

55698

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RAYLARIN AŞINMA ANALİZİ VE AŞINMAYLA İLGİLİ
FORMÜLASYON ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Mehmet ARSLAN

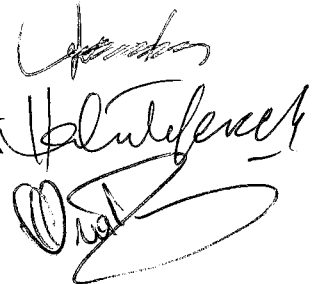
Tezin Enstitüye Teslim Edildiği Tarih : 15.7.1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 19.7.1996

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İnal SEÇKİN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Haluk GERÇEK

Prof. Dr. Oral TÜMAY



ÖNSÖZ

Yüksek lisans süresince, çalışmalarına yön veren, değerli zamanlarını harcayan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, fikirlerinden her zaman yararlandığım sayın hocam Prof.Dr.İnal SEÇKİN'e göstermiş olduğu sabır ve güvenden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarına devam edebilmek için her türlü kolaylığı gösteren Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanımız Sayın Prof.Dr. M. Tefik BAYER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, Çalışmalarımda bana destek veren mesai arkadaşlarıma, ev arkadaşım elektronik Yüksek Mühendisi İbrahim Öz'e ve maddi ve manevi yardımını benden esirgemeyen abim Dr. Abdulkadir ARSLAN'a teşekkür ederim.

Temmuz 1996

Mehmet ARSLAN



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Demiryol Üstyapı Elemanları	5
2.1.1. Raylar	6
2.1.1.1. Rayların Şekil Ve Malzeme Özellikleri	6
2.1.1.2. Rayın Görevleri	7
2.1.1.3. Ray Tipleri	8
2.1.1.3.1. Oluklu Raylar	9
2.1.1.3.2. Çift Mantarlı Raylar	9
2.1.1.3.3. Patenli Raylar	9
2.1.1.4. Rayın Karakteristikleri	10
2.2. Aşınma	15
2.2.1. Aşınma ve Çeşitleri	16
2.2.1.1. Adhesiv Aşınma	16
2.2.1.2. Abrasiv Aşınma	19
2.2.1.2.1. Hafif Darbeli Şiddetli Abrasiv Aşınma	19
2.2.1.2.2. Ağır Darbeli Abrasiv Aşınma	20
2.2.1.3. Korozyon Aşınma	20
2.2.1.4. Termik Aşınma	20
2.2.2. Mevcut Deney Düzenekleri ve Genel İlkeler	20
2.2.2.1. Metallerde Aşınma Deneyi	21
2.2.3. Aşınma Analizi ve Aşınmaya Etki Eden Faktörler	22
2.2.3.1. Yüzey Basıncının Aşınmaya Etkisi	24
2.2.3.2. Aşınma Miktarına Hızın Etkisi	25
2.2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğünün Aşınmaya Etkisi	25
2.2.3.4. Numunenin Şekil ve Boyutunun Aşınmaya Etkisi	26

BÖLÜM 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	27
3.1. Standart Ray Tiplerinin İdealize Edilmesi	27
3.1.1. Yaklaşım 1	29
3.1.1.1. S49(49.05 kg/m) Rayının İdealize Edilmesi	33
3.1.1.2. UIC60(60.34 kg/m) Rayının İdealize Edilmesi	35
3.1.1.3. S64(64.9 kg/m) Rayının İdealize Edilmesi	36
3.1.1.4. Yaklaşım 1'in Değerlendirilmesi	38
3.1.2. Yaklaşım 2	39
3.1.2.1. S49(49.43 kg/m) Rayının İdealize Edilmesi	41
3.1.2.2. IEV54(54.4 kg/m) Rayının İdealize Edilmesi	42
3.1.2.3. S64(64.9 kg/m) Rayının İdealize Edilmesi	43
3.1.2.4. Yaklaşım 2'nin Değerlendirilmesi	45
3.1.3. Yaklaşım 3	46
3.1.3.1. Temsili S49(49.43 kg/m) Ray Tipinin Mukavemet Karakteristiklerinin Hesaplanması	49
3.1.3.2. Temsili UIC60(60.34 kg/m) Ray Tipinin Mukavemet Karakteristiklerinin Hesaplanması	51
3.1.3.3. Temsili S64(64.9 kg/m) Ray Tipinin Mukavemet Karakteristiklerinin Hesaplanması	52
3.1.3.4. Yaklaşım 3'ün Değerlendirilmesi	54
3.2. İdealize Edilmiş Temsili Ray Kesitlerinin Aşınma Analizi	56
3.2.1. Düşey Aşınma Analizi	56
3.2.1.1. İdealize Edilen S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesitinin Düşey Aşınma Analizi	58
3.2.1.2. İdealize Edilen UIC60(60.34 kg/m) Temsili Ray Kesitinin Düşey Aşınma Analizi	60
3.2.1.3. Temsili Ray Kesitlerinin Aşınmadan Dolayı Değişen W_a Değerlerinin Shramm'ın Aşınma Formülüyle Karşılaştırılması	63
3.2.2. Yanal Aşınma Analizi	65
3.2.2.1. İdealize Edilen S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesitinin Yanal Aşınma Analizi	67
3.2.2.2. İdealize Edilen S64(64.9 kg/m) Temsili Ray Kesitinin Yanal Aşınma Analizi	69
3.2.3. Yanal ve Düşey Aşınmanın Birlikte Bulunması Durumunda Aşınma Analizi	71
3.2.3.1. İdealize Edilmiş S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesitinin Yatay+Düşey Aşınma Analizi	73
BÖLÜM 4. SONUÇLAR	87
KAYNAKLAR	89
EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ	96

SEMBOL LİSTESİ

σ	: Gerilme
M	: Ray Eğilme Momenti
W	: Mukavemet Momenti
I	: Atalet Momenti
K_x	: X Eksenine Göre Statik Moment
K_y	: Y Eksenine Göre Statik Moment
W_a	: Aşınmış Rayın Mukavemet Momenti
G	: Rayın Birim Uzunluğunun Ağırlığı
δ	: Rayın Özgülağırlığı
b	: Ray Mantar Genişliği
B	: Ray Paten Genişliği
d	: Ray Mantar Yüksekliği
s	: Ray Gövde Kalınlığı
H	: Ray Yüksekliği
m	: Cebire Yataklarının Eğimi
t	: Ray Paten Kalınlığı
F	: Ray Kesit Alanı
n	: Mantar Alt Noktası İle Gövde Üst Noktası Arasındaki Uzunluk
f	: Paten Üst Noktası İle Gövde Alt Noktası Arasındaki Uzunluk

- Y_g** : Ağırlık Merkezinin Düşey uzunluğu
- X_g** : Ağırlık Merkezinin Yatay Uzunluğu
- E** : Ray Gövde Uzunluğu
- D** : İdealize Edilen Rayların Mantar Yüksekliği
- k** : İdealize Edilen Rayların Paten Yüksekliği
- x** : Standart Rayların İdealize Edilmesinde Kullanılan bir Faktör



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Patenli Ray Tipi ve Karakteristikleri	10
Şekil 2.2. Ray Yüksekliği ve Mukavemet Momenti Arasındaki İlişki	12
Şekil 2.3. Rayın Birim Uzunluk Ağırlığı İle Mukavemet Momenti Arasındaki İlişki	13
Şekil 2.4. Metal-metal Sürtünmesi Mekanizması	17
Şekil 2.5. Metal Sürtünmesi Esnasında Yüzeyden Parça Kopması	18
Şekil 2.6. Abraziv Aşınma	19
Şekil 2.7. Sürtünen İki Cismin Temas Alanları ve Aşınma Unsurları	22
Şekil 2.8. Yüzey Basıncının Aşınmaya Etkisi	24
Şekil 3.1. Standart Ray Tipi Karakteristikleri	29
Şekil 3.2. Yaklaşım 1'e Göre İdealize Edilen Ray Kesiti ve Karakteristikleri	31
Şekil 3.3. Yaklaşım 1'e Göre İdealize Edilen S49(49.05 kg/m) Ray Kesiti	33
Şekil 3.4. Yaklaşım 1'e Göre İdealize Edilen UIC60(60.34 kg/m) Ray Kesiti	35
Şekil 3.5. Yaklaşım 1'e Göre İdealize Edilen S64(64.9 kg/m) Ray Kesiti	36
Şekil 3.6. Standart Ray Tipi ve Geometrik Boyutları	39
Şekil 3.7. Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen Ray Kesiti ve Karakteristikleri	40
Şekil 3.8. Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen S49(49.43 kg/m) Ray Kesiti	41
Şekil 3.9. Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen IEV54(54.4 kg/m) Ray Kesiti	42

Şekil 3.10.	Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen S64 Ray Kesiti	43
Şekil 3.11.	Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilen Ray Kesiti	47
Şekil 3.12.	Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilmiş S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesiti ve Geometrik Karakteristikleri	49
Şekil 3.13.	Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilmiş UIC60(60.34 kg/m) Temsili Ray Kesiti ve Geometrik Karakteristikleri	51
Şekil 3.14.	Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilmiş S64(64.9 kg/m) Temsili Ray Kesiti ve Geometrik Karakteristikleri	52
Şekil 3.15.	Temsili Ray Kesitinin Düşey Aşınma Durumu	57
Şekil 3.16.	Düşey Aşınmaya Maruz S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesiti	58
Şekil 3.17.	Düşey Aşınmaya Maruz UIC60(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesiti	60
Şekil 3.18.	Temsili Ray Kesitinin Yanal Aşınma Durumu	65
Şekil 3.19.	Temsili S49(49.43 kg/m) Ray Kesitinin Yanal Aşınımı	67
Şekil 3.20.	Temsili S64(64.9 kg/m) Ray Kesitinin Yanal Aşınımı	69
Şekil 3.21	Yanal ve Düşey Aşınma Durumunu Gösteren Temsili Ray Kesiti	71
Şekil 3.22.	Temsili S49(49.43 kg/m) Ray Kesitinin Yanal ve Düşey Aşınma Durumunun Birlikte Bulunması Hali	73
Şekil 3.23.	S49(49.05 kg/m) Ray Tipinin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen (W_a) Değerleri	78
Şekil 3.24.	S49(49.43 kg/m) Ray Tipinin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen (W_a) Değerleri	80
Şekil 3.25.	IEV54(54.4 kg/m) Ray Tipinin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen (W_a) Değerleri	82
Şekil 3.26.	UIC60(60.34 kg/m) Ray Tipinin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen (W_a) Değerleri	84
Şekil 3.27.	S64(64.9 kg/m) Ray Tipinin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen (W_a) Değerleri	86

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Çalışma Yapılan Standart Ray Tiplerinin Geometrik ve Mukavemet Karakteristikleri	29
Tablo 3.2. Yaklaşım 1'e Göre İdealize Edilmiş Ray Tiplerinin Mukavemet Karakteristikleri	38
Tablo 3.3. Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilmiş Ray Tiplerinin Mukavemet Karakteristikleri	44
Tablo 3.4. Yaklaşım 3'e Göre T Kesitli Olarak İdealize Edilen Ray Tiplerinin Geometrik Karakteristikler	50
Tablo 3.5. Standart Rayları Temsil Eden Kesitlerin Geometrik ve Mukavemet Karakteristikleri	54
Tablo 3.6. Standart Raylar İle Temsili Ray Kesitlerinin Mukavemet Karakteristiklerinin Karşılaştırılması	54
Tablo 3.7. Temsili Ray Kesitlerinin Düşey Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen Mukavemet Momenti Değerleri	63
Tablo 3.8. Hesaplanan Temsili Ray Kesitlerinin Düşey Aşınma Değerlerinin Shramm'ın Aşınma Formülüyle Karşılaştırılması	65
Tablo 3.9. Temsili Ray Kesitlerinin Yanal Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen Mukavemet Momenti Değerleri	70
Tablo3.10 S49(49.05 kg/m) Temsili Ray Kesiti İçin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Hesaplanan Mukavemet Momenti Değerleri	77
Tablo 3.11. S49(49.43 kg/m)Temsili Ray Kesiti İçin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Hesaplanan Mukavemet Momenti Değerleri	79
Tablo 3.12.IEV54(54.4kg/m) Temsili Ray Kesiti İçin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Hesaplanan Mukavemet Momenti Değerleri	81
Tablo 3.13.UIC60(60.34kg/m)Temsili Ray Kesitinin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Hesaplanan Mukavemet Momenti Değerleri	83
Tablo 3.14. S64(64.9 kg/m) Temsili Ray Kesiti İçin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Hesaplanan Mukavemet Momenti Değerleri	85

ÖZET

Raylar üzerilerinden geçen dinamik tesirler altında bulunduklarından, sonunda kullanılma özelliklerini yitirirler ve bu nedenle değiştirilmeleri gerekir. Bu zararlı etkiler gittikçe rayların yuvarlanma yüzgeçlerini aşındırmaya başlar ve rayların mukavemet ve geometrik karakteristikleri değişir. Hiç şüphe yok ki rayların mukavemeti de düşer. Rayların mukavemetleri devamlı aşınmadan dolayı değişeceğinden kontrol altında tutulmalı ve sınır mukavemet değerini aşmamalıdır.

Bu çalışmada, rayların aşınma analizi yapılmış ve aşınan rayların tekrar kullanılıp kullanılamayacağı konusunda bizlere ipuçları verecek bir yaklaşım getirilmiştir. Bu yaklaşımın esası ise, geometrik yapılarının kompleks olması nedeniyle mukavemet karakteristikleri kolayca hesaplanamayan rayların, başka temsili ray kesitleri tarafından temsil edilebilmesine dayanmaktadır.

Bu çalışmada, standart rayları temsil edecek ray kesitleri oluşturulmuş ve daha sonra bu temsili ray kesitleri üzerinde aşınma analizi yapılmıştır. Raylarda oluşan düşey, yanal ve her iki aşınma şeklinin olduğu aşınma durumları ayrı ayrı ele alınmış ve aşınma miktarlarına göre mukavemet karakteristiklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Daha önce düşey aşınma ile ilgili olarak SHRAMM tarafından geliştirilen aşınma formülü ile yapılan çalışmada ele alınan yaklaşım sonuçları karşılaştırılmış ve yapılan çalışma sonunda bulunan değerlerle SHRAMM'ın aşınma formülüyle hesaplanan değerlerin birbirine yakın değerler verdiği görülmüştür.

Ayrıca bu çalışmada ele alınan standart ray tiplerinin yanal ve düşey aşınma miktarlarına göre mukavemet momentindeki değişimi gösteren abaklar oluşturulmuştur. Ayrıca bu çalışmada oluşturulan abakların, abakları oluşturulan standart ray tiplerinin geometrik karakteristiklerine yakın değerlerde olan ray tipleri için de kullanılabileceği dile getirilmiştir.

SUMMARY

WEAR ANALYSIS AND A STUDY TO FORMULATE RAIL WEAR

Today, we can probably agree that railroads are important to themselves and to their owners; but just how important are they to the people and the land they serve ? Today, when there is a widespread network of highways, airways, waterways, and pipelines, we can not say that railroads are the most important part of the country's transportation system. Nevertheless, railroads must continue for any foreseeable future to constitute the backbone of the transportation system.

More recently new location and construction have been limited, generally, to line improvements and the building of branch or independent lines for access to raw materials and new industrial locations. Most recently the trend has been toward rationalizing the network, that is, retrenchment, with an emphasis on system mergers, abandoning unprofitable mileage, and rehabilitating system segments that have experienced deferred maintenance, or upgrading for higher speeds, axle loads, or traffic densities. Access to energy sources, especially coal, is causing a flurry of construction activity, as is the need to meet the passenger demands of certain highly populated and congested corridors.

While the need for profit is still a dominant element, other factors are influencing the decisions to build, upgrade, or retire railroad mileage. Foremost is the recognition that the railroads' service function is essential to the nation's economy and security. Services that may not in themselves earn a profit are supported by public funds because those services make possible the conduct of other necessary and highly profitable economic activities. In general, the life of railroad is expressed by the life of the rails. In railroads maintenance, it is important to take the life of rails under the control. Rail life is usually expressed in millions of gross tons carried. The service life of rail will vary with traffic (tonnage, axle loads, speed), the amount of curvature, gradient, subgrade and ballast support, and the standard of maintenance. A heavier rail normally outlasts a light rail, other conditions being equal. Rail may be removed early from main track for use in secondary track.

The T section rail of today has a girderlike shape. Its height is usually greater than its base , and the head is deep and narrow. Rails are designated by weight and section. A rail section must fulfil the following requirements:

- 1-The running surface of the rail should be sufficiently wide and designed so that the contact between wheel and rail is the most efficient possible and the surface pressures the smallest possible.

- 2- To assure long life of the rail, the head of the rail should be deep enough for sufficient material to be available to take the wear expected.

3- To ensure the required bearing capacity and bending resistance, the web must be sufficiently thick to make reasonable allowance for corrosion.

4- To ensure stability and, at the same time, providing an adequate bearing area for the sleeper or bearing plate, the base of the rail should be as wide as possible.

5- To ensure sufficient rigidity, and to provide against loss of material by corrosion, the base of the rail must be sufficiently thick.

6- The moment of resistance of the rail under vertical pressure should be as high as possible, i.e. the height of the rail must be as great as possible; the same applies to the head and base cross-sections in proportion to the cross-section of the web.

7- The resistance moment of a rail subject to horizontal forces should be as great as possible in order to obtain a sufficient lateral rigidity, i.e. the head and the base of the rails should be as wide as possible.

8- The rail must be as rigid as possible to prevent tilting, i.e. the height must not be too great in comparison to the width of the base.

9- For static reasons, the centre of gravity of the section should be as near as possible to a point at half the height of the rail.

10- The top and bottom planes of the fishing surface must be so designed as to conform with the design of the fishplate which will be used.

11- For rolling ease, and to ensure a favourable distribution of stresses within the rail cross-section, all angles, especially those in the fishing surface, should be rounded off to the greatest possible radius.

Rail life may be determined by wear-abrasion, rail-end batter, curve wear. It can also be determined by fatigue-extended repetition of flexure combined with the formation of contact-and shearing-stress-related defects such as detailed fractures. When wheel loads seldom exceeded 12000 kg and with jointed track, tangent rail was removed primarily because of head wear and rail end batter. Curve rail was usually removed because of abrasion (curve wear). Following the advent of curve oilers, fatigue-related defects became an increasingly frequent cause for rail removal from curves. Today, where high-capacity cars and unit trains predominate, fatigue has become a major rail life factor in tangent track, where new rail is subject to heavy loading before acquiring a work-hardened running surface. But on curves abrasion wears the rail so rapidly that fatigue stresses do not have time to develop, so it acts as a prime limit on rail life.

Rail life will be considered first in terms of conventional traffic, that is, jointed track carrying light (15000 kg) wheel loads or a mixture of heavy and light wheel loads predominating. On tangents and on curves up to 4 degrees of curve direct wear (abrasion) has no practical effect in reducing rail life. Joint and surface deterioration usually do not set in until after the passage of 100 million gross tons. Above 100 million gross tons, abrasion then becomes more significant especially as curvature increases from 4 to 7 degrees. Curve wear is limiting rail life factor for curves over 7 degrees. We can say that rail life is limited by rail-end batter and running surface abrasion, which vary with traffic.

Abrasive wear varies more or less as the degree of curve, with the actual amount depending on the traffic volume and characteristics and

whether or not curve oilers are in use. In addition, gradient has also an effect on rail life. Excessive wear and abrasion come from the use of sand and heavy brake application. Reduced speed may reduce curve wear and the greater rate of wear on low-density lines may represent less work hardening, more surface corrosion (from less frequent wheel passage), and a lower standard of maintenance. Vertical head alone is an inadequate measure of rail deterioration, especially on curves where excessive side wear can weaken a rail.

The limit of wear on a rail is often taken as 25 % of the head area. This amount of wear may be produced by 300-600 million gross tons of traffic, but rail is often removed long before this. Improper maintenance may, from a false sense of economy, destroy the salutary effects of laying new rail. Inadequate maintenance causes bent rail, chipped rail ends, and worn and battered rail ends and joints.

In this study, wear of rail is analyzed and the question of can worn rail be used again or not' is answered by developing an approach for worn rails. SHRAMM's are investigations given briefly and Shramm's wear formula is compared with method proposed in this thesis.

In this study, both vertical and horizontal wear are considered. At the end of this study, for several type of rails, depending on vertical and horizontal wear, the strength moment value of worn rails are calculated and shown both in tables and in diagrams.

This thesis consists of 4 chapters. The first chapter explains requirements and importance of this thesis subject. The second chapter gives general information about rails and wear. In that information, especially elements of rail are explained and detailed information on rail and its function, is given. The second chapter also gives general information about rail wear and types of wear.

Chapter 3 deals with investigations. In this thesis desired results are obtained by using 3 approaches. Five different standard rail type are idealized as cross section, in the first approach. As shown in the Table1, standard rail type and idealized rail section's resistance characteristics are mismatched. Then, the second approach is required.

Table 1. Resistance Characteristics Of Idealized Rail Sections According to The First Approach.

Rail Type	Standard Rail Characteristics		Idealized Rail Characteristics	
	I (cm ⁴)	W (cm ³)	I (cm ⁴)	W (cm ³)
S49(1958 ⁺)	1819	240	1968.22	255.32
S49	1797	239	1934.26	252.50
IEV 54	2346	279	2565.71	295.09
UIC 60	3055	333	3351.71	350.83
S64 ⁺	3252	356	3380.33	369.93

By using the second approach, standard rail type is idealized as T section rail. As shown in the Table 2, at the end of assumptions made, the decision which is standard rail can not be modeled by idealized rail type, is taken. In other words, at the end of the second approach, standard rail type and idealized rail section's resistance characteristics are also mismatched.

Table 2. Resistance Characteristics Of Idealized Rail Sections According to The Second Approach.

Rail Type	Standard Rail Characteristics		Idealized Rail Characteristics	
	I (cm ⁴)	W (cm ³)	I (cm ⁴)	W (cm ³)
S49(1958 ⁺)	1819.00	240.00	1987.23	252.44
S49	1797.00	239.00	1951.00	254.06
IEV 54	2346.00	279.00	2593.77	297.22
UIC 60	3055.00	333.00	3388.74	353.36
S64 ⁺	3252.00	356.00	3400.00	371.38

The First and the second approach did not give reasonable result. Therefore, a third approach is required. By using the third approach ;

$$W_{\text{idealized}} = W_{\text{standard}}$$

is achieved. Consequently, standard rails are modeled as T section rail types. As shown in the Table 3, $W_{\text{idealized}} = W_{\text{standard}}$ is achieved.

In the study of wear analysis, T section rail type which is obtained from the third approach is used instead of standard rails.

Table 3 Resistance Characteristics Of Idealized Rail Sections According to The Third Approach.

Rail Type	Standard Rail Charecteristics		Idealized Rail Charecteristics	
	I (cm ⁴)	W (cm ³)	I (cm ⁴)	W (cm ³)
S49(1958 ⁺)	1819.00	240.00	1814.59	240.00
S49	1797.00	239.00	1790.51	239.00
IEV 54	2346.00	279.00	2247.75	279.00
UIC 60	3055.00	333.00	2961.02	333.00
S64 ⁺	3252.00	356.00	3076.94	356.00

In wear study,the geometric characteristics of T rail, which is used instead of standard rail section, are also calculeted and given in Table 4.

Table 4. Geometric and Resistance Characteristics of T Section Rails Which is obtained From The Third Approach

Rail Type	G kg/m	x	b cm	B cm	Yg cm	E cm	D cm	k cm	s cm	F cm ²	I cm ⁴	W cm ³
S49	49.05	3.81	6.7	12.5	7.49	9.03	4.23	1.54	1.4	60.19	1790.51	239
S49(1958 ⁺)	49.43	3.94	6.7	12.5	7.56	9.16	4.22	1.52	1.4	60.12	1814.59	240
IEV54	54.40	6.46	7.0	14.0	7.84	10.70	3.75	1.45	1.6	63.67	2247.75	279
UIC60	60.34	5.75	7.2	15.0	8.31	11.75	3.88	1.57	1.65	70.88	2961.02	333
S64	64.90	5.58	7.4	15.0	8.56	11.17	4.43	1.60	1.6	74.66	3076.94	356

Finally, both vertical and horizontal wear are considered. For the types of rails, depending on vertical and horizontal wear, the strength moment valve of worn rails is calculated and shown both in tables and diagrams.



BÖLÜM 1.

GİRİŞ

Ülkemizde, cumhuriyetin kuruluşundan itibaren ilk on yıl içerisinde, Osmanlı Devletinden kalan demiryolu ağı devletleştirilmiş, genişletirilmiş ve geliştirilmiştir. Çok önemli bir ulaşım tercihi olarak tüm limanlara ve önemli kentlere demiryolu bağlantıları kurulmuştur. Bu gelişmeler ulaşım politikasında demiryolunun yerine karayolunun tercih edilmesine kadar devam etmiştir. Ancak öyle bir an gelmiş ki ekonomiye yaptığı katkısı, organizasyonu, donanımı ile demiryolları adeta unutulmuş, yok sayılmıştır. Ülkenin kalkınmasının karayolu taşımacılığı ile olacağı halka benimsetilmeye çalışılmıştır. Ve ne yazıkki uygarlığın ve çağdaşlığın göstergesi olarak karyolu ağı gösterilmiştir. Elbette çağdaş ve uygar görünmenin yolu karayolunun olmaması değildir. Sonuç olarak demiryolu taşımacılığı milli ulaşım politikasında terk edilmiş ve demiryolları bu andan itibaren hantal, verimsiz ve ülke ekonomisine getiriden çok götürüsü olan bir kurum olarak kalmıştır. Ve sonunda da çok büyük mal varlığı, personeli, fabrikaları ve organizasyonu ile ülke ekonomisine adeta kambur olmuştur. Hatta daha ileri gidilmiş, demiryolu taşımacılığının bugünkü parlamenter düzene ve ekonomik sisteme uymadığı söylenmiştir.

Bütün bu tesbitler çok yanlış ve anlamsızdır. Bu tespitler doğru olsaydı ekonomisi, sistemleri ülkemiz gibi olan batılı ülkeler demiryollarına sübvansiyon yapmaz, terkederlerdi. Ancak böyle yapılmamış tam tersine bu ülkelerde demiryolu taşımacılığı ulaşım politikalarında çok önemli yer almıştır. Örnelemek gerekirse ABD'de yük taşımacılığının %91'i -ülkemizde %11- yolcu taşımacılığının %85'i -ülkemizde %6-demiryolu ile yapılmaktadır.

Milli ulaşım politikasında karayolu tercihi, ekonomimize gösterildiği gibi yarar getirmemiştir. Öyle ki alt yapısından, üstünde giden taşıtlara, taşıtların lastiklerine, yedek parçasına kadar ülkemizi dışa bağımlı kılmıştır. Bugün dış alımımızın 2/3' ünü petrol ve pertrol ürünleri almaktadır. Karayolu üzerinde seyreden taşıtların bir bölümünün, yedek parçalarını ve lastiklerini düşünürsek dış alımımızın çok büyük bir bölümünün karayolu taşımacılığı için harcadığı gerçeği ortaya çıkar. Bizim gibi gelişmekte olan ülkelerin dışalımında daha dikkatli ve özellikle teknoloji transferine çaba harcaması gerektiğini düşünürsek, ülke ekonomisine ne kadar zarar verildiği ortaya çıkar. Ayrıca karayollarında hergün ortalama 11-12 kişinin hayatını kaybetmesi ve milyarlarca liralık mal kaybı bile başlı başına ulusal ulaşım politikamızı gözden geçirmemizin nedeni olmalıdır. Buna birde karayolu taşımacılığının oluşturduğu hava ve gürültü kirliliğini de katarsak, yok olmakta olan tabii zenginlikleri ve çevremizi bir kez de kendi ellerimizle yok ettiğimizi görürüz.

Demiryolu taşımacılığını gelişmiş ülkeler adeta yeniden keşfederken bizim neden olumlu adımlar atmadığımız sorusu gündeme gelir. Hemen herkes demiryolu yatırımlarının pahalı olduğu konusunda düşünce birliği içindedir. Ancak rakamsal olarak konu ele alındığında durumun hiçde öyle olmadığı ortaya çıkıyor. Düz bir bölgede 1 km asfalt yol maliyeti 1 km demiryolu yapım maliyetinin ortalama 2 katı civarındadır. Orta engebeli bir bölgede yine 1 km karayolu yapım maliyeti 1 km demiryolu yapım maliyetinin 2 katı dolaylarında olup, tam engebeli bölgede demiryolu ve karayolu aynı fiyata mal olmaktadır. Ancak demiryolunun ekonomik ömrü 30 yıl, karayolunun ise 15 yıldır. Ayrıca yakıt tüketimi yönünden demiryolları karayollarına göre 2.5 kat daha az yakıt tüketerek yolcu ve yük taşımaktadır. Bütün bu sayılan nedenler ve rakamsal gerçekler gösteriyorki, demiryolu pahalı bir yatırım değil ancak uzun verimli bir yatırımdır.

Demiryollarının ekonomik ve teknik ömrünün uzun olması veya başka bir değişle uzatılması, demiryollarına gösterilen ilgiyle doğru orantılıdır. Genel olarak demiryollarının ömrüyle ilgisi bulunan baze faktörler vardır. Ray ağırlıkları, trafik miktarı, bakım, onarım ve aşınma akla gelen başlıca

faktörlerdir. Bu faktörlerden kontrol altına alınabilecek ve rayların ömrünü arttırmak için üzerinde titizlikle durulabilecek en önemli faktörler; bakım, onarım ve aşınma faktörleridir. Teknik alanda demiryollarında ortaya çıkan arıza ve hasarların doğurduğu ekonomik kayıplar oldukça fazladır. Ayrıca arıza ve hasarlardan korunmak için yapılan araştırmalar, incelemeler sonucu oluşan harcamaları da göz önüne alırsak, karşımıza arızalar neticesinde oluşan büyük miktarlarda ekonomik kayıplar çıkar.

Demiryolları biliminde raylarda en çok zararlar, aşınma ve sürtünme neticesinde ortaya çıkarlar. Aşınma nedeniyle raylar bir müddet sonra kullanılamaz hale gelirler. Bunun neticesinde bir elemanın bir sistem içinde bir an için devreden çıkmasıyla imalat veya enerji noksanlığı zarar ya da kazalar oluşabilir. Bu nedenle aşınmanın azaltılması için çalışmalar yeryüzünde gittikçe azalan hammadde, pahalılaşan enerji ve işçilik gibi faktörleri de göz önüne alarak verimliliği arttıracığı için önem kazanmaktadır. Aşınma neticesinde oluşan kayıplar incelendiğinde bunların oldukça büyük oranlarda oldukları ortaya çıkar.

Bakım ve onarım tekniğinde önceden saptanamayan o kadar çok etki ve parametre vardır ki otomotikleşme mümkün olmamakta daima insan gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bakım ve onarım harcamalarını düşük tutmak için sürekli çalışmalar yapılmaktadır. Her bilim dalında olduğu gibi demiryolları biliminde de ekonomiklik önemli rol oynar. Bakım çalışmalarının değerlendirilmesi, çalışma değerlerinin ölçülmesi ve kullanım özelliklerinin saptanması, bakım ve imalatın karşılıklı etkileşimleri sorunları ekonomiyi ilgilendirir ve alınan teknik ve teknolojik tedbirlerin etkinliğinin ölçüsünü belirler.

Bütün bu gerçekler gösteriyor ki, her bilim dalında olduğu gibi demiryolları biliminde de ekonomiklik, malzemelerin ömürlerinin uzatılması ve malzemelerin ekonomik ömürlerinin kontrol altında tutulması önemli ve üzerlerinde durulması gereken konulardır. Bu yüzden demiryollarında en sık karşılaşılan problem, bakım-onarım ve dolayısıyla aşınma durumu olduğundan, aşınmış rayların tekrar kullanılabilmesi ve aşınmış rayların

ömrünü kontrol altında tutma fikrinin önemli ve gerekli olması böyle bir çalışmanın gerekliliğini ve önemini göstermektedir.

Demiryolu üstyapı elemanlarından olan rayların, imal ediliş ve haddeden geçiriliş tekniklerinin bazı kurallara bağlı olması dolayısıyla, geometrik yapıları koplekstir. Geometrik yapılarının kompleks olması, bazı statik ve mukavemet karakteristiklerinin hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Yapılan bu çalışmada, ilk önce standart ray tiplerini temsil edecek geometrisi bilinen idealize ray kesitleri oluşturulmaya çalışılmış ve bunun için üç yaklaşım denenmiştir. Sonuçta üçüncü yaklaşım, bazı kabuller yapılarak istenen sonucu vermiştir.

Daha sonra ise Temsili ray kesitleri nin aşınma analizleri yapılmış ve sırasıyla, düşey, yanal ve her iki aşınma durumunun birlikte bulunduğu aşınma tahkikleri yapılmış ve değişik aşınma miktarlarına göre mukavemet momenti değişimi incelenmiştir. Ayrıca, aşınma miktarına göre değişen mukavemet momentinin hesaplanması ile ilgili yaklaşık sonuç veren formüller çıkarılmış ve bu formüller kullanılarak çalışma yapılan temsili ray kesitlerinin aşınma miktarlarına göre mukavemet momenti değişimleri grafiklerle gösterilmiştir.

BÖLÜM 2.

GENEL BİLGİLER

2.1 Demiryol Üstyapı Elemanları

Demiryolu yapısı, trafik yüklerini güvenli bir şekilde zemine iletebilecek ve demiryolu hattını doğanın zararlı etkilerinden koruyabilecek nitelikteki bir temel ile demiryolu taşıtlarına hareketliliklerinin gerektirdiği koşullarda konforlu ve güvenli bir taşın yolu sağlayabilecek elemanlardan oluşur. Yapımı tamamlanmış bir demiryolunda, platform düzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı; üstyapıya sağlam bir temel oluşturmak, üstyapı tarafından iletilen yükleri güvenli karşılayıp geniş bir alana yaymak ve hattın her kesiminde istenilen yükseltide düzgün bir yüzey sağlamak gibi görevleri yerine getirmelidir.

Demiryolu taşıtlarının güven, konfor, hız ve ekonomiklik ile seyrinisağlayan ve altyapı üzerine döşenmiş bulunan malzeme ve elemanların tümüne üstyapı denir. Üstyapı; araba tekerleklerinin üzerinde yuvarlandıkları, yol eksenine paralel yönde ve belirli bir hat genişliğinde döşenmiş bir çift çelik ray, bunların altında yol eksenine dik olarak ve belirli aralıklarla yerleştirilmiş ahşap, çelik yada betonarme traversler, rayların birbirine ve traverslere bağlantısını sağlayan küçük bağlantı elemanları ve traverslerle altyapı arasına döşenmiş balast tabakasından oluşur. Üstyapı taşıyıcı ve yol olarak şugörevleri yerine getirmesi istenir:

1- Yol boyunca demiryolu arabalarına düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak,

2- Demiryolu taşıtlarından gelen statik ve dinamik kuvvetleri güvenlikle ve kalıcı şekil değiştirmelere uğramadan karşılamak ve kısmen azaltarak altyapıya iletmek,

3- Yeterli elastikliğe sahip olmak,

4- Şekil bozukluklarına uğradığında, kolayca eski durumuna getirilebilir olmak, özellikle dereyman sırasında yolun tümüyle tahribine neden olmamak,

6- Uzun ömürlü ve ekonomik olmak. [1]

Yukarıda sözü edilen üstyapının ray,travers,balast ve bağlantı malzemesinden oluşan bu şekildeki yapısına, demiryolunun icadından kısa bir süre sonra gelinmiş ve zamanımıza kadar hiç değişmemiştir. Görüldüğü gibi üstyapı elastik bir sistem oluşturmaktadır. Zaman zaman rijit sistemler denenmiş fakat bunlar başarılı olamamıştır. [2]

Bu tez çalışması esas itibariyle, rayların aşınma analizi ve rayların aşınımıyla ilgili bir formülasyon çalışması olduğundan, ray dışındaki demiryol üstyapı elemanları hakkında detaylı genel bilgi verilmeyecektir.

2.1.1 Raylar

Ray; demiryolu arabaları ile direkt olarak temasta bulunan,aşınmaya karşı dayanıklı ve yüksek mukavemetli çelik malzemeden yapılmış, demiryolu arabalarının tekerleklerine az direnimsi gösteren bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan ve tekerlekleri kılavuzlayan, ayrıca dingillerden aktarılan etkileri dayandığı traverslere ileten üstyapı elemanıdır. Trafik yüklerinin ve seyahat hızlarının artmasıyla birlikte yola etkiyen statik ve dinamik zorlanmalarda arttığından, üstyapı elemanlarının özellikle rayın bu etkilere güvenli bir şekilde ve uzun bir süre dayanabilecek yapıda olmaları gerekmektedir.

2.1.1.1 Rayların Şekil Ve Malzeme Bakımından Özellikleri

1- Rayların yuvarlanma yüzeyi alanı, gerilmeleri en aza indirecek genişlikte olmalıdır,

2- Ray mantarının yüksekliği, aşınma bakımından ray ömrünü yeterince uzun tutmak için uygun boyutta olmalıdır,

3- Ray gövdesi gerekli taşıma gücünü ve eğilme rijitliğini sağlayacak ölçüde yeterli kalınlıkta olmalıdır. Bu kalınlık saptanırken oksitlenme yoluyla kesitin zayıflayabileceği göz önüne alınmalıdır,

4- Ray taban genişliği, devrilmeye karşı stabiliteyi sağlayabilecek ve traverse aktarılan basınç gerilmelerini karşılayabilmek için olanaklar ölçüsünde geniş tutulmalıdır,

5- Rayın mukavemet momenti düşey etkilere karşı yeterince büyük olmalıdır. Bunun için gövde yüksekliği yeterince yüksek, mantar ve taban kesitleri gövde kesitine göre daha büyük olmalıdır,

6- Devrilmeye karşı güvenliği sağlayabilmek için gövde yüksekliğinin taban genişliğine oranı küçük olmalıdır,

7-Statik nedenlerle, ray kesitinin ağırlık merkezi ray yüksekliğinin yarısı dolaylarında olmalıdır,

8- Ray kesidi içinde uygun bir gerilme dağılımının sağlanabilmesi ve haddeleme tekniği bakımlarından, mantar ve taban köşelerinin gövde ile birleşim yerlerindeki daire yarıçapları olanaklar ölçüsünde büyük tutulmalıdır,

9- Mantar ve tabanın gövde ile birleşim yerlerindeki boyutlar, standart tip cebire boyutlarına uygun olmalıdır.

Görüldüğü gibi, sıralanan bu özelliklerden birinin yerine getirilmesidiğerlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle ray kesidinin, yukarıdaki özelliklerinin tümünü birden yeterli ölçüde sağlayabilecek şekilde bir optimizasyona gidilerek saptanması gerekir. [3]

2.1.1.2 Rayın Görevleri

Rayın taşıyıcı ve yol elemanı olarak görevlerini şöyle sıralayabiliriz;

1-Üzerinde hareket eden demiryolu arabalarına düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak. Başka bir deyişle, yuvarlanma yüzeyi tekerlek ile ray arasındaki temas koşullarını en iyi şekilde sağlamak,

2- Demiryolu arabalarının tekerlekleri vasıtasıyla tatbik ettikleri dingil yüklerini, elastik altyapıya oturmuş bir kiriş gibi alıp uygun bir yük dağılımı ile traverslere iletmek,

3- Aşınmaya karşı dayanıklı olmak,

4- Ekonomik olmak. [1]

2.1.1.3 Ray Tipleri

Demiryollarının veya lokomotifin icadından (1829) önce, insan ya da hayvan kuvvetiyle çekilen arabaların tekerlekleriyle yol arasındaki sürtünmeyi azaltmak için ray kullanılmıştı. Ancak o devirlerdeki raylar dövme demirden yapılıyor ve uzunlukları 5-6 m'yi geçmiyordu. Haddenin icadı 1820 tarihinde olup demiryollarının yani lokomotifin icadından daha öncedir. 1829 yılında lokomotifin icadıyla bir anlamda demiryollarının doğuşuyla birlikte raylar haddeden çekilmeye başlanmıştır. Fırından çıkan lingo'lar ray şeklini ancak 15 defa haddeden çekildikten sonra alabilmekte ondan sonra da üst kısmına su verme gibi işlemler yapılmaktaydı.

Rayların metre uzunluk ağırlıkları bir anlamda maliyetleri fazla olmamalı fakat istenen mukavemeti de gösterebilmelidir. Bunun için nötr eksenenden yeteri kadar uzak iki kütle ile, doğal olarak, bunları birbirine bağlayan bir gövde olmalıdır. Ayrıca üst kütlenin (mantar) tekerleklerin yuvarlanma hareketine ve sınırlı boydaki rayların birbirlerine bağlanması için elverişli olması gerekmektedir. Nötr eksenin altındaki kütle (paten) ise traverslere oturmaya ve tesbite elverişli olmalı, haddeden geçme tekniği bakımından bütün köşeler keskin değil yuvarlatılmış olmalıdır. [2]

İşte bütün bu düşünceler rayın şeklini saptamakta etkili olmuştur. Rayların şekil bakımından gelişmesinde ise üç tipin dışındakiler kısa ömürlü olmuşlardır. Sözüünü ettiğimiz üç ray tipi; oluklu raylar, çift mantarlı raylar, patenli raylar (vinyol tipi raylar) adıyla bilinmektedir.

2.1.1.3.1 Oluklu Raylar

Oluklu raylar daha çok tramvay hatlarında kullanılırlar. Ayrıca diğer şase kaplamaları ile uyushabildiği için demiryol ve karayolunun aynı düzeyde kesiştiği yerlerde (hemzemin geçit) ve özellikle rıhtım hatlarında kullanılırlar.

2.1.1.3.2 Çift Mantarlı Raylar

Çift mantarlı raylar, simetrik bir şekil gösterip bir alt bir de üst mantardan meydana gelirler. Bu ray tipinin ortaya atılışındaki fikir, üst mantarın aşınmasından sonra rayın ters çevrilmesiyle bu defa yuvarlanma yüzeyi olarak alt mantarın kullanılması düşüncesine dayanıyordu.

Her ne kadar bu ray profilinin haddeden geçirilmesi kolaylık gösteriyorsa da, üst mantarla birlikte alt mantarında sürtünmeden dolayı aşınması sebebiyle, bu ray profilinin en uygun ray tipi olmadığı anlaşılmış oldu. En son olarak bu rayı kullanan İngilizler de 1938 yılında bu uygulamadan vazgeçtiler. Fakat Şimdi ancak Fransa'nın bazı bölgelerinde ikinci derece hatlarda kullanılmaktadır[4]

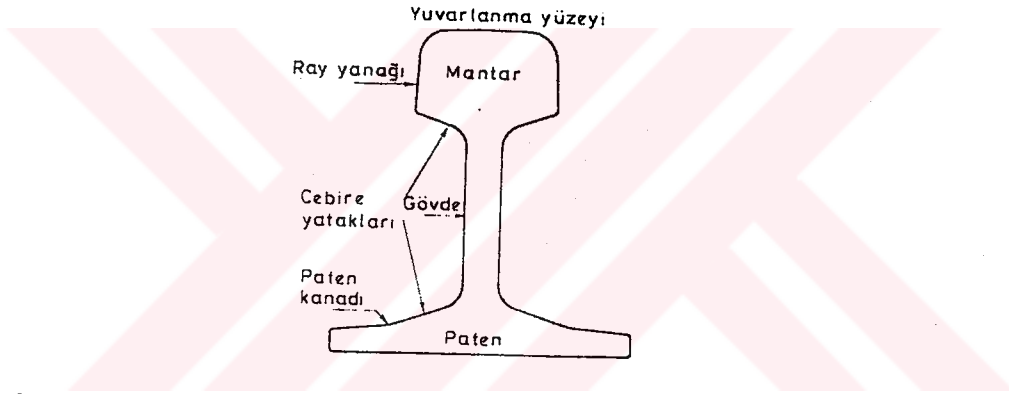
2.1.1.3.3 Patenli Raylar

Bu ray tipi, rayı traverse tesbit eden ve paten ismini alan genişlemiş bir dayanma tablası ile karakterize edilebilir. Bu rayı bulan İngiliz mühendisin adı ile vinyol rayları diye de tanınır. Bu ray tipi, çift mantarlı rayın birçok sakıncalarını ortadan kaldırmaktadır. Kolaylıkla traversler üzerine tespit edilebilir.

Traversler üzerine oturtulması ya doğrudan doğruya ya da metalik selalar yardımıyla uygulanır. Formunda rayların birbirleriyle bağlantısının gereğine uygun olması şartının etkisi büyüktür. Bu cebireleme problemi olup, genellikle gövde ile mantar arasında kuvvetlere karşı direncin iyi olması şartı ile çelişen bir birleşim söz konusudur. Rayların metre uzunluk ağırlıklarının fazla olmaması prensibinin kabul edilmesi, nötr eksenden yeteri kadar uzak iki kütle ile bunları birbirine bağlayan bir gövdenin bulunmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Ayrıca üst kütlelerin yani mantarın, tekerleklerin yuvarlanma hareketine ve sınırlı boydaki rayların birbine bağlanmasına elverişli olması gerektiğinin yanısıra nötr eksenin altındaki kütlelerin yani patenin de traverslere oturmaya ve tesbite elverişli olması için de köşelerinin yuvarlatılmış olması gerekir. .

2.1.1.4 Rayın Karakteristikleri

Demiryolu arabaları ile direkt olarak temasta bulunan rayların karşılaşabilecekleri statik ve dinamik zorlanmalara nasıl mukavemet gösterebilecekleri, ray enkesit karakteristiklerinin belirlenmesiyle açıklanabilir. Bir ray sadece boyutlarıyla değil ek olarak bazı mukavemet parametreleri ile beraber değerlendirildiği zaman trafik yüklerine karşı mukavemet gösterebilir. Ray formunun iyileştirilmesinde daha çok adinilen deneyimlerden yararlanılmış ve eksiklikler düzeltilerek ray formu geliştirilmiştir. Şekil 2.1’de patenli bir ray tipi ve karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Patenli Ray Tipi Ve Karakteristikleri

Bir rayın başlıca karakteristiklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

1) Ray birim uzunluğunun ağırlığı: Rayların tip ve boyutlarına göre metre uzunluk ağırlıkları da değişir ve raylar bu ağırlıkla karakterize edilirler. Örneğin 46' lık ray, metre uzunluğu 46 kg olan ray demektir. İlk ray profilleri 25 kg/m civarında ve daha küçük ağırlıklarda üretiliyordu. Daha sonraları trafiğin ve bunun sonucu olarak dingil ağırlıklarının artışı, ray ağırlıklarının artışı yolun bakım masraflarını azaltma düşüncesi dolayısıyla zorunlu kılmıştır. Ray ağırlıkları; 40, 50, 60 ve hatta 70 kg/m ' ye kadar çıkmıştır. Bir rayın birim uzunluk ağırlığı; ray enkesit alanı ile rayın yapıldığı çelik malzemenin yoğunluğunun çarpımına eşittir. Rayın birim uzunluk ağırlığına

G, enkesit alanına F ve ray malzemesinin yoğunluğuna γ_{Fe} dersek aralarındaki ilişkiyi ,

$$G = F \times \gamma_{Fe} \quad (2.1)$$

şeklinde yazabiliriz. Uluslararası kabul edilen ortalama ray çeliğinin özgül ağırlığı 7.85 kg / dm^3 olduğuna göre denklemimiz,

$$G = 0,785. F$$

şeklinde yazılabilir. Burada G (kg /m) ve F (cm²) cinsindendir.

2-Mukavemet momenti (W): Bir rayın direncini ifade eden mukavemeti momenti, rayın dış yükler altındaki davranışını gösteren en önemli karakteristiktir. Bir rayın mukavemetinin artırılması atalet momentinin artırılmasını, atalet momentinin artırılması ise birim ağırlığının artırılmasını gerektirir. O halde bir rayın mukavemet momentinin belirlenebilmesi için, o rayın birim uzunluk ağırlığının bilinmesi gerekir.

Standart ray tiplerinin haddeden geçme ve imal tekniklerinin bazı kurallara bağlı olması, ray enkesitlerinin kompleks bir yapıda olmalarını gerektirmektedir. Bu yüzden rayların en önemli mukavemet karakteristiği olan mukavemet momenti değerlerinin hesaplanmasını güçleştirmektedir. Rayların mukavemet momentini kolayca hesaplayabilmek için çeşitli formüller bulunmuştur. Rayların bazı karakteristiklerine bağlı olarak schramm tarafından geliştirilen formüller aşağıda gösterilmiştir.

a) Ray Yükseklikleri Ve Rayların Birim Uzunluk Ağırlıkları Verildiğinde;

Rayların enkesit yükseklikleri (H) ve birim uzunluk ağırlıkları (G) verildiğinde, rayların mukavemet momenti değerlerini aşağıdaki formülle yeterli doğrulukta hesaplamak mümkündür.

$$W = \frac{H \times G}{30.5} \quad (2.2)$$

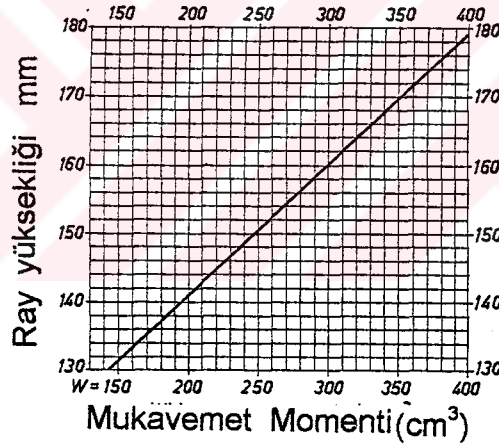
Burada; H, mm olarak ray yüksekliğini, G; kg/m olarak ray ağırlığını ve W; cm³ olarak rayın mukavemet momenti değerini göstermektedir.

b) Sadece Ray Yüksekliği (H) Biliniyor İse;

Rayların birim uzunluk ağırlıkları bilinmiyor fakat ray yükseklikleri biliniyorsa bu durumda ray mukavemet momenti değeriyle ray yüksekliği arasındaki ilişki (2.3) no'lu denklemle yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$W = 5.2 \times H - 533 \quad (2.4)$$

Burada; H, mm olarak ray yüksekliğini ve W ise cm³ olarak rayın mukavemet momenti değerini göstermektedir. Şekil 2.2' de ray yüksekliği ile mukavemet momenti arasındaki ilişki gösterilmiştir.

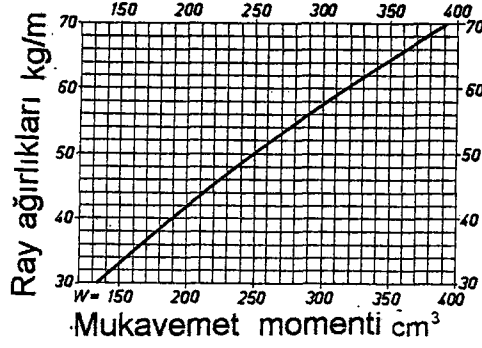


Şekil 2.2 Ray Yüksekliği Ve Mukavemet Momenti Arasındaki İlişki

c) Ray Yüksekliği Bilinmiyor Fakat Sadece Rayların Birim Uzunluk Ağırlıkları Biliniyor İse;

Bu durumda rayın mukavemet momenti değeri ile rayın birim uzunluk ağırlığı arasındaki ilişki aşağıdaki formülle yaklaşık olarak gösterilebilir.

$$W = \frac{G^2}{35} + 3.6 \times G \quad (2.5)$$



Şekil 2.3 Rayın Birim Uzunluk Ağırlığı İle Mukavemet Momenti Arasındaki İlişki

3- Ray mantarı genişliği : Bir rayın mantar genişliğinin belirlenebilmesi için aşağıdaki kriterlerin gözönüne alınması gerekir;

a) Mantar gövde birleşiminin rayın cebire yataklarına gerekli genişliği bırakacak yeterli bir yarıçapta olmalıdır.

b) Küçük yarıçaplı kurbalarda yeterli yan aşınma payı bırakacak şekilde seçilmelidir. Ray formunun iyileştirilmesinde daha çok edinilen tecrübelerden yararlanılmış, karşılaşılan sakıncalar ve eksiklikler düzeltilerek ray formu geliştirilmiştir. Tecrübeler 65 ile 72 mm arasındaki mantar genişliğinin uygun olduğunu, daha büyük genişliklerin ray profilinde madenin uygunsuz bir dağılıma sebep olduğunu göstermiştir.

4- Ray mantarı yüksekliği: Rayların imal ediliş ve haddeden geçiriliş tekniklerinin bazı kurallara bağlı olması, ray profillerinin şekillerinde önemli rol oynadığı bilinmektedir. Rayların haddeden geçirilmesinden sonra soğutma işleminde kalıcı eğilmeler nedeniyle meydana gelecek deformasyonların azaltılması için, normal olarak 50 mm civarındaki mantar yüksekliklerinin, mantar ve paten uygun dengesini sağladığı deneyimler sonunda bulunmuştur. Mantar yüksekliklerinin belirlenmesinde göz önüne alınan en önemli husus, düşey aşınmalardır. Bu yüzden mantar yüksekliklerini belirlerken, düşey aşınmalar için yeterli bir pay bırakılmalıdır

(ortalama 80 milyon ton için 1 mm.). Tünellerde paslanma aşınması yüksek mertebelerde olmasından dolayı, mantar yükseklikleri normal raylara nazaran 10 mm daha fazla olur.

5- Mantar yanaklarının eğimi: Mantar yanaklarının eğimi öyle olmalıdır ki, alinyimanda dingil geçerken budenle rayın iç yüzü arasında temas olmasın. Kurb yarıçapı küçük olduğu zaman, buden ve ray yanağı arasında temas meydana gelir. Basıncı ve dolayısıyla ondan doğan ray-mantar' daki aşınmayı azaltmak için ray yanaklarına 1/20' lik eğim vermek yararlı olur.

6- Ray paten genişliği: Rayların paten genişliği, kalınlığı ve kanatlarının formu ile karakterize edilir. Paten genişliği, rayın mantar plandaki rijitliğini ve traversler üzerindeki basınç yüzdesini belirler. Bununla beraber modern pozlarda metalik selalarla dar bir patenin sakıncalarına çare bulunmuştur.

7- Ray paten kalınlığı (yüksekliği): Rayların paten kalınlık ve kanatlarının formu, paten ve mantar kesitlerinin dengesi düşünceleri ve haddeden geçirme olanaklarıyla tesbit edilir.

8- Gövde kalınlığı: Hiç şüphesiz bir ray, üzerinden geçen taşıtların dinamik etkilerinden dolayı eğilme ve kesme kuvvetlerinin etkisi altındadır. Kesme kuvvetlerine en fazla maruz kalan karakteristik gövdedir. Gövde kalınlığı kesme kuvvetlerini karşılayabilecek yeterli kalınlığa sahip olmalıdır. Bu yüzden gövde kalınlığını belirlerken, kesme kuvvetini hesaba katmak gerekir.

9- Cebire yatakları: Cebire yataklarının eğimi, ek (conta) yerlerinin bakımı için önemlidir. Eğer bu eğim 1/2 veya daha fazla olursa aşınma zor olur, fakat cebireleri açmaya çalışan kuvvetler artar. Bunun aksine küçük eğimlerde bulonların yorulması daha az fakat aşınma fazla olur. Bu konuda da tecrübelerden yararlanılmış ve en uygun eğimin 1 / 2.75 lik bir eğimle sağlandığı bulunmuştur.

2.2 AŞINMA

Aşınma, cisimlerin yüzeylerinde mekanik etkenlere (mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji verilmesi sonucu) mikro taneciklerin kopup ayrılmasıyla istenmeyen bir değişikliğin oluşması olayıdır[5].

Çeliklerin aşınması, onların yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması ya da başka türlü etki etmeleri sonucu oluşur. Aşınmanın oluş biçimi tüm ayrıntıları ile bilinmemekte ise de genellikle, aşınmanın olabilmesi için; tribolojik olarak bir karşı elemanın, bir izafi hareketin ve bir yükün bulunması gerekir. Bunun sonucu ya parça kopması veya atom yüzeyinde parçanın kopması şeklinde aşınma olmaktadır. Aşınmayı etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilirler;

A- Tribolojik Sistemin Elemanlarına Bağlı Faktörler:

a) Esas sürtünme elemanına bağlı olanlar:

- 1- Malzemenin cinsi,
- 2- Kimyasal yapısı,
- 3- Mikro-yapısı,
- 4- Hacimsel ve yüzeysel sertliği,
- 5- Esatisite modülü,
- 6- Akma ve kırılma özellikleri,
- 7- Yüzey pürüzlüğü,
- 8- Şekil ve boyutları,
- 9- Soğuk şekillendirme,
- 10- Işıl işlem,

b) Karşı elemana bağlı olanlar:

- 1- Aşındırıcı tane büyüklüğü,
- 2- Tane şekli,
- 3- Tane dağılımı,

c) Ortama bağlı olanlar:

- 1- Nem,

2- Sıcaklık,

B- İşletmeye Bağlı Faktörler:

1- Yük (kuvvet),

2- Hareket,

3- Kayma (Sürtünme) yolu,

4- Zaman,

5- Kaymanın cinsi [6]

Aşınmanın teknik olduğu kadar ekonomik yönden de önemle üzerinde durulması gerekmektedir. Endüstride arıza bakımı büyük ekonomik kayıplara neden olur. Bu arızaların başta aşınmadan meydana geldiği bugün çok iyi anlaşılmıştır. Dolayısıyla dünya endüstrisinde aşınma araştırma çabaları yoğunlaşmıştır. Aşınma genellikle, yataklarda, frenlerde, pistonlarda, supablarda, kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde, kırma ve öğütme işlemlerinde kullanılan değirmenlerde, yol toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında maden cevherleri üretim cihazlarında, ray-teker sisteminde vs. gibi birçok yerlerde karşımıza çıkmaktadır[7].

Aşınmaya karşı mücadele, makinelerin ömrünü uzatmak bakımından gayet önemli olup bu hususta bazı teknikler geliştirilmiştir. Bunların arasında kaynakla sert dolgu tekniği çok büyük önem taşımaktadır. Bu alanda mevcut 30 yıllık bilgi birikimi ve deneyimleri sert dolgu kaynağı yapılarak ciddi tasarrufların elde edilebileceğini göstermiştir.

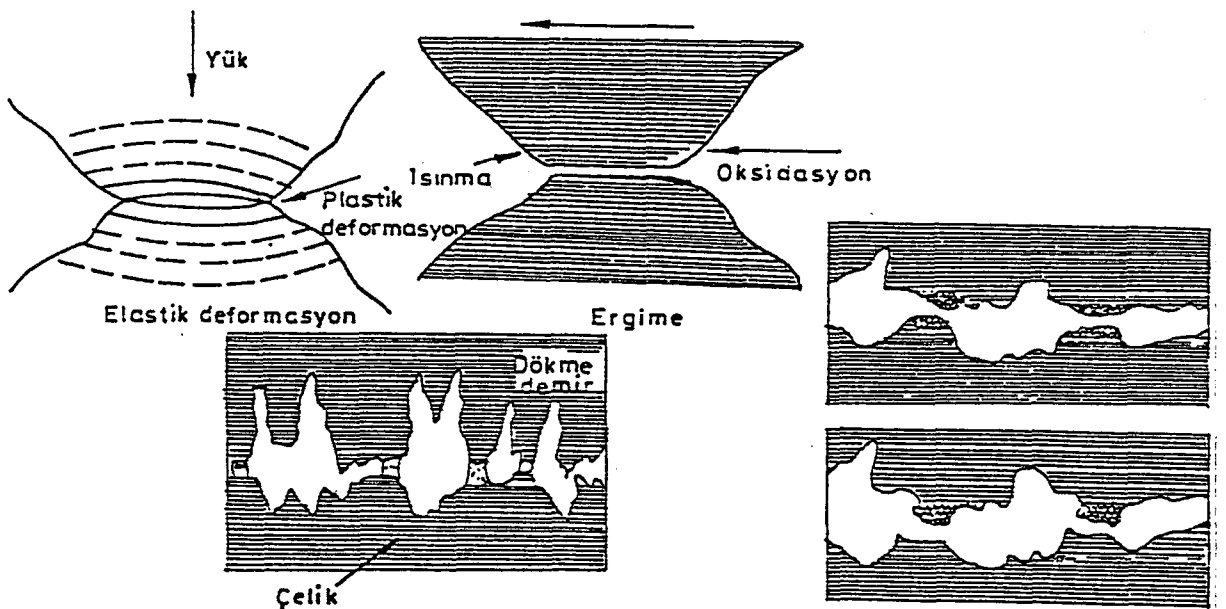
2.2.1.Aşınma ve Çeşitleri

2.2.1.1.Adhesiv Aşınma (Temas Aşınması):

Adhesiv aşınma, moleküler kuvvetlerin etkisi altındaki temas yüzeylerinde oluşan bölgesel kaynak bağlarının kırılması suretiyle meydana gelir. Birbirleriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki metalik yüzey arasında adhezyon kuvveti dediğimiz bir çekim söz konusudur. Bu kuvveti oluşturabilmek için malzemelerin moleküllerini birbirine çok yaklaştırmak gerekmektedir. Zaten temas halindeki iki metal, birbirleriyle yüzeylerdeki pürüzler

vasıtasıyla etkileşirler. Teknik olarak çok düzgün işlenmiş yüzeylerde de bu durum söz konusudur. Metal ağırlığından veya herhangi bir dış kuvvet etkisiyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek basınç veya gerilme çok büyük olacaktır. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Eğer malzemenin şekil değiştirme yeteneği yüksek ise, mikro adhezyon olanları şiddetle temas yüzeyie tamamen yayılacaktır. Dolayısıyla yüzeyde absorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanacaktır. Adhesiv aşınma sırasındaki oksitlenme olayını, korozif aşınma ile karıştırmamak gerekir. Yukarıda bahsedilen parçalanma malzeme moleküllerinin direkt temasa geçmelerine imkan verir. Bunun neticesinde de bölgesel kaynak bağları oluşur. Bu sırada değer izafi hareket de varsa yüzeydeki sıcaklık yükselir ve ergime noktasına kadar ulaşabilir.

Özellikle birbirleriyle kayma sürtünmesi yapan,metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen birbiriyle kaynamanın bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan çok küçük yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklemelerle dahi akma gerilmesi sınırına erişirler veya bunu geçerler. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi,soğuk kaynama ve küçük parçaların kesilmesi meydana gelir[5]. Adhesiv aşınma genellikle,eş çalışan parçalarda metalin metale sürtünmesinden ileri gelen aşınma şeklidir. Şekil 2.4'de metal- metal sürtünmesinin mekanizması görülmektedir.



Şekil 2.4 Metal-Metal Sürtünmesi Mekanizması.

Bu tip aşınmaya genellikle

-dişlilerde

-yataklarda

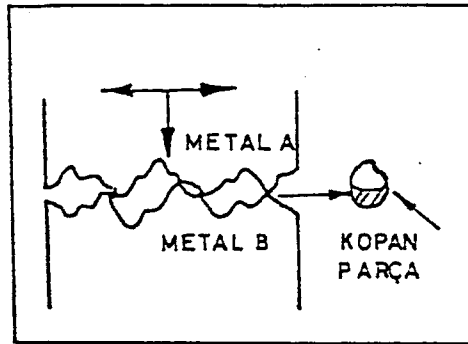
-ray-teker(demiryolu araçlarında) sisteminde ve

-kam mekanizmalarında rastlanır.

Metalin metale sürtünme aşınmasının söz konusu olduğu yerlerde eş çalışan parça çiftinden kolayca sökülüp tamir edilebilecek olanının diğerine göre daha yumuşak olması tercih edilir. Örneğin küçük pinyon dişli büyük ana dişliden daha yumuşak olmalıdır.

İki metalin sürtünmesi esnasında yüzey tabakası yer yer, çok kısa süreler için, 600-1000°C lik sıcaklıklara kadar yükselebilir. Yüzeyde hızla oksitler ve bazı yazarlara göre de, nitrürler meydana gelir.

Yüksek yüzey sertliği ve sıcaklık artışına karşılık yüksek mukavemet meydana gelecek etkilere karşı koyabilir. Ancak farklı metallerin karşı karşıya olmaları halinde bu oksit daha yumuşak alana gömülüp daha sert olanı aşındırabilir. Beraberce tesir eden basınç, sıcaklık, mikro-kayaklar ve bunların neticesinde de kopmalar olabilir. İki metalin sürtünmesi esnasında yüzeyden parça kopması (taşınması) şekil 2.5 de görülmektedir.

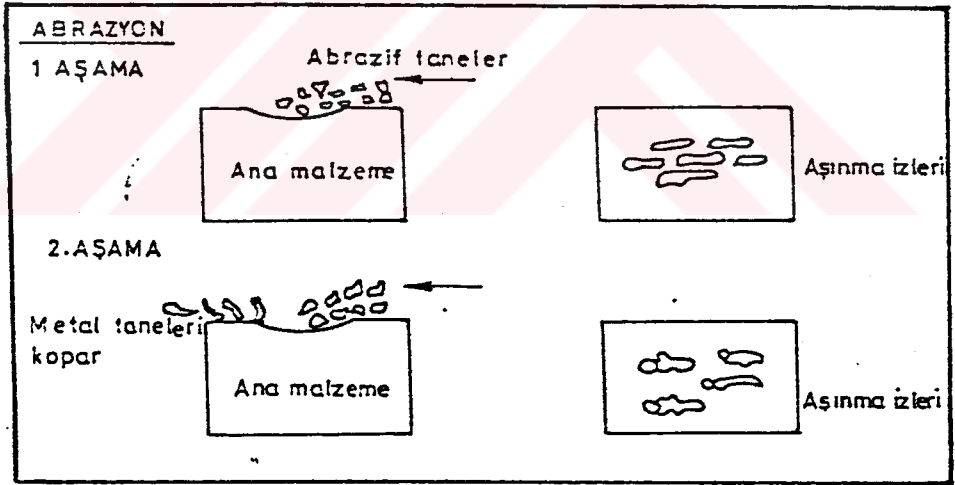


Şekil 2.5 Metal Sürtünmesi Esnasında Yüzeyden Parça Kopması (Söderberg, 1986)

2.2.1.2. Abraziv Aşınma (Sürtünme Aşınması):

Bu tip aşınma, malzeme yüzeyine karşı metalik ya da metalik olmayan aşındırıcı bir maddenin temasından ileri gelen, başka bir deyişle sürtünme çiftlerinden daha sert olanının karşı sürtünme elemanı içerisine yüzey pürüzlüğü mertebesinde girerek, hareket esnasında onu çizmesi ve talaş kaldırması olayıdır. Abrasiv aşınma basınç ve darbe etkisinin tek tek veya birlikte ana malzemeye etkimesi sonucu meydana gelir.

Yırtılma ve çizilme diye de adlandırılan bu aşınma; çizici, raybalayıcı veya çarpan zorlanmalar nedeniyle meydana gelir. Abrasiv aşınmada sert tanecikler basınç altında yüzeyde kayarken veya yuvarlanırken önce metal yüzeyine girer ve sonrada metalik tanecikleri yerinden yırtarlar. Sert malzemenin yüzeyindeki pürüzler kesici kenarlar gibi çalışır ve yumuşak yüzeyden sürekli malzeme kaldırır. Şekil 2.6'da abraziv aşınma sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Abrasiv Aşınma

2.2.1.2.1. Hafif Darbeli Şiddetli Abrasiv Aşınma(Sürtünme Aşınması):

Abrasiv parçacıkların yüksek basınç ve hafif darbe etkisi ile birlikte metal yüzeyinde oluşturduğu aşınma şeklidir. Basınç ve darbe etkisi sonucu oluşan çatlaklar malzeme yüzeyinde tanelerin kopmasına neden olur. Bu

aşınma şekli de, kil ezicilerinde, sinterleme tesislerinde, kum karıştırma makinası kanatlarında görülmektedir.

2.2.1.2.2. Ağır Darbeli Şiddetli Abraziv Aşınma(Sürtünme Aşınması):

Yüksek basınç ve ağır darbe etkisi altında abraziv parçacıkların büyüklüğünde ana metalin cinsine göre yüzeyden iri veya ufak parçalar kopar. Veya ana malzeme çatlayıp kırılır. Bu aşınmaya örnek olarak da; kırıcı (konkasör) çene ve çekiçleri, iş makineleri uçları, paletleri ve demiryolu rayları gösterilebilir.

2.2.1.3. Korozyif Aşınma

Abraziv aşınma ile kimyasal maddelerin birlikte meydana getirdiği aşınma şeklidir. Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozyif etkilerde uğrarsa buna korozyif aşınma denir. Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleri ile birlikte de meydana gelebilir. Malzeme özelliklerini etkileyen, sıvı ve gaz ortamındaki kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bir aşınma çeşididir. Bunların görüldüğü yerlere örnek olarak ;

-Yağ pres helezonlarındaki aşınma ve şeker fabrikalarındaki aşınma gösterilebilir.

2.2.1.4. Termik Aşınma

Yüksek sıcaklığın yanısıra darbe ve gazların etkisi ile birlikte görülen aşınma şeklidir.Bu aşınmaya örnek olarak;

-Buhar ve gaz varilleri oturma yüzeyleri, vali etekleri veya vali klapeleleri, sıcak hadde silindir ve merdaneleri, verilebilir.

2.2.2. Mevcut Deney Düzenekleri Ve Genel İlkeler

Sürtünme ve aşınmaya maruz makine ve parçalarının endüstride kullanma yer ve koşullarını farklı oluşu, sürtünme ve aşınma özellikleri bakı-

mından çeşitli zorluklar arzeder. Bu nedenle sürtünme ve aşınma deneylerinde geliştirilen “model deney” standartlarında, çok çeşitli olması gereklidir. Yapılacak olan aşınma deney düzeneğinin seçimi gerçek sistemin özellikleri ve çalıştığı şartlar göz önüne alınarak yapılır veya o doğrultuda geliştirilir. Gerçek sistem özelliklerine ne derece yaklaşırsa, laboratuvarında bulunan deney sonuçlarının teknik sistemlere aktarılması sorunu o kadar azaltılmış olur. Ancak koşulları değiştirme ve elde edilen sonuçları tekniğe aktarma oldukça sınırlıdır. Hız sürtünme süresi ve yükleme miktarı gibi unsurların belirli oranlarda küçültülerek deney standardına uygulanması sonuçların gerçek sisteme aktarılmasında ek problemler doğurmadığı gibi ayrıca uygulama kolaylığı sağlayacaktır.

Labaoratuvarında elde edilen sonuçları değerlendirirken dikkatli olmak gerekir. Çünkü şartların biraz değişmesi aşınma durumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Aşınmaya maruz makine parçalarının kullandıkları yer ve çalışma şartlarının farklı oluşu, bunları incelemek için geliştirilen mekanizmaların da farklılığını gerektirmektedir. Bu nedenle bugüne kadar 200’ün üzerinde deney düzeneğinin geliştirilmiş olduğu bilinmektedir. Bulunan sonuçlar genel olmaktan çok aşınma durumu hakkında sınırlı bilgiler verir. Bu sistemler aşınmanın nasıl meydana geldiğini değil, çeşitli şartlarda nasıl değiştiğini bulmaya yarar. Bu yüzden değişkenlere çözüm bulmak için başka imkan olmadığından “model deney” yapmak kaçınılmaz olmuştur.

2.2.2.1. Metallerde Aşınma Deneyi

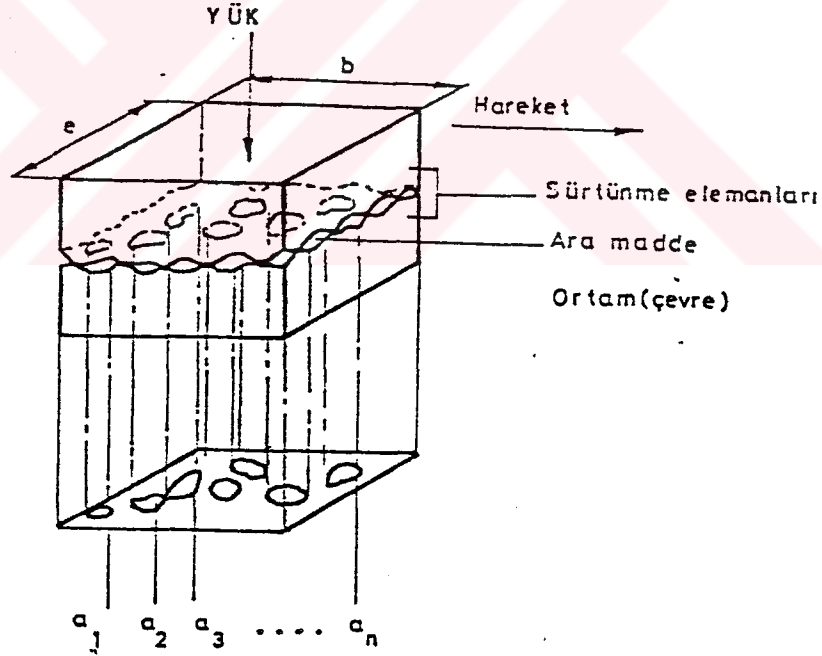
Metallerde aşınma olayına yapı mühendisliğinde en çok demiryol raylarında rasgelenmektedir. Bir metalin aşınmaya yeter düzeyde dayanıklı olup olmadığı, en iyi bir şekilde ancak deneylerle anlaşılır. Fakat hemen belirtelim ki bu özelliği gerçeğe en yakın bir şekilde, belirten bir deney metodu henüz saptanmış değildir. Metaller üzerinde aşınma deneyinin yapılmasında kulalnılan aletler arasında en bilinenlerinden birisi İsviçre’de Amsler Firması tarafından geliştirilendir. Burada uygulanan parçaların çapları, 30-50 mm arasında olan halka şeklindedir. Bunlar 250-2500 N arasında deği-

şebilen ve deney süresince sabit tutulan "P" basınç kuvvetlerinin etkisi altında birbirine değmektedir. Ayrıca; halkalar 200d/d da dönmektedir. Bu sistemle bazı faktörleri göz önünde tutarak aşınma deneyleri yapılabilir.

2.2.3. Aşınma Analizi ve Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Aşınma olayının başlayabilmesi veya devamı için bir sürtünmenin olması gereklidir. Sürtünen iki cismin temas alanı büyüklüğünün aşınmaya büyük etkisi vardır. İki cismin temas durumu ve aşınma olayını belirleyen "aşınma temel unsurları" toplu olarak şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 2.7'de de görüldüğü gibi aşınma olayına etki eden faktörler yükleme, hareket, aşınan ve aşındıran sürtünme elemanları, ara madde ve çevre (ortam)'dır.



Şekil 2.7 Sürtünen İki Cismin Temas Alanları Ve Aşınmanın Temel Unsurları

1. Yükleme : Etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı) doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemesinin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.

2. Hareket : Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıklı olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.

3. Sürtünme elemanları : Aşınan ve aşındıran elemanlardır. Aşınan eleman; fiziksel ve kimyasal özellikleri yanında, yüzeysel yapısı, şekli durumu tamamen belirli olan ve aşınması özel ilgi ile incelenen katı cisimdir. Aşındıran eleman; aşınmanın meydana gelmesinde başlıca öneme sahip olan karşı sürtünme elemanı, katı bir cisim sıvı ya da gaz ortam olabilir. Bu eleman temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çifti oluşturur.

4. Ara madde : Temel sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, bahar ya da bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir. Örneğin; bu ara maddesini, yüzeyler arasına herhangi bir nedenle girmiş kum taneleri oluşturabileceği gibi, aşınma esnasında yüzeyden kopan parçacıklarda ara maddesi görevi üstlenebilirler.

5. Çevre : Sistemi içine alan ve genellikle sıvı ya da gaz halinde bulunan ortamdır. Su, hava ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır.

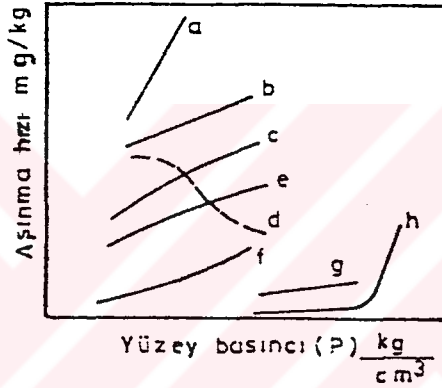
Birbirleriyle temas eden iki cismin gerçek temass yüzeyi, görünen temas yüzeyinden küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düz işlenirse işlensin yüzeyde mutlaka pürüz dediğimiz kabalık ve çıkıntıların bulunduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halindeki iki cisim bu prüzler vasıtasıyla temas kurarlar. Prüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalırlar. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi görünen temas alanı $S=eXb$ (Birim kare) iken gerçek temas yüzeyi, prüzlerin temas yüzeylerinin toplamıdır, Yani ;

$$S_g = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n \quad (2.6)$$

anlaşılacağı üzere görünen (geometrik) temas alanı (S) gerçek temas alanından (S_g) daima büyüktür($S > S_g$) [9].

2.2.3.1. Yüzey Basıncının Aşınmaya Etkisi

Şekil 2.8 de en önemli parametrelerden biri olan yüzey basıncının çeşitli tipteki aşınma olaylarına etkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Yüzey Basıncının Aşınmaya Etkisi

- a. Kuru mineral kayma aşınması, (Metal /Mineral)
- b. Kuru -ara tanecikleriyle kayma aşınması. (Metal /Metal)
- c. Kura kayma aşınması, (Metal/Metal)
- d. Özel yönelimli kuru-kayma aşınması.(Metal/Metal)
- e. Aralarında yabancı tanecikler bulunan iki metalin aşınması (M/M)
- f. Yağlı yuvarlanma aşınması (Çelik/çelik)
- g.Kuru yuvarlanma aşınması, (Çelik/çelik)
- h. Yağlı yuvarlanma aşınması, (Çelik/çelik)

2.2.3.2. Aşınma Miktarına Hızın Etkisi

0-25 m/s aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığı, Khruschov ve Babichev ile Nathon ve Jones tarafından tespit edilmiştir. Bu artış büyük tane boyutlarında daha da belirgindir. Son iki araştırmacı bu artışı sürtünme sıcaklığına bağlarken Khruschov ve Babichev, % 13'lük bir artışı abraziv özelliklerinde bir değişiklik yapacağına dikkati çekmişlerdir.

Çalışma veya deney süresi, aşınma miktarını büyük oranda etkiler. Çalışma süresi arttıkça, normal olarak aşınma miktarıda artar. Yüzeyde zamanla oksidasyon tabakası oluşur. Bu tabakanın kalınlığı gittikçe artar ve aşınmayı etkiler. Öte yandan gerçek elemanlarla yapılan deneylerde abraziv aşınmanın, çalışma süresi ile arttığı tespit edilmiştir

Düşük yükleme ve hızlarda hızın aşınmaya etkisi yoktur.

Düşük hız ve büyük yüklerde aşınma, hız ile artar

Aşınmanın farkedilir bir şekilde artmaya başladığı kritik hızda yükün artmasıyla düşer. Aşınma oranının başlangıçta yükselmesine rağmen daha fazla kayma hızıyla azaldığı bildirilmektedir.

2.2.3.3. Yüzey Pürüzlüğünün Aşınmaya Etkisi

Yüzey pürüzlüğünün aşınmaya etkisi, çoğu araştırmacılar tarafından dikkatle incelenmiştir. Yüzeylerin temas davranışın üzerine pürüzlüğünü etkisini inceleyen ve teorik olarak başarılı neticeler alan Greewood ve Williamson problemin anlaşılmasına çok önemli katkılar yapmışlardır. Bir yüzeyin şekline belirlemek için, aşınma ve sürtünme mekanizmasını etkileyen prüzlerin yüzeydeki yoğunluğu ve yüksekliklerinin dağılım analizlerinin yapılması gerekir. Bu gerekçeye dayanılarak birçok çalışmalar yapılmış ve pürüzlerin profil eğrilerindeki yükseklik dağılımının gerçek dağılımdan farklı olduğu tespit edilmiştir. Esasen yüzey prüzlerinin büyüklüğü veya küçüklü-

ğü, daha doğrusu yüzeyin pürüzlülük derecesi, temas davranışını etkileyeceğinden aşınma ve sürtünme olayını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yüzeylerin kaba işlenmiş olması gerçek temas alanını azaltacağından artamsına sebep olur. Maksimum yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla aynı yük ve kayma mesafesinde aşınma miktarının arttığı görülür. Verilen ifadelerden anlaşılacağı gibi pürüzlülüğün artması aşınma direnci, oldukça iyi neticeler vermiştir. Kaplamanın sıhhatine yüzey pürüzlülüğünün büyük etkisi vardır. Kayma sırasında orijinal alt tabaka pürüzlerinin kırılması ve deformasyonu ile bağ kuvvetlerinin bozulmasına sebep olur. Bu sonuç makine parçalarının özellikle sürtünerek çalışan parçaların yüzey işleme kalitelerinin aşınma bakımından önemli bir etken olduğunu ortaya koymaktadır.

2.2.3.4. Numunenin şekil ve boyutunun aşınmaya olan etkisi

Temas yüzeyinin aşınma şekli, eş çalışan elemanların geometrik şekline, hareket tarzına ve basınç uygulamasına bağlıdır. Bu faktörler aşınma direncini etkiler. Numune boyutları, temas alanını etkilediğinden aşınmayı da etkiler. Richardson toprakla yaptığı deneysel aşınma araştırmalarında, kesici ağızların aşınarak parabolik bir şekil aldığını ve dolayısıyla parabolik ağızların daha az aşındığını, geometrik kesiti ideal daireye yakın olan numunelerin daha az aşındığını ve aşınma sonunda ideal daireye yaklaşma olduğunu tespit etmişlerdir[10].

BÖLÜM 3.

YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1.Standart Ray Tiplerinin İdealize Edilmesi

Demiryol üstyapı elemanlarından olan raylar, üzerlerinden geçen demiryol taşıtlarının oluşturacakları etkileri direkt olarak karşılamak ve daha sonra bu yükleri diğer üstyapı elemanlarına aktarmak durumundadır. Raylara intikal edecek yükler demiryol arabalarının tekerlekleri vasıtasıyla olacağından, malzemesi metal olan tekerlek ile yine malzemesi metal olan ray birbirleriyle sürtünecek ve rayda bir aşınma durumu söz konusu olacaktır. Aşınmanın raylarda meydana getireceği etkileri ve ray karakteristiklerinde sebep olacağı değişiklikleri incelemek , aşınan rayların daha sonra tekrar kullanılıp kullanılamayacağı konusunda bizlere ipuçları verebilecektir.

Rayların mukavemetiyle ilgili en önemli karakteristikleri, atalet ve mukavemet momentleridir. Bir ray, elastik yataklandırılmış bir kiriş olarak ele alındığında, üzerinden geçen demiryolu taşıtlarının etkisiyle ray eğilme momentine maruz kalacaktır. Raylarda meydana gelecek gerilme;

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (3.1)$$

olarak basit bir formülle yazılmaktadır. Burada σ , ray gerilmesini ; M, ray eğilme momentini; W, ray mukavemet momentini göstermektedir. Rayların ömrü ise ray gerilmesinin, sınır gerilme değeriyle karşılaştırılması sonucu belirlenebilir. Ray eğilme momenti sabit olarak kabul edilecek olursa, bir rayın gerilmesindeki değişim ray mukavemet momentinin bir fonksiyonu olarak ele alınabilir. Mukavemet momenti ise rayda sürtünmeden dolayı

meydana gelecek aşınma miktarına göre değişiklik gösterir. Aşınmış haldeki bir rayın gerilme değeri;

$$\sigma = \frac{M}{W_s} \quad (3.2)$$

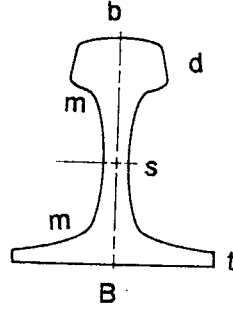
şeklinde ifade edilmektedir. Buradaki W_s ; aşınmış haldeki rayın mukavemet momenti değerini göstermektedir. Belirli malzemelerden yapılan standart rayların ray emniyet gerilmeleri sabit olduğuna göre, bir rayın aşındıktan sonra tekrar kullanılıp kullanılamayacağı o rayın aşınmadan sonraki mukavemetinin sınır mukavemet momenti ile karşılaştırılması sonucu elde edilecektir.

Yukarıda da açıklandığı gibi eğer ray kesidinin aşınmadan sonraki mukavemet momentini hesaplayabilirsek, bu değeri sınır mukavemet momenti değeriyle karşılaştırabilecek ve rayın tekrar kullanılıp kullanılamayacağını söyleyebileceğiz.

Standart rayların imal ediliş ve haddeden geçiriliş tekniklerinin bazı kurallara bağlı olması, standart ray tiplerinin üzerilerinde kolayca işlem yapılmasını güçleştirmektedir. Bu yüzden direkt olarak standart ray tipleri üzerinde işlem yapmak yerine rayları idealize ederek üzerilerinde çalışılması uygun görülmüştür.

Standart ray tiplerini idealize ederken üç değişik yaklaşım üzerinde durulmuş ve bu yaklaşımlar içerisinde en uygun olanı tercih edilmiştir. Bir rayı idealize ederken, standart ray tipi mukavemet momenti ile idealize ray tipi mukavemet momentinin yeteri kadar birbirine yakın olması gerektiği şartı prensib olarak kabul edilmiştir. İdealize edilmiş ray tipi boyutları ise bu prensib doğrultusunda bulunmuştur.

Şekil 3.1'de standart ray tipi örneği verilmiş ve Üzerinde çalışma yapılan ray tiplerinin geometrik ve mukavemet karakteristikler ise tablo 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Standart Ray Karakteristikleri

Tablo 3.1 Çalışma Yapılan Standart Ray Tiplerinin Geometrik Ve Mukavemet Karakteristikleri

Ray	G	B	b	d	s	H	m	t	F	I	W
S49	49.05	125	67	40	14	148	1/3	10.5	62.51	1797	239
S49(1958 ⁺)	49.43	125	67	40	14	149	1/3	10.5	62.97	1819	240
IEV54	54.40	140	70	36	16	159	1/2.75	11	69.34	2346	279
UIC60	60.34	150	72	37	16.5	172	1/2.75	11.5	76.86	3055	333
S64 ⁺	64.90	150	74	43	16	172	1/4	13	82.70	3252	356

3.1.1 YAKLAŞIM 1 :

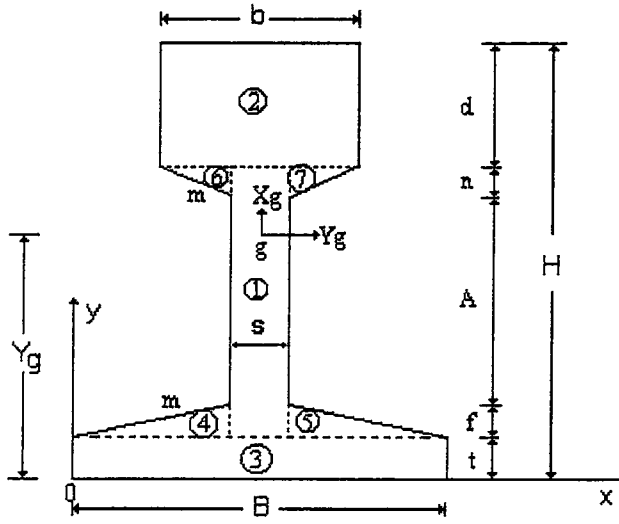
Daha önceden açıklandığı gibi, imal ve haddeden geçme teknikleri dolayısıyla, ray profillerinin geometrik özelliklerinin çok kompleks bir yapıda olması, aşınmadan dolayı değişen bazı geometrik boyutların tekrar hesaplanabilmesini güçleştirmektedir. Yapılan bu çalışmada bu güçlük, standart rayların idealize edilmesi, başka bir deyişle standart rayların özelliklerini temsil edecek ray boyutlarının oluşturulması ile giderilmeye çalışılmıştır. Standart ray tiplerini idealize ederken mümkün olduğu kadar geometrisi bilinen basit ray tipleri dikkate alınmış ve çalışma bu doğrultuda yürütülmüştür. Bu yaklaşımda yapılan kabüller şunlardır:

- 1- Ray tipleri trapez kesitlidir.
- 2- Mantar genişlik ve yükseklikleri, standart rayların mantar genişlik ve yüksekliklerine eşittir.
- 3- Paten genişlik ve yükseklikleri, standart rayların paten genişlik ve yüksekliklerine eşittir.
- 4- Gövde kalınlığı standart rayların en dar bölgelerinin gövde kalınlığına eşittir.
- 5- Cebire yatak eğimleri lineerdir.
- 6- Ray yükseklikleri değişmemiştir.

Doğal olarak böyle bir yaklaşımın geçerliliği, başka bir deyişle uygun bir yaklaşım olup olmadığı, trapez olarak kabul edilen ray tiplerinin en önemli karakteristiği olan mukavemet momentlerinin standart ray mukavemet değerlerine yeteri kadar yakın olmalarıdır. Bu yüzden her yaklaşım sonunda; $W_{IDEALIZE} = W_{STANDART}$ şartının oluşup oluşmayacağının kontrol edilmesi gerekir. Bu yüzden üzerinde çalışma yapılan 5 ayrı ray tipi idealize edilerek mukavemet momentleri hesaplanmış ve standart ray tipi mukavemet momentleri değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Bu yaklaşım için yukarıdaki yapılan kabuller göz önüne alınarak standart rayların idealize edilip edilemeyeceği, üzerinde çalışılan 5 ray tipi dikkate alınarak aşağıda hesaplanmıştır.

Kesitin mukavemet momentini hesaplayabilmek için ilk önce ağırlık merkezinin yerinin tayin edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden keyfi olarak kesitin en sağ noktasından şekil 3.2 'de görüldüğü gibi x-y eksen takımı geçirilmiş ve kesitin ağırlık merkezinin yeri belirlenmiştir. Kesit üzerinde daha kolay işlem yapabilmek için, kesit 7 basit geometrik şekle bölünmüştür. İlk önce her parçanın kesit alanı hesaplanmış ve daha sonra toplam alan elde edilmiştir. Burada F toplam alanı, F'in alt indisleri ise her parçaya ait kesit alanlarını cm^2 olarak göstermektedir.



Şekil 3.2 Yaklaşım 1'e Göre idealize Edilen Ray Kesiti Ve karakteristikleri

$$n = \left(\frac{b}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m$$

$$f = \left(\frac{B}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m$$

$$A = H - d - n - f - t$$

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı:

$$F_1 = (H - d - t) \times s \quad (3.3)$$

$$F_2 = b \times d \quad (3.4)$$

$$F_3 = B \times t \quad (3.5)$$

$$F_4 = F_5 = \frac{\left(\frac{B}{2} - \frac{s}{2} \right) \times \left(\frac{B}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m}{2} \quad (3.6)$$

$$F_6 = F_7 = \frac{\left(\frac{b}{2} - \frac{s}{2} \right) \times \left(\frac{b}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m}{2} \quad (3.7)$$

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 \quad (3.8)$$

b) Toplam Kesitin Seçilen x Eksenine Göre Statik Momentinin Hesap Edilmesi (K):

$$K = (H-d-t) \times s \times \left(\frac{H-d-t}{2} + t \right) + b \times d \times \left(H - \frac{d}{2} \right) + B \times t \times \frac{t}{2} + 2 \times \left[\frac{\left(\frac{B-s}{2} \right) \times \left(\frac{B-s}{2} \right) \times m}{2} \times \left(\frac{\left(\frac{B-s}{2} \right) \times m}{3} + t \right) \right] + 2 \times \left[\frac{\left(\frac{b-s}{2} \right) \times \left(\frac{b-s}{2} \right) \times m}{2} \times \left(H-d - \frac{\left(\frac{b-s}{2} \right) \times m}{3} \right) \right] \quad (3.9)$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$Y_g = \frac{K}{F} \quad (\text{cm}) \quad (3.10)$$

Kesit simetrik olduğundan ağırlık merkezinin seçilen x-y eksen takımının orijinine olan yatay mesafesi;

$$X_g = \frac{B}{2} \quad (\text{cm}) \quad (3.11)$$

d) Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Kesitin Atalet Momenti'nin Hesabı

$$I = s \times \frac{(H-d-t)^3}{12} + (H-d-t) \times s \times \left(Y_g - \frac{H-d-t}{2} - t \right)^2 + \frac{b \times d^3}{12} + b \times d \times \left(H - \frac{d}{2} - Y_g \right)^2 + \frac{B \times t^3}{12} + B \times t \times \left(Y_g - \frac{t}{2} \right)^2 + 2 \times \left[\frac{\left(\frac{B-s}{2} \right) \times \left(\frac{B-s}{2} \right) \times m^3}{36} + \frac{\left(\frac{B-s}{2} \right) \times \left(\frac{B-s}{2} \right) \times m}{2} \times \left(Y_g - \frac{\left(\frac{B-s}{2} \right) \times m}{3} - t \right)^2 \right] + 2 \times \left[\frac{\left(\frac{b-s}{2} \right) \times \left(\frac{b-s}{2} \right) \times m^3}{36} + \frac{\left(\frac{b-s}{2} \right) \times \left(\frac{b-s}{2} \right) \times m}{2} \times \left(H-d - \frac{\left(\frac{b-s}{2} \right) \times m}{3} - Y_g \right)^2 \right] \quad (3.12)$$

e) Kesitin Mukavemet Momenti Değerinin Hesabı

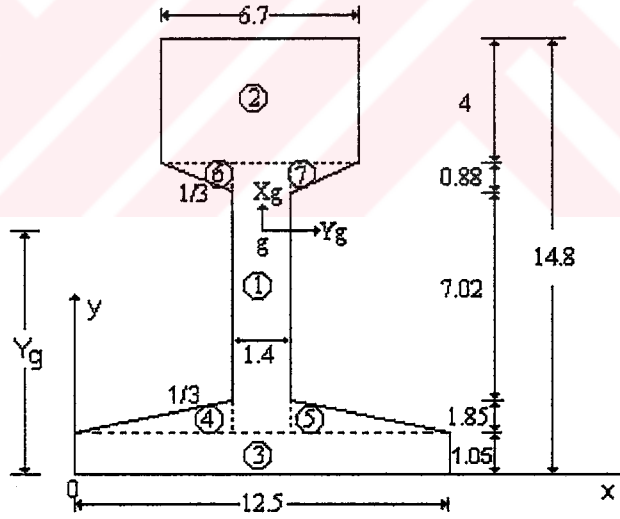
Mukavemet momentini hesaplarken, atalet momenti kesitin ağırlık merkezinin en alt ve en üst noktalara olan uzaklıklarına bölünmüş ve bunlardan en küçüğü mukavemet momenti olarak esas alınmıştır.

$$W_1 = \frac{I}{Y_g} \quad (\text{cm}^3) \quad (3.13)$$

$$W_2 = \frac{I}{(H - Y_g)} \quad (\text{cm}^3) \quad (3.14)$$

$$W = (W_1, W_2) \text{ küçük} \quad (3.15)$$

3.1.1.1 S49(49.050 kg/m) Ray Tipinin İdealize Edilmesi



Şekil 3.3 Yaklaşım 1'e Göre idealize Edilen S49(49.050 kg/m) Ray Kesiti

Kesit üzerinde daha kolay işlem yapabilmek için, kesit 7 basit geometrik şekle bölünmüştür. İlk önce her parçanın kesit alanı hesaplanmış ve daha sonra toplam alan elde edilmiştir. Burada F toplam alanı, F'in alt indisleri ise her parçaya ait kesit alanlarını cm^2 olarak göstermektedir.

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F_1 = (14.8 - 4 - 1.05) \times 1.4 = 13.65 \text{ cm}^2$$

$$F_2 = 6.7 \times 4 = 26.80 \text{ cm}^2$$

$$F_3 = 12.5 \times 1.05 = 13.13 \text{ cm}^2$$

$$F_4 = F_5 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{12.5}{2} - \frac{1.4}{2} \right) \times 1.85 = 5.13 \text{ cm}^2$$

$$F_6 = F_7 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{6.7}{2} - \frac{1.4}{2} \right) \times 0.88 = 1.17 \text{ cm}^2$$

$$F = 13.65 + 26.80 + 13.13 + 2 \times 5.13 + 2 \times 1.17 = 66.18 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin X Eksenine Göre Statik Momentinin Hesabı

$$K = 13.65 \times \left(\frac{14.8 - 4 - 1.05}{2} + 1.05 \right) + 26.80 \times \left(14.8 - \frac{4}{2} \right) + 13.13 \times \frac{1.05}{2} + \\ 2 \times 5.13 \times \left(\frac{1.85}{3} + 1.05 \right) + 2 \times 1.17 \times \left(14.8 - 4 - \frac{0.88}{3} \right)$$

$$K = 472.53$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$Y_g = \frac{K}{F} = \frac{472.53}{66.18} = 7.14 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{B}{2} = \frac{12.5}{2} = 6.25 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesabı

$$I = \frac{14 \times 9.75^3}{12} + 13.65 \times \left(\frac{9.75}{2} + 1.05 - 7.14 \right)^2 + \frac{6.7 \times 4^3}{12} + 26.8 \times \left(14.8 - \frac{4}{2} - 7.14 \right)^2 + \\ \frac{12.5 \times 1.05^3}{12} + 13.13 \times \left(7.14 - \frac{1.05}{2} \right)^2 + 2 \times \left(\frac{5.55 \times 1.85^3}{36} + 5.13 \times \left(7.14 - \frac{1.85}{3} - 1.05 \right)^2 \right) + \\ 2 \times \left(\frac{2.65 \times 0.88^3}{36} + 1.17 \times \left(14.8 - 4 - \frac{0.88}{3} - 7.14 \right)^2 \right)$$

$$I = 1934.26 \text{ cm}^4$$

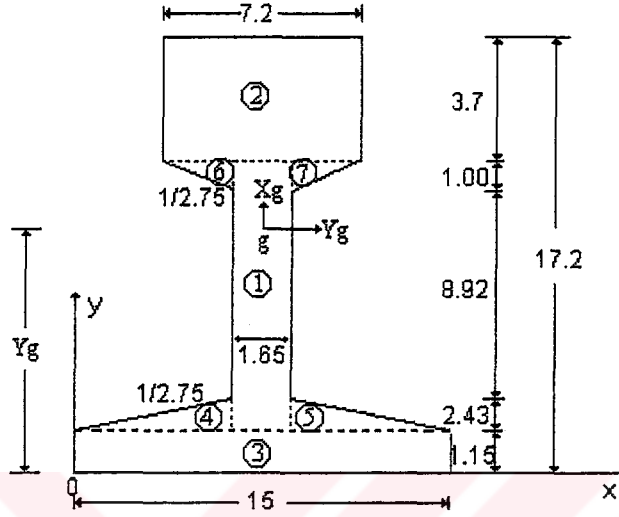
e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesabı

$$W_1 = \frac{1934.26}{7.14} = 270.93 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{1934.26}{(14.8 - 7.14)} = 252.50 \text{ cm}^3$$

$$W = 252.50 \text{ cm}^3$$

3.1.1.2 UIC 60(60.340 kg/m) Ray Tipinin İdealize Edilmesi



Şekil 3.4 Yaklaşım 1'e Göre idealize Edilen UIC 60(60.340 kg/m) Ray Kesiti

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F_1 = (17.2 - 3.7 - 1.15) \times 1.65 = 20.38 \text{ cm}^2$$

$$F_2 = 7.2 \times 3.7 = 26.64 \text{ cm}^2$$

$$F_3 = 15 \times 1.15 = 17.25 \text{ cm}^2$$

$$F_4 = F_5 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{15}{2} - \frac{1.65}{2} \right) \times 2.43 = 8.10 \text{ cm}^2$$

$$F_6 = F_7 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{7.2}{2} - \frac{1.65}{2} \right) \times 1.00 = 1.40 \text{ cm}^2$$

$$F = 20.38 + 26.64 + 17.25 + 2 \times 8.10 + 2 \times 1.40 = 83.27 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin X Eksenine Göre Statik Momentinin Hesabı

$$K = 20.38 \times \left(\frac{17.2 - 3.7 - 1.15}{2} + 1.15 \right) + 26.64 \times \left(17.2 - \frac{3.7}{2} \right) + 17.25 \times \frac{1.15}{2} + 2 \times 8.10 \times \left(\frac{2.43}{3} + 1.15 \right) + 2 \times 1.40 \times \left(17.2 - 3.7 - \frac{1.00}{3} \right)$$

$$K = 637.02 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$Y_g = \frac{K}{F} = \frac{637.02}{83.27} = 7.65 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{B}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I = \frac{1.65 \times 123^3}{12} + 2038 \times \left(\frac{123}{2} + 1.15 - 7.65 \right)^2 + \frac{72 \times 37^3}{12} + 2664 \times \left(172 - \frac{37}{2} - 7.65 \right)^2 + \frac{15 \times 1.15^3}{12} + 1725 \times \left(7.65 - \frac{1.15}{2} \right)^2 + 2 \times \left(\frac{668 \times 243^3}{36} + 810 \times \left(7.65 - \frac{243}{3} - 1.15 \right)^2 \right) + 2 \times \left(\frac{278 \times 1^3}{36} + 140 \times \left(172 - 37 - \frac{1}{3} - 7.65 \right)^2 \right)$$

$$I = 3351.71 \text{ cm}^4$$

e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

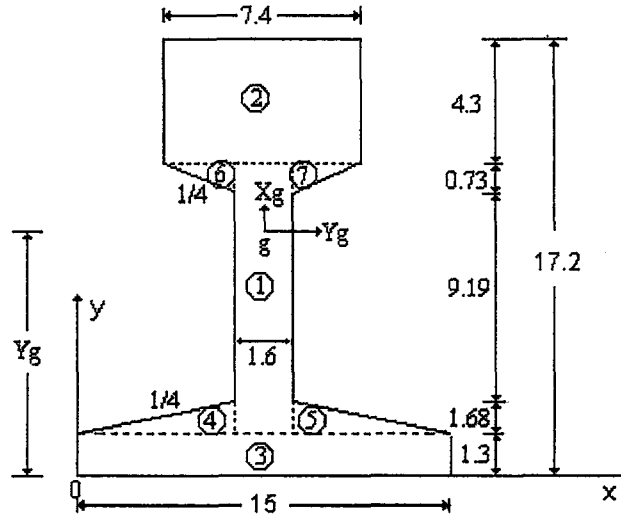
$$W_1 = \frac{3351.71}{7.65} = 438.34 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{3351.71}{(17.2 - 7.65)} = 350.83 \text{ cm}^3$$

$$W = 350.83 \text{ cm}^3$$

Yukarıda da görüldüğü gibi, kesitin en uç noktalarına göre farklı değerlerdeki mukavemet momentlerinden küçük olanı esas mukavemet momenti değeri olarak ele alınmıştır.

3.1.1.3 S64(64.9 kg/m) Ray Tipinin İdealize Edilmesi



Şekil 3.5 Yaklaşım 1'e Göre idealize Edilen S64(64.9 kg/m) Ray Kesiti

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F_1 = (17.2 - 4.3 - 1.3) \times 1.6 = 18.56 \text{ cm}^2$$

$$F_2 = 7.4 \times 4.3 = 31.82 \text{ cm}^2$$

$$F_3 = 15 \times 1.3 = 19.50 \text{ cm}^2$$

$$F_4 = F_5 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{15}{2} - \frac{1.6}{2} \right) \times 1.68 = 5.61 \text{ cm}^2$$

$$F_6 = F_7 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{7.4}{2} - \frac{1.6}{2} \right) \times 0.73 = 1.05 \text{ cm}^2$$

$$F = 18.56 + 31.82 + 19.50 + 2 \times 5.61 + 2 \times 1.05 = 83.21 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin X Eksenine Göre Statik Momentinin Hesabı

$$K = 18.56 \times \left(\frac{17.2 - 4.3 - 1.3}{2} + 1.3 \right) + 31.82 \times \left(17.2 - \frac{4.3}{2} \right) + 19.50 \times \frac{1.3}{2} + 2 \times 5.61 \times \left(\frac{1.68}{3} + 1.3 \right) + 2 \times 1.05 \times \left(17.2 - 4.3 - \frac{0.73}{3} \right)$$

$$K = 670.67 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$Y_g = \frac{K}{F} = \frac{670.67}{83.21} = 8.06 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{B}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I = \frac{1.6 \times 11.60^3}{12} + 18.56 \times \left(\frac{11.60}{2} + 1.3 - 8.06 \right)^2 + \frac{7.4 \times 4.3^3}{12} + 31.82 \times \left(17.2 - \frac{4.3}{2} - 8.06 \right)^2 + \frac{15 \times 1.3^3}{12} + 19.50 \times \left(8.06 - \frac{1.3}{2} \right)^2 +$$

$$2 \times \left(\frac{6.72 \times 1.68^3}{36} + 5.61 \times \left(8.06 - \frac{1.68}{3} - 1.3 \right)^2 \right) + 2 \times \left(\frac{2.9 \times 0.73^3}{36} + 1.05 \times \left(17.2 - 4.3 - \frac{0.73}{3} - 8.06 \right)^2 \right)$$

$$I = 3380.33 \text{ cm}^4$$

e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_1 = \frac{3380.33}{8.06} = 419.28 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{3380.33}{(17.2 - 8.06)} = 369.93 \text{ cm}^3$$

$$W = 369.93 \text{ cm}^3$$

Geri kalan diğer ray tiplerinin mukavemet karakteristikleri aynı yolla hesaplanmış ve Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Yaklaşım 1'e göre idealize edilmiş ray tiplerinin mukavemet karakteristik özellikleri

Ray Tipi	Standart Ray Karakteristikleri		İdealize Ray Karakteristikleri	
	I (cm ⁴)	W (cm ³)	I (cm ⁴)	W (cm ³)
S49(1958 ⁺)	1819	240	1968.22	255.32
S49	1797	239	1934.26	252.50
IEV 54	2346	279	2565.71	295.09
UIC 60	3055	333	3351.71	350.83
S64 ⁺	3252	356	3380.33	369.93

3.1.1.4 Yaklaşım 1'in Değerlendirilmesi

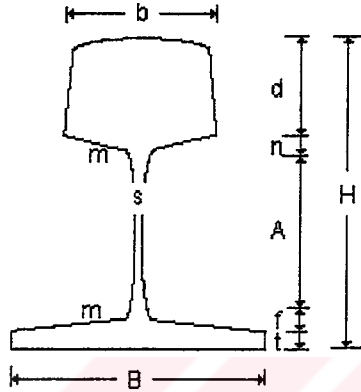
İmal ve haddeden geçme teknikleri dolayısıyla, ray profillerinin geometrik özelliklerinin çok kompleks bir yapıda olması, aşınmadan dolayı değişen bazı geometrik boyutların tekrar hesaplanabilmesini güçleştirmektedir. Yapılan bu çalışmada bu güçlük, standart rayların idealize edilmesi, başka bir deyişle standart rayların özelliklerini temsil edecek ray boyutlarının oluşturulması ile giderilmeye çalışılmıştır. Standart ray tiplerini idealize ederken mümkün olduğu kadar geometrisi bilinen basit ray tipleri dikkate alınmış ve çalışma bu doğrultuda yürütülmüştür.

Doğal olarak böyle bir yaklaşımın geçerliliği, başka bir deyişle uygun bir yaklaşım olup olmadığı, trapez olarak kabul edilen ray tiplerinin en önemli karakteristiği olan mukavemet momentlerinin standart ray mukavemet değerlerine yeteri kadar yakın olmalarıdır.

Yaklaşım 1'de kabul edilen prensiplerden yola çıkarak idealize edilen rayların karakteristik özellikleri ile standart rayların karakteristik özellikleri karşılaştırılmış ve Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Tablo 3.2'de de açık olarak görüldüğü gibi, standart rayların mukavemet karakteristikleri ile idealize edilmiş rayların mukavemet karakteristikleri birbirinden farklıdır. Böyle bir yaklaşımın standart rayları temsil edemeyeceği açıktır. Bu yüzden standart rayları temsil edecek değişik yaklaşımlar denenmiştir.

3.1.2 YAKLAŞIM 2:

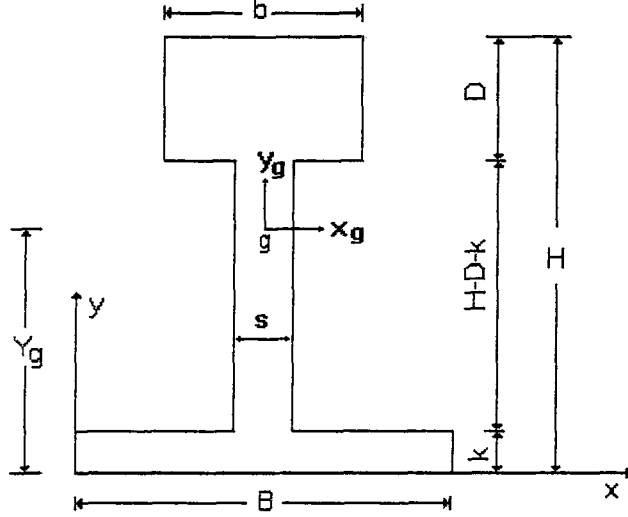
Yaklaşım 1'de trapez kesitli olarak idealize edilen ray tiplerinin standart rayları temsil edemediğinden ikinci bir yaklaşıma gerek duyulmuştur. Şekil 3.6'da verilen standart ray tipi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:



Şekil 3.6 Standart Ray Tipi Ve Geometrik Boyutları

- 1- Ray tipleri T kesiti şeklindedir.
- 2- Mantar genişliği değişmemiştir.
- 3- Paten genişliği değişmemiştir.
- 4- İdealize ray tiplerinin gövde kalınlıkları standart rayların en dar bölgesinin gövde kalınlıklarına eşittir.
- 5- Cebire yatak eğimleri değişmemiştir.
- 6- Mantar yüksekliği; $D = d + \frac{n}{2}$ 'dir.
- 7- Paten yüksekliği; $k = t + \frac{f}{2}$ 'dir.
- 8- Gövde yüksekliği; $A = H - (d + \frac{n}{2}) - (t + \frac{f}{2})$ 'dir.

Yapılan bu kabullerden yola çıkılarak standart ray tiplerinin T kesitli olarak idealize edilip edilemeyeceğine, ray tiplerinin mukavemet karakteristiklerinin hesaplanıp daha sonra rayların gerçek karakteristikleriyle karşılaştırılması sonucunda karar verilmiştir.



Şekil 3.7 Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen Ray Kesiti Ve Karakteristikleri

Kesitin mukavemet momentini hesaplayabilmek için ilk önce ağırlık merkezinin yerinin tayin edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden keyfi olarak kesitin en sağ noktasından şekil 3.4 'de görüldüğü gibi x-y eksen takımı geçirilmiş ve kesitin ağırlık merkezinin yeri belirlenmiştir. Kesit üzerinde daha kolay işlem yapabilmek için, kesit 3 basit geometrik şekle bölünmüştür.

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = b \times D + s \times (H - D - k) + B \times k \quad (3.15)$$

b) Kesitin Seçilen X-Y Eksen Takımına Göre Statik Momenti Değerinin Hesaplanması (K):

$$K = b \times D \times \left(H - \frac{D}{2}\right) + s \times (H - D - k) \times \left(\frac{H - D - k}{2} + k\right) + B \times k \times \frac{k}{2} \quad (3.16)$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{K}{F} \text{ (cm)} \quad (3.17)$$

$$X_g = \frac{B}{2} \text{ (cm)} \quad (3.18)$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Eksen Takımına Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I = \frac{b \times D^3}{12} + b \times D \times \left(H - \frac{D}{2} - Y_g\right)^2 + s \times \frac{(H - D - k)^3}{12} + s \times (H - D - k) \times \left(Y_g - \frac{H - D - k}{2} - k\right)^2 + \frac{B \times k^3}{12} + B \times k \times \left(Y_g - \frac{k}{2}\right)^2 \quad (3.19)$$

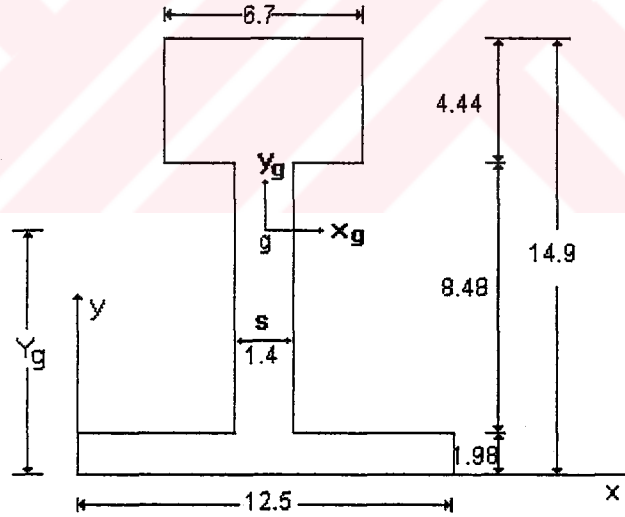
e) Kesitin Mukavemet Momenti Değerinin Hesaplanması

$$W_1 = \frac{I}{Y_g} \text{ (cm}^3\text{)} \quad (3.20)$$

$$W_2 = \frac{I}{(H - Y_g)} \text{ (cm}^3\text{)} \quad (3.21)$$

$$W = (W_1, W_2)_{\text{küçük}} \quad (3.22)$$

3.1.2.1 S49(49.430 kg/m) Ray Tipinin İdealize Edilmesi



Şekil 3.8 Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen S49(49.430 kg/m) Ray Kesiti

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 6.7 \times 4.44 + 1.4 \times 8.48 + 12.5 \times 1.98 = 66.37 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen X-Y Eksen Takımına Göre Statik Momenti Değerinin Hesaplanması (K):

$$K = 6.7 \times 4.44 \times (14.9 - \frac{4.44}{2}) + 1.4 \times 8.48 \times (\frac{8.48}{2} + 1.98) + 12.5 \times 1.98 \times \frac{1.98}{2} = 475.87 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{475.87}{66.37} = 7.17 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{12.5}{2} = 6.25 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Eksen Takımına Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I = \frac{6.7 \times 4.44^3}{12} + 6.7 \times 4.44 \times (14.9 - \frac{4.44}{2} - 7.17)^2 + \frac{1.4 \times 8.48^3}{12} + 1.4 \times 8.48 \times (\frac{8.48}{2} + 1.98 - 7.17)^2 + \frac{12.5 \times 1.98^3}{12} + 12.5 \times 1.98 \times (7.17 - \frac{1.98}{2})$$

$$I = 1987.23 \text{ cm}^4$$

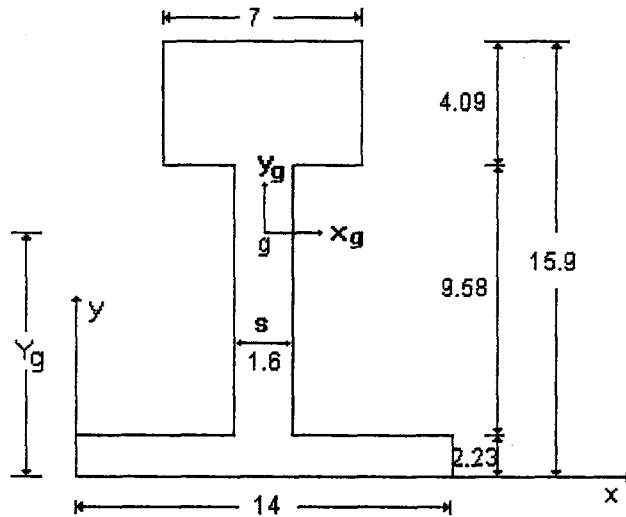
e) Kesitin Mukavemet Momenti Değerinin Hesaplanması

$$W_1 = \frac{1987.23}{7.17} = 277.16 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{1987.23}{(14.9 - 7.17)} = 252.44 \text{ cm}^3$$

$$W = 252.44 \text{ cm}^3$$

3.1.2.2 IEV54(54.4 kg/m) Ray Tipinin İdealize Edilmesi



Şekil 3.9 Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen IEV54(54.4 kg/m) Ray Kesiti

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 7 \times 4.09 + 1.6 \times 9.58 + 14 \times 2.23 = 75.15 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen X-Y Eksen Takımına Göre Statik Momenti Değerinin Hesaplanması (K):

$$K = 7 \times 4.09 \times \left(15.9 - \frac{4.09}{2}\right) + 1.6 \times 9.58 \times \left(\frac{9.58}{2} + 2.23\right) + 14 \times 2.23 \times \frac{2.23}{2} = 538.83 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{538.83}{75.15} = 7.17 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{14.0}{2} = 7.0 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Eksen Takımına Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I = \frac{7 \times 4.09^3}{12} + 7 \times 4.09 \times \left(15.9 - \frac{4.09}{2} - 7.17\right)^2 + \frac{1.6 \times 9.58^3}{12} + 1.6 \times 9.58 \times \left(\frac{9.58}{2} + 2.23 - 7.17\right)^2 + \frac{14 \times 2.23^3}{12} + 14 \times 2.23 \times \left(7.17 - \frac{2.23}{2}\right)^2$$

$$I = 2593.77 \text{ cm}^4$$

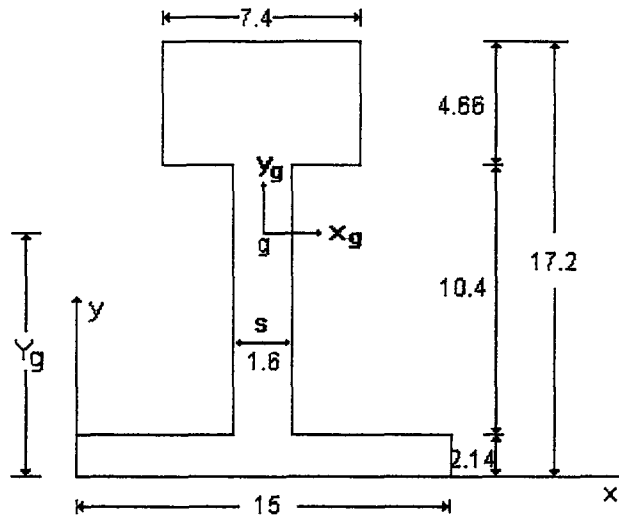
e) Kesitin Mukavemet Momenti Değerinin Hesaplanması

$$W_1 = \frac{2593.77}{7.17} = 361.75 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{2593.77}{(15.9 - 7.17)} = 297.22 \text{ cm}^3$$

$$W = 297.22 \text{ cm}^3$$

3.1.2.3 S64(64.9 kg/m) Ray Tipinin İdealize Edilmesi



Şekil 3.10 Yaklaşım 2'e Göre İdealize Edilen S64(64.9 kg/m) Ray Kesiti

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 7.4 \times 4.66 + 1.6 \times 10.40 + 15 \times 2.14 = 83.21 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen X-Y Eksen Takımına Göre Statik Momenti Değerinin Hesaplanması (K):

$$K = 7.4 \times 4.66 \times \left(17.2 - \frac{4.66}{2}\right) + 1.6 \times 10.40 \times \left(\frac{10.40}{2} + 2.14\right) + 1.6 \times 10.40 \times \left(\frac{10.40}{2} + 2.14\right) = 669 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{669}{83.21} = 8.04 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{15}{2} = 7.50 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Eksen Takımına Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I = \frac{7.4 \times 4.66^3}{12} + 7.4 \times 4.66 \times \left(17.2 - \frac{4.66}{2} - 8.04\right)^2 + \frac{1.6 \times 10.40^3}{12} + 1.6 \times 10.40 \times \left(\frac{10.40}{2} + 2.14 - 8.04\right)^2 + \frac{15 \times 2.14^3}{12} + 15 \times 2.14 \times \left(8.06 - \frac{2.14}{2}\right)^2$$

$$I = 3400 \text{ cm}^4$$

e) Kesitin Mukavemet Momenti Değerinin Hesaplanması

$$W_1 = \frac{3400}{8.04} = 422.63 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{3400}{(17.2 - 8.04)} = 371.38 \text{ cm}^3$$

$$W = 371.38 \text{ cm}^3$$

Diğer ray tipleri de aynı prensip doğrultusunda hesaplanmış ve idealize edilen ray kesitlerinin mukavemet karakteristikleri tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Yaklaşım 2'e göre idealize edilmiş ray tiplerinin mukavemet karakteristik özellikleri

Ray Tipi	Standart Ray Karakteristikleri		İdealize Ray Karakteristikleri	
	I (cm ⁴)	W (cm ³)	I (cm ⁴)	W (cm ³)
S49(1958 ⁺)	1819.00	240.00	1987.23	252.44
S49	1797.00	239.00	1951.00	254.06
IEV 54	2346.00	279.00	2593.77	297.22
UIC 60	3055.00	333.00	3388.74	353.36
S64 ⁺	3252.00	356.00	3400.00	371.38

3.1.2.4 Yaklaşım 2'nin Değerlendirilmesi:

Bu yaklaşım için tablo 3.3'de de görüldüğü gibi standart ve idealize ray tiplerinin geometrik karakteristikleri birbirinden farklı çıkmış ve bu yaklaşımın standart ray tiplerini temsil edemeyecek bir yaklaşım olduğu görülmüştür. Standart ray tiplerinin geometrik karakteristiklerinin tümünün idealize ray tipleri tarafından temsil edilemeyeceği gerçeğinden hareketle, bazı karakteristiklerin ihmal edileceği prensip olarak kabul edilmiştir.

Bu yüzden sadece en önemli karakteristik olan mukavemet momenti esas referans olarak ele alınmıştır. Üzerinde çalışma yapılan 5 ayrı ray tipi idealize edilerek mukavemet momentleri hesaplanmış ve standart ray tipi mukavemet momenti değerleri ile karşılaştırılmıştır

Bu yaklaşım sonucunda da istenen; $W_{\text{IDEALIZE}} = W_{\text{STANDART}}$ şartının sağlanamamasından dolayı üçüncü bir yaklaşım yoluna gidilmiştir.

3.1.3 YAKLAŞIM 3 :

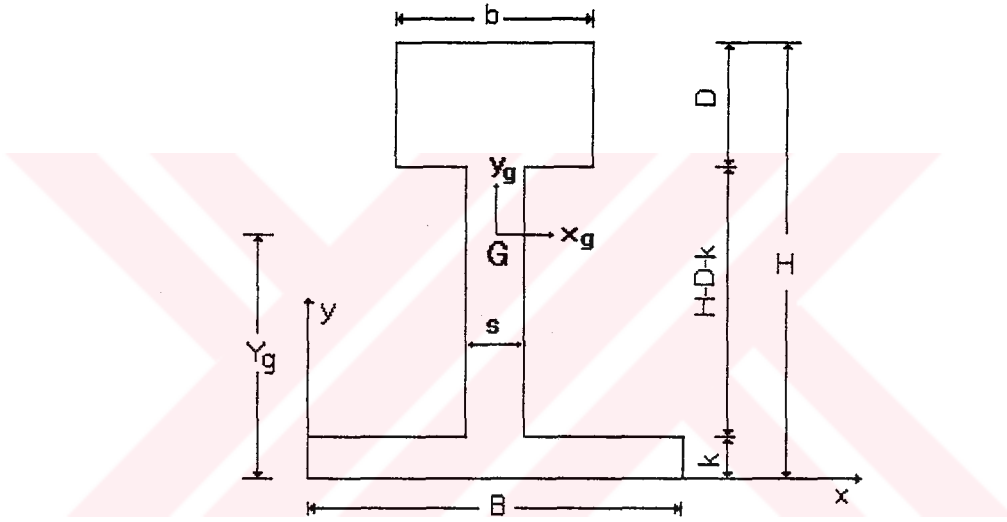
Bundan önceki ilk iki yaklaşımda da standart ray tiplerini temsil edecek idealize ray tipleri oluşturulamamış ve bu yüzden geometrik karakteristiklerinin tümünün oluşturulabilmesi güçlüğüne değinilmişti. Bu yüzden de referans karakteristik olarak mukavemet momenti kabul edilmişti. Bu yaklaşımlardan amacımız; standart rayların mukavemet momentine eşit temsili ray tiplerini oluşturmak olduğuna göre, eğer bu şartı sağlarsak amacımıza ulaşmış olacağız. Bunu gerçekleştirmek için ise aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- 1- Ray tipleri T kesiti şeklindedir.
- 2- Ray mantar genişliği standart rayın mantar genişliğine eşittir.
- 3- Ray paten genişliği standart rayın paten genişliğine eşittir.
- 4- Ray yüksekliği değişmemiştir.
- 5- Mantar yüksekliği; $D = d + \frac{n}{x}$
- 6- Paten yüksekliği; $k = t + \frac{f}{x}$
- 7- idealize ray tiplerinin gövde kalınlığı, standart tiplerin en dar gövde kalınlığına eşittir.
- 8- Gövde yüksekliği; $E = H - (d + \frac{n}{x}) - (t + \frac{f}{x})$

Yapılan kabullerden de görüleceği gibi, standart rayları idealize ederken yeni ray tiplerinin belirlenmesinde "x" belirleyici faktörü devreye sokulmuştur. Esas olarak bu faktör; her standart ray tipi mukavemet momenti ile idealizi tiplerin mukavemet momentlerini birbirine eşitlemek için, n ve f yüksekliklerinin kaçta kaçının mantar ve paten yüksekliklerine eklenmesi gerektiğini ifade eden bir faktördür. Adı geçen n ve f yükseklikleri şekil 3.6'da gösterilmiştir. Burada "x" faktörü tek değişken olup, bu faktörün alacağı değerlere göre idealize ray tiplerinin atalet ve mukavemet

momentleri değişecektir. Acaba "x" değişkeni hangi değeri aldığında standart ve idealize ray tiplerinin mukavemet momenti değerleri birbirine eşit olacaktır?

Bu sorunun cevabı, "x" belirleyici faktörüne bağlı olarak standart ray tiplerinin idealize edilmiş olması anlamına gelecektir. Bu "x" belirleyici faktörüne değişik değerler vererek standart ray tiplerinin mukavemet momentleri ile idealize ray tiplerinin mukavemet momentleri iterasyonla eşitlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.11 Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilen Ray Kesiti

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = b \times \left(d + \left(\frac{b}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m / x \right) + s \times \left(H - \left(d + \left(\frac{b}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m / x \right) - \left(t + \left(\frac{B}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m / x \right) \right) + B \times \left(t + \left(\frac{B}{2} - \frac{s}{2} \right) \times m / x \right) \quad (3.23)$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımına Göre Statik Momentinin Hesap Edilmesi (K):

$$\begin{aligned}
K &= b \times \left(d + \left(\frac{b-s}{2} \right) \times m/x \right) \times \left(H - \frac{1}{2} \times \left(d + \left(\frac{b-s}{2} \right) \times m/x \right) \right) + \\
& s \times \frac{1}{2} \times \left(H - \left(d + \left(\frac{b-s}{2} \right) \times m/x \right) - \left(t + \left(\frac{B-s}{2} \right) \times m/x \right) \right)^2 + s \times t + \\
& B \times \frac{1}{2} \times \left(t + \left(\frac{B-s}{2} \right) \times m/x \right)^2
\end{aligned} \tag{3.24}$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Yg = \frac{K}{F} \text{ (cm)} \tag{3.25}$$

$$Xg = \frac{B}{2} \text{ (cm)} \tag{3.26}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Eksen Takımına Göre Atalet Momenti Değerinin Hesaplanması :

$$\begin{aligned}
I &= \frac{b \times \left(d + \frac{b-s}{2} \times m/x \right)^3}{12} + b \times \left(d + \frac{b-s}{2} \times m/x \right) \times \left(H - \frac{1}{2} \times \left(d + \frac{b-s}{2} \times m/x \right) - Yg \right)^3 + \\
& \frac{s \times \left(H - \left(d + \frac{b-s}{2} \times m/x \right) - \left(t + \frac{B-s}{2} \times m/x \right) \right)^3}{12} + s \times \left(H - \left(d + \frac{b-s}{2} \times m/x \right) - \left(t + \frac{B-s}{2} \times m/x \right) \right) \times \\
& \left(\frac{1}{2} \times \left(H - \left(d + \frac{b-s}{2} \times m/x \right) - \left(t + \frac{B-s}{2} \times m/x \right) \right) + \left(t + \frac{B-s}{2} \right) \right) + \frac{B \times \left(t + \frac{B-s}{2} \times m/x \right)^3}{12} + \\
& B \times \left(t + \frac{B-s}{2} \times m/x \right) \times \left(Yg - \frac{1}{2} \times \left(t + \frac{B-s}{2} \times m/x \right) \right)^2
\end{aligned} \tag{3.27}$$

e) Kesitin Mukavemet Momenti Değerinin Belirlenmesi

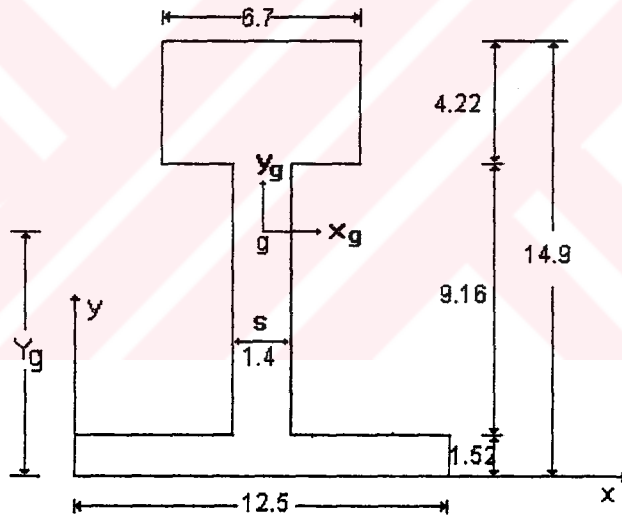
$$W_1 = \frac{I}{Yg} \text{ (cm}^3\text{)} \tag{3.28}$$

$$W_2 = \frac{I}{(H - Yg)} \text{ (cm}^3\text{)} \tag{3.29}$$

$$W = (W_1, W_2)_{\text{küçük}} \tag{3.30}$$

Yaklaşım 3'e göre idealize edilen standart rayların T kesitli oldukları yapılan kabullerden bilinmektedir. Bu yaklaşım için yapılan ve standart rayları T kesitli olarak idealize eden bilgisayar programı Ek 3'te gösterilmiştir. Bu program çalıştırılarak, $W_{IDEALIZE} = W_{STANDART}$ şartını sağlayan ve her standart ray tipini T kesitli olarak idealize eden yeni ray tiplerinin geometrik karakteristikleri uygun "x" değerine göre hesaplanmış ve Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Burada "x" değerine iterasyonla değişik değerler verilmiş ve standart rayların mukavemet momentini T kesitli olarak idealize edilen rayların mukavemet momentine eşitleyen "x" değerleri belirlenmiştir.

3.1.3.1 S49(49.43 kg/m) Ray Tipinin İdealize Edilmesi



Şekil 3.12 Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilmiş S49(49.43 kg/m) Ray Kesiti Ve Geometrik Karakteristikleri

$$D = 4 + \frac{(6.7/2 - 1.4/2) \times 1/3}{3.94} = 4.22 \text{ cm}$$

$$k = 1.05 + \frac{(12.5/2 - 1.4/2) \times 1/3}{3.94} = 1.52 \text{ cm}$$

$$E = 14.9 - 4.22 - 1.52 = 9.16 \text{ cm}$$

Diğer ray tipleri için aynı işlemler yapılmış ve tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Yaklaşım 3'e göre T kesitli olarak idealize edilen ray tiplerinin geometrik karakteristikleri

Ray Tipi	G kg/m	x	H cm	b cm	B cm	E cm	D cm	k cm	s cm
S49	49.05	3.81	14.8	6.7	12.5	9.03	4.23	1.54	1.4
S49(1958*)	49.43	3.94	14.9	6.7	12.5	9.16	4.22	1.52	1.4
IEV54	54.40	6.46	15.9	7.0	14.0	10.70	3.75	1.45	1.6
UIC60	60.34	5.75	17.2	7.2	15.0	11.75	3.88	1.57	1.65
S64	64.90	5.58	17.2	7.4	15.0	11.17	4.43	1.60	1.6

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 6.7 \times 4.22 + 1.4 \times 9.16 + 12.5 \times 1.52 = 60.12 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımına Göre Statik Momentinin Hesaplanması (K)

$$K = 6.7 \times 4.22 \times \left(14.9 - \frac{4.22}{2}\right) + 1.4 \times 9.16 \times \left(\frac{9.16}{2} + 1.52\right) + 12.5 \times 1.52 \times \frac{1.52}{2}$$

$$K = 454.51 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{454.51}{60.12} = 7.56 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{12.5}{2} = 6.25 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Eksen Takımına Göre Atalet Momentinin Hesaplanması (I)

$$I = \frac{6.7 \times 4.22^3}{12} + 6.7 \times 4.22 \times \left(14.9 - \frac{4.22}{2} - 7.56\right)^2 + \frac{1.4 \times 9.16^3}{12} + 1.4 \times 9.16 \times \left(\frac{9.16}{2} + 1.52 - 7.56\right)^2 + \frac{12.5 \times 1.52^3}{12} + 12.5 \times 1.52 \times \left(7.56 - \frac{1.52}{2}\right)^2$$

$$I = 1814.59 \text{ cm}^4$$

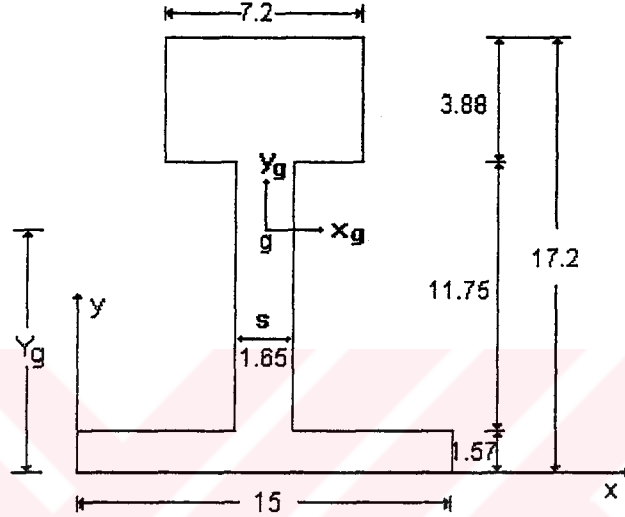
e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması(W)

$$W_1 = \frac{1814.59}{7.56} = 240 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{1814.59}{(14.9 - 7.56)} = 247.22 \text{ cm}^3$$

$$W = 240 \text{ cm}^3$$

3.1.3.2 Temsili UIC60(60.34 kg/m) Ray Tipinin Mukavemet Karakteristiklerinin Hesaplanması



Şekil 3.13 Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilmiş UIC60(60.34 kg/m) Ray Kesiti Ve Geometrik Karakteristikleri

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 7.2 \times 3.88 + 1.65 \times 11.75 + 15 \times 1.57 = 70.88 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımına Göre Statik Momentinin Hesaplanması (K)

$$K = 7.2 \times 3.88 \times \left(17.2 - \frac{3.88}{2}\right) + 1.65 \times 11.75 \times \left(\frac{11.75}{2} + 1.57\right) + 15 \times 1.57 \times \frac{1.57}{2}$$

$$K = 589.02 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{589.02}{70.88} = 8.31 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Eksen Takımına Göre Atalet Mòmentinin Hesaplanması (I)

$$I = \frac{7.2 \times 3.88^3}{12} + 7.2 \times 3.88 \times (17.2 - \frac{3.88}{2} - 8.31)^2 + \frac{1.65 \times 11.75^3}{12} + 1.65 \times 11.75 \times (\frac{11.75}{2} + 1.57 - 8.31)^2 + \frac{15 \times 1.57^3}{12} + 15 \times 1.57 \times (8.31 - \frac{1.57}{2})^2$$

$$I = 2961.02 \text{ cm}^4$$

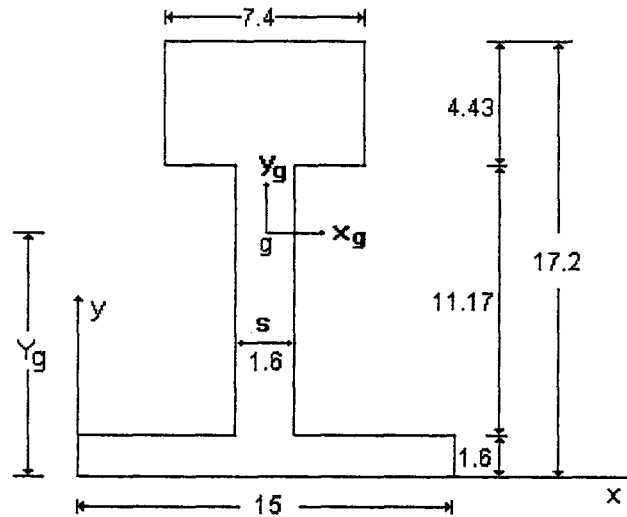
e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması(W)

$$W_1 = \frac{2961.02}{8.31} = 356.32 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{2961.02}{(17.2 - 8.31)} = 333 \text{ cm}^3$$

$$W = 333 \text{ cm}^3$$

3.1.3.3 Temsili S64 (64.9 kg/m) Ray Tipinin Mukavemet Karakteristiklerinin Hesaplanması



Şekil 3.14 Yaklaşım 3'e Göre İdealize Edilmiş S64(64.9 kg/m) Ray Kesiti

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 7.4 \times 4.43 + 1.6 \times 11.17 + 15 \times 1.60 = 74.66 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımına Göre Statik Momentinin Hesaplanması

$$K = 7.4 \times 4.43 \times (17.2 - \frac{4.43}{2}) + 1.6 \times 11.17 \times (\frac{11.17}{2} + 1.60) + 15 \times 1.60 \times \frac{1.60}{2}$$

$$K = 639.09 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{639.09}{74.66} = 8.56 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet momentinin Hesaplanması

$$I = \frac{7.4 \times 4.43^3}{12} + 7.4 \times 4.43 \times (17.2 - \frac{4.43}{2} - 8.56)^2 + \frac{1.6 \times 11.17^3}{12} + 1.6 \times 11.17 \times (\frac{11.17}{2} + 1.60 - 8.56)^2 + \frac{15 \times 1.60^3}{12} + 15 \times 1.60 \times (8.56 - \frac{1.60}{2})^2$$

$$I = 3076.94 \text{ cm}^4$$

e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_1 = \frac{3076.94}{8.56} = 359.46 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = \frac{3076.94}{(17.2 - 8.56)} = 356 \text{ cm}^3$$

$$W = 356 \text{ cm}^3$$

Çalışılan diğer ray tipleri için aynı işlemler yapılmış ve sonuçta Tablo 3.5'te görüldüğü gibi Standart rayları temsil eden idealize kesitlerin geometrik ve mukavemet karakteristikleri oluşturulmuştur.

Tablo 3.5 Standart Rayları Temsil Eden Kesitlerin Geometrik Ve Mukavemet Karakteristikleri

Ray Tipi	G kg/m	x	b cm	B cm	Yg cm	E cm	D cm	k cm	s cm	F cm ²	I cm ⁴	W cm ³
S49	49.05	3.81	6.7	12.5	7.49	9.03	4.23	1.54	1.4	60.19	1790.51	239
S49(1958 ⁺)	49.43	3.94	6.7	12.5	7.56	9.16	4.22	1.52	1.4	60.12	1814.59	240
IEV54	54.40	6.46	7.0	14.0	7.84	10.70	3.75	1.45	1.6	63.67	2247.75	279
UIC60	60.34	5.75	7.2	15.0	8.31	11.75	3.88	1.57	1.65	70.88	2961.02	333
S64	64.90	5.58	7.4	15.0	8.56	11.17	4.43	1.60	1.6	74.66	3076.94	356

Standart raylar ile onları temsil eden kesitlerin mukavemet karakteristikleri ayrıca Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Standart Raylar İle Temsili Ray Kesitlerin Mukavemet Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

Ray Tipi	Standart Ray Karakteristikleri		İdealize Ray Karakteristikleri	
	I (cm ⁴)	W (cm ³)	I (cm ⁴)	W (cm ³)
S49(1958 ⁺)	1819.00	240.00	1814.59	240.00
S49	1797.00	239.00	1790.51	239.00
IEV 54	2346.00	279.00	2247.75	279.00
UIC 60	3055.00	333.00	2961.02	333.00
S64 ⁺	3252.00	356.00	3076.94	356.00

3.1.3.4 Yaklaşım 3'ün Değerlendirilmesi:

Standart rayları idealize etmemizdeki amaç; imal ve haddeden geçme tekniklerinin bazı kurallara bağlı ve bunun sonucunda ray profillerinin karışık geometrik yapıda olmaları dolayısıyla, üzerinde kolayca çalışabilmemize imkan verecek temsili ray kesitleri oluşturmaktır. İlk iki yaklaşımın beklenenlere cevap verememesi üçüncü bir yaklaşımı kaçınılmaz kılmıştır.

Üçüncü yaklaşımda bazı kabuller yapılarak, ulaşılması gereken $W_{\text{IDEALIZE}} = W_{\text{STANDART}}$ koşuluna ulaşılmış ve böylece standart ray tipleri idealize edilmiştir. Bu tez çalışması esas amaç, olarak raylardaki aşınma

durumunu incelemek olduğundan, bundan sonraki yapılan çalışmalar yaklaşım 3'te idealize edilmiş haldeki geometrik ve mukavemet karakteristikleri kullanarak yapılmıştır.

Yaklaşım 3'e göre idealize edilen standart rayların T kesitli oldukları yapılan kabullerden bilinmektedir. Ayrıca bu yaklaşım için yapılan ve standart rayları T kesitli olarak idealize eden bilgisayar programı Ek 1'de gösterilmiştir. Bu program çalıştırılarak, $W_{IDEALIZE} = W_{STANDART}$ şartını sağlayan ve her standart ray tipini T kesitli olarak idealize eden yeni kesitlerin geometrik ve mukavemet karakteristikleri hesaplanmış ve Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Standart Rayları Temsil Eden Kesitlerin Geometrik Ve Mukavemet Karakteristikleri

Ray Tipi	G kg/m	x	b cm	B cm	Yg cm	E cm	D cm	k cm	s cm	F cm ²	I cm ⁴	W cm ³
S49	49.05	3.81	6.7	12.5	7.49	9.03	4.23	1.54	1.4	60.19	1790.51	239
S49(1958 ⁺)	49.43	3.94	6.7	12.5	7.56	9.16	4.22	1.52	1.4	60.12	1814.59	240
IEV54	54.40	6.46	7.0	14.0	7.84	10.70	3.75	1.45	1.6	63.67	2247.75	279
UIC60	60.34	5.75	7.2	15.0	8.31	11.75	3.88	1.57	1.65	70.88	2961.02	333
S64	64.90	5.58	7.4	15.0	8.56	11.17	4.43	1.60	1.6	74.66	3076.94	356

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi Üzerinde çalışma yapılan geometrik karakteristikleri birbirinden farklı ray tiplerinin yaklaşım 3' e göre idealize edilmesiyle farklı x değerlerinde ancak standart rayların mukavemet momenti değerleriyle T kesitli olarak kabul edilen temsili ray tiplerinin mukavemet momenti değerleri birbirine eşitlenebilmektedir.

Esas amaç; T kesitli olarak kabul edilip idealize edilen temsili ray kesitlerinin standart ray tiplerinin mukavemet karakteristiklerini temsil edebilmesi olduğundan buradaki x faktörünün bundan sonraki rayların aşınma analizinin incelenmesinde herhangi bir etkisi yoktur. Bundan sonraki çalışmalarda sadece yukarıdaki tabloda görülen temsili ray tiplerinin geometrik ve mukavemet karakteristikleri dikkate alınacaktır.

3.2 İdealize Edilmiş Temsili Ray Kesitlerinin Aşınma Analizi

Daha önceden de belirtildiği gibi, standart ray profillerinin geometrik yapılarının üzerlerinde kolayca çalışma yapmaya müsait olmadığından onları temsil edecek ve geometrisi bilinen kesitlerin oluşturulması gerekiyordu. Bunu gerçekleştirmek için bazı kabuller yapılarak değişik yaklaşımlar denenmiş ve nihayet yaklaşım 3'le bu sorun halledilmiştir. Raylarda aşınma iki şekilde oluşur.

1- Tekerleklerin rayların yuvarlanma yüzeyinde meydana getirdiği aşınma(ki düşey aşınma olarak adlandırılır.)

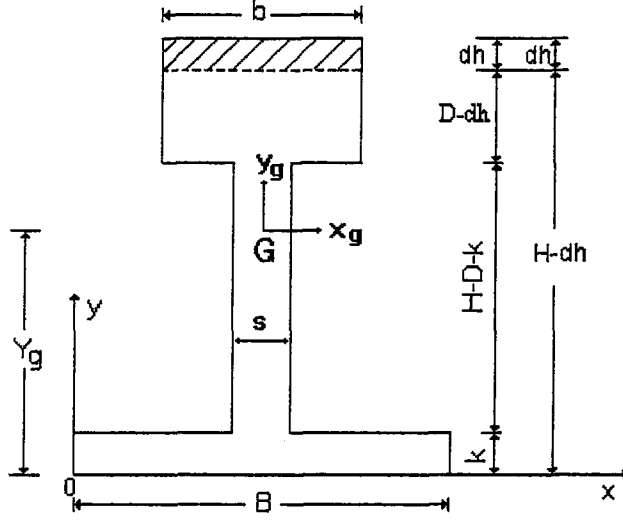
2- Budenlerin cebirelere sürtünmesiyle meydana gelen aşınma(ki yanal aşınma olarak adlandırılır.)

Pratikte aşınmadan dolayı değiştirilmesi düşünülen rayların sınır mukavemet momenti değerine kadar çalışmasında bir sakınca görülmemektedir. Ancak kurplarda yanal aşınmanın düşey aşınmaya nazaran daha fazla olduğu bir gerçektir. Rayların değiştirilme sebeplerinden biri de, yanal olarak şiddetli aşınma sonucu budenlerin cebirelere temas etmesi halidir. Bu nedenle budenlerin cebire yanağına geçecek derecede aşınmış olan rayların alinyimana alınıp aşınmış yüzleri dış tarafa gelecek şekilde; alinyimandaki yanal ve düşey aşınması az olan rayların da bunların yerine kurplara konulması düşünülebilir.

Yukarıda sözü edilen ve raylardan güvenli bir şekilde daha fazla yararlanabilmek için, rayların mukavemet momentlerinin kontrol altında tutulması gerekir. Bu yüzden rayların düşey ve yatay aşınma durumlarının incelenmesi ve yatay ve düşey aşınma miktarlarına göre rayların değişen mukavemet momenti değerlerinin hesaplanması gerekir.

3.2.1 Düşey Aşınma Analizi

Düşey aşınmayı incelemek için yaklaşım 3'te T kesitli olarak idealize edilen ve standart rayları temsil eden geometrik kesitler üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.15 Temsili Ray Kesitinin Düşey Aşınma durumu

a) Kesitin Toplam Alanının Hesaplanması

$$F = b \times (D - dh) + s \times (H - D - k) + B \times k \quad (3.31)$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımının x'e Göre Statik Momentinin Hesap Edilmesi(K)

$$K_{(\text{cm}^3)} = b \times (D - dh) \times \left(H - dh - \frac{D - dh}{2} \right) + s \times (H - D - k) \times \left(\frac{H - D - k}{2} + k \right) + B \times k \times \frac{k}{2} \quad (3.32)$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_{g(\text{cm})} = \frac{K}{F} \quad (3.33)$$

$$X_{g(\text{cm})} = \frac{B}{2} \quad (3.34)$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet momentinin Hesaplanması

$$I_{a(cm^4)} = \frac{b \times (D-dh)^3}{12} + b \times (D-dh) \times \left(H-dh - \frac{D-dh}{2} - Yg\right)^2 + \frac{s \times (H-D-k)^3}{12} + s \times (H-D-k) \times \left(\frac{H-D-k}{2} + k - Yg\right)^2 + \frac{B \times k^3}{12} + B \times k \times \left(Yg - \frac{k}{2}\right)^2 \quad (3.35)$$

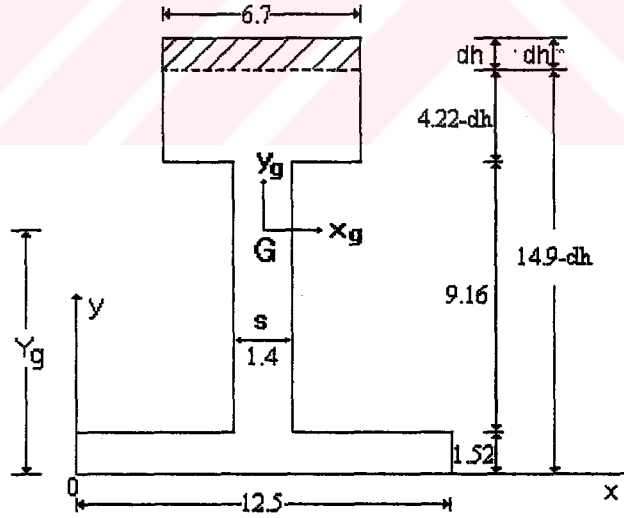
e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1(cm^3)} = \frac{I}{Yg} \quad (3.36)$$

$$W_{a2(cm^3)} = \frac{I}{(H-dh-Yg)} \quad (3.37)$$

$$W_a = (W_1, W_2)_{k\ddot{u}\check{c}\ddot{u}k} \quad (3.38)$$

3.2.1.1 İdealize Edilmiş S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesitinin Aşınma Analizi



Şekil 3.16 Düşey Aşınmaya Maruz S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesiti

A) $dh=0.5$ cm İçin Aşınma Tahkiki

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 6.7 \times (4.22 - 0.5) + 1.4 \times (14.9 - 4.22 - 1.52) + 12.5 \times 1.52 = 56.75 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımının x'e Göre Statik Momentinin Hesap Edilmesi(K)

$$K = 6.7 \times (4.22 - 0.5) \times (14.9 - 0.5 - \frac{4.22 - 0.5}{2}) + 1.4 \times 9.16 \times (\frac{9.16}{2} + 1.52) + 12.5 \times 1.52 \times \frac{1.52}{2}$$

$$K = 405.21 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{405.21}{56.75} = 7.14 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{12.5}{2} = 6.25 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet momentinin Hesaplanması

$$I_a = \frac{6.7 \times (4.22 - 0.5)^3}{12} + 6.7 \times (4.22 - 0.5) \times (14.9 - 0.5 - \frac{4.22 - 0.5}{2} - 7.14)^2 + \frac{1.4 \times 9.16^3}{12} + 1.4 \times 9.16 \times (\frac{9.16}{2} + 1.52 - 7.14)^2 + \frac{12.5 \times 1.52^3}{12} + 12.5 \times 1.52 \times (7.14 - \frac{1.52}{2})^2$$

$$I_a = 1636.11 \text{ cm}^4$$

e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1} = \frac{1636.11}{7.14} = 229.13 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{1636.11}{(14.9 - 0.5 - 7.14)} = 225.38 \text{ cm}^3$$

$$W_a = 229.13 \text{ cm}^3$$

B) dh=1 cm İçin Aşınma Tahkiki

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 6.7 \times (4.22 - 1) + 1.4 \times (14.9 - 4.22 - 1.52) + 12.5 \times 1.52 = 53.40 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımına Göre Statik Momentinin Hesap Edilmesi(K)

A) dh=1.5 cm İçin Aşınma Tahkiki

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 7.2 \times (3.88 - 1.5) + 1.65 \times (17.2 - 3.88 - 1.57) + 15 \times 1.57 = 60.07 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımına Göre Statik Momentinin Hesap Edilmesi(K)

$$K = 7.2 \times (3.88 - 1.5) \times (17.2 - 1.5 - \frac{3.88 - 1.5}{2}) + 1.65 \times 11.75 \times (\frac{11.75}{2} + 1.57) + 15 \times 1.57 \times \frac{1.57}{2}$$

$$K = 411.48 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{411.48}{60.07} = 6.85 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet momentinin Hesaplanması

$$I_a = \frac{7.2 \times (3.88 - 1.5)^3}{12} + 7.2 \times (3.88 - 1.5) \times (17.2 - 1.5 - \frac{3.88 - 1.5}{2} - 6.85)^2 + \frac{1.65 \times 11.75^3}{12} + 1.65 \times 11.75 \times (\frac{11.75}{2} + 1.57 - 6.85)^2 + \frac{15 \times 1.57^3}{12} + 15 \times 1.57 \times (6.85 - \frac{1.57}{2})^2$$

$$I_a = 2114.58 \text{ cm}^4$$

e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1} = \frac{2114.58}{6.85} = 308.72 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{2114.58}{(17.2 - 1.5 - 6.85)} = 238.92 \text{ cm}^3$$

$$W_a = 238.92 \text{ cm}^3$$

B) dh=2 cm İçin Aşınma Tahkiki

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = 7.2 \times (3.88 - 2) + 1.65 \times (17.2 - 3.88 - 1.57) + 15 \times 1.57 = 56.47 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin Seçilen x-y Eksen Takımının x'e Göre Statik Momentinin Hesap Edilmesi(K)

$$K = 7.2 \times (3.88 - 2) \times (17.2 - 2 - \frac{3.88 - 2}{2}) + 1.65 \times 11.75 \times (\frac{11.75}{2} + 1.57) + 15 \times 1.57 \times \frac{1.57}{2}$$

$$K = 355.76 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{355.76}{56.47} = 6.30 \text{ cm}$$

$$X_g = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$$

d) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet momentinin Hesaplanması

$$I_a = \frac{7.2 \times (3.88 - 2)^3}{12} + 7.2 \times (3.88 - 2) \times (17.2 - 2 - \frac{3.88 - 2}{2} - 6.30)^2 + \frac{1.65 \times 11.75^3}{12} +$$

$$1.65 \times 11.75 \times (\frac{11.75}{2} + 1.57 - 6.30)^2 + \frac{15 \times 1.57^3}{12} + 15 \times 1.57 \times (6.30 - \frac{1.57}{2})^2$$

$$I_a = 1831.24 \text{ cm}^4$$

e) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1} = \frac{1831.24}{6.30} = 290.62 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{1831.24}{(17.2 - 2 - 6.30)} = 205.78 \text{ cm}^3$$

$$W_a = 205.78 \text{ cm}^3$$

Yukarıda S49(49.43 kg/m) ve UIC60(60.34 kg/m) temsili ray tipleri için yapılan işlemler, ray tiplerini temsil eden diğer kesitler için (3.31), (3.32), (3.33), (3.34), (3.35), (3.36), (3.37), (3.38) nolu formüller kullanılarak değişik düşey aşınma miktarlarına göre uygulanmış ve tablo 3.7'de gösterildiği gibi rayların düşey aşınmadan dolayı değişen mukavemet momenti değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.7 Temsili Ray Kesitlerinin Düşey Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen Mukavemet Momenti Değerleri

Düşey Aşınmış Temsili Ray Kesitlerinin W_a Değerleri					
dh (mm)	S49 (49.05 kg/m)	S49 (49.43 kg/m)	IEV54 (54.4 kg/m)	UIC60 (60.34 kg/m)	S64 (64.9 kg/m)
2	236.42	238.53	268.42	320.96	344.34
4	227.74	229.78	257.76	308.70	332.56
6	218.97	220.94	246.97	296.32	320.67
8	210.10	212.00	236.05	283.81	308.64
10	201.13	202.96	225.00	271.16	296.49
12	192.04	193.80	213.81	258.37	284.21
14	182.85	184.52	202.49	245.44	271.79
16	173.54	175.13	191.03	232.37	259.23
18	164.10	165.61	179.42	219.15	246.52
20	154.54	155.96	167.67	205.78	233.66

3.2.1.3 Temsili Ray Kesitlerinin Aşınmadan Dolayı Değişen Mukavemet Momenti Değerlerinin Schramm'ın Aşınma Formülüyle Karşılaştırılması

Aşınan rayların değişen mukavemet momenti değerlerinin belirlenmesiyle ilgili olarak Gerhard Schramm 'ın düşey aşınma miktarına göre mukavemet momentindeki değişimi veren formül;

$$W_a = W \frac{dh}{30} \times (G + 0.53 \times (H - dh)) \quad (3.39)$$

olarak bilinmektedir. Burada W_a ; cm^3 olarak aşınmadan sonraki rayın mukavemet momenti değerini, W ; cm^3 olarak standart rayın mukavemet momenti değerini, H ; mm olarak ray yüksekliğini, G ; kg/m olarak rayın birim uzunluk ağırlığını ve dh ise mm olarak düşey aşınma miktarını göstermektedir.

Yukarıda verilen shramm'ın aşınma formülü, çalışma yapılan standart ray tiplerinin değişik düşey aşınma miktarlarına göre uygulanmış ve daha sonra idealize edilen temsili ray kesitlerinin düşey aşınma miktarlarına göre bulunan aşınmış ray mukavemet momenti değerleriyle karşılaştırılmış ve tablo 3.8'de gösterilmiştir.

A) S49(49.43 kg/m) Ray Tipi İçin Shramm'a Göre Aşınma Tahkiki

a) dh=10 mm İçin Aşınma Tahkiki

$$W_a = 240 - \frac{10}{30} \times (49.43 + 0.53 \times (149 - 10)) = 198.97 \text{ cm}^3$$

b) dh=20 mm İçin Aşınma Tahkiki

$$W_a = 240 - \frac{20}{30} \times (49.43 + 0.53 \times (149 - 20)) = 161.47 \text{ cm}^3$$

B) S64(64.9 kg/m) Ray Tipi İçin Shramm'a Göre Aşınma Tahkiki

a) dh=10 mm İçin Aşınma Tahkiki

$$W_a = 356 - \frac{10}{30} \times (64.9 + 0.53 \times (172 - 10)) = 305.75 \text{ cm}^3$$

b) dh=20 mm İçin Aşınma Tahkiki

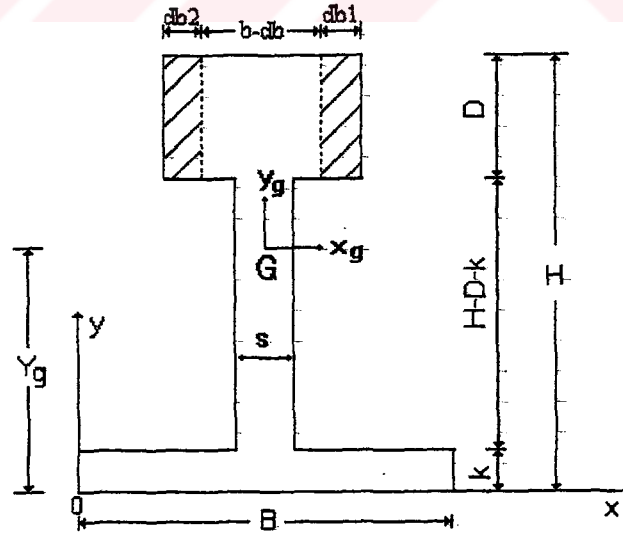
$$W_a = 356 - \frac{20}{30} \times (64.9 + 0.53 \times (172 - 20)) = 259.03 \text{ cm}^3$$

Diğer ray tipleri için de yukarıdaki yapılan işlemler değişik düşey aşınma miktarlarına göre yapılmış ve sonuçlar tablo 3.8 'de temsili ray kesitleri için hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.8 Temsili Ray Kesitlerinin Düşey Aşınmadan Dolayı Değişen Mukavemet Momenti Değerlerinin Shramm'ın Aşınma Formülüyle Karşılaştırılması

	S49 (49.05 kg/m)		S49 (49.43 kg/m)		IEV54 (54.4 kg/m)		UIC60 (60.34 kg/m)		S64 (64.9 kg/m)	
dh (mm)	W_a (temsili)	W_a schramm	W_a (temsili)	W_a schramm	W_a (temsili)	W_a schramm	W_a (temsili)	W_a schramm	W_a (temsili)	W_a schramm
0	239.00	239.00	240.00	240.00	279.00	279.00	333.00	333.00	356.00	356.00
2	236.42	230.57	238.53	231.51	268.42	269.83	320.96	322.97	344.34	345.67
4	227.74	222.28	229.78	223.16	257.76	260.79	308.70	313.08	332.56	335.47
6	218.97	214.14	220.94	214.96	246.97	251.90	296.32	303.34	320.67	325.42
8	210.10	206.13	212.00	206.89	236.05	243.15	283.81	293.73	308.64	315.51
10	201.13	198.27	202.96	198.97	225.00	234.54	271.16	284.27	296.49	305.75
12	192.04	190.55	193.80	191.18	213.81	226.08	258.37	274.94	284.21	296.12
14	182.85	182.97	184.52	183.54	202.49	217.75	245.44	265.76	271.79	286.63
16	173.54	175.53	175.13	176.04	191.03	209.57	232.37	256.72	259.23	277.29
18	164.10	168.23	165.61	168.68	179.42	201.52	219.15	247.82	246.52	268.09
20	154.54	161.07	155.96	161.47	167.67	193.62	205.78	239.07	233.66	259.03

3.2.2 Yanal Aşınma Analizi



Şekil 3.18 Temsili Ray Kesitinin Yanal Aşınma Durumu

Şekil 3.18'de görüldüğü gibi her iki taraftan da temsili ray kesitlerinin yanal aşınma durumu göz önüne alınmıştır. Pratikte özellikle kurba kesimlerdeki raylar şiddetli yanal aşınma durumuyla karşı karşıyadır. Raylardan daha ekonomik bir şekilde istifade edebilmek için, bazen kurbalardaki raylar ters çevrilip alinyiman kısımlarında kullanılmaktadır.

Ayrıca, hesaplarda kullanılan yanal aşınma miktarı; eğer ray profilinin her iki tarafında da aşınma varsa, her iki taraftaki aşınma miktarlarının toplamıdır. Bir başka deyişle hesaplarda alınacak aşınma miktarı;

$$db=db1+db2$$

şeklindedir. Burada db1 rayın iç tarafındaki aşınma miktarını ve db2 ise rayların ters çevrilip kullanılması durumunda meydana gelecek aşınma miktarını göstermektedir. Eğer sadece iç tarafta aşınma varsa, bu durumda aşınma miktarı olarak sadece; $db=db1$ alınmaktadır.

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = (b - db) \times D + s \times (H - D - k) + B \times k \quad (3.40)$$

b) Kesitin x Eksenine Göre Statik Momentinin Hesaplanması(Kx)

$$K_{x(cm^3)} = (b - db) \times D \times (H - \frac{D}{2}) + s \times (H - D - k) \times (\frac{H - D - k}{2} + k) + B \times k \times \frac{k}{2} \quad (3.41)$$

c) Kesitin Düşey Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini(Yg)

$$Y_{g(cm)} = \frac{K_x}{F} \quad (3.42)$$

d) Kesitin y Eksenine Göre Statik Momentinin Hesaplanması(Ky)

$$K_{y(cm^3)} = (b - db) \times D \times (\frac{B}{2} - \frac{db}{2}) + s \times (H - D - k) \times \frac{B}{2} + B \times k \times \frac{B}{2} \quad (3.43)$$

e) Kesitin Yatay Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini(Xg)

A) db=0.5 cm İçin Yanal Aşınma Tahkiki

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = (6.7 - 0.5) \times 4.22 + 1.4 \times (14.9 - 4.22 - 1.52) + 12.5 \times 1.52 = 55.88 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin x Eksenine Göre Statik Momentinin Hesaplanması(Kx)

$$K_x = (6.7 - 0.5) \times 4.22 \times (14.9 - \frac{4.22}{2}) + 1.4 \times 9.16 \times (\frac{9.16}{2} + 1.52) + 12.5 \times 1.52 \times \frac{1.52}{2}$$

$$K_x = 400.10 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Düşey Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini(Yg)

$$Y_g = \frac{400.10}{55.88} = 7.16 \text{ cm}$$

d) Kesitin y Eksenine Göre Statik Momentinin Hesaplanması(Ky)

$$K_y = (6.7 - 0.5) \times 4.22 \times (\frac{12.5}{2} - \frac{0.5}{2}) + 1.4 \times 9.16 \times \frac{12.5}{2} + 12.5 \times 1.52 \times \frac{12.5}{2}$$

$$K_y = 336.96 \text{ cm}^3$$

e) Kesitin Yatay Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini(Xg)

$$X_g = \frac{336.96}{55.88} = 6.03 \text{ cm}$$

f) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması(Ia)

$$I_a = \frac{(6.7 - 0.5) \times 4.22^3}{12} + (6.7 - 0.5) \times 4.22 \times (14.9 - \frac{4.22}{2} - 7.16)^2 + \frac{1.4 \times 9.16^3}{12} + 1.4 \times 9.16 \times (\frac{9.16}{2} + 1.52 - 7.16)^2 + \frac{12.5 \times 1.52^3}{12} + 12.5 \times 1.52 \times (7.16 - \frac{1.52}{2})^2$$

$$I_a = 1684.11 \text{ cm}^4$$

g) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması(Wa)

$$W_{a1} = \frac{1684.11}{7.16} = 235.08 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{1684.11}{(14.9 - 7.16)} = 217.70 \text{ cm}^3$$

$$W_a = 217.70 \text{ cm}^3$$

f) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması(I_a)

$$I_a = \frac{(7.4 - 0.5) \times 4.43^3}{12} + (7.4 - 0.5) \times 4.43 \times (17.2 - \frac{4.43}{2} - 8.36)^2 + \frac{1.6 \times 11.17^3}{12} + 1.6 \times 11.17 \times (\frac{11.17}{2} + 1.60 - 8.36)^2 + \frac{15 \times 1.60^3}{12} + 15 \times 1.60 \times (8.36 - \frac{1.60}{2})^2$$

$$I_a = 2978.90 \text{ cm}^4$$

g) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması(W_a)

$$W_{a1} = \frac{2978.90}{8.36} = 356.29 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{2978.90}{(17.2 - 8.36)} = 337.01 \text{ cm}^3$$

$$W_a = 337.01 \text{ cm}^3$$

Yukarıda S49(49.43 kg/m) ve S64(64.9 kg/m) temsili ray tipleri için yapılan işlemler, ray tiplerini temsil eden diğer kesitler için (3.39), (3.40), (3.41), (3.42), (3.43), (3.44), (3.45), (3.46), (3.47) nolu formüller kullanılarak değişik yanal aşınma miktarlarına göre uygulanmış ve tablo 3.9'de gösterildiği gibi rayların yanal aşınmadan dolayı değişen mukavemet momenti değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.9 Temsili Ray Kesitlerinin Yanal Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Değişen Mukavemet Momenti Değerleri

db (mm)	Yanal Aşınmış Temsili Ray Kesitlerinin W_a Değerleri				
	S49 (49.05 kg/m)	S49 (49.43 kg/m)	IEV54 (54.4 kg/m)	UIC60 (60.34 kg/m)	S64 (64.9 kg/m)
2	238.51	239.14	272.77	325.90	348.44
4	233.44	235.52	266.53	318.68	340.83
6	227.59	229.63	260.26	311.42	333.18
8	221.69	223.69	253.96	304.13	325.44
10	215.75	217.70	247.63	296.81	317.75
12	209.77	211.67	241.26	289.46	309.97
14	203.74	205.60	234.87	282.07	302.14
16	197.67	199.48	228.43	274.65	294.27
18	191.55	193.31	221.97	267.19	286.36
20	185.38	187.10	215.47	259.71	278.40

3.2.3 Yatay Ve Düşey Aşınmanın Birlikte Bulunması Durumunda Aşınma Analizi

c) Kesitin y Eksenine Göre Statik Momentinin Hesaplanması

$$K_y = (b - db) \times (D - dh) \times \left(\frac{B}{2} - \frac{k}{2}\right) + s \times (H - D - k) \times \frac{B}{2} + B \times k \times \frac{B}{2} \quad (3.51)$$

d) Kesitin Düşey Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_{g(cm)} = \frac{K_x}{F} \quad (3.52)$$

e) Kesitin Yatay Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$X_{g(cm)} = \frac{K_y}{F} \quad (3.53)$$

f) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I_{a(cm^4)} = \frac{(b - db) \times (D - dh)^3}{12} + (b - db) \times (D - dh) \times \left(H - \frac{D - dh}{2} - Yg\right)^2 + \frac{s \times (H - D - k)^3}{12} + s \times (H - D - k) \times \left(\frac{H - D - k}{2} + k - Yg\right)^2 + \frac{B \times k^3}{12} + B \times k \times \left(Yg - \frac{k}{2}\right)^2 \quad (3.54)$$

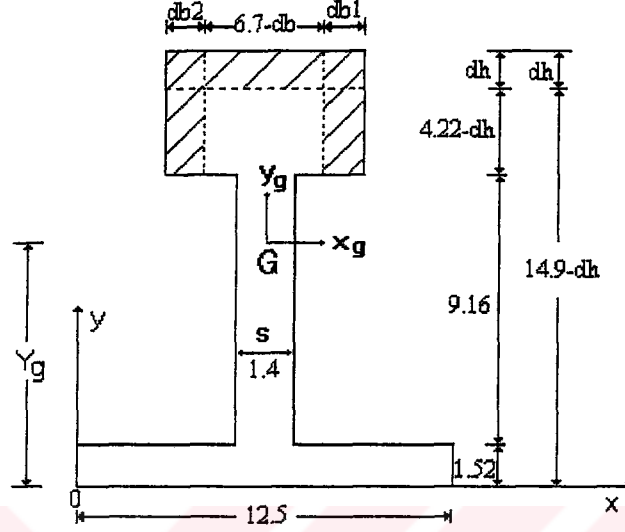
g) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1(cm^3)} = \frac{I_a}{Yg} \quad (3.55)$$

$$W_{a2(cm^3)} = \frac{I_a}{(H - dh - Yg)} \quad (3.56)$$

$$W = (W_{a1}, W_{a2})_{\text{küçük}} \quad (3.57)$$

3.2.3.1 İdealize Edilmiş S49(49.43 kg/m) Temsili Ray Kesitinin Yatay + Düşey Aşınma Analizi



Şekil 3.22 Temsili S49(49.43 kg/m) Ray Kesitinin Yanal Ve Düşey Aşınma Durumunun Birlikte Bulunması Hali

A) $dh=0.6$ cm Ve $db=0.6$ cm İçin Aşınma Analizi

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = (6.7 - 0.6) \times (4.22 - 0.6) + 1.4 \times (14.9 - 4.22 - 1.52) + 12.5 \times 1.52 = 53.91 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin x eksenine Göre Statik Momentinin Hesaplanması

$$K_x = (6.7 - 0.6) \times (4.22 - 0.6) \times \left(14.9 - \frac{4.22 - 0.6}{2}\right) + 1.4 \times 9.16 \times \left(\frac{9.16}{2} + 1.52\right) + 12.5 \times 1.52 \times \frac{1.52}{2}$$

$$K_x = 368.74 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Düşey Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$Y_g = \frac{368.74}{53.91} = 6.84 \text{ cm}$$

d) Kesitin y Eksenine Göre Statik Momentinin Hesaplanması

$$K_y = (6.7 - 0.5) \times (4.22 - 0.6) \times \left(\frac{12.5}{2} - \frac{0.6}{2}\right) + 1.4 \times 9.16 \times \frac{12.5}{2} + 12.5 \times 1.52 \times \frac{12.5}{2}$$

$$K_y = 330.47 \text{ cm}^3$$

e) Kesitin Yatay Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayin Edilmesi

$$X_g = \frac{330.47}{53.91} = 6.13 \text{ cm}$$

f) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I_a = \frac{(6.7 - 0.6) \times (4.22 - 0.6)^3}{12} + (6.7 - 0.5) \times (4.22 - 0.6) \times (14.9 - \frac{4.22 - 0.6}{2} - 6.84)^2 + \frac{1.4 \times 9.16^3}{12} + 1.4 \times 9.16 \times (\frac{9.16}{2} + 1.52 - 6.84)^2 + \frac{12.5 \times 1.52^3}{12} + 12.5 \times 1.52 \times (6.84 - \frac{1.52}{2})^2$$

$$I_a = 1531.74 \text{ cm}^4$$

g) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1} = \frac{1531.74}{6.84} = 224.09 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{1684.11}{(14.9 - 0.6 - 6.84)} = 205.20 \text{ cm}^3$$

$$W_a = 205.20 \text{ cm}^3$$

B) dh=1 cm Ve db=1.5 cm İçin Aşınma Analizi

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = (6.7 - 1.5) \times (4.22 - 1) + 1.4 \times (14.9 - 4.22 - 1.52) + 12.5 \times 1.52 = 48.57 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin x Eksenine Göre Statik Momentinin Hesabı(Kx)

$$K_x = (6.7 - 1.5) \times (4.22 - 1) \times (14.9 - \frac{4.22 - 1}{2}) + 1.4 \times 9.16 \times (\frac{9.16}{2} + 1.52) + 12.5 \times 1.52 \times \frac{1.52}{2}$$

$$K_x = 298.22 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Düşey Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$Y_g = \frac{298.22}{48.57} = 6.14 \text{ cm}$$

d) Kesitin y Eksenine Göre Statik Momentinin Hesabı(Ky)

$$K_y = (6.7 - 1.5) \times (4.22 - 1) \times (\frac{12.5}{2} - \frac{1.5}{2}) + 1.4 \times 9.16 \times \frac{12.5}{2} + 12.5 \times 1.52 \times \frac{12.5}{2}$$

$$K_y = 290.93 \text{ cm}$$

e) Kesitin Yatay Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$X_g = \frac{290.93}{48.57} = 5.99 \text{ cm}$$

f) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I_a = \frac{(6.7 - 1.5) \times (4.22 - 1)^3}{12} + (6.7 - 1.5) \times (4.22 - 1) \times (14.9 - \frac{4.22 - 1}{2} - 6.14)^2 + \frac{1.4 \times 9.16^3}{12} + 1.4 \times 9.16 \times (\frac{9.16}{2} + 1.52 - 6.14)^2 + \frac{12.5 \times 1.52^3}{12} + 12.5 \times 1.52 \times (6.14 - \frac{1.52}{2})^2$$

$$I_a = 1291.06 \text{ cm}^4$$

g) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1} = \frac{1291.06}{6.14} = 210.10 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{1291.06}{(14.9 - 1 - 6.14)} = 166.48 \text{ cm}^3$$

$$W_a = 166.48 \text{ cm}^3$$

C) dh=1 cm Ve db=1 cm İçin Aşınma Analizi

a) Kesitin Toplam Alanının Hesabı

$$F = (7.2 - 1) \times (3.88 - 1) + 1.65 \times (17.2 - 3.88 - 1.57) + 15 \times 1.57 = 50.18 \text{ cm}^2$$

b) Kesitin x Eksenine Göre Statik Momentinin Hesabı(Kx)

$$K_x = (7.2 - 1) \times (3.88 - 1) \times (17.2 - \frac{3.88 - 1}{2}) + 1.65 \times 11.75 \times (\frac{11.75}{2} + 1.57) + 15 \times 1.57 \times \frac{1.57}{2}$$

$$K_x = 318.14 \text{ cm}^3$$

c) Kesitin Düşey Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$Y_g = \frac{318.14}{50.18} = 6.34 \text{ cm}$$

d) Kesitin y Eksenine Göre Statik Momentinin Hesabı(Ky)

$$K_y = (7.2 - 1) \times (3.88 - 1) \times (\frac{15}{2} - \frac{1}{2}) + 1.65 \times 11.75 \times \frac{15}{2} + 15 \times 1.57 \times \frac{15}{2}$$

$$K_y = 304.60 \text{ cm}^3$$

e) Kesitin Yatay Ağırlık Merkezinin Yerinin Tayini

$$X_g = \frac{304.60}{50.18} = 6.07 \text{ cm}$$

f) Kesitin Ağırlık Merkezinden Geçen Yatay Eksene Göre Atalet Momentinin Hesaplanması

$$I_a = \frac{(7.2-1) \times (3.88-1)^3}{12} + (7.2-1) \times (3.88-1) \times \left(17.2 - \frac{3.88-1}{2} - 6.34\right)^2 + \frac{1.65 \times 11.75^3}{12} + 1.65 \times 11.75 \times \left(\frac{11.75}{2} + 1.57 - 6.34\right)^2 + \frac{15 \times 1.57^3}{12} + 15 \times 1.57 \times \left(6.34 - \frac{1.57}{2}\right)^2$$

$$I_a = 1351.29 \text{ cm}^4$$

g) Kesitin Mukavemet Momentinin Hesaplanması

$$W_{a1} = \frac{1351.29}{6.34} = 213.06 \text{ cm}^3$$

$$W_{a2} = \frac{1351.29}{(17.2-1-6.34)} = 178.79 \text{ cm}^3$$

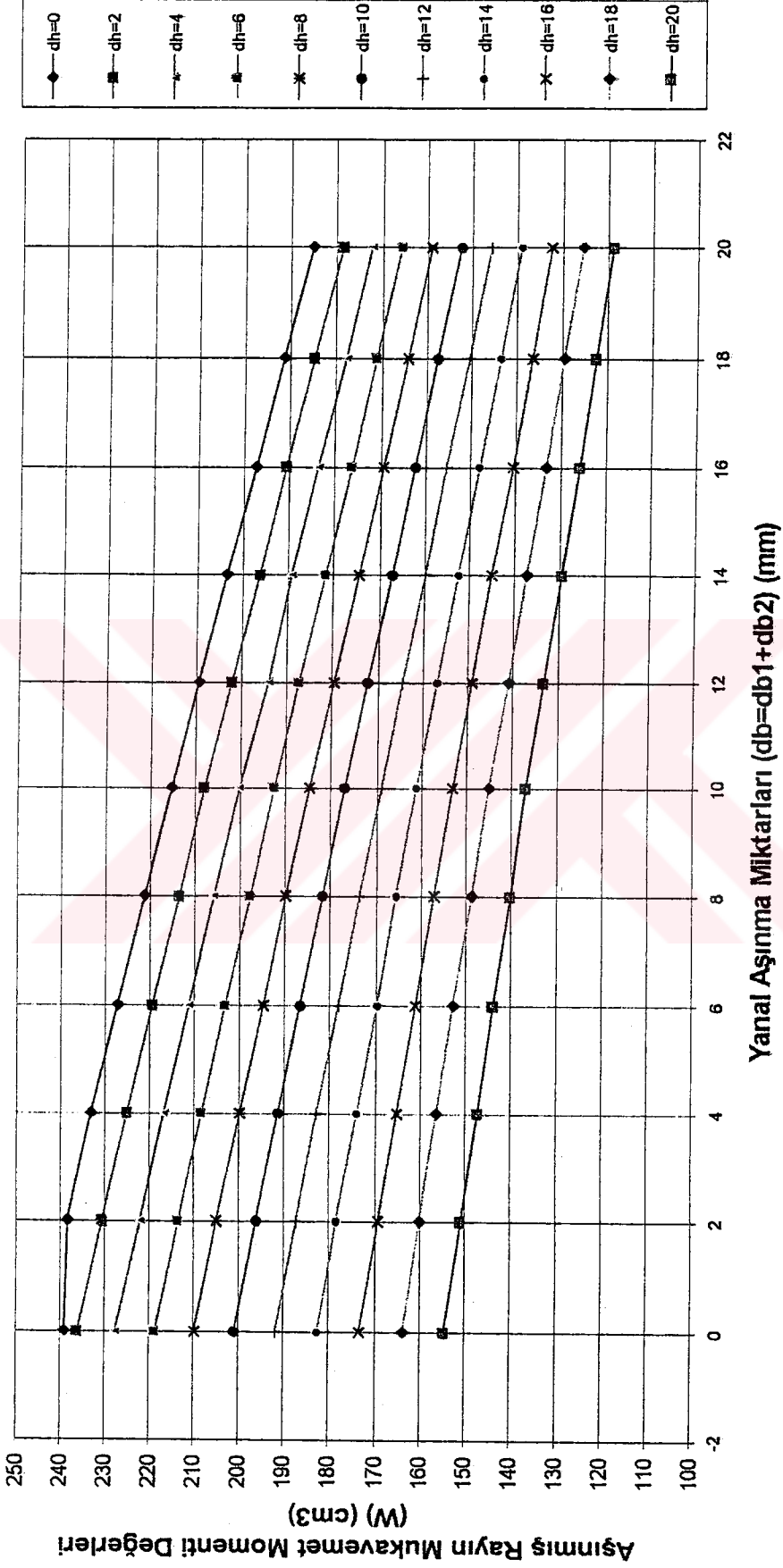
$$W_a = 178.79 \text{ cm}^3$$

Yukarıda S49(49.43 kg/m) temsili ray kesiti için (3.48), (3.49), (3.50), (3.51), (3.52), (3.53) ve (3.54) no'lu formüller kullanılarak yapılmış olan yatay ve düşey aşınma analizi, üzerinde çalışma yapılan diğer temsili ray kesitleri için uygulanmış ve her bir ray tipi için yanıl ve düşey aşınma miktarlarına göre, aşınmış rayların mukavemet momenti değeri tablo olarak verilmiştir. Ayrıca her bir ray tipi için, tablolarda gösterilen veriler dikkate alınarak grafikler çizilmiştir.

Tablo 3.10 S49 (49.05kg/m) Ray tipi için aşınma miktarlarına bağlı olarak değişen mukavemet momenti değerleri
(Wa) (cm³)

dh(mm)	db=db1+db2 Aşınma Miktarları(mm)															
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20					
0	239,00	238,51	233,44	227,59	221,69	215,75	209,77	203,74	197,67	191,55	185,38					
2	236,42	230,85	225,23	219,58	213,88	208,15	202,38	196,56	190,71	184,81	178,87					
4	227,74	222,36	216,95	211,50	206,01	200,49	194,30	189,34	183,70	178,04	172,33					
6	218,97	213,79	208,58	203,34	198,07	192,77	187,43	182,06	176,66	171,23	165,76					
8	210,10	205,13	200,14	195,11	190,06	184,99	179,88	174,74	169,58	164,38	159,16					
10	201,13	196,38	191,60	186,81	181,98	177,14	172,27	167,37	162,45	157,50	152,53					
12	192,04	187,52	182,98	178,41	173,83	169,22	164,59	159,94	155,27	150,57	145,86					
14	182,85	178,56	174,25	169,93	165,59	161,23	156,85	152,45	148,04	143,60	139,15					
16	173,54	169,49	165,43	161,36	157,27	153,16	149,04	144,90	140,75	136,58	132,40					
18	164,10	160,31	156,50	152,69	148,86	145,01	141,16	137,29	133,41	129,51	125,60					
20	154,54	151,01	147,47	143,92	140,36	136,78	133,20	129,61	126,01	122,39	118,77					

S 49 (49,050 kg/m) Ray Tipi

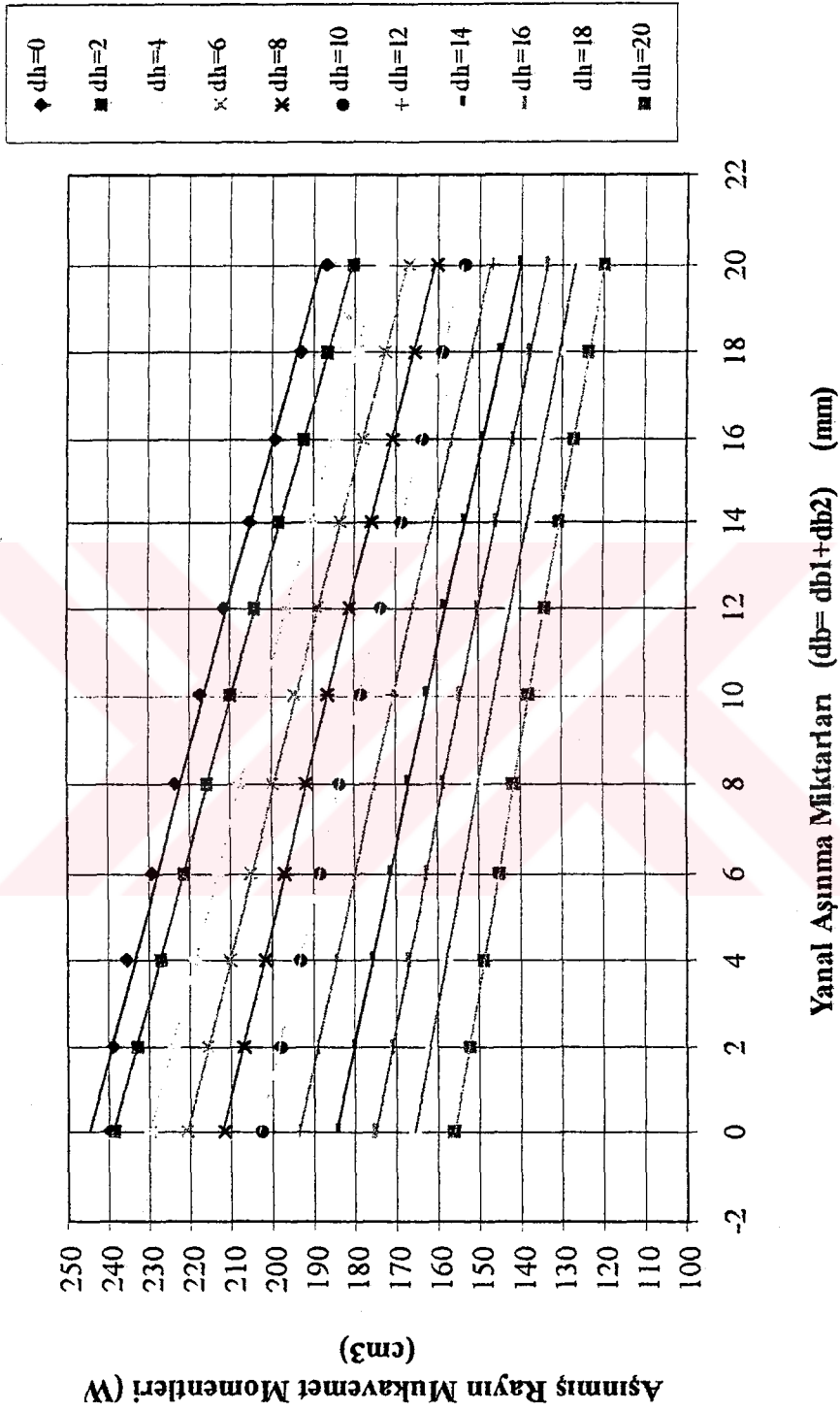


Şekil 3.23 S49(49.05 kg/m) ray tipinin aşınma miktarlarına bağlı olarak değişen (W_a) değerlerinin gösterilmesi

Tablo 3.11 S49 (49.430 kg/m) Ray Tipi İçin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Mukavemet Momenti Değerleri (W_a) (cm^3)

dh (mm)	db= db1+db2 Aşınma Miktarları (mm)										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	240,00	239,14	235,52	229,63	223,69	217,7	211,67	205,6	199,48	193,31	187,1
2	238,53	232,91	227,25	221,55	215,82	210,04	204,22	198,37	192,47	186,53	180,54
4	229,78	224,36	218,91	213,41	207,89	202,32	196,73	191,09	185,42	179,71	173,96
6	220,94	215,73	210,48	205,2	199,89	194,55	189,17	183,76	178,32	172,85	167,34
8	212	207	201,97	196,91	191,82	186,7	181,56	176,39	171,19	165,95	160,69
10	202,96	198,17	193,36	188,53	183,67	178,79	173,89	168,96	164	159,02	154,01
12	193,8	189,27	184,67	180,07	175,45	170,81	166,15	161,47	156,76	152,03	147,29
14	184,52	180,21	175,87	171,51	167,14	162,75	158,34	153,92	149,47	145,01	140,52
16	175,13	171,06	166,97	162,87	158,75	154,61	150,47	146,3	142,12	137,93	133,72
18	165,61	161,79	157,96	154,12	150,26	146,4	142,52	138,62	134,72	130,8	126,87
20	155,96	152,41	148,84	145,27	141,69	138,09	134,49	130,87	127,25	123,62	119,97

S49 (49.430 kg/m) Ray Tipi

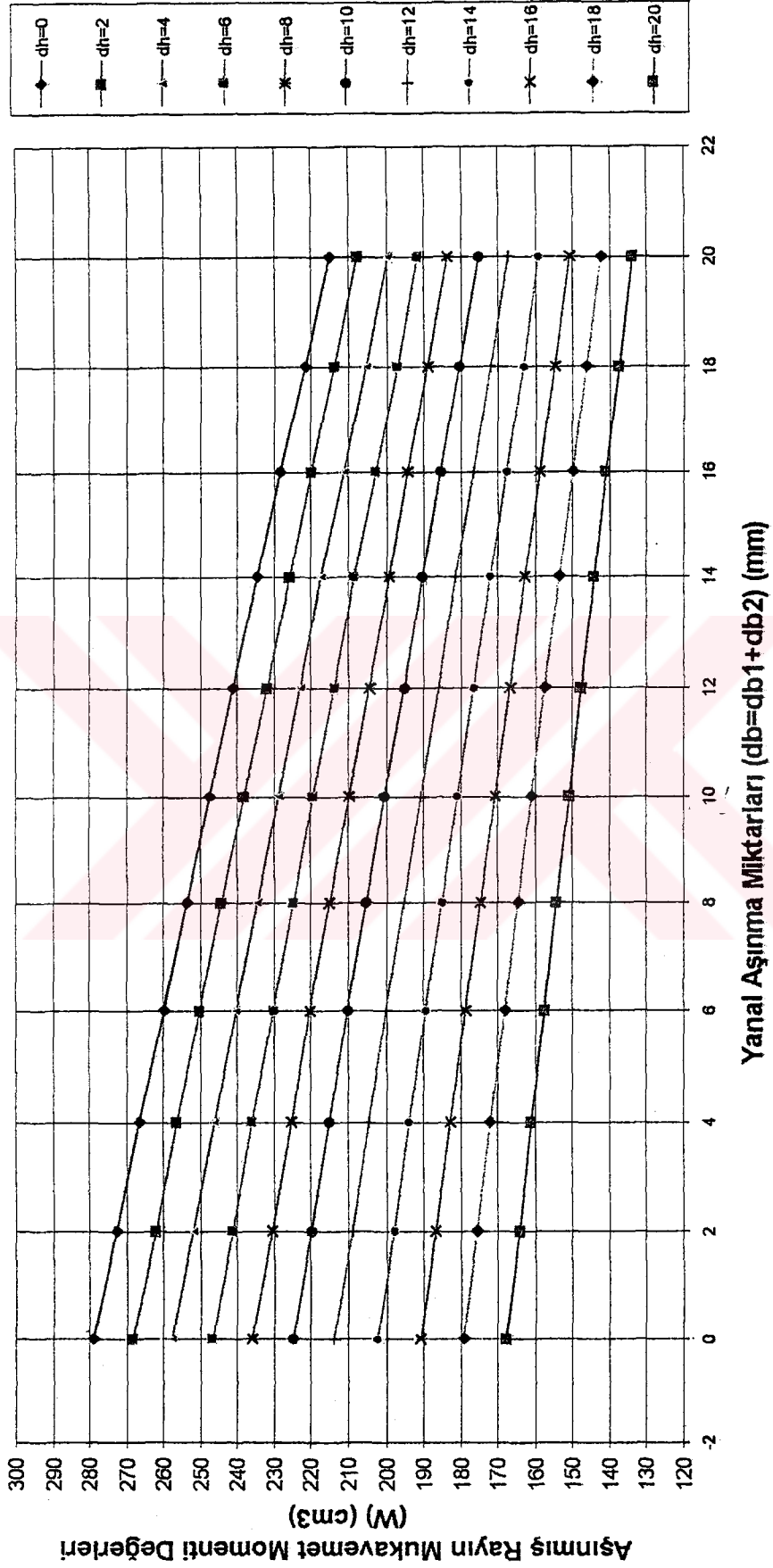


Şekil 3.24 S49(1958*) ray tipinin aşınma miktarlarına bağlı olarak değişen (W_a) değerlerinin gösterilmesi

Tablo 3.12 IEV54 (54.4kg/m) Ray tipi için aşınma miktarlarına bağlı olarak değişen mukavemet momenti değerleri
(Wa) (cm³)

dh(mm)	db=db1+db2 Aşınma Miktarları(mm)										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	279,00	272,77	266,53	260,26	253,96	247,63	241,26	234,87	228,43	221,97	215,47
2	268,42	262,47	256,48	250,47	244,43	238,36	232,27	226,14	219,98	213,80	207,58
4	257,76	252,06	246,34	240,59	234,82	229,02	223,20	217,35	211,47	205,57	199,65
6	246,97	241,53	236,08	230,61	225,11	219,59	214,05	208,49	202,91	197,30	191,67
8	236,05	230,89	225,72	220,52	215,31	210,08	204,83	199,56	194,28	188,97	183,65
10	225,00	220,13	215,24	210,34	205,42	200,48	195,53	190,57	185,58	180,59	175,57
12	213,81	209,24	204,65	200,04	195,42	190,79	186,15	181,50	176,83	172,14	167,45
14	202,49	198,22	193,93	189,64	185,33	181,01	176,69	172,35	168,00	163,64	159,27
16	191,03	187,07	183,10	179,12	175,13	171,14	167,13	163,12	159,10	155,07	151,04
18	179,42	175,78	172,14	168,49	164,83	161,17	157,50	153,82	150,14	146,44	142,75
20	167,67	164,36	161,05	157,74	154,42	151,10	147,77	144,43	141,10	137,75	134,40

IEV 54 (54,40 kg/m) Ray Tipi

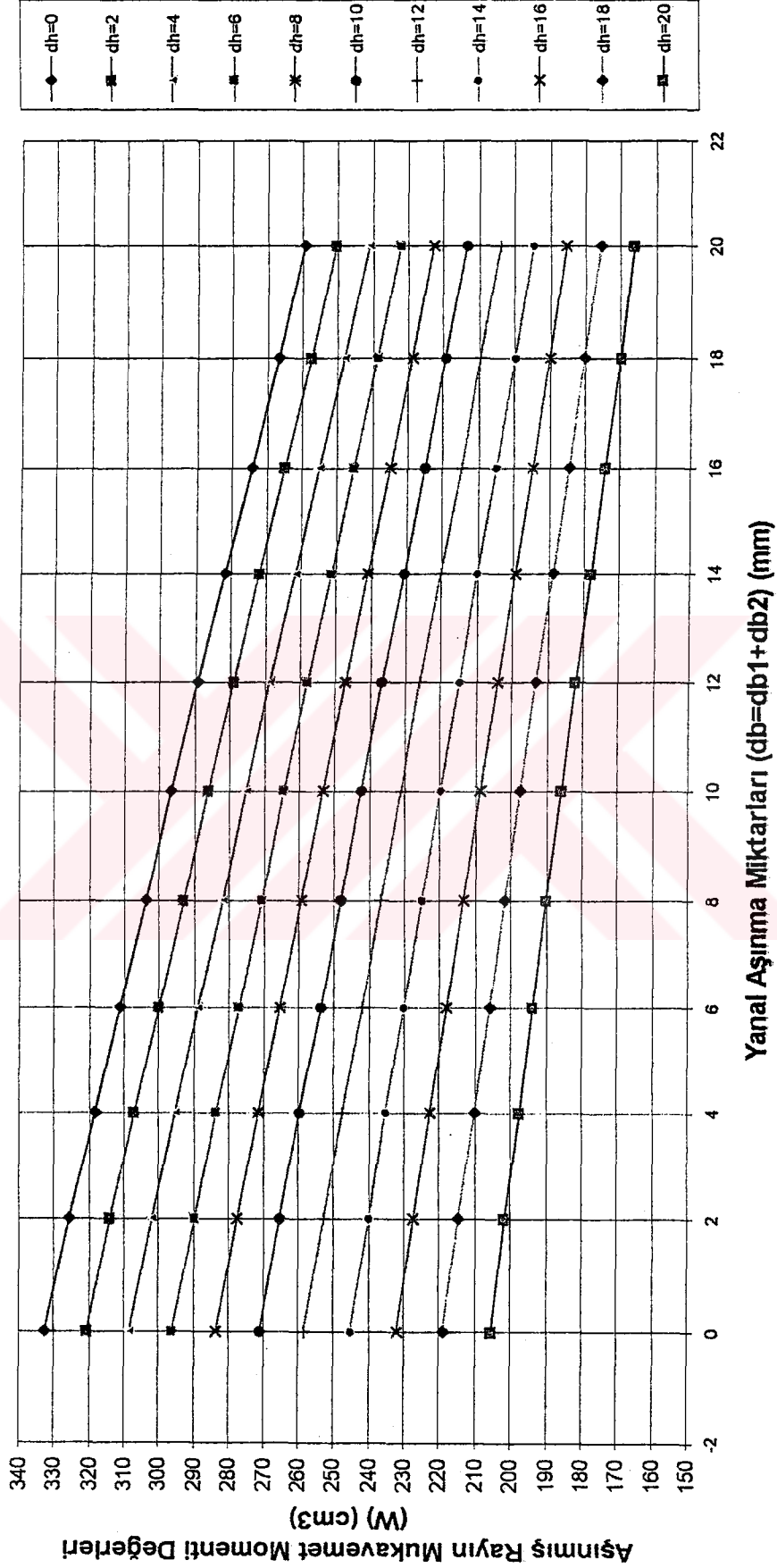


Şekil 325 IEV54 ray tipinin aşınma miktarlarına bağlı olarak değişen (W_a) değerlerinin gösterilmesi

Tablo 3.13 UIC 60 (60,340 kg/m) Ray Tipi İçin Aşınma Miktarlarına Bağlı Olarak Mukavemet Momenti Değerleri
(VWa) (cm³)

dh(mm)	db=db1+db2 Aşınma Miktarları															
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20					
0	333,00	325,90	318,68	311,42	304,13	296,81	289,46	282,07	274,65	267,19	259,71					
2	320,96	314,05	307,12	300,16	293,17	286,15	279,10	272,02	264,91	257,77	250,60					
4	308,70	302,09	295,46	288,80	282,11	275,40	268,66	261,90	255,11	248,30	241,46					
6	296,32	290,01	283,69	277,34	270,96	264,57	258,15	251,71	245,25	238,77	232,26					
8	283,81	277,81	271,80	265,77	259,72	253,65	247,56	241,45	235,32	229,18	223,01					
10	271,16	265,49	259,80	254,09	248,37	242,64	236,88	231,12	225,33	219,53	213,71					
12	258,37	253,03	247,67	242,31	236,93	231,53	226,12	220,76	215,27	209,82	204,36					
14	245,44	240,44	235,44	230,41	225,38	220,33	215,28	210,21	205,13	200,05	194,95					
16	232,37	227,72	223,06	218,39	213,72	209,04	204,34	199,64	194,93	190,21	185,48					
18	219,15	214,86	210,57	206,26	201,96	197,64	193,32	188,99	184,65	180,31	175,96					
20	205,78	201,87	197,95	194,02	190,08	186,15	182,20	178,25	174,30	170,34	166,37					

UIC 60 (60,340 kg/m) Ray Tipi

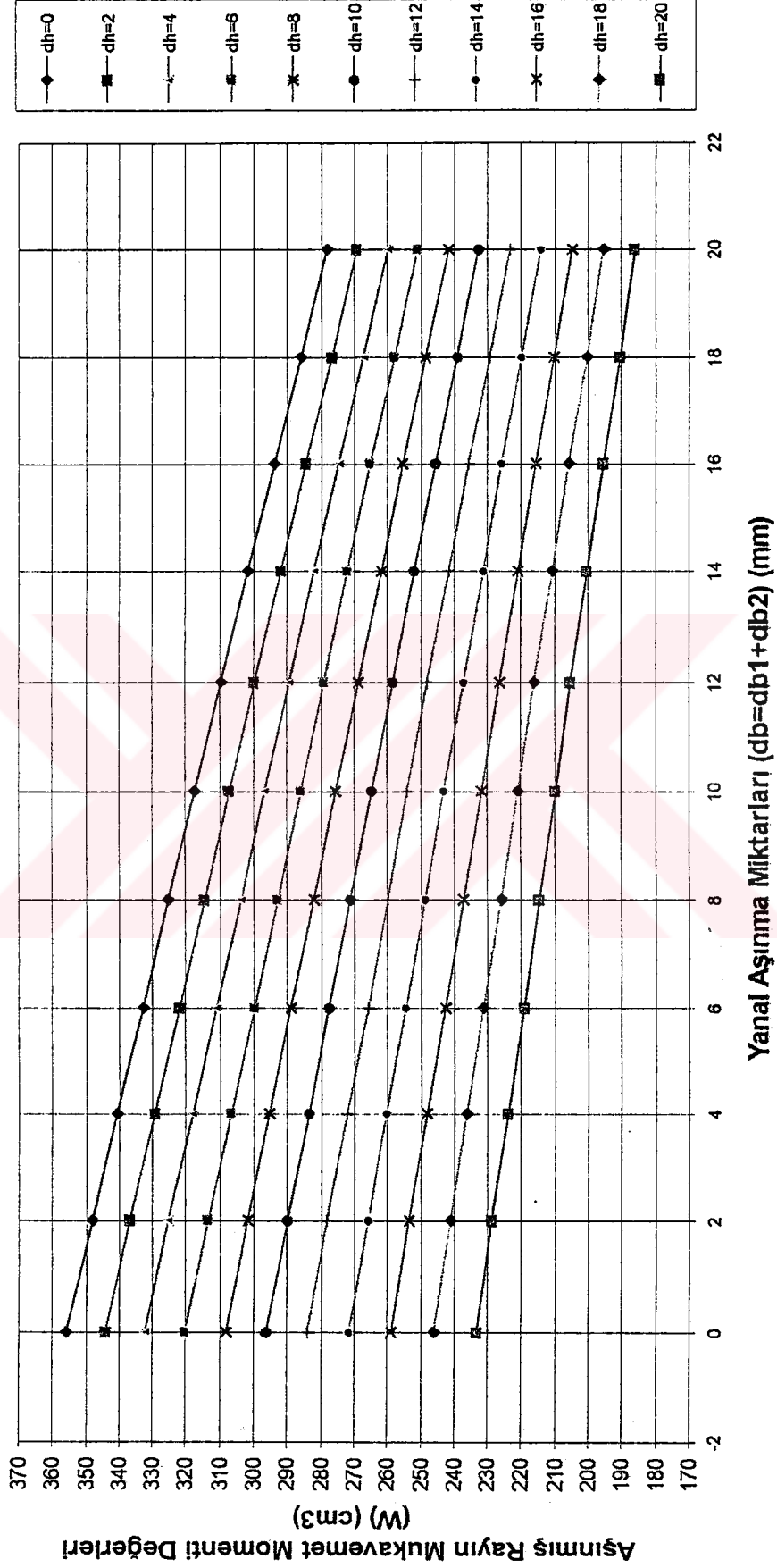


Şekil 326UIC 60 ray tipinin aşınma miktarına bağlı olarak değişen (W_a) değerlerinin gösterilmesi

Tablo 3.14 S64 (64.9 kg/m) Ray tipi için aşınma miktarlarına bağlı olarak değişen mukavemet momenti değerleri
(W_a) (cm³)

dh(mm)	db=db1+db2 Aşınma Miktarları(mm)										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	356,00	348,44	340,83	333,18	325,49	317,75	309,97	302,14	294,27	286,36	278,40
2	344,34	337,03	329,67	322,27	314,84	307,36	299,85	292,30	284,70	277,07	269,39
4	332,56	325,50	318,40	311,27	304,10	296,90	289,66	282,39	275,08	267,73	260,34
6	320,67	313,87	307,04	300,17	293,28	286,36	279,40	272,41	265,39	258,33	251,25
8	308,64	302,12	295,56	288,98	282,37	275,73	269,06	262,36	255,64	248,89	242,10
10	296,49	290,25	283,97	277,68	271,35	265,01	258,64	252,24	245,82	239,38	232,91
12	284,21	278,25	272,27	266,27	260,25	254,20	248,14	242,05	235,94	229,81	223,66
14	271,79	266,13	260,45	254,75	249,03	243,30	237,55	231,78	225,99	220,18	214,35
16	259,23	253,87	248,50	243,12	237,72	232,30	226,87	221,43	215,96	210,49	204,99
18	246,52	241,48	236,43	231,37	226,29	221,21	216,11	210,99	205,86	200,72	195,57
20	233,66	228,95	224,23	219,50	214,76	210,01	205,25	200,47	195,69	190,89	186,09

S 64 (64,90 kg/m) Ray Tipi



Şekil 3.27 S64⁺ ray tipinin aşınma miktarlarına bağlı olarak değişen (W_a) değerlerinin gösterilmesi

BÖLÜM 4.

SONUÇLAR

Teknik alanda demiryollarında ortaya çıkan arıza ve hasarların doğurduğu ekonomik kayıplar oldukça fazladır. Ayrıca arıza ve hasarlardan korunmak için yapılan araştırmalar, incelemeler sonucu oluşan harcamaları da göz önüne alırsak karşımıza arızalar neticesinde oluşan büyük miktarlarda ekonomik kayıplar çıkar.

Demiryolları biliminde raylarda en çok zararlar, aşınma ve sürtünme neticesinde ortaya çıkarlar. Raylar üzerilerinden geçen dinamik tesirler altında bulunduklarından, sonunda kullanıma özelliklerini yitirirler ve bu nedenle değiştirilmeleri gerekir. Bu zararlı etkiler gittikçe rayların yuvarlanma yüzeğlerini aşındırmaya başlar ve rayların geometrik ve mukavemet karakteristikleri değişir. Hiç şüphe yok ki rayların mukavemeti de gittikçe düşer. Bu yüzden, rayların mukavemetleri devamlı aşınmadan dolayı değişeceğinden kontrol altında tutulmalı ve sınır mukavemet değerini aşmamalıdır. Aşınma etkisiyle sınır mukavemet değerinin altında kalan raylar, daha sonra üstyapıdan gelen yüklere direnemeyeceğinden bazı kazaların oluşmasına zemin hazırlayabilir.

Her bilim dalında olduğu gibi demiryolları biliminde de ekonomiklik önemli bir rol oynar. Aşınmanın azaltılması için çalışmalar, yeryüzünde gittikçe azalan hammadde, pahalılaşan enerji ve işçilik gibi faktörleri de göz önüne alarak verimliliği arttıracak için önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada rayların aşınma analizi yapılmıştır. İlk olarak Geometrik yapılarının üzerilerinde kolayca işlem yapmaya müsait olmadığından standart ray tiplerini temsil edecek idealize temsili ray kesitleri oluşturulmuştur. Aşınmadan dolayı değişen ray mukavemet

karakteristiklerinin hasaplanabilmesini sağlayacak temsili ray kesitleri incelenen üç yaklaşım sonunda belirlenmiş ve daha sonra temsili ray kesitleri dikkate alınarak rayların aşınma tahkikleri yapılmıştır.

Daha sonra raylarda meydana gelen düşey ve yanıl aşınma ile her iki aşınmanın oluşması durumunda rayların mukavemet momentindeki değişim incelenmiştir. Rayların düşey aşınmadan dolayı mukavemet momentindeki değişim, Gerhard SHRAMM'ın aşınma formülüyle kıyaslanmıştır. Aşınma miktarlarına bağılı olarak hesaplanan değerlerle SHRAMM'ın formülünü uygulayarak bulunan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada beş ayrı ray tipi ele alınmıştır. Rayların seçiminde mümkün olduğu kadar T:C:D:D'de halen kullanılan ray tipleri olmasına dikkat edilmiştir.

Genel olarak raylar, yanıl ve düşey aşınmanın beraber bulunduğu aşınma durumuna maruzdur. Yapılan bu çalışmada özellikle bu aşınma durumu ele alınmıştır. Yanıl ve düşey aşınma miktarlarına göre rayların mukavemet karakteristiklerinin değişimi incelenmiş ve daha sonra aşınan bir rayın mukavemet momentini, yanıl ve düşey aşınma miktarlarına göre veren abaklar oluşturulmuştur. Bu abaklar sadece ele alınan ray tipleri için değil aynı zamanda geometrik karakteristikleri ele alınan rayların karakteristiklerine yakın olan ray tipleri için de uygulanabilir. Ayrıca standart bir ray tipini temsil edecek temsili ray kesitini bulan ve daha sonra rayların aşınma miktarlarına göre değişen mukavemet karakteristiklerini hesaplayan bilgisayar programı yapılmış ve Ek 1'de sunulmuştur.

Demiryollarının bakım tekniğinde ekonomiyle alakalı en önemli faktörlerden biri aşınma faktörüdür. Aşınma değerlerinin uygun bir sıklıkla ölçülmesi ve ölçülen bu değerlerden de aşınan rayların mukavemet karakteristiklerinin belirlenip sınır mukavemet karakteristikleriyle kıyaslanması, rayların zamanından önce gözden çıkarılmasını engelleyecek ve böylece ekonomiklik sağlanacaktır. Ayrıca, rayların üstyapıdan gelecek etkileri karşılayabilip karşılayamayacağı kontrol altında tutulacaktır.

Tablo 4.1. Temsili Ray Kesitlerinin Mukavemet Momentlerinin Shramm' in Aşınma Değerleri ile Karşılaştırılması

dh (mm)	S49(49.05 kg/m)				S49(49.43 kg/m)				IEV54(54.4 kg/m)				UIC60(60.34 kg/m)				S64(64.9 kg/m)			
	W_a (tensili)	W_a schramm	Hata Oranı(%)		W_a (tensili)	W_a schramm	Hata Oranı(%)		W_a (tensili)	W_a schramm	Hata Oranı(%)		W_a (tensili)	W_a schramm	Hata Oranı(%)		W_a (tensili)	W_a schramm	Hata Oranı(%)	
0	239.00	239.00	0		240.00	240.00	0		279.00	279.00	0		333.00	333.00	0		356.00	356.00	0	
2	236.42	230.57	2.40		238.53	231.51	2.94		268.42	269.83	0.52		320.96	322.97	0.60		344.34	345.67	0.28	
4	227.74	222.28	2.39		229.78	223.16	2.88		257.76	260.79	1.09		308.70	313.08	1.60		332.56	335.47	0.90	
6	218.97	214.14	2.20		220.94	214.96	2.70		246.97	251.90	1.99		296.32	303.34	2.36		320.67	325.42	1.56	
8	210.10	206.13	1.88		212.00	206.89	2.41		236.05	243.15	3.00		283.81	293.73	3.40		308.64	315.51	2.27	
10	201.13	198.27	1.42		202.96	198.97	1.96		225.00	234.54	4.20		271.16	284.27	4.70		296.49	305.75	3.04	
12	192.04	190.55	0.77		193.80	191.18	1.35		213.81	226.08	5.73		258.37	274.94	5.70		284.21	296.12	4.22	
14	182.85	182.97	0.06		184.52	183.54	0.53		202.49	217.75	7.04		245.44	265.76	8.10		271.79	286.63	5.53	
16	173.54	175.53	1.14		175.13	176.04	0.51		191.03	209.57	9.70		232.37	256.72	9.80		259.23	277.29	6.94	
18	164.10	168.23	2.51		165.61	168.68	1.85		179.42	201.52	11.00		219.15	247.82	12.00		246.52	268.09	8.90	
20	154.54	161.07	3.80		155.96	161.47	3.50		167.67	193.62	14.00		205.78	239.07	16.09		233.66	259.03	10.90	

KAYNAKLAR

- [1] **BAYRAKTAR,Z.**, Demiryolu Bilgisi 1,Y.T.Ü Yayınları,s.63-65,(1987)
- [2] **BOZKURT,M.**, Demiryolu 1, Ders Notları, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi,3.Baskı,s.117,(1989)
- [3] **SHRAMM,G.**, Permanent Way Technique And Permanent Way Economy,1.Edition,pp. 12-13, (1961)
- [4] **EVREN,G.**, Demiryolu, İ.T.Ü Yayını,s.151-154,(1993)
- [5] **GÜRLEYİK,M.**, Metallerin Ve Metal Olmayan Sert Malzemelerin Taneli Maddeler Tarafından Sürtünerek Aşındırılması,Mühendis Ve Makina Dergisi,Sayı 19,s.37,(1975)
- [6] **ERDOĞAN,T.**, Mühendisler İçin Çelik Seçimi, TMMOB Yayını,Sayı 119, Ankara,(1989)
- [7] **ONARAN,K.**, Bazı Çelik Ve Alüminyum Alaşımlarının Kaymalı Veya Yuvarlanma Halinde Aşınma Ve Sürtünmenin Kantitatif Analizi,İ.T.Ü Doktora Tezi, İstanbul, (1959)
- [8] **SÖDERBERG,S.**, Wear Mechanisms And Tool Life of High Speed Steels Related to Microstructure, Upsala University Publication, No 110, pp 313-329
- [9] **WILLIAM,W.H.**, Railroad Engineering, Wiley-Interscience Publication, Second Edition, (1982)
- [10] **KRAGELSKY,I.V.**, Contact Area of Rough Surfaces Wear,pp 170-177, (1986)
- [11] **RICHARDSON,R.C.**, The Wear of Metals Shares In Agricultural Soils, Ph.D.Thesis, London, (1969)

EK A

```
REM *****
REM ** BU PROGRAM İDEALİZE EDİLMİŞ STANDART RAY TİPLERİNİN **
REM ** AŞINMA MİKTARLARINA BAĞLI OLARAK DEĞİŞEN MUKAVEMET*
REM **          MOMENTİ DEĞERLERİNİ GÖSTERİR.          **
REM *****
SCREEN 12
PI = 3.14159254#
CIRCLE (294, 30), 34, 11, 0, PI, .2
LINE (260, 30)-(256, 72)
LINE (256, 72)-(286, 79)
CIRCLE (286, 122), 43, 11, 3 * PI / 2, PI / 2, 8: REM -(286, 164)
LINE (286, 164)-(231, 170)
LINE (231, 170)-(231, 179)
LINE (231, 179)-(356, 179)
LINE (356, 179)-(356, 170)
LINE (356, 170)-(300, 164)
CIRCLE (300, 122), 42, 11, PI / 2, 3 * PI / 2, 8: REM 6-(300, 72)
LINE (300, 79)-(331, 72)
LINE (331, 72)-(327, 30)
LOCATE 1, 37: PRINT "b"
LOCATE 13, 37: PRINT "B"
LOCATE 4, 43: PRINT "d"
LOCATE 8, 47: PRINT "H"
LOCATE 11, 46: PRINT "t"
LOCATE 8, 37: PRINT "s"
LOCATE 6, 35: PRINT "m"
LOCATE 10, 33: PRINT "m"
```

```

REM *****
REM ** STANDART RAY VERİLERİNİN KLAVYEDEN GİRİLMESİ **
REM *****

LOCATE 13, 1
INPUT "b="; BK
INPUT "B="; BB
INPUT "d="; D
INPUT "s="; S
INPUT "t="; T
INPUT "m="; m
INPUT "H="; H
INPUT "Wx="; W

X = 0
REM *****
REM STANDART RAYLARI IDEALIZE EDEN X DEGERİNİN BULUNMASI
REM *****

LOCATE 27, 2: PRINT " Hesaplama yapılıyor..."
WHILE ABS(W - WKUCUK) > .1
X = X + .01
bd = D + (BK / 2 - S / 2) * m / X
E = H - (T + (BB / 2 - S / 2) * m / X) - bd
K = T + (BB / 2 - S / 2) * m / X
F = BK * bd + E * S + BB * k
v = BK * bd * (H - bd / 2) + E * S * (E / 2 + k) + BB * k * k / 2
Yg = v / F
I = BK * bd ^ 3 / 12 + BK * bd * (H - bd / 2 - Yg) ^ 2 + S * E ^ 3 / 12 + S * E *
(Yg - E / 2 - k) ^ 2 + BB * k ^ 3 / 12 + BB * k * (Yg - k / 2) ^ 2
W1 = I / Yg
W2 = I / (H - Yg)
WKUCUK = W1
IF W1 > W2 THEN WKUCUK = W2
REM PRINT "W="; WKUCUK, "X="; X, "I="; I

```

```

WEND
PRINT "f="; USING "###.##"; F
PRINT "W1="; USING "###.##"; W1
PRINT "W2="; USING "###.##"; W2
PRINT "Yg="; USING "##.##"; Yg
PRINT "I="; USING "####.##"; I
PRINT "k="; USING "#.##"; k
PRINT "E="; USING "##.##"; E
PRINT "D="; USING "#.##"; bd
PRINT "X="; USING "##.##"; X
PRINT : PRINT :
DIM WSM(11, 11)
REM *****
REM **          RAY SEKLİNİN ÇİZDİRİLMESİ          **
REM *****
GOSUB 10
LOCATE 15, 1
REM ***    DATALARIN KLAVYEDEN GİRİLMESİ    ***
REM INPUT "b="; bk
REM INPUT "B="; bb
REM INPUT "D="; bd
REM INPUT "s="; s
REM INPUT "k="; tt
REM INPUT "H="; H
REM 13 READ BK, BB, bD, S, TT, H
T = k
LOCATE 27, 2: PRINT "Hesaplama yapılıyor..."
REM *****
REM ** ASINMA MİKTARLARINA BAĞLI OLARAK Wa DEĞERLERİNİN **
REM **          HESAPLANMASI          **
REM *****
FOR DH = 0 TO 2.2 STEP .2

```

```
FOR DB = 0 TO 2.2 STEP .2
```

```
n = bd - DH
```

```
p = BK - DB
```

```
A = H - bd - TT
```

```
F = p * n + S * A + BB * TT
```

```
ml = H - DH
```

```
Yg = (p * n * (ml - n / 2) + S * A * (A / 2 + TT) + BB * TT ^ 2 / 2) / F
```

```
la = p * n ^ 3 / 12 + p * n * (ml - n / 2 - Yg) ^ 2 + S * A ^ 3 / 12 + S * A * (Yg -  
A / 2 - TT) ^ 2 + BB * TT ^ 3 / 12 + BB * TT * (Yg - TT / 2) ^ 2
```

```
WA1 = la / Yg
```

```
WA2 = la / (H - DH - Yg)
```

```
J11 = (DB * 10 / 2) + 1
```

```
I11 = (DH * 10 / 2) + 1
```

```
WSM(I11, J11) = WA1
```

```
IF WA1 > WA2 THEN WSM(I11, J11) = WA2
```

```
PRINT "Wa1="; WA1
```

```
NEXT DB
```

```
NEXT DH
```

```
CLS
```

```
GOSUB 10
```

```
REM *****
```

```
REM ** YANAL VE DUSEY ASINMA DEGERLERININ YAZDIRILMASI **
```

```
REM *****
```

```
LOCATE 15, 1
```

```
PRINT TAB(2); "dh"; TAB(20); "db=db1+db2 Yanal Asinma Miktarlari(mm)"
```

```
PRINT TAB(1); "(mm)"; TAB(7); "0"; TAB(14); "2"; TAB(21); "4"; TAB(28);
```

```
"6"; TAB(35); "8"; TAB(42); "10"; TAB(49); "12"; TAB(56); "14"; TAB(63);
```

```
"16"; TAB(70); "18"; TAB(77); "20"
```

```
FOR I11 = 1 TO 11
```

```
REM FOR J11 = 1 TO 11
```

```
PRINT USING "##"; TAB(1); (I11 - 1) * 2;
```

```

PRINT USING "###.##"; TAB(5); WSM(I11, 1); TAB(12); WSM(I11, 2);
TAB(19); WSM(I11, 3); TAB(26); WSM(I11, 4); TAB(33); WSM(I11, 5);
TAB(40); WSM(I11, 6); TAB(47); WSM(I11, 7); TAB(54); WSM(I11, 8);
TAB(61); WSM(I11, 9); TAB(68); WSM(I11, 10); TAB(75); WSM(I11, 11)
REM NEXT J11
NEXT I11
INPUT "GRAFİK ÇİZDIRMEK İSTİYORMUSUNUZ (E/H)"; A$
IF A$ = "E" OR A$ = "e" THEN 123
END
123 CLS
S = ABS((4 * WSM(11, 11) - 2 * 480) / 1.5) + 34
LINE (30, 30)-(30, S)
FOR I = 1 TO 11
Y = ABS(4 * WSM(I, 1) - 2 * 480) + 10
LINE (27, Y / 1.5 + 30)-(33, Y / 1.5 + 30)
FOR J = 1 TO 10
X = (J * 2 - 2) * 32
X1 = ((J + 1) * 2 - 2) * 32
Y = ABS(4 * WSM(I, J) - 2 * 480) + 10
Y1 = ABS(4 * WSM(I, J + 1) - 2 * 480) + 10
LINE (X / 1.5 + 50, Y / 1.5 + 30)-(X1 / 1.5 + 50, Y1 / 1.5 + 30), I + 2
NEXT J
NEXT I
FOR L = 0 TO 20 STEP 2
LOCATE 25, 2.5 * L + 8
PRINT L;
NEXT L
END
DATA 6.7,12.5,4.22,1.4,1.52,14.9
10 LINE (260, 30)-(327, 30)
LINE (260, 30)-(260, 72)
LINE (260, 72)-(286, 72)

```

```
LINE (286, 72)-(286, 164)
LINE (286, 164)-(231, 164)
LINE (231, 164)-(231, 179)
LINE (231, 179)-(356, 179)
LINE (356, 179)-(356, 164)
LINE (356, 164)-(300, 164)
LINE (300, 164)-(300, 72)
LINE (300, 72)-(327, 72)
LINE (327, 72)-(327, 30)
LOCATE 1, 37: PRINT "b"
LOCATE 13, 37: PRINT "B"
LOCATE 4, 43: PRINT "D"
LOCATE 8, 40: PRINT "E"
LOCATE 11.4, 46: PRINT "k"
LOCATE 8, 37: PRINT "s"
RETURN
```

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Antakya'da doğdu. İlkokulu 1982 yılında, ortaöğrenimini 1989 yılında Antakya'da tamamladı.

Aynı yıl girdiği Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında mezun oldu. 1993 yılında girdiği İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde halen kayıtlıdır. 1993 yılından bu yana Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde araştırma görevlisidir.

