

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLLARINDA CONTALI VE UZUN
KAYNAKLI RAYLARIN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdem İNAL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan GÜLER

Kasım 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİRYOLLARINDA CONTALI VE UZUN
KAYNAKLI RAYLARIN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdem İNAL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA

Bu tez 22.11.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~...~~ ile kabul edilmiştir.



**Prof. Dr.
Hakan GÜLER
Jüri Başkanı**



**Doç. Dr.
Murat ERGÜN
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
İrfan PAMUK
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Erdem İNAL

.....

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim için ulaştırma bilim dalını seçmemde büyük katkısı olan, eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve bu araştırmanın planlamasından yazım aşamasına kadar fikir ve görüşleriyle beni destekleyen, ilgi ve desteğini esirgemeyen Tez Danışmanım Prof. Dr. Hakan GÜLER'e, tez boyunca yaptığı katkılardan dolayı Yüksek İnşaat Mühendisi Emir AKSOP'a, eğitim süresi boyunca enstitü ile ilgili bütün sorularıma sabırla cevap veren ve mezun olabilmem için beni destekleyen Hakan İŞGÖREN'e teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim süresince manevi hiçbir yardımı esirgemedi yanıtında oldukları için sevgili aileme, hayatımın her anında desteğini bana hissettiren ve tez hazırlama süresince beni cesaretlendiren eşim Zarife İNAL'a ve yaşama sevincim kızım Arya İNAL'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
DEMİRYOLU ÖZELLİKLERİ VE ÜLKEMİZDE DEMİRYOLU TARİHİ.....	3
2.1. Demiryolu Özellikleri.....	3
2.2. Ülkemizde Demiryolu Tarihi.....	5
BÖLÜM 3.	
DEMİRYOLU ALTYAPISI VE ÜSTYAPISI	7
3.1. Balastlı Demiryolu Üstyapısı	7
3.2. Balastsız Demiryolu Üstyapısı	8
3.3. Demiryolu Hattının Görevleri	9
3.4. Demiryolu Üstyapı Elemanları	9
3.4.1. Raylar	9
3.4.2. Seletler	10
3.4.3. Traversler	12

3.4.4. Bağlantı malzemeleri	13
3.4.5. Balast.....	14
3.5. Demiryolu Altyapı Elemanları	15
3.5.1. Alt Balast	15
3.5.2. Toprak gövde	16

BÖLÜM 4.

DEMİRYOLU RAYLARI	17
4.1. Rayların Tarihçesi	17
4.2. Rayların Üretilmesi	18
4.3. Rayların Profilleri	20
4.4. Ray Kısımları	20
4.5. Rayların Kimyasal Özellikleri	21
4.6. Rayların Mekanik Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	22
4.7. Ray Kusurları	23

BÖLÜM 5.

DEMİRYOLLARINDA CONTALI VE UZUN KAYNAKLI RAYLAR.....	25
5.1. Contalı Raylar	26
5.2. Uzun Kaynaklı Raylar	31
5.2.1. Uzun kaynaklı rayların montaj hazırlıkları	32
5.2.2. Uzun kaynaklı raylarda montaj öncesi alınması gereken tedbirler	32
5.2.3. Uzun kaynaklı raylarda kullanılan ekipmanlar	33
5.2.4. Uzun kaynaklı raylarda gerilim alma metotları	34
5.3. Ray Kaynakları	35
5.3.1. Alüminotermite kaynak yöntemi	35
5.3.2. Yakma alın kaynağı yöntemi	36
5.3.3. Elektrik ark kaynağı	37

BÖLÜM 6.

DEMİRYOLU ÜSTYAPI HESAPLARI	39
6.1. Demiryolu Raylarına Gelen Yükler ve Oluşturduğu Gerilmeler	39
6.1.1. Demiryolu raylarında oluşan termal gerilmeler	40
6.1.2. Demiryolu raylarında oluşan termal gerilmelerin hesaplaması	41
6.2. Demiryollarında Contalı ve Kaynaklı Ray Hesaplamaları.....	41
6.2.1. Genleşme contası	41
6.2.1. Genleşen aralığın hesaplanması.....	42
6.2.3. Uzun kaynaklı raylarda termal kuvvet etkisinin hesabı.....	45

BÖLÜM 7.

SONLU ELEMANLAR VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZ YÖNTEMİ.	48
7.1. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Demiryolu Hattının Modellenmesi.....	50
7.1. Modelin Çalıştırılması ve Termal Yük Analizleri.....	57

BÖLÜM 8.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	64

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	:Travers (mesnet) aralığı.
b_t	:Travers taban genişliği.
C	:Balast tabakasının yatak katsayısı
e	:Hat açıklığı
E	:Elastisite modülü.
E_b	:Balast malzemesine ait elastisite modülü
EI	:Eğilme rijitliği.
I	:Atalet momenti.
k_i	:Yay katsayısı.
k_s	:Yatak katsayısı.
k_b	:Balast tabakası ve zeminin rijitlik (esneklik) katsayısı.
M	:Eğilme momenti
t_e	:Emniyet katsayısı
y	:Yer değiştirme, çökme
μ	:Poisson oranı
σ_s	:Taban basıncı
φ	:Dinamik etki katsayısı
CR	:Contalı ray
HM	:Herbert Meir tipi ray bağlantı sistemi
KPO	:K tipi ray bağlantı sistemi
TCDD	:Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TSE	:Türk Standartları Enstitüsü
UKR	:Uzun kaynaklı ray
UIC	:Uluslararası Demiryolu Birliği

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Tipik bir demiryolu enkesiti.....	7
Şekil 3.2. Balastlı demiryolu enkesiti.....	8
Şekil 3.3. Rheda 2000 tipi balastsız üstyapı enkesiti.....	9
Şekil 3.4. UIC60 ray kesiti.....	10
Şekil 3.5. Çelik ve plastik demiryolu seletleri.....	11
Şekil 3.6. B70 travers boyutları.....	12
Şekil 3.7. B70 travers görünüşü.....	12
Şekil 3.8. Ahşap travers bağlantı detayları.....	13
Şekil 3.9. Beton travers bağlantı detayları.....	13
Şekil 3.10. Balastı serilen demiryolu hattı.....	15
Şekil 4.1. Haddeleme ile ray üretimi.....	19
Şekil 4.2. Markalanmış eski bir ray.....	19
Şekil 4.3. Oluklu, çift mantarlı ve patenli ray.....	20
Şekil 4.4. Ray kısımları.....	21
Şekil 4.5. Ray kusurları.....	24
Şekil 5.1. Rayın raya bağlantıları.....	25
Şekil 5.2. Cebireli bağlantı.....	25
Şekil 5.3. Contalı bağlantı kesit.....	26
Şekil 5.4. Contalı bağlantının üç boyutlu görünüşü.....	27
Şekil 5.5. Genleşme contası.....	28
Şekil 5.6. Ray başı gönye farkları.....	28
Şekil 5.7. Şaşırtmalı cebire yerleşiminde mesafeler.....	29
Şekil 5.8. Mesnetli conta.....	29
Şekil 5.9. Sakin conta.....	30
Şekil 5.10. Konsol conta.....	30

Şekil 5.11. Uzun kaynaklı ray.....	31
Şekil 5.12. Ray gerdirme makinesi.....	33
Şekil 5.13. Plastik tokmak makinesi.....	34
Şekil 5.14. Rayın gerdirilerek geriliminin alınması.....	35
Şekil 5.15. Alüminotermite kaynak.....	36
Şekil 5.16. Yakma alın kaynağı.....	37
Şekil 5.17. Dolgu kaynağı örneği.....	38
Şekil 6.1. Yol yapısına gelen yükler.....	40
Şekil 6.2. Contalı bağlantılarda termal yüklerin etkisi.....	43
Şekil 6.3. Uzun kaynaklı raylara termal kuvvetlerin etkisi.....	45
Şekil 7.1. Çubuk eleman genel ve yerel eksenleri.....	49
Şekil 7.2. UIC60 ray ve B70 travers teknik özellikleri.....	51
Şekil 7.3. Ray ölçülerinin tanımlanması.....	52
Şekil 7.4. Ray kesit özelliklerinin tanımlanması.....	52
Şekil 7.5. Ray malzeme özelliklerinin tanımlanması	53
Şekil 7.6. Travers kesit detaylarının tanımlanması	53
Şekil 7.7. Travers malzeme özelliklerinin tanımlanması	54
Şekil 7.8. Balastın yaylı sistem olarak tanımlanması.....	55
Şekil 7.9. Ray uçlarının ankastre mesnet olarak tanımlanması.....	55
Şekil 7.10. Termal yüklerin tanımlanması	56
Şekil 7.11. Raya etkiyen termal yükün gösterilmesi.....	56
Şekil 7.12. Oluşturulan demiryolu modeli.....	57
Şekil 7.13. Termal kuvvetler etkisinde raylarda oluşan kuvvetler.....	58
Şekil 7.14. Termal kuvvetler etkisinde raylarda oluşan gerilmeler.....	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Raylı sistemlerin yolcu kapasitesine göre sınıflandırılması.....	4
Tablo 3.1. Rayların kesit özellikleri.....	10
Tablo 3.2. Plastik seletlerin yapısal özellikleri.....	11
Tablo 4.1. Ray çeliği sınıflarının mekanik özellikleri.....	52
Tablo 7.1. Demiryolu modelinin parametreleri.....	52
Tablo 7.2. Demiryolu modelinin analiz sonuçları.....	58

ÖZET

Anahtar kelimeler: Demiryolu Rayları, Contalı Raylar, Uzun Kaynaklı Raylar, Rayların Termal Hareketleri ve Sonlu elemanlar

Demiryolların raylar, contalı (kısa raylar) ve uzun kaynaklı (sürekli kaynaklı) raylar olmak üzere ikiye ayrılır. Contalı raylar kısa uzunluktaki rayların birleştirilmesiyle oluşurlar. Uzun kaynaklı raylar ise contaların kaldırılarak rayların kaynaklanmasıyla oluşurlar. Ray döşemesi yapılırken, rayların döşeneceği bölgenin yıl içinde görülen en yüksek ve en düşük sıcaklıkları dikkate alınarak bir ray serim sıcaklığı belirlenir. Havanın soğuk ve sıcak olma durumuna bağlı olara, her bir travers tarafından rayın hareketini önlemeye yönelik bir tepki kuvveti oluşur. Ray uç noktasından itibaren rayın hareketini önleyen kuvvetler travers sayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Simetri noktasında bu değer maksimum değere ulaşır. Kısa raylar (contalı raylar) kısa uzunluktaki rayların cebire demiri ve bulonlarla bağlanmasıyla oluşurlar. Özellikle yaz dönemlerinde artan sıcaklıkla birlikte raylarda genleşme meydana gelir. Contalı raylarda sıcaklıktan dolayı meydana gelen termal kuvvetlere, conta bölgesindeki cebire demiri ve bağlantı malzemesiyle birlikte traversler karşı yönde bir direnç gösterirler. Ancak bu direnç yetersiz olup raylar yönde bir uzama yaparlar. Rayın termal kuvvetler etkisinde uzamasından dolayı, iki ray arasında bir boşluk bırakılır. İki ray arasındaki bu boşluğa genleşme aralığı (diletasyon payı) adı verilir. Uzun kaynaklı raylar, contaların kaldırılarak ray birleşim yerlerinin kaynaklanarak, rayların sürekli hale getirilmesiyle oluşurlar. Rayların kaynağı yerinde üç farklı yöntemle yapılır. Bunlar; yakma alın kaynağı, elektrik ark kaynağı ve alüminotermite ray kaynağıdır. Uzun kaynaklı rayların uzunluğu hat kesimine bağlı olup makas noktalarına ya da hat başı ve sonuna kadar sürekli olabilmektedir. Uzun kaynaklı raylarda, termal kuvvet ve direnç kuvvetlerinin toplamının sıfır olduğu uzunluk genleşmeyen kısım olarak dikkate alınır.

Bu tez çalışmasında, contalı ve uzun kaynaklı rayların sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmıştır. Contalı raylarda; termal kuvvetler altındaki raylarda meydana gelen uzamalar ve gerilmeler hesaplanmıştır. Demiryolu üstyapı ve raylara etki eden termal kuvvet modeli oluşturulduktan sonra rayların termal yükler altındaki davranışı incelenmiştir.

CALCULATIONS OF JOINTED RAILS AND CONTINUOUSLY WELDED RAILS ON RAILWAY BY FINITE ELEMENT METHODS

SUMMARY

Keywords: Railway rails, Jointed Rails, Continuously Welded Rails, Thermal Effects and Finite Element Methods

Railway transportation has an important role on passenger and freight transportation. Railways have a great advantage on carrying of the huge amount of freights and passengers with their high speeds. The developed or developing countries give an importance to railways because of its numerous advantages. On the other hand it is very important for railway organizations to enable railway tracks to be in operation during the year effectively and efficiently. Railway organizations mostly prefer traditional railway superstructure and substructure system consisting of sub-ballast, ballast, sleepers, rails and fasteners. The rails, fasteners and ballast layer consist of railway superstructure, on the other hand the subgrade and sub-ballast layers consist of substructure. The rail elements are very important facing with the train loads and transmitting these loads to the following structures. The laying, fixing and connecting of rails require a sensitive work during the construction and maintenance processes. Railway organizations connect the rails in two ways which are called as joint and weld techniques. The railway tracks are named as Jointed Rails (JR) and Continuously Welded Rails (CWR) on the base of their connection types. In this paper, a study was performed to measure the rails' performance under the thermal effects. For this purpose, some numerical calculations were realized and in parallel a finite element model is constituted by using a finite element methods' (FEM) techniques to solve some complex problems of railway tracks under the thermal force effects. On the base of developed railway track FEM modal, the dilatation joints, the length of rails, the rail-sleeper-fastener and ballast interaction was evaluate and some conclusions were made.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde zaman kavramı, yaşamımızı idame ettirebilmek için kritik bir yer kaplamaktadır. İş süreçlerinde zamanla yarıştığımız gibi işe varabilmek ve dönebilmek için de kısıtlı zamanımızı, kritik kaynaklarımızla optimum sürede kullanmamız gerekmektedir. Toplu taşıma araçları ekonomik, ergonomik ve konforu bir arada bulundurabilmesi ve zamanı verimli hale getirebilmesi adına gelişmiş ve gelişmekte olan toplumlarda tercih edilmektedir. Güvenilir toplu taşıma türlerinin başında yer alan demiryolu, toplu taşıma planlarının yapıldığı toplumlarda, ulaşımda önemli bir rol üstlenmektedir. Demiryolu taşıtlarına adaptasyonun sağlandığı şehirlerde, insanların işlerinin haricinde kendilerine ayırdıkları sürelerde önemli artışlar gözlemlenmektedir. Demiryolu sistemleri trafik sorunu yaratmadan tek seferde bir çok yolcuyu hem şehir içi hemde şehirler arasında hızlı, ekonomik ve konforlu şekilde taşımaktadır.

Demiryolu araçlarının güvenli bir şekilde ilerleyebilmesini sağlayan rayların hesaplarının, uygulamalarının doğru bir şekilde yapılması önemlidir. Bakımı kolay yapılabilen ve uzun süre bakıma ihtiyaç duymayan raylar ile işletme çok daha ekonomik ve uzun süreli yapılabilir.

Çalışmanın metodolojisinde, nümerik yöntemler aracılığıyla raylara gelecek termal yükler ile raylarda oluşacak deplasmanların hesapları yapılacak, bu hesaplamalar sonlu elemanlar yöntemleri ile kurulan modeller ile kıyaslanarak değerlendirmeler yapılacaktır.

Çalışmamızın birinci bölümünde tezin giriş kısımları açıklandıktan sonra, ikinci bölümünde demiryolu özellikleri ve çeşitlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde demiryolunun altyapısı ve üstyapısını oluşturan yapı elemanlarını açıklanmıştır. Dördüncü bölümde demiryolu rayları ve çeşitlerinden bahsedilmiştir. Beşinci

bölümde contalı raylar ve uzun kaynaklı raylar raylarının bağlantı elemanları, kaynakları ve kaynak türlerinden bahsedilmiştir. Altınca bölümde raylarla ilgili hesaplamalardan ve raya gelen termal yüklerden bilgiler verilmiştir. Yedinci bölümde sonlu elemanlar yönteminden bahsedilmiştir. Bu bölümde kullanılan program olan SAP2000 hakkında bilgiler verilmiş ve program aracılığıyla yapılmış olan analitik modelin detayları belirtilmiştir. Aynı bölümde oluşturulan modellerin analizleri yapılmış ve nümerik metotlar ile kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir. Tezin en son kısmı olan sekizinci bölümde analizler ve hesaplamalar sonucunda nitelikli sonuçlar açıklanmıştır.

Tez çalışmamızda, termal kuvvetler etkisi altında demiryolu üstyapısının analizleri incelenecektir. Üstyapıda sıcaklık yükleri çalışmanın ana kaynağını oluşturacaktır. Sıcaklık etkisi altında rayların deplasmanları ve gerilmeleri sonlu eleman programları kullanılarak analiz edilecektir. Demiryolu üstyapı ve raylara etki eden termal kuvvet modeli oluşturulduktan demiryolu üstyapısının ve rayların davranışı incelenecektir.

BÖLÜM 2. DEMİRYOLU ÖZELLİKLERİ VE ÜLKEMİZDE DEMİRYOLU TARİHİ

2.1. Demiryolu Özellikleri

Demiryolu, ulaşım sistemleri bakımından önemi günden güne artan toplu taşımacılığın ilk ve en önemli unsurlarındandır. Ekonomik gelişmenin ve entegrasyonun yapıtaşlarındandır.

Demiryolu kavram olarak bir noktadan diğer noktaya madeni bir yol sisteminde, mekanik bir güçle hareket ettirilen araçlar içinde, insan ve eşya taşımalarını temin eden tesislerin hepsine birden verilen addır [1].

Başlı başına bir demiryolu sistemi ray, travers, balast gibi üstyapı elemanlarından ve altbalast, yarma ve dolgu gibi altyapı elemanlarından oluşur. Hat güzergahında yer alan istasyon, emniyet, demiryolu araçları ve sinyalizasyon tesisleri ile bir bütünü oluşturur [1].

Demiryollarında araç kapasitelerinin diğer ulaşım araçlarının kapasitelerinden fazla olması, bu süreçte daha az enerji sarfıyat ve yüksek konforu maksimum güvenlik ile sağlaması ülke içerisinde ve ülkeler arası ulaşımlarda sürdürülebilir ve uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Bakım maliyetleri ile teknolojik gelişmelerin sisteme adapta edilebilirliği ile cazibiyetini diğer modellere göre korumaktadır.

Demiryolu sisteminde kullanılan araçların diğer ulaşım türlerine göre büyük taşıma kapasiteli olması, düşük enerji kullanımlı olması, daha iyi yolcu konforu sağlaması, güvenli olması, düşük bakım maliyetlerinin bulunması, yüksek teknolojik ve ekonomik olması ile birlikte hem şehirlerimizde hem de şehirler arası ulaşımda farklı demiryolu türlerinin kullanıldığı bilinmektedir.

Şehirlerarasındaki demiryolu, şehir içinde kullanılan raylı sistemlere göre daha ağır dingil yüklerine sahiptir, hızlar daha yüksektir ve kapasiteleri daha fazladır. Tablo 2.1.'de açıklandığı gibi raylı sistemlerde yolcu kapasitesine göre bir sınıflandırma yapmak mümkündür [2].

Tablo 2.1. Raylı sistemlerin yolcu kapasitesine göre sınıflandırılması	
Raylı Sistem Çeşitleri	Yolcu Kapasitesi (kapasite/yön/saat)
Bölgesel Tren	60.000 ve >
Metro	35.000 – 60.000
Hafif Raylı Sistem	20.000 – 30.000
Tramvay	10.000 – 15.000

Genel anlamda kullanım amaçlarına göre raylı sistemler yedi sınıfa ayrılabilir [3].

1. Bölgesel demiryolu hatları: Hızları yüksek ve dingil ağırlıkları fazladır.
2. Hafif raylı sistemler: Daha düşük hızlara ve hafif dingil ağırlığına sahiptirler.
3. Yüksek hızlı demiryolları: Saatte 250 km'den fazla hıza ulaşabilen trenleri taşıyan hatlardır.
4. Monoraylar: Hafif raylı sistemlerin yerlerine tercih edilebilecek, yüksek betonarme yapılar üzerinde (viyadük ve köprüler) kurulan sistemlerdir.
5. Maglev: Elektromanyetik sistemler sayesinde yüksek hızlara çıkabilen özel demiryolu sistemleridir.
6. Rak demiryolu: Erişimi zor olan dağlık bölgelerde yer alan özel dişli sistemlere sahip sistemlerdir.
7. Endüstri demiryolları: Fabrikaların (sanayi tesislerinin) içerisinde yer alır

Demiryolu işletme kuruluşlarının öncelikli beklentileri birim zamanda taşınacak yolculuğun kapasitesini artırmak olmasına rağmen; gürültünün azaltılması, emisyonların asgari düzeye indirilmesi gibi çevresel etmenler ve kullanım amacı ulaşım türünün seçilmesinde önemli etkenlerdir [3].

Demiryollarının uygulanabilirliği endüstriyel gelişmelerden etkilenecek günümüze ulaşmıştır. 19.yüzyılda Avrupa kentlerinde demiryolları sistemleri çalışmaya başlamış, aynı yüzyılın sonlarına gelmeden tam kapasitelerinde kullanılmaya devam edilmiştir [3].

Demiryolu sistemlerinin yönetim süreçleri de kendine has bir yapıdan oluşmaktadır. Süreç yönetimi için hattı oluşturan bir sistem ve kendine ait alt ve üstyapısı, sistemin içinde yer aldığı araçlar, binalar, sinyalizasyon ve bunların yer aldığı bütün yapılar ve sürecin yönetim yapısı başlı başına yönetim mekanizmasını oluşturmaktadır.

2.2. Ülkemizde Demiryolu Tarihi

Ülkemizde demiryolu gelişmelerini incelediğimizde üç dönemle karşılaşıyoruz.; Cumhuriyet öncesi dönem (1856-1922), Cumhuriyet sonrası birinci dönem (1923-1950), Cumhuriyet sonrası ikinci dönem (1951 ve sonrası) [4].

Osmanlı Devleti zamanından Cumhuriyet dönemine kadar yapılan hatların uzunluğu 4.136 km olarak gözlemlenmiştir. Cumhuriyetin ilanı ile birlikte yeni demiryolu inşaat süreçleri başlamış ve zamanın kısıtlı şartları ile Atatürk'ün emirleri ve hedefleri doğrultusunda, medeniyetin bir sembolü olarak görülen demiryollarının ülkemizi demir ağlarla saracak şekilde geliştirilmesi hedefiyle ülkemize 3.764 km yeni demiryolu hattı kazandırılmıştır. Bunların yanı sıra cumhuriyetin ilanı sonrasında yabancı sermayelerin sahip olduğu demiryolu hatları satın alınarak milli sermayelerimize kazandırılmıştır [5].

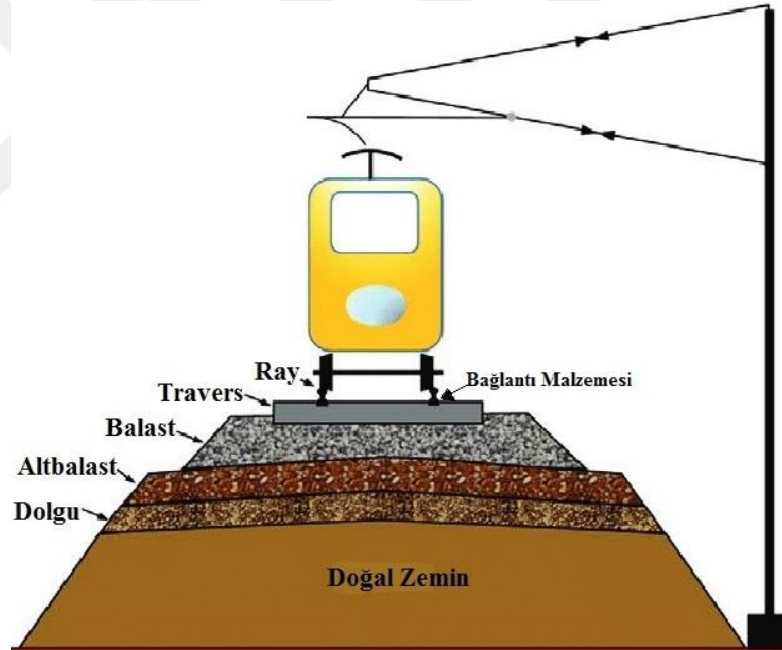
Cumhuriyet dönemi sonrasında ülkemizde ABD'nin sağlamış olduğu Marshall yardımlarının etkileri görülmeye başlamıştır. Ülkemiz dönem şartları doğrultusunda demiryolu odaklı politikalarını değiştirerek karayolu odaklı politikalarına ağırlık vermiştir. Marshall yardımları Türk ekonomisi doğrudan etkilemiş, tüketim malları odaklı bir sanayileşme süreci ile ekonomik yapıya sahip olmuştur. Bu politikalar doğrultusunda 2008 yılı sonuna kadar sadece 972 km yeni demiryolu hattı yapılmıştır. 1980 sonrası ülkemizde otoyollar en büyük projelerin başında yer almıştır. 1990'lı yıllar içerisinde yıllık ortalama iki milyar Amerikan Doları yatırım otoyollara yapılırken demiryolu yatırımları hususunda herhangi bir yeni yatırım yapılmadığı görülmektedir. Mevcut hatlar 20. Yüzyılın başında yapılan özellikleri ile eski geometrilerinde kalmaya devam etmiştir [4].

Bunların sonucunda 20. Yüzyılın ortalarında uygulanmaya başlanan karayolları odaklı politikalar neticesinde 1950-1997 yılları içerisinde mevcut karayolları uzunlukları %80 artarken, demiryolu uzunluğu sadece %11 artmıştır [5].



BÖLÜM 3. DEMİRYOLU ALTYAPISI VE ÜSTYAPISI

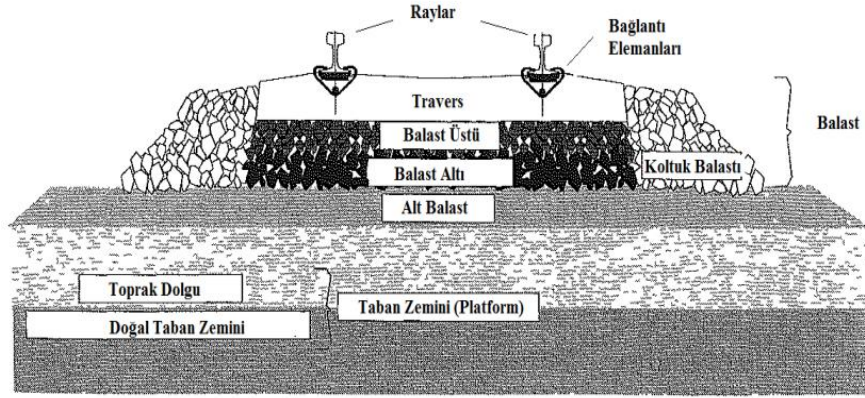
Demiryolu hatlarının uzun ömürlü olabilmesi hattı oluşturan bütün yapı elemanlarının korunması ile mümkündür. Demiryolunda en sık kullanılan hat tiplerinden olan balastlı hatlar iki grupta toplanır. İlk grup, üstyapı (superstructure) şeklinde adlandırılır ve ray, bağlantı malzemesi, travers ve balasttan oluşur. Diğer grup ise altyapı (substructure) olarak adlandırılır ve balast altı malzemeleri ile toprak gövdelerden oluşur [6]. Şekil 3.1.'de tipik kesit gösterilmiştir [7].



Şekil 3.1. Tipik bir demiryolu enkesiti

3.1. Balastlı Demiryolu Üstyapısı

Yapı bakımından balast; oluşan gürültüleri sönmlemeli, rayların elektriksel dirençlerini sağlamalı, uygulanabilir ve yüksek kapasiteli drenajlara sahip olmalıdır. Boyutları 15 mm ile 80 mm aralığında ve birbirleriyle tam etkileşim içerisinde olmalıdır. Şekil 3.2.'de balastlı demiryolu kesiti gösterilmiştir [8].

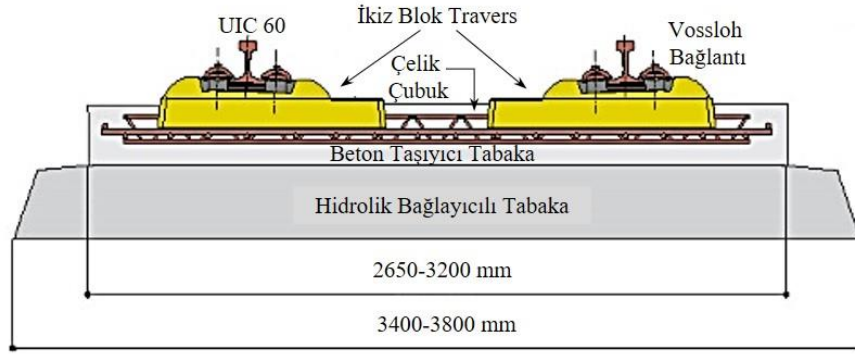


Şekil 3.2. Balastlı demiryolu enkesiti

Üstyapıların bakımları, tamirat yöntemleri ve maliyetleri avantajlıdır. Bu özelliklerinin yanı sıra yüksek titreşimleri ve gürültüleri kolaylık absorbe edebilene özellikleri mevcuttur. Balastların elastik yapıları vasıtasıyla hat titreşimlerini azaltarak iletmesi nedeniyle günümüzde de, yüksek hızlı demiryollarında da tercih sebebi olmaktadır.

3.2. Balastsız Demiryolu Üstyapısı

Balast tabakasının yerine beton, betonarme veya asfalttan yapılan taşıma tabakalarının kullanıldığı demiryolu üstyapısı balastsız üstyapı ya da rijit üstyapı olarak isimlendirilmektedir. Balastsız üstyapılarda raylar, taşıma tabakası üzerinde olabileceği gibi taşıma tabakasının içine de gömülü olabilir. Günümüzde balastsız demiryolu sistemi şehirlerindeki tramvay, metro gibi raylı sistemlerde inşaat ve bakım maliyetleri açısından tercih edilebilir. Genellikle köprülerde, tünellerde, viyadüklerde sıklıkla tercih edilir. Şehirde diğer lastik tekerlekli araçlarla birlikte trafiğin gitmesi istendiği yerlerde de balastsız üstyapı tercih sebebidir [2]. Şekil 3.3.'de Rheda 2000 tipi balastsız üstyapı enkesiti gösterilmiştir [9].



Şekil 3.3. Rheda 2000 tipi balastsız üstyapı enkesiti

3.3. Demiryolu Hattının Görevleri

Demiryolu hatlarının görevleri üzerinde hareket eden taşıtların emniyetli ve ucuz bir şekilde hareketini sağlamaktır. Eğer demiryolu hatları .düşeyde ve yatayda düzgün özelliklerde değilse, hatalar, trenlerde osilasyonlara ve titreşimlere neden olabilir. Bu durum da yolcuların konforsuz seyahat etmelerine ve yüklerin zarar görmesine sebep olacaktır. Hatlardaki uzun dalga boyu sebepli dalgalanmalar taşıtın düşük frekanslı osilasyonlarını arttırabilecektir. Kısa dalga boylular ise, taşıtta ve çevrede vibrasyona ve gürültüye neden olabilecektir [10].

3.4. Demiryolu Üstyapı Elemanları

3.4.1. Raylar

Demiryolu taşıtlarının yollar ile temaslarını sağlayan, taşıtların etkilerini ve mevcut ağırlıklarını traverslere ileten, sağlam çelik malzemelerden yapılmış üstyapı elemanlarına ray adı verilir.

Raylar; aşınmaları engelleyebilecek kadar sert, ancak yükler, etkiler sebebiyle oluşabilecek deformasyonlardan etkilenmeyecek kadar yumuşak bir çelik malzemeden imal edilirler.

Raylar taşıt tekerleklerine düzgün yuvarlanma yüzeyleri oluştururlar ve hatları kılavuzlarlar. Raylar taşıtların kendi yüklerini taşıyarak onları taverslere iletir. Tablo



a) Çelik demiryolu seleti



b) Plastik selet

Şekil 3.5. Çelik ve plastik demiryolu seletleri

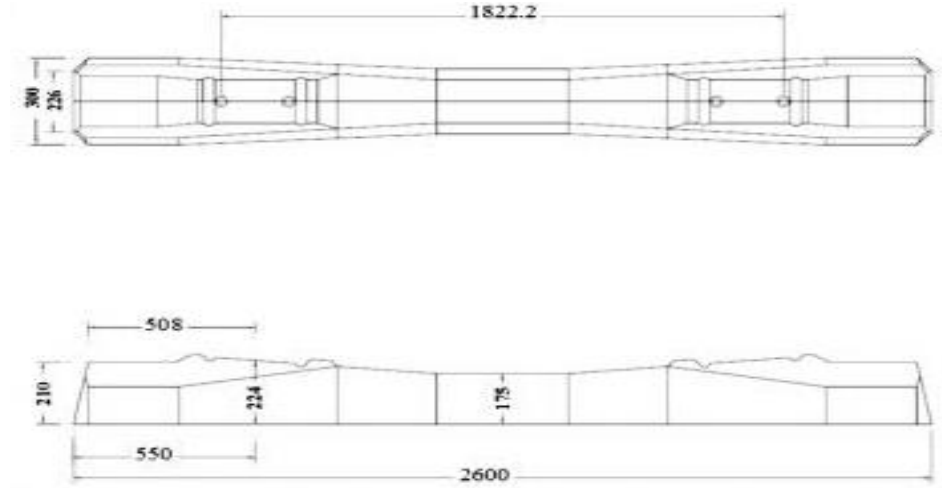
Tablo 3.2. Plastik seletlerin yapısal özellikleri

Özellik	Yumuşak elastik yapı (Fc584)	Normal elastik yapı (Fc9)	Sert elastik yapı (Fc846)
Dinamik rijitlik	970×10^6 N/m	1420×10^6 N/m	2990×10^6 N/m
Sönüm katsayısı	32×10^3 Ns/m	34×10^3 Ns/m	29×10^3 Ns/m

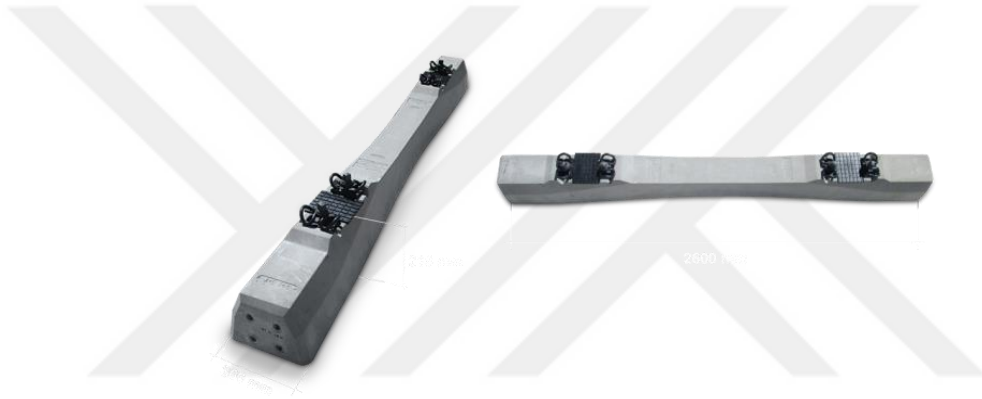
Plastik ve yüksek sönüm özellikli seletler hatlarda sıkça karşımıza çıkmaktadır. Hatta taşıt hareketleri oluştuğunda, yumuşak seletler rayların daha fazla sehim yapmalarına olanak tanır. Böylelikle yükler travers üzerine daha iyi dağıtılır.

3.4.3. Traversler

Yükleri geniş yüzey alanları vasıtasıyla balasta ileten, hat açıklığının hareket özelliklerini kısıtlayarak rijit hale getiren ve hattı oluşabilecek bütün etkilere karşı ekseninde tutan, rayların altlarına döşenmiş üstyapı elemanı travers olarak adlandırılır. Ahşap, çelik ve beton olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde beton traversler hatlarda tercih edilmektedir. Beton traversler, ray ile balast arasında belirlenmiş mesafe aralıkları ile monte edilir. Şekil 3.6.'da B70 tip beton travers boyutları, Şekil 3.7.'de ise görüntüsü belirtilmiştir.



Şekil 3.6. B70 travers boyutları



Şekil 3.7. B70 travers görünüşü

Beton traversler rayları destekler, hattın genişliğini korur. Oluşabilecek bütün eksenlerdeki kuvvetleri raydan itibaren balast yatağına iletir. Traversler rayların arasında elektrik yalıtımı sağlarlar. EN 13230 standardı beton traverslerin ve mesnetlerin çeşitlerini, imalatlarını ve montajlarını detaylarıyla açıklamaktadır [30].

3.4.4. Bağlantı malzemeleri

Rayın traverse bağlantısını sağlayan malzemelerden oluşur. Rayları traverslere bağlayarak stabilitesi yüksek bir çerçeve oluşturan, raylar ve ray ile travers arasında kuvvet aktarımını sağlayan, rayların şekil ve yer değiştirmelerini önleyen, üstyapıya gelen etkileri elastik şekil değiştirmelerle azaltan, cebire, krapo, ergo, bulon, tirfon

Bağlantı malzemelerinin özellikleri aşağıda gösterilmiştir [15]. Sırasıyla;

1. Dönmeye, basınç kuvvetlerine ve devrilme durumlarına karşı dayanım gösterme, yanal ve düşey doğrultularda tutuş sağlayabilmelidir.
2. Rayın traverse olan bağlantısını elastik bir şekilde gerçekleştirebilme, yükün sürekli halde taşınabilme ve iletilmesini güvenle sağlayabilmedir.
3. Monte edilebilmesi kolay olmalı ve ön montajı rahatlıkla yapılabilmelidir.
4. Aşınmalara karşı direnç gösterebilmelidir.
5. Uzun ömürlü ve durabilitesi yüksek olmalıdır.

Bağlantı malzemelerinin başlıca görevleri aşağıda belirtilmiştir[15]. Sırasıyla;

1. Oluşturduğu çerçeve yapısı ile yüksek stabilite sağlamaktır.
2. Raylardan gelen yüklere tampon etkisi yaratarak traverslere iletimini sağlamaktır.
3. Ekartmanı oluşabilecek hasarlardan korumaktır.
4. Rayların deformasyonlarını önlemektir.

3.4.5. Balast

Demiryolu hatlarındaki traverslerin boşluklu bölgelerini dolduran, traverslere taban görevi gören, traverslerden gelen yükleri zemin ya da altbalasta ileten, taşıtların oluşturduğu gürültüleri sönümleyen, elekler vasıtasıyla kırılmış, köşeli ve iyi sertliği olan taşlara balast denir. UIC-719R standartında demiryolu altyapı malzemelerinin özellikleri tanımlanmıştır [31].EN-13450 standartında ise demiryolu balastının agregasının olması gerektiği özellikler belirtilmiştir [32].

Dane boyutları 15-63 mm arasında, 30-60 mm çapında olmalıdır. Balast malzemelerin kalınlıkları, traverslere ve oluşan yüklere göre 30-50 cm arasında olmalıdır. Şekil 3.10.'da balastı serilen bir demiryolu hattı görülmektedir [34].

Balastın hatlar üzerindeki görevleri aşağıda açıklanmıştır Sırasıyla:

- Traversin ilettiği taşıt yüklerini hat üzerinde geniş alanlara eşit yayar ve gürültüleri engeller.
- Traverslere yataklık sağlar
- Yolların esnekliğini artırır.
- Yolların eksenlerinden sapmalarını engelleyerek hattı korur.
- Yer altı ve yağmur sularını süzererek hatların drenajını sağlar.



Şekil 3.10. Balastı serilen demiryolu hattı

3.5. Demiryolu Altyapı Elemanları

3.5.1. Altbalast

Balast ile zeminin arasında geçiş özelliği gösteren altbalast tabakası yüksek hızlı demiryolu inşaatlarında sıkça karşımıza çıkmaktadır.

Zemine bağlı olarak dane boyutları 0.05-20 mm arasında olan kum-agrega gibi malzeme tipleri kullanılabilir.

Altbalast, görev olarak balastın aynı görevlerini sağlayarak zeminin balast ile karışmasını engelleyecek şekilde tasarlanır [16]. Bunların yanı sıra şu görevleri de sağlamaktadır:

- a. Demiryolu hatlarının hat kapasitelerini arttırmak,
- b. Taşıtların oluşturduğu yüklerin altyapıya iletilmesini sağlamak,
- c. Hatta oluşabilecek suları uzaklaştırarak drenaj görevi sağlamak,
- d. Hattın bütünlüğünü oluşabilecek erozyonlardan korumaktır.

3.5.2. Toprak gövde

Toprak gövde, hattın ana yatağını oluşturup üzerine demiryolu sisteminin kurulabileceği zeminlere verilen genel addır.

Toprak gövde, elastik veya plastik özellikte zeminlerden oluşabilir. Toprakta elastik deformasyonlara, demiryolu taşıtlarının oluşturduğu yükler sebep olmaktadır. Bu yükler hattan uzaklaşınca gövde eski haline geri dönmeye çalışır. Şekil değiştirmeler sonucu raylarda ve traverslerde zorlanmalar oluşur. Rayların ve traverslerin gerilmelerini azaltmak ve balastın kalınlığını düşürmek için belirlenmiş şartlarda toprak gövdeyi düzenlemek gereklidir [17].

BÖLÜM 4. DEMİRYOLU RAYLARI

Demiryolu taşıtlarının oluşturduğu yükleri, dingillerden traverslere ileten, uzun doğrultusunda tekerleklerin düzleminde hareket ettirilmesini sağlayan, yüksek durabiliteli ve aşınmaya karşı korunaklı özel çelik profillerden üretilmiş elemanlara ray adı verilmektedir. Araç tekerleklerine karşı minimum direnç gösterirler. Oluşturdukları yuvarlanma yüzeyleri ile taşıt tekerleklerine kılavuz etkisi sağlarlar.

4.1. Rayların Tarihçesi

Gelişen toplumlarda tüketim ürünlerinin karşılığının kilogram/petrol ile ölçülmeye başlanması enerjinin önemine ve daha ekonomik kullanmasına vesile olmaktadır. Günümüzde kara yolları, karbon emisyonlarının yüksek olması sebebiyle çevreyi kirletmektedir. Ayrıca yolların büyük bir yer kaplaması ve kapasitelerinin fazlasında taşıt adetinin aynı anda trafiğe çıkması sebebiyle zor şartlar oluşturmuş ve insanları toplu taşıma araçlarına yönlendirmiştir.

Demiryolu sistemlerinde kullanılmakta olan raylar, gelişen teknolojik şartlar altında günden güne gelişme sağlamaktadır. Günümüzde bölgelere göre özel raylar üretilmekte ve bu üretimler ilgili bölgenin jeopolitik konumuna göre şekillendirilmektedir. Bölgenin meteorolojik değişimleri, raylarda oluşan sıcaklık farkları gibi etmenleri kullanılacak rayın özelliklerini değiştirmektedir.

Fransız Nicolas Cugnot 1769 yılında raylar ve lokomotifler ile ilgili denemelerine başlamıştır. Başarısız ilk denemesinin ardından on yıl hükümlü kalmıştır. Sonrasında çalışmalarını İngiliz William Murdock buhar gücü karayolu ulaşımında gerçekleştirmiştir. Richard Trevichick 1801 yılında buhar gücü ile demiryollarında çalışmalarına başlamış fakat yüksek kütleler nedeni ile raylar hasar görerek kopmuş, lokomotifin imal edildiği malzeme de sağlam olmadığı için çalışmalarını ertelemek

zorunda kalmıştır. Gerorge Stephensoni daha güçlü ray ve lokomotif yapmayı başarmıştır. Sonrasında Darlington maden ocağı ile Stocton Limanı bağlantı hattının imalatlarını tamamlamıştır. 1789 tarihinde Jessop Mantar başlı raylarının ilk denemelerine başlamıştır. Bu denemelerin sonucunda 1920 yılı sonrası haddeden çekilmiş iki başlı (mantarlı) olarak imalatı tamamlanmış ve montajı esnasında karşılaşılan olumsuzluklar yaşanmıştır. Olumsuzluklar sonucu vinyol (patenli) tip raylar üretilmiş ve kullanılmaya hızla başlanmıştır [3]. Vinyol rayları isimlerini Charles Blacker Vignoles'den almaktadır.

Rayların demiryolu sistemleri üzerinde bir çok görevi bulunmaktadır. Sırasıyla belirtirsek;

- Tekerlekleri kılavuzlayarak taşıtın hat üzerinde güvenli ulaşımı sağlamak,
- Pürüzsüz yuvarlanma yüzeyi oluşturmak,
- Dingillerden gelen kuvvetleri traverslere iletmek,
- Sinyalizasyonları tamamlanmış hatlarda akımları iletmektir.

4.2. Rayların Üretilmesi

Günümüzde rayların imalatları kontrollü ve yüksek kalite olacak şekilde tamamlanmaktadır. Yüksek fırınlarda kırılmış demir madeni küçük parçalara bölünerek sinterlenme bölümlerine gönderilir. Kok ve kireçtaşı eklenmesiyle zenginleşen bu demir parçalarına sinter denmektedir. Bu sinterler, kireç taşları ile birlikte fırınlara atılarak yakılır. Sıcak havanın fırına üflenmesiyle yanma süresi azaltılır. İndirgenen demir fırının en alt noktasında toplanır. İstenmeye cüruflu malzemeler ise metalden hafif olmaları sebebiyle metalin üzerinde yüzerler. İndirgenmiş demir cevheri çelik fırınlarına gönderilir. Bu fırınlarda yüksek hızda saf ve kuru oksijen üflenmesiyle sıvı malzemenin içeriğinde yer alan karbon miktarı %0,1' in altına düşürülür. Akışkanlık kazanması amacıyla kireçtaşı eklenir. Bütün metaller metal potaya alınır. Sonrasında oluşan çüruflar metal potanın yüzeyinden boşaltılır. Potada yer alan metallere alaşım özellikli elementler eklenerek karbürizasyon sağlanır. Sıvı çelik potalardan alınarak tundish adı verilen ekipmanlara

dökülür. Pota ile tundish arasına ve tundish ile kalıplar arasına izolasyon ve oksitlenmeyi önleme amacıyla refraktör koruma gerçekleştirilir. Bu kalıplar su ile soğutulur. Döküm süresince çeliğin bakırdan imal edilmiş kalıplara yapışmasını engellemek maksadıyla döküm hızına göre vibrasyon sağlanır. Oluşan bu kütükler tavlama işlemleri için 1250 °C de fırınlarda işlenmeye başlanır. Bu fırınlardan alınan kütükler 200 bar basıncında suya maruz bırakılır. Böylelikle haddelenmiş yüzeyler zararlardan korunur. Ray şeklini alana kadar haddeleme işlemi tekrarlanır. Kütüğe dik gelecek şekilde bıçaklar ile raya ilk çıkıntı verilir. Yüzeylerinin temizliği sonrası raylara markalama işlemi gerçekleştirilir [18]. Haddeleme ile ray üretimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.2.’de markalanmış eski bir ray örneği bulunmaktadır. EN 13674 standartında rayların nasıl markalanacağı belirtilmiştir [33]. Rayın üzerinde üretici adı, çelik sınıfı, üretim yılının son iki hanesi ve ray profil sınıfı belirtilmelidir.



Şekil 4.1. Haddeleme ile ray üretimi



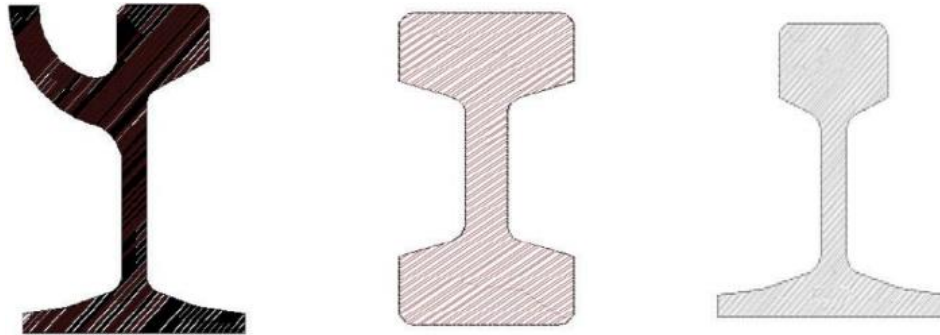
Şekil 4.2. Markalanmış eski bir ray

4.3. Rayların Profilleri

Genel olarak tramvay gibi kent içi ulaşım sistemlerinde oluklu raylar kullanılmaktadır. Hemzemin geçitler gibi kara yolu , demir yolu ve yaya yollarının birleştiği noktalarda ve kot farkı olmayan birleşimlerde tercih edilir. Olumsuz yönlerinin başında kot farkı olmaması sebebiyle içinin sürekli olarak bakım ve temizlik süreçlerinin fazla olmasıdır. Gerekli temizlik işlemleri yapılmadığında demiryolu taşıtı raydan çıkarak deray söz konusu olabilir [18].

Tek yuvarlanma yüzeyine sahip raylar tek mantarlı raylardır. Ray travers bağlantısını geniş bir dayanma tablası ile sağlar. İngiliz mühendis Vignles'in çalışmaları sonrası dünya genelinde kullanılmasını sağlamasından ötürü Vinyol ismiyle anılmaktadır. Dünya geneli en çok kullanılan ray tiplerindendir.

Mantarları simetrik bir şekilde olan raylar çift mantarlı raylardır. Alt ve üst mantardan oluşur. İlk kullanım amaçlarından biri üst mantarın aşınmasından ötürü ray yönünün değiştirilerek alt mantarı kullanmaktır. Aşınmalar zamanla alt mantarda da oluştuğunun farkedilmesiyle söz konusu durumun olanaksızlığı anlaşıldı. Şekil 4.3.'de sırasıyla oluklu, çift mantarlı ve patenli raylar gösterilmiştir.

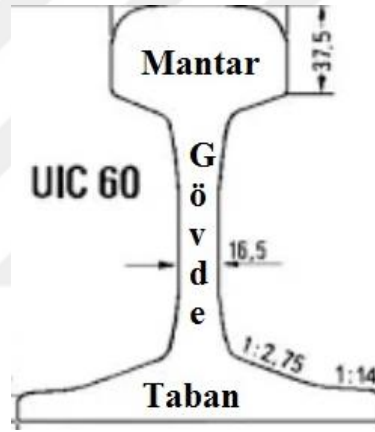


Şekil 4.3. Oluklu, çift mantarlı ve patenli ray

4.4. Ray Kısımları

Raylar üç kısımdan oluşmaktadır. Sırasıyla;

- Mantar: Tekerleklerin yuvarlanabilirliği sağlarlar. Optimum ray-tekerlek etkileşimi içi mantarın üst bölgesinde 200-500 mm yarıçapında bombelik vardır. Mantar üst köşeleri buden eğriliğine uyumlu olması amaçlı 13-14 mm yarıçaplı kurbalarla çevrilidir [18].
- Gövde: Mantar ile tabanı birbirine cebire vasıtasıyla bağlayan bölgedir. Kesme etkisi altında kalmasından ötürü cebire bulona bölgesinde gerilmeler oldukça yüksektir [18].
- Taban: Rayların traverse temasını sağlar. Tabanın geniş tutulması selete tamamen oturmasına ve devrilmemesine olanak sağlar. Taban genişledikçe traversle iletilen gerilmeler de azalacak ve traverslerin daha uzun ömürlü olması sağlanabilecektir [18]. Ray kısımları Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Ray kısımları

4.5. Rayların Kimyasal Özellikleri

Rayların üretilmesinde demirin yanı sıra karbon, silis, mangan, fosfor ve kükürt gibi elementler de kullanılır. Karbon, silis ve manganın belirli sınırlarda kullanılması rayın mukavemetine olumlu yönde etki sağlamaktadır. Fosfor ve kükürt ise olumsuz yapıları ile raylara zarar vermektedir. Rayın içerisinde belirli sınırlarda muhteva edilmelerine izin verilir. Sırasıyla;

- Karbon mukavemeti artırırken malzemeyi gevrekleştirir. Ray çeliği içerisinde on binde 40-60 arasında tutulmalıdır.

- Silis çeliği akışkan hale getirir. Homojen bir yapıda bulunmasını sağlar. Ray çeliği içerisinde on binde 35-50 arasında tutulmalıdır.
- Mangan çeliği sertleştirir. Mukavemetini artırır. Ray çeliği içerisinde on binde 80-210 arasında tutulmalıdır.
- Fosfor çeliği sertleştirirken elastik özelliklerini kaybetmesine yol açar. Bu neden ray çeliği içerisinde on binde 3-8 arası sınırlandırılmalıdır.
- Kükürt elementer yapısı gereği ray çeliğinin içeriğini bozmaktadır. Çelik kükürten tamamen arındırılmadığı için on binde 6'ya kadar sınırlandırılmasında sakınca yoktur.

Çağımızda taşıma kapasitelerin artırılması, dingil basınçlarının fazlaşması ve yüksek hızlara daha fazla ihtiyaç duyulması sebebiyle ray kesitleri artırılarak operasyonlar sağlanmaktadır. Rayın aşınması engellenecek şekilde karbon ve mangan ilaveleri yapılabilir. Böylelikle mukavemet gücü artırılır fakat rayın gevrekleşmesinden ötürü kırılabilirliği artar. Bu sebeple yüksek mukavemetli rayların ayrıca esnek yapıda olması da önem teşkil etmektedir. UIC 860 standartlarına göre ray çeliğinin çekme mukavemeti en az 880 N/mm² olarak tayin edilmiştir [19]. TS EN 13674 standartında 46 kg/m ve üzeri vinyol demiryolu rayları ve birlikte kullanılan makas ve kavşak rayları ile ilgili olması gereken özellikler detaylıca belirtilmiştir [33].

4.6. Rayların Mekanik Özellikleri ve Sınıflandırılması

Perlitik raylar, kristalleşme şartlarına göre isimlerini almaktadır. Malzemesi gereği , ferrit ve sementitlerin oluşturduğu damarlı kristal yapıdan oluşmaktadır. Rayın mekanik özelliklerinin başında gelen aşınma dayanımı, çekme mukavemeti, tokluğu sementit lameller arasındaki mesafe, lamel kalınlıkları ve lamellerin dane ebatı ile belirlenir.

Sementit lameller arasındaki mesafelerin artması rayın akma ve çekme dayanımını ve sertliğini azaltır. Mesafeler azaldıkça dayanımlar ve sertlikler artmaktadır. Lameller arası mesafe alaşım elementlerinin oranlarına, soğuma hızlarına bağlı

olarak değişmektedir. Sementit lamellerinin kalınlığı arttıkça lameller arasında kalan alan azalır ve tokluk bu doğrultuda artar [18].

Rayları tanımlarken profil özelliklerine göre değerlendirdiğimizde UIC standartları göz önüne alınmaktadır. Çelik kalitelerine göre sınıflandırdığımızda ise imalat aşamalarında kullanılan çelikler dikkate alınır. Raylar gövdelerinde çelik kalitesi, ray tipi, üretici firma, üretim tarihi ve imalat numarası soğuk damgalı olmak üzere bulunmalıdır.

Rayların temel mekanik özellikleri kimyasal kompozisyona göre belirlenebilir. Tablo 4.1.'de ray çeliği sınıflarının mekanik özellikleri belirtilmiştir [18].

Tablo 4.1. Ray çeliği sınıflarının mekanik özellikleri				
Ray Çelik Sınıfları		700	900A	900B
Mekanik Özellikler	Çekme			
	Mukavemeti			
	N/mm ²	680–830	880–1030	880–1030
Mekanik Özellikler	Uzama %	≥14	≥10	≥10

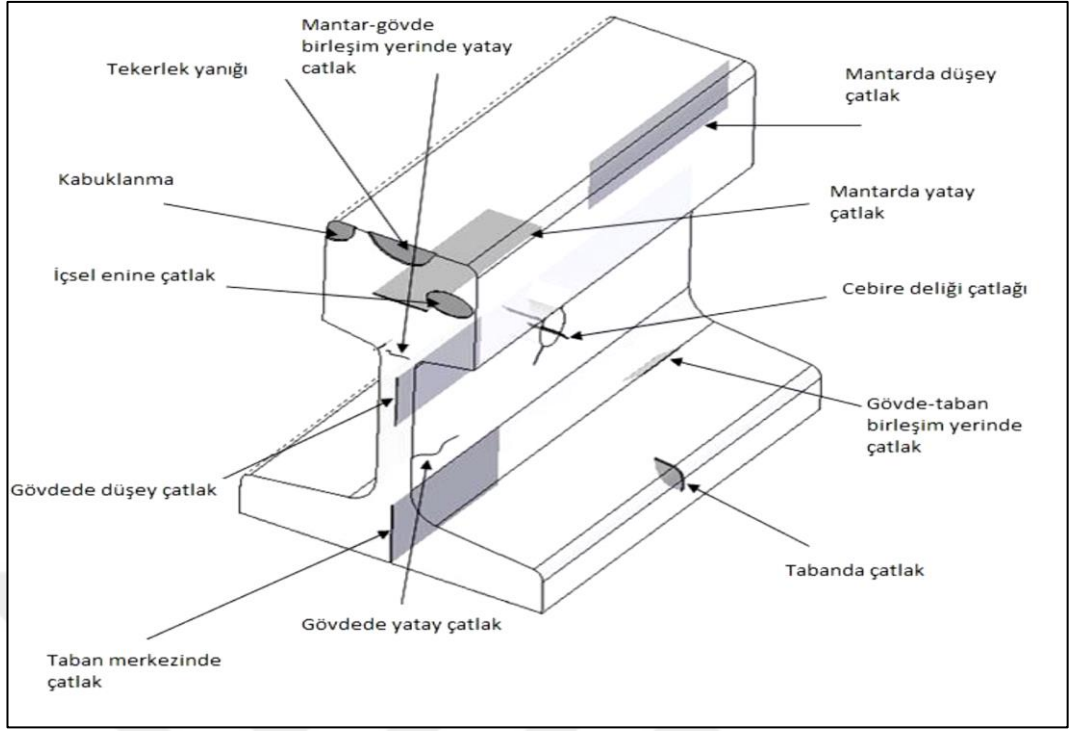
4.7. Ray Kusurları

Ray kusurlarının tespit edilebilmesinin ana sebebi ray gerilmeleridir. Raylarda oluşan eğilme gerilmeleri, kayma gerilmeleri, kalıntı gerilmeleri, tekerlek-ray temas gerilmeleri ve termal gerilmeler, ray kusurlarının oluşmasına ve zaman içinde metal yorulması etkisiyle ilerlemesine neden olmaktadır.

Ray kusurları, ray kaynak bölgeleri haricindeki alanlarda tespit edilebilen ray kusurlarını içermektedir. Bunlar, ray profili üzerinde mantarda, gövdede veya tabanda oluşabilir. Fakat kusurların yoğunlaştığı bölgeler, ray mantarı ve mantar yüzeyidir. Şekil 4.5.'de, örnek bir ray kesiti üzerinde, günümüzün modern demiryolu hatlarında sıklıkla karşılaşılan ray kusurlarının şematik bir gösterimi bulunmaktadır [18].

Ray mantarında ve diğer bölgelerde oluşan başlıca kusurlar;

- Oval boşluklar
- Yatay çatlaklar
- Düşey çatlaklar
- Kısa dalga boylu ondülasyon
- Uzun dalga boylu ondülasyon
- Yanal aşınma
- Düşey aşınma
- Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması
- İç köşe kabuklanması
- Kılcal çatlak
- Tekerlek yanığı
- Yüzeyde çökme
- Mantar-gövde birleşim yerinde yatay çatlak
- Taban-gövde birleşim yerinde yatay çatlak
- Ray gövdesinde düşey çatlak
- Ray gövdesinde ve tabanında korozyon
- Ray gövdesinde çapraz çatlak
- Ray tabanında düşey çatlak
- Ray kaynakları sonrası oluşan çatlaklar



Şekil 4.5. Ray kusurları

BÖLÜM 5. DEMİRYOLLARINDA CONTALI ve UZUN KAYNAKLI RAYLAR

Demiryolunun döşenmesi sırasında rayların istenen konumda tutulması istendiği için rayların birbirine ve traverse bağlanması gerekir. Traversler belirlenmiş mesafe aralıkları ile balastın üstüne koyulur ve bu traversler üzerine raylar serilerek Contalı Ray (CR) ve Uzun Kaynaklı Ray (UKR) olmak üzere iki şekilde bağlantıları gerçekleştirilir. Hattın sabit bir kılavuz görülebilmesi için rayın raya ve rayın da traverse bağlantıları olmalıdır Şekil 5.1.'de ray örnekleri mevcuttur.

Contalı ray (CR) bağlantısında cebire demiri, cebire bulonu ve rondela malzemeleri kullanılmaktadır. Kaynaklı raylarda yakma alın kaynağı ya da alüminotermite kaynak yapılarak rayların montajları gerçekleştirilir. Şekil 5.2.'de cebire detayları görülmektedir [14].

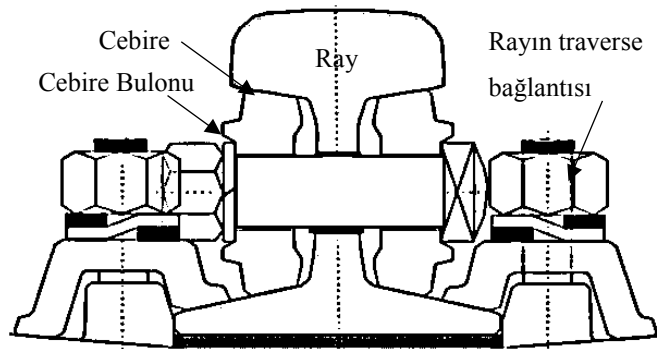


c) Contalı raylar



d) Kaynaklı raylar

Şekil 5.1. Rayın raya bağlantıları

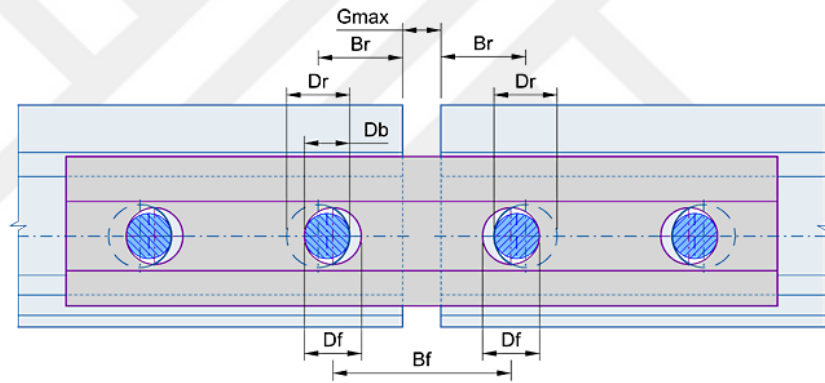


Şekil 5.2. Cebireli bağlantı

- a) Conta: Rayların birleştirildiği bölgeye verilen genel addır. Conta bağlantıları; rondela, cebire ve cebire bulonu vasıtasıyla teşkil edilir. Şekil 5.2. ve Şekil 5.3’de contalı bağlantı gösterilmiştir.
- b) Genleşme payı: Rayların termal etkiler altında uzamalarını kontrol altında tutma amaçlı iki ray arasında konumlandırılan açıklığa verilen addır.
- c) Kaynak: Raylarda belirli bir uzunluğa ulaşabilmek için iker rayın birleştiği noktada kaynaklama işlemi yapılmasıdır.

5.1. Contalı Raylar

Kısa raylar (Contalı raylar) kısa uzunluktaki rayların cebire demiri ve bulonlarla bağlanmasıyla oluşurlar. Şekil 5.3.’de contalı ray kesiti gösterilmiştir [19].



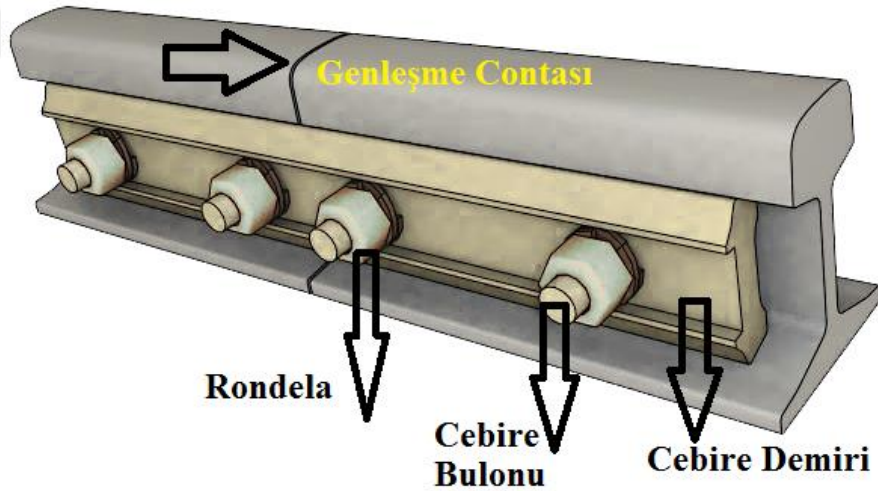
Şekil 5.3. Contalı bağlantı kesiti

Cebire demirleri, eklemlenecek olan rayların (birbirine bağlanacak olan rayların) gövdelerine her iki yandan bulonlarla bağlanır. Cebireler, ray tiplerine ve kullanım durumlarına göre yumuşak çelikten özel profillerden imal edilirler. Ray uçlarındaki delik sayısına göre dört veya altı delikli olurlar. Bağlantı sırasında rayın gövdesine oturmazlar. 5-6 mm boşluk kalacak şekilde bağlanırlar. Cebire bulonlarına rağmen ray uçlarının genleşebilmesi için bulon delikleri ile ray delikleri farklı çapta delinir. Cebireler 2-3 yılda bir sökülerek yanakları tel fırça ile temizlenmeli, iyi cins bir yağla yağlanmalı ve yerine teşkil edilmelidir [20].

Cebire bulonu, baş, gövde ve somundan oluşur. Yolun iç kısmına görecek şekilde montajının yapılması yolun kontrolleri esnasında kolaylık sağlayacaktır. Fazla torklanması veya serbest hareket edebilmesi engellenmelidir.

Rondela, ray-ray ve ray-travers bağlantılarında kullanılabilir Tek kat, çift kat ve 3 katlı modelleri mevcuttur. Cebire ile cebire bulonu somununun arasında yer alır. Bağlantıyı rijit hale getirerek, gerginlik ve sıkılık verir.

Özellikle yaz dönemlerinde artan sıcaklıkla birlikte raylarda genleşme meydana gelir. Contalı raylarda sıcaklıktan dolayı meydana gelen termal kuvvetlere (ısı gerilmelere), conta bölgesindeki cebire demiri ve bağlantı bulonları karşı yönde bir direnç gösterirler. Ancak bu direnç yetersiz olup raylar boyuna yönde bir uzama yaparlar. Rayın termal kuvvetler etkisinde uzamasından dolayı, iki ray arasında bir boşluk bırakılır. İki ray arasındaki bu boşluğa genleşme contası (dilatasyon payı) adı verilir. Şekil 5.4.'de contalı bağlantı detaylarıyla gösterilmiştir [19].



Şekil 5.4. Contalı bağlantının üç boyutlu görünüşü

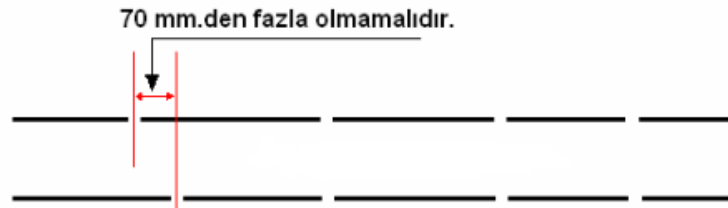
Rayın genleşmesine etki edecek sıcaklık farkı (t); hattın döşendiği (yani pozun yapıldığı) bölgeye ait meteorolojik verilerden elde edilen en yüksek ve en düşük sıcaklık derecelerine ait aralığın, yarısı olarak alınır. Şekil 5.5'de genleşme contalı bir demiryolu uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Genleşme contası

Cebireler ayarlanırken karşılıklı iki ray baş noktaları için hizalama yapılır. Bu hizalama yapılmazsa oluşabilecek çapraz düşey eksen arızaları taşıtlarda, seyir esnasında burulmalara ve hattan çıkmalara neden olabilir. Cebirelerin karşılıklı ve şaşırtmalı olarak iki tip düzenlemesi vardır

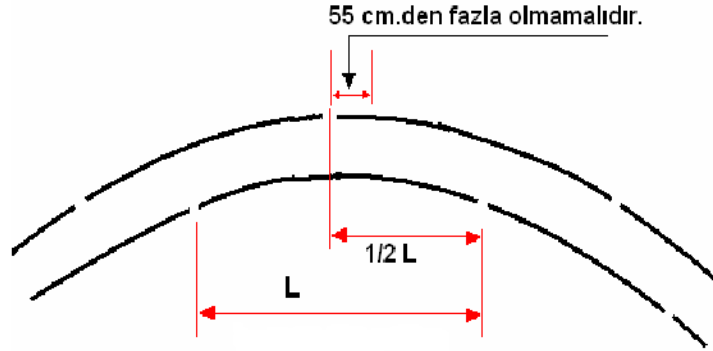
1. Karşılıklı cebire sisteminde ray başları aynı hizaya getirilir. Bakımları süresinde yapılmak kaydıyla en uygun sistemdir. Cebire bölgelerinde kot farklılıkları oluşması durumuna güçlü sallantılar ve ani vurgunlar oluşabilir. Taşıtların sustaları hasar görebilir. Karşılıklı contada ray başı gönye farkları 70 mm'i geçmemelidir . Şekil 5.6.'de gönye farkları gösterilmektedir [14].



Şekil 5.6. Ray başı gönye farkları

2. Şaşırtmalı cebire sistemlerinde ray dizi üzerindeki cebire ile öteki dizideki rayın orta bölgesinde ve orta bölgenin 55 cm ötesinde veya berisinde gelecek şekilde cebire teşkil edilmesi söz konusudur. Çapraz kot farklılıklarından ötürü üzerindeki taşıtlarda yalpalama söz konusu olabilir. Bu durum da

ekartmanın ve yol yapısının bozulmasına sebep olur. Demiryolu taşıtlarında aşınma, hasar görme vb. gibi oluşan sorunlar ulaşımın konforuna olumsuz yönde etki eder. Şekil 5.7.'de cebire yerleşim sınırları gösterilmiştir [14].



Şekil 5.7. Şaşırtmalı cebire yerleşiminde mesafeler

Travers montajı yapılan rayların contaları başlıca üç tipte uygulanır;



Şekil 5.8. Mesnetli conta

1. Mesnetli contalarda traversler containın altlarına mesnet görevi oluştururlar. Taşıtların hareketi sırasında oluşan vurunlar nedeniyle rayın baş bölgelerinde ezilmeler, traverslerde yapısal hasarlar ve çatlaklar, balastlarda ufalanma ve tozlaşma, yolda daha hızlı bir deformasyon gözlemlenir. Sahada uygulanabilirliği azdır. Şekil 5.8.'de mesnetli conta örneği mevcuttur [14].
2. Sakin contalarda iki travers bitişik hale getirilir. Traverslerin kotları ayarlanır. Travers altlarında balastların burajlanması her iki tarafta da traverse tek

yönden yapılabilmesinden ötürü traverslerde dönmelere, çatlaklara ve kırılmalara, bağlantı malzemelerinde ise gevşeklik ve hasar görmelere neden olur. Şekil 5.9.'de sakin conta örneği mevcuttur [14].

3. Konsol contalarda ise elastikliğin fazla olması taşıt vuruntularına tolere eder. Taşıtları ve demiryolunu hasar verici dinamik etkilerden korur. Mesnetli ve sakin contaya göre olumsuz etkileri daha iyi absorbe etmesinden dolayı günümüzde konsol conta modeli çok sık karşımıza çıkmaktadır. Olumsuz yönlerinin başında cebirelerin eğilme ve kırılmalarına yol açması gelmektedir. Cebirenin bakımı diğer üstyapı elemanlara göre daha düşük maliyete sahip olmasından konsol contaların kullanılmasına devam edilmektedir. Şekil 5.10.'da konsol conta örneği mevcuttur [14].



Şekil 5.9. Sakin conta



Şekil 5.10. Konsol conta

5.2. Uzun Kaynaklı Raylar

Uzun kaynaklı raylar, contaların kaldırılarak ray birleşim yerlerinin kaynaklanarak, rayların sürekli hale getirilmesiyle oluşurlar. Uzun kaynaklı rayların makaslara kadar sürekli olabilir. Sıcaklık değişmesi ne olursa olsun, orta kısmında sabit bir bölge bulunacak uzunluğa sahip olan ve gerilim dengelemesi yapılmış raylara UKR (Uzun kaynaklı ray) adı verilir. Genel olarak uygulama, ray uç noktalarının birleştirilmesi ve yatayda ve düşeyde birbirlerini karşı dengede tutularak kaynaklanmasıdır. Günümüzde yakma alın kaynağı ve aluminotermite kaynakları sıkça kullanılmaktadır. Aluminotermite kaynağı tamirat kaynaklarında daha sık tercih edilmektedir. Aluminotermite kaynağında kullanılan malzeme rayın malzemesinden farklıdır. Bu sebeple kaynak bölgesi çevresel etkilerden daha çok etkilenecek aşınmaktadır aşınma daha hızlı gözlemlenmektedir. Dolayısıyla gürültü artmakta ve konfor bozulmaktadır. Gürültü artması sebebiyle yuvarlanma yüzeyleri de hasar görmektedir. Bu olumsuz özelliklerinden ötürü günümüzde yakma alın kaynağı daha çok tercih edilmektedir. Şekil 5.11.'de uzun kaynaklı ray örneği görülmektedir [14].



Şekil 5.11. Uzun kaynaklı ray

Raylarda oluşan uzamalardan ötürü, hatlarda, ray ve travers arasında kuvvetli bir gerilme direnci, boylamasına ve çaprazlamasına sürtünme direnci ile sağlam balast yatağı sağlayan sağlam çerçeve oluşturulmalıdır [21].

Cebireli bağlantıdan uzun kaynaklı raya geçişte olumlu şu sonuçlar elde edilmiştir;

1. Ray uçlarındaki aşınmalarda azalmalar gözlemlenmiştir.
2. Bakım harcamaları düşmüştür.
3. UKR sebepli konfor artmıştır.
4. UKR sebepli raylarda sünmeler azalmıştır
5. Yol imalatlarının maliyetleri azalmıştır.
6. UKR ile raylarda en, boy ve uzamalarda stabilite gözlemlenmiştir.

5.2.1. Uzun kaynaklı rayların montaj hazırlıkları

Uzun kaynaklı rayların imalat ve montajları öncesi çalışma sahasının gözlemleri tamamlanmalıdır. Çalışma sahasında yeterli miktarlarda balast miktarı, yol malzemesinin güncel hali, UKR yapılacak alanın 1 yıl boyunca sıcaklıklarının ölçümü ve iş planının hazır olması gerekir. Sıcaklık ölçümleri minimum ve maksimum değerleri içermelidir. Böylelikle optimum sıcaklıklar tespit edilebilir hale gelir. Çalışma sıcaklıkları bir yıl ölçümleri sonucunda hesaplanabilecektir [21].

Hattaki aktif bakım işleri, buraj ve dresaj işleri, kurp ve köprülerin imalat ve düzenleme çalışmaları UKR oluşturmada tamamlanmalıdır. Balast miktarları da montaj öncesi ve sonrasında yeterli miktarı kapsayacak şekilde olmalıdır. Elenmiş, temiz ve en az 20 cm olmalıdır. Raylar gerilimlerinden arındırılmalıdır. Gerilim dengeleme işlemleri karşılıklı raylarda birlikte tamamlanmalıdır [21].

Raylar en az S49 tipi olmalıdır. Gerekli önlemler alınarak S46 tipi raylarda da UKR uygulanabilir. Raylarda aşınma ve korozyon, ray uçlarında ezilme ve eğilme olmamalıdır. Balastın azalması ihtimali ve 400 m yarıçaplı kurplarda direnç artırıcı antidresaj takozları kullanılmalıdır [21].

5.2.2. Uzun kaynaklı raylarda montaj öncesi alınması gereken tedbirler

UKR teşkilinden önce travers altı balast yüksekliğinin en az 20 cm olması sağlanmalıdır. Gerekli travers montajları yapılarak UKR için gerekli şartlar

sağlanmalıdır. Contalardan itibaren en az 50 m'lik kesimde 37 traverse 74 adet antişöminman takozu, iki traverse bir iki yönlü çalışacak şekilde takılmalıdır.

Deliksiz raylar tercih edilmeli, delikli ray kullanıldığında delik ray ucunda en az 90 mm mesafede olmalıdır. Ray kesimlerinde oksijen kullanılmamalıdır. Eski rayların üzerinde UKR yapılacaksa önce ultrasonik ray çatlak muayene kontrolleri yapılmalıdır [21].

5.2.3. Uzun kaynaklı raylarda kullanılan ekipmanlar

Ray gerdirme makineleri UKR raylarının gerilimlerinin alınmasında kullanılmaktadır. Ray gerdirme makinelerinin hidrolik ve manuel modelleri vardır. Şekil 5.12.'de makinenin raya monte edilmiş hali gözükmemektedir [21].



Şekil 5.12. Ray gerdirme makinesi

Plastik tokmak makinesinin çalışma mekanizması Şekil 5.13.'de görülmektedir [21].



Şekil 5.13. Plastik tokmak makinesi

5.2.4. Uzun kaynaklı raylarda gerilim alma metotları

Uzun kaynaklı raylarda gerilim alınma işlemi yapılmadan çalışmalara başlanılmamalıdır. Kaynaklama işlemi yapılacak contanın olduğu bölgede rayların yarısının ray bağlantı elemanları sökülür ve raylar serbest hale getirilerek raylar gerdirilir. Bu esnada ray sıcaklıklarının takip edilmesi kritiktir. Ray sıcaklıkları, mıknatıslı termometrelerle veya rayın mantarında açılan deliğe konan cıvalı termometrelerle ölçülür. Termometreler, her rayın gölgeli tarafında tabanına veya gövdesine yerleştirilmeli ve korunmalıdır. Her ray için en az üç termometre kullanılmalıdır. Bunlar germe noktası yakınlıklarına, serbest rayın orta noktasına ve ankraj uzunluğu yakınlıklarına yerleştirilmelidir. Termometreler arası maksimum mesafe 200 m olmalıdır. Termometreyi yerleştirdikten sonra ilk okumayı almadan önce en az 10 dakika beklenmelidir. Uzunların hesabında kullanılacak sıcaklık değeri, referans noktası belirlenmeden önceki son anda okunmalıdır. Tüm uzama tam olarak serbest uç (germe noktası) üzerinde işaretlenmeli ve orantılı uzamalar referans noktalarının ortasına işaretlenmiştir. Böylece germe süresince rayın hareketi daha kolay kontrol edilebilir. Gerdirme sırasındaki ray sıcaklığı ile ortalama ray sıcaklığı arasındaki mesafe kazanılınca kadar gerdirilmeye devam edilir [18]. Şekil 5.14.'de rayın gerdirilerek gerilimin alınması örneği mevcuttur [21].



Şekil 5.14. Rayın gerdirilerek geriliminin alınması

5.3. Ray Kaynakları

Taşıtlar, cebireli ray bağlantılarından geçtiklerinde kuvvet etkilerini raylara iletir.. Uzun kaynaklı raylar bu durumun önüne geçmekte ve güvenlik seviyesini yükseltmektedir. Kaynağın performansı, hat kalitesini arttırmaktadır. Olası kaynak arıza durumları ise hat geometrilerinde büyük sorunlara yol açabilir İmalat kaynaklı rayların uzunluğu arttıkça ve sahaya teslim edidikçe saha kaynaklı kusurlarda önlenmektedir.

5.3.1. Alüminotermite kaynak yöntemi

Termite malzemesinin yüksek ısıya dayanabilen potalar içerisinde eritilerek ray birleşim noktalarındaki kaynak aralığına akıtılarak boşluğun doldurulduğu kaynak çeşitidir. Termite, demir oksit (Fe_2O_3) ve alüminyum (Al) karışımından oluşmaktadır. Termite 13.000 °C'lik bir ısı tatbik edildiğinde reaksiyon oluşur. Bu reaksiyon sırasında demir oksit alüminyum karışımı 25.000°C civarında sıcaklığı olan bir eriyik haline gelir. Reaksiyon esnasında demirin ağır olması sebebiyle dibe çökme, (Al_2O_3) alüminyum oksit (cüruf) hafifliği sebebiyle üstte toplanır. Potanın altına açılan delik vasıtasıyla, bir kalıbın içine akıtılan eriyik kalıp içinde bulunan ray uçlarını da eriterek birleştirir ve kalıbın şeklini alır. En son fazla olan malzemeler temizlendiğinde düzgün bir kaynak yüzeyi elde edilir [22]. Şekil 5.15.'de alüminotermite kaynak örneği gösterilmiştir [23].



Şekil 5.15. Alüminotermit kaynağı

5.3.2. Yakma alın kaynağı yöntemi

Direnç basınç kaynak yöntemlerinden biridir. Kaynak için ray ağzlarında sıyırma yapılarak kaynak ağızı oluşturulur. Raylar ısıtılır. Basınç etkisi ile birbirlerine alınları gelme suretiyle yapıştırılır.. Kaynak basıncı, sıcaklık ve süre malzemenin kendi kimyasal ve fiziksel özelliklerini bozmayacak şekilde ayarlanır. Uygulanan eksenel basınç ile erimiş metal ve oksitler dışarı sürülerek ana metal bir miktar yığmaya uğratılır. Günümüzde gerek atölye gerekse sahada en çok kullanılan kaynak metotlarının başında gelmektedir [17]. Fabrikada makineleri ile raylar belirli uzunluğa kadar kaynaklanır. Özel sistemler ve taşıma vagonları ile sahalara taşınırlar. Fabrikada yapılan kaynak; zaman, hava şartları ve arazi şartları gibi olumsuzluklar olmadığı için daha ekonomik ve kalitelidir. Düzgün bir alın kaynağı kaynak, sıcaklık ve zaman kritik önem arz etmektedir.

Yakma alın kaynağının , mobil alın kaynağı makinesi ile sahada yapılan modeli de vardır. Uzun kaynaklı rayların üretimine bağlı olan bu metot ve ihtiyaçları atölyelerin aynısıdır. Şekil 5.16.'da yakma alın kaynağı uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Yakma alın kaynağı

Yakma alın kaynağının olumlu özelliklerinin başında ray malzemesinden farklı malzeme kullanılmaması gelir. Bu sebeple kalitesi yüksek sonuçlu kaynaklar oluşur. Kısa ısıtma bölgesi (erime kaybı 30-40 mm) sebebiyle eşit oranda sertlikler gözlemlenir. Tamamen mekanize bir kaynak metotudur. İnsan odaklı hatalar minimumdur. Kaynak için ön hazırlık gerekmez. Kaynağın verimliliği maksimumdur. Kaynak süresi hızlıdır. İmalatlar hızla tamamlanır [24].

5.3.3. Elektrik ark kaynağı

Elektrot esaslı kaynak çeşitidir. Sanayide yapılan elektrot kaynakların özel bir farkı yoktur. Fakat; ray kaynağına özel teknikler ile işlemlerin tamamlanması gerekir

Ray başlarına elektrotla kaynak yapıların rayın tamamıyla birleştirilmesi şeklinde olan kaynak tipi birleştirme kaynağıdır. Alman Demiryolları (DB) şu kurallar çerçevesinde kaynağa izin vermektedir;

1. Sadece oluklu raylarda izin vermektedir.
2. 80 km/saat'in altında olan hatlarda, dingil yükü 18 tondan az ve günlük yük miktarı 10.000 tondan az olan hatların sürekli kaynaklı hale getirilmesinde izin vermektedir.

3. 80 km/saat'in üstünde, 230 km/saat'in altında olan hatlarda alüminotermite kaynağı yapılmasının mümkün olmadığı durumlarda (makaslı birleşimlerde) izin vermektedir.
4. 230 km/saat'in üstünde olan hatlarda elektrotla birleştirme kaynağı kesinlikle kullanılmaz.

Yuvarlanma yüzeyi aşınan rayların içlerinin doldurulması maksadıyla yapılan kaynak metodu ise dolgu kaynağı adını alır. Çelik kalitesi dikkate alınmadan 100 derecede ön ısıtma yapılmadan uygulanabilir. Elektrot seçimlerinde dolgu yüksekliği dikkate alınarak üç farklı kalınlıkta, bazik elektrot ile uygulanabilir.

Çağın gelişen koşulları ve demiryolu taşımacılığının artması sebebiyle ray dolgu kaynaklarında raylara özgü bir yöntem hem ekonomik açıdan, hem de güvenlik açısından zorunlu hale gelmiştir.

Raylara özgü dolgu kaynak tekniği geliştirilmesindeki temel amaçların başında rayın kimyasal özelliklerinin ve çelik kalitesinin korunması, raylarda oluşan gerilmelerin ve kılcal çatlakların doldurularak rayların ekonomik ömrünün ve performansının artırılması gelmektedir. Şekil 5.17.'de dolgu kaynağı örneği mevcuttur.



Şekil 5.17. Dolgu kaynağı örneği

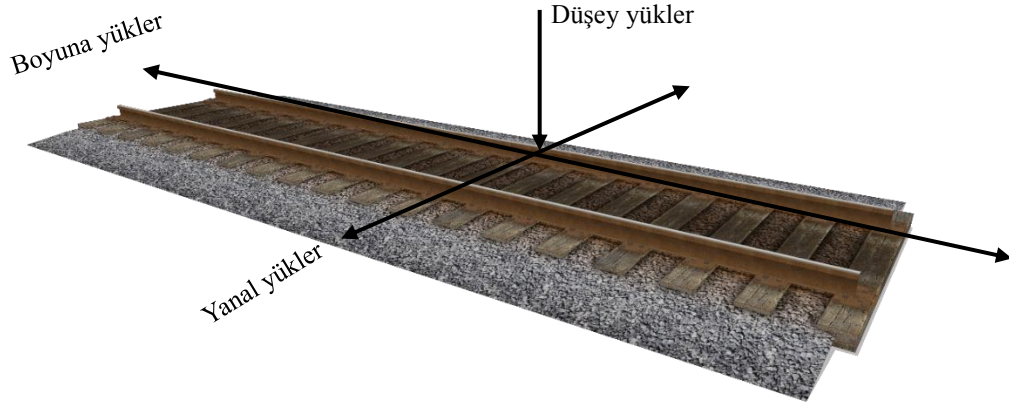
BÖLÜM 6. DEMİRYOLU ÜSTYAPI HESAPLARI

6.1. Demiryolu Raylarına Gelen Yükler ve Oluşturduğu Gerilmeler

Ray, demiryolu araçlarının tekerleklerine direkt temas ederek düzgün yuvarlanma yüzeyi elde edilen üstyapı malzemesidir. Üzerine etkimiş olan her bir tekerlek yükünü traverslere ileten, demiryolu hattında yük dağıtım prosesini başlatan hat elemanıdır. Raylar genel olarak, üretim ve demiryolu işletimi aşamalarında düşey, yanal ve boyuna doğrultuda yükler tarafından yüklenir. Rayların, etkilendiği kuvvetleri aşağıda sıralarsak ;

1. Ray üretimindeki doğrultma işleminden kaynaklanan iç gerilmeler,
2. Düşey dingil yükleri,
3. Tren hareketi doğrultusundaki kuvvetler,
4. Hat yüzeyi ve hat geometrisi bozulmalarından kaynaklanan dinamik kuvvetler,
5. Sıcaklık değişiminden kaynaklanan boyuna kuvvetler,
6. Hızlanma ve frenleme kuvvetlerinden kaynaklanan boyuna kuvvetler,
7. Atmosferik etkilerdir.

Bu yükler; ray üretiminde doğrultma işlemi nedeniyle meydana gelen kalıntı gerilmelerine, düşey dingil yükleri sonucu oluşan eğilme gerilmelerine, uzun kaynaklı raylarda sıcaklık etkisine bağlı oluşan termal gerilmelere, tekerlek-ray temas kuvvetleri sonucu ray mantarında ortaya çıkan temas gerilmelerine ve yüksek frekanslı darbe yükleri nedeniyle oluşan dinamik gerilmelere yol açar. Şekil 6.1.'de yol yapısına gelen yükler gösterilmiştir [25].



Şekil 6.1. Yol yapısına gelen yükler

6.1.1. Demiryolu raylarında oluşan termal gerilmeler

Termal gerilmeler, uzun kaynaklı raylarda daha sık gözlemlenmektedir. Bu gerilmeler, rayın gerçek sıcaklığı ile ray nötr sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkından dolayı meydana gelen ısı genleşme ve büzülme durumlarını kapsar. Ray nötr sıcaklığı, raydaki boyuna gerilmelerin sıfır olduğu ve rayların birbirine kaynaklandığı sıcaklık değeridir. Eğer ray sıcaklığı, ray nötr sıcaklığından fazla ise ısı genleşme nedeniyle ray uzunluğunda artış olması söz konusudur, ancak uzun kaynaklı raylarda ray uzunluğunun sabit olmasından ötürü rayda boyuna yönde basınç gerilmeleri oluşur. Rayda burkulma etkisi ve derayman (trenin raydan çıkması) söz konusu olabilir. Ray sıcaklığının, ray nötr sıcaklığından düşük olduğu durumlarda ise boyuna yönde çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler, tekerlek yüklerine ek bir statik yük olarak raya etki eder ve ray kusurlarının, rayın enine düzleminde gelişmesini kolaylaştırır. Çekme termal gerilmelerin en yüksek değerine ulaştığı soğuk kış aylarında ray kırılması riski oldukça yüksektir [25].

Uzun kaynaklı raylarda meydana gelen termal gerilmeleri hesaplamak için, ray sıcaklığı ile ray nötr sıcaklığı arasındaki fark, rayın ısı genleşme katsayısı ve rayın elastisite modülü çarpılır. Uzun kaynaklı raylarda ortaya çıkan termal gerilmeler, 138 MPa değerine kadar çıkabilmektedir. Termal gerilmeler, cebireli raylarda esasen yoğun olarak görülmemekle birlikte, bakımı iyi yapılmamış cebire bağlantı noktalarında ortaya çıkabilir [17].

6.1.2. Demiryolu raylarında oluşan termal gerilmelerin hesaplamaları

Termal gerilmeler, rayın gerçek sıcaklığı ile ray nötr sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkından dolayı meydana gelen ısı genleşme ve büzülme olayları ile ilgilidir. Ray nötr sıcaklığı, rayların birbirine kaynaklandığı sıcaklık değeridir. Eğer ray sıcaklığı, ray nötr sıcaklığından fazla ise ısı genleşme nedeniyle ray uzunluğunda artış meydana gelmesi beklenir, fakat uzun kaynaklı raylarda ray uzunluğu değişmeyeceği için rayda boyuna yönde basınç gerilmeleri meydana gelir. Ray sıcaklığının, ray nötr sıcaklığından düşük olduğu durumlarda ise boyuna yönde çekme gerilmeleri oluşur [25].

Uzun kaynaklı raylarda meydana gelen termal gerilmeleri hesaplamak için Schramm'ın geliştirdiği formüle göre; rayın gerçek sıcaklığı ile ray nötr sıcaklığı arasındaki fark, rayın ısı genleşme katsayısı ve elastisite modülü çarpılır [26]. Buna göre, rayda meydana gelen en büyük termal gerilmeyi hesaplamak için rayın üst sıcaklık limiti ile ray nötr sıcaklığı arasındaki fark alınır ve rayın ısı genleşme katsayısı ve elastisite modülü ile çarpılır (Denklem 6.1) [28].

$$\sigma_t = (t_1 - t_0) \cdot \alpha \cdot E \quad (6.1)$$

t_1 : rayın üst sıcaklık limiti (°C), t_0 : ray nötr sıcaklığı (°C), α : rayın ısı genleşme katsayısı (°C⁻¹), E : rayın elastisite modülü (N/mm²), σ_t : sıcaklık değişiminden dolayı rayda oluşan termal gerilmedir (N/mm²=MPa).

6.2. Demiryolu Üstyapı Elemanlarına Ait Hesaplamalar

6.2.1. Genleşme contası

Yazın artan sıcaklıkla birlikte raylarda genleşme oluşur. Contalı raylarda sıcaklıktan oluşan termal kuvvetlere (ısı genleşmelerine), conta bölgesindeki cebire demiri ve bağlantı bulonları direnmeye çalışarak karşı yönde kuvvet uygularlar. Ancak bu direnç yetersiz olup raylar boyuna yönde bir uzama yaparlar. Rayın termal kuvvetler

etkisinde uzamasından dolayı, iki ray arasında bir boşluk bırakılır. İki ray arasındaki bu boşluğa genleşme aralığı (dilatasyon payı) adı verilir [26].

Rayın genleşmesine etki edecek sıcaklık farkı (Δt); hattın döşendiği (yani pozun yapıldığı) bölgeye ait meteorolojik verilerden elde edilen en yüksek ve en düşük sıcaklık derecelerine ait aralığın, yarısı olarak alınır (Denklem 6.2).

$$\Delta t = \frac{t_1 - t_2}{2} \quad (6.2)$$

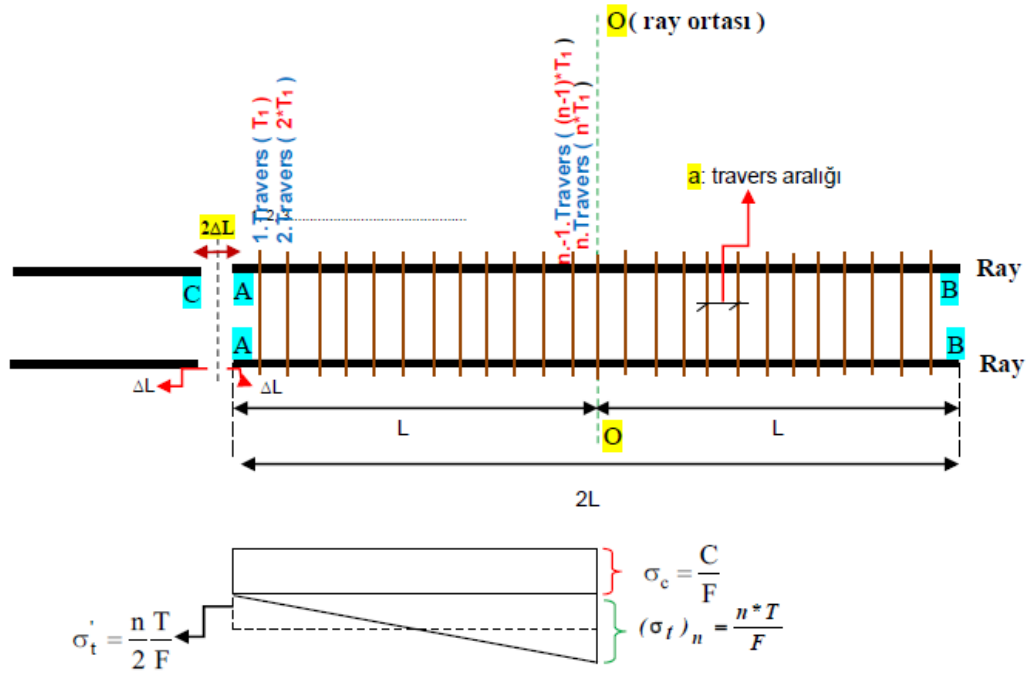
Δt : sıcaklık aralığının ortalaması, t_1 : en yüksek sıcaklık ($^{\circ}C$), t_2 : en düşük sıcaklıktır. ($^{\circ}C$)

Hattın döşeneceği en uygun sıcaklık olan t_0 ise en yüksek sıcaklıktan sıcaklık aralığının ortalamasının çıkarılması ve en düşük sıcaklığa sıcaklık aralığının eklenmesi ile hesaplanır (Denklem 6.3).

$$t_0 = t_1 - \Delta t = t_2 + \Delta t \quad (6.3)$$

6.2.2. Genleşen Aralığın Hesaplanması

Birleştirilecek rayların uzunlukları $2.l$ (m), ve her birinin oluşturduğu çerçevedeki travers sayısını $2.n$ (adet) olarak alalım. Rayda, boyuna deplasmana karşı traverslere oturan yerlerdeki bağlantılarından ötürü oluşan engelleyici direnimsel kuvvetlerini T_1 (kg) olarak gösterelim. Bu kuvvet, bağlantı biçimine, traversin türüne, selet kullanılıp kullanılmamasına göre değişecektir. T_1 kuvvetine etkiyen bir diğer etken, traversin altındaki balastın iyi sıkışmış durumda bulunup bulunmamasıdır. Conta birleşimlerinde raya etkiyen direnimsel kuvveti C ile gösterilir. Bu kuvvet eklenme yerlerindeki bağlantılarda cebire demirinde bulunan bulon sayısına bağlı olarak değişecektir. C kuvveti cebire bulonlarının makaslamaya karşı direnimleri ile, cebire demirlerinin içte ve dışta ray gövdesine sürtünmesi neticesinde oluşmaktadır [26].



Şekil 6.2. Contalı bağlantılarda termal yüklerin etkisi

Bu şekil detaylı olarak ele alındığında tek parçalı ray uzunluğumuzu $2L$ olarak belirlendi. Rayın tam ortasından da O-O eksenini geçirildi. Bu eksenin geçtiği ray orta noktasında herhangi bir genişleme olmamaktadır. Orta noktanın yanıl deplasmanı da 0 olmaktadır. A-C conta yerinde (bu noktada iki ray cebire demiri ile birbirlerine bağlanmıştır) iki ray arasında yanıl genişlemeye imkan verecek şekilde $2\Delta L$ kadar bir boşluk (ray aralığı) bırakılır. Bu boşluk boyunca O-A ray parçası ΔL kadar yer değiştirirken C uçlu ray da aynı değerde yer değiştirme yapacaktır [26].

Her traverse etki eden kuvvet T_1 kadar olduğuna göre, A dan O'ya doğru her travers bağlantı yerinde raya gelecek olan kuvvet T_1 kadar artacaktır. Birinci traverse T_1 , ikinci traverse $2 \cdot T_1$, üçüncü traverse $3 \cdot T_1$ olacak şekilde devamlı artarak n. traverse (rayın tam ortasındaki traverse en fazla gerilme oluşur fakat deplasman yoktur) $n \cdot T_1$ büyüklüğünde kuvvetler oluşacaktır.

Conta yerinde raya etkiyen C kuvveti ise ray boyunca değişmeyecektir. Ray en kesiti $F: cm^2$ olarak gösterilir. C 'den dolayı oluşacak gerilmeler l boyunca sabit kaldıkları için C/F değerinde olurken travers bağlantılarında oluşan ray gerilmeleri ise, birinci

traverste traverse etki eden kuvvetin ray en kesitine bölünmesi ile bulunur (Denklem 6.4).

$$(\sigma_t)_1 = \frac{T_1}{F} \quad (6.4)$$

İkinci traverste (Denklem 6.5),

$$(\sigma_t)_2 = 2 \cdot \frac{T_1}{F} \quad (6.5)$$

N. traverste ise (Denklem 6.6),

$$(\sigma_t)_n = n \cdot \frac{T_1}{F} \quad (6.6)$$

L yarı ray uzunluğuna ait bu gerilme değişimleri doğrultusunda O-A= L uzunluğundaki yarı rayda oluşan toplam direnim kuvvetlerinin oluşturacağı gerilme (Denklem 6.7) ile elde edilmiş olur.

$$\sigma = \frac{C}{F} + \left(\frac{n}{2} \cdot \frac{T_1}{F} \right) \quad (6.7)$$

Burada C ve T_1 : kN, σ : kN/cm² biriminde olacaktır [4].

$$\bar{\sigma} = E \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (6.8)$$

L boyundaki rayda direnim kuvvetlerinin engel oluşturduğu Δt : °C, ısı farkından ötürü meydana gelen gerilmesi ($\bar{\sigma}$), ray çeliğinin elastiklik katsayısı E (kN/ cm²), ve ısıl genleşme katsayısı α : (1/°C) olarak gösterilirse (Denklem 6.8) elde edilmiş olacaktır: $\bar{\sigma}$, sıcaklık farkından dolayı raylarda meydana gelen termal kuvvetlerin sebep olduğu gerilmedir [26].

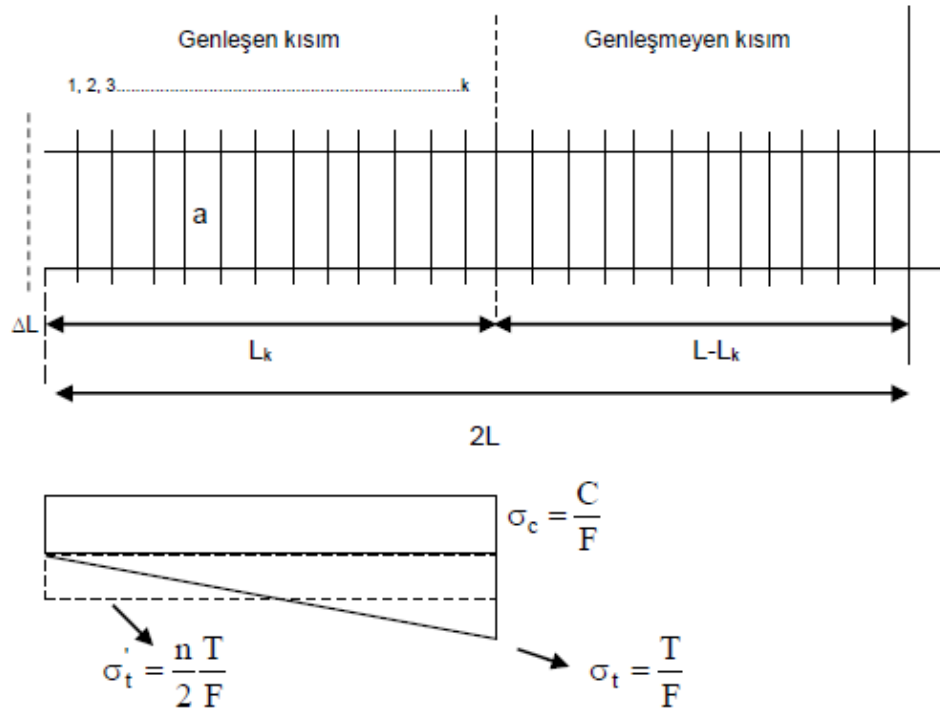
$$\sigma' = \bar{\sigma} - \sigma \quad (6.9)$$

Rayda oluşan fark gerilme ise ısı farkından ötürü oluşan gerilmeden travers bağlantısındaki ray gerilmesinin çıkarılması ile bulunur (Denklem 6.9).

$$\Delta L = \frac{\sigma' \cdot l}{E} \quad (6.10)$$

Raydaki deplasmanı oluşturacak olan gerilme, bu fark gerilmesi olduğuna göre, L boyundaki rayın deplasmanı (Denklem 6.10) olacak şekilde bulunur. Birimleri cm cinsindendir.

6.2.3. Uzun Kaynaklı Raylarda Termal Kuvvetlerin Etkisinin Hesaplanması



Şekil 6.3. Uzun kaynaklı raylara termal kuvvetlerin etkisi

Genleşmeyen kısmın uzunluğunun hesaplanması aşağıdaki denlemlerden faydalanılmaktadır (Denklem 6.11), (Denklem 6.12), (Denklem 6.13), (Denklem 6.14).

$$\sigma_s = (\sigma_c + \sigma_t')$$
(6.11)

$$\sigma_s = (\sigma_c + \frac{k}{2}\sigma_t)$$
(6.12)

$$k = \frac{\sigma_s - \sigma_t}{\sigma_t'}$$
(6.13)

$$\sigma_t' = \frac{k \cdot \sigma_t}{2}$$
.....(6.14)

Genleşen kısımların hesaplanmasında ise aşağıdaki denklemlerden faydalanılır (Denklem 6.15), (Denklem 6.16), (Denklem 6.17), (Denklem 6.18), (Denklem 6.19, (Denklem 6.20), (Denklem 6.21).

$$L_k = (k - 1) \cdot a + \lambda$$
....(6.15)

Termal kuvvetlerin ve direnim kuvvetlerin sebep olduğu gerilmelerin farkı;

$$\sigma_s = (\sigma_c + \sigma_t')$$
(6.16)

$$\sigma_s = (\sigma_c + \frac{k}{2}\sigma_t)$$
(6.17)

bu eşitlikte k yerine konursa;

$$\Delta\sigma = \frac{k \cdot \sigma_t}{2}$$
.....(6.18)

Termal kuvvetler etkisiyle raylarda meydana gelen uzama Hooke bağıntısı ile hesaplanır [26].

$$\Delta\sigma = \varepsilon \cdot E$$
(6.19)

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta L}{L} \cdot E \quad (6.20)$$

$$\Delta L = \frac{\Delta\sigma \cdot L}{E} \quad (6.21)$$



BÖLÜM 7. SONLU ELEMANLAR VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZ YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar yöntemi analitik yöntemlerle çözülmesi zor olan, karmaşık ve kompleks durumlara rahat bir şekilde uygulanabilir. Sonlu elemanlar metotunda model sonlu uzunluktaki parçalara bölünmektedir. Bu elemanların birleştikleri noktalar da düğüm noktaları olarak isimlendirilir. Eğilme hesaplarında düğüm noktalarının yer değiştirebilmesinin bulunabilmesi , sistemin öteleme miktarı ve her düğüm noktasındaki kesit tesirlerinin tespiti için yeterli bilgiyi içermektedir [2].

Sonlu elemanlar yönteminde şu sıra izlenir;

1. Sistem sonlu elemanlar ile modellenerek eşit parçalara bölünür,
2. Sistemin global aksları, düğüm noktalarının serbestlik dereceleri ve sınır şartları oluşturulur,
3. Elemanların rijitlik matrisleri lokal eksenlerin üzerinde oluşturulur,
4. Elemanların rijitlik matrisleri lokal eksenlerden global eksenlere aktarılır,
5. Global rijitlik matrisleri yaratılır,
6. Bütün yükler düğüm noktalarında tanımlanır,
7. Global yük vektörleri oluşturulur,
8. Sistemin tüm matris denklemleri sonuçlandırılır,
9. Elemanların deplasmanları ve direnir kuvvetleri hesaplanır.

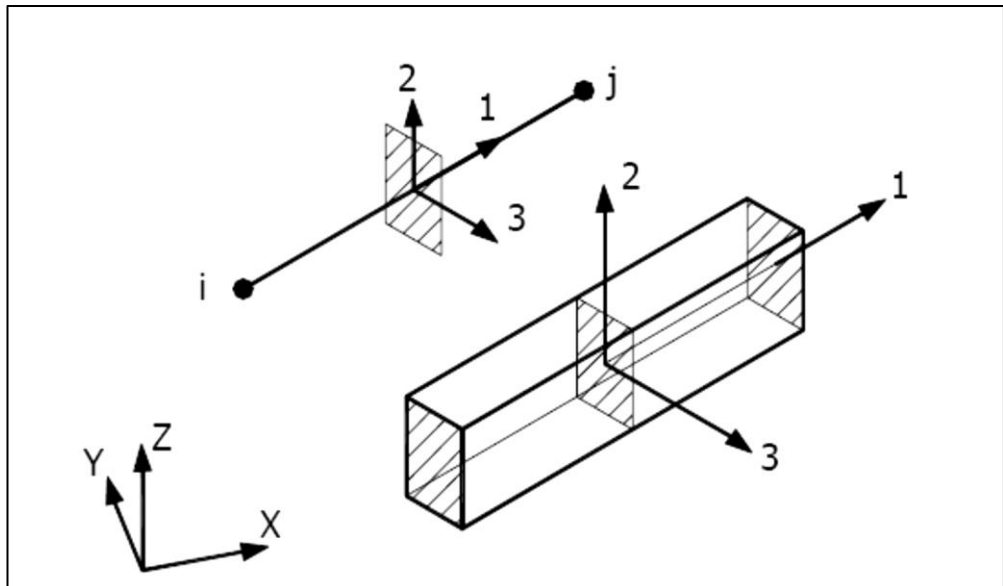
Günümüzde. SAP2000 yazılımı da inşaat mühendisliği açısından önemli bir sonlu eleman analiz programıdır. SAP2000 yazılımının sahibi Amerikan CSI Şirketi (Computers and Structures, Inc.)'dir. 30 yıla yakın tecrübeleri ile sistemi geliştirmeye devam etmektedirler. Windows arayüzüne adapte edilmiştir [27].

Sistemler SAP2000 ile detaylandırılırken, şu süreçler takip edilmektedir;

1. Sistem oluşturulur.
2. Malzeme özellikleri tanımlanır.
3. Yükler tanımlanır.
4. Analizler yapılır.
5. Boyutlandırma sonuçlandırılır.

Modeller genel (global) bir koordinat sistemine göre oluşturulur. Koordinat sistemi X, Y, Z eksenlerinden oluşan kartezyen bir sistemin yanı sıra , r, θ , z eksenlerinden oluşan silindirik bir sistem olarak da seçilebilir. X, Y, Z eksenleri sağ el kuralına uygun olarak düzenlenmiştir [28].

Sistem modelini oluşturan düğüm noktası, çubuk, sonlu eleman gibi her nesne kendi yerel (local) eksenine sahiptir. Her nesne için farklı olmak üzere, 1, 2 ve 3 olarak tanımlanan bu eksenler kesit özelliklerinin, yüklerin ve iç kuvvetlerin tanımlanmasında kullanılır. Aşağıdaki Şekil 7.1.'de basit bir örnek üzerinde X, Y, Z ile genel sistem eksenleri ve 1, 2, 3 ile yerel eksenleri gösterilmiştir [28].



Şekil 7.1. Çubuk eleman genel ve yerel eksenleri

7.1. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Demiryolu Hattının Modellenmesi

Sonlu elemanlar yöntemleriyle kompleks mühendislik problemlerine nümerik metotlar ile cevap bulunabilmektedir. Kurulacak model üzerinde problemin küçük bir simülasyonu oluşturulur. Parça ne kadar minimize edilebilirse metot yaklaşımı ile sonuç daha net bir şekilde yakınsanabilir. Geniş ve kapsamlı bir problemin küçük bir parçası kapsamlı modellenerek sonuca ulaşmada büyük bir rol sağlamaktadır.

Çalışmamızın içeriğinde SAP2000 programı kullanılmıştır. Ray ve traverslerimiz çerçeve eleman olarak tasarlanmıştır. Kesitler ve malzeme içerikleri mevcut uygulamalarda en çok karşımıza çıkan örneklerden seçilmiştir.

Ray ve traverslerin altında yer alan balast tabakası program üzerinde yaylı eleman olarak tanımlanmıştır. Yay katsayısı için aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Denklem 7.1).

$$k_i = k_s \cdot b \cdot \frac{(L_i + L_j)}{2} \quad (7.1)$$

Burada; k_i : yay katsayısı, k_s : yatak katsayısı, b : fiktif kiriş genişliği, L_i ve L_j ise düğüm noktasının sağ ve sol kısımlarının sonlu parça uzunluğudur.

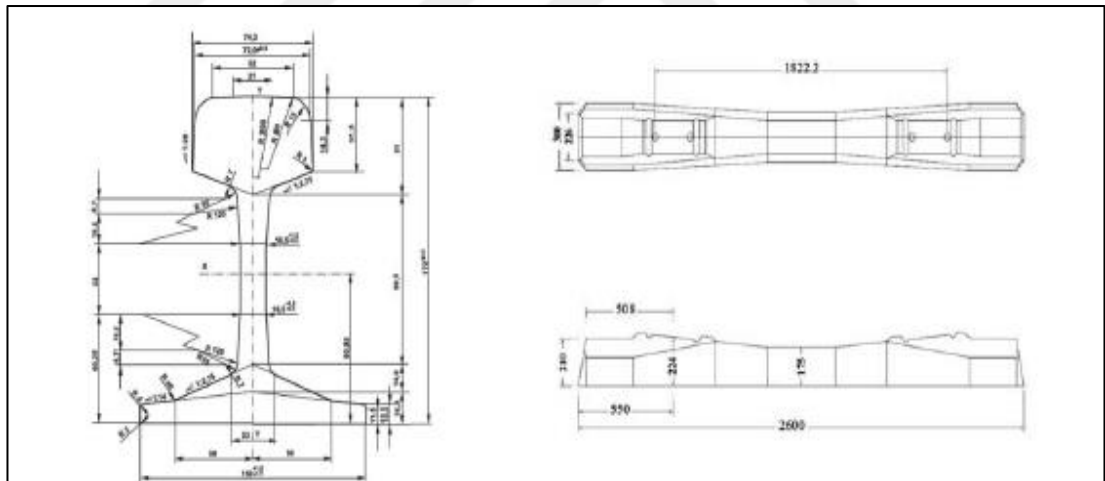
Kirişin uç noktalarındaki yay katsayıları, orta noktalardaki yay katsayılarının yarısı kadar değerdedir. Orta noktalardaki yay katsayılarının hesabı eşitlik (6.2) ile bulunduktan sonra bu değer yarısı uç noktaların yay katsayısını verir. Bunun sebebi, uç noktaların yanındaki sonlu parçanın tek olmasıdır [29].

SAP2000 programında modellenen demiryolu hattının parametreleri aşağıda belirtilmiştir [20]. Bu bilgiler doğrultusunda model oluşturulmuş ve hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplar ayrıca elle kontrol edilmiştir. Çıkan sonuçlar %95 yakınsama içerisindedir.

Tablo 7.1. Demiryolu modelinin parametreleri

Hat Parametreleri	Değerler
Ray açıklığı	1500 mm
Hat uzunluğu	1020 cm
Ray tipi	UIC 60
Travers tipi	B 70
Travers uzunluğu	260 cm
Balast yatak katsayısı	70 N/cm ³
Traversler arası mesafe	60 cm
Travers direnci	3 kN
Sıcaklık değişimi	2 °C

Ray açıklığı 1.500 mm olarak seçilmiştir. Modellenen hattın uzunluğu 1020 cm olarak belirlenmiştir. Ray tipi olarak seçilen UIC60 rayı sık kullanılan ray tiplerindendir. Aynı şekilde B70 tip traversde günümüz demiryolu inşaatlarında sıkça karşımıza çıkmaktadır. Traversin uzunluğu 260 cm seçilmiştir. Birbirleri arasındaki mesafeler 60 cm olarak belirlenmiştir. Travers direnci 3 kN olarak kabul edilmiştir. Balast yatak katsayısı 70 N/cm³, termal kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılan sıcaklık farkı da 2 °C olarak kabul edilmiştir.



Şekil 7.2. UIC60 ray ve B70 travers teknik özellikleri

UIC 60 tipi olarak seçilen rayın kesit özellikleri ve malzeme özelliklerinin tanımlanması sisteme manuel olarak yapılmıştır.

I/Wide Flange Section

Section Name: RAY_UIC60

Section Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Display Color: ☐

Dimensions

Outside height (t3)	17,2
Top flange width (t2)	7,2
Top flange thickness (tf)	5,1
Web thickness (tw)	1,65
Bottom flange width (t2b)	15,
Bottom flange thickness (tfb)	1,5

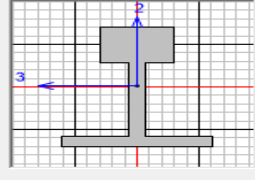
Material

+ RAY

Property Modifiers

[Set Modifiers...](#)

Section



Properties

[Section Properties...](#)

[Time Dependent Properties...](#)

OK Cancel

Şekil 7.3. Ray ölçülerinin tanımlanması

Property Data

Section Name: RAY_UIC60

Properties

Cross-section (axial) area	76,71	Section modulus about 3 axis	345,2316
Moment of Inertia about 3 axis	3032,2187	Section modulus about 2 axis	77,9298
Moment of Inertia about 2 axis	584,4734	Plastic modulus about 3 axis	440,0879
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	157,6856
Shear area in 2 direction	28,38	Radius of Gyration about 3 axis	6,2872
Shear area in 3 direction	49,35	Radius of Gyration about 2 axis	2,7603
Torsional constant	206,4207	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

OK

Şekil 7.4. Ray kesit özelliklerinin tanımlanması

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: RAY

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,697E-05

Mass per Unit Volume: 7,849E-08

Units

KN, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 21000,

Poisson, U: 0,3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 8076,9231

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 34,4738

Minimum Tensile Stress, Fu: 44,8159

Expected Yield Stress, Fye: 37,9212

Expected Tensile Stress, Fue: 49,2975

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 7.5. Ray malzeme özelliklerinin tanımlanması

B70 tipi travers ölçüleri, kesit özellikleri ve malzeme detayları sisteme el ile girilmiş ve model üzerinde detaylandırılmıştır.

Rectangular Section

Section Name

Section Name: TRAVERS

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Depth (t3) : 25,

Width (t2) : 25,

Material

+ TRAVERS

Property Modifiers

Set Modifiers...

Section

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Şekil 7.6. Travers kesit detaylarının tanımlanması

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TRAVERS

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,356E-05

Mass per Unit Volume: 2,403E-08

Units

KN, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2485,5578

Poisson, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9,900E-06

Shear Modulus, G: 1035,6491

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 2,7579

Expected Concrete Compressive Strength: 2,7579

☐ Lightweight Concrete

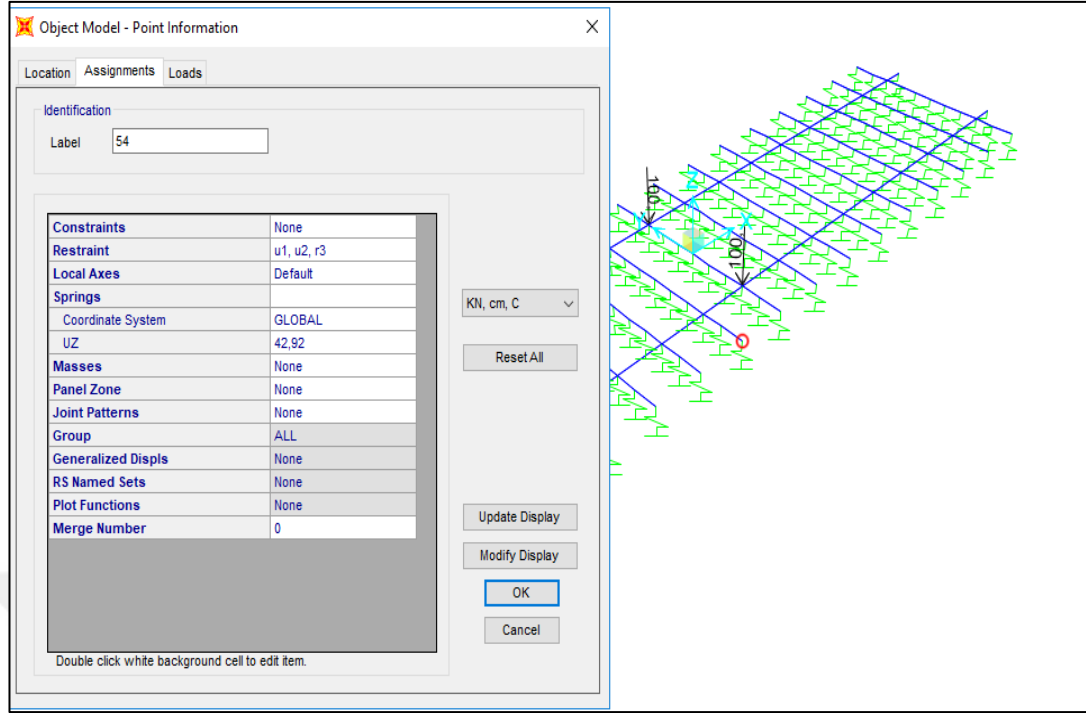
Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

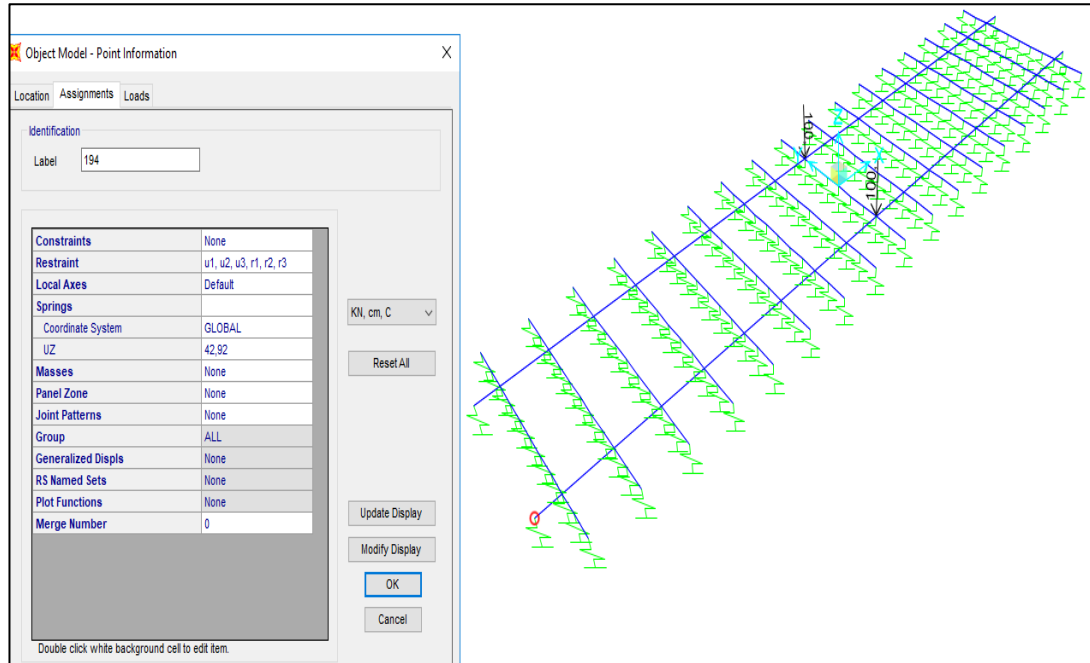
Şekil 7.7. Travers malzeme özelliklerinin tanımlanması

Zeminde taşıyıcı olarak yer alan balast tabakası yay sistemi olarak sistemde tanımlanmıştır. Birim çevirileri SI birim sistemine göre çevrilmiş ve sistemde belirtilmiştir.



Şekil 7.8. Balastın yaylı sistem olarak tanımlanması

Ray uçları, uzun kaynaklı raylarda ankastre olacak şekilde mesnetlenmiştir. SAP2000 özellikleri doğrultusunda mesnetler belirlenmiş, dönmeler, uzamalar, burkulmalar ankastre mesnetlerde kısıtlanmıştır.

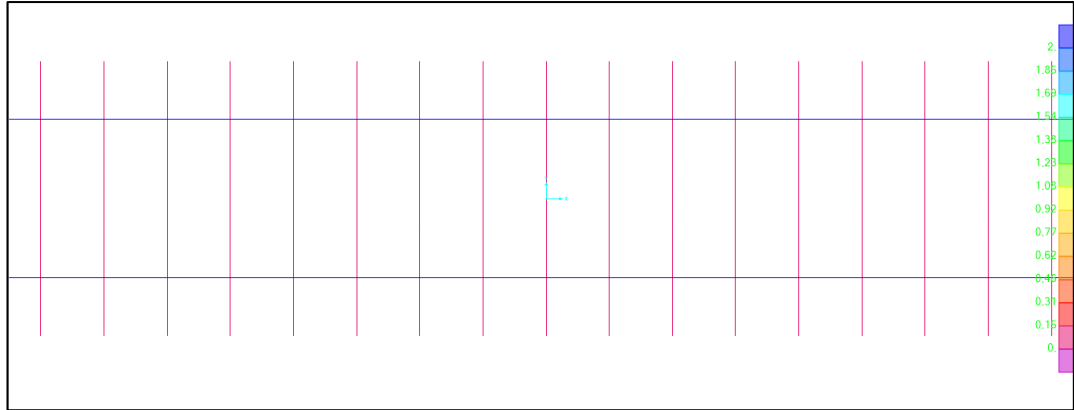


Şekil 7.9. Ray uçlarının ankastre mesnet olarak tanımlanması

Rayın travers üzerinde oluşturacağı kendi ölü yükünün yanı sıra termal yükü oluşturan sıcaklık farkı sistemde tanımlanmış ve rayın tamamını kapsayacak şekilde etkilmiştir.

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,
DEAD	Linear Static	1,
THEMP	Linear Static	1,

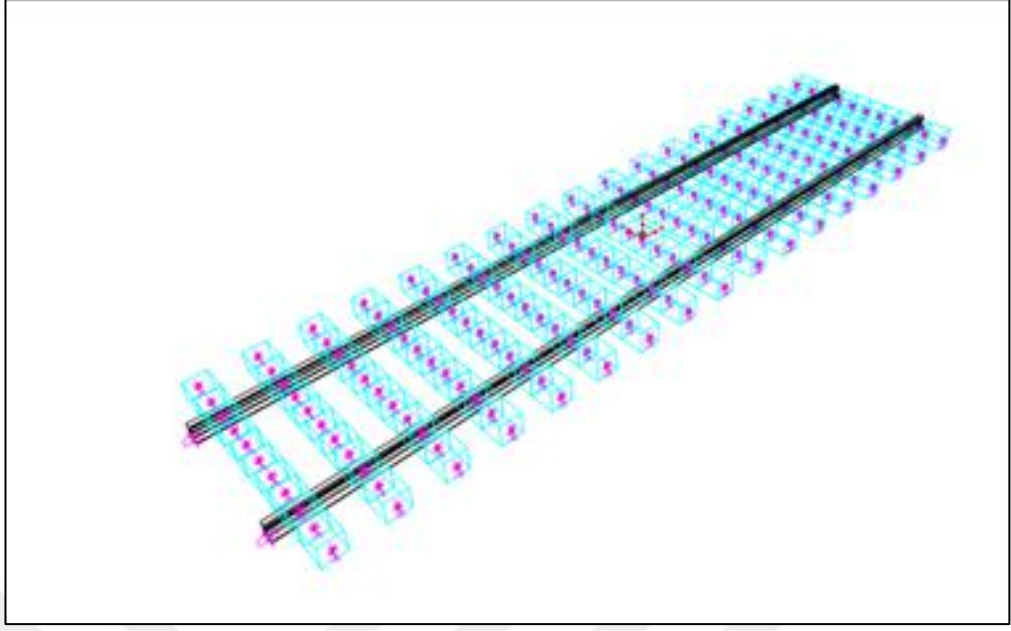
Şekil 7.10. Termal yüklerin tanımlanması



Şekil 7.11. Raya etkiyen termal yükün gösterilmesi

7.2. Modelin Çalıştırılması ve Termal Yük Analizleri

SAP2000 üzerinde, parametreleri verilen ve tanımlamaları yapılan model oluşturulmuştur. Model analizleri parametreler doğrultusunda tamamlanmış ve ampirik formüller ile de hesaplanarak verdiği sonuçlar kontrol edilmiştir.

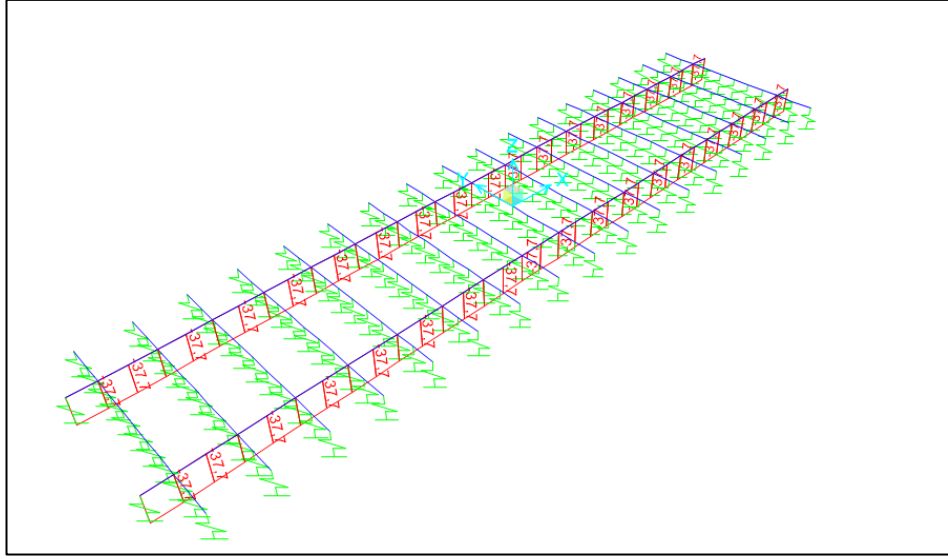


Şekil 7.12. Oluşturulan demiryolu modeli

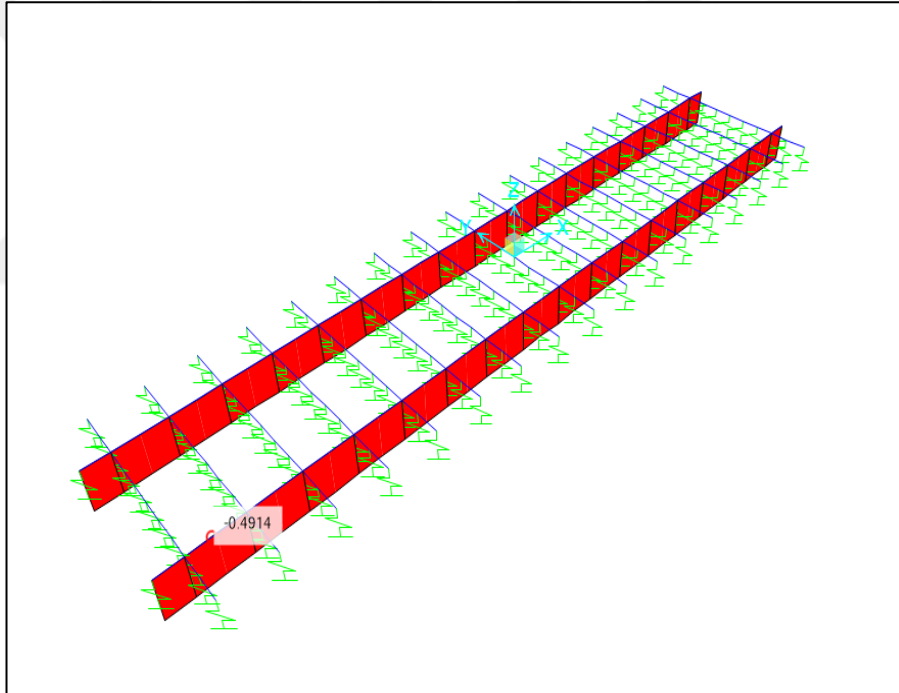
Oluşturulan model üzerine termal yük olan 2 °C sıcaklık farkı etkilmiştir. Sıcaklık farkı doğrultusunda mesnetlerde oluşan kuvvetler, gerilmeler ve uzama miktarları hesaplanmıştır [19].

Tablo 7.2. Demiryolu modelinin analiz sonuçları

Parametreler	SAP2000 Sonuçları
Ray uzaması	0.239 mm
Ray kuvveti	37.7 kN
Ray gerilmesi	0,49 kN/cm ²
Nötr bölge uzunluğu	7.40 m
Sıcaklık değişimi	2 °C



Şekil 7.13. Termal kuvvetler etkisinde raylarda oluşan kuvvetler



Şekil 7.14. Termal kuvvetler etkisinde raylarda oluşan gerilmeler

BÖLÜM 8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; sıcaklık farklarından doluşan termal yüklerin etkisi altında bulunan balastlı demiryolu üstyapısında yer alan ray-travers hattının, geleneksel yöntem olan zeminin bir yay olarak kabul edildiğı Winkler yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemiyle oluşturulan modeliyle analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile oluşturulan model, iki boyutlu ızgara olarak tanımlanmıştır. Geleneksel yöntemlerde üstyapı şekli ve karmaşık yüklemeler basitleştirilirken sonlu elemanlar yönteminde ise bu karmaşık problemler çok kolay bir şekilde çözülebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile geliştirilen basit modeller üzerinde yapılan analiz sonucu üstyapıda raylarda oluşun uzama miktarları, gerilmeler ve kuvvetlerin değeri geleneksel yöntemde bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve hemen hemen aynı sonuçlar bulunmuştur.

Ray açıklığı 1.500 mm olarak seçilmiştir. Modellenen hattın uzunluğu 1020 cm olarak belirlenmiştir. Ray tipi olarak seçilen UIC60 rayı sık kullanılan ray tiplerindendir. Aynı şekilde B70 tip traversde günümüz demiryolu inşaatlarında sıkça karşımıza çıkmaktadır. Traversin uzunluğu 260 cm seçilmiştir. Birbirleri arasındaki mesafeler 60 cm olarak belirlenmiştir. Travers direnimi 3 kN olarak kabul edilmiştir. Balast yatak katsayısı 70 N/cm^3 , termal kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılan sıcaklık farkı da $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak kabul edilmiştir.

Tanımladığımız modele $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik termal kuvvete yüklediğimizde mevcut demiryolu rayının 0.239 mm uzadığı program üzerinde gözlemlenmiştir. Aynı şekilde raylarda 37.7 kN bir kuvvet oluştuğı, rayın üzerinde $0,49 \text{ kN/cm}^2$ bir gerilme olduğu tespit edilmiştir. Nötral bölge uzunluğu 7.40 m hesaplanmıştır.

SAP2000 programında oluşturulan modelin sonlu elemanlar yöntemleri yapılan hesapları ampirik formüller kullanılarak yapılan hesaplar ile kıyaslanmıştır. Bulunan sonuçlar ortalama %95 oranında birbirlerine benzerlik göstermektedir.

Verilen parametreler doğrultusunda hazırlanan model başarılı bir şekilde sonuç vermiştir. Bu bilgiler ışığında demiryollarına etkiyen termal kuvvetlerin raylar üzerinde oluşturduğu gerilmeler, ray uzamaları, ray direnim kuvvetleri sonlu elemanlar yöntemleriyle hızlıca ve doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Evren, G., Demiryolu, ISBN 975-511-193-X, 7, 151-152, İstanbul, 2002.
- [2] Aksop, E., Demiryolu Üstyapı Hesaplarının Analitik Ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2018.
- [3] Güler, H., Demiryolu 1, Demiryolu Mühendisliği Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı, 2013, Sakarya.
- [4] Tekeli, İ., Cumhuriyetin Harcı: Modernitenin Altyapısı Oluşurken, İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, 160-32, 2004
- [5] www.tcdd.gov.tr/genel/tarihce, Erişim Tarihi: 10.05.2019.
- [6] Güler, H., Demiryolu 1, Demiryolu Mühendisliği Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı, 2013, Sakarya.
- [7] <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/2166/2684#RF0001>, Erişim Tarihi: 10.05.2019.
- [8] Selig, E., Waters, J., Track Geotechnology and Substructure Management, 2nd ed., MRT Productions, 71, 74, 76, 234, (1994).
- [9] <https://goo.gl/83aP6D>, Erişim Tarihi: 10.05.2019.
- [10] Arlı, V., Demiryolu Titreşimlerinin Model Hat Üzerinde Çok Yönlü Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, Doktora Tezi, İstanbul, 2009.
- [11] Türk Standardı, TS 2400 Demiryolu Rayları, 1.Baskı, ICS 45.080, Ankara, 1986.

- [12] <http://turkish.railwayfastenings.com/quality-9727665-high-tensile-cast-iron-tie-plate-for-railway-fastening-system-sk112-plain-q235>, Erişim Tarihi: 10.05.2019.
- [13] Arlı, V., Demiryolu Mühendisliği, Genişletilmiş 2.Baskı, ISBN 978-605-60958, 29, 69, 74, 75, 77, 121, 139, 141, İstanbul, 2015.
- [14] Raylı Sistemler Teknolojisi, Raylar ve Bağlantılar, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2013.
- [15] Akçaer, Z., Demiryolu Ray-Travers Bağlantı Sistemlerinin ve Uygulanan Testlerin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2014.
- [16] Toksoy, S., Demiryolu Altyapı Güçlendirmesinde Geosentetiklerin Kullanımı, T.C. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2017.
- [17] Ekim, O., Yüksek Hızlı Demiryolları İçin Geometrik Özellikler Ve Altyapı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2007.
- [18] Özden, M., Demiryolu Raylarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2011.
- [19] <http://pwayblog.com>, Erişim Tarihi: 10.05.2019.
- [20] Raylı Sistemler Teknolojisi, Ray Arızaları, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2013.
- [21] Raylı Sistemler Teknolojisi, Uzun Kaynaklı Ray, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2013.
- [22] <https://necipinsaat.tr.gg/%2A-DEM%26%23304%3BRYOLU---POTA--RAY-KAYNA%26%23286%3BI-%2A%2ACRUCIBLE-OF-RAILWAY-TRACK-SUPPLY--.htm>, Erişim Tarihi: 10.05.2019.
- [23] <https://www.trenhaber.com/demiryolunda-aluminotermite-ray-kaynagi-nasil-yapilir-video,31.html>, Erişim Tarihi: 10.05.2019.

- [24] Özkul, F., Demiryollarında Ray Birleştirme Yöntemlerinin İncelenmesi, Alüminotermi ve Yakma Alın Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2014.
- [25] Yılmaz, H., Ray Kusurlarının Örnek Hat Üzerinde Ultrasonik Yöntemle İncelenmesi ve Ray Gerilmelerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2014.
- [26] Güler, H., Demiryolu 1, Demiryolu Mühendisliği Ders Notları, Sıcaklık Farkları Nedeni ile Hat Çerçevesinin İncelenmesi, Ray Genleşmesi ve Ray Aralığı, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı, 2013, Sakarya
- [27] Computer and Structures, Inc., 2016, SAP2000 Ultimate 18.2.0 Structural Analysis Program.
- [28] Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K., Örneklerle SAP2000 – V17, Birsan Yayınevi, 2015.
- [29] Güler, H., Demiryolu Üstyapı Hesaplarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı Lisansüstü Tezi, İstanbul, 1998.
- [30] Türk Standardı, TS EN 13230, Demiryolu Uygulamaları, Demiryolu - Beton Traversler ve Mesnetler, Ankara, 2004.
- [31] UIC 719R, Earthworks and Track Bed for Railway Lines, February 2008.
- [32] Türk Standardı, TS 7043 EN 13450, 1.Baskı, ICS, 91.100.15, Demiryolu Balastları İçin Agregalar, 2004, Ankara.
- [33] Türk Standardı, TS EN 13674, Demiryolu hattı - Ray - Bölüm 1: 46 kg/m ve üzeri vignole demiryolu rayları, Ankara, 2004.
- [34] <https://raillynews.com/2018/11/argumentation/The-claim-of-side-by-side-in-the-construction-of-the-mardin-railway-in-diyarbakir-2/>

ÖZGEÇMİŞ

Erdem İNAL, 05.07.1987’de Bor’da doğmuştur. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2011 yılı itibariyle Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2010 yılında Libya’da yüksek hızlı tren projesinde işe başlamıştır. Yurtiçi, yurtdışı deneyimleri sonucunda 2016 yılı itibariyle Tüpraş İzmir Aliğa Rafinerisinde İnşaat Şef Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.