



**BALASTLI DEMİRYOLU VE BALASTSIZ DEMİRYOLUNUN ANSYS
PROGRAMI YARDIMIYLA ANALİZİNİN YAPILMASI VE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Burçin AĞBABA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Burçin AĞBABA tarafından hazırlanan “BALASTLI DEMİRYOLU VE BALASTSIZ DEMİRYOLUNUN ANSYS PROGRAMI YARDIMIYLA ANALİZİNİN YAPILMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 27/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burçin AĞBABA

27/09/2019

BALASTLI DEMİRYOLU VE BALASTSIZ DEMİRYOLUNUN ANSYS PROGRAMI
YARDIMIYLA ANALİZİNİN YAPILMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Burçin AĞBABA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek hızlı tren hattına ait balastlı ve balastsız demiryolu ANSYS sonlu eleman yazılımı yardımıyla modellenmiş olup, bu modellere ilişkin statik ve dinamik gerilme analizleri yapılmıştır. Statik analizde mevcut yükün altında modelde meydana gelen gerilmeler ile yer değiştirmeler incelenmiştir. Dinamik analizinde ise belirli bir zaman diliminde hareket halindeki trenin demiryolunda meydana getirdiği gerilmeler ve yer değiştirmeler incelenmiştir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Bilim Kodu : 91130
Anahtar Kelimeler : Balastlı ve balastsız demiryolu, Mekanik analiz, Ansys
Sayfa Adedi : 98
Danışman : Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ

COMPARISON AND ANALYSIS OF SLAB TRACK AND BALLAST RAIL WITH
ANSYS SOFTWARE

(M. Sc. Thesis)

Burçin AĞBABA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

In this study, certain parts of ballast and ballastless rail roads belonging to high speed train line were modeled with ANSYS finite element software and static and dynamic stress analyses were performed. In the static analysis, stresses and displacements under the vertical loads were investigated. In the dynamic analysis, stresses and displacements caused by the train on the railway in a certain time period were examined. The results were analyzed comparatively.

Science Code : 91130

Key Words : Slab track and ballast rail, Mechanical analysis, Ansys

Page Number : 98

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Bahadır ALYAVUZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince beni yönlendiren, engin bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve tez çalışmamın şekillenmesini sağlayan değerli hocam, kıymetli büyüğüm, danışmanım Sayın Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ' a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Hayatım boyunca hiçbir zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen, bu günlere gelmemde en büyük emeğe sahip olan ve haklarını asla ödeyemeyeceğim kıymetli aileme ve her konuda her zaman benim arkamda olan değerli nişanlım Anıl Eren KEPEZ'e gönülden teşekkür ederim. Tanıdığım günden beri çalışkan kişilikleri ve değerli fikirleriyle iyi bir mühendis olmam yolunda emekleri olan sevgili çalışma arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması	2
1.2. Çalışmanın Amacı	4
2. DEMİRYOLU	5
2.1. Demiryolunun Tarihsel Gelişimi.....	5
2.2. Demiryoluna Etki Eden Kuvvetler	8
2.3. Demiryolunun Yapısı	9
2.3.1. Demiryolu hattını oluşturan elemanlar	10
2.3.2. Balastlı üstyapı	21
2.3.3. Balastsız üstyapı.....	22
3. BALASTLI DEMİRYOLU VE BALASTSIZ DEMİRYOLUNUN ANALİZİ	33
3.1. ANSYS Yazılımı.....	33
3.2. Analizler	34
3.2.1. Problem geometrisinin tanımı	35
3.2.2. Statik analiz için ANSYS modeli.....	37
3.2.3. Dinamik analiz için ANSYS modeli	44

	Sayfa
3.3. Analiz Sonuçları.....	49
3.3.1. Statik analiz sonuçları	50
3.3.2. Dinamik analiz sonuçları	61
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Statik analiz sonuçları.....	60
Çizelge 3.2. Dinamik analiz sonuçları	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Demiryolunu oluşturan bileşenler	10
Şekil 2.2. Ray profilleri	11
Şekil 2.3. a) Vinyol (patenli) ray, b) Oluklu ray kesiti	12
Şekil 2.4. Travers yerleşimleri	14
Şekil 2.5. Balastlı üstyapı enkesiti	22
Şekil 2.6. Balastsız üstyapıda tabakaların sıralanması.....	23
Şekil 2.7. Rheda2000balastsız üstyapı enkesiti	26
Şekil 2.8. Züblin balastsız üstyapı enkesiti.....	26
Şekil 2.9. Walter balastsız üstyapı enkesiti.....	29
Şekil 2.10. a) Sonneville ve LVT sistemlerindeki travers uygulaması, b) Betonarme travers/blok	30
Şekil 2.11. Infundo-Edilon balastsız üstyapı enkesiti	31

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Oluklu granit yollar	6
Resim 2.2. Alsace madenleri.....	6
Resim 2.3. Metal ray üzerinde at ile çekilen tramvay	7
Resim 2.4. Fransız SNCF şirketine ait TGV treni.....	8
Resim 2.5. Teker ve dingil aksamı içeren bir boji	9
Resim 2.6. Ahşap, betonarme, çelik ve plastik travers uygulamaları	13
Resim 2.7. a) Rijit endirekt bağlantı elemanı (soldaki), b) Elastik endirekt bağlantı elemanı (sağdaki)	17
Resim 2.8. a) Rijit direkt bağlantı elemanı (soldaki), b) Elastik direkt bağlantı elemanı (sağdaki)	17
Resim 2.9. Travers bağlantı sistemi	18
Resim 2.10. Balast malzemesi olarak kullanılan kayaç örnekleri	19
Resim 2.11. Balastlı üstyapı örnek enkesiti	22
Resim 2.12. Balastsız üstyapı	23
Resim 2.13. Monoblok traverslerle hazırlanmış Rheda üstyapısı.....	24
Resim 2.14. Rheda Berlin balastsız üstyapı enkesiti	25
Resim 2.15. Züblin üstyapı sisteminde traverslerin döşenmesi	27
Resim 2.16. Heitkamp balastsız üstyapı enkesiti	28
Resim 2.17. Shinkansen üstyapı sistemi	28
Resim 2.18. ATD balastsız üstyapı enkesiti	31
Resim 2.19. Berlin Tramvay Hattı ATD sistemi	32
Resim 2.20. Hannover-Berlin yüksek hızlı tren hattı 2.versiyon BTM sistemi	32
Resim 3.1. Balastlı demiryolu katmanları.....	36
Resim 3.2. Balastsız demiryolu katmanları	36
Resim 3.3. Balastlı demiryolu modelinde bulunan elemanların/katmanların malzeme özelliklerinin tanımlanması	38

Resim	Sayfa
Resim 3.4. Balastlı demiryolu modeline ait elemanların/katmanların sınır koşullarının belirlenmesi	39
Resim 3.5. Statik teker yükünün (Q), balastlı demiryolu modelinde uygulanmış hali	40
Resim 3.6. Balastlı demiryolu modelinin sonlu elemanlar ağı	41
Resim 3.7. Balastsız demiryolu modelinde bulunan elemanların/katmanların malzeme özelliklerinin tanımlanması	42
Resim 3.8. Balastsız demiryolu modeline ait elemanların/katmanların sınır koşullarının belirlenmesi	42
Resim 3.9. Statik teker yükünün (Q), balastsız demiryolu modelinde uygulanmış hali	43
Resim 3.10. Balastsız demiryolu sonlu eleman ağı	43
Resim 3.11. Dinamik analizde kullanılan balastlı demiryolu modelinin 3b görünümü.....	45
Resim 3.12. Balastlı demiryolu modelinde bulunan ray ve teker arasındaki temas yüzeylerinin özelliğinin belirlenmesi	46
Resim 3.13. Tekerlere tanımlanan açısal hızların değerleri ve yönleri.....	46
Resim 3.14. Dinamik analizde kullanılan balastsız demiryolu modelinin 3b görünümü.....	47
Resim 3.15. Balastsız demiryolu modelinde bulunan ray ve teker arasındaki temas yüzeylerinin özelliğinin belirlenmesi	48
Resim 3.16. Tekerlere tanımlanan açısal hızların değerleri ve yönleri.....	49
Resim 3.17. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	50
Resim 3.18. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	50
Resim 3.19. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	51
Resim 3.20. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	51
Resim 3.21. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	52

Resim	Sayfa
Resim 3.22. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	52
Resim 3.23. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	53
Resim 3.24. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	53
Resim 3.25. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	54
Resim 3.26. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	54
Resim 3.27. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	55
Resim 3.28. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	55
Resim 3.29. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	56
Resim 3.30. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	56
Resim 3.31. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	57
Resim 3.32. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	57
Resim 3.33. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	58
Resim 3.34. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	58
Resim 3.35. Balastlı demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	59
Resim 3.36. Balastsız demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	59
Resim 3.37. Balastlı demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	60
Resim 3.38. Balastsız demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	60

Resim	Sayfa
Resim 3.39. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	62
Resim 3.40. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	62
Resim 3.41. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	63
Resim 3.42. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	63
Resim 3.43. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	64
Resim 3.44. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	64
Resim 3.45. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	65
Resim 3.46. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	65
Resim 3.47. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	66
Resim 3.48. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	66
Resim 3.49. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	67
Resim 3.50. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	67
Resim 3.51. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	68
Resim 3.52. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	68
Resim 3.53. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	69
Resim 3.54. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	69
Resim 3.55. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	70

Resim	Sayfa
Resim 3.56. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	70
Resim 3.57. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	71
Resim 3.58. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	71
Resim 3.59. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	72
Resim 3.60. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	72
Resim 3.61. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	73
Resim 3.62. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	73
Resim 3.63. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	74
Resim 3.64. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	74
Resim 3.65. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	75
Resim 3.66. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	75
Resim 3.67. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	76
Resim 3.68. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	76
Resim 3.69. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	77
Resim 3.70. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	77
Resim 3.71. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	78
Resim 3.72. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	78

Resim	Sayfa
Resim 3.73. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	79
Resim 3.74. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	79
Resim 3.75. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	80
Resim 3.76. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	80
Resim 3.77. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	81
Resim 3.78. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	81
Resim 3.79. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	82
Resim 3.80. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})	82
Resim 3.81. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	83
Resim 3.82. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	83
Resim 3.83. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	84
Resim 3.84. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri	84
Resim 3.85. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	85
Resim 3.86. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri	85
Resim 3.87. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	86
Resim 3.88. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz}).....	86
Resim 3.89. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	87

Resim	Sayfa
Resim 3.90. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri.....	87
Resim 3.91. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	88
Resim 3.92. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri.....	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
ω	Açısal Hız
v	Çizgisel Hız
τ	Kayma Gerilmesi

Kısaltmalar	Açıklamalar
cm	Santimetre
km	Kilometre
kN	KiloNewton
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
MPa	MegaPascal
s	Saniye

1. GİRİŞ

Demiryollarının sahip oldukları özelliklerden dolayı hem ulaştırmaya hem de ekonominin gelişmesine büyük katkısı bulunmaktadır. İstasyon, sinyalizasyon, emniyet vb. tesisleri ile birlikte ray, travers, raylara bağlanmış olan traverslerin altında, aralarında ve kafalarında bulunan kırmataş veya çakıldan oluşan balast tabakası gibi üst yapı elemanları ve bunların altında yer alan altyapı sistemi ile birlikte demiryolu hattını oluşturan tüm elemanların yeterli olması ve birbiri ile uyumlu çalışması demiryolunun güvenli taşıma işlemi açısından büyük önem arz etmektedir.

İnsanlık tarihinde, insanların ve eşyaların hızlı ve güvenli ulaşımının sağlanması gelişmiş toplumların üzerinde durduğu bir konu olmuştur. Yük nakli için 16. ve 18. yüzyıllar arasında ahşap hat üzerinde elle itilen veya atla çekilen vagonlar kullanılmış ve sonrasında demiryolunun gelişme süreci buharın kullanılması, kömür ve madenlerin işlenmesi gibi endüstride meydana gelen gelişimden önemli derecede etkilenmiştir. İlk demiryolu hatlarının inşası sırasında köprü, tünel, istinat duvarları ve zemin küçük ile ilgili inşaat mühendisliği konuları bu alanda yer alarak bir gelişim sağlanmıştır [1]. Elektrikli hatların demiryolu ulaşımı alanına girmesiyle birlikte yüksek hızlara ulaşılması, daha konforlu, güvenli yolculuk sağlanması için yapılan çalışmalar demiryolu gelişimini hızlandırmıştır. Günümüz demiryollarında hız 300 km/sa ve üzerine ulaşabilmektedir.

Demiryolu hattı düşey yönde etki eden ölü yükler, hız ve atalet etkileriyle oluşan dinamik yükler, ekzantrik düşey yük ve hareketli yükler nedeniyle oluşan enine doğrultudaki kuvvetler, ısı etkileri, fren veya itme mekanizmaları nedeniyle oluşan boyuna doğrultudaki kuvvetler, teker ve ray arasındaki temas kuvvetleri gibi etkiler ile büyük gerilme etkisi altındadır [1].

Demiryolu yapısı; altyapı ve üstyapı olmak üzere iki temel kısımdan oluşmaktadır. Altyapı; ulaşım hattında taşıtların hareket edeceği yüzeye destek olan platformun ve tesviye yüzeyinin altında kalan kısımdır. Alt balast, toprak gövde ve doğal zeminden oluşmaktadır. Yapıda altyapının üzerine oturan kısım ise “üstyapı” olarak adlandırılmaktadır. Üstyapı, demiryolu araçlarının oluşturduğu kuvvetlerin daha geniş alana yayılmasını ve araçların hareket etmesini sağlamaktadır. Üstyapı genel olarak iki ray,

rayları birbirine bağlayan ve gelen yükü karşılayan traversler ve traverslerden gelen yükü altyapıya indirgeyerek aktaran balast veya beton tabakasından oluşmaktadır.

Balastlı demiryolu yapısı genel olarak; ray, travers, balast, balast altı tabakası ve toprak gövdeden oluşmaktadır. Balastsız demiryolu yapısı ise genel olarak; ray, beton taşıyıcı tabaka ya da asfalt taşıyıcı tabaka, suyun etkisinden koruyucu hidrolik olarak bağlanmış tabaka, don koruma tabakası, temel tabakasından oluşmaktadır [2].

1.1. Literatür Çalışması

Moderen, balastsız demiryolu üstyapısının yapısal modellenmesi ve analizi üzerinde bir çalışma yapmıştır. SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanarak üstyapı-zemin sistemini modellenmiş ve modelin analizini yapmıştır. Çalışmasında ray, ray altlığı, betonarme plak ve zemin modellenmiştir. Sistem, UIC 702 Kodu'nun Yük Modeli 71 ve Yük Modeli SW/0 olarak adlandırılan yük modellerinden türetilen yüklemeler altında, iki farklı yükleme koşulu kullanılarak çözülmüştür. Farklı parametrelerin değişimi göz önünde bulundurulmuş ve plaktaki iç kuvvetlerin değişimi hesaplanmıştır. Çözümlerden elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi ile iç kuvvetlerin oluşumu hakkında bilgi verilmiştir [3].

Eroğlu, çalışmasında demiryoluna ait ekipmanlarının (ray, teker, ped ve travers) CAD ortamında katı modellerini oluşturmuş ve farklı durumlarda montajını yapmıştır. Bu çalışmada ray ve teker için gerçek ölçüler kullanılmıştır. Oluşturulan katı model, sonlu eleman programı olan ANSYS'e aktarılmıştır. Burada hem statik durum için hem de farklı hızlarda hareketler için analiz yapılmıştır. Ayrıca temas bölgesinde oluşan gerilmelerde incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda ray temas bölgesindeki aşınma istenmemesi göz önünde bulundurularak bu konu çerçevesinde tasarım aşamasında veya üretim konusunda yapılacaklar hakkında fikir sahibi olunmuştur [4].

Yalçın, demiryolu üstyapısının dinamik analizi konusunda bir inceleme yapmıştır. Çalışmasında seçilen standart yol modeli için frekans tanım alanlı çözüm metodu ile analitik çözümler yaparak, farklı yol bileşenlerinin kullanılması durumları için sonuçlar elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda da demiryolu yapısının hesabı aşamasında iyi yapılmış bir dinamik analize göre tasarımının yapılmasının meydana gelen

titreşimlerin etkisini en minimuma indirebileceği ve doğru boyutlandırma için dinamik analizin önemi vurgulanmıştır [5].

Bezgin, çalışmasında balastlı demiryolu hatları üzerine etki eden dinamik düşey kuvvet değerlerinin tren ağırlığına, hızına, hat düzensizliklerine, hat birim direncine ve tekerlek kusurlarına bağlı olarak değiştiğini belirtmiş olup söz konusu kuvvetleri oluşturan değişkenlerin değerlerindeki belirsizliklerden dolayı da hat üzerine etki eden dinamik kuvvet değerlerinin ancak belirli varsayımlar altında istatistiki olarak değerlendirilebileceğini vurgulamıştır. Bezgin bu çalışmasında öncelikle balastlı hat üzerine etki eden yüklerin statik ve dinamik hallerini ele alınarak hat üst yapısı içerisindeki gerilmelerin indirgenmesi irdelenmiştir [6].

Nguyen ve arkadaşları çalışmalarında, demiryolu hatlarının altyapısı üzerindeki dinamik trafik yükü etkilerinin hesaplanması için en uygun ve verimli modelleri geliştirmek, ardından daha önce seçilen araç/palet dinamik modelinden ve hat yerleşimi yasasından oluşan bir balast hattı yerleşimi tahmin modeli kullanarak, balast hattı yerleşimindeki dinamik etkiyi değerlendirmişlerdir. Hesaplamalar, doğrudan zaman entegrasyonlu dinamik sonlu eleman modellerine, tekerlek ve demiryolu arasındaki temas ve demiryolu araçları ile etkileşime dayanmaktadır. Hat yerleşim kuralı, balast yerleşim kuralının uzun dönem davranışını temsil eden yükleme döngüsünün sayısı ve yüklemenin şiddeti fonksiyonu olarak düşünülmüştür [7].

Tacıroğlu ve arkadaşları, Ankara-Eskişehir Yüksek Hızlı Tren hattı ile ilgili çalışmalarında hat kalitesine etki eden etkenleri belirlemeye çalışmışlardır. Bunun için incelenen hat geometrisi dikkate alınarak bölümlere ayrılmış ve daha sonra hat kontrol trenleri ile yapılan ölçümlerin verileri analiz edilerek hangi kesimde ne kadar bozulma olduğu belirlenmiş ve bozulma olan kesimlerde hat kalitesinin değişimi irdelenmiştir. Hat kalitesine etki eden parametreleri belirlemek için regresyon modelleri oluşturulmuş ve bu modellere göre hat kalitesine etki eden faktörler trafiğe bağlı parametreler, hat kesimi tipi ve hat kalitesinin bir önceki ölçümdeki değeri olarak belirlenmiştir [8].

Kaewunruen ve arkadaşlarının çalışmaları, demiryolu traverslerinin etki davranışlarını, demiryolu güvenliği ve güvenilirliği için kritik öneme sahip delik ve ağ açıklıkları ile titizlikle araştırması nedeniyle dünyada ilktir. Bu çalışmada, ABAQUS Explicit kullanılarak üç boyutlu sonlu eleman modellemesi, ön germeli beton traverslerin çeşitli

yüklemelerinde ve ağı açıklıklarında davranışlarını kapsamlı bir şekilde tasarlamak ve analiz etmek için kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada, betonda hasar görmüş plastiklik modelini ve kırılma çatlama modelini içeren iki farklı modelleme tekniği de kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, gevrek çatlama modelinin, çarpma yükü altında kırılma moduna ulaşana kadar çatlak yayılımını çok iyi gösterebileceği için daha iyi hasar sonuçları sağladığını göstermektedir [9].

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, balastlı ve balastsız olarak iki farklı şekilde modellenen demiryolu hattı üzerinde hem belirli bir statik yük altında hem de belirli bir hız altında meydana gelen gerilme ve yer değiştirme değerlerini elde etmektir. Ele alınan balastlı ve balastsız demiryolu hattının elemanlarında/katmanlarında oluşabilecek gerilme ve yer değiştirme farklarını ortaya koymaktır.

2. DEMİRYOLU

Demiryolu, hat üzerindeki araçların güvenli bir şekilde hareketini sağlamak, bu araçların oluşturduğu yatay ve düşey kuvvetlerini absorbe etmek, meydana gelen yatay ve düşey kuvvetleri hat çerçevesinde ve balast tabakası yardımıyla güvenli bir şekilde zemine aktarmak, konforlu ve güvenli yolculuk sağlamak şeklinde görevlere sahiptir [10].

Demiryolunun sahip olduğu özelliklerinden dolayı hem ulaşım hem de ekonominin gelişmesine büyük katkısı bulunur. Bu özellikler, demiryolunun istenilen zaman ve mevsim koşullarında hem yolcu hem de yük trenlerine olanak sağlaması, hem daha kolay hem de daha ucuz ulaşım sağlaması, çevreye verdiği zarar açısından diğer ulaşım türlerine nazaran daha zararsız olması, aynı trafik altında daha az enerji harcaması ve yüksek taşıma kapasitesine sahip olduğundan dolayı trafik yoğunluğunun olduğu saatlerde önemli ölçüde trafik karışıklığının çözümüne katkıda bulunmasıdır [11].

2.1. Demiryolunun Tarihsel Gelişimi

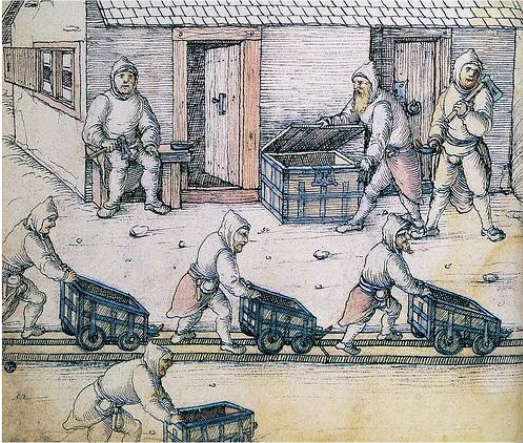
İnsanlık tarihinde, insanların ve eşyaların hem hızlı hem de güvenli ulaşımının sağlanması her toplum için önem arz etmiştir. Özellikle ulaşım alanında yapılan icatlardan; tekerleğin, demiryolunun ve uçağın keşfinin ulaşımın en temel icatları olduğu kabul görmektedir. 19.yüzyılın başında İngiliz maden ocaklarında demiryollarının ilk defa şekillenmesine rağmen günümüzdeki demiryollarının temelini 19.yüzyıldan daha öncesine dayandığı bilinmektedir [2].

Demiryolun temeli, M.Ö. 600'de Eski Yunan döneminde yüklerin taşınması için kullanılan oluklu izlere sahip granit yollar sayılmaktadır. Resim 2.1'de örneği gösterilen bu yolların uzunluğu 6-8,5 km arasında değişmekte olup oluk aralığı 1,5 m'dir. Bu açıklık günümüz demiryollarında kullanılan 1,435 m ray açıklığına oldukça yakın bir değerdir.



Resim 2.1. Oluklu granit yollar [2]

1550 yılında Basel’de, Resim 2.2’de gösterilen Alsace madenlerinde metal kılavuzlar üzerinde hareket eden vagonlar veya arabalar kullanılmaktadır. Yine bu tarihlerde Almanya madenlerinde, “Hund” adı verilen el ile itilen vagonlar kullanılmış olup bu teknoloji sonraki yıllarda İngiltere’ye getirilmiştir.



Resim 2.2. Alsace madenleri [2]

Demiryolunun gelişme süreci; buharın kullanılması, kömür ve madenlerin işlenmesi gibi endüstride meydana gelen gelişimden önemli derecede etkilenmiştir. İlk demiryolu uygulamaları, 1830’lu yıllarda Avrupa’nın birçok ülkesinde baş göstermiştir. Demiryolu gelişimi bu süreçlerle birlikte hızlı bir şekilde ilerleme göstermiştir. İlerleme göstermesinin en önemli nedenlerinden birisi ise demiryolunun yüksek hızlarla hızlı ulaşımı mümkün kılmasıdır. Resim 2.3’te 18. yüzyılın sonunda Avrupa ülkelerinde kullanılmaya başlanan metal ray ve üzerinde atlar ile ekilen tramvay gösterilmiştir.



Resim 2.3. Metal ray üzerinde at ile çekilen tramvay [1]

Demiryollarında, elektrikli çekimin 20.yüzyılın başlarında hayatımıza girmesiyle birlikte önemli ölçüde gelişme yaşanmıştır. Özellikle, yüksek hızlara ulaşılması, toplam maliyetin düşürülme çabası ve daha konforlu, güvenli yolculuk sağlanması için yapılan çalışmalar demiryolu gelişimini zorunlu hale getirmiştir. Belirtilen nedenler sayesinde günümüz demiryollarında hız artık 250-300 km/saat'e ulaşmaktadır.

İlk yüksek hızlı demiryolu uygulamaları dünyada Japonya'da yapılmıştır. Japonya'da 1964 yılında çalışmaya başlayan 515 km hat uzunluğundaki Tokyo-Osaka arasında ticari hız 210 km/saat olmuştur. Günümüzde Shinkansen Japonya'da 1850 km'yi aşkın bir ağa ulaşmış olup ağırlıklı olarak büyük kentleri birbirine bağlamakta ve 300.000.000 kişi/yıl taşıma hacmine ulaşmaktadır. Akabinde de Japonya günümüzde 450 km/saat'lerin üzerindeki hızlara ulaşan Maglev trenlerindeki geliştirmelere odaklanmıştır. Fransa'da ise ilk yüksek hızlı demiryolu hattı TGV tarafından Paris-Lyon arasında 1981 yılında açılmıştır. Bu hattın ilk dönemdeki işletim hızı 260 km/saat iken günümüzde bu değer 300 km/saat'lerin üzerindedir. Günümüzde TGV Fransa'da 45.000.000 kişi/yıl taşımacılık hacmi ile 5600 km'nin üzerinde geliştirilmiş hat ve 1280 kilometreden fazla da yeni hattı ihtiva etmektedir. 1990 yılında 515,3 km/saat'lik hız rekoru da Resim 2.4'te gösterilen TGV'ye aittir. Belirtilen ülkelerin dışında hızı 250 km/sa ve üzeri olan trenleri olan ülkeler de bulunmaktadır [8].



Resim 2.4. Fransız SNCF şirketine ait TGV treni [1]

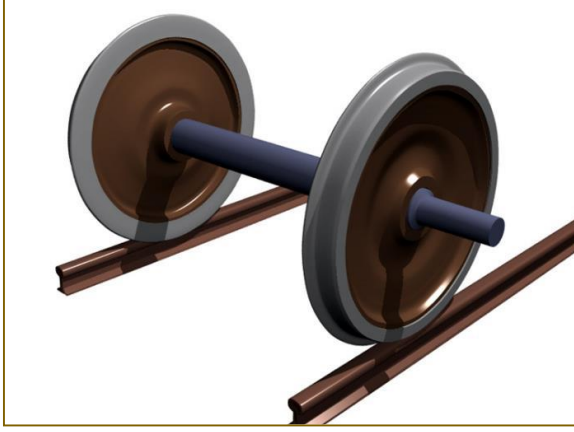
2.2. Demiryoluna Etki Eden Kuvvetler

Demiryolu ulaşımının diğer ulaşım türleri ile rekabet edebilir hale gelmesi için bazı özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Demiryolu ulaşımından beklenen özellikler şunlardır:

- Yüksek tren hızları
- Taşıma kapasitelerinin fazla olması
- Konforlu ve güvenli olması
- Maliyetinin minimum olması
- Kullanılan enerjinin az olması
- Gürültünün az olması [2].

Yukarıda belirtilen özellikler aynı zamanda ulaşım türünün seçilmesi için de tercih edilen parametreler arasında yer almaktadır. Demiryolu hatları üzerine etki eden kuvvetler, hareketsiz ve hareketli yük kavramlarının ötesinde değerlendirilmesi gereken kuvvetlerdir. Demiryolu araçlarında bulunan bir dingil ile birbirinden bağımsız hareket edemeyen ve düşey eksen etrafında dönmeyen iki tekerlek demiryolunda en basit taşıyıcı sistemdir. 1800' lü yıllarda vagon boyları 12-15 m sınırını aşamamakla beraber düşey eksen etrafında dönmeyen bazen 2 bazen ise 3 adet boji adı verilen bir aksam içerisinde bir araya getirilirdi. Düşey eksen etrafında hareketliliğin sağlanması için vagon boyları 25-30 m uzunluklara ulaşabilmiştir. Düşey ekseni etrafında dönmeyen tekerler Resim 2.5'te gösterildiği gibi bir boji içerisinde birleştirildiklerinde düşey eksen etrafında hareketlilik kazanır. Taşıyıcının taşıdığı araç gövdesinin hat üzerindeki hareketi bojinin tam

merkezinde görülen ve düşey eksen etrafında dönmeye izin veren mesnet ile sağlanmaktadır [6].



Resim 2.5. Teker ve dingil aksamı içeren bir boji [6]

Şehir için tramvay, hafif raylı ve ağır raylı sistemlerin hareketsiz (statik) halde dingil yükleri 9 – 15 Ton, banliyö veya şehirlerarası elektrikli yolcu tren vagonlarının statik dingil yük değeri 17 – 18 Ton, yük trenlerinin statik dingil yükleri 22,5 – 25 Ton mertebesinde. Ayrıca yük trenlerinin statik dingil yükleri özel maden hatlarında 35 Ton'a kadar çıkabilmektedir. Elektrikli trenlerin tahrik kabiliyetine sahip (ivmelenme sağlayan) dingillerinin statik ağırlık değerleri, vagonlar için belirtilen değerlerden ortalama 1 – 2 Ton daha fazladır. 4 dingilli bir yolcu vagonunun hat üzerine etki eden statik ağırlığı 68 – 72 Ton ve bir yük vagonunun ağırlığı 90 – 100 Ton'dur. Bu bilgilere dayanarak elektrikli bir hızlı tren setinin ağırlığı vagon sayısına bağlı olarak 250 – 450 Ton arasında değişmektedir [12].

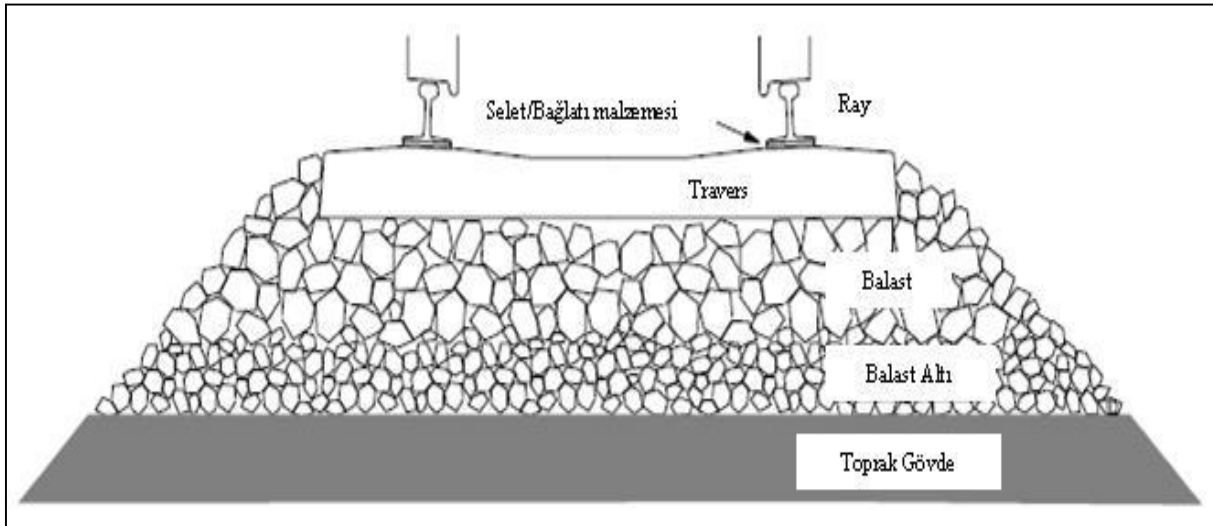
Demiryoluna etki eden kuvvetler ilk olarak teker ve ray arasındaki temas ile raylara aktarılır. Daha sonra raylarda meydana gelen yük traverse indirgenir ve daha sonra travers üzerinden de yük geniş bir alana yayılarak balasta aktarılır. Balasta aktarılan yük, azaltılarak alt balasta daha sonra da zemine iletilir.

2.3. Demiryolunun Yapısı

Demiryolu yapısı; Şekil 2.1'de gösterildiği gibi altyapı ve üstyapı olmak üzere iki temel kısımdan oluşmaktadır.

Altyapı; ulaşım hattında taşıtların hareket edeceği yüzeye destek olan platformun ve tesviye yüzeyinin altında kalan kısımdır. Alt balast, toprak gövde ve doğal zeminden oluşmaktadır.

Yapıda altyapının üzerine oturan kısım ise “üstyapı” olarak adlandırılmaktadır. Üstyapı, demiryolu araçlarının oluşturduğu kuvvetlerin daha geniş alana yayılmasını ve araçların hareket etmesini sağlamaktadır. Burada Şekil 2.1’de gösterildiği gibi iki ray, bu rayları birbirine bağlayan ve yükü altyapıya taşıyan traversler ve balast veya beton tabakası bulunmaktadır [13].



Şekil 2.1. Demiryolunu oluşturan bileşenler [1]

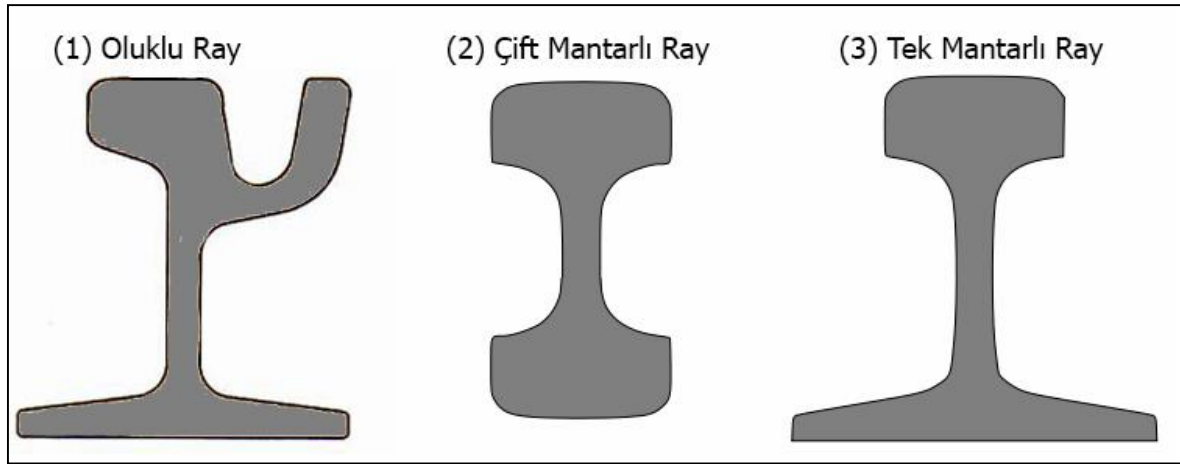
2.3.1. Demiryolu hattını oluşturan elemanlar

Balastlı demiryolu yapısı ray, travers, balast, balast altı tabakası ve toprak gövdeden oluşur. Buna karşılık balastsız demiryolu yapısı ise ray, beton taşıyıcı tabaka (BTT), suyun etkisinden koruyucu hidrolik olarak bağlanmış tabaka (HBT), don koruma tabakası (DKT) ve temel tabakasından oluşur [2]. Beton taşıyıcı tabaka yerine asfalt taşıyıcı tabaka (ATT) kullanılan durumlar da söz konusudur.

Raylar: Raylar, demiryolu araçlarından gelen yükleri traverslere veya diğer destek elemanlarına aktaran aynı zamanda demiryolu araçları için direnimi düşük ve sürekli bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan üstyapının önemli elemanlarından [14].

Demiryolu üstyapısında kullanılan raylar, hatta etki eden hem statik hem de dinamik yükleri taşıyabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Ray tipi bu husus göz önüne alınarak seçilmektedir.

Geçmişten günümüze kadar raylar hem şekil hem de malzeme özellikleri bakımından gelişmiştir. Şekil bakımından kullanılan üç tip ray vardır. Bu raylar Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Ray profilleri [15]

Oluklu raylar: Oluklu raylar, genellikle hemzemin geçitlerde ve tramvay hatlarında tercih edilmektedir.

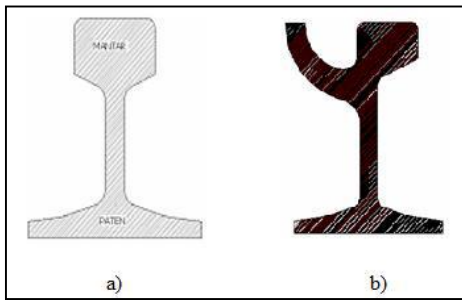
Çift mantarlı raylar: Alt ve üst mantardan oluşan çift mantarlı raylar simetrik bir yapıya sahiptir. Bu raylarda bulunan iki mantarın çalışma mantığı şu şekildedir; ilk olarak üst mantar aşınır daha sonra alt mantar kullanılmaya başlanır. Fakat daha sonra yapılan uygulamalarda üst mantar aşınırken aynı zamanda alt mantarın da zarar gördüğü anlaşılmıştır. Bu yüzden çift mantarlı raylar tercih sebebi olmamaktadır [7].

Tek mantarlı raylar: Tek mantarlı rayların bir diğer ismi “Vinyol” dur. Dünyada ve ülkemizde en çok tercih edilen ray tipi tek mantarlı raylardır [15].

Demiryollarında kullanılan ray tipleri üzerine etkiyen trafik yüküne göre değişken göstermekle beraber; günlük trafik yükünün 25.000 tonun altında olan demiryollarında ray tipi olarak UIC50, günlük trafik yükünün 25.000 tonun üstünde olan demiryollarında ise ray tipi olarak UIC60 kullanılmaktadır [16].

Balastsız üstyapılarda S54 gibi ray tiplerinin de kullanılmasına rağmen hem ülkemizde hem de birçok Avrupa ülkesinde ray tipi olarak en çok UIC60 tercih edilmektedir. Bunun nedeni UIC60 ray tipinin daha fazla dingil yükünü karşılayabilmesi ve yüksek hızlarda kullanımının da uygun olmasıdır. S54 rayı belirtilen durumların tam tersi durumlar geçerli olduğunda ve yüksekliği az olan üstyapı gerekliliği olduğu durumlarda tercih edilmektedir.

Balastsız üstyapı sistemlerinde tercih edilen vinyol ray tipi ve gömülü ray uygulamalarında daha çok tercih edilen oluklu ray tipi Şekil 2.3' te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. a) Vinyol (patenli) ray, b) Oluklu ray kesiti [17]

Raylar özetle aşağıda belirtilen görevleri yerine getirmektedir:

- Sürtünmeyi minimum düzeye indirerek demiryolu araçlarına güvenli bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak
- Demiryoluna etki eden kuvvetleri traverslere aktarmak.
- Demiryolu araçlarının tekerlerinin yönünü belirlemek.

Traversler: Raylara mesnet görevi yapan ve yükleri altında bulunan balast veya beton taşıyıcı tabakaya ileten elemandır. Tarihte ilk yapılan demiryolu hatları travers kullanılmadan yapılmıştır. Raylar doğrudan zemine yerleştirilen bloklara temas etmiştir. Daha sonraki zamanlarda demiryoluna etki eden kuvvetlerin indirgenerek zemine aktarılmasını sağlamak amacıyla balast ve travers kullanımı yaygınlaşmıştır.

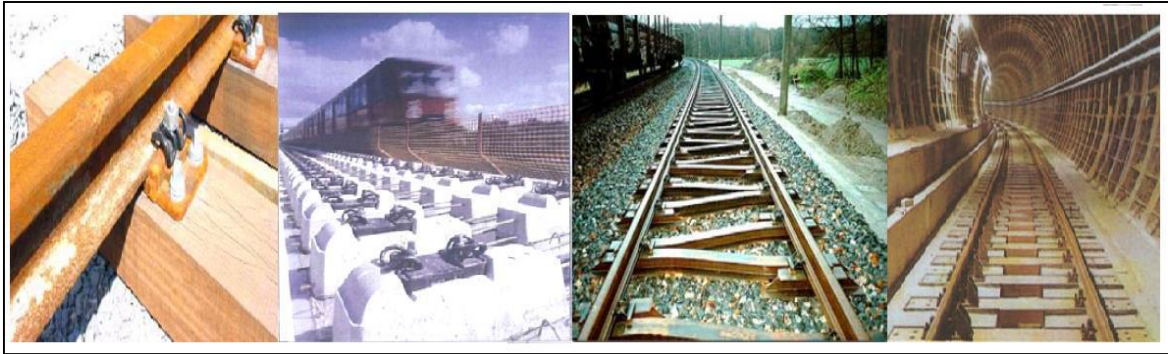
Raylara destek elemanı olarak tanımlanan traversler aynı zamanda hattın sahip olduğu geometriyi gelen kuvvetlere karşı korumaktadır. Traversler üzerlerine gelen hem yatay hem de düşey kuvvetleri karşılayarak azaltılmasına ve balast tabakasına daha güvenli bir

şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Bunun yanısıra traversler, hat üzerinde iki ray arasında elektrik yalıtımını sağlamaktadır.

Demiryollarında kullanılan traverslerin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda belirtilmiştir:

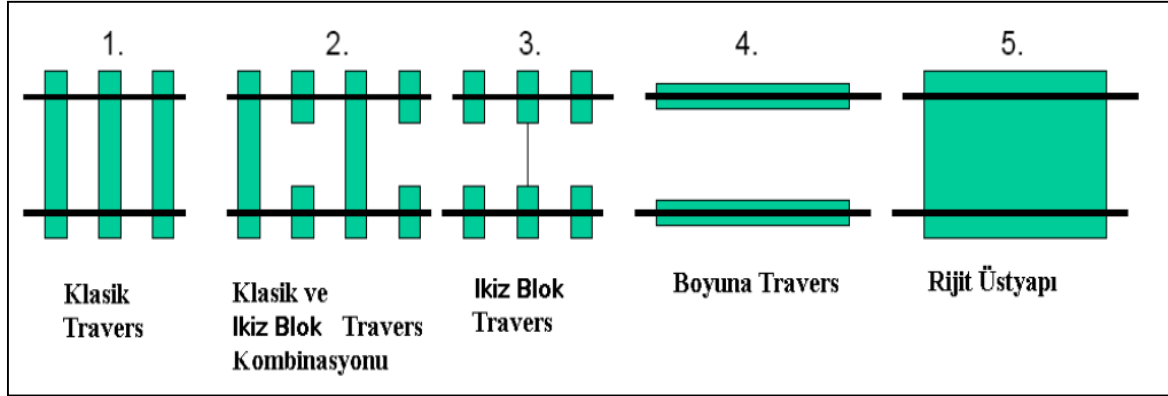
- Aşınmaya, kırılmaya, ezilmeye ve dış etkilere karşı yeterli dayanımı göstermek.
- Demiryolu üstyapısının zarar görmesini engellemek için yeterli elastisiteye sahip olmak.
- Ağırlık bakımından uygulamada çıkabilecek sorunlara karşı (iki işçinin taşıyamaması gibi) ideal ağırlığa sahip olmak.
- Yeterli sağlamlığa sahip olmak.
- Mevcut kullanım ömrünün arttırılması için gerekli hallerde verilecek kimyasal maddeyi emme yeteneğinin olması (özellikle ahşap traversler için geçerli) gerekmektedir [18].

Günümüzde demiryollarında kullanılan traversler Resim 2.6'da gösterilen, Ahşap travers, Betonarme travers, Çelik travers ve Plastik traversdir.



Resim 2.6. Ahşap, betonarme, çelik ve plastik travers uygulamaları [3]

Traversler taşıyıcı tabakanın üzerine veya içine gömülü olmak üzere iki farklı şekilde yerleştirilmektedir. Buna ilaveten traversler, plandaki mevcut görünümüne göre de farklı konumlarda yerleştirilebilirler. Traverslerin yerleşimlerine göre örnekleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Travers yerleşimleri [3]

Demiryolu uygulamalarında traversler, monoblok ve ikiz blok olarak hem ayrı ayrı hem de birlikte kullanılabilir. Monoblok traversler, ağırlıklarının fazla olması sebebiyle hattın geometrisini dış etkilere karşı büyük ölçüde korumaktadır. Bu özelliği de, dünyada en çok tercih edilen betonarme travers olması sonucu getirmiştir. Monoblok traversler; ön gerdirmeli ve sonradan gerdirmeli olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir. Betonarme traversler, esnek değildir. Bu özellik önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Buna karşın, yüksek hızlı demiryolu hatları için uygun özelliklere sahiptir.

Betonarme ikiz blok traversler, monoblok traverslerden farklı olarak L veya Y kesite sahip demir çubuklarla birbirine bağlanmaktadır. Traverslerin ve rayların beton bir tabakanın üzerine oturtulması, demiryolunun kot, eksen gibi geometrik düzenlemelerinin yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu da sistemi avantajlı hale getirmektedir. Ülkemizde betonarme ikiz blok traversler, Taksim- 4. Levent arası metro hattında Stedef VSB (VoieSansBallast- Balastsız hat) üstyapı tipinde kullanılmıştır. Dünyada da Fransa ve İsviçre'nin de içinde bulunduğu birçok ülkede kullanılmış olup toplam hat uzunluğu dünyada 400 km'ye ulaşmaktadır.

İkiz blok traverslerde traversler birbirine herhangi bir çubukla bağlanmamış ise, traversler Ortası Bağırsız İkiz Blok Travers adını almaktadır. Bu sistemde, travers ile taşıyıcı tabaka arasında bağlantıyı sağlayan ve aynı zamanda da hattın yanıl eksende hareketini engelleyen elamanlar beton taşıyıcı tabaka içerisine yerleştirilen donatılardır. Dünyanın birçok yerinde de bu uygulama mevcuttur. Fransa ile İngiltere'yi birbirine bağlayan Manş Tüneli'nde, Madrid Metrosu'nda ve İsviçre'de uygulanan bu sistem oldukça başarılıdır.

Bu sistem sanat yapılarında tercih edilecek olursa (köprü, viyadük vs.), uygulamada betonarme kirişler üzerine monte edilmeleri gerekmektedir [19].

Ahşap Travers: Balast yüksekliğinin az olduğu ve zemin kalitesinin iyi olmadığı yerlerde yükü diğer traverslere nazaran daha iyi dağıtmaları nedeniyle ahşap traversler tercih edilmektedir. Ahşap traverslerin maliyeti fazladır ve kullanım ömürleri uzun değildir. Bu dezavantajlar nedeniyle Avrupa’da tercih edilmemeye başlanmıştır [15].

Ahşap traversler kayın ve meşe ağaçları kullanılarak üretildikleri için, ağaç kesiminin de önüne geçmek amacıyla demiryolu hatlarında kullanımın geçmişe nazaran gittikçe azalmaktadır. Sert traverslerin ömrü 30-50 yıl arasında olmakla beraber her yıl 16 milyon travers değiştirilmektedir [15].

Ahşap traverslerin yükü balast tabakasına iyi aktarması ve esnekliğinin fazla olması diğer traverslere karşı üstün olmasını sağlamaktadır. Bu üstünlük beraberinde zemin kalitesi iyi olmayan demiryollarında ahşap traverslerin kullanımını getirmiştir.

Ahşap travers aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması sebebiyle tercih sebebi olmuştur:

- Sürtünmenin düşük olması sebebiyle balast minimum zarar görmektedir ve bu da balast malzemesi seçiminde kireç taşı kullanımına da izin verilmesini sağlamaktadır.
- Ahşap traversler diğer traverslere göre daha hafiftir.
- Elektrik yalıtımının iyi olması nedeniyle sinyalizasyon ve elektrikli hatlarda yardımcı düzenek gereksinimini ortadan kaldırmaktadır.

Ahşap traverslerin dezavantajı ise şunlardır:

- Ahşap traverslerin kullanım ömürleri diğer travers çeşitlerine göre daha azdır.
- Yanal eksende kaymaya neden olduğu için yüksek hızlı hatlar için uygun değildir.
- Yangın ve rutubet gibi dış etkenlere karşı direnci düşüktür.
- Maliyetleri yüksektir.

Betonarme Travers: İçerisinde çelik çubuklar bulunan betondan yapılmaktadır. Ülkemizde konvansiyonel hatlarda B.58, hızlı tren hatlarında ise B.70 olmak üzere iki farklı beton travers üretilmektedir [20, 21].

Beton traverslerde aşağıda belirtilen durumlar geçerlidir [18]:

- Hızlı tren hatlarında makaslar dahil olmak üzere hattın her bölgesinde kullanıma uygundur.
- Konvansiyonel hatlarda makaslarda kullanıma uygun değildir.
- Standart geometriye sahiptir, boyutlarının değiştirilmesi zordur.
- Gürültüyü absorbe etmektedir.
- Çatlama ve kırılmalar olduğunda hemen değiştirilmesi gerekebilmektedir.
- Yapılacak olan demiryolu hattının özelliğine ve şekline bağlı olarak betonarme traversin dayanma süresi değişmektedir.
- Ateşe ve bitkilerin zararına karşı dayanıklıdır.
- Nemden fazla etkilenmemektedir.
- Elektrik akımı iletimi çok azdır.

Çelik Travers: Yumuşak çelikten üretilen çelik traversler, başlarının tırnaklı olması sebebiyle drenaja dayanıklıdır. Rayla travers arasındaki bağlantının iyi olması; yatay ve düşey kuvvetlerin aşınmalara, traverslerde çatlama ve kırılmaya neden olması sebebiyle önem arz etmektedir. Bu anlamda aradaki bağlantı sağlam olmak mecburiyetindedir.

Çelik traversler iklim şartlarına karşı fazla dayanıklı olmamalarından dolayı her ülkede kullanılmamaktadır. Ayrıca çelik traverslerin maliyetinin yüksek olması da tercih edilmeme sebepleri arasında yer almaktadır. Ağırlıklarının az olması avantaj sağlasa bile balast tabakasıyla bir bütün olarak hareket edememesi ciddi sorunlara sebebiyet vermektedir.

Çelik traverslerin ömrü beton traverslerin ömrünün yaklaşık iki katı kadardır. Çelik traversler yanmaya karşı dayanıklı olmakla beraber traverslere bağlanma ve sökülme işlemi daha kolay olmaktadır. Hafif bir yapıya sahiptir. Bu da üstyapının stabilitesi açısından uygun değildir. Ayrıca çelik traverslerin iyi bağlanması gerekir. Aksi takdirde hat çalışır durumdayken gürültülü yolculuğa neden olur [22].

Plastik Travers: Plastik traversler hem balastlı hem de balastsız demiryolunda özellikle köprülerde, viyadüklerde, tünel içlerinde doğrudan kullanıma uygundur.

Plastik traversler ısıya ve rutubete karşı dayanıklı olmasına rağmen ateşe dayanıklı değildir. Plastik traverslerin kullanıldığı demiryollarında gürültü diğer traverslerin kullanım alanına nazaran daha sessizdir ve sarsıntı daha azdır. Hafif olması nedeniyle yüksek hızlara ve ağır yük taşımaya uygun değildir.

Ray Bağlantı Elemanları: Ray travers arasında bağlantıyı sağlayan elemanlar 2 gruba ayrılır; endirekt bağlantılar ve direkt bağlantılar. Endirekt bağlantılar Resim 2.7’de gösterildiği gibi elastik ve rijittir. Direkt bağlantılar ise Resim 2.8’de gösterilen elastik ve rijittir.



Resim 2.7. a) Rijit endirekt bağlantı elemanı (soldaki), b) Elastik endirekt bağlantı elemanı (sağdaki) [3]



Resim 2.8. a) Rijit direkt bağlantı elemanı (soldaki), b) Elastik direkt bağlantı elemanı (sağdaki) [3]

Günümüzde yukarıda belirtilen bağlantı elemanlarından en çok tercih edilen bağlantı elemanı elastik direkt bağlantı elemanıdır. Özellikle balastsız üstyapıya sahip

demiryollarında kullanılmaktadır. Elastik bağlantı elemanlarının esnekliği uzun süre kalıcıdır.

Elastik Pedler (Seletler): Seletler, ray ile travers arasına veya rijit üstyapıda ray ile beton arasına konulmaktadır. Seletler, traverslerin darbe etkisiyle hasar almasını ve aşınmasını engeller. Aynı zamanda raylar elektrik izolasyonu sağlar. Ahşap traversli sistemlerde selet kullanılması zorunlu değildir.

Seletler hat dinamiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Yumuşak seletler, demiryolunda gelen yüklerin travers üzerinde daha geniş alana yayılmasını sağlayarak balast tabakasına iletimi azaltmaktadır. Bu da hat rijitliğini etkilemektedir. Travers bağlantı sistemi Resim 2.9'da gösterilmiştir.



Resim 2.9. Travers bağlantı sistemi [14]

Balast: Raylara bağlanmış olan traverslerin altında, aralarında ve kafalarında bulunan kırmataş veya çakıldan oluşan tabakaya balast tabakası denir. Balast tabakası, trenlerin neden oldukları yatay ve düşey kuvvetlere karşı üzerinde bulunan hem rayların hem de traverslerin güvende kalmalarını sağlamaktadır. Üzerine gelen kuvvetlerin daha geniş bir alana yayılmasını sağlayarak demiryolu hattı korumakta ve gelen yükleri altyapıya daha uygun değerlere indirerek iletmektedir. Balast demiryolunda gürültüyü azaltmaktadır.

Balastın bir diğer görevi ise yağmur suyu drenajını sağlamaktır. Balastın hattın dengesini tam olarak sağlayabilmesi için uygun granometride sıkıştırma olması gerekmektedir. Fakat sıkıştırma olması durumunda yağmur suyu drenajı tam olarak sağlanamayabilir. Bu yüzden hem drenajı sağlamak hem de hat rijitliğini korumak için en uygun çözüm bulunması gerekmektedir.

Demiryollarında kullanılan standart balast kalınlığı 30 cm olmasına karşın hat üzerinde dengenin sağlanabilmesi için traversler boyunca kalınlık 50 cm'e kadar artmaktadır. Balast olarak Resim 2.10'da örneği gösterilen kırmataş, kayalar (granit, bazalt, kireç taşı vs.), köşeli sert taşlar kullanılmaktadır. Demiryollarında balast malzemesi seçilirken dikkat edilen en önemli unsur ise, ekonomik nedenlerdir.



Resim 2.10. Balast malzemesi olarak kullanılan kayaç örnekleri [14]

Balast Altı Tabakası: Balast altı tabakası, balast tabakası ile doğal zemin arasındaki geçiş tabakasıdır. Bu tabaka, balast ve toprak gövdenin karşılıklı penetrasyonunu önlemekle beraber don penetrasyonunu da azaltmaktadır. Balast tabakasından gelen gerilmelerin daha geniş alana yayılmasını ve böylece doğal zeminin minimum gerilmeye maruz kalmasını sağlamaktadır. Balast altı tabakası yağmur suyu drenajına yardım etmektedir. Su akışını sağlamak amacıyla genelde 3-5% yanal bir eğime sahiptir [2].

Balast altı malzemesi olarak genelde pahalı olmayan kum veya agrega malzemesi kullanılmaktadır. Fakat gerekli durumlarda, pahalı malzemeler olan jeosentetikler veya çimento/kireç karışımları kullanılmaktadır. Alt balast malzeme seçimi genel olarak doğal

zeminin dayanımına bağılı olarak yapılmaktadır. Eğer doğal zemin hat rijitliğini sağlayabilecek dayanıma sahip değilse, ona göre alt balast malzemesi seçilerek güçlendirme yapılmalıdır.

Asfalt veya Beton Taşıyıcı Tabakası: Balastsız üstyapıda bulunan asfalt veya beton taşıyıcı tabaka diğer tabakalara nazaran daha az şekil değiştirmektedir. Beton taşıma tabakası, kesit kalınlığı kullanılacağı yere göre değişmekte olup yerinde döküm, prefabrik veya çerçeve şeklinde üretilmektedir. Beton taşıyıcı tabakanın 3 farklı uygulaması bulunmaktadır. Bunlar;

- Donatılı-derzsiz,
- Zayıf donatılı-yüzeysel derzli,
- Donatısız-derzlidir.

Balastsız yapıda, üstyapı yüksekliği önem arz ettiği için, taşıyıcı tabakanın kalınlığının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Kalınlık belirlenirken tabakaya gelen gerilmeler dikkate alınmaktadır. Taşıyıcı tabaka, balastsız üst yapının ana elemanıdır. Bu yüzden kalınlığının sabit tutulup diğer tabakaların kalınlıkları trafik yüküne veya iklim şartlarına göre belirlenmelidir.

Asfalt taşıyıcı tabaka, balastsız üstyapılarda beton taşıyıcı tabakaya karşı bir başka seçenek olarak kullanılmaktadır. Asfalt yapısı gereği betona göre ses ve titreşimi daha çok absorbe eder. Demiryollarında kullanılan asfalt yollarda kullanılan asfaltdan farklı değerlere sahiptir. Asfaltın geri dönüşümü betona göre daha kolay olmakla beraber asfalt üzerine gelen değişken gerilmelere daha kolay uyum sağlar. Asfalt taşıma tabakasının kalınlığı genellikle 25-30 cm arasındadır [19].

Hidrolik Bağlayıcı Tabaka: Balastsız üstyapılarda asfalt veya beton taşıyıcı tabakanın altında bulunan ve üzerine gelen gerilmelerin daha geniş alana yayılmasını sağlayarak minimum şekilde temele iletilmesini sağlayan tabakadır. Hidrolik bağlayıcı tabaka sistemin yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır.

Hidrolik bağlayıcı tabaka malzemesi olarak doğal ya da kırma kum ile portland çimentosunun karışımı kullanılmaktadır. Tabaka kalınlığı genel olarak 30 cm'dir ve tabaka eğimi suyun drenajını sağlamak için en az %4 olmalıdır [23].

Don Koruma Tabakası: Hidrolik bağlayıcı tabakanın altına veya beton ya da asfalt taşıyıcı tabakanın altına serilmektedir. Don kabarmasına karşı altyapıyı korumakla beraber hatta oluşan rijitlik farkını dengelemektedir. Don koruma tabakası için kullanılan malzemelerin başında çakıl ve cüruf gelmektedir. Donma olayı sonucunda üstyapı tabakalarında meydana gelen bozulmaları önlemek için yapılacak işlemler, drenaj yapılarak yer altı su seviyesinin azaltılmasını sağlamak, yüzeysel suların alt katmanlara sızmasını önlemek, dona duyarlı zemin tercih etmektir.

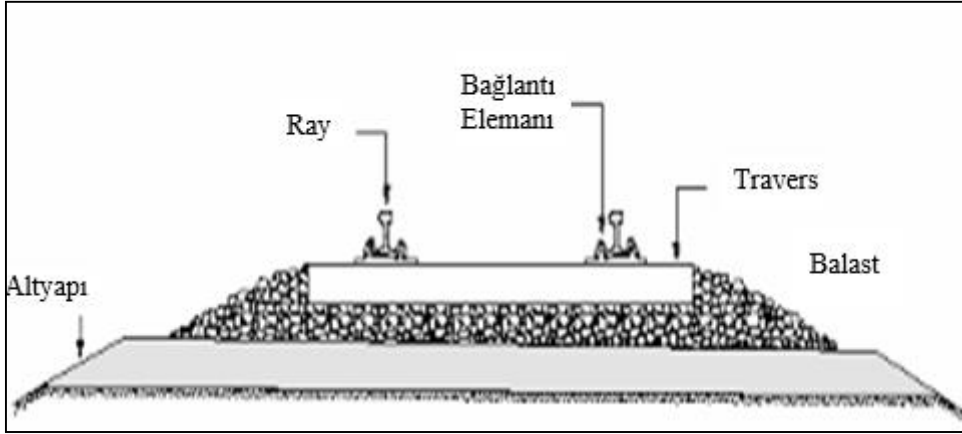
Dona duyarlılık konusunda zeminler 3 sınıfa ayrılmaktadır:

- Dona duyarlı olmayanlar; Kum ve çakıl
- Dona duyarlı olanlar; Kil
- Dona çok duyarlı olanlar; Silt.

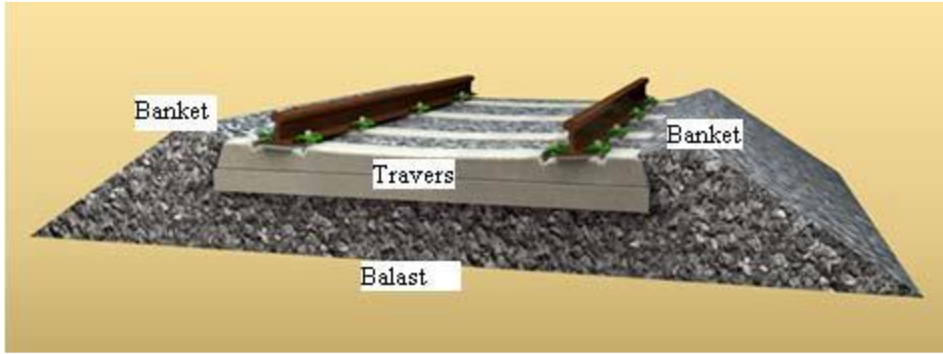
Zemin: Balastlı ve balastsız demiryollarının altyapısı için önemli olan tabakalarından biri zemindir. Üstyapı elemanlarının hepsi zemine bağlı olduğundan zeminin yeterli dayanıma ve elastisiteye sahip olması gerekmektedir. Aksi takdirde zeminin yeterli mukavemete sahip olmasını sağlamak için kireç veya çimento gibi bağlayıcı güçlendirme yapılması gerekmektedir [15]. Zeminin doğru uygulanmaması, trafik yükleri ve çevresel faktörler nedeniyle hattın daha fazla bozulmasına neden olmaktadır.

2.3.2. Balastlı üstyapı

Traverslerden gelen yükü karşılayan ve altında bulunan tabakaya aktarılmasını sağlayan üstyapı elemanına balast denir. Balast genellikle kırılmış sert ve iri kırma taşlardan oluşmaktadır. Balast tabakasının kullanıldığı üstyapı tiplerine ise, balastlı üstyapı denir. Şekil 2.5'te ve Resim 2.11'de balastlı üstyapıya ait örnek enkesitler gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Balastlı üstyapı enkesiti [3]



Resim 2.11. Balastlı üstyapı örnek enkesiti [3]

Balast tabakası;

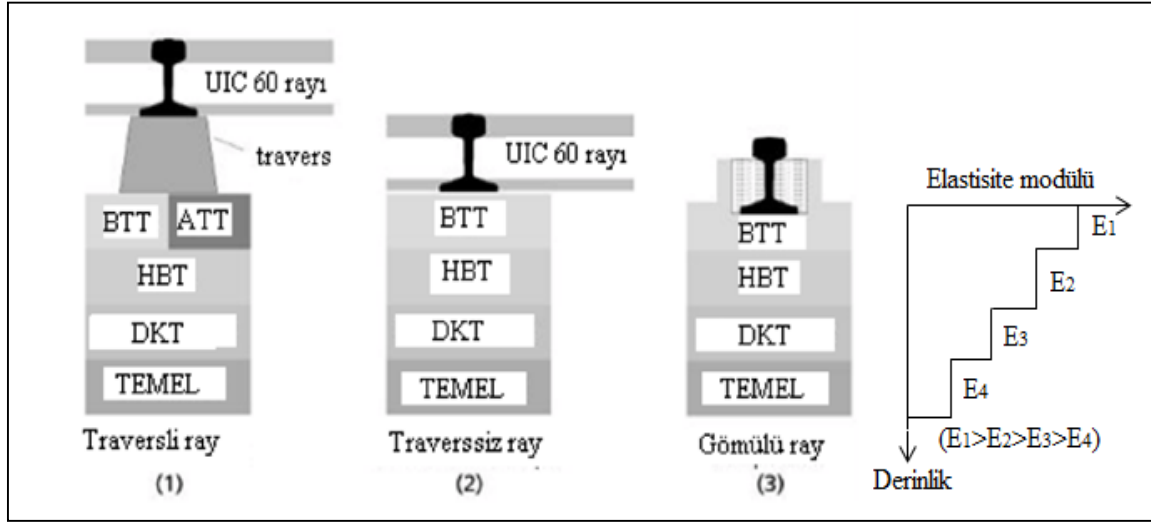
- Drenajı sağlamaktadır.
- Ray ve travers arasındaki bağlantıyı oluşabilecek olumsuzluklara karşı korumaktadır.
- Üzerine gelen hem statik hem de dinamik yüklerin daha geniş alana yayılmasını ve zemine aktarılmasını sağlamaktadır.

2.3.3. Balastsız üstyapı

Balastsız üstyapıda, traverslerden gelen yük balast tabakasından daha rijit ve geçirgenliği az olan beton veya asfalt tabakası ile altyapıya aktarılmaktadır. Balastsız üstyapıda kullanılan elastik altlıklar (seletler) yapıya elastik özellik kazandırmaktadır. Balastsız üstyapı, farklı taşıyıcı tabakaların rijitlik derecelerine göre sıralanması esasına dayanmaktadır. Resim 2.12’de balastsız üstyapı örneği gösterilmiştir.

Balastsız üstyapı Şekil 2.6’da gösterilen;

- Ray ve ray sabitleme elemanları
- Beton taşıyıcı tabaka (BTT) ya da asfalt taşıyıcı tabaka (ATT)
- Suyun etkisinden koruyucu hidrolik olarak bağlanmış tabaka (HBT)
- Don Koruma Tabakası (DKT)
- Temel’den oluşmaktadır.



Şekil 2.6. Balastsız üstyapıda tabakaların sıralanması [3]



Resim 2.12. Balastsız üstyapı [24]

Balastsız üstyapı inşa tiplerine göre aşağıda belirtilmiştir.

1) Ayırık Mesnetli Üstyapı

a) Traversli olanlar

- Gömülü traversli olanlar (Rheda, Züblin, Berlin, Heitkamp, SBV)
- Gömülü olmayan traversliler (ATD, BTD, Getrac, Walter, Sato)

b) Traverssiz olanlar

- Prefabrike olarak imal edilenler (Shinkansen, Frames, Plates)
- Döküm tekniği ile imal edilenler (Lawn-rail, Hochtief)

2) Sürekli Mesnetli Üstyapı

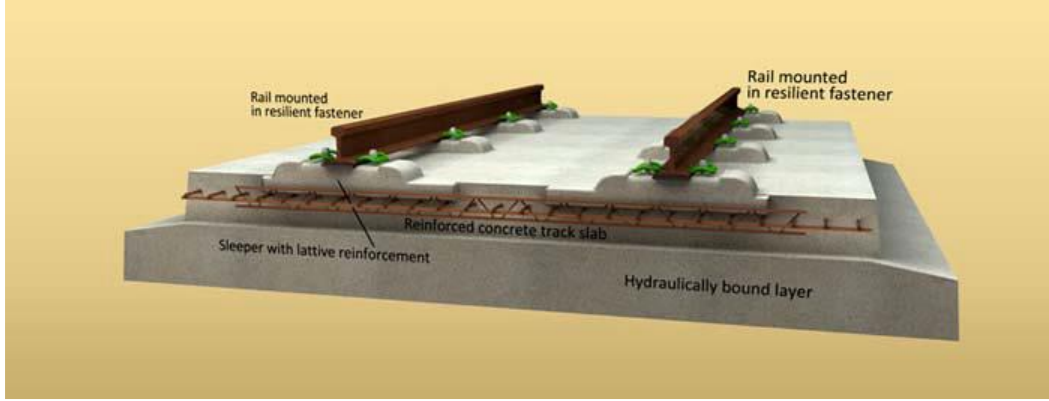
a) Gömülü raylı üstyapı (Edilon)

b) Tespitli raylı üstyapı (Ortec, Saargumi) [25]

Rheda Sistemi: İlk kez 1972 yılında Almanya'da Rheda İstasyonu'nda kullanılmaya başlanan ve Resim 2.13'te örneği gösterilen Alman Rheda sistemi, dünyada en çok olarak kullanılan üstyapı tipidir. Rheda sistemi adını ilk kez kullanıldığı istasyondan almıştır. İlk olarak monoblok traversler yerinde döküm plak içine gömülü olarak yerleştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda travers ile beton arasında daha güvenli bir bağlantı oluşturabilmek için iki bloklu traversler kullanılmaya başlanmıştır. İki blok traverslerle birlikte traverslerin taşınması daha kolay bir hal almıştır [3].



Resim 2.13. Monoblok traverslerle hazırlanmış Rheda üstyapısı[17]



Resim 2.14. Rheda Berlin balastsız üstyapı enkesiti [3]

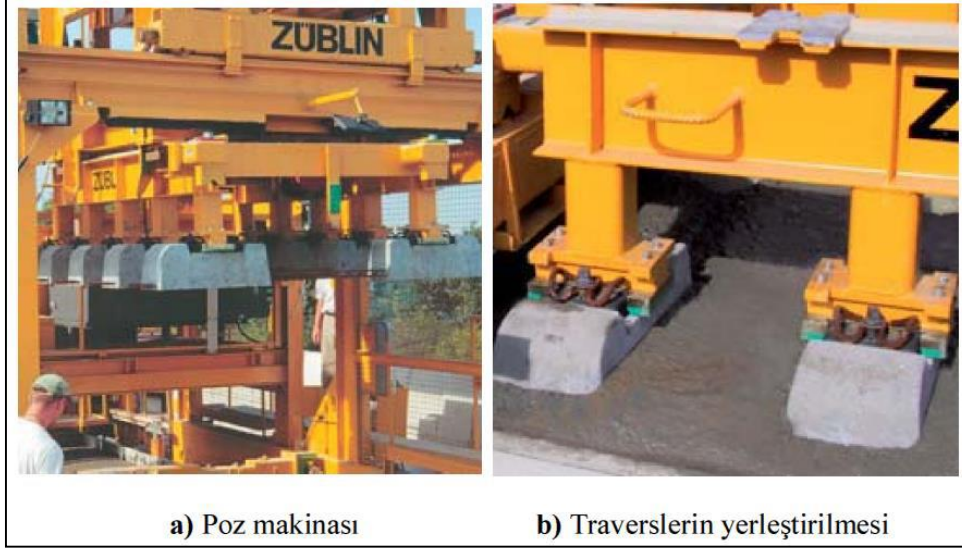
Resim 2.14'te enkesiti gösterilen Rheda sisteminin özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Beton dökümünden sonra meydana gelebilecek çatlakların önlenmesi için öngermeli betonarme prefabrike betonarme travers kullanılmaktadır.
- Beton plakada bulunan donatılar yanal yönde kuvvetlerin aktarımını sağlamakla beraber çatlakların genişlemesini de önlemektedir.
- Hattın geometrisinin korunması için geometrik referans noktası, rayın en üst noktası kabul edilmektedir. Böylelikle meydana gelebilecek hatalara karşı bir hassasiyet oluşmaktadır.

Rheda 2000 üstyapı sistemi: Rheda 2000 üstyapı sistemi, Rheda sistemlerinin en gelişmiş hale sahip olan sistemidir. Şekil 2.7'de örneği verilen Rheda 2000 üstyapı sisteminde, özel olarak yapılmış iki bloklu kafes kirişli betonarme travers kullanılmaktadır ve aynı zamanda traversler arasındaki donatılı kısımda bulunan dolgu betonu iyi bir şekilde kaynaşmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı diğer Rheda sistemlerinden farklı bir yapıya sahiptir.

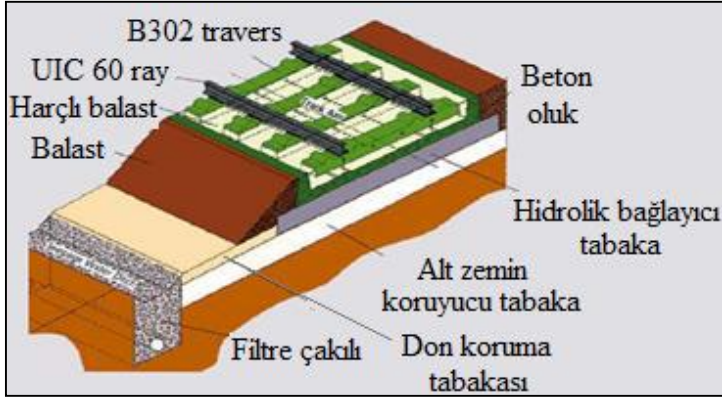
Betonarme travers, üzerine yerleştirildiği beton tabakayla homojen bir bütün oluşturmaktadır. Bu sistem bütün hat boyunca uygulanmakla beraber üstyapı yüksekliğinin az olmasını da sağlamaktadır.

Züblin sisteminde, 10 adet traversi aynı anda 65 cm aralıkla yerleştirilmesi için Resim 2.15'te gösterilen özel bir döşeme makinesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemdeki diğer işlemler de (aks ve kot ayarlama işlemleri, traverslerin eksen ve kot ayarları gibi), özel makinelerle yapılmaktadır.



Resim 2.15. Züblin üstyapı sisteminde traverslerin döşenmesi [17]

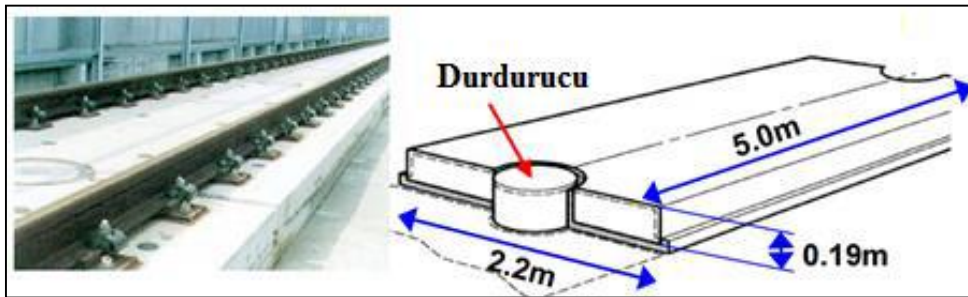
Heitkamp Sistemi: Geliştiren firmanın (Gesellschaft mit beschränkter Haftung-Limited Şirketi) ismi verilen bu sistem, beton oluklu klasik Rheda üstyapı sistemine çalışma prensibi olarak benzemektedir. Rheda sisteminden farklı olarak oluklar beton ile değil çakıl ile doldurulmaktadır. Çakılla doldurulması ile demiryolunu inşa eden araçların çalışması kolaylaşmıştır. Oluklar doldurulduktan sonra rayların ve traverslerin yerleştirilmesi işleminde hattın geometrisi korunması önem arz etmektedir. Raylardan ve traverslerden sonra balast tabakası sıkıştırılmaktadır ve oluşan boşluklara çimento enjekte edilmektedir. Resim 2.16'ta sisteme ait örnek enkesit gösterilmiştir.



Resim 2.16. Heitkamp balastsız üstyapı enkesiti [23]

Shinkansen Sistemi: Taşıyıcı tabakanın çimento enjekte edilerek rijitliği arttırılmış bir tabakaya oturduğu bu sistem, ilk kez 1972 yılında Japonya’da gelişmeye başlamıştır [25].

Yaklaşık olarak 5 ton ağırlığa sahip olan taşıyıcı tabakanın boyutları, 5 m x 2,2 x 0,19 m’dir. Tünellerde tabakanın kalınlığı 0,16 m olmaktadır. Ayrıca taşıyıcı tabakanın geometrik ayarlamaları, hidrolik bağlayıcı yüzey üzerine yerleştirilerek yapılmaktadır. Resim 2.17’de örneği gösterilen sistemde taşıyıcı tabakanın hem yatay hem de düşey doğrultuda stabilitesini sağlamak amacıyla sisteme yerleştirilen beton silindirler (Ø 40cm) taşıyıcı tabakaya rijit bir şekilde bağlanmaktadır.

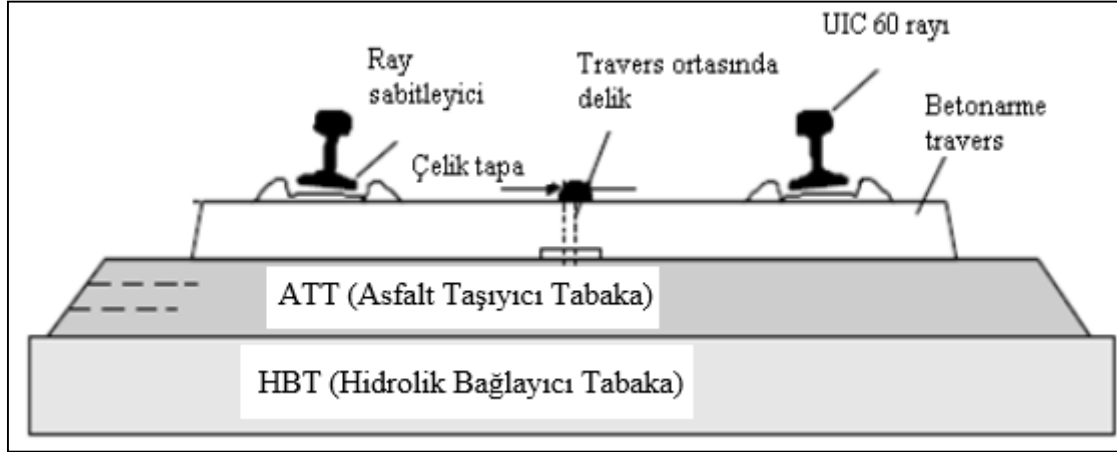


Resim 2.17. Shinkansen üstyapı sistemi [25]

Sistemin sahip olduğu bazı özellikler sayesinde avantajlıdır. Bu özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- Sistemin ağırlığı fazla değildir.
- Maliyetler düşüktür.
- Termal gerilmeler azdır.
- Kontrolü (muayene) kolaydır.

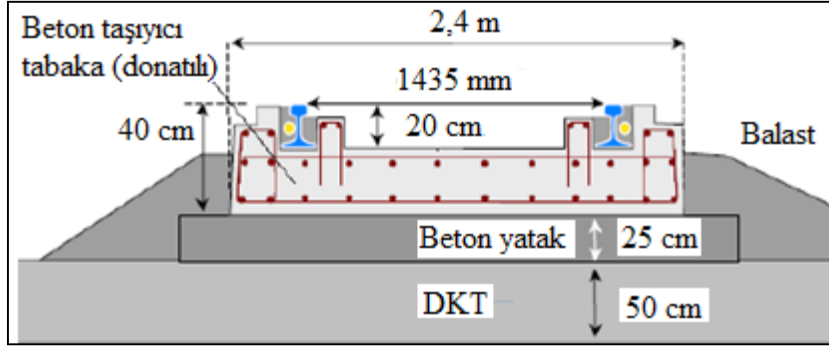
Walter Sistemi: Betonarme taşıyıcı tabaka yerine asfalt taşıyıcı tabaka kullanılan Walter sistemi adını sistemi ilk kez inşa eden Walter Şirketi'nden almaktadır. Sisteme ait örnek enkesit Şekil 2.9' da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Walter balastsız üstyapı enkesiti [23]

Monoblok traversler kullanılan Walter sisteminde, her iki traverste bir travers ortasında delikler açılmaktadır. Ray doğrultu ve kot ayarlamasının yapıldıktan sonra traverslerdeki bu deliklerden asfalt taşıyıcı tabakanın içine doğru delikler açılmaktadır. Daha sonrada travers ve asfalt taşıyıcı plak bu deliklerin içinden geçen 28 mm çapındaki çelik pimlerin asfalt tabakaya 250 mm kadar gömülmesiyle birbirine bağlanmaktadır. Bağlantı işleminin sağlam olabilmesi için asfalt tabakaya plastik dubeller yerleştirilmektedir.

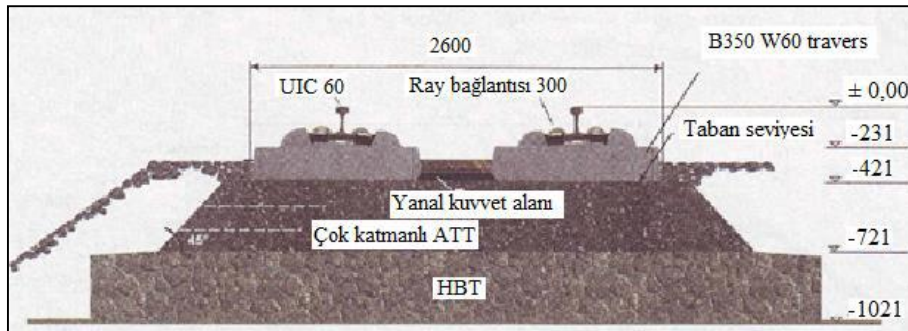
Stedef, Wallo, Sonneville-lvt (lowvibrationtrack-düşük titreşimli hat) Sistemleri: Beton blok traversin altına elastik ped, elastik pedin altına ise sistemi içine alması amaçlanan kauçuk kılıf bulunan; Stedef (Fransız), Wallo (İsviçre) ve Sonneville (İsviçre) üstyapı sistemlerinin tasarımları benzerdir. Sistemin tasarımı hem titreşimi hem de gürültüyü azaltma özelliğine sahiptir. Sisteme ait yerinde dökülen beton tabaka ve üzerinde yüksek elastik özelliğe sahip kauçuk kılıflı beton travers Şekil 2.10'da gösterilmiştir [23].



Şekil 2.11. Infundo-Edilon balastsız üstyapı enkesiti [17]

Ray aşınmasının ve gürültü kirliliği önemli derecede az olması, sistemin yapılması kısa zaman alması, yayaların geçişi için uygun yapıya sahip olması sistemi avantajlı kılan özelliklerdir.

ATD Sistemi: Resim 2.18’de enkesit örneği gösterilen ATD üstyapı sisteminde, ilk olarak çimento stabilizasyonu yapılmış tabaka serilmekte olup ardından asfalt tabaka bu tabakanın üzerine serilmektedir. Asfalt tabakanın üzerine ise, monoblok veya ikiz blok traversler yerleştirilerek sistem tamamlanır. ATD sistemi uygulanan demiryolu hatlarının orta kısmında bir yükselti oluşmaktadır. Mevcut yükseltinin traversler ile arasında kalan boşluk kısımları sentetik malzeme ile doldurularak hattın yanal direncinin sağlanması kolaylaştırılmaktadır.



Resim 2.18. ATD balastsız üstyapı enkesiti [23]

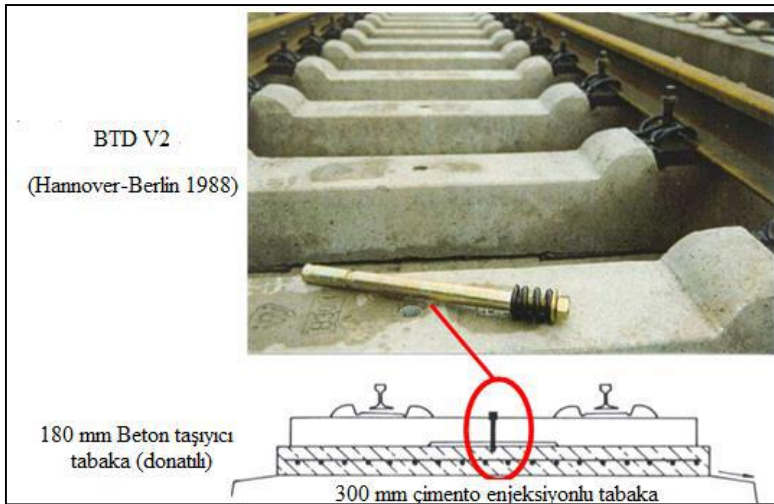
ATD sistemi, traverslerin sahip olduğu kayma direncini daha fazla arttırdığı için farklı türdeki demiryollarında da kullanılabilmektedir. Traverslerin çevresi bazen balastla sarılarak dayanımı ve ağırlığı artırılır. Bunun nedeni ise, ani bir frenleme esnasında oluşabilecek sorunları önlemektir. Berlin Tramvay hattında kullanılan ATD sistemi Resim 2.19’da gösterilmiştir.



Resim 2.19. Berlin Tramvay Hattı ATD sistemi [17]

BTD Sistemi: BTD üstyapı sistemi, beton taşıyıcı tabaka üzerine oturtturulan monoblok traverslerin çelik dübel yardımıyla beton taşıyıcı tabakaya bağlanması esasına dayanmaktadır. BTD sistemi, temel amacı sistemin yanıl direncini arttırılması olmak koşuluyla iki farklı yöntemle inşa edilmektedir. Bu yöntemler V1 ve V2 sistemi olarak adlandırılmaktadır.

V1 sistemi, blonların her ikinci traversin ortasından içeriye yerleştirilerek kenetlenmesi esasına dayanmaktadır.V2 sistemi ise, yine her ikinci traversin ortasından delik açılarak çelik tıpların bu deliklere yerleştirildiği uygulamalardır. Resim 2.20’de sisteme ait örnek hat gösterilmiştir.



Resim 2.20. Hannover-Berlin yüksek hızlı tren hattı 2.versiyon BTD sistemi [23]

3. BALASTLI DEMİRYOLU VE BALASTSIZ DEMİRYOLUNUN ANALİZİ

3.1. ANSYS Yazılımı

ANSYS yazılımı mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi gibi statik ve dinamik problemlerin analizlerinin yapılabilirdiği, sonuçlarının görselleştirebildiği genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Ele alınan sistemlerin sanal ortamda test edilmesine olanak sağlayarak ekonomik çözümler sunmaktadır. ANSYS yazılımı dışarıdan belirli formatla oluşturulmuş CAD datalarını alabilmekle birlikte kendi içerisinde yer alan modüller sayesinde geometri oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Geometrinin tanımlanmasının ardından farklı eleman tiplerinin kullanılabilmesine olanak sağlayan bir ara birimde sonlu eleman ağı oluşturulmaktadır. Malzeme özelliklerinin, başlangıç ve sınır şartlarının tanımlanmasından sonra çözüm yapılarak sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilmektedir. ANSYS yazılımı özellikle zamana bağlı ve nonlinear problemlerin hızlı, güvenilir ve pratik bir şekilde çözümünü sağlamaktadır. ANSYS Workbench içerisinde yer alan bazı modüller aşağıda açıklanmaktadır.

Structural Mechanics: ANSYS structural mechanics doğrusal çözüm yapabilmekle beraber doğrusal olmayan yapısal çözüm olanaklarını da sunar ve tasarımı yapılan ürünün mukavemet ve yorulma analizlerini yapabilir.

ANSYS Multiphysics: Yapısal, ısı analizi, akışkan, akustik ve elektromanyetik simülasyon özelliklerini içermesinin yanı sıra akışkan-yapı etkileşimli problemleri de çözülebilir.

Fluid Dynamics (Akışkanlar Dinamiği): Hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemlerini çözebilmek için CFD-Post modüllerini içerir.

Explicit Dynamics: Metal şekillendirme, çarpışma, patlama ve düşme testleri gibi büyük yer değiştirme veya temas etkileşimi gerektiren modellerin analizlerinin yapılabilirdiği explicit modüldür. Explicit Dynamics ürünleri Autodyn, Lsdyna'dır.

3.2. Analizler

Mühendislik problemlerinin çözümüne yaklaşım deneysel, analitik veya sayısal yöntemlerle olmaktadır. Analitik çözüm, problem için yönetici denklemlerin belirlenmesi ve bu denklemlerin gerekli sınır şartları altında çözülmesini içerir. Çözümünden elde edilen sonuçlar kapalı fonksiyonlar şeklinde ifade edilir ve elde edilen fonksiyonlar problem geometrisi içerisinde her noktada sonucu ifade edebilir. Yönetici denklemler süreklilik ve momentumun korunumu gibi hareket denklemlerinden elde edilen diferansiyel denklemlerdir. Pratikte karşılaşılan karmaşık geometrili veya karmaşık sınır koşullarına sahip pek çok problem için analitik çözüm mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda sayısal bir yöntem olan sonlu elemanlar yöntemi iyi bir çözüm imkanı sağlamaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili ilk çalışmalar 1940'lı yıllarda olmuştur. Sonlu elemanlar ile ilgili çalışmalar 1960'larda virtüel iş prensibini kullanan yaklaşım yönteminin geliştirilmesi ve rijitlik matrisinin bir üçgen eleman için oluşturulması ile devam etmiştir. Genel olarak sonlu elemanlar programları ise, 1970'li yıllardan itibaren oluşturulmaya başlanmış, 1980'li yıllarda paket programlar şeklinde bilgisayarlarda kullanılmaya başlanmıştır [26].

Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde mühendislik analizlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi katı ve akışkanların analizlerinde, ısı aktarımı problemlerinde ve çok çeşitli mühendislik mekaniği problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır [27].

Yukarıda ifade edilen problemler için çözülmesi gereken matematiksel model, yönetici diferansiyel denklemlerin oluşturulması ve bu denklemlerin problem geometrisi içerisinde belirli noktalarda çözümünü içermektedir. Analitik çözümden farklı olarak, yönetici diferansiyel denklemin sayısal çözümü, geometri içindeki her noktada sonuç oluşturmamakla birlikte, ayrı olarak ifade edilen belirli noktalarda sonuç oluşturmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde fiziksel problem tipik olarak belirli yüklere veya yer değiştirmelere maruz kalan gerçek bir yapı veya yapısal bileşen içerir [28].

Sonlu elemanlar yönteminde geometri içerisinde belirlenen noktalarda çözüm elde edilir. Çözümü aranan noktaların belirlenmesi işlemine “ayrıklaştırma” denir. Bu ayrıklaştırma

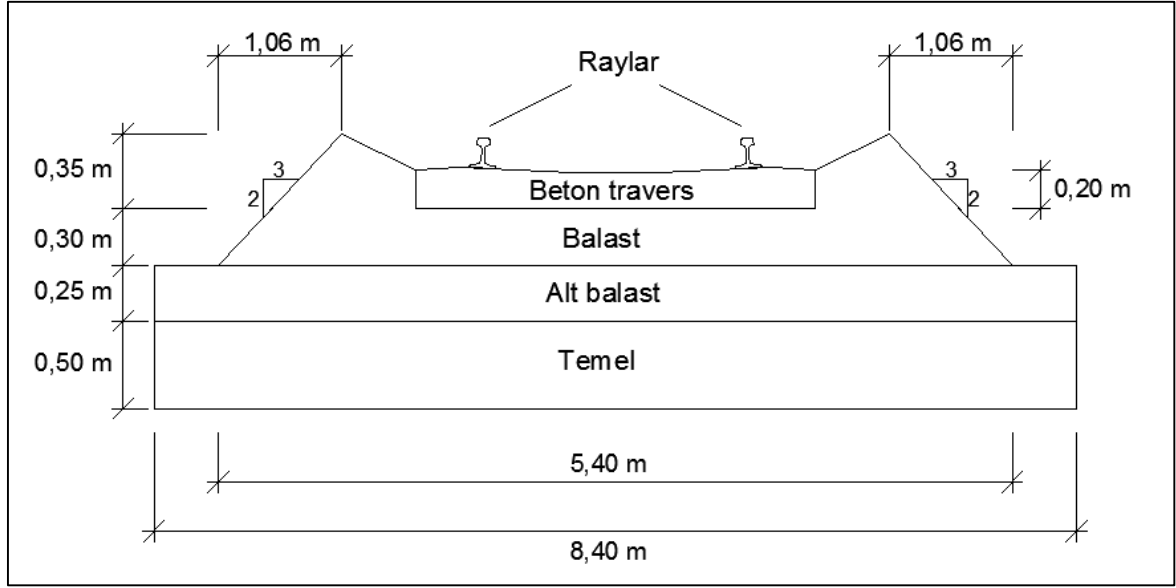
sonucunda oluşan bölümlene işlemine de “eleman ağı oluşturma” adı verilir. Problem geometrisi, davranışı daha önce belirlenmiş olan çok sayıda elemana bölünür ve bölünen elemanlar “düğüm noktası” adı verilen noktalarda birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. İncelenen probleme bağlı olarak fazla sayıda denklem oluşmaktadır. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır [26]. Gerçekçi çözüm, sisteminin mümkün olan en çok sayıda bir, iki ya da üç boyutlu sonlu elemana bölünmesi ile elde edilir. Pek çok problemde çok sayıda eleman kullanılması çözüm süresini uzatacağı için, sonucun sonlu eleman sayısından bağımsız hale geldiği eleman sayısını belirlemek gerekebilmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminde izlenen yol özetlenecek olursa, ilk olarak sistem sonlu elemanlara bölünerek bir sonlu eleman ağı oluşturulur. Daha sonra şekil fonksiyonları seçilip eleman rijitlik matrisi elde edilir. Tüm elemanların denklemleri bir araya getirilir ve sınır koşulları uygulanır. Tüm sistem çözülerek yer değiştirme gibi bilinmeyenler tespit edilir. Sonrasında ise elde edilen bilinmeyenlerden hareketle gerilme gibi diğer aranan büyüklükler hesaplanır.

3.2.1. Problem geometrisinin tanımı

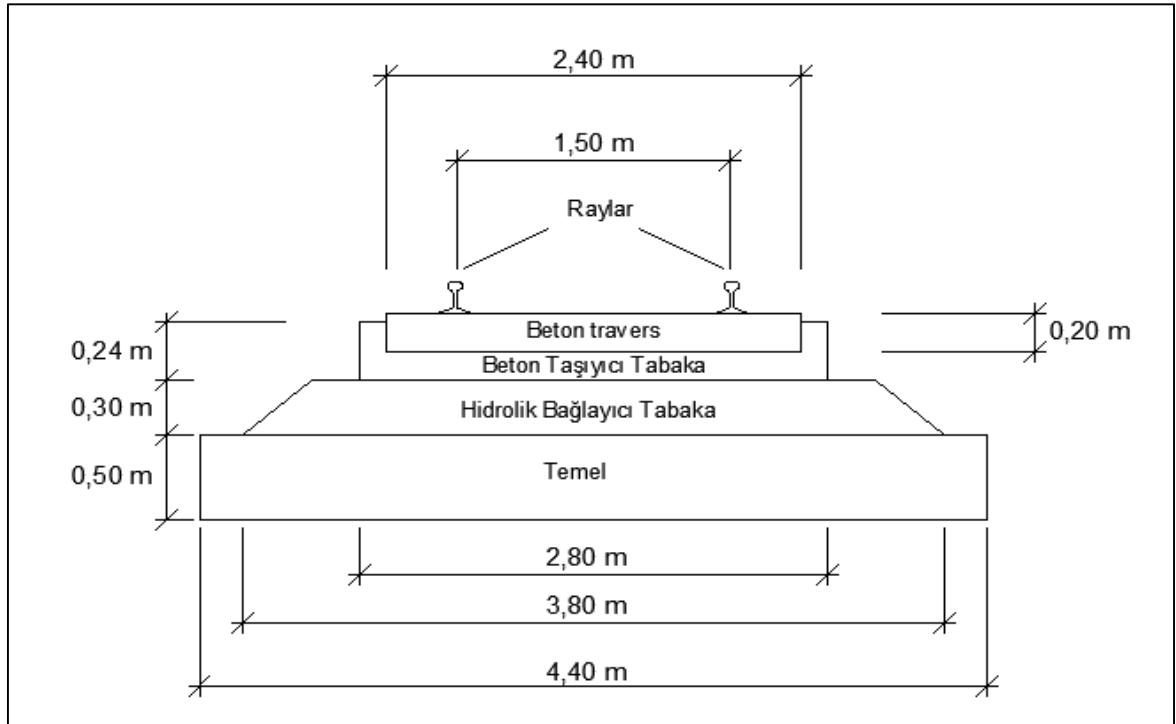
Bu çalışmada, problem geometrisi üç boyutlu olarak tanımlanan demiryolu hattının bir bölümüdür. Balastlı ve balastsız olmak üzere iki farklı problem ele alınmıştır. Balastlı demiryolu hattına ait bir travers ile bu traversin ilerisinde ve gerisinde yer alan bölgeler düşünülerek hattın 180 cm’lik bir kısım ele alınmıştır. Balastsız demiryolu hattı için ise sürekli travers göz önünde bulundurularak balastlı demiryolu hattında olduğu gibi 180 cm’lik kısım ele alınmıştır.

ANSYS programında modellenen balastlı demiryolunun katmanları Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Burada kullanılan geometrik ölçüler; teker yarıçapı 0,5 m, raylar arası mesafe 1,50 m, tekerler arası mesafe 1,80 m, travers uzunluğu 2,4 m, balast taban uzunluğu 5,4 m, alt balast ve temel taban uzunluğu 8,4 m şeklindedir.



Resim 3.1. Balastlı demiryolu katmanları

Balastsız demiryolu modeli için Rheda [29] sistemi ele alınmış olup model Şekil 3.2’de gösterilen elemanlardan oluşmaktadır. Modelde kullanılan teker yarıçapı 0,5m, raylar arası mesafe 1,50 m, tekerler arası mesafe 1,80 m, travers uzunluğu 2,4 m, beton taşıyıcı tabaka taban uzunluğu 2,8 m, hidrolik bağlayıcı tabaka taban uzunluğu 3,8 m ve temel taban uzunluğu 4,4 m’dir.



Resim 3.2. Balastsız demiryolu katmanları

3.2.2. Statik analiz için ANSYS modeli

ANSYS sonlu elemanlar yazılımında genel bir analiz yapılırken modelin oluşturulması, malzeme özelliklerinin tanımlanması, temas varsa tanımlanması ve sınır şartlarının belirlenmesi, sonlu eleman ağının oluşturulması ve çözüm adımları takip edilir. ANSYS programında modellenen balastlı demiryolunun geometrisi Şekil 3.1’de, balastsız demiryolunun geometrisi ise Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Elektrikli bir hızlı tren hattı olarak ele alınan model tek hat olarak oluşturulmuş olup balastlı bir demiryolunun 180 cm uzunluğundaki kısmı analiz edilmiştir. ANSYS Workbench programında çözüm metodu olarak “Static Structural” seçildikten sonra geometri kısmından model oluşturulmuştur. ANSYS programında birçok malzeme çeşidi (kompozit malzemeler, hiperelastik malzemeler, termal malzemeler vb.) bulunmasına rağmen modelde kullanılan elemanların/katmanların malzemesi ANSYS programının kütüphanesinde bulunmamaktadır. Bu yüzden, bu elemanlar/katmanlar için yeni malzeme özellikleri tanımlanıp atanmıştır. Balastlı ve balastsız demiryolunda 160 km/saat’ten büyük hızlar ile analiz yapılacağından ray modeli olarak UIC 60 ray modeli kullanılmıştır [14].

Balastlı demiryolunun elemanları/katmanları için kullanılan malzeme özellikleri aşağıda belirtilmiş olup Resim 3.3’te gösterildiği gibi programa girilmiştir.

- Teker için Poisson oranı: 0,30 ve Elastisite modülü: 205 000 MPa [30]
- UIC 60 ray için Poisson oranı: 0,295 ve Elastisite modülü: 206 900 MPa [30][14]
- B58 Beton travers için Poisson oranı: 0,30 ve Elastisite modülü: 64 000 MPa [31]
- Balast için Poisson oranı: 0,2 ve Elastisite modülü: 30 000 MPa [32] [1]
- Alt balast için Poisson oranı: 0,35 ve Elastisite modülü: 40 MPa [33]
- Temel için Poisson oranı: 0,30 ve Elastisite modülü: 20 MPa [33]

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	ballast			C:\Users\...	
4	base			C:\Users\...	
5	sleeper			C:\Users\...	
6	subballast			C:\Users\...	
7	track			C:\Users\...	

Properties of Outline Row 7: track					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Isotropic Elasticity				
4	Derive from	Youn...			
5	Young's Modulus	2,069E+05	MPa		
6	Poisson's Ratio	0,295			
7	Bulk Modulus	1,6821E+11	Pa		
8	Shear Modulus	7,9884E+10	Pa		

Resim 3.3. Balastlı demiryolu modelinde bulunan elemanların/katmanların malzeme özelliklerinin tanımlanması

Bu çalışmada, ANSYS programında modellenen parçaların temas eden yüzeyleri arasındaki ilişkinin tanımlanması için bazı temas davranış tipleri seçilmiştir. ANSYS'te bulunan temas davranış biçimleri aşağıda açıklanmıştır.

Bonded: İki yüzey arasında kayma, ayrılma veya nüfuz etme olayı olmamakla beraber iki parça birbirine yapışık gibi hareket etmektedir.

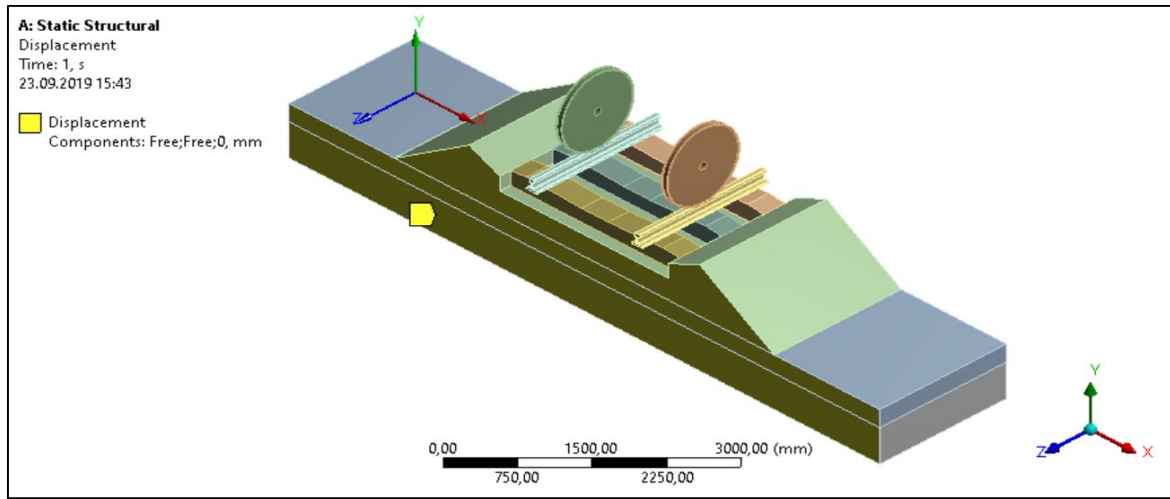
No separation: Sürtünmesiz hariç temas yüzeyi boyunca kaymaya müsaade etmesi yönüyle Bonded temas davranış tipinden ayrılmaktadır.

Frictionless: Yüzeyler arasında kayma ve ayrılma olmasına rağmen nüfuz etmeye müsaade etmemektedir.

Rough: Frictionless temas davranış tipi ile benzer olmasına rağmen sadece kaymaya izin verilmemektedir.

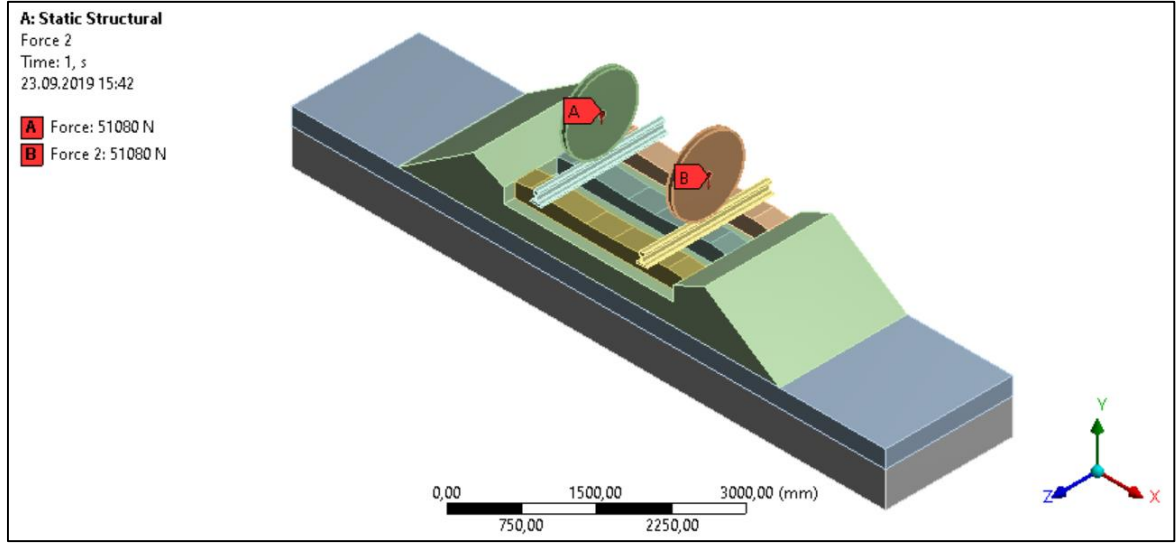
Frictional: Kullanıcının belirleyeceği sürtünme katsayısı ile kaymaya müsaade edilmektedir.

Oluşturulan modelde tabakaların (ray, balast, alt balast ve temel) temas yüzeyleri “bonded” olarak tanımlanmıştır. Bonded, iki yüzey arasında kaymanın, ayrılmanın veya nüfuz etme olayının olmamasını ve iki parçanın birbirine yapışık gibi hareket etmesini ifade etmektedir. Temel tabakasının alt yüzeyi “Fixed Support” olarak tanımlanmış olup üç yöndeki yer değiştirmesi kısıtlanmıştır. Uzun bir demiryolu hattının 180 cm’lik bir bölümünün modeli oluşturulduğu için Resim 3.4’te gösterilen rayların, balastın, alt balastın ve temelin hareketi sınırlarda boyuna doğrultuda (z doğrultusu) kısıtlanmıştır.



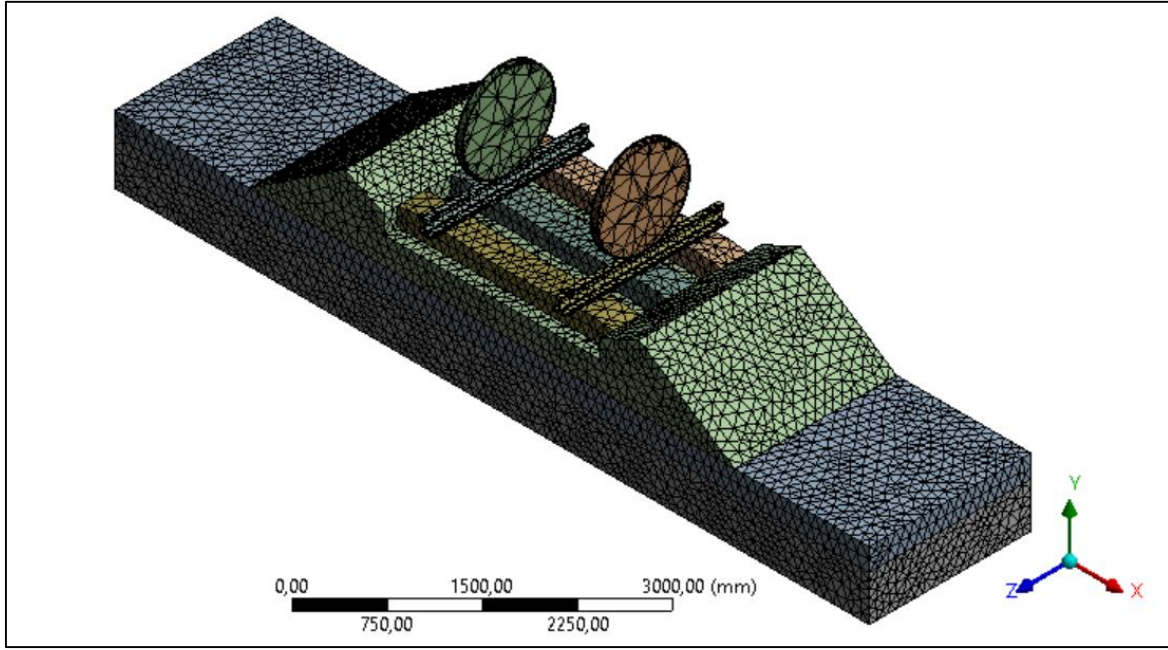
Resim 3.4. Balastlı demiryolu modeline ait elemanların/katmanların sınır koşullarının belirlenmesi

Demiryolu hattı belirli kuvvet türleri etkisinde gerilmelere maruz kalır. Bu kuvvet türleri ölü yüklerden oluşan düşey yükler, hız etkisi, çekiç darbe etkisi gibi etkilerle artan dinamik kuvvetler, hareketli yüklerden kaynaklanan enine doğrultudaki kuvvetler, sıcaklık değişimleri sonucu oluşan boyuna doğrultudaki kuvvetler, teker ve rayın temasında oluşan temas gerilmeleri olarak sayılabilir [14]. Bu çalışmada eşdeğer altı vagonlu tren setinin toplam ağırlığı 250 ton-kuvvet, bir vagonun ağırlığı 41,67 ton-kuvvet, bir vagondaki ön veya arka teker grubuna etki eden kuvveti 20,83 ton-kuvvet, bir grupta dört teker bulunması nedeniyle gruptaki bir tekere etki eden statik teker yükü, Q , 5,108 ton-kuvvet olarak alınmış ve Resim 3.5’te gösterildiği gibi modelde tekerlerin ağırlık merkezinden yer çekimi doğrultusunda statik teker yükü, Q , uygulanmıştır [12].



Resim 3.5. Statik teker yükünün (Q), balastlı demiryolu modelinde uygulanmış hali

ANSYS'te üç boyutlu katı model ve sınır şartları oluşturulduktan sonra sonlu eleman ağı oluşturulmuştur (Resim 3.6). Sonlu eleman sayısının artması sonucun hassasiyetini arttırmasına rağmen analizin çözüm süresini uzatmaktadır. Bu yüzden özellikle temas bölgesine yakın yerlerde küçük sonlu elemanlardan oluşan diğer bölgelerde daha büyük sonlu elemanlardan oluşan bir eleman ağı tercih edilmiştir. Optimum sonlu eleman sayısını belirlemek için “Body sizing” ve “Contact sizing” olarak sırasıyla, 300 mm/200 mm, 250 mm/150 mm, 200 mm/100mm, 180 mm/80 mm ve 150 mm/ 50 mm değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Elde edilen gerilme ve şekil değiştirme değerlerinde “Body sizing” 200 mm ve “Contact sizing” 100 mm seçildiği durumdan itibaren değerler arasında yakınsama olduğu görülmüştür ve bu yüzden bu değerler optimum sonlu eleman aralığı olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle modelde “Body sizing” mesh aralığı 200 mm, “Contact sizing” mesh aralığı 100 mm eleman tipi ise “Tetrahedrons” olarak seçilmiştir.



Resim 3.6. Balastlı demiryolu modelinin sonlu elemanlar ağı

Balastlı demiryolunun sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra analiz yapılmış ve gerilme ve şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar Bölüm 3.3.1’de ifade edilmektedir.

Balastsız demiryolunun elemanları için kullanılan malzeme özellikleri aşağıda belirtilmiş olup Resim 3.7’de gösterildiği gibi programa girilmiştir.

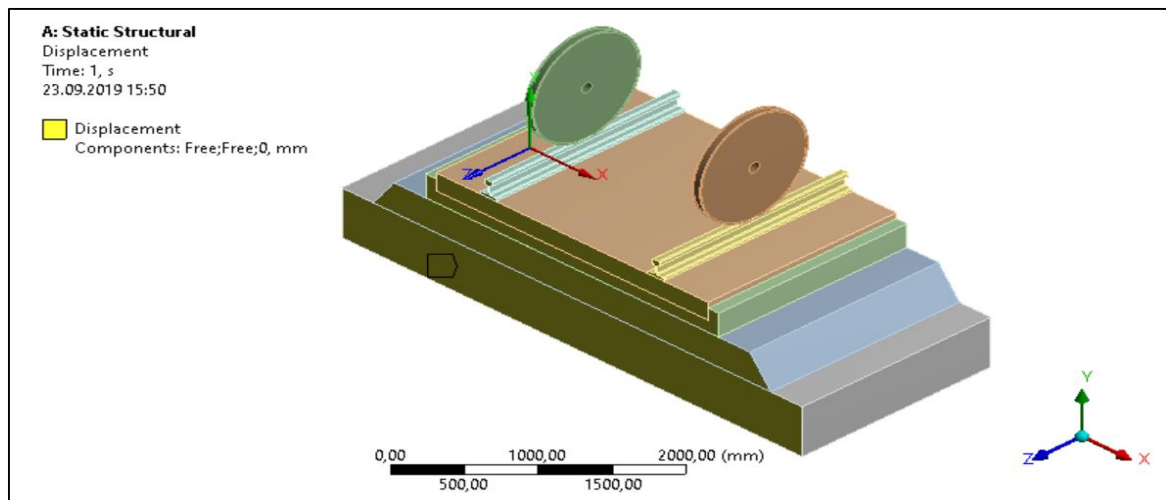
- Teker için Poisson oranı: 0,30 ve Elastisite modülü: 205 000 MPa [30]
- UIC 60 ray için Poisson oranı: 0,295 ve Elastisite modülü: 206 900 MPa [30][14]
- Travers için Poisson oranı: 0,30 ve Elastisite modülü: 64 000 MPa [31]
- C30/37 Beton Taşıyıcı Tabaka için Poisson oranı: 0,2 ve Elastisite modülü: 32 000 MPa [33]
- Hidrolik Bağlayıcı Tabaka için Poisson oranı: 0,45 ve Elastisite modülü: 84 MPa [33]
- Temel için Poisson oranı: 0,30 ve Elastisite modülü: 40 MPa [33]

Outline of Schematic A2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
2	Material			Description
3	base			C:\Users\...
4	btt			C:\Users\...
5	hbt			C:\Users\...
6	sleeper			C:\Users\...
7	track			C:\Users\...

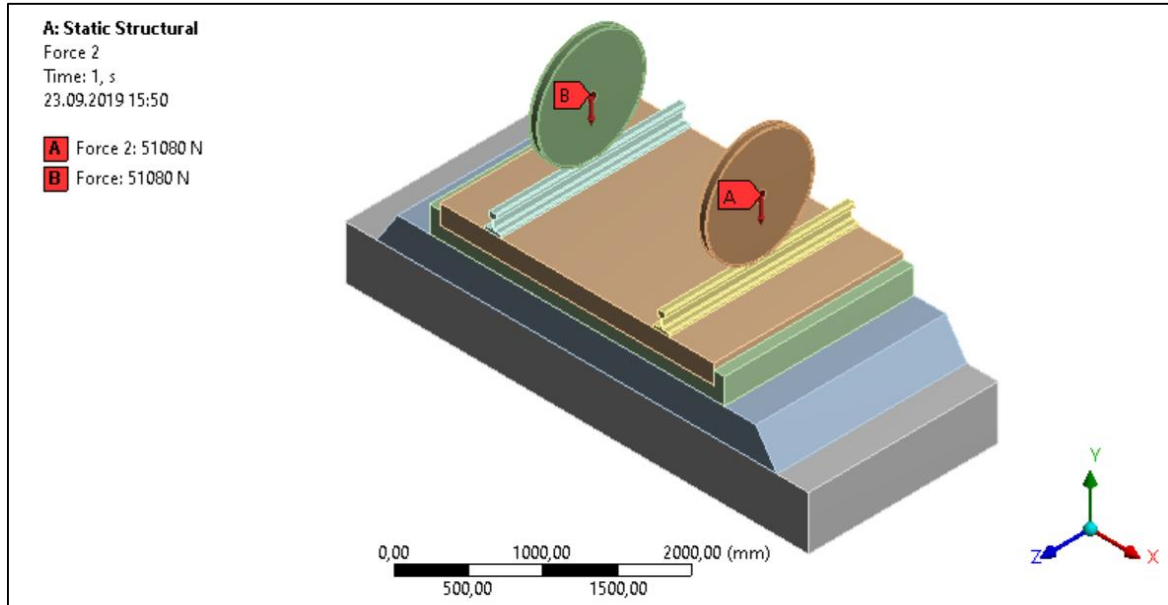
Properties of Outline Row 7: track				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Isotropic Elasticity			
4	Derive from	Youn...		
5	Young's Modulus	2,069E+05	MPa	
6	Poisson's Ratio	0,295		
7	Bulk Modulus	1,6821E+11	Pa	
8	Shear Modulus	7,9884E+10	Pa	

Resim 3.7. Balastsız demiryolu modelinde bulunan elemanların/katmanların malzeme özelliklerinin tanımlanması

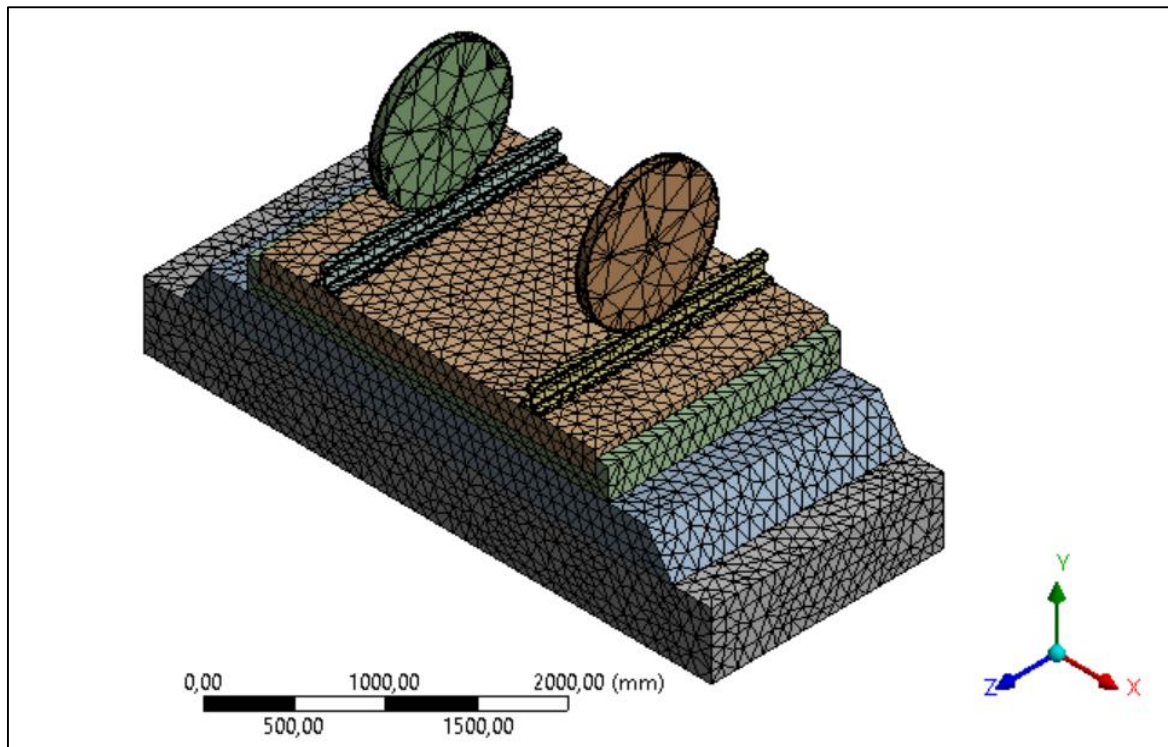
Balastsız demiryolu modelinde de balastlı demiryolu modelindeki sınır şartları ve yükleme durumu kullanılmış olup Resim 3.8’de ve Resim 3.9’da gösterilmektedir. Benzer şekilde, sonlu eleman ağı için de balastlı demiryolu modeli ile aynı sonlu eleman ağı aralıkları kullanılarak “Body sizing” mesh aralığı 200 mm, “Contact sizing” mesh aralığı 100 mm eleman tipi ise “Tetrahedrons” olarak seçilmiş ve oluşturulan eleman ağı Resim 3.10’da gösterilmiştir.



Resim 3.8. Balastsız demiryolu modeline ait elemanların/katmanların sınır koşullarının belirlenmesi



Resim 3.9. Statik teker yükünün (Q), balastsız demiryolu modelinde uygulanmış hali



Resim 3.10. Balastsız demiryolu sonlu eleman ağı

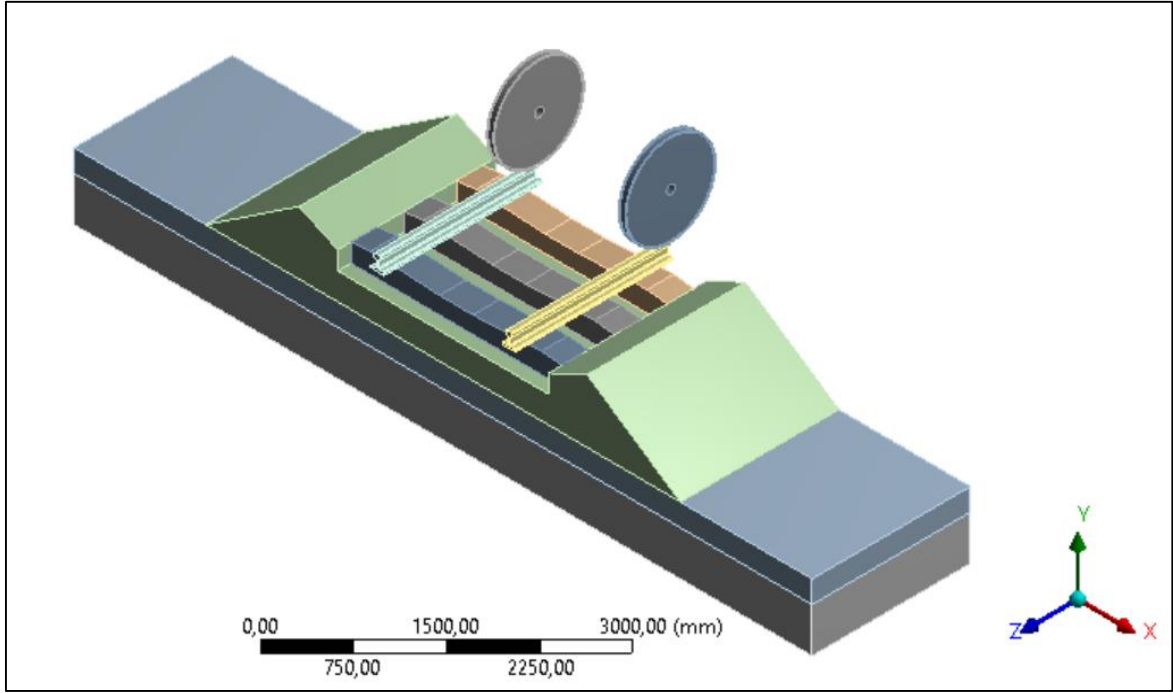
Balastsız demiryolunun sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra analiz yapılmış, gerilme ve şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

3.2.3. Dinamik analiz için ANSYS modeli

Dinamik analiz ANSYS yazılımında Workbench altında “Explicit Dynamics” ile yapılmıştır. Balastlı ve balastsız demiryolu için statik analizde kullanılan geometri kullanılmıştır.

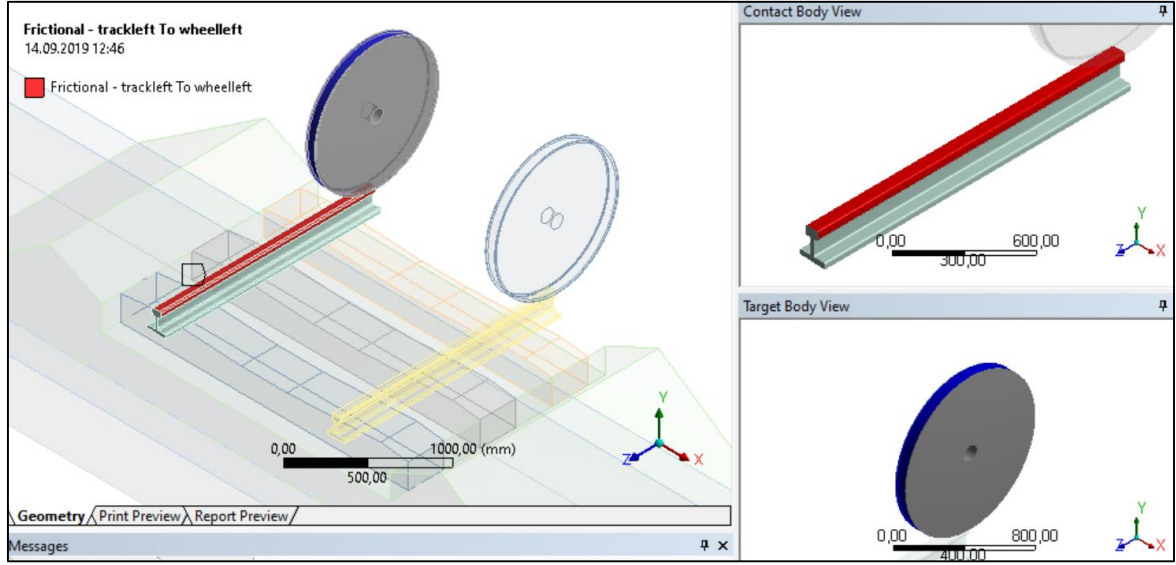
Balastlı demiryolu modelinin dinamik analizi için kullanılan model Resim 3.11’de gösterilmiş olup statik analizde kullanılan model kullanılmıştır. Balastlı demiryolunun elemanları için kullanılan malzeme özellikleri malzeme yoğunluğu da eklenerek aşağıda belirtilmiştir.

- Teker için Poisson oranı: 0,30 - Elastisite modülü: 205 000 MPa - Yoğunluk: 7850 kg/m³ [30]
- UIC 60 ray için Poisson oranı: 0,295 - Elastisite modülü: 206 900 MPa - Yoğunluk: 7700 kg/m³ [30] [31][14]
- B58 Beton travers için Poisson oranı: 0,30 - Elastisite modülü: 64 000 MPa - Yoğunluk: 3070 kg/m³ [31]
- Balast için Poisson oranı: 0,2 - Elastisite modülü: 30 000 MPa - Yoğunluk: 2700 kg/m³ [32][1]
- Alt balast için Poisson oranı: 0,35 - Elastisite modülü: 40 MPa - Yoğunluk: 1600 kg/m³ [33]
- Temel için Poisson oranı: 0,30 - Elastisite modülü: 20 MPa - Yoğunluk: 1420 kg/m³ [33]

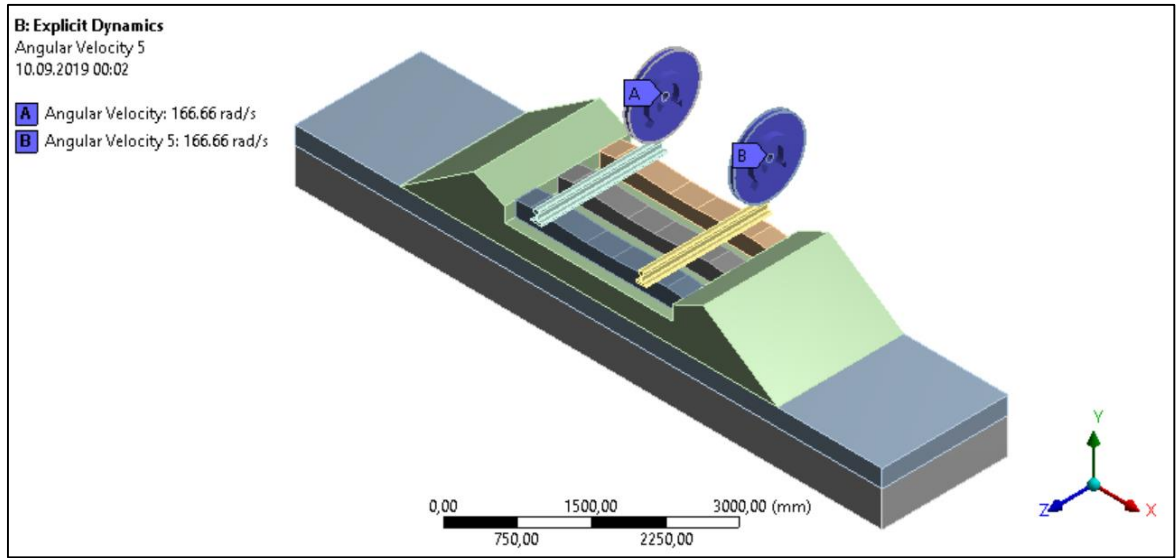


Resim 3.11. Dinamik analizde kullanılan balastlı demiryolu modelinin 3b görünümü

Oluşturulan modelde statik analizde kullanılan sınır şartlarına ek olarak Resim 3.12’de gösterilen modelde bulunan iki teker ile raylar arasındaki temas yüzeyleri “frictional” olarak tanımlanmış olup kinetik sürtünme katsayısı değeri 0,3 alınmıştır. Modelde tekerlerin ağırlık merkezinden yer çekimi doğrultusunda statik analizde kullanılan teker yükü, $Q = 51,08 \text{ kN}$, uygulanmıştır [12]. Sırasıyla 300 km/saat, 250 km/sa, 200 km/saat’e karşılık gelen açısal hızlar Resim 3.13’te gösterilen yönde uygulanmış ve her bir hız için çözüm yapılarak seçilen eleman/katman ve noktalar için sonuçlar elde edilmiştir. Analizler için kullanılan bilgisayar core i7 işlemci ve 16 GB hafızaya sahip olmakla birlikte, bu bilgisayarda dinamik analiz için gereken süre yaklaşık olarak 14-16 saat olmaktadır.



Resim 3.12. Balastlı demiryolu modelinde bulunan ray ve teker arasındaki temas yüzeylerinin özelliğinin belirlenmesi

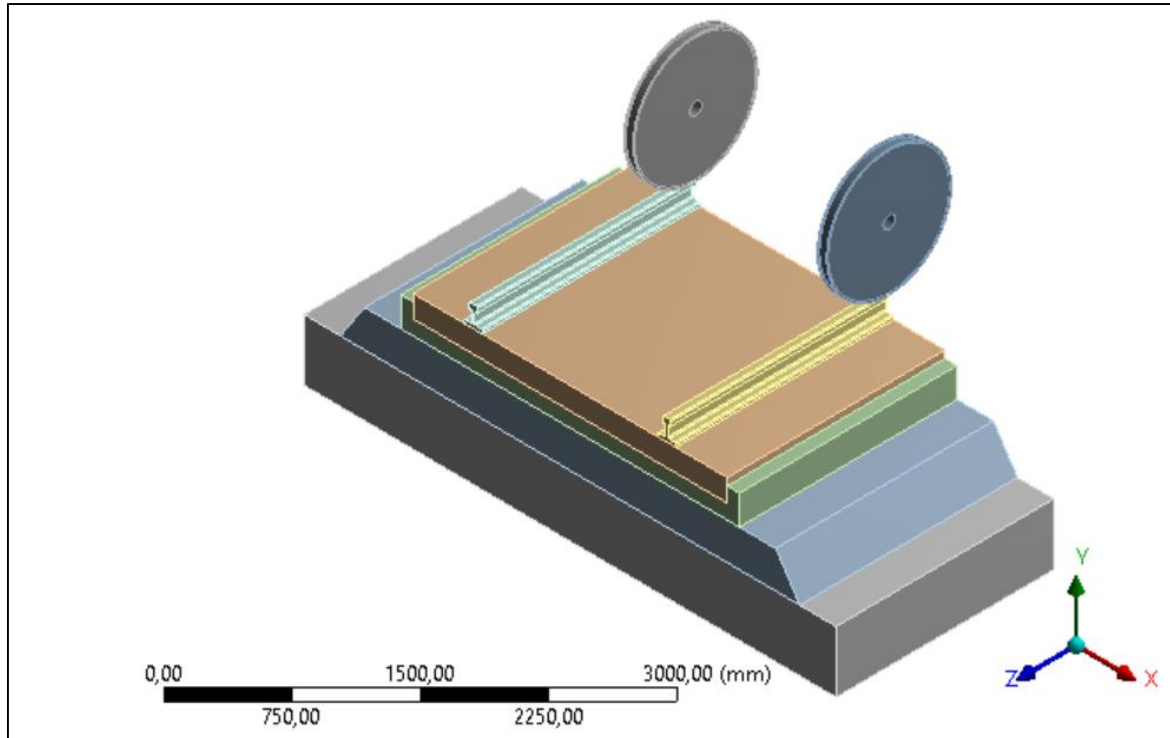


Resim 3.13. Tekerlere tanımlanan açısal hızların değerleri ve yönleri

Modelde kullanılan sonlu eleman ağı aralıkları statik analizde kullanılan sonlu eleman ağı aralıkları ile aynı değere sahiptir. “Body sizing” mesh aralığı 200 mm, “Contact sizing” mesh aralığı 100 mm eleman tipi ise “Tetrahedrons” olarak seçilmiştir. Modele ait bütün bilgiler girildikten sonra 300 km/sa hız için analiz süresi 0,0055 sn, 250 km/sa hız için analiz süresi 0,0066 sn ve 200 km/sa hız için analiz süresi 0,00825 sn olarak tanımlanmış gerilme ve şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

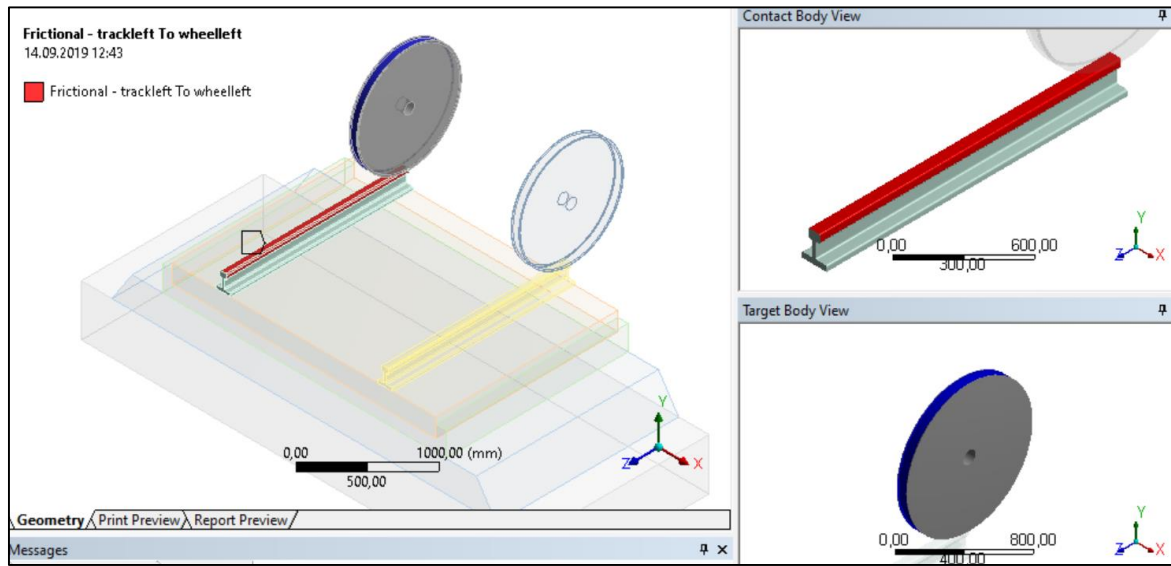
Balastsız demiryolunun dinamik analizi için oluşturulan model Resim 3.14'te gösterilmiştir. Dinamik analizde, statik analizde kullanılan balastsız demiryolu modeli kullanılmıştır. Balastsız demiryolunun elemanları/katmanları için kullanılan malzeme özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Teker için Poisson oranı: 0,30 - Elastisite modülü: 205 000 MPa - Yoğunluk: 7850 kg/m³[30]
- UIC 60 ray için Poisson oranı: 0,295 - Elastisite modülü: 206 900 MPa - Yoğunluk: 7700 kg/m³[30][31][14]
- Travers için Poisson oranı: 0,30 UIC 60 - Elastisite modülü: 64 000 MPa - Yoğunluk: 3070 kg/m³ [31]
- Beton Taşıyıcı Tabaka için; (C30/37) Poisson oranı: 0,2 - Elastisite modülü: 32 000 MPa - Yoğunluk: 2400 kg/m³ [33]
- Hidrolik Bağlayıcı Tabaka için; Poisson oranı: 0,45 v Elastisite modülü: 84 MPa - Yoğunluk: 2400 kg/m³ [33]
- Temel için; Poisson oranı: 0,30 - Elastisite modülü: 40 MPa - Yoğunluk: 1600 kg/m³ [33]

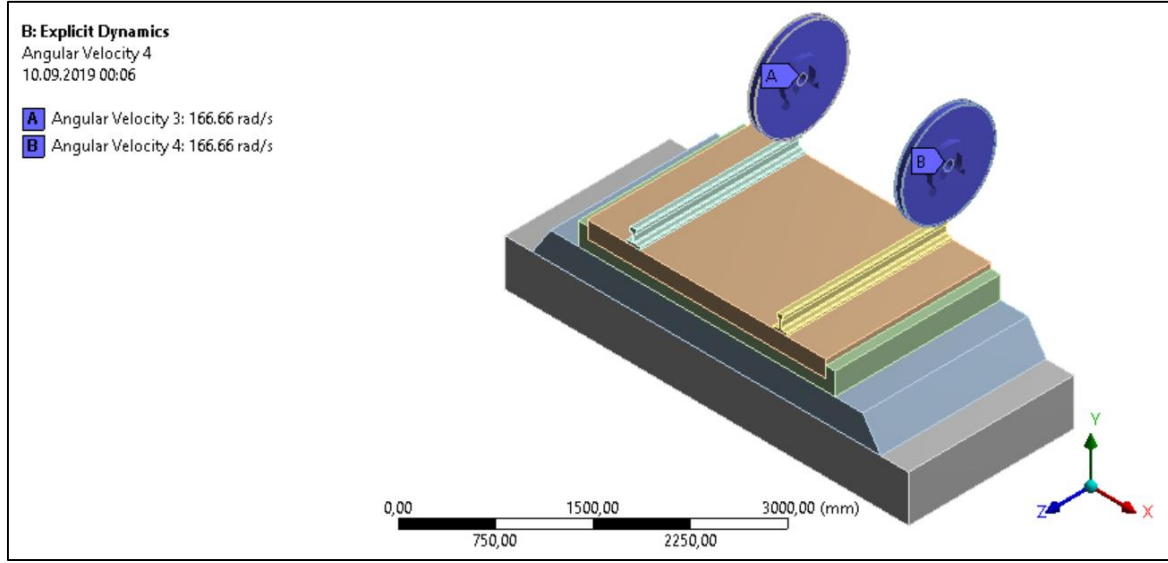


Resim 3.14. Dinamik analizde kullanılan balastsız demiryolu modelinin 3b görünümü

Oluşturulan modelde statik analizdeki model sınır şartlarına benzer şekilde tabakalar arası temas yüzeyleri “bonded” olarak tanımlanmış, temel tabakasının alt yüzeyi “Fixed Support” olarak seçilmiştir. Balastlı demiryolu modelindeki benzer şekilde modelde bulunan iki teker ile raylar arasındaki temas yüzeyi sürtünmeli olarak tanımlanmış olup kinetik sürtünme katsayısı değeri 0,3 alınmış ve aynı yük kullanılmıştır. Sırasıyla 300 km/saat, 250 km/sa, 200 km/saat’e karşılık gelen açısal hızlar Resim 3.16’da gösterilen yönde uygulanmış ve her bir hız için çözüm yapılarak seçilen eleman/katman ve noktalar için sonuçlar elde edilmiştir. Modelde kullanılan sonlu eleman ağı önceki analizlere benzer şekilde oluşturulmuş olup, modele ait bütün bilgiler girildikten sonra 300 km/sa hız için analiz süresi 0,0055 sn, 250 km/sa hız için analiz süresi 0,0066 sn ve 200 km/sa hız için analiz süresi 0,00825 sn olarak tanımlanarak gerilme ve şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.



Resim 3.15. Balastsız demiryolu modelinde bulunan ray ve teker arasındaki temas yüzeylerinin özelliğinin belirlenmesi



Resim 3.16. Tekerlere tanımlanan açısal hızların değerleri ve yönleri

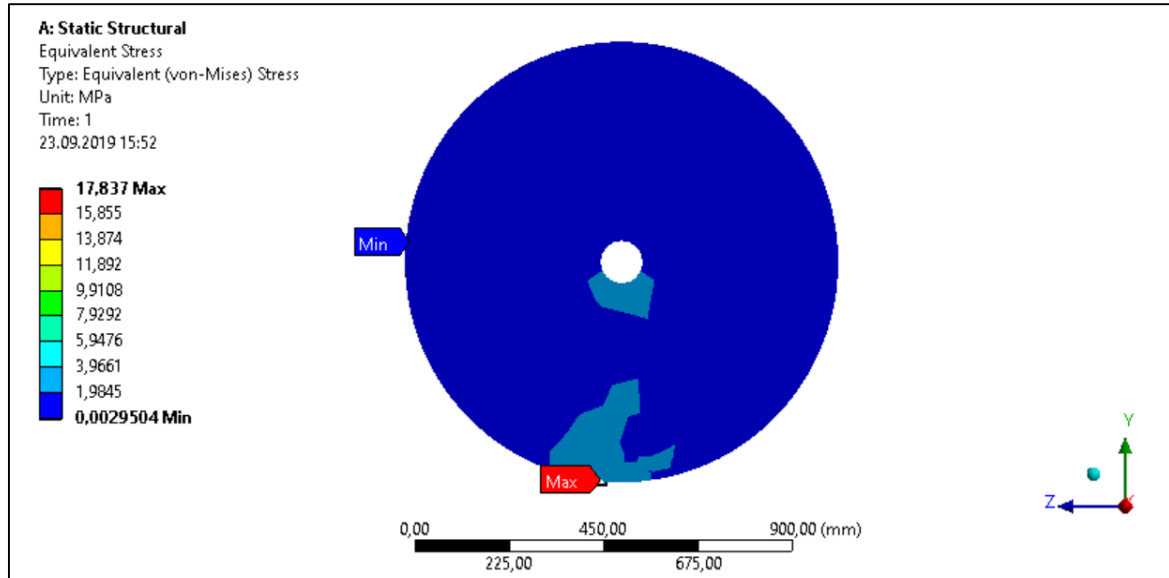
3.3. Analiz Sonuçları

Analizler sonucunda rayda, tekerlerde, temelde ve ray-teker arasındaki temas yüzeyinde (seçilen noktalar için) gerilme değerleri ve düşey yönde meydana gelen yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen gerilme değerleri, normal gerilme, kayma gerilmesi ve Von-Mises gerilme değerleridir.

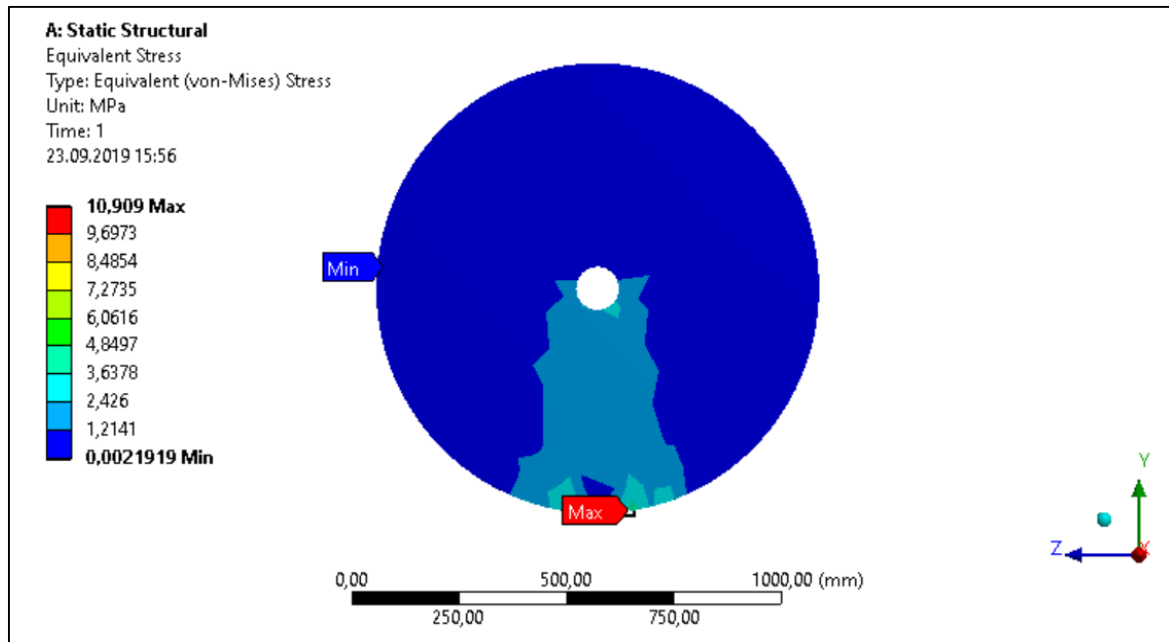
Sonlu elemanlar analizlerinin sonuçları incelenirken bulunan gerilmeler arasında Von-Mises gerilmesi de bulunmaktadır. Bu gerilme, yapının herhangi bir yükleme durumunda plastik şekil değişimine uğramış olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir değerdir. Von-Mises gerilme değeri metaller gibi sünek malzemeler için kullanılır. Von-Mises gerilmesi gerçek bir gerilme değeri olmamakla birlikte, genel üç boyutlu gerilme ile tek eksenli gerilme akma limiti arasındaki karşılaştırmayı sağlayan teorik bir değerdir [34].

Ray-teker arasındaki temas yüzeyinde seçilen noktalar için meydana gelen normal gerilme, kayma gerilmesi, Von-Mises gerilmesi ve düşey yer değiştirme hem balastlı hem de balastsız demiryolu modeli için ele alınmıştır.

3.3.1. Statik analiz sonuçları



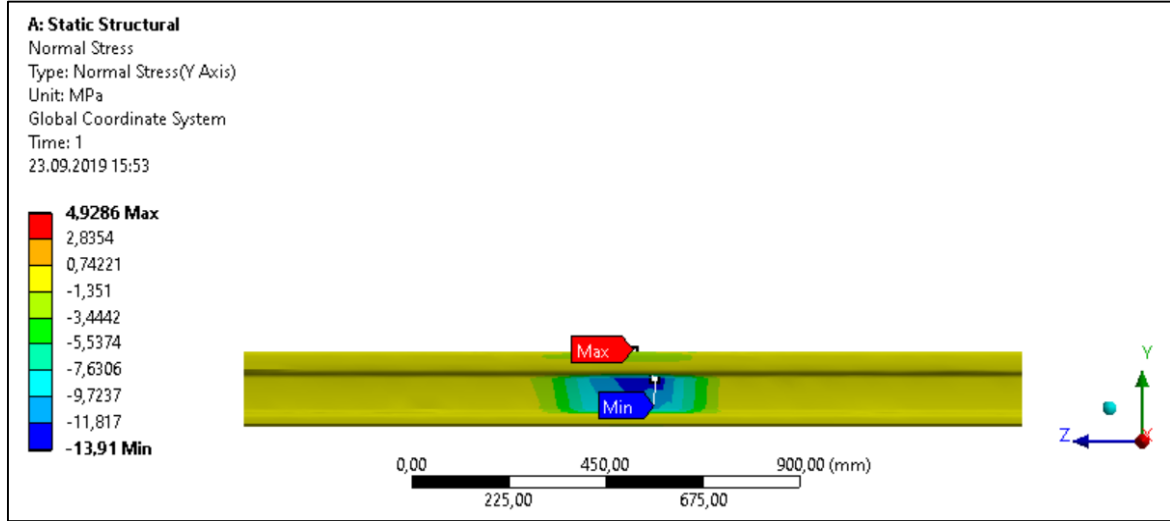
Resim 3.17. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri



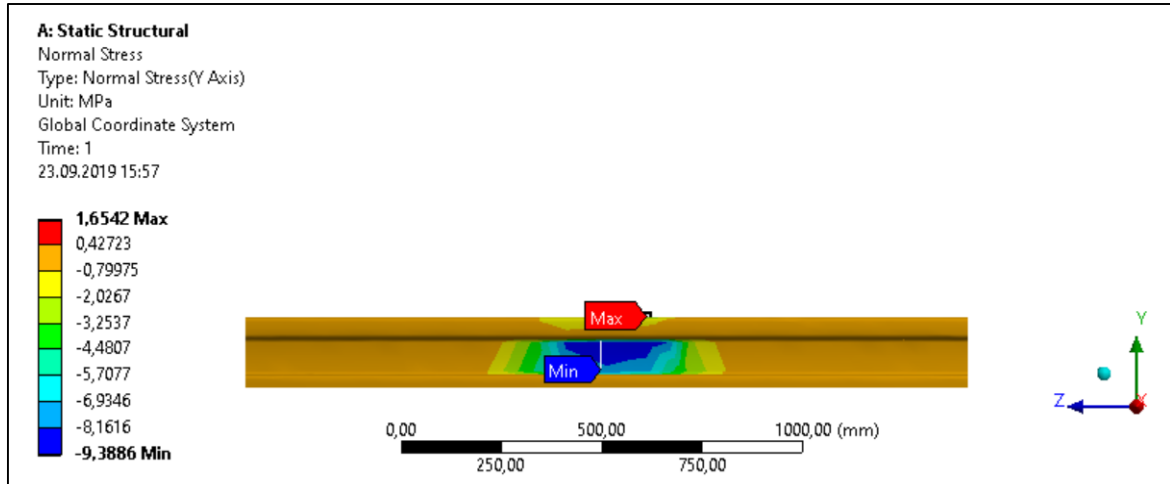
Resim 3.18. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.17'e ve Resim 3.18' e bakıldığında balastlı demiryolu modelinde statik durumda, teker yükü altında tekerlerde oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinin teker-ray arasında bulunan temas noktasında meydana geldiği, balastsız demiryolu modelinde ise tekerlerde oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinin teker-ray arasında bulunan temas

noktasının yakınında meydana geldiği görülmektedir. Balastlı demiryolu modelinde bulunan tekerde oluşan en büyük Von-Mises gerilme değeri balastsız demiryolu modelinde bulunan tekerde oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinden daha fazladır.

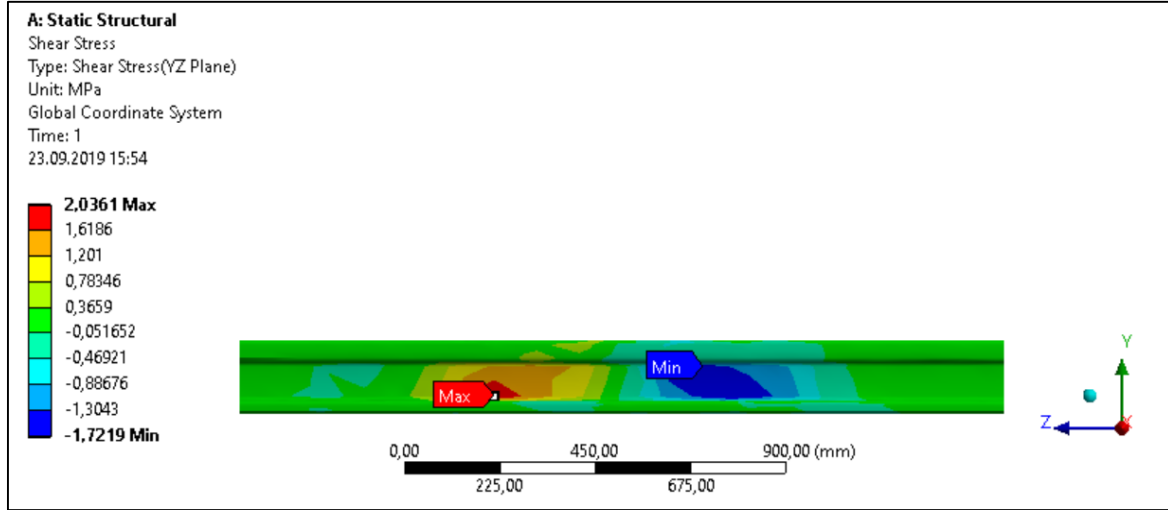


Resim 3.19. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

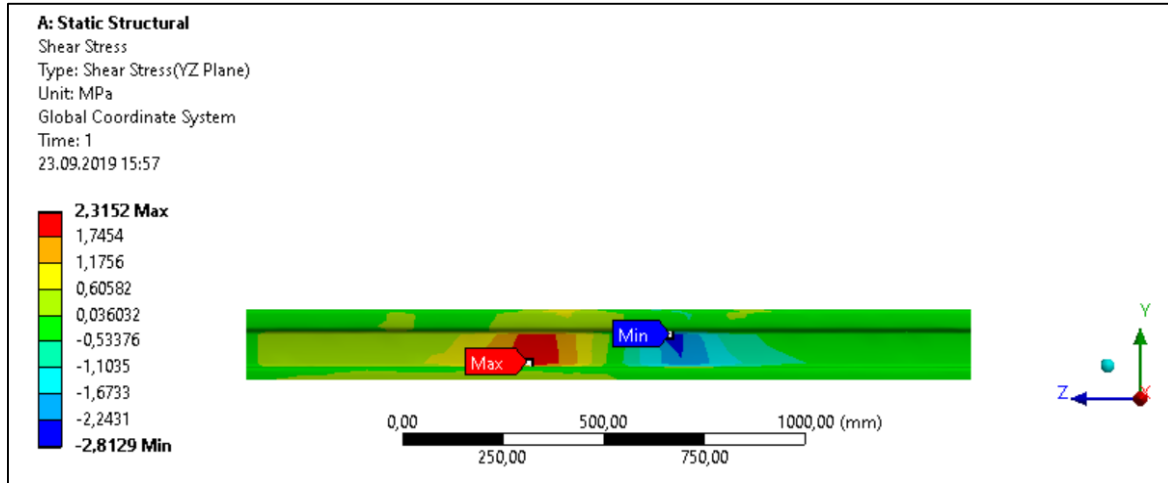


Resim 3.20. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.19'da ve Resim 3.20'de gösterilen balastlı ve balastsız demiryolu modelinde statik durumda, raylarda meydana gelen normal gerilme değerlerine bakıldığında iki model için de en büyük normal gerilme değeri ray ile tekerin temas ettiği ray yüzeyinde, en küçük normal gerilme değerinin ise tekerin altındaki rayın iç kısmında olduğu görülmektedir.

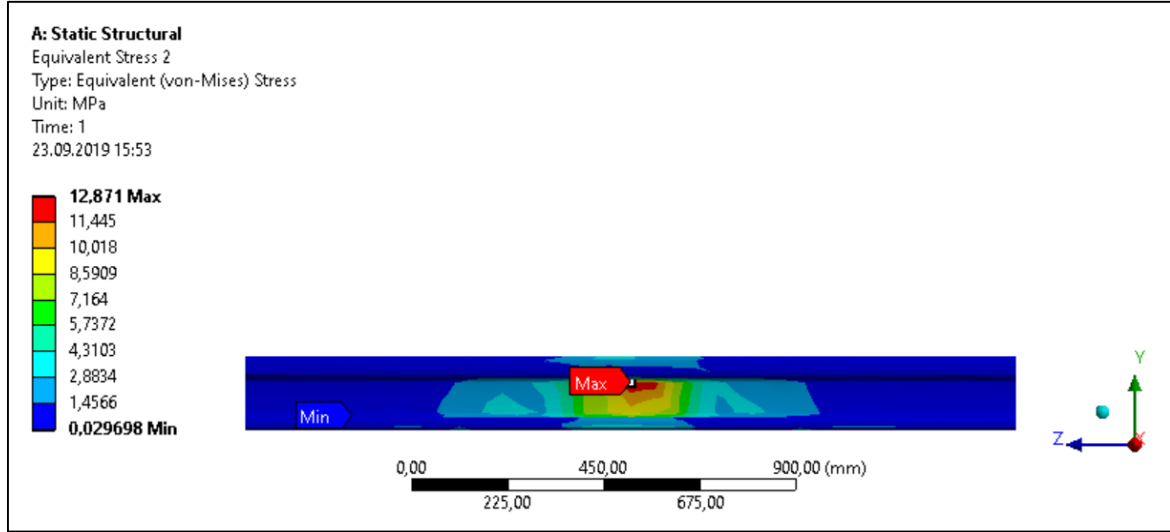


Resim 3.21. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

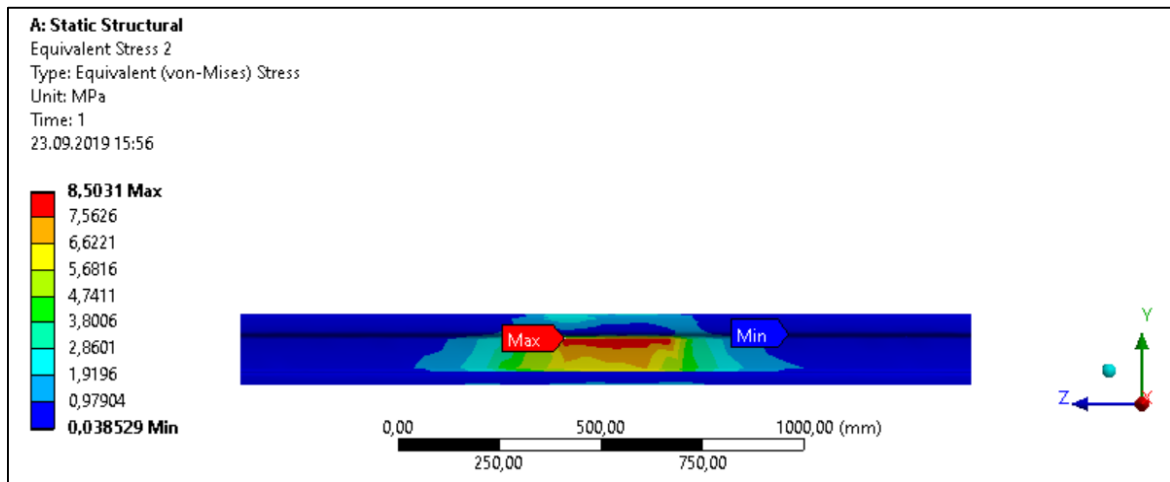


Resim 3.22. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.21’de ve Resim 3.22’de gösterilen statik durumdaki balastlı ve balastsız üstyapı modeline ait rayda oluşan kayma gerilmesi değerlerine bakıldığında, iki model için de rayda oluşan en büyük ve en küçük kayma gerilmesi değerlerinin rayın aynı kısımlarında meydana geldiği fakat balastsız üstyapı modelindeki rayda oluşan en büyük ve en küçük kayma gerilmesi değerlerinin balastlı üstyapı modelindeki rayda oluşan en büyük ve en küçük kayma gerilmesi değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir.

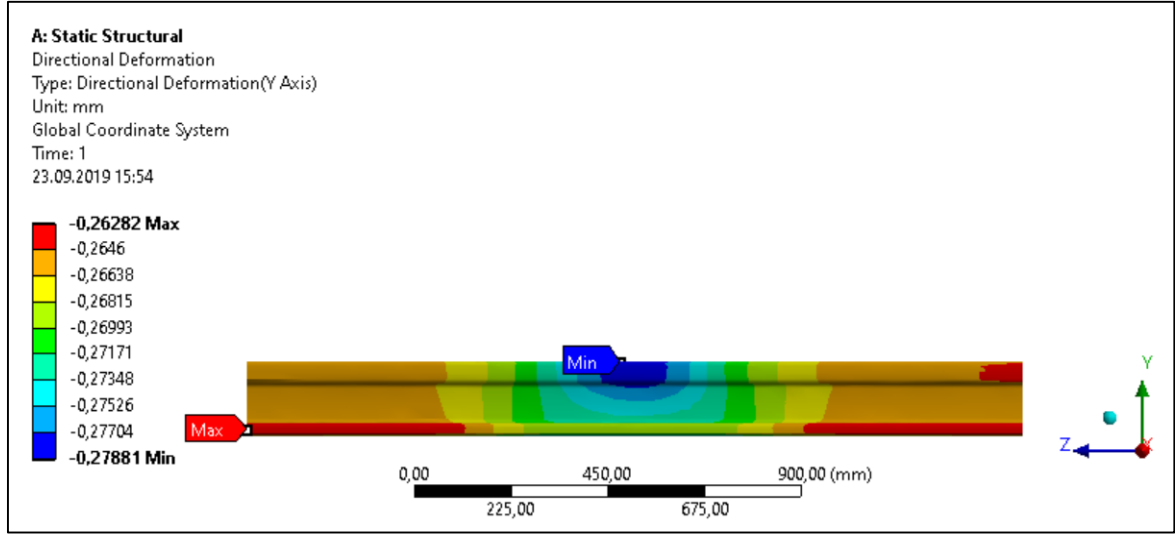


Resim 3.23. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

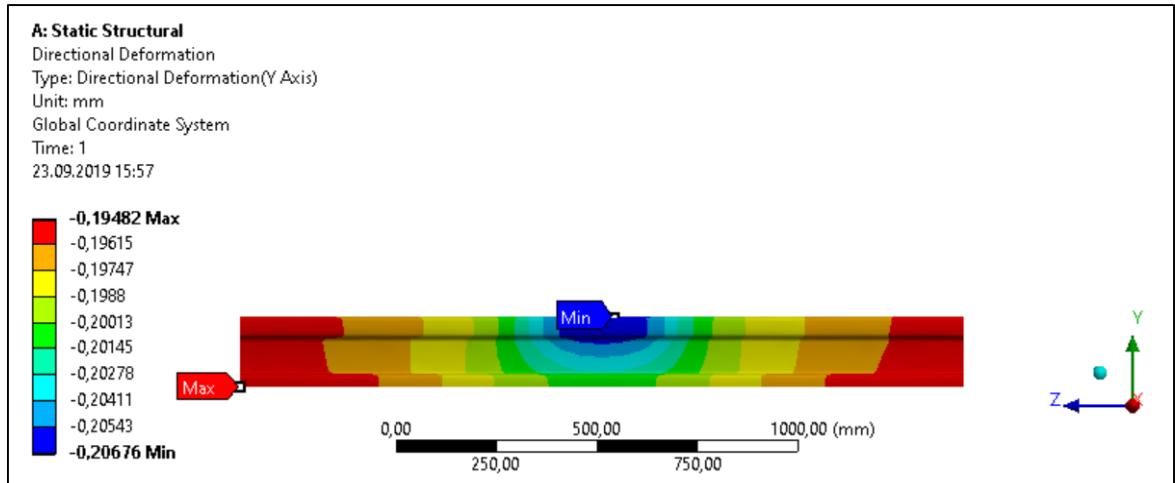


Resim 3.24. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.23'te ve Resim 3.24'te gösterilen balastlı ve balastsız demiryolu modelinde statik durumda, raylarda oluşan Von-Mises gerilme değerlerine bakıldığında iki model için de en büyük normal gerilme değeri tekerin altındaki rayın iç kısmında oluştuğu görülmektedir. Balastlı üstyapı modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değeri, balastsız üstyapı modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinden daha fazladır.



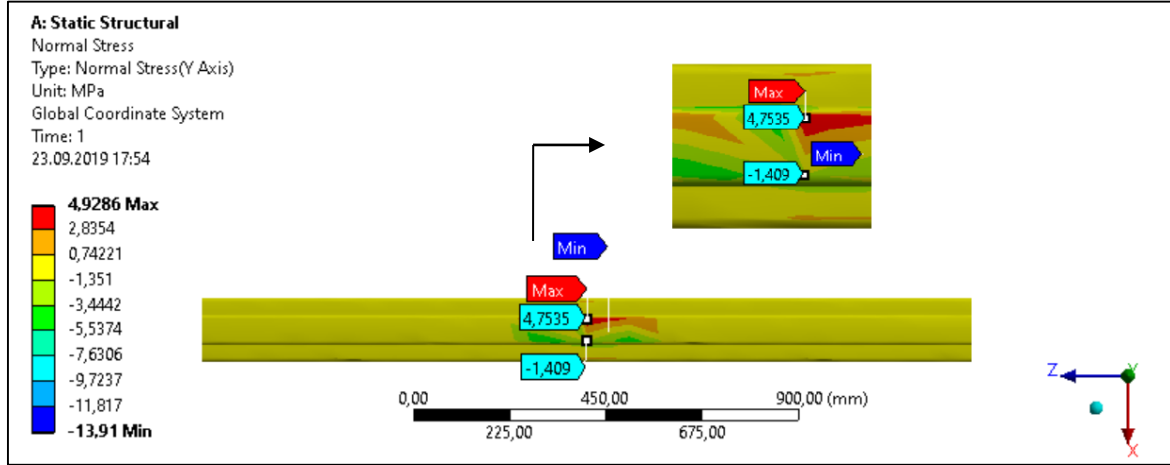
Resim 3.25. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri



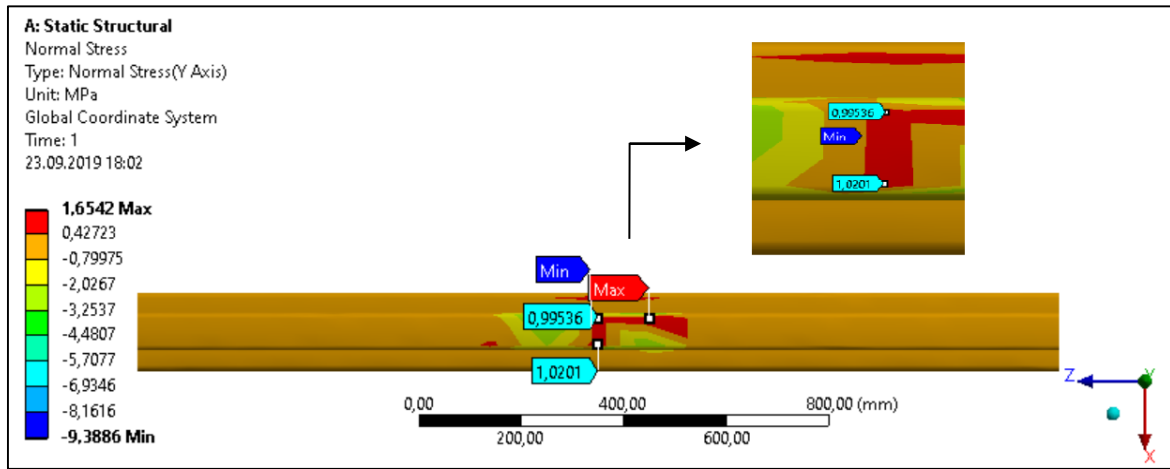
Resim 3.26. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Resim 3.25'te ve Resim 3.26'da balastlı ve balastsız demiryolu modelinde statik durumda, raylarda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerlerine bakıldığında, her iki üstyapı modeli için de en büyük yer değiştirme tekerin ray ile temas ettiği noktada meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca balastlı demiryolu modelindeki rayda meydana gelen düşey yöndeki en büyük yer değiştirme değeri balastsız demiryolu modelindeki rayda meydana gelen düşey yöndeki en büyük yer değiştirme değerinden fazladır.

Statik teker yükü altında modellenen iki hatta, ray ile teker arasında bulunan temas yüzeyinde tekerin raya temas ettiği iki nokta için gerilme yer değiştirme değerleri elde edilmiştir.

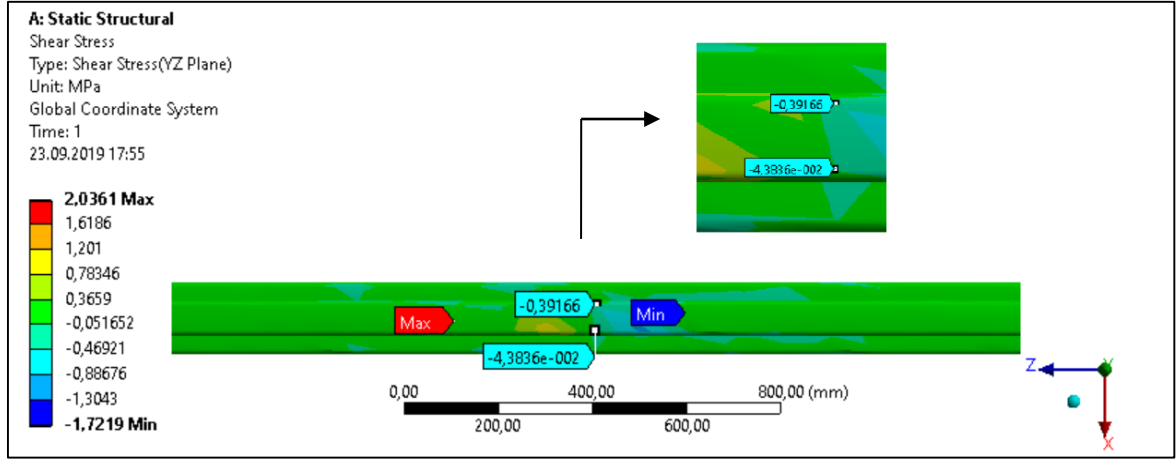


Resim 3.27. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

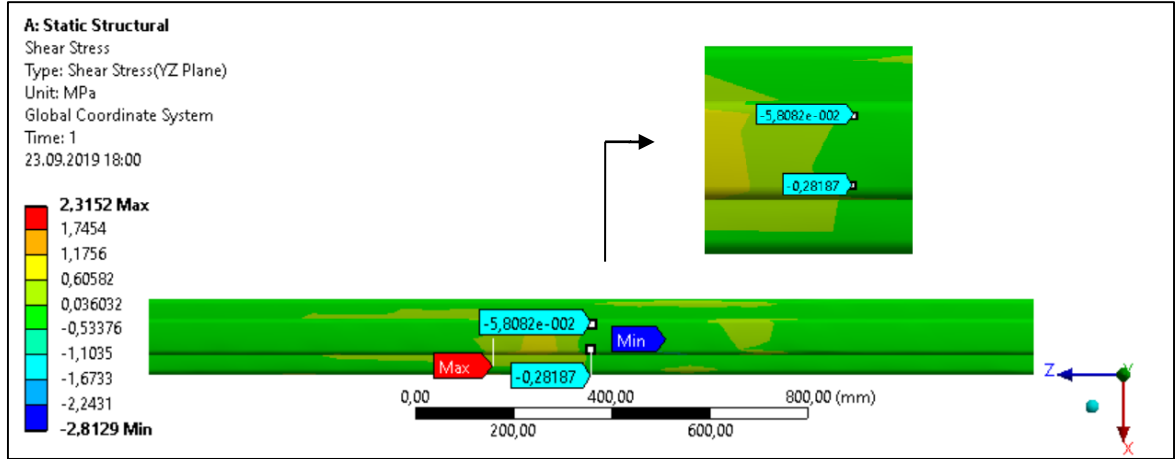


Resim 3.28. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.27'de ve Resim 3.28'de gösterilen ray teker arasındaki temas yüzeyinde seçilen referans noktalarda oluşan normal gerilme değerlerine bakıldığında, balastlı demiryolu modelindeki referans noktalarda oluşan normal gerilme değerinin balastsız demiryolu modelindeki referans noktalarda oluşan normal gerilme değerinden büyük olduğu görülmektedir.

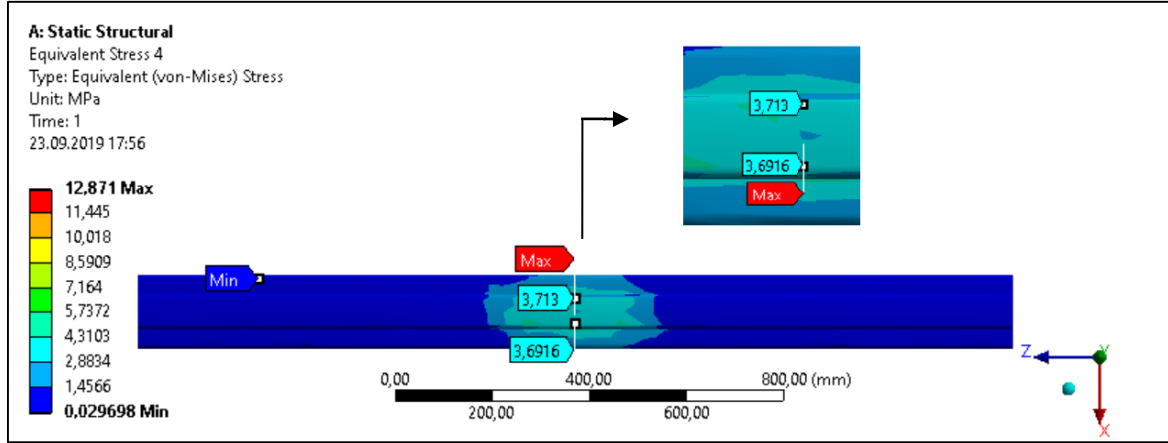


Resim 3.29. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

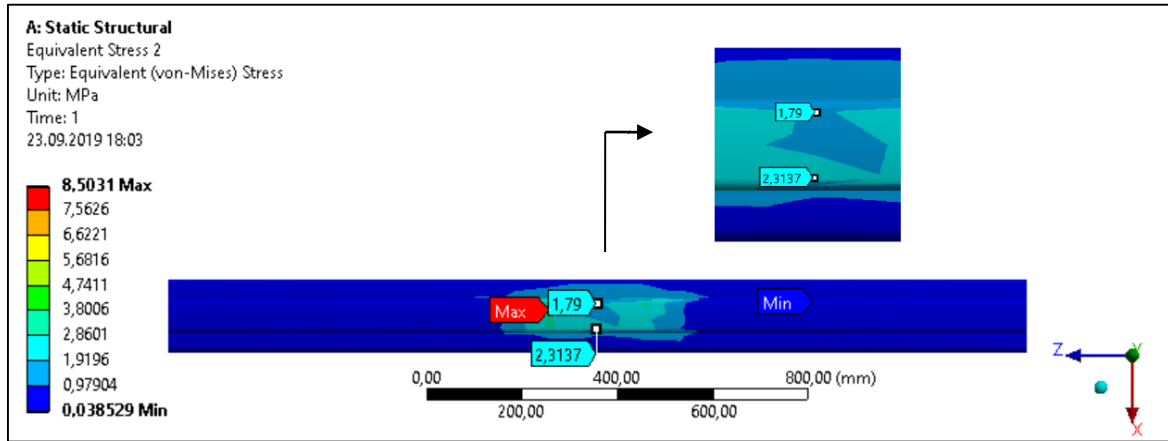


Resim 3.30. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.29’da ve Resim 3.30’da gösterilen balastlı ve balastsız demiryolu modelinde ray teker arasındaki temas yüzeyinde seçilen referans noktalarda oluşan kayma gerilme değerlerine bakıldığında, balastsız demiryolu modelindeki referans noktalarda kayma gerilme değerinin balastlı demiryolu modelindeki referans noktalarda oluşan kayma gerilme değerinden büyük olduğu görülmektedir.

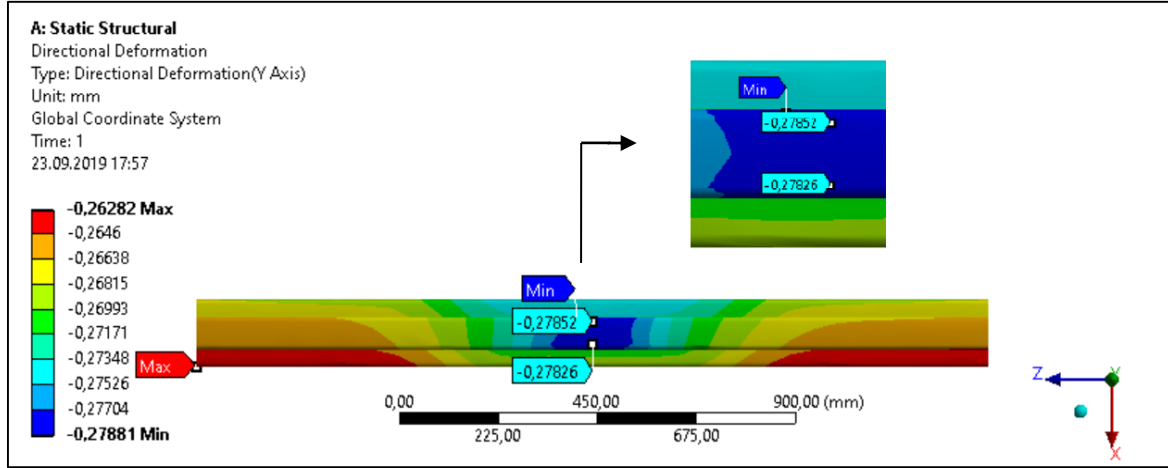


Resim 3.31. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

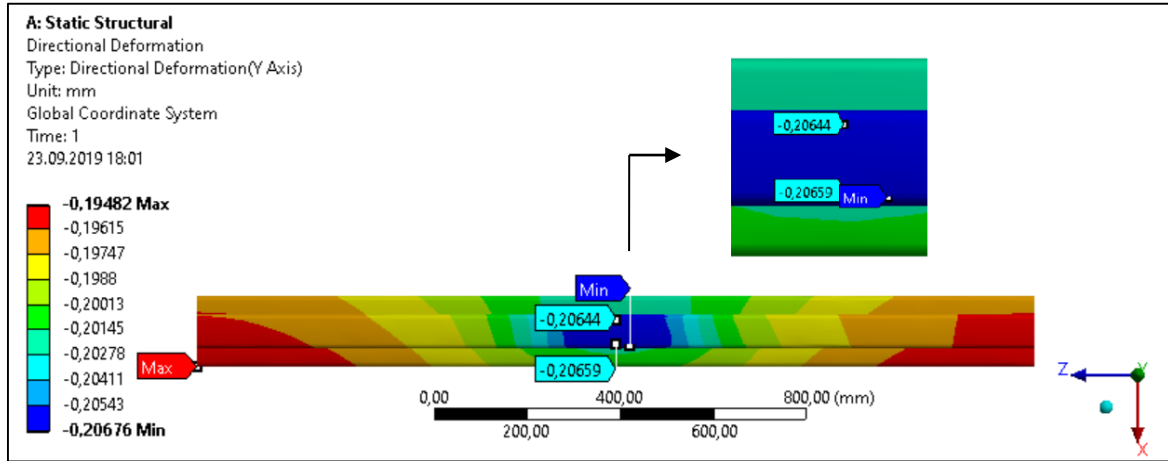


Resim 3.32. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.31’de ve Resim 3.32’de gösterilen balastlı ve balastsız demiryolu modelinde ray teker arasındaki temas yüzeyinde seçilen referans noktalarda oluşan Von-Mises gerilme değerlerine bakıldığında, referans noktalarda oluşan Von-Mises gerilme değerleri balastlı demiryolu modelinde daha yüksek bir değere sahiptir.



Resim 3.33. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

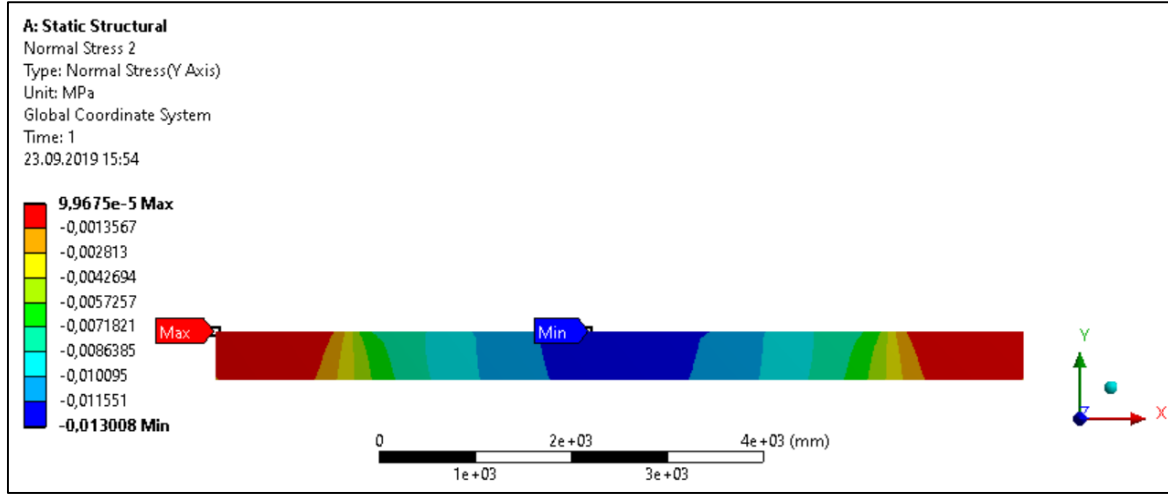


Resim 3.34. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

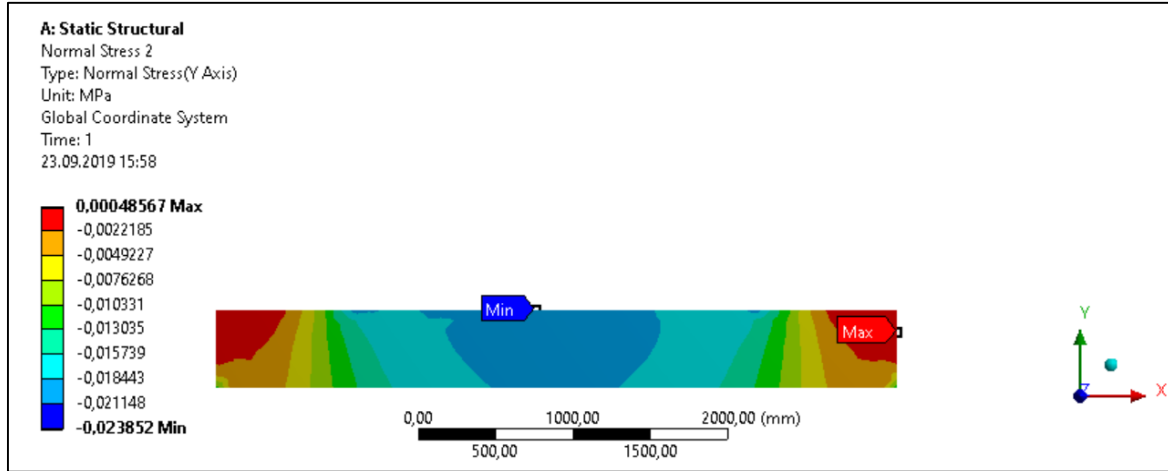
Ray ve teker arasındaki temas yüzeyinde seçilen iki nokta için elde edilen düşey yöndeki yer değiştirme değerleri Resim 3.33'te ve Resim 3.34'te gösterilmiştir. Bu değerlere bakıldığında balastlı üstyapı modelinde referans noktalarda daha büyük yer değiştirme meydana geldiği görülmektedir.

Resim 3.35'te ve Resim 3.36'da balastlı ve balastsız üstyapı için statik durumda temel tabakasında meydana gelen normal gerilme değerleri verilmiştir. Resim 3.37'de ve Resim 3.38'de ise modellenen iki hatta bulunan temel tabakası için düşey yönde yer değiştirme değerleri gösterilmektedir. İlgili resimler incelendiğinde balastlı demiryolu modelinde temelde oluşan en büyük basınç gerilme değerinin balastsız demiryolu modelinde temelde oluşan en büyük basınç gerilme değerinden daha küçük olduğu görülmektedir. Fakat

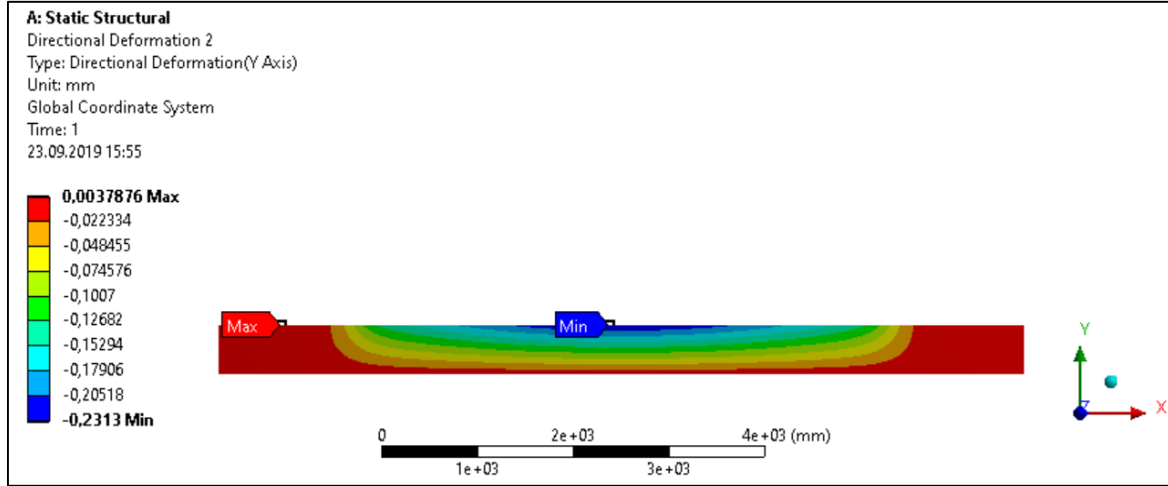
balastlı demiryolu modelinde temelde düşey yönde daha fazla yer değiştirme meydana gelmiştir.



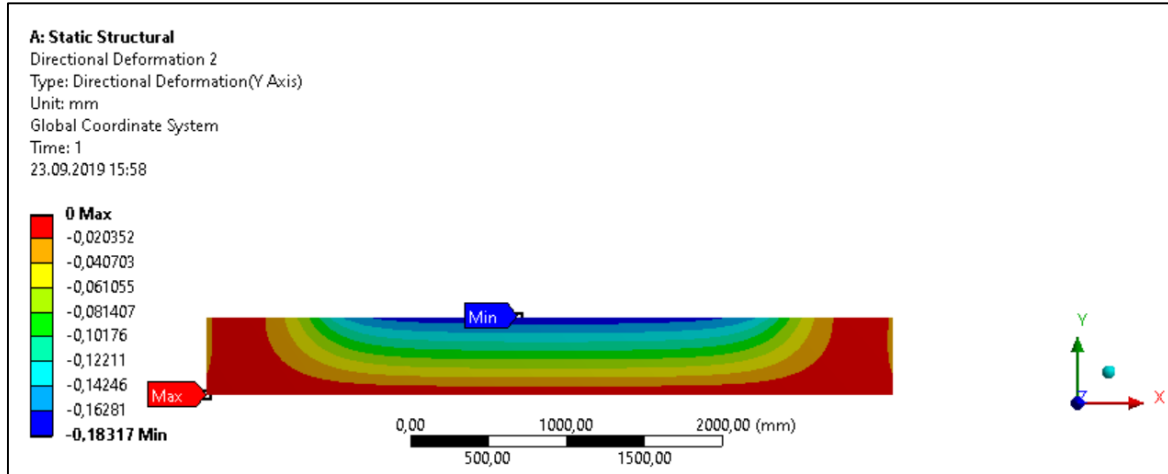
Resim 3.35. Balastlı demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri



Resim 3.36. Balastsız demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri



Resim 3.37. Balastlı demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri



Resim 3.38. Balastsız demiryolu modelinde temelde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Çizelge 3.1. Statik analiz sonuçları

GERİLME DEĞERLERİ	BİRİMİ	BALASTLI	BALASTSIZ
Tekerde Oluşan Max Von-Mises Gerilme Değeri	MPa	17,837	10,909
Rayda Oluşan Max Normal Gerilme Değeri (-y)	MPa	4,929	1,654
Rayda Oluşan Max Kayma Gerilme Değeri (τ_{yz})	MPa	2,036	2,315
Rayda Oluşan Max Von-Mises Gerilme Değeri	MPa	12,871	8,503
Rayda Oluşan Max Düşey Yer Değiştirme	mm	0,278	0,206
Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 2 Noktada Oluşan Max Normal Gerilme Değeri (-y)	MPa	4,753	0,995
	MPa	1,409	1,020

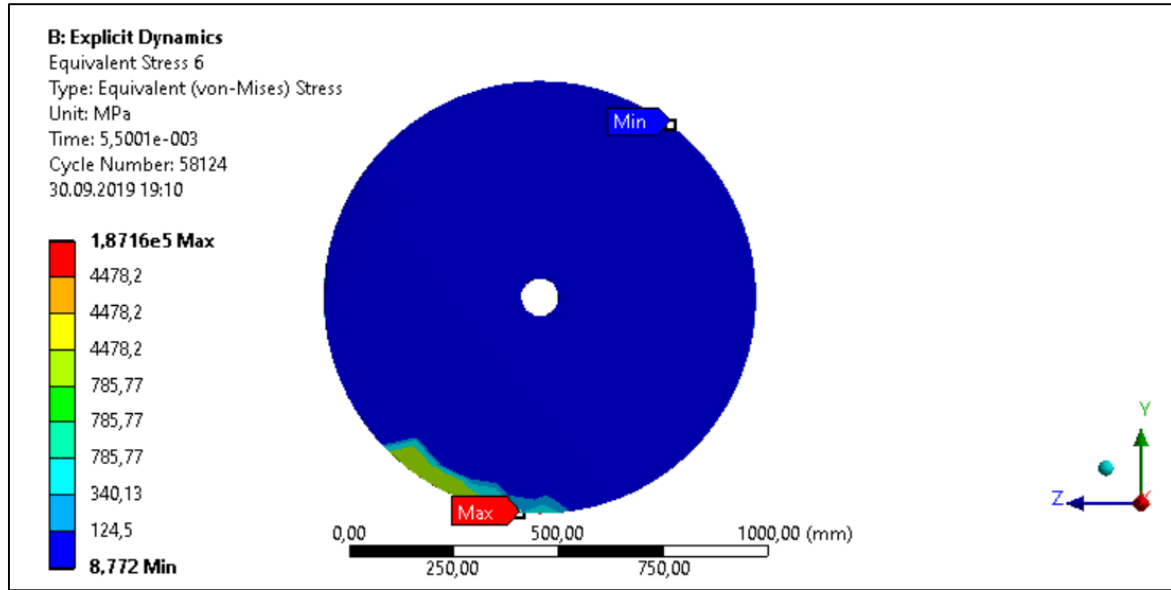
Çizelge 3.1. (devam) Statik analiz sonuçları

Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 2 Noktada Oluşan Max Kayma Gerilme Değeri (τ_{yz})	MPa	0,392	0,058
	MPa	0,043	0,281
Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 2 Noktada Oluşan Max Von-Mises Gerilme Değeri	MPa	3,713	1,790
	MPa	3,691	2,313
Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 2 Noktada Oluşan Max Düşey Yer Değiştirme	mm	0,278	0,206
	mm	0,278	0,206
Temelde Oluşan Max Normal Gerilme Değeri (-y)	MPa	0,00009	0,00048
Temelde Oluşan Max Düşey Yer Değiştirme	mm	0,231	0,183

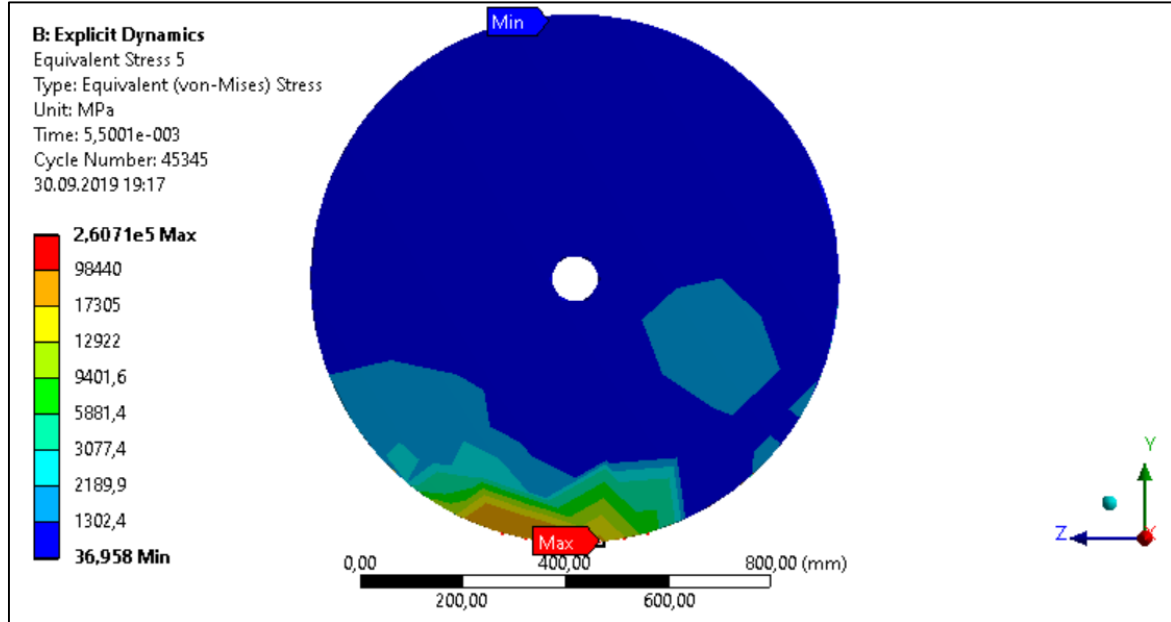
3.3.2. Dinamik analiz sonuçları

Balastlı ve balastsız demiryolu modellerinin dinamik analizinde tekerlerin rayın sonuna geldiği anda tekerde, rayda ve teker-ray temas yüzeyinde rayın başında ve sonunda olmak üzere seçilen toplamda dört noktada meydana gelen gerilme ve yer değiştirme değerleri elde edilerek resimlerle ifade edilmiştir. Teker ve ray arasındaki temas yüzeyinde 4 nokta için gerilme ve yer değiştirme değerlerinin elde edilmesinin nedeni ise, aynı uzunluğa sahip iki demiryolu modelinin elemanlarının/katmanlarının özelliklerinin farklı olması nedeniyle belirli bir hareket altında modellerin farklı kısımlarında oluşacak gerilme ve yer değiştirme değerlerini elde ederek farklarını daha iyi görmektir. Ayrıca belirli hız, yük ve zaman koşullarında tekerde oluşan Von-Mises gerilme değerleri ve rayda oluşan gerilme değerleri ile yer değiştirme değerleri ele alınmıştır.

300 km/sa hıza sahip modelin dinamik analiz sonuçları



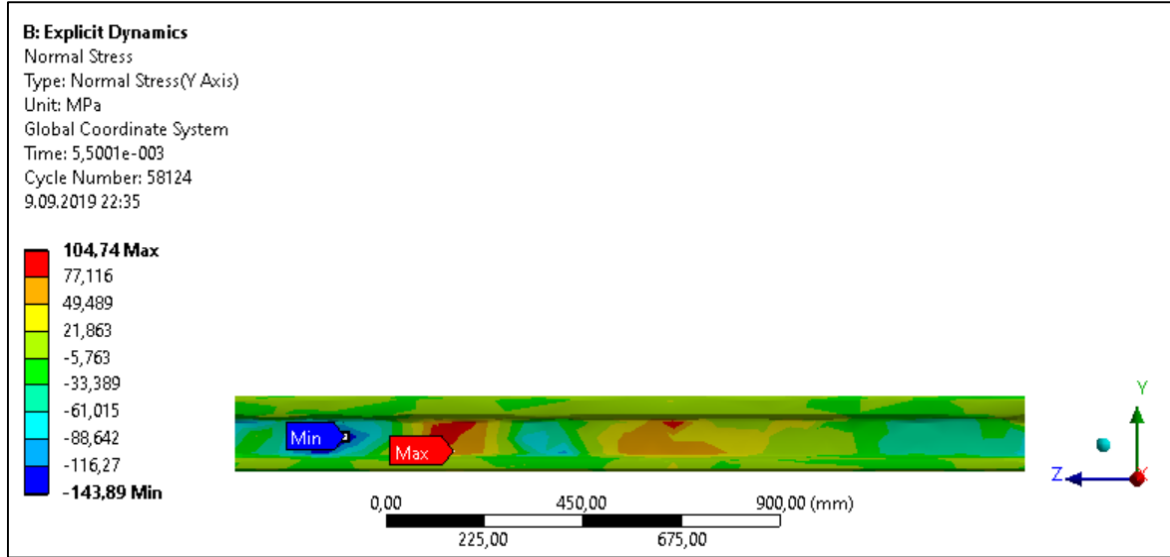
Resim 3.39. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri



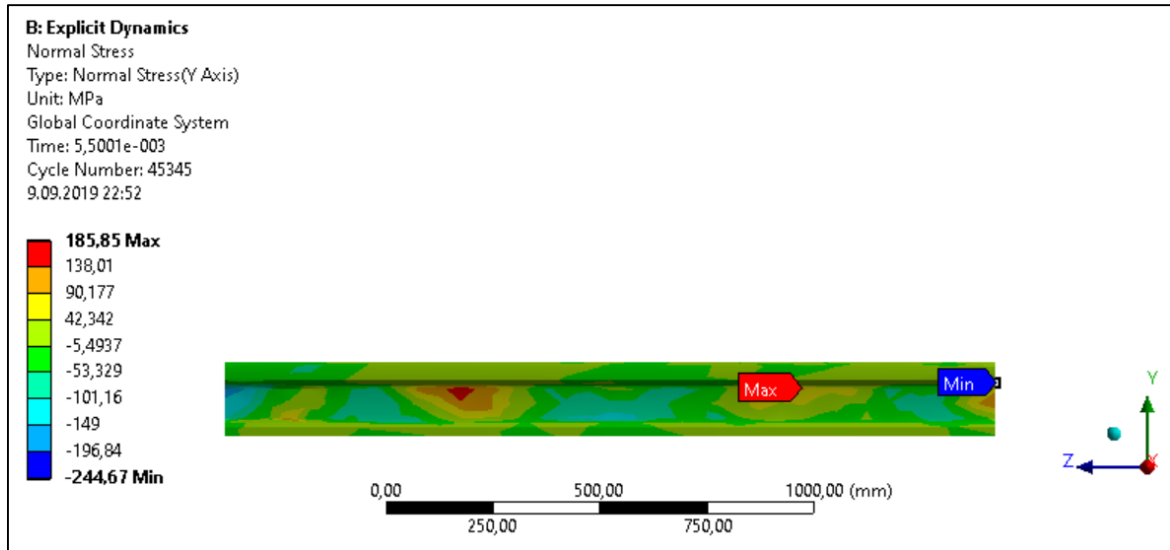
Resim 3.40. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.39'da ve Resim 3.40'da gösterilen balastlı ve balastsız demiryolu modelinin dinamik durumda tekerde oluşan Von-Mises gerilme değerlerine bakıldığında, balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinin balastlı

demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerine göre daha büyük bir değere sahip olduğu görülmektedir.

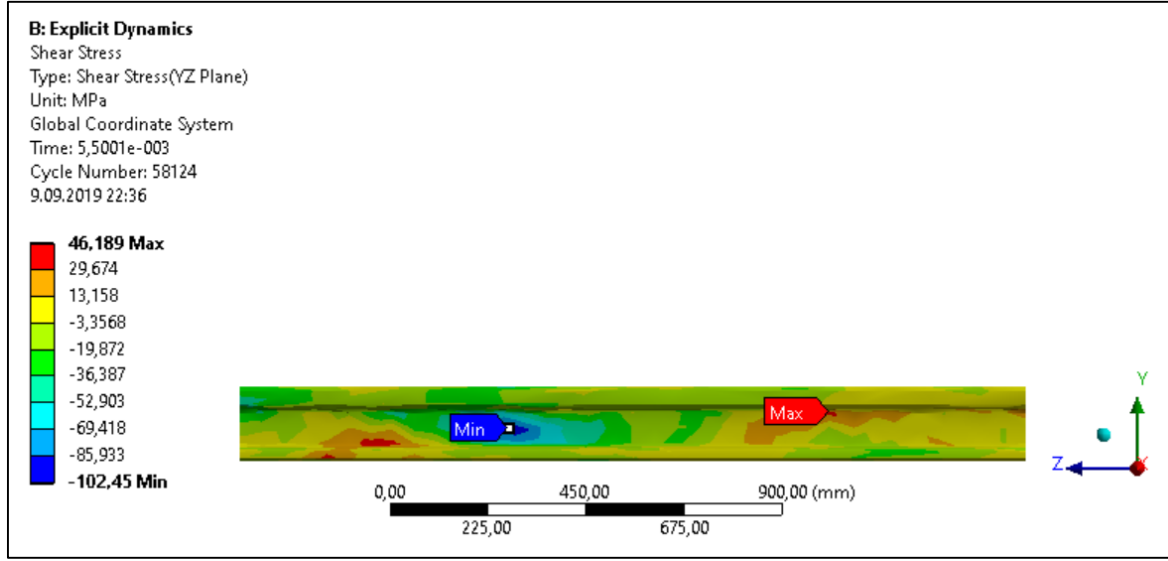


Resim 3.41. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

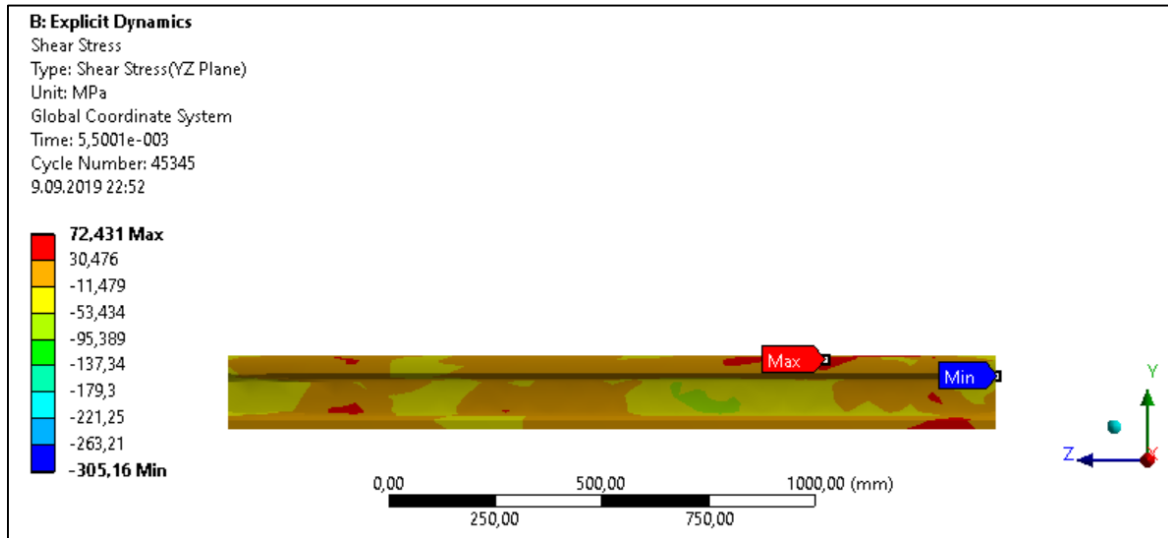


Resim 3.42. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.41'e ve Resim 3.42'e bakıldığında balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük normal gerilme değeri, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük normal gerilme değerinden daha fazladır.

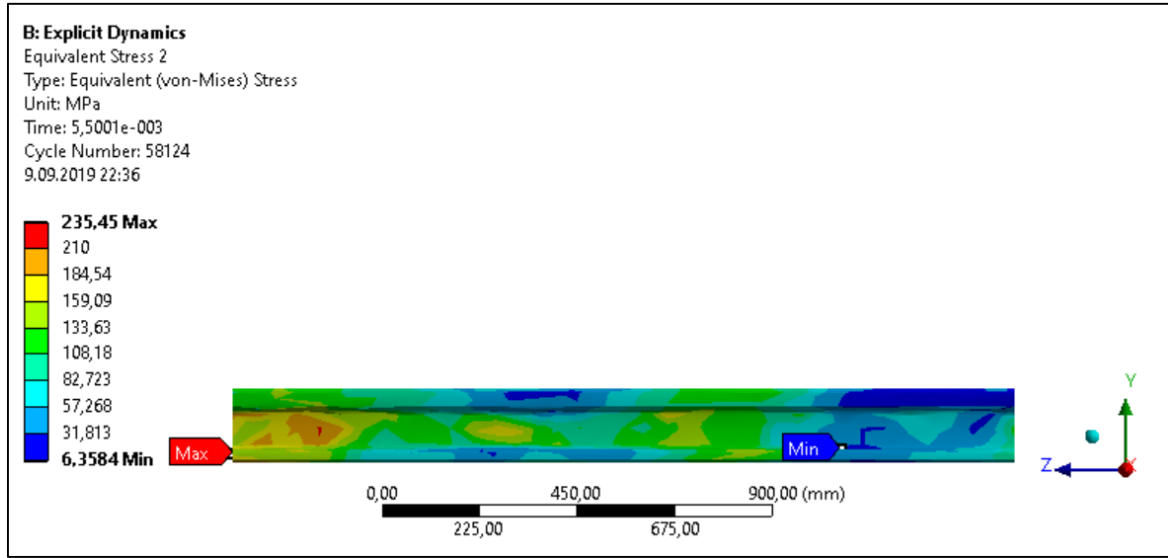


Resim 3.43. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

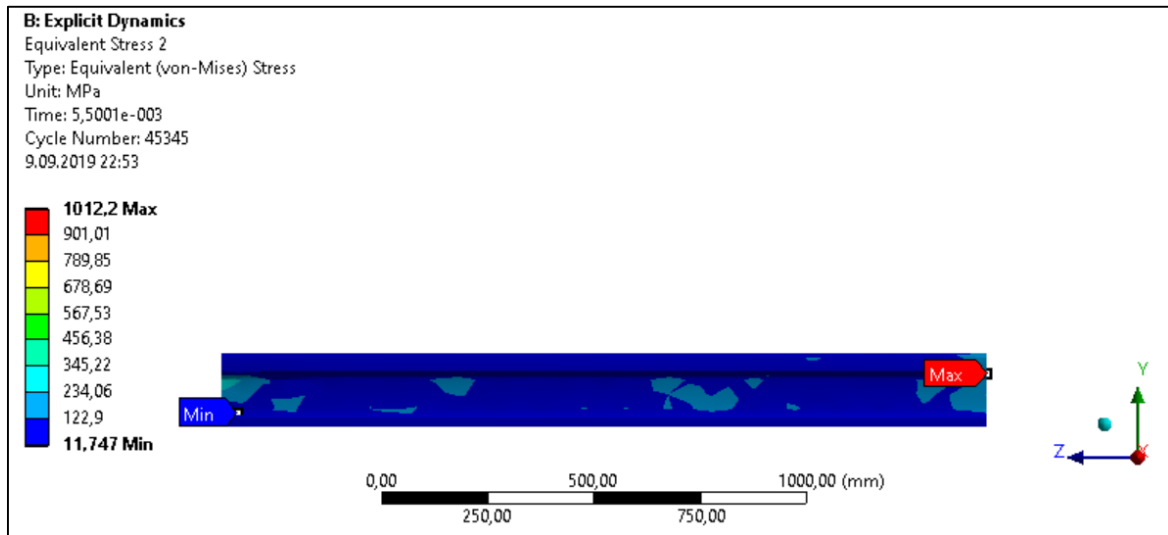


Resim 3.44. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.43'te ve Resim 3.44'te gösterilen balastlı ve balastsız üstyapıya ait modellerde bulunan rayda oluşan en büyük kayma gerilme değerlerine bakıldığında, balastlı ve balastsız üstyapı modelinde rayın aynı kısımlarında meydana geldiği görülmektedir.

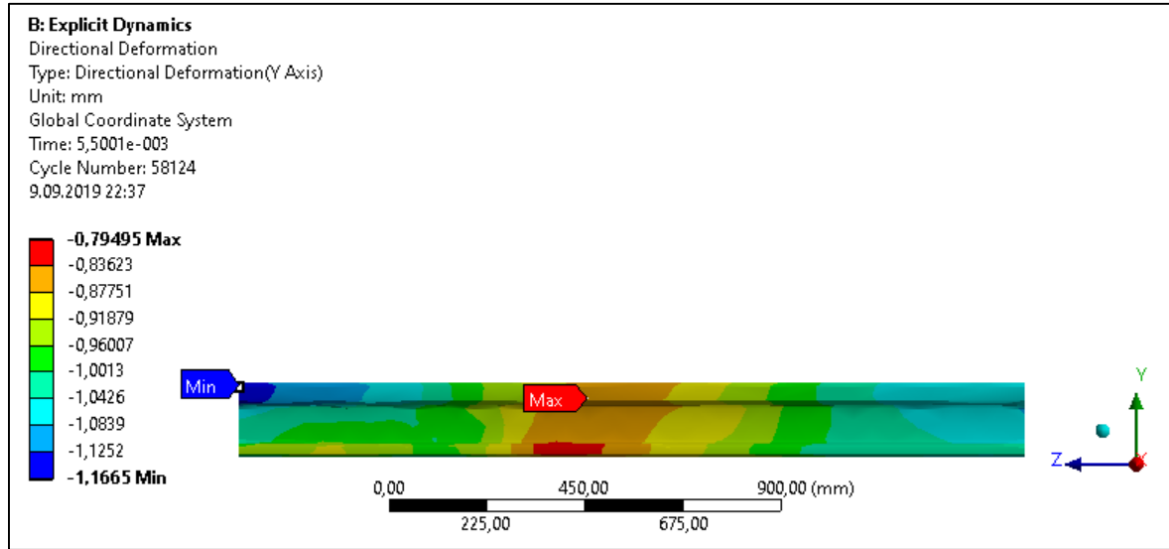


Resim 3.45. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

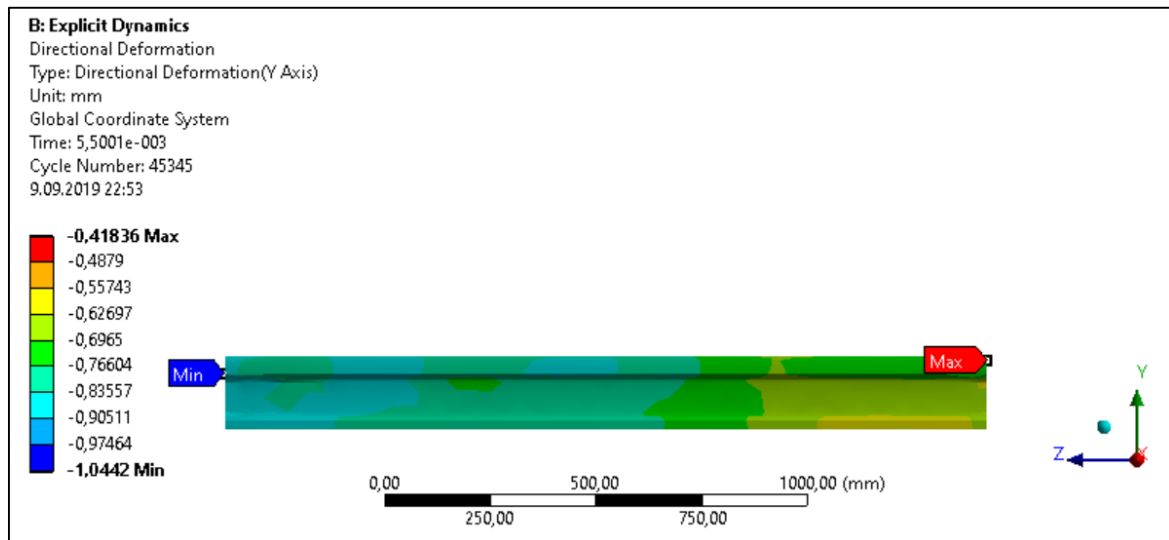


Resim 3.46. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.45'e ve Resim 3.46'ya bakıldığında iki modelde de rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerleri incelendiğinde, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değeri, balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinden daha azdır.

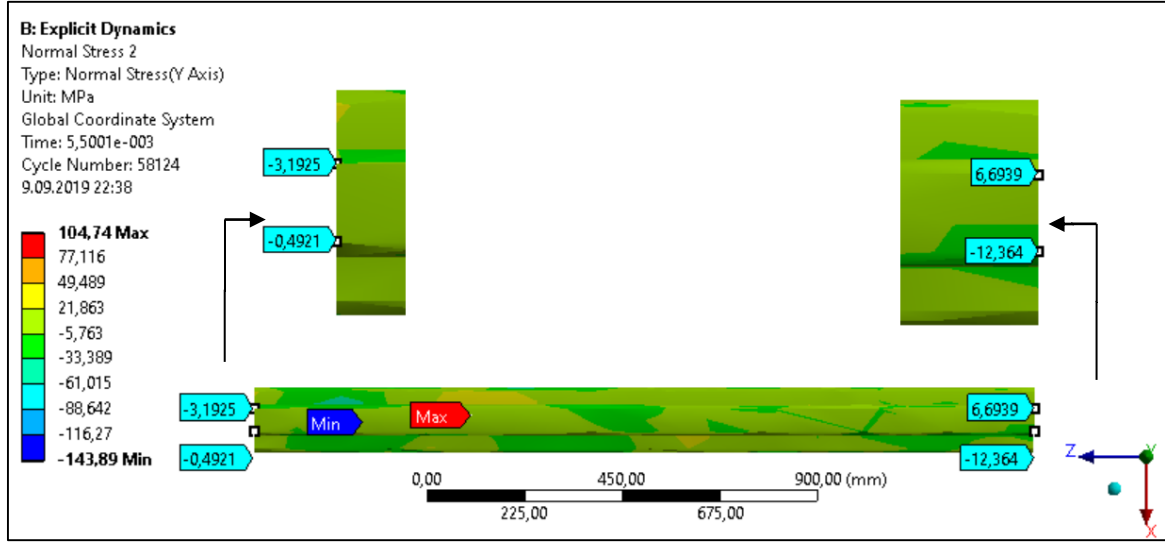


Resim 3.47. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

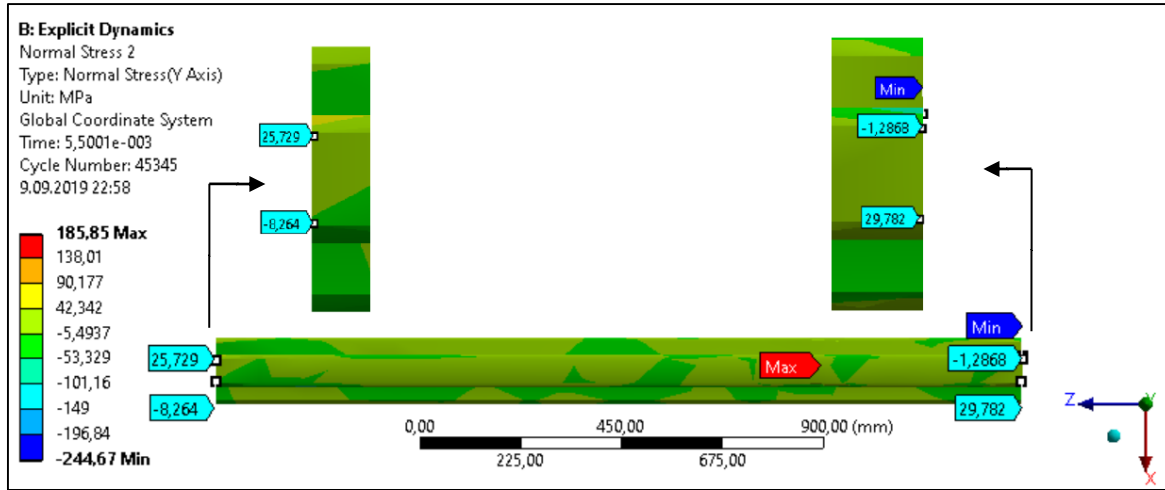


Resim 3.48. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Resim 3.47’de ve Resim 3.48’de balastlı ve balastsız demiryolu modelinde ray üzerinde oluşan düşey yöndeki yer değiştirme değerleri gösterilmiştir. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen yer değiştirmenin daha fazla olduğu görülmüştür.

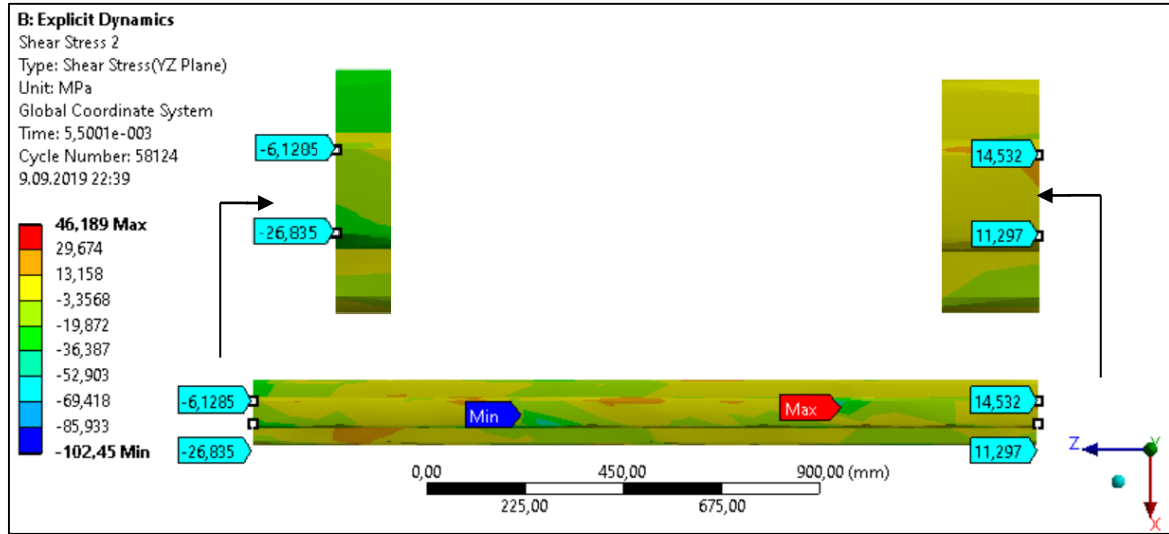


Resim 3.49. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

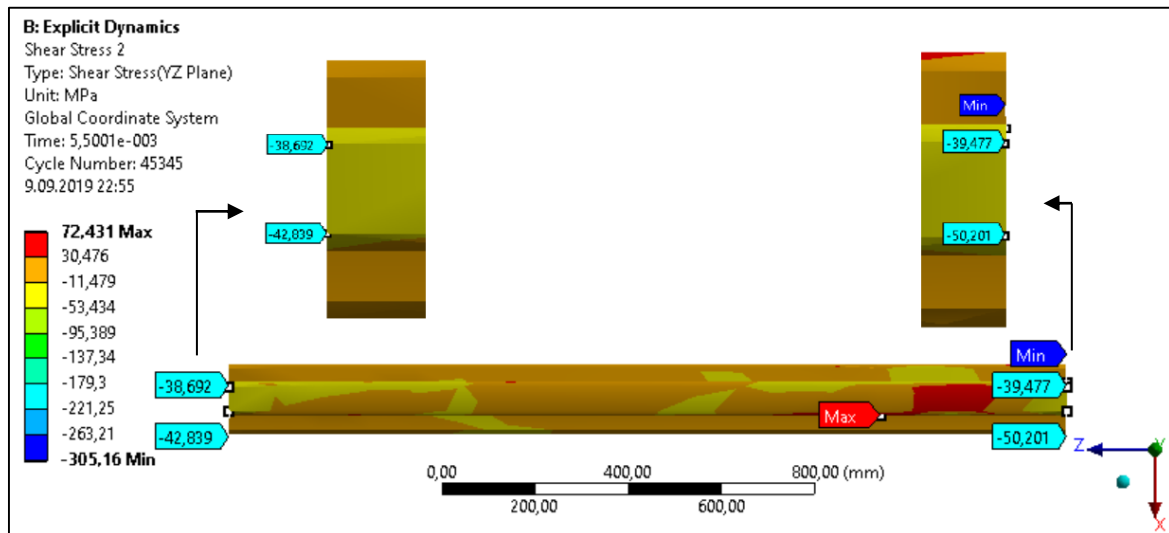


Resim 3.50. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.49'de ve Resim 3.50'de, seçilen noktalarda oluşan normal gerilme değerlerinin balastsız üstyapı modelinde, balastlı üstyapı modelinde oluşan normal gerilme değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

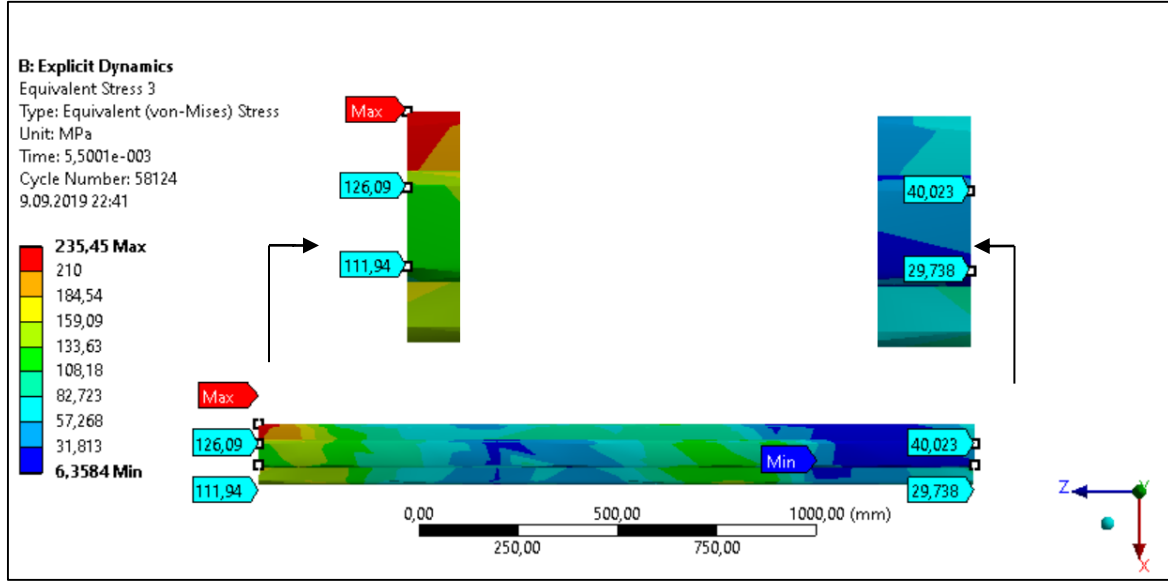


Resim 3.51. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

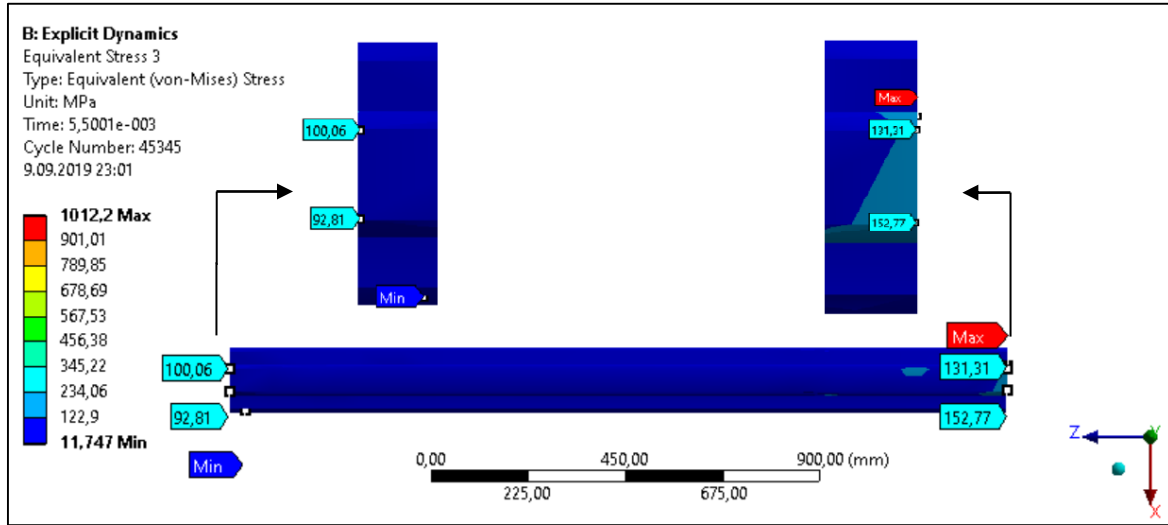


Resim 3.52. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.51’de ve Resim 3.52’de, seçilen noktalarda oluşan kayma gerilme değerlerinin balastsız üstyapı modelinde, balastlı üstyapı modelinde oluşan kayma gerilme değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

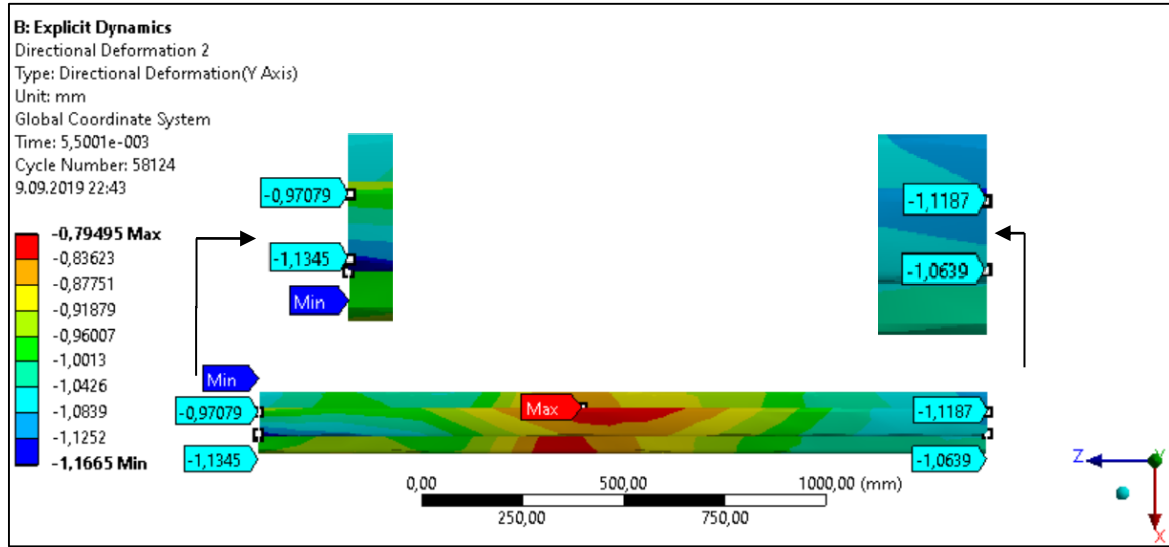


Resim 3.53. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

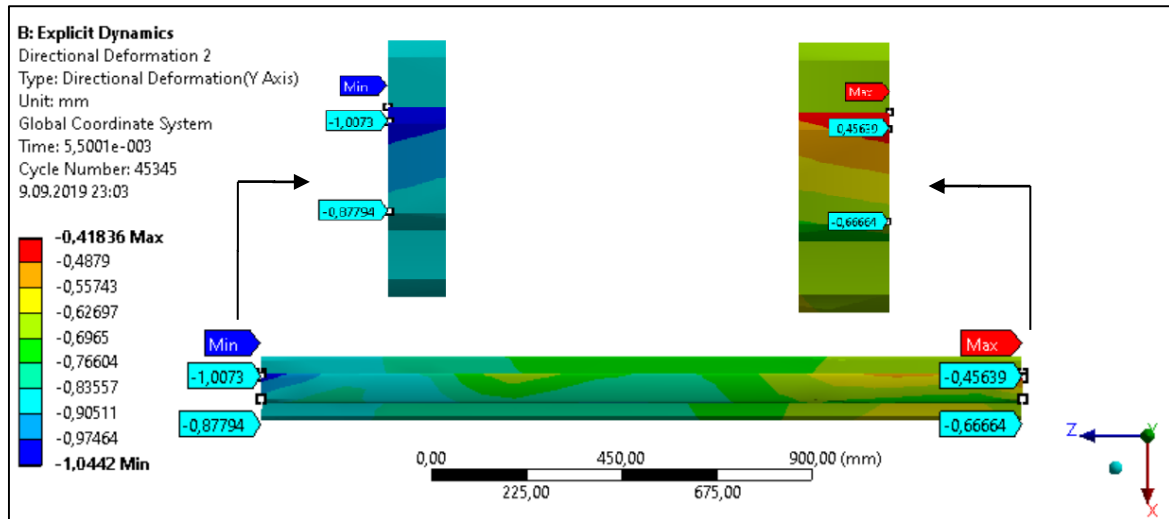


Resim 3.54. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.53'te ve Resim 3.54'te, seçilen noktalarda oluşan Von-Mises gerilme değerlerinin, balastsız üstyapı modelinde daha fazla olduğu görülmektedir.



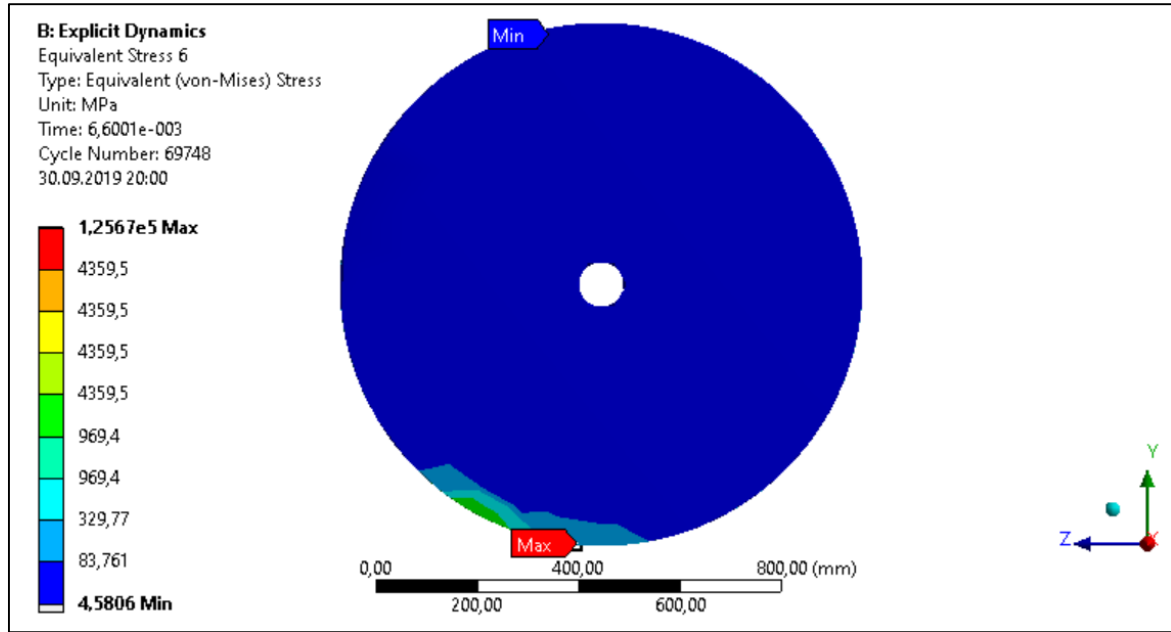
Resim 3.55. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri



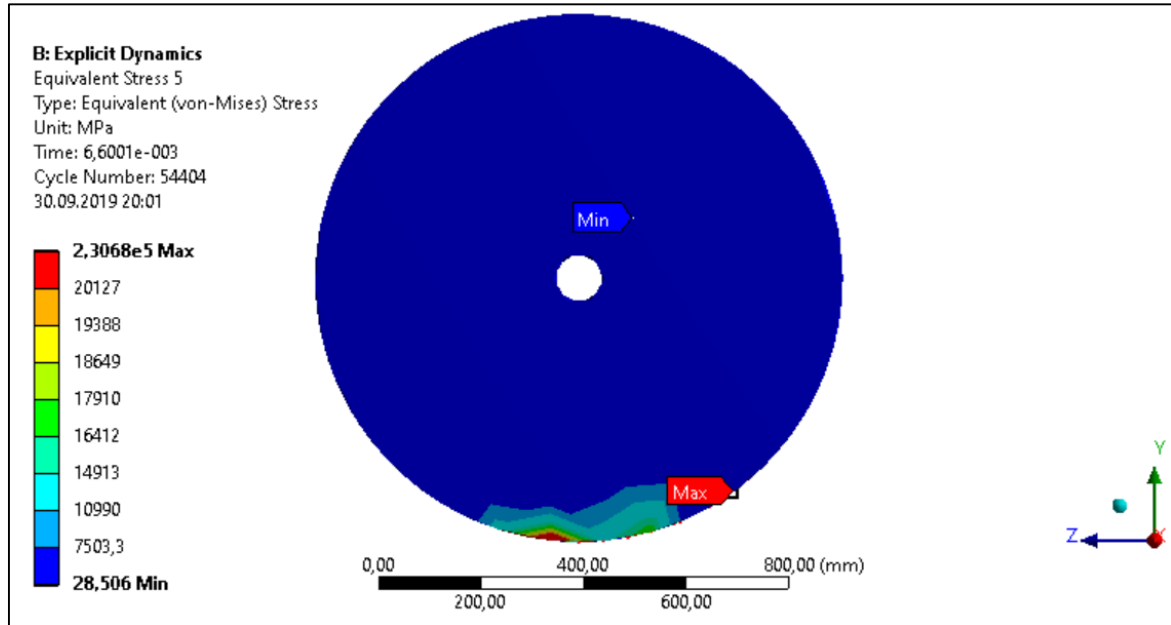
Resim 3.56. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Resim 3.55'te ve Resim 3.56'da, balastlı ve balastsız demiryolu modelinde seçilen temas noktalarında oluşan düşey yöndeki yer değiştirme değerleri gösterilmiştir.

250 km/sa hıza sahip modelin dinamik analiz sonuçları



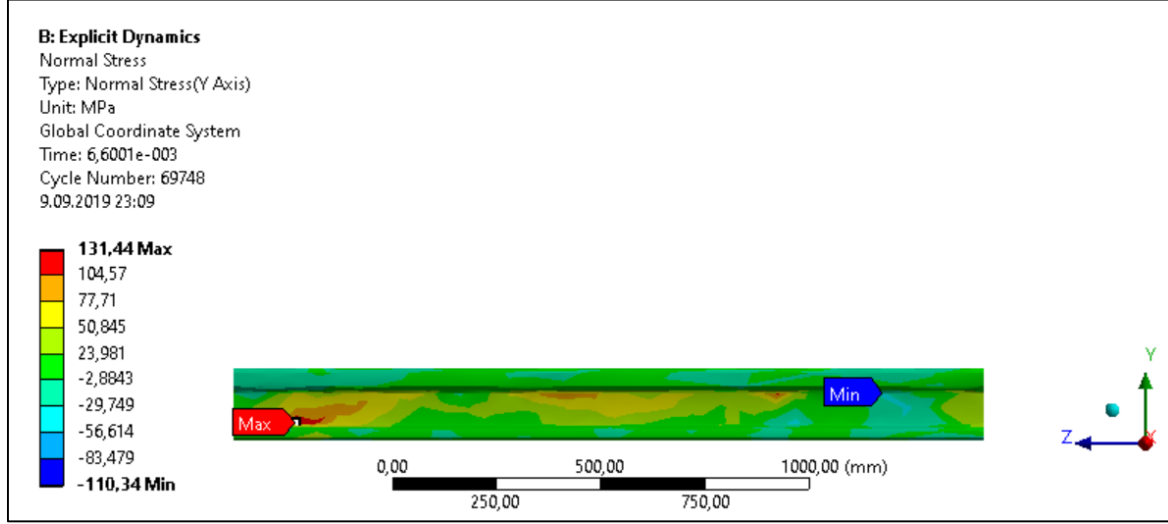
Resim 3.57. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri



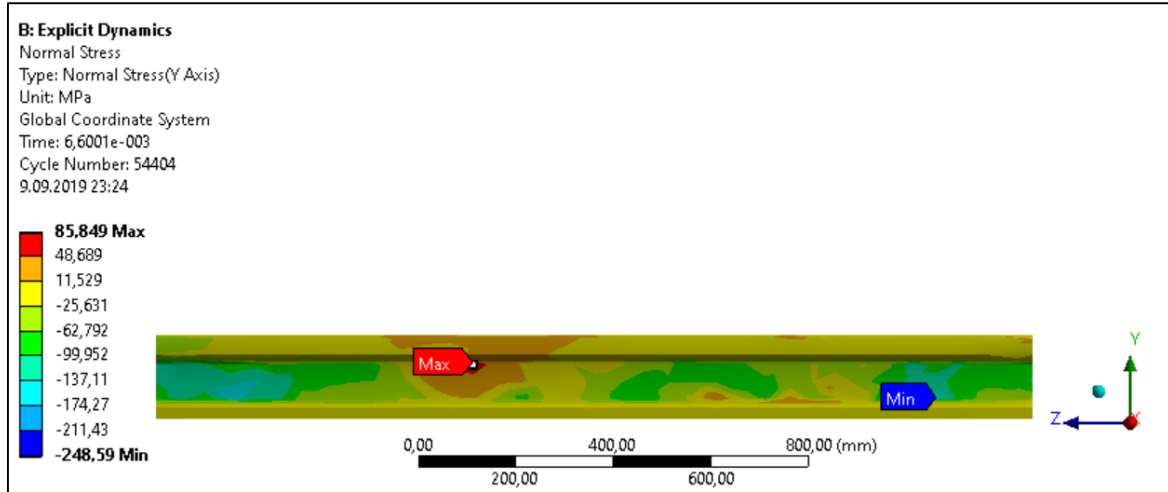
Resim 3.58. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.57’de ve Resim 3.58’te gösterilen balastlı ve balastsız demiryolu modelinin dinamik durumda tekerde oluşan Von-Mises gerilme değerlerine bakıldığında, balastlı

demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinin balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerine göre daha küçük bir değere sahip olduğu görülmektedir.

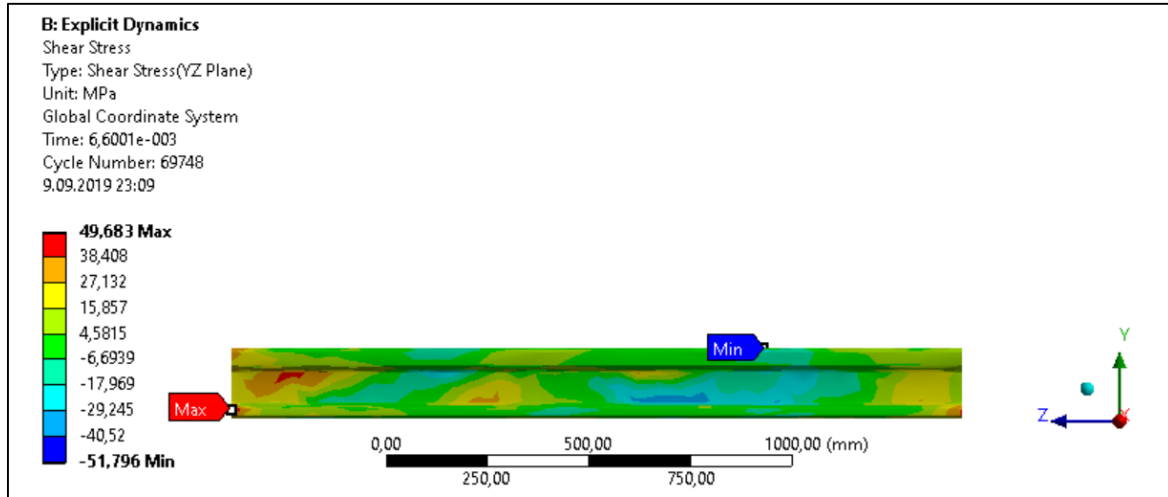


Resim 3.59. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

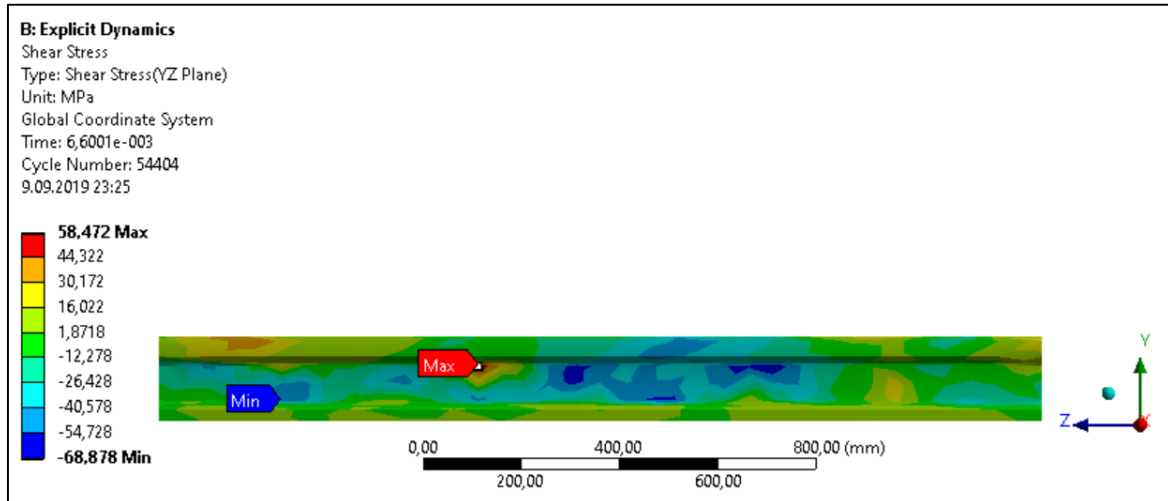


Resim 3.60. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.59'a ve Resim 3.60'a bakıldığında, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük normal gerilme değeri, balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük normal gerilme değerinden daha fazladır.

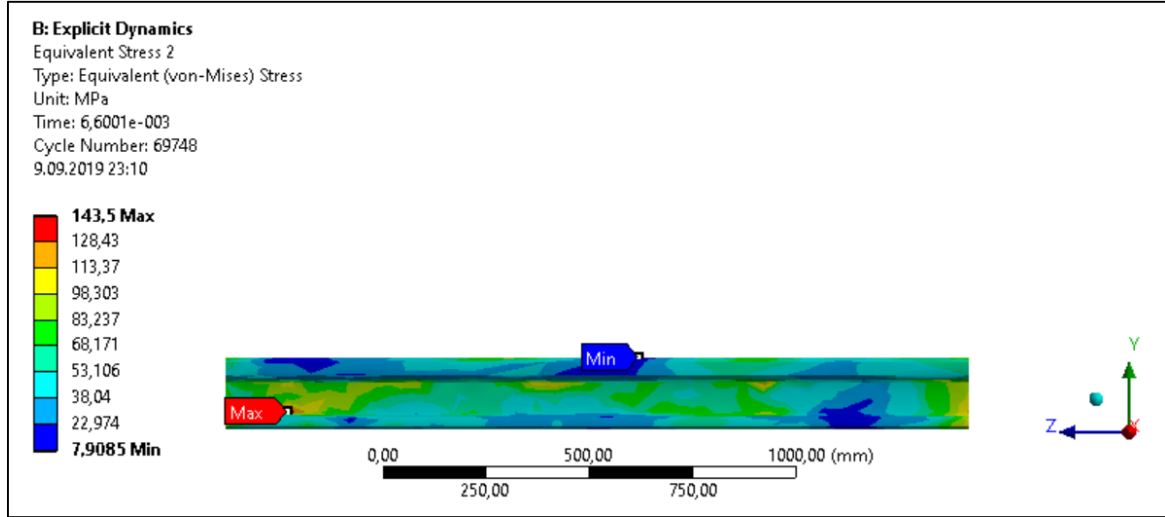


Resim 3.61. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

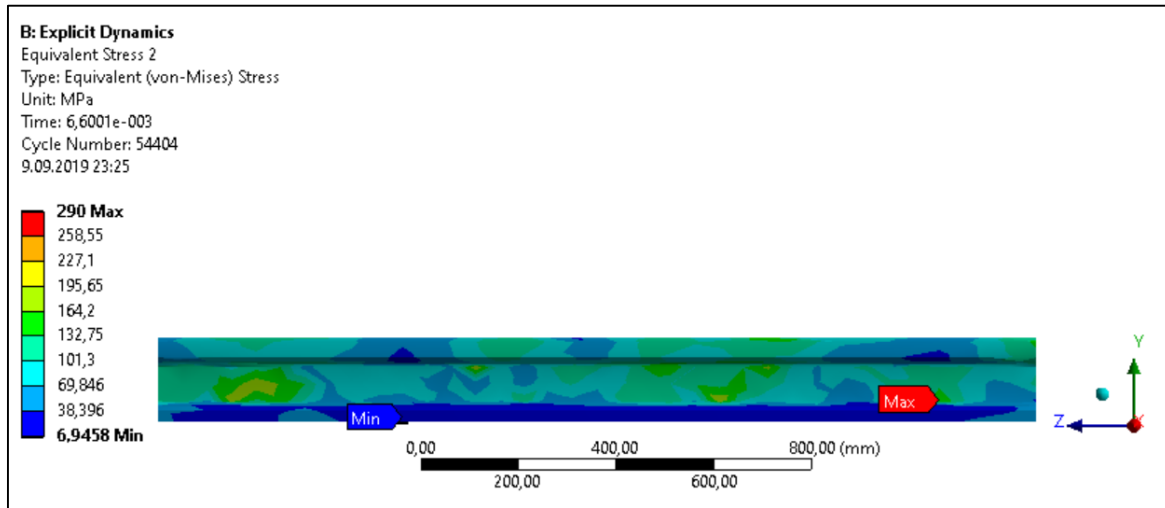


Resim 3.62. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.61’de ve Resim 3.62’de balastlı ve balastsız üstyapıya ait modellerde bulunan rayda oluşan kayma gerilme değerleri gösterilmektedir.

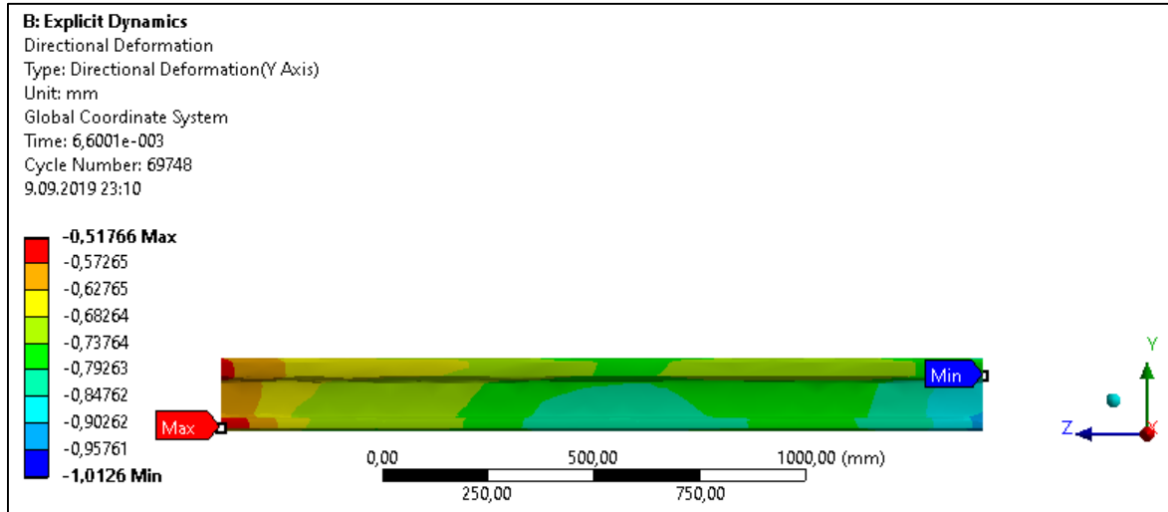


Resim 3.63. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

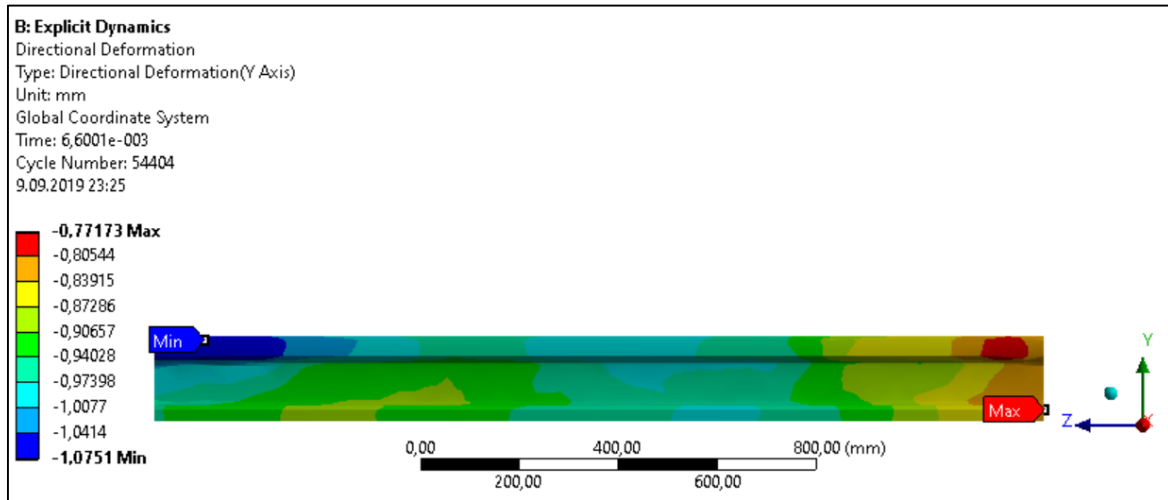


Resim 3.64. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.63'e ve Resim 3.64'e bakıldığında, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değeri, balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinden daha azdır.

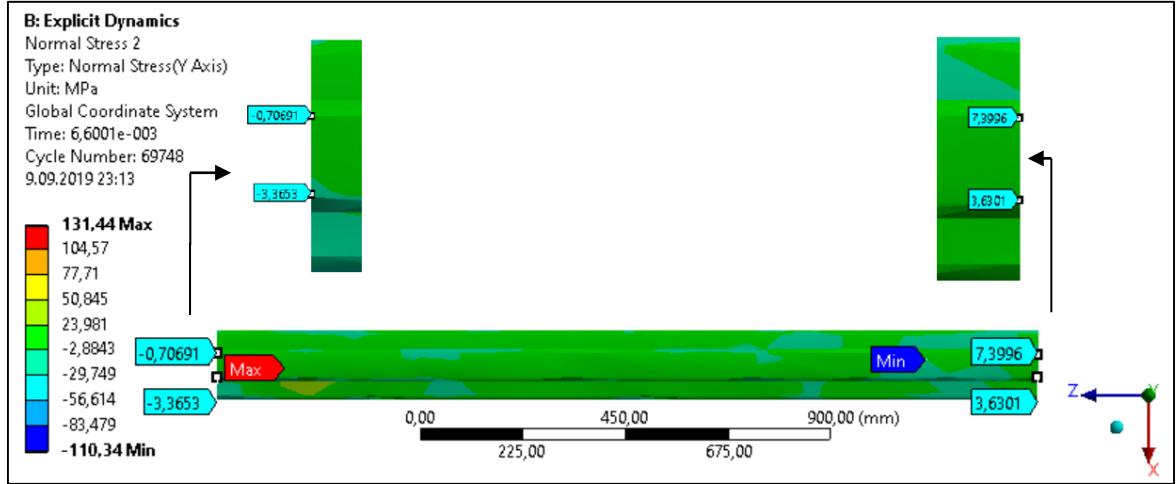


Resim 3.65. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

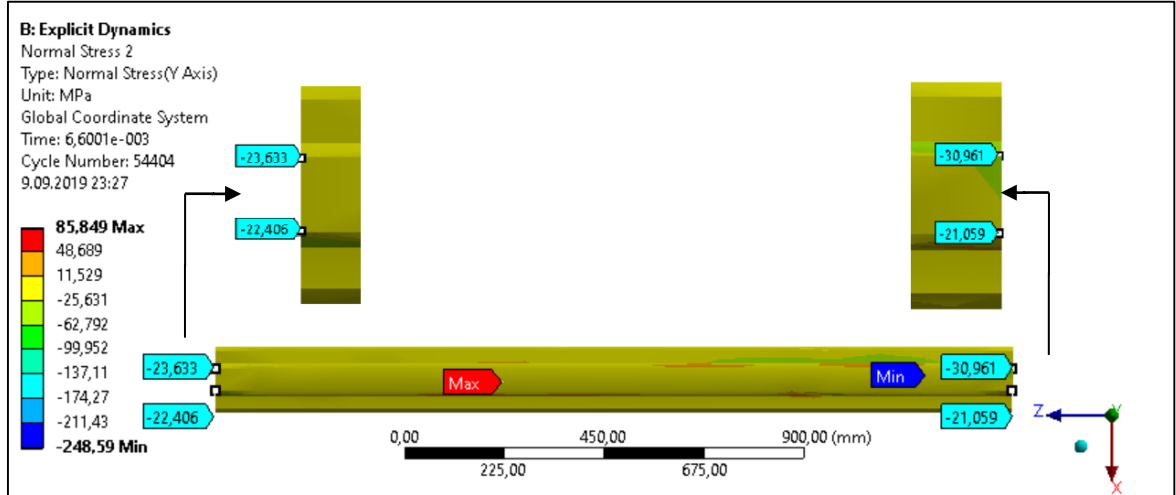


Resim 3.66. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Resim 3.66’da ve Resim 3.67’de balastlı ve balastsız demiryolu modelinde ray üzerinde oluşan düşey yöndeki yer değiştirme değerleri gösterilmiştir.

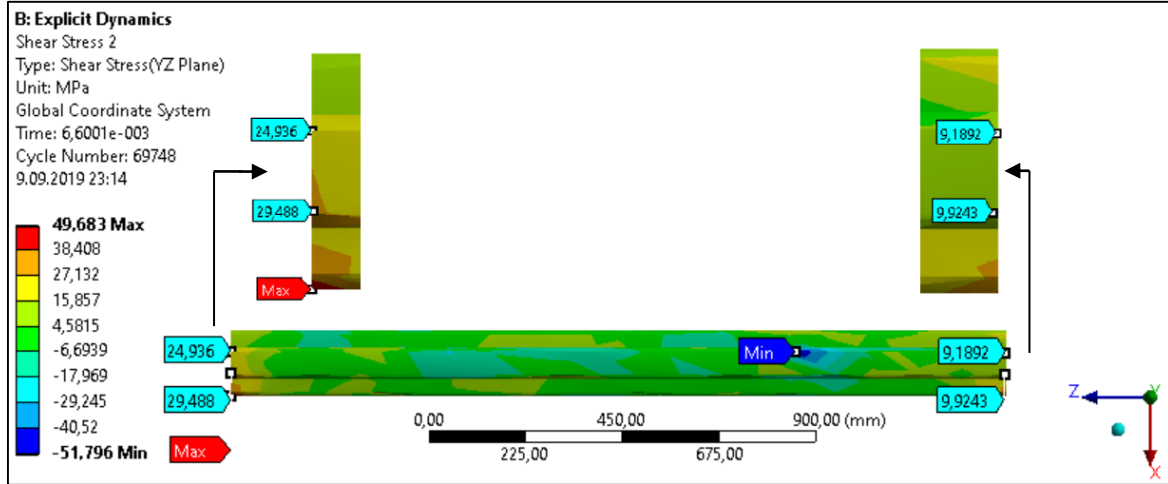


Resim 3.67. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

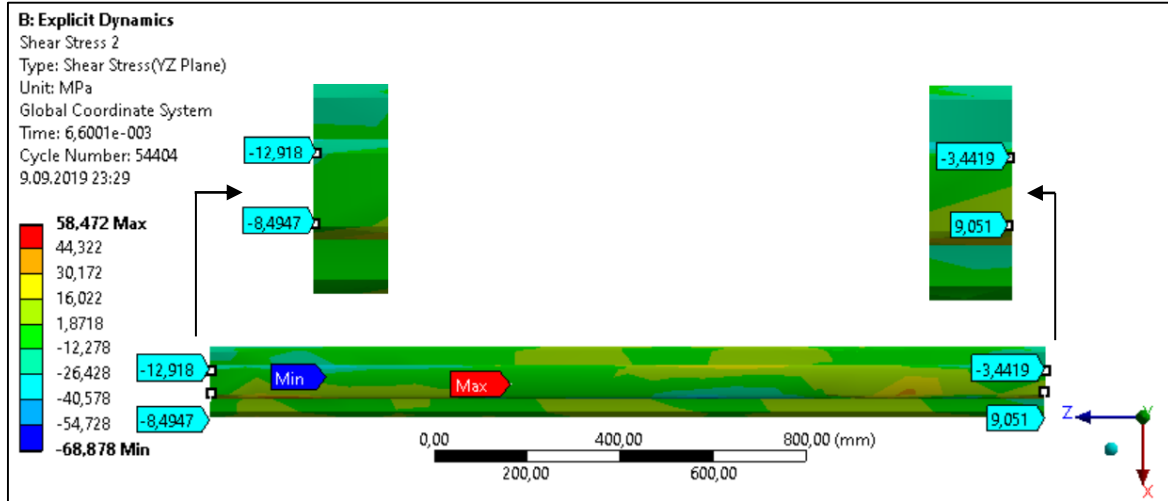


Resim 3.68. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.67’de ve Resim 3.68’de, seçilen noktalarda oluşan normal gerilme değerlerinin balastlı üstyapı modelinde, balastsız üstyapı modelinde oluşan normal gerilme değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

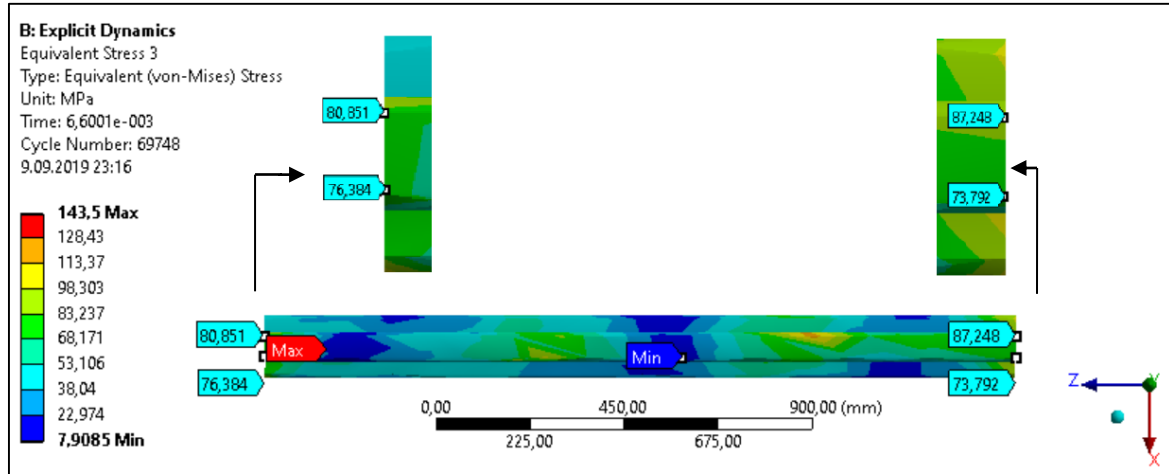


Resim 3.69. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

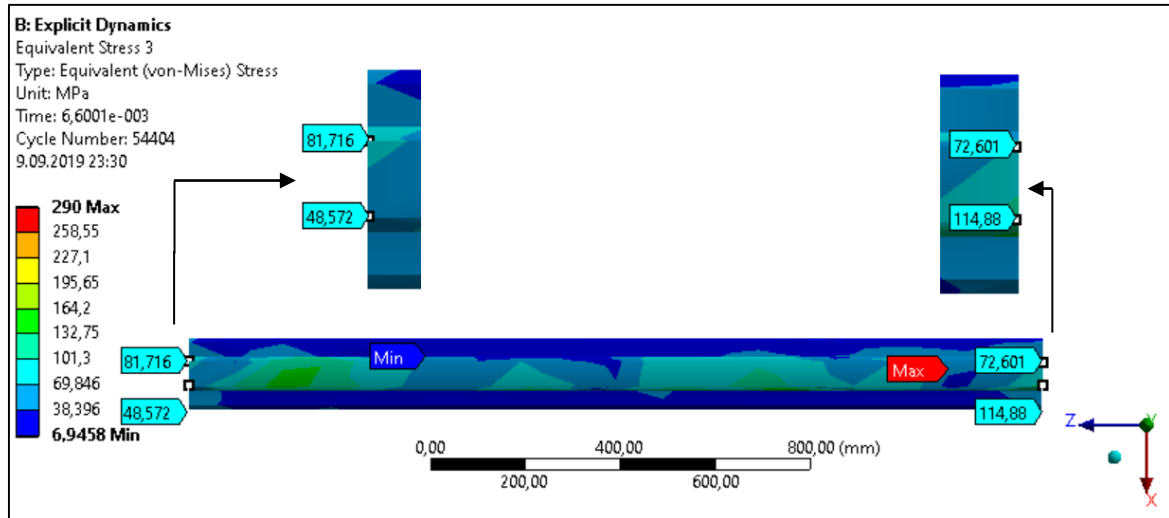


Resim 3.70. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.69’da ve Resim 3.70’de, seçilen noktalarda oluşan kayma gerilme değerlerinin balastlı üstyapı modelinde, balastsız üstyapı modelinde oluşan kayma gerilme değerlerinden daha az olduğu görülmektedir.

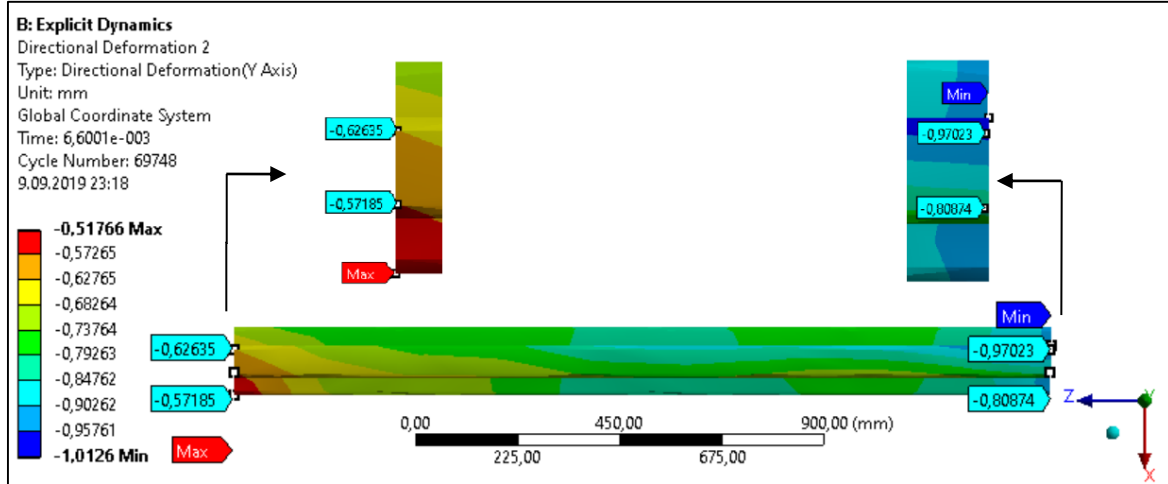


Resim 3.71. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

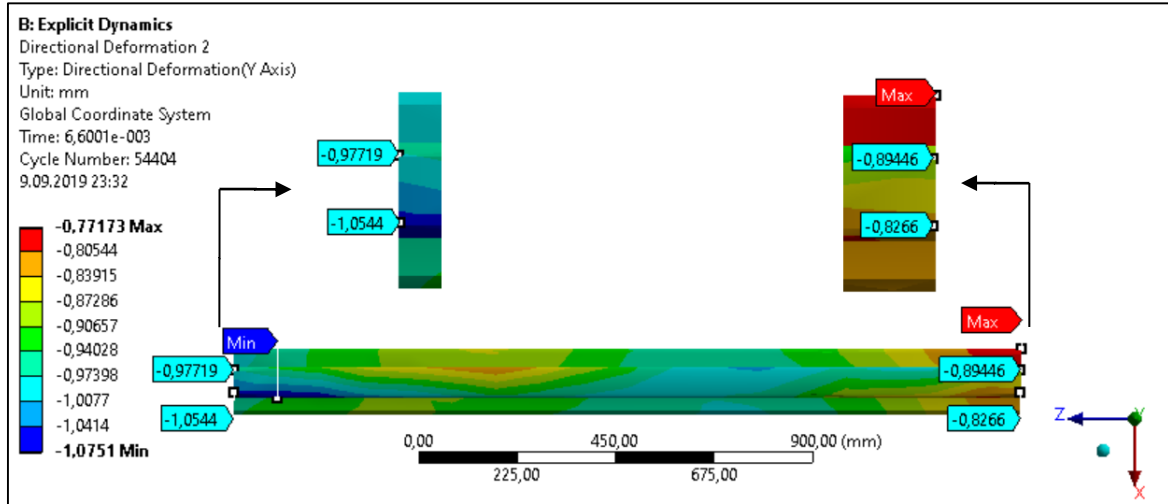


Resim 3.72. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.71’de ve Resim 3.72’de, seçilen noktalarda oluşan Von-Mises gerilme değerlerinin, balastsız üstyapı modelinde oluşan Von-Mises gerilme değerlerinden daha az olduğu görülmektedir.



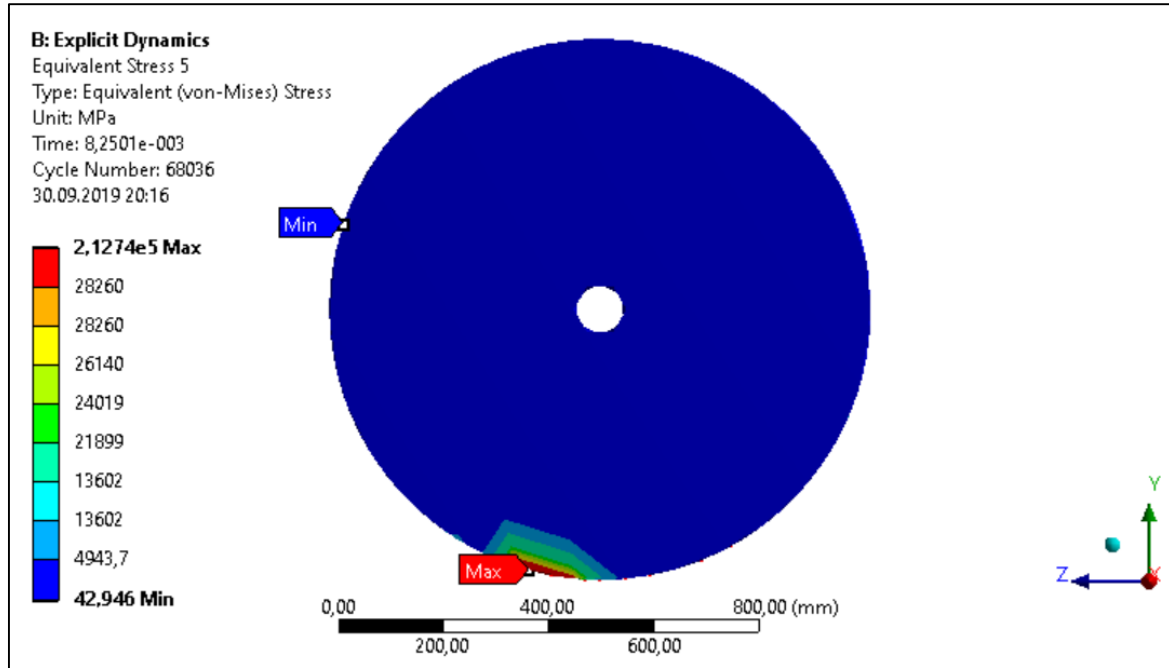
Resim 3.73. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri



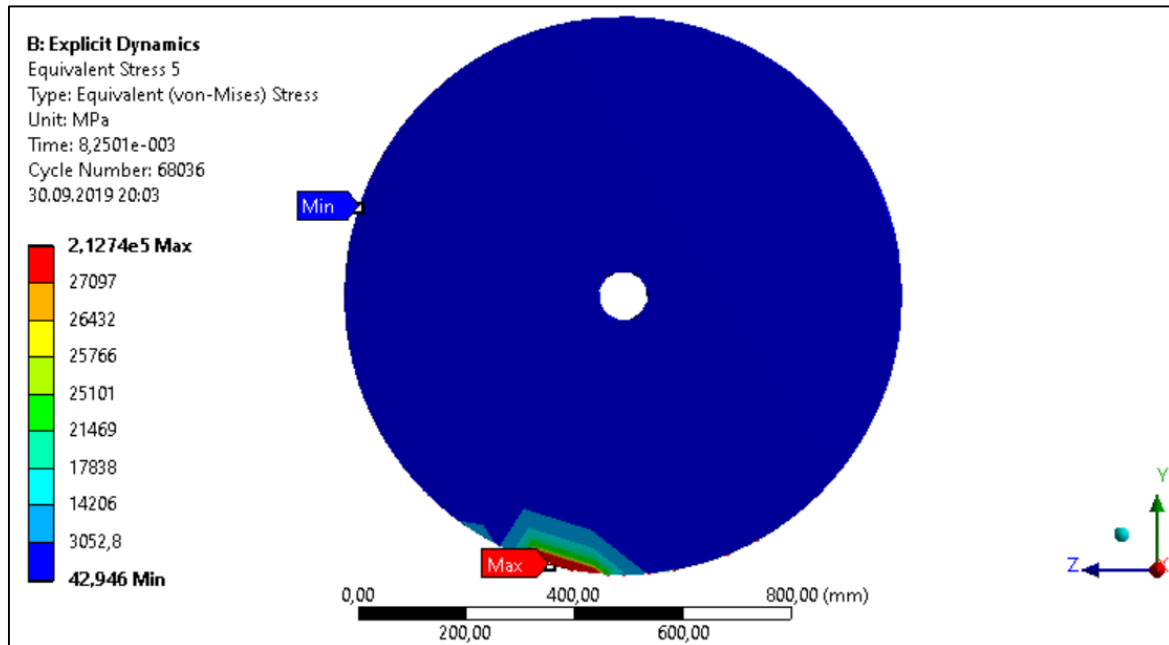
Resim 3.74. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Resim 3.73'te ve Resim 3.74'te balastlı ve balastsız demiryolu modelinde seçilen temas noktalarında oluşan düşey yöndeki yer değiştirme değerleri gösterilmiştir

200 km/sa hıza sahip modelin dinamik analiz sonuçları

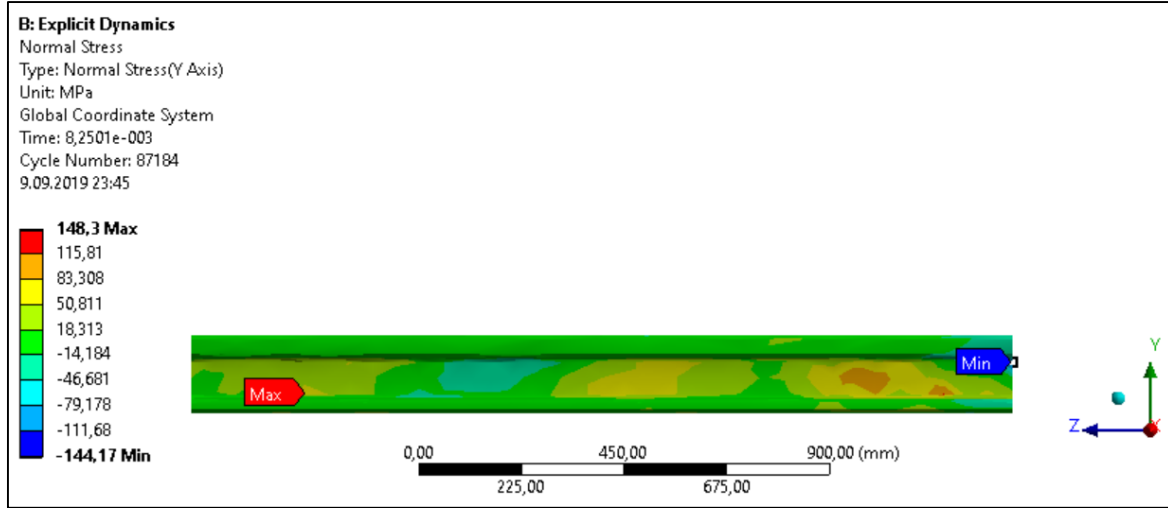


Resim 3.75. Balastlı demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

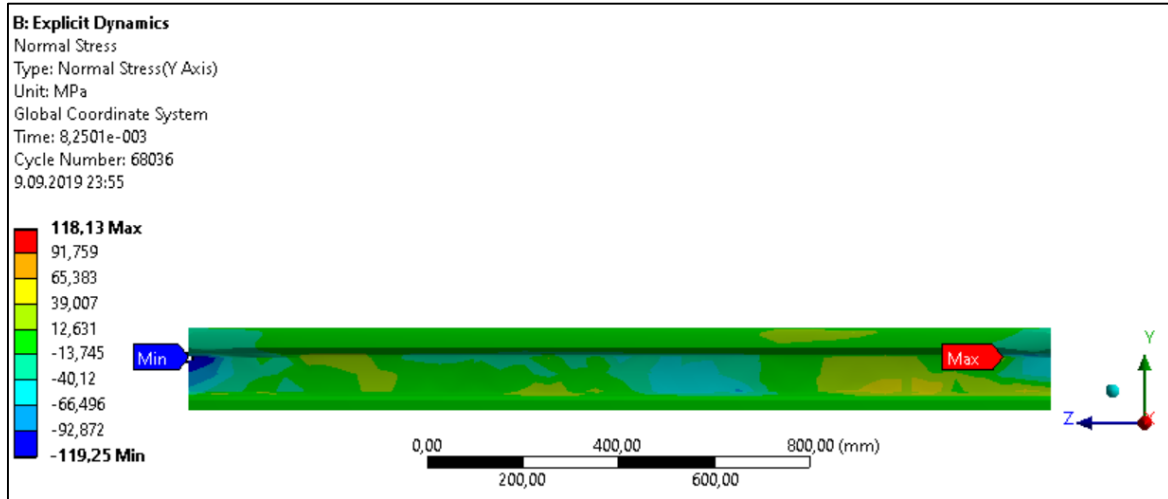


Resim 3.76. Balastsız demiryolu modelinde tekerlerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.75'te ve Resim 3.76'da gösterilen balastlı ve balastsız demiryolu modelinin dinamik durumda tekerde oluşan Von-Mises gerilme değerlerine bakıldığında, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinin balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerine göre daha küçük bir değere sahip olduğu görülmektedir.

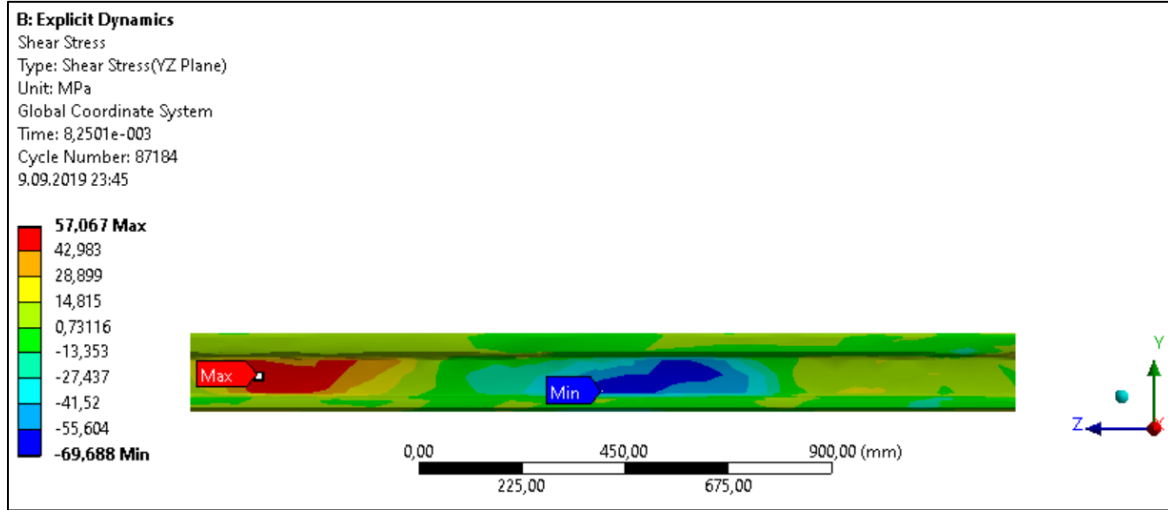


Resim 3.77. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

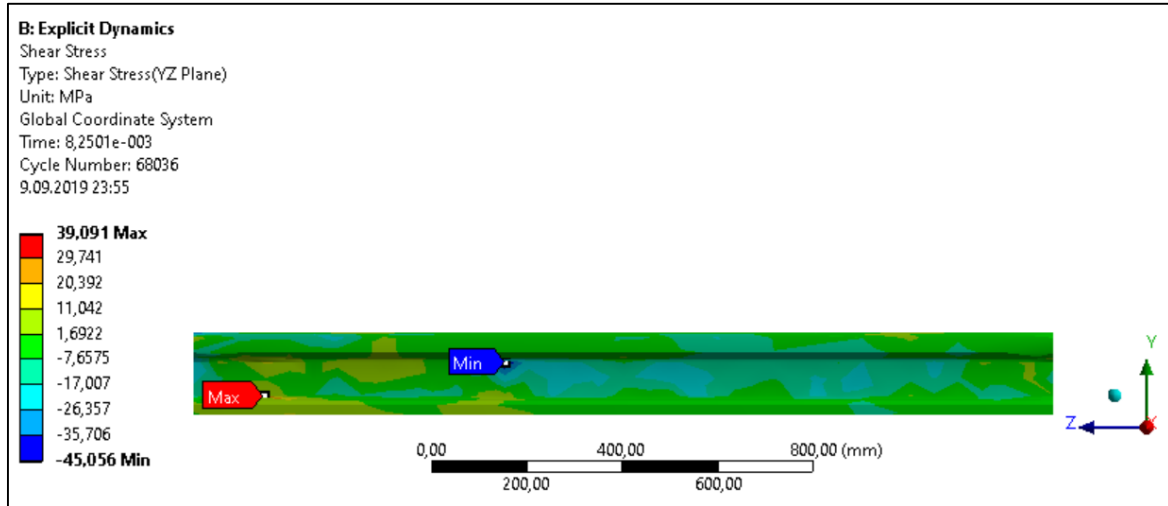


Resim 3.78. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.77'ye ve Resim 3.78'e, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük normal gerilme değeri, balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük normal gerilme değerinden daha fazladır.

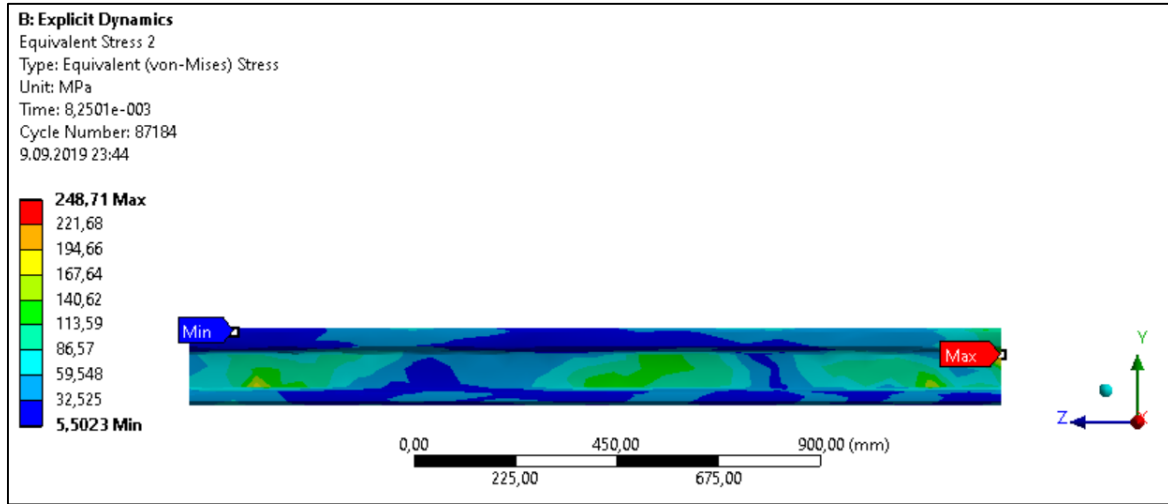


Resim 3.79. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

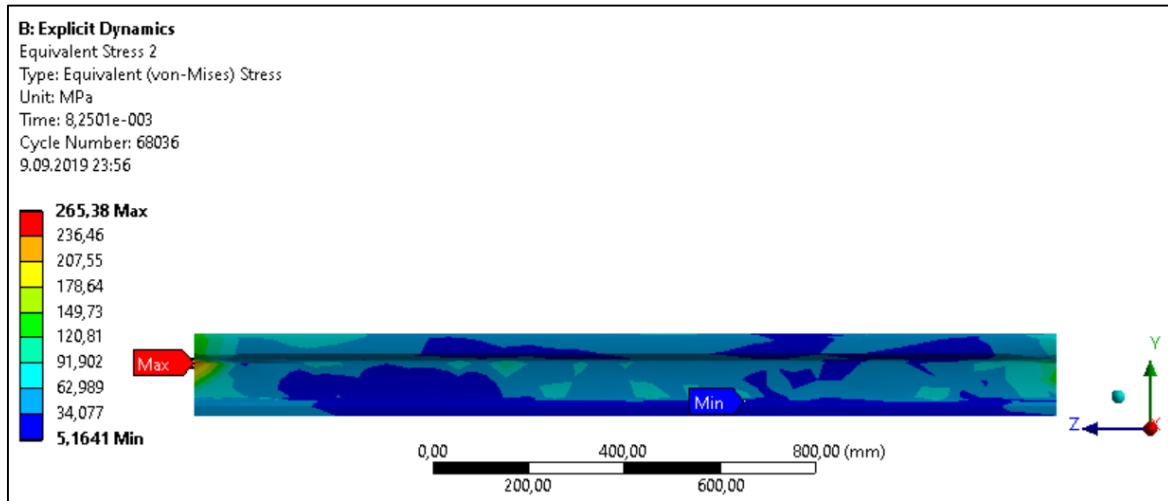


Resim 3.80. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.79’da ve Resim 3.80’de gösterilen balastlı ve balastsız üstyapıya ait modellerde bulunan rayda oluşan en büyük kayma gerilme değerlerine bakıldığında, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük kayma gerilme değerinin, balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük kayma gerilme değerinden daha fazla olduğu görülmektedir.

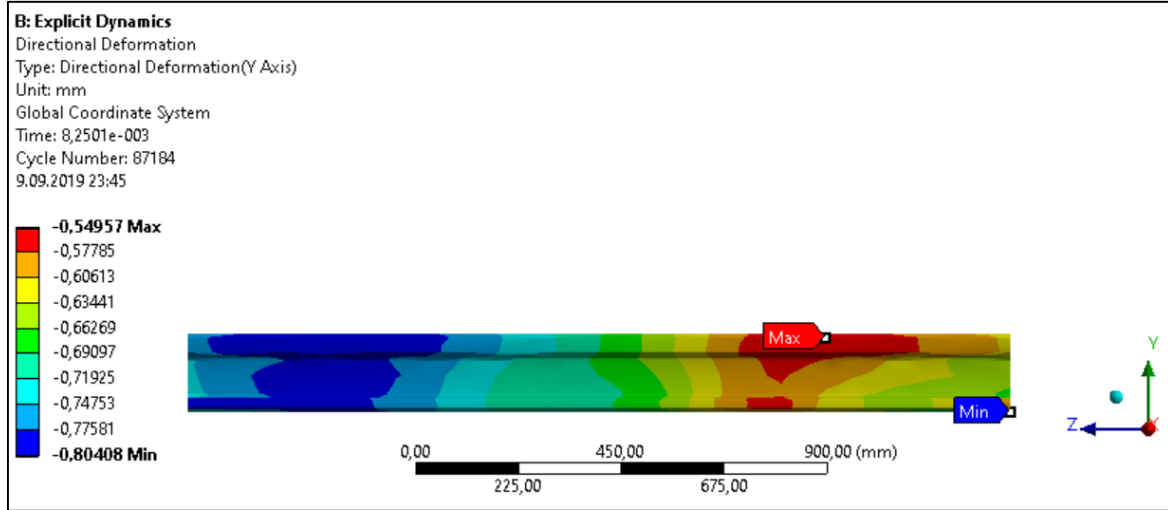


Resim 3.81. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

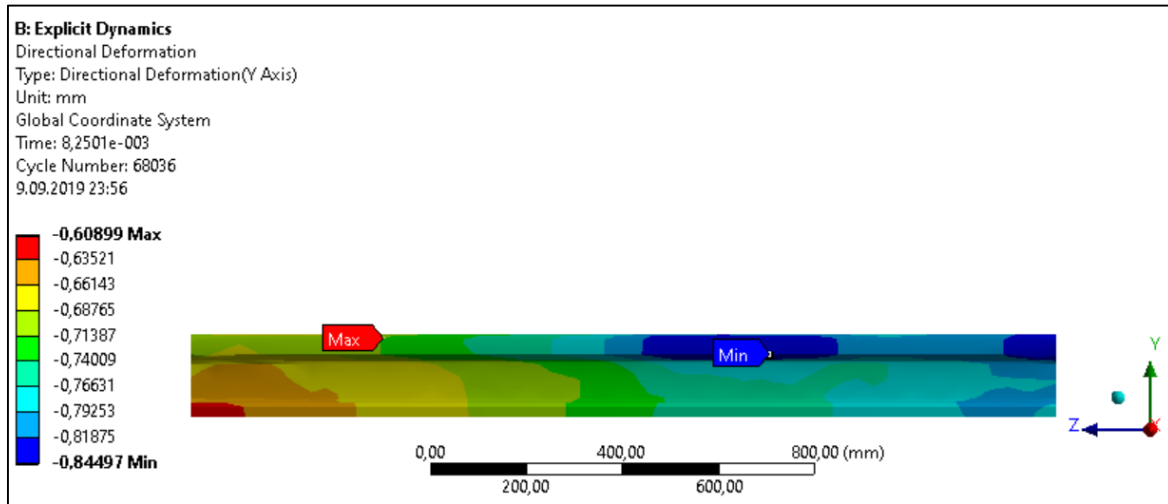


Resim 3.82. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.81'e ve Resim 3.82'ye bakıldığında, balastlı demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değeri, balastsız demiryolu modelinde rayda oluşan en büyük Von-Mises gerilme değerinden daha fazladır.

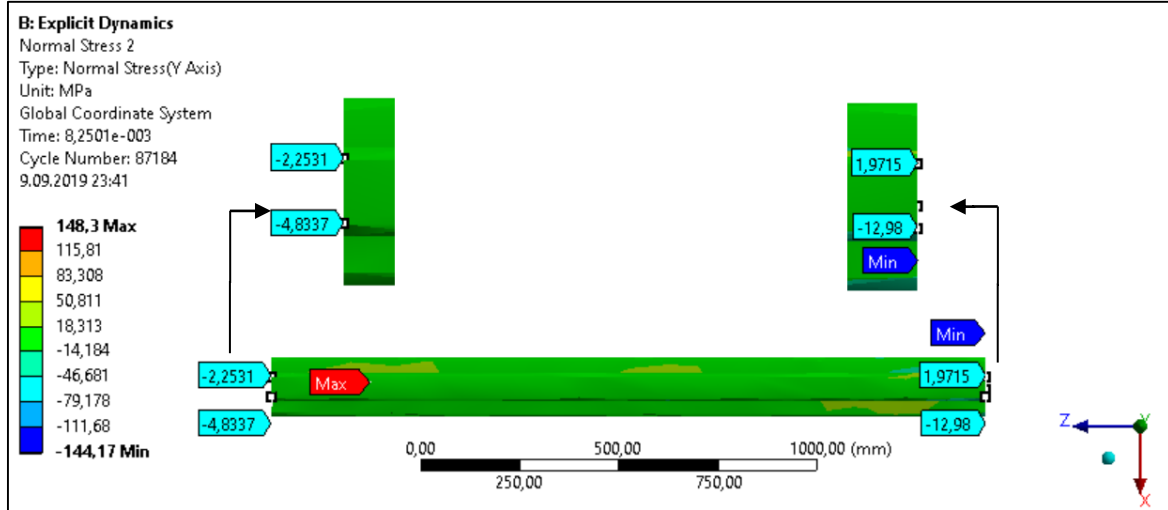


Resim 3.83. Balastlı demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

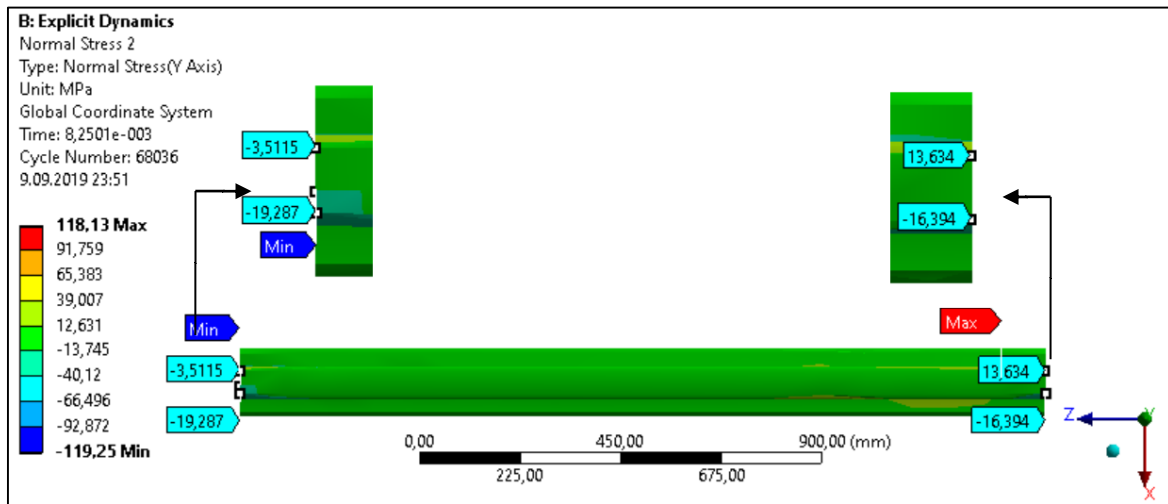


Resim 3.84. Balastsız demiryolu modelinde rayda meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Resim 3.83'te ve Resim 3.84'te balastlı ve balastsız demiryolu modelinde ray üzerinde oluşan düşey yöndeki yer değiştirme değerleri gösterilmiştir.

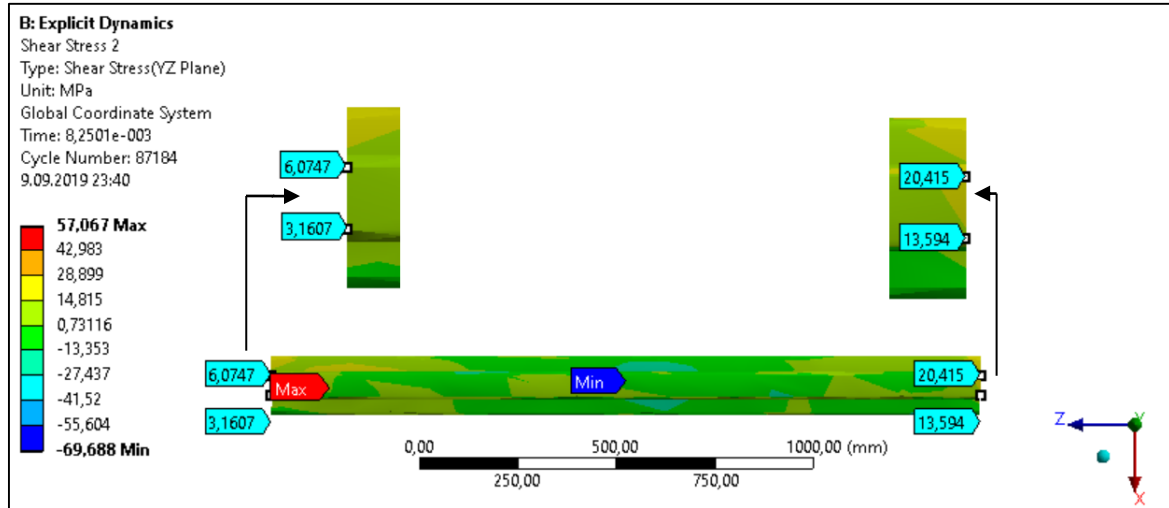


Resim 3.85. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

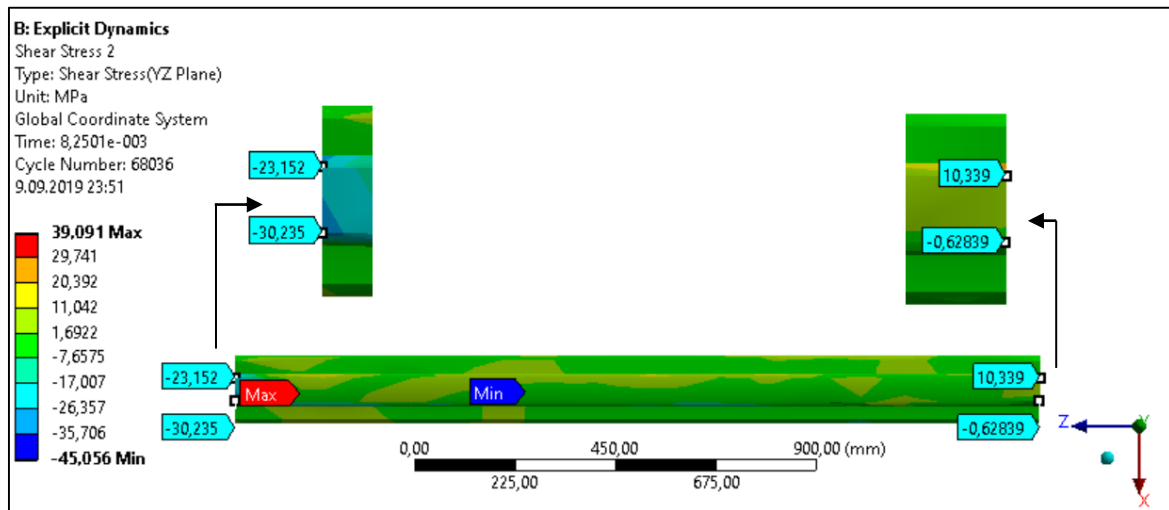


Resim 3.86. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde normal gerilme değerleri

Resim 3.85'te ve Resim 3.86'da, seçilen noktalarda oluşan normal gerilme değerlerinin balastlı üstyapı modelinde, balastsız üstyapı modelinde oluşan normal gerilme değerlerinden daha az olduğu görülmektedir.

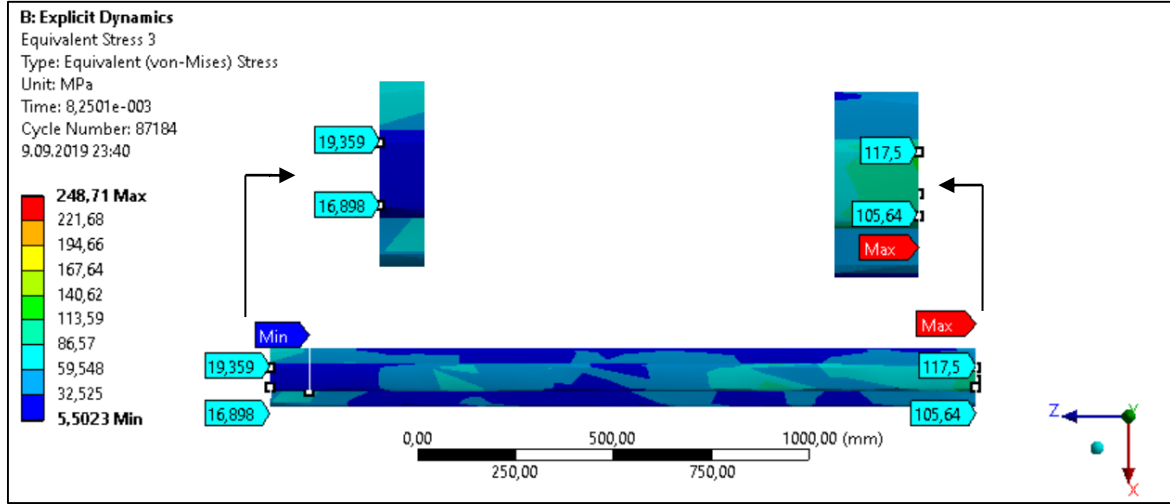


Resim 3.87. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

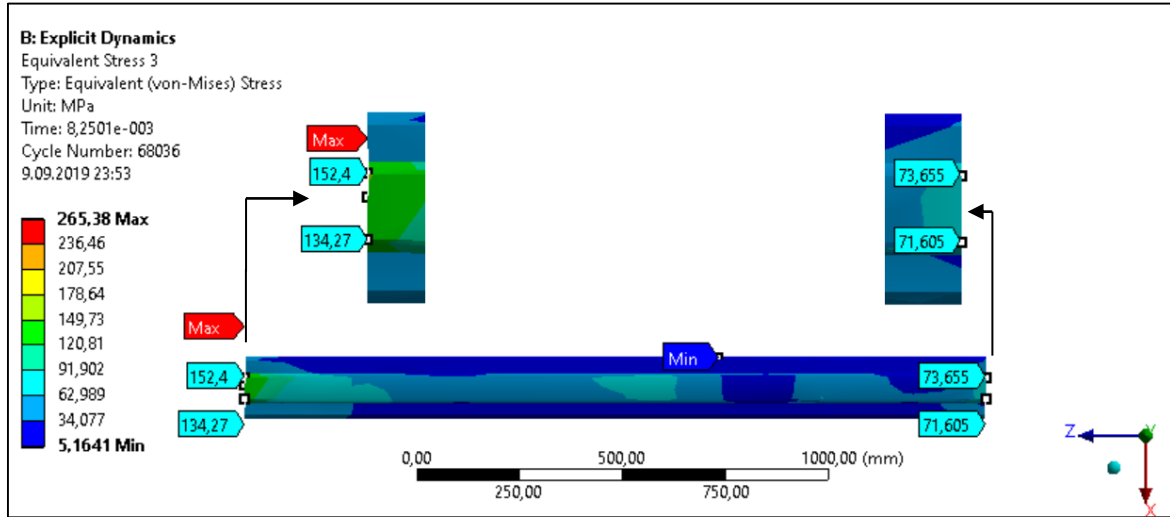


Resim 3.88. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ_{yz})

Resim 3.87’de ve Resim 3.88’de, balastlı ve balastsız üstyapı modelinde ray-teker temas yüzeyinde seçilen noktalarda oluşan kayma gerilme değerleri gösterilmektedir.

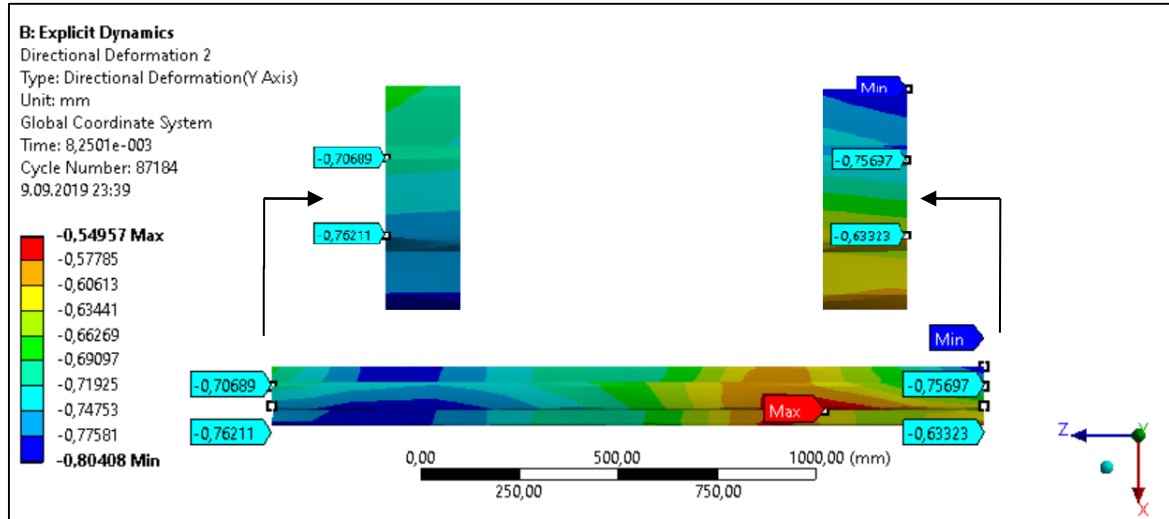


Resim 3.89. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

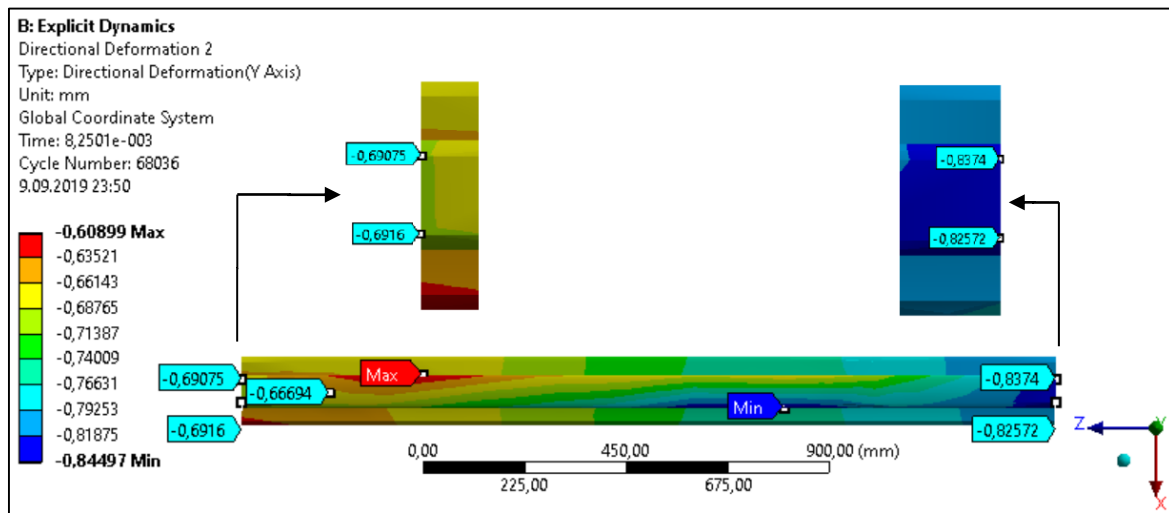


Resim 3.90. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen Von-Mises gerilme değerleri

Resim 3.89’da ve Resim 3.90’da, seçilen noktalarda oluşan Von-Mises gerilme değerlerinin, balastsız üstyapı modelinde oluşan Von-Mises gerilme değerlerinden daha az olduğu görülmektedir.



Resim 3.91. Balastlı demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri



Resim 3.92. Balastsız demiryolu modelinde ray-teker arasındaki temas yüzeyinde meydana gelen düşey yönde yer değiştirme değerleri

Resim 3.91’de ve Resim 3.92’de, balastlı ve balastsız demiryolu modelinde seçilen temas noktalarında oluşan düşey yöndeki yer değiştirme değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Dinamik analiz sonuçları

GERİLME DEĞERLERİ	BİRİMİ	BALASTLI			BALASTSIZ		
		300 km/sa	250 km/sa	200 km/sa	300 km/sa	250 km/sa	200 km/sa
Tekerde Oluşan Max Von-Mises Gerilme Değeri	MPa	187160,000	125670,000	115490,000	260710,000	230680,000	212740,000
Rayda Oluşan Max Normal Gerilme Değeri (-y)	MPa	104,740	131,440	148,300	185,850	85,849	118,130
Rayda Oluşan Max Kayma Gerilme Değeri (tyz)	MPa	46,189	49,683	57,067	72,431	58,472	39,091

Çizelge 3.2. (devam) Dinamik analiz sonuçları

Rayda Oluşan Max Von-Mises Gerilme Değeri	MPa	235,450	143,500	248,710	1012,200	290,000	265,380
Rayda Oluşan Max Düşey Yer Değiştirme	mm	1,125	1,013	0,804	0,975	1,075	0,845
Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 4 Noktada Oluşan Max Normal Gerilme Değeri (-y)	MPa	6,694	7,400	1,972	1,286	30,961	13,634
	MPa	12,364	3,630	12,980	29,782	21,059	16,394
	MPa	3,193	0,707	2,253	25,729	23,633	3,512
	MPa	0,492	3,365	4,834	8,264	22,406	19,287
Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 4 Noktada Oluşan Max Kayma Gerilme Değeri (tyz)	MPa	14,532	9,189	20,415	39,477	3,442	10,339
	MPa	11,297	9,924	13,594	50,201	9,051	0,628
	MPa	6,129	24,936	6,075	38,692	12,918	23,152
	MPa	26,835	29,488	3,161	42,839	8,495	30,235
Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 4 Noktada Oluşan Max Von-Mises Gerilme Değeri	MPa	40,023	87,248	117,500	131,310	72,601	73,655
	MPa	29,738	73,792	105,640	152,770	114,880	71,605
	MPa	126,090	80,851	19,359	100,060	81,716	152,400
	MPa	111,940	76,384	16,898	92,810	48,572	134,270
Ray ile Teker Temas Yüzeyinde Seçilen 4 Noktada Oluşan Max Düşey Yer Değiştirme	mm	1,119	0,970	0,757	0,456	0,894	0,837
	mm	1,064	0,809	0,633	0,667	0,827	0,826
	mm	0,971	0,626	0,707	1,007	0,977	0,691
	mm	1,135	0,572	0,762	0,878	1,054	0,692

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucunda balastlı ve balastsız olarak iki farklı şekilde modellenen bir demiryolu hattında belirli koşullarda oluşan gerilme ve yer değiştirme değerleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Statik ve dinamik analiz sonucunda tekerde meydana gelen Von-Mises gerilme değerlerine bakıldığında balastsız demiryolu modelinde bulunan tekerde meydana gelen gerilme balastlı demiryolu modelinde bulunan tekerde meydana gelen gerilmelerden daha yüksek değere sahiptir. En büyük gerilme değeri de hem balastlı hem de balastsız demiryolu modelinde teker ile ray arasındaki temas noktasında meydana geldiği görülmüştür. Balastsız demiryolu modeli, balastlı demiryolu modeline göre daha rijit bir yapıya sahiptir. Bu nedenle statik ve dinamik analizde belirli koşullar altında söz konusu modelin tekerinde meydana gelen gerilme değeri daha büyüktür.

Balastsız demiryolu modelinde bulunan traversin sürekli nitelikte olup balastlı demiryolu modelinde bulunan traversler sürekli olmayıp belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Ayrıca balastlı demiryolu modeli ile balastsız demiryolu modeli farklı geometrilere sahiptir. Geometrilerin ve dolayısıyla sınır şartların farklı olması uygulanan yük ile birlikte oluşacak iç kuvvetlerin farklı olmasına sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak da iki modelde oluşan gerilmeler ve yer değiştirmeler farklı değerlere sahiptir. Yapılan statik ve dinamik analiz sonucunda rayda oluşan gerilmeler ve yer değiştirmeler incelendiğinde balastlı demiryolu modelinde bulunan rayda oluşan gerilme değerlerinin ve yer değiştirmelerin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Statik analizde rayda meydana gelen düşey yöndeki en büyük yer değiştirmeler tekerin bulunduğu ray yüzeyinde meydana gelmektedir. Dinamik analizde ise, 180 cm uzunluğunda modellenen rayın üzerinde tekerin son noktaya geldiği anda yani analiz süresinin sonunda yer değiştirme değerleri incelenmiş olup her iki modelde de meydana gelen en büyük yer değiştirmelerin rayın sonunda yani tekerin altında olduğu ve balastlı demiryolu modelindeki değerin balastsız demiryolu modelindeki değere göre daha büyük olduğu görülmektedir.

Statik analizde, tekerin raya temas ettiği iki nokta seçilerek ray yüzeyinde meydana gelen gerilmeler ve yer değiştirmeler ele alınmıştır. Sonuçlara bakıldığında, temas yüzeyinde seçilen referans iki noktada meydana gelen gerilme değerleri ve düşey yöndeki yer

değiştirmeler balastlı demiryolu modelinde daha yüksek bir değere sahiptir. Ayrıca statik analizde balastlı ve balastsız demiryolu modelinde bulunan temel tabakasında meydana gelen normal gerilme ve düşey yöndeki yer değıştirme incelenmiştir. Balastlı ve balastsız demiryolu modelinde temel ve ray ile temel arasında bulunan elemanlar/katmanlar farklı boyutlara sahiptir. Bu yüzden tekere uygulanan kuvvetin elemanlar/katmanlar tarafından temele aktarılması sonucu temele uygulanan kuvvet değeri ve temelde oluşan iç kuvvet dağılımı farklı olmaktadır. Temelde oluşan düşey yöndeki normal gerilme değeri bakıldığında balastsız demiryolu modelinde daha yüksek değere sahiptir. Bununla birlikte daha rijit bir yapıya sahip olan balastsız demiryolu modelindeki temelde oluşan en büyük yer değıştirme balastlı modele göre daha az olmuştur.

Dinamik analizde balastlı ve balastsız demiryolu modelinde teker ile ray arasında bulunan temas yüzeyinde referans olarak modelin başında ve sonunda olmak üzere dört nokta seçilmiş olup söz konusu noktalar için gerilme değeri ve yer değıştirme değeri elde edilmiştir. Farklı hızlarda, belirli yüke sahip tekerler 180 cm uzunluğundaki rayda seçilen zaman içerisinde yol almaktadır. Bu hareket sırasında seçilen noktalarda oluşan gerilme değeri bakıldığında, genellikle balastlı demiryolu modelinde daha yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Bunun nedeni ise, daha önceden belirtilen balastlı demiryolunda bulunan traverslerin sürekli olmaması ve iki modelin farklı geometri ve sınır şartlarına sahip olmasıdır. Seçilen noktalarda oluşan yer değıştirmeler balastlı demiryolu modelinde daha yüksek değere ulaşmaktadır. Dinamik analiz sonuçlarına bakıldığında, hızın artmasıyla birlikte demiryolunda meydana gelen gerilme değeri ve yer değıştirmelerin arttığı görülmektedir. Balastlı demiryolu modelinde meydana gelen gerilme değeri ve yer değıştirmelerin artış miktarı, balastsız demiryolu modelinde meydana gelen gerilme değeri ve yer değıştirmelerin artış miktarından daha fazladır.

Burada yapılan çalışmaya ek olarak, asfalt taşıyıcı tabakaya sahip balastsız demiryolu hattı gibi değışik tipte balastsız demiryolu sistemlerinin davranışı ve malzeme etkisi ile ilgili hareket için analizler gerçekleştirilerek demiryolu üstyapısının mekanik davranışı üzerindeki etkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Bonnett, F.C. (2005). *Practical railway engineering* (Second Edition). London: Imperial Collage Press, 10-90.
2. Profillidis, V.A. *Demiryolu mühendisliği*. (çev. V. Arlı). Birsen Yayınevi. (Eserin orijinali 2002’de yayımlandı), 34-51.
3. Moderen, O. (2010). *Balastsız demiryolu üstyapısının yapısal modellenmesi ve analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-20.
4. Eroğlu, M. (2014). *Raylı sistemlerde ray ve teker arasındaki temas analizinin ansys ortamında incelenmesi*. Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük, 1-90.
5. Yalçın, S. (2006). *Demiryolu üstyapısının dinamik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-15.
6. Bezgin, Ö.N. (2016, Ekim). *Balastlı demiryolu hatları üzerine etki eden düşey kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeler*. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, Erzurum.
7. Nguyen, K., Goicolea, J.M., Galbadon, F. (2011, Haziran.). *Dynamic effect of high speed railway traffic loads on the ballast track settlement*. Congresso de Metodos Numericos em Engenharia, Madrid, İspanya.
8. Taciroğlu, M.V., Karaşahin, M., Tığdemir, M. (2016). Yüksek hızlı tren hatlarında hat kalitesine etki eden parametreler üzerine bir çalışma. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 279-291.
9. Kaewunruen, S., Ngamkhanong, C. and Lim, C. H. (2018). Damage and failure modes of railway prestressed concrete sleepers with holes/web openings subject to impact loading conditions. *Engineering Structures*, 176, 840-848.
10. Lichtberger, B. (2011). *Demiryolu cep kitabı*. (Birinci Baskı). Germany: DVV Media Group GmbH, 19-22.
11. Yıldız Teknik Üniversitesi. (2009). *Demiryolu*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 1-41.
12. Esveld, C. (2001). *Modern railway track* (Second Edition). The Netherlands: MRT-Productions, 203-274.
13. Arlı, V., Öztürk, Z. (2014). Balastlı hatta ray-teker titreşimlerinin demiryolu dinamiğine etkisinin belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 100-110.
14. Chandra, S., Agarwal, M.M. (2007). *Railway engineering*. (First Edition). Oxford Higher Education: Oxford University Press, 64-165.

15. Öztürk, Z., Arlı, V. (2009). *Demiryolu mühendisliği*. İstanbul: İstanbul Ulaşım A.Ş., 15-55.
16. Profillidis, V.A. (1995). *Railway engineering*. Farnham: Ashgate Publishing Company, 10-40.
17. Köse, H. (2015). *Balastsız üstyapıda asfalt ve beton taşıyıcı tabakaların teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-59.
18. Sözel, S. S. (1984). *Demiryolu inşaatı ve bakımı ders notları*. Eskişehir: TCDD Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürlüğü, 1-15.
19. Öztürk, Z., Öztürk, T. (2005). *Kentiçi demiryolunda balastsız üstyapı tasarımları ve uygulama esasları*. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 372–383.
20. Madhkhan, M., Entezam, A., Torki, M.E. (2013). Mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete slab tracks on non-ballasted foundations. *Sharif University of Technology*, 20(6), 1626-1636.
21. Kozak, M. (2010). Beton traversin gelişimi ve üretim aşamasının araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 73-81.
22. Aikawa, A., Urakawa, F., Abe, K., Namura, A. (2011, Mayıs). *Dynamic characteristics of railway concrete sleepers using impact excitation techniques and model analysis*. 9 th World Congress on Railway Research, Nigata, Japonya.
23. Michas, G. (2012). *Slab track systems for high-speed railways*. Master Degree Project, Royal Institute of Technology, Stockholm, İsveç, 1-80.
24. Şahin, O. (2011). *Demiryolu hat rijitliğinin ve etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 19-32.
25. Takai, H. (2007, Ocak). *40 years experiences of the slab track on Japanese high speed lines*. 1th ECS Slab Track Conferance, Bilbao, İspanya.
26. Ergin, A., Bayraktarkatal, E., Ünsan, Y. (Editörler). (2000). *Sonlu elemanlar metodu ve gemi inşaatı sektöründeki uygulamaları*. İstanbul: Türk Loydu Vakfı ve İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, 1-20.
27. Bathe, K. J. (2016). *Finite element procedures*. (Second Edition). United States of America: Fourth Printing, 1-10.
28. Hutton, D.V. (2004). *Fundamentals of finite element analysis*. (First Edition). North America: Quebecor World Fairfield, 1-15.
29. Rail One GmbH.(2011). *Rheda 2000 ballastless track system*. Neumarkt: Rail One GmbH, 2-18.

30. Aalami, M. R., Anari, A., Shafighfard, T., Talatahari, S. (2013). A robust finite element analysis of the rail-wheel rolling contact. *Advances in Mechanical Engineering*, 5, 272350.
31. Knothe, K.I., Grassie, S.L., Elkins, J.A. (1995). *Interaction of railway vehicles with the track and its substructure* (First Edition). New York: CRC Press, 10-250.
32. Aikawa, A. (2013). Determination of dynamic ballast characteristics under transient impact loading. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 13(1), 17-34.
33. Shackelford, J. F. (2018). *Mühendisler için malzeme bilimine giriş*. (First Edition). Türkiye: Literatür Yayıncılık, 1-510.
34. İnternet: Simscale. What is von mises stress. URL: <https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/fea/what-is-von-mises-stress.html>, Son Erişim Tarihi: 08.12.2018.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AĞBABA, Burçin
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.01.1993, İstanbul
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (538) 4414082
 e-posta : agbababurcin@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2014
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2014
Lise	Eryaman Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Müfettiş Yardımcısı
2018-2019	Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.	Proje Mühendisi
2015-2016	Emre Özcan Müh. Müş. Ltd. Şti.	Proje Mühendisi
2014-2015	Epsilon İnşaat A.Ş.	Hakediş-Metraj Müh.

Yabancı Dil

İngilizce, Rusça

Yayınlar

Ağbaba, B., Alyavuz, B. (2019, 22-24 Nisan). *Comparison and analysis of slab track and ballast rail with Ansys software*. In 2nd International Congress on Engineering and Architecture, Marmaris.

Hobiler

Kitap okumak, Tiyatroya gitmek, Yüzmek, Yemek yemek.



GAZİ GELECEKTİR...