

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**METRO TÜRÜ ŞEHİRİÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KENTLEŞME
SEBEBİYLE RAY DÜZLEMİNDE MEYDANA GELEN GEOMETRİK
DEFORMASYONLARIN SAYISAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Süleyman TÜREDİ

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Raylı Sistemler Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Şükrüye İYİNAM

HAZİRAN 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**METRO TÜRÜ ŞEHİRİÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KENTLEŞME
SEBEBİYLE RAY DÜZLEMİNDE MEYDANA GELEN GEOMETRİK
DEFORMASYONLARIN SAYISAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Süleyman TÜREDİ
(526201012)**

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Raylı Sistemler Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Şükrüye İYİNAM

HAZİRAN 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 526201012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Süleyman TUREDİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “METRO TÜRÜ ŞEHİRİÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KENTLEŞME SEBEBİYLE RAY DÜZLEMİNDE MEYDANA GELEN GEOMETRİK DEFORMASYONLARIN SAYISAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Şükrüye İYİNAM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Murat ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 26 Mayıs 2023
Savunma Tarihi : 21 Haziran 2023



Hocalarıma ve aileme,

ÖNSÖZ

Tez sürecinde benimle bilgisini, tecrübesini ve kaynaklarını paylaşan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Şükrüye İyınam, Doç. Dr. Murat Ergün'e ve bu çalışmanın her aşamasında yanımda olduklarını hissettiğim sevgili aileme desteklerinden ötürü teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Tezde editörlük katkılarından ötürü Araş. Gör. Serhat Boynukalın'a teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ Raylı Sistemler Mühendisliği bölümünün demiryolunda Türkiye için yetişmiş iş gücüne katkısını göz önünde bulundurarak anabilim dalı başkanı Sayın Prof. Dr. Mehmet Turan Söylemez nezdinde tüm öğretim görevlilerine teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Haziran 2023

Süleyman Türedi
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR.....	viii
SEMBOLLER.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	19
1.1 Tezin Amacı	21
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	22
2.1 Raylı Sistemlerde Meydana Gelen Deformasyonlar	22
2.1.1 Malzeme deformasyonları.....	22
2.1.1.1 Ondülasyonlar	22
2.1.1.2 Yanal aşınma	23
2.1.1.3 Yuvarlanma yüzeyi parçalanması	24
2.1.1.4 Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması	24
2.1.1.5 İç köşe kabuklanması	24
2.1.1.6 Yatay çatlak.....	25
2.1.1.7 Boyuna dikey çatlak	25
2.1.1.8 Kaynak kusurları	25
2.1.2 Geometrik deformasyonlar.....	26
2.1.2.1 Düşey geometrinin bozulması.....	26
2.1.2.2 Yatay geometrinin bozulması.....	28
3. ANALİZ	29
3.1 Analiz İçin Parametrelerin Belirlenmesi	29
3.1.1 Zemin parametreleri	29
3.1.2 Değişken parametrelerin belirlenmesi.....	29
3.2 Analiz Aşamaları	30
3.2.1 AW5 yükleme modu	31
3.2.2 AW5-150D yükleme modu	32
3.2.3 AW5T yükleme modu.....	32
3.2.4 AW5-5F yükleme modu.....	33
3.2.5 AW5-15F yükleme modu.....	33
3.2.6 AW5-20F yükleme modu.....	34
3.2.7 AW10 yükleme modu	34
3.2.8 AW15 yükleme modu	35
3.2.9 AW20 yükleme modu	35
3.2.10 AWW20 yükleme modu.....	36
3.2.11 BW5 yükleme modu.....	36

3.2.12 BW5-150D yükleme modu	37
3.2.13 BW5T yükleme modu	37
3.2.14 BW5-5F yükleme modu.....	38
3.2.15 BW5-15F yükleme modu.....	38
3.2.16 BW5-20F yükleme modu.....	39
3.2.17 BW10 yükleme modu	39
3.2.18 BW15 yükleme modu	40
3.2.19 BW20 yükleme modu	40
3.2.20 CW5 yükleme modu	41
3.2.21 CW5-150D yükleme modu	41
3.2.22 CW5T yükleme modu.....	42
3.2.23 CW5-5F yükleme modu.....	42
3.2.24 CW5-15F yükleme modu.....	43
3.2.25 CW5-20F yükleme modu.....	43
3.2.26 CW10 yükleme modu	44
3.2.27 CW15 yükleme modu	44
3.2.28 CW20 yükleme modu	45
3.2.29 DW5 yükleme modu	45
3.2.30 DW5-150D yükleme modu.....	46
3.2.31 DW5T yükleme modu.....	46
3.2.32 DW5-5F yükleme modu.....	47
3.2.33 DW5-15F yükleme modu.....	47
3.2.34 DW5-20F yükleme modu.....	48
3.2.35 DW10 yükleme modu	48
3.2.36 DW15 yükleme modu	49
3.2.37 DW20 yükleme modu	49
3.3 Analiz Sonuçları	50
3.4 TS EN 13848 Normuna Göre Demiryolu Geometrik Bakım ve Güvenlik Limitleri.....	59
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	59
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

UIC	: International Union of Railways
TS	: Türk Standartları Enstitüsü
EN	: European Standard
AREMA	: American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association
AW5	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
AW5-150D	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:5m, Dever:150mm, Kat:10
AW5T	: Makas Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
AW5-5F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:5
AW5-15F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:15
AW5-20F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:20
AW10	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:10m, Dever:0mm, Kat:10
AW15	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:15m, Dever:0mm, Kat:10
AW20	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:0m, Derinlik:20m, Dever:0mm, Kat:10
AWW20	: Anahat Tüneli Derinlik:20m, Dever:0mm, YASS Artış:3m
BW5	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
BW5-150D	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:5m, Dever:150mm, Kat:10
BW5T	: Makas Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
BW5-5F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:5
BW5-15F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:15
BW5-20F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:20
BW10	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:10m, Dever:0mm, Kat:10
BW15	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:15m, Dever:0mm, Kat:10
BW20	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:5m, Derinlik:20m, Dever:0mm, Kat:10

CW5	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
CW5-150D	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:5m, Dever:150mm, Kat:10
CW5T	: Makas Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
CW5-5F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:5
CW5-15F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:15
CW5-20F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:20
CW10	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:10m, Dever:0mm, Kat:10
CW15	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:15m, Dever:0mm, Kat:10
CW20	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:10m, Derinlik:20m, Dever:0mm, Kat:10
DW5	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
DW5-150D	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:5m, Dever:150mm, Kat:10
DW5T	: Makas Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:10
DW5-5F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:5
DW5-15F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:15
DW5-20F	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:5m, Dever:0mm, Kat:20
DW10	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:10m, Dever:0mm, Kat:10
DW15	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:15m, Dever:0mm, Kat:10
DW20	: Anahat Tüneli, Dış Merkezlik:15m, Derinlik:20m, Dever:0mm, Kat:10

SEMBOLLER

C	: Kohezyon(kN/m^2)
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ϕ	: Birim hacim ağırlık(kN/m^3)
<i>E</i>₅₀	: %50 sekant deformasyon modülü(kN/m^2)
<i>E</i>_{oed}	: Odometrik deformasyon modülü(kN/m^2)
<i>E</i>_{ur}	: Yükleme boşaltma deformasyon modülü(kN/m^2)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Zemin Parametreleri.....	29
Çizelge 3.2 : AW5 deformasyon değerleri	50
Çizelge 3.3 : AW5-150D deformasyon değerleri	50
Çizelge 3.4 : AW5T deformasyon değerleri.....	50
Çizelge 3.5 : AW5-5F deformasyon değerleri.....	50
Çizelge 3.6 : AW5-15F deformasyon değerleri.....	51
Çizelge 3.7 : AW5-20F deformasyon değerleri.....	51
Çizelge 3.8 : AW10 deformasyon değerleri	51
Çizelge 3.9 : AW15 deformasyon değerleri	51
Çizelge 3.10 : AW20 deformasyon değerleri	52
Çizelge 3.11 : AWW20 deformasyon değerleri	52
Çizelge 3.12 : BW5 deformasyon değerleri	52
Çizelge 3.13 : BW5-150D deformasyon değerleri	52
Çizelge 3.14 : BW5T deformasyon değerleri	53
Çizelge 3.15 : BW5-5F deformasyon değerleri.....	53
Çizelge 3.16 : BW5-15F deformasyon değerleri.....	53
Çizelge 3.17 : BW5-20F deformasyon değerleri.....	53
Çizelge 3.18 : BW10 deformasyon değerleri	54
Çizelge 3.19 : BW15 deformasyon değerleri	54
Çizelge 3.20 : BW20 deformasyon değerleri	54
Çizelge 3.21 : CW5 deformasyon değerleri	54
Çizelge 3.22 : CW5-150D deformasyon değerleri	55
Çizelge 3.23 : CW5T deformasyon değerleri	55
Çizelge 3.24 : CW5-5F deformasyon değerleri.....	55
Çizelge 3.25 : CW5-15F deformasyon değerleri.....	55
Çizelge 3.26 : CW5-20F deformasyon değerleri.....	56
Çizelge 3.27 : CW10 deformasyon değerleri	56
Çizelge 3.28 : CW15 deformasyon değerleri	56
Çizelge 3.29 : CW20 deformasyon değerleri	56
Çizelge 3.30 : DW5 deformasyon değerleri	57
Çizelge 3.31 : DW5-150D deformasyon değerleri	57
Çizelge 3.32 : DW5T deformasyon değerleri.....	57
Çizelge 3.33 : DW5-5F deformasyon değerleri.....	57
Çizelge 3.34 : DW5-15F deformasyon değerleri.....	58
Çizelge 3.35 : DW5-20F deformasyon değerleri.....	58
Çizelge 3.36 : DW10 deformasyon değerleri	58
Çizelge 3.37 : DW15 deformasyon değerleri	58
Çizelge 3.38 : DW20 deformasyon değerleri	59
Çizelge 3.39 : Kent İçi Raylı Sistemler İçin Limit Değerler	59
Çizelge 4.1 : Nivelman Bozulması	60

Çizelge 4.2 : Burulma	61
Çizelge 4.3 : Ekartman Bozulması	62
Çizelge 4.4 : Dever Bozulması	63
Çizelge 4.5 : Dresaj Bozulması.....	64



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Ondülasyonlar	23
Şekil 2.2 : Yanal ve düşey aşınma	23
Şekil 2.3 : Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması	24
Şekil 2.4 : İç köşe kabuklanması	24
Şekil 2.5 : Yatay çatlak	25
Şekil 2.6 : Boyuna dikey çatlak	25
Şekil 2.7 : Nivelman bozulması	26
Şekil 2.8 : Dever bozulması	27
Şekil 2.9 : Burulma	27
Şekil 2.10 : Ekartman bozulması	28
Şekil 2.11 : Dresaj bozulması	28
Şekil 3.1 : AW5 yükleme modu plaxis çıktısı	31
Şekil 3.2 : AW5-150D yükleme modu plaxis çıktısı	32
Şekil 3.3 : AW5T yükleme modu plaxis çıktısı	32
Şekil 3.4 : AW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı	33
Şekil 3.5 : AW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı	33
Şekil 3.6 : AW5-20F yükleme modu plaxis çıktısı	34
Şekil 3.7 : AW10 yükleme modu plaxis çıktısı	34
Şekil 3.8 : AW15 yükleme modu plaxis çıktısı	35
Şekil 3.9 : AW20 yükleme modu plaxis çıktısı	35
Şekil 3.10 : AWW20 yükleme modu plaxis çıktısı	36
Şekil 3.11 : BW5 yükleme modu plaxis çıktısı	36
Şekil 3.12 : BW5-150D yükleme modu plaxis çıktısı	37
Şekil 3.13 : BW5T yükleme modu plaxis çıktısı	37
Şekil 3.14 : BW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı	38
Şekil 3.15 : BW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı	38
Şekil 3.16 : BW5-20F yükleme modu plaxis çıktısı	39
Şekil 3.17 : BW10 yükleme modu plaxis çıktısı	39
Şekil 3.18 : BW15 yükleme modu plaxis çıktısı	40
Şekil 3.19 : BW20 yükleme modu plaxis çıktısı	40
Şekil 3.20 : CW5 yükleme modu plaxis çıktısı	41
Şekil 3.21 : CW5-150D yükleme modu plaxis çıktısı	41
Şekil 3.22 : CW5T yükleme modu plaxis çıktısı	42
Şekil 3.23 : CW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı	42
Şekil 3.24 : CW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı	43
Şekil 3.25 : CW5-20F yükleme modu plaxis çıktısı	43
Şekil 3.26 : CW10 yükleme modu plaxis çıktısı	44
Şekil 3.27 : CW15 yükleme modu plaxis çıktısı	44
Şekil 3.28 : CW20 yükleme modu plaxis çıktısı	45
Şekil 3.29 : DW5 yükleme modu plaxis çıktısı	45

Şekil 3.30 : DW5-150D yükleme modu plaxis çıktısı.....	46
Şekil 3.31 : DW5T yükleme modu plaxis çıktısı.....	46
Şekil 3.32 : DW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı.....	47
Şekil 3.33 : DW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı.....	47
Şekil 3.34 : DW5-20F yükleme modu plaxis çıktısı.....	48
Şekil 3.35 : DW10 yükleme modu plaxis çıktısı	48
Şekil 3.36 : DW15 yükleme modu plaxis çıktısı	49
Şekil 3.37 : DW20 yükleme modu plaxis çıktısı	49



METRO TÜRÜ ŞEHİRİÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KENTLEŞME SEBEBİYLE RAY DÜZLEMİNDE MEYDANA GELEN GEOMETRİK DEFORMASYONLARIN SAYISAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde artan kentleşme ile birlikte yapılaşma artmakta ve yapıların büyük bir kısmı mevcut ve yapımı süren metro güzergahlarının üzerinden geçmektedir. Metro türü yapıların genellikle servis ömürleri yaklaşık 100 senedir. Bu durum gözetildiğinde yüzey kotunda servis ömrü boyunca sürekli bir kentsel değişim yaşanmaktadır. Güncel teknoloji ve alan darlığından dolayı genel olarak İstanbul gibi şehirlerde bu kentsel değişim yapıların yüksek katlı olma ihtiyacını da beraberinde getirmektedir.

Buna bağlı olarak raylı sistemler yaşayan sistemlerdir. Çevre ile etkileşim düzeyi yüksek ve düşük tolerans limitlerine sahiptirler. Bu sebeple raylı sistemlerde, raylarda meydana gelen deformasyonlar yolcu konforu ve işletme güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu deformasyonlar malzeme deformasyonu ve geometrik deformasyon olmak üzere iki ana başlıktan oluşmaktadır. Malzeme deformasyonu genellikle ray ve vagon ilişkisinden kaynaklı oluşmaktadır. Geometrik deformasyonlar ise gene ray ve vagon arasında oluşabildiği gibi çevresel dinamik ve statik etkilerden kaynaklı da oluşabilmektedir.

Genel olarak metro türü yapılardaki tünel cidarı (kalıcı kaplaması) şehirdeki yapılaşmaya bağlı olarak ilgili idare birimleri tarafından kontrol edilmektedir veya belirli sınır ölçütleri koyularak yapısal anlamda sorunların önüne geçilmektedir. Ancak ray düzlemi için genellikle böyle bir tahkik yapılmamaktadır. Oysaki ray düzleminde meydana gelebilecek bir deformasyon hem güvenliği hem konforu hem de işletme maliyetini doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmada ray düzlemindeki geometrik deformasyonların şehirlerdeki yapılaşma ile ilişkisi incelenmiş olup özellikle metro türü yapılarda işletme sürecinde zemin yüzeyinde devam eden kentleşme sebebiyle ray düşey ve yatay düzleminde ne gibi bir etkinin olduğu, güvenlik limitlerinin sağlanıp sağlanmadığı sayısal ortamda modellenip çeşitli yüklenme varyasyonları ile sürecin gelişme mekanizmasındaki etkisi gözlenmiştir.

Sayısal analizlerde sonlu elemanlar metodu kullanan PLAXIS programı kullanılarak, zeminin elasto-plastik davranışını modelleyebilen ‘pekleşen zemin’ modeli kullanılmıştır. Bu modelde, asal gerilme düzleminde oluşan deviatorik, izotropik ve odometrik yüklemeler altında gelişen plastik deformasyonlardan kaynaklı zemin pekleşmesine bağlı olarak zeminin yenilme limitleri hesaplanabilmektedir. Zemin elemanı programdaki on beş noktalı üçgensel elemanlarla, tünel ve bina elemanları ise plaka elemanlarla tanımlanmıştır. Bu elemanlar dokuzuncu dereceden integrasyon olanağı sağlamaktadırlar. Zemin parametreleri ortalama bir zemin sınıfını temsilen yaklaşık olarak belirlenip kullanılmıştır. Burada ele alınan durumlar zemin türüne, katmanlaşmasına göre çok farklı davranış gösterebileceği için bu çalışmada sabit bir zemin sınıfı kullanılmıştır. Analizlerde ilk olarak başlangıç zemin gerilmeleri tanımlanmıştır. Sonrasında işletmede olan raylı sistem hattı modellenmiştir. Bu

aşamadan sonra ise deformasyonlar sıfır olarak kabul edilerek ilgili koşula göre yükleme yapılmıştır. Bu durum işletmede olan bir hattın yakınına yapılan yapılaşma sürecinde ray kotlarında meydana gelen durumu yansıtmaktadır.

Yapılan analizlerde gözlemlenmesi en muhtemel geometrik deformasyon mekanizmalarının nivelman bozulması, dever bozulması, dresaj bozulması ve burulma hatası olduğu görülmüştür. Temel aksında yapılan yüklemelerde nivelman ve dever bozulması görülürken, dışmerkezli yapı yüklemelerinde burulma durumunun baskın olduğu görülmüştür.

Buradan edinilen bilgilere dayanılarak metro türü yapılar da hat düzleminde meydana gelen kentleşmenin ray düzlemi üzerinde negatif etkilere sebep olabileceği ve güvenlik limitlerini aşabileceği görülmüştür. Bu etkiler bakım limitleri dahilinde olduğu da bakım sürelerinin kısalmasına, işletme maliyetlerinin artmasına, işletme titreşim limitlerinin aşılmasına, titreşimle birlikte gürültü limitlerinin aşılmasına ve yolcu seyahat konforunun etkilenmesine sebebiyet verebilecektir. Bu etkiler güvenlik limitlerini aştığında ise derayman riski oluşturabilecek kadar ciddi sorunlara sebebiyet verebilecektir.

Konunun işletmeci tarafından ele alındığında ortaya çıkabilecek mali ve hukuki yükümlülüklerin konut sahipleri tarafında ne gibi sonuçlar doğuracağı ayrıca üzerinde durulması gereken bir konudur. Araştırılması nerilmektedir.

Bu çalışmadan ıkan sonuçlara dayanarak kentleşme ile birlikte mevcut işletmesi devam eden metro tr yapılar da ray düzlemi için de limit kontrollerinin yapılması nerilmektedir.

NUMERICAL EVALUATION OF GEOMETRIC DEFORMATIONS OCCURRING IN RAIL PLANE DUE TO URBANIZATION IN METRO- TYPE URBAN RAIL TRANSPORT SYSTEMS

SUMMARY

Nowadays, structuring is increasing with respect to urbanization and most of those structures pass over existing and under construction metro lines. Metro-type structures are commonly have 100 years of life span. Considering this situation, there is a continuous urban transformation at the surface level throughout the service life. As a consequence of current technology and lack of land, that urban transformation brings the need for structures to be high-rise at the cities like Istanbul. With respect to that, rail systems are living systems. They have high interaction with the environment and they also have less tolerance limits. Therefore, deformations that occurred on the rails and the rail systems have importance in terms of passenger comfort and operation security. These deformations divided into two main titles as material deformation and geometric deformation.

Material deformation generally occurs by the relation between the rail and the wagon. Geometric deformations also cause by the relation between the wagon and the rail, but they additionally might occur because of the environmental static and dynamic effects.

In general, tunnel wall (permanent coating) of the metro-type structures are either controlled by the responsible administrative units according to urbanization of the city or by setting specific boundary criteria, structural problems are being prevented. However, such an inspection is not generally made for the rail plane. Yet any deformation that could happen on the rail plane would affect safety, comfort, and the operation cost directly.

In this study, the relationship between geometric deformations in the rail plane and urban development in cities has been examined, focusing particularly on metro-type structures and the effects of ongoing urbanization on the vertical and horizontal planes of the rail surface during the operational phase. The study involves modeling the situation in a numerical environment whether safety limits are met or not and effects on the development mechanism of the process have been observed with the various loading variations.

The "hardening soil" model, which can simulate the elasto-plastic behavior of the soil have been used with helps of the PLAXIS program which uses the finite element method in the numerical analyses. In this model, the yield limits of the soil can be calculated based on the soil hardening due to plastic deformations that occur under deviatoric, isotropic, and oedometric loading conditions in the principal stress plane.

Tunnel and building elements are defined using plate elements while soil element is defined using fifteen-point triangular element. These elements provide the opportunity for the ninth degree integration. Soil parameters are approximately determined and used to represent an average soil class. In this study, a fixed soil class has been used, considering that the behaviors can vary depending on the soil type and layering in different cases. Initial soil stresses have been defined first in the analyses. After this stage, deformations have been assumed to be zero, and loading has been applied according to the relevant condition. This situation represents the case in rail elevations that occur during the construction process near an operating rail line.

In the analyses, it has been observed that the most probable geometric deformation mechanisms are levelling distortion, cant distortion, and torsional error. During loadings applied along the foundation axis, levelling distortion and cant distortion are observed, while in eccentric structural loadings, torsional distortion is dominant. According to information obtained here, for the metro-type structures, urbanization occurred in the line plane could lead negative effects on the rail plane and could exceed the safety limits. When these effects are within maintenance limits, they can lead to shortened maintenance periods, increased operating costs, exceeding operational vibration limits, exceeding noise limits along with vibrations, and affecting passenger travel comfort. In case these effects exceeded safety limits, it would cause so serious problems that occur derailment risk. When considering the perspective of homeowners, the potential financial and legal obligations that may arise from these issues should be carefully examined. It is recommended to investigate. Based on the results of this study, it is recommended to perform limit controls also for the rail plane in existing metro-type structures alongside urbanization.



1. GİRİŞ

Günümüz modern şehircilik anlayışında; şehirde yaşayan insanların ulaşımı büyük ölçüde raylı sistemler ile sağlanmaktadır. Kent içi raylı sistemler; günümüzde rahat, konforlu, güvenilir, taşıma kapasitesi yüksek ve hızlı ulaşım imkânı sağlayan toplu taşıma araçları olarak en fazla tercih edilen ve kent içi ulaşımında önemli bir konuma sahip sistemlerdir.

Raylı sistemlerin kente katkıları; karayolu taşımacılığı trafik yükünü ve gürültü kirliliğini azaltması ve kentsel arazi kullanımına olumlu etkileridir. Bu sistemlerin diğer toplu taşıma sistemleri ile arasında uyum sağlanması mümkün olup; diğer toplu taşıma araçlarına göre çevreye olumsuz etkileri, enerji, bakım ve onarım giderleri ve işletme maliyetleri daha azdır.

Ülkemizde yeni yeni gelişmekte olan bu sistemlere duyulan ihtiyaç ve talep giderek çoğalmaktadır. Bunun bir sonucu olarak raylı sistemler yapımına yönelik projelerde artış meydana gelmektedir.

Ulaştırmanın geçmişini incelediğimizde, demiryollarının büyük öneminin olduğunu görmek hiç zor olmayacaktır. Demiryollarının ortaya çıkışı ve kullanıma başlanması şüphesiz ulaşım için bir dönüm noktası olmuştur. Bu anlamda başlangıç noktası olarak 19. yüzyılın başlarına bakılabilir. Tekerleklerle kılavuz olması için demirden yapılan lamalar ilk olarak bu zamanlarda İngiltere’de kullanıldı. Vagonlar, 19. yüzyılın başlarında bu demir lamaların üzerinde buharla çalışan bir araç sayesinde taşınıyordu.

Temel olarak tarihte kullanılmış olan ilk lokomotif bugünkünden çok farklı bir yapıdaydı. Bu araç, 1803 yılında Richard Trevithick tarafından geliştirilmiştir. Demiryollarının ve buhar kullanımının gelişiminde pek çok faktör etkili olmuştur. Bunların başında kömür ve demir madenlerinin yaygın olarak işlenmesi gelmektedir. İlk kullanımından yalnızca 25-30 sene gibi kısa bir süre sonra Avrupa’nın pek çok şehrinde demiryolu hatları açılmış ve işlemeye başlamıştır. Yalnızca Avrupa ile kısıtlı kalmamış, demiryolları tüm dünyada kısa sürede etkin hale gelmiştir. Altın çağını ilk 100 yılında tüm dünyada yaşayan bu yeni teknoloji, dünyanın dört bir yanına ağırlarını

sermiştir. Ulaştırmada yaşattığı devrim sonucunda demiryolları insanlığa pek çok farklı alanda etki etmiştir. Ekonomilerden toplumların yaşayış tarzlarına, kültürel etkileşimden savaşların kaderine kadar birçok yerde demiryolları önem arz etmiştir.

Ancak 1950’li yıllara gelindiğinde, hızla gelişen karayolu ve havayolu ile olan rekabetini kaybetmişe benziyordu. Fakat kısa süre sonra ulaşımındaki hız ve verimlilik potansiyeli demiryolunu tekrar yarışa soktu ve gelişmesini sağladı. Çünkü zamanla kara ve havayolları taşımacılığında çevre kirliliğı ve trafik gibi problemler gözlenmişti. Bu noktada, demiryollarının farklı çeşit enerji kaynaklarına uygunluğu ve yolcu sayısının yüksek olmasından doğan kişi başına düşen enerji tüketimi azlığı devreye girmektedir. Aynı zamanda demiryolları düşük miktarda arazi kullanımı ile rakiplerine oranla oldukça doğa dostudur.

Tüm bunlarla beraber, 20. yüzyılda elektrikli çekim devreye girmiş, demiryolları sürdürülebilirlik çerçevesinde düşük enerji ile yüksek hızlara ulaşabilecek olduğunu göstermiştir. Bu esnada hava ve karayolları; çevre kirliliğı, trafik ve kazalar gibi negatif taraflarına rağmen fazlaca kullanılmaya devam etmiştir. Bu durumun altında üstün esneklik özellikleri ile insanlara farklı alternatifler sunmaları gelmektedir. Bu süreçte rakiplerinin güçlü kalması, demiryollarını rekabete sokmuş ve gelişimine katkı sunmuştur.

1960’lı yılların gelmesiyle beraber yüksek hızlı tren teknolojisi gelişmiş, bu rekabetin en somut sonuçlarının başında gelmiştir. Bu gelişmenin etkisi ile artık hızları 250-300 km/sa olan trenler, 200-600 km arasındaki mesafelerde havayolu yerine demiryolunun tercih edilmesine sebep olmuştur.

Teknolojinin bir sonraki hamlesi olan ve temelini Japonya’dan alan Maglev (Manyetik Levitasyon) trenleri ise saatte 400-500 km’lik işletme hızlarını hayal olmaktan çıkaracak, gerçekleştirecektir.

Diğer yandan geleneksel ulaştırma yaklaşımına bağı uygulamaların; birincil enerji kaynaklarının tüketimindeki payının yüksek olması, ulaştırma sektörünü günümüzde yaşanan enerji temelli savaşların sorumlularından biri haline gelmiştir. Bu bağlamda, ulaştırma sorunlarına sadece kapasite ve hareketliliğın (mobility) artırılması yönünden odaklanan çözümlerin, ekonomik ve kalıcı olmadığı kabul edilmiştir. Tüm bunlardan deneyimle, ülkemizde geleneksel ulaştırma yaklaşımları yerini,

sürdürülebilir ulaştırma yaklaşımlarına bırakarak son yıllarda artan bir biçimde ulaştırma yatırımları demiryolları ağırlıklı gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan kentlerde sürekli olarak bir konut talebi ve yenilenmesi durumu söz konusudur. Mevcut raylı sistemler ise uzun servis kullanım (yaklaşık 100 sene) ömürleri ile bu kentleşmeye ayak uydurmak zorundadır. Yapılacak her yapı için mevcut raylı sistem ile etki zonunda yer alması durumunda yapı kaplaması için yapısal kontrol analizleri yapılmaktadır. Ancak bu sebeple ray düzleminde meydana gelebilecek deformasyonlar çoğu durumda göz ardı edilmektedir. Yapının işletme konforunu, güvenliğini ve işletmesini etkileyebilecek olan bu deformasyon unsurlarının kontrolü önem arz etmektedir. Raylı sistemlerin sürdürülebilirliklerinin devam ettirilebilmesi için, bu sistemlerin düzenli bakımlarının yapılması gereklidir. Düzenli yapılacak olan bu bakımların içinde deformasyon ölçümleri en önemli unsurlardan biridir. Deformasyon ölçümlerini ve bakım sürelerini etkileyebilecek her durum işletmeciye maliyet olarak geri yansıyacaktır. Bu durum ilerleyen süreçte üzerinde durulması gereken ve işletmeci ile yapı sahibi arasında bir mevzuatın doğmasına sebebiyet verebilecektir.

1.1 Tezin Amacı

Raylı sistemlerde, raylarda meydana gelen deformasyonlar yolcu konforu ve işletme güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu deformasyonlar malzeme deformasyonu ve geometrik deformasyon olmak üzere iki ana başlıktan oluşmaktadır.

Bu çalışmada geometrik deformasyonların şehirlerdeki yapılaşma ile ilişkisi incelenecek olup özellikle metro tarzı yapılarda işletme sürecinde zemin yüzeyinde devam eden yapılaşma sebebiyle ray düşey ve yatay düzleminde ne gibi bir etkinin olduğu sayısal ortamda modellenip çeşitli yüklenme varyasyonları ile sürecin gelişme mekanizmasındaki etkisi gözlenecektir.

Bu sonuçlara göre de yapıdaki konfor ve güvenlik seviyesinin ne boyutta etkilendiği grafikler yardımıyla sunulup değerlendirilecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Raylı Sistemlerde Meydana Gelen Deformasyonlar

İşletmeye açılan demiryolu hatlarında zamanla konfor ve güvenliği tehdit eden deformasyonlar yaşanır. Bu sebeple, işletmenin konfor ve güvenliğinin belirli seviyede kalması için bu deformasyonların belirlenip bakımları yapılmalıdır. Demiryolu hatlarında meydana gelen deformasyonları, geometrik deformasyonlar ve malzeme deformasyonları şeklinde iki farklı gruba ayırmak mümkündür. Bu iki deformasyon türü birbirlerinden bağımsız değildir. Hat geometrisi deforme olduğunda hat direnimi de artar ve bu durum malzemelerin deformasyonuna neden olur. Bakım çalışmalarındaki kalitenin artması, bu deformasyonların oluşmasını geciktirir.

2.1.1 Malzeme deformasyonları

Ray aşınması, rayda ve ray kaynağında oluşan kusurlar; rayda meydana gelen deformasyonların çeşitleridir. Küçük kusurlar ve gerilme yoğunluğu sebebiyle meydana gelen çatlakların zamanla yorulma etkisi ray kusurlarının genel sebepleridir.

2.1.1.1 Ondülasyonlar

Ondülasyonlar, ray üst yüzeyi üzerinde değişken periyotlarda meydana gelen düzlemsel bozukluklardır (Şekil 2.1). Kısa mesafeli ondülasyonlar, derinliği 0,1-0,4 mm ve dalga boyları 3-8 cm ve olan oluklardan meydana gelir. Ray yüzeyindeki bu oluklu yüzey pek çok negatif etkiye yol açar. Bunlar:

- Ray gerilmelerinin artması,
- Beton traverslerde rayın oturduğu kısımlarda çatlama,
- Gürültü artışı,
- Yüksek frekanslı titreşim,
- Ray pedi ve klipslerde aşınmanın artması,
- Ray bağlantılarının gevşemesi.

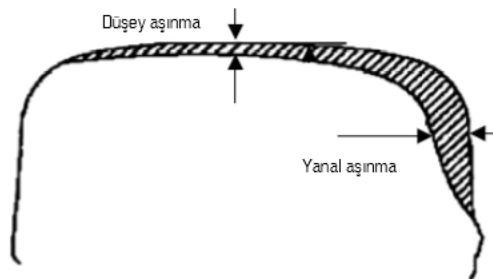
Büyük mesafeli ondülasyonlarda ise derinlik 0,3-1,0 mm ve dalga boyu 8-30 cm arasında değişiklik gösterir. Bu ondülasyonlar, çoğunlukla 600 m ya da daha küçük yarıçaplı kupları olan iç raylarda oluşur. Bu tarz aşınmalara genellikle benzer trafik işletimine sahip metro hatlarında ve banliyölerde rastlanır. Bu hatlarda çoğunlukla tek tip trenlerin işletilmesi bu durumun temel sebebidir. Bu deformasyonları özel ekipmanlarla ya da çıplak gözle tespit etmek mümkündür.



Şekil 2.1: Ondülasyonlar (Öztürk, 2010)

2.1.1.2 Yanal aşınma

Rayların aşınması pek çok farklı faktöre bağlıdır. Bunlardan bazıları ray mantarının şekli, ray çeliğinin dayanımı, kurpların yarıçapı, bandaj profili ve trafik yüküdür. Yanal aşınmanın en önemlisi ise dar kurplarda dış ray mantarında tekerlek boudenlerin vurmasıyla oluşan yanal aşınmadır. Seyir esnasında tren tekerlekleri konikliğin etkisiyle yalpalar ve zigzag çizerler. Bu durum, tekerleklerin bouden ray mantarının yan yüzeyine sürtmesine ve dolayısıyla onun aşınmasına yol açar (Şekil 2.2). Bu aşınmayla ilgili limitler demiryolu idareleri tarafından belirlenmiştir. Bu limitler çerçevesinde gerektiğinde önlemler alınmalıdır aksi takdirde limitlerin aşılması ile beraber derayman riski oluşur.



Şekil 2.2: Yanal ve düşey aşınma (Öztürk, 2010)

2.1.1.3 Yuvarlanma yüzeyi parçalanması

Bu durum, rayın yuvarlanma yüzeyinin seviyeli olarak ayrışması sonucu oluşur. Bu kusurun sebebi, ray imalatında yapılan hatalardır. Problem ilerlemiş ise hat bakım incelemeleri esnasında tespiti yapılır ve bakım döneminde yeni ray ile değiştirilir.

2.1.1.4 Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması

Üretim sürecindeki kusurlar sonucunda oluşur. Bu durum bölgesel değil geniş bir alanda gözlenir (Şekil 2.3). Yüzeyde kabuklanmalar henüz başlamadan düzensiz deformasyonlar gözlerin ve ardından kabuklaşma meydana gelir. Kabukların enkesitleri fazlaca değişkendir. Bu hata, çıplak gözle olduğu gibi ultrasonik cihazlarla da tespit edilir. Ray değiştirmesi ya da kaynak dolgu işlemleri ile düzeltilir.



Şekil 2.3 : Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması (Öztürk, 2010)

2.1.1.5 İç köşe kabuklanması

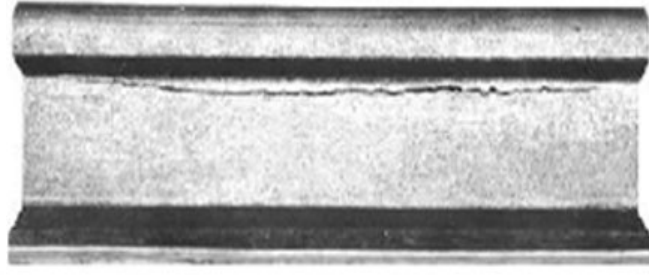
Bu kusurda ilk gözlenen ray mantarının iç kısmının köşesinde dağınık şekilde koyu ve uzun noktalar olur (Şekil 2.4). İç köşe kabuklanmasının ilk belirtisi bu noktaların altındaki metalin ayrışmasıdır. Ardından yan kenarlarda kabuklanma ve çatlamlar oluşmaya başlar. Ve son olarak da iç köşede kabuklanmalar olur. Bu durum çoğunlukla kurplarda dışta kalan ve yan al aşınmayı engellemek amacıyla yağlanan raylarda yaşanır.



Şekil 2.4 : İç köşe kabuklanması (Öztürk, 2010)

2.1.1.6 Yatay çatlak

Rayın yuvarlanma yüzeyinde meydana gelen yatay çatlaklardır (Şekil 2.5). Üretim sırasında gerçekleşen iç süreksizlikler bu hatanın kaynağıdır. Önlem alınmadığı takdirde yuvarlanma yüzeyinin kabuklar halinde soyulmasına yol açar. Bu çatlakların gözle veya ultrasonik cihazlarla tespiti yapılır. UIC 725 R standardına göre bu yatay çatlağın boyu 20 cm'den uzun ve yön değiştiriyorsa ray kesilmelidir.



Şekil 2.5 : Yatay çatlak (Öztürk, 2010)

2.1.1.7 Boyuna dikey çatlak

Boyuna dikey çatlak, ray üretiminden kaynaklanır. Ray sonlarında veya ortalarında, gövdede veya mantarda düşey çatlaklar şeklinde oluşur (Şekil 2.6). Zamanla bu düşey çatlakların büyüyerek ray mantarını ikiye bölme tehlikesi bulunmaktadır. Bu hatanın tespiti ultrasonik ekipmanla yapılır ve fark edildiğinde ray değiştirilmelidir.



Şekil 2.6 : Boyuna dikey çatlak (Öztürk, 2010)

2.1.1.8 Kaynak kusurları

Kaynak merkezinden iki tarafa doğru 10 cm'lik alanda kalan kusurlar kaynak kusurları olarak adlandırılmaktadır. Alın kaynaklarında mantar veya taban bölümünde başlayan yanal yönde çatlaklar veya gövdeyi geçen eğri şeklinde çatlaklar meydana gelir.

Termit kaynaklarda ise yatay yönde çatlaklar söz konusudur. Genelde kaynaktan önce, ray başında kesme işlemi yapılmayan durumlarda cebire deliklerinden başlamaktadır. Kaynak malzemesinin yapışma kusurundan veya kaynak dolgu hatasından dolayı yüzeyde kabuklanma kusuru meydana gelir.

2.1.2 Geometrik deformasyonlar

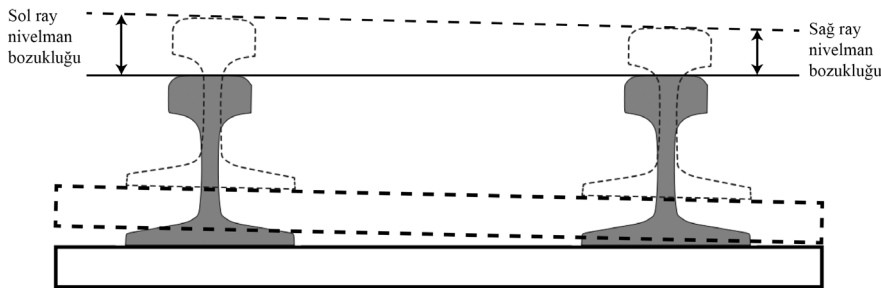
Geometrik deformasyonlar, raylı sistem hattı geometrisinin olması gerekenden farklı bir konuma sapmasıdır. Bu deformasyonlar, yatay geometrinin bozulması ve düşey geometrisinin bozulması şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

2.1.2.1 Düşey geometrinin bozulması

Nivelman bozulması, dever bozulması ve burulma, demiryolu hattında oluşabilecek düşey yöndeki geometrik deformasyonlardır.

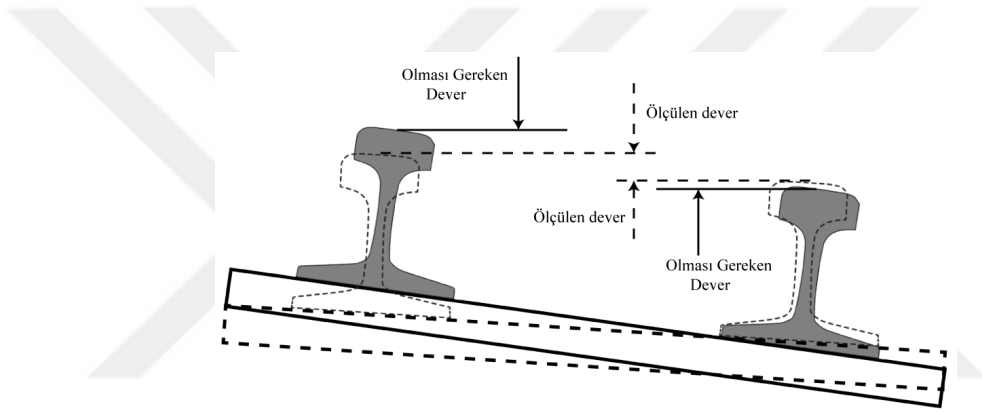
Nivelman bozulması: Demiryolu hattında teorik ile gerçek kot değerleri arasında farklılık meydana gelmesidir. Her bir ray için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Bu deformasyon, rayların üst kotlarının olması gerekenden düşük veya yüksekliğini göstermektedir (Şekil 2.7).

Düşey yüklerin hat kalitesini etkilediğini gösteren en iyi örnek nivelman bozulmasıdır. Aynı zamanda hat bakım masraflarının önemli bir kısmını oluşturur.



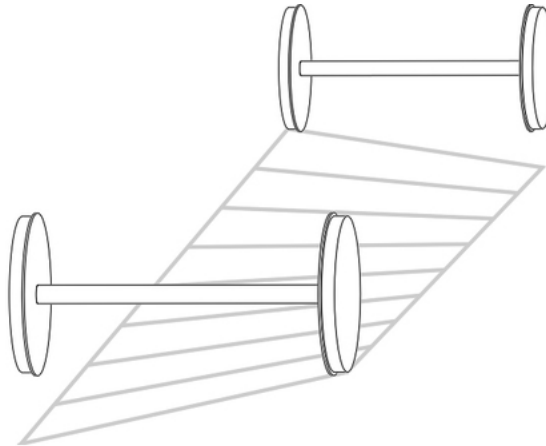
Şekil 2.7 : Nivelmanın bozulması (Arlı, 2019)

Dever bozulması: Dever, kurplarda araçlara etki eden merkezkaç kuvvetini dengeleme amacıyla dış rayın iç raya göre yükseltilme değeridir. Teorik dever ise, R yarıçapına sahip bir kurpta V hızıyla ilerleyen bir araca etki eden merkezkaç kuvvetini yok etmek için ihtiyaç duyulan deverdir. Ancak teorik dever yalnız bir hıza göre hesaplandığı için, yolcu ve yük trenlerinin beraber işletildiği klasik demiryolu hatlarında teorik deveri uygulamak mümkün değildir. Bu sebeple, iki koşul arasında hem düşük hızlı yük trenlerinde sorun çıkartmayacak hem de yüksek hızlı trenlerde yolcu konforunu sağlayacak uygun bir dever seçilir ve kullanılır. Bu orta dever değeri normal dever ya da asıl dever olarak adlandırılır. Demiryolu hatlarındaki deverde oluşan bozulmalar dever bozulmasıdır (Şekil 2.8). Dever bozulmasının derecesi, olması gerekenden ölçülen dever miktarının çıkarılması sonucunda bulunur.



Şekil 2.8 : Dever bozulması (Arlı, 2019)

Burulma: Bir hat düzleminde bir noktanın düzlemden yaptığı sapmadır (Şekil 2.9). Nivelman bozukluğu, dever bozukluğu ve gizli boşluklar burulmanın sebepleridir. Burulma, düşük ve orta hızlarda deraymanın en önemli kaynaklarındandır.

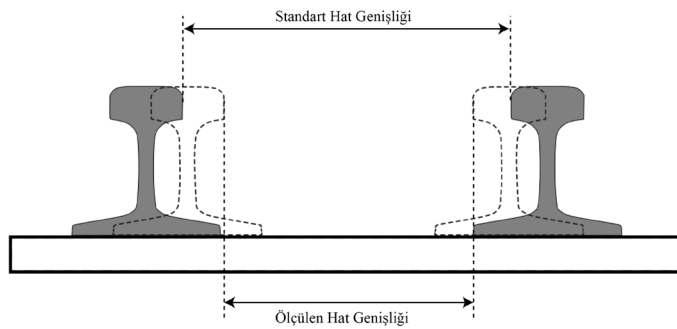


Şekil 2.9 : Burulma (Arlı, 2019)

2.1.2.2 Yatay geometrinin bozulması

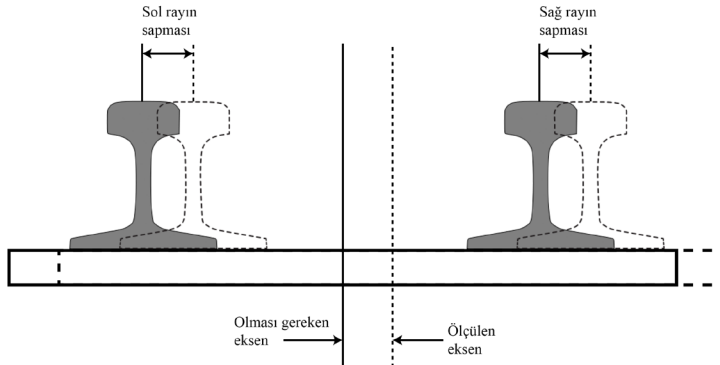
Yatay geometride tekerler ve ray arasında stabil bir ilişki olmadığı için, burada oluşan bozulmalar düşeydekine oranla daha karmaşıktır. Demiryolu hattında oluşabilecek yatay yöndeki deformasyonları dresaj ve ekartman bozulması olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Ekartman bozulması: Ekartman; ray üzerinden 14 mm aşağıdan ölçülen, ray iç kenarları arasındaki mesafedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan standart ekartmanın değeri 1435 mm'dir. Ekartman bozulması ise, bu hat genişliğinin standart değerden sapmasıdır (Şekil 2.10). Ekartman bozulması, standart hat genişliğinden ölçülen hat genişliği çıkarılarak elde edilmektedir. Ekartman toleransı +10 ile -3 mm arasındadır. Dar kurplarda araçların daha rahat geçmesini sağlamak, aynı zamanda kurbun dış ray mantarındaki yanal aşınmayı azaltmak amacıyla ekartman artırılır. Bu fazla ekartmana sürekartman adı verilir.



Şekil 2.10 : Ekartman bozulması (Arlı, 2019)

Dresaj bozulması: Hattın teorideki konumundan yatay doğrultuda saptmaya uğramasıdır. Her iki rayın hattın merkezine göre yatayda yaptığı yer değiştirme olarak da açıklanabilir (Şekil 2.11). Bu yer değiştirme, her bir ray için ayrıca hesaplanır. Dresaj bozulması, işletme aracının özelliklerine ve aynı zamanda yanal etkilere bağlıdır.



Şekil 2.11 : Dresaj bozulması (Arlı, 2019)

3. ANALİZ

Bu bölümde analiz yöntemi ve sonuçları gerekçeleri ile birlikte sunulmaktadır. Hesaplar sonlu elemanlar metodu ve gelişmiş zemin modelleri kullanan PLAXIS programı üzerinde yapılmıştır. Çıktı sonuçları tablo halinde verilecektir. Değişkenlerin hassasiyet ölçütü de bu tablolar üzerinden yorumlanacaktır.

3.1 Analiz İçin Parametrelerin Belirlenmesi

3.1.1 Zemin parametreleri

Zemin parametresi, hesaplara doğrudan etki edeceği için sabit bir değer olarak ele alınmıştır. Zemin parametreleri ortalama bir zemin sınıfını temsilen yaklaşık olarak belirlenip kullanılmıştır. Burada ele alınan durumlar zemin türüne, katmanlaşmasına göre çok farklı davranış gösterebileceği için bu çalışmada sabit bir zemin sınıfı kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 : Zemin parametreleri

Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	Kohezyon (c) (kN/m ²)	E ₅₀ -E _{oed} (kN/m ²)	E _{ur} (kN/m ²)	Poisson Oranı
20	28	15	25E3	75E3	0,3

3.1.2 Değişken parametrelerin belirlenmesi

İşletmede olan bir metro yapısının yaklaşık olarak 100 sene servis ömrü bulunmaktadır. Bu süre içerisinde yüzey kotunda meydana gelecek olan kentleşme unsurları zamanla metro yapısında deformasyonlara sebebiyet verecektir. Bu deformasyon seviyeleri tünel cidarı (kalıcı kaplama) açısından yapısal olarak kontrol edilmekle birlikte ray kotunda meydana gelecek olan deformasyon açısından çoğu durumda ele alınmamaktadır. Halbuki raylarda meydana gelecek olan en ufak deformasyonlar işletme bakımında, konforunda ve güvenliğinde önem arz etmektedir.

Deformasyonun büyüklüğüne göre bakım sürelerinin kısılması, işletme anında titreşim, ses seviyesi artışı, derayman riski vb. gibi sorunlar oluşmaktadır.

Bu açıdan değerlendirildiğinde bu çalışmada yapılaşma açısından aşağıdaki parametrik değişkenlere odaklanılmıştır.

- Yapının temeline olan uzaklık (5m – 10m – 15m -20m olarak ele alınmıştır.)
- Yapının temeline olan dış merkezliği (5m – 10m – 15m – 20m olarak ele alınmıştır.)
- Yapının ağırlığındaki değişim (5 kat – 15 kat – 20 kat olarak ele alınmıştır.)
- Yeraltı suyu seviyesi artışı (3m olarak ele alınmıştır.)
- Tünel tipi açısından ele alınmıştır. (Anahat tüneli (dar), makas tüneli (geniş))
- Aliymanda olma, yatay kurp içerisinde olma durumları ele alınmıştır.

Kentleşmeyi temsilen yer üstü yapısı olarak tipik bir 10 katlı betonarme bina kullanılmıştır. Yapı 1 bodrum kata sahiptir. Yapının temeli radye temel olarak düşünülmüştür ve kalınlığı 1m'dir.

3.2 Analiz Aşamaları

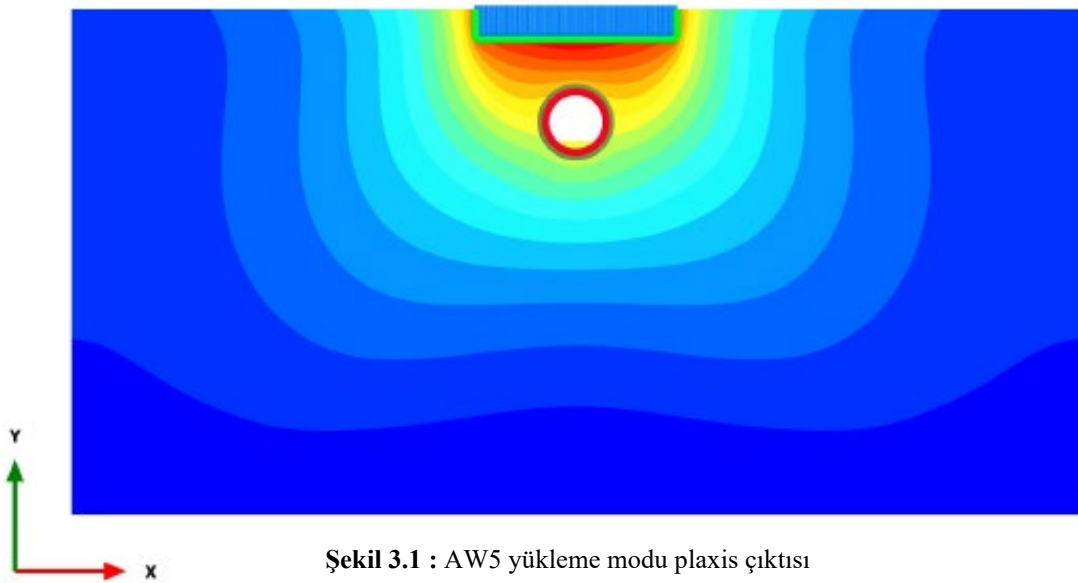
Analizlerde sonlu elemanlar metodu kullanan PLAXIS programı kullanılarak, zeminin elasto-plastik davranışını modelleyebilen 'pekleşen zemin' modeli kullanılmıştır. Bu modelde, asal gerilme düzleminde oluşan deviatorik, izotropik ve odometrik yüklemeler altında gelişen plastik deformasyonlardan kaynaklı zemin pekleşmesine bağlı olarak zeminin yenilme limitleri hesaplanabilmektedir. Pekleşen zemin, modelde zeminin gerilmeye bağlı sertliğini yansıtan üs sayısı ($m = 0.50 - 1.00$), deviatorik gerilmeler kaynaklı plastik deformasyonların hesaplanabilmesi için %50 sekant deformasyon modülü ($E_{50}=E$), odometrik yüklemeye bağlı gelişen plastik deformasyonların hesaplanabilmesi için odometrik deformasyon modülü ($E_{oed}\approx E$), yükleme boşaltma sebebiyle gerçekleşen elastik deformasyonların hesaplanabilmesi için deformasyon modülü ($E_{ur}=3E$) ile poisson oranı ($\nu_{ur} = 0.3$), Mohr-Coulomb

yenilme kriterine bağı zarfın hesaplanabilmesi için efektif kohezyon (c') ve efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') değerleri ile zeminin deformasyon ve mukavemet özellikleri tanımlanmaktadır. Zemin elemanı programdaki on beş noktalı üçgensel elemanlarla, tünel ve bina elemanları ise plaka elemanlarla tanımlanmıştır. Bu elemanlar dokuzuncu dereceden integrasyon olanağı sağlamaktadırlar. Sistem aşamaları ilgili zemin elemanları kaldırılarak ve gerekli destek elemanları konarak modellenmektedir. Program bu yeni durumda dengeye gelene kadar iteratif olarak çalışmaktadır. Analiz sonucunda zemin elemanlarındaki deplasman, efektif ve toplam gerilmeler ve plastikleşen bölgeler görülebilmektedir.

Analizlerde ilk olarak başlangıç gerilmeleri tanımlanmıştır. Sonrasında işletmede olan raylı sistem hattı modellenmiştir. Bu aşamadan sonra ise deformasyonlar sıfır olarak kabul edilerek ilgili koşula göre yükleme yapılmıştır. Bu durum işletmede olan bir hattın yakınına yapılan yapılaşma sürecinde ray kotlarında meydana gelen durumu yansıtmaktadır. Analiz koşulları aşağıda her durum için ayrı olarak özetlenmiştir.

3.2.1 AW5 yükleme modu

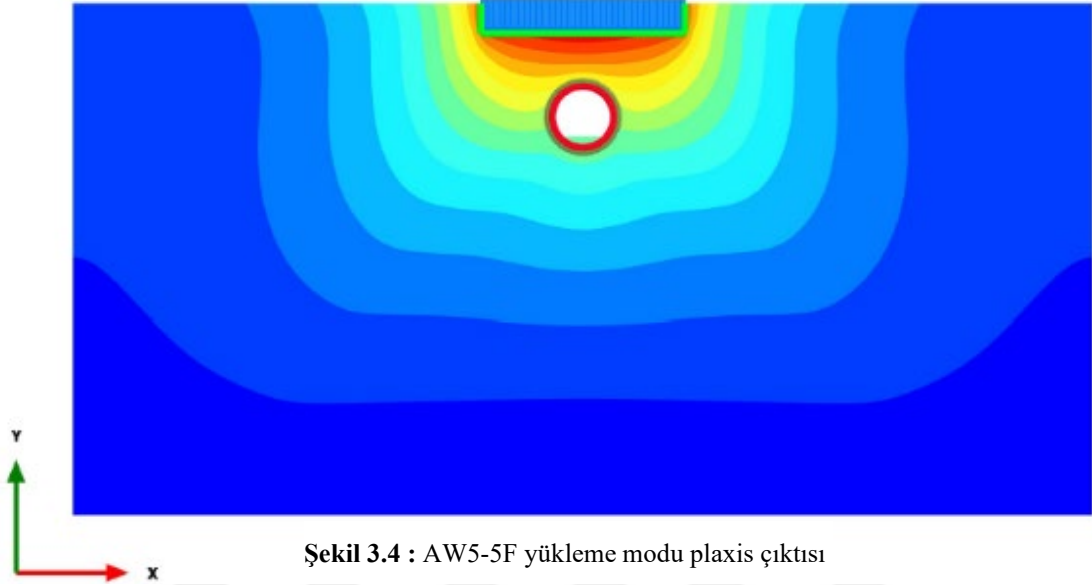
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünel yapı temeline göre dış merkezlik oluşturmamaktadır. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.1 : AW5 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.4 AW5-5F yükleme modu

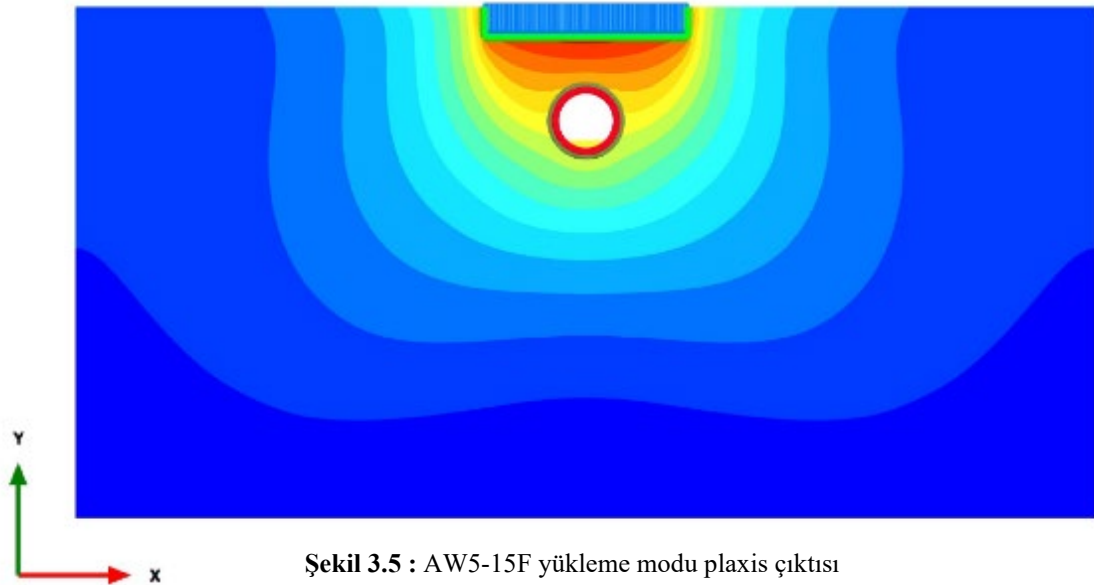
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 5 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünel yapı temeline göre dış merkezlik oluşturmamaktadır. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.4 : AW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.5 AW5-15F yükleme modu

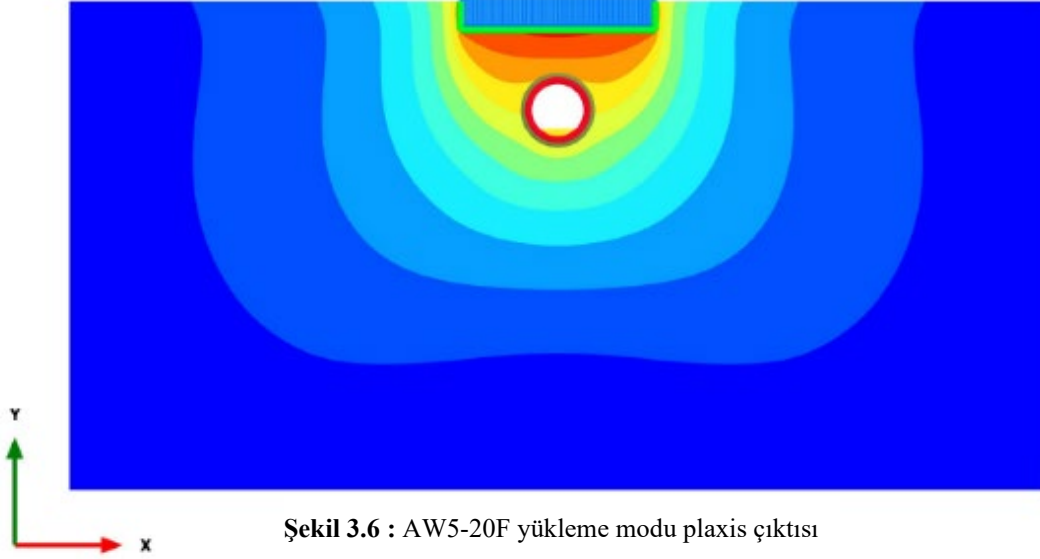
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 15 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünel yapı temeline göre dış merkezlik oluşturmamaktadır. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.5 : AW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.6 AW5-20F yükleme modu

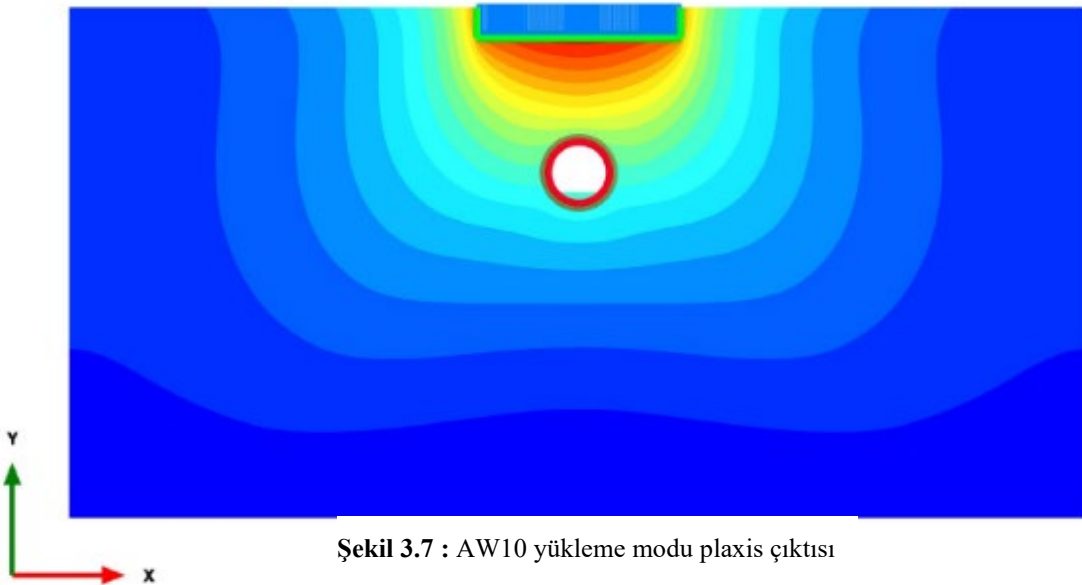
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 20 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünel yapı temeline göre dış merkezlik oluşturmamaktadır. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.6 : AW5-20F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.7 AW10 yükleme modu

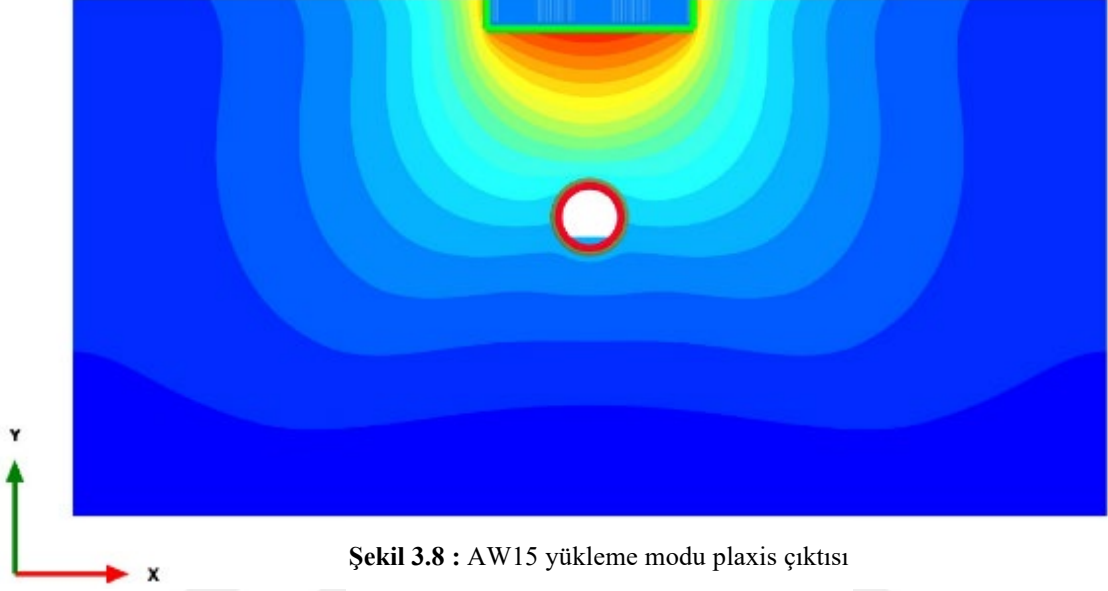
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünel yapı temeline göre dış merkezlik oluşturmamaktadır. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 10m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.7 : AW10 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.8 AW15 yükleme modu

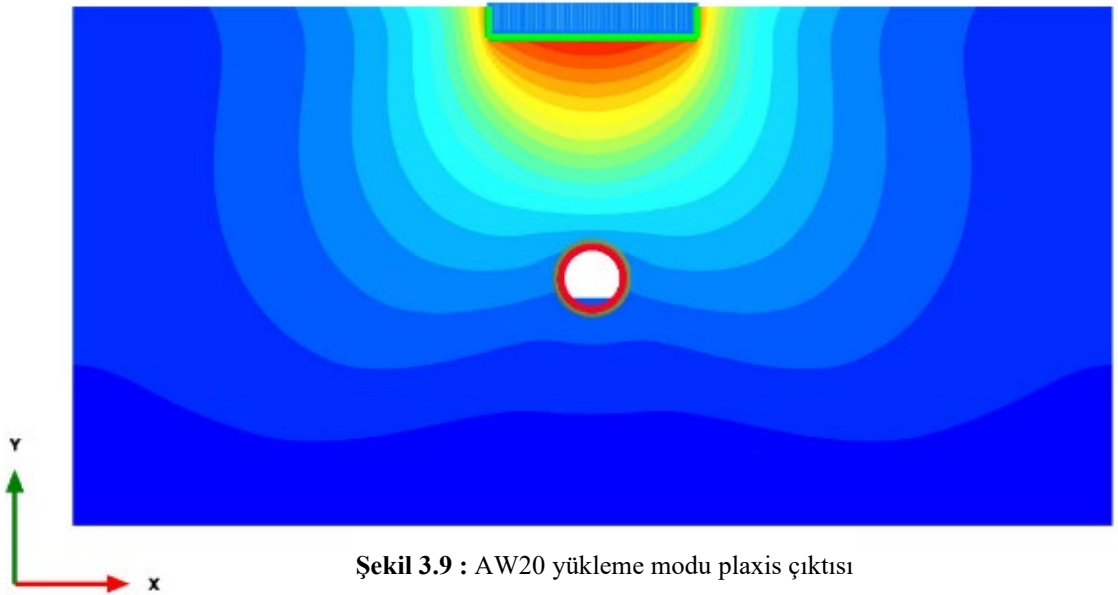
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünel yapı temeline göre dış merkezlik oluşturmamaktadır. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 15m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.8 : AW15 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.9 AW20 yükleme modu

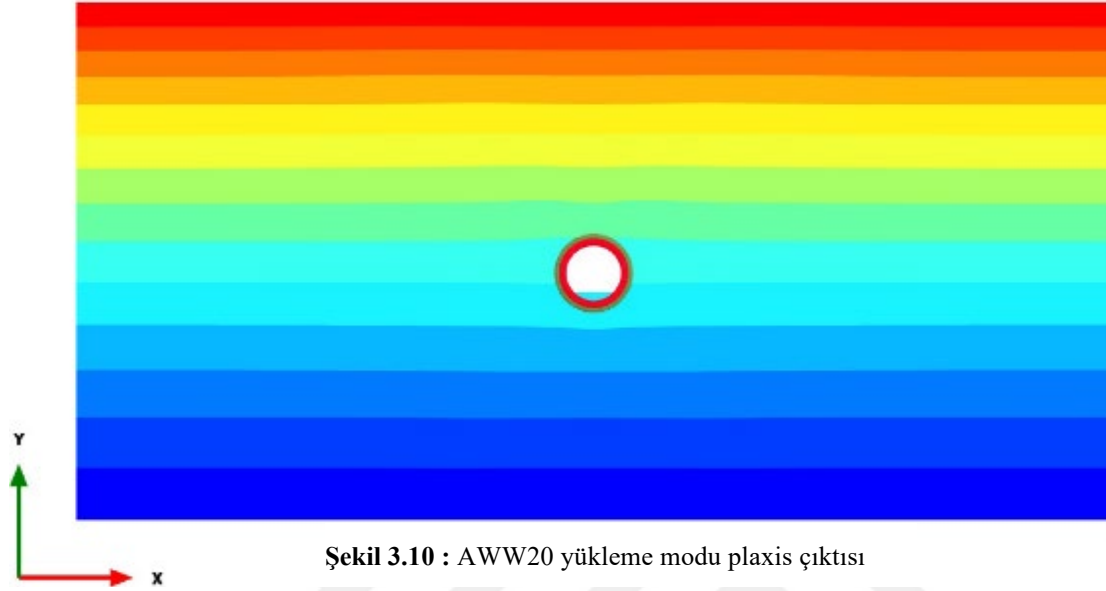
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünel yapı temeline göre dış merkezlik oluşturmamaktadır. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 20m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.9 : AW20 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.10 AWW20 yükleme modu

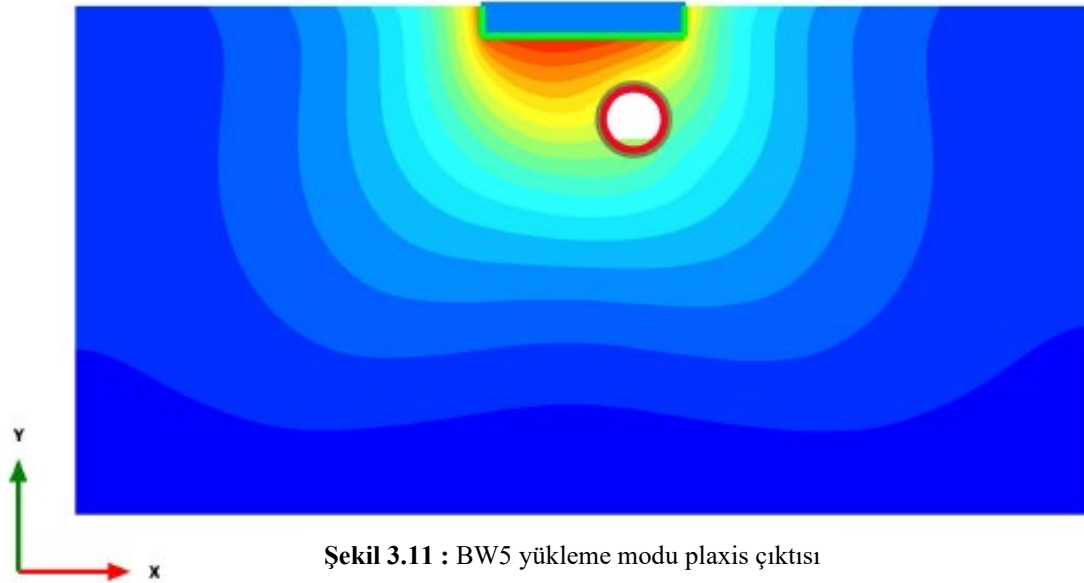
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin bulunduğu ortamdaki yer altı su seviyesinin 3m yükselmesi söz konusudur. Tünelin yüzeye olan uzaklığı 20m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durum ise nivelman bozulmasıdır.



Şekil 3.10 : AWW20 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.11 BW5 yükleme modu

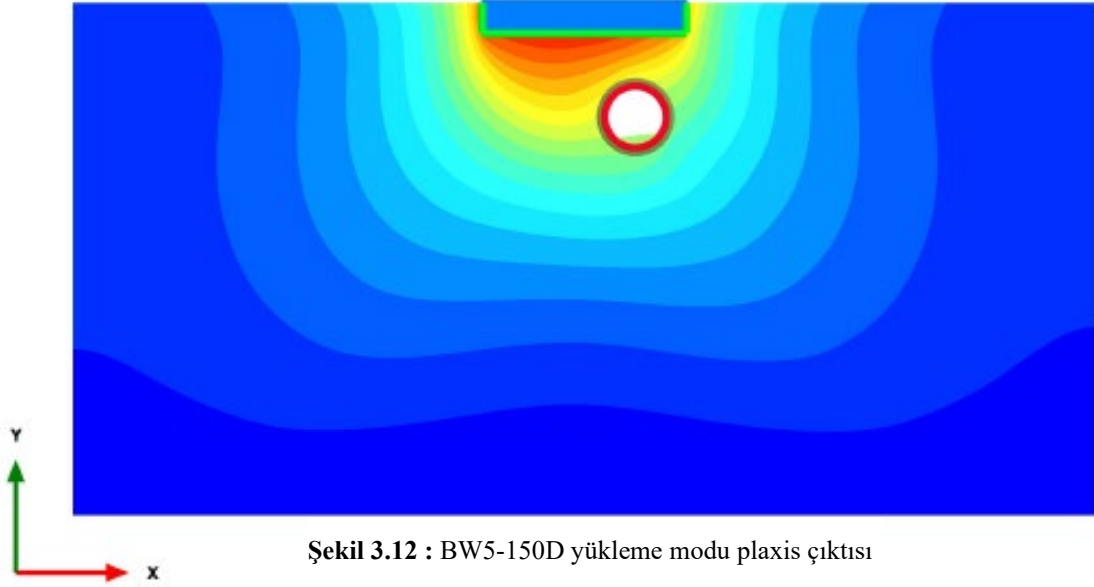
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 5m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.11 : BW5 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.12 BW5-150D yükleme modu

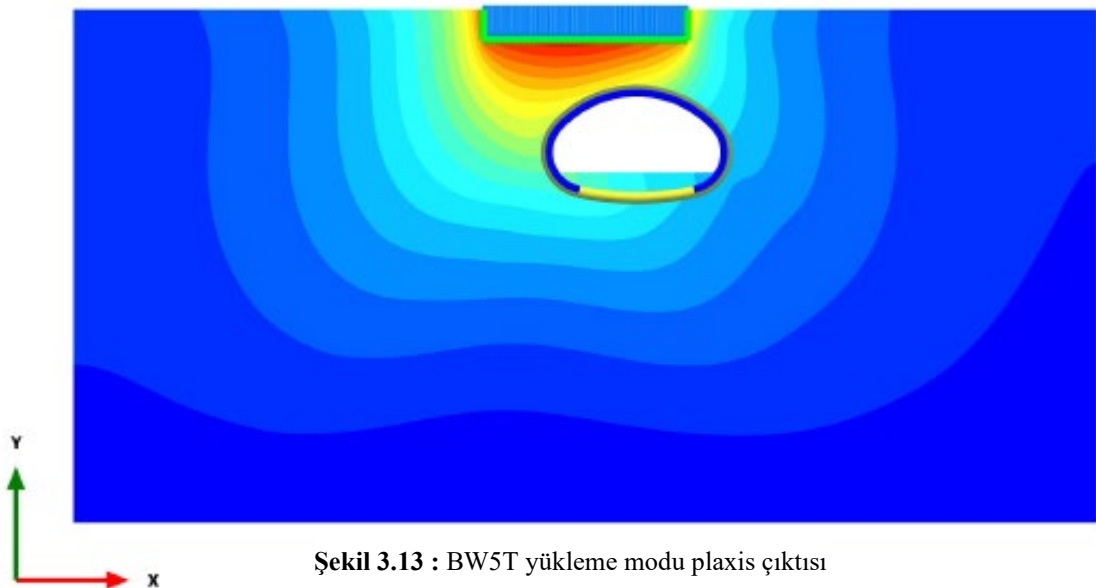
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 5m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Tünel yatay kurpta olup 150mm'lik dever barındırmaktadır. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dever bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.12 : BW5-150D yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.13 BW5T yükleme modu

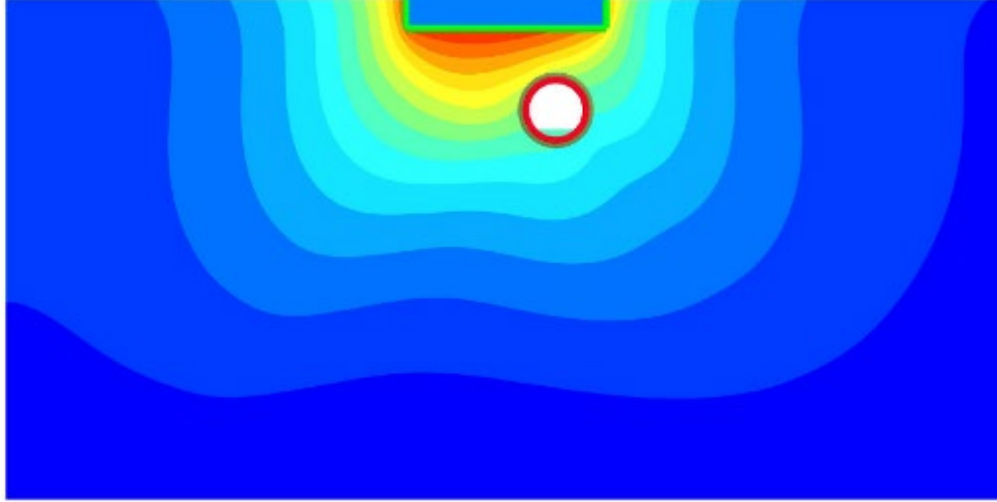
Bu yükleme modunda; işletmede olan makas tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 5m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.13 : BW5T yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.14 BW5-5F yükleme modu

Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 5 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 5m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.

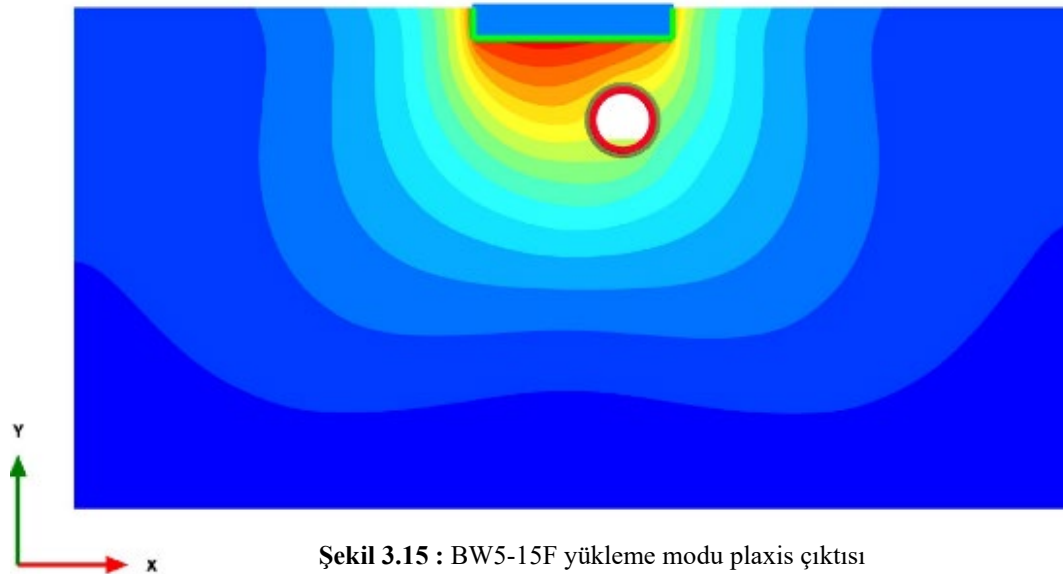


→ x

Şekil 3.14 : BW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.15 BW5-15F yükleme modu

Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 15 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 5m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.

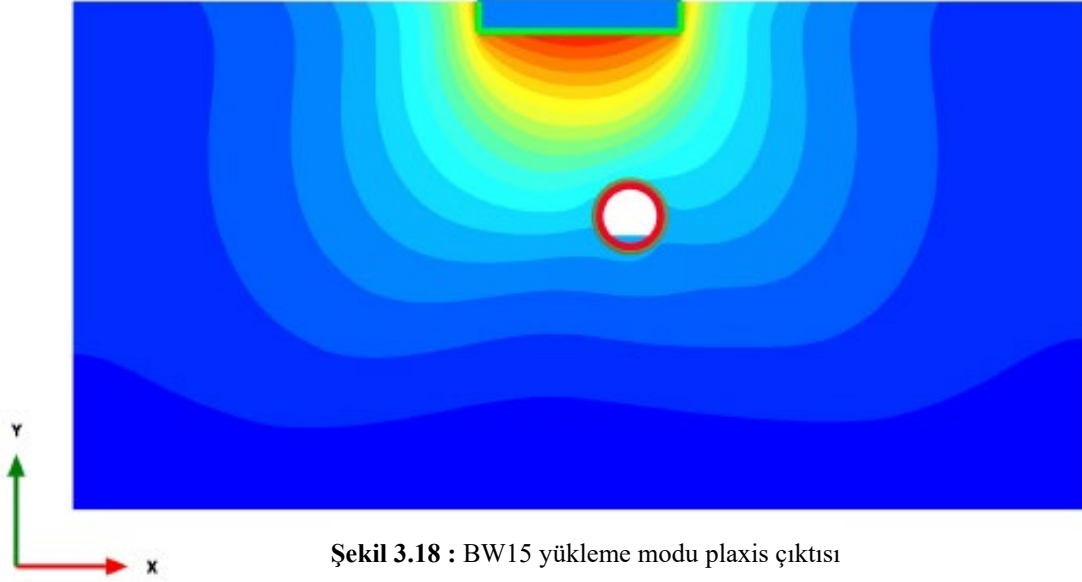


y
→ x

Şekil 3.15 : BW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.18 BW15 yükleme modu

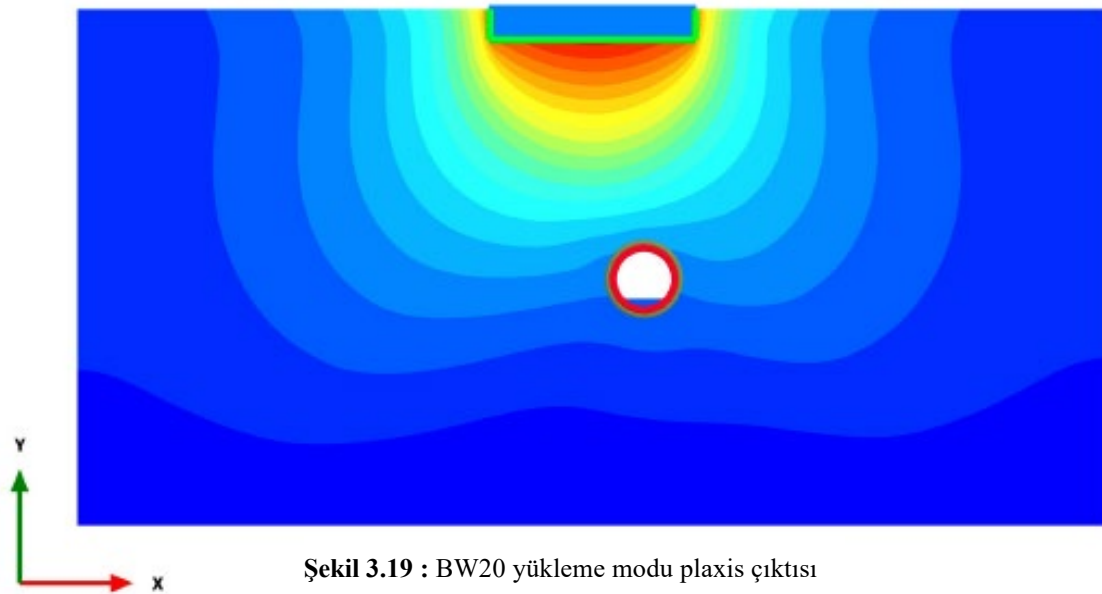
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 5m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 15m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.18 : BW15 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.19 BW20 yükleme modu

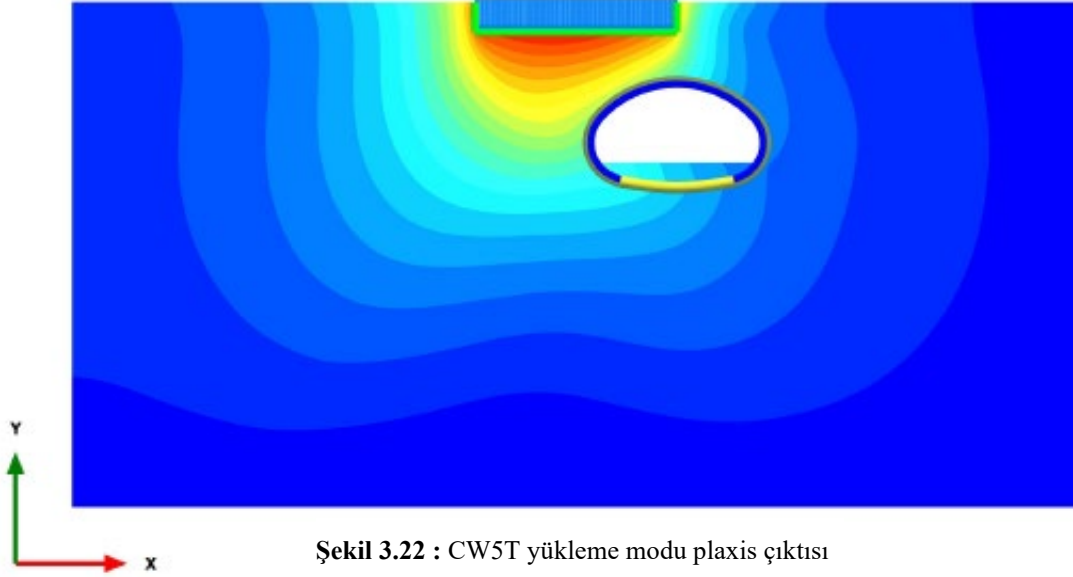
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 5m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 20m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.19 : BW20 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.22 CW5T yükleme modu

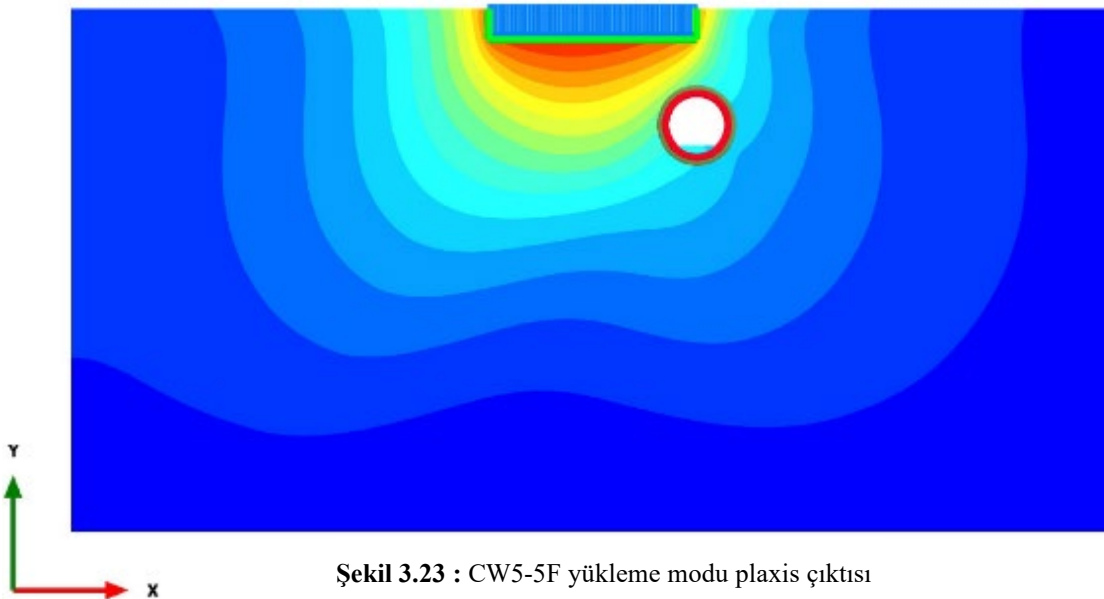
Bu yükleme modunda; işletmede olan makas tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 10m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.22 : CW5T yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.23 CW5-5F yükleme modu

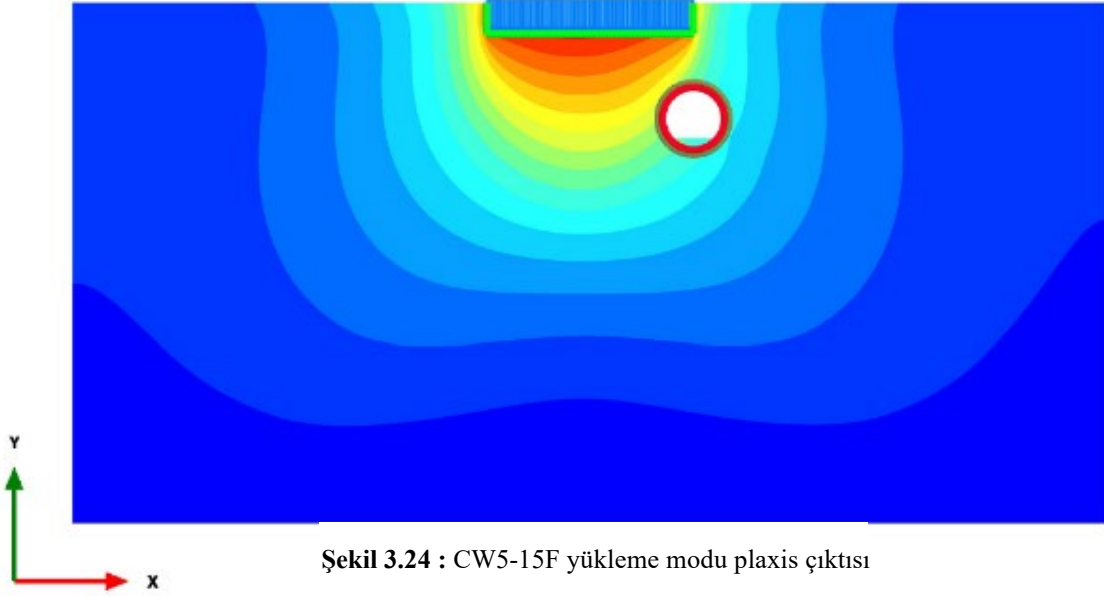
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 5 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 10m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.23 : CW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.24 CW5-15F yükleme modu

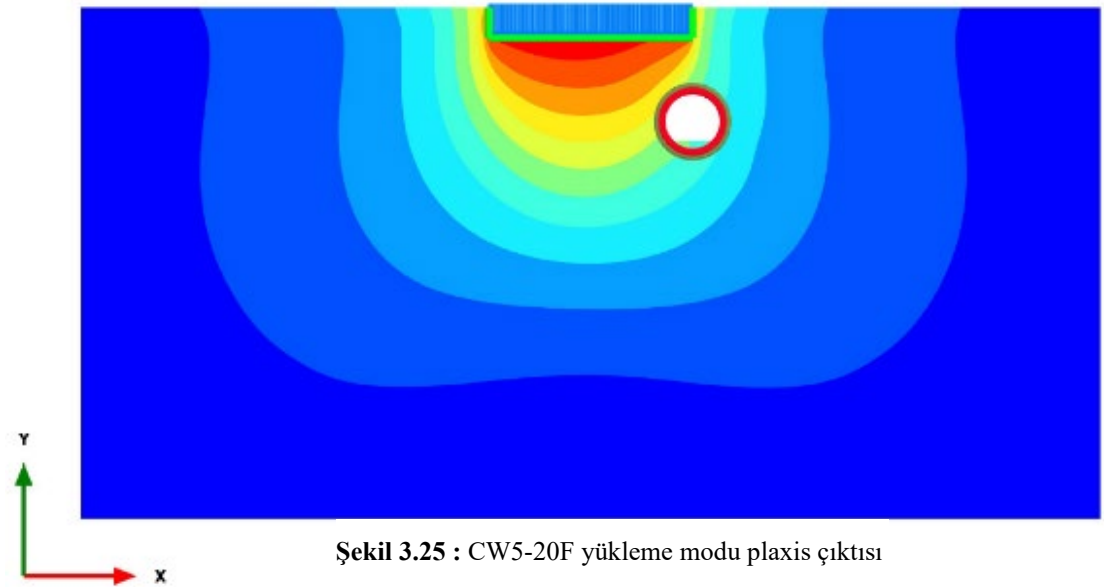
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 15 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 10m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.24 : CW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.25 CW5-20F yükleme modu

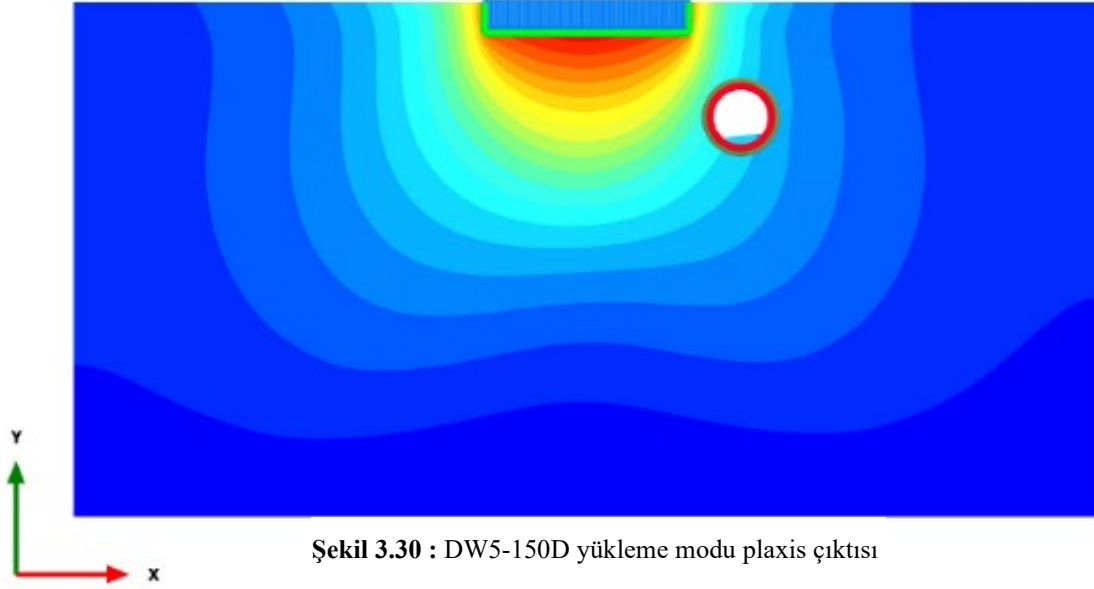
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 20 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 10m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.25 : CW5-20F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.30 DW5-150D yükleme modu

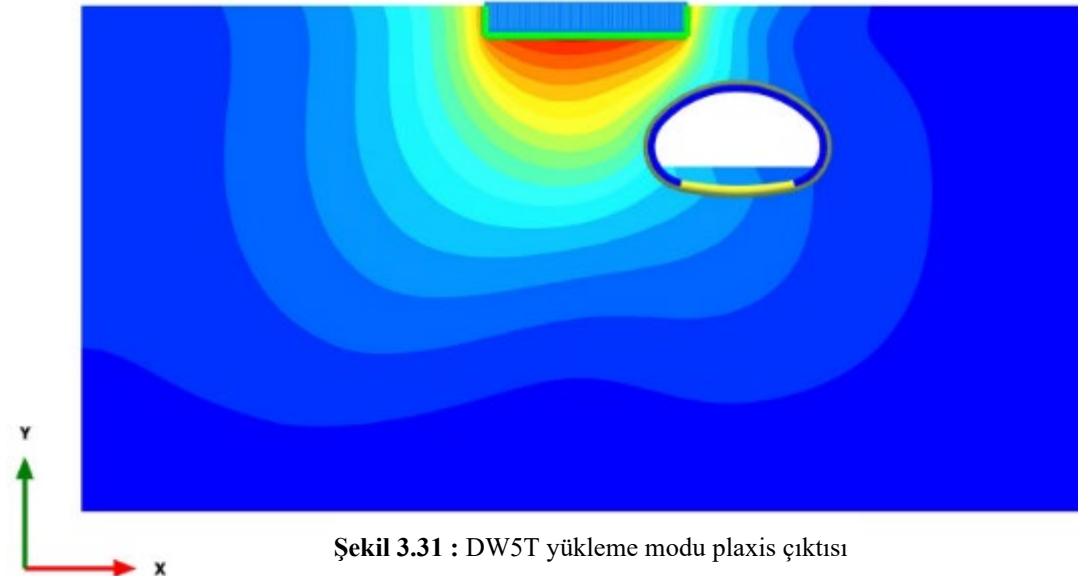
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 15m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Tünel yatay kurpta olup 150mm'lik dever barındırmaktadır. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dever bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.30 : DW5-150D yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.31 DW5T yükleme modu

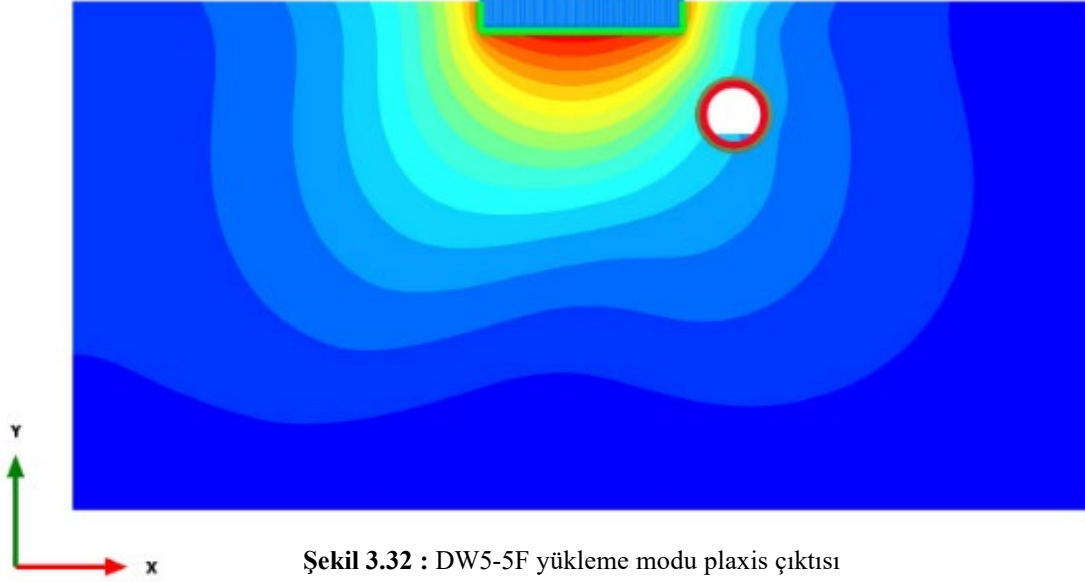
Bu yükleme modunda; işletmede olan makas tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 15m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.31 : DW5T yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.32 DW5-5F yükleme modu

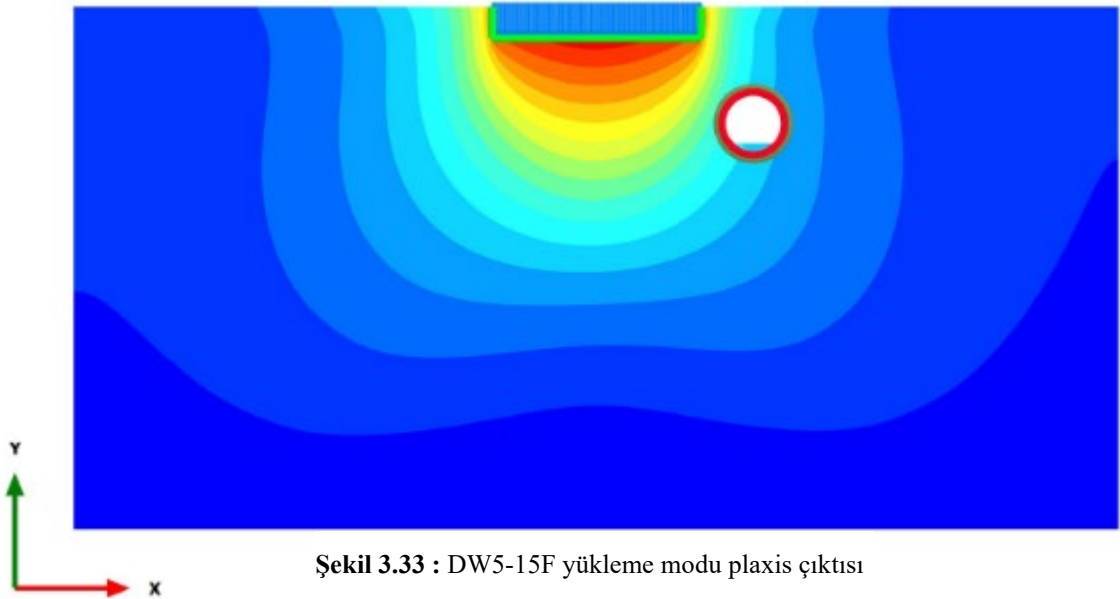
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 5 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 15m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.32 : DW5-5F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.33 DW5-15F yükleme modu

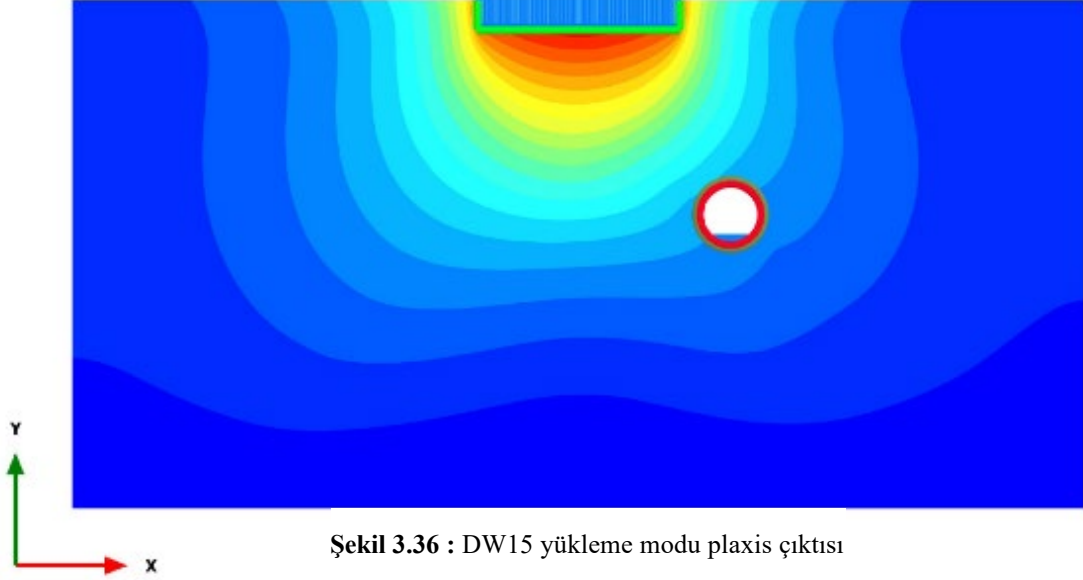
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 15 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 15m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 5m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.33 : DW5-15F yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.36 DW15 yükleme modu

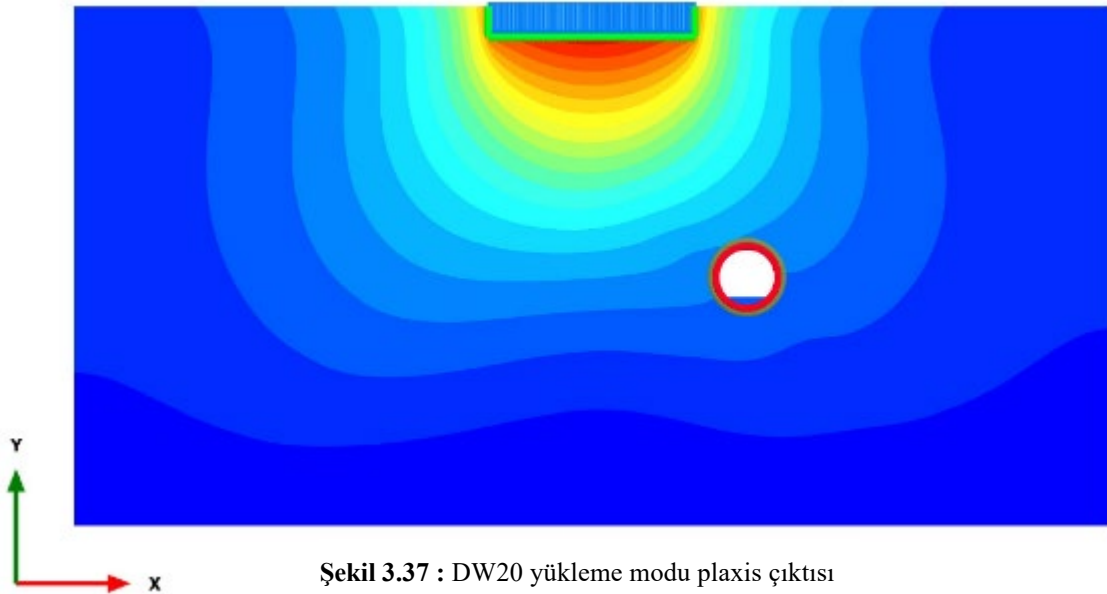
Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 15m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 15m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.36 : DW15 yükleme modu plaxis çıktısı

3.2.37 DW20 yükleme modu

Bu yükleme modunda; işletmede olan anahat tünelinin üzerine 10 katlı tipik bir konut projesi yapımı söz konusudur. Tünelin yapı temeline göre dış merkezliği 15m'dir. Tünelin yapı temeline olan uzaklığı 20m'dir. Burada gözlemlenmesi amaçlanan durumlar ise nivelman bozulması, dresaj bozulması ve burulmadır.



Şekil 3.37 : DW20 yükleme modu plaxis çıktısı

3.3 Analiz Sonuçları

Analiz sonuçlarına göre ray kotlarında meydana gelen düşey ve yatay deformasyon, yanal deformasyon ve dönme değerleri aşağıda tablo halinde paylaşılmaktadır.

Çizelge 3.2 : AW5 deformasyon değerleri

AW5	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	0 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	52 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 10,44E6

Çizelge 3.3 : AW5-150D deformasyon değerleri

AW5-150D	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	2 mm
Dönme	-0,017 °
Düşey Deplasman	52 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,030 % = 1 : 3291

Çizelge 3.4 : AW5T deformasyon değerleri

AW5T	
2 Ray Arası Yatay Fark	2 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	2 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	28 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 54,71E6

Çizelge 3.5 : AW5-5F deformasyon değerleri

AW5-5F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	0 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	14 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 47,50E6

Çizelge 3.6 : AW5-15F deformasyon değerleri

AW5-15F	
2 Ray Arası Yatay Fark	1 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	1 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	95 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 3,560E6

Çizelge 3.7 : AW5-20F deformasyon değerleri

AW5-20F	
2 Ray Arası Yatay Fark	1 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	1 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	141 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 1,485E6

Çizelge 3.8 : AW10 deformasyon değerleri

AW10	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	0 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	36 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 11,21E6

Çizelge 3.9 : AW15 deformasyon değerleri

AW15	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	0 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	24 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 1,843E9

Çizelge 3.10 : AW20 deformasyon değerleri

AW20	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	0 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	14 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 21,04E6

Çizelge 3.11 : AWW20 deformasyon değerleri

AWW20	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	0 mm
Dönme	0,000 °
Düşey Deplasman	-5 mm
Yatay Deplasman	0 mm
Eğim	0,000 % = 1 : 204,2E6

Çizelge 3.12 : BW5 deformasyon değerleri

BW5	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	8 mm
Dönme	0,095 °
Düşey Deplasman	47 mm
Yatay Deplasman	6 mm
Eğim	0,167 % = 1 : 600,0

Çizelge 3.13 : BW5-150D deformasyon değerleri

BW5-150D	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	6 mm
Dönme	0,075 °
Düşey Deplasman	47 mm
Yatay Deplasman	7 mm
Eğim	0,131 % = 1 : 764,0

Çizelge 3.14 : BW5T deformasyon değerleri

BW5T	
2 Ray Arası Yatay Fark	2 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	17 mm
Dönme	0,060 °
Düşey Deplasman	27 mm
Yatay Deplasman	4 mm
Eğim	0,105 % = 1 : 955,1

Çizelge 3.15 : BW5-5F deformasyon değerleri

BW5-5F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	2 mm
Dönme	0,030 °
Düşey Deplasman	13 mm
Yatay Deplasman	2 mm
Eğim	0,052 % = 1 : 1933

Çizelge 3.16 : BW5-15F deformasyon değerleri

BW5-15F	
2 Ray Arası Yatay Fark	1 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	13 mm
Dönme	0,159 °
Düşey Deplasman	87 mm
Yatay Deplasman	10 mm
Eğim	0,278 % = 1 : 360,1

Çizelge 3.17 : BW5-20F deformasyon değerleri

BW5-20F	
2 Ray Arası Yatay Fark	1 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	18 mm
Dönme	0,225 °
Düşey Deplasman	129 mm
Yatay Deplasman	14 mm
Eğim	0,393 % = 1 : 254,4

Çizelge 3.18 : BW10 deformasyon değerleri

BW10	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	5 mm
Dönme	0,066 °
Düşey Deplasman	33 mm
Yatay Deplasman	6 mm
Eğim	0,115 % = 1 : 871,1

Çizelge 3.19 : BW15 deformasyon değerleri

BW15	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	3 mm
Dönme	0,033 °
Düşey Deplasman	23 mm
Yatay Deplasman	5 mm
Eğim	0,058 % = 1 : 1711

Çizelge 3.20 : BW20 deformasyon değerleri

BW20	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	1 mm
Dönme	0,013 °
Düşey Deplasman	15 mm
Yatay Deplasman	3 mm
Eğim	0,022 % = 1 : 4552

Çizelge 3.21 : CW5 deformasyon değerleri

CW5	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	12 mm
Dönme	0,144 °
Düşey Deplasman	36 mm
Yatay Deplasman	10 mm
Eğim	0,252 % = 1 : 396,6

Çizelge 3.22 : CW5-150D deformasyon değerleri

CW5-150D	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	11 mm
Dönme	0,128 °
Düşey Deplasman	36 mm
Yatay Deplasman	10 mm
Eğim	0,223 % = 1 : 447,7

Çizelge 3.23 : CW5T deformasyon değerleri

CW5T	
2 Ray Arası Yatay Fark	1 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	23 mm
Dönme	0,081 °
Düşey Deplasman	23 mm
Yatay Deplasman	6 mm
Eğim	0,141 % = 1 : 708,6

Çizelge 3.24 : CW5-5F deformasyon değerleri

CW5-5F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	3 mm
Dönme	0,041 °
Düşey Deplasman	11 mm
Yatay Deplasman	3 mm
Eğim	0,072 % = 1 : 1395

Çizelge 3.25 : CW5-15F deformasyon değerleri

CW5-15F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	21 mm
Dönme	0,263 °
Düşey Deplasman	65 mm
Yatay Deplasman	17 mm
Eğim	0,460 % = 1 : 217,6

Çizelge 3.26 : CW5-20F deformasyon değerleri

CW5-20F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	32 mm
Dönme	0,392 °
Düşey Deplasman	95 mm
Yatay Deplasman	24 mm
Eğim	0,684 % = 1 : 146,2

Çizelge 3.27 : CW10 deformasyon değerleri

CW10	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	7 mm
Dönme	0,087 °
Düşey Deplasman	27 mm
Yatay Deplasman	9 mm
Eğim	0,151 % = 1 : 660,3

Çizelge 3.28 : CW15 deformasyon değerleri

CW15	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	4 mm
Dönme	0,047 °
Düşey Deplasman	20 mm
Yatay Deplasman	8 mm
Eğim	0,082 % = 1 : 1214

Çizelge 3.29 : CW20 deformasyon değerleri

CW20	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	2 mm
Dönme	0,021 °
Düşey Deplasman	13 mm
Yatay Deplasman	5 mm
Eğim	0,037 % = 1 : 2724

Çizelge 3.30 : DW5 deformasyon değerleri

DW5	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	9 mm
Dönme	0,114 °
Düşey Deplasman	26 mm
Yatay Deplasman	10 mm
Eğim	0,198 % = 1 : 504,5

Çizelge 3.31 : DW5-150D deformasyon değerleri

DW5-150D	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	9 mm
Dönme	0,106 °
Düşey Deplasman	26 mm
Yatay Deplasman	9 mm
Eğim	0,185 % = 1 : 539,9

Çizelge 3.32 : DW5T deformasyon değerleri

DW5T	
2 Ray Arası Yatay Fark	1 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	19 mm
Dönme	0,070 °
Düşey Deplasman	17 mm
Yatay Deplasman	6 mm
Eğim	0,122 % = 1 : 819,2

Çizelge 3.33 : DW5-5F deformasyon değerleri

DW5-5F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	3 mm
Dönme	0,037 °
Düşey Deplasman	8 mm
Yatay Deplasman	3 mm
Eğim	0,065 % = 1 : 1538

Çizelge 3.34 : DW5-15F deformasyon değerleri

DW5-15F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	16 mm
Dönme	0,194 °
Düşey Deplasman	44 mm
Yatay Deplasman	16 mm
Eğim	0,338 % = 1 : 295,5

Çizelge 3.35 : DW5-20F deformasyon değerleri

DW5-20F	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	22 mm
Dönme	0,274 °
Düşey Deplasman	61 mm
Yatay Deplasman	23 mm
Eğim	0,478 % = 1 : 209,4

Çizelge 3.36 : DW10 deformasyon değerleri

DW10	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	6 mm
Dönme	0,078 °
Düşey Deplasman	21 mm
Yatay Deplasman	10 mm
Eğim	0,136 % = 1 : 736,0

Çizelge 3.37 : DW15 deformasyon değerleri

DW15	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	4 mm
Dönme	0,050 °
Düşey Deplasman	17 mm
Yatay Deplasman	8 mm
Eğim	0,088 % = 1 : 1142

Çizelge 3.38 : DW20 deformasyon değerleri

DW20	
2 Ray Arası Yatay Fark	0 mm
2 Ray Arası Düşey Fark	2 mm
Dönme	0,029 °
Düşey Deplasman	12 mm
Yatay Deplasman	7 mm
Eğim	0,050 % = 1 : 1993

3.4 TS EN 13848 Normuna Göre Demiryolu Geometrik Bakım ve Güvenlik Limitleri

TS EN 13848 normuna göre şehir içi raylı sistemlerde gözetilecek olan bakım ve güvenlik limitleri aşağıda tablo halinde verilmektedir.

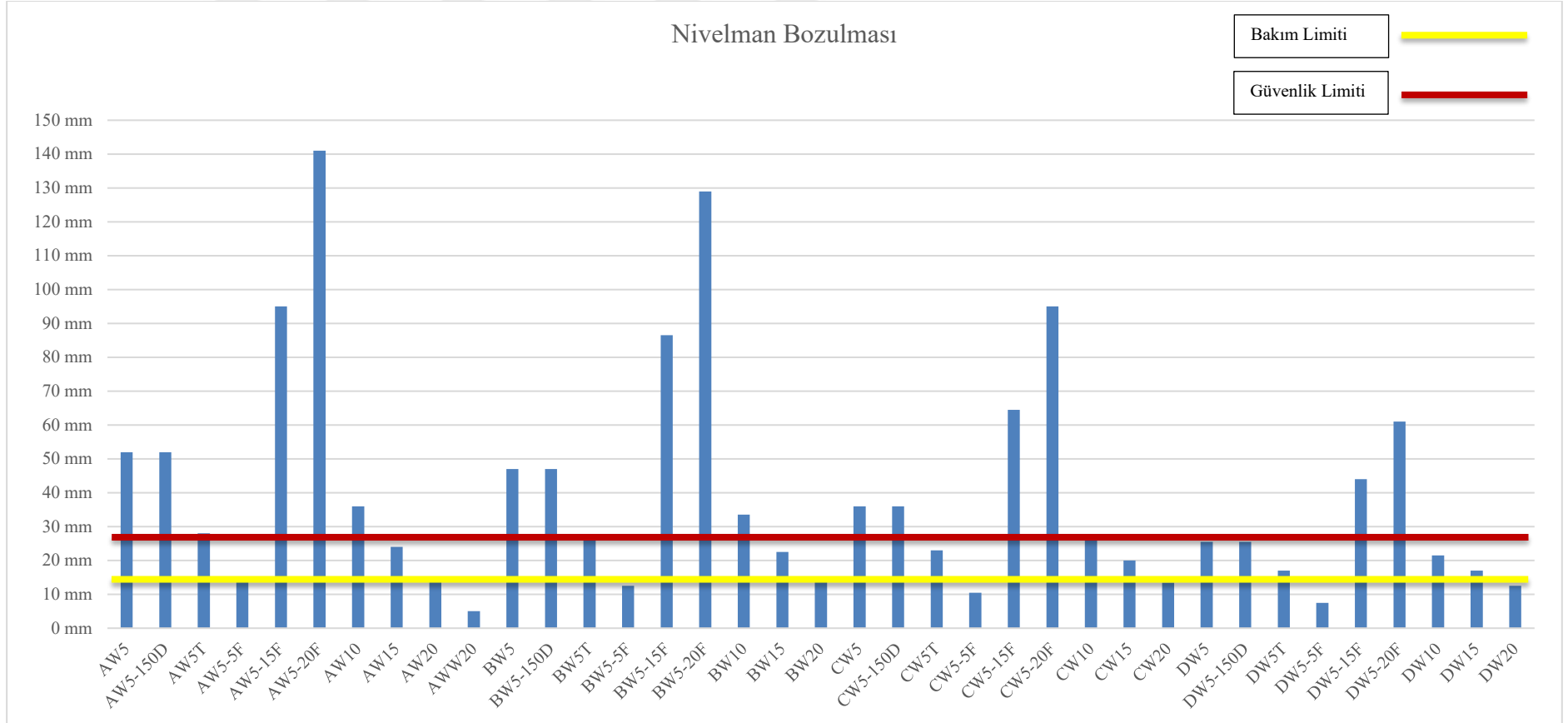
Çizelge 3.39 : Kent İçi Raylı Sistemler İçin Limit Değerler

Bozulma Türleri	Bakım Limiti	Güvenlik Limiti
Ekartman	25/-6 mm	32/-8mm
1m ara ile ekartman farkı	4 mm	5 mm
Dever	10 mm	20 mm
Nivelman (10m boyunda)	12 mm	28 mm
Dresaj (10m boyunda)	12 mm	22 mm
Burulma (Aks Aralığı)	0,40%	0,70%
Burulma (Boji Aralığı)	0,30%	0,70%

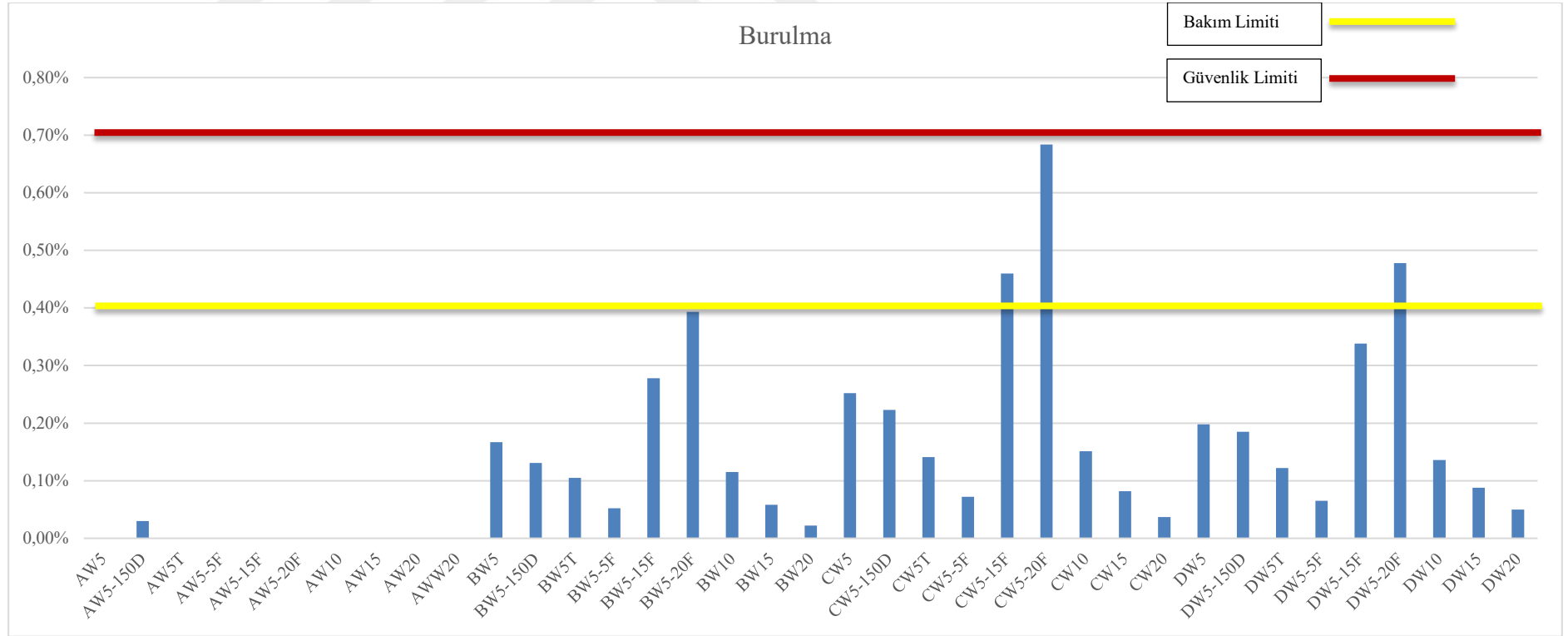
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmaların sonuçları bakım ve güvenlik limitleri ile birlikte müteakip sayfalardaki grafikler aracılığıyla verilmektedir. Değerlendirmeler bu grafikler üzerinden sağlanacaktır. Burada bakım limiti; geometrik bakım için gerekli olan eşiği tanımlamaktadır. Güvenlik limiti ise derayman riski teşkil edebilecek eşiği tanımlamaktadır. Hat bakım çalışmalarının bakım-güvenlik aralığı bölgesinde yapılması işletme maliyet tasarrufu, konforu ve güvenliği açısından önem arz etmektedir.

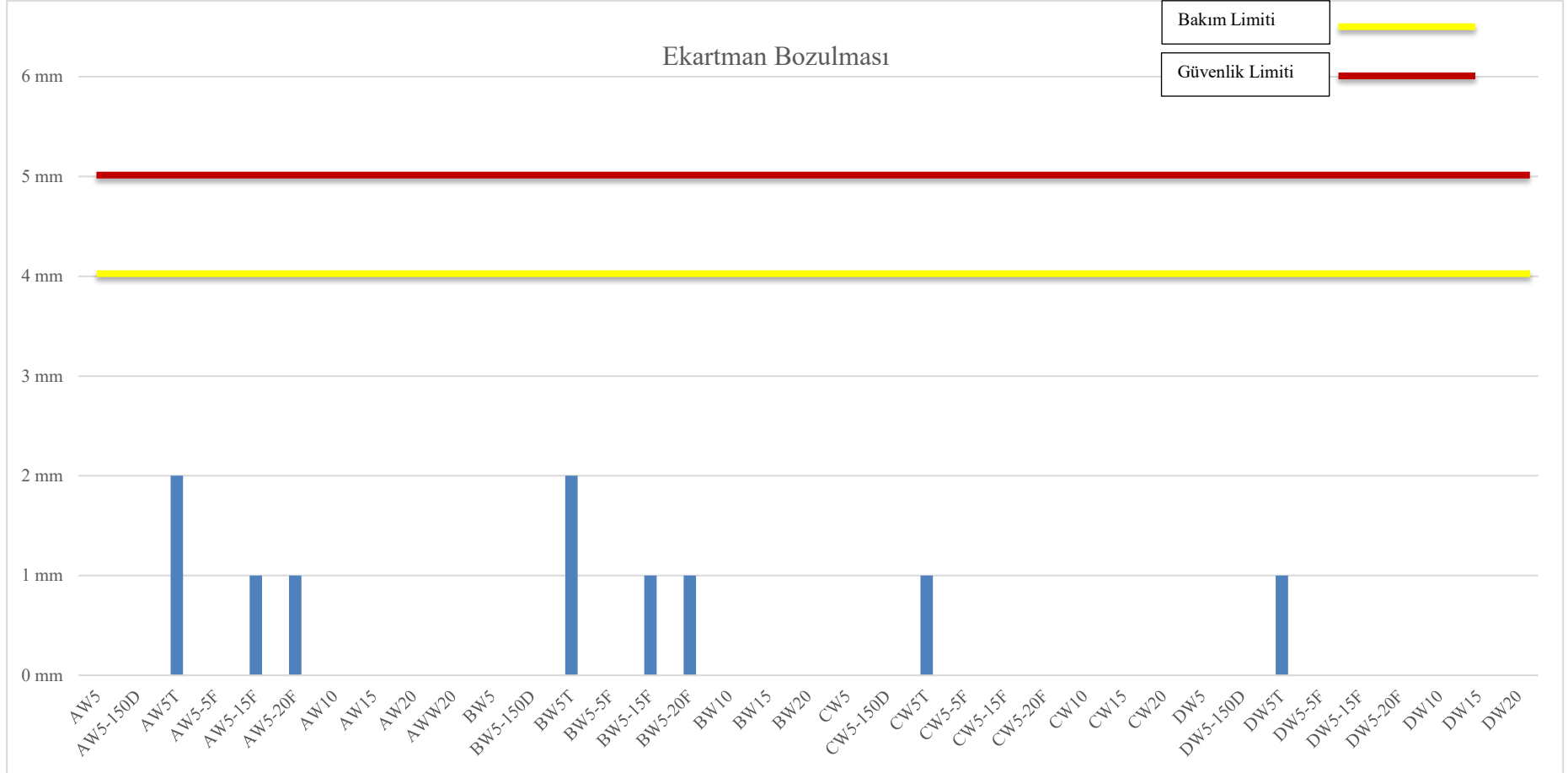
Çizelge 4.1 : Nivelman Bozulması



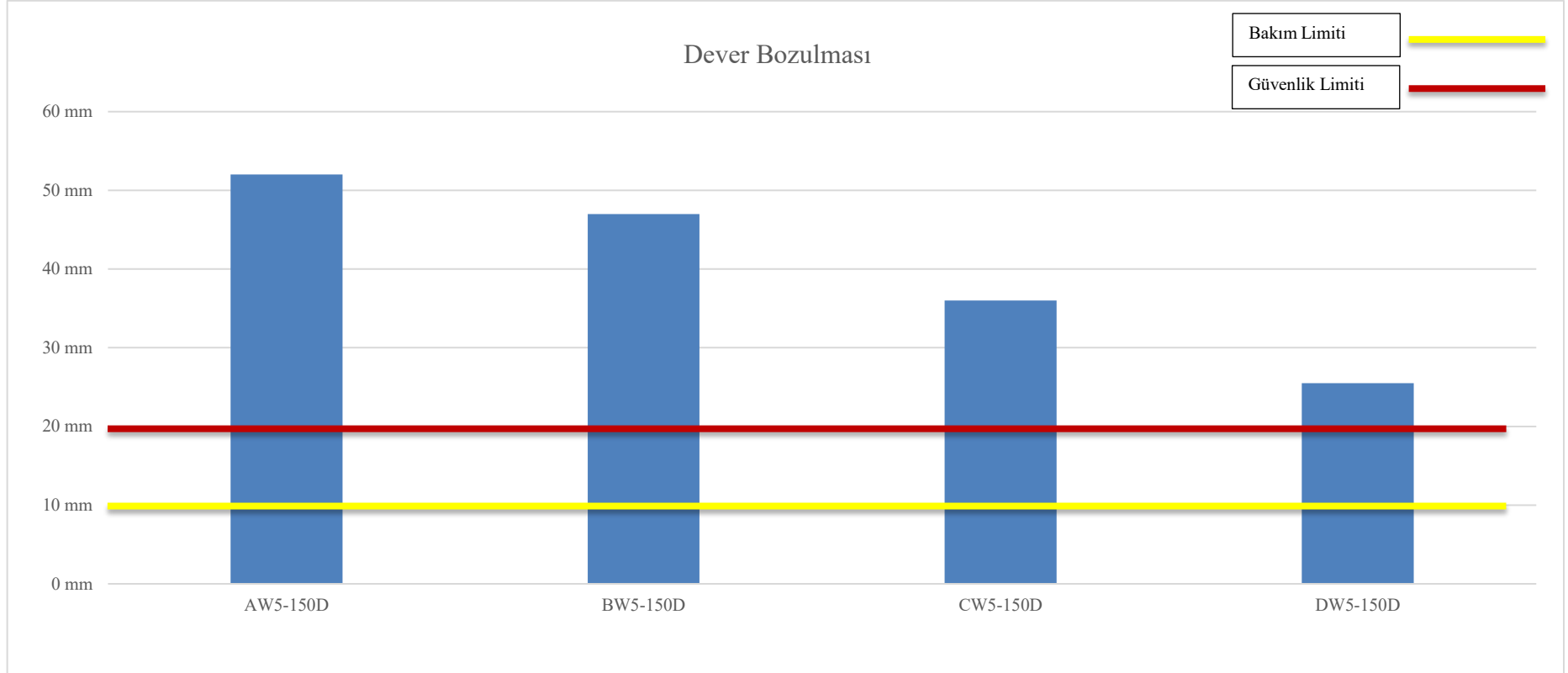
Çizelge 4.2 : Burulma



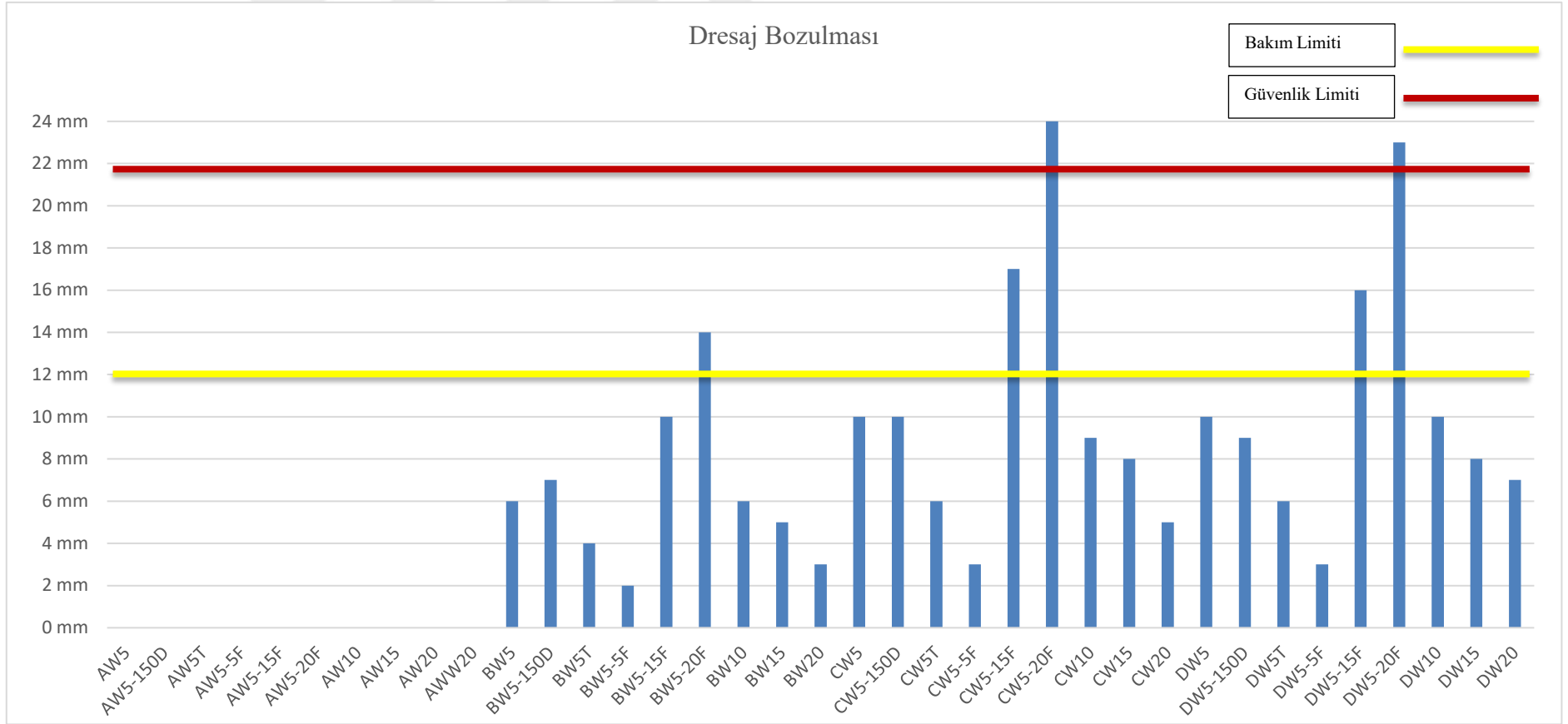
Çizelge 4.3 : Ekartman Bozulması



Çizelge 4.4 : Dever Bozulması



Çizelge 4.5 : Dresaj Bozulması



Nivelman bozulması için bu çalışmaya göre değerlendirme yapıldığında;

- Nivelman bozulması olarak tanımladığımız düşey eksendeki bozulmalar, kentleşmeden kaynaklı oluşumlarda görülebilecek en muhtemel bozulma türüdür.
- Yapı kat sayısı artışı nivelman bozulmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Örnek olarak sırasıyla AW5-5F, AW5, AW5-15F, AW5-20F yüklemelerinin nivelman bozulması sırasıyla 14mm, 52mm, 95mm ve 141mm'dir. Genel olarak yapı kat sayısı üzerinden bir değerlendirme yapmak gerekirse 5 kattan yüksek yapılarda nivelman bozulması kritik seviyeye gelmektedir. Kontrol edilmelidir.
- Yapı temeline uzaklık artışı nivelman bozulmasını azaltmaktadır. Örnek olarak sırasıyla AW5, AW10, AW15, AW20 yüklemelerinin nivelman bozulması sırasıyla 52mm, 36mm, 24mm, 14mm'dir. Genel olarak yapı temeline uzaklık açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse 20m'den daha az olan mesafelerde nivelman bozulması kritik seviyeye gelmektedir. Kontrol edilmelidir.
- Yapı temeline göre dışmerkezlik artışı nivelman bozulmasını azaltmaktadır. Örnek olarak sırasıyla AW5, BW5, CW5, DW5 yüklemelerinin nivelman bozulması sırasıyla 52mm, 47mm, 36mm, 26mm'dir. Genel olarak yapı temeline göre dışmerkezlik açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse yapının altından geçen tüm durumlarda nivelman bozulması kritik seviyeye gelmektedir. Kontrol edilmelidir.
- Tünel tipine göre değişim de nivelman bozulması üzerinde etkilidir. Örnek olarak sırasıyla AW5, AW5T yüklemelerinin nivelman bozulması 52mm, 28mm'dir. Genel olarak değerlendirmek gerekirse makas tünellerinde aynı şartlardaki anahat tünellerine göre daha az nivelman bozulması oluşma riski bulunmaktadır.

Burulma hatası için bu çalışmaya göre değerlendirme yapıldığında;

- Burulma hatası, belirli ekstrem yüklemeler haricinde kritik seviyeye ulaşmamaktadır. Genel olarak dışmerkezli yükleme durumlarından, kaynaklı oluşmaktadır.
- Yapı kat sayısı artışı burulmayı dışmerkezliğin olmadığı durum haricinde olumsuz yönde etkilemektedir. Dışmerkezliğin olmadığı durumda kat sayısı ne olursa olsun burulmaya bir etkisi bulunmamaktadır. Örnek olarak sırasıyla CW5-5F, CW5, CW5-15F, CW5-20F yüklemelerinin burulması sırasıyla %0,07, %0,25, %0,46 ve %0,68'dir. Genel olarak yapı kat sayısı üzerinden bir değerlendirme yapmak gerekirse 10 kattan yüksek yapılarda burulma kritik seviyeye gelmektedir. Kontrol edilmelidir.
- Yapı temeline uzaklık artışı burulmayı azaltmaktadır. Örnek olarak sırasıyla CW5, CW10, CW15, CW20 yüklemelerinin burulma miktarı sırasıyla %0,25, %0,15, %0,08, %0,04'dir. Genel olarak yapı temeline uzaklık açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse burulma kritik seviyeyi aşmamaktadır.
- Yapı temeline göre dışmerkezlik artışı burulmayı genel olarak arttırmaktadır. Ancak lineer bir artış durumu söz konusu değildir. Örnek vermek gerekirse sırasıyla AW5, BW5, CW5, DW5 yüklemelerinin burulma miktarı sırasıyla %0,0, %0,17, %0,25, %0,20'dir. Genel olarak dışmerkezlik burulma oluşumunu desteklemektedir. Kat sayısı ve dışmerkezlik birleşiminde bazı durumlarda kritik seviye aşılmaktadır.
- Tünel tipine göre değişim de burulma üzerinde etkilidir. Örnek olarak sırasıyla BW5, BW5T yüklemelerinin burulması %0,17, %0,11'dir. Nivelman bozulmasında da görüldüğü gibi tünel tipi burulma miktarı üzerinde etken olarak yer almaktadır. Genel olarak makas tünelleri yapılaşmadan daha az etkilenmektedir.

Dresaj bozulması için bu çalışmaya göre değerlendirme yapıldığında;

- Dresaj bozulması, belirli ekstrem yüklemeler haricinde kritik seviyeye ulaşmamaktadır. Genel olarak dışmerkezli yükleme durumlarından, kaynaklı oluşmaktadır. Bu sebeple burulma hatasının görüldüğü yerlerde dresaj bozulmasının da görülmesi beklenmektedir.
- Yapı kat sayısı artışı dresaj bozulmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Temel aksından yapılan yüklemelerde dresaj bozulması oluşmamaktadır. Örnek olarak sırasıyla CW5-5F, CW5, CW5-15F, CW5-20F yüklemelerinin dresaj bozulması sırasıyla 3mm, 10mm, 17mm ve 24mm'dir. Genel olarak yapı kat sayısı üzerinden bir değerlendirme yapmak gerekirse 10 kattan yüksek yapılarda dresaj bozulması kritik seviyeye gelmektedir. Kontrol edilmelidir.
- Yapı temeline uzaklık artışı dresaj bozulmasını azaltmaktadır. Örnek olarak sırasıyla CW5, CW10, CW15, CW20 yüklemelerinin dresaj bozulması miktarı sırasıyla 10mm, 9mm, 8mm, 5mm'dir. Genel olarak yapı temeline uzaklık açısından bir değerlendirme yapmak gerekirse dresaj bozulması kritik seviyeyi aşmamaktadır.
- Yapı temeline göre dışmerkezlik artışı dresaj bozulmasını arttırmaktadır. Ancak lineer bir artış durumu söz konusu değildir. Örnek vermek gerekirse sırasıyla AW5, BW5, CW5, DW5 yüklemelerinin dresaj bozulması miktarı sırasıyla 0mm, 6mm, 10mm, 10mm'dir. Genel olarak dışmerkezlik dresaj bozulması oluşumunu desteklemektedir. Kat sayısı ve dışmerkezlik birleşiminde bazı durumlarda kritik seviye aşılmaktadır.
- Tünel tipine göre değişim de dresaj bozulması üzerinde etkilidir. Örnek olarak sırasıyla BW5, BW5T yüklemelerinin dresaj bozulması 6mm, 4mm'dir. Nivelman bozulmasında da görüldüğü gibi tünel tipi dresaj bozulması miktarı üzerinde etken olarak yer almaktadır. Genel olarak makas tünelleri yapılaşmadan daha az etkilenmektedir.

Ekartman bozulması için bu çalışmaya göre değerlendirme yapıldığında;

- Ekartman bozulması, genel olarak kentleşmeden en az etkilenen geometrik bozulma türüdür. Sınır değerlere ekstrem koşullar (yatay hizada derin temel imalatları, ek tünel imalatları vb.) haricinde ulaşmak mümkün görünmemektedir. Kentleşmeden kaynaklı ekartman bozulması oluşum sürecinde iken diğer bozunma türleri gerçekleşmiş ve sınır değerlerine ulaşmış olacaktırlar. Diğer bozunma türleriyle bileşke olarak oluşması beklenmekte ancak hiçbir durumda baskın bozulma durumu olması beklenmemektedir.

Dever bozulması için bu çalışmaya göre değerlendirme yapıldığında;

- Dever bozulması, nivelman bozulması ile benzer bir oluşum mekanizmasına sahiptir. Bu yüzden ekartman bozulmasından sonra oluşumu en muhtemel bozulma türüdür. Nivelman bozulması görülen yatay kurp içerisindeki bölgelerde dever bozulması da beklenmektedir. Kontrol edilmelidir.

Yapılan çalışma neticesinde metro sistemleri gibi şehir içi ulaşım çözümlerinde kentleşme unsurunun ray düzlemi üzerinde bazı senaryolarda kritik deformasyon seviyelerine ulaşmasına neden olduğu görülmüştür. Bu etkiler bakım limitleri dahilinde olduğunda bakım sürelerinin kısalmasına, işletme maliyetlerinin artmasına, işletme titreşim limitlerinin aşılmasına, titreşimle birlikte gürültü limitlerinin aşılmasına ve yolcu seyahat konforunun etkilenmesine sebebiyet verebilecektir. Bu etkiler güvenlik limitlerini aştığında ise derayman riski oluşturabilecek kadar ciddi sorunlara sebebiyet verebilecektir.

Konu işletmeci tarafından ele alındığında ortaya çıkabilecek mali ve hukuki yükümlülüklerin konut sahipleri tarafında ne gibi sonuçlar doğuracağı ayrıca üzerinde durulması gereken bir konudur. Araştırılması önerilmektedir.

Bu çalışmadan çıkan sonuçlara dayanarak kentleşme ile birlikte mevcut işletmesi devam eden metro türü yapılarda ray düzlemi için de limit kontrollerinin yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- AREMA**, (2006). Manual for Railway Engineering (Report No. 4). USA.
- Arlı V.**, (2019). Demiryolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi.
- Brooks D.** (2020). Geotechnics for Railway Engineers, Kindle Store.
- Coduto D.** (2006) Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar, Gazi Kitabevi.
- Desai C., Zaman M.**, (2014). Advanced Geotechnical Engineering Soil–Structure Interaction Using Computer and Material Models, CRC Press.
- Güngör, E.** (2002). Demiryolu, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- İstanbul Ulaşım A.Ş.**, (2004), İstanbul Kentiçi Ulaşımında Raylı Sistemler, İBB, Ulaşım A.Ş., İstanbul.
- Knothe, K., Grassie, S.L.**, (1993) “Modeling of Railway Track and Vehicle/Track Interaction at High Frequencies”, Vehicle System Dynamics 22, 209-262, Netherlands.
- Leykauf, G.**, (1990) Güçlü Bir Demiryolu Üstyapısından Beklenen Koşullar.
- Lichtberger B.** (2005). Track Compendium. Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics, Hamburg, Germany.
- Li D., Hyslip J., Sussmann T., Chrismer S.**, (2002). Railway Geotechnics, Kindle Store.
- Öztürk, P.D.Z.**, (2010). Demiryolu Üstyapısı ile ilgili Özel Konular, İTÜ Ulaştırma Anabilim Dalı Ders Notları.
- Plaxis 2D V22**, (2022). Reference Manual
- Potts D., Zdravkovic L.**, (1999). Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering Theory, Thomas Telford Publishing.
- Profillidis, V.** (1995). Railway engineering, Avebury Technical.
- Raylı Sistem Daire Başkanlığı**, (2019). Metro Tasarım Kriterleri ve Genel Esaslar, Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü, İBB.
- Satish Chandra, D.** (2007). Railway Engineering, Oxford Higher Education, Oxford University Press.
- TS EN 13848-1:2019**, Demiryolu uygulamaları - Hat - Hat geometrisi kalitesi - Bölüm 1: Hat geometrisinin karakterizasyonu.
- TS EN 13848-2:2006**, Demiryolu uygulamaları - Hat - Hat geometri kalitesi - Bölüm 2: Ölçüm sistemleri – Hat kayıt araçları.

- TS EN 13848-3:2009**, Demiryolu uygulamaları - Hat - Hat geometri kalitesi - Bölüm 3: Ölçme sistemleri – Hat yapımı ve bakım makineleri.
- TS EN 13848-4:2011**, Demiryolu uygulamaları - Hat - Hat geometri kalitesi - Bölüm 4: Ölçme sistemleri – Manuel ve hafif cihazlar
- TS EN 13848-5**, Demiryolu uygulamaları - Parça - Parça geometri kalitesi - Bölüm 5: Geometrik kalite seviyeleri - Düz çizgi, anahtarlar ve geçişler.
- TS EN 13848-6:2014**, Demiryolu uygulamaları – Hat - Hat geometri kalitesi - Bölüm 6: Hat geometri kalitesinin karakterizasyonu.
- Tuna H.**, (2000). TCDD’de Yol Üstyapı Bakım Onarım Çalışmalarının Etkin ve Ekonomik Hale Getirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.
- UIC**, (2008). Best Practice Guide for Optimum Track Geometry Durability. Paris, France: ETF -Railway Technical Publications.
- Veit W.**, (1999). Evaluation Model Optimises Track Renewal and Maintenance Strategies, Railwaygazette, 155, 648-650.
- Vuchic V.** (2007). Urban Transit Systems and Technology, John Wiley & Sons, Inc.
- Quanmei G., Yao S., Xiaoming Y., Shunhua Z.**, (2014). Shield Tunneling Analysis and Measures Under Elevated High-Speed Railway, Department of Urban Rail Transit and Railway Engineering, Tongji University, Shanghai, China

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Süleyman Türedi

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Gazi Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2019 Tasarım Mühendisi - HARTEK
- 2019-2021 Tasarım Mühendisi – Ümraniye-Ataşehir-Göztepe Metro Projesi (Gülermak - Nurol Metro Yapım Ortaklığı)
- 2021- Kıdemli Mühendis - Yüksel Proje A.Ş.