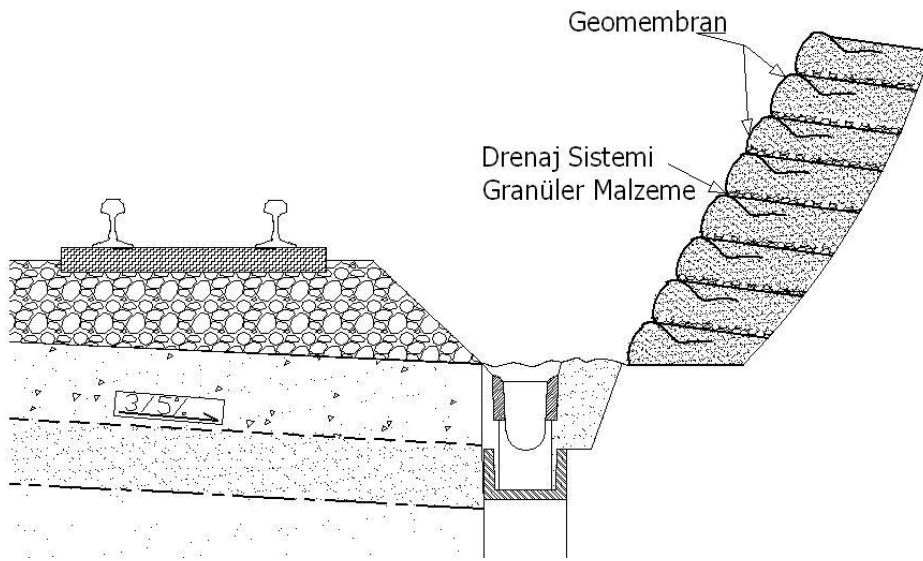
Daha sonra aynı anoda geomembranlar el kaynak cihazları yardımı ile tünel iç çeperine geotekstil üzerine yerleştirilir. Çalışma yapılan anoyu kapatacak kadar bir alan döşendikten sonra füzyon kaynak robotu ile dikim işlemine geçilir. Dikkatli bir şekilde dikim işlemi tamamlanır. Uygulamanın test işlemleri gerçekleştirildikten sonra porozdan gelen malzeme ile iç çeperden aşağı gelen malzeme birleştirilir. İşlemler tamamlandıktan sonra bölge demir – beton işlemlerinin yapılması için işverene alan teslim edilir. İlerleyen safhada sonraki anoya geçilip oradan devam edilir.

Geomembran imalatı sonrası demir donatı yerleşimi ve beton dökümü işlemleri esnasında membran tabakasının geçirimsizliğini bozacak fiziksel hasarları en az seviyeye indirmek üzere, membran tabakası üzerine yeniden geotekstil tabakası

serilebilmektedir. Aynı şekilde bu hasarlara karşı önlemlerin zaman zaman imalatçı firmanın hassasiyetine bağlı olarak değiştiği ve gerekli görülmesi halinde ilave tedbirler ile ara malzemelerin kullanıldığı görülmektedir.

4.2.2 Geomembranlar ile şev yapılarının oluşturulması

Demiryolu hatlarının geometri ve güzergâh koşulları sebebiyle, zaman zaman dolgu ve yarma gibi sanat yapılarının oluşturulması zorunlu olmaktadır. Bu sanat yapılarının en önemli özellikleri ve gereklilikleri mevcut statik yükler ile birlikte maruz kalacağı dinamik yüklere karşı stabilitelerini koruyabilmeleridir.



Şekil 4.9: Geomembran malzeme ile şev yapısı oluşturma.

Demiryolu ve karayollarında oluşturulan dolgu ve yarma yapılarının stabiliteleri istinat duvarı veya şev yapıları ile sağlanmakta, uzun metrajlı çalışmalar gerektiğinde maliyetleri göz önünde bulundurularak daha çok eğimli, şev yapıları tercih edilmektedir. Boşluklu yapıda değişken çaplı danecikli malzemeden oluşturulan şev yapılarının stabil şekilde durmasını sağlamak üzere geogrid ve geomembran tabakaları kullanılarak bohçalama tekniği uygulanmaktadır(Şekil 4.9).

Geomembran malzemeler ile demiryolu sanat yapılarında şev yapısı oluşturulurken; Sırası ile oluşturulacak şev yapısı alt kotuna kadar zemin kazılarak/doldurularak demiryolu hattı ile aynı seviyeye getirilir. Şev yapısının statik hesaplamaları yapılarak, gerekli kalınlıkta ve uzunlukta olacak şekilde geomembran malzeme serilir, daha sonra gerekli kalınlıkta zemin malzemesi serilerek üzeri istenilen uzunlukta üzerine örtülür. Daha sonra aynı şekilde katmanlar oluşturularak

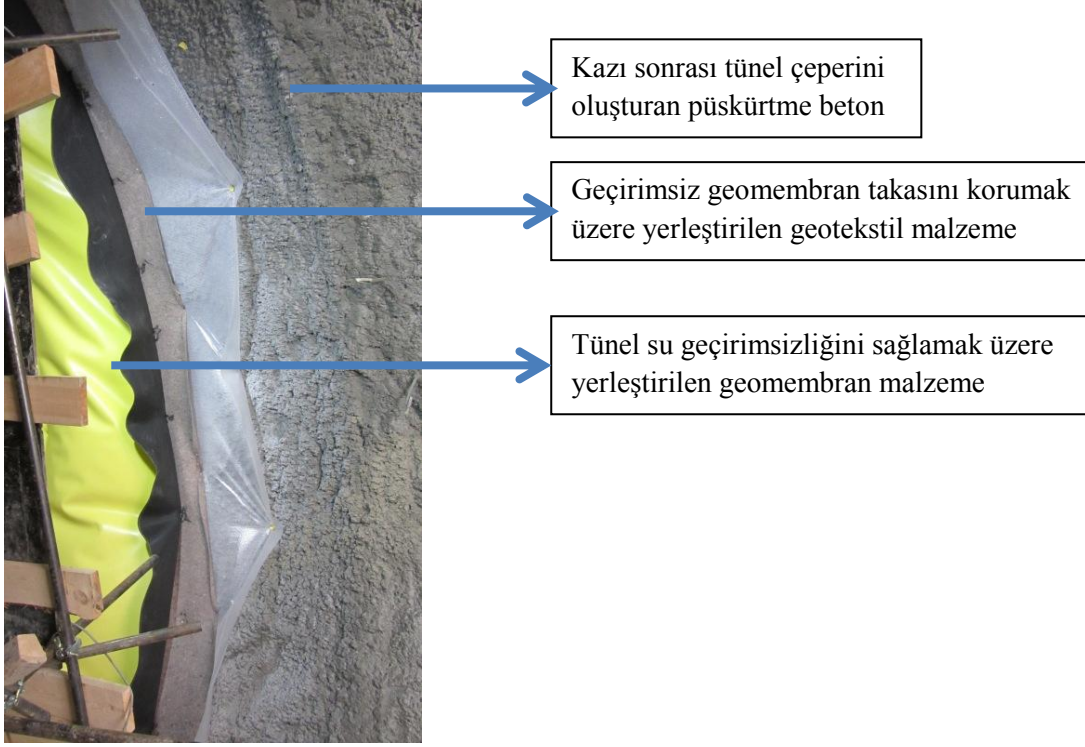
projelendirilen yüzey kotuna kadar işlem devam ettirilir. Oluşturulan katmanlarda sızıntı suları yapıya ilave yük getireceğinden, dolgu işlemi yapılırken önce granüler malzeme ile drenajı sağlayacak bir katman oluşturulması tercih edilmelidir.

4.2.3 Demiryollarında geomembran malzeme kullanım örnekleri

Ülkemiz demiryolu sektöründe geosentetik ürünlerden geotekstil malzemeler ile geomembran malzemelerin kullanımının yaygın olarak görüldüğü daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Bu bölümde İstanbul'da bulunan Taksim Metrosunun yakın zamanda imalatı yapılan tünellerinde su yalıtımını sağlamak üzere yerleştirilen geomembran malzemelerin özellikleri ve su yalıtımı yapısının oluşturulması incelenecektir.

2014 yılı itibari ile Yenikapı-Seyrantepe-Hacıosman arasında hizmet veren İstanbul Metrosu, Yenikapı ve Hacıosman uzatma hattı tünel ve istasyon bölgesi su yalıtımı işlerinde geçirimsiz beton ve sürme izolasyon ile birlikte geotekstil ve geomembran malzeme uygulamaları kullanılmıştır. Geotekstil ve membranlar ile yapılan su yalıtımı uygulamaları ve malzeme özellikleri ilgili ihalelerin şartnamelerinde su yalıtımı bölümünde verilmektedir.

İstanbul Metrosu uzatma hattı inşaatı için hazırlanan teknik şartnamelerde kapsamında bulunan yeraltı tünel yapılarının suya karşı yalıtımının su geçirmez beton ile sağlanması istenmiştir. Bununla birlikte yeraltı su düzeyinin tehlike yaratacağı bölgelerde yapıların, PVC su yalıtımı membranı, bentonit, geotekstil su yalıtımı ya da keçe taşıyıcılı polimer bitüm malzemeler ile su geçirmez betona ek olarak korumaya alınması şart koşulmuştur. Bu kapsamda ilgili uzatma inşaatlarında demiryolu hattı boyunca geçilen tünel bölgelerinin tümünde su yalıtımı geçirimsiz beton yapısına ilaveten geomembran tabakası ve bu tabakanın korunması, drenajın sağlanması için uygulanan Geotekstil malzeme ile yapılmıştır(Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Taksim Metrosu Yenikapı uzatması tünel inşaatında yalıtım yapısının oluşturulması.

Tünellerin su yalıtımında kullanılacak PVC geomembran ve geotekstil keçe malzemeleri için istenilen özellikler Çizelge 5 ve 6 da verilmektedir.

- Geomembran malzeme ile su yalıtımı uygulaması,

Çizelge 4.1’de belirtildiği üzere, kullanılacak geomembran malzeme minimum 2 mm kalınlığında olacak 15 N/mm^2 çekme mukavemetine, 100 N/mm yırtılma yayılması mukavemetine sahip olacak ve 10 bar’lık su basıncı altında 10 saat boyunca su geçirimsizliğini temin edebilecek kapasite olacaktır.

PVC su yalıtımı kullanılmadan önce, uygulanacağı yüzey temizlenecek, mümkün olduğunca tozdan arındırılacaktır. Membrana zarar verecek çıkıntılar keskin uçlar ortadan kaldırılacaktır. Yüzeyin temizlenmesinden sonra yaklaşık 0,500 kg ağırlığı olan polyfelt 006 ya da eşdeğeri malzeme yerleştirilecektir. Şekil 4.10’da Taksim – Yenikapı arası 2. Kısım inşaatı kapsamında tünel püskürtme betonu ile 1. Faz betonu arasında su geçirimsizliği sağlamak üzere imalatı yapılacak membran tabakasının hasar görmemesi için arada geotekstil keçe kullanımının olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11: Geomembran malzeme ile su yalıtımında kaynak uygulaması.

PVC su yalıtımı membranı hafif bir sinyal tabakası ile kaplı olacak, gerek Membranın döşenmesi sırasında, gerekse donatı montajında buradaki sıyrılmalar gözlenerek membranda yırtılma delinme vs. olup olmadığı kontrol edilecektir. Böyle bir durum söz konusu ise membran tamir edilecek ya da o kısmı yenilenecektir. Membran ekleri, en az 10 cm üst üste getirilip çift kaynaklı olarak oluşturulacaktır. Tüm şantiye dikişleri, basınçlı hava ve vakumla, gerginlik açısından kontrol edilecektir. PVC membran döşenmiş bölgelerde kaynak işlerine, özel koruyucu önlemlerin alınmasından sonra izin verilecektir(Şekil 4.11).

PVC su yalıtımı kullanılan tüm malzemeler, yapılacak testleri sonucu, istenen özelliklere uyacaktır. Membran malzemeler olası hasarları ortaya çıkarmak amacıyla sinyal tabakası ile birlikte temin edilecektir. Sinyal tabakası kaynak edilebilir olacaktır.

İstanbul metrosu 4. Levent – Ayazağa Kesimi, Seyrantepe depo sahası ve depo bağlantı hatları 3. Faz inşaatı kapsamında su yalıtımında kullanılacak geomembran malzemelerin teknik özellikleri ilgili teknik şartnamede belirtilmiş olup Çizelge 5.1’de verilmektedir. Çizelge ilgili DIN 53370, DIN 53455, DIN 16726, DIN 53495 normları göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Bu çizelgede görüleceği üzere, su yalıtımında kullanılacak geomembran malzemenin en az 2 mm kalınlığında olması ve 15 N/mm^2 çekme mukavemetine sahip olması istenmektedir. Aynı zamanda sürekli su akışına maruz kalması durumu düşünülerek %20 birim zamanda $2,5 \text{ N/mm}^2$ basınç mukavemetini sağlaması, 10 saat boyunca 10 bar suya karşı geçirimsiz olması gerekmektedir[5].

Çizelge 4.2 İstanbul Metrosu inşaatı kapsamında su yalıtımında kullanılacak geomembran malzemelerin teknik özellikleri.

Sıra No	Özellik	Belirtilen Değer	Standart
1	Kalınlık	2.0 mm, min.	DIN 53370
2	Çekme mukavemeti	15 N/mm ² , min.	DIN 53455
3	Yenilme durumunda uzama	% 250, min.	DIN 53455
4	Basınç mukavemeti, %20 birim zamanda	2.5 N/mm ² , min.*	DIN 53454
5	Yırtılma yayılması mukavemeti	100 N/mm, min.	DIN 53363
6	Su basıncı altında mukavemeti	10 bar'da 10 saat süreyle geçirimsiz	DIN 16726
7	Kaynaklı Ek'in mukavemeti	13.5 N/mm ² , min.	DIN 16726
8	Hızlı yaşlanmadan sonra boyutsal	± %2, max.	DIN 16726
9	80°C'de depolama sırasında ve sonrasında malzeme özellikleri		DIN 16726
9.1	Genel görünüm	Kabarcık olmayacak	DIN 16726
9.2	Boyutsal stabilite, boyuna ve enine	< %-3	DIN 16726
9.3	Çekme mukavemetinde değişim boyuna ve enine	< ± %20	DIN 16726
9.4	Birim uzama değişimi boyuna ve enine	< ± %20	DIN 16726
9.5	Katlanma, -20°C sıcaklıkta	Çatlak olmayacak	DIN 16726
9.6	Su absorpsiyonu	%1 max.	DIN 53495
10	Asit ve/veya alkalın eriyiklerde depolandıktan sonraki davranışı		DIN 16726
10.1	Çekme mukavemetinde değişim, boyuna ve enine	< ± %20	DIN 16726
10.2	Birim uzama değişimi boyuna ve enine	< ± %20	DIN 16726
10.3	Katlanma, -20°C sıcaklıkta	Çatlak olmayacak	DIN 16726
10.4	Bitümlü Ek'in kesme mukavemeti	100 N/50 mm	DIN 16726
10.5	Zımbalama testi sırasındaki davranışı	750 mm yükseklikten düşüşte zımbalama olmayacak	DIN 50014

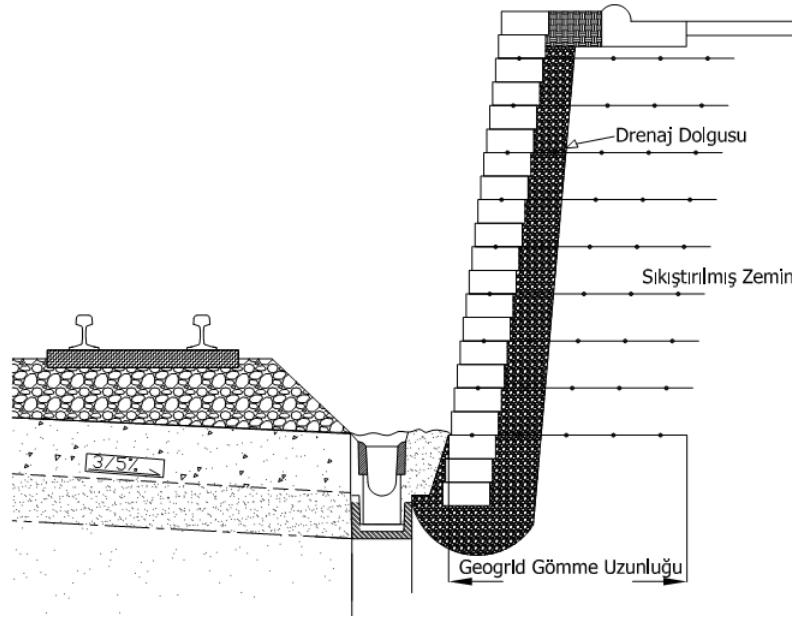
4.3 Demiryollarında Geogrid Malzemelerin Kullanımı

Geogrid, aralarında Geoteknik malzemenin kenetlenmesi için yeterli boşluklara sahip birbirine paralel ve bağlantılı ağ benzeri dayanıklı, polimer yapılı bir Geosentetik malzemedir. Zemin güçlendirmesi ve istinat yapılarında yaygın olarak tercih edilen bir malzeme olan geogridlerin dünya genelinde demiryolu alt yapısı ve balast tabakasında da kullanılarak çeşitli getirileri olduğu görülmüştür. Özellikle balast tabakası ve alt balast tabasına yerleştirilen geogridlerin dayanıklı yapısı ve tasarımı ile mekanik direnimi arttırması sayesinde tabaka kalınlıklarında ciddi azalma

sağlayabilmekte, böylelikle malzeme tasarrufunun yanı sıra imalat kolaylığı sağlamaktadır.

4.3.1 Şev yapılarının oluşturulmasında geogridlerin kullanılması

Bölüm 3.2.2. de bahsedildiği şekilde demiryolu güzergâhı sebebiyle oluşturulması gereken dolgu ve yarma gibi sanat yapılarının şev stabilitelerinin sağlanması amacıyla geogrid malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.9'da demiryollarında geogrid malzeme kullanılarak oluşturulan örnek bir şev kesitinin çizimi görülmektedir.



Şekil 4.12: Geogrid malzeme ile şev yapısı oluşturulması.

Zemine yerleştirilen geogrid tabakası yüksek çekme mukavemeti sayesinde ankraj görevi görmekte ve şev stabilitesini temin etmektedir. Geomembranlara göre daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduklarından ve boşluklu yapıları sayesinde kendi drenajlarını sağlarken aynı zamanda şev bitkilendirmesine imkân verdikleri için çevresel ve statik açıdan geogrid malzemeler şev stabilitesini sağlamada daha çok tercih edilmektedir(Şekil 4.10).



Şekil 4.13: Geogrid şev güçlendirmesi uygulaması, Alman demiryolları[7].

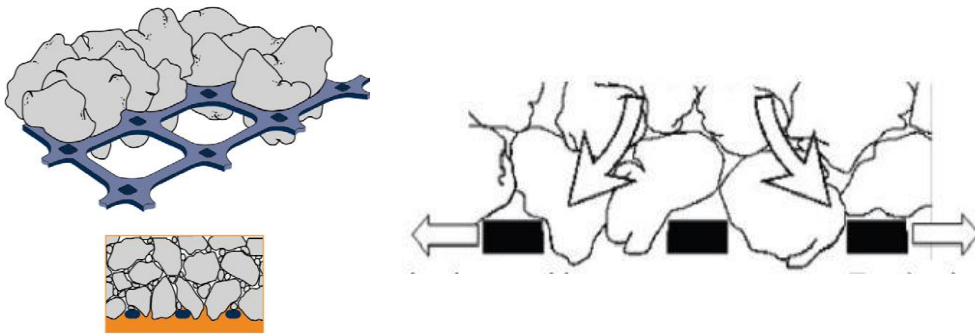
4.3.2 Demiryolu Altyapı ve Balast Katmanlarında Geogridlerin Kullanılması

Geogrid malzemeler, ülkemizde henüz çok yaygın bir kullanıma sahip olmasalar da birçok Avrupa ülkesinde çeşitli zemin ve yük koşulları altındaki demiryolu yapılarında, balast ve alt-balast katmanlarını güçlendirmek için 20 yılı aşkın bir süredir başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Geogridler sayesinde etkili bir kilitleme mekanizması sağlanarak parçacıkların yanal hareketi minimize edilir. Bu sayede zemin tanecikleri birbirine daha iyi kilitlenerek taşıma kapasiteleri artmaktadır. Balast ve alt balast tabakası güçlendirmesi ile tabaka kalınlıklarında kayda değer bir azalma görülmekte, aynı kalınlıktaki tabakalarda ise geogrid malzemeler ile güçlendirme yapılarak zemin güvenlik derecesi, taşıma kapasitesi artırılmaktadır. Şekil 4.11’de demiryollarında balast güçlendirmesi için geogrid malzeme serimi uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.14: Geogrid malzeme ile balast, alt-balast ve zemin güçlendirmesi.

Zemin ve balast tabakalarının içerisine Geogrid tabaka oluşturulması bu tabakaların taşıma kapasitelerini arttırmaktadır. Tabakaların güçlendirilmesinde geogrid malzemelerin etkili olmasının püf noktası başarılı bir mekanik kilitleme mekanizması oluşturmaktır(Şekil 4.12). Geogridler mevcut açıklıklarından sızarak telleri arasında kilitlenen zemin parçacıklarının kenetlenmelerini kullanarak taşıma performanslarını artırır. Parçacıkların bu kenetlenmesi güçlü bir yatay kayma direnci oluşturur ve böylelikle zeminin taşıma gücü de arttırılmış olur. Oxford Üniversitesinde yumuşak kil zemin üzerinde yer alan daneli tabakayı güçlendirerek yapılan taşıma testleri neticesinde Geogridler ile güçlendirilen daneli zeminlerin tabaka kalınlığının aynı yükler altında %50'ye kadar azaltılabileceği sonucuna varılmıştır[10].



Şekil 4.15: Geogrid ve balast malzemesi arasındaki kilitlenme mekanizması.

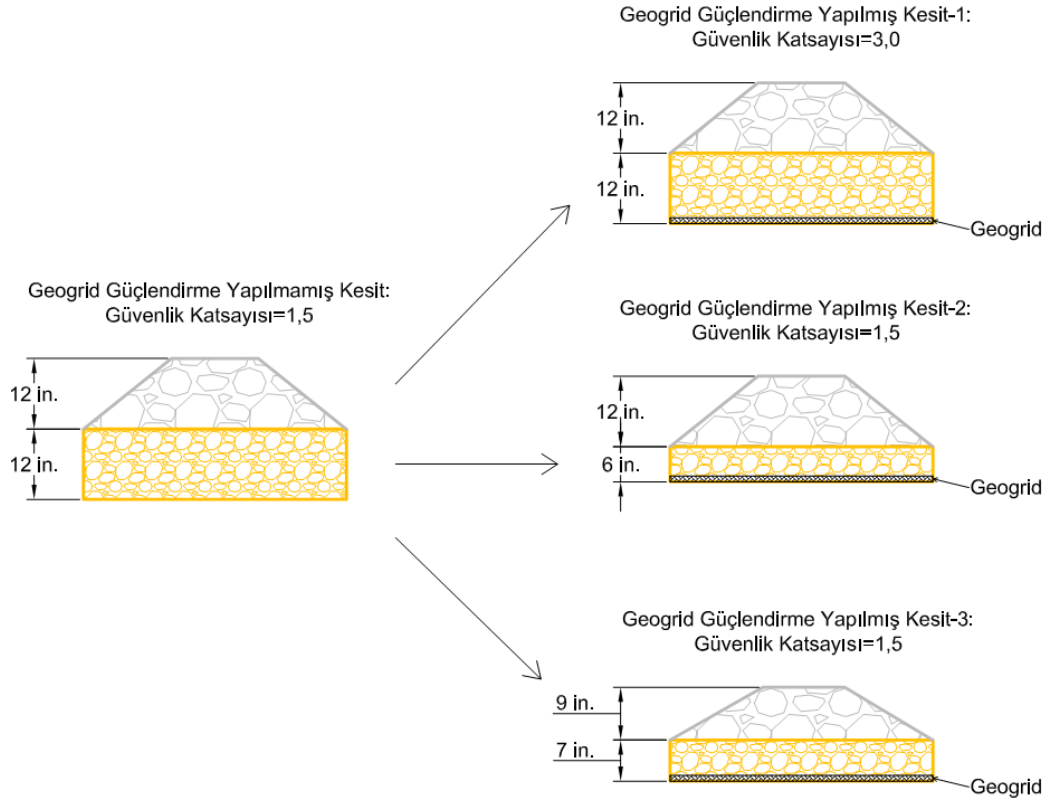
Bir demiryolu kesiti yapısında geogrid alt-balast tabakasının altına yerleştirildiğinde(Şekil 4.16), alt balast tabakasının maruz kalacağı dinamik ve statik yükleri daha geniş bir alana dağıtır ve böylece zemine etkiyen basıncı azaltmış olur.



Şekil 4.16 Hat yenileme çalışmalarında balast tabakası arasına geogrid malzeme serimi.

Demiryolu alt balast tabakası ile zemin arasına geogrid malzeme yerleştirmek zemin birim alanına etkiyen yüklemeleri azaltacağından, bu uygulamayı yapmak isteyen bir tasarımcı, demiryolu hattı kesitinde güvenlik katsayısını arttırabilir veya mevcut güvenlik katsayısını koruyarak balast ve alt-balast tabakası kalınlıklarını azaltabilecektir[14]. Başka bir deyişle, geogrid malzeme uygulaması ile balast ve alt balast tabakası kalınlıkları korunarak mevcut demiryolu yapısı daha yüksek hız ve daha yüksek güvenlik şartı gerektirecek işletmeler için de kullanılabilir duruma getirilebilmekte ya da mevcut işletme koşulları korunarak balast, alt balast tabakası kalınlıkları azaltılabilmektedir.

Jim Penman'ın Geogrid malzeme yerleşimi ile balast ve alt balast tabakası kalınlıklarının azaltılması veya güvenlik katsayısının arttırılması ile ilgili araştırması kapsamında bir tasarım çalışması yapılmıştır. Alınan zemin ve işletme koşullarına göre gerekliliği tespit edilen 12 inch(yaklaşık 30 cm) balast ve 12 inch alt balast tabakası kalınlığına sahip bir demiryolu kesitinin geogrid malzeme güçlendirmesi ile edinilen alternatif kesitleri Şekil 4.17 de görülmektedir[15].



Şekil 4.17: Alt balast tabakasına geogrid yerleştirilerek aynı işlevi gören alternatif tabaka kalınlıkları[14].

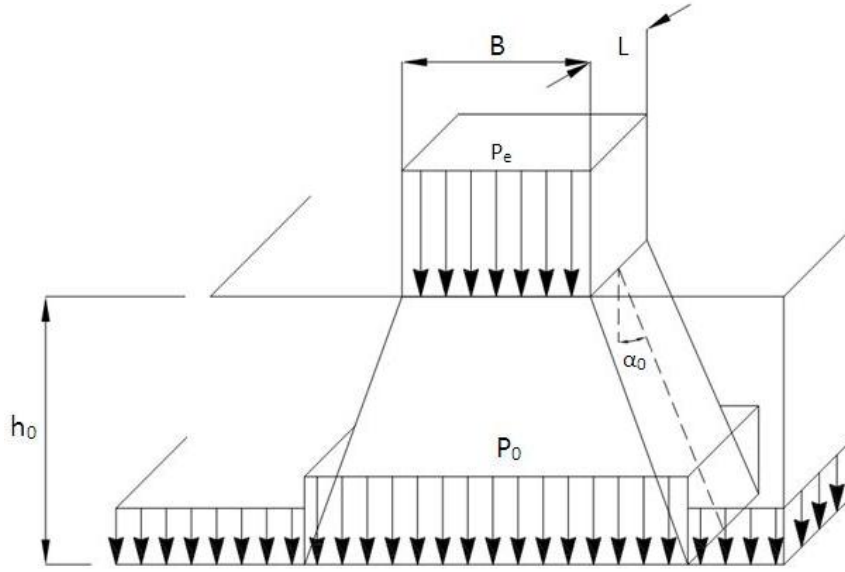
4.3.3 Altyapı ve balast tabakalarının geogrid malzemeler ile güçlendirilme analizleri

Zemin ve altyapı tabakalarına geogrid ve geotekstil malzemeler yerleştirilerek yapıya gelen yüklemelerin daha geniş bir alana yayılmasının sağlandığı ve böylelikle zemin stabilitesinin artırıldığı bilinmektedir.

- Analitik yöntem kullanılarak güçlendirme analizinin yapılması;

Koerner geosentetiklerle tasarım kitabında geogrid malzemeler ile zemin güçlendirilmesinde kullanılacak esaslara yer vermektedir. Lichterberg'in bahsettiği gibi Koerner de platforma etkiyen yüklerin alt tabakalara ve zemine Şekil 4.18'de görüldüğü üzere piramit-konik olarak etkiğini belirtmektedir. Altyapının yükleri yayma kapasitesi piramit yükleme yapısının yayılma açısını belirlemekte, böylelikle platforma etkiyen yüklerin zemine yaptığı baskı miktarı değişmektedir. Zeminin taşıma kapasitesi belli olduğundan, altyapı kendisine etkiyen yükü zemin üzerine ne

kadar geniş bir açı ile yayabilirse zemine etkiyen baskı azaltılmış olacağından bununla orantılı olarak tabaka kalınlığının da azaltılması mümkün olacaktır[13].



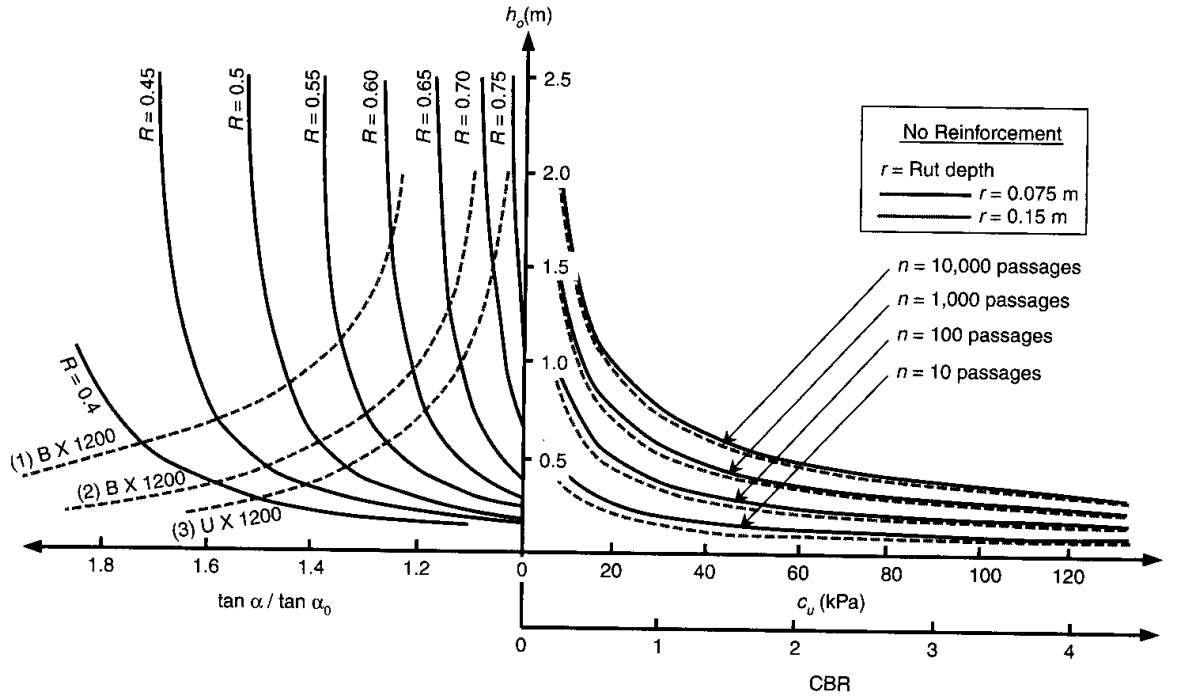
Şekil 4.18: Piramit yük dağılımı şeması.

Geogrid malzeme kullanılarak zeminin güçlendirilmesi ile ilgili en yaygın olarak kullanılan analitik yöntem Giroud ve çalışma arkadaşları tarafından ortaya konmuş, bu yöntemde kullanılmak üzere şekil 4.19’da gösterilen tasarım şeması oluşturulmuştur. Koerner bu hesaplama yöntemini karayollarında asfaltsız yolların dolgusunda geogrid malzeme kullanılarak tabaka kalınlığının saptanmasında kullanmıştır.

Bu yöntem karayollarında asfaltsız yol zemininin tabaka kalınlıklarının tespiti için kullandığında, şekil 4.16’da belirtilen şema üzerinden uygulama yapılacak zeminin CBR değeri, yolun trafik yüklerini ve alınan maksimum tekerlek izi derinlik değerlerine karşılık gelen agrega (dolgu) tabakası kalınlığı belirlenmektedir. Geogrid ile güçlendirme uygulaması yapılması durumunda ise, uygulaması yapılacak geogrid malzemenin uygulama öncesi ve sonrası baskı yayılım açısı oranları - tabaka kalınlığı grafiğinde belirlenen bu tabaka kalınlığına denk gelen R değeri saptanarak tabaka kalınlığındaki değişim oranı bulunmakta, daha sonra denklem 4.3 ve 4.4’e göre dolgu kalınlığı hesaplanmaktadır.

$$h=R.h_0 \quad (r<150 \text{ mm ve düzensiz tekerlek izi}) \quad (4.3)$$

$$h=0,9 \times R.h_0 \quad (r\geq 150 \text{ mm ve düzenli tekerlek izi}) \quad (4.4)$$



Şekil 4.19: Geogrid güçlendirme yapılmış(solda) ve güçlendirme yapılmamış(sağda) yolların tasarım şeması.

Demiryollarında balast ve alt balast tabakalarında geogrid malzeme ile güçlendirme yapılarak tabaka kalınlıklarındaki değişimi saptanmak istenildiğinde, geogrid malzemenin tabaka kalınlığında sağladığı değişim oranını Şekil 4.19'daki şema üzerinden tespit edilerek hesaplama yapılabilir. Bu hesaplama yapılırken demiryollarındaki tabaka kalınlığı hesabında bölüm 3.2'de belirtilen balast tabaka kalınlığı hesaplama denklemi kullanılır. Hesaplanan tabaka kalınlığına ve uygulamada kullanılacak geogrid malzeme türüne göre tabaka kalınlığı değişim oranı bulunarak geogrid malzeme ile yapılan güçlendirme işlemi neticesinde balast tabakası kalınlığının ne kadar azalacağı yaklaşık olarak tespit edilebilecektir.

Bölüm 3.2.6.3'de verilen sayısal örnekte belirtilen işletme ve üstyapı özelliklerine sahip, altyapı toprak kalitesi ve formasyon tabakası kalitesi S1 olacak şekilde oluşturulacak bir demiryolu hattının balast tabakasında uygun derinlikte BX1200 (SS) tipi geogrid malzeme ile güçlendirme yapılması durumunda yeni tabaka kalınlığını yaklaşık olarak hesaplayalım...

İlgili örnekte yapılan hesaplamalar sonucunda oluşturulan çizelgeden altyapı toprak kalitesi ve formasyon tabakası kalitesi S1 olacak şekilde seçildiğinde balast tabakası kalınlığının 0,525 m olduğu görülmektedir.

Şekil 4.6'daki şemadan 52,5 cm kalınlıktaki zemin tabakası kalınlığına sahip bir demiryolu üst yapısında BX1200 (SS) Tipi geogrid malzeme kullanılarak güçlendirme yapılması durumunda;

$R \approx 0,5$ değeri bulunur.

Buna göre,

$$h = R \cdot h_0 \longrightarrow h = 0,5 \times 50 = 25 \text{ cm olmaktadır.}$$

Yani, yıllık trafik yükü 15 milyon ton, maksimum dingil yükü 20 ton olan, 2,25 m uzunluğunda ikiz blok betonarme travers kullanılarak oluşturulmuş, altyapı zemin kalitesi ve formasyon tabakası kalitesi S1 olan, orta seviyede bakım görmüş bir demiryolu hattının balast tabakasında Tensar BX1200 geogrid malzeme ile güçlendirme yapılması durumunda balast tabaka kalınlığında yaklaşık 25 cm'lik bir azalma gözlenmesi beklenmektedir.

Ancak Kwan ve Avrupa'da çeşitli işletmeler tarafından yapılan laboratuvar ve saha uygulamalarında; Geogrid malzeme ile zemin güçlendirme uygulamalarında geogrid malzemenin iç boşluk boyutları ve kullanılacak olan balast malzemesinin boyutları ile malzemenin balast tabakasındaki konumunun da geogrid malzemenin güçlendirici etkisi üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu sebeple yapılacak olan uygulamalar öncesinde yeterli test imkânlarının bulunmaması halinde hesaplanan balast tabakası kalınlığına güvenlik miktarı eklemek faydalı olacaktır.

- Optimal balast tabakası kalınlığı hesabı ile güçlendirme analizi yapılması,

Balast tabakasında geogrid malzeme ile yapılacak güçlendirme işlemi sonrası ihtiyaç duyulacak balast tabakası kalınlığının hesaplanmasında analitik yöntem kullanılmaktadır. Ancak geogrid güçlendirme malzemesinin demiryoluna etkileyen yükün baskı açısı üzerine olan etkisi bilinirse optimal balast tabakası kalınlığı hesabı kullanılarak da yaklaşık bir tabaka kalınlığı hesabı yapılabileceği düşünülmektedir.

Bölüm 3.2.6'da belirtilen Lichterberg'in optimal balast yüksekliği hesabı göz önünde bulundurularak, bu hesaplama neticesinde kalınlıkları tespit edilen balast tabakalarında geogrid malzeme kullanılarak güçlendirme yapılması durumunda baskı

yayılım açılarının artması beklenmektedir. Baskı yayılım açılarının saptanması ile balast tabakası kalınlıklarında meydana gelecek azalmaların yaklaşık olarak hesaplanması mümkün olacaktır.

Kwan'ın yaptığı deney çalışmalarında Tensar BX1200(SS) tipi geogrid malzeme kullanılarak baskı yayılım açısının 38°'den 50°'ye çıkarıldığı görülmüştür. Bu şekilde balast tabakası kalınlığı 52,5 cm olarak hesaplanan hatta SS Tipi geogrid malzeme uygulandığı takdirde optimum balast tabakası kalınlığı tekrar hesaplanırsa;

$$h = \frac{52,5}{2 \times \tan 50} = \frac{52,5}{2 \times 1,19} \approx 22 \text{ cm}$$

Yapılan hesaplamalara göre daha önce 52,5 cm olarak hesaplanan balast tabakası yüksekliğinin baskı yayılım açısı göz önünde bulundurularak yapılan analizine göre güçlendirme işlemi sonrasında balast tabakası kalınlığı 22cm'e düşebilmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği üzere uygulama öncesinde tasarım hesaplaması yapılırken, ilgili balast malzemesi ve geogrid malzemenin tabaka içerisinde yerleştirildiği konumunun güçlendirme özelliğine olan etkisinin saptanması mümkün olmadığı hallerde, yapılacak olan uygulama öncesinde hesaplanan balast tabakası kalınlığına güvenlik miktarı eklemek faydalı olacaktır.

4.3.4 Örnek demiryolu projelerinde geogridlerin kullanımı

Ülkemiz demiryolu inşaatlarında henüz çok fazla uygulama imkânı bulamayan geogrid malzemelerin Almanya, Amerika, İngiltere gibi ülkelerde bir çok inşaat mühendisliği konusunda olduğu gibi demiryolu sektöründe kullanımının ülkemize nispeten daha yaygın olduğu bilinmektedir. Bu bölümde daha çok son yirmi yıl içerisinde inşaat mühendisliği alanlarında kullanımı oldukça yaygınlaşan geogrid malzemelerin demiryolu yapısındaki kullanımlarından ve özellikle balast tabası güçlendirmesinde geogrid malzemelerin kullanımının getirdiği sonuçlardan bahsedilecektir.

4.3.5 Alman demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı

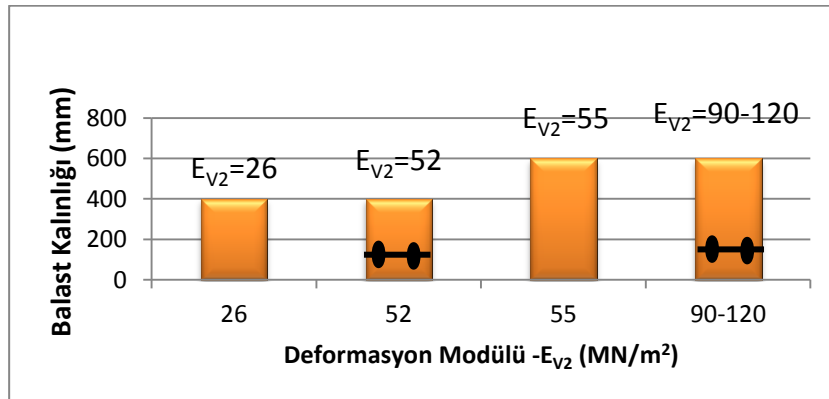
Polimer grid güçlendirmesinin etkilerini araştıran Alman demiryolu otoritesi (Deutsche Bahn) tarafından 1990'ların ortalarında Hochstadt – Probstzella arası demiryolu hattında, zeminin zayıf olduğu bölgelerde balast tabakasına Geogrid

güçlendirme uygulanmış, yapılan güçlendirme sonrası bölgede balast tabakasının taşıma kapasiteleri takip edilmiştir(Şekil 4.20). Plakanın taşıma gücü test sonuçları incelendiğinde, balast tabakası kalınlığı 400 mm olan güçlendirilmiş bölgenin, 600 mm kalınlığında balast tabakasına sahip güçlendirilmemiş bölgenin taşıma değerlerine eşdeğer performans gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.20: Hochstadt – Probstzella arası demiryolu hattında geogrid malzeme ile yapılan iyileştirme çalışmaları.

Ayrıca 400 mm ve 600 mm balast tabakası kalınlığında ve Geogrid ile güçlendirilmiş bölgelerden alınan neticelerle aynı kalınlıklarda güçlendirilmemiş bölgelerden alınan neticeler karşılaştırıldığında, güçlendirilmiş bölgelerin güçlendirilmemiş bölgelere nazaran taşıma kapasitelerinin çok daha yüksek olduğu görülmüştür[10]. Bu durum mevcut bir balast tabakasının geogrid ile güçlendirilerek daha yüksek trafik yüklerinde işletme yapılmasına imkân sağlayabileceğini göstermektedir(Şekil 4.21).



Şekil 4.21: Almanya Hochstadt – Probstzella demiryolu projesinin çeşitli kesitleri için sahada yapılan deformasyon testlerinin sonuçları[10].

4.3.6 Amerikan demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı

Amerika’da özel bir 1. Sınıf demiryolu taşımacılık şirketi olan CSX Taşımacılık’a ait bir demiryolu hattının yaklaşık 2 km’lik kesiminde, ara katmanlı kum ve yumuşak kilden oluşan zeminin kötü şartlarından ötürü saha erozyonu görülmektedir. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu bu bölgede drenaj hendeklerinin tıkanması ile birlikte taban zeminin doygun hale gelmesi ve sürekli işleyen demiryolu trafiğinin oluşturduğu dinamik yüklemelerin de etkisiyle taban zeminindeki ince malzemeler balastın içine pompalanmakta ve bunun sonucunda da hatta aşırı oturmalar meydana gelmekteydi. Bu nedenle, ilgili bölgeye her iki ya da dört haftada bir balast takviyesi yapılmakta ve aynı zamanda 8 km/saat’lik kalıcı bir hız sınırlaması da uygulanmaktadır.

Yetkililer bu sorunu çözmek üzere yüksek bir maliyeti hattın bu bölümünü daha iyi zemin koşullarına sahip bir bölgeye kaydırma işlemi yerine bu bölümün geosentetikler kullanılarak güçlendirilmesine karar verdiler. Bu işlemi gerçekleştirmek üzere mevcut ray hattı özel makinalarla yukarıya kaldırıldı, altındaki eski balast kaldırıldı, alt balastın üzerine örgüsüz geotekstil, üzerine de geogrid tabakası serildi, ray hattı yerine oturtularak üzerine yaklaşık 30 cm kalınlığında yeni balast serildi. Son olarak raylar ve traversler tekrar kaldırılıp sıkıştırma makineleriyle balast tabakası sıkıştırılmış ve yüzeyi tesviye edilerek düzeltilmiştir. Bu yenileme çalışmaları tamamlandıktan ve hat kullanıma açıldıktan sonra 3 yıl boyunca gözlenen hatta düzensiz oturmalar görülmemiş ve hız sınırı 56 km/saat’e yükseltilmiştir[14].

4.3.7 İngiliz demiryollarında geogrid malzemelerin kullanımı

İngiltere’nin güneyinden İskoçya’ya kadar uzanan Batı Sahili Ana Demiryolu Hattı(VCML)’in Coppul Moor mevkiinde, zayıf bir zemin üzerine oturduğu için bozuk bir geometriye sahip olan ve yüksek bakım maliyetlerine sahip 800 metre uzunluğundaki bir kesiminde yenileme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan yenileme çalışmaları kapsamında; Hattın bu bölümü 4 kesime ayrılmış, balast ve traversleri tamamen değiştirilmiştir. Bölümlerden ikisinde geogrid malzeme ile güçlendirme yapılmış diğer iki bölüme ise ilave güçlendirme yapılmamıştır. Hat kullanıma açıldıktan sonra düşey deformasyonlar düzenli aralıklarla izlenmiş ve kaydedilmiş, alınan kayıtlar neticesinde şekil 4.23’de görülen grafik elde edilmiştir. Grafik

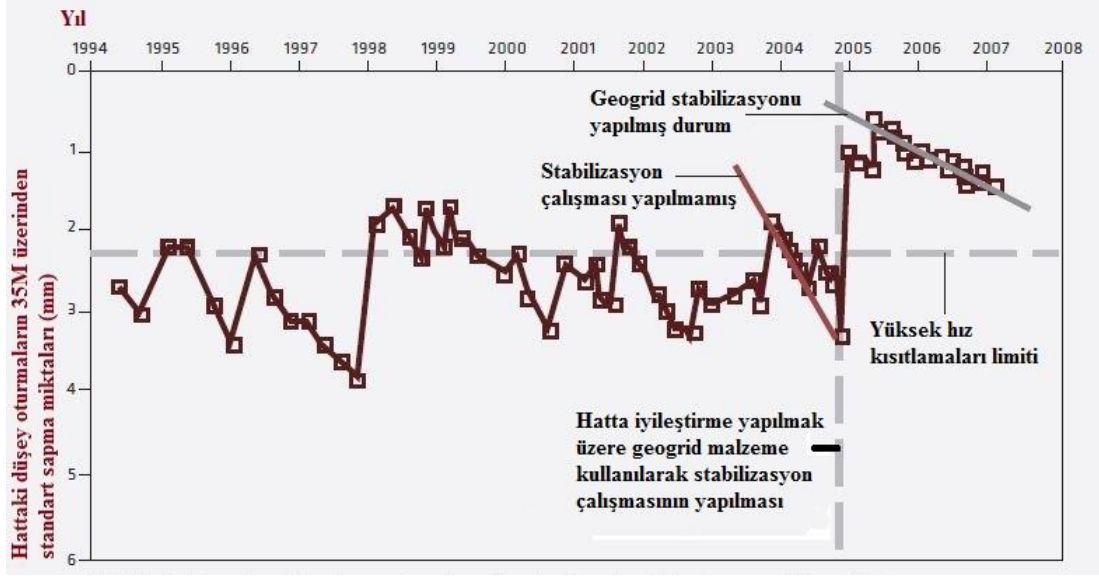
incelendiğinde geogrid malzeme kullanılarak yapılan stabilizasyon çalışması sonrasında zemindeki oturmalarındaki sapmaların artması başka bir deyişle düzensiz oturmaların görülmeye başlaması güçlendirmenin yapılmadığı zamanlara göre daha uzun bir zaman içerisinde olmaktadır. Hattın ilk yapımında dahi bir yıl içerisinde gerekli görülen yenileme işlemine geogrid uygulamasından iki sene sonrasında dahi ihtiyaç duyulmamıştır[14].



Şekil 4.22: Geogrid malzeme yerleştirilerek yapılan balast stabilizasyonu çalışması - Shirland, İngiltere.

Şekil 4.22’de İngiltere’nin Shirland bölgesinde bulunan demiryolu hattında balast tabakası ile birlikte serilen geogrid malzeme uygulaması görülmektedir. Bu uygulamada geogrid malzeme travers tabanının yaklaşık 225 mm aşağısına yerleştirilmiştir.

Yenileme çalışmasından önce yapılan 10 yıllık ve sonrasında yapılan yaklaşık 3 yıllık izleme çalışmaları, geogrid malzeme kullanılarak güçlendirilmiş kesimlerde demiryolu hattında meydana gelen oturmaların önemli ölçüde azaldığını ve güçlendirme olmaksızın yalnızca yenilemesi yapılan bölüme göre hattın bakım ömrünü 2 ile 4 kat arasında arttığını göstermiştir. Şekil 4.23’de geogrid malzeme ile güçlendirme yapılmış batı sahili ana demiryolu hattının düşey oturmalarındaki standart sapma miktarları yıllara bağlı olarak verilmiş, güçlendirmesi öncesi ve sonrası oturma durumları takip edilmiştir[16].



Şekil 4.23: Geogrid malzeme ile güçlendirme yapılmış batı sahili ana hattı(vcml) düşey oturmalarındaki standart sapma miktarları.

İngiltere’de yapılan uygulama sonrasında bakım ömrünün artması, balast değişimi ve buraj çalışmalarına duyulan ihtiyacın azalması ve bakım periyotlarının artması olarak algılanmalıdır. Böylelikle geogrid malzeme ile güçlendirme uygulaması yapılan demiryolu hatlarının yapım maliyetlerinin düşürülebilecek olmasının yanı sıra işletme altındaki durumu incelendiğinde bakım maliyetlerinin de düşmesi, hattın ömrünün uzaması beklenmektedir.

4.3.8 Çek cumhuriyeti demiryollarında geogridlerin kullanımı

Çek Cumhuriyeti’nde saatte 160 km hızla seyir etmesi beklenen yüksek hızlı tren hattının düşük taşıma kapasitesine sahip ve yer altı su seviyeleri yüksek bir zemin üzerinde kurulmuş olması bu hızla işletme yapılmasını desteklememekteydi. Bu hatların ilgili işletme hızlarına uygun hale getirilmesi çalışmaları sırasında, taşıma gücü düşük, yer altı su seviyesi yüksek problemlili bir taban zeminine sahip 78 km’lik bir kesimde, zemini iyileştirmek için ilk başta çimento stabilizasyonu düşünülmüş olsa da süregelen yoğun yağışlardan dolayı içme suyunun kirlenmesi gibi çevresel kaygılardan dolayı bu düşünceden vazgeçilmiş ve bunun yerine, balast ve alt balast tabakalarının içine ve altına geogrid yerleştirmek suretiyle gevşek taban zeminini kazıp kaliteli zeminle değiştirmeye gerek kalmadan hem agrega kalınlığı azaltılmış hem de ağır yağışlı havalarda imalat yapma imkânı elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmalar kapsamında, demiryolu hattının üç farklı kesiminde ayırma tabakası olarak,

taban zeminiyle altbalast arasında geogridle birlikte geotekstil de kullanılmıştır. Tüm bu çalışmalar hava sıcaklığının -5 derecenin altına düştüğü aşırı yağışlı ve soğuk havalarda dahi devam ettirilmiştir. Bu projede kullanılan alt balast miktarında toplamda %30'a varan bir azalma sağlanarak yatırım maliyetlerinde önemli ölçüde tasarruf edilmiştir[17].

4.4 Demiryollarında Geosentetik Kullanımının Avantajları

Demiryollarının güvenliği, konforu ve bakım maliyetlerinin düşük olmasının sağlanması için özenle yapılacak üstyapı çalışmalarının anlamlı olabilmesi için öncelikle altyapı çalışmalarının gereğince yapılması gerektiğini daha önce belirtmiştik. Bahsi geçen altyapı çalışmalarında geosentetik malzemelerin kullanımının demiryolu sistemlerine sağladığı avantajlardan da bahsetmek istersek onları şu şekilde sıralayabiliriz,

- Geotekstil ve geogrid malzemeler, üzerine etkiyen yükü eşit şekilde daha geniş alanlara yayarak taşıma gücünün arttırır, boşluklu yapıları ile drenaj yapısına destek sağlayarak boşluk suyu basınçlarını düşürür ve granüler malzeme ihtiyacını azaltırlar, böylelikle özellikle granüler malzeme temininin maliyetli olduğu bölgelerde imalatçıya daha çok avantaj sağlarlar,
- Geosentetik malzemelerin, uygulama alanlarındaki alternatif yöntemlere nazaran yapım bölgesine nakilleri ve uygulamaları daha pratik olduğundan daha hızlı imalat imkânı sunarlar, böylelikle nakliye ve işçilik maliyetleri daha düşük olmaktadır,
- Taşıma gücünü sağlayan ana tabaka geotekstillere ile kaplandığında bu tabakaya zarar veren zemin kirlenmesini önlenmiş olur, aynı zamanda geomembran kullanımı ile zeminler kimyasal kirlenmelere karşı da korunmuş olur,
- Sağladığı drenaj fonksiyonu ile dona karşı dayanımda gözle görülür bir artış sağlar,

Bütün bu avantajları göz önünde bulundurulduğunda, aynı fonksiyonları sağlayan diğer çözüm yöntemlerine nazaran geosentetiklerin uygulamasının ve nakliyesinin kolay olması ve ihtiyaç duyulan doğal malzeme miktarlarını azaltması başlıca avantajları olarak söylenebilir. Bu fonksiyonlarla birlikte uzun süre bozulmayan yapıları sayesinde geosentetikler yapı ömrünü de kayda değer şekilde arttırmaktadırlar.

5. BALASTLI DEMİRYOLU HATLARINDA GEOGRİD KULLANIMININ EKONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Dünya genelinde yapılan uygulamalara bakıldığında balastlı demiryolu hatlarında geogrid malzeme kullanılarak altyapı ve balast tabakasının güçlendirilmesi uygulamalarının proje maliyetlerini düşürmek üzere ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebinin ilgili bölgelerde zemin koşullarının kötü olması ve tasarım sonucu ortaya çıkan yüksek balast ve alt balast tabakalarının oluşturulması için gereken kırma taş malzemelerin temininin zor olması ve ancak uzak bölgelerden temin edilebilmesi olduğu söylenebilir. Bu koşullarda nakliye masraflarından dolayı yapım maliyetleri artmakta, birim maliyet kıyaslamasında balast malzemesine göre daha pahalı olması beklenen geogrid malzemenin birim ağırlıkları daha düşük ve yapay ürünler olduğundan istenilen kalitede temini daha kolay olduğundan geogrid malzemeler daha ekonomik çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bölümde Amerika Birleşik Devletleri'nde Viktoria ve Rosenberg bölgeleri arasında yenilemesi yapılan 91 mil'lik demiryolu hattının günümüz fiyatları ile güncel yaklaşık maliyet hesaplaması ve geogrid kullanılmaması durumunda ortaya çıkacağı düşünülen yaklaşık maliyet hesapları yapılarak karşılaştırılacaktır. Daha sonra Türkiye'de benzer uygulama bulunmadığından, tasarım olarak hazırlanacak 100 kilometrelik balastlı bir demiryolu hattının alt balast tabakası altına geogrid güçlendirmesi yapılmış ve yapılmamış durumları için yaklaşık maliyet hesapları yapılarak karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırmada yapılması planlanan hatların balast ocağına 100 kilometre ve 300 kilometre mesafede olması durumları da ayrı ayrı düşünülerek balast temini mesafesinin maliyete olan etkisi gözlenecektir.

5.1 Uluslararası Uygulama Örnekleri

Ülkemizdeki uygulamaların aksine yurt dışında geosentetiklerin altyapı ve balast tabakası stabilizasyonunda kullanılması uzun yıllardır görülmektedir. Önceleri yalnızca geotekstil malzeme kullanılarak oturmaların düzenli olması, malzeme yapılarının bozulmaması sağlanarak yapı ömrü uzatılmaya çalışılıyor olsa da

günümüzde alt yapı ve balast tabakalarına ve bu tabakalarının aralarına geogrid malzeme yerleştirilerek yapılan akademik çalışmaların etkisiyle bir çok ülkede örnek uygulamalar görülmektedir. Öte yandan yurt dışında ön plana çıkan geogrid uygulamaların da çoğunlukla uzun yıllar önce işletmeye açılmış hatlarda yenileme ve onarım çalışmaları kapsamında gerçekleştiği görülmektedir. Buna sebep olarak henüz geogrid malzemenin kullanılmadığı yıllarda imalatı yapılan hatların tamamen sökülerek yenilenmesi yerine, günümüzde yenilenme ihtiyacı duydukça bu uygulamaların yapılması gösterilebilir.

5.1.1 A.B.D. Victoria – Rosenberg arası hat yenileme çalışmaları

2008-2009 yıllarında Güney Teksas'ta Victoria-Rosenburg bölgeleri arası kullanımda olmayan 91 mil'lik bir demiryolu hattının yeniden yapılması istenmiş, yapılan tetkikler sonucunda ilgili bölgede zeminin zayıf olduğu ve mevcut alt balast tabakasının kaybolduğu veya yıprandığı görülmüştür. Bu koşullar göz önünde bulundurularak normal yapım yöntemleri ile ilgili bölgede 12 inç (30 cm)'lik yeni bir alt balast tabakasının teşkilinin gerektiği tespit edilmiştir [18].



Şekil 5.1: Victoria - Rosenberg arası demiryolu hattı.

Kırma taş alt balast malzemesi söz konusu yenileme alanına en yakın Meksika veya Arkansas bölgesinden temin edilebileceği için oldukça yüksek bir nakliye maliyeti ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple alternatif bir yöntem araştırılmasına girilmiş ve alt balast tabakasının altına Geogrid (Tensar BX1200) yerleştirilerek bir tasarım

yapılmış böylelikle tabaka kalınlığı 6 inç (15 cm)'e kadar indirilerek hem nakliye masraflarından ciddi bir düşüş sağlanmış hem de mevcut altyapı daha sağlıklı ve uzun ömürlü olacak şekilde yenilenmiştir[18].



Şekil 5.2: Viktoria - Rosenberg arası demiryolu hattında yapılan geogrid serimi.

5.1.2 Yapılan yenileme çalışmalarının maliyet açısından değerlendirilmesi

Victoria-Rosenberg arası kullanıma kapalı halde bulunan 91 mil'lik bir demiryolu hattında gerçekleştirilen bu yenileme çalışmalarını maliyet açısından değerlendirmek üzere ihtiyaç duyulan veriler internet üzerinden yapılan araştırmalar ve yazışmalar ile edinilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri dâhilinde çalışan büyük taşımacılık firmalarının nakliye fiyatları ve kırma taş ocaklarından alınan kırma taş maliyetleri göz önünde bulundurularak ilk yapım maliyetleri yaklaşık maliyet analizleri ile değerlendirmeye alınacaktır. Bu değerlendirme yapılırken aşağıdaki denklemden faydalanılacaktır

$$F=M_K+N_K-M_G$$

Bakım ve ömür hariç ilk yapım maliyetinde edinilen fayda; (F)

Kırma taş maliyetlerinden edinilen kazanç; (M_K)

Kırma taş nakliye maliyetlerinden edinilen kazanç; (N_K)

Geogrid malzemelerin maliyeti; (M_G)

Geogrid malzemelerin nakliye maliyeti; (N_G)

- **Kırmataş maliyetlerinden edinilen kazanç(M_K);**

KCS firmasının bu projesinin değerlendirildiği kaynaklarda toplam kullanılan alt balast malzemesi miktarı 230,000 ton olarak verilmektedir. Bu bilgi ışığında geogrid ile güçlendirilen zeminde alt-balast tabaka kalınlığının %50 azaltılarak imalat yapıldığı belirtildiğinden toplam malzeme kazancı da yaklaşık olarak 230,000 ton olarak karşımıza çıkacaktır.

$$M_K = 230.000 \text{ ton} \times 27\$/\text{ton} = 6.210.000 \$$$

- **Kırmataş Nakliye maliyetleri;**

Bölgede yapılan çalışmalarda gerekli kırma taş malzemesi Cerro Colorado, Mexico ve Hatton, Arkansas bölgelerinden yük vagonlarıyla getirilmiştir. Her iki kaynak da en yakın oldukları Rosenberg'e yaklaşık 400 mil mesafede bulunmaktadır. Toplam malzeme tasarrufu 230.000 ton olarak alınacaktır.

EK B'de verilen Kömür taşımacılığı fiyatları 2009 verileri esas alınırsa raylı sistem ile malzemenin 1 ton'u yaklaşık olarak 0,014\$/mil' a taşınmaktadır. [19].

Yapılmış olan çalışmanın yaklaşık kırma taş nakliye maliyeti kazanımı;

$$(N_K) = 0,014\$/\text{ton} \cdot \text{mil} \times 230.000 \text{ ton} \times 400 \text{ mil} = 1.288.000 \$$$

- **Geogrid malzemelerin maliyeti; (M_G)**

Geogridlerin demiryollarında kullanımı ile ilgili AREMA tarafından hazırlanan inceleme raporlarında 1 mil demiryolu için yapılan geogrid imalatının maliyeti \$27,000 olarak verilmektedir[14].Yapılan yenileme çalışması toplam 91 mil üzerinden yapıldığı ve bu maliyet verisi göz önünde bulundurulduğunda;

$$M_G = 91 \text{ mil} \times 27.000\$/\text{mil} = 2.457.000 \$$$

- **Geogrid malzemelerin nakliye maliyeti; (N_G)**

1 m² geogrid malzemenin yaklaşık olarak 0,5 kg'a tekabül ettiği kabul edilmektedir. Toplam kullanılan toplam geogrid miktarı KCS firmasının bu projesinin değerlendirildiği kaynaklarda 237,000 m² olarak verilmektedir[20]. Nakliye maliyetleri yukarıda belirtilen geogrid malzemesi kurulum dâhil fiyatı içerisinde yer aldığından bu maliyet ayrıca toplam maliyet hesabında değerlendirilmeye alınmayacaktır ancak bilgi karşılaştırması açısından hesabı yapılmıştır. Bu durumda;

$$\text{Toplam ağırlık} = 0,5 \text{ kg/m}^2 \times 237.000 \text{ m}^2 = 118.500 \text{ kg} = 118.5 \text{ ton}$$

Olarak karşımıza çıkmaktadır. Nakliye maliyetleri ise yük hesabıyla, agrega malzemesi ile aynı şekilde demiryolu ile ve vagonlarla taşınıldığı düşünülürse;

$$N_G = \text{Toplam Ağırlık} \times \text{Birim Nakliye Ücreti} \times \text{Kaynağa olan uzaklık} = 118.5\text{ton} \times 0,014\$/\text{ton} \times \text{mil} \times 400\text{mil} = 663,6 \$$$

Bütün bu veriler ışığında Viktoria – Rosenberg arasındaki 91 mil uzunluğundaki demiryolu hattının yenilenmesi projesinin yapım maliyetinde edinilen fayda;

$$F = M_K + N_K - M_G$$

$$= 6.210.000\$ + 1.288.000\$ - 2.457.000\$ = 5.041.000 \$$$

Olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kazanım üzerinde yorum yapmak üzere projenin toplam maliyeti hakkında araştırma yaparsak, KCS Firmasının bu yenileme projesi için Federal Demiryolları idaresinden \$100 milyon kredi başvurusunda bulunduğu görülmektedir[21]. Yaklaşık olarak 100 milyon dolar maliyete sahip olması düşünülen bir projenin yapımında tasarrufla kazanılan 5 milyon dolar, oldukça yüksek bir rakam olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra Bölüm 3 ve Bölüm 5’de belirtildiği üzere demiryolu alt balast ve balast tabakasında geogrid kullanımının yapı ömrünü uzattığı ve bakım maliyetlerini düşürdüğü de göz önünde bulundurmak düşünülebilir. Bu durumda Viktoria – Rosenberg arasında yapılan bu yenileme çalışmasında geogrid malzemelerin kullanılması ile işletme maliyetleri için de karlı bir çözüm yolunun izlenmiş olduğu görülmektedir.

5.2 Türkiye’de Balastlı Demiryolu Hattının Geogrid Güçlendirme İle Oluşturulması

Ülkemiz demiryolu sektöründe geogrid malzeme ile balast ve alt balast tabakasının güçlendirmesine ait mevcut bir uygulama bulunmamaktadır. Bu bölümde, ülkemiz koşullarına uygun olarak kendi kabullerimiz ile tasarladığımız bir demiryolu hattına geogrid malzeme ile güçlendirme uygulaması yapılması ve güçlendirme uygulanmaksızın yalnızca balast ile oluşturulmasının yaklaşık yapım maliyetlerinin kıyaslaması yapılacaktır. Güçlendirme işleminin etkisi ile tabaka kalınlıklarındaki değişimler bölüm 4.3.2’de belirtilen tasarım denklemleri ve şemaları kullanılarak hesaplanacaktır. Edinilen neticeler ışığında bu uygulamanın ülkemizde yapılacak demiryolu inşaatlarında kullanımının ekonomik değerlendirmesi yapılacaktır.

5.2.1 Türkiye’de yapılacak örnek bir demiryolu inşaatının yapım maliyetleri

Bu bölümde tasarlanacak örnek demiryolu projesi, demiryollarında balast tabakası için verilen optimum balast tabakası kalınlığı esas alınarak oluşturulacak ve yine bu değerler üzerinden ilgili güçlendirme analizleri yapılarak yeni balast tabakası kalınlıkları hesaplanacaktır.

5.2.2 Tasarımları yapılan demiryolu hattının maliyetlerinin karşılaştırılması

Optimum balast tabakası yüksekliğinin 25-30 cm olması göz önünde bulundurularak balast tabakası kalınlığı 30 cm olarak alınarak yapılacak tek hatlı, 1435 mm ekartman açıklığına sahip bir demiryolu hattının oluşturulması için gerekli balast miktarı çizelge 6.1 göz önünde bulundurularak alınacaktır.

Çizelge 5.1 Tek ve çift yönlü hatlar için gerekli balast miktarları[22].

Hat Tipi	Hat Genişliği	Dever	Km’de Gerekli Balast	
	[mm].	[mm].	[m ³].	[ton].
Tek Hat	1435	0	2100	3050
Tek Hat	1000	0	1320	1920
Tek Hat	1435	150	2260	3280
Tek Hat	1000	100	1380	2000
Çift Hat	1435	0	4640	6780
Çift Hat	1435	150	5700	8260

Bu bölümde 30 cm balast gerektiren hatta 30 cm’de alt balast uygulaması yapıldığı ve alt balast tabakasının altına SS(BX1200) Tipi geogrid malzeme ile güçlendirme yapılması halinde demiryolu yapısı adına gerekli yük dağılımını sağlamak üzere balast tabakası kalınlığının ne kadar olması gerektiği hesaplanacaktır. Daha sonra güçlendirme yapılması durumunda oluşacak yeni kesit ile inşa edilecek 100 kilometre demiryolu hattının ortaya çıkacak yaklaşık yapım maliyetleri hesaplanarak güçlendirme yapılmamış olması durumundaki yapım maliyetleri ile kıyaslanacaktır.

Şekil 4.16’da verilen grafik incelendiğinde 60 cm tabaka kalınlığında BX1200 geogrid malzeme kullanılması halinde depo oluşturma tabaka kalınlığı oranı $R \approx 0,5$ olarak alınmaktadır.

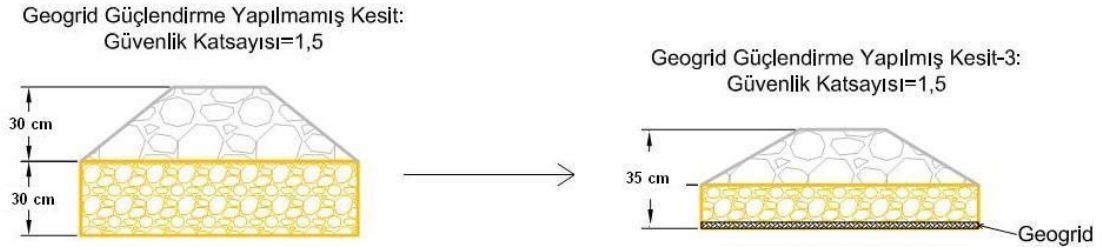
Bu yöntem kullanılarak balast tabakasının güçlendirme işlemi sonrasında yeterli yük dağılımını sağlayabilmek üzere gerekli görülen kalınlığını hesaplamak üzere denklem 4.3’de ilgili değerler yerlerine konulursa;

$$h=R.h_0$$

$$=0,5 \times 60 = 30 \text{ cm kalınlığında balast tabakası imal edilmesi gerektiği görülmektedir.}$$

Ancak bölüm 4.3.2’de de belirtildiği üzere, demiryolu balast yapısında kullanılacak malzemenin dane boyutları ve geogrid malzemenin yerleştirildiği derinliğin güçlendirme fonksiyonuna etkisi olacağı bilindiğinden tasarım için güvenli bir uygulama sağlamak üzere 5 cm ilave tabaka oluşturulması düşünülmektedir. Böylelikle oluşturulacak balast tabakası kalınlığı;

$$b=30+5=35 \text{ cm olacaktır.}$$



Şekil 5.3: Seçilen bir demiryolu kesitinde geogrid güçlendirmesi yapılarak balast, alt balast tabaka kalınlıklarının azaltılması.

Ekartman genişliği 1435 mm olan, düz yol üzerinde tek hatlı bir demiryolunun yapımı için gerekli balast malzemesi miktarı çizelge 6.1’e bakıldığında yaklaşık 2100 m³/km ve 3050 ton/km olmaktadır. Bu bilgiler ışığında 100 km’lik bir demiryolu inşaatı için gerekli balast malzemesi miktarı;

$$M_B = 3050 \text{ ton/km} \times 100 \text{ km} = 305.000 \text{ ton (210.000 m}^3\text{) olacaktır.}$$

Eğimsiz yapıda olan kesit hacminin yanı sıra daha ince daneli zemin barındırdığından balast tabakası ile aynı kalınlığa sahip alt balast tabakasının yaklaşık olarak balast tabakasıyla aynı ağırlığa sahip olacağı düşünülebilir. Bu kabul ile alt balast tabakası için gerekli olan toplam malzeme,

$$M_B = 610.000 \text{ ton (420.000 m}^3\text{) olacaktır.}$$

Geogrid malzeme ile güçlendirme yapılması durumunda ise, balast tabakası kalınlıkları toplamda 35 cm’e düşmesinin beklendiği daha önce hesaplanmıştır. Bu

durumda 100 km hat için gerekli balast ve alt balast malzemesi toplam miktarı yaklaşık olarak;

$$(M_B)^* = 610.000 / 60 * 35 = 355.830 \text{ ton (245.000 m}^3\text{)}$$

Güçlendirme işlemi için tek hattın balast tabakasının altında kullanılacak geogrid malzeme genişliği 3 metre olarak alınırsa, proje için kullanılması gereken toplam geogrid malzeme miktarı;

$$M_G = 100000 \text{ mtül olacaktır.}$$

Projenin maliyetlerinin karşılaştırılması yapılırken hesaplaması yapılan bütün maliyetler göz önünde bulundurulacak ve her iki tasarımın da yaklaşık toplam malzeme ve nakliye masrafları hesaplanarak karşılaştırılması yapılacaktır. Balast ve alt balast malzemelerinin nakliye ücretleri hesaplanırken EK A'da verilen TCDD'nin 2014 yılı içerisinde yayınladığı yük taşımacılığı ücret çizelgesinden faydalanılacak ve projenin balast, alt balast ocağına uzaklığı 100 kilometre ve 300 kilometrede olacak şekilde iki farklı mesafeye göre hesaplama yapılacaktır.

Güçlendirme için uygulanan geogrid malzeme için Tensar SS(BX1200) Tip geogrid malzeme seçilmiş, yaklaşık birim maliyeti EK C'de verilen teklif üzerinden, 3 metre genişlik için 40TL/mtül olarak alınmıştır.

- Geogrid malzeme ile güçlendirme yapılmamış hattın yapımında kullanılacak malzemelerin yaklaşık temin ve nakliye maliyetleri;

$$\sum M = M_B \times F_B + (M_B + M_A) \times N$$

$\sum M_1$: Güçlendirme yapılmamış hattın yaklaşık toplam balast malzemesi maliyeti (TL)

$\sum M_2$: Güçlendirme yapılmış hattın yaklaşık toplam balast malzemesi maliyeti (TL)

M_B : Güçlendirme Yapılmayan hatta gerekli balast miktarı (ton)

F_B : Balast ocağında teslim balast birim fiyatı (TL/ton) [20 TL/ton].

N_1 : 1-150 km arası taşıma ücreti: [8,90 TL/ton].

N_2 : 281-300 km arası taşıma ücreti: [22,38 TL/ton].

$$\sum M_1 = 610.000 \times (20 + 8,9) = 17.629.000 \text{ TL}$$

$$\sum M_2 = 610.000 \times (20 + 22,38) = 25.851.800 \text{ TL}$$

- Geogrid malzeme ile güçlendirme yapılmış hat;

$$(\sum M)^* = (M_B)^* \times F_B + (M_B)^* \times N + M_G \times F_G + M_G \times N$$

$(\sum M)^*$: Güçlendirme yapılmış hattın yaklaşık toplam maliyeti (TL)

$(M_B)^*$: Güçlendirme Yapılmış hatta gerekli balast miktarı (ton)

M_G : Güçlendirme için gerekli geogrid malzeme miktarı (mtül)

F_G : Güçlendirme için kullanılacak geogrid malzeme birim fiyatı (TL/mtül)

N_1 : 1-150 km arası taşıma ücreti: [8,90 TL/ton].

N_2 : 281-300 km arası taşıma ücreti: [22,38 TL/ton].

$$\sum M_1 = 355.830 \times (20 + 8,9) + 100000 \times 40 + 100 \times 8,9 = 14.283.576 \text{ TL}$$

$$\sum M_2 = 355.830 \times (20 + 22,38) + 100000 \times 40 + 100 \times 22,38 = 19.080.300 \text{ TL}$$

İlk yapım maliyetlerinde malzeme temini göz önünde bulundurularak hesaplaması yapılan 100 km'lik demiryolu hattının yaklaşık maliyetleri yukarıda görülmektedir.

Mevcut hesaplamalar neticesinde;

- Agreg acağına 100 km uzaklıkta olan 100 km uzunlukta bir demiryolu hattı projesinin, alt balast tabakası altına geogrid malzeme yerleştirilerek, 17.629.000 TL yerine 14.283.576 TL maliyetle, %23 karlılık oranı ile,
- Agreg acağına 300 km uzaklıkta olan 100 km uzunlukta bir demiryolu hattı projesinin ise, alt balast tabakası altına geogrid malzeme yerleştirilerek, 25.851.800 TL yerine 19.080.300 TL maliyetle ve yaklaşık olarak %35 karlılık oranı ile imalatının yapılabileceğı öngörülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1960'lı yıllarda geotekstil malzemelerin fabrikasyonu ile geoteknik mühendisliği alanında kullanılmaya başlayan geosentetik malzemeler günümüzde demiryolu yapıları da dâhil olmak üzere inşaat mühendisliğinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Demiryolu mühendisliğinde geosentetik malzemeler, drenaj yapılarının oluşturulmasında, farklı tabakaların ayrılmasında, düzensiz oturmaların önlenmesinde, su yalıtımının sağlanmasında, su yalıtımını temin eden ürünlerin korunmasında ve demiryolu alt yapı ve üst yapı tabakalarının güçlendirilmesinde kendilerine yer bulmaktadırlar.

Dünya genelinde olduğu gibi geotekstil ve geomembran malzemelerin demiryolu mühendisliğinde kullanımı ülkemizde de yaygın olarak görülmekte, bu malzemelerin fonksiyonlarına göre farklı uygulamalarla sıkça karşılaşılmaktadır. Ancak araştırmalarda görüldüğü üzere geogrid malzeme kullanılarak yapılan demiryolu hattı stabilizasyonu ile hattın iyileştirilmesi ve balast, alt-balast tabaka kalınlıklarının azaltılması çalışmalarının dünya genelinde birçok uygulamasının olduğu görülmüş olmasına karşın, ülkemizde bu konuda bilinen bir uygulama henüz gerçekleştirilmemiştir. Yurt dışında yapılan geogrid malzeme ile güçlendirme uygulamaları incelendiğinde, uygulama neticesinde balast veya alt balast tabaka kalınlıklarının zemin, geogrid malzeme ve uygulama koşullarına göre yarı yarıya kadar düşürülebildiği görülmüştür. Bunun yanı sıra geotekstil malzeme ile desteklenerek düzensiz oturmaların da önlendiği geogrid malzeme uygulamaları neticesinde ilgili balast bakımlarının da periyotlarını düşürdüğü ve böylelikle uygulamanın yapım maliyetlerinin yanı sıra bakım ve onarım maliyetlerini de düşürdüğü tespit edilmiştir.

Tez kapsamında yapılan hesaplamalarda karayollarının dolgu imalatlarında yapılan geogrid malzeme ile güçlendirme işlemleri incelenmiş, burdan edinilen tecrübelerden

faydalanılarak, bu hesaplamaların demiryolu altyapısı ve balast tabakasında geogrid malzeme ile güçlendirme işlemine bağlı olarak yeni tabaka kalınlıklarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Geogrid malzemeler ile demiryolu altyapısı ve balast tabakası kalınlıklarının hesaplanmasında, zemin içerisine yerleştirilen geogrid malzemenin testler ve analizler sonucunda tespit edilen üzerine etkiyen yükü dağıtma özelliğine bağlı olarak oluşturulan denklemler kullanılabilmektedir.

Geogrid malzeme kullanılarak yapılan hat stabilizasyonu çalışması ile Amerika Birleşik Devletleri'nde Viktoria ve Rosenberg bölgeleri arasında kullanım dışı olan bir demiryolu hattı yenileme projesinde, balast malzemesi ancak 600-700 kilometre mesafeden sağlanabildiğinden nakliye masraflarını ve dolayısı ile yapım Maliyetlerini düşürmek üzere alternatif malzeme olarak geogrid malzeme kullanılarak balast tabakası kalınlıkları azaltılmıştır. Yapılan tez çalışması kapsamında bu proje değerlendirilmiş, tüketilen balast ve geogrid malzemelerinin temin ve nakliye bedelleri ile geogrid kullanılmaması durumunda karşılaşılabilecek muhtemel maliyetler yaklaşık olarak hesaplanarak kıyaslamaları yapılmış ve geogrid malzeme kullanılarak yapılan iyileştirme çalışmasının toplam maliyette yaklaşık %5 düşüş sağladığı görülmüştür.

Ülkemizde demiryolu altyapısında geogrid malzeme kullanılarak balast tabakası kalınlıklarının azaltılmasına ait bir uygulama örneği olmadığından, tasarımsal olarak seçilen özelliklerde balastlı bir demiryolu hattında geogrid malzeme kullanılarak yapılacak iyileştirme çalışması ile balast tabakası kalınlığı düşürülmüştür. Güçlendirme işlemi öncesinde gerekli görülen balast tabakası kalınlığı akademik araştırmalarda ön görülen optimum balast tabakası kalınlıkları esas alınarak seçilmiş, daha sonra Koerner'in karayollarının zemin iyileştirme ve dolgu tabakası oluşturma işlemlerinde geogrid malzeme ile güçlendirme yapısı tasarımlarından esinlenerek oluşturulan demiryollarında geogrid malzeme kullanılarak balast tabakalarının güçlendirilmesi ve buna bağlı olarak boyutlandırılması denklemleri uygulanmış ve güçlendirme sonrası gerekli görülen balast tabakası kalınları yaklaşık olarak saptanmıştır. Yapılan bu çalışmada kullanılacak balast ve geogrid malzemelerinin proje sahasına 100 kilometre uzaklıktan temin edildiği varsayılarak yaklaşık temin ve

nakliye fiyatları ile geogrid güçlendirme işlemi yapılmaması durumunda kullanılacak balast malzemesi maliyetleri kıyaslanmış ve geogrid malzeme kullanımının balast tabakası oluşturma maliyetinde yaklaşık %23 karlılık sağladığı görülmüştür. Daha sonra malzemelerin temininin proje sahasına 300 kilometre mesafeden yapılması durumu incelenmiş ve balast tabakası oluşturma maliyetinde yaklaşık %35 oranında kar edinilebileceği görülmüştür. Bu tespit ile altyapısında geogrid güçlendirme uygulaması yapılacak demiryolu projesinin balast ocağına olan uzaklığının da yapım maliyetinde edinilen karlılık oranını etkilediği ve balast malzemesinin daha uzak mesafelerden temin edilebileceği projelerde geogrid malzeme kullanılarak edinilen kar oranının daha yüksek olacağı ortaya konulmuştur.

Literatür taramalarında, demiryolu hatlarının güçlendirmesi çalışmaları kapsamında dünya genelinde yapılan geogrid ve geotekstil malzeme uygulamalarının balast ve alt-balast tabakalarında karşılaşılabilecek arıza durumlarını azaltması ve bakım ihtiyacını azaltarak periyotlarını düşürmesi sayesinde bakım ve dolayısı ile işletme maliyetlerini de düşürdüğüne değinilmiştir. Ancak yapılan araştırmalarda geogrid malzeme ile güçlendirme uygulaması yapılan hatların bakım verilerinin ortaya konulduğu bir kaynağa ulaşılamadığından tez kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır. Demiryollarında geosentetik malzemelerin kullanımı hakkında tekrar araştırma yapmak istenirse, uygulama öncesi ve sonrasına ait bakım maliyetleri edinilerek “geogrid malzeme ile yapılan güçlendirme çalışmalarının hat bakım maliyetlerine etkileri” incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Yılmaz, H.R. ve Eskişar, T.** (2007). Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı Ve Sağlanan Faydalar, *İMO Adana Şubesi 2. Geoteknik Sempozyumu Bildiriler Kitabı* s:433-44.
- [2] **Lichtberger, B.** (2011). Track Compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics, *Eurailpress*.
- [3] **Hawkins, W. M.** (2008). Geotextiles in unpaved roads: A 35-year case history, *Geosynthetics Magazine*.
- [4] **URL** <www.geosyntheticssociety.org>, alındığı tarih: 02.04.2013.
- [5] **İ.B.B.** (2006). 4. Levent – Ayazağa Kesimi, Seyrantepe depo sahası ve depo bağlantı hatları 3. Faz inşaatı Teknik Şartnamesi.
- [6] **URL** <<http://www.renolit.com/waterproofing-civil-engineering/en/applications/underground-work/tunnel-under-water-pressure/>>, alındığı tarih: 20.03.2014.
- [7] **URL** <<http://www.geosentetikler.net/?p=1713>>, alındığı tarih: 02.04.2013.
- [8] **Akbulut, S.** (2003) Katı Atık Depo Alanlarının Geoteknik Tasarımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- [9] **Şerefoğlu, E.** Ulaştırma Yapılarında Geomembran Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme.
- [10] **Kwan, C. C. J.** (2006). Geogrid Reinforcement of Railway Ballast.
- [11] **Profillidis, V. A.** (2006). Railway Management and Engineering, 3rd Edition, *Ashgate Pub Co*.
- [12] **Öztürk, Z. ve Arlı, V.** (2009). Demiryolu Mühendisliği, *İstanbul Ulaşım A.Ş.*
- [13] **Koerner, R. M.** (2005). Designing with Geosynthetics, 5th Edition, *Pearson Prentice Hall*.
- [14] **Das, B. M., Penman, J. ve Anderson, P. R.** (2006). R. P., Use of Geogrid in Subgrade-Ballast System of Railroads Subjected to Cyclic Loading for Reducing Maintenance, *1st International Conference on Railway Foundations*.
- [15] **Penman, J. ve Priest, D. J.** (2009). “The Use of Geogrids in Railroad Applications”, *Contech Engineered Solutions*.

- [16] **Tensar International Corp.** (2013). Mechanical Stabilisation of Track Ballast and Sub-ballast.
- [17] **URL** <<http://www.geoplas.com.tr/index.php/demo-layouts/demiryolu-uygulamalari.html>>, alındığı tarih: 09.04.2014.
- [18] **Frostestad, E. J.** KCS Victoria to Rosenberg Reconstruction Project, Victoria to Rosenberg, Texas.
- [19] **URL** <<http://www.eia.gov/coal/transportationrates/trend-coal.cfm>>, alındığı tarih: 20.04.2014.
- [20] **Tensar International Corp.** (2009). Railroad Tracks Significant Aggregate Savings with the Spectra®Rail System, *Geosynthetics Applications Newsletter Issue 19.1*.
- [21] **URL** <<http://www.businesswire.com/news/home/20070605006151/en/KCS-Applies-RRIF-Loan-Rehabilitate-Important-Victoria#.U1zqsZ9ixF8>>, alındığı tarih: 16.04.2013.
- [22] **Öztürk, Z. ve Arlı, V.** (2006). Demiryolunda Koruyucu Tabakaların İşlevleri ve Uygulanma Prensipleri, *International Railway Symposium*.
- [23] **Raymond, G. P.** (1999) Railway Rehabilitation Geotextiles, *Geotextile And Geomembranes Journal*, vol. 17, 213-230.

EKLER

EK A: Yük taşıma ücret izelgeleri

EK B: Tensar BX1200 (SS) Tip Geogrid Fiyatları

EK C: Tensar BX1200 Tip Geogrid Teknik zellikleri

EK A Yük taşıma ücret çizelgeleri.

Çizelge A.1 : TCDD Yurtiçi yük taşıma ücret tablosu.

(YÜRÜRLÜK TARİHİ : 25 / 04 /2014)

YURTİÇİ YÜK TAşIMA ÜCRET TABLOSU

BAZ : 0,74600 KırTon.Km

UZAKLIK (km)	TL / TON	UZAKLIK (km)	TL / TON
1 - 150	8,90	861 - 880	65,97
151 - 160	11,94	881 - 900	67,41
161 - 180	13,43	901 - 920	68,86
181 - 200	14,92	921 - 940	70,31
201 - 220	16,42	941 - 960	71,76
221 - 240	17,91	961 - 980	73,20
241 - 260	19,40	981 - 1000	74,65
261 - 280	20,89	1001 - 1050	78,49
281 - 300	22,38	1051 - 1100	82,33
301 - 320	23,88	1101 - 1150	86,18
321 - 340	25,37	1151 - 1200	90,02
341 - 360	26,86	1201 - 1250	93,86
361 - 380	28,43	1251 - 1300	97,70
381 - 400	29,99	1301 - 1350	101,54
401 - 420	31,56	1351 - 1400	105,38
421 - 440	33,13	1401 - 1450	109,23
441 - 460	34,69	1451 - 1500	113,07
461 - 480	36,26	1501 - 1550	116,91
481 - 500	37,83	1551 - 1600	120,75
501 - 520	39,24	1601 - 1650	124,59
521 - 540	40,66	1651 - 1700	128,44
541 - 560	42,08	1701 - 1750	132,28
561 - 580	43,50	1751 - 1800	136,12
581 - 600	44,91	1801 - 1850	139,96
601 - 620	46,33	1851 - 1900	143,80
621 - 640	47,75	1901 - 1950	147,65
641 - 660	49,17	1951 - 2000	151,49
661 - 680	50,58	2001 - 2050	155,33
681 - 700	52,00	2051 - 2100	159,17
701 - 720	54,39	2101 - 2150	163,01
721 - 740	55,84	2151 - 2200	166,86
741 - 760	57,28	2201 - 2250	170,70
761 - 780	58,73	2251 - 2300	174,54
781 - 800	60,18	2301 - 2350	178,38
801 - 820	61,62	2351 - 2400	182,22
821 - 840	63,07	2401 - 2450	186,06
841 - 860	64,52	2451 - 2500	189,91
1- EN AZ TAşIMA ÜCRETİ : 170,00 TL / VAGON		2- EN AZ TAşIMA MESAFESİ : 150 KM	
3- EN AZ TAşIMA TONAJI : 2 dingliili vagonlarda 20 ton, 4 ve daha fazla dingliili vagonlarda 40 ton			

Çizelge A.2 : A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Northern Appalachian Basin	Delaware	W	W	\$16.45	\$14.29	W	-	W	W	-	-	-
Northern Appalachian Basin	Florida	\$21.45	W	W	W	W	\$28.57	W	W	W	W	W
Northern Appalachian Basin	Illinois	W	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Northern Appalachian Basin	Indiana	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Northern Appalachian Basin	Kentucky	-	-	W	W	-	-	-	-	-	-	-
Northern Appalachian Basin	Maryland	\$11.39	\$10.39	\$11.34	\$12.43	\$13.69	\$14.25	\$15.17	\$18.16	\$18.85	06.May	03.Ağu
Northern Appalachian Basin	Massachusetts	W	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Northern Appalachian Basin	Michigan	\$7.43	\$8.85	W	\$8.37	W	W	W	W	\$12.52	06.Tem	W
Northern Appalachian Basin	New Hampshire	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Northern Appalachian Basin	New Jersey	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Northern Appalachian Basin	New York	\$16.62	\$15.39	\$13.75	\$14.91	\$16.92	\$18.02	\$19.10	\$18.49	\$19.92	02.Mar	07.Ağu

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Northern Appalachian Basin	North Carolina	W	-	-	-	W	W	W	W	\$22.23	W	W
Northern Appalachian Basin	Ohio	\$8.97	\$9.34	\$8.32	\$10.41	\$11.16	\$11.19	\$11.27	\$11.01	\$10.15	01.Haz	-7.8
Northern Appalachian Basin	Pennsylvania	\$10.40	\$15.35	\$13.58	\$13.38	\$12.22	\$14.19	\$13.80	\$13.30	\$12.82	02.Tem	-3.6
Northern Appalachian Basin	South Carolina	W	W	W	\$17.75	\$16.66	W	W	W	W	W	W
Northern Appalachian Basin	Tennessee	-	W	W	-	-	-	W	-	-	-	-
Northern Appalachian Basin	Virginia	W	W	W	-	-	-	-	-	W	W	-
Northern Appalachian Basin	West Virginia	W	W	W	\$6.50	W	\$9.02	\$7.85	\$8.46	W	W	W
Northern Appalachian Basin	Wisconsin	W	-	-	-	-	-	-	-	W	W	-
Central Appalachian Basin	Alabama	W	W	W	W	W	\$20.29	W	\$24.10	W	W	W
Central Appalachian Basin	Delaware	\$19.93	\$18.39	\$18.31	\$22.30	\$23.20	\$24.44	\$22.54	\$21.85	\$21.48	0.9	-1.7
Central Appalachian Basin	Florida	\$22.78	\$21.56	\$21.55	\$20.67	\$23.01	\$23.00	\$22.31	\$32.18	\$25.80	01.Haz	-19.8

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Central Appalachian Basin	Georgia	\$16.02	\$16.66	\$22.73	\$22.44	\$19.95	\$20.70	\$25.47	\$22.08	\$22.86	04.May	03.May
Central Appalachian Basin	Illinois	W	W	W	W	W	W	W	W	-	-	-
Central Appalachian Basin	Indiana	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Central Appalachian Basin	Kentucky	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Central Appalachian Basin	Maine	-	-	-	-	W	-	-	-	-	-	-
Central Appalachian Basin	Maryland	W	\$14.79	W	W	W	W	W	W	\$22.04	W	W
Central Appalachian Basin	Massachusetts	W	W	W	W	-	-	-	-	-	-	-
Central Appalachian Basin	Michigan	\$12.06	\$12.38	\$12.08	\$14.01	\$13.48	\$15.26	\$14.00	\$13.53	\$13.32	01.Şub	-1.6
Central Appalachian Basin	Mississippi	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Central Appalachian Basin	Missouri	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Central Appalachian Basin	New Hampshire	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Central Appalachian Basin	New Jersey	W	W	W	W	W	W	W	W	-	-	-

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Central Appalachian Basin	New York	\$18.47	\$17.41	\$17.40	\$19.56	\$22.20	\$29.93	\$32.59	\$25.48	\$22.94	02.Tem	-10.0
Central Appalachian Basin	North Carolina	\$14.37	\$18.52	\$19.39	\$18.60	\$21.25	\$23.63	\$24.60	\$22.85	\$20.53	04.Haz	-10.2
Central Appalachian Basin	Ohio	\$12.92	\$12.83	\$14.74	\$16.43	\$16.75	\$14.48	\$15.28	\$13.44	\$10.45	-2.6	-22.3
Central Appalachian Basin	Oklahoma	-	-	-	-	-	-	-	W	-	-	-
Central Appalachian Basin	Pennsylvania	\$16.57	\$15.77	W	\$19.62	\$23.71	\$27.88	\$32.30	\$22.51	W	W	W
Central Appalachian Basin	South Carolina	\$14.16	\$13.42	\$14.00	\$14.84	\$15.97	\$15.37	\$15.83	\$14.19	\$18.33	03.Mar	29.Oca
Central Appalachian Basin	Tennessee	\$8.01	\$8.19	\$8.52	\$10.99	\$10.43	\$10.44	\$12.38	\$10.70	\$10.72	03.Tem	0.2
Central Appalachian Basin	Virginia	\$14.10	\$13.69	\$15.21	\$18.76	\$21.09	\$23.58	\$21.02	\$18.64	\$17.30	02.Haz	-7.2
Central Appalachian Basin	West Virginia	W	W	\$4.69	\$4.99	\$5.08	\$5.65	W	\$7.02	\$7.96	W	13.Mar
Central Appalachian Basin	Wisconsin	W	-	W	-	-	-	-	-	-	-	-
Southern Appalachian Basin	Alabama	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Central Appalachian Basin	New York	\$18.47	\$17.41	\$17.40	\$19.56	\$22.20	\$29.93	\$32.59	\$25.48	\$22.94	02.Tem	-10.0

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Central Appalachian Basin	North Carolina	\$14.37	\$18.52	\$19.39	\$18.60	\$21.25	\$23.63	\$24.60	\$22.85	\$20.53	04.Haz	-10.2
Central Appalachian Basin	Ohio	\$12.92	\$12.83	\$14.74	\$16.43	\$16.75	\$14.48	\$15.28	\$13.44	\$10.45	-2.6	-22.3
Central Appalachian Basin	Oklahoma	-	-	-	-	-	-	-	W	-	-	-
Central Appalachian Basin	Pennsylvania	\$16.57	\$15.77	W	\$19.62	\$23.71	\$27.88	\$32.30	\$22.51	W	W	W
Central Appalachian Basin	South Carolina	\$14.16	\$13.42	\$14.00	\$14.84	\$15.97	\$15.37	\$15.83	\$14.19	\$18.33	03.Mar	29.Oca
Central Appalachian Basin	Tennessee	\$8.01	\$8.19	\$8.52	\$10.99	\$10.43	\$10.44	\$12.38	\$10.70	\$10.72	03.Tem	0.2
Central Appalachian Basin	Virginia	\$14.10	\$13.69	\$15.21	\$18.76	\$21.09	\$23.58	\$21.02	\$18.64	\$17.30	02.Haz	-7.2
Central Appalachian Basin	West Virginia	W	W	\$4.69	\$4.99	\$5.08	\$5.65	W	\$7.02	\$7.96	W	13.Mar
Central Appalachian Basin	Wisconsin	W	-	W	-	-	-	-	-	-	-	-
Southern Appalachian Basin	Alabama	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Southern Appalachian Basin	Georgia	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Powder River Basin	Georgia	-	-	-	W	W	-	-	-	-	-	-

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Powder River Basin	Illinois	\$13.36	\$13.74	\$21.97	\$9.94	\$11.21	\$11.81	\$11.72	\$12.75	\$13.52	0.2	06.Oca
Powder River Basin	Indiana	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Powder River Basin	Iowa	\$9.45	\$9.37	\$8.59	\$9.61	\$8.52	\$8.02	\$7.81	\$8.17	\$8.09	-1.9	-0.9
Powder River Basin	Kansas	\$16.70	\$15.59	\$14.71	\$14.87	\$14.96	\$14.96	\$14.60	\$12.84	\$12.39	-3.7	-3.5
Powder River Basin	Kentucky	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Powder River Basin	Louisiana	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Powder River Basin	Maryland	-	-	-	-	-	-	-	W	W	-	W
Powder River Basin	Michigan	-	W	W	\$5.57	\$6.26	\$6.90	\$6.65	\$19.22	\$18.41	-	-4.2
Powder River Basin	Minnesota	\$11.78	\$11.78	\$12.08	\$11.96	\$12.02	\$11.85	\$15.45	\$15.48	\$14.95	3.0	-3.4
Powder River Basin	Mississippi	-	-	-	W	W	W	W	W	W	-	W
Powder River Basin	Missouri	\$12.36	\$10.80	\$10.29	\$10.31	\$10.97	\$10.55	\$12.59	\$12.61	\$11.56	-0.8	-8.3
Powder River Basin	Montana	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Powder River Basin	Nebraska	\$6.67	\$6.23	\$6.25	\$7.19	\$7.20	\$7.40	\$7.41	\$6.78	\$7.26	01.Oca	7.0
Powder River Basin	Nevada	-	-	-	-	-	-	-	-	W	-	-
Powder River Basin	New Hampshire	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Powder River Basin	New Jersey	-	-	-	W	W	W	W	W	-	-	-
Powder River Basin	New York	-	W	W	W	W	\$35.28	W	W	W	-	W
Powder River Basin	North Carolina	-	-	-	-	-	-	-	W	-	-	-
Powder River Basin	North Dakota	W	W	\$17.53	\$14.20	\$14.18	W	W	W	W	W	W
Powder River Basin	Ohio	-	-	-	W	W	\$40.43	W	\$30.82	\$31.62	-	02.Haz
Powder River Basin	Oklahoma	\$13.67	\$11.55	\$10.23	\$12.33	\$12.03	\$12.33	\$12.77	\$12.45	\$15.85	01.Eyl	27.Mar
Powder River Basin	South Dakota	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Powder River Basin	Texas	\$17.04	\$16.74	\$15.30	\$14.97	\$14.88	\$14.53	\$14.63	\$14.49	\$14.43	-2.1	-0.5
Powder River Basin	Utah	-	-	-	W	W	-	-	W	W	-	W

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Powder River Basin	Washington	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Powder River Basin	Wisconsin	\$14.16	\$13.86	\$12.82	\$13.31	\$14.25	\$15.49	\$16.99	\$16.94	\$16.94	02.Mar	-0.0
Powder River Basin	Wyoming	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Alabama	-	W	W	W	W	W	W	W	W	-	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Arizona	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Arkansas	-	-	-	-	W	W	W	W	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	California	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Colorado	\$8.65	\$7.41	\$7.00	\$7.71	\$8.40	\$11.19	\$11.51	\$9.86	\$10.04	01.Eyl	01.Ağu
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Delaware	-	-	-	-	W	W	W	W	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Georgia	-	-	W	W	W	W	W	W	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Idaho	W	W	W	W	W	W	W	-	W	W	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Illinois	W	W	W	W	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Iowa	\$16.07	W	W	W	W	W	W	-	W	W	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Kansas	W	W	W	W	W	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Kentucky	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Massachusetts	-	-	-	W	W	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Michigan	-	-	-	W	-	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Minnesota	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Mississippi	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Missouri	W	W	W	W	W	W	W	W	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Nevada	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	New Jersey	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	New York	W	-	W	-	W	W	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Ohio	-	-	W	W	W	-	-	-	-	-	-

Çizelge A.2 : (devam) A.B.D. Demiryolu ile yaklaşık nakliye bedelleri, stb verileri.

Basin	Destination State	Real Dollars per Ton									Annual Percent Change	
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2001-2009	2008-2009
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Oklahoma	-	W	-	W	W	W	W	W	W	-	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Oregon	W	W	W	W	-	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Tennessee	-	-	W	-	-	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Texas	W	W	W	W	W	W	W	W	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Utah	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Washington	W	W	W	-	-	-	-	-	-	-	-
Uinta (Colorado-Utah) Basin	Wisconsin	W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- = No waybills sampled												
W = Data Withheld												
Source: The Surface Transportation Board's 900-Byte Carload Waybill Sample												

EK B Geogrid Fiyatları.

<i>DESCRIPTION</i>			Contech Construction Products		Industrial Fabrics, Inc.		Vance Brothers, Inc.	
	Qty.	Unit	Cost	Total	Cost	Total	Cost	Total
Tensar BX 1200 - Biaxial Geogrid - 13.1' x 164'	34	Rolls	\$ 979.90	\$ 33,316.60	\$ 968.36	\$ 32,924.24	2.035/sy	\$ 16,516.06
Geogrid Pins, 6", 8 gal., 500/per box	1	Box	\$ 45.00	\$ 45.00	\$ 38.00	\$ 38.00	\$ 30.00	\$ 30.00
Cable Ties 8", 1000/per bag	2	Bags	No Bid	No Bid	\$ 22.00	\$ 44.00	\$ 30.00	\$ 60.00
TOTAL				\$ 33,361.60		\$ 33,006.24		\$ 16,606.06
Addendum "A"			No		Yes		No	
Delivery - days			3 - 5 days		10 days		Not filled in on Bid Form	
Exceptions					Marked through some of paragraph V. Indemnity.		Rolls are 12"x150"=200sy/roll=42 rolls	
							Bid does not meet specs.	

Şekil B.1 : Tensar BX1200 (SS) Tip Geogrid Fiyatları.

EK C Geogrid Malzeme Teknik Özellikleri.

Product Specification - Biaxial Geogrid BX1200

Tensar International Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the specifier and purchaser to ensure that product specifications used for design and procurement purposes are current and consistent with the products used in each instance.

Product Type:	Integrally Formed Biaxial Geogrid
Polymer:	Polypropylene
Load Transfer Mechanism:	Positive Mechanical Interlock
Primary Applications:	Spectra System (Base Reinforcement, Subgrade Improvement)

Product Properties

Index Properties	Units	MD Values ¹	XMD Values ¹
• Aperture Dimensions ²	mm (in)	25 (1.0)	33 (1.3)
• Minimum Rib Thickness ²	mm (in)	1.27 (0.05)	1.27 (0.05)
• Tensile Strength @ 2% Strain ³	kN/m (lb/ft)	6.0 (410)	9.0 (620)
• Tensile Strength @ 5% Strain ³	kN/m (lb/ft)	11.8 (810)	19.6 (1,340)
• Ultimate Tensile Strength ³	kN/m (lb/ft)	19.2 (1,310)	28.8 (1,970)
Structural Integrity			
• Junction Efficiency ⁴	%	93	
• Flexural Stiffness ⁵	mg-cm	750,000	
• Aperture Stability ⁶	m-N/deg	0.65	
Durability			
• Resistance to Installation Damage ⁷	%SC / %SW / %GP	95 / 93 / 90	
• Resistance to Long Term Degradation ⁸	%	100	
• Resistance to UV Degradation ⁹	%	100	

Dimensions and Delivery

The biaxial geogrid shall be delivered to the jobsite in roll form with each roll individually identified and nominally measuring 3.0 meters (9.8 feet) or 4.0 meters (13.1 feet) in width and 50.0 meters (164 feet) in length. A typical truckload quantity is 160 to 210 rolls.

Notes

1. Unless indicated otherwise, values shown are minimum average roll values determined in accordance with ASTM D4759-02. Brief descriptions of test procedures are given in the following notes.
2. Nominal dimensions.
3. True resistance to elongation when initially subjected to a load determined in accordance with ASTM D6637-01 without deforming test materials under load before measuring such resistance or employing "secant" or "offset" tangent methods of measurement so as to overstate tensile properties.
4. Load transfer capability determined in accordance with GRI-GG2-05 and expressed as a percentage of ultimate tensile strength.
5. Resistance to bending force determined in accordance with ASTM D5732-01, using specimens of width two ribs wide, with transverse ribs cut flush with exterior edges of longitudinal ribs (as a "ladder"), and of length sufficiently long to enable measurement of the overhang dimension. The overall Flexural Stiffness is calculated as the square root of the product of MD and XMD Flexural Stiffness values.
6. Resistance to in-plane rotational movement measured by applying a 20 kg-cm (2 m-N) moment to the central junction of a 9 inch x 9 inch specimen restrained at its perimeter in accordance with U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity.
7. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to mechanical installation stress in clayey sand (SC), well graded sand (SW), and crushed stone classified as poorly graded gravel (GP). The geogrid shall be sampled in accordance with ASTM D5818-06 and load capacity shall be determined in accordance with ASTM D6637-01.
8. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to chemically aggressive environments in accordance with EPA 9090 Immersion testing.
9. Resistance to loss of load capacity or structural integrity when subjected to 500 hours of ultraviolet light and aggressive weathering in accordance with ASTM D4355-05.

Şekil C.1 : Tensar BX1200 Tip Geogrid Teknik Özellikleri.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : İsmail AY
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA / 11.07.1989
Lise : Konya Diltaş Anadolu Lisesi
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği
E-Posta : ismailay.itu@gmail.com

Mesleki Deneyimler :
2012-Devam ediyor İ.B.B. Ulaşım A.Ş.

Yayınlar ve Bildiriler :

Ay, İ. ve Öztürk, Z. (2013). Demiryollarında Geosentetik Malzeme Kullanımı-Geogrid Kullanılarak Balast/Altbalast Tabaka Kalınlıklarının Azaltılması, *2.Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu, 9-11 Ekim 2013, Karabük, Türkiye*

Ay, İ. (2013). Şehiriçi ve Şehirler Arası Ulaşımında Toplu Taşımacılık ve Raylı Sistemler, *6.Uluslararası Ulaşım Sempozyumu ve Fuarı (TRANSİST'13), 25-26 Aralık 2013, İstanbul, Türkiye*