

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERAYMAN NEDENLERİNİN ARAŞTIRILMASI
VE NADAL KURAMI

Murat Vergi TACİROĞLU

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ISPARTA – 2008

İÇİNDEKİLER

	sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Demiryollarının Tarihsel Gelişimi	2
1.2. Ulaştırma Sistemlerinin Mukayeseli Bir Analizi	4
1.2.1 Güvenlik, Güvenilirlik Yönünden.....	4
1.2.2. Çevre Yönünden	6
1.2.3. Gürültü Yönünden.....	7
1.2.4. Enerji Tüketimi Yönünden.....	8
1.2.5. Arazi Kullanımı Yönünden	10
1.2.6. Altyapı Maliyetleri Yönünden	11
1.2.7. Ekonomik Kalkınma Yönünden.....	12
1.2.8. Yatırımların Etkileri Yönünden	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ	18
2.1 Demiryolu Hatlarının Geometrik Karakteristikleri.....	18
2.1.1. Hız.....	18
2.1.2. Hat Genişliği	19
2.1.3. Kurbalar	20
2.1.3.1. Kurba Kesimlerinin Sakıncaları.....	20
2.1.3.2. Kurbalardaki Sakıncalara Karşı önlem Olarak : Dever.....	21
2.1.3.2.1. Pratik Dever	21
2.1.3.3. Bir Kurbada Pratik Dever Saptanmasında Sağlanması Gerekli Güvenlik Koşulları.....	24
2.1.3.4. Teknik Koşul ve Deverin Sınırlandırılması	25
2.1.3.5. Deverin Uygulama Şekilleri.....	26
2.1.3.6. Birleştirme Eğrisi	27

2.1.3.6.1. Kurbalarda Birleştirme Eğrisinin Gerekliği.....	27
2.1.3.6.2. Birleştirme Eğrisinin Denklemi	28
2.3.4. Eğimler	28
2.1.5. Enkesitler	29
2.1.5.1. Hat Eksenleri Arasındaki Uzaklık.....	29
2.1.5.2. Enkesite İlişkin Diğer Büyüklükler.....	30
2.1.6. Gabari.....	30
2.2. Deraymanın Doğası.....	32
2.3. Derayman Üzerinde Varsayılan Durum Çalışması.....	33
2.3.1. Kritik Derayman Katsayısı Üzerine Çalışma.....	33
2.3.2. Teker Yük Oranı $\Delta P/P_0$ 'ın Araştırılması.....	36
2.3.3. Çeşitli Ülkelerde Derayman Önleme İçin Standart Şartnameler	36
2.3.4. Deraymanın Geometrik Kuralları	37
2.3.5. Tren Deraymanı İçin Değerlendirme Kriterindeki Temel Problemler.....	38
2.3.6. Deraymanın Mekanik Mekanizması	38
2.3.6.1. Tren Deraymanı Tren-Yol Sisteminin Enine Titreşim Durumundan Kaynaklanan Stabilite Kaybının Sonucudur	38
2.4. Yekpare Dingilli Demiryolu Teker Setiyle Derayman Üstüne Deneysel Çalışmalar	42
2.4.1 Giriş.....	42
2.4.2. Deneysel Çalışmaların Açıklaması	42
2.4.2.1. BU 300 Rulman Düzeneği	42
2.4.2.2. Ölçüm Düzeneği	44
2.4.2.3. Derayman Deneyinin Açıklaması	44
2.4.3. Derayman Deneylerinin Sonuçları.....	46
2.4.3.1. Yaklaşma Açısının Etkileri	47
2.4.3.1.1. 'σ Limit' Kriteri	48
2.4.3.1.2. Elkins ve Wu Kriteri	50
2.4.3.2. Boyuna Kuvvet Bileşeninin Etkisi.....	51
2.4.3.2.1. Doyma Limiti Kriteri	52
2.4.3.3. Dikey Temas Kuvvetinin Denge Bozucu Etkisi	52
2.5. Derayman Olayının Nedenleri ve Sınıflandırılması.....	54

2.5.1. Giriş.....	54
2.5.2. Deraymanların Sınıflandırması	54
2.5.3. Sınıflandırma Konuları.....	55
2.5.4. Derayman Sınıflandırma Analizi	56
2.5.4.1. Kategori 1 Deraymanlar	56
2.5.4.2. Kategori 2 Deraymanlar:.....	60
2.5.4.3. Deraymanların Nedensel Faktörleri	63
3. MATERYAL VE YÖNTEM	64
3.1 Materyal	64
3.1.1. Demiryolu Kazaları.....	64
3.1.2. Derayman	67
3.1.2.1. Deraymanın Tanımı	67
3.1.2.2. Nadal Kuramı	68
3.2. Yöntem.....	71
3.2.1. Microsoft Excel.....	71
3.2.2. Microsoft Excel Programını Özellikleri.....	71
3.2.3 Excel Çizelgesi Bileşenleri	73
3.2.3.1 Formüllerdeki hesaplama işleçleri	74
3.1.3.2 Sayı girme ipuçları	75
3.1.3.3 Excel İşlev Fonksiyonları.....	76
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	78
4.1. Derayman Kriterine Ait Bulgular.....	78
4.1.1. Derayman Kriterinin Hesaplanması	78
4.1.1.1. Derayman Kriterinin Hesabında Kullanılan Kıstaslar	78
4.1.1.1.1. Hesapta Kullanılan Sürtünme Katsayısı Değerleri	78
4.1.1.1.2 Hesapta Kullanılan Buden Açısı Değerleri	79
4.1.2. Derayman Kriteri Hesap Sonuçları	79
4.2. Derayman Nedenlerine Ait Bulgular	83
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	84
6. KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	89

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DERAYMAN NEDENLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE NADAL KURAMI

Murat Vergi TACİROĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Juri: Prof. Dr. Mustafa Karşahin

Doç. Dr. Mehmet SALTAN

Doç. Dr. Serdal TERZİ

Bu tez çalışmasında, demiryollarında meydana gelen raydan çıkma olayı, derayman olayı, incelenmiştir. Bu incelemelerde daha önceden yapılmış araştırmalar gözden geçirilmiş, deraymanın fiziksel mekanizması ve nedenleri araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada derayman kriteri olan Nadal Kuramı Microsoft Office Excel programında modellenmiş ve Nadal Kriteri belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolları, Derayman, Nadal Kuramı, Excel

2008, 89 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

Research for The Derailment Reasons and Nadal Theory

Murat Vergi TACIROĞLU

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences

Civil Engineering Department

Thesis Committee: Prof. Dr. Mustafa Karışahin

Doç. Dr. Mehmet SALTAN

Doç. Dr. Serdal TERZİ

In this thesis, derailment events that occur on the railways have been studied. At these studies previously researches reviewed, derailment physical mechanism and reasons was investigated. Furthermore in this study Nadal theory criterion of derailment modeled at Microsoft Office Excel and Nadal criterion tried to be determined.

Keywords: Railways, Derailment, Nadal Theory, Excel

2008, 89 pages

TEŞEKKÜR

Çalışma konumun belirlenmesinde ve tezimin her aşamasında bilgi, görüő ve desteğini benden esirgemeyen, her türlü zorlukta yanımda olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e (S.D.Ü. Müh-Mim Fak. İnşaat Müh. Bölüm Baőkanı) her ihtiyacım olduğunda benden desteklerini esirgemeyen değerli bölüm hocalarım Doç. Dr. Mehmet SALTAN, Yard. Doç. Dr. Mesut TIğDEMİR ve Yard. Doç. Dr. Figen KALYONCUOğLU' na ve ayrıca her zaman yanımda olarak bana desteğini gösteren değerli arkadaőım Araç. Gör. F. Selcan ERTEM' e teőekkürü bir borç bilirim.

Ve yaőamımın her anında maddi ve manevi her türlü desteğini benden hiç bir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz őükran ve teőekkürlerimi sunarım.

Murat Vergi TACIROğLU
ISPARTA, 2008

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. (a), Japonya da derayman hesabı için kullanılan tek teker seti modeli. (b), Japonya da kabul edilen, tek teker seti üstündeki yanal kuvvet eğrisi. (c), derayman katsayısı ve teker yükselmesi değeri arasındaki hesap ilişkisi.....	34
Şekil 2.2. (a), yeni rayın yaklaşma açısı ile test edilmiş ve hesaplanmış derayman katsayısı Q/P 'nin ilişkisini göstermektedir. (b) eski rayın yaklaşma açısı ile test edilmiş ve hesaplanmış derayman katsayısı Q/P 'nin ilişkisini göstermektedir	35
Şekil 2.3. Teker seti üzerinde yanal kuvvet F ve tork M .	36
Şekil 2.4. Teker yükselmesi değeri Z ve Q/P 'nin sürekli hareket zamanı arasındaki ilişki.....	37
Şekil 2.5. Suda yüzen bir tahtanın dengelenmiş durumunun stabilite analizinin çizimi.....	40
Şekil 2.6. Sıkıştırılmış bir çubuğun dengelenmiş durumunun stabilite analizinin çizimi.....	41
Şekil 2.7. A-A doğu yolu boyunca yatay düzlemde uçan dengelenmiş durumunun stabilite analizinin çizimi	41
Şekil 2.8. BU 300 tam ölçekli rulman düzeneği(a) ve planları(b)	43
Şekil 2.9. Deraymanın gelişimi.....	45
Şekil 2.10. Deray olan tekerde maksimum Y_1/Q_1 oranı ve yaklaşma açısı σ	47
Şekil 2.11. Buden teması sırasında temas kuvveti bileşenlerinin şekli (a) ve deformasyon kuvvet ilişkisinin şekli(b).....	49
Şekil 2.12. Raydan çıkan tekerde maksimum Y_1/Q_1 oranı ve L_1/N_1 oranının karşılaştırması.	51
Şekil 2.13. Raydan çıkan tekerde maksimum Y_1/Q_1 oranı ve denge bozucu Q_1/Q_2 oranının karşılaştırması	53
Şekil 2.14. Derayman sınıflandırması	56
Şekil 2.15. Kategori 1 deraymanların alt grupları.....	57
Şekil 2.16. Kategori 1 deraymanlar: Tek faktör yol.....	58
Şekil 2.17. Kategori 1 deraymanlar: Tek faktör araç	59
Şekil 2.18. Kategori 2 deraymanların alt grupları.....	60
Şekil 2.19. Kategori 2 deraymanları tek faktör yolun alt grupları	61

Şekil 2.20. Kategori 2 deraymanları tek faktör taşıtın alt grupları.....	61
Şekil 2.21. Kategori 2 deraymanları tek faktör işletmenin alt grupları.....	62
Şekil 2.22. Kategori 2 deraymanları etkileşim yüksek hızın alt grupları.....	62
Şekil 2.23. Deraymanların nedensel faktörlerine göre sayıları.....	63
Şekil 3.1. TCDD 2004 yılı yıllık kaza oranları.....	67
Şekil 3.2. TCDD 2004 yılı verilerine göre demiryolu kazalarının oransal dağılımı...68	
Şekil 3.3. Deraymana uğramış demiryolu araçları.....	68
Şekil 3.4. Demiryolu tekerinin raya temas düzlemi.....	69
Şekil 3.5. Derayman başladığında teker- ray hareketi.....	70
Şekil 3.6. Excel çizelgesi.....	74
Şekil 3.7. Excel çizelgesinde bir hücrenin adresi.....	75
Şekil 3.8. Excel in çevre bileşenleri görülmektedir.....	75
Şekil 3.9. Excel çizelgesinde bir işlem.....	76
Şekil 3.10. Excel işlev menüsü.....	79
Şekil 4.1. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.25$ için derayman limit değerlerinin grafiği.....	80
Şekil 4.2. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.12$ için derayman limit değerlerinin grafiği.....	81
Şekil 4.3. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.05$ için derayman limit değerlerinin grafiği.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Kara ve Demiryolu Yolcu Taşımaları ve Kaza Sayıları	6
Çizelge 1.2. Yoldan 25 Km uzaklıkta gürültü şiddeti	8
Çizelge 1.3. 1 Ton-Km ve 1 Yolcu-Km İçin Ulaştırma Modlarının Yakıt Sarfıyatı .	10
Çizelge 1.4. Yol Yapım Maliyetleri Açısından Karayolu-Demiryolu Karşılaştırması	12
Çizelge 1.5. İdeal ulaşırma ihtiyaçları açısından karayolu ve demiryolu sistemlerinin karşılaştırılması	17
Çizelge 2.1. Kategori 1 deraymanların alt gruplarının sayıları	57
Çizelge 2.2. Kategori 1 deraymanlar tek faktör yolun alt gruplarının sayıları	58
Çizelge 2.3. Kategori 1 deraymanlar tek faktör aracın alt gruplarının sayıları.....	59
Çizelge 2.4. Kategori 2 deraymanların alt gruplarının sayıları.....	60
Çizelge 4.1. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.25$ için derayman limit değeri hesabı	79
Çizelge 4.2. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.12$ için derayman limit değeri hesabı	80
Çizelge 4.3. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.05$ için derayman limit değeri hesabı	81

KISALTMALAR

T.C.D.D.	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
mm.	Milimetre
kN/m.	Kilo Newton/metre
m.	Metre
M.B.S.	Multi Body System
Km/s.	Kilometre/saat
Rad.	Radyan
Mrad	milirad
dB	desibel

1. GİRİŞ

Doğa güçlerinin yerine makine gücünün ikame edilmesi modern ulaştırma sisteminin başlangıcı kabul edilmektedir. Modern hayatın doğuşu demiryollarıyla başlamıştır. Mal ve hizmetin kitle halinde üretimi ve seyahati, modern hayatın temel iki unsurunu oluşturmakta dolayısıyla bu iki unsurdaki gelişme de ancak ulaştırmanın gelişmesiyle mümkün hale gelmektedir. Bir toplumun gelişmişlik derecesi ulaştırmadaki gelişmeyle ölçülmekte, başka bir ifadeyle, ulaştırmasındaki gelişme toplumsal gelişmenin de dinamizmini oluşturmaktadır. Ulaşım sisteminin modernleşmesi demiryollarının keşfiyle başlamıştır. Tarihsel olarak ulaştırmada modernleşme, sistemin demiryollarına dönüşünü ifade etmektedir(Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Sanayileşme yani, ekonomik kalkınma için gerekli olan sosyal, siyasal ve ticari alt yapının sağlanmasında ulaştırma hizmetlerinin gelişmesi kaçınılmaz bir olgu olarak ortaya çıkmaktadır (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

18. yüzyıldaki keşfinden itibaren demiryolları, düşük enerji tüketimi, hızın yüksek olması, diğer ulaştırma sistemlerine göre daha yüksek güvenliğe sahip olması, yük ve yolcu kapasitesinin büyüklüğü ve şehir içinde toplu ulaşım uygulamaları ile tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılan bir ulaşım sistemi olmuştur. Bu artıların yanında yüksek inşaat yatırımı masrafları ve işletme maliyetlerinin fazlalığı demiryollarının dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu maliyetlerin mümkün olan en alt seviyede tutulması ve işletme açısından kar getiren bir sistem konumunda olması için demiryolları proje aşamasından itibaren çok dikkatli bir şekilde planlanması gereken bir ulaştırma sistemidir

Demiryolları işletmelerinde bakım ve işletme maliyetlerinin en alt seviyede tutulması için, işletmede meydana gelebilecek aksaklıkların önüne geçilmelidir. Bu aksaklıklardan demiryolu kazaları, meydana getirebileceği büyük can ve mal kayıpları ile engellenmeli ve nedenleri kapsamlı çalışmalarla ortaya çıkarılmalıdır.

Bu kaza olaylarından en yüksek orana sahip olan derayman, demiryolu aracının raydan çıkması olarak bilinmekte ve demiryolunun başlangıcı olan 1825 yılından beri demiryolu ile ilgilenen bilim adamları ve teknoloji uzmanlarının karşısına can sıkıcı bir problem olarak çıkmaktadır. Derayman tüm dünyada 100 yılı aşkın bir süredir meydana gelmesi ile büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır

1.1. Demiryollarının Tarihsel Gelişimi

Ulaştırma alt sektörlerinden biri olan demiryolu, çeken ve çekilen taşıma araçlarının bir dizi halinde, belli bir yönden şaşmadan ve sürtünme direncinin mümkün mertebe düşürülerek sevk edilmelerini sağlayan bir ulaştırma sistemi arayışından doğmuştur (<http://düsünenadam.com.tr./demiryolu.htm>).

Demiryollarına duyulan ihtiyaç 18. yüzyılda kendini göstermiştir. Bu yüzyılda başlıca enerji kaynağı kömürdü. Kömürü ocaklardan tüketim noktalarına ulaştırmanın bedeli, üretim maliyetinin çok üzerindedir. Bu yüzyılda İngiltere'de kömür yataklarının denize yakın oluşuyla madencilikte diğer ülkelere göre önemli avantajlar elde etmiş, bunun sağladığı kolaylıklar neticesinde de madencilik alanında oldukça gelişmiştir. Özellikle Fransa'da 19. yüzyıl başlarında kömürün üretim maliyetinin on katı kadar ulaştırma maliyetiyle karşılaşılıyordu. 1550 yılında Fransa'da Alsace Maden Ocaklarında tahta raylar üzerinde insan gücüyle çalıştırılan dekoviller demiryolu taşımacılığının ilk örnekleridir. Ulaştırmada yaşanan yeni teknikler üretim maliyetlerinin düşmesini sağlarken aynı zamanda ürün fiyatının da ucuzlamasını sağlamaktadır. Nitekim Stephenson adlı bir mühendisin 1825 yılında Darlington maden ocağını Stockton limanına bağlayan bir demiryolu hattını yapması ulaştırma maliyetlerini olumlu etkileyerek, Stockton'da kömür fiyatları yarı yarıya ucuzlamış, 1829 yılında da ilk lokomotifini geliştirmesiyle de demiryolu çağı başlamıştır (Ergun, 1985).

Demiryollarının Avrupa'da ortaya çıkmasının sebebi; sanayi devrimiyle, demiryolunun birlikte hareket etmesiydi. Büyük hacimli mallar üretiliyor bunların taşınması gerekiyordu ve bunu taşıyacak sistem demiryollarıydı. Çünkü demir çelik

üretimi müthiş rakamlara ulaşmıştı ve bu demir çeliği emecek demiryolları gerekiyordu. Dolayısıyla Avrupa'daki üretim teknolojisinin demiryollarını yapabilecek hale gelmesi bu sistemi ortaya çıkarmıştır (Kaynak, 2003).

İlk demiryolu hattı 15 Eylül 1830 tarihinde Manchester ile Liverpool arasında faaliyete başlamıştır. Bu tarihten itibaren de demiryolu yapımına tüm Avrupa' da hız verilmiştir (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

1832 yılında Fransa'da, 1835 yılında Almanya'da, 1836 yılında da Brüksel' de ilk tren seferleri başlamıştı. Bir iki sene içinde Avusturya, Rusya, Hollanda ve İtalya' da tren seferleri başladı. Uluslararası ilk demiryolu hattı ise Belçika'nın Liege ile Almanya'nın Köln şehirleri arasında 1843 yılında hizmete açılmıştı. 1851–52 yıllarında Amerika'da da demiryolu ulaştırmaya açıldı (Özsoy ve İriç, 2001).

Demiryollarındaki gelişmeler genel anlamda dünyanın görünümünü değiştirmekle kalmayıp ülkelerin hem yatırımlarının bu yöne kaymasına hem de yeni hatların açılmasıyla ticaret hacminin değişmesine neden olmuştur. 1840 yılına geldiğimizde tüm dünyada toplam demiryolu uzunluğu yaklaşık 5000 mil iken, demiryollarındaki yeni yol yapımları bu tarihten sonrada tüm hızıyla devam etmiştir (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

1890 yılına gelindiğinde tüm dünyada döşenmiş demiryolu hattı 616.000 km.'ye, 1910 yılında da 1.030.000 km' ye ulaşmıştır. Bundan sonraki yıllarda hat yapımı hızını kaybederek devam etmiş, ancak demiryolu taşıtlarında özellikle lokomotiflerde gelişmeler kaydedilmiş, buharlı lokomotifler yerine dizel lokomotifler kullanılmaya başlanmış, böylece trenlerin hızı ve taşıma tonajları artırılmıştır. 1966 yılında elektrikli lokomotiflerin devreye girmesiyle hızı saatte 200 km' yi bulan sürat trenleri işletilmeye başlanmıştır (Kaypuntu, 2000).

1913 yılına gelindiğinde Fransa' da demiryolu uzunluğu 40 bin km.ye ulaşmıştır. Almanya'da ise bu tarihte demiryolu uzunluğu 63 bin km.dir. 1914 yılında Amerika' da toplam demiryolu uzunluğu 252 bin mildir (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

1.2. Ulaştırma Sistemlerinin Mukayeseli Bir Analizi

1.2.1 Güvenlik, Güvenilirlik Yönünden

Ulaştırma sisteminin güvenliği, kazalardan sakınılabilecek bir ortamın yaratılması şeklinde tanımlanmaktadır. Ulaştırma alt sisteminin güvenli olması denildiğinde onun tehlikesiz veya risksiz olması demektir. Bir ulaştırma alt sisteminin seçilip kullanılmaya başlanması sırasında trafiğin ana elemanlarını oluşturan insan-taşıt-yol ile çevre ilişkisini güvenlik amacıyla rasyonel esaslara bağlamak için alınabilecek birçok önlem bulunmaktadır. Ancak yapılabilecek bu önlemlerin her ulaştırma alt sistemine uygulanabilirliği ve buna bağlı olarak da mali portre çok değişmektedir. Zira her ulaştırma alt sistemi işletilme ögeleri yönünden belirli bir güvenlik getirmekle beraber, teknolojik yapısı bakımından sonradan güvenlik açısından alınabilecek önlemler için de bir yatkınlık göstermektedir. Ulaştırma alt sistemleri gerek doğal yapıları, gerekse teknik işletilme metotları ve bu metotları kolaylaştırıcı ve daha güvenceli bir duruma getirebilecek modern teknolojik buluşlara yatkınlıkları bakımından birbirlerine göre farklı güvenlik derecelerine sahiptirler (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Taşıtların hareket serbestliği yönünden ulaştırma alt sistemlerini ele aldığımızda;

1. 3 dereceli serbestliği bulunan sistemler. (Havayolları)
2. 2 dereceli serbestliği bulunan sistemler (Karayolu ve denizyolu)
3. Tek dereceli serbestliği bulunan sistemler (Demiryolu, kanal yolları, kablolu taşıma gibi kılavuz sistemler.) (Tümay, 1979).

Dünyada çeşitli ampirik çalışmalar sonucu ulaştırma alt sistemlerinde oluşmuş kaza sayısı ve ölüm sayılarına baktığımızda sistemlerin mukayeseli olarak birbirlerine karşı güvenliklerini de ortaya çıkarmış olmaktadır. Uluslararası Demiryolu Birliği istatistiklerine göre 1 milyar yolcu-km başına kazalarda ölen yolcu sayısı demiryolları ve havayollarında 1 kişi, karayollarında ise 30 kişidir. Yine Avrupa'da yapılan diğer bir araştırmaya göre, ulaştırma sistemlerinde ölüm riski 1 milyar yolcu-

km başına raylı sistemlerde 17 iken karayollarında 140; yaralanma riski de raylı sistemlerde 41 iken, karayollarında 8.500-10.000 arasındadır. 1997 yılı verilerine göre ülkemizde milyar yolcu-km başına düşen kaza sayısı; karayollarında 2.390 iken, raylı ulaştırma sistemlerinde 77 olmuştur. Meydana gelen kazalardaki ölü sayısı 1 milyar yolcu-km başına karayollarında 32 iken, raylı sistemlerde (kuruluşların hatalarından kaynaklanan) 3'tür. Yaralı sayısı ise 1 milyar yolcu-km başına karayollarında 656, raylı sistemlerde 27'dir (Dengiz vd., 1997).

Ulaştırma alt sistemleri içerisinde demiryollarında kazaların daha az olması nedenleri, kurallı ve belirgin seyir yöntemlerinin uygulanması, sinyal ve otomatik tren gibi özel emniyet sistemlerinin bulunması, işletme emniyetinin hava şartlarından etkilenmemesi ve merkezden kontrol edilebilir olması olarak sayılabilir (Öztürk, 1997).

1997–2000 yılları arasında gerçekleşen toplam demiryolu kazalarının % 86 sının deraylardan oluştuğu tespit edilmiştir. Demiryolu hattına bağlı derayların % 14'ü ray kırılması ve yol-makas arızasından kaynaklanmaktadır. Demiryollarında gerekli bakım ve yenileme çalışması yapılmadığı için sık sık ray kırılması ve yol makas arızası oluşmakta, bu da deraylara yol açmaktadır. Çünkü demiryolu hattına yapılan bakım ve yenileme çalışmalarına gereken önem verilmezse, meydana gelen ray kırılması ve yol-makas arızası istenmeyen durumlara yani deraylara sebep olacaktır. Özet olarak demiryollarında deray kazaları önlenemez kazalar olarak ortaya çıkmaktadır (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Türkiye'de karayolu ve demiryolu yolcu taşımalarına bağlı olarak meydana gelen kazaları mukayese etmek için TCDD istatistik yıllıklarında aşağıdaki çizelge oluşturulmuştur (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Çizelge 1.1. Kara ve Demiryolu Yolcu Taşımaları ve Kaza Sayıları (TCDD İstatistik Yıllığı 2004, Türkiye İstatistik Yıllığı 2004)

KARAYOLU				DEMİRYOLU		
Yıllar	Milyon Yolcu-Km.de	Ölü Sayısı	Kaza Sayısı	Milyon Yolcu-Km.de	Ölü Sayısı	Kaza Sayısı (*)
1999	175.236	4.596	438.338	6.146	17	799
2000	185.681	3.941	74.402	5.832	13	767
2001	168.211	2.954	63.381	5.568	11	636
2002	163.327	2.900	63.010	5.204	9	478
2003	164.311	2.811	59.394	5.878	9	556

Çizelge 1.1’de 1999–2003 yıllarında karayollarında ve demiryollarında milyon yolcu-km taşıma hacimleri ile, kaza sayısı, ölü sayısı rakamları görülmektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi, karayollarında 1999–2003 yılları arasında milyon yolcu-km başına trafik kazalarında meydana gelen ölü sayısı ortalama 3.440 iken, demiryollarında bu rakam yalnız 11’dir. Hem kaza sayısı bakımından hem de ölümlerle sonuçlanan trafik kazalarında demiryolu karayoluna göre daha güvenlidir. Kaldı ki demiryollarında meydana gelen kazaların ortalama olarak % 95’i geçitlerde meydana gelen demiryolu-araba çarpışmasından oluşmaktadır. Geçitlerde arabalar için köprü yapılarak kazalardan kurtulabilme imkânı bulunabilmektedir. Bu şekilde önlemlerin alınması durumunda demiryollarında kaza sayısı % 95 oranında azalabilmektedir (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

1.2.2. Çevre Yönünden

İnsanoğlunun doğaya hükmetmesiyle birlikte çevre kirliliği de ortaya çıkmıştır. Ulaşım hizmetinin yapılmasından doğan çevre kirliliğini ise, araçların hareketinin sağlanması için kullandıkları yakıtlardan çıkan gazlar ve sektörlerdeki sanayi atıkları oluşturmaktadır. Bu açıdan ulaştırma sistemlerine baktığımızda, demiryollarının hava

kirliliğindeki payı dizelli çekim nedeniyle % 5 iken karayollarının payı % 85 düzeyindedir. Elektrikli çekimin neden olduğu hava kirlenmesi söz konusu olmamaktadır. Demiryollarının arazi ve suların kirlenmesinde de payı azdır. Buna karşın, karayolu araçlarından çıkan yağlar, benzin istasyonlarındaki sıvı karbüranlardan oluşan maddeler çevredeki arazi ve sulara zarar vermektedir (Dengiz vd., 1997).

Ulaşım sistemlerinde kullanılan yakıt miktarlarına ve türüne bağlı olarak sistemlerin çevreye verdiği zarar değişmektedir. Demiryolunda birim işe düşen enerji tüketimi karayoluna göre 1/ 4–7 oranında daha az olmaktadır. Karayolunda yaygın şekilde benzin kullanılırken, demiryolunda dizel yakıt veya elektrik kullanılmaktadır. Dizel yakıtın meydana getirdiği kirlilik benzine göre oldukça azdır. Elektrikli çekimde ise, işletim sırasında emisyon oluşmazken yalnızca santral emisyonları dikkate alınmaktadır. Santral yerinin ve türünün seçimindeki serbestlik kirlilik açısından önemli avantaj sağlamaktadır. Demiryolunda hem birim işe düşen enerjinin az olması hem de kullanılan yakıt türünün oluşturduğu kirliliğin düşük düzeyde olması önemli avantaj sağlamaktadır. Dolayısıyla demiryolu işletmeciliği karayollarına göre çevreye daha az zararlı bir ulaştırma sistemidir (Öztürk, 1997).

1.2.3. Gürültü Yönünden

Demiryolu vasıtalarının mutlak değerlere göre; ses yayılımı, değişik ulaştırma türleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 1.2 'de verilmiştir (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Üst yapı ve çekicilerin uluslararası standartlarda olması durumunda, gürültü bakımından demiryolları öteki tür taşıma sistemlerine göre çok daha az gürültü çıkarması nedeniyle daha az zararlıdır. Karayolu motorlu araçlarında gürültü, motor hacmi ve susturuculara bağlı olarak değişmekle birlikte, karayollarında gürültü şiddetinin 72–92 desibel arasında değiştiği tespit edilmiştir. Buna karşın saatte 150 km hızla giden bir trenin çıkardığı gürültü hattın 25 m uzağındaki bir noktada 65 desibeldir. Sekiz saatlik bir çalışma için gürültü maksimum değerinin 90 desibel

olduğunu göz önüne alınca demiryollarının önemi daha da artmaktadır (Kesici ve Yener, 1979).

Çizelge 1.2. Yoldan 25 Km uzaklıkta gürültü şiddeti (dB= desibel) (Zengin ve Erel, 1999)

Ulaştırma türü		Gürültü miktarı
Demiryolu	200 km/saat. hız yapan TEE treni	60 dB
	Hızlı trenlerde	70 dB
	200 km/saat'ten fazla hız yapan trenlerde	85 dB
	Normal katarlarda	65–75 dB
Karayolu	Ortalama susturucu taşıtlar	79–92 dB
	Ağır karayolu taşıtları (not: bu türden diğer motorların gürültü miktarı, yol şartlarına göre farklılıklar gösterir)	103 dB
Havayolu	Normal uçaklar	103–106 dB
	Süpersonik uçaklar	106 dB' den fazla

1.2.4. Enerji Tüketimi Yönünden

Ulaşımında enerji tüketimi, araçların kat ettikleri mesafe başına kullandıkları enerji miktarını oluşturmaktadır. Herhangi bir aracın kullanım sırasında enerji harcamaları iki ana başlıkta toplanabilir.

1. Sürtünme kayıplarını karşılamak üzere harcanan enerji,
2. Kinetik enerji kayıplarını karşılamak üzere harcanan enerji.

Sürtünme kayıpları iki çeşittir. Birincisi, araç ile zemin arasındaki temastan, ikincisi ise aracın hava ile temasından meydana gelmektedir. Kinetik enerji kayıpları, belli bir hıza ulaştıktan sonra aracın frenleme sonucu durdurulması ile oluşur. Şehir içi taşımada en önemli etken, hızlanma-frenleme işlerinin yol açtığı kinetik enerji kayıplarıdır. Bu kayıpları önlemenin bir yolu, frenleme esnasında "rejenerasyon" (yeniden üretme) yolu ile aracın kinetik enerjisini depolamak veya merkezi sisteme iade etmektir. Raylı veya havai hatlı bir sistem kullanıldığında enerjiyi araç içinde depolamanın her hangi bir avantajı olmayacaktır. Ancak raylı sistemin bir avantajı, özellikle şehirlerarası taşımada yüksek payı olan yol ile sürtünme kayıplarını azaltmasıdır (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Çelik tekerlek ile çelik yol arasındaki sürtünme, karayolunda lastik tekerlek ile yol zemini arasındaki sürtünmeden çok daha az olduğundan, demiryollarında birim nakliyat başına enerji tüketimi çok düşüktür. Ayrıca elektrikli sistemlerle çok yüksek hızlara erişilmektedir (Duman, 1994).

Enerji tüketimi, yolcu başına ve yük başına tüketilen enerji olarak hesaplandığı gibi, özel bir coğrafyayla ilgili taşıma kapasitesinin doluluk oranına göre de hesaplanabilmektedir. Enerji tüketimi konusunda bir taşıtın yolcu sayısı, yük miktarı ve gidilen mesafe dikkate alınarak yapılan araştırmalara göre demiryollarının diğer taşıma türlerine göre daha tasarruflu olduğu tespiti yapılmıştır. Yolcu taşımacılığında demiryolu 1 kabul edilirse, otobüsler için otoyolda tüketilen enerji 3, havayolunda 5.2 olmaktadır. Bu oran karayolunda seyreden ağır vasıtalarda 8.7, iç sularda çalışan gemilerde 2 kat olarak tespit edilmiştir (Başköy, 2001).

Buna göre; demiryolları gerek yük, gerekse yolcu taşımacılığında denizyolu hariç, diğer sistemlere göre daha az enerji harcamaktadır. Yapılan araştırmalar, özellikle yük taşımacılığında demiryollarının çok daha ekonomik olduğunu ortaya çıkarmıştır (Çizelge1.3).

Çizelge 1.3. 1 Ton-Km ve 1 Yolcu-Km İçin Ulaştırma Modlarının Yakıt Sarfıyatı (Tarım ve Çetinel, 1979)

	1 Ton-km	1 Yolcu-km
DEMİRYOLLARI	1,00	1,00
KARAYOLLARI	9,80	11,60
DENİZYOLLARI	1,40	0,00
HAVAYOLLARI	0,00	45,80

1.2.5. Arazi Kullanımı Yönünden

İhtiyaç duyulan bir ulaştırma yolunun planlanması sırasında dikkat edilmesi gereken en temel husus değerli arazi ve doğal kaynaklara zarar verilmemesidir. Bu noktalara yeterli önem verilmediği takdirde, hem doğal çevre dengesini "ekolojik dengeyi" bozmakta, hem de ekonomik kayba neden olmaktadır. Doğal kaynakların yanlış kullanımı, arazinin bölünmesi, değerli arazinin yok edilmesi ve diğer çevre kirlilikleri ile eko-sistem arasında birebir etkileşim söz konusudur (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Ülkelerde ulaştırmaya ayrılan alan; yerleşim bölgeleri, endüstri alanları ve ormanların yanında oldukça düşük bir pay oluşturmaktadır. Ulaşım ağı oldukça iyi olan ülkelerde bile ulaştırmaya ayrılan alan %5 dolayındadır ve bunun yarısından azı demiryoluna düşmekte olup, bu oranın içinde şev (bayır) ve çimler de bulunmaktadır (Öztürk, 1997).

Yine de bu payı küçümsememek gerekir. Özellikle tarıma elverişli düz arazilerde karayollarının kullandığı arazi önemli bir ekonomik değeri kapsamaktadır. Oysa aynı kapasiteye sahip demiryollarının kullandığı arazi çok daha az olmaktadır.

Aynı kapasitede taşımacılık için demiryolları, karayollarına göre daha az arazi gerektirmektedir. Platform genişliği 13,7 metre olan çift hatlı, elektrikli bir demiryolu hattı kapasite açısından, 37,5 m. genişliğinde 6 şeritli bir otoyola

eşdeğerdir. Buna göre karayolları 2,7 kat daha fazla arazi kullanımı gerektirmektedir (Dengiz, vd., 1997).

1.2.6. Altyapı Maliyetleri Yönünden

Ülke kalkınmasında altyapı yatırımlarının önemi büyük olmakla birlikte, altyapı yatırımları içinde ulaştırma yatırımlarının önemi çok daha büyüktür. Bu yatırımların toplam harcama içindeki payı da küçümsenmeyecek boyutlardadır. Bu bakımdan alt yapı maliyetleri daha düşük olan ulaştırma sistemini kullanarak, ülkede kaynakların etkin kullanılmasında çok önemli olmaktadır. Aşağıda yol yapım maliyetleri açısından Karayolu-Demiryolu karşılaştırılması verilmektedir. Bu çizelge ulaştırma sistemimizde alt yapı maliyetleri açısından farklılığı görmemize yardımcı olacaktır.

Altyapı maliyetleri açısından; Almanya'da kabul edilen esasa göre platform genişliği 13.7 m. olan çift hatlı, elektrikli bir demiryolu hattı, kapasite açısından 37.5 m. genişliğinde altı şeritli bir otoyola eşdeğerdir. Buna göre demiryolu altyapı başlangıç maliyetleri; düz arazide karayolunun %54,5'i, orta engebeli arazide %73,5 düzeyindedir. Faydalı ömür başına düşen yatırım tutarına göre ise, demiryolu maliyetleri karayolu maliyetinin düz arazide %27,3'ü, orta engebeli arazide %36,8'i, engebeli arazide de %60'ıdır (Çizelge 1.4) (Dengiz vd.,1997).

Çizelge 1.4. Yol Yapım Maliyetleri Açısından Karayolu-Demiryolu Karşılaştırması (Yolun topoğrafik durumu göre) (Karayolu için : TCK'dan alınan bilgilere göre, 1 km otoyolun maliyeti :Düz arazide 6 milyon dolar, engebeli arazide 12 milyon dolar, ortalama 8 milyon dolardır) (Dengiz vd.,1997)

Demiryolları İçin:	Yapım	Faydalı	Yat. Tut./Fay. Ömür
	Maliyeti (\$/Km)	Ömür (Yıl)	(\$ / Yıl-Km)
DÜZ ARAZİ			
Çift Hat+Sinyalli+Elektrikli	1.356.873	30	45.229
Tek Hat+Sinyalli+ Elektrikli	894.678	30	29.823
ENGEBELİ ARAZİ			
Çift Hat+Sinyalli+ Elektrikli	2.961.117	30	98.704
Tek Hat+Sinyalli+ Elektrikli	2.143.704	30	71.457
ÇOK ENGEBELİ ARAZİ			
Çift Hat+Sinyalli+ Elektrikli	4.241.824	30	141.394
Tek Hat+Sinyalli+ Elektrikli	3.127.069	30	104.236

1.2.7. Ekonomik Kalkınma Yönünden

Kalkınma, ekonominin yapısında ve çarısında meydana gelen bir değişikliği ifade etmektedir. Yapısal değişim, üretimdeki teknolojik değişmeyi ve daha çok kitle halinde pazar için mal ve hizmet üretimini ve dolaşımını ifade eder. Başka bir ifadeyle, Kalkınma, toplumsal yapıyı geliştirme çabası olup, durumu düzeltmek, geliştirmek, ilerlemek anlamını taşır. Toplumsal Kalkınma Teorileri incelendiğinde, hemen hepsinin, kalkınma ve gelişmeyi, sosyal mobiliteye dayandırdığı görülmektedir. Buna göre, toplum hangi ölçüde mobiliteye sahipse o ölçüde kalkınma ve gelişmeye açık ve elverişli demektir. Sosyal ve ekonomik mobiliteye imkan veren etkin araç ise ulaştırma alt yapısıdır denebilir. Bu nedenledir ki, bir ülkedeki ulaştırma ağının yoğunluğu, bir gelişme ölçütü olarak

değerlendirilmektedir. Ulaştırma sistemlerinin özellikleri, avantajları ve dezavantajları birbirinden çok farklıdır. Bu açıdan, alt sistemler birbirinin rakibi değil, tamamlayıcısı olmalıdır. Sistemlerden birine ağırlık verip diğerlerini ihmal etmek ülke gerçekleriyle bağdaşmaz. Ulaştırma sistemlerinin koordineli ve kombine bir yapıda görev yapması ekonomik gelişmenin yadsınamaz bir unsuru olarak görülmelidir (Çelik, 2001).

Ulaşım sistemlerinin gelişmesi (özellikle demiryolu) gerek maliyet yönünden ve gerekse gelir ve talep yönünden yeni avantajlar sağlayarak sermayenin marjinal etkinliğini ve dolayısıyla yatırımları artırmıştır. Demiryolunun inşaatı, yönetimi ve işletilmesi bir teknik bilgi ve tecrübe birikimi sağlamış ve böylelikle sanayi devriminin başlamasında büyük rol oynamıştır. Yerel pazarların entegrasyonunu gerçekleştirerek piyasaların büyümesini sağlamış ve böylelikle uzmanlaşma ve teknolojik gelişmeyi teşvik etmiştir. Öte yandan maliyetlerde meydana gelen düşme dış ticareti artırmıştır. Bütün bunların sonucu olarak da milli hasılda, demiryolundan önceki dönemle kıyaslanamayacak ölçüde büyük artışlar olmuştur. Böylece iktisadi gelişme ve büyüme büyük ölçüde ulaştırma sistemindeki gelişmeye bağımlı hale gelmiştir (Ergun, 1985).

Rostow "İktisadi Gelişmenin Merhaleleri" isimli eserinde "kalkış" (take-off) aşamasına çok önem vermektedir. Rostow'a göre kalkışa geçişi sağlayan güçlü bir uyarıcı bulunmaktadır. Bu uyarıcı sanayileşmeye itici bir rol oynayacak dış etkilere sahip bulunan tek bir yenilik veya uluslararası yeni bir pazar v.s. olabilir. Ekonominin gelişmesinde, kalkınmanın gerçekleşmesinde "öncü sektör"ün rolü üzerinde çok duruyor. Öncü sektör, ekonomide daha hızlı gelişen, ekonomik yapı üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak büyük etkilerde bulunan sektördür (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

"Rostow'un gelişme teorisindeki öncü sektörünü, tarihteki örneklerle inceleyecek olursak, kalkışta önderlik eden sanayi kolu genellikle demiryolu olmuştur. Nitekim, ABD, Almanya, Fransa, Kanada, Rusya gibi ülkelerde kalkış safhası demiryolu endüstrisinin kurulması ile başlamıştır; demiryolu İsveç ve Japonya'nın

kalkınmalarında da önemli rol oynamıştır. Demiryolunun bu rolü ve önemi tesadüf değildir. Çünkü, demiryolu kurulması dahildeki ulaştırma masraflarının azalmasına sebep olmuş ve Adam Smith'deki anlamda piyasanın genişlemesi imkan dahiline girmiştir. Ulaştırma masraflarının azalması aynı zamanda ihracat imkânlarını da artırmıştır. Bütün bu gelişmeler bazı ülkelere (mesela ABD'ye) yabancı sermayenin akmaya başlaması için dahi bir vesile teşkil etmiştir (Hiç, 1981).

Demiryolu ile birlikte ulaştırma maliyetinde çok büyük bir düşme sağlanmıştır. Bu sayede ülkelerin deniz ve nehir ulaştırmasına uzak ve iç bölgelerde kapalı kalmış yerlerin çok büyük bir kısmının kısa zamanda büyümesine ve büyük üretim merkezlerine dönüşmesine yol açmıştır. Ancak demiryolu şebekesi kuruluş aşamasında ülke sathının bütününe yayılamamıştır. Demiryolları daha çok ovaları ve düzlük yerleri dolanarak ülkenin kıyılarına doğru güzergâh oluşturmuştur. Böylece üretim birimleri ya da firmalar demiryolunun geçtiği güzergâhlara kurulmaya başlamıştır. Yeni yatırımlar tren hattı boyunca ve istasyona yakın yerlerde yapılmaya, böylece demiryolunun ulaştırmada sağladığı kolaylıklardan firmalar yararlanmaya başlıyorlardı. İşte bu şekilde demiryollarına yakın firmalar hem daha çok üretim hem de dönemine göre daha ileri teknoloji kullanılarak demiryollarından uzak kurulu firmalara göre daha büyük bir avantaja sahip oldular. Demiryollarına uzakta bulunan firmalar, daha yüksek maliyetle çalıştıkları için ya piyasayı terk etmek zorunda kaldılar ya da avantajlı mevkilere gelerek üretim yapmaya geçtiler. Böylece demiryolları ülke sathında bir "farklılaştırma etkisi" yaratarak, demiryollarının geçtiği yerlerde yatırımlar yoğunlaştı, iç ve dağlık bölgelerden demiryollarına doğru bir göç başladı. Demiryollarının geçtiği yerlerde işletmelerin maliyet yapıları ve sürüm imkânları iyileştiği için bu bölgelerde sermayenin verimliliği ve etkinliği de arttı. Bu son durum ülke sathında bir 'kutuplaşmaya' yol açtı. Yani ülkede bazı bölgeler hızla gelişirken diğer bölgelerde hızla gerilemeye başlandı. Sermayenin gelişen bölgelerde daha verimli ve etkin hale gelmesiyle birlikte üretim artışı sağlandı ve bu bölgelere yönelen göçlerin de etkisiyle talep artmaya başladı. Talebin artışına paralel olarak daha fazla ve yeni yatırımlar yapılmaya başlandı. İşte bu zincirleme etkiyi gerçekleştirebilen ülkeler sanayileşmeyi başardılar, gerçekleştiremeyen ülkeler ise geri kaldılar (Akın, 2003).

Nitekim kalkınma teorileri ile ilgili çalışmada bulunan iktisatçıların çoğu kalkınmada demiryollarının önemini vurgulamaktadırlar.

Uygun yatırım-kalkınma ortamı için genel koşullar:

1. Endüstriyel alt yapı (sermaye stoku, yeni ürün, ürün çeşitlemesi, pazar payını artırma: kısaca, teknoloji, yenilik ve AR-GE vs) Örnek, hızlı tren tekniğini üretebilme; ray üretimi ve teknolojisinde hızlı trene uyumlu gelişme gibi
2. Organizasyon (Beşeri sermaye, meslek-içi eğitim, satış sonrası servis, iyi yönetim, devlet-piyasa ilişkisi, mülkiyet fikri haklar, hukuk-kural-üstünlüğü vs). Örnek, hızlı trenin hayata geçirilmesi için aşamaları da kapsayan planlamanın yapılması; kaynakların buraya aktarılmasına yönelik olarak toplumsal uyuşmanın sağlanması, teknik ve idari personelin yetiştirilmesi, yatırımların kaynak yetersizliği nedeniyle uzamaması gibi.
3. Doğal koşullar-kaynaklar (madenler vs.). Burada tipik bir geriye ve ileriye doğru bağlantı etkisi analizi yapılabilir. İthalat bağımlılığı, teknolojik düzey gibi kavramlarla da örnek-analiz genişletilebilir. Hızlı trenin (çıktının) girdisi olan teknolojik açıdan nitelikli rayın üretimi için demir çelik sektörüne ihtiyaç vardır. Bu sektörün de önemli girdisi nitelikli demir cevheridir. Kısaca demir-çelik sektöründe entegre tesis kurulması, dışa bağımlılığı daha az olan bir ekonomik büyüme sürecini doğurmaktadır. Ülkenin koşulları bunları yurt içinden sağlamaya olanaklı ise hem döviz tasarruf edilebilir hem de teknolojik birikime sahip olunur.
4. Finansman (makro kısa dönem istikrar ve dört makro dengenin sağlanması, borç yönetimi, dış borçlanma, doğrudan yabancı sermaye yatırımı vs.). Makro istikrarın sağlanması, aslında uzun-dönem büyüme olgusu için ön koşuldur. Özellikle özel sektörün-yatırımcının karar alma sürecinde belirsizlik (beklentilerin netleşmemesi) olmamalıdır. Makro dengesizlikler, belirsizlik ortamı oluşturur ve yatırım kararları etkilenir (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Türkiye'nin makro dengelerindeki bıçak sırtı (gerek yurt-içi tasarruf yetersizliği gerekse dış dengesizlik nedeniyle döviz gelirleri yetersizliği) veri alındığında, dışarıdan ek bir borçlanma ile ancak komple bir hızlı tren projesine kamu yatırımı

mümkün olabilir. Borç doğurma niteliği olmayan doğrudan yabancı sermaye de tanım gereği yatırım yapılabilir (Yiğidim, 2004).

1.2.8. Yatırımların Etkileri Yönünden

Ekonomik kalkınma yönünde bahsettiğimiz gibi, taşıma giderlerinin azalmasıyla işletmeler ölçeklerini büyütme imkânı bulabildiler. Diğer yandan demiryollarında yatırımların artışı ile birlikte gelirden de büyük ölçüde artışlar olmuştur (yatırımların gelir etkisi). Gelirin artması, talebi artırıyor (özellikle yatırım yönünden), talep artışı ile birlikte sürüm de artıyordu. Bu durum yeni yatırımları uyarıyordu. Zamanla bu etkileşim tekrarlanıyordu: Yeni yatırımlar, gelirleri arttırıyor, gelir artışı talebi v.s. böylelikle sanayileşme kendi kendini besler duruma gelmişti. Demiryolları bir taraftan firmaların daha çok yatırım yapmasını sağlarken, diğer yandan demiryolları bizatihi bir yatırım alanı haline geldi. Demiryolu taşımacılığı yaygınlaştıkça bu yolların devamı için ucuz ve daha iyi kalitede çelik üretimine önem verildi. Böylece modern çelik sanayi kuruldu. Ucuz ve kaliteli çelik üretimi gerçekleştikten sonra, bu çeliğin diğer kesimlerde kullanılmasına başlandı. Özellikle demiryollarında vagon üretiminden lokomotif üretimine kadar birçok yeni yatırım sahasında en önemli girdi olarak çelik kullanıldı. Bunun yanında modern çelik gemilerin inşası, makine, araç-gereç ve çelik kazanlar yapılarak "çelik sanayi" doğdu. Böylece demiryolları inşaatı ve çalıştırılmasından elde edilen teknik bilgi ve tecrübe birikimi, Batı Avrupa' da Rostow' un "safhalar" teorisindeki olgunlaşma devriminin başlamasına bir zemin teşkil etmiştir (Ergun, 1985).

Bütün bu incelemelerin sonunda ideal ulaştırma ihtiyaçları açısından karayolu demiryolu sistemlerinin mukayese edilmeleri için özellikleri Çizelge 1.5'de özet olarak verilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi, demiryollarının kara yollarına göre üstünlüğü çok fazladır (Akın ve Sultanoğlu, 2006).

Çizelge 1.5. İdeal ulaştırma ihtiyaçları açısından karayolu ve demiryolu sistemlerinin karşılaştırılması (Tarımve Çetinel, 1979)

Sistem	Elverişlilik	Enerji tüketimi	Hız	Emniyet	Güvenirlilik	Çevreye etki
Demiryolu	Kitle yük taşımımı Toplu taşınım.	Özellikle yük taşınımın da az	yüksek	yüksek	çok iyi	az
Karayolu	Özel taşıma ve seyahat. Kısa mesafe taşınması.	Toplu yolcu taşınımı dışında çok	orta	düşük	orta	çok

Demiryolları, ağır ve masraflı bir taşıma aracıdır; uzun amortisman vadelerini zorunlu kılar. Bir trenin seyri, bir karayolu aracınınkinden veya bir uçağınkinden büyük ölçüde ayrılır. Bir trenin parkuru kesintisiz 'Slot'ların (boşluk) ardı ardına sıralanmasından oluşur. Her gar, her sinyal, her tek nokta, trenin harfi harfine izlediği önceden programlanmış durumdadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Demiryolu Hatlarının Geometrik Karakteristikleri

Demiryolu hatlarının gerek etüdü ve tasarımı, gerekse işletilmesi için bilinmesi gereken ve önem taşıyan karakteristiklerinden başlıcası "geometrik karakteristikleri" dir.

Bunlar:

1. Hat genişliği
2. Yatay kurbalara ilişkin karakteristikler (özellikle minimum kurba yarıçapı ve bunun saptanması için bilinmesi gerekli öteki büyüklükler, kurbaların birleştirilmesine ilişkin esaslar, birleştirme eğrisi türü v.b.)
3. Eğimler ve eğimlerin birleştirilmesine ilişkin esaslar ve büyüklükler
4. Enkesitler
5. Gabariler

olarak sıralanabilir. Bu karakteristiklerin saptanmasında veri olarak hıza gereksinim duyulur. Aslında bunların dışında da hız özellikle "proje hızı" etüd ve tasarımın temel ögesidir. İşletme sırasında da çeşitli hız kavramlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle, yukarıdaki karakteristikleri incelemeye hız kavramlarından başlıcalarını tanımlamakla başlamak gereği vardır (Evren,1998).

2.1.1. Hız

Yukarıda açıklanan teknik büyüklüklerin ve niteliklerin çoğunun saptanmasında veri olarak hıza gereksinim duyulur. Burada önemli iki farklı hız kavramını tanımlamakla yetinilecektir.

1. Hat sınır hızı (ya da proje hızı)
2. Uygulanabilir maksimum hız

Hat sınır hızı yalnız güzergâh planı nitelikleri (yani kurba) bakımından uygulanabilecek maksimum hızdır.

Uygulanabilir maksimum hız ise bir sistem olarak demiryolunun tüm elemanlarıyla uygulanmasına olanak sağladığı en büyük hızdır. Bu hız elbette ki taşın işlemi için esas olan hız olup bütün elemanlara ait hızlardan en küçüğüdür (Evren,1998).

Hat sınır hızı, güzergâha ait (plan ve boy kesit olarak) teknik nitelik ve büyüklüklerin saptanmasında esas alınır. Çünkü bunların değiştirilmesi güç olduğundan, bağlayıcıdırlar. Bu hız incelenen bağlantının geçeceği bölgenin ekonomik, sosyal, kültürel, turistik nitelikleriyle birlikte topoğrafik ve ulaşım açısından nitelikleri de göz önüne alınarak gelecekteki hız gelişimine cevap verecek biçimde saptanmalıdır. Yani gelecekte muhtemel bir hız artışı gereği karşısında güzergâh nitelikleri engel olarak ortaya çıkmamalıdır. Çünkü üstyapı ve çekim düzeninin istenen yeni hıza göre düzeltilmesi güzergâha göre daha kolaydır. Güzergâhın ıslahı ise teknik ve ekonomik yönden çoğu kez olanaksızdır (Evren,1998).

Uygulanabilir maksimum hız ise üst yapı, çekim, işletme v.b. gibi taşın işlemine ilişkin tüm öteki elemanların saptanması bakımından gereklidir. Bölgenin mevcut koşullarına göre ilk yaklaşımla saptanır. Kesin etüd aşamasında ayrıntılı bir incelemeyle uygun optimum değerleri belirlenebilir. Yani uygulanabilir maksimum hızın optimum hız araştırması sonuçlarına göre belirlenmesi gerekir. Bu hızın yolcu ve yük trafiği için hatta bunların alt grupları için farklı olacağı unutulmamalıdır (Evren,1998).

2.1.2. Hat Genişliği

Bir demiryolu hattında iki ray dizisi başlarının iç yanakları arasında kalan aralığa hat genişliği denir. Herhangi bir hat boyunca her noktada hat genişliği sabittir. Ancak hattın döşenmesi sırasındaki hatlardan ve aşınmadan ötürü kabul edilebilir ölçüde farklar bulunabilir. Ayrıca küçük yarıçaplı ($R = 300$ m. de 2 mm., $R = 600$ m. de 1 mm.) kurba kısımlarında bazı dingil takımlarının serbestçe geçebilmesi için yine küçük ölçüde genişlik fazlası verilir.

Hat genişlikleri bakımında 1435 mm. değeri esas alınmak üzere hatlar üçe ayrılabilir. 1435 mm. genişliğine sahip hatlara normal hatlara, genişliği bundan küçük olanlara dar hatlar ve 1435 mm. den büyük genişliğe sahip hatlar "geniş hatlar" denir, İspanya, Portekiz, Brezilya, Panama, Amerika Birleşik Devletleri, Şili, Rusya, İrlanda ve Hindistan'da farklı (1448–1667) genişliklerde geniş hatlar uygulanmıştır. Japonya, Jawa Sumatra, Mısır ve daha birçok Afrika ülkelerinde de gene farklı büyüklüklerde (1000–1067) dar hatlar kullanılmaktadır. Dünyadaki 1 milyon km. ye yaklaşan demiryolu hatlarının %75 dolayındaki kısmı normal hatlardır (Evren,1998).

2.1.3. Kurbalar

Bütün taşın yolu güzergâhlarında olduğu gibi demiryolları da doğru ve kurba kesimlerinden oluşur. Kurbalar güzergâhların özel kısımlarıdır. Bunlar daire parçalarıdır. Yarıçapları 300 m. den başlamak günümüz koşullarında 3500–4000 m. ye ulaşmıştır. Çünkü kurbalarda doğru kesimlerine göre, özel bir tedbir alınmadığı takdirde bazı sakıncalı durumlar ortaya çıkar, öncelikle bunları belirtmekle başlamak gerekir (Evren,1998).

2.1.3.1. Kurba Kesimlerinin Sakıncaları

R = |m| yarıçaplı bir kurbada G(t) ağırlığında bir demiryolu arabasının v (m/sn) hızla hareket ederken arabanın M ağırlık merkezine $F = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R}$ tonluk kurba dışına yönelik bir merkez kuvvet etki yapar. Bu kuvvetin etkisi sonucunda

1. Araba kurba dışına doğru kaymasından ötürü dış tekerlek budenleri, dış ray mantarının iç yanağına basınç yaparak, budenlerin aşınmasına ve ek direnimsizliğine neden olur.
2. Araba $M_d = F \cdot h$ (tm)'lik bir devirme momentinin etkisi altında kalır. Burada h = |m| cinsinden olmak üzere araba ağırlık merkezinin yuvarlanma yüzeyine

uzaklığıdır. Söz konusu devirme momentine karşılık $M_m = G_w \cdot \frac{e}{2}$ (tm)

lik bir karşı koyma momenti meydana gelir. e $|m|$ cinsinden hat genişliğidir.

3. F ve G kuvvetlerinin Q bileşkesi kurba dışına doğru eğik ve buna karşı raylardaki tepki kuvvetlerinden A, B den büyük olur (Evren,1998).

2.1.3.2. Kurbalardaki Sakıncalara Karşı önlem Olarak: Dever

Kurbalardaki merkezkaç kuvvetin doğurduğu sakıncaları ortadan kaldırmak için hattın doğru kısımlarında yatay olan yuvarlanma yüzeyi, kurbalarda dış ray dizisine doğru yükselen bir eğik yüzey haline getirilir. Bu eğik yuvarlanma yüzeyini oluşturabilmek üzere dış ray dizisine içtekine göre verilen yükseklik fazlasına "dever" denir. Dever sayesinde merkezkaç kuvveti, araba ağırlığının aynı doğrultu ve karşıt yöndeki bileşeni ile ya yok edilir ya da zararsız ölçülere düşürülür.

Dever aşağıdaki formülle ifade edilmektedir (Evren,1998):

$$d = 11,8 \frac{V^2}{R} \quad (2.1)$$

2.1.3.2.1. Pratik Dever

Bir güzergahta $V_1 < V_2 < V_3 < \dots < V_h$ olmak üzere değişik hızlarla katarların seyrettiğini düşünelim. Teorik dever belirli bir hıza göre saptanacağından, bu hesap hızı (V.)

$$V_{\min} < V_h < V_{\max}$$

olduğunda: Bazı hızlar V. den büyük bazıları V_h den küçük

Büyük hızlarda $P > U$

Küçük hızlarda $P < U$

olur. Yukarıdaki her iki durumda ortaya çıkacak sakıncaların kabul edilebilir sınırlar içinde kalması için

1. Güvenlik
2. Konfor ivmesi
3. Dever sınırı koşullarının ve olanaklıysa
4. Eş ray aşınımı koşulunun sağlanması gerekir.

Küçük hızlara göre saptanmış dever büyük hızlarda yok edilmeyen merkezkaç kuvvetlerin, katarları zararlı biçimde etkilemeleri sonucunu doğurur. Bu durum $P > U$ olması ve $K = P - U$ gibi yok edilmeyen bir merkezkaç kuvvetin katarları etkilemesi demektir. Yukarıdaki açıklamaların ışığında:

$$K = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R} - G \cdot \frac{d}{e} \quad (2.2)$$

ve V (km/st), $g = 9,81$ m/sn ve $e = 1500$ mm için katarın tonu başına yok edilmeyen merkezkaç kuvvet (Konfor katsayısı = γ)

$$k = \frac{K}{G} = \frac{V^2}{127 R} - \frac{d}{1500} \quad (2.3)$$

olur. Bu yok edilmeyen merkezkaç kuvvete ait ivme ise

$$\frac{K}{G} = \frac{9,81 \cdot V^2}{127 R} - \frac{9,81 \cdot d}{1500} \quad (2.4)$$

ve buradan

$$\gamma = \frac{V^2}{13 R} - \frac{d}{153} \quad (2.5)$$

olur.

Dever büyük hızlara göre saptandığında, bu kez daha küçük hızlar için yok edilmeyen merkezci kuvvetlerin varlığı söz konusu olur. Çünkü $U > P$ dir. $K = U - P$ ise yok edilmeyen merkezci kuvvettir. Yukarıdaki açıklamalara dayanarak:

$$k = \frac{K}{G} = \frac{d}{1500} - \frac{V^2}{127 \cdot R} \quad (2.6)$$

ve ivme için

$$\gamma = \frac{d}{153} - \frac{V^2}{13} \quad (2.7)$$

Taşıtların tonu başına yok edilmeyen merkezci kuvvetlerin ve merkezkaç kuvvetlerin (ki bunlara konfor katsayısı denir) ya da bunlara ait ivmelerin belirli değerleri aşması halinde yolcuların rahatsızlığı kabul edilemeyecek ölçülere varır ve yükler de arabalar içinde kayarlar.

Yukarıdaki açıklamalara ve bağıntılara göre

$$d_{\min} = 11,8 \frac{V_{\max}^2}{R} - 153 \gamma_{\max} \quad (2.8)$$

$$R_{\min} = \frac{11,8 \times V_{\max}^2}{d_{\max} + 153 \cdot \gamma_{\max}} \quad (2.9)$$

elde edilir. Burada (γ) konfor ivmesi anlamını taşımaktadır. Belirli γ_{\max} , d_{\max} değerleri için R_{\min} değeri verilmiş bir hat üzerinde uygulanacak maksimum bir hız vardır:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{(d_{\max} + 153 \cdot \gamma_{\max}) R_{\min}}{11,8}} \quad (2.10)$$

(2.10) bağıntısı ise belirli bir γ_{\max} değerine göre belirli bir deveri haiz R yarıçaplı bir kurbadan en küçük geçiş hızının saptanmasına olanak sağlar.

$$V_{\min} = \sqrt{\frac{(d_{\max} - 153 \cdot \gamma_{\max})R}{11,8}} \quad (2.11)$$

olur. R_{\min} için hat boyunca geçerli V_{\min} değeri elde edilir.

Ayrıca (2.10) bağıntısından yararlanarak belirli bir V hızına göre yok edilmeyen merkezci kuvvetten ötürü γ_{\max} in aşılmayacağı biçimde katar geçişini sağlayacak en büyük dever miktarı saptanabilir. Bu dever miktarı küçük hızlı katarlar için önem taşıdığından hız olarak V_{\min} olarak incelenen hat için deverin en büyük değeri elde edilir. R |m| yarıçaplı bir kurba için en büyük dever:

$$d_{\min} = 11,8 \frac{V_{\max}^2}{R} + 153\gamma_{\max} \quad (2.12)$$

olur.

Şimdiye kadar yapılan açıklamalar, farklı hızlardaki katarların seyrettiği hatlarda (ki uygulamada durum böyledir) teorik dever bağıntısındaki hızın seçiminin bir sorun olduğunu göstermektedir. Uygulamada dengelenmemiş yanal ivmelerin belirli sınır değerleri aşmaması anlamına gelen konfor koşulu ile teknik ve güvenlik koşullarını sağlayacak biçimde belirlenen bir hızdan yararlanarak d_{\min} ve d_{\max} değerleri arasında bir dever hesaplanması gerekmektedir. Böylece saptanan devere "pratik dever" denilmektedir (Evren,1998).

2.1.3.3. Bir Kurbada Pratik Dever Saptanmasında Sağlanması Gerekli Güvenlik Koşulları

Güvenlik koşulları iki tanedir. Birincisi arabaların raydan çıkmaması, diğeri ise yolun deforme olmasıdır. Teorik incelemelere ve deneylere göre, demiryolunda

yolun deforme olmaması koşulu arabaların raydan çıkmaması koşuluna göre çok daha ciddidir. Çünkü arabaların raydan çıkması ancak yolun direncini aşan bir enine kuvvetin etkisiyle olabilmektedir. Başlangıçta deverin gereğini açıklarken elverişsiz koşullar altında deversiz bir kurbadaki devrilme olasılığının incelenmesi de arabaların yalnız merkezkaç kuvvetinin arabaların devrilmesine yetecek ölçüde olmadığını göstermişti (Evren,1998).

Yolun deforme olmaksızın dayanabileceği maksimum enine kuvvet:

$$F_{dmax} = (a + b \cdot P) [1 + c \cdot \log(1 * T)] \quad (2.13)$$

ya da daha basit olarak

$$(F_d)_{max} = a + b \cdot P \quad (2.14)$$

bağıntısıyla ifade edilebilmektedir. Burada P ton cinsinden dingil yükünü, T sonuncu yol bakımından sonra yol üzerinden geçen yükü (t. olarak), a, b, c ise yolun donatısına, niteliklerine ve bakım yöntemine bağlı katsayıları göstermektedir.

2.1.3.4. Teknik Koşul ve Deverin Sınırlandırılması

Aşağıda açıklanan bazı teknik zorunluluklar dever miktarının belirli bir (d_{max}) değeriyle sınırlandırılması koşulunu ortaya koyarlar. $d < d_{max}$ biçimindeki teknik koşulu gerektiren nedenlerin başlıcaları :

1. Dever nedeniyle kurbadan geçişte arabaların dış ray tarafındaki üst köşe yükselir, iç ray tarafındaki üst köşe ise yatay olarak iç tarafa doğru kayar. Bu durum deverin belirli bir değerden büyük olması halinde kurbalardaki sanat yapılarının kesitlerini genişletme zorunluluğunu ya da belirli kesit içinden geçilememe sonucunu doğurur.
2. Arabaların kurbada durmaları halinde dış taraftaki kapıların açılması ve basamaklar yukarıda kalacağı için iniş binişler güçleşir (ayrıca küçük hızlı

katarlar bakımından konfor koşulu gereği olarak deverin sınırlanması söz konusu idi).

Yukarıdaki nedenlerle dever Polonya'da 130 mm., Hollanda ve İsveç'te 120 mm., Macaristan'da 110 mm., Almanya'da 160 mm., Fransa'da 180 mm., TCDD de 150 mm. ile sınırlanmıştır. Aslında katar durmasına ilişkin sakıncalar 120 mm. den büyük deverlerde ortaya çıkar. Bu nedenle katarların durması söz konusu olan kurba deverlerinde 120 mm. ve öteki deverler için daha büyük sınır değerler saptanabilir (Evren,1998).

2.1.3.5. Deverin Uygulama Şekilleri

Deverin uygulaması üç farklı şekilde olabilir.

1. Dış ray içteğine göre dever miktarı (d) kadar yükseltilir. Bu durumda hat eksenini (d/2) kadar yükselmiş olacaktır.
2. İç ray içteğine göre (d) kadar alçaltılır. Böylece hat eksenini (d/2) kadar alçalmış olur.
3. Dış ray dizisi (d/2) kadar yükseltilirken içteki de (d/2) kadar alçaltılır. Bu durumda hat eksenini kotunda hiç bir değişiklik olmaz.

Eksen kotunun değişmemesi nedeniyle bazı işletmeleri 3. uygulama şeklini kabul etmiş olmakla birlikte, yaygın uygulama dış rayın yükseltilmesi olan 1. şekildir.

Bu durumda dış rayın yükseltilmesi iki biçimde gerçekleştirilebilir:

1. Balast tabakası kalınlığının değiştirilmemesi, fakat altyapı platformuna, kurba dışına doğru gerekli şekilde yükseltilmesi için, yuvarlanma yüzeyine paralel bir eğim verilmesi.
2. Balast tabakası kalınlığının dış ray düzeyinde dever miktarı kadar artırılması (Evren,1998).

2.1.3.6. Birleştirme Eğrisi

2.1.3.6.1. Kurbalarda Birleştirme Eğrisinin Gerekliliği

Güzergâhın doğru kısmından sonra doğrudan doğruya dairesel kurbaya girilmesi halinde, bu kesimde dış raya (d) dever miktarı kadar i raya göre yükseklik fazlası verildiğinden araba dingilleri deverin oluşturduğu çıkıntıyı aşamaz ve boyuna yönde bir çok (arpma) olur. Öte yandan dairesel kurbaya girişte dengelenmemiş merkezkaç ya da merkezciil kuvvet ani olarak etkiyeceğinden enine yönde de bir çok etkisi doğacaktır. Bu nedenlerle deverin uygun bir (l_b) uzaklığı boyunca yavaş yavaş artırılarak dairesel kurba başında (d) değerine ulaştırılması gerekir. Bu işlem üç biçimde gerçekleştirilebilir.

1. Dış rayın kurbadan önce (l_b) uzaklığında yükseltilmeye başlanması
2. Kurba başından itibaren dış rayın yükseltilmeye başlanması
3. Dış rayın kurba başından önce ($l_b/2$) uzaklığında yükseltilmeye başlanması.

Sözü edilen her üç çözümde (l_b) uzunluğunda sırasıyla merkezciil kuvvet, merkezkaç kuvvet ve ilk yarısında merkezciil, öteki yarısında da merkezkaç kuvvet doğması nedenleriyle uygun değildirler.

Yapılması gereken, hem deverin ani olarak başlatılmasının hem de yukarıdaki üç uygulama biçimi sakıncalarını da ortadan kaldıracak bir çözüm elde etmektir. Bu amaçla, deverin sıfırdan başladığı kesimle (d) değerine ulaştığı kurba kesimi arasında aşağıdaki özellikleri sağlayan bir eğri parçasının konulması gerekir. Bu eğriye "birleştirme eğrisi" denilmektedir (Evren,1998).

Birleştirme eğrisinin esas zellikleri:

1. Herhangi bir noktada dış rayın o noktadaki yükselme miktarıyla dengelenecek bir merkezkaç kuvveti doğuran bir eğriliğin bulunması

2. Başlangıç noktasında güzergâhın doğrudaki bölümüne, dış rayın yükselmesinin (d) ye eşit olduğu noktada da daireye teğet olması (Evren,1998).

2.1.3.6.2. Birleştirme Eğrisinin Denklemi

Yukarıda belirlenen özelliklere göre birleştirme eğrisinin denklemi yapılan çalışmalarla;

$$y = \frac{x^3}{6 R . l} \quad (2.15)$$

olarak bulunmuştur. Buna "kübik parabol" denir. Demiryollarında çok yaygın olarak kullanılan eğri kübik paraboldür. 300 km/saat'e varan hızlar için bile geçerliliği vardır. Ancak yüksek hızlarda uç noktalara küçük geçiş eğrileri konulmaktadır (Evren,1998).

2.3.4. Eğimler

Demiryollarında eğimler %0 olarak ifade edilmektedir.

Demiryollarında kullanılan değişik eğim kavramları:

- a. Ortalama eğim
- b. Uygulama eğimi,
- c. Kurbalarda, tünellerdeki eğimler
- d. İstasyonlardaki eğimler
- e. En büyük eğim
- f. Zararlı ve zararsız eğimler
- g. Negatif eğim,
- h. Ekonomik eğim
- i. İstasyon başlarındaki eğimler

olarak sıralanmaktadır (Evren,1998).

2.1.5. Enkesitler

Hatların enkesitleri yarmada veya dolguda bulunmalarına tek hatlı veya birden fazla hatlı, açık havada veya tünelde, doğruda veya kurbada olmalarına, travers uzunluğuna, travers yanlarındaki balast omuzlarının genişliklerine, balast kalınlığına, balast şevlerinin eğimlerine, balast kenarındaki banket genişliklerine, bombe ya da yanal eğimlere, kablo ve su kanallarının boyutlarına, elektrik direklerinin konumlarına, hat sayısının birden fazla olması durumunda hat eksenleri arasındaki uzaklıklara ve serbest alan gabarisine bağlı olarak belirlenir (Evren,1998).

2.1.5.1. Hat Eksenleri Arasındaki Uzaklık

Hat eksenleri arasındaki uzaklık, araba gabarilerine, yan yana geçen katarların meydana getirdikleri aerodinamik etkilerle, üstyapı bakımı için yararlanılan yöntemlere göre saptanır. Aerodinamik etkiler hıza bağlıdır. Günümüzün yüksek hızlarında, diğerleri yanında bakım yönteminin gereği önemini yitirmiş olduğundan, bu açıdan özel bir inceleme yapmaya gereksinim duyulmamaktadır (Evren,1998).

Yoldaki karşılaşmalar sırasında katarların birbirlerine hava basıncı uyguladıkları gözlemlenmektedir. Katarların birbirlerine yakın geçmeleri ölçüsünde bu basınçların şiddeti artmaktadır. Bu basınçlar direnimi arttırdığı gibi, katarların stabilitesini de olumsuz biçimde etkilerler. Aerodinamik açıdan yapılan incelemeler, katarların dayanabileceği hava basıncının, gabariye göre, 130–170 kg/m² dolayında bulunabileceğini göstermektedir (Evren,1998).

Yüksek hızların söz konusu olmadığı demiryollarında hat eksenleri arasındaki uzaklık 3,5 m. iken, yüksek hız hatlarında 4,40m. ye kadar çıkmıştır.

2.1.5.2. Enkesite İlişkin Diğer Büyüklükler

Enkesite ilişkin diğer büyüklükler, işletmeden işletmeye değişmektedir. Burada, son dönemlerde yapılan yüksek hızlı hatlar göz önüne alınarak bir fikir verebilecek büyüklüklerin önerilmesiyle yetinilmektir. Bir kısmı üstyapı elamanlarının boyutlanmasına ilişkin bazı büyüklükler şunlardır:

1. Balast kalınlığı, platform ekseninde 40 cm.
2. Travers uzunluğu 2,80 m.
3. Travers uçlarından itibaren balastın yayıldığı uzunluk 50 cm.
4. Balast şevlerinin eğimi 1/2,3
5. Platform üzerinin yana doğru eğimi (bombe) %2,5

Bu büyüklüklerin kabulüyle, hat ekseninden banket başına kadar 3,15 m. olmaktadır.

Banket genişlikleri artan trafik ve yükselen hızlar karşısında etkili bir mekanik bakımın gerektirdiği boyuta göre saptanmalıdır. Bu genişlikler için 200 km/saat hızların uygulandığı hatlarda 120 cm., onun üstündeki hızların uygulandığı hatlarda 135 cm. olarak önerilebilir..

Yarmalarda su ve kablo kanalları, dolgularda ise yalnızca kablo hendekleri enkesitlerde göz önünde bulundurulmaları gereken öğelerdir. Bunların dışında, yalnız bir tarafta olmak üzere elektrik direklerinin ankrajı için gerekli beton bloklar oluşturulmalıdır (Evren,1998).

2.1.6. Gabari

Gerek çeken gerekse çekilen taşıtların mümkün olan en büyük yapım çerçevesini (çerçeve çizgisini) ve ayrıca yola göre sabit engellerin ve özellikle sanat yapılarının konumlarını belirlemek amacıyla gabarilerin saptanması gerekmektedir.

İki tür gabariden söz edilebilir:

1. Araba gabarileri
2. Engel (serbest alan) gabarileri

İki tür araba gabarisi kavramı vardır.

- a. Sinematik gabari
- b. Statik gabari

Sinematik gabari UIC (Uluslararası Demiryolu Birliği) tarafından geliştirilmiştir. Taşıtların, özellikle süspansiyonların esnekliğinin etkisiyle, maruz kaldıkları geometrik ve dinamik deplasmanlarını hesaba katan sinematik gabari, demiryolu arabalarının aşmaması gereken sınır çerçeve çizgisi ile arabaların boyutlarının saptanmasına olanak sağlar. Arabaların aşmaması gereken çerçeve çizgisi ile arabaların boyutları arasındaki fark sinematik ve dinamik deplasmanlardan ve bir güvenlik payından kaynaklanmaktadır.

Statik gabari, demiryolu arabalarının statik durumda aşmamaları gereken sınır çerçeve çizgisinden itibaren açık vagonlar üzerindeki yüklemelerin boyutlarının elde edilmesine imkan verir.

Bu gabariler Avrupa hatlarında rastlanan en küçük hat aralığı (ki en yaygın değer 3,57 m. dir) değerine göre saptanmaktadır. 120–200 km/saat hızları için 3.67 m. den büyük değerler uygulanmaktadır. Alman Demiryollarındaki hat aralığı 3,75 – 4 m. dir. 200 km/saat'in üstündeki hızlarda bu hat aralığı değerleri, aerodinamik olaylar nedeniyle, en azından 4,20 m. olmaktadır.

Engel (veya serbest alan) gabarileri demiryolunun sabit tesisleriyle ilgilidir. Peronlar gibi bazı engeller bunun dışında sabit engellerin yalnız araba gabarisini göz önüne alarak yerleştirilmesi önerilemez. Demiryollarında giderek, özel etüdü gerektiren taşımalar yapılıyor. Örneğin konteyner vagonları, karayolu yük araçlarını taşıyan özel vagonlar hatlardan geçebilirler (Evren,1998).

2.2. Deraymanın Doğası

Demiryolu aracının tekerinin raydan çıkması çok karmaşık dinamik bir fenomendir. Rijit bir teker setinde, tekerin konik temas yüzeyi 2 görevi gerçekleştirir:

- a) Teker setini yola teğet olarak hizalamak
- b) Kurba dış teğet bir açı çizmek

Kurb aşma yeteneği tekerleğin basma yüzeyinin konikliği ve ray mantarı ile tekerlek budeni arasındaki yanal açıklığa bağlıdır. Bir kurba girildiğinde, aracın merkezkaç kuvveti ve yolun doğal geometrisinden dolayı, teker setinin dış tarafında yanal deplasman meydana gelir. Araç atalet ve vagon süspansiyon kuvvetleri denge durumuna yönelirler. Bir stabil kararlı durum sabit hız konfigürasyonu varsayılarak, yanal merkezkaç kuvveti eşitliği için gerekli teker/ray temas kuvveti üretilerek, yeni bir teker seti (yanal deplasman ve lase açısı) davranışına ulaşılabacaktır. Koniklikten dolayı tekerin dış tarafında temas noktası boyunca bir kuvvet oluşarak, boyuna hızda rölatif bir artış olacaktır. Boyuna ivme olmasa bile, teker setindeki yatay deplasman, rijit bir teker setindeki her bir tekeri arasındaki yarıçap farklılığından kaynaklanan kısıtlamalardan dolayı oluşan birbirine zıt yöndeki boyuna kuvvetlerle ilişkilidir.

Derayman olayına yaklaşıldığında, yanal temas kuvvetleri nedeniyle büyük merkezkaç kuvvetlerine tepki oluşmalıdır. Yanal bir kaydırma mekanizması göz önünde tutulursa, araç atalet kuvvetleri, temas reaksiyonu sürtünme kuvvetleri ile teker budeninin ray mantarına tırmanmasına engel olmalıdır (derayman limiti). Dış tekerde yüksek temas açısı ve ray ve tekerlek arasında, bunun sonucu olarak döndürme beklenmelidir. Gerçekten bir tekerin raydan çıkma süreci temas yüzeyi doygunluğu ile teğetsel kuvvetlerin ilişkisinin dinamik bir kombinasyonudur. Yanal temas kuvveti bir enine etki ve temas yüzeyine teker dönmesinin izdüşümü olarak üretilen, bir dönme etkisinin bileşenidir. Bir de boyuna ve normal kuvvetler temas yüzeyine tepki göstermeye eğilimlidir. Bu etkiler temas yüzeyinde kuvvet senaryosu taklit edilerek analiz edilmelidir (Barbosa, 2004).

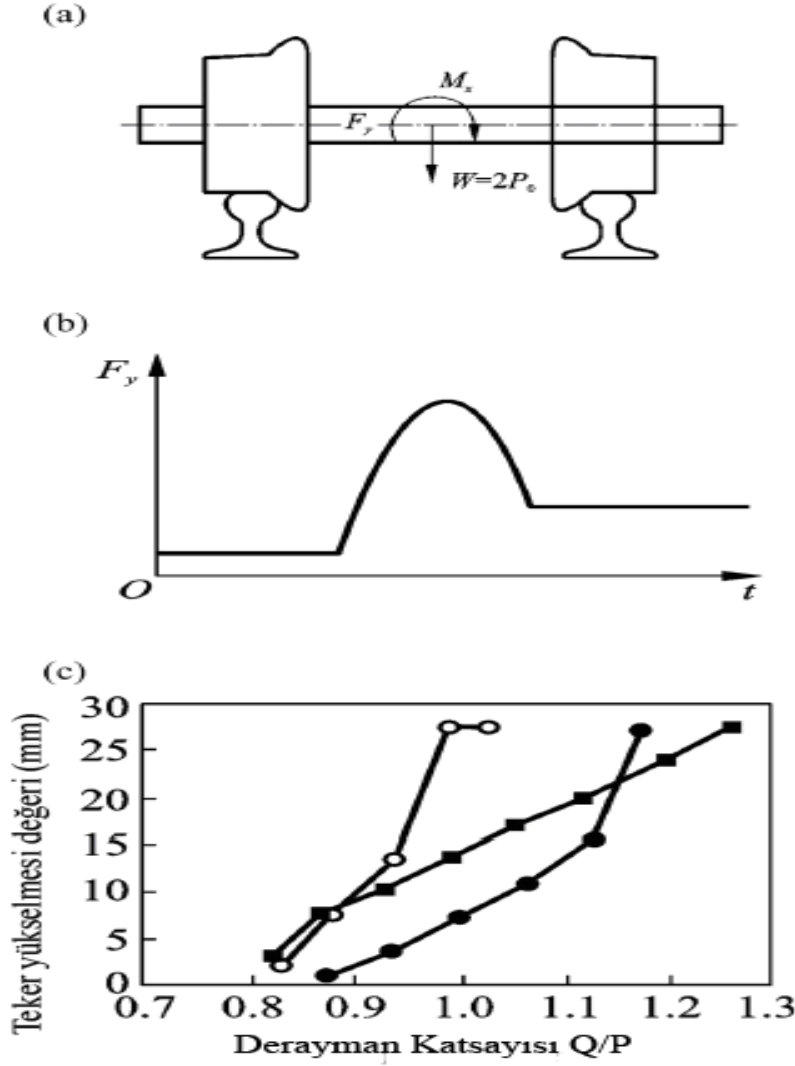
2.3. Derayman Üzerinde Varsayılan Durum Çalışması

2.3.1. Kritik Derayman Katsayısı Üzerine Çalışma

Fransız mühendis Nadal 1908 yılında, enine teker-ray kuvveti Q ve dikey teker-ray kuvveti P ile normal kuvvet N ve teğetsel sürtünme T ilişkisine göre Q/P kritik derayman katsayısını hesaplayan bir eşitlik öne sürmüştür. Dikkatle bakıldığında eşitlik deraymanın temel başlangıcı olarak görülmektedir (Jun, ve Qinyuan, 2005).

$$\frac{Q}{P} = \frac{tg \alpha - \mu}{1 + \mu .tg \alpha} \quad (2.16)$$

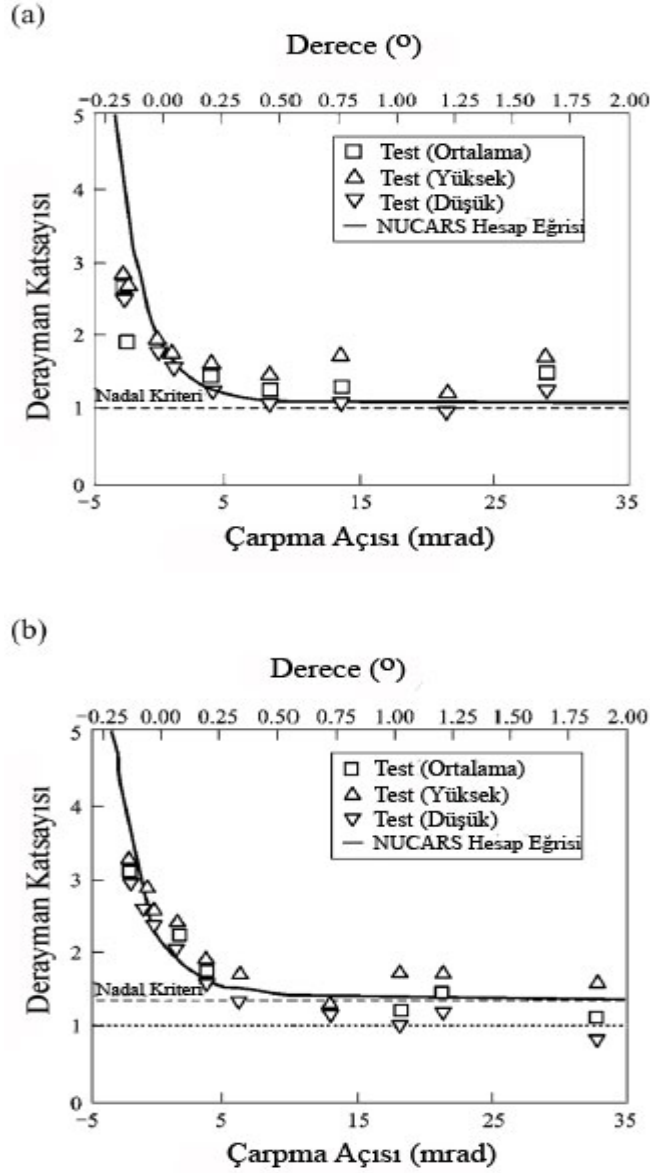
Burada μ , teker ray temasında dinamik sürtünme katsayısı ve α buden açısıdır. Japon bilim adamları standart olarak buden açısını $\alpha=60^\circ$ ve sürtünme katsayısını $\mu=0,3$ olarak almaktadır ve eşitliğe göre $Q/P= 0.95$ olmaktadır. Tahmini güvenlik katsayısı 1,2 ve kritik derayman katsayısı (derayman limiti) $Q/P = 0,8$ olarak kabul edilmektedir. Nadal'ın eşitliği üzerinden, bütün dünyadaki bilim adamları hesaplamalar ve testlerle kritik derayman değerini araştırmışlardır. Japon bilim adamları tek teker takımlı hesap modelleri kullanmış ve dikey yük $W= 2P_0$ olarak kabul etmişlerdir. Burada P_0 statik teker yüküdür. Teker yükü statik ve enine kuvvetin dalga biçimi tek teker setinde olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 2.1 b). Şekil 2.1 (c), ray hareketini göz önüne almaksızın Q/P ile teker yükselmesi değeri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. $Q/P=0,8$ olduğunda teker yükselmesinin değeri çok küçük olmaktadır ve Şekil 2.1 (c) de gösterildiği gibidir. Ve bu gösterim Nadal'ın kritik derayman katsayısı kavramını doğrulamakta ve eşitlikte hesaplanan Q/P değerine çok yakın olmaktadır.



Şekil 2.1.(a), Japonya’da derayman hesabı için kullanılan tek teker seti modeli. (b), Japonya’da kabul edilen, tek teker seti üstündeki yanal kuvvet eğrisi. (c), derayman katsayısı ve teker yükselmesi değeri arasındaki hesap ilişkisi

Amerika’da bilim adamları, teker setindeki dikey ve enine anti hareket kuvvetlerini ölçmek için, normal dikey kuvvet üzerinde, yol yükleme aracı ile çalışmış ve kademeli olarak bojidaki enine kuvveti artırmışlardır. Tek teker setinde teker yükselmesi üzerinde testlerle kritik derayman katsayısı ölçülmüştür. Ek olarak benzer yükleme deneyleri yapılarak ve NUCARS yazılımı kullanılarak teker kritik derayman katsayısı tek teker seti için hesaplanmıştır. Hesap sonuçları test sonuçlarına yakın çıkmıştır ve $Q/P= 1.0$ (yeni ray) ve $Q/P=1.4$ (eski ray) için bulunmuştur (Şekil 2.2). Gerçek olan Q/P de yeni rayın eskiye göre daha farklı bir

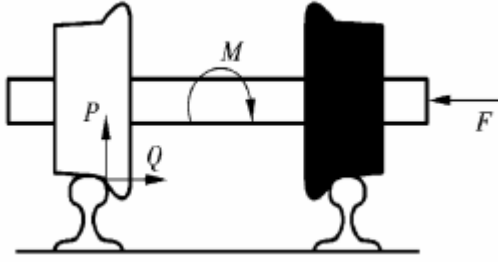
sürtünme açısı göstermesidir. Sürtünme katsayısı yeni rayda daha büyük olduğundan Q/P değeri düşük, eski rayda daha küçük olduğundan Q/P değeri yüksektir (Barbosa, 2004).



Şekil 2.2. (a) yeni rayın yaklaşma açısı ile test edilmiş ve hesaplanmış derayman katsayısı Q/P'nin ilişkisini göstermektedir. (b) eski rayın yaklaşma açısı ile test edilmiş ve hesaplanmış derayman katsayısı Q/P'nin ilişkisini göstermektedir

2.3.2. Teker Yük Oranı $\Delta P/P_0$ 'ın Araştırılması

Şekil 2.3 te görüldüğü gibi, teker yükü, ray-teker temas noktasında enine kuvvet F ve moment M hareketinden dolayı azalmıştır. Teker yükü redüksiyonu $\Delta P = P_0 - P_d$ 'dir. Burada statik teker yükü P_0 ölçülen teker yükü değeri P_d ve teker yükü redüksiyon oranı $\Delta P/P_0$ 'dir. Fiziksel kavrama göre $\Delta P/P_0$ oranı ne kadar büyük olursa derayman ihtimali o kadar fazla olmaktadır. Japon bilim adamlarının tekil teker seti hesapları ve derayman testi sonuçlarına göre statik teker yükü redüksiyon oranının standart değeri 0,6 olarak bulunmuştur. Japon bilim adamlarının açıklamalarına göre, bir geçiş kurbunda statik teker yükü redüksiyonu için ray yüzünün düzensizliği, aracın burulma hareketi, yüklerin ve yolcuların düzensiz yerleşimi ve kurbun çok fazla eğimli olması, teker yükünde azaltıcı bir değişime neden olmaktadır, yani statik yükün bir sonucu olarak değişmektedir. Deneyimler göstermiştir ki dinamik teker yükünün standart değeri 0,8'dir (Barbosa, 2004).



Şekil 2.3. Teker seti üzerinde yanal kuvvet F ve tork M

2.3.3. Çeşitli Ülkelerde Derayman Önleme İçin Standart Şartnameler

Japonya: $Q/P = 0.8$, Q/P 'nin sürekli hareket zamanı 0.0015 saniyeden küçük olmalıdır, (araç modeli kurptan geçerken ki devamlı hareket zamanı, teker seti kesin bir yaklaşma açısına ve yatay bir harekete sahip, $Q/P \geq 0.8$) ile teker yükselmesi arasında bir ilişki vardır (Şekil 4). $\Delta P/P_0 = 0.6$ (statik) $\Delta P/P_0 = 0.8$ (dinamik)

Batı Avrupa: $Q/P < 0.8$ (Q/P ortalama hareket mesafesi 2m.)

Kuzey Amerika: $Q/P \leq 1.0$ $\Delta P/P_0 < 0.9$

Çin: $Q/P = 1.0$ (izin verilen limit) , $Q/P = 1.2$ (tehlike sınırı) ve

$\Delta P/P_0 = 0.60$ (izin verilen limit) , $\Delta P/P_0 = 0.65$ (tehlike sınırı)

2.3.4. Deraymanın Geometrik Kuralları

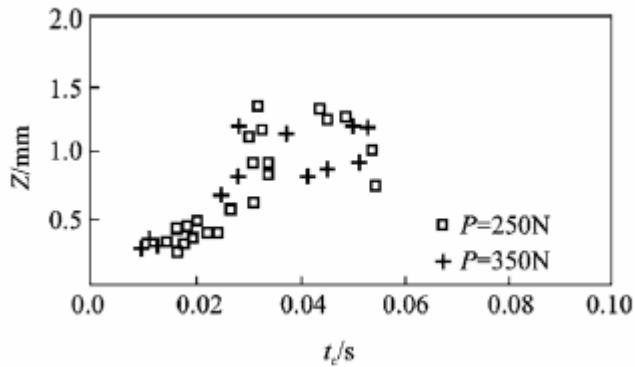
Çin Demiryolları Bilimleri Akademisinde yapılan, tek teker seti yuvarlanma düzeneği üzerinde tam ölçekli teker deraymanı yön simülasyon testi uygulanmış ve teker budeni deraymanı yönü eğrisi ölçülmüştür (Barbosa, 2004).

Test sonuçlarında görülen teker yükselmesi $\mu_{\max}(t) = 25$ mm. ve teker setinin rölatif enine deplasmanı $y_{\max}(t) = 54$ mm. olduğu zaman, bir derayman olayı meydana gelmektedir.

Japonya da $\mu_{\max}(t) = 30$ mm. ve $y_{\max}(t) = 70$ mm. olarak teker ve rayın en üst düzeydeki profillerine göre belirlenmiştir.

$\mu_{\max}(t)$ ve $y_{\max}(t)$ ile birlikte buden ve rayın en üst profiline göre Çin de deraymanın geometrik kuralları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

Teker yükselmesi değeri $\mu(t) = \mu_{\max}(t) = 25$ mm. ve tekerden raya enine deplasman $y(t) = y_{\max}(t) = 54$ mm ise gerçek bir derayman meydana gelecektir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Teker yükselmesi değeri Z ve Q/P'nin sürekli hareket zamanı arasındaki ilişki

2.3.5. Tren Deraymanı İçin Değerlendirme Kriterindeki Temel Problemler

Belirlenmiş derayman katsayısı Q/P ve teker yükü redüksiyon oranı $\Delta P/P_o$, belirlenmiş limit içinde meydana gelebilecek muhtemel Q/P ve $\Delta P/P_o$ 'ın maksimum değerlerini kontrol edemez. Gerçek ölçümler ve hesaplamaların her ikisi de, maksimum Q/P ve $\Delta P/P_o$ 'ın gerçek değerlerinin belirlenen değerlerinden daha fazla olduğunu kanıtlamıştır. Deneylere göre elde edilmiş var olan kriterler ve yanal yük altında olduğu farz edilen tek teker seti hesaplamalarının her ikisinin de nedeni kriterdeki istatistiksel düzen eksikliğidir. Teker kaymaya başladığında Q/P ve $\Delta P/P_o$ 'ın gerçek değerini hesaplamak çok zordur ve hatta istatistiksel düzeni elde etmek çok daha zor olacaktır. Bu nedenle var olan kriter deraymanın meydana gelmeyeceğini garanti edememektedir. Yine de, Q/P ve $\Delta P/P_o$ oluşan maksimum değerleri limitler içindeyse derayman meydana gelecektir (Barbosa, 2004).

2.3.6. Deraymanın Mekanik Mekanizması

2.3.6.1. Tren Deraymanı Tren-Yol Sisteminin Enine Titreşim Durumundan Kaynaklanan Stabilite Kaybının Sonucudur

Eğer teker budenleri 2 ray arasında başlangıçtan sona kadar yılan benzeri bir yol izlerse, teker budenleri raylar tarafından kısıtlanacak ve teker-ray boşluğunda yanal yönde hareket edecek, budenler rayın üstüne tırmanamayacak, tekerler raydan düşmeyecek ve bunların sonucu olarak derayman meydana gelmeyecektir. Böyle teker budenlerinde kıvrılma hareketi durumu tren-yol sistemi için stabil bir durum oluşturmakta ve bunun anlamı, sistemdeki enine titreşimlerin stabil olmasıdır. Yine de teker budenleri rayın üstüne bir kez tırmandığı zaman, tekerlerin enine hareketi ray kısıtlaması yüzünden azalacaktır ve tekerler yolun dışına çıkacak ve de sonuç olarak derayman meydana gelecektir. Tekerlerle raylar arasındaki enine hareket durumunun bir sonucu olarak stabilite yok olacak, sistemde enine titreşim durumu stabilite kaybına neden olacaktır. Örneğin dikey ilerleyen bir bisiklet tekerinin durumu stabildir. Ama bir kez tekerlek eğildiğinde, dikey düzlemde tekerlekler stabilite kaybına uğrar. Fiziksel kavramlarda, stabil sistem durumları, titreşim

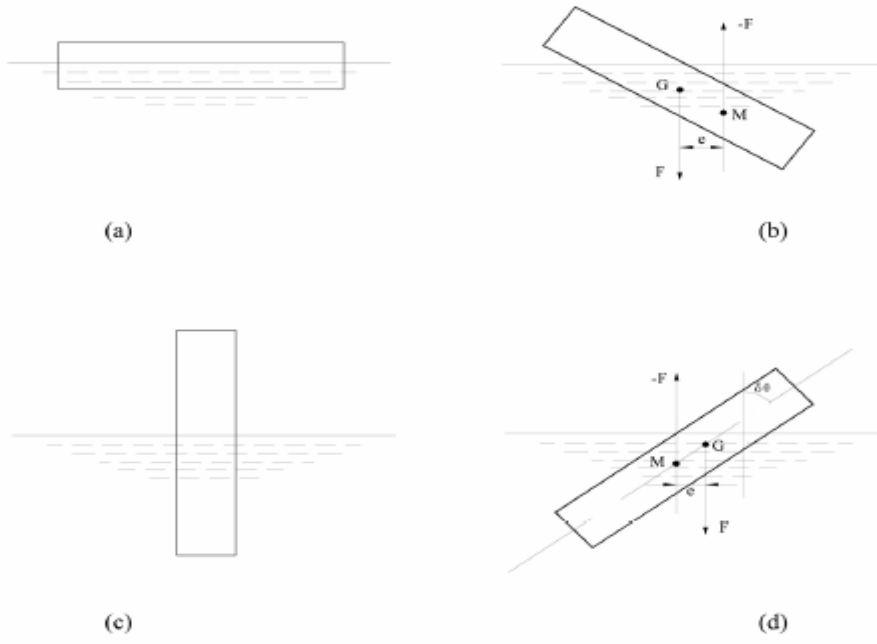
girişimlerine dayanırken, stabil olmayan sistemler bu girişime dayanamaz. Stabil sistem durumu, titreşim girişimine karşı direnim kuvvetinde artış üretebilir ki bu direnim kuvveti titreşim girişim kuvvetini aşacak veya önceki sistem durumunun korunması için yük artışı ile titreşim girişimi dengelenecektir (Barbosa, 2004).

Stabil sistem durumu engellendiğinde, direnim kuvveti artışı yük artışından daha küçük olacak ve önceki sistem durumu yok olacaktır. Titreşim girişimi var olur ve kaçınılmaz olur. Sistem stabilite durumunu korumak amacı ile sistem stabilite istidadına sahip olmalıdır. Bu nedenle tren deraymanının mekanik mekanizması aşağıdakiler gibi olmalıdır:

Derayman sistemin stabilite kaybından dolayı oluşan enine titreşim durumunun sonucudur; sistemin enine titreşim durumu trenin deray olmayacağından emin olmak amacı ile stabil olmalıdır.

Sistem durumu stabilitesi kavramı, en kolay hareket olan statik durum stabilitesinden gelir (bu durum sonsuz periyotlu hareket gibi göz önüne alınabilir).

Şekil 2.5 (a) da görülen, su da yüzen tahtanın dengelenmiş durumu, Fe girişim kuvvetinden sonra değişir ve tahtanın direnim kuvvetini artışından sonra stabil hale gelir ve burada sistemdeki yük artışı 0 olur. Gösterilen tahtanın denge durumu kararsız olduğu için girişim kuvvetinden sonra tahtanın direnim kuvveti artışı 0'dır burada Fe yük artışıdır.



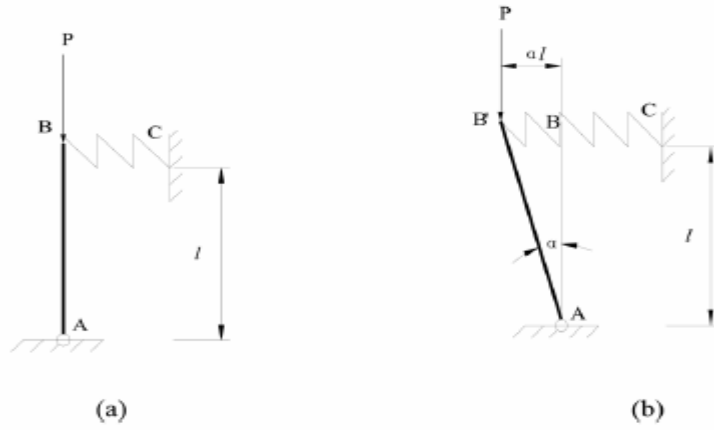
Şekil 2.5. Suda yüzen bir tahtanın dengelenmiş durumunun stabilite analizinin çizimi

Şekil 2.6 (b) de gösterilen girişim üzerinde, yayın rijitlik sabiti β farz edilirse, sıkıştırılmış çubuğun tepe noktası B enine αl kadar sapacak, P basıncı αl kadar sapacak ve A noktasında $P \alpha l$ kadar bir tork üretilecektir. Bu sıkıştırılmış çubuğun denge durumu bozulduğunda üretilen yük artışıdır. Aynı zamanda $\beta \alpha l$ yay geriliminden kaynaklanan A noktasındaki $\beta \alpha l^2$ torku yayın direnim kuvveti artışıdır (Barbosa, 2004).

Eğer;

$$\beta \alpha l^2 > P \alpha l \text{ ise;}$$

direnim kuvveti artışı yük artışından daha fazladır. Girişim ortadan kalktığında yay, çubuğu orijinal denge durumuna getirecektir (Şekil 2.6 a). Bu nedenle Şekil 2.5(a)'daki çubuğun denge durumu stabildir.



Şekil 2.6. Sıkıştırılmış bir çubuğun dengelenmiş durumunun stabilite analizinin çizimi

Eğer;

$$\beta \alpha l^2 < P \alpha l \quad \text{ise;}$$

direnim kuvveti yük artışından küçükse, çubuk eğilecektir. Bu nedenle Şekil 2.6 (a)'daki denge durumu stabil değildir.

d'Almbert prensibine göre, denge konusunda bir sistemin dinamiğinde değişiklikler olduğunda, atalet kuvveti, direnme kuvveti elastik kuvvet ve sistemin girişim kuvveti birkaç dakika içinde değişir. Böylece sistem dinamik dengelenmiş kabul edilebilir. Dinamik durumda sistem stabilitesi, dengelenmiş durumun stabilitesidir. Yukarıdaki statik dengelenmiş durum stabilitesi bir de dinamik dengelenmiş durum stabilitesi yargısı için uygulanabilir. Şekil 2.7 örnek alınır: bir A-A doğrusu üzerinde bir uçak yatay olarak uçmaktadır. Eğer uçak dengesiz ise B yolu boyunca tepede bir uç noktaya çıkacak ve kademeli olarak orijinal yatay çizgisine dönecektir. Uçak dengesizleştiğinde, düz yoldan saparak C yolu boyunca uçacaktır. Bunun anlamı düz yol boyunca uçuşun stabil olmamasıdır (Barbosa,2004).



Şekil 2.7. A-A doğru yolu boyunca yatay düzlemde uçan dengelenmiş durumunun stabilite analizinin çizimi

2.4. Yekpare Dingilli Demiryolu Teker Setiyle Derayman Üstüne Deneysel Çalışmalar

2.4.1 Giriş

Bu çalışmada tam ölçekli bir rulman düzeneği kullanılmıştır. Bu sayede derayman güvenlik koşullarında ve kontrol altında elde edilebilmiştir. Deneyler dönme hızı, dikey ve yanal yüklemeler ve yaklaşma açısının farklı kombinasyonlarının teker setine uygulanmasıyla ve anılan parametrelerin buden tırmanmasına etkisini hesaplayabilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yükleme koşullarının ani değişiklikleri incelenmezken, deneyler yarı kararlı buden tırmanması süreçleri ile sınırlandırılmıştır. Yaygın deneyler deneysel derayman sınırını tanımlamaya izin vermiştir (Braghin vd., 2006).

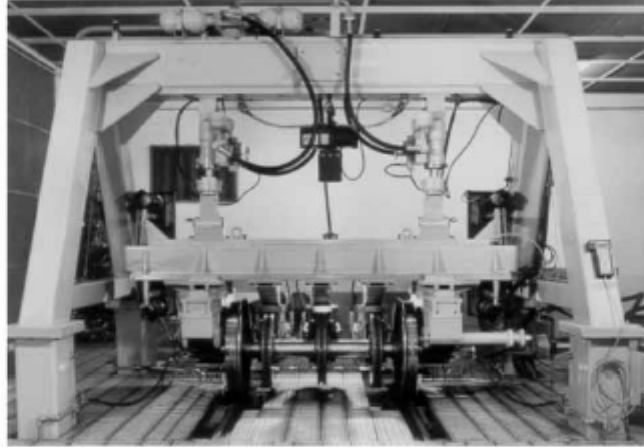
2.4.2. Deneysel Çalışmaların Açıklaması

Deneysel çalışmalar BU 300 adı verilen tam ölçekli rulman düzeneği ile gerçekleştirilmiştir.

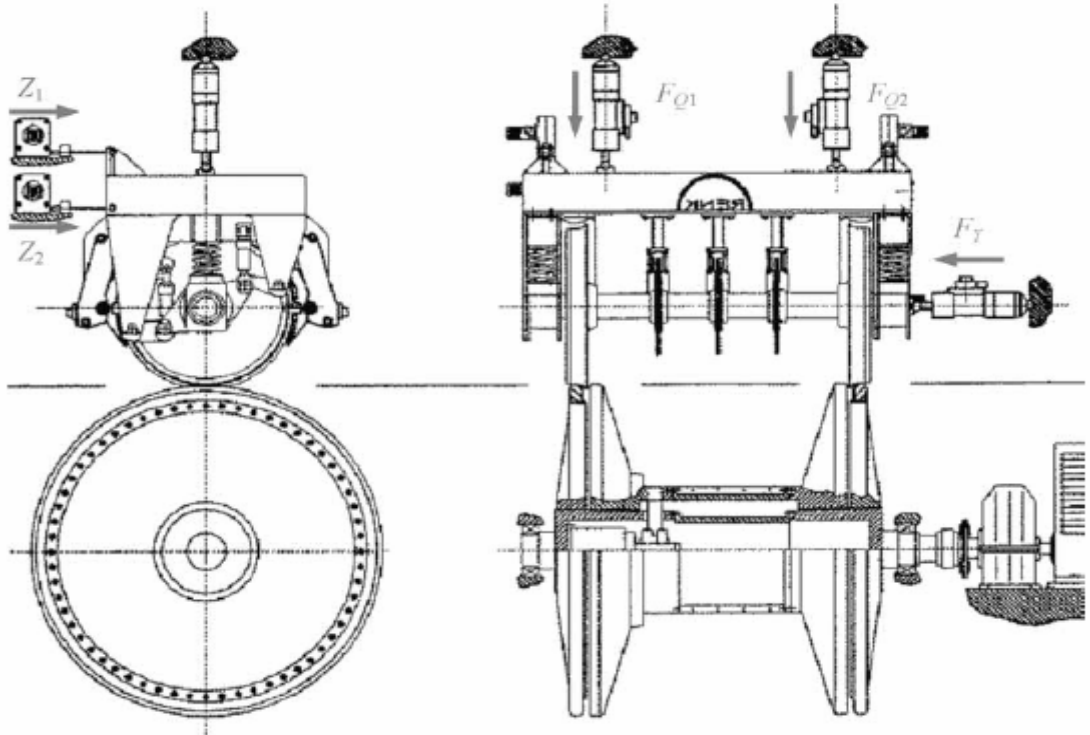
2.4.2.1. BU 300 Rulman Düzeneği

BU 300 rulman düzeneği, 2m. uzunluğunda çelik bir mile monte edilmiş 2 diskten oluşmaktadır (Şekil 2.8). Bu iki disk rijit olarak birleştirilmiş ve çevresel maksimum hızı 300km/s olan bir DC motora bağlanmıştır. Teker seti, ray halkalarına monte edilmiş ve birincil süspansiyon ile birleştirilerek bir kiriş oluşturulmuştur. Oluşturulan bu düzeneğe yarı-boji adı verilmektedir. 3 hidrolik tetik mekanizması ile yarı bojiye yanal ve dikey yüklemeler uygulanmıştır. Burada F_{Q1} yarı-boji nin sol tarafındaki dikey yük, F_{Q2} sağ taraftaki dikey yük, F_Y ise yatay yüküdür (şekil 8b.). Bundan başka yarı bojiyi saptıracak ve ray halkalarına doğru teker setini yönlendirecek bir yaklaşma açısı oluşturacak dört tane (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) elektro-mekanik tetik mekanizması kullanılmıştır (Braghin vd., 2006).

Kontrol sistemi hidrolik ve elektro-mekanik tetikleyicileri yönetmiş ve 2 moda çalıştırılmıştır: manuel moda, sonuç değerleri ve özel rampa için tetikleyicilerin kaynakları, elle ayarlanmış, otomatik moda kaynaklar literatürde olduğu gibi tanımlanmıştır. Derayman deneyleri sırasında cihaz güvenlik nedeni ile manüel moda çalıştırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2.8. BU 300 tam ölçekli rulman düzeneği(a) ve planları(b)

Derayman araştırmalarında özel amaçlar için, teker setinin aşırı yatay deplasmanını önlemek için sol tekerin kenarına bir tampon eklenmiştir. Tamponun pozisyonu, teker budeni rayın üstüne çıktığı zaman teker deplasmanını durduracak şekilde ayarlanmıştır (Braghin vd., 2006).

2.4.2.2. Ölçüm Düzenegi

Derayman deneyleri boyunca teker setinin aşağıdaki değerleri monitörden izlenmiştir:

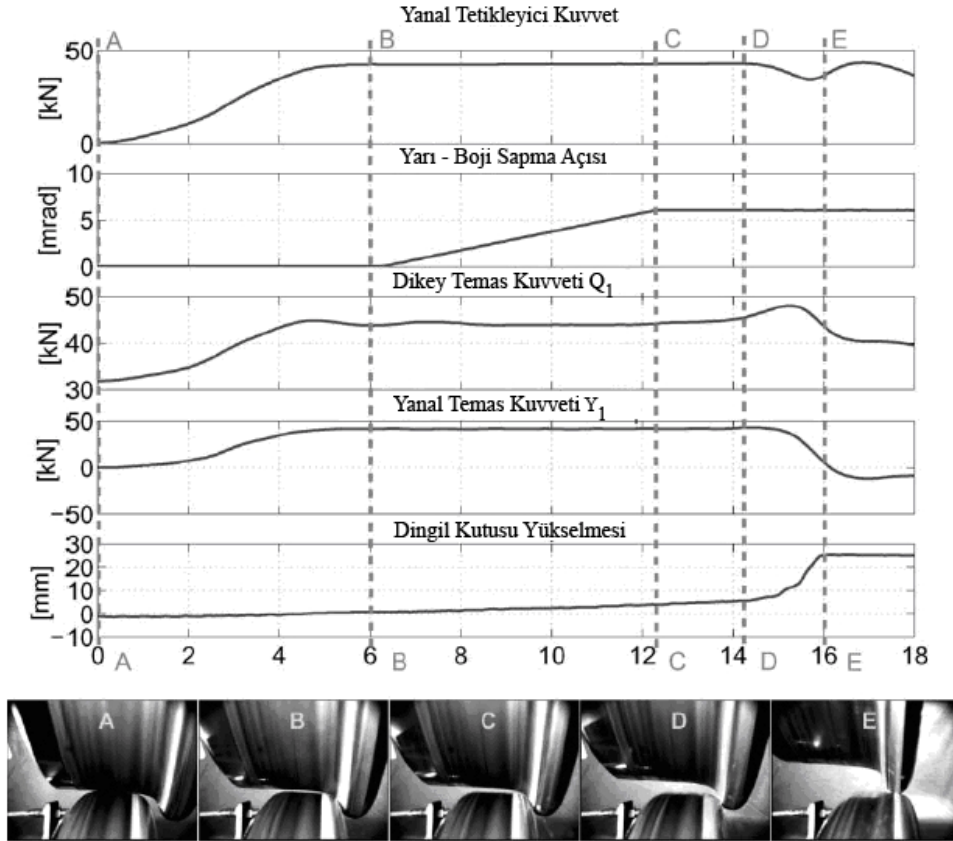
1. Dönüş hızı
2. Bütün tetikleyicilerin uyguladığı kuvvetler
3. Disk merkezi yanında ve ray üstünde iki diskteki yanal deplasmanlar
4. Sol tekerin yatay deplasmanı
5. Sol tekerin yükselmesi
6. Yarı bojinin sapma rotasyonu
7. Yarı bojiye göre teker setinin sapma rotasyonu

Yatay ve dikey tetikleyiciler tarafından uygulanan kuvvetler, dikey ray-teker temas kuvvetlerinin hesaplamada kullanılırken, boyuna tetikleyicilerin uyguladığı kuvvetler, boyuna teker-ray temas kuvvetinin bileşenlerini hesaplamak için kullanılmıştır (Braghin vd., 2003). Ray tepesinde, ray diskinin yanal sapmaları, yanal teker-ray temas kuvveti bileşenlerini hesaplamak için kullanılmıştır (Braghin vd., 2003).

2.4.2.3. Derayman Deneyinin Açıklaması

Deneyler, 160km/s üstünde hızlara ulaşabilen orta mesafe trenleri için tasarlanmış ve elastik tekerlerle donatılan yekpare dingilli teker seti üstünde yapılmıştır. Her deneyin sonunda bir MINIPROF ölçüm cihazı ile teker ve ray profilleri ölçülmüştür (Braghin vd., 2006).

Deneysel çalışmaların nasıl gerçekleştiğini göstermek amacıyla Şekil 2.9’da zamana bağlı olarak anlamlı değişkenler gösterilmiştir. Dikey olarak çizilmiş çizgiler derayman testinin farklı aşamalarını birbirinden ayırmaktadır ve farklı teker- ray pozisyonlarını ima etmektedir.



Şekil 2.9. Deraymanın gelişimi

Deneyin başlangıcında, teker seti, sabit hızda, rulman üstünde ve hemen hemen merkezi bir pozisyonda çalışmaktadır. Sonra, yanar tetikleyiciler tarafından yanar F_Y kuvvetine maruz bırakılmıştır. Sol teker, kendisi ile ilgili tekere doğru, buden kökü raya temas edinceye kadar hareket eder ve teker yivi ile ray tepesi arasında küçük bir aralık ortaya çıkar. Deneyin bu aşamasında dikey Q_1 ve yanar Y_1 temas kuvveti bileşenlerinin her ikisi de buden üzerinde tekerin yükselmesine neden olur. F_Y kuvvetinin teker merkezine uygulanması ile yükselmeyen tekerden yükselen tekere doğru bir yük transferi olur ve yükün dikey bileşeninde artış meydana gelmiştir (Braghin vd., 2006).

Bundan sonra teker yolundan sapar ve kararlı bir yaklaşma açısı pozisyonuna ulaşır. Bu arada temas noktası teker budenine doğru hareket eder. Bu aşamada yükselen tekerin yanal temas kuvveti bileşeni Y_1 , yükselmeyen tekerin yanal deformasyon kuvvetindeki artıştan dolayı artabilir. Dikey temas kuvveti bileşeni Q_1 değişmeden kalır. Çünkü deformasyon kuvvetleri ray başı seviyesine uygulanır ve bundan dolayı herhangi bir yük transferi oluşmaz.

Maksimum yanal kuvvetle birlikte maksimum sapma rotasyonunun birlikte yarattığı şartlar birkaç saniye için korunmuştur ve böylece teker setinin en son 10 dönüşü tam olarak yapmasına izin verilmiştir. Eğer bu son birkaç saniye boyunca buden tırmanması meydana gelmez ise sapma rotasyonu ve yanal kuvvet sıfıra iner ve deney derayman meydana gelmeyen bir deney olarak sınıflandırılır. Buna karşın buden tırmanması meydana gelirse deney derayman meydana gelen bir deney olarak sınıflandırılır ve teker seti tekrar merkezi pozisyona getirilir, sapma açısı ve yanal kuvvet F_Y uygun bir şekilde değiştirilir. Bu deney prosedürü her deney koşulu için buden tırmanmasına neden olan Y/Q oranının maksimum eşik değerini saptamak amacı ile oluşturulmuştur.

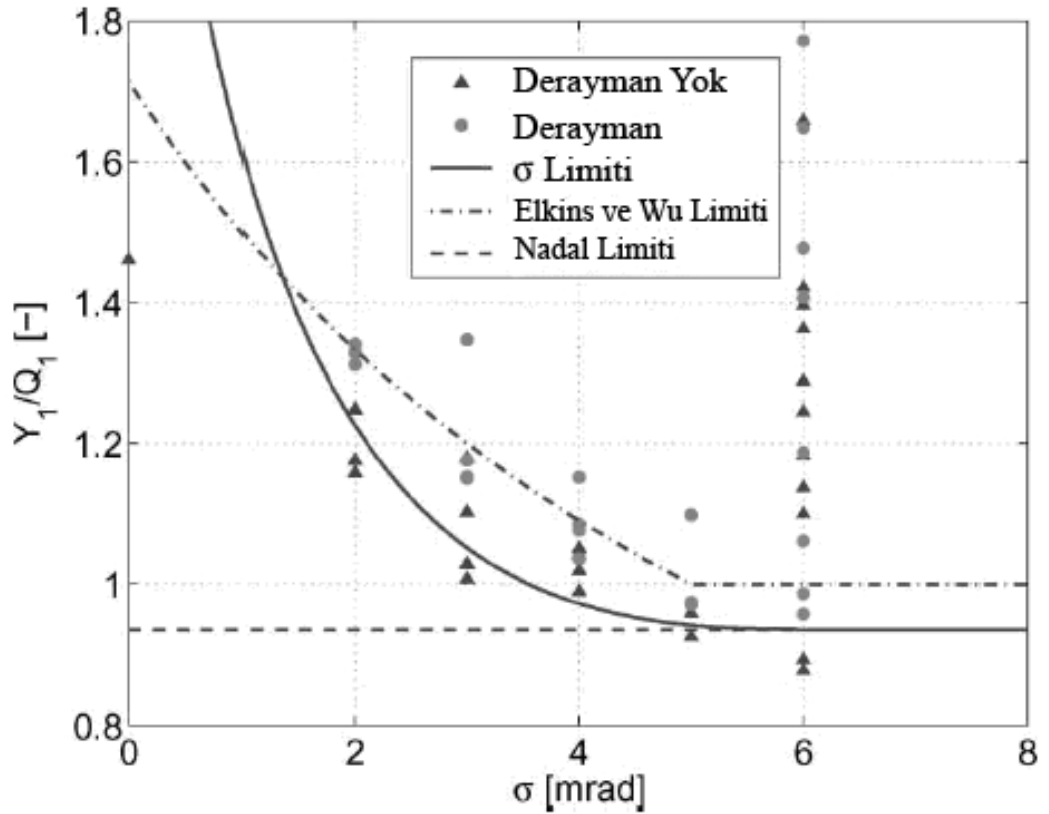
Deraymanla sonuçlanan bir deneyi dikkate alırsak, yükselen tekerin yükselme miktarının ölçüsü gösterir ki F_Y yanal kuvveti uygulanır uygulanmaz teker yavaşça yukarı doğru hareket etmeye başlar. Bu hareket, maksimum temas açısı ile ilgili olarak temas noktası teker budenine ulaşınca kadar, yükselme hızında herhangi bir fark edilebilir bir değişim olmaksızın devam eder. Bundan sonra yükselme hızı artar ve buden tabanı ray tepesine gelecek şekilde hızlıca ilerler ve güvenlik tamponuna ulaşır. Buden tırmanmasının son aşamasında Y/Q oranında olduğu gibi dikey ve yanal temas kuvveti bileşeni değerleri hızlıca aşağı doğru düşer (Braghin vd., 2006).

2.4.3. Derayman Deneylerinin Sonuçları

Bu kısımda derayman üzerinde etkili olan yaklaşma açısı, boyuna kuvvet bileşeni ve denge bozucu dikey temas kuvveti bileşenleri niceliklerinin derayman deneyleri üzerindeki etkileri tanımlanmıştır.

2.4.3.1. Yaklaşma Açısının Etkileri

Şekil 2.10 deney sırasında ölçülen maksimum Y_1/Q_1 oranını göstermektedir. Burada σ yaklaşma açısıdır. Deney sonunda deraymanın meydana geldiği durumlar dairelerle gösterilirken deraymanın meydana gelmediği durumlar üçgenlerle gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Deray olan tekerde maksimum Y_1/Q_1 oranı ve yaklaşma açısı

Nadal kuramında ifade edilen γ_{max} . maksimum temas açısı ve μ sürtünme açısıdır (Nadal, 1896). Bu değerler şekil 10'da yatay çizgili hatlarla gösterilmiştir. Deney için γ_{max} değeri yaklaşık olarak 70° ve μ değeri de 0,5 olarak kabul edilmiştir. Bu şartlardan dolayı Nadal limiti $0,94'$ e eşittir.

σ yaklaşma açısına bakarsak, yaklaşma açısının düşmesi ile derayman üretmek için gereken minimum Y_1/Q_1 oranının arttığı gözlenmiştir. $\sigma = 6$ mrad için bu değer Nadal limiti ile uyushmaktadır fakat yaklaşma açısının daha küçük değerleri için bu

değer oldukça fazla artmaya eğilimlidir. Bunun Nadal limiti değeri küçük yaklaşma açıları için daha korunumludur (Braghin vd., 2006).

2.4.3.1.1. 'σ Limit' Kriteri

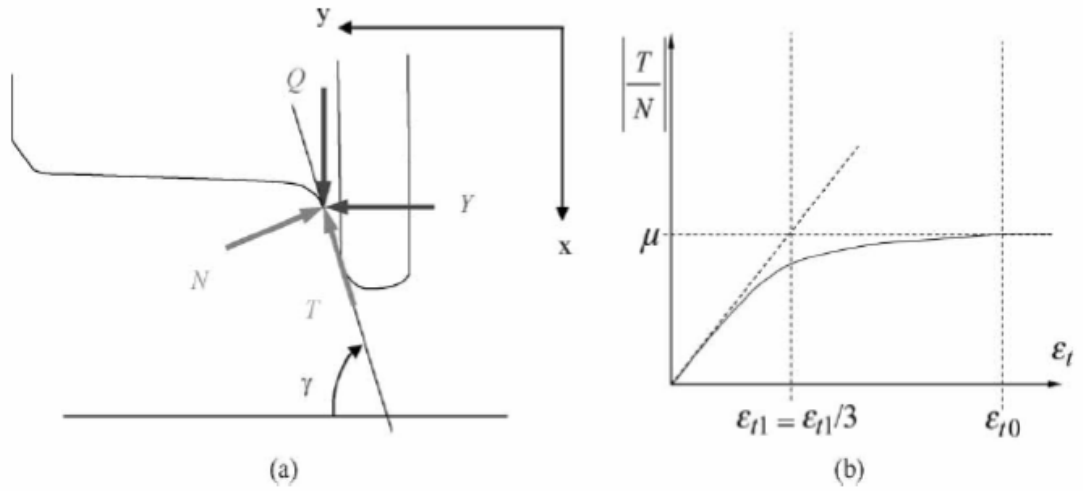
Şekil 2.11'de gösterildiği gibi yaklaşma açısının etkisinin hesaplanabilmesi için değiştirilmiş bir Nadal kriteri belirlenebilir. Bunun sonucu olarak Nadal'ın orjinal kuramındaki yanal deformasyon kuvveti bileşeni T (Şekil 2.11 (a) yükselme temas kuvveti bileşeni) ve normal temas kuvveti bileşeni N arasındaki oran budenlenme süresince sürtünme katsayısı μ na eşit olduğu gözlenmiştir. Buna göre limit şartları daha genel bir formda aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left(\frac{Y}{Q} \right)_{\text{lim}} = \frac{\tan \gamma - T / N}{1 + T / N \tan \gamma_{\text{max}}} \quad (2.17)$$

T/N oranının daha az tutucu bir tahmini kullanılarak derayman eşiği için daha iyi bir varsayım elde edilebilir. Yarı kararlı durum budenlenme şartlarında budenlenen tekerdeki enine kayıp yaklaşık olarak:

$$\varepsilon_t = - \left(\frac{d}{R_0} \sin \gamma_{\text{max}} + \sigma \cos \gamma_{\text{max}} \right) \quad (2.18)$$

Burada R_0 nominal teker yarıçapı, d teker setinin dikey simetri düzleminde buden temas noktasına kadar ki mesafedir. Nispeten küçük yaklaşma açıları için (5-10 mrad dan küçük), d mesafesi yaklaşma açısı ile ters orantılı olarak varsayılabilir.



Şekil 2.11. Buden teması sırasında temas kuvveti bileşenlerinin şekli (a) ve deformasyon kuvvet ilişkisinin şekli(b)

$$d = d_0 \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad (2.19)$$

Burada d_0 ve σ_0 teker ray temasının geometrik analizinden elde edilmiştir. (2.18) ve (2.19) formüller kullanılarak yanal kayıp, yaklaşma açısının bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Braghin vd., 2006).

Sıfır boyuna kayıp ve toplam deformasyon kuvveti ile kayıp arasında kübik bir ilişki olduğunu varsayarak T/N oranı için bir kestirim elde edilmiştir (Shen vd, 1983).

$$\frac{T}{N} = -\mu \left[3 \left(\frac{\epsilon_t}{\epsilon_{t0}} \right) - 3 \left(\frac{\epsilon_t}{\epsilon_{t0}} \right)^2 + \left(\frac{\epsilon_t}{\epsilon_{t0}} \right)^3 \right] \quad \frac{\epsilon_t}{\epsilon_{t0}} < 1$$

$$\frac{T}{N} = -\mu \quad \frac{\epsilon_t}{\epsilon_{t0}} \geq 1 \quad (2.20)$$

Burada, ϵ_{t0} değeri ki bu değer deformasyon-güç ilişkisinin (Şekil 2.11 b) doyma noktasına denk gelen yanal kayıp değeridir. Bu parametrenin değeri sürtünme

ölçümleri temel alınarak yorumlanabilir veya Kalker in lineer teorisinden teorik olarak türetilir. Bu uygulamada bu parametrenin değeri $\varepsilon_0=1.5e^{-2}$ olarak alınmıştır. (2.20) ve (2.17) eşitliklerinden elde edilen derayman eşiği, yaklaşma açısının yüksek değerleri için Nadal'ın limit değerlerine yönelmektedir fakat bu küçük yaklaşma açıları için daha az kararlıdır. Bu eşiğin altında deneysel olmayan deraymanlar elde edilmiştir. Yine de önemsenmeyen boyuna temas kuvveti bileşenleri varsayımından dolayı bazı durumlarda önerilen derayman limiti hala çok sabit olabilir (Braghin vd., 2006).

Derayman limitinin deneysel olmayan doğrulamalarla 2 mrad altındaki yaklaşma açıları için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Bu değerden daha küçük yaklaşma açıları için rulman düzeneğinde buden tırmanması yaratmak imkansızdır (Braghin vd., 2006).

2.4.3.1.2. Elkins ve Wu Kriteri

Diğer bir derayman limiti Elkins ve Wu'nun deneysel çalışmalarla NUCARS yazılımı kullanarak elde ettikleri sonuçlardan alınmıştır (Elkins ve Wu, 2000).

Elkins ve Wu nun derayman limiti:

$$\sigma > 5 \text{ için } \frac{Y}{Q} < 1.0$$

$$\sigma > 5 \text{ için } \frac{Y}{Q} < \frac{12}{\sigma + 7} \quad (2.21)$$

Burada σ değeri mrad olarak ölçülmüş ve $\sigma > 5$ için 1.0 limit değeri, maksimum temas açısı 73° ve yüksek bir sürtünme açısı olması durumunda, Nadal'ın limit değerine eşittir. Küçük bir maksimum tanjant açısına sahip tekerler ile biten, BU 300 deney donanımı üstünde gerçekleştirilen, deneysel çalışmalarda olduğu gibi deraymanlar aynı zamanda formülde (2.21) tanımlanan limit altında da meydana gelmiştir.

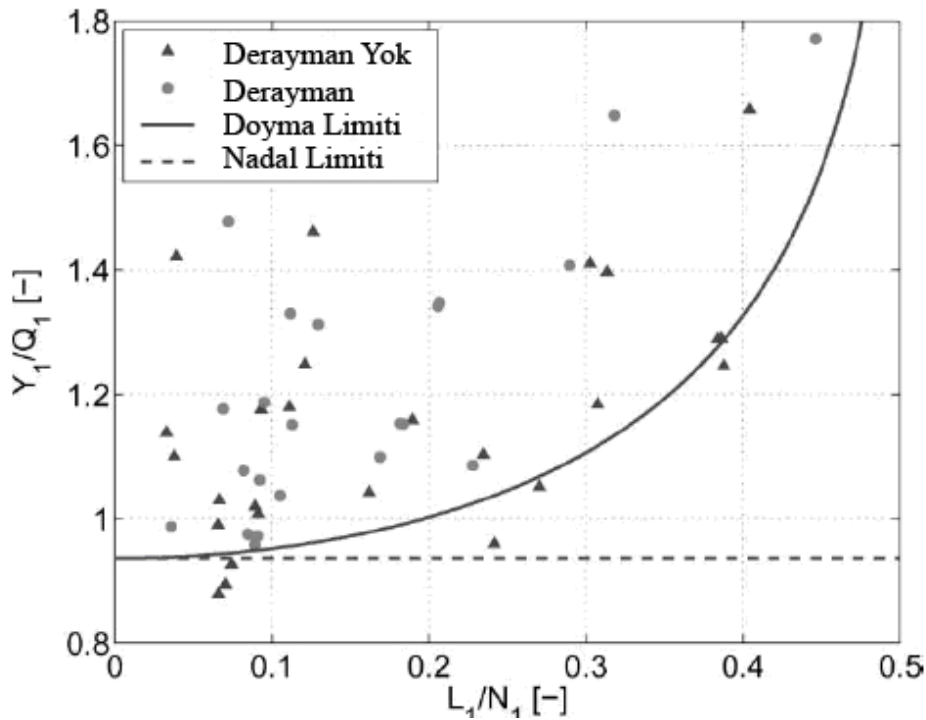
Bundan farklı olarak, Elkins ve Wu kriterinin önerilen “ σ limit” kriteri ile uyduğu görülmüştür. Fiziksel parametrelerden elde edilen en son avantaj ise çeşitli değerlere sahip olabilen sürtünme şartları (ϵ_0) ve teker-ray profillerinin (d_0, σ_0) bir fonksiyonu olarak verilen değerlerdir (Braghin vd., 2006).

2.4.3.2. Boyuna Kuvvet Bileşeninin Etkisi

Şekil 2.12’de Y_1/Q_1 oranı, L_1/N_1 oranının bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Burada L_1 budenlenen tekerin üstünde ölçülen boyuna temas kuvveti bileşeni ve N_1 normal temas kuvveti bileşeni (Şekil 2.11(a)) ki bu bileşen deraymana yaklaşılan durumlarda, maksimum temas açısı γ_{\max} ilişkin normal yön boyunca ortaya çıkan Y_1 ve Q_1 kuvvetleriyle tahmin edilebilir (Braghin vd., 2006):

$$N_1 \cong Q_1 \cos \gamma_{\max} + Y_1 \sin \gamma_{\max} \quad (2.22)$$

Derayman ile sonuçlanan deneyler dairelerle ve deraymanla sonuçlanmayan deneyler üçgenler ile gösterilmiştir. Buna karşın Nadal limiti yatay çizgili hatla gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Raydan çıkan tekerde maksimum Y_1/Q_1 oranı ve L_1/N_1 oranının karşılaştırması

L_1/N_1 oranının çok küçük değerlerinde, Nadal limitine yaklaşıldığı durumlarda, teker tırmanmasının meydana geldiği gözlenmiştir. Buna karşın L_1/N_1 oranının yüksek değerlerinde derayman, Nadal limitinden daha büyük Y_1/Q_1 oranlarında meydana gelmiştir. Bu davranış eşitlik (2.17) referans gösterilerek açıklanabilir ve boyuna temas kuvveti bileşeni L_1 in varlığı dikkate alınırsa T_1/N_1 oranı sürtünme katsayısından daha küçük olacaktır. Aslında sürtünme kuvvetinin doygunluğundan dolayı T_1/N_1 'in maksimum değeri var olan boyuna kuvvet L_1 ile uyumludur (Braghin vd., 2006).

$$\left(\frac{T_1}{N_1} \right)_{MAX} = \sqrt{\mu^2 - \left(\frac{L_1}{N_1} \right)} \quad (2.23)$$

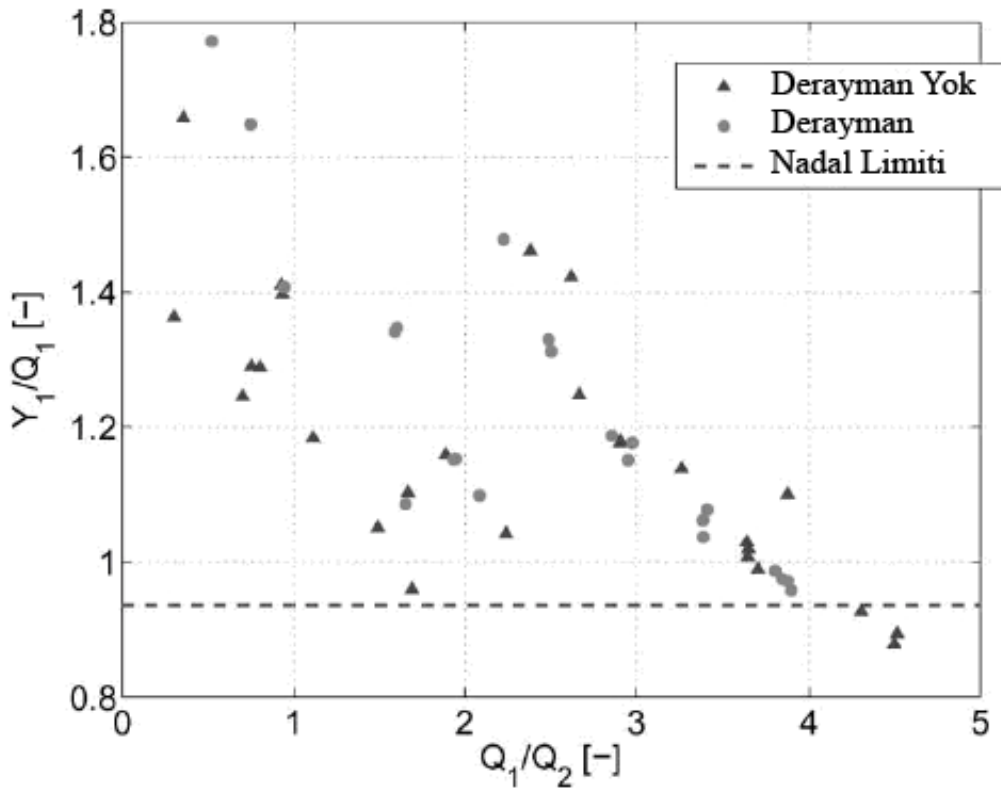
2.4.3.2.1. Doyma Limiti Kriteri

Eşitlik (2.23) ve (2.17) de derayman kriteri 3 temas kuvveti bileşeni Y , Q ve L 'nin ölçümlerinin uyarlanması ile elde edilmiştir. Bu limit Şekil 12'de kesiksiz çizgi ile gösterildi ve "doyma limiti" açıklamasında bahsedilmiştir. L_1/N_1 oranının düşük değerleri için bu limit Nadal limitine yaklaşmaktadır. Fakat L_1/N_1 oranı sürtünme katsayısına yaklaştığı zaman maksimum kullanılabilir T_1/N_1 oranı 0'a iner ve derayman limiti $\tan\gamma_{max}$ 'a yaklaşır. Şekil 2.12'de görüldüğü gibi doyma limiti daima korunumludur ve bu limit altında derayman gerçekleşmemiştir (Braghin vd., 2006).

2.4.3.3. Dikey Temas Kuvvetinin Denge Bozucu Etkisi

Şekil 2.13 raydan çıkan tekerde ölçülen Y_1/Q_1 oranını göstermektedir. Q_1/Q_2 oranındaki Q_1 raydan çıkan tekerdeki dikey temas kuvveti, Q_2 de karşıdaki rayın aynı temas kuvveti bileşenidir. Teker dengesizliğinin güçlü etkisi şöyle görülebilir: Q_1/Q_2 oranının düşük değerleri ile ilgili olarak raydan çıkan tekerde oluşan yük boşalmaları, deraymanı elde etmek için gereken Y_1/Q_1 oranında önemli bir artışa neden olur. Bu davranış, deneylerin yekpare dingilli teker setinde

gerçekleştirilmesinden dolayıdır ve raydan çıkan tekerde dikey yüklemeye meydana geldiği zaman ki bu yüklemeye karşı tekerdekenden daha küçüktür, karşı kaymasız bir dönme hareketi meydana gelmesi gerçeği ile açıklanabilir. İki teker arasındaki dönme yarıçapları arasındaki büyük farktan dolayı, raydan çıkan tekerde boyuna yönde tam kayma olacaktır. Eşitlik (2.23) e göre bunun anlamı, kullanılabilir T_1/N_1 oranı küçük olacak ve böylece eşitlik (2.17) de hesaplanan derayman limiti epeyce düşecektir.



Şekil 2.13. Raydan çıkan tekerde maksimum Y_1/Q_1 oranı ve denge bozucu Q_1/Q_2 oranının karşılaştırması

Deraymanlar muhtemelen yüksek yanal temas kuvveti bileşeni ve raydan çıkan tekerdeki boşalmanın bir kombinasyonu altında meydana gelir düşüncesi çok önemlidir. Bu şartlar altında, Şekil 2.13'te gösterilen sonuçlarda olduğu gibi, üç boyutlu bir teker setinde derayman elde etmek için Y_1/Q_1 oranının Nadal limitinden çok daha büyük olması gerekir.

Sonuç olarak yukarıda varılan sonuçlar Shust ve Elkins in sonuçları ile birbirine zıt olabilir. Bu sonuçlar arasındaki farkın temel kaynağı Shust ve Elkins in daha büyük yaklaşma açıları kullanıyor olmalarıdır (30 mrad). Böylece deray olan teker boyuna yöndeki kayıplara daha az duyarlı olur (Braghin vd., 2006).

2.5. Derayman Olayının Nedenleri ve Sınıflandırılması

2.5.1. Giriş

Derayman olayları yolcu ve demiryolu personelinin güvenliği açısından risk oluşturmakla birlikte, demiryolu ağındaki aksamaların ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan ek masrafların sorumlusudur.

Deraymanlara sebep olan olaylar, durumlar ve şartların geniş türleri vardır. Ama bunlar sık sık ortak başlıklar altında toplanırlar. Her ne kadar küçük olaylar olsa da ortalama 2 günde bir derayman olayı meydana gelmektedir.

Derayman riskleri bir dizi ölçümler kullanılarak yönetilebilirler ve kontrol edilebilirler. Fakat bunlar arsında araçlar ve yolun tasarımı, inşası, korunması ve yönetimi en başta göz önüne alınmalıdır (Anonim, 2003).

2.5.2. Deraymanların Sınıflandırması

İngiltere Demiryolu Güvenlik ve Standartlar Kurumu (Rail Safety and Standards Board) tarafından hazırlanan 17.03.2004 tarihli ve ‘‘Derailment Mitigation-Categorisation of Past Derailments’’ başlıklı çalışmada 1992 yılları ile 2001 yılları arasında meydana gelmiş 1657 adet derayman olayı incelenmiş ve bunların %85’i sınıflandırılarak genel olarak 3 kategoriye ayrılmıştır (Anonim, 2003).

Kategori 1: Yol ve taşıtın ikisinden birisinin gerekli standartlara uygun olmaması halinde yol ya da taşıt nedeniyle oluşan deraymanlar

Kategori 2: Yol ve taşıtın ikisinin gerekli standartlara uygun olmasına karşın yol ya da taşıt nedeniyle oluşan deraymanlar

Kategori 3: Yolun, taşıtın ya da yol/taşıtlı ilişkisinin dışındaki nedenlerle oluşan deraymanlar.

2.5.3. Sınıflandırma Konuları

İngilterede yapılan 10 yıllık bir zaman dilimini içeren istatistiksel bilgileri içeren çalışmada 1657 derayman olayının %15'lik kısmı olan 244 olay hariç derayman olayları tam olarak kategorize edilmiştir. Sınıflandırılabilen bu olaylar özellikle yol ve araç etkileşiminden kaynaklanan derayman olaylarıdır (Anonim, 2003).

Bunlar özellikle aşağıdaki gibidir:

Burulma: Sadece yolun standartlar dışında olmasından dolayı yolda meydana gelen burulma olaylarıdır. Burada araç burulmaya neden olmayacak niteliktedir.

Kırık Akslar/Tekerler: Bakım standartları ve bilgilerin doğru kullanılmamasından kaynaklanan teker ve akslarda kırılma meydana gelmesi ile oluşan deraymanlar.

Kırılmış Raylar: Bakım standartları ve bilgilerin doğru kullanılmamasından kaynaklanan raylarda kırılma meydana gelmesi ile oluşan deraymanlar

Şoklar/Yüklemeler: Çekme/frenleme şokları veya zayıf yüklemelerin sebep olduğu deraymanlar. Bunlar standartlar içinde olduğu halde yüksek derayman riskine sahip araçların sebep olduğu deraymanlardır.

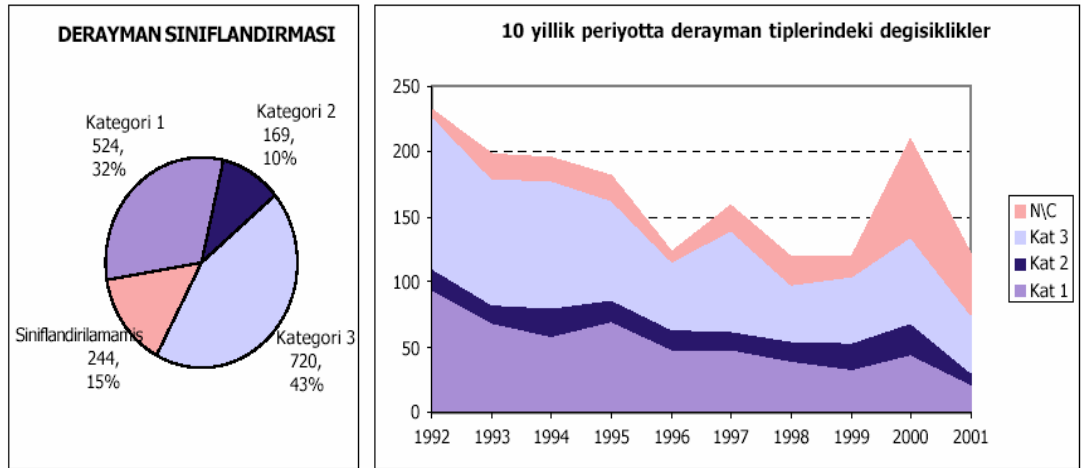
Tanınlanmış Yol Kusurları: Bakım periyotları içinde belirlenen yol kusurlarının sebep olduğu derayman olaylarıdır.

Etkisiz Faktörler: Yol veya araçların her ikisinde standartların dışında olduğu fakat dikkate alınan ihlallerin deraymanın meydana gelmesi alakasız veya önemsiz olduğu durumlarda meydana gelen deraymanlar.

Belirsiz Durumlar: Meydana gelen derayman olayını yoldan veya araçtan kaynaklandığı belirlenemeyen derayman olaylarıdır.

2.5.4. Derayman Sınıflandırma Analizi

İngiltere de 1992–2001 yılları arasında meydana gelen 1657 derayman olayının 524'ü kategori 1'e ve 169'u kategori 2'ye dahildir. Bu iki kategori meydana gelen olayların %40'ını oluşturmaktadırlar. Kalan 964 olayın 720'si kategori 3'e ve 244'ü de sınıflandırılmamış olarak kayıtlara geçmiştir (Şekil 2.14) (Anonim, 2003).



Şekil 2.14. Derayman sınıflandırması

2.5.4.1. Kategori 1 Deraymanlar:

Yol ve aracın standartlara uymamasından kaynaklanan 524 derayman olayı kategori 1'e dahil olmaktadır. Bu olaylar 4 ana alt başlık altında toplanmıştır.

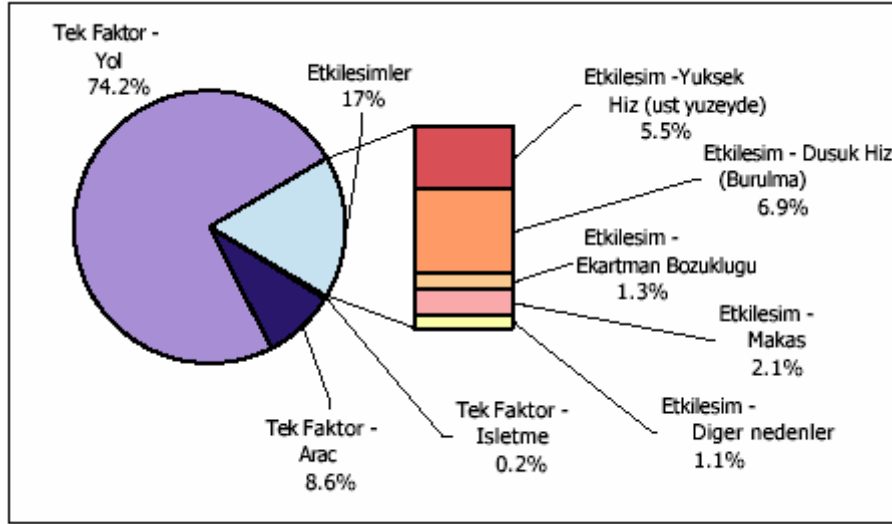
Tek Faktör – Yol: Yolun standartlara uymamasından kaynaklanan derayman olaylarıdır.

Tek Faktör – Araç: Araçların standartlara uymamasından kaynaklanan derayman olaylarıdır.

Tek Faktör – İşletme: Sadece araçların nasıl kullanıldığına bağlı olarak meydana gelen derayman olaylarıdır.

Etkileşimler: Yol, araç ve işletme konularının en az birinin standartlara uymamasından kaynaklanan ve bunların kombinasyonu olan derayman olaylarıdır.

Bu kategorini 389'u (%74.2) yol standartlarının ihlali, 45'i (%8.6) araç standartlarının ihlali ve 1 (%0.2) olayda işletme standartlarının ihlali sonucu kaynaklanmıştır. Kalan 89 (%17) olay, yol, araç ve işletme hatalarının etkileşimini içermektedir ve burada en az bir nedensel faktör standartları çığnemektedir (Şekil 2.15 ve Çizelge 2.1) (Anonim, 2003).



Şekil 2.15. Kategori 1 deraymanların alt grupları

Çizelge 2.1. Kategori 1 deraymanların alt gruplarının sayıları

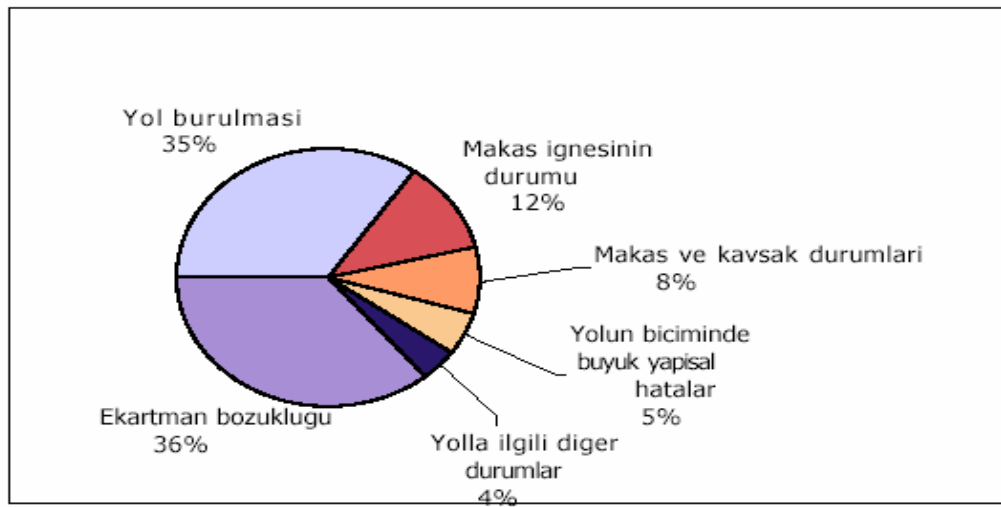
Kategori Bozulmalar	Toplam	%
Tek Faktor -Isletme	1	0.2%
Tek Factor - Arac	45	8.6%
Tek Faktor - Yol	389	74.2%
Etkileşim - Yuksek Hiz (ust yuzey)	29	5.5%
Etkileşim- Dusuk Hiz(Burulma)	36	6.9%
Etkileşim - Ekartman Bozuklugu	7	1.3%
Etkileşim - Makas	11	2.1%
Etkileşim - Diger	6	1.1%
Toplam Kategori 1 Deraymanlar	524	

Çizelge 2.1'de görülebileceği gibi bu etkileşimlerin hemen hemen hepsi yol faktörleri ile araç durumu ve aracın nasıl yönetildiği ile derayman olayının ne zaman

olduğuna bağlıdır. 10 yıllık periyotta sınıflandırılan kategori 1 deraymanların %90'ından daha fazlasının nedeni yolun standartlara uymadığı takdirde direkt olarak yolun özneteliğine bağlıdır.

Tek Faktör –Yol:

Derayman olayını etkileyen tek faktör yola bağlı nedenler aşağıdaki gibidir (şekil 2.16 ve Çizelge 2.2)



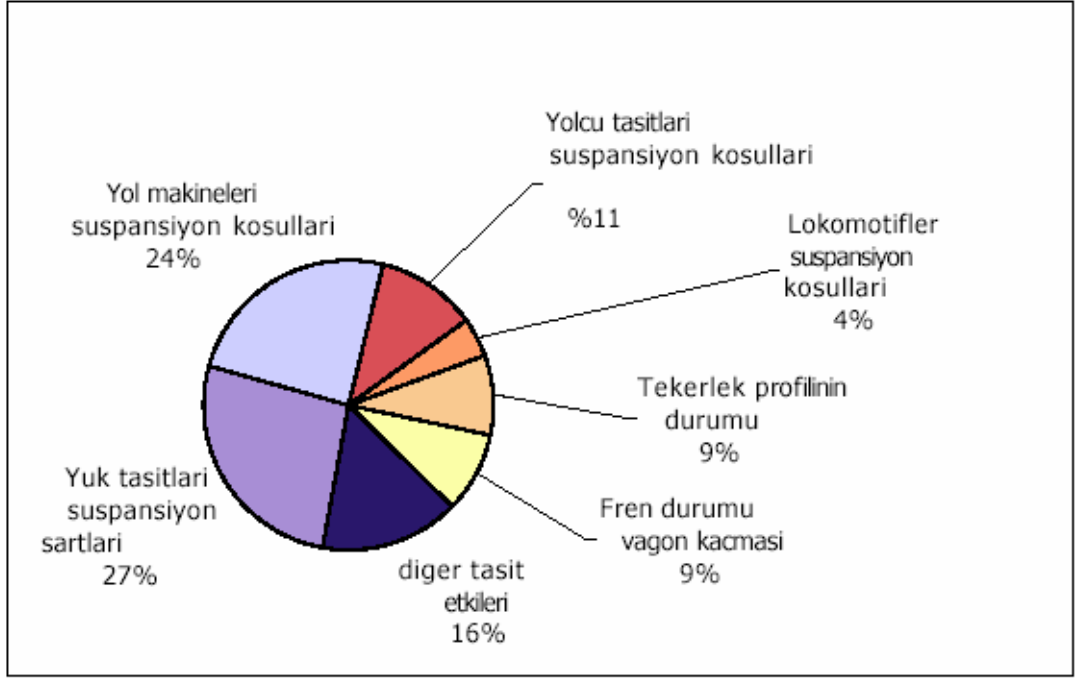
şekil 2.16. Kategori 1 deraymanlar: Tek faktör yol

Çizelge 2.2. Kategori 1 deraymanlar tek faktör yolun alt gruplarının sayıları

Kategori 1 - Tek Faktör - Yol	Toplam	%	% Toplam
Ekartman bozuklugu	141	36.2%	26.9%
Yol burulmasi	135	34.7%	25.8%
Makas ignesinin durumu	45	11.6%	8.6%
Makas ve kavsak durumları	32	8.2%	6.1%
Yolun biçiminde büyük yapısal hatalar	21	5.4%	4.0%
Yolla ilgili diğer durumlar	15	3.9%	2.9%
Toplam Kat 1 T.F - Yol Deraymanları	389		74.2%

Tek Faktör – Araç:

Derayman olayını etkileyen tek faktör araca bağlı nedenler aşağıdaki gibidir (Şekil 2.17 ve Çizelge 2.3).



Şekil 2.17. Kategori 1 deraymanlar: Tek faktör araç

Çizelge 2.3. Kategori 1 deraymanlar tek faktör aracın alt gruplarının sayıları

Kategori 1 - Tek Faktör - Arac	Toplam	%	% Toplam
Suspansiyon koşulları - yuk vagonları	12	26.7%	2.3%
suspansiyon koşulları - yol makineleri	11	24.4%	2.1%
Suspansiyon koşulları -yolcu taşıtları	5	11.1%	1.0%
Suspansiyon koşulları - lokomotifler	2	4.4%	0.4%
Teker profili durumu	4	8.9%	0.8%
Fren durumu - vagon kaçması	4	8.9%	0.8%
Diğer taşıt etkileri	7	15.6%	1.3%
Toplam Kat 1 T.F - Arac Deraymanları	45		8.6%

2.5.4.2. Kategori 2 Deraymanlar:

Bu kategoriye giren 169 derayman olayı vardır ve bu olaylar 6 alt ana başlık altında toplanmıştır (Şekil 2.18 ve Çizelge 2.4) (Anonim, 2003).

Tek Faktör – Yol: Başlıca bir yol özelliğinin sebep olduğu deraymanlardır.

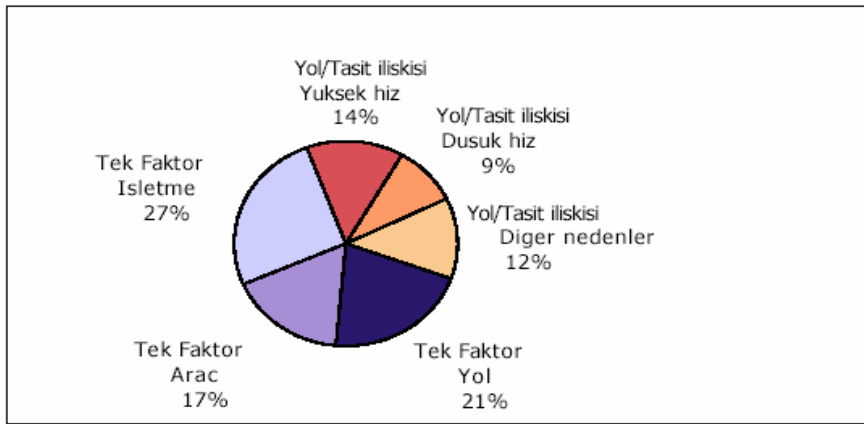
Tek Faktör – Araç: Başlıca bir araç özelliğinin sebep olduğu deraymanlardır

Tek Faktör – İşletme: Başlıca aracın yol üzerinde nasıl yönetildiğinden kaynaklanan deraymanlar.

Etkileşim – Yüksek Hız: Yol araç ve işletme sorunlarını üçünün birlikte, yüksek hızda bir aracın deraymana uğramasına sebep olan olaylar

Etkileşim – Düşük Hız: Yol araç ve işletme sorunlarını üçünün birlikte, düşük hızda bir aracın deraymana uğramasına sebep olan olaylar.

Etkileşim – Diğer Nedenler: Yukarıdaki sınıflara uymayan derayman olayları



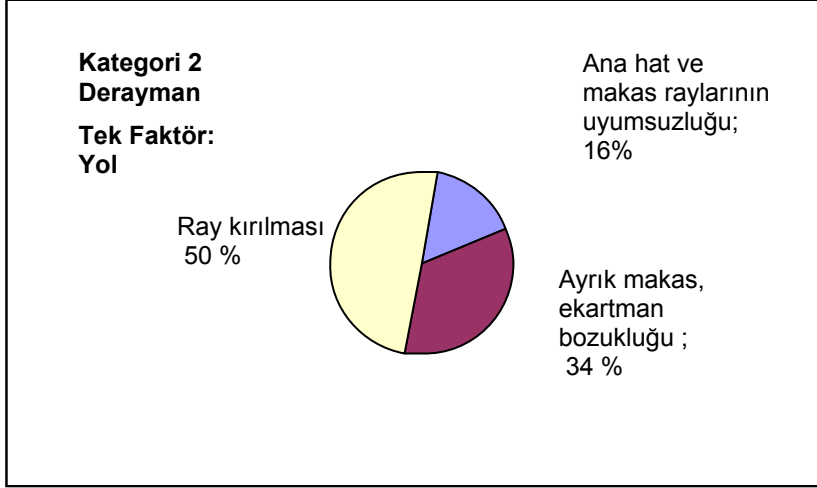
Şekil 2.18. Kategori 2 deraymanların alt grupları

Çizelge 2.4. Kategori 2 deraymanların alt gruplarının sayıları

Kategori 2 Deraymanlar Bozulma	Toplam	%
Tek Faktör - Yol	35	20.7%
Tek Faktör - Araç	29	17.2%
Tek Faktör - işletme	44	26.0%
Etkileşim - Yüksek Hız	24	14.2%
Etkileşim - Düşük Hız	16	9.5%
Etkileşim - Diğer Nedenler	21	12.4%
Toplam Kategori 2 Deraymanlar	169	

Tek Faktör – Yol:

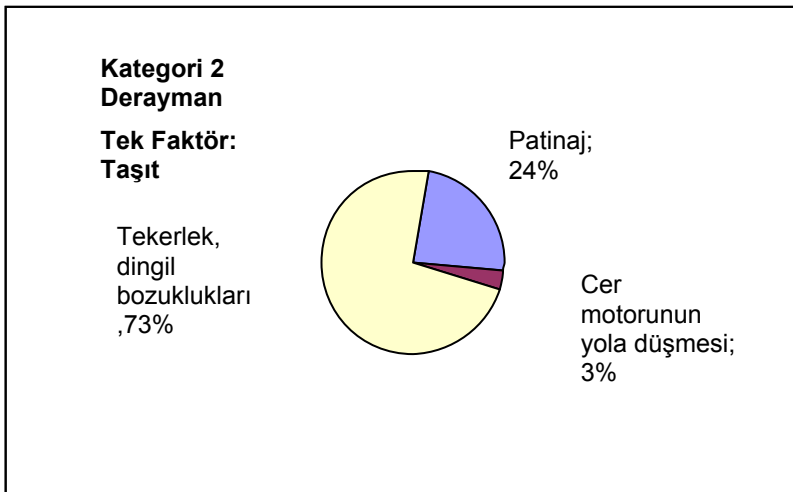
Derayman olayını etkileyen tek faktör yola bağlı nedenler aşağıdaki gibidir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Kategori 2 deraymanları tek faktör yolun alt grupları

Tek Faktör – Taşıt:

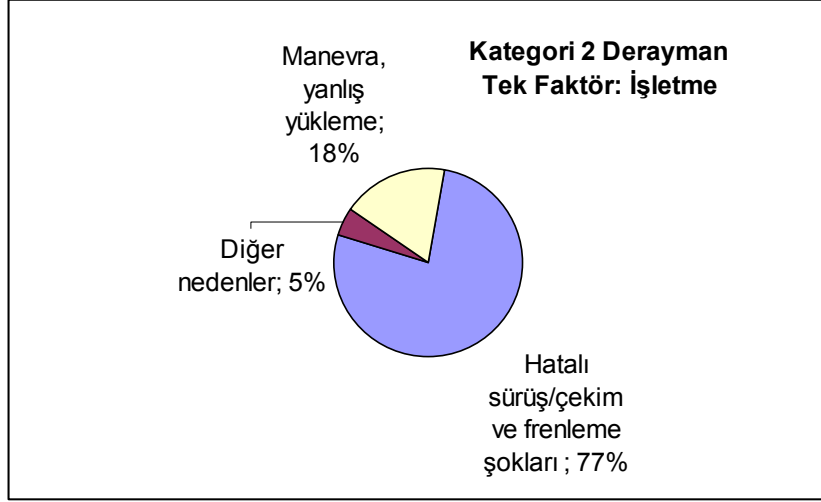
Derayman olayını etkileyen tek faktör taşıta bağlı nedenler aşağıdaki gibidir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Kategori 2 deraymanları tek faktör taşıtın alt grupları

Tek Faktör – İşletme:

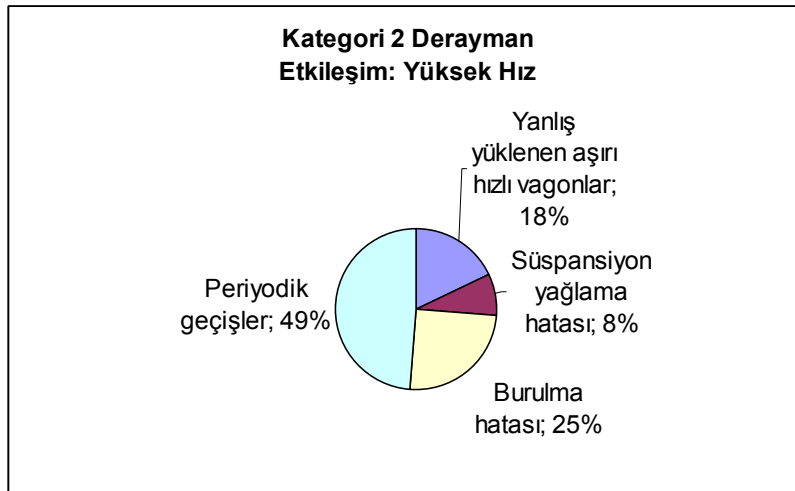
Derayman olayını etkileyen tek faktör işletmeye bağlı nedenler aşağıdaki gibidir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Kategori 2 deraymanları tek faktör işletmenin alt grupları

Etkileşim – Yüksek Hız:

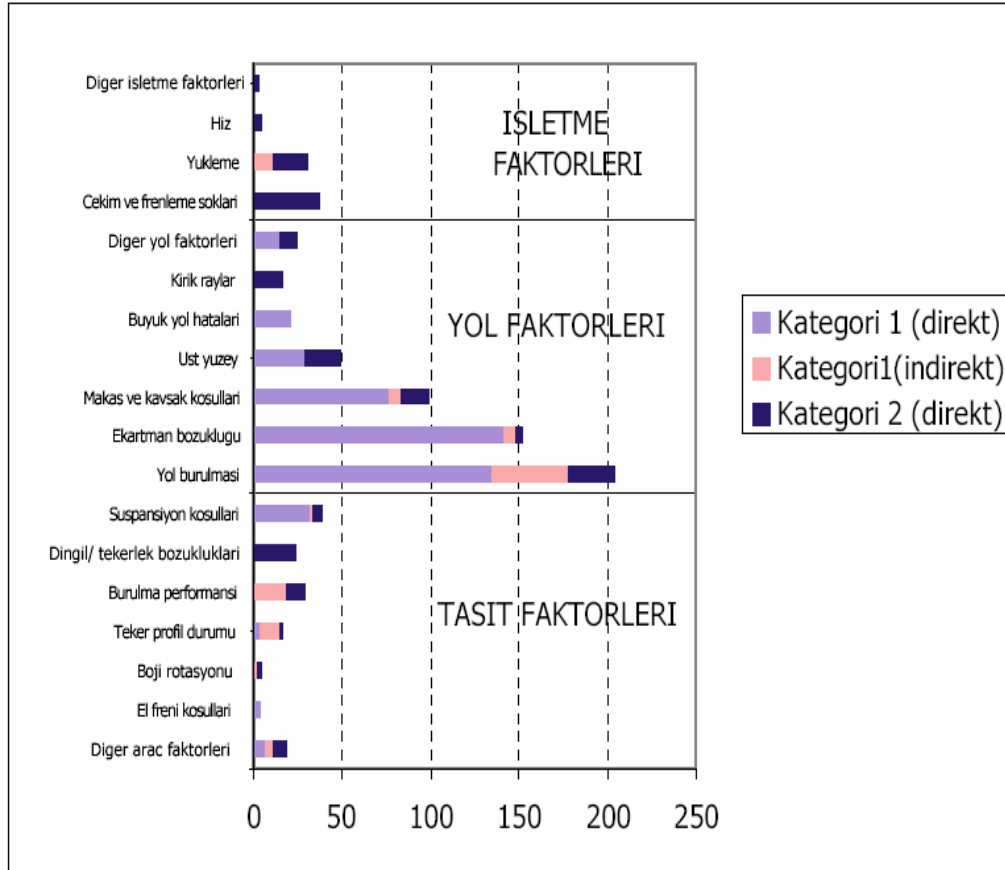
Derayman olayını etkileyen etkileşim yüksek hıza bağlı nedenler aşağıdaki gibidir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Kategori 2 deraymanları etkileşim yüksek hızın alt grupları

2.5.4.3. Deraymanların Nedensel Faktörleri

Derayman olaylarını etkileyen en küçük bir faktörün bile göz önüne alındığı nedensel faktörlerin sayıları ve sınıflandırmaları aşağıdaki gibidir (Şekil 2.23) (Anonim, 2003).



Şekil 2.23. Deraymanların nedensel faktörlerine göre sayıları

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1. Demiryolu Kazaları

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesinin 2004 yılı verilerine göre bu yılda meydana gelen kazaların kuruluşu verdiği zarar 170 trilyon Türk Lirasıdır. Ayrıca, ölümler ve yaralanmalardan dolayı güvenin azalmasının, olaylar sonucu ceza alan personelin motivasyon ve iş gücü kaybının hesabı yapılamamaktadır (Anonim, 2004). Bu kayıplar nedeni ile demiryolu kazaları üzerinde çalışmalara gidilmektedir.

TCDD verilerine göre kazalar:

1. İnsan kaynaklı
2. Sistem kaynaklı
3. Doğa kaynaklı

olmak üzere üç temel başlıkta toplanmaktadır.

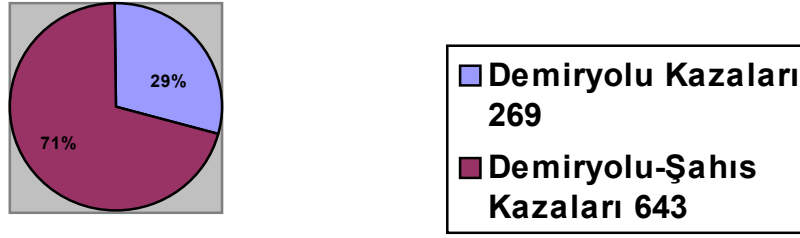
TCDD verilerine göre 2004 yılında toplam 912 adet kaza meydana gelmiştir.

Bunların sayıları ve sınıflandırması da:

1. Demiryolu Kazaları :269
2. Demiryolu-Şahıs Kazaları :643

olarak verilmiştir (Şekil 3.1) (Anonim, 2004).

Yıllık Kaza Oranları



Şekil 3.1. TCDD 2004 yılı yıllık kaza oranları

Bu kazalardan %71'lik oranla demiryolu-şahıs kazaları, demiryolları işletmesi dışındaki şahısların neden olduğu kazalar olarak tanımlanabilir ve nedenleri:

1. Yangın
2. Trenden Düşme
3. Şahsa Çarpma
4. Geçit Çarpışması
5. Saldırı
6. Yankesicilik
7. Hırsızlık

olarak sıralanmaktadır (Anonim, 2004).

Diğer %29'luk oranla gösterilen demiryolu kazaları ise demiryolları işletmesinden kaynaklanan kazalar olarak tanımlanabilir ve nedenleri:

1. Deraymanlar
2. Tren Çarpışmaları
3. Manevra Çarpışmaları
4. Diğer Araç Çarpışmaları
5. Tren Kaçması
6. Karşılaşma

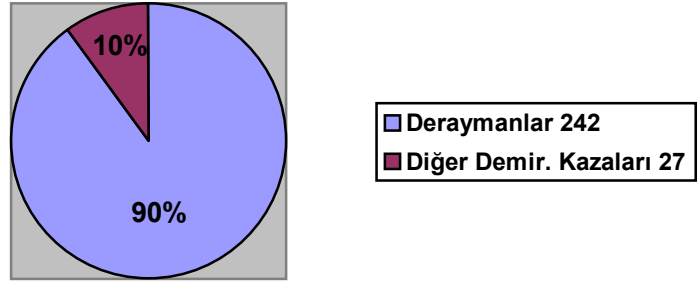
7. Vagon Kaçması
8. Yol Kapanması

olarak sıralanmaktadır (Anonim, 2004).

Her ne kadar oransal olarak demiryolu-şahıs kazaları daha fazla gözüksede, demiryolu kazaları maliyet bakımından demiryolu-şahıs kazalarına göre işletmede daha büyük maddi kayıplara neden olmaktadır.

Yine TCDD 2004 yılı verilerine göre demiryolu kazalarının oransal dağılımı aşağıdaki gibidir (Şekil 3.2).

Demiryolu Kazalarının Oransal Dağılımı



Şekil 3.2. TCDD 2004 yılı verilerine göre demiryolu kazalarının oransal dağılımı

Bu kaza olaylarından en yüksek orana sahip olan derayman, demiryolu aracının raydan çıkması olarak bilinmekte ve demiryolunun başlangıcı olan 1825 yılından beri demiryolu ile ilgilenen bilim adamları ve teknoloji uzmanlarının karşısına can sıkıcı bir problem olarak çıkmaktadır. Derayman tüm dünyada 100 yılı aşkın bir süredir meydana gelmesi ile büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Otoritelerin derayman konusundaki düşünceleri, deraymanın mekanik mekanizmasının tam olarak anlaşamadığı yönündedir. Bunun anlamı da uygulanabilecek önleyici tedbirlerin alınamayışıdır.

Örneğin, Çin de demiryolu hızlandırması başladığından beri, yük trenlerinin hızı 50-60 km/s den 70-80 km/s e çıkarılmıştır. Bununla orantılı olarak özellikle düz yollu hatlarda daha fazla derayman kazası meydana gelmiş ve demiryolu taşımacılığına ciddi bir müdahale ve de güvenlik için büyük bir tehdit oluşturmuştur. Bunun bir sonucu olarak demiryolu işletmeleri hız sınırlaması gibi tedbirler almak zorunda kalmıştır. Yine de bu hız limiti demiryolu geliştirme planlarında aşılacak zorunda kalmış ve yol kapasitesini artırmak için hızlı yük trenlerinde hızın 120 km/s ve normal yük trenlerinde hızın 90 km/s'e çıkması öngörülmüştür. Hız limit yapılan demiryolu planlamalarında ciddi bir ekonomik engelleyici olarak görülmüştür. Bundan dolayı, yük trenlerinde tren deraymanı mekanizması ve tedbirler araştırılarak, deraymana karşı önlem alınması ve hatta tamamen bu kazaların ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

3.1.2. Derayman

3.1.2.1. Deraymanın Tanımı

Bir demiryolu arabası dingilinin herhangi bir nedenle raydan çıkması olayına derayman denilmektedir (Şekil 3.3). Derayman, çok farklı nedenlerin bir araya gelmesi ile oluşabilir. Örneğin hemzemin geçitte otomobille trenlerin çarpışması, demiryoluna kaya parçasının düşmesi, deprem nedeni ile hat genişliğinin aniden artması, rayların burulması, rayların kırılması, taşıt tekerleklerinin kırılması gibi birçok faktör sayılabilir. Sıraladığımız faktörleri kestirmek oldukça zordur ancak gerek projelendirme aşamasında gerekse işletme sırasında gerekli önlemler alındığında, sıraladığımız nedenlerden dolayı oluşan derayman olaylarına çözüm bulmak mümkündür (Yarman vd., 2004)

Derayman olayında sorun çok karmaşıktır. 19. yüzyıldan beri kuramsal ve deneysel incelemeye konu olmuştur. Henüz tam bir statik ve dinamik kuram geliştirilememiştir (Evren, 1999).

Bununla birlikte sistematik deneysel sonuçlara iyi bir yaklaşımda bulunan matematik çözümlere ulaşılmıştır. Bu çözümler çok basitleştirilmiş bir kuram olup Nadal Kuramı olarak karşımıza çıkmaktadır (Evren, 1999).



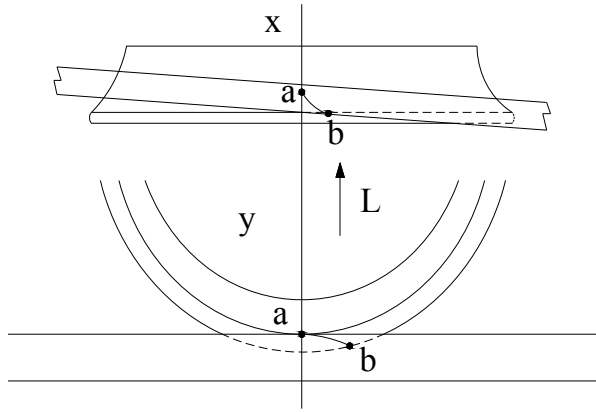
Şekil 3.3. Deraymana uğramış demiryolu araçları

3.1.2. Nadal Kuramı

İlk defa 1908 yılında Fransız mühendis Nadal tarafından öne sürülen demiryolu buden tırmanması deraymanının farklı varyasyonları vardır. Nadal'ın herkes

tarafından bilinen Q/P formülü tekerleğin enine bir düzlemdeki kısmında enine ve dikey temas kuvvetlerinin dengesine dayanmaktadır. Trafikteki demiryolu araçları için bu kriterin davranışını anlayabilmek için laboratuvar boyutlarına indirgenmiş deneysel ölçümler yapılmıştır (Evren, 1999).

Rayı belirli bir açıyla kesen Q yanal itkisinin etkisi altında bulunan bir tekerlek göz önüne alalım (Şekil 3.4). Tekerlek budeninin bu itki etkisiyle yavaş yavaş raydan çıkıp çıkmayacağını araştıralım.



Şekil 3.4. Demiryolu tekerinin raya temas düzlemi

Buden iç yüzünün yarıçapı rayın buna karşı gelen kesimindeki yarıçapına göre yeterince büyük olduğundan ray-tekerlek teması a-b çizgisi üzerinde olacaktır. Tekerleğin yuvarlanma hareketinde, ani dönme eksenini a noktasından geçen xy eksenidir (ya da ani dönme noktası a'dır denilebilir). Tekerleğin herhangi bir noktasının (örneğin b noktasının) elamanter yer değiştirmesi merkezi xy üzerinde olan bir daire yayıdır. O halde b noktası ray üzerinde kayar. Bu yer değiştirmenin olabilmesi için temas yüzeyine normal doğrultudaki tepkinin doğurduğu sürtünme kuvvetinin aşılması gerekir. Kayma gerçekleştiği sürece tekerleğin rayı aşmak için hiçbir eğilimi olmayacaktır. Fakat sürtünme kuvveti kaymanın durmasını sağlayacak yeterli bir değere ulaştığı zaman, b noktası ani dönme noktası olur ve bu b noktası

etrafında dönen tekerleğin arka kesimi kalkar. b noktası, tekerleğin taşıdığı P indis düşey yükünün ve L radyal itkisinin uygulama noktası olur (Evren, 1999).

b noktasının budenin α eğimindeki konik kesiminde bulunduğunu varsayalım (Şekil 3.5). Tekerlek P yükünü ve Q itkisini raya iletir. Tekerleğe normal doğrultudaki bir N tepki kuvveti etkiler eğer kayma söz konusu ise N kuvvetine bir $\mu.N=T$ sürtünmesi karşı gelir. b noktasına uygulanan kuvvetlerin denge koşulu yazıldığında kritik Q_k itki değeri elde edilir. Ancak bu değer ötesinde tekerlek raydan çıkabilir. Söz konusu kritik itki değerini veren bağıntı:

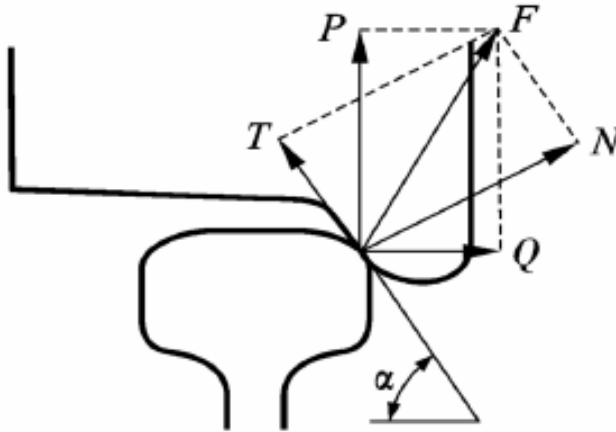
$$\frac{Q}{P} = \frac{tg \alpha - \mu}{1 + \mu.tg \alpha} \quad (3.1)$$

Örnek: $\alpha=70^\circ$ ($tg\alpha=2.75$) ise ve $\mu=0.25$ (kuru ray için) alınırsa,

$Q_k= 1,5 P$ elde edilir.

Islak ray için $\mu=0.12$ alınarak

$Q_k= 2P$ bulunur.



Şekil 3.5. Derayman başladığında teker- ray hareketi

10 tonluk bir tekerlek yükü için raydan çıkma tehlikesi kuru bir ray üzerinde 15 tonun üstündeki radyal bir itki ile söz konusu olabilir. Böyle bir raydan çımadan kaygılanmaya gerek yoktur. Çünkü 15 tondan daha küçük yanal kuvvetler için yol

deforme olur. Başka bir deyimle yanal kuvvetler bakımından tehlike tekerleğin yoldan çıkması değil yolun deforme olmasıdır. Yolun deformasyonu tehlikesi önlendiğinde tekerleğin raydan çıkması söz konusu olmayacaktır (Evren, 1999).

3.2. Yöntem

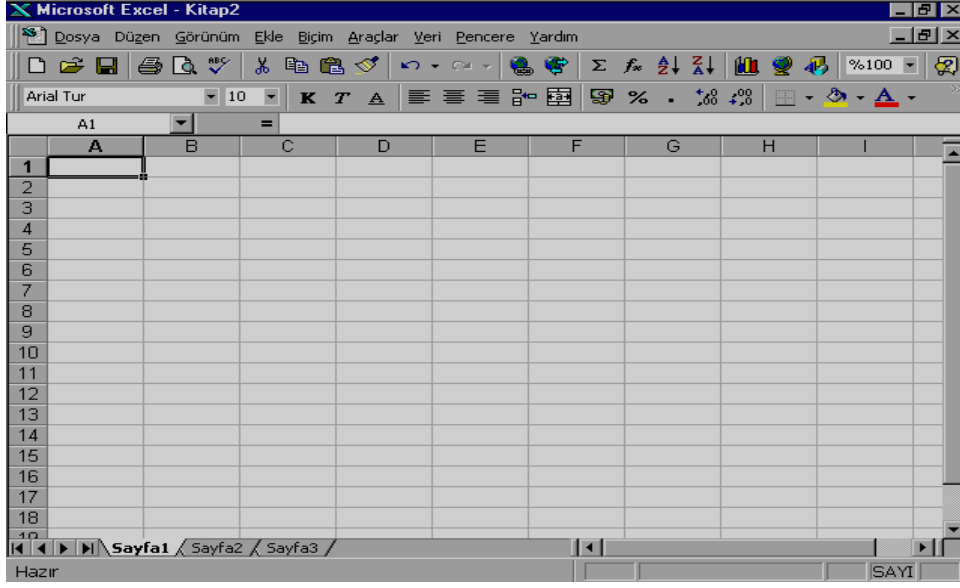
3.2.1. Microsoft Excel

Microsoft Excel, Microsoft uygulamalarının içinde olduğu Office 2003 paket programlarından birisidir. Office program paketinin her birisinin kendine has özellikleri bulunmaktadır.

1. Microsoft WORD rapor, kitap, broşür, dergi, tez gibi yazım işlemlerinin yapıldığı güzel ve kullanışlı bir kelime işlem programıdır.
2. Microsoft EXCEL ise tam bir hesap çizelgesi özelliği taşır. Yani bu çizelge üzerinde yazmış olduğunuz rakamlar, kelimeler ve tarih gibi bir takım veriler üzerinde, işinize uygun olarak dilediğiniz gibi matematiksel işlemler yapıp, grafikler çizip, işlerinizi daha kolay yapabilirsiniz. Kısaca özetlemek gerekirse EXCEL bir hesap çizelgesi özelliği taşır.
3. Microsoft POWER POINT ise Visual yani görsel bir programdır. Konferanslar, veya buna benzer uygulamalar için sunular hazırlamak için kullanılır. Hareketli görüntüler ve yazılar hazırlamak mümkündür.

3.2.2. Microsoft Excel Programını Özellikleri

EXCEL çizelgeleme programı başlatıldıktan sonra aşağıdaki görüntü ile ekrana gelecektir (Şekil 3.6). Aşağıdaki Excel penceresini inceleyecek olursak, ilk olarak göze çarpan küçük kutucuklar şeklinde olan bölümlerdir. Bunlar Excel'in esas gücünü ve özelliğini oluşturan bölümdür.



Şekil 3.6. Excel çizelgesi

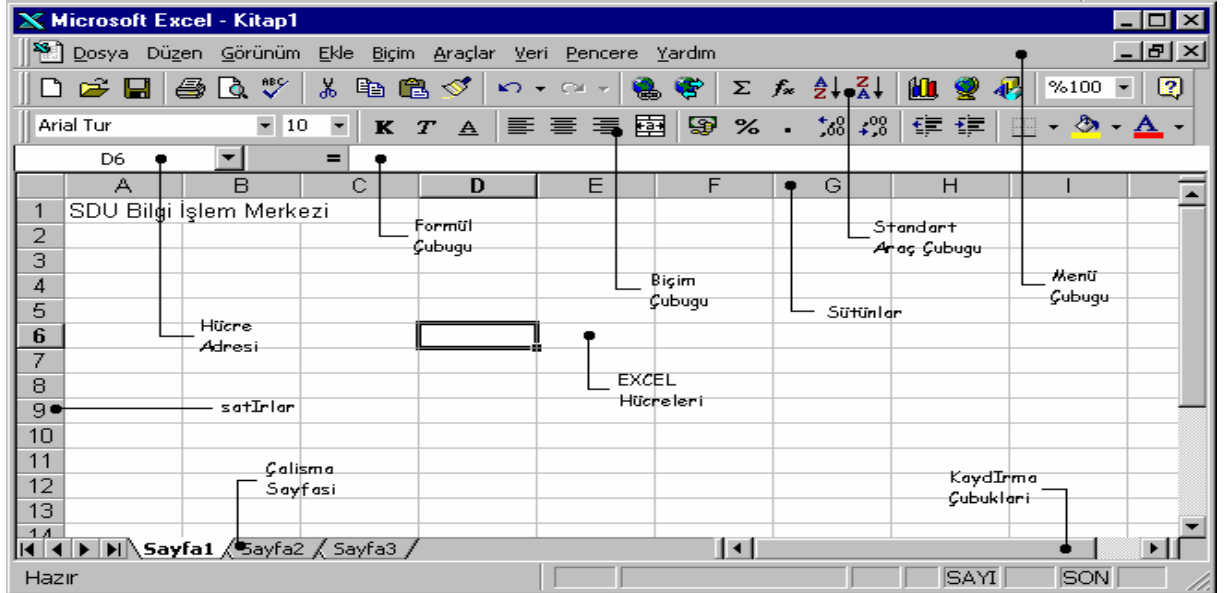
Excel programının formül çubuğu bulunmaktadır. Hücre içlerindeki formülleri görüp değiştirmeye yarayan bu çubuk ile gerekli olan formüller yazılarak, belli kurallar dahilinde aritmetik veya mantık işlemleri yapılabilir. Hücre kavramına değinmek gerekirse; EXCEL da her bir kutucuğu yani hücreyi diğer hücrelerden ayırmak için, her bir hücreye isimler verilmiştir. Bu isimlendirme bir satranç tahtasının isimlendirmesine çok benzer. Satırlar “1,2,3,...65536” arasında değişen rakamlar ile ifade edilirken, her bir sütun “A, B, C,...IU,IV” ye kadar giden harfler ile isimlendirilmiştir. Dolayısıyla çizelgedeki herhangi bir hücreyle işlem yaparken bu numara ve harfleri kullanmak zorundayız. Örnek vermek gerekirse, aşağıdaki EXCEL çizelgesindeki “*” işareti olan hücrenin adresi “C2” olacaktır. Dolayısıyla işlem yaparken bu hücrenin içinde ne olduğundan daha çok bu adres önem taşır. Hücrenin hangi satır veya sütuna geldiğini öğrenmek o hücrenin adresini öğrenmektir (Şekil 3.7).

	A	B	C	D
1				
2			*	
3				
4				
5				

Şekil 3.7. Excel çizelgesinde bir hücrenin adresi

3.2.3 Excel Çizelgesi Bileşenleri

Aşağıdaki çizelgede Excel in çevre bileşenleri görülmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Excel in çevre bileşenleri

EXCEL çizelgesinde işlem yapabilmek için hücre adreslerinin bilinmesi gereklidir.

	C2	=	=A2+B2
	A	B	C
1	Sayı 1	Sayı 2	Toplam
2	123	256	379
3			

Şekil 3.9. Excel çizelgesinde bir işlem

Yukarıdaki Excel çizelgesinde basit bir toplama işlemi görülmektedir (Şekil 3.9). A2 hücresinde bulunan Sayı1 ile B2 hücresinde bulunan Sayı2 nin toplanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla C2 hücresine yazılan “=A2+B2” işlemi iki sayıyı toplayarak C2 hücresine yazacaktır. Buda gösteriyor ki işlem yapılacak olan hücrelerin adresleri ve yapılacak olan temel aritmetik işlemler yöntemlerle çizelge üzerinde işlemler yapmak mümkün.

3.2.3.1 Formüllerdeki hesaplama işleçleri

İşleçler, bir formülün öğeleri üzerinde yapmak istediğiniz hesaplama türünü belirtir. Microsoft Excel, dört farklı hesaplama işleci türü içerir: aritmetik, karşılaştırma, metin ve başvuru. Aritmetik işleçler, toplama, çıkarma veya çarpma gibi temel matematiksel işlemleri yapar; sayıları birleştirir ve sayısal sonuçlar verir.

Aritmetik işleç	Anlamı	Örnek
+ (artı imi)	Toplama	3+3
- (eksi imi)	Çıkarma	3-1
* (yıldız imi)	Çarpma	3*3
/ (ileri eğri çizgi)	Bölme	3/3
% (Yüzde imi)	Yüzde	% 20
^	Üs	3^2 (3*3'le aynıdır)

Karşılaştırma işleçleri, iki değeri karşılaştırır, sonra DOĞRU veya YANLIŞ mantıksal değerini verir.

Karşılaştırma işleci	Anlamı	Örnek
= (eşit imi)	Eşittir	A1=B1
> (büyük imi)	Büyüktür	A1>B1
< (küçük imi)	Küçüktür	A1<B1
>= (büyük veya eşit imi)	Büyük veya eşittir	A1>=B1
<= (küçük veya eşit imi)	Küçük veya eşittir	A1<=B1

◇ (eşit değildir imi) Eşit değildir A1◇B1

"&" metin işleci, iki veya daha fazla metin değerini birleştirerek tek bir metin parçası verir.

: (iki nokta üst üste) İki başvuru arasındaki bütün hücelere, bu iki başvuruyu da içermek üzere, bir başvuru veren aralık işleci B5:B15

; (noktalı virgül) Çok sayıda başvuruyu, tek bir başvuruda birleştiren birleşme işleci TOPLA(B5:B15;D5:D15)

(tek boşluk) İki başvurudaki ortak hücelere bir başvuru veren kesişme işleci TOPLA(B5:B15 A7:D7) Bu örnekte, B7 hücresi, her iki aralıkta ortaktır.

3.1.3.2 Sayı girme ipuçları

Hücreye girdiğiniz sayılar değişmez değerlerdir. Microsoft Excel'de bir sayı yalnızca aşağıdaki karakterleri içerebilir: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 + - () , / \$ % . E e

Microsoft Excel, baştaki artı işaretlerini (+) göz ardı eder ve tek bir noktayı tamsayı olarak düşünür. Sayıların ve sayısal olmayan karakterlerin diğer bütün bileşimleri metin olarak düşünülür. Sayı olarak tanınan karakterler, denetim masasının bölgesel ayarlarında seçtiğiniz seçeneklere bağlıdır.

Bir kesrin tarih olarak girilmesini önlemek için kesirlerin önüne 0 (sıfır) koyulmalı; örneğin, 0 1/2 yazılmalıdır.

Negatif sayıların önüne eksi işareti (-) koyulmalı veya sayıları ayraç içine () yerleştirilmelidir.

Bir hücredeki bütün sayılar sağa hizalanır. Hizalamayı değiştirmek için hücreleri seçin. Biçim menüsünden hücreleri tıklatın, hizalama sekmesini tıklatın, sonra istediğiniz seçenekleri seçin.

Bir hücreye uygulanan sayı biçimi, Microsoft Excel'in çalışma sayfasında sayıyı görüntüleme şeklini belirler. Sayı, genel sayı biçimi olan bir hücreye yazılırsa, Microsoft Excel farklı bir sayı biçimi uygulayabilir. Örneğin, \$14.73 yazılırsa, Microsoft Excel para birimi biçimi uygular. Sayı biçimini değiştirmek için, sayıları içeren hücreleri seçin. Biçim menüsünden hücreleri tıklatın ve Sayı sekmesini tıklatın, sonra bir kategori ve biçim seçilir.

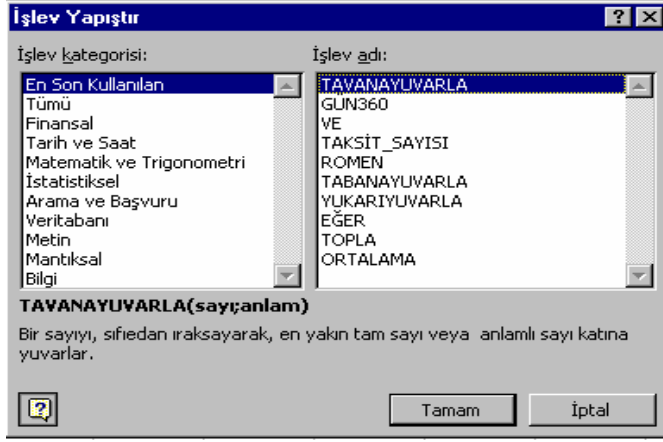
Varsayılan genel sayı biçimi olan hücrelerde, Microsoft Excel sayıları tamsayı olarak (789), tamsayı kesirleri olarak (7.89), veya sayı hücrenin boyundan daha büyükse bilimsel simgeleme ile (7.89E+08) görüntüler. Genel biçimi, ondalık noktası ve "E" ve "+" gibi karakterleri de içermek üzere en fazla 11 basamak görüntüler. Daha fazla basamağı olan sayıları kullanmak için yerleşik bilimsel sayı biçimi (üstel simgeleme veya özel bir sayı biçimi) uygulanabilir.

Görüntülenen basamak sayısına bakmaksızın Microsoft Excel sayıları en fazla 15 basamak duyarlıkla depolar. Sayının 15'ten fazla anlamlı basamağı varsa Microsoft Excel fazla basamakları sıfıra (0) dönüştürür.

Microsoft Excel, sayı içeren hücrelere metin biçimi uygulamak için Hücreler komutunu kullansanız da, sayıları, sayısal veriler olarak depolar. Microsoft Excel'in sayıları metin gibi parça numaraları olarak algılamasını sağlamak için, ilk önce boş hücrelere Metin biçimi uygulayın. Sonra sayıları yazın. Sayıları zaten girdiyse, hücrelere Metin biçimi uygulayın. Her bir hücreyi tıklatın, F2 tuşuna basın, sonra verileri yeniden girmek için ENTER tuşuna basın.

3.1.3.3 Excel İşlev Fonksiyonları

Standart araç çubuğunda bulunan işlev simgesine mouse ile tıklama yapılırsa aşağıdaki ekrana benzeyen bir görünüm oluşacaktır (Şekil 3.10). İşlevler kategorisinde mevcut bulunan işlevler gruplandırılarak ayrılmıştır.



Şekil 3.10. Excel işlev menüsü

İlgili işlev ile kullanım örnekleri yanında örnek verilerde bulunmaktadır. Bütün işlev fonksiyonlarını görmek ve incelemek için kategoriler kutusundaki tümü seçeneği seçilmelidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Derayman Kriterine Ait Bulgular

4.1.1. Derayman Kriterinin Hesaplanması

Derayman kriterinin hesaplanabilmesi için Microsoft Office programının Excel programı kullanılmıştır. Bunun için Excel programının işlev fonksiyonu seçilmiş gerekli hesaplamalar bu fonksiyon kullanılarak yapılmış ve derayman kriteri belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1.1.1. Derayman Kriterinin Hesabında Kullanılan Kıstaslar

Derayman kriterinin hesabında Nadal kuramından faydalanılmıştır. Nadal kuramında derayman kriteri, buden açısı(α) ve sürtünme katsayısının(μ) bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Bu fonksiyon Excel programında düzenlenmiş ve buden(α) açısı ve sürtünme katsayısının(μ) farklı değerleri için derayman kriteri hesaplanmıştır.

$$\frac{Q}{P} = \frac{tg \alpha - \mu}{1 + \mu.tg \alpha} \quad (4.1)$$

4.1.1.1.1. Hesapta Kullanılan Sürtünme Katsayısı Değerleri

Derayman kriteri hesaplarında sürtünme katsayısının üç değeri göz önüne alınmıştır.

Bunlar:

1. Kuru raylar için; $\mu = 0,25$
2. Nemli raylar için; $\mu = 0,12$
3. Yağlanmış bandaj; $\mu = 0,05$

Bu değerler doğal şartlar altında ortaya çıkabilecek durumlardır.

4.1.1.1.2 Hesapta Kullanılan Buden Açısı Değerleri

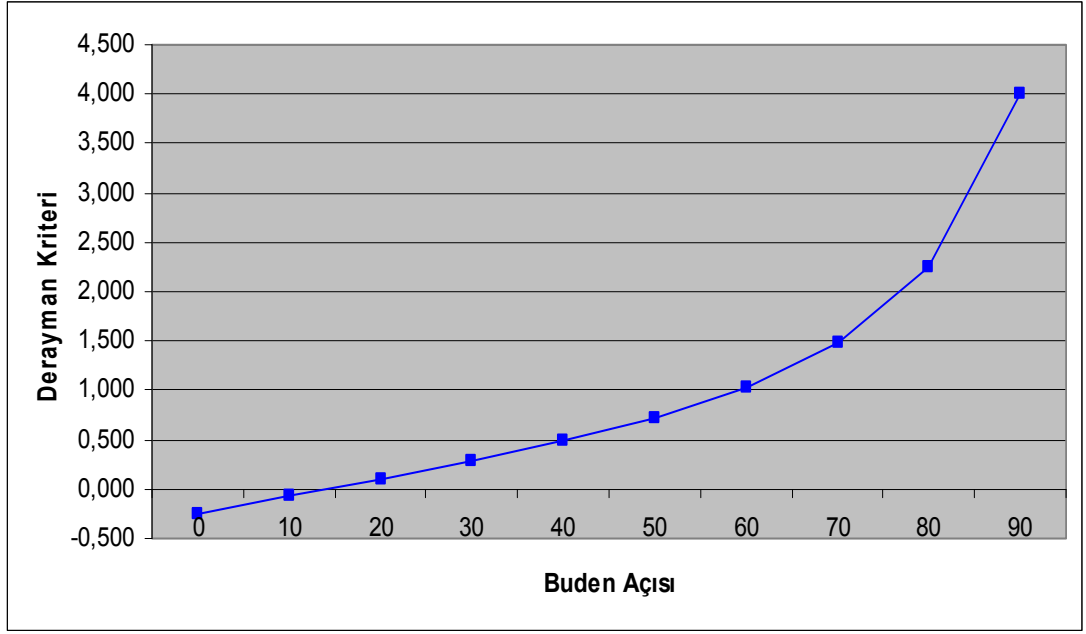
Derayman kriterinin hesabında olabilecek buden açısı değerleri, buden açısının mümkün olabilecek açı değerleri olan 0° - 90° arasındaki değerlerdir. Bu açı değerlerine 0° ve 90° de dahil edilmiştir. Açının 0° olması durumunda demiryolu aracında buden çıkıntısı olmayacaktır ve 90° olması durumunda buden tekere tam olarak dik konumda olacaktır. Bu iki durum da istenmeyen durumlardır ama hesaplara, bu durumların neden istenmediklerini göstermek amacıyla dahil edilmiştir.

4.1.2. Derayman Kriteri Hesap Sonuçları

Derayman kriteri Excel programı ile aşağıdaki çizelgeler oluşturularak hesaplanmış ve bu değerlere bağlı çizelgeler yine bu program içindeki çizelge çizme fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. Sürtünme katsayısının değeri $\mu = 0.25$ için derayman limit değerleri hesabı

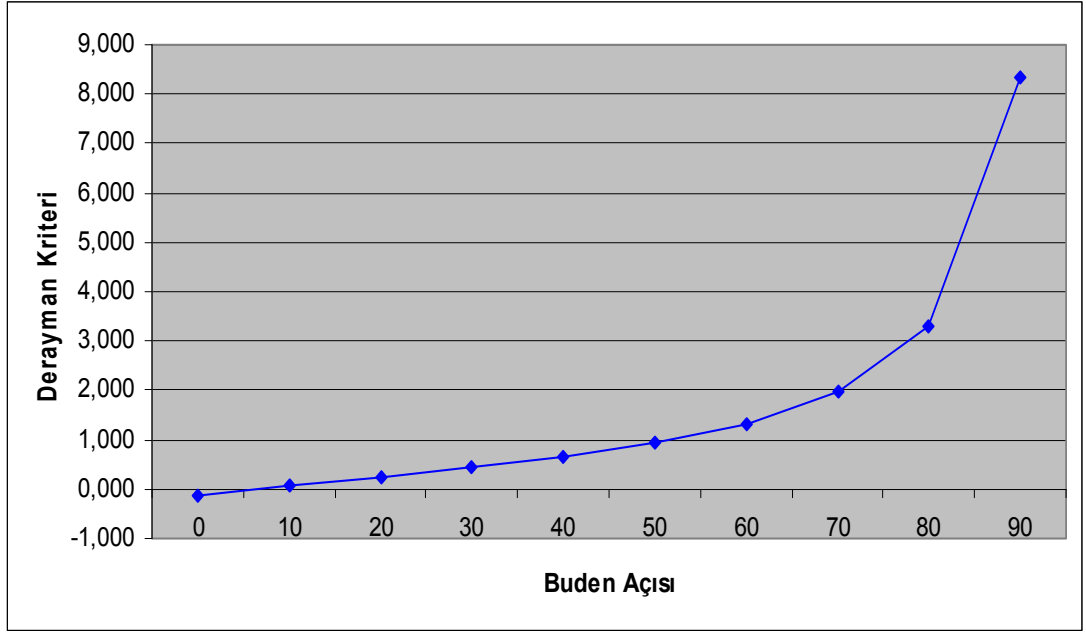
Buden Açısı	Sürtünme Katsayısı	Deryaman Krtiteri
0	0,25	-0,250
10		-0,071
20		0,104
30		0,286
40		0,487
50		0,726
60		1,034
70		1,481
80		2,242
90		4,000



Şekil 4.1. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.25$ için deryaman limit değerlerinin grafiği

Çizelge 4.2. Sürtünme katsayısının değeri $\mu= 0.12$ için deryaman limit değerleri hesabı

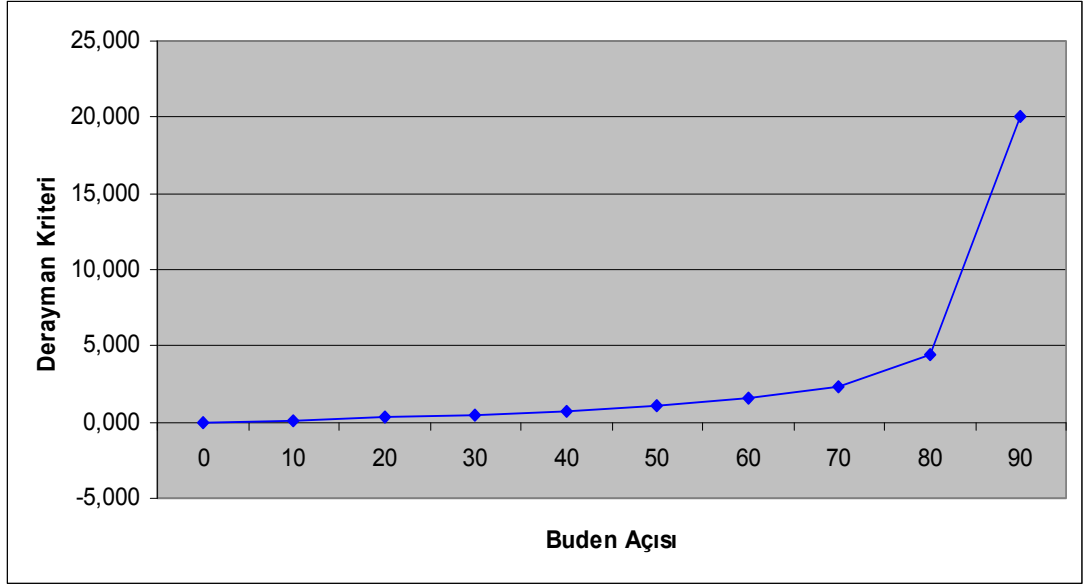
Buden Açısı	Sürtünme Katsayısı	Deryaman Kriteri
0	0,12	-0,120
10		0,055
20		0,234
30		0,428
40		0,653
50		0,938
60		1,335
70		1,976
80		3,303
90		8,333



Şekil 4.2. Sürtünme katsayısının değeri $\mu = 0.12$ için derayman limit değerlerinin grafiği

Çizelge 4.3. Sürtünme katsayısının değeri $\mu = 0.05$ için derayman limit değerleri hesabı

Buden Açısı	Sürtünme Katsayısı	Derayman Kriteri
0	0,05	-0,050
10		0,125
20		0,308
30		0,513
40		0,757
50		1,078
60		1,548
70		2,372
80		4,379
90		20,000



Şekil 4.3. Sürtünme katsayısının değeri $\mu = 0.05$ için derayman limit değerlerinin grafiği

Türkiye de demiryolları şartnamelerinde derayman için limit bir değer belirtilmemiştir. Bu çalışmada derayman kriteri üzerinde yapılan daha önceki çalışmalar ışığında derayman kriteri belirlenmeye çalışılmıştır. Kısım 2.3.3.'de çeşitli ülkelerde kullanılan derayman kriterlerinden bahsedilmişti. Bunları yeniden hatırlamak gerekirse:

Japonya: $Q/P = 0.8$, Q/P 'nin sürekli hareket zamanı 0.0015 saniyeden küçük olmalıdır, (araç modeli kurptan geçerken ki devamlı hareket zamanı, teker seti kesin bir yaklaşma açısına ve yatay bir harekete sahip, $Q/P \geq 0.8$) ile teker yükselmesi arasında bir ilişki vardır. $\Delta P/P_0 = 0.6$ (statik) $\Delta P/P_0 = 0.8$ (dinamik)

Batı Avrupa: $Q/P < 0.8$ (Q/P ortalama hareket mesafesi 2m.)

Kuzey Amerika: $Q/P \leq 1.0$ $\Delta P/P_0 < 0.9$

Çin: $Q/P = 1.0$ (izin verilen limit) , $Q/P = 1.2$ (tehlike sınırı) ve $\Delta P/P_0 = 0.60$ (izin verilen limit) , $\Delta P/P_0 = 0.65$ (tehlike sınırı)

olarak verilmişti. Bu sonuçlara bakarak izin verilen derayman limitinin (Q/P oranı) 0.8 ile 1.0 arasında değiştiği görülmektedir.

Bu çalışmada yapılan hesaplar neticesinde bulunan derayman limiti değeri, diğer ülkelerde izin verilen sınır değerlerde göz önüne alınarak 1.0 olarak belirlenmiştir. Ayrıca hesapta göz önüne alınacak buden açısının değerinin de 60 ile 70 derece arasında bir değere sahip olması gerektiği görülmüştür.

4.2. Derayman Nedenlerine Ait Bulgular

İncelenen çalışmalarda derayman olayının, dinamik ve statik birçok etkene bağlı olan nedenleri olduğu görülmüştür.

Dinamik etkenler, tren hareketi sırasında teker ve ray arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkmaktadır. Statik etkenler ise yol ve durumuna bağlıdır. Ama bu iki etkenin birbirinden bağımsız olarak derayman üzerinde etkili olduğunu söylemenin her zaman doğru olmadığı görülmüştür. Çünkü statik etkenler genelde tren hareketinin sonucudur. Bir trenin hareketi sırasında yolda çeşitli bozulmalar meydana gelebilir. Bu bozulmalar daha sonra başka bir trenin yolun bu bozuk kısmından geçmesiyle bu trenin uğrayacağı derayman olayında statik etken olarak yer alabilir.

Bölüm 2.5’de incelenen çalışmalarda derayman nedenleri verilmişti. Bu nedenlere bağlı olarak oluşum şekillerine göre deraymanlar beş ana grupta toplanmıştır. Bunlar:

1. Buden tırmanması deraymanı
2. Tekerlekte yük boşalması deraymanı
3. Gövde/boji tahriki hareketi ile derayman
4. Ekartman bozukluğu deraymanı
5. Engel deraymanı

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Demiryolları, uygulamaları ve yük ve yolcu taşımacılığındaki kullanımları ile modern hayatın bir parçası olarak dünya üzerinde 18. yüzyılın başından başlayarak önemli bir yer tutmayı başarmış ulaştırma sistemlerdir. Demiryolu sistemleri, yatırım maliyetlerinin büyüklüğü, proje aşamasının karmaşıklığı gibi dezavantajları ve yük ve yolcuların kitleler halinde uzun mesafelerde taşınması gibi büyük avantajları içinde barındıran karmaşık sistemlerdir.

Demiryollarının karmaşası, demiryolu fikrinin temellerinde yatmaktadır. Metalin metal üstündeki hareketi ilk bakışta sade bir olay gibi gözükse de bu hareket sırasında ortaya çıkan etkileşimler göz önüne alınmaya başlandığı zaman bu hareketin aslında birçok karmaşık bir durumu içerdiği görülmüştür. Derayman olayı da dinamik bir fenomen olarak bu karmaşanın bir parçası olmuştur.

Bu çalışmada derayman olayına etki eden faktörler ve derayman kriteri, daha önce yapılan çalışmalardan faydalanarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu verilerin incelenmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Derayman demiryolu araçlarının sürüş güvenliğini etkileyen en tehlikeli olaylardan biridir ve bu olay, iyi tasarım kriterleri ve uygun işletme koşullarının birleşimi ile önlenmeye çalışılmalıdır.
2. Araç tasarımı aşamasında teker kenarlarının şekli, buden açısı, boji dingil mesafesi gibi araç mimarisi kriterlerinden oluşan bazı anahtar parametrelerden uygun olanlar seçilerek derayman riski azaltılabilir.
3. Araçların hizmet süresi boyunca demiryolu araçları ve demiryolu hattında uygun bakım standartları sağlanmalıdır.
4. Deraymana sıklıkla neden olan durumlardan birisi düşük yol geometrisi kalitesidir. Böyle bir durumda, hatta ilerleyen stabil olmayan araçların oluşturduğu titreşimlerin yarattığı kısa dalgaların etkisiyle yolda bozulmalar meydana gelmektedir. Bu da deraymana neden olabilecek olayları ortaya çıkarmaktadır.

5. Araç tasarımı ve uygun bakım stratejilerinin her ikisi ile birlikte derayman güvenliği elde edebilmek için öncelikle deraymanın mekanizması derinlemesine anlaşılmalıdır. Bunun için de onaylanmış bir matematiksel modele ve derayman riskini tanımlamak için uygun bir kritere ihtiyaç vardır.
6. Gerçek koşullar altında ortaya çıkan sonuçlar laboratuarda elde edilenlerden çok daha farklı olabilmektedir. Yani tek başına derayman olayının fiziksel mekanizmasını anlamak bu olayı engellemeye yetmemektedir. Bu olayın tam olarak anlaşılabilmesi için gerçekte meydana gelen olayların ne olduğu dikkatlice değerlendirilmelidir. Bunun için bu olayların istatistikleri mümkün olduğunca ayrıntılı tutulmalıdır.
7. Derayman olayını tam olarak ortadan kaldıramasa bile bu olayı en aza indirmek için, yapılan bilimsel çalışmaların ışığında, işletmelerin bu konu üzerinde bilinçli olarak çalışmaları, standartları ihlal etmeden demiryolu ağını yönetmeleri, personellerini bu konuda eğitmeleri özellikle kural ihlali konusunda eğitmeleri gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akın, F.,2003, Türkiye'nin Gelişimi İçin Demiryolları, Demiryollarının Sorunları ve Gelişme Politikaları Üzerine Bir Araştırma, Demiryol-İş Sendikası Yayını, Ankara.
- Akın, F., Sultanoğlu, F.,2006, 1856'dan 2006'ya Demiryollarının 150 yılı, Demiryol-İş Yayınları, Ankara, 64-84 s.
- Anonim, 2004,TCDD 2004 Yılı İstatistikleri.
- Anonim, 2003, Derailment Mitigation-Categorisation of Past Derailments, A report for the Rail Safety and Standards Board, London.
- Barbosa R. S., 2004, A 3D Contact Safety Criterion for Flange Climb Derailment of a Railway Wheel, Vehicle System Dynamics, 42, (5), 289-300.
- Başköy, H., 2001, Ulaştırma Sistemleri İçinde Demiryollarının Yeri, Mevcut Durumu ve Geleceği TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, 3. Ulaşım ve Trafik Kongresi- Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara.
- Boronenko, Yu., Orlova, A., Iofan, A., Galperin, S., 2006, Effect that Appear During the Derailment of One Wheelset in the Freight Wagon: Simulation and Testing, Vehicle System Dynamics, Supplement, pp. 663-668.
- Braghin, F., Bruni, S., Cervello, S., Cigada, A., Resta, F.,2003, A New Method for the Measure of Wheel-Rail Contact Forces, 6th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems, Gotenborg, Sweden.
- Braghin, F. , Bruni, S. , Diana G., 2006, Experimental and Numerical Investigation on the Derailment of a Railway Wheelset with Solid Axle, Vehicle System Dynamics, 44, (4), 305-325.
- Bruni, S., Collina, A., Diana, G., Vanolo, P., 2000, Lateral Dynamics of a Railway Vehicle in Tangent Track and Curve: Test and Simulation, Vehicle System Dynamics, Supplement, the Dynamics of Vehicles on Roads and on Tracks, 33, pp.464-477.
- Bruni, S., Cheli, F and Resta, F., 2001, A Model for an Actively Controlled Roller Rig for Test on Full-Size Railway Wheelsets, Proceedings of IMechE-Part F-Rail and Rapid Transit, 215,(F4), 277-288.
- Çelik, F., 2001, Ulaştırma- Toplumsal Kalkınma İlişkisi ve Türkiye'nin Ulaştırma Politikaları, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 3. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi, Ankara.

- Çınar, T., Yüksek Hızlı Trenler, Çeken ve Çekilen Araçlar ile Demiryolu Alt ve Üst Yapı Teknolojisi, [http:// www.düsünenadam.com.tr/demiryolu.htm](http://www.düsünenadam.com.tr/demiryolu.htm).
- Dengiz, B., Kutay, F., Duman, İ., 1997, Türkiye’de ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Demiryolları, 2. Ulusal Demiryolu Kongresi 15-16-17 Aralık 1997, Tisamit Basım Sanayi, Ankara.
- Duman, İ., 1994, Demiryollarında Verimlilik ve Enerji Tasarrufu, TCDD, Ankara.
- Elkins, J:A: and Wu, H., 2000, New Criteria for Flange Climb Derailment, ASME/IEEE joint Railroad Conference, April 2000.
- Ergün, İ., 1985, Türkiyenin Ekonomik Kalkınmasında Ulaştırma Sektörü, Hacettepe Üniv., İ.İ.B.F. Yayını no:10, Ankara.
- Evren, G.,1999, Demiryolu, Birsen Yayınevi, İstanbul, 90-130s.
- Hiç, M., 1981, Büyüme ve Gelişme Ekonomisi, İstanbul.
- Kumbasar, F.,1972, Üst Yapı ve Demiryolu Mekaniği, Ankara.
- Jun, X., Qinyuan, Z.,2005, A Study on Mechanical Mechanism of Train Derailment and Preventive Measures for Derailment, Vehicle System Dynamics, 43, (2),121-147.
- Johnson, K., L., 1985, Contact Mechanics, Cambridge University pres, Cambridge.
- Kaynak, M., 2002, Yeni Demiryolu Çağı, Yüksek Hızlı Trenler ve Türkiye, Ekonomik Yaklaşım, Üç Aylık Dergi, cilt:13, sayı:42-43, Ankara.
- Kaypuntu, A., 2000, TCDD’nin Yönetim Yapısı ve Yönetimde Kalite, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Türkiye ve Ortadoğu Amme İdaresi Enstitüsü Kamu Yönetimi Lisansüstü Uzmanlık Programı, Ankara.
- Kesici, İ., Yener, C., 1979, Ulaştırma Ekonomisi Açısından Demiryolu Taşımacılığı ve Demiryollarının Öteki Taşıma Sistemleriyle Rekabet Edebilmesi İçin Teknolojik Koşullar, 1. Ulusal Demiryolu Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara.
- Nadal, M.J., 1896, Theorie de la stabilite des locomotives-part2. Movemet de Lacet. Annales des mines, 10, pp.232 -255.
- Öztürk, Z., 1997, Demiryolu ve Çevre, 2. Ulusal Demiryolu Sempozyumu Kongresi, Tisamit Basım Sanayi, Ankara.
- Tarım, G., Çetinel, H., 1979, Ulaştırma Alt Sistemlerinin Genel Karşılaştırması, Kullanış Biçimleri ve Alınması Gerekli Önlemler, 1. Ulusal Demiryolu Kongresi, Ankara.

- Tümay, O., 1979, Ulaştırma alt Sistemlerinin Çevre Sorunları ile Güvenlik Açısından Karşılaştırması ve bu Açılardan Karşılaştırılması ve Bu Açılardan Demiryollarının Faydaları, 1. Ulusal Demiryolu Kongresi Kitabı, Ankara.
- Yarman, S. , Seçkin, İ. , Erel A. , Karaşahin M. ,Başaran M. , 2004, Pamukova Tren Kazası İnceleme ve Araştırma Raporu, Ankara.
- Yiğidim, A., 2004, Avrupa Birliği Sürecinde Beklenti ve Sürdürülebilir Büyüme, Ekonomik Yaklaşım, Üç Aylık Dergi, cilt:15, sayı:52-53, Yaz-Güz 2004, Ankara.
- Zengin, B., Erel, K., 1999, Raylı Taşıt Sistemlerinin Çevre Değerlerine Olumlu Etkileri, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kentiçi Ulaşımında Raylı Sistemler Sempozyumu, Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat Vergi TACİROĞLU
Doğum Yeri ve Yılı : Adana-1981
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : 1995-1998 Adana Şehit Temel Cingöz Lisesi
Lisans : 1999-2004 Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-
Mimarlık. Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü