

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**DEMİRYOLLARINDA ALUMİNOTERMİT KAYNAK  
İLE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN  
TEKNİK VE EKONOMİK YÖNDEN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Mustafa ONAY**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi**

**DEMİRYOLLARINDA ALUMİNOTERMİT KAYNAK  
İLE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN  
TEKNİK VE EKONOMİK YÖNDEN  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Mustafa ONAY**

**Tez Danışmanı: Dr. Veysel ARLI**

**İSTANBUL, 2011**

T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tezin Başlığı : Demiryollarında Aluminotermite Kaynak İle Yakma Alın Kaynak Yöntemlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması  
Öğrencinin Adı Soyadı : Mustafa ONAY  
Tez Savunma Tarihi :26/01/2011

Bu yüksek lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

.....

Y. Doç. Dr. F. Tunç BOZBURA  
Enstitü Müdür V.

Bu tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Tez Sınav Jürisi Üyeleri :

Dr.Veynel ARLI (Tez Danışmanı) : .....

Prof. Dr.Mustafa ILICALI : .....

Dr.Nilgün CAMKESEN : .....

## ÖNSÖZ

Demiryollarında yüksek hızlı trenlerin yaygınlaşmaya başlaması ile birlikte uzun kaynaklı raylara gereksinim artmıştır. Modern demiryolları; artan hız, seyahat konforu, gürültü, artan maliyet bilinci, verimlilik, yüksek aks yükleri, dinamik yükler ve raylarda oluşan gerilmeleri uzun kaynaklı ray kaynak yöntemlerini kullanarak çözmüşlerdir.

Bu çalışmada aluminotermite kaynak ve yakma alın kaynak yöntemleri teknik ve ekonomik yönden incelenmiştir. Yakma alın kaynağının teknik ve ekonomik açıdan aluminotermite kaynağından daha avantajlı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkıları nedeniyle Sayın Hocam Dr. Veysel Arlı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa ONAY

## ÖZET

### DEMİRYOLLARINDA ALUMİNOTERMİT KAYNAK İLE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN TEKNİK VE EKONOMİK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Onay, Mustafa

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Dr. Veysel ARLI

Ocak, 2011, 121 sayfa

Gelişmiş ülkelerde demiryolu taşımacılığı çok yaygın olarak kullanılmakta, hızlı tren projeleri uygulamaya girmektedir. Bu gelişmeye paralel olarak ülkemizde son yıllarda yüksek hızlı tren hatları inşa edilmektedir. Bu yıl ilk kez bütçeden demiryollarına ayrılan pay karayollarından fazla olmuştur. Demiryollarına yapılan yatırımlar ülkemizde taşımacılık alanında yeni bir devrin başlangıcı sayılmaktadır. Demiryollarının yüksek kapasitesi, düşük arazi kullanımı, çevreci ve ekonomik olması avantajlı olmasını sağlamaktadır.

Demiryollarında raylar dört tip kaynak yöntemi (yakma alın kaynağı, gaz basınç kaynağı, kapalı ark kaynağı ve aluminotermit kaynak yöntemi) ile birleştirilir. Bu yöntemler sahada veya atölyede uygulanabilmektedir. Bununla birlikte yakma alın kaynağı ve gaz basınçlı kaynak yöntemi atölyede, elektrik ark kaynak yöntemi ve aluminotermit kaynak yöntemi genellikle sahada yapılmaktadır. Her kaynak yönteminin diğerine oranla avantajları ve dezavantajları vardır. Üstün bir mukavemet ve dayanım sağlayabilmesi açısından kaynak ile metalin aynı kimyasal ve fiziksel özelliklerde olması arzulanır. Fakat pratikte bunu sağlamak imkânsızdır. Amaç metalin özelliklerine en yakın değerlere ulaşabilmektir. Kaynak kalitesinin en üstün düzeye çıkarmak için gerekli olan kaynak parametrelerine ve demiryolunun geometrik durumunun çok iyi olması şarttır. Ülkemizde aluminotermit kaynağı ve yakma alın kaynak yöntemi çok sık olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yapılan kaynakların %80–90 ı yakma alın kaynağı ile yapılmaktadır.

Bu çalışmada Aluminotermit kaynak ve yakma alın kaynak yöntemleri teknik ve ekonomik yönden incelenmiştir. Aksaray - Havalimanı Hafif Metro hattında yapılan ray birleştirme kaynakları (yakma alın kaynağı ve aluminotermit kaynağı) yapım ve maliyet olarak incelenmiştir. Aksaray - Havalimanı Hafif Metro hattında 1989 yılında yapılan Aluminotermit kaynaklarda kaynağın mekanik özelliklerinin ray ana metali ile uyumsuzluğu nedeni ile kaynakta oyulmalar ortaya çıkmıştır. Aluminotermit kaynak bölgelerinde yapılan taşıma ve

dolgu kaynakları sorunu çözümede yetersiz kalmıştır. Kaynak bölgelerinde aşınma kaynaklı vuruntu ve gürültü nedeni ile altyapı kısa sürede bozulmuş ve yolcu konforu olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu nedenle mevcut hatta Aluminotermite kaynak bölgeleri (3500 adet ) kesilerek raylar yakma alın kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynaklara uygulanan tahribatlı ve tahribatsız testler irdelenmiştir. Bu testler sonucunda kaynak hataları, kaynağın mekanik ve mikro yapı özellikleri karşılaştırılmıştır.

Aluminotermite ve yakma alın kaynak yöntemlerinin yapım maliyetleri hesaplanmış ve toplam maliyetleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda yakma alın kaynağı yapım maliyeti ve teknik açıdan avantajlı olduğu ve günümüzde en güvenilir kaynakların yakma alın kaynağı ile elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Aluminotermite kaynağı, Yakma alın kaynağı, Ray kaynağı, Ray kaynak maliyetleri.

## ABSTRACT

### TECHNICAL AND ECONOMICAL COMPARISON OF FLASH-BUTT AND ALUMINOTHERMIC WELDING METHODS IN RAILWAYS

Onay, Mustafa

Urban Systems and Transportation Management

Supervisor: Dr. Veysel ARLI

January, 2011, 121 Pages

In developed countries railway transport is used very widely, high-speed railway projects are fall into the application. In addition to this development in our country in recent years, high-speed train lines are being constructed. Railways share of the budget allocated for the first time this year has been more than highways. Investment in railways in our country is considered the beginning of a new era in the field of transportation. High capacity, low land use, environmental and economic advantages takes railways more advantageous than the other transportation systems.

In railways there are four types of welding methods, which are flash-butt welding, gas pressure welding, enclosed arc welding and aluminothermic welding. These methods can be applied in the field or workshop. But flash-butt welding and gas pressure welding methods are used generally in the workshops, enclosed arc welding and aluminothermic welding methods are used generally in the field. Each welding methods has advantages and disadvantages compared to other methods. Welding materials and metals must have same chemical and physical properties due to welding quality and strength. But in practice it is impossible to provide this situation. The aim is to reach the nearest values. To provide good quality weldings, railway geometry and welding parameters must be in good condition. In our country, flash-butt welding and aluminothermic welding are mostly used methods. Nowadays 80-90% weldings are done by flash-butt welding.

In this study technical and economic aspects of flash-butt welding and aluminothermic welding methods are examined. Construction technique and cost of these rail weldings which are used in Aksaray-Havalimanı Light Metro Line are investigated. At the Aksaray-Havalimanı Light Metro Line rails welded with aluminothermic weldings in 1989. But incompatibility of aluminothermic welding materials and mechanical characteristics of rails cause hollows at the weldings. Grinding and filling the hollows in the weldings were insufficient to resolve the problem. Due to hollows in the weldings, noise and knock problems

occurred and infrastructure, passenger comfort in a short period of time negatively affected. For this reason in this track, 3500 welding rail area is cutted and rails rewelded by flash-butt welding method. In these weldings destructive and nondestructive tests are explored. According to these tests, the errors, mechanical and micro structural properties were compared.

Total and implementation costs of flash-butt welding and aluminothermic welding methods are calculated and compared. According to this comparison, for the economic and technic aspects, flash-butt welding method is more advantageous and the best secure weldings were acquired with this method.

**Key Words:** Aluminothermic welding, Flash-butt welding, Rail welding, Rail welding costs.



## İÇİNDEKİLER

TABLolar.....	xi
ŞEKİLLER.....	xii
KISALTMALAR.....	xv
SEMBOLLER.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI.....	1
1.2 DEMİRYOLLARININ DOĞUŞU VE TÜRKİYE’DE GELİŞİMİ.....	3
2. DEMİRYOLU RAYLARI .....	5
2.1 GİRİŞ.....	5
2.2 ÜSTYAPININ GÖREVLERİ.....	5
2.3 RAY.....	6
2.3.1 Tek Mantarlı Ray.....	8
2.3.2 Oluklu Ray.....	8
2.3.3 Çift Mantarlı Ray.....	8
2.4 RAYIN GÖREVLERİ.....	9
2.5 RAYIN MEKANİK DAYANIMI.....	10
2.6 RAYIN KİMYASAL BİLEŞİMİ.....	11
2.7 SERT ÇELİK SINIFLARI.....	13
3. UZUN KAYNAKLI RAYLAR.....	14
3.1 GİRİŞ.....	14
3.2 UZUN KAYNAKLI RAY OLUŞTURMA.....	15
3.3 UZUN KAYNAKLI RAY YAPIM KOŞULLARI .....	16
3.3.1 Geometrik Koşullar.....	16
3.3.2 Üstyapı İle İlgili Koşullar.....	16
3.3.3 Kaynak Yapılmadan Önce Yolda Yapılması Gereken Önlemler.....	17
3.4 KAYNAKTA SICAKLIĞIN TESPİTİ.....	17
3.5 RAYLARDA GERİLİMİN .....	18
3.5.1 Ortalama Sıcaklıkta Rayların Geriliminin Alınması.....	20
3.5.2 Gerdirme Suretiyle Gerilim Dengelenmesi.....	22
3.5.3 Isıtma Suretiyle Gerilimin Dengelenmesi.....	23
4. RAY BİRLEŞTİRME KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	25
4.1 GİRİŞ.....	25
4.2 ELEKTRİK ARK KAYNAK YÖNTEMİ.....	26
4.3 GAZ BASINÇLI KAYNAK YÖNTEMİ.....	27
4.4 ALUMİNOTERMİT KAYNAK YÖNTEMİ.....	28
4.4.1 Giriş.....	28

4.4.2	Aluminotermite Kaynak Tarihiçesi.....	29
4.4.3	Aluminotermite Ray Kaynak Ekipmanları.....	30
4.4.3.1	Ön ısıtma gurubu.....	30
4.4.3.2	Ray ısıtıcıları.....	30
4.4.3.3	Pota, pota ayağı, pota arabası, cüruf tablası.....	31
4.4.3.4	Mastarlama grubu.....	32
4.4.3.5	Ray çektirmeleri.....	32
4.4.3.6	Ray kesme-delme makinesi.....	32
4.4.3.7	Tirfonöz-blonöz.....	33
4.4.3.8	Kaynak sıyırma.....	33
4.4.3.9	Taşlama makinesi.....	34
4.4.4	Aluminotermite Kaynağının Uygulama Aşamaları.....	34
4.4.4.1	Kaynak öncesi hazırlık.....	34
4.4.4.2	Kalıpların bağlanması.....	35
4.4.4.3	Potanın yerleştirilmesi.....	36
4.4.4.4	Kaynak porsiyonu.....	38
4.4.4.5	Ön tavlama.....	38
4.4.4.6	Kaynak işleme.....	41
4.4.4.7	Taşlama işleme.....	42
4.4.5	Aluminotermite Kaynağını Etkileyen Parametreler.....	44
4.5	YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMİ.....	45
4.5.1	Giriş.....	45
4.5.2	Yakma Alın Kaynağının Tarihiçesi.....	46
4.5.3	Yakma Alın Kaynağının Esasları.....	47
4.5.4	Yakma Alın Kaynağının Avantajları.....	48
4.5.5	Yakma Alın Kaynak Parametreleri.....	49
4.5.6	Yakma Alın Kaynağının Uygulama Aşamaları.....	50
4.5.6.1	Hizalama işleme.....	50
4.5.6.2	Yakma işleme.....	51
4.5.6.3	Ön tavlama.....	52
4.5.6.4	Yanma işleme.....	53
4.5.6.5	Şişirme işleme.....	54
4.5.6.6	Soğutma işleme.....	55
4.5.7	Mobil Yakma Alın Kaynak Makinesi.....	56
4.5.7.1	Mobil yakma alın kaynağının tarihiçesi.....	58
4.5.7.2	Mobil yakma alın kaynak makinelerinin kullanımı.....	58
4.5.7.3	Mobil kaynak süreci.....	59
5.	KAYNAK HATALARI.....	61
5.1	ALUMİNOTERMİT KAYNAK HATALARI.....	61
5.1.1	Conta Ayar Hataları.....	61
5.1.2	Kalıp Bağlama Hataları.....	61
5.1.3	Ön Isıtma Hataları.....	62
5.1.4	Döküm Hataları.....	62
5.1.5	Sıyırma Hataları.....	62
5.1.6	Taşlama Hataları.....	62
5.1.7	Diğer Hatalar.....	63

5.1.7.1	Kara delikler.....	65
5.1.7.2	Çatlaklar.....	65
5.1.7.3	Büzülmeye bağlı yırtılmalar.....	66
5.1.7.4	Kaynakta kum kalıntısı.....	66
5.1.7.5	Yetersiz nufuziyet.....	67
5.1.7.6	Gözenekler.....	67
5.2	YAKMA ALIN KAYNAK HATALARI .....	68
5.2.1	Ön Isıtma Hataları.....	68
5.2.2	Yakma Hataları.....	69
5.2.3	Basma Hataları.....	69
5.2.4	Son Isıtma Hataları .....	70
6.	RAY KAYNAKLARINA UYGULANAN TESTLER .....	71
6.1	GİRİŞ.....	71
6.2	SERTLİK TESTİ .....	73
6.3	YORULMA TESTİ.....	73
6.4	STATİK EĞİLME TESTİ.....	75
6.5	ULTRASONİK MUAYENE.....	76
6.6	MİKRO YAPILAR.....	79
6.7	KİMYASAL ANALİZLER .....	80
7.	ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN MALİYET YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI.....	81
7.1	GİRİŞ.....	81
7.2	ALUMİNOTERMİT KAYNAK MALİYETLERİNİN HESAPLANMASI.....	82
7.2.1	Aluminotermite Kaynak Amortisman Maliyeti.....	82
7.2.2	Aluminotermite Kaynak Malzeme Maliyeti .....	83
7.2.3	Aluminotermite Kaynak İşçilik Maliyeti.....	84
7.2.4	Diğer Maliyetler .....	86
7.2.5	Aluminotermite Kaynak Toplam Maliyeti .....	86
7.3	YAKMA ALIN KAYNAĞININ MALİYETLERİNİN HESAPLANMASI.....	87
7.3.1	Yakma Alın Kaynak Amortisman Maliyeti.....	87
7.3.2	Yakma Alın Kaynak Malzeme Maliyeti.....	88
7.3.3	Yakma Alın Kaynak İşçilik Maliyeti.....	89
7.3.4	Diğer Maliyetler.....	91
7.3.5	Yakma Alın Kaynak Toplam Maliyeti.....	91
7.4	ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAKLARININ MALİYET YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI.....	92
8.	ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN TEKNİK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI .....	93
8.1	GİRİŞ.....	93
8.2	AKSARAY - HAVALİMANI HAFİF METRO HATTINDA YAPILAN ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAKLARININ	

İNCELENMESİ.....	94
8.2.1 Aluminotermite Kaynakların İncelenmesi.....	95
8.2.2 Yakma Alın Kaynakların İncelenmesi.....	100
8.3 KAYNAK YAPIM SÜRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	105
8.3.1 Aluminotermite Kaynağı Yapım Süresi.....	105
8.3.2 Yakma Alın Kaynağı Yapım Süresi.....	106
8.4 MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	107
8.4.1 Sertlik Grafiklerinin İncelenmesi.....	107
8.4.2 Makro Yapılarının Karşılaştırılması.....	108
8.4.3 Mikro Yapılarının Karşılaştırılması.....	110
8.4.4 Ultrasonik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	111
8.5 KAYNAK DAYANIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	113
9. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	115
KAYNAKÇA.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	121

## TABLolar

Tablo 2.1 : Çelik sınıfları.....	13
Tablo 2.2 : Ray sertlik tablosu.....	13
Tablo 3.1 : Genleşme conta uzunlukları.....	21
Tablo 6.1 : Kopmadaki toplam sapma ve yük değerleri.....	71
Tablo 6.2 : Aluminotermite kaynak kimyasal yapısı.....	80
Tablo 6.3 : S49 R260 Esas metalin kimyasal bileşimi.....	80
Tablo 7.1 : Aluminotermite kaynak amortisman maliyetleri.....	83
Tablo 7.2 : Aluminotermite malzeme maliyeti.....	84
Tablo 7.3 : Aluminotermite kaynak işçilik maliyeti.....	85
Tablo 7.4 : Aluminotermite kaynak birim işçilik maliyeti.....	85
Tablo 7.5 : Aluminotermite kaynak toplam maliyeti.....	86
Tablo 7.6 : Yakma alın kaynak amortisman maliyetleri.....	88
Tablo 7.7 : Yakma alın kaynak malzeme maliyeti.....	89
Tablo 7.8 : Yakma alın kaynak günlük işçilik maliyeti.....	90
Tablo 7.9 : Yakma alın kaynak birim işçilik maliyeti.....	90
Tablo 7.10 : Yakma alın kaynağı toplam maliyeti.....	91
Tablo 7.11 : Kaynak maliyetlerinin karşılaştırılması.....	92
Tablo 8.1 : Sertlik ölçüm sonuçları .....	98
Tablo 8.2 : Kimyasal test sonucu numune 1.....	99
Tablo 8.3 : Kimyasal test sonucu numune 2.....	99
Tablo 8.4 : Kimyasal test sonucu numune 3.....	99
Tablo 8.5 : Aluminotermite kaynak yapım süresi.....	105
Tablo 8.6 : Yakma alın kaynak yapım Süresi.....	106
Tablo 8.7 : Kaynak dayanımlarının karşılaştırılması.....	113
Tablo 8.8 : Teknik karşılaştırma.....	114

## ŞEKİLLER

Şekil 2.1 : Balastlı hat enkesiti.....	5
Şekil 2.2 : S49 ray profili.....	6
Şekil 2.3 : Ray bölümleri.....	9
Şekil 3.1 : Ray iç gerilmeleri.....	19
Şekil 3.2 : Ray gerdirme pompası.....	22
Şekil 3.3 : Ray ısıtma ekipmanları.....	24
Şekil 4.1 : Seyyar gaz basınç kaynak makinesi.....	27
Şekil 4.2 : Ray ısıtma aparatı .....	31
Şekil 4.3 : Plastik tokmak makinesi.....	31
Şekil 4.4 : Pota.....	31
Şekil 4.5 : Cüruf tablası.....	31
Şekil 4.6 : Masterlama gurubu .....	32
Şekil 4.7 : Hidrolik ray gerdirme.....	32
Şekil 4.8 : Mekanik ray çektirme.....	32
Şekil 4.9 : Ray delme.....	33
Şekil 4.10 : Tirfonöz-blonöz.....	33
Şekil 4.11 : Kaynak sıyırma makinesi .....	33
Şekil 4.12 : Kaynak taşlama makinesi.....	33
Şekil 4.13 : Kaynak boşluğunun hizalanması.....	35
Şekil 4.14 : Aluminotermite kaynak kalıp bağlama.....	36
Şekil 4.15 : Potanın ısıtılması.....	37
Şekil 4.16 : Potanın yerleştirilmesi.....	37
Şekil 4.17 : Rayların ısıtılması.....	40
Şekil 4.18 : Pota içinde reaksiyon oluşması.....	41
Şekil 4.19 : Porsiyonun kalıba dökülmesi.....	42
Şekil 4.20 : Aluminotermite kaynağında ray sıyırma işlemi.....	42
Şekil 4.21 : Sıyırma işlemi tamamlanmış ray.....	43
Şekil 4.22 : Aluminotermite kaynak yapılmış ray görünüşü.....	43
Şekil 4.23 : Sabit yakma alın kaynak makinesi .....	45

Şekil 4.24 : Yakma alın kaynağı prensibi .....	47
Şekil 4.25 : FBW yakma işlemi .....	51
Şekil 4.26 : FBW Yanma işlemi .....	53
Şekil 4.27 : FBW Şişirme işlemi.....	54
Şekil 4.28 : FBW Soğutma işlemi.....	55
Şekil 4.29 : Yakma alın kaynağı sonrası taşlama işlemi.....	56
Şekil 4.30 : FBW Otomatik kafa ayarlama .....	57
Şekil 5.1 : Kara delikler.....	65
Şekil 5.2 : Ray gövdesinde çatlak.....	65
Şekil 5.3 : Yırtılmalar.....	66
Şekil 5.4 : Kaynakta kum kalıntısı.....	66
Şekil 5.5 : Yetersiz nufuziyet.....	67
Şekil 5.6 : Gözenekler.....	67
Şekil 6.1 : Sertlik ölçme noktaları.....	73
Şekil 6.2 : Sertlik ölçüm sonuç ekranı.....	73
Şekil 6.3 : Rayın yorulma deney düzeneği.....	74
Şekil 6.4 : Statik eğilme test düzeneği.....	75
Şekil 6.5 : Eğme test makinesi .....	75
Şekil 6.6 : Ultrasonik muayene cihazı.....	76
Şekil 6.7 : Ultrasonik test düzeneği.....	78
Şekil 6.8 : Ray mikro yapısı .....	79
Şekil 6.9 : Kaynak mikro yapısı.....	79
Şekil 8.1 : AT kaynağında gözenekler.....	96
Şekil 8.2 : AT kaynağında oyulma.....	96
Şekil 8.3 : AT kaynak HAZ kırığı .....	96
Şekil 8.4 : Ray mantarında kırıklar.....	96
Şekil 8.5 : Ray tabanında kırıklar.....	97
Şekil 8.6 : Dolgu kaynağında kırıklar.....	97
Şekil 8.7 : Dolgu kaynaklı çatlak kaynak .....	100
Şekil 8.8 : Kaynak altında hat bozukluğu.....	100
Şekil 8.9 : Ray kesme yapılması .....	101
Şekil 8.10 : Kesik kupon aralığı .....	101

Şekil 8.11 : Gece kaynak çalışması .....	102
Şekil 8.12 : Geometrik kontrol.....	102
Şekil 8.13 : FBW makinesi ile test rayı kaynağı.....	102
Şekil 8.14 : Mantar mikro yapısı 100X.....	103
Şekil 8.15 : Mantar mikro yapısı 500X.....	103
Şekil 8.16 : Taban mikro yapısı 100X.....	103
Şekil 8.17 : Taban mikro yapısı 500X.....	103
Şekil 8.18 : Kaynak mikro yapısı 100X .....	104
Şekil 8.19 : Kaynak mikro yapısı 500X.....	104
Şekil 8.20 : Eğilme test makinesi.....	104
Şekil 8.21 : Eğme test sonuç grafiği.....	104
Şekil 8.22 : AT sertlik grafiği.....	107
Şekil 8.23 : FBW sertlik grafiği.....	107
Şekil 8.24 : AT ile FBW sertlik profillerinin karşılaştırılması.....	108
Şekil 8.25 : AT Makro görünümü.....	109
Şekil 8.26 : FBW Makro görünümü.....	109
Şekil 8.27 : AT Mikro yapı görünümü.....	111
Şekil 8.28 : FBW Mikro yapı görünümü.....	111



## KISALTMALAR

Aluminotermite Kaynak Yöntemi(Aluminothermic Welding)	:	AT
Düşük Karbonlu Östenitik Manganez Çeliği (Low- Carbon Austenitic Manganese Steel)	:	LC-AMS
Gaz Basınç Kaynağı (Gas Pressure Welding)	:	GPW
Isıdan Etkilenmiş Bölge (Heat Affected Zone)	:	HAZ
İngiliz Demiryolları (British Railways)	:	BR
İstanbul Teknik Üniversitesi	:	İ.T.Ü
Östenitik Manganez Çeliği (Austenitic Manganese Steel)	:	AMS
Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları	:	TCDD
Uluslararası Demiryolu Birliği (Union Internationale des Chemins de fer)	:	UIC
Uzun Kaynaklı Ray	:	UKR
Yakma Alın Kaynak Yöntemi(Flash Butt Welding)	:	FBW

## SEMBOLLER

Alternatif Akım	:	AC
Alüminyum:	:	Al
Brinell Sertlik Birimi (Hardness Brinell)	:	HB
Çalışma Sıcaklığı	:	$T_{\text{çal}}$
Demir	:	Fe
Doğru Akım	:	DC
Fosfor	:	P
Karbon	:	C
Kilo Jull	:	kJ
Krom	:	Cr
Maksimum Sıcaklık	:	$T_{\text{mak}}$
Mangan	:	Mn
Megapascals	:	Mpa
Minimum Sıcaklık	:	$T_{\text{min}}$
Molibden	:	Mo
Newton	:	N
Nikel	:	Ni
Ortalama Sıcaklık	:	$T_{\text{ort}}$
Ses frekans birimi	:	MHz
Silisyum	:	Si
Titanyum	:	Ti
Tungsten	:	W
Vanadyum	:	V
Vickers Sertlik Birimi	:	HV

# 1. GİRİŞ

## 1.1 ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Sanayi devrimi ile birlikte özellikle 1900 yılların başından itibaren Amerika ve Avrupa'da demiryolu inşaatları hız kazanmıştır. Yeni teknolojik gelişmelerle birlikte ilk olarak Japonya'da kırk yıl önce kullanılmaya başlanan ileri teknoloji ürünü yüksek hız trenleri 1980'lerden itibaren tüm Avrupa'da yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeler ile birlikte yeni hızlı tren hatları yapılmaya başlanmış ve mevcut demiryolu hatları hızlı trenlere uygun hale getirilmiştir.

Globalleşen dünyamızda teknolojinin baş döndürücü bir hızla ilerlemesi ve zamanın çok değerli bir değer olması nedeniyle ulaşım sistemlerinde yüksek hızların önemi bir hayli artmıştır. Avrupa'da ülkeler arasında yüksek hızlı demiryolu ağları kurularak ortalama 300 km/sa hızla giden trenler kullanılmaktadır. 2007 yılında Fransa'da demiryolu ulaşımında 575 km/saat ile bir rekora da ulaşılmıştır. Ülkemizde Ankara-Eskişehir arasında yüksek hızlı tren 275 km/sa hıza ulaşmıştır.

Ülkemizin 1856 yılında ilk demiryolu inşaatına başlanmış Cumhuriyetin ilanı ile devam etmiş 1940'lı yıllarda sona ermiştir. 1940'lı yıllardan günümüze kadar küçük çaplı ilaveler ve iyileştirmeler yapılmıştır. 1940 yılından sonra ulaşımında önceliği karayolu almıştır. 1986 yılından itibaren özellikle şehir içi raylı sistemlerin yapımına başlanmış ve her yıl yeni projeler ile devam edilmiştir. Bugüne kadar İstanbul, İzmir, Ankara, Bursa, Antalya, Eskişehir, Kayseri, Samsun, Adana ve Konya'da şehir içi raylı sistemler yapılmış ve birçok projenin inşaatı devam etmektedir. Diğer büyük illerimizde de birçok proje bitme aşamasındadır. TCDD'de son yıllarda özellikle elektrifikasyon, sinyalizasyon ve yol iyileştirme çalışmalarına hız vermiştir. Özellikle İstanbul-Ankara arası hızlı tren ve tüp geçit projelerinin hayata geçirilecek olması demiryollarına olan ilginin arttığını göstermesi açısından önemlidir. Demiryolu taşımacılığını diğer taşımacılık yöntemlerine göre hız, ekonomiklik, güvenilirlik, çevre temizliği ve yüksek kapasite gibi üstünlükleri nedeni ile birçok ülke (Özellikle gelişmiş ülkeler) tarafından tercih edilmiştir.

İkinci Dünya savaşından sonra olan önemli gelişmeler; uzun kaynaklı rayların girişi, beton traverslerin, ağır rayların, elastik bağlantı elemanlarının kullanımı ve gelişmiş ölçme teçhizatının girişi ile demiryolları sürekli bir gelişim süreci içine girmiştir. Raylar demiryolu yapısının en önemli parçasıdır. Bu nedenle ray sistemlerinin seçimi, döşenmesi, bakım ve tamir metotlarının seçimi son derece önemlidir. Teknik alandaki sürekli gelişmeler, gerek demiryolu taşıtlarında gerekse taşıtların üzerinde hareket ettiği ray ve yol malzemeleri ile bunların imalatında sürekli yenilikler getirmekte, bunun sonucunda imalatta önemli rol oynayan kaynak tekniği de bir o kadar önem kazanmaktadır.

Kaynaklı bağlantıların kullanılmasından önce demiryolu taşımacılığında kullanılan raylar birbirlerine cebirelerle bağlanarak kilometrelerce uzunluğunda hatlar elde ediliyordu. Halen de var olan bu teknik kullanıldığında, hava sıcaklığına bağlı olarak, rayların genleşerek uzaması veya kısalmasını dengelemek için ray bağlantı uçlarında boşluklar bırakılır. Bu boşluklar her bir tekerleğinin geçişinde gürültü ve sarsıntıya yol açarak konforlu bir yolculuğu önlediği gibi, güvenlik açısından da belli bir hız limitinin üzerine çıkılmasını engellemektedir. Ayrıca cebireli bağlantılar; bakım giderleri, ray kırılmaları, araçlarda yolda yıpranma ile yüksek maliyetli bir teknik olarak ortaya çıkmaktadır.

Söz konusu sorunları aşmak amacıyla raylar, birbirlerine cebireler yerine yaygın olarak yakma alın kaynağı veya aluminotermite kaynak kullanarak birleştirilmeye başlanmıştır. Yaygın olmamakla birlikte gaz basınç kaynağı ve kapalı ark kaynağı kullanılarak yapılan ray birleştirmeleri uygulanmaktadır. Aluminotermite kaynağı ülkemizde hafif raylı sistemler tramvay ve metro hatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tezde amaç ray birleştirme için kullanılan aluminotermite ve yakma alın kaynak yöntemlerini ekonomik ve teknik yönden karşılaştırmalı olarak incelemek ve yakma alın kaynak yönteminin aluminotermite kaynak yöntemlerine göre üstünlüklerini ve tercih edilme nedenlerinin saptamaktır.

## 1.2 DEMİRYOLLARININ DOĞUŞU VE TÜRKİYE'DE GELİŞİMİ

Demiryolu hattının doğuşu çok eskilere dayanır. Eski yunanlılar atla çekilen arabaların tekerlekleri altına iki sıra döşeme taşı döşerlerdi. Mısırlılar piramitler yapılırken iri taşları çekmek için tekerlekle yol arasına sürtünmenin azaltılması ve çekimin kolaylaşması için kaygan cisimleri kullanmışlardır.

15 yy özellikle maden ocaklarında ağır yükler taşındığında yola birbirine paralel kalaslar döşenmiştir. 1767'de demir sanayicisi Reynold elindeki demirleri ucuz satmaktansa bunları arabaların üzerinde çekildiği kalas dizilerine kaplamıştır. Böylece fiyat arttığında satmayı düşünmüştür. Fakat deneme çok başarılı olmuş, taşımalar ucuza mal olduğu için kaplama demirlerini sökmekten vazgeçmiştir. Rayın bugünkü profilini alışı 1820'de demirin haddelenmesinin bulunuşundan sonra olmuştur(Evren 1999, s.8).

1665'de Çin de Vergust adlı bir misyoner buharla çalışan ve kendi kendine hareket eden bir taşıt yapmıştır. 1680'de Newton buhar gücü ile hareket eden bir taşıt yapmıştır. 1769'da Fransız Cugmot buharla yolda hareket eden arabayı yapmıştır. 1802'de İngiliz Trewitcict ray üzerinde hareket eden arabayı yapmıştır. Ancak tekerlekle ray arasındaki sürtünmenin aracı hareket ettirmeyeceği düşüncesi ile tekerlek girintili, pürüzlü temas yüzeyini yapmış ilk lokomotif adını da buradan almıştır.

1813'de Blachett tekerlekteki pürüzü azaltmış ve bir miktar yük taşımıştır. 1815'te George Stevenson 4–5 ton ağırlığında silindirik bir lokomotif yapmıştır. Yine George Stevenson saatte 22 km hızla giden bir lokomotif yapmıştır.

Osmanlı İmparatorluğu zamanında ilk demiryolu 1856'da bir İngiliz şirketine verilen imtiyazla İzmir –Aydın arasına inşa edilmiştir. 130 km uzunluğundaki bu hattın 23 km'lik kısmı 1860 tarihinde yürürlüğe girmiş tamamı 1866'da teslim alınmıştır(Evren 1999, s.10).

İmtiyaz verilen başka bir İngiliz şirketi tarafından İzmir - Turgutlu - Afyon hattı ile Manisa–Bandırma hattının 98 km'lik kısmı 1865 yılında tamamlanmıştır. Hattın kalan

bölümleri ise sonraki yıllarda peyderpey tamamlanmıştır. 1869 yılında imtiyaz hakkı Baron Hirche verilen 200 km'lik demiryolunun İstanbul – Edirne- Alpulu arası 1888 yılında tamamlanmış ve Avrupa demiryollarına bağlanmıştır. 1924–1950 döneminde mevcut demiryolu şebekesine 3578 km'lik bir ekleme yapılmıştır. 1950 yılından sonra demiryolu yatırımları azalmış ve 30 yıl içerisinde sadece 873 km yeni hat yapılmıştır.1999 yılında demiryollarının toplam uzunluğu 8.255 km ye ulaşmıştır(Evren 1999, s.14).

TCDD'nin 2009 yılsonu itibarı ile 9.083 km ana hat ve 2.322 km tali hat olmak üzere toplam 11.405 km ile demiryolu hattında taşımacılık faaliyetleri yapmaktadır(TCDD 2009, s.4).

Gelişmiş ülkelerdeki ulaştırma sistemi içerisindeki demiryolu ağırlığı ve taşıma payı gelişmemiş ülkelere göre daha dengeli gözükmektedir. Ayrıca çevre dostu olan demiryolu ve denizyolu için son yıllarda gelişmiş ülkelerde daha çok yatırım ayrılmakta ve hızlı tren taşımacılığı da hızla gelişmektedir.

Avrupa ülkelerinde ülkemize nazaran ulaştırma sistemleri içerisinde demiryolunun aldığı pay özellikle yük taşımacılığında dengeli bir dağılım göstermektedir

Yolcu-Km bazında değerlendirdiğimizde Türkiye'de demiryolunun aldığı pay yüzde 2,2 iken İngiltere'de yüzde 7 Almanya'da 7,7 Belçika'da yüzde 7,3 ve Fransa'da yüzde 10,3 olmuştur(TCDD 2009, s.20).

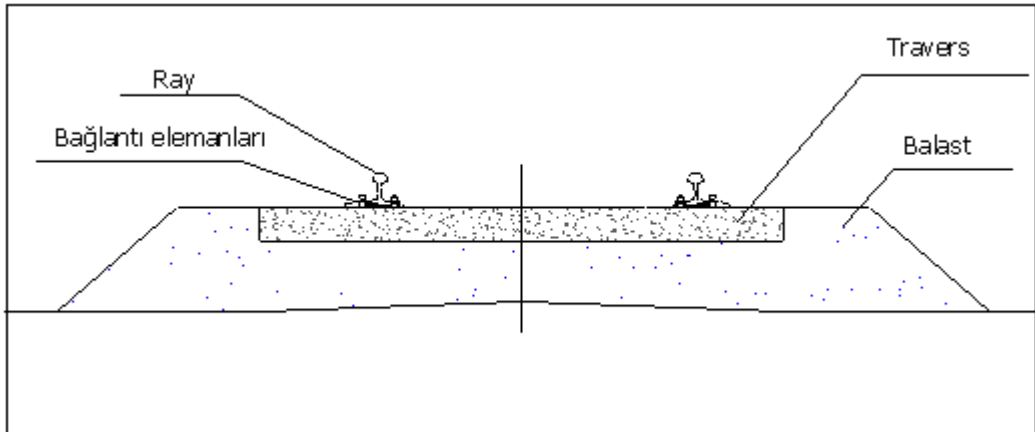
Ton-km de ise Türkiye'de yüzde 4,6 iken İngiltere'de yüzde 7,1 Almanya'da yüzde 20,9 Belçika'da yüzde 24,6 ve Fransa'da yüzde 14,5 olmuştur(TCDD 2009, s.20).

Bu sonuçlar önümüzdeki yıllarda ülkemizin yolcu ve yük taşımacılığında hızla demiryoluna yönelmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

## 2. DEMİRYOLU RAYLARI

### 2.1 GİRİŞ

Demiryolu üstyapısında raylara girmeden önce üstyapıyı tanımak ve görevlerini bilmek gerekir. Demiryolu taşıtlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlayan ve altyapı üzerine döşenmiş bulunan malzeme ve elamanlarının tümüne üstyapı denir. (Şekil 2.1)' de balastlı bir yolun en kesiti gösterilmiştir. Bu tanımdan anlaşılıyor ki, demiryolu yalnız ray, travers ve balasttan ibaret olmayıp, bunlarla birlikte istasyon tesisleri, arabalar, emniyet ve sinyalizasyon tesisleri gibi taşıma işine yardımcı tüm tesislerin oluşturduğu bir bütündür.



Şekil 2.1: Balastlı hat enkesiti

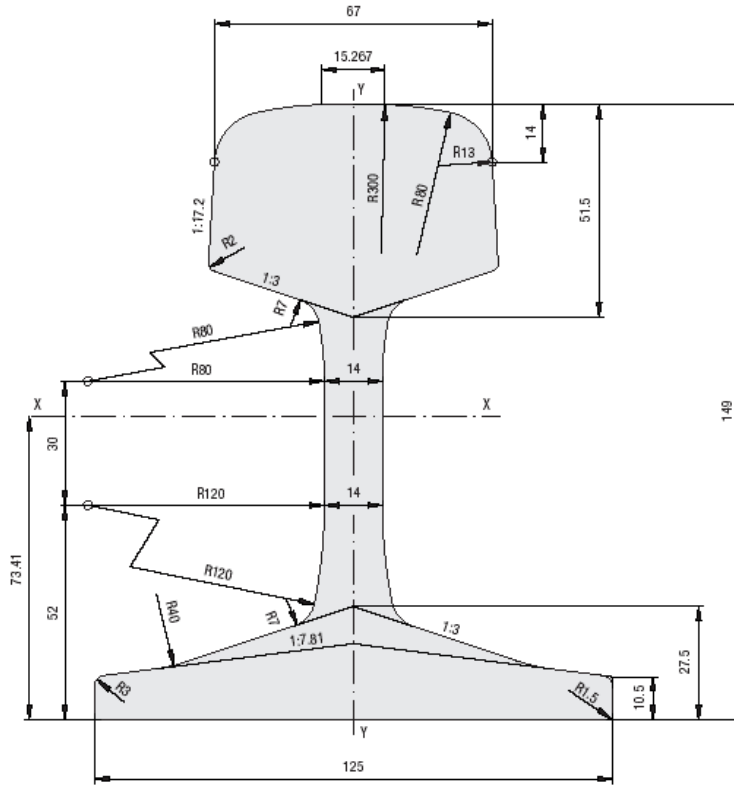
### 2.2 ÜSTYAPININ GÖREVLERİ

- Yol boyunca demiryolu vasıtalarına düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak.
- Demiryolu taşıtlarından gelen statik ve dinamik yükleri güvenle ve kalıcı şekil değiştirmelere uğramadan karşılamak ve kısmen azaltarak bu kuvvetleri altyapıya iletme.
- Yeterli elastikliğe sahip olmak

- d) Şekil bozukluğuna uğradığında, kolayca eski durumuna getirilebilir özellikte olmak.
- e) Yüzey sularını bünyesinden kolaylıkla uzaklaştırılabilir özellikte olmak.
- f) Uzun ömürlü ve ekonomik olmak(Arlı 2002, s.3).

### 2.3 RAY

Ray demiryolu arabaları ile direk temasta bulunan, aşınmaya karşı dayanıklı ve yüksek dayanımlı çelik malzemeden yapılmış en kesit tipi (Şekil2.2)'de görülen bir üstyapı elemanıdır. Trafik yüklerinin ve seyahat hızlarının artması ile birlikte yola etkileyen statik ve dinamik zorlamalara maruz kalan rayın bu etkilere güvenli bir şekilde ve uzun bir süre dayanabilecek bir yapıda olmaları gerekir. Raylar demiryolu yapısının en önemli parçası olarak görülebilir. Raylar uzun yıllar hizmet ederler. Bu nedenle ray sistemlerinin seçimi, döşenmesi, bakım ve tamir metotlarının seçiminde pek çok kıstas dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.2: S49 ray profili



Bu değerlendirmede uygun değer tasarım elde etmek için net olarak yükler ve maksimum hızlar hakkında kesin verilerin bilinmesi gerekir. Raylar ve makaslar her zaman konforlu geçişe uygun olmalıdır. Emniyet tehlikede olmasa bile seyahat sırasında lokomotif ve vagonları rahatsız edecek derecede vibrasyon ve sarsıntılara maruz kalabilir. Demiryolu çok iyi inşa edilmiş ve mkemmел geometride olsa bile makasların, kurpların ve zıt kurpların düzensiz oluşturulması yolcuları çok rahatsız edecek hatta korkutacak kuvvetli hareketlere sebep olabilir.

Raylar ağır taşıt trafiğinde, 35 tona kadar yükler dingile etkiyebilmekte, günümüzde yüksek hızlı trafikte 350 km/sa hıza ulaşabilmektedir. Topografyaya göre şehirlerarası demiryolunda raylar 300 m yarıçapa kadar dşenebilmektedirler ve bu sebeple tekerlek çıkıntılarının dış ray st kenarlarına vurmalarıyla raylara çok yüksek eksenel yükler etkimektedir. Rayların bu şekilde yüksek kuvvetlere dayanabilmesi aşağıdaki özellikleri taşımaları gerekmektedir:

- a) Aşınmaya karşı yüksek dayanım
- b) Basınca karşı yüksek dayanım
- c) Yorulmaya karşı yüksek dayanım
- d) Yüksek akma dayanımı, gerilme dayanımı ve sertlik
- e) Gevrek kırılmaya karşı yüksek dayanım
- f) Kaynaklanma kolaylığı
- g) Yüksek derecede saflık
- h) İyи yüzey kalitesi
- i) Profilin düzgün ve yerine getirilmiş olması
- j) retim sonrası az miktarda gerilimin birikmiş olması(ztrk 2008).

şekil bakımından başlıca üç ray tipi kullanılmıştır.

- a) Tek mantarlı raylar (Vinyol tipi)
- b) Oluklu raylar
- c) ift mantarlı raylar(Sevim 2007, s.4).

### **2.3.1 Tek Mantarlı Ray**

Bu tip raylar ilk defa 1832 yılında Amerika'lı Stevens tarafından yapılmış, ancak yapının değil geniş anlamda kullanımını sağlayan İngiliz mühendis Vinyol'un ismi verilmiştir . Ülkemizde ve dünyada en yaygın olarak kullanılan ray tipidir.

İlk profiller 25 kg/m den daha küçük ağırlıklarda idi. Sonraları dingil yükleri ve hızların artması ile beraber bakım masraflarını azaltacak şekilde rayın birim ağırlığı 40, 50, 60 ve hatta 70 kg/m ye kadar çıktı. İlk zamanlar rayların uzunluğu 12 m olarak saptanmıştır. Ancak iki dingilli araçların dingilleri arasında da 12 m ye yakın aralık bulunduğu için contalara ön ve arka dingillerin çarpmaları aynı zamanda meydana geldiğinden sakıncalı bulundu. Günümüzde raylar kaynaklanmak suretiyle “uzun boylu raylar” elde edilmekte ve bunlar kullanılmaktadır. En çok üretilen ray boyları 18, 24, 30, 36 m uzunluktadır. Fakat Almanya'da 60 m ve Avusturya'da 108 m uzunlukta raylar da üretilmektedir.

### **2.3.2 Oluklu Ray**

Oluklu raylar daha çok tramvay hatlarından kullanılırlar. Ayrıca demiryolu ve karayolunun kesiştiği yerlerde (hemzemin ve özellikle rıhtım hatlarında) kullanılırlar.

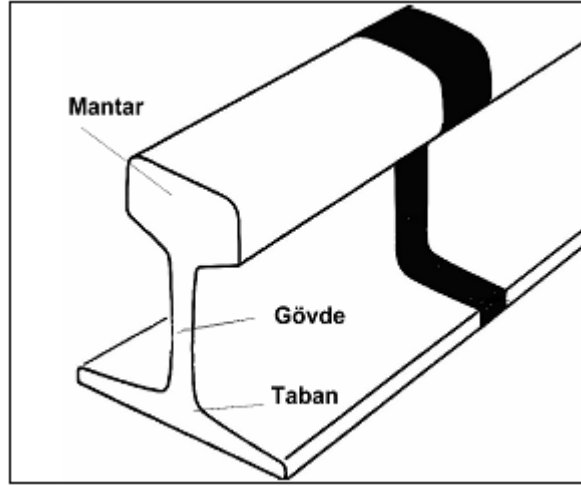
### **2.3.3 Çift Mantarlı Ray**

Bu raylar simetrik bir şekil gösterip bir alt bir de üst mantardan meydana gelirler. Bu rayın ortaya atılışındaki fikir üst mantarın aşınmasından sonra rayın çevrilmesiyle bu defa yuvarlanma yüzeyi olarak alt mantarın kullanılması idi. Fakat üst mantarla beraber alt mantarın da sürtünmeler ve korozyon nedeniyle aşınmasından dolayı bu hususun imkânsızlığı anlaşıldı. Bu tipte raylar traverslere tespit edilmiş özel ahşap takozlarla sıkıştırılmak suretiyle tespit edilerek kullanılmıştır. En son olarak bu rayı kullanan İngilizler de 1938 yılında bundan vazgeçtiler. Şimdi ancak Fransa'nın bazı bölgelerinde ikinci dereceden hatlarda kullanılmaktadır(Sevim 2007, s.4).

## 2.4 RAYIN GÖREVLERİ

- Taşıt tekerleklerine düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak
- Demiryolu arabalarının tekerlekleri vasıtası ile tatbik ettikleri dingil yüklerini uygun bir yük dağılımı ile traverslere iletmek.
- Aşınmaya karşı dayanıklı olmak
- Ekonomik olmak
- Elektrikli hatlarda elektrik iletkeni gibi fonksiyon gösterir.
- Sinyal akımlarını iletir.

(Şekil 2.3)'teki ray kesitini inceleyecek olursak üç bölümden oluştuğunu görürüz.



Şekil 2.3: Ray bölümleri

**Ray mantarı:** Şekli, tekerlek profili ile iyi temas edecek biçimde olmalıdır. Ray mantarı ölçüleri yüksek aşınma toleransını sağlamaya yeterli olmalıdır.

**Ray gövdesi:** Ray gövdesinin kalınlığı korozyondan etkilendiği durumda bile eğilmeye, burkulmaya karşı yeterli sağlamlığı sağlayacak şekilde olmalıdır. Ray başlarında cebire (rayları birbirine bağlamada kullanılan bağlantı parçası) bağlantı delikleri, gövde kısmında bulunur.

**Ray tabanı:** Ray tabanının genişliği; ray profilinin stabilizesini traverslere yük dağılımını ve yanal istikametteki gerekli atalet momentini sağlamak üzere geniş

olmalıdır. Ray tabanı aynı zamanda direk veya dolaylı olarak traverse rayı bağlamaya hizmet eder(Sözal 1987, s.23).

## 2.5 RAYIN MEKANİK DAYANIMI

Raylar bandajla devamlı temas halinde bulduklarından dolayı birbirlerini aşındırırlar. Rayın yüksek dayanımlı olması bandajın raydan fazla aşınmasına, bandajın yüksek dayanımlı olması rayın fazla aşınmasına sebep olur. Asıl amaç, raydaki ve bandajdaki aşınmasının en düşük düzeyde olmasını sağlamaktır.

Rayın dayanımının yükselmesi çeliğin kimyasal tertibini değiştirmekle, karbon miktarını çoğaltıp, ayrıca manganez karıştırmakla temin edilir, bu ise rayda uzamanın azalmasına yani kırılma dayanımının artmasına neden olur. Rayda aşınma dayanımının yüksek olması istendiği gibi kopma uzamasının da yüzde10'dan az olması istenmez.

Perlitik çeliklerde mekanik özellikler büyük ölçüde sementit ( $Fe_3C$ ) tabakalarının kalınlıkları ve tane boyutlarına bağlıdır. Sementit tabakalar arasındaki mesafe azaldıkça, kırılma dayanımı ve akma noktası artar. Çünkü akma noktasında sementit tabakalar arasındaki mesafenin etkisi daha büyüktür. Bu elastiklik değerinde gelişme demektir. Ray dayanımını tane boyutları ve sementit tabakalar arasındaki kalınlığa bağlıdır. Benzer bağlantı çarpma testlerinin sonuçları içinde elde edilir.

Ray uçlarının birbirine kaynatılması son yıllarda yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Diğer demir-çelik ürünlerinde olduğu gibi, raylarda da kaynak kabiliyeti, karbon oranı arttıkça azalmaktadır. Normal olarak alaşımsız standart çelik tipi raylar kolay kaynak yapılabilmektedir. Mn, Cr, Si, Mo gibi alaşım ilaveleri ise kaynak kabiliyetine olumsuz etkilemektedir. Alaşım elementleri, kaynak esnasında martensit oluşumuna ve dolayısıyla fazla sertlik ve gevreklik tehlikesine sebebiyet vermektedir(Aytekin 1989, s.327).

Ray çeliğinin birleşiminde demirden başka karbon, silis, manganez, fosfor ve kükürt bulunur. Bunlardan karbon, silis ve manganezin belli bir miktarda bulunması, rayı daha

dayanımlı yapması için gereklidir. Fosfor ve kükürt ise çeliğin bünyesinden tamamen çıkarılmayan zararlı maddelerdir(Sevim 2007, s.6).

Karbon, dayanımı artırır ama kırılma eğilimine de neden olur, bundan dolayı ray içindeki oranı on binde 37–60 arasındadır. Silis, çeliğin oksitlenmesini zorlaştıran bir element olup, ayrıca malzemenin daha akıcı, yoğun ve ince zerreli, homojen olmasını sağlar. Rayın cinsine göre silis miktarı on binde 30-50'dir. Manganez karbonun 2–3 katı kadar konulur, yani on binde 70–210 kadardır

Tren hızlarının ve dingil yüklerinin artması ray çeliğinin kalitesinin de artmasına sebep olmuştur. 1882'de maksimum çekme dayanımı 50 kg/mm<sup>2</sup> iken günümüzde 70 ile 120 kg/mm<sup>2</sup> arasındadır. Ray çeliğinin mekanik dayanımının artması ani kırılmalara sebep olabilir. Bu yüzden, daha fazla dayanım istenmeyen bir durumdur. Ray çeliklerini iki sınıfta düşünebiliriz.

- a) Normal çelik sınıfı, yüzde 0,4 – 0,6 karbon, maksimum çekme dayanımı 70-90 kg/mm<sup>2</sup>
- b) 2- Sert çelik sınıfı, kurplarda kullanılır, maksimum çekme dayanımı 90 – 120 kg/mm<sup>2</sup>

## 2.6 RAYIN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Raylar bandajla devamlı temas halinde bulduklarından dolayı birbirlerini aşındırırlar. Rayın yüksek dayanımlı olması bandajın raydan fazla aşınmasına, bandajın yüksek dayanımlı olması rayın fazla aşınmasına sebep olur. Asıl amaç, ray ve bandajın beraberce aşınmasının en düşük düzeyde olmasını sağlamaktır. Ray çeliği içinde demir dışında karbon silis ve manganezin belirli miktarda bulunması fayda sağlar. Fosfor ve kükürt ise rayda bulunması istenmeyen zararlı maddelerdir(Kumbasar 1972).

**A- Karbon:** Karbon miktarının artması sertliği ve aşınma dayanımını artırır ve sünekliği azaltır. Normal kalitede çelikte yüzde 0,4 – 0,6 oranında karbon vardır.

**B- Manganez:** Bütün ticari çeliklerde çok az miktarda manganez vardır. Yüzde (0,3 – 0,8) Fazla manganez sertliği artırır. Manganezin artırılması, karbonun düşürülmesi aynı çekme dayanımı sağlarken sünekliği de korur. Yüzde 11 – 14 oranındaki manganez aşınma dayanımını artırır.

**C- Krom:** Krom sertliği ve aşınma dayanımını artırır. Yüzde 2 – 2,5 krom ve yüzde 0,3 – 1,5 karbon içeren çelik çok sert ve çok yüksek çekme dayanımına sahiptir. Kırılmazlığı ve aşınma direnci de iyidir.

**D- Krom – Manganez:** Karbonu artırmak çeliğin yorulma dayanımını düşürdüğü için, karbonun yerine daha fazla manganez ve krom kullanılır.

**E- Silisyum:** Çeliğin oksitlenmesini zorlaştıran bir element olup, ayrıca malzemenin daha akıcı, yoğun ve ince zerreli, homojen olmasını sağlar. Rayın cinsine göre silis miktarı on binde 30-50'dir(Özsaraç 2005, s.12).

**F- Fosfor:** Fosfor çeliğin daha sert olmasını sağlamasına rağmen elastikiyetin azalmasında karbondan daha etkilidir. Bu nedenle ray cinsine göre yüzde 0,03–0,08 miktarları arasında olması gerekir.

**G- Kükürt:** Ray üretiminde kükürt kesinlikle istenmez. Fakat üretimindeki zorluklar nedeni ile ray içerisinde en fazla yüzde 0,03–0,06 arasında bulunmasına izin verilir.

**H- Denk Miktarda Karbon Yüzdesi:** Karbon, manganez ve krom karıştırılarak eşdeğer karbon yüzdesi bulunur.

Eşdeğer karbon yüzdesi:  $C\% + Mn \% + Cr \%$

Denk karbon miktarının yüzde 0,1 oranında artırmak, çekme dayanımında 7 kg/mm<sup>2</sup> bir artış sağlar. Üç elementin aşınma direnci üzerinde olan etkisi açık değil, ama eşdeğer karbonun yüzde 0,1'si düşey mantar aşınmayı yüzde 4,5 – 7,5 oranında azalttığı kaydedilmiştir

## 2.7. SERT ÇELİK SINIFLARI

Sert çelik sınıflarının en az çekme kapasitesi 90 kg/mm<sup>2</sup>'dir ve yatay aşınmanın, plastik deformasyonun ve ray hatalarının normal raylarının ömrünü azalttığı yerlerde kullanılır. Çelik sınıfına göre karbon ve manganez oranları (Tablo 2.1) 'de gösterilmiştir.

3 sınıf sert çelik vardır. C sınıfının kaynağı zor ve yavaş olduğu için Avrupa demiryolları uzmanları tarafından kabul edilmemektedir.

**Tablo 2.1: Çelik sınıfları**

Sınıf	Karbon	Manganez
A	0,6 - 0,75 %	0,8 - 1,3 %
B	0,5 - 0,65 %	1,3 - 1,7 %
C	0,45 - 0,6 %	1,7 - 2,1 %

Ray sınıfına göre Brinell sertlik değerleri (Tablo 2.2)' de raylara uygun yapılan kaynakların ortalama sertlik aralıkları vardır.

**Tablo 2.2: Ray sertlik tablosu**

Ray Sınıfı	Sertlik Aralığı HB	
	Ray Merkez hattında	Kaynak Merkez Hattı
200	200–240	230±20
220	220–260	250±20
260	260–300	280±20
260Mn	260–300	280±20
320Cr	320–360	330±20
350HT	350–390	350±20
350LHT	350–390	350±20

### 3. UZUN KAYNAKLI RAYLAR

#### 3.1 GİRİŞ

İkinci Dünya savaşıdan sonra olan önemli gelişmeler; uzun kaynaklı rayların girişi, beton traverslerin, ağır rayların, elastik bağlantı elemanlarının kullanımı ve gelişmiş ölçme teçhizatının girişi ile demiryolları sürekli bir gelişim süreci içine girmiştir. Trenlerin ağırlığı ve hızlarının daima artması ile ray ve makasların imalatının gelişimi, dolayısıyla yeni ve gelişmiş malzemeler, imalat ve bakım talimatlarını değiştirmek zorunluluğunu getirmiş, bu da demiryolu yapımında ve bakımında kaynak süreçlerinin daha yaygın uygulanmasına öncülük etmiştir.

Demiryollarının yapımında özellikli bir kaynak yönteminin ilk önemli uygulaması muhtemelen kısa uzunluktaki rayların birbirine bağlanması için aluminotermite kaynağının 1902 yılında Avusturya demiryollarında, Budapeşte’de kullanılması ile gerçekleşmiştir. O zamandan beri çeşitli kaynak yöntemleri demiryollarında değişik amaçlarla uygulamaya konulmuş ve uzun kaynaklı rayların imalatı ile birlikte elektrik yakma alın kaynağı uygulamaya girmiştir. Bugün kilometrelerce uzunlukta tek parça halinde sürekli kaynaklı raylar demiryollarında kullanılmaktadır. Elektrik yakma alın kaynağının bazı durumlarda rayları kaynatmanın en etkili metodu olduğu kabul edilmekte ve demiryollarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1954 yılında gaz basınçlı kaynak Japonya’da uygulamaya konulmuş ve bugün çok başarılı sonuçlar alınmıştır.

Bütün ray kaynak metodları da ray uçları karşılıklı getirilerek dikey ve yatay olarak ray başlarının birbirine dengelenerek kaynakla birleştirilmesidir. Ülkemizde atölyelerde alın kaynağı, pozda alın kaynağı ve aluminotermite kaynağı metodları kullanılmaktadır.

Aluminotermite kaynağı günümüzde özellikle tamir amaçlı olarak sahada kullanılmaktadır. Aluminotermite kaynağı ve elektrik ark kaynak yöntemlerinin yakma alın kaynağı ve gaz basınçlı kaynağa göre en önemli dezavantajı birleştirme için kullanılan malzemenin ana malzemedan farklılık göstermesidir. Bu farklılık dolayısıyla zamanla gerek atmosferik şartlar gerek ray üzerinden geçen tekerleğin sürtünme kuvveti



ile kaynak bölgesi farklı aşınmaktadır. Aşınan bu bölgeler gürültü yaparak yolcu konforunu, vuruşu yaparak alt yapıyı ve yuvarlanma yüzeyini bozmaktadır. Bu nedenle günümüzde yeni hatlarda ve poz çalışmalarında aluminotermite kaynağı yerini yakma alın kaynağı veya gaz basınçlı kaynağa bırakılmaktadır.

Trenlerin ağırlığı ve hızlarının daima artması ile ray ve makasların imalatının gelişimi, yeni ve gelişmiş malzemeler, imalat ve bakım süreçlerini değiştirmek zorunluluğunu getirmiştir. Zorunlu olarak bu, demiryolu yapımında ve bakımında kaynak süreçlerinin daha yaygın uygulanmasına öncülük etti.

### **3.2 UZUN KAYNAKLI RAY OLUŞTURMA**

Sıcaklık değişimlerinden dolayı raylarda ilave gerilmeler meydana gelir. Kısa boyaaki raylarda (12 – 24 – 36 metre) bu gerilmeler ray uçlarında bırakılan boşluklarla karşılanmaktadır. Çeşitli boylardaki rayların birleştirilerek uzun boya ray elde edilmesine uzun kaynaklı ray (UKR) denmektedir. Rayların uzaması suretiyle meydana gelen bu kuvvetlerin uzun kaynaklı raylarda mutlaka yol üst yapısı içerisinde giderilmesi gerekir. Bu sebeple de üst yapıda, rayla- traversler arasında kuvvetli bir gerilme (İtme Direnci) boyuna ve çaprazına sürtünme direnci ile iyi bir balast yatağı sağlayan sağlam çerçeve teşkili gereklidir. Gerektiğinde direnci yükseltmek için yolda antişöminman takozları ve direnç artırıcı levhalar kullanılmalıdır(Günoral 2002, s.116).

Cebireli bağlantıdan uzun kaynaklı rayaya geçişte aşağıdaki faydalar sağlanmıştır.

- a) Konfor artmıştır
- b) Ray başlarının ezilmeleri önlenmiştir
- c) Ray kırılmaları azalmıştır
- d) Üstyapı malzemelerinin yıpranması azalmıştır
- e) Çeken ve çekilen vasıtalarda yıpranma azalmıştır
- f) Gürültüyü azalmıştır
- g) Enerji tasarrufu sağlamıştır
- h) Araç hızlarının artmasına uyum sağlanmıştır
- i) Bakım maliyetleri azalmıştır.

Yukarıda yazılı olan amaçları elde etmek için, raylar başlangıçta 3–5–10 adet olarak kaynatılmış ve UKR yapımına geçişte bu kaynaklama işlemi ilk aşama olmuştur. Bu tip raylar ‘kısa kaynaklı ray’ olarak vasıflandırılmıştı. Zamanla bağlantı sistemlerindeki teknolojik gelişmeler ray içinde meydana gelen gerilmelerin hapsedilmesine, dolayısıyla rayların uzunlmasına hareketlerinin önlenmesini doğurmuş, neticede bu yöntem hakkında duyulan bütün tereddütleri ortadan kaldırarak demiryollarında, contalardaki süreksizliklerin kaldırılarak boydan boya sürekli ray teşkili prensibi önem kazanmış ve UKR teşkiline geçiş hızlandırılmıştır.

### **3.3 UZUN KAYNAKLI RAY YAPIM KOŞULLARI**

#### **3.3.1 Geometrik Koşullar**

- a) Meyil yüzde 60'den fazla olmamalı ve düşey kurb yarıçapı 5000 m den büyük olmalıdır.
- b) Alt yapıda tasman ve çökmeler bulunmamalıdır.
- c) Dar imlalarda platform genişletildikten sonra UKR uygulanmalıdır.
- d) Genelde balastın azaldığı veya kirlendiği bölgelerde olmamalıdır.
- e) Yolun yenilenmesi yapılmış olmalı pozdan sonra stabilizesini kazanmış olmalıdır.
- f) UKR yapılacak kesimde yolun balastı elenmiş olmalı ve travers altında 300 mm kalınlığında balast bulunmalıdır. Bu miktar gerektiğinde aralıklı olarak 200 mm ye kadar düşebilir(Günoral 2002, ss.116-118).

#### **3.3.2 Üst Yapı İle İlgili Koşullar**

- a) Rayların aşınma, korozyon ve eğrilik olmamalıdır.
- b) Ray uçlarında ezilme ve şakuli ayrılık bulunmamalıdır.
- c) Son tamirattan sonra yolun balastı yüzde 100 tamamlanmış ve standart balast en kesiti sağlanmış olmalıdır. Travers başlarında balast genişliği 350 mm olmalı kurblarda özellikle dış dizide arttırılmalıdır.
- d) Balastın azalmasına sebebiyet veren bölgelerde ve  $R \leq 400$  m yarıçaplı kurblarda direnç arttırıcı levhalar kullanılmalıdır.

- e) Travers aralıkları maksimum 650 mm olmalıdır. (UIC-720 E)
- f) Balastın büyüklüğü 30-60 mm olmalı, balast kübik sert ve temiz olmalıdır(Günoral 2002, ss.116-118).

### **3.3.3 Kaynak Yapılmadan Önce Yolda Yapılması Gereken Önlemler**

- a) Ray ek kaynakları çok soğuk ve çok sıcak mevsimlerde yapılmamalıdır. UKR için kaynak ortalama sıcaklıktan en fazla +3 °C farklı sıcaklıkta yapılmalıdır.
- b) Kaynaktan önce mutlaka rayların gerilimi alınmalıdır.
- c) Bırakılacak uzama contalarının köprü, viyadük ve hemzenin geçitler üzerine getirilmemesine dikkat edilmelidir.
- d) Kaynaklanacak raylarda şakuli aşınmadan dolayı seviye farkları bulunmamalıdır. Ray uçları ezilmiş contalarda dolgu kaynağı ile ıslah edildikten sonra ek kaynağı yapılmalıdır.
- e) Mümkün olduğu kadar deliksiz raylar kullanılmalı delikli ray kullanıldığında delik ray ucuna en az 90 mm mesafede olmalıdır. Raylar asla oksijenle kesilmemelidir. Oksijenle kesmek mecburiyetinde kalındığında ray ucunda kesme sonucu kalan çapaklar taşlama suretiyle giderilmelidir.
- f) Eski (kullanılmış) raylarda UKR yapılmadan önce raylar ultrasonik ray çatlak muayene cihazı ile kontrol edilmelidir.
- g) Kavak ve plastik seletler tamamlanmalı, kırık rondelâlar yenilenmeli ve küçük bağlantı malzemesi yağlandıktan sonra yeterince sıkılmalıdır.
- h) Yanal ısınmanın çok hızlı olduğu hat kesimlerinde UKR yapılmamalı kaynaktan önce yan al aşınmış raylar tebdil edilmelidir(Günoral 2002, ss.116-118).

### **3.4 KAYNAKTA SICAKLIĞIN TESPİTİ**

Emniyetli uzun kaynaklı yol yapımı için ortalama ray sıcaklığının tespiti çok önemlidir. Ray ısısı, ray termometresi ile hatta ray'dan ölçülür. Bu ısı günlük ve meteorolojik hava

ısından farklıdır. Ortalama yıllık ray ısı yıl içinde ölçülen maksimum ve minimum ısıların ortalamasıdır. Bu ısının tespiti için son 5 yılın ortalamasını almak yararlıdır.

**Ortalama Sıcaklık:** Normal iklim şartlarına göre o bölgedeki ( $T_{\text{mak}}$ ) maksimum ve ( $T_{\text{min}}$ ) minimum ray sıcaklıkları tespit edilmelidir.

$$T_{\text{ort}} = (T_{\text{mak}} + T_{\text{min}}) / 2 \quad (3.1)$$

Tespit edilen en düşük sıcaklık ile en yüksek sıcaklık matematiksel olarak toplanarak ikiye bölünerek  $T_{\text{ort}}$  (Ortalama sıcaklık) bulunur.

Çalışmalar sırasında olması gerekli sıcaklıklar ise, rayın genişmesi için en uygun sıcaklıktır. Bu değer ortalama sıcaklığın birkaç derece üzerinde olabilir.

$$T_{\text{çal}} = T_{\text{ort}} + 5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

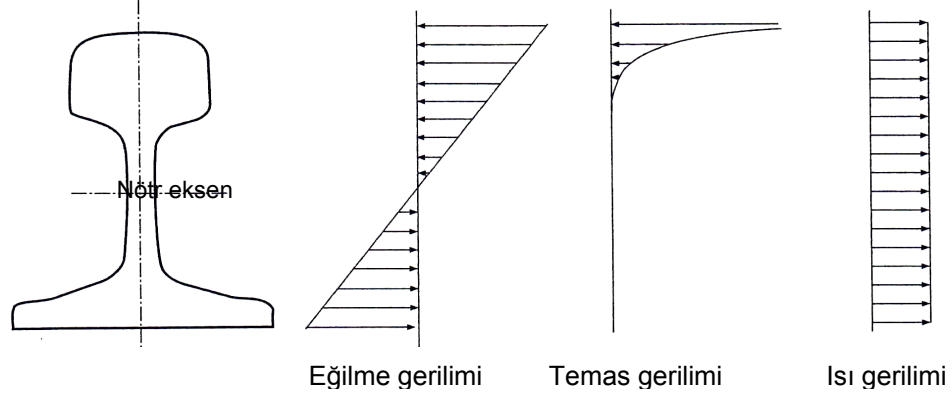
Bulunan  $T_{\text{çal}}$  (Çalışma sıcaklığı) değeri +3,-3 tolerans edilebilir. Döşenen raylarda genişme sıcaklığı geçici olarak döşeme sıcaklığıdır. Raylar -3 °C ila +30 °C sıcaklıklarda kaynaklanarak birleştirilebilirler. Ancak UKR haline getirilecek rayların mutlaka ortalama sıcaklıkta gerilimlerinin alınması gerekir. Ray boyu 60 m aşıyorsa gerilim alınması esastır. (Günoral 2002, s.120).

### 3.5 RAYLARDA GERİLİM

(Şekil 3.1)şematik olarak farklı ray mantarı gerilmelerini göstermektedir. Düşey yük;

- a) Rayda eğilme gerilimine,
- b) Ray mantarında basınç gerilimine
- c) Ray pateninde çekme gerilimine neden olmaktadır.
- d) Rayda tekerlek kontak basıncı ek bir basınç gerilimi yaratmaktadır.

- e) İlave basınç veya çekme gerilimi, sıcaklığın nötr ray sıcaklığının altında veya üzerine olmasına bağlı olarak meydana gelmektedir(Öztürk 2008).



**Şekil 3.1: Ray iç gerilmeleri**

Ray üretimi sırasında, yuvarlama düzeltme süreci, boylamasına yönde yüksek iç gerilmeye neden olmaktadır. Rayın düzeltilmesi sırasında değişen yönlerde elasto-plastik eğilme gerçekleşir. Hareketli yüzeyde ve rayın tabanındaki orta alanda çekme gerilmesi, eğilme şiddetinin yarısına ulaşır. Gerilme rayın iç kısmına doğru azalır. Geçiş alanında sıfır noktasını geçer. Ray ağı merkezine doğru basınç gerilmesi  $200 \text{ N/mm}^2$ 'ye yükselebilir(Öztürk 2008).

Yüksek iç gerilme, ray gövdesinde kolayca boylamasına çatlakların oluşumuna sebep olabilmektedir. Bu yüzden iç gerilmeyi düşürmek arzu edilmektedir.

Bu gerilme tesviye silindirleri arasındaki mesafeden etkilenmektedir. Bu mesafe 1350 mm den 1800 mm ye çıkarıldığında iç gerilme yüzde30'dan fazla oranda azalacaktır. Bir başka seçenek ise poliyamitten yapılmış lastikli tesviye silindirlerinin kullanımınıdır. Bu işlem, iç gerilmeyi yaklaşık olarak ray mantarında yüzde 25, ray gövdesinde yüzde 10, ray tabanında ise yüzde 20 oranlarında azaltmaktadır. Gelişmiş silindir kalibrasyonu da iç gerilmeyi ray mantarında yüzde 20, ray tabanında yüzde 30 oranında azaltabilmektedir. Soğutma esnasında yapılan özel ölçümler ve ray şekil değiştirme işlemi iyi bir düzeltme sağlamaktadır. Bu durumda iç gerilme, düşük düzeltme kuvvetleri nedeniyle daha düşüktür. Düşük iç gerilme ile boylamasına gövde

çatlaklarına, ray tabanından başlayan enlemesine çatlaklara dayanan ray özelliklerinde, önemli iyileşmeler olmaktadır(Öztürk 2008).

Boyu 60 m 'yi aşan kaynaklanmış raylar uzun kaynaklıdır. Gerilim alınmadan ve ortalama sıcaklıkta en uzun 360 m boya kadar raylar kaynaklanmalıdır. Ray boyları 60 m'yi aştıktan sonra mutlaka rayların gerilimi alınmalıdır.

Raydaki gerilmelerin kaynakları şunlardır:

- a) Hertz gerilmeleri (tekerlek - ray temasında)
- b) Rayın balastın üzerinde eğilmesinden kaynaklanan gerilmeler
- c) Ray mantarının gövdesi üzerinde eğilmesinden kaynaklanan gerilmeler
- d) Sıcaklıktan kaynaklanan gerilmeler
- e) Yüklerin kalkmasından sonra kalan plastik gerilmeler

### **3.5.1 Ortalama Sıcaklıkta Rayların Geriliminin Alınması**

Değişik sıcaklıklarda çeşitli boylara çıkarılmış raylar, birbirine eklenmeden önce itibari (Ortalama) sıcaklıkta gerilimleri dengelenmelidir. Kaynaklanacak raylar, ray travers bağlantıları sökülerek rulolar üzerine konur. Ray bağlantıları gevşetilmeden önce 50 m' de bir ray kenarına işaret konularak rayın uzunluğuna hareketi gözlenir.

Ray sıcaklığı ortalama sıcaklığa geldiğinde ray içerisindeki gerilim dengelenmiş olacağından kaynak bölgesinde yeterli mesafe bırakılarak raydaki uzama kesilir. Ray yerine alınarak travers bağlantıları usulüne uygun olarak sıkılır kaynak yapılır Burada dikkat edilecek en önemli husus kaynağın ortalama sıcaklık değişmeden bitirilmesidir.

(Tablo 3.1)' de ray boylarına göre değişik ray ısı farklılığında bırakılması gereken conta boşlukları gösterilmiştir.

**Tablo 3.1: Genleşme conta uzunlukları**

Ray boyu (m ) ve uzama (mm)												
Isı farkı (°C)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
1	0,4	0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,1	3,5	3,8	4,1
2	0,7	1,4	2,1	2,4	3,5	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9	7,6	8,3
3	1,0	2,1	3,1	4,1	4,2	6,2	7,3	8,3	9,3	10,4	11,4	12,4
4	1,4	2,8	4,1	5,5	6,9	8,3	9,7	11,0	12,4	13,8	15,2	16,6
5	1,7	3,5	5,2	6,9	8,6	10,4	12,1	13,8	15,5	17,3	19,0	20,7
6	2,1	4,1	6,2	8,3	10,4	12,4	14,5	16,6	18,6	20,7	22,8	24,8
7	2,4	4,8	7,3	9,7	12,1	14,5	16,9	19,3	21,7	24,2	26,6	29,0
8	2,8	5,5	8,3	11,0	13,8	16,6	19,3	22,1	24,8	27,6	30,4	33,1
9	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5	18,6	21,7	24,8	28,0	31,1	34,2	37,3
10	3,5	6,9	10,4	13,9	17,3	20,7	24,2	27,6	31,1	34,5	38,0	41,4
11	3,8	7,6	11,4	15,2	19,0	22,8	26,6	30,4	34,2	38,0	41,8	45,5
12	4,1	8,3	12,4	16,6	20,7	24,8	29,0	33,1	37,3	41,4	45,5	49,7
13	4,5	9,0	13,5	17,9	22,4	26,9	31,4	35,9	40,4	44,9	49,3	53,8
14	4,8	9,7	14,5	19,3	24,2	29,0	33,8	38,6	43,5	48,3	53,1	58,0
15	5,2	10,4	15,5	20,7	25,9	31,1	36,2	41,4	46,6	51,8	56,9	62,1
16	5,5	11,0	16,6	22,1	27,6	33,1	38,6	44,2	49,7	55,2	60,7	66,2
17	5,9	11,8	17,6	23,5	29,3	35,2	41,1	46,9	52,8	58,7	64,5	70,4
18	6,2	12,4	18,6	24,8	31,1	37,3	43,5	49,7	55,9	62,1	68,3	74,5
19	6,6	13,1	19,7	26,2	32,8	39,3	45,9	52,4	59,0	65,6	72,1	78,7
20	6,9	13,8	20,7	27,6	34,5	41,4	48,9	55,2	62,1	69,0	75,9	82,8
21	7,3	14,5	21,7	29,0	36,2	43,5	50,9	58,0	65,2	72,5	79,7	86,8
22	7,6	15,2	22,8	30,4	38,0	45,5	53,1	60,1	68,3	75,9	83,5	91,1
23	7,9	15,9	23,8	31,7	39,7	47,6	55,6	63,5	71,4	79,4	87,3	93,2
24	8,3	16,8	24,8	33,1	41,4	49,7	58,0	66,2	74,5	82,8	91,1	99,4
25	8,6	17,3	25,9	34,5	43,1	51,8	60,4	69,0	77,6	86,3	94,9	103

### 3.5.2 Gerdirme Suretiyle Gerilim Dengelenmesi.

Daha önce değişik sıcaklıklarda çeşitli boylarda kaynaklanmış raylar, ortalama ray sıcaklığı altındaki bir ray sıcaklığında gerdirilerek stresinin alınması işlemidir. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2: Ray gerdirme pompası

Kaynaklanacak conta ve stresi alınacak rayların yarısının travers bağlantıları sökülür raylar serbest bırakılarak ray gerdirilir. Germe işleminin en önemli işlemlerinden birisi ray sıcaklıklarının ölçülmesidir. Ray sıcaklıkları, ray gövdesine yapışan mıknatıslı termometrelerle veya 600 mm kupon rayın mantarında açılan deliğe konan cıvalı termometrelerle ölçülür. Termometreler, her rayın gölgeli tarafında tabanına veya gövdesine yerleştirilmeli ve korunmalıdır. Her ray için en az üç termometre kullanılmalıdır. Bunlar germe noktası yakınlarına, serbest rayın orta noktasına ve ankraj uzunluğu yakınlarına yerleştirilmelidir. Termometreler arası maksimum mesafe 200 m olmalıdır. Termometreyi yerleştirdikten sonra ilk okumayı almadan önce en az 10 dakika beklenmelidir. Uzamaların hesabında kullanılacak sıcaklık değeri, referans noktası belirlenmeden önceki son anda okunmalıdır. Gerdirme için gereken uzama miktarı her ray için hesaplanmalıdır. Tüm uzama tam olarak serbest uç (germe noktası) üzerinde işaretlenmeli ve orantılı uzamalar referans noktalarının ortasına işaretlenmiştir. Böylece germe süresince rayın hareketi daha kolay kontrol edilebilir

Gerdirme sırasındaki ray sıcaklığı ile ortalama ray sıcaklığı arasındaki mesafe kazanılıncaya kadar gerdirilmeye devam edilir. Raylarda stres (gerilim) alınmasının en uygun yöntemi gerdirme sureti ile stres alınması metodudur(Günoral 2002, s.122).



### 3.5.3 Isıtma Suretiyle Gerilimin Dengelenmesi

Daha önce değişik sıcaklıklarda, çeşitli boylarda kaynaklanmış raylar ortalama ray sıcaklığı altında bir ray sıcaklığında, ray travers bağlantısı sökülerek raylar serbest bırakılır. Serbest bırakılan raylar ortalama sıcaklığı bulununcaya kadar ısıtılır. Isıtma propan gazlı özel ısıtma cihazları ile yapılır. Ray sıcaklığı ortalama ısıyı bulunca uzamanın tamamlandığı izlenir. Uzamanın tamamlandığı anlaşılınca ray bağlantıları takılarak torkuna uygun şekilde sıkılır. Ray ek kaynağı yapılır(MEB 2008).

Bu sistem çok dikkat gerektiren ve pahalı bir işlemdir. Onun için kısa boylu raylarda ve çok ender kullanılan bir sistemdir.

Yapılışı aşağıdaki gibidir:

- a) Raylar, optimum sıcaklığın (-20) ve (+15) derece toleransları arasında 144 m'ye kaynaklanır. Isıtmak suretiyle gerilim almada ray sıcaklığı, optimum sıcaklığın (-4) ve (-20) altındaki aralıkta olmalıdır. Örneğin: Optimum sıcaklığı 25 derece olan yerde 5 ila 21 derece arasındaki ray sıcaklığında yapılır.
- b) UKR yapılacak raylar gerilim almadan önce tamamen gevşetilmelidir.
- c) İlk 144 metre rayın kaynaklanacak başı gönyesine göre delik mesafesi (en az 100 mm) dikkate alınarak kesilir
- d) Rayların optimum sıcaklığın üst sınırı olan +3 derece toleransında hesaplanan uzayacağı miktar işaretlenir ve bu uzama sağlanana kadar apara ile ısıtılır. Aynı anda ısıtılmakta olan raylar, uzamanın kolaylaştırılması için plastik balyozlarla tokmaklanır.
- e) Ray ısıtılmaları esnasında kaynak makinesi ısıtılmayan ray üzerine gider, ısıtma tamamlanıp yeterli uzama sağlanınca geri gelir.
- f) Uzama sağlandığında diğer 144 metre ray, bir çekiciye (kepçe, loder gibi) bağlı çekirme vasıtası ile baş başa getirilir ve makine kaynağı yapılır.
- g) Isıtılan raydaki uzama sağlanınca geri kaçmaması için derhal belirli sıklıkta çalıştırılan tirfonözler vasıtası ile 144 metre ray sıkılır.
- h) Eğer aluminotermite ray kaynağı yapılacaksa ray çekirmesinde yeterli kaynak aralığı bırakılır.

i) İkinci contaya geçildiğinde bu sefer diğer 144 metre rayda aynı işlemler tekrar edilir(MEB 2008,ss.3-4).

(Şekil 3.3)'te ray ısıtma ekipmanları görülmektedir



**Şekil 3.3: Ray ısıtma ekipmanları**

## 4. RAY BİRLEŞTİRME KAYNAK YÖNTEMLERİ

### 4.1 GİRİŞ

Demiryollarının yapımında özellikli bir kaynak sürecinin ilk önemli uygulaması muhtemelen kısa uzunluktaki rayların birbirine bağlanması için aluminotermite kaynağının(AT) 1902 yılında Avusturya demiryollarında, Budapeşte’de kullanılması ile gerçekteşmiştir. O zamandan beri çeşitli kaynak süreçleri demiryollarında değişik amaçlarla uygulamaya konulmuş ve uzun kaynaklı rayların imalatı ile birlikte elektrik yakma alın kaynağı(FBW) ve gaz basınçlı kaynak yöntemleri uygulamaya girmiştir. Demiryollarında kaynak uygulamaları bugün fabrikada (atölyede) olduğu kadar yol kenarında hatta yolda ve demiryolu trafiğini aksatmadan gerçekteşirebilecek bir seviyeye ulaşmıştır. Dünyada yaygın olarak 4 tip ray birleştirme kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bu kaynak yöntemleri,

- a) Elektrik ark kaynağı ile ray kaynağı
- b) Gaz basınç kaynağı ile ray kaynağı,
- c) Aluminotermite kaynağı ile ray kaynağı,
- d) Yakma alın kaynağı ile ray kaynağı

Uygulamada aluminotermite ve alın kaynak yöntemleri diğer kaynak yöntemlerine göre açık ara önde gitmektedir.

Ray birleştirme kaynakları yapılarak aşağıdaki faydaların sağlanması amaçlanmıştır.

- a) Bakım maliyetlerini azaltmak.
- b) Ray kırılmalarını azaltmak (Özellikle contalarda)
- c) Üst yapıda bakım maliyetlerini azaltmak.
- d) Üst yapı malzemelerinde yıpranmayı azaltmak.
- e) Çeken ve çekilen vasıtadaki aşınmayı azaltmak.
- f) Gürültüyü önlemek.
- g) Yolcu konforu arttırmak.

- h) Enerji tasarrufu sağlamak.
- i) Üst yapı geometrisinin uygun olması halinde sürati arttırmak gibi teknik ve ekonomik avantajların sağlanması amaçlanmaktadır(Günoral 2002, s.116, Onay 2004, s.14).

## **4.2 ELEKTRİK ARK KAYNAK YÖNTEMİ**

Diğer kaynak yöntemlerinin (Alın yakma, gaz basınç veya aluminotermite kaynağı) yapılamadığı yerlerde ( Farklı ray kesitleri, makas bölgeleri, genişleme contaları v.b.) rayları birleştirmek için bu metot kullanılır. Ayrıca raylarda ve makaslarda aşınan yerleri elektrotla doldurmak için kullanılır.

Kaynak dolgu teknolojisi çok gelişmiş olmasına rağmen, kaynak malzemesi rayla tamamen aynı malzeme özelliklerine sahip değildir. Yani, kaynak mineral kompozisyonu ve tanecik yapısıyla raydan farklıdır. Bundan dolayı, kaynağın ray gibi çarpma kuvvetleri, sürtünme ve kayma gerilmelerini karşılayabilmesi için rayla aynı dayanım ve aşınma özelliklerine sahip olması gerekir. Bunun yanında, kaynakta boşluk ve yabancı madde olmamalıdır. Kaynakla rayın birleştiği yerde ısıtmadan dolayı çatlaklar oluşur. Fakat bu çatlaklar kırılmalara neden olmaz, çünkü ray mantarı daha çok basınç gerilmelerine maruz kalmaktadır. Rayda büyük oranda karbon bulunduğu için, ark kaynağı için özel bir ısıtma işlemi uygulanmalıdır. Elektrotlarla yapılan birleştirme kaynaklarında ray tabanı eğilebilir. Fakat eğilme işlemi yapılmaksızın yapılan kaynaklar da başarılı olmuştur(Onay 2004, s.21).

Sertlik ve aşınma özellikleri bakımından dolgu elektrotu ray malzemesine uyumlu olmalıdır. Örneğin, makas göbekleri ve minimum çekme dayanımı 880Mpa olan aşınmaya dayanımlı raylar için Alman Demiryollarına göre 400HB(375–425 arası) sertliğinde elektrotlar kullanılmalıdır.

### 4.3 GAZ BASINÇLI KAYNAK YÖNTEMİ

Bu uygulama yaygın olarak Uzakdoğu ülkelerinde kullanılmaktadır. Gaz Basınç kaynak(GPW) yöntemi Kuzey Amerika demiryolları tarafından yaklaşık 40 yıl boyunca yaygın olarak kullanılmıştır. Kaynakta başarısızlık oranları, kaynaklarının üretimi ile ilgili çözülmemiş kalite sorunları nedeniyle artmıştır. Aynı zamanda aks yükünün artması ile GPW yöntemi süreç sonunda 1980' lerde alın kaynak lehine Kuzey Amerika demiryolu tarafından terk edilmiştir. Çin 27,5 ton dingil yüklü hatlarda servis şartlarında GPW yöntemini kullanmaktadır. Japonya da Tokaido-Sanyo, joetsu yüksek hızlı shinkonsens hatlarında yapılan 260.000 kaynağın yüzde 70 gaz basınçlı kaynak yöntemi ile yapılmıştır. Sahada uzun kaynaklı gaz basınçlı kaynak, elektrot ark kaynak veya Aluminotermit kaynak ile 1500 m uzunluğunda UKR hale getirilir (www.schlattergroup.com 2010).

Gaz basınçlı kaynak depoda ve sahada geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Gaz basınçlı kaynak ilk kez Japonya da 1954 yılında yapılmıştır. 1980 yılından sonra yeni tasarım yapılarak taşınabilir hale getirilmiştir. Japonya' da 1995 de 80.000 adet kaynaktan yüzde 33 gaz basınçlı kaynak ile yapılmıştır. Gaz basınçlı kaynağın çok yaygın olmasının sebebi en az alın kaynak yöntemi kadar güvenilir ve mobil alın kaynak yöntemi ile kalitede kaynak elde edilebilmesidir. Gaz basınç kaynağında rayları birleştirmek için ek bir malzemeye gerek olmadığından kaynak kaliteleri iyi sonuç vermektedir. Seyyar kaynak makinesi (Şekil 4.1)de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Seyyar gaz basınç kaynak makinesi

## 4.4 ALUMİNOTERMİT KAYNAK YÖNTEMİ

### 4.4.1 Giriş

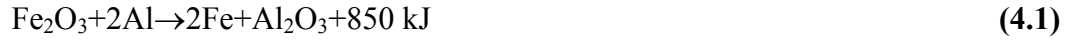
Aluminotermite kaynağı birbirine kaynak yapılacak iki ray parçasının, aluminotermite adı verilen karışım yardımıyla bir pota içerisinde ergiyik hale getirilmesi, ergiyen metalin birleştirilecek parçalar arasındaki boşluğa dökülmesi ve katılaştırılması yoluyla birleştirilmesi prensibine dayanır.

Aluminotermite reaksiyonlar yüksek sıcaklıkta metal oksitler ile alüminyum metali veya alaşımları (AlCa veya AlSi) arasında oluşan ekzotermik reaksiyonlardır. Dışarıdan enerji verilmeksizin yüksek ergime sıcaklığına sahip metal veya alaşımların üretiminde (W veya FeW, Mo veya FeMo, Ti veya FeTi v.b.) yaygın olarak kullanılan aluminotermite yöntemde redükleyici etkiye sahip metal veya metal alaşımları metal oksitler ile (TiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) reaksiyona sokularak yüksek sıcaklığa ulaşılır. Bu esnada aktif elementin tam oksidasyonu ile redüklenen metalin ayrışması ile birlikte akışkan bir cüruf oluşur(Onay 2004, s.45).

Birçok Aluminotermite kaynağı bağlantı süreci mevcut olmasına rağmen tercih edilen süreç kısa bir ön ısıtma tatbik edilen uygulamadır. Kaynak minimum çalışma zamanı gerektirir ve güvenilir sonuçlara sebep olacak ön ısıtmada operatör bağımlılığı yoktur.

Aluminotermite kaynağı aslında bir döküm işlemidir. Demir oksit ve ince taneli alüminyumdan oluşan karışım, noktasal olarak ateşlendiğinde 1200 °C sıcaklığa ulaşır. Bu sıcaklıkta karışım içerisinde ekzotermik (ısıveren) bir tepkime başlar ve sıcaklık 3000 °C ye kadar yükselir. Tepkime sonucunda ergimiş demir elde edilir. Kullanılan teçhizat ve malzeme tamamıyla taşınabilir ve iş herhangi bir harici güç kaynağı kullanılmaksızın yapılabilir.

Kaynakta oluşan ısı, kaynak yerini ısıtmağa yarar, yani aluminotermite demiri ve cüruf kaynak yerinden aktılarak burası kaynak sıcaklığına kadar ısıtılır ve aşağıdaki aluminotermite reaksiyon ile ergime sağlanır. Süreç aşağıdaki(4.1) kimyasal reaksiyon ile kendini göstermektedir.



Rayların Brinell sertliği ısıdan etkilenmemiş bölgede 275 HB iken, kaynak metalinde 285 HB' ye yükselmekte ve ince taneli bölgede dar olarak oluşmuş sertlik aralığında ise düşmektedir. 650°C–750 °C' de yumuşak tavlama sıcaklığı kaynaktan takribi 55 mm uzaklıkta çelik tane yapısını inceltir. En dar noktasında kaynak aralığı 22 mm ve kaynak metali takribi 30 mm genişliktedir.

Aluminotermite kaynağı halen tüm dünyada en sık kullanılan ray kaynağı arasındadır. Özellikle tamir amaçlı kaynaklarda vazgeçilmez bir yöntemidir.

#### 4.4.2 Aluminotermite Kaynağının Tarihçesi

Demiryollarının yapımında özellikli bir kaynak sürecinin ilk önemli uygulaması ise kısa uzunluktaki rayların birbirine bağlanması için aluminotermite kaynağının kullanımı oldu. Avusturya Demiryollarında Budapeste'de 1902 yılında gerçekleşti. Dr.Hans Goldschmidt Almanya'da değişik kasabalardaki tramvaylar için orijinal süreci geliştirdi. İngiltere'de 1904 yılında tramvay raylarının kaynatılması ilk oldu Amerika da 1916 yılında aluminotermite kaynak denemeleri mükemmel sonuçlar vermiştir. 1936'da Amerika da tramvay raylarına yapılan kaynakların yüzde 85 aluminotermite kaynak ile yapılmıştır.

Bakım maliyetleri azaltmak, daha yumuşak bir sürüş sağlamak, yolcu konforunu arttırmak için cebireli hatlar aluminotermite kaynak yöntemi ile kaynaklanmıştır. 1932 yılında Almanlar mevcut tramvay hatlarını ve şehirlerarası hatlarda aluminotermite denemeleri yapmıştır. Alman Devlet Demiryolları standart 30 metre uzunluğundaki rayları 60, 120 ve 300 metre uzunluğunda raylar elde etmişlerdir. Günümüzde tüm Avrupa da köprü ve tünellerin çoğunluğu kaynaklıdır. İngiltere'de raylar aluminotermite kaynak ile kaynatılarak 225 metre uzunluğunda hatlara döşenmiştir. Fransa da ağır tonajlı yük tren hatları ve hızlı tren hatlarında raylar 100 metre uzunluklarda kaynaklı hale getirilmiştir. 1929 da tren kazası nedeni ile kaynaklar sorgulanmaya başlamış ve kaynaklarda muayene yöntemi olarak X-ışınları denenmiştir.

#### 4.4.3 Aluminotermite Ray Kaynak Ekipmanları

- a) Ön ısıtma gurubu
- b) Ray ısıtıcıları
- c) Pota - pota ayağı – pota arabası – cüruf tablası
- d) Mantarlama gurubu
- e) Sıyırma makinesi
- f) Taşlama makinesi
- g) Gerdirme makinesi
- h) Tirfönöz-blonöz makinesi
- i) El buraj makinesi
- j) Ray kesme-delme makineleri vs.den meydana gelmektedir(MEB 2008, s.4-5).

##### 4.4.3.1 Ön ısıtma gurubu

Demir yolları idarelerinin tercihlerine göre normal veya kısa ön ısıtma sistemi belirlenir. Kısa ön ısıtma sisteminde ısıtmanın bir bölümü aluminotermite ile yapıldığından daha fazla aluminotermite kullanılması söz konusudur. Bu da maliyeti etkileyen bir faktördür. Ön ısıtmalarda, karışımları ile bunların kullanılabileceği brülör tüp, hortum basınç düzenleyici, süpresör vs.den oluşur.

- a) Hava - benzin
- b) Oksijen – (propan + bütan)
- c) Oksijen – asetilen

##### 4.4.3.2 Ray ısıtıcıları

Ray ısıtıcıları gerektiğinde rayların sıcaklıklarının ayarlanmasında kullanılır. Bir arabası ve tüpü vardır. Alevi raya yayan ve ısının raya ulaşmasını temin eden 2 metre uzunluğunda sacdan yarım silindir şeklinde yakıcı bölümleri vardır. Tüpte bulunan gaz yakılmak suretiyle ray üzerinde gezdirilerek istenilen bölgenin sıcaklığı artırılır. Ray ısıtıcısı (Şekil 4.2)'de ray tokmak makinesi (Şekil 4.3)'te gösterilmiştir(MEB 2008, s.5).





**Şekil 4.2: Ray ısıtma aparatı**



**Şekil 4.3: Plastik tokmak makinesi**

#### **4.4.3.3 Pota, pota ayağı, pota arabası, cüruf tablası**

Pota içinde aluminotermittin reaksiyona girdiği eriyiğin hazırlandığı kaptır (Şekil 4.4). Kesik koni şeklindedir. İç kısmı 3000 °C sıcaklığa dayanıklı malzemeden imal edilmiştir. Alt kısmında eriyiğin akacağı baga deliği vardır. Kullanılan sisteme göre pota ayağı veya arabası bulunur. Bir pota en fazla 20 kaynak yapılabilmektedir. Tek kullanımlı olan tipi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır . Potadan taşan fazla cüruf ve metalin çevreye zarar vermesini önlemek için (Şekil 4.5)'te gösterilen cüruf tavaları kullanılmaktadır. (MEB 2008, s.5, Onay 2004, ss.51-53).



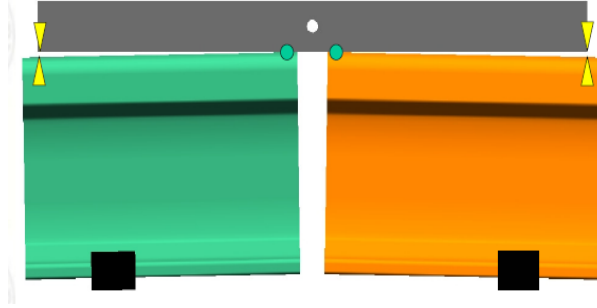
**Şekil 4.4: Pota**



**Şekil 4.5: Cüruf tablası**

#### 4.4.3.4 Mastarlama grubu

Contayı teşkil eden ray başlarını kaynak yapmaya uygun hale getirilmesinde kullanılır. Kontrol için 1 metrelik çelik master, sentil, üçgen mastarlama kullanılır (Şekil 4.6). Mastarlama için ahşap kama ve takozlar kullanılır(MEB 2008, s.6).



Şekil 4.6: Mastarlama gurubu

#### 4.4.3.5 Ray çekirmeleri

Uzun kaynak uygulamalarında ray başlarının kaynak aralığının ayarlanmasında kullanılır. Hidrolik ray gerdirme makinesi (Şekil 4.7)'de, mekanik ray çekirme aparatı (Şekil 4.8)'de verilmiştir.



Şekil 4.7: Hidrolik ray gerdirme



Şekil 4.8: Mekanik ray çekirme

#### 4.4.3.6 Ray kesme-delme makinesi

Gerektiğinde rayların kesilmesinde ve delinmesinde kullanılır. (Şekil 4.9)'da ray delme makinesi gösterilmiştir(MEB 2008, s.7).

#### 4.4.3.7 Tirfonöz-blonöz

Kaynak yapılmasında ve yolun hazırlanması yapıldıktan sonra yolun trafiğe açılmasında tirfon ve bulonların sökölüp takılmasında kullanılır (Şekil 4.10).



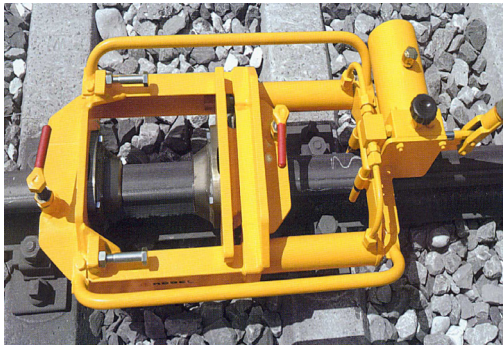
Şekil 4.9: Ray delme



Şekil 4.10: Tirfonöz-blonöz

#### 4.4.3.8 Kaynak sıyırma

Kaynak yapıldıktan sonra ortaya çıkan fazlalıkların sıyırılmasında kullanılır. (Şekil 4.11) Sıyırma makinesi olmayan durumlarda açılı keski varsa balyoz veya diğler metal işleyiciler kullanılabilir. Sıyırma makinesinin bıçakları kullanılacak raya göre ayarlanmalıdır. Hidrolik güçle çalışır. Elle veya motorla kumanda edilen tipleri vardır.



Şekil 4.11: Kaynak sıyırma makinesi



Şekil 4.12: Kaynak taşlama makinesi

#### **4.4.3.9 Taşlama makinesi**

Kaynak fazlalıkları sıyrıldıktan sonra kalan fazlalıkların temizlenmesinde kullanılır. Rayın yuvarlanma yüzeylerindeki fazla malzemeyi taşıyarak hatasız bir yüzey elde edilir. Bir şasiye monte edilen tipleri olduğu gibi el ile uygulamalı tipleri de vardır (Şekil 4.12).

#### **4.4.4 Aluminotermite Kaynağının Uygulama Aşamaları**

##### **4.4.4.1 Kaynak öncesi hazırlık**

Cebire delikli raylarda, delikler zarar görmüş ve çatlak olmamalıdır. Kaynakla delik arasındaki mesafenin 10 cm den az olmasına izin verilmemelidir. Delikleri kesmek mümkün değilse Thermor sızdırmazlık macunu su ile karıştırarak delikler tıkanır. 900 A ve daha üst sınıftaki raylar ray kesme makinesi ile kesilmelidir. Şaloma ile kesme yaparken şablon kullanılmalıdır(Onay 2004, s.49).

Kaynaktan evvel raylar zift, yağ, boya ve paslardan temizlenmelidir. Oksijenle kesilmiş ray yüzeyleri cüruftan tamamen arındırılmalıdır. Öncelikle ray başları cebire ile bağlı ise cebire sökülmelidir. Daha sonra ray uçları tel fırça veya zımpara taşı ile temizlenmeli, yağ, pas ve tüm pisliklerden arındırılmalıdır. Kaynatılacak ray başları ezik olmamalıdır. Kaynatılacak ray uçta bozukluk varsa bozuk kısım kesilmeli hata büyükse ray değişimine gidilmelidir. İki ray arasındaki kaynak açıklığının ise maksimum 22–26 mm aralığında olmasına dikkat edilmelidir. Kaynağın ömrü ve boyutsal kalitesi bakımından ray contası ayarlarında aşağıdaki dört hususa çok dikkat edilmelidir.

- a) Yatay düzlük,
- b) Düşey düzlük,
- c) Dönme,
- d) Kaynatılacak açıklık

Kaynağı soğuma ile çekileceği ve düşüklük meydana gelebileceği göz önüne alınarak kaynatılacak ray başlarına 1m mastar altında toplam 1,2–1,4 mm ve geniş aralıklı

kaynakta 2–2,4 mm yükseklik verilmelidir. Bu işlem için kamalardan yararlanılır. Ray iç kenarına da 0,3mm kadar içe doğru fazlalık verilebilir(Onay 2004, s.49).

Kamalar kaynak tamamen soğuduktan sonra yükseklik tekrar kontrol edilmeli ve eğer gerekiyorsa müteakip kaynakta yükselti değiştirilmelidir. Kenar düzeltmeleri ayar aleti ile veya 1m. Çelik mastar ile yapılabilir. Kurplar ise gözle kontrol edilir. Kaynak açıklığı tüm kaynak işlemi boyunca sabit kalmalı, rayın itilmesi veya çekilmesi gibi bir işleme maruz kalmamalıdır. (Şekil 4.13)' de rayların ayarlanması gösterilmiştir.



**Şekil 4.13: Kaynak boşluğunun hizalanması**

Ön ısıtma sırasında doğabilecek herhangi bir boylamasına hareketin tespit edilebilmesi amacıyla her iki rayın tabanına ve conta traverslerine işaret konulmalıdır. Ön ısıtma sırasında kullanılan yöntemle göre izin verilen limitler dışında bir aralık oluşursa çalışma durdurulmalı ve düzeltmeler yeniden yapılmalıdır.

#### **4.4.4.2 Kalıpların bağlanması**

Taşıyıcı düzeneğini ray başına, ayar çubuğu uzunluğuna göre kasıtsız olarak bağlanır. Eksantrik boru şaloma tutucu gergi düzeneğinin arkasında ve ray gövdesinin üzerine takılabilecek gibi yerleştirilmelidir.

Kalıplar yerleştirilmeden önce hatasız olup olmadığı kontrol edilmeli, döküm kanalı ve hava deliği temizlenmelidir. Kullanılacak kalıplar, ray tipine uygun olmalıdır. İki ray yükseklik farkı 3mm den az ise normal kalıplar alıştırma yolu ile ray şekline uydurulmalıdır. Kalıp tutucu saçtaki kalıbın ilk yarısı dış taraftan kaynak aralığı ortasına

yerleştirilir, ikinci yarı iç taraftan demet olarak karşısına yerleştirilip ray tabanına hatasız olarak oturup oturmadığı kontrol edilir.

Kalıp bağlama esnasında kalıbın içerisine kesinlikle kalıptan kopan parçaların dolmaması gereklidir. Çünkü bu parçacıklar kaynak kalitesini bozmaktadır. Ayrıca kalıp cebire deliğine yakın olmamalıdır. Kaynatılacak ray ile cebire deliği arasındaki en az 100 mm olmalıdır. Çünkü bu delikler kaynağın dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir(Onay 2004, s.50).

Pota taşıyıcısının iki yanında kolların civatalarını kalıbın her iki yönünden eşit olarak sıkıştırılır, işlemi yaparken kalıp yukarı itilir. Ray yüzeyini ve kaynak boşluğu karton ile kapatılır. Ray ile kalıp tutucu sacın arasındaki boşluğu ve taban boşluğu sıvama kumu ile kapatılır. Kalıpların yanındaki ray başlarını örtü sacı ile kapatarak koruma altına alınır. (Şekil 4.14)'de kalıpların raya bağlanması gösterilmiştir.



**Şekil 4.14: Aluminotermite kaynak kalıbın bağlama**

#### **4.4.4.3 Potanın yerleştirilmesi**

Potalar ilk kullanımdan önce şiddetli olmayan bir ateşle dış yüzeyi 100 °C oluncaya kadar (yaklaşık 25 dakika) ısıtılmalı veya bir adet boşa döküm yapılmalıdır. Buradaki amaç potadaki nemin kaynak banyosuna zarar vermesini engellemek için nemi uzaklaştırmaktır. (Şekil 4.15) de potanın ısıtılması gösterilmiştir.



**Şekil 4.15: Potanın ısıtılması**

Tek kullanımlı potaların kurutulmasına gerek yoktur. Eğer potada çatlak varsa ve nem almışsa kurutulsa bile kullanılmamalıdır. Aluminotermit kaynak porsiyonları kullanımında manyezit pota gömlek duvarındaki cüruf her defasında temizlenmelidir. Gömleksiz olan uzun ömürlü pota kullanılırsa, cüruf potayı koruduğu için ancak 15–20 kaynakta bir temizlenmelidir. Temizleme sırasında pota kaplamasına zarar verilmez.



**Şekil 4.16: Potanın yerleştirilmesi**

Uzun ömürlü potada aşınma meydana geldiğinde, pota bacası ve gergi kasnağı ile birlikte yeni uzun ömürlü pota değiştirilir. (Şekil 4.16)' de ayar yapılan bir pota yerleştirilmiştir. Dolumu yapılmış pota, pota tutucusu ile gergi düzeneği üzerindeki boru desteğe yerleştirilir, deneme için kalıp ortasına itilir ve dikeyliği kontrol edilir. Pota tabanı ile kalıbın üst köşesindeki mesafe 2 cm olmalıdır. Pota dikkatlice geriye

çekilerek ön ısıtma işlemi izlenmelidir. Pota hiçbir zaman oturulmuş kalıp üzerinde hazırlanmamalıdır(Onay 2004, s.51).

Tapa; manyetik tapa yerleştirme çubuğu kullanılarak yerine oturtulur ve tapayı tapa deliğinden potaya yerleştirilir. Sıkıca basılarak ve el ile hafifçe vurarak yerleştirilmesi gereken yerine yerleştirilir.

Paketinden çıkartılan sızdırmazlık kumu magnezyum oksit muhafaza borusu çevresine eşit olmak şartı ile dökülür. Kaynak şarjı potaya dökülür. Aluminotermi porsiyonu dikkatlice doldurulur ve konik olarak tepelenir. Ateşleme çubuğunu (maytap) kullanmaya hazır olarak porsiyonun içine konur. Pota; pota kapağı ile kapatılır ve doldurulmuş bulunan Aluminotermi porsiyonunu rutubetten korunur. Uzun ömürlü pota veya manyezit pota gömleği kuru depolanmalı ve zarar görmemesi için dikkat edilmeli. Her kaynak ekibinin yanında kuru bir yedek pota bulunmalıdır.

#### **4.4.4.4 Kaynak porsiyonu**

Rayın tipi ve çekme dayanımı aluminotermi Porsiyonunun cinsini belirler. Kaynak yapılacak ray tipine uygun kalıp ve porsiyon seçimi yapılmalıdır. Aynı tip ray için kullanılan kaynak yöntemlerinin kalıplarının farklı olduğu unutulmamalıdır. İki farklı sınıftaki ray kaynak edilirse, düşük sınıftaki raya uygun kaynak porsiyonu kullanılır. Aluminotermi miktarı ve bileşimi kullanılan rayın tipine göre belirlenir. Eğer 900A kalitesinde bir ray ile 700 bir ray ile kaynaklanıyorsa, aluminotermi malzemesi sertleştirilmemiş raya göre seçilmelidir. St 1100 kalitesinde bir ray, St 900A kalitesinde bir raya kaynaklanıyorsa aluminotermi 900A kalitesindeki raya göre seçilir. Uygulanan metodun talimatlarına titizlikle uyulmalıdır(Onay 2004, s.53).

#### **4.4.4.5 Ön tavlama**

Tavlamanın amacı; yaş kalıplarda kalıbın kurutulmasının yanı sıra ray uçlarının sıcaklığının artırılması ile prefabrik kalıplarda ve kısa ön ısıtmalarda ray uçlarının bir miktar ısıtılması ve kalıpların rutubetlerinin alınmasıdır. Ön tavlama işlemi kullanılacak aluminotermi cinsi de dikkate alınarak normal veya kısa ön tavlama sistemine göre yapılmalıdır(Onay 2004, s.54).



Kısa ön tavlama sisteminde ray uçlarını yaklaşık 400–500 °C 'ye kadar ısıtınız. Kaynaklama için gereken fazla ısı aluminotermite tarafından sağlanır. Bu nedenle aluminotermite miktarı fazladır ve kalıp ölçüleri de bu fazla aluminotermite göre yapılmıştır. Normal ön ısıtma sisteminde ray uçlarını 700–900 °C ye kadar ısıtınız ( Bu durumda ray mantarı koyu kırmızı renkte, ray tabanı ise kiraz kırmızısı renginde olmalıdır).

Son zamanlarda geliştirilen tekniğe göre ön tavlama sistemlerinde kullanılan hava benzin, oksijen-propan, oksijen-asetilen karışımlarının basınç ve zamanları ayarlandığında iyi bir kaynak için gerekli ray ucu sıcaklığına ulaşılabilir. Bu bakımdan birçok firma kendi üretimi olan kalıp ve aluminotermite yapılabilecek kaynak ön tavlama sistemlerinde basınç ayarı ve tavlama süreleri belirtilmiştir. Aluminotermite kaynağının yapıldığı demiryolu idaresi veya şirketler kendileri için uygun olan ön tavlama sistemini seçmelidir veya her iki sistemden de uygulamada yararlanılabilir.

Ön tavlama,

- a) Tazyikli hava – benzin
- b) Oksijen – ( propan + bütan)

Oksijen – asetilen yanıcı ve yakıcı maddeleri uygun olarak kullanılmaktadır. Tazyikli hava-benzin ile ön tavlama sisteminde gerekli donanımlar:

- a) Kompresör
- b) Brülör ve tespit ayağı
- c) Hortum
- d) Meşale
- e) Kronometre
- f) Isı tebeşiri

Ray sıcaklığının 0 °C altında ise kaynak yapılmamalı, yapılması zorunlu ise ray başlarından itibaren 0,5–1,0 m uzunluğundaki bölge el ile dokunulacak sıcaklığa ulaşıncaya kadar ısıtılır.

Derin ve derin olmayan oluklu rayların ön ısıtma işleminde Typ 95.506 ön ısıtma şaloması kullanılır. Şalomayı ateşlemek için önce oksijen valfi sonra Propan valfi açılır. Şaloma alev çekirdeği 15–20 mm uzunluğunda olmalıdır. Oluklu raylarda şaloma yüksekliği 8 cm, vinyol raylarda 4 cm olmalıdır. Kalıp hava deliklerinden çıkan alev uzunluğu 35cm civarında olmalıdır. (Şekil 4.17) de ön ısıtma yapılan bir kalıp görülmektedir.



**Şekil 4.17: Rayların ısıtılması**

Ön ısıtıcı şaloma, şaloma tutucusu ile birlikte tavasının kısa bir ısıtılmasından sonra eksantrik borulu gergi düzeneği kalıbın ortasına gelecek şekilde yerleştirilir ve ayar cıvataları hafifçe sıkılır. Şaloma yüksekliğine dikkat edilmelidir. Doğru ayar edilmiş şaloma alevi 35 cm olmalıdır. Şaloma hiçbir zaman fazla oksijen ile çalışmamalıdır. Ön ısıtma sürecinde ray kesiti sıcaklığının eşit olmasına dikkat edilmeli gerekiyorsa şaloma ayarı yapılmalıdır. Ön ısıtma işleminde basınç ayarları manometreden yapılmalıdır.

Propan 1,0 bar

Oksijen 4,5 bar

Normal ön ısıtma şaloma tip 95.506 ile minimum 1000°C (sarı renk) olacak şekilde yapılır. Kısa ön ısıtma şaloma tip 55.502 ile minimum 600°C olacak şekilde yapılır. Ön

ısıtma süresince her iki ray kesitinin eşit olarak ısıtılmasına dikkat edilir(Onay 2004,s.54).

#### 4.4.4.6 Kaynak işlemi

Ön ısıtma işlemi tamamlandıktan sonra nemi kaynak sırasında alınan kalıp kapağı kıskaç maşa ile kalıp içine konur. Potayı döküme almadan kalıpların sızdırmazlığını bir daha kontrol edilmelidir. Pota kapağın tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmalıdır. Aluminotermite porsiyonunu ateşleyici (maytap) ile ateşlenir. Reaksiyona dikkat edilmeli, bu gözlemi yaparken muhakkak koruyucu gözlük kullanılmalıdır. (Şekil 4.18)'te pota içinde reaksiyon görülmektedir. Pota içindeki aluminotermite malzemesinin tepeleştirilmiş en üst noktasından maytap ile tutuşturma ile ekzotermik reaksiyon başlatılır. Reaksiyonun başlamasından yaklaşık 25–30 saniye sonra pota tapası akışı otomatik olarak gerçekleşir. Boşalan pota alınmalı ve rutubetten korunacak şekilde muhafaza edilmelidir. Cüruf kabını, cüruf tamamen soğuduktan sonra boşaltılmalı. Cürufu hiçbir zaman nemli bir tabana boşaltmamalıdır. Döküm yapıldıktan en erken 1 dakika sonra tutucuyu dikkatlice alınır(Onay 2004, s.55).



**Şekil 4.18: Pota içinde reaksiyon oluşması**

Kalıplar, kaynak yönteminde üretici firma tarafından belirlenen sürenin beklenmesinden sonra testere yardımı ile üzerinde kalan kısmının her iki tarafından iz yapılması suretiyle kırılır. Hemen arkasından ray sıyırma makinesi ile kaynak fazlalığı alınır. (Şekil 4.19)'te kalıp içine dökümü yapılmış bir kaynak gösterilmiştir.



**Şekil 4.19: Porsiyonun kalıba dökülmesi**

Sıyırma işlemi kalıbın sökülmesinden hemen sonra olmalıdır. Sıyırma işlemi hidrolik sıyırma aletiyle gerçekleştirilir. (Şekil 4.20)'de sıyırma yapılan bir kaynak görülmektedir. Sıyırma makinesi kesme işlemi takiben ileri konumdaki kol geri konumuna getirilir ve ray kavramaları sökülür. Sıyırma makinesi conta üzerinde alınır. Eğer kesme işlemi tam yapılmamış ise kaynak fazlalıkları özel kaynak keskileri ile temizlenmelidir(Onay 2004, s.56).



**Şekil 4.20: Aluminotermite kaynağında ray sıyırma işlemi**

#### **4.4.4.7 Taşlama işlemi**

Sıyırma işlemi takiben kaba taşlama yapılarak kaynak fazlalıklarının % 80 – 90 alınır. Kaynak sıcaklığı 350°C' nin altına düştükten sonra yol trafiğe açılabilir. Kaynağın yeterince soğuma süresi en az 30 dakikadır. Kaynakların çıkıntısı yolluklar kaynak

soğuduktan sonra koparılmalıdır. (Şekil 4.21)'de sıyırma işlemi yapılmış taşlamaya hazır bir ray görülmektedir(Onay 2004, s.57).



**Şekil 4.21: Sıyırma işlemi tamamlanmış ray**

İnce taşlama ray tamamen soğuduktan sonra yapılır. Kaynaktan bir gün sonra kaynaktan birkaç araç geçmesi şartıyla ince taşlama yapılabilir. Bunun için kaba taşlama sırasında ray üstünde ve yan taraflarında 0,5mm kadar fazlalık bırakılmalıdır.



**Şekil 4.22: Aluminotermite kaynak yapılmış ray görünüşü**

İnce taşlama sonrasında ray üstündeki düşüklük 0,3mm'yi ve ray kenarındaki düşüklük 0,2mm'yi geçmemelidir. Ray üstünde fazlalık olmamalı, ray kenarındaki fazlalık 0,3mm'yi geçmemelidir(Onay 2004).

Taşlamayı takiben zımpara taşı ile zımparalama işlemi yapılarak pürüzsüz bir yüzey elde edilir. (Şekil 4.22)'de aluminotermite kaynak yapılmış bir ray görülmektedir.

#### 4.4.5 Aluminotermite Kaynağını Etkileyen Parametreler

İyi bir kaynak kalitesi elde etmek için kaynaktan önce conta bölgesi kontrol edilmeli geometrik ve fiziksel bozukluklar giderilmelidir. Kaynak yapılmadan önce aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmelidir.

- a) Raylarda aşınma (baş ve yan) izin verilen limitler içinde olmalıdır.
- b) Raylar ultrasonik test yöntemi ile incelenmelidir
- c) Raylar bükülmüş ya da çarpık olmamalıdır
- d) Raylarda kaynak bölgesinde kir, pas ve yağ olmamalıdır.
- e) Raylar alevle kesilmemelidir.
- f) Ray başlarının 10 cm yakınında cebire deliği bulunmamalıdır.

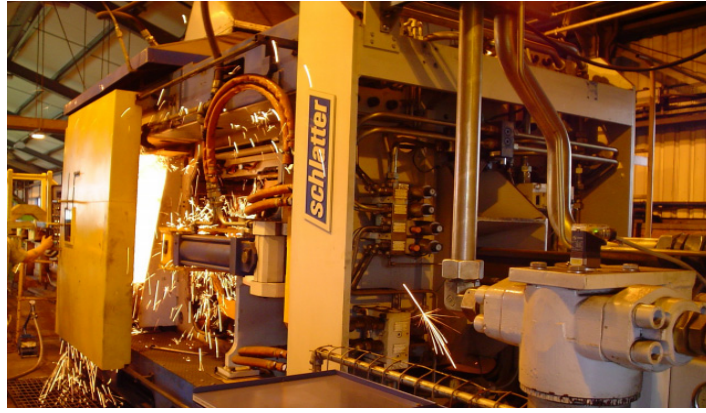
Aluminotermite kaynak parametreleri:

- a) Ön ısıtma sıcaklığı
- b) Ön ısıtma süresi
- c) Kaynak boşluğu
- d) Porsiyonun kimyasal yapısı
- e) Soğuma süresi(Onay 2004, s.44).

## 4.5 YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMİ

### 4.5.1 Giriş

Yakma alın kaynağı, bir direnç basınç kaynak yöntemidir. Kaynak yapılacak rayların ağız kısımları, düzgünce tıraşlanarak erime sıcaklığına kadar ısıtılır. Daha sonra da belirli bir basınçla birbirine alın altına yapıştırılır. Kaynak basıncı, sıcaklık ve zaman malzemenin kendi kimyasal ve fiziksel özelliklerini bozmayacak şekilde ayarlanır. Bunun için gerekli kaynak ısısı, elektrik akımının aktığı kontak noktasının direnci ve yüzeyler arasındaki ark ile sağlanır. Uygulanan aksel basınç ile erimiş metal ve oksitler dışarı sürülerek ana metal bir miktar yığılmaya uğratılır. Yakma alın kaynağı atölyelerde ve sahada ray bağlantılarında ve uzun kaynaklı rayların üretimi için en yaygın kullanılan kaynak prosesidir. Bir yakma alın (FBW) kaynağı bir dövme bağlantıdır ve kaynak makinesinin kapasitesine, birbirine bağlanacak kesit boyutlarına bağlıdır. Sabit yakma alın kaynak makinesi fotoğrafı (Şekil 4.23)'de verilmiştir



**Şekil 4.23: Sabit yakma alın kaynak makinesi**

Ülkemizde TCDD atölyelerinde sabit ark-alın kaynağı makineleri ile raylar belirli uzunluğa kadar (168 veya 180 m gibi) kaynaklanır. Hat geometrisinin ray taşımaya uygun olduğu durumlarda maksimum 500 m kadar raylar kaynatılmaktadır. Kaynaklanan bu raylar özel taşıma vagonları ile kullanım yerlerine sevk edilir. Fabrikalarda yapılan kaynaklar zaman, hava şartları, arazi şartları gibi olumsuzluklar olmadığı için daha ekonomik ve kalitelidir. Tek olumsuz yönü uzun rayların

taşımasındaki zorluktur. Atölyelerde kaynatılan UKR raylar, özel ray taşıma vagonları ile taşınmaktadır (www.schlattergroup.com 2010).

Kaliteli bir alın kaynağı elde edebilmek için de kaynak, sıcaklığı ve zaman parametreleri titizlikle ayarlanmalıdır. Yüksek aşınma dayanımından dolayı yüksek ray aşınma oranının olduğu yollardaki östenitik manganez çeliği raylarına uygulanması çoğu kez yakma alın kaynağı tercih edilmektedir. 110 kg/mm<sup>2</sup> çekme dayanımına sahip, kromlu raylarda doğal soğutma ısı etkili bölgede (HAZ: Heat Affected Zone) martenzittin yüksek seviyede oluşumuna sebep olabilir. Bu bölgedeki sertliğin artışı ve aynı zamanda rijitliğin azalmasına sebep olur. Mikro yapı içinde oluşan gerilmeler tavlama yapılarak giderilebilir(Kökçe 2002, s.144).

Tekniğine uygun bir kaynak yapıldığından emin olmak gereklidir. Bağlanmış ana raylar kadar iyi bir profil sağlanmalıdır. Sabit yakma alın kaynak makinesi 4 noktadan hiza alarak geometrisini otomatik olarak ayarlar. Otomatik ayarlama yaparak operatör hatalarını minimize ettiği gibi geometrik hataları da minimize eder. Kaynak işleminin sonunda taşlama veya değişik formlarda frezeleme ile gerçekleştirilir ve bu durumlarda ray kaynağının ortam sıcaklığında veya yakın derecedeki sıcaklıkta olması, yüzey işlemine müteakip herhangi bir ısıl distorsiyon olmaması bakımından arzu edilir.

Yakma alın kaynağının diğer bir uygulama şekli mobil yakma alın kaynak makinesi ile yolda yapılan kaynak işlemidir. Uzun kaynaklı rayların üretimine bağlı olan bu prosesin uygulama ve gereksinimleri atölyelerdeki gibidir ve bütün bu faktörler yoldaki benzer işlerde aynen uygulanabilir. Metalürjik ve mekanik bağlantı açısından bir mobil kaynak makinesi ile yapılan kaynak, sabit bir tesisteki proses ile aynı kalitededir(Kökçe 2002, s.145).

#### **4.5.2 Yakma Alın Kaynağının Tarihçesi**

Demiryollarında ilk ray ek kaynak işlemi uzama sorunu olmayan tramvay raylarında yapılmıştır. Önceleri aluminotermite usulü ile tramvay hatlarındaki raylar kaynatılarak contalar kaldırılmıştır. Rayların aşınıp 1935 yılında servisten alınmasına kadar sorun

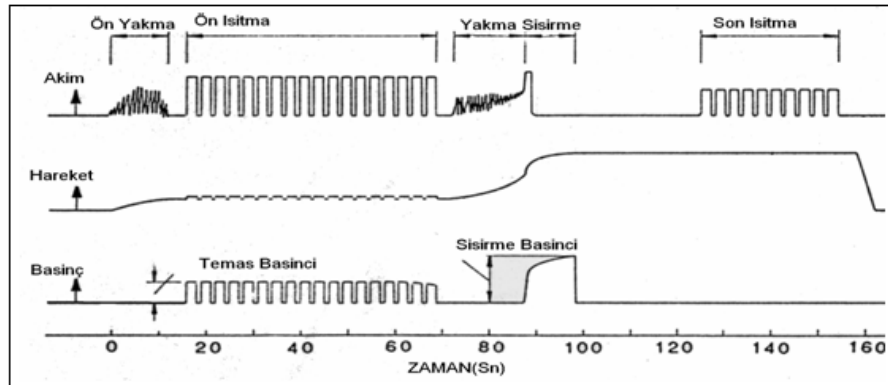


çıkarmadan kaynaklı olarak hizmet vermesinden sonra rayların preslenerek kaynaklanması geliştirilmiş ray bünyesinde bulunan (Si – Mn) gibi elementler kaynak maddesinin de içerisine konularak rayla aynı dayanımda kaynak bölgesi elde edilmiş ray başları eritilerek kaynaklama sistemi geliştirilmiştir. Bugünkü yakma alın kaynak sistemine 1930–1935 yıllarında geçilmiştir. İlk uygulamalar Rusya tarafından yapılmıştır. Dünyada ancak 1955 yılından sonra yaygınlaşmaya başlamıştır(MEGEP 2008, s.4).

#### 4.5.3 Yakma Alın Kaynağının Esasları

Yakma alın kaynağı, her iki iş parçasının uçlarına kavrama çeneleri üzerinden bir transformatörden beslenen bir elektrik akımının geçirilmesi suretiyle birbirine bağlanacak parçaların ısıtıldığı bir direnç kaynak işlemidir. İkinci devre iki iş parçasının bitişmesi sırasında kapanır. Kaynak, elektrik ark sistemi ile ray başları eritilip iki ray birleştirilerek yapıldığından hiçbir ilave madde (elektrot, eritici madde, koruyucu gaz vb.) kullanılmamaktadır(Kökçe 2002, s.146).

Akım, hareket ve basınçla karakterize edilmiş yakma alın kaynağı prensipleri (Şekil 4.24)'de gösterilmiştir. Yüksek kalitede kaynak elde etmek için yakma operasyonu krater oluşumu olmaksızın temas yüzeylerini yumuşatmalıdır. Yüzey ve komşu ray bölgesi; kaynak dikişinde gözenekler, mikro boşluklar ve metalik olmayan bileşikler önlemek için şişirme esnasında kafi hareketi sağlamak üzere ergime sıcaklığında olmalıdır.



Şekil 4.24: Yakma alın kaynağı prensibi

Grafikte kaynak basıncının değişimi zamana bağlı olarak gösterilmiştir. Ray alınlarıyla ısıtıcı yüzeyi arasında tam temasın sağlanması için basınç altında raylar ön ısıtma süresi kadar tutulur. şişirme için ray uçlarının tüm kesit alanı boyunca üniform olarak n ısıtılması önemlidir.

n ısıtma sresinin sonunda ray başları uygulama basıncı altında yakma ve şişirme işlemine tabi tutulur. Bu süreyi gerekenden kısa tutmak, erimiş plastik kısmın derinliğinin kaynak için gerekli olandan kısa kalmasına sebep olabileceği için bundan sakınılmalıdır. Gerekli şişirme kuvveti birleşim yüzeylerinin kesit sahasına ve kaynak edilecek rayın sıcak akma noktasına bağlıdır.

Daha sonra basınç düşürülerek sıfıra yakın bir değerde sabitlenir. Bu süre grafikte başlangıçtan yaklaşık 100 sn sonrasına denk gelir. Bu sürenin olabildiğince kısa tutulması son derece önemlidir, nkn ray ağızları bu süre içinde soğumaya yüz tutacağı gibi havayla direk temas altında kalan erimiş malzemenin termal oksidasyon yapma ihtimali vardır. Böyle bir durumda kaynak kalitesi çok düşeceğinden ısıtıcının çekilmesi ve rayların yapıştırılması çok çabuk gerçekleştirilmelidir(Kökçe 2002, ss.145-155).

#### **4.5.4 Yakma Alın Kaynağının Avantajları**

- a) Kaynak kalitesi en yüksek olan yöntemdir.
- b) Kaynak için ayrıca n tavlama ve hazırlık işlemi yoktur.
- c) Isıdan etkilenmiş bölge (HAZ) dardır.
- d) Kaynak verimliliği en yüksek olan yöntemdir. Yeni hatlarda en çok tercih edilme sebepleri arasındadır.
- e) Kaynak sresinin 2–4 dakika arasında değişmesi ile en kısa süreli kaynak yöntemidir.
- f) Malzeme sarfiyatı en düşük olan yöntemdir.
- g) evreye en az zararlı kaynak yöntemidir.
- h) R260 900 A raylarda eğilme dayanımı ortalama 125 ton ile en yüksek eğilme dayanımlı kaynak yöntemidir.
- i) R260 900 A raylarda çekme dayanımı ortalama 80 kg/mm<sup>2</sup> ile en yüksek gerilme dayanımlı kaynak yöntemidir.

- j) R260 900 A raylarda yorulma dayanımı ortalama 35 kg/mm<sup>2</sup> ile en yüksek yorulma dayanımlı kaynak yöntemidir.

#### **4.5.5 Yakma Alın Kaynak Parametreleri**

Kaynak parametreleri kaynak yapılacak ray tipi ve demiryolu metalürjisine bağlıdır. Yakma alın kaynağı özellikle ön ısıtma, yakma ve yığma kademelerinde, kaynak dayanımını ve kalitesini etkileyecek çok sayıda parametreye sahiptir. Bu parametreleri 7 ana grup altında toplamak mümkündür

##### **1) Başlangıç ve ön ısıtma parametreleri**

- a) Ön ısıtma yolu
- b) Ön ısıtma süresi
- c) Ön ısıtma hızı
- d) Ön ısıtma basıncı ön ısıtma gerilimi
- e) Ön ısıtma akımı

##### **2)Yakma parametreleri**

- a) Yakma yolu
- b) Yakma hızı
- c) Yakma süresi
- d) Yakma basıncı
- e) Yakma gerilimi
- f) Yakma akımı

##### **3)Yığma parametreleri**

- a) Yığma hızı
- b) Yığma zamanı
- c) Yığma basıncı
- d) Yığma gerilimi
- e) Yığma akımı
- f) Yığma akımını kesme zamanı

- 4) Toplam kaynak yolu
- 5) Toplam kaynak süresi
- 6) Elektriksel değişkenler
- 7) Kaynak sonrası ısıl işlemler(Kuday 1997).

#### **4.5.6 Yakma Alın Kaynağının Uygulama Aşamaları**

Sabit yakma alın kaynak makinesi uygulama aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

- a) Hizalama
- b) Yakma
- c) Ön ısıtma
- d) Yanma
- e) Şişirme
- f) Soğutma

Kaynaktan önce, ray başları ve ray alınları çelik telli fırça veya zımpara taşı ile fırçalanmalıdır. Bu işlem sayesinde boya, pas, yağ v,b maddelerden kaynak bölgesi arındırılmalıdır. Ray başlarında elektrot izleri var ise mutlaka taşlanmalıdır.

##### **4.5.6.1 Hizalama işlemi**

Kaynak edilecek ray başları 4 noktadan hiza alınarak ayarlanır. Ray yüksekliklerinin sıfır olması eşit olması arzu edilir. Maksimum 1,5 mm ye kadar iki ray yüksekliği arasında fark var ise kaynak edilebilir. Ray başları otomatik olarak makine tarafından hizalanır. Farklı kesitlerin kaynağında taşlama veya freze ile ray başları eşitlenir.

Ray uçları, iki çene çiftini ortalayacak şekilde, bir açıklık bırakılmadan kaynak makinesine yerleştirilir. Aynı kesitteki yeni raylar, ray mantarı bölgesinde, birbirine bakan buden temas köşelerinde, ray-teker sürtünme yüzeyinde ve taban kenarlarında bir seviyede olacak şekilde ayarlanmalıdır.

Dört köşeli yakma yoksa kaynağa başlamadan önce kaynaklanacak ray yüzeylerinin rayın boy eksenine dik olarak ayarlandığına ve bu yüzeylerin düzgün olduğuna dikkat edilmelidir. Akım taşıyan çeneler için temas sahalarında uçların, bir metalik fırça ile

fırçalanması, böylece çenelerin temiz olması ve temas direncinin üniform olarak düşük tutulmasının sağlanması gereklidir. İletken çeneler, kaynak çapaklarından temizlenmeli ve düz olarak taşlanmalıdır(Kökçe 2002, ss.145-155).

#### **4.5.6.2 Yakma işlemi**

Dik köşeli yakma için besleme miktarı çok azdır ve yüksüz durumdaki transformatörden temin edilen gücü kullanarak soğuk bir durumda olan iletilemiş malzemeyi ortadan kaldırmak için yeterlidir. İşlem aşağıdaki gibi uygulanır.

İki ray ucu farklı noktalarda temas edene kadar birbirine yaklaştırılır. Bu temas noktasında akım akmaya başlar. Yüksek akım yoğunluğunda, çıkıntılı malzeme bölgesel olarak buharlaşıp eriyebileceği sıcaklığa kadar kısa sürede ısıtılır. Buharlaşma basıncının etkisi altında erimiş metal, aralıktan dışarı atılır. Dik köşeli yakmaya devam edildiğinden, uç yüzeyleri tüm kesit sahası üzerinde temas edene kadar, ray uçlarının diğer kesimleri arasında temas sağlanır. (Şekil 4.25)'de mobil yakma alın kaynak makinesi ile yakma işlemi gösterilmiştir(Kökçe 2002, ss.145-155).



**Şekil 4.25: FBW yakma işlemi**

Yakma alın kaynak makinesinin sol tarafında makine gövdesine sabitlenmiş bir kelepçeleme cihazı, sağ tarafında ise yine rayın boyu doğrultusunda hareket edebilen bir kelepçeleme cihazında ray pozisyonlandırılarak emniyete alınır.

Makinenin her iki ucundaki iki kavrama çenesi çiftlerinin ikisi ile bağımsız olarak ya da makinenin her iki ucundaki kavrama çenesi çiftlerinden biri ile bir arada gerçekleştirilir. Akım taşıyıcı kavrama çeneleri iyi bir iletken (örneğin özel bir bronz gibi) yapılı ve su soğutmalıdır. Akım taşımayan çeneler genellikle çelikten yapılıdır. Kavrama cihazları ray uçlarını mümkün mertebe doğru ve hassas olarak aynı eksende tutmalıdır. Kavrama kuvveti şişirme sırasında kaymayı önlemek üzere şişirme kuvvetinden 1,5 ila 2 defa büyük olmalıdır(Kuday 1997, Kökçe 2002, ss.145-155).

Güç iletme tipi üniform ısıtma için önemlidir. Bu farklı kalınlıktaki ray kesitlerine titizlikle uygulanır. Bu nedenle güç, her bir çiftin birer çenesi üzerinden tatbik edilmelidir. Gerekirse bu, iki kaynak trafosunda, çene temas yüzeylerinin konumu bölgesel akım şiddetini etkiler bu nedenle de kaynak edilecek rayların ısıtılmasını etkiler(Kökçe 2002, ss.145-155).

Pek çok yakma alın kaynağı, sabit makine ile kaynak fabrikalarında yapılmalarına rağmen mobil yakma alın kaynağı makineleri de aynı zamanda kullanılmaktadır. Kaynak sonrası kaynak bölgesinde ısı 100 °C civarındadır. Kaynak sıcakken bir sıyırma makinesi ile sıyırılır. Bu makine kaynak makinesinin hemen arkasında aynı eksene yerleştirilmiştir. Sıyırmadan sonra kaynak havada soğumaya bırakılmalıdır.

#### **4.5.6.3 Ön tavlama**

Ön ısıtma için her iki ray ucu birbirine temas ettirilir. Transformator tarafından temin edilen gücün, tüm kesit alanı boyunca çeşitli temas noktalarında metalin atılmasına lüzumundan fazla meydan vermemesi için besleme miktarı çok yüksek tutulur. Kaynak işleminde düşük voltaj yüksek akım uygulanmalıdır. Düşük voltaj ray başlarındaki krater hasarlarını en aza indirmek için seçilmelidir. Kaynak parametreleri seçildikten sonra ön ısıtma çevrimi tam kontrollü otomatik modda çalıştırılır. Yüksek akım şiddeti sonucu olarak temas noktaları ve bunlara yakın bölgeler ısıtılır. Mevzi sahalarda bile herhangi bir oluşum olmamasını sağlamak için, bir geri çevirme işlemi ön ısıtma için kullanılır. Bunun için; bir temas süresinden sonra ray uçları geri çekilir ve sonra ikinci bir süre tekrar temas ettirilir. Bu 10 ila 20 defa tekrar ettirilir. Besleme kuvveti ön ısıtma son bulduğunda bunu gösterir(Kuday 1997, Kökçe 2002, ss.145-155).

#### 4.5.6.4 Yanma işlemi

Kıvılcımlanmaya başlamak için besleme miktarı ön ısıtma ile mukayese edildiğinde önce azaltılır. Böylece transformatörden temin edilen enerji temas noktalarında metalin erimesi ve buharlaşmasına yeterli olur. Ray uçlarının ön ısıtma sıcaklığının faydası birleşen yüzeylerde oksidasyon oluşumunu engelleyen bir koruyucu atmosferin oluşumu için tüm kesit sahası boyunca uniform olarak ortaya çıkan metal buharlaşmasını sağlamak üzere kıvılcımlanmanın yeterli miktarda kısa sürede oluşabilmesidir. Sayısız temas noktalarından metalin dışarı atıldığı küçük kraterler oluşur. (Şekil 4.26)'da yanma işlemi görülmektedir(Kuday 1997, Kökçe 2002, ss.145-155).



**Şekil 4.26: FBW Yanma işlemi**

Kıvılcımlanma sırasında, giriş akımının yoğunlaştırıldığı sadece birkaç temas noktasında çok yavaş bir kıvılcımlanma miktarı oluşur. Bu geniş kraterlerin küçük bir miktarını arkasında bırakacak bir kaç geniş metal artığının düzensiz aralıklarla dışarı atılması nedeniyledir. Yakma işlemi üniform olmaya başlar ve metal buharlaşması ile meydana çıkan koruma artık yetersiz olur. Bu nedenle, besleme miktarını ve böylece akımı yakma işleminin sonuna doğru artırmak yani yavaş yavaş artan miktarlarla yakmayı ilerletmek, avantajlarını ispat etmiştir. Bu, birbirlerine basan ray yüzeylerinin metal buharlaşma ile ilave oksidasyona karşı korunması ve erimiş metalin dışarı atılması suretiyle bu yüzeyler temizlendiğinden şişirme işleminden önce derhal birleşim

için bu yüzeylerin en iyi yolla hazırlanmasını ve sayısız küçük kraterler nedeniyle kâfi miktarda yassı damar oluşmasını sağlar(Kökçe 2002, ss.145-155).

#### 4.5.6.5 Şişirme işlemi

Yakma ile hazırlanmış birleşme yüzeyleri şişirme sırasında yaklaşık 100 mm/saniyeye kadar yüksek bir besleme hızında birbirine bağlanır. Kaynak akımının şişirme başlayana kadar devrede kalması böylelikle son ana kadar birleşme yüzeylerinin korunmayı muhafaza etmesi önemlidir(Kökçe 2002, ss.145-155).

Birleşme yüzeylerinin birbirine karşı preslenmesi ile yumuşak metal, aralığın dışına sıkıştırılır ve ray uçları kendiliğinden tipik bir artık kordonu oluşturarak plastik deformasyona uğrar. Plastik deformasyonun bir sonucu olarak şişirme kuvveti sürekli eşit miktarlarda artar. (Şekil4.27) da şişirme işlemi görülmektedir



Şekil 4.27: FBW Şişirme işlemi

Birleşme yüzeylerindeki yumuşak metalin sıkıştırılması için bir belirgin minimum şişirme hareketi gereklidir. Bu makineden makineye ve şişirmeden önceki yakma hareketine bağlı olarak değişir. Yakma sırasında iyi korunmuş birleşme yüzeyleri, düzensiz yakma hareketi altında çalışanlardan daha az şişirme hareketi gerektirir. Gerekli minimum şişirme hareketi birleşim yüzeylerindeki yumuşak kütlenin dışarı bastırılmasında veya birleşim yüzeylerinin arkasındaki plastik deformasyon bölgesinde (aşırı ön ısıtmaya bağlı olarak ) harcanır.



Gerekli şişirme kuvveti birleşim yüzeylerinin kesit sahasına ve kaynak edilecek rayın sıcak akma noktasına bağlıdır. Daha düşük çekme değerli ray çelikleri için basınç daha az olabilir. Örneğin; en azından 880 N/mm<sup>2</sup> lik bir çekme dayanımına bağlı rayların kaynağı için gerekli şişirme basıncı 40 N/mm<sup>2</sup> dir.

Kesit alanı, eşit olarak şişirilebilmesi için her iki ray başının eşit olarak ısıtılması gereklidir. Eğer kesit alanının bir parçası, örneğin ray mantarı daha küçük sıcaklıkta ise, bu kısım tüm baskı kuvvetini diğer kısmı bırakarak emecek bu takdirde ray tabanı yetersiz şişirilecektir(Kökçe 2002, ss.145-155).

#### 4.5.6.6 Soğutma işlemi

Kaynak, malzemenin özelliklerine uygun olarak kaynak edilen ray soğumaya bırakılmalıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan haddelenmiş ray çelikleri için şişirmeden hemen sonra durgun havada soğutma, kaynak dikişi içinde ve ısıdan etkilenmemiş bölgede haddelene şartındaki rayın yapısına uygun bir yapı elde etmek için yeterlidir. Kaynak ve sıyırmadan sonra direk olarak 1,2 m temelde 2 mm'lik bir gerilim giderme yükseltmesi verilir. Bu özel bir pres ile yapılır. (Şekil 4.28) hava şartlarında soğumaya bırakılmış ray görülmektedir(Kökçe 2002, ss.145-155).



Şekil 4.28: FBW Soğutma işlemi

Sıyırmadan sonra, kaynak kordonu yüksek hızla manüel makinelere veya son zamanlarda geliştirilmiş otomatik kopça taşıyıcılarıyla mantar bölgesini eşit seviyeye

getirmek için taşlanır. Tabanın üst tarafı ve harici durumlarda gövde de elle taşlanır. (Şekil 4.29)'da yakma alın kaynağı sonrası taşlama işlemi gösterilmiştir.



**Şekil 4.29: Yakma alın kaynağı sonrası taşlama işlemi**

Doğrultma işlemi 150°C'nin altında soğuk olarak yapılabilir. Sıcak doğrultma mantar ve tabanın farklı soğuma sürecinden ortaya çıkan kaynak eğilmesini neden olabilir. Ray, her biri iki destek ve bir ayarlanabilir hidrolik silindirele teçhiz edilmiş preslerde bükülmek suretiyle kaynak bağlantısında yatay ve dikey olarak doğrultulur. Doğrultmadan önce, doğrultma sırasında ve sonrasında ray bir metrelik çelik cetvelle bağlantı noktasında kontrol edilir. Doğrultma işlemi sonrasında bir metrelik master ile yapılan kontrollerde toleranslar yuvarlanma yüzeylerinin yüksekliği boyunca -0,2 ila +0,3 mm, buden temas köşesinin yatay sapması yönünde ise -0,3 ila +0 mm' dir. (Kökçe 2002, s.155, www.indianrailways.gov.in 1996)

#### **4.5.7 Mobil Yakma Alın Kaynak Makinesi**

Seyyar ray kaynak makinesi ile hatta döşenmiş veya hat kenarında serilmiş vaziyette bulunan rayların elektrikli direnç kaynağı metodu ile kaynatılarak uzun kaynaklı hâle getirilmesi işlemidir. Rayların yakma kaynağının bazı durumlarda rayları kaynatmanın en etkili metodu olduğu evrensel olarak kabul edilmektedir. Diğer metotlardan çok daha düşük yorulma oranı ile en yüksek kalitede kaynak sağlar(Kökçe 2002, ss.165-170, MEGEP 2008).

Eskiden yakma alın kaynağı bir kaynak fabrikasında gerçekleştirilmekteydi. Kısa raylar, yerine taşınmak üzere tren uzunluğunda kaynatılırdı. Yoldaki daha fazla uzunluklar halinde kaynatma durumunda diğer metotlar gerekirdi.

Mobil yakma alın kaynağının gelişimi; makinelerdeki sermaye yatırımını optimize ederek ve yerinde kaynağın ilave malzeme maliyetini minimuma indirmek suretiyle sürekli kaynaklı raylar için tüm kaynaklara öncülük etmiştir. Mobil yakma alın kaynak makinesi otomatik ayarlama işlemi resmi (Şekil 4.30) verilmiştir.



**Şekil 4.30: FBW Otomatik kafa ayarlama**

Yerinde kaynak ya yol kenarında ya da yolda uygulanabilir veya dönüşümlü olarak uygulanabilir. Makine kısmen sabit bir fabrika gibi daha sonra kaynatacağı mevki üzerinde büyük uzunluklar hazırlamak üzere kullanılabilir.

Yetmişli yılların başlarına kadar statik elektrik ark yakma alın kaynağı metodu; yoldaki kaynağı aluminotermite metodu olan demiryollarında mevcut rayların statik kaynak metodu olduğu universal olarak kabul edilirdi. Fakat Sovyet mühendisleri tarafından bir mobil yakma alın kaynağı başının yolda kullanılmak üzere geliştirilmesi yol üzerinde yakma alın kaynağı metodunun uygulanma şansını ilk defa kazandırmıştır. Bu makine K355A olarak bilinir(Kökçe 2002, ss.165-170, MEGEP 2008).

Bu kaynak başı, Plasser Theurer firması tarafından 1973 yılında ilk kez makineye monteli bir raya bağlandı ve o zamandan beri dünya çapında kullanılmaktadır. Ayrıca ABD'deki Holland Company tarafından aynı kaynak başı mobil kaynak makinesine bağlanmıştır.

Plasser & Theurer tarafından geliştirilen, yol üzerinde kendinden tahrikli kaynak makinesi; 16 m. uzunluğunda ve iki boji üzerine monte edilmiş gövde, bir dizel tahrikli jeneratör, hidrolik pompalar, soğutma sistemleri ve kaynak güç kontrol teçhizatından müteşekkildir.

#### **4.5.7.1 Mobil yakma alın kaynağının tarihçesi**

1978'de Belfast-Dublin ana hattı üzerine sürekli kaynaklı rayların yerleştirilmesinin başlanmasına karar verildi. Çünkü analizler göstermiştir ki 150 km/saat'e kadar artan hızlardan dolayı ve aynı zamanda rayların ve traverslerin ömrünün uzaması, yol bakımı eğitimleri, yakıt maliyeti yükü, aşınma ve yıpranmalardan elde edilecek tasarruflardan dolayı pazar potansiyeli mevcuttu. Pandrol dirsekli ve temel tabakalı Downmac dizaynına göre bölgesel olarak üretilen beton traversle rayları standartlaştırılmıştır.

Sürekli kaynaklı rayların avantajları hemen idrak edildi fakat 200 km'lik fabrika mesafesine rayları götürülüp, getirilmesindeki taşıma güçlüğü gerçek ray kaynak maliyetine finansal olarak önemli fark getiriyordu. 1984 yılında, yerleştirilen teçhizatın yaşama kabiliyetini değerlendirmek üzere bir deneme yapıldı. Mobil fabrikalara ilaveten yerleşik fabrikaların kurulması düşünüldü, fakat yıllık tamirin (16 km) nispeten küçük miktarından dolayı sabit (yerleşik) fabrika için ekonomik görülmedi. Ancak, ilave olarak gerekli olan yol üzerinde kaynağın nispeten yüksek maliyeti yüzde 11,2 'lik kazanılan kar oranı ile hesabı düşürdü(Kökçe 2002, ss.165-170).

#### **4.5.7.2 Mobil yakma alın kaynak makinelerinin kullanımı**

Mobil yakma alın kaynak makinelerinin kullanıldığı yerler;

- a) Makinenin kafasını çıkararak fabrikada yarı-sabit pozisyon halinde, kafayı bağlamak suretiyle fabrika seviyesinde kaynatmada,

- b) Yol yenileme veya yol bakım makineleri ile yoldaki eklemeler için veya yol kenarındaki uzun rayları kaynatmada,
- c) Prefabrik yol panellerini kaynatmada,
- d) Sinyal amacıyla izoleli bağlantıların yerleştirilmesi için gerekli olan yoldaki kaynaklardadır.

Yol üzerinde kendinden tahrikli makinelerde monteli kaynak kafası ana dizaynına ilaveten, tamir treninin parçası olarak veya bir demiryolu aracına monte edilebilir. Mobil kaynak donanımı değerlendirildiği zaman ana problem, tüm kaynağın yerinde (yolda) yapılacağı durumda ilave iş zamanı ihtiyacıdır, donanım hem yerinde hem de fabrika bölgesinde kullanımını amaçlamıştır(Kökçe 2002, ss.165-170).

Mobil yakma alın kaynağı makinelerin adaptasyonu ile elde edilen diğer avantajlar;

- a) Kaynak prosesinde dizel tahrikli jeneratör kullanımından dolayı enerji tasarrufu %40 civarındadır.
- b) Şebeke temininin güvenilirmediği yerlerde kaynak üretiminin devamlılığını garanti edebilir.
- c) Mobil kafa üzerindeki hizalama prosesi her kaynak için operatör ayarlaması gerektirmez. Bu özellikle kalifiye olmayan işçi çalıştırıldığı durumlarda önemlidir. Ünitenin ön ayarı yapılır ve sadece ara sıra tecrübeli eleman tarafından ayar gerekir(Kökçe 2002, ss.165-170).

#### **4.5.7.3 Mobil kaynak süreci**

Sıkıştırma operasyonunu takiben kaynak süreci, kontrol paneli üzerindeki bir butona basarak bir ayar kalıbını izleyerek tamamen otomatik olarak gerçekleştirilir.

**Aşama 1:** Yüksek akımlı bir ark oluşur.

**Aşama 2:** Yakma çok düşük akımda 5 kademede gelişir. Düzenli olarak artan yakma oranı 0,2 mm/sn'den takribi 1.00 mm/sn'ye kadar değişir. Yükselme başlangıcı sıkıştırmadan takribi 10 saniye öncedir.

**Aşama 3:** Ray uçları kaynak akımı kesildikten sonra 48 tona kadar bir kuvvetle 15 mm'ye kadar sabit bir mesafe birbirine ittirilir(Kökçe 2002, ss.165-170).

Kafanın yapısındaki sıyırma bıçağı rayı gevşetmeden önce rayın tüm çevresindeki kaynak fazlalığını otomatik olarak çıkarır. Kaynak sürecinin ayarlanması 10000 mm<sup>2</sup> ye kadar değişebilen, kaynatılacak rayların tiplerine bağlıdır. Ray 7184,5 mm<sup>2</sup>'lik bir kesit alanına sahiptir ve kaynak süreci 120 saniyeyi alır(Kökçe 2002, ss.165-170).

Makine diğer ray bölümleri için kolaylıkla ayarlanabilir. Uygun sıkıştırma çeneleri ve kaynak kesme uydurulması gerekir ve başlangıçta ayarlanır. Operatörler kaynak operasyonunun tatminkâr şekilde icra edildiğini hemen gösteren bu parametreleri kolaylıkla izleyebilir. Kaynak sayısı ray üzerine ve grafiğe işaretlenir, böylece özel kaynakların belirli kaynak şartları gelecek bir tarihte belirlenebilir. Ayrıca tüm kaynak, toleransları içindeki hizalama için düz kenarlar ile kontrol edilir.

Kaynakların ultrasonik testi gerçekleştirilir. Her 1000'de bir kaynak kesilir ve 1000 mm merkezlerde 107 tonluk eğme testine tabi tutulur. Mobil yakma alın kaynağı aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilmektedir(Kökçe 2002, ss.165-170).

- a) Makine üzerinde bulunan köşe taşlama makinesi kullanılarak ray uçları temizlenir.
- b) Taşlama makinesi ile pas, fabrika talaşı ve markaları giderilir. Bu operasyon, kaynak prosesinde iyi bir elektrik temasını sağlar.
- c) Ray, sıkıştırıcı ve çelik kamaların üzerine kaldırılır. Böylece ray altında boşluk sağlanır aynı zamanda raylar hidrolik ray çekici kullanılarak tarif edilen aralığı (2–3 mm) sağlayacak şekilde bir araya çekilir ve kabaca hizalanır.
- d) Kaynak başı pozisyonlandırılır ve kaynak tamamlanır.

## 5. KAYNAK HATALARI

### 5.1 ALUMİNOTERMİT KAYNAK HATALARI

Aluminotermite kaynak raylara yüz yıldır uygulanmaktadır. Maalesef aluminotermite kaynağındaki hatalar yok edilmiş değildir. Bu genellikle uygun ekipman ve malzeme kullanılmaması, yanlış kaynak kurulumu ve ayrıntılara yeterli dikkatin gösterilmemesi nedeni ile olmaktadır. Kaynak hatalarını; yapılan işlemlerin neticelerine ve kırılan kaynakların durumuna göre inceleyebiliriz. Yapılan işleme göre kaynak hataları şunlardır;

#### 5.1.1 Conta Ayar Hataları

- a) Yüksek veya düşük kaynak
- b) Yanal veya düşey eksen kaçıklıkları
- c) Kaynak aralığının az ya da fazla bırakılması (toleranslara uyulmaması)
- d) Ayar kamalarının sağlıklı tespiti
- e) Rayların delik, çatlak, eziklik kontrolü yapılmadan ve ray başlarını bu kusurlardan arındırmadan conta ayarının yapılması
- f) Ray başlarının dik eksende kesilmemesi
- g) Contanın mantar ve tabanının her iki yanında eşit boşluk bırakılmaması
- h) Kesme işleminde ray kesme makinesi yerine şaloma kullanılması,
- i) Contanın yağ, kir ve pastan arındırılmaması(MEB 2008, s.30).

#### 5.1.2 Kalıp Bağlama Hataları

- a) Pota ayağının sağlam bağlanmaması
- b) Şalomanın alınması sırasında kalıbın bozulması, kırılması
- c) Kalıpların kaynak boşluğunu ortalamaması
- d) Kalıp mengenesinin kalıbı ortalamaması ve mengenenin fazla sıkılması
- e) Kalıp bağlanırken kalıp iç kısmına kum vb. yabancı madde girmesi, kalıp içinin temizlenmemesi
- f) Cüruf tablası ile kalıp arasında boşluk bırakılması(MEB 2008, s.30).

### 5.1.3 Ön Isıtma Hataları

- a) Üretici firmanın ekipmanları dışında ekipman kullanılması
- b) Uygun olmayan brülörle tavlama yapılması
- c) Alev boyu ve gaz basınçlarının iyi ayarlanmaması
- d) Tavlama süresine uyulmaması
- e) Şaloma yüksekliğinin uygun olmaması
- f) Ön ısıtmanın fazla veya az yapılması(MEB 2008, s.30).

### 5.1.4 Döküm Hataları

- a) Potanın neminin alınmaması
- b) Potanın kalıbı ortalamaması
- c) Pota yüksekliğinin fazla veya az olması
- d) Otomatik baganın erken veya geç açılması
- e) Noksan aluminotermit porsiyonu kullanılması
- f) Nemlenmiş aluminotermitin kurutulmuş olarak kullanılması
- g) Kalıba uygun olmayan aluminotermit kullanılması(MEB 2008, s.30).

### 5.1.5 Sıyırma Hataları

- a) Sıyırma bıçaklarının ağızlarını bozuk olması
- b) Kaynak çok sıcakken sıyırma yapılması
- c) Sıyırma bıçağının veya saplı keskinin derine dalması
- d) Sıyırma bıçaklarının kullanılan raya uygun olmaması
- e) Fazla malzeme bırakarak sıyırma yapılması(MEB 2008, s.31).

### 5.1.6 Taşlama Hataları

- a) Uygun olmayan ekipman ile taşlama yapılması
- b) Kaynak sıcakken ince taşlama yapılması
- c) Taşın bir noktada sabit tutularak taşlanması
- d) Taşlama sırasında master kullanılmaması(MEB 2008, s.31).



### 5.1.7 Diğer Hatalar

- a) Eğitimsiz elemanlar ile kaynak yapılması
- b) Yağışlı havalarda yeterli önlem alınmadan kaynak yapılması
- c) Sıcaklıktaki ani değişiklikler nedeniyle kaynak bölgesinde çekme gerilmesinin oluşması
- d) Rayı çeken ve tutan ekipmanların kaynak soğumadan alınması
- e) Kaynak soğumadan üzerinden tren geçirilmesi(MEB 2008, s.31).

Kaynak yapımı sırasında yapılan hataların kaynakta meydana getirdiği hasarlar incelendiğinde;

- a) Soğuk kaynaklar
- b) Metal yetersizliği
- c) Kaynak metaline cüruf, kum karışması
- d) Profil bozulmaları
- e) Gözenekli boşluklu kaynak
- f) Ray gövdesinde çatlaklar şeklinde kaynak kusurlarının ortaya çıktığı görülmektedir.

Yukarıda bahsi geçen kaynak kusurlarının raylarda ve yollarda meydana getirdiği problemler;

#### I. Soğuk kaynaklar

- a) Tav yetersizliği
- a) Kaynak aralığının az bırakılması
- b) Kalıbın kaynak aralığını ortalamaması
- c) Rayların dik olarak kesilmemesi
- d) Ray başlarının düzgün olmaması
- e) Otomatik baganın geç açılması(MEB 2008, s.31).

#### II. Metal Yetersizliği

- a) Kaynak aralığının toleranslar haricinde fazla bırakılması
- b) Kalıp- aluminotermite porsiyonu – ray uyumsuzluğu
- c) Ergimiş metalin boşa akması
- d) Kaynak metali katılaşmadan sıyırma yapılması

- e) Kaynak Metaline Cüruf veya Kum Karışması
- f) Otomatik baganın erken açılması
- g) Kalıp kapağının yerine konmaması veya iyi kapatılmaması
- h) Az kaynak porsiyonu kullanılması
- i) Kalıbın yerleştirilmesi sırasında yeterli özen gösterilmemesi
- j) Kalıp mengenesinin fazla sıkılması
- k) Farklı kesitlerde ray kullanılması(MEB 2008, s.32).

### III. Profil Bozulmaları

- a) Conta ayarının iyi yapılmaması
- b) Kaynak soğumadan tren geçirilmesi
- c) Ayar kamalarının kaynak soğumadan yerinden çıkarılmaları
- d) Sıyırma bıçaklarının derine daldırılması
- e) Kaynak sıcakken ince taşlama yapılması(MEB 2008, s.32).

### IV. Gözenekli Başlıklı Kaynak

- a) Kalıbın iyi kurutulmaması
- b) Potanın veya kalıp tapasının yetersiz kurutulması
- c) Kalıp tapasının iyi yerleştirilmemesi
- d) Kullanılan termitin ıslak olması veya kurutularak kullanılması
- e) Ray Gövdesinde Çatlama
- f) Kaynak öncesi raylardaki delikli kısımların kesilmemesi
- g) Ray kesilmesi gerektiğinde şaloma kullanılması ve düzgün kesim yapılmaması
- h) Kaynak sırasında ani soğumalar,

gibi nedenlerden meydana gelmektedir(MEB 2008, s.32).

Yukarıda bahsedilen kaynak kusurlarına kaynak yapımı sırasında yapılan hatalar neden olmaktadır. Bu nedenle kaynak yapımının her aşamasında talimatlara kesinlikle uyulmalıdır. Aksi durumlarda kaynak kusurlarının olması kaçınılmaz olarak karşımıza çıkacaktır. Kaynak kusurları yakın veya uzak zamanlarda ray kırılmalarına sebep olmaktadır. Kaynak kusurları nedeniyle raylarda meydana gelen kırılmalar kontrol altında tutulmalı, şüphelenilen veya kusuru tespit edilen kaynakların uzmanlarca kontrolü yapılmalı ve sağlamlığından emin olunan kaynakların hatta kalmasına izin

verilmeli, kırılma ihtimali bulunan kaynaklar kontrol altında tutulmalı ve en kısa sürede yenilenmelidir. Bazı aluminotermite kaynak hataları aşağıda resimlenerek gösterilmiştir.

#### 5.1.7.1 Kara delikler

Hataya katılma sırasında kaynaktan çıkamayan gaz neden olur. Kaynak içinde siyah renkte delikler özellikle ray tabanında görülür.(Şekil 5.1)



**Şekil 5.1: Kara delikler**

Kaynak: [www.wtia.com.au](http://www.wtia.com.au) 2006, s.1

#### 5.1.7.2 Çatlaklar

Hızlı soğuma, yetersiz ön ısıtma, kaynakta oluşan gerilimler ve kaynak içindeki süreksizliklerin yorulma ile büyümesi sonucu oluşur. Sıcak çatlaklar kaynakta katılma sırasında meydana gelir.(Şekil 5.2)



**Şekil 5.2: Ray gövdesinde çatlak**

### 5.1.7.3 Büzülmeye bağılı yırtılmalar

Hataya yetersiz ön tavlama, hızlı soğuma, sıcaklık değişimi, kaynak sıcakken üzerinde araç geçmesi ve rayda kalan gerilmeler neden olur.(şekil 5.3)



**şekil 5.3: Yırtılmalar**

Kaynak: [www.wtia.com.au](http://www.wtia.com.au) 2006, s.2

### 5.1.7.4 Kaynakta kum kalıntısı

Kalıp bağlama ve sabitleme sırasında sızdırmazlık için kullanılan kumun kalıbın içine dūřmesi sonucu oluşur. (şekil 5.4)

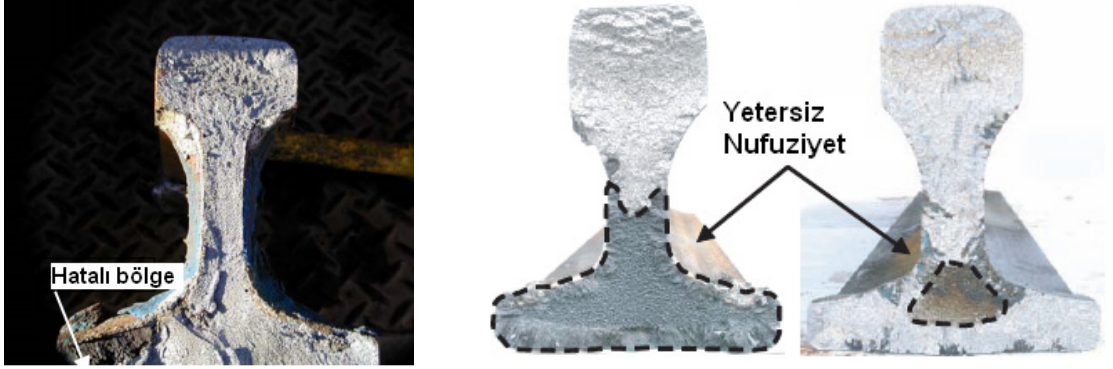


**şekil 5.4: Kaynakta kum kalıntısı**

Kaynak: [www.wtia.com.au](http://www.wtia.com.au) 2006, s.3

### 5.1.7.5 Yetersiz nufuziyet

Yanlış kalıp hizası, Porsiyonu soğuk veya geç dökmek, Yetersiz ön ısıtma, Yanlış şaloma kullanılması, yanlış ön ısıtma gaz basıncı, yanlış kaynak boşluğu, yanlış porsiyon seçimi, Yanlış kalıp kullanılması bu hatanın oluşmasına neden olur. (Şekil 5.5)



**Şekil 5.5: Yetersiz nufuziyet**

Kaynak: www.wtia.com.au 2006, s.3

### 5.1.7.6 Gözenekler

Pota içinin ısıtılmaması sonucu nemli kalması, kullanılan yapıştırıcı kumların nemli olması, yetersiz ön tavlama, yanlış porsiyon seçimi, nemli kalıplar ve yağmurlu havalarda kaynak yapılması kaynakta gözenek oluşumuna neden olur (Şekil 5.6).



**Şekil 5.6: Gözenekler**

Kaynak: www.wtia.com.au 2006, s.5

## 5.2 YAKMA ALIN KAYNAK HATALARI

Doğrultma işlemi sırasında kırılmalar ve iyi olmayan hat performansı metalürjik bir muayene sonucunda, pek çok hatanın varlığını ortaya çıkarmaktadır. Bunları iyi analiz edebilmek hata çeşitlerini bilmekten geçmektedir. Bu durumda yetersiz test sonuçlarını ön plana çıkarmaktadır.

### 5.2.1 Ön Isıtma Hataları

Mikro gözenekli yapı yaygın olarak ön ısıtma prosedürüne bağlı olan bir hatadır. Meydana geldiğinde, kaynağın iki tarafındaki ısıdan etkilenmiş bölgede bulunur. Statik eğilme testinde kırılan kaynak düşük bir sapma değerine sahiptir(Kökçe 2002, s.162).

Mikro gözenekli yapı, ray çok yüksek sıcaklıklarda ön ısıtmaya tabi tutulduğunda oluşur. Bu erime yüzeyleri ve rayın kendi metali (rayın etkilenmeyen bölgesi) arasında kalan bağlantının her iki tarafında uzanan nispeten geniş bir bölgede olur. Östenit'i çevreleyen tane sınırları erir ve Östenit tanelerini kendiliğinden ısıtır. Bölge tamamen şişirme açısından çok geniş olabilir. Şekil verme sırasında % 4 lük fire nedeniyle ray kesitinde mikro gözenekli yapı ortaya çıkabilir.

Mikro gözenekli yapıdan kontrollü ön ısıtma ile sakınılabılır. Yakmadan hemen önce, bağlantı yüzeyindeki sıcaklık ray boyunca mümkün olduğunca kademeli bir şekilde düşürülmelidir. Bu kısa bir süre için yüksek güçlü ön ısıtma ile elde edilebilir. Tüm kesit alanı boyunca ön ısıtmanın üniform olmasını ve ray içine uygulanan sıcaklık artırımının (dereceli olarak) bağlantı yüzeyindeki her noktadan aynı olmasını temin etmeye dikkat ederek yüksek güçte ön ısıtma kısa bir süre için yapılmalıdır. Sadece bu işlem üniform kaynak kordonu için geçerli ön şartı sağlar. Aksi halde tüm şişirme kuvvetini soğuk bölgeler emerek, sıcak bölgeler şişirilemez ve sıcak bölgeler mikro gözenekli yapıyı içlerinde muhafaza ederler. Bunu önlemek için yukarıda belirtilen şekilde bir ön ısıtma uygulamak gerekir(Kökçe 2002, s.162).

### **5.2.2 Yakma Hataları**

Bağlantı yüzeyleri yakma işlemi sırasında oksidasyon oluşumlarından temizlenmelidir. Ortaya çıkan metal buharı fazlasıyla reaktif olan erimiş bağlantı yüzeylerini ilave oksidasyondan korumalıdır. Aksi halde yüzeyler üzerinde yeni oksidasyon oluşumu şekillenecektir. Yani şişirme ile sadece oksidin durumu yer değiştirecektir.

Ayrıca böyle oksit birikintileri, statik eğilme ve darbeli yorulma testinde istenmeyen sonuçlara neden olacak veya doğrultmada kırılmaya yol açacaktır.

Böyle zararlı oksitlerin belirli seviyeler altında tutulabilmesi için, baştan sona kadar yakma işlemine yavaş yavaş artan şekilde devam edilerek artan metal yüzeyinin oksijenden korunması sağlanır(Kökçe 2002, s.163).

Yakma kontrolü, özellikle yüksek dayanımlı rayların kaynağında önemlidir. İri oksitlerin meydana getirdiği çentik etkisi, statik eğilme testi sırasında düşük akma dayanımlı raylarda çok fazla sapma olup plastik deformasyona uğradığı basınç seviyelerinde kırılmayı başlatır. Hâlbuki yüksek dayanımlı raylarda kırılmaya başlama ise, statik eğilme testi sırasında, raylar yük sapma eğrilerine göre elastik sınır içinde iken olur(Kökçe 2002, s.163).

### **5.2.3 Basma Hataları**

Eğer bağlantı yetersiz şişirilmişse, ergimiş metal boşluklar içinde birikimini muhafaza edebilir. Şekillendirmeden (katılaştıktan) sonra kendine özgü karakteristik döküm yapısı ile bu bölge kaynak bölgesi olarak adlandırılır. Bu döküm yapısı nedeniyle kaynak bölgesi sıcak haddelenmiş ray çeliğinden çok daha fazla gevrekli (kırılgandır) ve üstelik bu gevrekliğe eklenen sementit tortuları ihtiva eder.

Yüksek bir şişirme basıncı kaynak bölge oluşumunu önler. Ayrıca yavaş yavaş artan şekilde yapılan yakma, yakma sonucunda oluşan kraterlerin miktarını azaltarak buna yardımcı olur.

Yüksek bir şişirme basıncı aynı zamanda belirtilen diğer hataların önünün alınmasına yardım eder. Basınç mikro-gözenekli yapı oluşumunu önlemek ve kaynak metalinde oluşan oksitlerin zararını azaltmak için kâfi derecede yüksek olmalıdır.

Örneğin özel sınıf rayların artan yakma işlemi için şişirme kuvveti en azından 50 N/mm<sup>2</sup> olmalıdır. (Sadece ray tarafından tamamı alındığı halde yani herhangi bir makine nedeniyle şişirme hareketi sınırlanmadığı takdirde).

Mevcut oksitleri dışarı atmak ve hataları kordonun dışarı taşan kısmına nakletmek için ray uçlarına karşı serbest şişirme hareketi uygulayarak minimum bir hareket sağlanmalıdır.

Düşük çekme dayanımlı raylar için daha az şişirme basıncı gerekir. Birinci itme ile oluşan bağlantıya ara ısıtmadan sonra uygulanan ikinci bir itme var olan hataların hiç birini ortadan kaldıramaz(Kökçe 2002, ss.163-164).

#### **5.2.4 Son Isıtma Hataları**

Son ısıtma özel krom-mangan alaşımları için kaynak bölgesinin soğumasını geciktirmek üzere yapılır. Böylece, gevreklik kırılma nedeniyle tehlike yaratan ısıdan etkilenmiş bölgedeki aşırı martensit oluşumunu önlemiş olur.

Son ısıtma sıcaklıkları, aşırı ısınma nedeniyle aşırı derecede büyük Östenit tanelerinin oluşmasını önlemek için 1000 °C'nin altında tutulmalıdır. Gerekli ısı girişi bu nedenle düşük bir güç ayarında olmalıdır.

Diğer bir son ısıtma hatası ise yumuşak tavllanmış bölgenin kabul edilemeyecek genişliğe ulaşmasına neden olan ray mantarına çok fazla ısı verilmesinden ortaya çıkan yuvarlanma yüzeyi boyunca sertlik oluşmuştur(Kökçe 2002, s.164).

Tavllanmış bölge, su soğutmalı akım taşıyan çenelere olan mesafe azaltılarak kâfi miktarda dar tutulabilir veya uygun bir akım şiddeti dağıtıcısı ile bu sağlanır.



## 6. RAY KAYNAKLARINA UYGULANAN TESTLER

### 6.1 GİRİŞ

İyi bir kaynak hem bir kiriş hem bir yuvarlanma yüzeyi olarak rayda ortaya çıkan gerilmeleri karşılamalıdır. Kaynakların mekanik testleri, bu iki gerilme formu için yönlendirilir.

Statik eğilme testinde çift tarafından mesnetlenmiş bir kiriş olarak çalışan kaynaklı ray kırılmak üzere yüklenir aynı anda yük sapma diyagramı kaydedilir. Başlangıçta, yük lineer sapma ile hızla artar. Bu yük sapma eğrisinin ilk elastik kısmıdır. Uygulamadaki akma dayanımı aşıldığında yük artışı dereceli olarak azalır. Bu safhada hali hazırda plastik deformasyona uğrama durumu söz konusudur. Statik eğilme testi Alman Demiryollarının standart bir kabul testidir. Kopmadaki toplam sapma ve yük, kalitenin testinde kullanılan parametrelerdir. (Tablo 6.1)'de Kopmadaki toplam sapma ve yük değerleri gösterilmiştir. Verilen değerler kullanılan çelik cinslerine göre tüm kesitler için Alman Demiryollarının kabul edilebilir toplam sapmalarıdır.

**Tablo 6.1: Kopmadaki toplam sapma ve yük değerleri**

Çelik cinsi	Minimum Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kopmada toplam sapma miktarı (mm )
R220	680	30
R260	880	20
Özel cins	1080	18

Kalite testinde bir parametre olarak kopma anındaki toplam sapma rayın kullanım esnasında, kaynak bölgesinde bile plastik deformasyona dayanabildiğini gösterir. Doğrultma sırasında kaynaktaki gerilim oluşumu benzer büyüklüktedir ve statik eğilme testi sırasındakine benzer bir tutum gösterir. Soğuk doğrultma üretimin iş bitmeden önce kalite kontrolü anlamına gelir. Bu yakma alın kaynağının avantajlarından biri

olarak görülmektedir. Statik eğilme testine ilave olarak eğilme gerilimleri altındaki darbeli yorulma testini de içerir. En fazla eğilme momenti bölgesindeki yüzey şartlarının test sonuçlarını kesin olarak etkileyeceği akıldan çıkarılmamalıdır. Bu raya ve kaynağa eşit olarak tatbik edilmelidir. En azından bir yıl açık havada kalmış tüm aşınmış ray cinsleri ve kesitlerinden 200 N/mm<sup>2</sup> eğilme gerilimleri altında bir darbeli yorulma dayanımı vermeleri beklenir. Alman Demiryolları kaynaklanmış rayların maksimum 206 N/mm<sup>2</sup>, minimum 15 N/mm<sup>2</sup> gerilimle, kırılmadan önce 2x10<sup>6</sup> defa darbeye dayanımını istemektedir(Kökçe 2002, s.158).

Kaynak bölgesindeki yuvarlanma yüzeyinin sertlik profili, uzun bir hizmet ömrünce seyir düzleminin düzgün olmasını sağlayacak şekilde olmalıdır.

330 ila 380 HV (Vickers) sertliğindeki kaynağın büyük kısmı ray malzemesinden daha serttir. Isıdan etkilenmemiş ray çeliğine göre, ısıdan etkilenmiş bölgenin sınırındaki sertlikte azalma dar olmalıdır.

Dünyadaki demiryolu rayları büyük ölçüde perlitik yapıda çelikten yapılır. Genel olarak normal raylar arasında en az 685 N/mm<sup>2</sup> ile 1080 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı olan çelikler olarak ayrılırlar. İlk iki tip raylar karbon-manganez çeliğinden olup karbon ve manganez miktarına göre farklı dayanımlara sahiptirler. Bunlar sıcak haddelenmiş halde kullanılırlar(Kökçe 2002, s.164).

Çekme dayanımı 1080 N/mm<sup>2</sup> den daha fazla olan özel ray çelikleri krom, vanadyum ve titanyum ile mikro alaşımlıdır. Ray malzemelerinin dayanımını artırmanın diğer bir yolu da ısıl işlemdir. Raylarda ve onların yakma alın kaynağı bağlantılarında yorulma çatlakları uzama oranına olduğu kadar, kırılma dayanımı, çekme dayanımı ve darbe enerjisini de etkiler(Kökçe 2002, s.164).

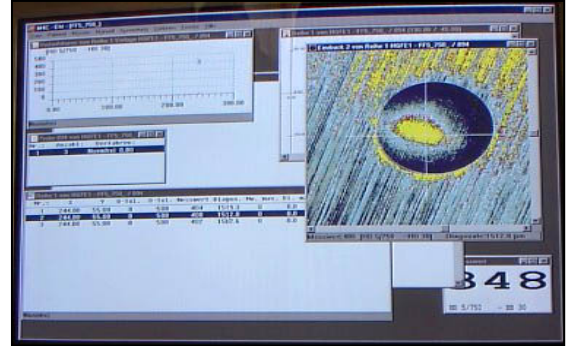
Ray kaynağında kaynağın kalite kontrolü çok büyük önemi taşır. Kaynağın, kalitesinin ölçmede; ultrasonik muayene, mikro ve mikro yapının kontrolü, yorulma, statik eğilme, kimyasal analiz ve sertlik deneyleri yapılmaktadır.

## 6.2 SERTLİK TESTİ

Kaynağın sertliğini belirlemek için; kaynağın yuvarlanma yüzeyinin üzerinde birbirinden 5 mm uzakta 12 değişik noktada standart Brinel Sertlik Testi yapılır (Şekil 6.1). Bu testlerde elde edilen Brinel Sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması söz konusu kaynağın Brinel Sertliği olarak kabul edilir ve sertlik ölçüm ekranında gösterilir(Şekil 6.2). Kaynağın Brinel sertlik değeri 278–327 Brinel arasında olmalıdır. Kaynak bölgesinin sertliği rayın sertliğinden 17–23 brinell fazla olabilmektedir. Kaynak metalinde oluşan içyapıların analizinde sertlik dağılımından da yararlanılmıştır. Bu amaçla önce ray parçasında mikro yapı incelemelerinde kullanılan yüzeyde ve ray mantarı yüzeyinin 3 mm altında, kaynak merkezinden her iki yöne uzaklaşan yeterli sıklıkta brinell sertlik değerleri ölçülmüştür. Buradan görüleceği gibi rayın HAZ bölgesinde sertlik değerleri çelik daha yüksek karbon içermesine rağmen ancak 275 brinell mertebelerindedir. Ancak daha düşük karbon içeren kaynak metalinde sertlik neredeyse 300 brinell değerine ulaşmaktadır(Onay 2004, s.44).



Şekil 6.1: Sertlik ölçme noktaları



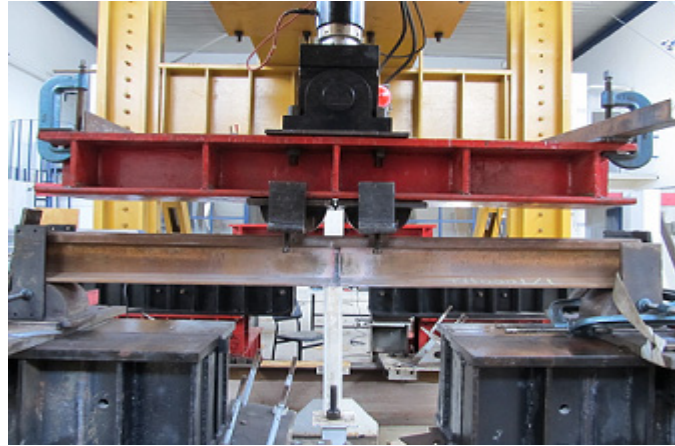
Şekil 6.2: Sertlik ölçüm sonuç ekranı

## 6.3 YORULMA TESTİ

Uygulamada kullanılan birçok makina parçası ve yapı elemanı tekrarlı yüklere ve titreşimlere maruz kalmaktadır. Bu koşullar altında çalışan metalik malzemenin yapılmış parçalarda, gerilmeler malzemenin statik dayanımından küçük olsa dahi belirli bir çevrim sayısından sonra yüzeyde bir çatlama ve bunu takip eden kopma olayı meydana gelir. Meydana gelen bu olay "Yorulma" olarak adlandırılır.

Malzemenin kullanım yerinde yorulmaya etki eden faktörlerin fazla olması ve uygulamada statik yüklemeye nadir rastlanması sebebi ile günümüzde meydana gelen hasarların önemli bir kısmı yorulmadan ileri gelmektedir. Özellikle raylar kaynak bölgelerinde trenlerin çevrimsel dingil yüklerine maruz kaldıklarından kaynakların yorulma dayanımı kullanım ömrü ve maliyetler açısından çok büyük önem arz etmektedir.

Testler 1.30 m uzunluğunda, 1 m açıklığında basit mesnetlenmiş ve tam ortasında ray kaynağı bulunan bir ray üzerinde yapılmaktadır. 20 ton ile 0,5 ton arasında değişen yük 5,55 Hz frekansla 2.000.000 çevrim uygulandıktan sonra kaynakta herhangi bir çatlama ve kırılmanın gözlenmemesini gerektirmektedir. Söz konusu testlerin TCDD ve İ.T.Ü'nin birlikte kullandığı Haydarpaşa Statik Yorulma laboratuvarında uygulaması yapılabilmektedir. (Şekil 6.3)'de Haydarpaşa Statik Yorulma Laboratuvarı'nda kaynaklanmış rayın yorulma deney düzeneği gösterilmiştir (Onay 2004, s.45).



**Şekil 6.3: Rayın yorulma deney düzeneği**

Yorulma kırığı yüzeyi; pürüzsüz olan yorulma çatlaklarının ilerlediği bölge ile pürüzlü ve yarıklı son kırılma bölümlerinden oluşur. Pürüzsüz olan yorulma çatlaklarının olduğu bölgede kumsal çizgileri şeklindeki duraklama çizgileri mevcut olabilir. Duraklama çizgileri yükün değişimi, makinanın hızının değişimi gibi durumlarda çatlak ilerleme hızlarının değişmesi, dolayısıyla çatlak uçlarındaki oksidasyonunun farklı şiddette olmasından ileri gelir. Bu duraklama çizgileri, yorulma çatlaklarının ilerlemesi sırasındaki

çeşitli safhalarda, çatlak cephesinin aldığı şekiller hakkında bilgi verir. Çatlak cephesinin şekli, yüklemenin şeklini belirttiğinden, hasar anaiizinde önemli bir yeri vardır. Bu yüzden duraklama çizgileri çevrim çizgileri ile karıştırılmamalıdır.

#### 6.4 STATİK EĞİLME TESTİ

Eğme deneylerinin Türk Standartlarındaki tanımlamalarına bakılacak olunursa (TS 205), eğme iki desteğe serbest olarak oturtulan genellikle daire ve dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişmesidir. (Şekil 6.4)'te statik eğilme test düzeneği, (Şekil 6.5)'da test makinesi genel görünümü verilmiştir.



Şekil 6.4: Statik Eğilme Test düzeneği



Şekil 6.5: Eğme test makinesi

Ray kaynağında ise çok önemli mekanik ölçüt olan bu test şu şekilde yapılmaktadır. Öncelikle kaynaklanmış rayın ortasına tekil bir kuvvet uygulamak suretiyle numune eğilme gerilmelerine maruz bırakılır. Rayın çatlamadan yapabildiği maksimum sehim ölçülür. Uygulanan kuvvet ray kırılana kadar artırılır ve kırılma yükü tespit edilir. Rayın çatlamadan vereceği sehim miktarı en az 15 mm ve kırılma yükü minimum 82 ton olmalıdır(Onay 2004, s.46).

## 6.5 ULTRASONİK MUAYENE

Ultrasonik dalgalarının bir malzeme içerisinde bir prob aracılığı ile bir demet halinde gönderilmesi ve malzemenin içerisinde geçen dalga demetinin değişime uğraması, dalgaların malzemedan çıktığı anda aynı veya başka bir prob aracılığı ile alınması, proba gelen dalgaların probun piezo elektrik kristali tarafından tekrar elektrik titreşimlerine dönüştürülmesi ile yapılmaktadır. Her iki prob elektronik bir devre ile bir ultrason cihazını oluşturur (Şekil 6.6). Cihazın ekranında elde edilen görüntüler giriş çıkış yüzeyleriyle parçada bulunan hata v.b. yansıtıcıları belirler. Test işlemi, rezonans frekansını, zamanı( time of flight) ve genişliği ölçerek yapılabilir. Raylarda ultrasonik yöntem uygulayacak kişinin en az seviye II düzeyinde sertifikalandırılmış ve EN –473 ‘ün gerekleriyle vasıflandırılmış olmalıdır. Ayrıca bu uygulama konusunda deneyimli olmalıdır. Ray kaynaklarında tarama bölgesi kaynak bölgesi, HAZ bölgesi (en az 10mm) ve ana ray metali (en fazla 20mm ) olmalıdır. Ray kaynaklarının hata tespitinde Tandem yöntemi seçilmiş ise 70 ° açılı problar kullanılması en iyi sonucu verecektir. Tandem tekniğinin esası iki açılı prob kullanımına dayanmaktadır. İki probun ses alanlarının kesişim bölgesi, duyarlılık bölgesini belirler. Problar arasındaki mesafe değiştirilerek duyarlılık bölgesinin derinliği değiştirilebilir. Tarama duyarlılığı; değerlendirilecek belirtiler ekran yüksekliğinin en az yüzde 20 sini geçecek ve malzeme tane yapısından ve muayene sisteminden kaynaklanan gürültü yankılarından en az 6 db daha büyük olmalıdır.



**Şekil 6.6: Ultrasonik muayene cihazı**

Ray ve ray kaynaklarının yüzeyi pürüzsüz olmalıdır. Yüzeyde bulunan pas, yağ, kir, pürüzler v.s testten önce mutlaka temizlenmelidir. Yüzeyin pürüzlü olması akustik empedans farkından dolayı testten hatalı sonuç alınmasına neden olur.

Havanın akustik empedansı ile test malzemesinin akustik empedansı arasındaki fark çok büyük olduğundan çok ince bir hava tabakası bile ultrasonik demetin malzemeye geçişini engellemektedir. Bu nedenle prob ile test parçası arasında temas sıvısı kullanılarak hava filmi yok etmek gerekir. Ayrıca test parçasının yüzey sıcaklığı, malzemenin korozyon tehlikesi ve yüzey pürüzlülüğü bir temas sıvısı kullanımını gerektirmektedir (İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. 2008).

Test amacına, tespit edilecek hata tipine ve konumuna bağlı olarak Rayların muayenesinde boyuna ve enine dalgalar ile test yöntemi uygulanmalıdır.

Boyuna dalgalarla test işleminde genellikle normal problemler kullanılır. Gözenek, cüruf, çekme boşluğu v.b hacimsel hatalarla, laminasyon, çatlak v.b. düzlemsel hatalar dedekte edilebilir. Enine dalgalarla test genellikle açılı problemlerle yapılır. Prob açısı kabaca demet hataya dik gelecek şekilde seçilmelidir. Dolayısıyla hata türünü, yerini ve yönünü tahmin etmek gerekir. En çok kullanılan prob açıları 45° , 60° , 70° ve 80° dir. Enine dalgalarla gözenek, cüruf v.b. hacimsel hatalar ve çatlak, yetersiz Nüfuziyet, yetersiz kaynama v.b. düzlemsel hatalar test edilir.

Test parçasında oluşabilecek hataları bulabilmek için hataların uygun prob seçilmelidir. Test parçasının malzemesi, üretim şekli, işlem şartları, boyutları ve geometrik şekli incelendikten sonra kullanılacak prob için karar verilmelidir. Bu bilgiler değerlendirildikten sonra, testi yapacak olan kişi malzemede bulunabilecek hata tiplerini tahmin edebilmelidir.

Uygun prob tipi seçerken, yansıtıcının yönü, prob yansıtıcı arası mesafe ve test parçasının şekli göz önüne alınmalıdır. Prob hataya dik ses demeti gönderecek şekilde bir prob tipi veya açısı seçilmelidir. Düzlemsel hataların tespiti için uygun bir prob açısı seçmek gerekmesine karşılık, hacimsel hataların tespitinde prob açısı pek önemli

değildir. Yüzey çatlaklarının tespitinde en uygun açı  $45^\circ$  dir. Prob ile süreksizlik arasındaki mesafe prob tipi seçiminde diğer önemli faktördür. Proba yakın mesafelerdeki süreksizlikleri tespit edebilmek için prob ölü alanının kısa olması, dolayısıyla ayırma gücünün yüksek olması gerekir. Kısa mesafelerde 5 mm kadar çift kristalli problemler tercih edilmelidir. Eğrisel yüzeyli malzemelerin testinde küçük boyutlu problemler kullanılmalıdır. (Şekil 6.7)'de ultrasonik muayene düzeneği görülmektedir.



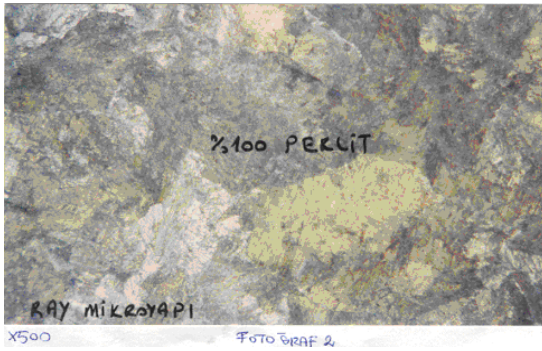
**Şekil 6.7: Ultrasonik test düzeneği**

Kalın cidarlı malzemeler  $45^\circ$  açılı tandem tekniği ile test edilebilir. Bu teknik özellikle yüzeye düşey doğrultudaki süreksizliklere karşı etkindir. Malzemenin cidar kalınlığına ve derinlik bölgesine bağlı olarak problemler arası uzaklık veya prob açısı farklı olmalıdır. Genel olarak ultrasonik testlerde 1–5 mhz arasında frekanslar kullanılır. Test frekansı seçilirken malzeme, ayırma gücü, test alanı, dedekte edilecek minimum hata boyutu ve süreksizlik yönü göz önüne alınır. Frekans yükseltildiğinde malzemedeki zayıflama oranı'da yükselir. Dalga boyu ortalama tane boyutunun en az 5 katı olmalıdır. Kaba taneli yapılarda (örneğin östenitik dökümler) yüksek frekans çimlenmeye (gürültü) neden olur. Böyle durumlarda frekans 0,5 mhz 'e kadar düşürülmelidir. Hataların dedekte edilebilirliği hata boyutu / ses demeti kesit oranı ile artar Yankı yüksekliği değerlendirilmesinde mesafe  $0,7N$  'dan ( $N$  yakın alan uzunluğu) daha büyük olmalıdır. Daha yakın mesafeler ses basıncının yakın alandaki karmaşık değişiminden dolayı yanılmalara neden olabilir(İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. 2008).

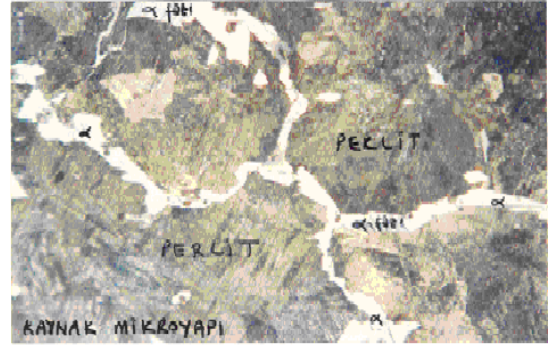


## 6.6 MİKROYAPILAR

Kaynak çeliği ile ray çeliği yapısı aynı görünüşte eşit büyüklükteki tanelerden oluşmalı, yapı ray çeliği gibi perlitik olmalıdır. Ray ve kaynak metalinde mevcut mikro yapının incelenmesi amacıyla, yapılan kaynaklardan alınan numunelerin yüzeyleri yüzde 4'lük Nital ile dağlanarak hazırlanmış, daha sonra 100 ve 500 kat büyültme yapılarak metalografik olarak incelenir. (Şekil 6.8) de ray mikro yapısı şekil (Şekil 6.9) de kaynak mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 6.8: Ray mikro yapısı



Şekil 6.9: Kaynak mikro yapısı

Ray metalinde rayın HAZ bölgesinde yapının esas olarak eş-eksenel perlit tanelerinden oluştuğu ve tane sınırlarında sınırlı miktarda ferrit bulunduğu görülmektedir. Ferrit miktarı yüzde 5'in altında olup bu durum, yüzde 0.59 C içeren çelik için uygun nitelendirilmektedir. Kaynak metalinde ise durum oldukça farklıdır. Burada kaynak metalinin erime sınırını teşkil eden ray metalini ile oluşturduğu sınırdan kaynak merkez eksenine doğru uzanan yönlenmiş tanelere rastlanmıştır. Yönlenmiş ve iri sayılabilecek tane yapısı, ray metalininkiyle karşılaştırıldığında, daha fazla oranda (muhtemelen yüzde 5'in üzerinde) ferrit içerdiği, ayrıca yapıda baskın olan perlitin yanı sıra kısmen de olsa martenzitik yapı oluşumlarının, yani karışık faz oluşumunun meydana geldiği dikkati çekmektedir. Bu durumun, termit kaynağı işleminin büyük kütleye sahip iki ray parçası arasında gerekli önlemlerin alınmadan yapılması durumunda oluşması normal karşılanmalıdır(Onay 2004, s.47).

## 6.7 KİMYASAL ANALİZLER

S49 R260 ray ile yapılan kaynak işlemlerinin sonunda elde edilen numunelerin hem kaynak metalleri hem de esas metalleri kimyasal analize tabi tutulmuştur. Sonuçlar (Tablo 6.2)'de, verilmiştir.

**Tablo 6.2: Aluminotermite kaynak kimyasal yapısı**

(C) : 0.421	(Ni) : 0.054	(W) : 0.011
(Si) : 0.444	(Al) : 0.537	(PB) : 0.0041
(Mn) : 0.979	(Co) : 0.016	(Sn) : 0.018
(P) : 0.030	(Cu) : 0.102	(Sb) : <0.0020
(S) : 0.011	(Nb) : <0.0020	(Mg) : -
(Cr) : 0.122	(Ti) : 0.031	(Fe) : KALAN
(Mo) : 0.027	(V) : 0.013	

(Tablo 6.3)'te S49 R260 Ray esas metalin kimyasal bileşimi verilmiştir.

**Tablo 6.3: S49 R260 rayın esas metalin kimyasal bileşimi**

ELEMENT	%	ELEMENT	%	ELEMENT	%
Karbon (C)	0,66000	Silisyum(Si)	0,20500	Mangan (Mn)	1,22000
Fosfor	0,01430	Kükürt (S)	0,02900	Krom (Cr)	0,05010
Molibden(Mo)	0,00100	Nikel (Ni)	0,00847	Alüminyum (Al)	0,00386
Kobalt (Co)	0,00100	Bakır (Cu)	0,02530	Niyobyum (Nb)	0,00200
Titanyum (Ti)	0,00482	Vanadyum(V)	0,00100	Tungsten (W)	0,00500
Kurşun (Pb)	0,00200	Kalay (Sn)	0,00300	Antimon (Sb)	0,0200

## 7. ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN MALİYET YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

### 7.1 GİRİŞ

Maliyet geniş anlamda bir amacı gerçekleştirmek için katlanılan fedakârlıklar veya masraflar, ekonomik anlamda ise satış kıymeti olan bir ürünün üretiminde kullanılan üretim faktörlerinin parayla ifade edilen değeri olarak tanımlanmaktadır(Arlı 2002, s.61).

Geçmişte, yapılacak yeni bir projede yatırım maliyetleri en önemli karar verme parametresi olurdu. Ama günümüzde birçok ülkede “life cycle cost” yani servis ömrü maliyet analizleri yapılmakta ve bu analizlerde ilk maliyetle beraber projenin ekonomik ömrü boyunca ortaya çıkabilecek maliyetler de dikkate alınmaktadır. Ray kaynaklarının servis ömrü boyunca bakım istemeyeceği öngörüldüğünden bu çalışmada sadece yapım maliyetleri karşılaştırılacaktır(Arlı 2002, s.61).

Her iki kaynak yönteminin yapım maliyetleri karşılaştırılacak bugünkü maliyeti düşük olan tercih edilecektir. Ray kaynak yapım maliyeti her ülke için farklı olmaktadır. Çünkü her ülkenin başta iş gücü maliyeti olmak üzere makine, malzeme ve ekipman maliyetleri değişmektedir.

Ülkemizde Aksaray - Havaalanı Hafif Metro hattında her iki kaynak yöntemi birlikte uygulanmıştır. TCDD hatlarında yeni yönelim yakma alın kaynağı ile rayları UKR haline getirmek şeklindedir. Bunun yanında aluminotermite kaynağı ile ray birleştirme çalışmaları azalmakla birlikte devam etmektedir.

Bu tezde yeni bir hatta yapılan her iki kaynak yönteminin yapım maliyetleri karşılaştırılmıştır.

## 7.2 ALUMİNOTERMİT KAYNAK MALİYETLERİNİN HESAPLANMASI

### 7.2.1 Aluminotermite Kaynak Amortisman Maliyeti

Aluminotermite kaynak yapım makinelerinin servis ömrü 5 yıl kabul edilmektedir. Kaynak makineleri bir yılda hava şartlarından ve arızalardan dolayı ortalama 180 iş günü çalışabilir. Makinelerin ortalama servis ömrü  $5 \times 180 = 900$  gündür.

Madde 8.2.1 de hesaplanan bir adet kaynak süresi 58 dakikadır. Bir ekip bir günde 8 saat çalışarak ortalama 8 adet aluminotermite kaynağı yapabilmektedir. Bu nedenle günlük amortisman maliyetleri günlük kaynak sayısına bölünerek bir kaynağa ait birim amortisman maliyeti (Tablo 7.1) de gösterilmiştir. Bir günlük makinelerin amortisman maliyeti günlük kaynak sayısına bölünerek bir adet kaynağın birim amortisman maliyeti çıkarılmıştır.

$$AT_{am} = F / S \quad (7.1)$$

$$AT_{bam} = AT_{tm} / N \quad (7.2)$$

$AT_{bam}$  : Aluminotermite kaynak birim amortisman maliyeti (€/adet)

$AT_{am}$  : Günlük aluminotermite kaynak amortisman maliyeti (€/gün)

$AT_{tm}$  : Günlük aluminotermite kaynak toplam amortisman maliyeti (€/gün)

N : Günlük kaynak Sayısı(Adet)

S : Makine servis ömrü

F : Makine bedeli

$$AT_{bam} (\text{€/adet}) = AT_{tm} / N = 41,68 / 8 = 5,21 \text{ €}$$

**Tablo 7.1: Aluminotermite kaynak amortisman maliyetleri**

No	Makine	Makine Fiyatı, F (€)	Makine Servis Ömrü, S (gün)	Amortisman maliyeti, AT <sub>am</sub> (€/gün)
1	Kaynak sıyırma makinesi	5.000	900	5,56
2	Tirfonöz, blonöz makinesi	9.000	900	10
3	Ray taşlama makinesi	5.000	900	5,56
4	10 kw jeneratör	2.500	900	2,78
5	Termit kaynak ekipmanları	15.000	900	16,67
6	Ön tavlama ekipmanları	1.000	900	1,11
Toplam amortisman maliyeti				41,68

### 7.2.2 Aluminotermite Kaynak Malzeme Maliyeti

Aluminotermite kaynak malzeme maliyetine aluminotermite kaynak porsiyonu, tuğla kalıp, pota, sıvama kumu, maytap, ray taşlama taşı ve ön tavlama malzemeleri etki eder. Bir kaynak için 10 kg sıvama kumu kullanılır. 200 bar oksijen tüpü ile 8 adet kaynak yapılabilir. 1 adet propan tüpü ile 30 adet kaynak yapılabilir. 1 adet taşlama taşı ile 10 kaynak taşlanabilir.

Aluminotermite kaynak birim malzeme maliyeti birim miktar ile malzeme fiyatının çarpımı ile bulunmuştur. Birim maliyetler (Tablo 7.2)'de gösterilmiştir. Kaynak makinelerinin malzeme maliyetini yakıt (mazot), yağ, üstüğü ve benzin maliyetleri oluşturur.

$$AT_{bmm} = M_m \times C \quad (7.3)$$

$AT_{bmm}$  = Aluminotermite kaynak için birim malzeme maliyeti(€/adet)

$M_m$  = Malzeme miktarı

$C$  = Malzeme fiyatı

Aluminotermite kaynak birim malzeme maliyet toplamı (€/adet) = 71,45 €

**Tablo 7.2: Aluminotermite malzeme maliyeti**

No	Malzemeler	Birim	Miktar M <sub>m</sub>	Malzeme Fiyatı, C (€)	Birim Maliyeti AT <sub>bmm</sub> (€/adet)
1	Kaynak porsiyonu ve tuğla kalıp	adet	1	50	50
2	Tek kullanımlık pota	adet	1	10	10
3	Sıvama kumu	kg	10	0,1	1
4	Oksijen ve propan gazı	lt	1	3,5	3,5
5	Ray taşlama taşı	adet	0,1	7,5	0,75
6	Maytap	adet	1	1,25	1,25
7	Benzin, mazot ve yağ vs.	lt	1,5	3,3	4,95
Toplam malzeme maliyeti					71,45

### 7.2.3 Aluminotermite Kaynak İşçilik Maliyeti

Aluminotermite kaynağının ön hazırlık, kaynak işlemi ve kaynak sonrası işçilikler olarak 3 aşamada kaynak ele alınabilir. Kaynak ekibi 5 kişiden oluşmaktadır. Ön hazırlık ve kaynak işlemi 2 usta kaynakçı tarafından yapılmaktadır. 1 usta, kaba ve ince taşlama işini yapmaktadır. 1 işçi ara eleman olarak çalışmaktadır. 1 sürveyan ekip şefi olarak çalışmaktadır.

$$AT_{gim} = A_{im} / W \quad (7.4)$$

AT<sub>gim</sub> : Aluminotermite kaynak için günlük işçilik maliyeti(€/gün)

A<sub>im</sub> : Aylık işçilik maliyeti(€)

W= Aylık çalışma günleri

**Tablo 7.3: Aluminotermite kaynak işçilik maliyeti**

No	Elemanın Unvanı	Aylık Maliyet, A <sub>im</sub> (€/ay)	Günlük Maliyeti, AT <sub>gim</sub> (€/gün)
1	Usta	2120	96,36
2	İşçi	1765	80,22
3	Ekip Şefi	2265	102,95

$$AT_{im} = D / N \quad (7.5)$$

$$AT_{bim} = AT_{im} \times AT_{gim} \quad (7.6)$$

$$AT_{im} = D / N = 1 / 8 = 0,125$$

AT<sub>im</sub> : Aluminotermite kaynak birim işçilik miktarı(yevmiye)

AT<sub>bim</sub> : Aluminotermite kaynak birim işçilik maliyeti (€/adet)

D : Gün sayısı

Kaynak başına birim işçilik miktarı bir işçinin bir kaynak için harcadığı birim zamanı bulmak için (Tablo 7.4)'te miktar hesabından kullanılmıştır. Bir kaynak için harcanan süre ile bir işçinin bir günlük yevmiyesi çarpılarak kaynak başına birim işçilik maliyeti bulunmuştur. Aluminotermite kaynak birim işçilik maliyeti = **59 €**

**Tablo 7.4: Aluminotermite kaynak birim işçilik maliyeti**

No	İş Kalemi	Miktar, AT <sub>im</sub> (Yevmiye/gün)	Birim Fiyatı (AT <sub>gim</sub> €/gün)	Toplam Maliyeti AT <sub>bim</sub> (€/adet)
1	Kaynakçı Ustası	0,125	96,36	12,04
2	Kaynakçı Ustası	0,125	96,36	12,04
3	Taşıma Ustası	0,125	96,36	12,04
4	Erbap İşçi	0,125	80,22	10,02
5	Ekip Şefi	0,125	102,95	12,86
Toplam işçilik maliyeti				59

#### 7.2.4 Diğer Maliyetler

Makinelerin tamir ve bakımı ile ilgili yedek parça, işçilik, nakliye ve sigorta gibi giderler diğer giderleri oluşturur. Bu miktar tecrübelerden birim kaynak maliyetinin yüzde 10 olarak kabul edilmiştir.

$$\text{Diğer Maliyetler (€/gün)} = (5,21+71,45+59) \times \%10 = 135,66 \times \%10 = 13,56 \text{ €}$$

#### 7.2.5 Aluminotermite Kaynak Toplam Maliyeti

Bir adet aluminotermite kaynağı toplam maliyeti, Amortisman maliyeti, malzeme maliyeti, işçilik maliyeti ve Diğer maliyetlerin toplamı ile bulunmuş ve (Tablo 7.5)'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.5: Aluminotermite kaynak toplam maliyeti**

Amortisman Maliyeti, (€)	Malzeme Maliyeti (€)	İşçilik Maliyeti (€)	Diğer Maliyetler(€)	Toplam Maliyet(€)
5,21	71,45	59	13,56	149,22

$$\text{Aluminotermite Kaynağının Birim Maliyeti} = 5,21+71,45+59+13,56 = \mathbf{149,22 \text{ €}}$$



## 7.3 YAKMA ALIN KAYNAĞININ MALİYETLERİNİN HESAPLANMASI

### 7.3.1 Yakma Alın Kaynak Amortisman Maliyeti

Yakma Alın kaynak makinesinin servis ömrü 15 yıl kabul edilmektedir. Yakma alın kaynak makinesi bir yılda hava şartlarından ve arızalardan dolayı ortalama 240 gün çalışabilir. Makinelerin ortalama servis ömrü  $15 \times 240 = 3600$  gündür. Madde 8.2.2 de hesaplanan bir adet kaynak süresi 7 dakikadır. Bir ekip bir günde 8 saat çalışarak ortalama 68 adet kaynak yapabilmektedir.

(Tablo 7.6)'da hesaplanan günlük makine amortisman maliyetleri günlük kaynak sayısına bölünerek bir kaynağa ait birim amortisman maliyeti çıkarılmıştır.

$$FBW_{am} = F / S \quad (7.7)$$

$$FBW_{bam} = FBW_{tm} / N \quad (7.8)$$

$FBW_{bam}$  : Yakma alın kaynağı birim amortisman maliyeti (€/adet)

$FBW_{am}$  : Günlük Yakma alın kaynağı amortisman maliyeti (€/gün)

$FBW_{tm}$  : Günlük Yakma alın kaynağı toplam amortisman maliyeti (€/gün)

N : Günlük kaynak Sayısı(Adet)

S : Makine servis ömrü

F : Makine bedeli

Birim yakma alın kaynağı amortisman maliyeti (€/adet) =  $FBW_{tm} / N = 573,89 / 68$   
= 8,43 €

**Tablo 7.6: Yakma alın kaynak amortisman maliyetleri**

No	Makine	Makine Bedeli, F (€)	Makine Servis Ömrü,S (gün)	Amortisman maliyeti FBW <sub>bam</sub> (€/gün)
1	Yakma alın kaynak makinesi	2.000.000	3600	555,5
2	Tirfonöz, Blonöz Makinesi	9.000	900	10,00
3	Ray Taşlama Makinesi	5.000	900	5,56
4	10 kw Jeneratör	2.500	900	2,78
Amortisman maliyeti				573,89

### 7.3.2 Yakma Alın Kaynağında Malzeme Maliyeti

Makinelerinin malzeme maliyetini yakıt (mazot), yağ, üstüğü ve benzin maliyetleri oluşturur. Makinelerin periyodik bakımlarında kullanılan yağ, üstüğü, benzin gibi sarf malzemeleri yakıt miktarının yüzde 20'si kadardır. Yağ ve benzin malzemelerinin birim maliyeti de yakıt ile aynı alınır. Bu giderlerle beraber yakıt maliyetleri yüzde 20 artmaktadır. Mobil Yakma Alın Kaynak makinesi bir adet kaynak için 6 lt yakıt harcanmaktadır.

Yani bir adet kaynak için harcanan toplam malzeme miktarı  $6 \times 1,2=7,2$  lt alınarak bulunur.(Tablo 7.7)'de yakma alın kaynak makinesi malzeme maliyeti verilmiştir.

$$FBW_{bmm} = M_m \times C \quad (7.9)$$

$FBW_{bmm}$  = Yakma alın kaynak için birim malzeme maliyeti(€/adet)

$M_m$ = Malzeme miktarı

$C$ = Malzeme fiyatı

Mazotun birim fiyatı 1,65 €/lt alınmıştır.

**Tablo 7.7: Yakma alın kaynak malzeme maliyeti**

No	Malzemeler	Birim	Miktar M <sub>m</sub>	Fiyat, C (€)	Birim Maliyeti FBW <sub>bmm</sub> (€/adet)
1	Yakıt( Benzin, Mazot)	lt	7,2	1,65	11,88
2	Ray taşlama taşı	adet	0,1	7,5	0,75
Toplam malzeme maliyeti					12,63

Birim malzeme maliyeti (€/adet) = **12,63 €**

### 7.3.3 Yakma Alın Kaynağında İşçilik Maliyeti

Mobil Yakma alın kaynağı ön hazırlık, kaynak işlemi ve kaynak sonrası işçilikleri verilmiştir. Kaynak öncesi ray başlarının taşlanması için 2 erbab işçi çalışmaktadır. Kaynak işlemi için 2 adet usta makine operatörü, kaba ve ince taşlama işi için 1 adet usta taşlamacı çalışmaktadır. Kaynak işlemi boyunca ekiplerin başında 1 adet sürveyan veya ekip şefi bulunmaktadır. Bir ekip bir günde 68 adet kaynak yapmaktadır.

$$FBW_{gim} = A_{im} / W \quad (7.10)$$

$$FBW_{im} = D / N \quad (7.11)$$

$$FBW_{im} = D / N = 1 / 68 = 0,014 \text{ yevmiye / adet}$$

FBW<sub>gim</sub> : Yakma alın kaynak için günlük işçilik maliyeti(€/gün)

FBW<sub>im</sub> : Yakma alın kaynak birim işçilik miktarı(yevmiye)

A<sub>im</sub> : Aylık işçilik maliyeti(€)

W= Aylık çalışma günleri

D : Gün sayısı

**Tablo 7.8: Yakma alın kaynak günlük işçilik maliyeti**

No	Elemanın Unvanı	Aylık Maliyet, $A_{im}$ (€/ay)	İşçilik Maliyeti, $FBW_{gim}$ (€/gün)
1	Usta	2120	96,36
2	İşçi	1765	80,22
3	Ekip şefi	2265	102,95
4	Kaynak makinesi operatörü	2250	102,27

Günlük işçilik maliyeti aylık maliyetin 22 güne bölünmesi ile bulunmuştur (Tablo 7.8).

$$FBW_{bim} = FBW_{im} \times FBW_{gim} \quad (7.12)$$

$FBW_{bim}$  : Yakma alın kaynak birim işçilik maliyeti (€/adet)

(Tablo 7.9)'da Birim işçilik maliyeti hesaplanmıştır. Örneğin kaynak makinesi operatörü birim işçilik maliyeti aşağıdaki gibidir.

$$FBW_{bim} = 0,014 \times 102,27 = 1,43 \text{ €/ adet}$$

**Tablo 7.9: Yakma alın kaynak birim işçilik maliyeti**

No	İş Kalemi	Miktar $FBW_{im}$ (İşçilik)	Birim Fiyatı (€)	Toplam Maliyeti (€/adet)
1	Kaynak Makinesi Operatörü	0,014	102,27	1,43
2	Kaynak Makinesi Operatörü	0,014	102,27	1,43
3	Taşlama Ustası	0,014	96,36	1,34
4	Erbap İşçi	0,014	80,22	1,12
5	Erbap İşçi	0,014	80,22	1,12
6	Ekip Şefi	0,014	102,95	1,44
Toplam Yakma Alın Kaynak Makinesi İşçiliği				7,88

Yakma alın kaynağı birim işçilik maliyet toplamı = **7,88 €** dur.

### 7.3.4 Diğer Maliyetler

Makinelerin tamir ve bakımı ile ilgili yedek parça, işçilik, nakliye ve sigorta gibi giderler diğer giderleri oluşturur. Diğer giderleri bir saatlik çalışmaları için makine bedelleriyle belli bir katsayı çarpılarak bulunur. Bu katsayı iş makineleri için Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın genel fiyat analizinde 0,000179 olarak verilmiştir. Makinenin günde ortalama 8 saat çalıştığı kabul edilmiştir.

$$D_m = F \times K \times W_g \quad (7.13)$$

$$FBW_{dm} = D_m / N \quad (7.14)$$

$D_m$  : Diğer Maliyetler (€/gün)

$K$  : Sabit katsayı

$W_g$  : Günlük Çalışma Saati(sa/gün)

$D_m$  (€/gün) =  $F \times K \times W_g = 2.000.000 \times 0,000179 \times 8 = 2864$  €/gün

Bir günde 68 adet kaynak yaptığına göre  $2864 / 68 = 42,11$  €/adet

### 7.3.5. Yakma Alın Kaynağının Toplam Maliyeti

Birim yakma alın kaynak maliyeti (Tablo 7.10)'da verilmiştir. Birim maliyet, amortisman maliyeti, malzeme maliyeti, işçilik maliyeti ve diğer maliyetlerin toplanması ile bulunmuştur.

**Tablo 7.10: Yakma alın kaynağı toplam maliyeti**

Amortisman Maliyeti(€)	Malzeme Maliyeti(€)	İşçilik Maliyeti(€)	Diğer Maliyetler(€)	Toplam Maliyet(€)
8,43	12,63	7,88	42,11	71,05

Bir Adet Yakma Alın Kaynağının Toplam Maliyeti= **71,05** € dir.

#### 7.4 ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAKLARININ MALİYET YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Aluminotermite kaynak birim maliyeti, yakma alın kaynak birim maliyetine göre 78,17 €/adet ile 2,1 kat daha pahalıdır. Aluminotermite kaynak yönteminin malzeme maliyetinin fazla çıkması kaynak için araya dolgu malzemesi kullanılması zorunluluğundandır. İşçilik maliyetinin yüksek olması günlük kaynak sayısının yakma alın kaynağına göre çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yakma alın kaynağı ile bir günde 68 adet kaynak yapılabildiği halde aluminotermite kaynak yöntemi ile sadece 8 adet kaynak yapılmaktadır.

**Tablo 7.11: Kaynak maliyetlerinin Karşılaştırılması**

	Amortisman Maliyeti(€)	Malzeme Maliyeti(€)	İşçilik Maliyeti(€)	Diğer Maliyetler(€)	Toplam Maliyet(€)
Aluminotermite Kaynak	5,21	71,45	59	13,56	149,22
Yakma Alın Kaynak	8,43	12,63	7,88	42,11	71,05
Birim Maliyet Farkı					78,17

(Tablo 7.11) incelendiğinde aluminotermite kaynak birim maliyeti 149,22 €/adet olurken, yakma alın kaynak birim maliyeti 71,05€/adet olmaktadır. Her iki kaynak yönteminin birim maliyet farkı 78,17 €/adet olur.

Maliyetlerin bu şekilde çıkması yakma alın kaynağının daha ekonomik olduğu tezini kanıtlamaktadır. Yakma alın kaynak makinesinin satınalma maliyetinin fazla olmasına karşın kapasite ve servis ömrünün uzun olması birim maliyetini düşürmektedir.

## **8. ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN TEKNİK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI**

### **8.1 GİRİŞ**

Demiryolu raylarının kalite ve hizmet hayatını uzatmak için daha iyi kaynak sonucu elde etme çabaları sürekli olarak devam etmektedir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için tamamen maliyeti göz önüne almak yeterli değildir. Aluminotermite kaynakların gerekli malzeme, zaman, servis ömrü, performansının iyileştirilmesi ve kullanılan süreçlerini geliştirmek için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Aluminotermite kaynak(AT) cadde tramvay raylarının uygulamaları için mükemmel bir yöntemdir. Aluminotermite kaynak, kolay taşınabilirlik, düşük sermaye yatırımı ve saha koşullarına uygunluğu gibi özellikleri ile ray kaynakları için birçok avantajı sunmaktadır. İyi bir kaynak elde etmek için kaynakçıların becerilerine daha az bağımlı olunmalıdır. Kaynak süreci içinde mümkün olduğunca insan hataları minimize edilmelidir. Ancak, aluminotermite kaynak metalinin dayanım, süneklik ve yorulma özellikleri demiryolu ray çeliği kadar yüksek olmamıştır. Aluminotermite kaynak, dendritik döküm yapısı, gözenekli içyapısı ve bir operatöre bağlı bir süreçtir. Dolayısıyla, aluminotermite kaynakların kaliteleri ray çeliğinden sürekli aşağıda kalmıştır(Government Of India Ministry Of Railways 1996).

Yakma alın kaynak yöntemini(FBW) çok kısa sürede kaynak yapılabilme ve kaynak kalitesinin çok üstün olması tercih nedeni olarak öne çıkarmaktadır. Bununla birlikte kaynak makinesinin ilk maliyeti yöntemin yaygınlaşması önünde en büyük engeldir. Ortalama kaynak maliyeti ve ilk ekipman maliyetleri makul bir seviyede olmalıdır.

Yakma alın kaynak yöntemi hata oranı en düşük olan kaynak yöntemidir. Ancak kaynak sırasında rayın 2-3cm arasında kısılması bu yöntemin tamir amaçlı kullanılmasına izin vermemektedir.

Yakma alın kaynağı, sınırlı kaynak kusurları, ana metal ile benzer metalürjik karakter göstermesi, geometrik yüzey düzgünlüğü, ray ile benzer sertlik seviyeleri, minimum işçilik hatası sağlaması nedeni ile tercih edilmektedir. Bugün dünyada yapılan kaynakların yüzde 80 yakma alın kaynak yöntemi ile yapılmaktadır(Farhangi ve Mousavizadeh 2010).

Bu çalışmada aluminotermite ve yakma alın kaynaklarına uygulanan testler ve testlerin sonuçları grafiksel olarak incelenmiştir. Kaynakların kalite ve dayanımlarını belirleyen sertlik testi, eğilme testi, mikro ve makro yapı testi, yorulma testi ve ultrasonik test sonuçları ve kaynak yapım süreleri karşılaştırılmıştır.

Raylara yapılan bu testler, tren tekerleklerinin raya uyguladığı karmaşık yükler, yorulma etkisi, araç tekerleklerinin darbe etkisi, teker-ray sürtünme etkisi, ray yüzeyinde meydana gelen ondülasyon etkisi ve ısı farkından dolayı meydana gelen iç gerilmeler karşısında ray ve kaynağın davranışı hakkında bilgi edinmek içindir(Rajanna, Shivanand ve Akash 2010)

## **8.2 AKSARAY - HAVALİMANI HAFİF METRO HATTINDA YAPILAN ALUMİNOTERMİT VE YAKMA ALIN KAYNAKLARININ İNCELENMESİ**

Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı 1989 yılında kısmen açılmış yeni güzergâhlar sisteme dahil edilmesi ile 13 Aralık 2002 tarihinde Havaalanına ulaşmıştır. Hattın 1. ve 2. aşaması aynı firma tarafından yapılmıştır. Ray kaynakları Aluminotermite kaynak yöntemi ile yapılmıştır. Hat trafiğe açılmasından 5 yıl sonra kaynak bölgelerinde yorulma meydana gelmeye başlamıştır. İlk yıllarda kaynak contaları taşlama yapılarak ıslah edilmeye çalışılmıştır. Çok geçmeden 1997 yılına gelindiğinde taşlama ile conta vuruntularının önüne geçilemeyeceği anlaşılmıştır.

Kaynak bölgelerinde aşınmaya bağlı vuruş aşağıda yazılan sorunları birlikte getirmiştir.

- a) Vuruş kaynaklı gürültü
- b) Contalarda ray kırılmaları



- c) Conta bölgelerinde çökme
- d) Contalarda balastın aşınması ve ovalleşmesi
- e) Contalarda ahşap travers bağlantılarının laçkalaşması
- f) Yolcu konforunun negatif yönden etkilenmesi
- g) Araçların alt takımlarının hasar görmesi
- h) Aşırı bakım maliyeti

### **8.2.1 Aluminotermite Kaynakların İncelenmesi**

Aluminotermite kaynak bölgelerinde aşınmaya bağılı vurununun giderilmesi için contalarda sert dolgu elektrotları ile kaynak yapılması kararlaştırılmıştır. 1997 ile 2009 yılları arasında kaynak dolgu işlemi uygulanmıştır. Kaynak dolgu çalışmaları başlangıçta başarılı olmuştur. Fakat çok geçmeden iki yıl sonra 1999 yılında ilk yapılan kaynaklarda oyulmalar tekrar oluşmuştur. Contalarda kaynak işleminin ömrü iki yıla sınırlı kalmıştır. Bu nedenle her iki yılda bir conta kaynak dolgu işlemi tekrarlanmıştır. Tekrarlanan kaynak işlemlerinde kontroller sonucunda her kaynak işleminde bir önceki kaynak boyunun uzadığı görülmüştür. Kaynak boyları bazı contalarda 90 cm uzunluğu kadar ulaşmıştır.

Contalardaki vurunular raylarda yorulmayı hızlandırmış ve kaynak bölgelerinde kırılmalar meydana gelmeye başlamıştır. İdare aluminotermite kaynaklarda kırılmaların nedenleri sorgulamış ve 1996 yılında özel bir firma ile hattaki 3600 adet Aluminotermite kaynağının ultrasonik olarak kontrol edilmesi için sözleşme imzalamıştır. Firma Temmuz- Ağustos 2006 yılı içinde 3600 adet aluminotermite kaynağının kontrolünü tamamlamıştır. Firmanın yapmış olduğı kontrollerde 3600 adet kaynağın 1350 adedinde hata olduğunu tespit etmiştir(DEKA 2006).

Kırılan aluminotermite kaynakların yerine idare geniş aralıklı aluminotermite kaynağı yapılmasını uygun görülmüştür. Geniş aralıklı (maksimum 75mm) aralığında yapılan kaynaklar maliyet açısından uygun görülmüştür. Kırılan kaynakların tamirlerinde UKR hatlarda kupon ray kullanılması(6m) ve bir kaynak yerine iki kaynak yapılması gerekmektedir. Ultrasonik kaynakların kontrollerinde kırılan rayların yerine yapılan geniş aralıklı aluminotermite kaynaklarda incelenmiştir.

Aksaray - Havalimanı Hafif Metro hattında 2001–2006 yılları arasında 65 adet kırık, geniş aralıklı aluminotermite kaynak yöntemi ile tekrar kaynatılmıştır. Ultrasonik test sonucunda bu kaynaklardan sadece 23 adedinin sağlam olduğu ve 42 adedinin hatalı olduğu görülmüştür. Geniş aralıklı kaynakların yüzde 35,4 sağlam, yüzde 30,77 si çatlak ve yüzde 33,85 inin gözenekli olduğu tespit edilmiştir(DEKA 2006)



**Şekil 8.1: AT kaynağında gözenekler**      **Şekil 8.2: AT kaynağında oyulma**

Kırılan kaynaklar gözle kontrol edilmiş ve kaynakların kırılma şekli ve yüzeyleri incelenerek aşağıda belirtilmiştir.

- a) Kaynağın tam ortasında dik şekilde oluşan kırıklar,
- b) Kaynak ile HAZ bölgesinin birleştiği kısımlarda oluşan kırıklar(Şekil 8.3)
- c) Ray mantarından başlayan kırıklar,(Şekil 8.4)
- d) Ray tabanından başlayan kırıklar (Şekil 8.5).
- e) Gözenek ve cüruf kalıntısına bağlı olan kırıklar
- f) Dolgu kaynağı odaklı kırıklar. (Şekil 8.6).



**Şekil 8.3: AT kaynak HAZ kırığı**      **Şekil 8.4: Ray mantarında kırıklar**



**Şekil 8.5: Ray tabanında kırıklar**



**Şekil 8.6: Dolgu kaynağında kırıklar**

Raylardaki kırılmaların ana sebebi, ray içinde lineer olan süreksizliklerin yorulmanın etkisi ile kılcal çatlak oluşturması ve raydaki diğer hataların yorulmanın etkisi ile köşe veya kıvrım noktalarında çatlak oluşumuna sebep olmasıdır. Bu çatlaklar zamanla rayda kırılmaya sebep olmaktadır.

Ray mantarının üzerinde kaynak bölgelerinin aşınması nedeni ile İTÜ’de aluminotermite kaynaklar test ettirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kaynak metalindeki karbon oranı, olması gereken yüzde 0,6 değerinin oldukça altında, yüzde 0,28 mertebesinde bulunmuştur. Bu nedenle kaynak sonrası ray metalini ile kaynak metalinde birbirine uyumlu ve benzer içyapıların oluşturulamadığı görülmüştür. Oysa aluminotermite kaynaklı rayların kaynak metalinin yapısının ana ray metalini ile olabildiğince benzer hatta aynı mikro yapıya sahip olması ve tercihen tam perlitik olması, elde edilecek performansın en üst düzeye ulaşması açısından gereklidir(İTÜ 2001).

HAZ bölgesinde sınırlı bir bölge haricinde yapının neredeyse homojen sayılabilecek özellikte tam perlitik olduğu, kaynak metalinde aşırı sütunsal ve iri tanelere rastlanmadığı ve kalan ferrit oranının yüzde 5 değerinin altında olduğu görülmüştür. Sertlik değerleri de 255–306 HB arasında değiştiği ve kaynak metalinde sertliği arttıracak değişik faz oluşumları ( martensit, belki beynit ) bir yapı görülmüştür. Sertlik ölçüm sonuçları (Tablo 8.1) da verilmiştir.

**Tablo 8.1: Sertlik ölçüm sonuçları**

Ölçüm 1 : 272	Ölçüm 6: 306
Ölçüm 2 : 272	Ölçüm 7: 255
Ölçüm 3 : 272	Ölçüm 8: 278
Ölçüm 4 : 285	Ölçüm 9: 278
Ölçüm 5 : 306	Ölçüm 10: 285

Kaynak: DEKA 2006

İnceleme konusu olan kaynaklı birleştirmede ideal olarak verilen mikro yapısal özelliklere ulaşılamadığı anlaşılmaktadır. Bu durum, kaynak işlemi sırasında kullanılan aluminotermite'in kimyasal bileşiminin gerekenden daha düşük karbon içermesine rağmen, soğuma şartlarının uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Kontrollü olarak ve yavaş soğuması gereken kaynak metalinin işlem şartlarından dolayı hızlı soğuması sonucunda kaynak metalinde istenmeyen martenzitik ve kısmen beynitik yapıların oluşmasına bağlanmıştır. Böylece kaynak metalindeki sertlik seviyesinde olması gerekenin üzerine çıkmaktadır. Ayrıca uygulanan termite kaynağı sırasında ısının kaynak merkezinden raya doğru (rayın büyük kütlesi burada önemli rol oynamaktadır) hızlı akması, eşeksensiz olması gereken kaynak metalindeki tanelerinde merkeze doğru yönelmiş, iri, uzun ve sütunsal taneler şeklinde katılaşmasına yol açmıştır.

Aşınmaya karşı genel kural olarak sert yapılı metallerin avantajlı olduğu düşünülebilir. Ancak faz yapısının homojen olarak aynı sertlikte olması da arzu edilmiştir. Bu durumda en iyi performansın temperlenmiş martenzitik ve beynitik yapıya sahip çeliklerin olması beklenir. Ancak raylarda bu içyapıları kaynak sonrasında kontrollü olarak oluşturmak neredeyse imkânsız olduğu için genellikle bu uygulamalarda en iyi performansın sağlandığı ince perlitik yapıların oluşturulması hedeflenmektedir. Bu durum, aynı zamanda birleştirme yapılan bölgenin olabilecek elektrokimyasal etkilere karşı dayanımını da desteklemektedir. Diğer bir deyişle farklı mikro yapılara sahip birbirine komşu bölgelerde korozyon davranışı açısından da bir olumsuzluk yaşanması mümkündür. Bu nedenle kaynak sonrası tüm bölgelerde ince perlitik, homojen ince taneli tam bir perlitik (kaynak işlemi sırasında sağlanabilecek homojen ve sert yapı) yapılar oluşturulmalıdır. Aluminotermite kimyasal analizleri yaptırılmış ve ( Tablo: 8.2, Tablo: 8.3, Tablo 8.4)'de 3 adet numunenin test sonucu verilmiştir(İTÜ 2001).

**Tablo 8.2: Kimyasal test sonucu numune 1**

Karbon (C) : 0.421	Nikel (Ni) :0.054	Volfram (W) :0.011
Silisyum (Si) : 0.444	Alüminyum(Al) :0.537	Kurşun (Pb) :0.0041
Mangan (Mn) : 0.979	Kobalt (Co) :0.016	Kalay (Sn) :0.018
Fosfor (P) : 0.030	Bakır (Cu) :0.102	Magnezyum (Mg) : -
Kükürt (S) : 0.011	Niyob (Nb) :<0.0020	Demir ( Fe) :Kalan
Krom (Cr) : 0.122	Titan (Ti) :0.031	
Molibden (Mo) : 0.027	Vanadyum (V) :0.013	

Kaynak: İTÜ 2001

**Tablo 8.3: Kimyasal test sonucu numune 2**

Karbon(C) : 0.489	Nikel (Ni) : 0.057	Volfram (W) :0.012
Silisyum (Si) : 0.472	Alüminyum(Al) : 0.451	Kurşun (Pb) :0.0036
Mangan ( Mn) : 0.978	Kobalt (Co) : 0.016	Kalay(Sn) :0.018
Fosfor (P) : 0.030	Bakır (Cu) : 0.106	Magnezyum (Mg) : -
Kükürt (S) : 0.013	Niyob (Nb) : <0.0020	Demir ( Fe) : Kalan
Krom (Cr) : 0.123	Titan (Ti) : 0.031	
Molibden(Mo) : 0.025	Vanadyum (V) : 0.012	

Kaynak: İTÜ 2001

**Tablo 8.4: Kimyasal test sonucu numune3**

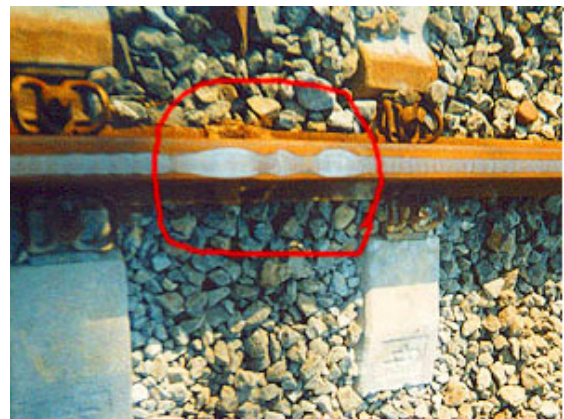
Karbon (C) : 0.680	Nikel (Ni) :0.028	Volfram (W) :0.0071
Silisyum (Si) : 0.240	Alüminyum(Al) :0.0023	Kurşun (Pb) :0.0031
Mangan (Mn) : 1.02	Kobalt (Co) :0.015	Kalay (Sn) :<0.0030
Fosfor (P) : 0.026	Bakır (Cu) :0.0068	Magnezyum (Mg) : -
Kükürt (S) : 0.014	Niyob (Nb) :<0.0020	Demir ( Fe) :Kalan
Krom (Cr) : 0.042	Titan (Ti) :<0.0010	
Molibden (Mo) : <0.0010	Vanadyum (V) :0.027	

Kaynak: İTÜ 2001

Sonuç olarak alınan ray numunesinin incelenmesinden ve literatürdeki bilgilerden aluminotermite kaynağıyla oluşturulmuş kaynak metalinin ana metalden daha fazla oranda aşınma ve/veya yığılma şeklinde şekil değişimine uğramasına neden olmuştur. Rayların kaynaklı birleştirilmesi amacıyla kullanılan aluminotermite kimyasal bileşiminin R260 kalitesindeki raya uygun olmadığı ve kaynaktan sonraki soğuma şartlarının yeterli ve gerekli şekilde kontrol edilemediği düşünülmektedir. Muhtemelen hızlı soğumaya bağlı olarak en yüksek performansı sağlayabilecek olabildiğince homojen ince perlitik bir içyapının oluşturulamamasının neden olduğu sonucuna varılmıştır(İTÜ 2001).

### 8.2.2 Yakma Alın Kaynakların İncelenmesi

Aksaray - Havalimanı hafif metro hattında 2009 yılı başında contalarda her yıl yapılan kaynakların boylarının uzaması, dolgu kaynak bölgelerinde ray mantarı yuvarlanma yüzeyinde kılcal çatlakların oluşması ve birçok dolgu kaynağının kırılmaya başlaması nedeniyle kaynak contalarının ray dolgu kaynak yöntemi ile ıslahının mümkün olmayacağı görülmüştür.(Şekil: 8.7) Bunun yanında yol altyapısı hızla bozulmuş ve hat tamiratların ömrü kısalmıştır. Örneğin normal hatta buraj işlemi 2 yılda bir yapılırken conta bölgelerine 5-6 ayda bir buraj yapma ihtiyacı doğmuştur. Kaynak altı hat bozukluğu (Şekil 8.8)'de gösterilmiştir.(İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş 2009).



Şekil: 8.7 Dolgu kaynaklı çatlak kaynak

Şekil: 8.8 Kaynak altında hat bozukluğu

Bu nedenle 2010 yılı başlarında Aksaray - Havalimanı hafif metro hattı 1. aşamada 1200 adet aluminotermite kaynağın kesilerek yerine yakma alın kaynağı yapılmıştır. Hasarlı aluminotermite kaynaklı kupon rayların kesilmesi (Şekil 8.9)' de verilmiştir.



**Şekil 8.9: Ray kesme yapılıması**



**Şekil 8.10: Kesik kupon aralığı**

İşletme altında gece yapılan bu çalışmada 100 cm boyunda kesilen kaynak bölgeleri alınmış ve raylar kaydırılmıştır. (Şekil 8.10). Raylarda yanal veya düşey aşınma 5mm'nin üzerinde ise raylar yenisi ile değiştirilmiştir.

Yakma alın kaynağı farklı kesitlerdeki rayların kaynağında (aşınma farkından dolayı) olumlu sonuç vermediği görülmüştür. Mobil alın kaynak makinesi prosedürüne göre iki ray arasında düşeyde en fazla 3mm fark varsa kaynak edilebilir. Aksi takdirde ray aşındırılarak veya yenisi ile değiştirilerek kaynak işlemine devam edilebilir. Bu nedenle kesilmeden dolayı kısalan rayların yerine konulacak raylar freze ile mevcut raya uyacak şekilde aşındırılmıştır. Bu aşındırma işlemi maksimum ray mantarının düşey ekseninden 5 mm ile sınırlandırılmıştır.



**Şekil 8.11: Gece kaynak çalışması**



**Şekil 8.12: Geometrik kontrol**

Aksaray - Havalimanı hafif metro hattı 1. aşamada kaynaklar işletme altında gece yapılmıştır.(Şekil 8.11)'de gece çalışmasında yapılan bir kaynak fotoğrafı verilmektedir. Mobil yakma alın kaynak makinesi ile yapılan kaynakların başarılı sonuçlarının alınmasının ardından 2. aşama için ihaleye çıkılmış ve Aralık 2010 itibarı ile 2. aşamada 1150 adet yakma alın kaynağı yapılmıştır. Bu çalışmaların Nisan 2011 yılına kadar tamamlanması planlanmıştır(İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş 2010).

Yapılan yakma alın kaynaklarının gözle muayene, 1 metrelik master marifeti ile geometrik kontrol ve ultrasonik muayeneleri yapılmıştır(Şekil 8.12). Ultrasonik muayenede 45°, 70° ve dik problar kullanılmıştır. Test işlemi mantar, gövde ve tabandan yapılmıştır.

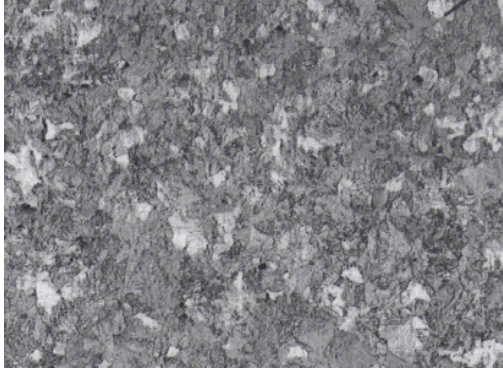
Mobil alın kaynak makinesi çalışmaya başlamadan önce 1,20 metre uzunluğunda 8 adet ray kesilerek test kaynakları yapılmıştır. (Şekil 8.13)'da test rayının kaynak görüntüsü verilmektedir.



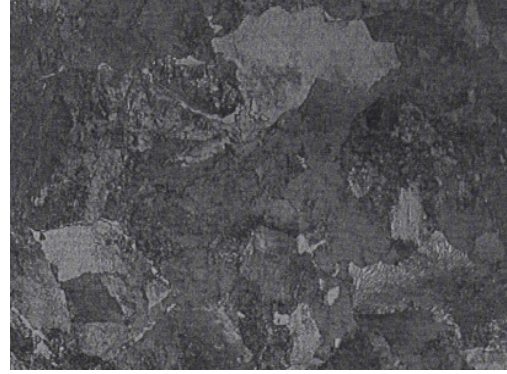
**Şekil 8.13: FBW makinesi ile test rayı kaynağı**



Mikro incelemeler için iki adet numune metalografik yöntemlerle hazırlanmış ve içyapıları mikroskop ile incelenmiştir. Ray mantarının HAZ bölgesinin mikro yapıları (Şekil 8.14) ve (Şekil 8.15)'de verilmektedir.

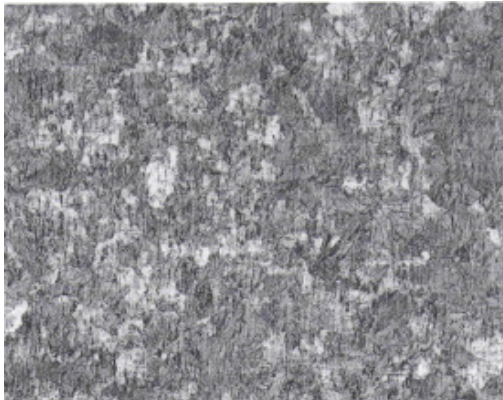


**Şekil 8.14: Mantar mikro yapısı 100X**



**Şekil 8.15: Mantar mikro yapısı 500X**

Rayın tabanı HAZ bölgesindeki kaynak (Şekil 8.16) ve (8.17)'te gösterilmiştir. Kaynak bölgesinin mikro yapısı(Şekil 8.18) ve (8.19)'te gösterilmiştir. İncelenen tüm bölgelerde yapı perlitiktir. Ray ana malzemesinde hadde yönünde dizilmiş MnS kalıntıları mevcuttur. 500X büyütmeyle gerçekleştirilen detaylı incelemelerde, ısıdan etkilenen bölgede martensit veya beynit fazına rastlanmadığı görülmüştür(Gürbüz 2010).



**Şekil 8.16: Taban mikro yapısı 100X**



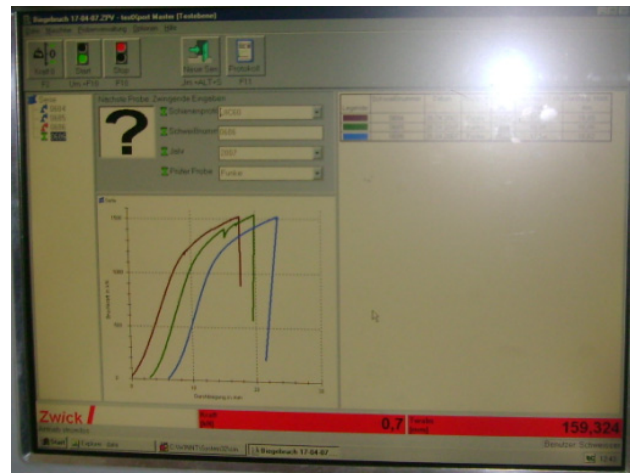
**Şekil 8.17: Taban mikro yapısı 500X**



Şekil 8.18: Kaynak mikro yapısı 100X

Şekil 8.19: Kaynak mikro yapısı 500X

Fotoğraflar incelendiğinde koyu renkli bölgeler perlit yapısını, açık renkli bölgeler ferrit yapısını göstermektedir. Kaynak bölgesinde (dikişinde) perlit + ferrit ve soğuma hızından dolayı, klasik ferrit yapısı oluşturacak zaman olmadığından kristal doğruları boyunca uzayarak widmanstatten yapı olarak bilinen ferritleri oluşturduğu görülmektedir. Dikişte görülen ferrit oluşumu kaynak sırasında eriyen bağlantı yüzeylerindeki karbon azalması nedeniyledir. Esas malzemede perlit yapı görülmüştür. Numunelerde yapılan testlerde çatak ve poroziteye (boşluk, gözenek) rastlanılmamıştır(Gürbüz 2010).



Şekil 8.20: Eğilme test makinesi

Şekil 8.21: Eğme test sonuç grafiği

İki adet test numunesine eğilme testi yaptırılmış Eğme testi makinesi (Şekil 8.20)'de ve test sonuç grafiği (Şekil 8.21)'de verilmiştir. Ayrıca kaynaklara sertlik ve yorulma testleri yaptırılmıştır. Yapılan tüm testlerin sonucunda kaynaklarda hata olmadığı ve tümünün sağlam olduğu görülmüştür(Gürbüz 2010).

### 8.3 KAYNAK YAPIM SÜRELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

#### 8.3.1 Aluminotermite Kaynağı Yapım Süresi

Aluminotermite Kaynak yapım süresi aşağıda (Tablo 8.5)'de verilmiştir. Kaynak ekibinin bir ayda 22 iş günü çalışılacağı varsayılmıştır. Bir ekip bir günde dinlenmeler hariç 8 saat çalışarak 8 adet aluminotermite kaynak yapabilmektedir.

**Tablo 8.5: Aluminotermite kaynak yapım süresi**

İşlem	Süre(Dak.)
Rayların ayarlanması	12
Kalıp bağlama	12
Ön ısıtma	6
Döküm	3
Soğuma ve sıyırma	10
Taşlama ve kurulum	15
Toplam	58

Bir adet kaynak için harcanan toplam süre 58 dakika olarak bulunmuştur.

Kaynak ekibi 5 kişiden oluşmaktadır. Ön hazırlık ve kaynak işlemi 2 usta kaynakçı tarafından yapılmaktadır. 1 usta, kaba ve ince taşlama işini yapmaktadır.1 işçi ara eleman olarak çalışmaktadır. 1 sürveyan ekip şefi olarak çalışmaktadır.

### 8.3.2 Yakma Alın Kaynağı Yapım Süresi

Yapılan tüm hesaplamalar mobil yakma alın kaynak makinesi ile kaynak yapılması işi kullanılmıştır. Kaynak işlemi için 2 adet usta makine operatörü, kaba ve ince taşlama işi için 1 adet usta taşlamacı çalışmaktadır. Kaynak işlemi boyunca ekiplerin başında 1 adet sürveyan veya ekip şefi bulunmaktadır. Bir ekip bir günde fiili olarak 8 saat çalışmaktadır.

Yakma alın kaynağı yapım süreci için, ray gövdesinin taşlanması, yakma alın kaynak makinesi kafasının yerleştirilmesi, ray başlarının ayarlanması, kaynak işlemi, kaba taşlama işi ve makinenin toparlanıp diğer kaynak bölgesine ortalama 18–24 m. gitmesi hesaba dahil edilmiştir. Sadece kaynak işlemi alınırsa işlem 2–4 dakika sürmektedir. Yakma alın kaynak yapım süresi bir kaynak için sadece 7 dakika bulunmuştur. Günlük 8 saat çalışarak ortalama 68 adet kaynak yapmaktadırlar. (Tablo 8.6)'de bir kaynak için yakma alın kaynak yapım süresi hesaplanmıştır

**Tablo 8.6: Yakma alın kaynak yapım süresi**

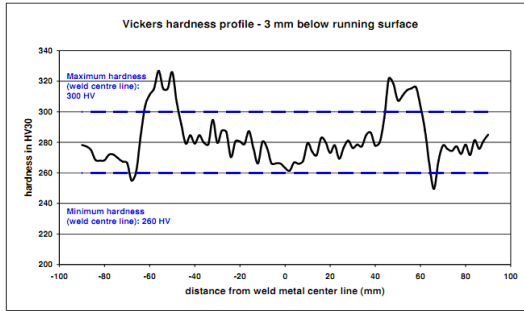
Yakma Alın Kaynak Yapım Süresi	
İŞLEM	Süre (Dak.)
Rayların ayarlanması	2
Kaynak işlemi	3
Kaynak ara mesafesi zaman kaybı	2
Toplam	7

Kaynak yapım süreleri incelendiğinde işletme altında yapılan kaynaklarda Yakma alın kaynağı kullanılması avantajlıdır. Bir saat içinde bir adet aluminotermite kaynak yapılabildiği halde yaklaşık 8 adet yakma alın kaynağı yapılabilmektedir. Yemi hat imalatlarında yakma alın kaynağı tercih edildiği gibi işletme altında hat yenileme işlerinde kaynak sayısının fazla olduğu (minimum 1000 adet) hatlarda yakma alın kaynağı kullanılması yolcu memnuniyeti, hat altyapı ve araç hasarlarının azaltılması yönünde olumlu etki etmekte ve tercih edilmektedir.

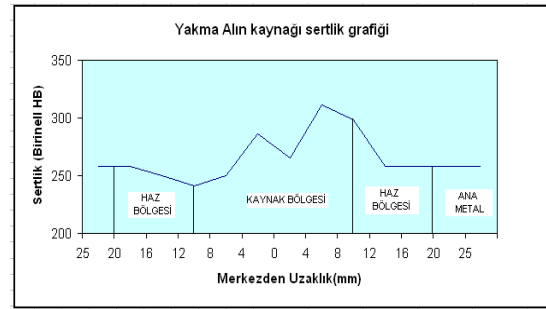
## 8.4 MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

### 8.4.1 Sertlik Grafiklerinin Karşılaştırılması

Aluminotermite kaynağı farklı bölgelerinden (ana metal, ısıdan etkilenen bölge(HAZ) ve kaynak) alınan ölçüm sonuçları (Şekil 8.22)'de, yakma alın kaynağı sertlik grafiği (Şekil 8.23)'de verilmiştir(İnnotrack 2008).



Şekil 8.22: AT sertlik grafiği



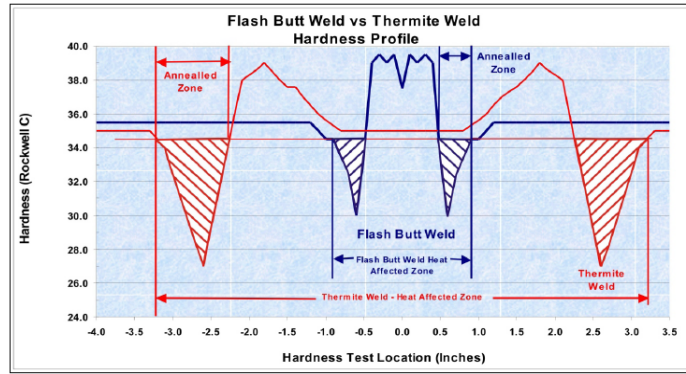
Şekil 8.23: FBW sertlik grafiği

Aluminotermite kaynağı sertlik sonuçlarına göre kaynaklarda kaynak ve HAZ bölgesinin toplam uzunluğu 120–160 mm'dir. Kaynaktaki sertlik değişimi kaynak performansını belirlemektedir. Bu yüzden HAZ bölgesinin dar olması arzu edilir. Rayın HAZ bölgesi başlangıcında sertlik değerleri çelik daha yüksek karbon içermesine rağmen ancak 260HB mertebelerindedir. Ancak daha düşük karbon içeren kaynak metalinde sertlik neredeyse 320 HB değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlarda mikro yapısal özelliklerde uyum içerisindedir. Çünkü kaynak sonrası kaynak metalinde soğuma hızının kontrol edilememesi sonucunda, karışık bir yapı elde edilmiş ve bunun sonucunda sertlik değerleri daha yüksek seviyeleri bulmuştur.

Yakma Alın kaynağı sertlik sonuçlarına göre yapılan kaynaklarda kaynak ve HAZ bölgesinin uzunluğu toplam uzunluğu 40–60 mm'dir. Isıdan etkilenmemiş ray çeliğine göre, ısıdan etkilenmiş bölgenin sınırındaki sertlikte azalma olduğu ısıdan etkilenmiş bölgenin, kontrollü soğutulmuş tane yapısına göre farklılık arz ettiği görülmektedir. Isıdan etkilenmiş bölgenin iri tane yapısının, erime sıcaklığına çok yakın sıcaklıklarda malzemenin ısıtılmasının bir sonucu olarak birleşme yüzeylerinin yanında, oluştuğu, bitişindeki normalize olmuş bölgelerin ise ince taneli olduğu tespit edilmiştir. Kaynak

dikişinde görülen sertlik düşümünün, karbon düşümüne dayanan ferrit oluşumu nedeniyle olduğu sonucuna varılmıştır

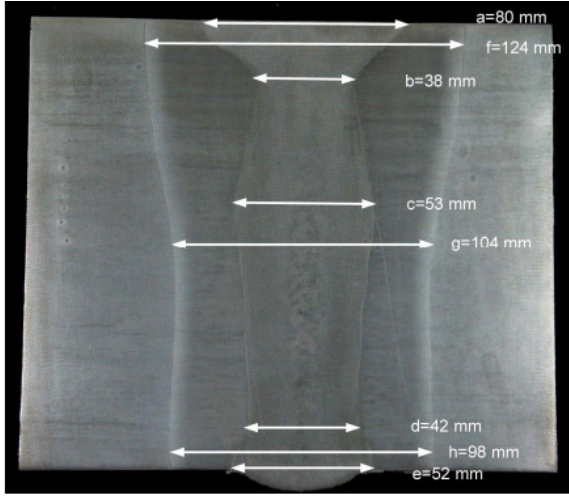
(Şekil 8.24)'te her iki kaynak bölgesinin sertlik diyagramları karşılaştırılmıştır. Yakma alın kaynağı kaynak bölgesi ray metalinden daha serttir. Zira kaynak bölgesindeki sertlik profiline yapısı, uzun servis ömrü boyunca ray çalışma (yuvarlanma) yüzeyinin düzgün kalmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Etkilenmemiş ray çeliğine göre ısıdan etkilenmiş bölgenin sınırındaki sertlikte azalma görülür, bu azalmanın bağlantılarda dar olması arzu edilir(www.hollandco.com 2010).



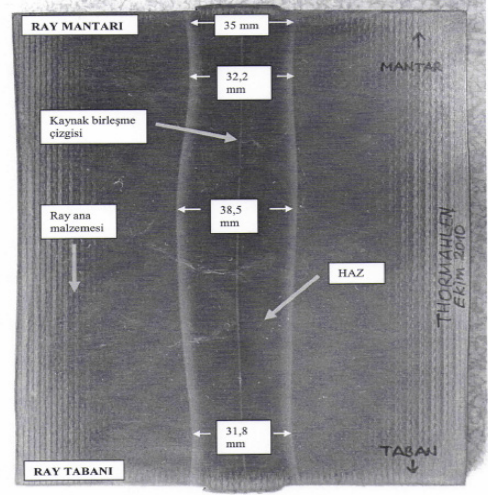
Şekil 8.24: AT ile FBW sertlik profillerinin karşılaştırılması

#### 8.4.2 Makro Yapılarının Karşılaştırılması

Hazırlanan aluminotermite makro numunesi yüzde 10'luk Nital ile dağlanmış ve kaynak bölgesi görünür hale getirilmiştir. Kaynak bölgesinin genel görünümü (Şekil 8.25)'te İnnotrack (2008) verilmiştir. Şekil incelendiğinde kaynak bölgesinin genişliği en dar bölgede 38 mm, ısıdan etkilenmiş bölge(HAZ) bölgesinin genişliği 124 mm olduğu görülmüştür.



**Şekil 8.25: AT Makro görünümü**



**Şekil 8.26: FBW Makro görünümü**

Gürbüz (2010) deney raporunda (Şekil 8.26)'de detaylı olarak görüldüğü gibi, ısıdan etkilenen bölgenin bitimi kaynak eksenini etrafında simetrik olarak gerçekleşmektedir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği minimum 31,8 mm, maksimum 38,5 mm'dir. Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma 20 mm'den azdır. İncelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği vs gözlemlenmemiştir.

Alüminotermite kaynak bölgesinin makro incelemeleri sonucunda kaynakta tam birleşme olduğu, ısıdan etkilenmiş bölge, kontrollü soğutulmuş tane yapısına göre farklılık arz ettiği görülmüştür. Kaynak bölgesi ve tavlanmış bölgeler olarak ikiye ayrılır. İri tane yapısı, erime sıcaklığına çok yakın sıcaklıklarda malzemenin ısıtılmasının bir sonucu olarak birleşme yüzeylerinin yanında oluşur. Bitişik olan normalize olmuş bölgeler ince tanelidir. Ancak, ray çeliğinin ısıtılması sırasında oluşan tavlanmış dar bölge ısıdan etkilenmiş bölgenin dış sınırını oluşturur. Bu sertlikte düşmenin ortaya çıktığı yerdir. Kaynak dikişinde görülen sertlik düşümü ise karbon düşümüne dayanan ferrit oluşumu nedeniyledir(Kuday 1997).

Kaynaklarının bozulma etkenlerinden biri kaynak metal ve ısıdan etkilenmiş bölge (HAZ) arasındaki sertlik farkından doğan aşınma ve iki bölgedeki aşınma direncidir. Dolayısıyla yumuşaklık gösteren kaynaklar (HAZ bölgesinin sonunda) kritik ısıdan etkilenmiş bölgelerde kaynağın servis ömrü, ray mantarının üzerinde ray teker temas yüzeyinde aşınma ya da kaynakta çukurlaşma gelişimine yol açar. Bu da yüksek

darbe yükleri oluşmasına sebep olur. Kaynak yüzeyinde artan çukurlaşma ve tren hızının artırılması ile üretilen yüksek darbe yüklerinin kaynak bölgesinde farklı aşınmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. Kaynak bölgelerindeki aşınma, ondülasyon ve gürültü seviyelerini arttırmıştır. Aluminotermite kaynak sürecinde HAZ ön ısıtma sırasında ve ısı girişi ile oluşmuştur. Erimiş kızgın metal, ön ısıtma parametreleri ve kaynak boşluğu genişliğinin değiştirilmesi ile HAZ etkilemiş olabilir. (www.hollandco.com 2010).

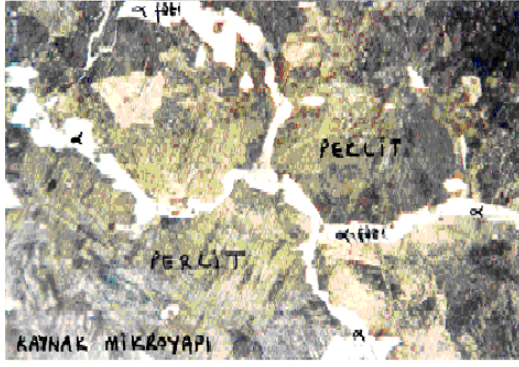
HAZ bölgesinin daraltılması yakma alın kaynağının kullanılması ile mümkün olmuştur. Bu sayede ray teker yuvarlanma yüzeylerinde sertlik ve aşınma farkları minimize edilmiştir. Ray gövde ve tabanında dar HAZ bölgesi ile sertlik dağılım farkları azaltılmış ve kaynakta tokluk artmıştır. Kaynakta tokluğun artması ray kırılmalarını azaltmıştır.

#### **8.4.3 Mikro Yapılarının Karşılaştırılması**

Aluminotermite kaynağı ile kaynatılmış numune yüzde 2 nital ile dağlanarak optik mikroskopta incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Kaynaklı numunenin değişik bölgelerinde optik mikroskopla yapılan incelemede mikro yapılar tespit edilmiştir. HAZ bölgesinde yapının neredeyse homojen sayılabilecek özellikte perlitik olduğu, kaynak metalinde aşırı sütunsal ve iri tanelere rastlanmadığı ve kalan ferrit oranının yüzde 5 değerinin altında olduğu görülmüştür. Kaynak ve HAZ bölgesinde tane sınırlarında  $\alpha$  fazı olduğu görülmektedir.(Şekil 8.27)

Yakma alın kaynağı mikro yapı incelemeleri için metalografik yöntemlerle hazırlanmış ve içyapıları mikroskop ile incelenmiştir. Dağlayıcı olarak yüzde 5 Nital çözeltisi kullanılmıştır. Kaynak bölgesi mikro yapısı (Şekil 8.28) gösterilmiştir. İncelenen tüm bölgelerde yapı perlitiktir. Ray ana malzemesinde hadde yönünde dizilmiş MnS kalıntıları mevcuttur. Gerçekleştirilen detaylı incelemelerde, ısıdan etkilenen bölgede martensit veya beynit fazına rastlanmamıştır(Kuday 1997).





Şekil 8.27: AT Mikro yapı görünümü



Şekil 8.28: FBW Mikro yapı görünümü

Fotoğraflar incelendiğinde koyu renkli bölgeler perlit yapıyı, açık renkli bölgeler ferrit yapıyı göstermektedir. Kaynak bölgesinde (dikişinde) perlit + ferrit ve soğuma hızından dolayı, klasik ferrit yapısı oluşturacak zaman olmadığından kristal doğruları boyunca uzayarak widmanstatten yapı olarak bilinen ferritleri oluşturduğu görülmektedir. Dikişte görülen ferrit oluşumu kaynak sırasında eriyen bağlantı yüzeylerindeki karbon azalması nedeniyledir. Esas malzemede perlit yapı görülmüştür. Numunelerde yapılan testlerde çatak ve poroziteye (boşluk, gözenek) rastlanılmamıştır(Gürbüz 2010).

Aluminotermite kaynağı mikro yapısı incelendiğinde yapının büyük çoğunluğunu perlit oluşturduğu halde yapı içinde ferrit ve  $\alpha$  fazının olduğu görülmektedir. Bu yapı dayanımı attırdığı gibi kırılma ihtimalini de arttıracak düşünülür. Böylece, aslında sertlik veya malzemenin çekme dayanımı artırarak yorgunluk performansını azaltacaktır. Genellikle düşük dayanımlı çelik yüksek dayanım ve sert bir malzeme ile karşılaştırıldığında bir gerilim (çentik veya sıfırdan) başlangıcı oluşacağı ve kaynağın yorgunluğa daha az duyarlı olacağı düşünülür.

#### 8.4.4 Ultrasonik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

Ray kaynaklarının kontrol edilmesinde kullanılan en yaygın yöntem ultrasonik muayene yöntemidir. Bu gün dünyada ultrasonik muayene yöntemi,

- Manüel muayene (Tek veya çift prob kullanarak) yöntemi ile
- Manüel ultrasonik muayene arabaları ile
- Ölçüm trenleri ile yapılmaktadır.

Aksaray Havalimanı Hafif Metro hattında yapılan hatalı kaynaklar karşılaştırmaya alınmamıştır. Çünkü bu kaynakların yüzde 37,5 i hatalı çıkmıştır. Bunun nedeni uygulama hatalarının çok yoğun olmasındandır. Bu kaynakların yerine Ulubatlı – Bayrampaşa arası yapılan 120 adet sıralı kaynak sonuçları değerlendirilmiş ve yapılan ölçümler sonucunda aluminotermite kaynakların yüzde 3'ünün özürsüz çıkmış olduğu görülmüştür. Hata oranının yüzde 3 çıkması kaynak sürecinde insan faktörünün etkin olması ve çok fazla kaynak parametresinin sürece dahil olmasından kaynaklanmaktadır. Kaynakta genellikle yetersiz nüfuziyet dolayı yapışma hataları, gözenek, cüruf kalıntısı ve kılcal çatlak hataları tespit edilmektedir(DEKA 2006).

Kaynak hataları erken tespit edildiğinde işletmelere sadece maliyet açısından yük getirmektedir. Eğer kaynaktaki bir hata tespit edilemez ve kırıkla sonuçlanırsa trenlerin dray etmesine, dolayısıyla maliyetin yanında insanların ölmesine sebep olabilecektir. Bu nedenle işletmeler kaynak hatalarını minimize etmek isterler.

Yakma alın kaynağı ile yapılan kaynakların kontrol sonuçları Aksaray Havalimanı hafif Metro Hattı 1 aşamada yapılan 1200 kaynak test sonuçları alınmıştır. 2010 yılı içinde bu hatta yakma alın kaynak yöntemi ile yapılan 1200 adet kaynak manuel çift prob tandem yöntemi ile muayene yapılmıştır. Muayene sonuçlarına göre sıfır hata çıkmıştır. Bu muayene sonucu kaynak yönteminin başarısını bir kez daha kanıtlamıştır(DEKA 2010).

Hatalı çıkan kaynak sayıları incelendiğinde yakma alın kaynağı sıfır hata ile kıyas yapılamaz duruma gelmiştir. Bu sonuçlar dünyada kabul görmüş ultrasonik ray muayenesi sonucunda alınmıştır. Aluminotermite kaynaklarda işçilik, malzeme ve yöntemin uygulama zorluğu nedeni ile kaynaklarda hata oranı artmaktadır. Yüksek hızlı trenlerde ray kaynaklarının kontrolüne çok daha fazla önem verilmektedir. Kaynakta oluşabilecek bir hata çok büyük bir felaketin habercisi olabilir. Bu nedenle yakma alın kaynağı her zaman kalite açısından tercih nedeni olmuştur.

## 8.5 KAYNAK DAYANIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Yakma alın kaynağı yorulma dayanımı, eğilme dayanımı, gerilme dayanımı açısından değerlendirildiğinde aluminotermite kaynağa göre performansının kesin bir şekilde önde olduğu görülmektedir (Tablo 8.7). Bu üç değerinde yüksek olması yakma alın kaynağının aluminotermite kaynağından daha uzun ömürlü ve kaliteli olduğunu göstermektedir. Alman Demiryolları kaynaklanmış rayların maksimum 206 N/mm<sup>2</sup> min. 15 N/mm<sup>2</sup> gerilimle, kırılmadan önce 2x10<sup>6</sup> defa darbeye dayanımını istemektedir.

**Tablo 8.7: Kaynak dayanımlarının karşılaştırılması**

	Yakma alın kaynağı	Aluminotermite kaynağı	R260 S49 Ray (minimum)
Yorulma Dayanımı	35 kg/mm <sup>2</sup>	22 kg/mm <sup>2</sup>	19 kg/mm <sup>2</sup>
Eğilme Dayanımı	125 ton	103 ton	125 ton
Gerilme Dayanımı	80 kg/mm <sup>2</sup>	76 kg/mm <sup>2</sup>	88 kg/mm <sup>2</sup>

Aluminotermite kaynağı günümüzde yeni hatlarda yerini hızla yakma alın kaynağına bırakmaktadır. Yakın gelecekte yeni teknolojilerin bulunması ile aluminotermite kaynağı daha çok tamir ve bakım amaçlı kullanılacaktır. İşletme altında diğer kaynak yöntemlerinin uygulanma şansı çok azdır. Özellikle sefer aralıklarının bir saatin altında olduğu işletmelerde uygulama şansı en yüksek olan yöntemdir.

Aluminotermite kaynağı özellikle tramvay hattı raylarında (oluklu rayların kaynağında) tercih edilmektedir. Hızlı mobilize olması ve yakma alın kaynağının bu raylara için henüz kullanılmaması aluminotermite kaynağını bu alanda rakipsiz kılmaktadır. Kaynağın taşınabilir olması hızlı müdahale şansını arttırmaktadır.

Aluminotermite kaynak erime sırasında çevreye verdiği gazlar, kaynak sonrası tuğla kalıp, kum ve çürük atıkları nedeni ile çevreyi kirletmektedir. Ayrıca çalışanlar, pota patlaması ve erimiş metalin sıçrama tehlikesi nedeni ile sürekli tehlike altındadır.

Yakma alın kaynağı elektrikle çalışması ve kaynak bölgesinin izolesi nedeni ile çevreye daha az zararlı gaz ve atık vermektedir.

2004 yılında SNCF (Fransız Ulusal Demiryolu Şirketi) dahilinde kaydedilmiş ray kırıklarından %34'ü aluminotermite kaynak % 3'ü Yakma alın kaynağı bölgeleridir.

Amerika'da ağır dingil yükleri altında aluminotermite kaynak ile yakma alın kaynağı 33 ton dingil yükü olan araçlar ile ray üzerinde 65 milyon groston yük geçtikten sonra kırılma yüzdeleri karşılaştırılmıştır. İnceleme sonucunda kırıkların % 29'u aluminotermite kaynak, %3'ü yakma alın kaynaklıdır. (Lichtberger,2005, S.66)

Almanya'da Demiryollarında her 100 km'de 1 ray kırığı meydana gelmiştir. Bir yıl içinde toplam 650 ray kırığı oluşmuş ve bu kırıkların 220 adedi aluminotermite kaynağı bölgeleridir.(Lichtberger,2005,S.66). Her iki kaynak yönteminin teknik yönden karşılaştırılması (Tablo 8.8)'te verilmiştir.

**Tablo 8.8: Kaynakların teknik yönden karşılaştırma**

	Yakma alın kaynağı	Aluminotermite kaynağı
Kaynak süresi	7 dak.	58 dak.
Mikro yapı	Tam perlitik Dövme	Kısmi perlitik Döküm
HAZ uzunluğu	40–60 mm	125-185mm
Çevre kirliliği	Düşük	Yüksek
Kişisel tehlike	Düşük	Yüksek
Hatalı kaynak oranı	% 0,1	%3
Kaynak yöntemi	Yarı otomatik	Manüel
Kaynak kalitesi	Yüksek	Düşük
Yorulma dayanımı	35 kg/mm <sup>2</sup>	22 kg/mm <sup>2</sup>
Eğilme dayanımı	125 ton	103 ton
Gerilme dayanımı	80 kg/mm <sup>2</sup>	76 kg/mm <sup>2</sup>
Taşınabilirlik	Düşük	Yüksek
Farklı kesitlerin kaynağı	Düşük	Yüksek

## 9. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Demiryolu rayları bugün genellikle sürekli kaynaklıdır. Kaynaklı birleştirmeler cebireli birleştirmelerden daha az bakım gerektirir. Ayrıca araç tekerlerine en az zarar verip artan araç hızlarına uygun ray birleştirmesini sağlar. Ancak, zamana bağlı yorgunluk, daha yüksek tren hızları eğilimi, yüksek aks yükü ve ağır trafik yoğunluğu nedeni ile kaynakların hasar görmesi bugün olduğu gibi gelecekte bile muhtemeldir. Mevcut kaynak üretim süreçleri, rayların yakma alın kaynak yöntemi ile kaynağını öne çıkarmaktadır.

Demiryolu üstyapısı içinde en önemli eleman raydır. Raylar üstyapıda 50 yıl gibi uzun bir süre çalışmaktadır. Ray teknolojisi her geçen gün yenilenmektedir. 1950'lere kadar alaşımsız çelikten üretilmiş tipik ray bileşimleri yüzde 0,40–0,50 C çelikten 700 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımında imal edildiği halde günümüzde beynitik veya yüksek çekme dayanımında raylar üretilebilmektedir. Buna karşı tokluk, yüksek kaynak edilebilme kabiliyeti, homojen perlitik içyapı ve yüksek çentik ve yorulma dayanımı nedeni ile yüzde 0,6-0,8 C içeren 800–900 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımında raylar günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Ray teknolojisi ile birlikte gelişen kaynak teknolojisi ile bugün atölyede veya sahada işletme altında kaynak yapılabilmektedir.

Bu çalışmada Aksaray - Havalimanı Hafif Metro hattında yapılan ray birleştirme kaynakları (yakma alın kaynağı ve aluminotermite kaynağı) yapım ve maliyet olarak incelenmiştir. Aksaray - Havalimanı Hafif Metro hattında yapılan Aluminotermite kaynaklarda kaynağın mekanik özelliklerinin ray ana metalinden daha yumuşak olduğu ve yeterli teknik verileri sağlayamadığı görülmüştür. Aluminotermite kaynak metalinden kaynaklanan aşınma, contada vuruntu ve çevreye gürültü kaynağı olmuştur. Ayrıca altyapıya zarar vermiş tamir periyotlarını dört kat azaltmıştır. Aluminotermite kaynakların yerine yapılan yakma alın kaynaklarına uygulanan geometrik, tahribatlı ve tahribatsız testler ile irdelenmiştir. Aksaray - Havalimanı Hafif Metro hattı 1. aşamada yapılan 1200 adet yakma alın kaynağının geometrik ve ultrasonik muayenesi yapılmış ve tüm kaynaklar sağlam çıkmıştır. Buna karşı aluminotermite kaynakların ultrasonik muayenelerinde yüzde 3 hatalı kaynak çıkmıştır. Bu kaynaklar kesilerek yeniden

kaynak yapılmıştır. Hata miktarının yüzde 3'te kalması titizlikle kaynak talimatlarına uyulduğunu göstermektedir. Aksi halde hata oranının artacağı düşünülmelidir.

Aluminotermite kaynağı mikro yapısı incelendiğinde içyapısında belirlenen sınırın üzerinde serbest ferrit tanelerinin oluştuğu görülmektedir. Bu yapı mukavemeti attırdığı gibi kırılma ihtimalini de arttıracak düşünülmemektedir. Aslında sertlik veya malzemenin çekme dayanımı arttırmanın malzemede yorgunluk performansının azalmasına yol açabileceği düşünülmelidir. Bu fazın hedeflenen sınırın üzerinde olması durumun da, lokal olarak yumuşak davranış gösteren bölgelerin var olması ve bu bölgelerin makro ölçekte yüksek sertlik göstermelerine karşın mikro ölçekte tekerlerden gelen yüksek kayma ve basma gerilmeleri altında kaynak metalinde yığılmaya yol açacağı düşünülmektedir.

Aluminotermite kaynağı makro yapısı geniş HAZ bölgesi oluşumunu göstermektedir. Geniş HAZ bölgesi birbirine komşu yüzeylerde ani sertlik farklarının oluşmasına yol açmaktadır. Yakma alın kaynağının kullanılması ile HAZ bölgesinin daraltılması mümkün olmuştur. Bu sayede ray teker yuvarlanma yüzeylerinde sertlik ve aşınma farkları minimize edilmiş ve kaynakta tokluk artmıştır. Kaynakta tokluğun artması ile ray kırılmalarında azalma beklenmelidir. Kaynağın tüm kesitlerinde ince taneli tam perlitik yapılar oluşturulması istenir. Bu yapıya en yakın görüntü yakma alın kaynağında elde edilmektedir.

Aluminotermite kaynağı ile Yakma alın kaynağı ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda Yakma alın kaynağının 71.05 €/adet ile aluminotermite kaynağına göre 2,1 kat daha düşük maliyetli olduğu görülmüştür. Yakma alın kaynak makinesinin satınalma maliyetinin fazla olmasına karşın kapasite ve servis ömrünün uzun olması birim maliyetini düşürmektedir. Maliyetlerin bu şekilde çıkması yakma alın kaynağının daha ekonomik olduğu tezini kanıtlamaktadır.

Yapılan teknik karşılaştırma sonucunda aluminotermite kaynağının düşük sermaye ihtiyacı, taşınabilir ve farklı kesitlerin kaynağında önde olduğu, bunun yanında yakma alın kaynağının aluminotermite kaynak yöntemine göre;

- a) Daha yüksek yorulma dayanımı gösterdiği (Uzun ömür),
- b) Dar HAZ bölgesi oluşturduğu (Homojen ve perlitik bir içyapı)
- c) Mikro yapısında çatlak, gözenek, boşluk ve cüruf kalıntısı bırakmadığı,
- d) En kısa süreli kaynak yapım yöntemi olduğu,
- e) Çevre dostu ve insan sağlığına en az zararlı kaynak yöntemi olduğu,
- f) Yüksek eğilme mukavemeti, homojen sertlik dağılımı ve homojen kimyasal içyapı ve en yüksek kalitede kaynak üretebilmesi nedeniyle rayları kaynatmanın en etkili yöntemi olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın yanında gelecekte kaynak bölgelerinde ray mantarının lazer yüzey kaplama yapılması ve servis ömrünün hesaplanması, Gaz basınç kaynak yönteminin uygulanabilirliğinin bulunması ve diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırılması, kaynakta oluşan gerilmelerin kaynak ömrüne etkilerinin hesaplanması konularında tez veya doktora çalışmaları yapılabilir.

Sonuç olarak ülkemizde yapılacak olan veya yenilenen tüm hatlarda vinyol tipi rayların yakma alın kaynağı ile kaynatılması, kent içi raylı sistemlerin yakma alın kaynak makinesini kiralama yöntemi ile kullanması, TCDD'nin kendi bünyesine alması ekonomik ve teknik açıdan avantajlı bulunmuştur.

## KAYNAKÇA

### *Kitaplar*

- Arlı, V.,(2002). Balastlı ve balastsız üstyapıların ekonomik yönden karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi:Fen Bilimleri Enstitüsü, ss.3-61.
- Aytekin, V., 1989.*Ray Malzemelerinde Gelişmeler Ve Türkiye’de Ray Üretimi*, Adapazarı, Ulaşımında Raylı Taşıt Sempozyumu, S.327 .
- DEKA, 2006, *Hafif Metro Hattı S49 ray termit kaynaklarının ultrasonik muayene raporu* .
- DEKA, 2010., *Hafif Metro Hattı Otogar- Ulubatlı arası yakma alın kaynaklarının ultrasonik muayene raporu*.
- Evren, G.,1999 . *Demiryolu kitabı*, İstanbul:Birsen Yayınevi, ss.8-14.
- Günoral, Ş., 2002. *Balastlı Üst Yapılarda Yol Bakım Ve Tamirata*. İstanbul:İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. yayınları, ss.116-122.
- Gürbüz R.,2010.,*Deney ve inceleme raporu*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi: Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü
- İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş., 2009, *HM hattı yıllık kontrol raporu*
- İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş., 2010, *Yakma alın kaynağı ilerleme raporu*
- İ.T.Ü. Geliştirme Vakfı AR-GE İşletmesi Müdürlüğü, 2001, Tarkışla-İstanbul, *İstanbul Lrts Hattı Aleminothermit kaynağı inceleme raporu*.
- Kökçe, Y.,(2002).Demiryolu taşıt ve raylarının üretim ve tamir-bakımında uygulanan kaynak yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *Yüksek lisans tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi:Fen Bilimleri Enstitüsü, ss.144-170.
- Kuday, N., 1997, Rayların yakma alın kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi: Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kumbasar, F., 1972.*Üstyapı ve Demiryolu Mekaniği*, Ankara:Güven Yayınevi.
- Lichtberger, B.,2005 Track Compendium,DVV Media Group GmbH I Eurailpress, S.66.



- Onay, M.,2004. Ray birleştirme kaynak yöntemleri. *Bitirme Tezi*, Marmara Üniversitesi:Teknik Eğitim Fakóltesi, ss.14-54.
- Özsaraç U.,2005.Raylı Taşıtlarda teker bandajı-ray sisteminde dolgu kaynağı ve sabo parçalarının aşınma ve yorulma davranışlarının incelenmesi.*Yüksek lisans tezi*, Sakarya Üniversitesi:Fen bilimleri Fakóltesi, s.12.
- Öztürk, Z.,2008. Demiryolu mühendisliği ders notları
- Sevim, R.,(2007).İstanbulda kent içi raylı sistemler ve üstyapı hesapları.*Yüksek lisans tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi:Fen Bilimleri Enstitüsü, ss.4-6.
- Sözal Süleyman, S.,1987. *Genel yol bilgisi*. Eskişehir: TCDD Meslek Lisesi yayını, s.23.
- TCDD, 2009. *Demiryolu sektör raporu*.<http://tcdd.gov.tr>.[erişim tarihi10 ekim, 2010], ss.4-20.

## ***Diğer Yayınlar***

Aluminothermic Weld Defect, 2006. <http://www.wtia.com.au/pdf/TGN-R-04>. [erişim tarihi 18 Aralık, 2010].S.1-5.

Comparison of aluminothermic welding and flash butt, <http://www.hollandco.com/rail-welding-services/images/flash-butt-vs-thermite.pdf>, [erişim tarihi 25 Kasım, 2010].

Farhangi, H & Mousavizadeh Seyed, M., Horizontal Split-Web Fractures Of Flash Butt Welded Rails , <http://www.endil.yildiz.edu.tr/proceedings/55.pdf> [erişim tarihi 12 Kasım, 2010].

Flash butt welding machine, [http://www.schlattergroup.com/en/welding-plants/downloads/Schlatter\\_Stationair\\_GAAS\\_80\\_580\\_en.pdf](http://www.schlattergroup.com/en/welding-plants/downloads/Schlatter_Stationair_GAAS_80_580_en.pdf). [erişim tarihi 10 Kasım, 2010].

Government Of India Ministry Of Railways, 1996, *Manual for flash butt welding of rails*.  
<http://www.indianrailways.gov.in/indianrailways/codesmanual/MFBWOR/index.htm>. [erişim tarihi 12 Kasım, 2010].

Gutscher, D. & Sun, J., 2006. Evaluation of improved gas pressure welding for in-track HAL service. <http://www.highbeam.com/doc/1G1-153025954.html>. [erişim tarihi 12 Kasım, 2010].

Innotrack, 2008. The influence of the working procedures on the formation and shape of the HAZ of flash butt and aluminothermic welds in rails.  
<http://www.innotrack.net/IMG/pdf/d461.pdf> [erişim tarihi 28 Aralık, 2010].

MEB, 2008. Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, *Raylı Sistemler Teknolojisi Alüminotermit Kaynağı kitabı*, Ankara, ss.3-7.

MEGEP, 2008. *Raylı Sistemler Teknolojisi Elektrikli Direnç Alın Kaynağı*, Ankara , s.4

Rajanna, S., Shivanand, H. & Akash, D. Improvement in Mechanical Behavior of Expulsion with Heat treated Thermite Welded Rail Steel.  
<http://www.waset.org/journals/waset/v60/v60-92.pdf>. [erişim tarihi 6 Ekim, 2010].

*Raylı sistemler bülteni*, 2008, İstanbul:İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. yayınları

Sun, J., 2010. TPCI searching for improved in-track welding methods - Brief Article  
[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0BFW/is\\_1\\_97/ai\\_71963098/](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0BFW/is_1_97/ai_71963098/). [erişim tarihi 16 Aralık, 2010].

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı :** Mustafa ONAY

**Sürekli Adresi :** 5.Etap Mah. 1. Kısım Salacak Sitesi A2 Blok No: 19 Başakşehir/İstanbul

**Doğum Yeri ve Yılı :** Malatya 1971

**Yabancı Dili :** İngilizce

**İlk Öğretim :** Ziya Gökalp İlkokulu , 1981

**Orta Öğretim :** Malayta 2. Endüstri Meslek Lisesi, 1987

**Lisans :** Marmara Üniversitesi, 2004

**Yüksek Lisans :** Bahçeşehir Üniversitesi, 2011

**Enstitü Adı :** Fen Bilimleri Enstitüsü

**Program Adı :** Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

**Yayımları :**

**Çalışma Hayatı :**

1999 - ..... İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. İstanbul

1998 - 1999 TCDD 1. Bölge, İstanbul

1993 - 1994 MEB, Malatya