



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEMİRYOLLARINDA KULLANILAN RAY KAYNAK YÖNTEMLERİNDEN  
YAKMA ALIN VE ALÜMİNOTERMİT KAYNAK YÖNTEMLERİNİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

SERDAR KAHRAMAN

Mayıs 2019



T.C.  
ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEMİRYOLLARINDA KULLANILAN RAY KAYNAK YÖNTEMLERİNDEN  
YAKMA ALIN VE ALÜMİNOTERMİT KAYNAK YÖNTEMLERİNİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

SERDAR KAHRAMAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman  
Prof. Dr. Yüksel KAPLAN

Mayıs 2019

Serdar KAHRAMAN tarafından Prof. Dr. Yüksel KAPLAN danışmanlığında hazırlanan “Demiryollarında Kullanılan Ray Kaynak Yöntemlerinden Yakma Alın ve Alüminotermit Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : (Prof.Dr, Turhan KURŞUN) (Sivas Cumhuriyet Üniversitesi)

İmza

Üye : (Prof.Dr, Yüksel KAPLAN) (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) İmza

İmza

Üye : (Doç.Dr, Serkan TOROS) (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) İmza

İmza

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ..../..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun ..../..../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**

**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

  
Serdar KAHRAMAN

## ÖZET

### DEMİRYOLLARINDA KULLANILAN RAY KAYNAK YÖNTEMLERİNDEN YAKMA ALIN VE ALÜMİNOTERMİT KAYNAK YÖNTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

KAHRAMAN, Serdar

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Yüksel KAPLAN

Mayıs 2019, 89 sayfa

Contalarda meydana gelen arızaların ıslahı için harcanan zaman ve paranın toplam bakım masrafları içindeki payı çok fazladır. Ayrıca contalarda meydana gelen arızalar yüzünden konfor bozulmakta ve yol tamiratının ömrü de çok kısa olmaktadır. Tüm bunlardan daha önemli olarak contalarda meydana gelen ray kırılmaları ciddi kazalara yol açabilmektedir. Bu nedenle ray birleştirme kaynağının daha iyi yapılması için detaylı araştırma yapılmıştır. Bu çalışma öncelikle ray birleştirme yöntemlerinin incelenmesi çalışma prensiplerinin ve yöntemlerinin tespitidir. Ayrıca ray kaynak yöntemlerinden yaygın olarak kullanılan alüminotermiit ve yakma alın kaynak yöntemlerinin incelenmesi ve geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

*Anahtar Sözcükler:* Ray kaynağı, alüminotermiit, yakma alın kaynak

## SUMMARY

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL FEATURES OF RAIL WELDING METHODS AS FLASH BUTT WELDING AND ALUMINOTHERMIT WELDING USED FOR RAILWAYS

KAHRAMAN, Serdar

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Yüksel KAPLAN

May 2019, 89 pages

The spent time and money for treatment of the faults, occur on the gasket, share in the total maintenance costs is very much. In addition, railway comfort reduces and service life of the maintenance of the railway is very short because of the faults take place in the gaskets. The most important from all of them is the rail fractures on the gasgets may lead to serious accidents. Therefore, in this study an investigation will be done for welding of the rails to be done better. First of all, this study is the examination and determination of the working principles and methods of rail welding. It also gives some recommends for examination and development of aluminothermit and flash butt welding which are the most widely used rail welding methods.

*Keywords:* Rail welding, aluminothermit, flash butt welding.

## ÖN SÖZ

Demiryollarında yüksek hızlı trenlerin yaygınlaşmaya başlaması ile birlikte uzun kaynaklı raylara gereksinim artmıştır. Modern demiryollarında; artan hız, seyahat konforu, gürültü, artan maliyet bilinci, verimlilik raylarda oluşan ray gerilmelerinin azaltılması uzun kaynaklı ray seçimi ile çözümlenmiştir. Bu çalışmada alüminotermite kaynağı, yakma alın kaynağı ve diğer kaynak yöntemleri incelenmiş ve yakma alın kaynağı metodu statik eğme testi ve diğer testlerin sonuçlarına göre daha mukavemetli ve uzun ömürlü olması avantajı yanı sıra , alüminotermite ray kaynak metodu hızlı bir şekilde doğrudan uygulanabilirliği açısından avantajları irdelenmiştir.

Yapmış olduğum tez çalışması boyunca ilgi, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve bu tezin tamamlanması için gerekli koşulları sunan Sayın hocam Prof. Dr. Yüksel KAPLAN 'a beni her türlü konuda destekleyen ve bu tezin tamamlanabilmesi için her türlü desteği sağlayan Sayın Doç. Dr. Serkan TOROS hocama, aileme ve tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında her zaman yanımda hissettiğim pek kıymetli arkadaşım İnşaat Yüksek Mühendisi Fatih Mehmet AŞIK'a teşekkürü borç bilirim.

Vatana millete ve tüm insanlığa faydalı bir birey olarak yetiştirme gayesi ile emeklerini, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen beni bugünlere getiren aileme minnettarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xiii
KISALTMA VE SİMGELER .....	xv
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Ray Kaynağının Gelişimi.....	3
1.3 Tezin Amacı.....	4
BÖLÜM II RAY BİRLEŞTİRME ve KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	5
2.1 Elektrik Ark Kaynak Yöntemleri.....	6
2.2 Gaz Basıncılı Kaynak Yöntemi .....	6
2.3 Yakma Alın Kaynağı .....	7
2.3.1 Kıvılcımlanma .....	9
2.3.2 Ön Isıtma.....	9
2.3.3 Yakma .....	9
2.3.4 Şişirme .....	10
2.3.5 Soğutma .....	11
2.4 Alüminotermite Kaynak Yöntemi .....	11
2.4.1 Alüminotermite kaynağı yapımı .....	13

2.4.1.1	Contaların hazırlanması	13
2.4.1.2	Mastarlama	14
2.4.1.3	Kalıpların bağlanması	15
2.4.1.4	Potanın hazırlanması	15
2.4.1.5	Ön ısıtma (Tavlama)	18
2.4.1.6	Döküm	20
2.4.1.7	Kalıbın alınması	22
2.4.1.8	Kaynak fazlalıklarının sıyırılması	23
2.4.1.9	Ön taşlama	24
2.4.1.10	İnce Taşlama	24
2.4.1.11	Temizleme	25
2.4.1.12	Perlitlenme	25
<b>BÖLÜM III RAY KAYNAKLARINA UYGULANAN TESTLER</b>		<b>26</b>
3.1	Sertlik Testi	27
3.1.1	Brinell Sertliği	27
3.1.2	Vickers Sertliği	27
3.2	Yorulma Testi	28
3.3	Statik Eğilme Testi	29
3.4	Ultrasonik Muayene	30
3.5	Mikro Yapılar	32
3.6	Kimyasal Analiz	33
<b>BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>		<b>36</b>
4.1	Alüminotermite Kaynaklı Rayın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi	36
4.1.1	Sertlik testi	39
4.1.2	Yorulma testi	45
4.1.3	Statik eğilme testi	46
4.1.4	Mikro yapı inceleme	49

4.1.5 Kimyasal analiz.....	56
4.1.6 Makro yapı İncelemesi.....	59
4.2 Yakma Alın Kaynaklı Rayın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.....	64
4.2.1 Makro yapı incelemesi.....	64
4.2.2 Sertlik testi .....	69
4.2.3 Statik eğme testi.....	74
4.2.4 Yorulma testi.....	77
BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA.....	79
BÖLÜM VI SONUÇLAR .....	80
KAYNAKLAR .....	83
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ .....	90

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kopmadaki toplam sapma ve yük değerleri .....	26
Çizelge 3.2. Alüminotermite kaynağın kimyasal yapısı.....	34
Çizelge 3.3. S49 R260 rayın esas metalin kimyasal bileşimi .....	35
Çizelge 4.1. 49E1 Rayın Teknik Özellikleri.....	37
Çizelge 4.2. Yapılan deneylerde kullanılan $Z_1, Z_2$ ve $Z_3$ numunelerine ait genel bilgiler.	38
Çizelge 4.3. $Z_1$ numune kesitinden alınan sertlik değerleri .....	40
Çizelge 4.4. $Z_2$ Numune kesitinden alınan sertlik değerleri .....	41
Çizelge 4.5. $Z_3$ Numune kesitinden alınan sertlik değerleri .....	42
Çizelge 4.6. $Z_1$ ve $Z_2$ Numune kesitinden alınan sertlik değerleri .....	43
Çizelge 4.7. $Z_3$ Numune kesitinden alınan sertlik değerleri .....	44
Çizelge 4.8. $Z_1$ Kaynak numunesinin kimyasal analiz sonucu .....	56
Çizelge 4.9. $Z_2$ Kaynak numunesinin kimyasal analiz sonucu .....	57
Çizelge 4.10. $Z_3$ kaynak numunesinin kimyasal analiz sonucu.....	58
Çizelge 4.11. $Z_1$ Numunesinin makro yapı inceleme sonucu .....	59
Çizelge 4.12. $Z_1$ Numunesinin ray tabanının mikro yapı inceleme sonucu.....	60
Çizelge 4.13. $Z_2$ Numunesinin makro yapı inceleme sonucu .....	61
Çizelge 4.14. $Z_2$ Numunesinin ray tabanının mikro yapı inceleme sonucu.....	62
Çizelge 4.15. $Z_3$ Numunesinin makro yapı inceleme sonucu .....	62
Çizelge 4.16. $Z_3$ Numunesinin ray tabanının mikro yapı inceleme sonucu.....	63
Çizelge 4.17. D, F ve N Numunelerinin Genel Özellikleri .....	64
Çizelge 4.18. D numunesinin makro yapı görüntüsü .....	65
Çizelge 4.19. D numunesinin ray tabanlarının makro yapı görüntüsü .....	66
Çizelge 4.20. F numunesinin makro yapı görüntüsü .....	67
Çizelge 4.21. F numunesinin ray tabanlarının makro yapı görüntüsü .....	68
Çizelge 4.22. N numunesinin makro yapı görüntüsü .....	68
Çizelge 4.23. N numunesinin ray tabanlarının makro yapı görüntüsü .....	69
Çizelge 4.24. D ve F numunesinin sertlik deney sonuçları .....	75
Çizelge 4.25. D numunesinin ortalama sertliği .....	75
Çizelge 4.26. F numunesinin ortalama sertliği .....	75
Çizelge 4.27. N numunesinin ortalama sertliği .....	75

Çizelge 4.28. N numunesinin ortalama sertlik sonuçları .....	75
Çizelge 4.29. D numunesinin ray eğilme deneyi sonucu.....	75
Çizelge 4.30. F numunesinin ray eğilme deneyi sonucu .....	75
Çizelge 4.31. N numunesinin ray eğilme deneyi sonucu.....	75
Çizelge 4.32. Yorulma Deney Raporu .....	75
Çizelge Ek-1. Ray ısı farkına göre ray uzama miktarları .....	87
Çizelge Ek-2. Son 50 yıla ait illere göre ray sıcaklık ortalama değerleri .....	88
Çizelge Ek-3. Son 50 yıla ait illere göre ray sıcaklık ortalama değerleri .....	89



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Potanın ısıtılması.....	16
Şekil 2.2. Potanın temizlenmesi .....	16
Şekil 2.3. Potanın yerleştirilmesi.....	17
Şekil 2.4. Potanın hazırlanması .....	17
Şekil 2.5. Termitin potaya boşaltılması.....	18
Şekil 2.6. Şalomanın ayarlanması .....	18
Şekil 2.7. Ön ısıtma.....	19
Şekil 2.8. Tapanın yerleştirilmesi.....	20
Şekil 2.9. Döküm yapılması .....	20
Şekil 2.10. Termitin ateşlenmesi .....	21
Şekil 2.11. Cürufun atılması.....	22
Şekil 2.12. Kalıbın alınması .....	22
Şekil 2.13. Kaynak fazlalığının sıyırılması .....	23
Şekil 4.1. 49.050 Kg/m Ray Profiline Ölçüleri .....	37
Şekil 4.2. Boyuna sertlik ölçümü .....	39
Şekil 4.3. Ray eğme deneyinin şematik gösterimi.....	46

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Seyyar gaz basınç kaynak makinesi.....	7
Fotoğraf 2.2. Mobil yakma alın kaynak makinesi.....	8
Fotoğraf 2.3. Mobil yakma alın kaynağı makinesinin elektrot düzeni .....	8
Fotoğraf 2.4. Conta .....	13
Fotoğraf 2.5. Mastarlama .....	14
Fotoğraf 2.6. Kalıp bağlanması .....	15
Fotoğraf 2.7. Ön ısıtma .....	19
Fotoğraf 2.8. Döküm yapılması.....	21
Fotoğraf 2.9. Kalıp tutucuların alınması.....	22
Fotoğraf 2.10. Kalıbın alınması.....	22
Fotoğraf 2.11. Kaynak fazlalığının sıyırılması.....	23
Fotoğraf 2.12. Ön taşlama .....	24
Fotoğraf 2.13. İnce taşlama .....	24
Fotoğraf 2.14. Perlitlenme ve sonrası ray görünümü .....	25
Fotoğraf 3.1. Rayın yorulma deney düzeneği .....	28
Fotoğraf 3.2. Statik eğilme test düzeneği.....	29
Fotoğraf 3.3. Ultrasonik muayene cihazı .....	30
Fotoğraf 3.4. Ultrasonik test düzeneği .....	32
Fotoğraf 4.1. Yorulma deneyi sonrası kaynak numunesi.....	45
Fotoğraf 4.2. Z <sub>1</sub> Numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü.....	47
Fotoğraf 4.3. Z <sub>2</sub> Numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü.....	47
Fotoğraf 4.4. Z <sub>3</sub> Numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü.....	48
Fotoğraf 4.5. 100X Ray mantarı ana metali perlitik içyapı (Z <sub>1</sub> numunesi).....	49
Fotoğraf 4.6. 100X Yeniden kristalleşme bölgesi ve tane büyümesi-perlitik yapı Z <sub>1</sub> numunesi).....	50
Fotoğraf 4.7. 100X Kaynaklı bölge-ana yapı perlitik-tane sınırlarında ferritler-kaynak boşlukları (Z <sub>1</sub> numunesi).....	50
Fotoğraf 4.8. 100X Ray tabanı ana metali perlitik içyapı (Z <sub>2</sub> numunesi).....	51
Fotoğraf 4.9. 100X Kaynaklı bölge-ana yapı perlitik-tane sınırlarında ferritler-kaynak boşlukları (Z <sub>2</sub> numunesi).....	52

Fotoğraf 4.10. 100X Kaynaklı bölge-ana yapı perlitik-tane sınırlarında ferritler-kaynak boşlukları ( $Z_2$ numune) .....	52
Fotoğraf 4.11. 100X Ray mantarı ana metali perlitik içyapı ( $Z_3$ numunesi) .....	53
Fotoğraf 4.12. 100X Yeniden kristalleşme bölgesi ve tane büyümesi-perlitik yapı ( $Z_3$ numunesi) .....	54
Fotoğraf 4.13. 100X Kaynaklı bölge-ana yapı perlitik-tane sınırlarında ferritler-kaynak boşlukları ( $Z_3$ numunesi).....	54





## SİMGE VE KISALTMALAR

### Simgeler

Simgeler	Açıklama
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Demir Oksit
C	: Karbon
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Cr	: Krom
Mo	: Molibden
V	: Vanadyum
HV	: Vickers sertliği
HB	: Brinell sertliği
GPW	: Gaz Basınç Kaynak Yöntemi
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum Oksit
TS	: Türk Standardı

### Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kaynak Bölgesi
TS EN ISO 6507	: Sertlik Testi Avrupa Standardı
SmW	: Boncuklu Hızlı Alüminotermite Kaynak Yöntemi
SoW	: Boncuksuz Hızlı Alüminotermite Kaynak Yöntemi
SkV	: Ön Isıtılmış Hızlı Alüminotermite Kaynak Yöntemi

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

3000 yılı aşkın bir süre boyunca metalleri birbirine kaynak etmenin tek yöntemi alevli sıkıştırma kaynağı (çekiçle kaynaklama) olmuştur. Bu ise sanatkarlık çalışmaları için uzun süre yeterli bir yöntem olmuştur. Sanayileşme döneminin başlaması ile birlikte kaynak konusunda uzman eleman ihtiyacı muazzam bir şekilde artmış, makine, kazan, alet/cihaz ve diğer aparat imalatı o tarihe kadar olandan daha ekonomik ve sağlam, çözülmeyen birleştirme yöntemlerine ihtiyaç duymuştur.

19. yüzyılın ilk yarısında elektrik arkının keşfedilmesi ve buna dayanan ark kaynağının yöntemi Berdardos, Olszewski, Slavianoff ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir. Fakat bu yeni yönteminin yaygın kullanımı için halen birkaç on yılın daha geçmesi gerekiyordu ve ark kaynağının yaygın kullanımı ancak 1930'lu yıllarda başlamıştır.

1890 yılında su gazının bulunması, asetilenin keşfedilmesi ve bunlardan birkaç yıl sonra Carl von Linde tarafından keşfedilen havanın sıvılaştırılması yöntemi ve aynı şekilde teknik kaynak şamülosunun Bernard von Dräger tarafından geliştirilmesi, yüzyıl sonunda gaz kaynağının yolunu açmıştır. Bu yöntem uzun süre yaygın olarak kullanılmıştır.

Özellikle büyük gemi inşası ve otomobil sanayi, yüksek sağlamlığa ve ekonomikliğe sahip bağlantıları mümkün kılacak olan ve bu sanayi dallarında yaygın olarak kullanılan perçin bağlantılarının yerini alacak kaynak usullerinin geliştirilmesini gerektirmiştir. Kaynak usullerinin sayısı nispeten kısa bir sürede muazzam bir artış gösterdi. 1800'lü yıllarda sadece bir veya iki kaynak usulü bilinirken bu sayı 1900 civarında 5 yönteme artmıştı. 1950 yılına kadar ise bu rakam yirminin üzerine çıktı, son yirmi yılda ise bu sayıda neredeyse ikiye katlanarak farklı öneme sahip yaklaşık kırk yöntem oluşturuldu ( Öztürk ve Arlı, 2009 ).

## 1.1 Literatür Özeti

Demiryolu işletmeciliğinde ray kırılmaları oldukça sık rastlanan sorunlardandır. Ray ek yerleri demiryolunun kuruluşundan beri sorun teşkil etmektedir. Sorunun çözümü önceleri daha dayanıklı cebireler geliştirilmekte aranmış, ancak yine de yararlı olmamıştır. Dolayısıyla rayların farklı yöntemlerle kaynaklanması gündeme gelmiştir (Kaçer, 2005).

Dr. Goldschmidt' alüminotermite yöntemi teknik açıdan raylarda kullanılabilir bir yöntem olarak geliştirmesi üzerine çalışmalar yürütmüştür. Alüminotermite yönteminin görevi krom, mangan, demir gibi ağır metalleri alüminyum sayesinde oksitlerinden saf hale indirgenmesine dayanan bir yöntem olmasıdır. Dr. Goldschmidt alüminotermik demir kazanımında saniyeler içerisinde serbest kalan çok yüksek ısıyı kaynak tekniği amaçları için kullanmanın yollarını aramış ve üstyapının geliştirilmesi için çığır açan alüminotermite kaynak yöntemini geliştirmiştir. Alüminotermite karışımlarına "Termit", kaynak yöntemine ise "Termit Yöntemi" denmektedir (Koçtürk, 2014).

Günümüzde farklı ray bağlantı yöntemleri mevcuttur. Demiryollarında; termit kaynağı, elektrik ark kaynağı, gaz kaynağı, toz püskürtme ile kaplama, ark sert lehim ve elektrot ile tam dolgu kaynağı gibi çeşitli kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Dünya'da yakma alın kaynağı yönteminden sonra en çok kullanılan yöntem olarak alüminotermite kaynağı yöntemi kullanılmaktadır. Kaynağın yapımı sırasında yakma alın kaynağına göre kaynağı etkileyen daha çok parametre içerdiğinden uygulaması daha kontrollü olarak yapılmalıdır. Ayrıca yakma alın kaynağı yöntemine göre bu yöntemde kaynakçı personellerin daha etkin olmasından dolayı eğitilmiş ve tecrübeli olması daha fazla önem taşımaktadır (Kaçer, 2005).

Bu gelişmelerin yanı sıra, normal çelik kaynaklarında kullanılan yöntemlerin rayların kaynaklanması için uygun olup olmayacağı yönünde çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda elektrik direnç alın kaynağı ile elektrik ark kaynağı yöntemleri de ray kaynaklarında kullanılabilir hale gelmiştir (Koçtürk, 2014).

Bu usul 1922 yılında Fransa’da uygulamaya aynı şekilde 1900’lü yılların başında Almanya’da denenen termit kaynağı da 1928 yılında uygulanmaya başlanmıştır. Bugünkü kaynak sistemine 1930–1935 yıllarında geçilmiş o yıllardan bugüne aliminotermit kaynak aynı şekilde yapıla gelmiştir. Bu usul daha sonra sanayinin diğer alanlarında büyük gövdeli parçaların kaynaklanmasında uygulamaya konmuştur(Günoral,2002).

## 1.2 Ray Kaynağının Gelişimi

1895-1897 yılları arasında Dr. Goldschmidt; ray kaynağı gelişiminde bir dönüm noktası anlamına gelen Alüminotermit yöntemini kullanılabilir bir yöntem olarak geliştirmiştir. Mucit; alüminotermik karışımını “ Termit” , kaynak yöntemini ise “Termit Yöntemi” olarak adlandırmıştır (Koçtürk, 2014).

Uzun süren gelişim aşamaları geçiren bu yöntemde, kaynak ek yeri biçimlendirilmiş ve çoğunlukla daha önceden ısıtılmış olan rayların arasına erimiş termit malzemesi dökülerek ray başlarının erimesi ve termit çeliğiyle ayrılmayacak biçimde birleşmesi sağlanmaktadır (Koçtürk, 2014).

Termit yöntemi, 1899’dan itibaren tramvay hatlarında kesintisiz kaynak yapmak için kullanılmaya başlanmıştır. 1902 yılında ilk olarak Macar Demiryolları trafiğe açılmamış yollarını termit yöntemine göre kaynak yapmıştır. 1910 yılında Alman eyalet demiryolları bu yönteme başlamış ve 1928 yılında Alman İmparatorluk Demiryolları termit kaynağını 30 metre uzunluğundaki raylarda uygulamıştır.1932 yılında ilk kez her biri 1 km uzunluğunda çok sayıda hat kesintisiz olarak termit yöntemiyle kaynak yapılmıştır. İkinci Dünya savaşıdan sonra ise Federal Almanya Demiryolları, termit yönteminin tatbikiyle tüm demiryolu ağının kesintisiz olarak kaynak yapılması kararını almıştır (Koçtürk, 2014).

Elektro-Termit firması tarafından patenti alınan ve 1955 yılında Alman Demiryollarında kullanılmaya başlanan bu ön ısıtmalı termit kaynağı, modern ve hızlı bir kaynak yöntemidir. 1971 yılında ise Alman Demiryollarında kısa ön ısıtmalı yöntem geliştirilmiştir. Kısa ön ısıtmalı kaynak için sadece 12 ila 15 dakika yeterli olmaktadır. (Koçtürk, 2014).

### 1.3 Tezin Amacı

Contalarda meydana gelen arızaların ıslahı için harcanan zaman ve paranın toplam bakım masrafları içindeki payı çok fazladır. Ayrıca contalarda meydana gelen arızalar yüzünden konfor bozulmakta ve yol tamiratının ömrü de çok kısa olmaktadır. Tüm bunlardan daha önemli olarak contalardan meydana gelen ray kırılmaları ciddi kazalara yol açabilmektedir.

Bu açıdan bakıldığında aşağıda sayılan ana amaçlar doğrultusunda ray kaynağı yapılmakta ve contalar ortadan kaldırılmaktadır.

- a. Demiryolu hattının ıslah ve bakım harcamalarını azaltmak
- b. Çeken ve çekilen araçlardaki arıza ve yıpranmaları azaltmak
- c. Konforlu bir ulaşım sağlamak

Bu tezde öncelikle ray birleştirme kaynak yöntemlerinin incelenmesi ve kaynak yapılma prensiplerinin ve yöntemlerinin anlatılması hedeflenmiştir. Ayrıca yaygın olarak kullanılan ray birleştirme yöntemleri olan ray kaynak yöntemlerinden alüminotermite ve yakma alın kaynak yöntemlerinin incelenmesi ve geliştirilmesi için önerilerde bulunmaktadır.

## BÖLÜM II

### RAY BİRLEŞTİRME ve KAYNAK YÖNTEMLERİ

Dünyada sanayi devrimi ile birlikte özellikle 1900 yılların başlarından itibaren Amerika ve Avrupa ülkelerinde demiryolu gelişimi büyük bir hız kazanmıştır. Demiryolu araçlarının tonajlarının ve hızlarının sürekli artması ile ray ve ekipmanların üretiminin ve malzemelerinin uygulanabilirliği ile üretim ve onarım standartlarının güncellenmesi mecburiyeti oluşmuştur. Bu vaziyette demiryolu hattı inşasında ve onarımında kaynak prosesinin daha yaygın kullanılmasına ve gelişmesine katkıda bulunmuştur.

Dünyada yaygın olarak 4 tip ray birleştirme kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bu kaynak yöntemleri;

- a) Elektrik Ark Kaynağı
- b) Gaz Basınç Kaynağı
- c) Alüminotermite Ray Kaynağı
- d) Yakma alın Kaynağı

Uygulanan kaynak yöntemleri bizlere şu faydaları sağlamaktadır.

- a) Contalarda ray kırılmalarının azalmasını sağlar.
- b) Bakım harcamalarının azaltılmasını sağlar.
- c) Üst yapıdaki bakım maliyetlerinin azaltılmasını sağlar.
- d) Üst yapı malzemelerinin daha uzun süre kullanımını sağlar.
- e) Conta birleşim noktalarındaki gürültüyü önler.
- f) Yolcu konforunu artırır.

## **2.1 Elektrik Ark Kaynak Yöntemleri**

Alüminotermit ve makina kaynağı gibi kaynak yöntemlerinin uygulanamadığı (Farklı Ray Kesitleri, Genleşme Contaları, Makas Bölgeleri vb.) gibi bölgelerde elektrik ark kaynağı yöntemi uygulanır. Bu yöntem ile ray mantarındaki oyulmalar ve apleti zedelenmeleri elektrot kaynağı ile doldurulması içinde yapılmaktadır. Kaynak dolgu teknolojisinin ilerlemesine karşın kaynak malzemesi ile ray malzemesi aynı özelliklere sahip değildir. Kaynak mineral karışımı ve tanecik yapısı, ray ile çeşitlilik göstermektedir. Bu sebeplerden ötürü, kaynağın ray gibi çarpma kuvvetlerine, sürtünme ve kayma gerilmelerini karşılayabilecek mukavemete ve aşınma özelliklerine sahip olması gerekmektedir. İlaveten kaynak yapım esnasında ısıtmadan dolayı iç çatlaklar meydana gelebilir. Ancak bu iç çatlak kırılmalara müsaade etmez. Ray muhteviyatında karbon içerdiğinden kaynak yapımı esnasında ısıl işlem uygulanmalıdır. Ray dolgusu yapılırken dolgu elektrotu ray malzemesinin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine uygun belirlenmelidir. Minimum 880 MPa çekme dayanımı olan bir ray için Alman demiryollarına göre 400 HB (375-425 arası) sertliğinde elektrot seçilmelidir (Onay, 2004).

## **2.2 Gaz Basıncı Kaynak Yöntemi**

Bu metot uzakdoğu ülkelerinde genel olarak uygulanmıştır. Gaz basınç kaynak metodu Kuzey Amerika demiryollarında 40 yılı aşan bir zaman diliminde sık olarak uygulanmış ama kaynakta istenilen sonuçlar elde edilmediği için gaz basınç kaynak metodu yerine alın kaynağı metodu uygulanmaya başlanmıştır.

Gaz basınçlı kaynak yöntemi saha ve üretim şartlarında kolaylıkla uygulanabilmektedir. Gaz basınçlı kaynak ilk defa Japonya'da 1954 senesinde uygulanmaya başlamıştır. 1980'lerden beri portatif hale getirilmiştir. Gaz basınç kaynak metodu çok yaygın olmasının temel sebebi, en az alın kaynak yöntemi kadar güvenilir ve kaynak kaliteli yüksek olmasına bağlanabilir. Gaz basınçlı kaynağında rayların birleştirmesine ilave bir malzemeye ihtiyaç duyulmadığı için kaynak kalitesi iyi sonuçlar vermektedir. Seyyar kaynak makinesi fotoğraf 2.1' de gösterilmiştir.



**Fotoğraf 2.1.** Seyyar gaz basınç kaynak makinesi (<http://www.schlattergroup.com>)

### 2.3 Yakma Alın Kaynağı

Yakma alın kaynağı bir direnç kaynağı yöntemidir. Burada kaynak basıncı, kaynak sıcaklığı ve zamanın malzemenin kendi kimyasal fiziksel yapısını ve özelliklerini bozmayacak şekilde optimize edilmelidir. Kaynak için gerekli olacak ısıyı elektrik akımının aktığı kontak noktasının direnci ve oluşan ark sayesinde gerçekleşmektedir.

Makine kaynağı atölye ile dış ortam ray bağlantılarında ve sürekli kaynaklı rayların yapımında uygulanan çokça tercih edilen metotlardan biridir. Kaynak, kaynak makinesinin; kapasitesine, birbirine kaynak yapılacak olan rayın kesit alanına bağlıdır. Fotoğraf 2.2'de alın kaynak makinesi ve bu makinenin elektrot düzeneği ise fotoğraf 2.3'de verilmiştir (Onay, 2011).

Ayrı olan ray parçalarının uçlarının hafif yakılmasından sonra ön ısıtma yapılır. Bu bölgede enerji yüksek yakma zamanı kısa olmaktadır. Isı girişi kesit alanı boyunca eşit dağılım göstermelidir. Ön ısıtma aşamasından sonra kaynak bölgesine verilen sıcaklık bir seviyeden sonra ani olarak düşürülür. Yakma işlemi mümkünse hareket oranı ve akımın artışı ile kademeli olarak yapılmalıdır. Bu şekilde metal buharı üretilir bu da oksidasyona karşı yüzeyi korur ve metal olmayan bileşiklerin oluşumlarının önüne geçilmiş olur. Yüksek kalitede kaynak elde edilmesi için yakma işlemi sırasında krater oluşumu olmaksızın temas yüzeyleri yumuşatılmalıdır. Yüzey ve ray bölgesi; kaynak dikisinde gözenekler, mikro boşluklar ve metal olmayan bileşikleri önlemek için şişirme işlemi esnasında yeterli hareketi sağlamak üzere ergime sıcaklığında olmalıdır. Kalitesi



yüksek raylar bile son ısıtma işlemi gerektirir ve son ısıtma işlemi ray çeliğinin dönüşüm davranışına bağlı olmaktadır (Kökçe,2002).



**Fotoğraf 2.2.** Mobil yakma alın kaynak makinesi (<http://raybayapi.com>)



**Fotoğraf 2.3.** Mobil yakma alın kaynağı makinesinin elektrot düzeni (Bay, 2011)

### **2.3.1 Kıvılcımlanma**

Kıvılcımlanma için düşük akım ve nötr transformatörden sağlanan akım kullanılarak soğuk bir durumda olan malzemeyi aradan çıkarmak bile yeterli gelecektir. İki rayın farklı noktalardan temas ettirilmesi oluşturularak bu temas noktalarından akım geçirilmeye başlanır. Yüksek akım maruz kalan temas noktaları lokal olarak erime sıcaklığına kısa zamanda ulaşır. Buharlaşma basıncının etkisi kalan eriyik metal aradan dışarıya atılır. Dik köşeli şekilde yakma işlemi sürdürüldüğünde, uç kısımları tüm kesit alanının üzerine temas edene kadar devam ettirilir (Bay,2011).

### **2.3.2 Ön Isıtma**

Ön ısıtmanı yapılabilmesi işi her iki ray ucu birbirine temas ettirilir. Transformatör tarafından gelen akımın tüm kesit alanı boyunca temas noktaları belirlenir ve metalin dışı atılmasına fazla izin verilmemesi için besleme miktarı yüksek tutulmaktadır. Uygulanan yüksek akım şiddeti sonrasında temas eden noktalar ve çevresi ısınır. Besleme miktarı belirli bir ölçüde güç sağlar. Kapalı alanlarda herhangi bir oluşumun olmamasını sağlamak için geri çevirme işlemi ön ısıtma işlemi için kullanılır. Bunun sonucu kısa temas süresinden sonra ray başları ayrılır ve sonra tekrar belirli bir süre temas ettirilir. Bu işlem yaklaşık 10 ile 20 kez tekrarlanır. Besleme kuvveti ön ısıtma bittiğinde ray uçları yeterli miktarda ve düzgün olarak tüm kesit alanı boyunca ısıtılmışsa besleme kuvveti azalır. Bu, ön ısıtmadan sonra yapılan yakma işlemi için önem arz eder. (Bay, 2011).

### **2.3.3 Yakma**

Yakma işlemine başlamak için besleme miktarı ön ısıtma ile karşılaştırıldığında önce azaltılır. Böylece transformatörden gelen akım temas noktalarından metalin erimesi ve buharlaşması için yeterli olmaktadır. Ray başlarının ön ısıtma sıcaklığının faydası ,yüzeylerde oksidasyon oluşumunu engelleyen bir koruyucu atmosferin oluşumu için tüm kesit sahası boyunca düzgün olarak ortaya çıkan metal buharlaşmasını sağlamak ve kıvılcımlanmanın yeterli miktarda ve kısa zamanda meydana gelmesidir. Sayısız temas noktalarından metalin dışarı atıldığı küçük oyuklar oluşur. Kıvılcımlanma sırasında, giriş akımının yoğunlaştırıldığı birkaç temas noktasından çok yavaş kıvılcımlanma

gözlemlenir. Bu geniş oyukların küçük bir miktarını arkasında bırakacak geniş metal artığının düzensiz aralıklarla dışarı atılması nedeniyle yakma işlemi düzgün olmaya başlar ve metal buharlaşması ile meydana çıkan koruma artık yetersiz olmaktadır. Ayrıca, oyuklarda daha sonraki şişirme ile bütünüyle ortadan kaldıracak büyüklükte olabilir (Bay,2011).

Bu sebeple, besleme miktarını ve akımı ,yakma işleminin sonuna doğru artırmak yani yavaş artan miktarlarla yakmayı ilerletmek avantajlıdır. Bu birbirine temas eden ray yüzeylerinin metal buharlaşması ile ilave oksidasyona karşı korunması ve erimiş metalin dışarı atılması suretiyle bu yüzeylerin temizlendiğinden şişirme işleminden önce derhal birleştirme için bu yüzeylerin en iyi yolla hazırlanmasını ve sayısız küçük oyuklar nedeniyle yeterli miktarda yassı damar oluşunu gerçekleştirir.

#### **2.3.4 Şişirme**

Yakma ile hazırlanan birleşme yüzeyleri şişirme esnasında takribi 100 mm/sn olacak şekilde yüksek bir besleme hızında karşılıklı bağlanır. Kaynak akımının şişirme başlayana kadar devrede kalması önemlidir. Böylelikle son ana kadar birleşme yüzeylerin muhafaza edilmesi önem arz eder.Birleşme yüzeylerinin birbirine karşı preslenmesi ile yumuşak metal, aralığın dışına sıkıştırılır ve ray uçları kendiliğinden tipik bir artık kordonu oluşturarak plastik şekil değişimine uğrar. Plastik şekil değişiminin neticesi olarak şişirme kuvveti daima eşit miktarlarda artar.

Birleşme yüzeylerindeki yumuşak metalin sıkıştırılması için belirgin bir minimum şişirme hareketi gereklidir. Bu makineden makineye ve şişirmeden önceki yakma hareketine bağlı olarak değişir. Yakma esnasında iyi muhafaza edilmiş birleşme yüzeyleri, dağınık yakma hareketi altında çalışanlardan daha az şişirme hareketi ihtiyacı duyar. Gerekli minimum şişirme hareketi birleşim yüzeylerindeki yumuşak kütlenin dışarı bastırılmasında veya birleşim yüzeylerinin arkasındaki plastik deformasyon bölgesinde tüketilir. Gerekli şişirme kuvveti birleşim yüzeylerinin kesit alanına ve kaynak yapılacak rayın sıcak akma noktasına bağlıdır. Daha düşük çekme değerli ray çelikleri için basınç daha az olabilir (Onay, 2011).

### 2.3.5 Soğutma

Kaynak, malzemenin özelliklerine uygun olarak soğumaya bırakılmalıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan haddelenmiş ray çelikleri için şişirmeden hemen sonra durgun havada soğutma, kaynak dikişi içinde ve ısıdan etkilenmemiş bölgede haddeleme şartındaki rayın yapısına uygun bir yapı sağlamak için yeterlidir (Onay, 2011).

Sıyırmadan sonra, kaynak kordonu yüksek hızla manuel 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. Ray, her biri iki destek ve bir ayarlanabilir hidrolik silindire donatılmış preslerde bükülmek amacıyla kaynak noktasında yatay ve dikey olarak aynı düzlemde olması sağlanır. Doğrultmadan önce, doğrultma anında ve akabinde ray bir metrelik çelik cetvelle bağlantı noktasında kontrol edilir (Onay, 2011).

### 2.4 Alüminotermit Kaynak Yöntemi

Termit kaynağı sürekli ray kaynağında geniş bir kullanım ağı yakalamakta ve yakın bir gelecekte de sıkça uygulanacak olan bir kaynak türüdür. Bu kaynağın kullanılmasının başlıca sebepleri, ekipman maliyetinin düşük olması, seri bir şekilde uygulanabilir olması ve doğrudan kaynak işleminin uygulanabilir olmasıdır (Gibert, 1988).

Kaliteli bir termit kaynağını oluşturmak için termit alaşımının iyi kontrolü ve ateşlemeden sıvı çeliğin potaya dolmasına kadar geçen aşamaların kontrollü bir şekilde yapılması gerekir. Bu etkenlere ilave olarak iyi bir kaynak elde etmek, uygun ray bölümü, yüzeyin hazır hale getirilmesi, rayın hizalanması, kalıbın yerleştirilmesi ile yeterli ön ısıtmayı gerektirir. Mikro hatalar ihmal edilse bile uygulamanın hatasız yapılmasına karşın kaynağın mekanik özellikleri rayın kendi özelliklerinden düşük kalır. Sonon ve diğerleri (1978)'e göre standart rayın akma sınırı  $480 \text{ N/mm}^2$ , çekme mukavemeti  $910 \text{ N/mm}^2$  ve % 11 kopma uzaması, % 14 kopma büzülmesine karşın, termit kaynağın çekme mukavemeti  $790 \text{ N/mm}^2$ , % 1-3 kopma uzaması ve % 1-3 kopma büzülmesi olduğu rapor edilmiştir.

Termit karışımı (Metal Oksit + Alüminyum) Goldschmidt tarafından THERMİT olarak isimlendirilmiştir (Derlin, 1980). Termit özel ateşleyici ile yüksek reaktif özelliğe sahip manyezit pota içerisinde ateşlenir. Bir kaç saniye sonra ekzotermik reaksiyonun sona ermesi ile yaklaşık 2400 °C'ye çıkan ısı ile eşit hacimde sıvı metal ile alüminyum oksit (cüruf) ayrışır. Böyle bir termik reaksiyon sonucu elde edilen demir çok yumuşak olur. Pratik olarak bu metali kaynak yerinde kullanmak doğru olmaz. Bu nedenle termik karışımına alaşım elementleri katılarak termit çeliğin aşınma direnci kaynak edilecek ray ile aynı seviyeye getirilmeye çalışılır. Bu kaynak işlemi Elektro - Thermit GmbH, Essen firması tarafından geliştirilmiştir (Derlin, 1980; Key, 1984). Bugün genel kullanımda olan termit kaynak işlemi önceden hazırlanmış kalıplarda ve hızlı ön ısıtma uygulamak suretiyle karakterize edilebilir.

Bu uygulanan kaynağın sağladığı avantajlar şunlardır:

- Düşük donanım ve malzeme maliyeti,
- Elektrik gücüne gereksinim duyulmadan yerinde kaynak yapılabilmesi,
- Personel eğitiminin kolay olması,
- Sağlam ve karmaşık yapı içermeyen ekipmanlar,
- Kaynak malzemelerinin kolayca tedarik edilebilmesi,
- Her kalitede ray çeliğine kaynağın uygulanabilir olması.

Bu işlem alüminyum redükleyici olarak kullanılmak amacıyla ağır metal oksitlerinin indirgenmesi olarak tanımlanmıştır. Reaksiyon kuvvetli bir ekzotermik reaksiyondur ve sonunda çok miktarda ısı açığa çıkar. Alüminyumun oksijene karşı ilgisi büyüktür ve alüminyumun oluşum entalpisi diğer birçok ağır metal oksidin entalpisinden yüksek olduğu için özellikle redükleyici maytabın ateşlenmesiyle başlatılır. Alüminyum oksijen ile reaksiyona girer ve alümina ( $Al_2O_3$ ) oluşturur. Metal oksitten, metal ayrılır. Reaksiyon esnasında ortaya çıkan ısı 2450°C'ye ulaşırsa bu durumda hem metal hem de  $Al_2O_3$  cürufu sıvı halde ve süper ısınmış haldedir. Eğer doğru miktarda ve boyutlarda termik tozu kullanılmış ise sıvı metal reaksiyon haznesinin altında, cüruf ise onun üzerinde yer alır (Derlin, 1980).

## 2.4.1 Alüminotermiit kaynağı yapımı

### 2.4.1.1 Contaların hazırlanması

Demiryollarında rayların birbirine birleştiği veya bir rayın bitip diğer raya geçiş yapılan kesiti conta olarak tanımlanır. Demiryollarında contalar yani ray geçiş noktaları genellikle cebire dediğimiz dđrt delikli maşa şeklindeki malzeme ile bağlanarak sabitlenir. Modern demiryollarında ise bu işlem demiryollarının birbirine kaynatılması yđntemi ile yapılmaktadır. Gđnđmizde yeni yapılan yollara raylar serildikten sonra raylar cebire ile bağlanır ya da kaynak işlemi birleştirilir.

Alüminotermiit kaynak yapılmadan önce ilk adım, contaların kaynak yapılmaya uygun hale getirilmesidir. Conta hazırlarken dikkat edilecek hususlar aşağıya çıkarılmıştır. Ezilmiş contalarda, ray uçlarında açılmış cebire delikleri kesilip çıkarıldıktan sonra kaynak yapılmalıdır. Raylar şaloma ile asla kesilmemeli fakat zor durumlarda kalınırsa ray kalitesine ve sıcaklığına bağlı olarak belirtilmiş şartlar altında kesilmelidir. Raylar daha önceden şaloma ile kesilmiş ise en az 150 mm kısmı kesip çıkarılmalıdır. Isıl işlem ve sertleştirme asla şaloma ile yapılmamalıdır.

Eğer cebire bağlanmış ve sonrasında kaynak yapılacak ise delik eksenini ile ray ucu arasında en az 100 mm mesafe olacaktır. Kalıbın bağlanabilmesi için ray altından balast açılmalıdır (Kotđrk, 2014).



**Fotoğraf 2.4.** Conta

### 2.4.1.2 Masterlama

Kaynak aralığı her ticari ürün için termit miktarına ve reaksiyon sırasında açığa çıkan ısı miktarına göre 24-30 mm arasında değişmektedir. Aralığın doğru ayarlanması doğru bir kaynak yapımı için çok önemlidir. Aralık genişliğiyle ters orantılı olarak kalıp içinde kalan ray uzunluğu da değişmekte, bu durum ergiyen ray uzunluğuna etki etmektedir. Kaynak aralığının gereğinden az olması durumunda reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı kalıp içinde kalan ray uzunluğunu ergitmeye yetmemekte ve bu nedenle istenen özellikleri sağlayabilecek, yeterli genişlikte bir kaynak dikişi oluşturulamamaktadır (Koçtürk, 2014).

Raylar arasında kaynak sonrasında pürüzsüz bir geçiş elde edilmesi için ray profilleri karşılıklı olarak aynı hizaya getirilerek masterlanır. Alüminotermit kaynaklarının geometrik toleransları EN 14730-1’de standartlaştırılmıştır. Yapılan kaynakların bu toleranslar içinde kalması için masterlama işleminin önemi büyüktür. Masterlama işlemi sırasında göz önüne alınması gereken en önemli nokta kaynak metalinin ve rayların kaynaktan sonra soğuyarak hacimce azalacağıdır. Masterlama sırasında bu etkiyi yok etmek için ray başları 1,5-2 mm yukarı kaldırılarak işlem gerçekleştirilir. Masterlama işlemi fotoğraf 2.5’de gösterilmektedir (Bay, 2011).



**Fotoğraf 2.5. Masterlama**



### 2.4.1.3 Kalıpların bağlanması

Kalıplar ray imbisat kaynak aralığına yerleştirilmeden önce göz ile genel kontrolü yapılır. Kırık, çatlak ve nemli kalıpların kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Kalıplar saca yerleştirilirken zor oturanlar var ise tuğla kalıpların fazlalıkları alınarak sacın içerisine kolayca geçmesi sağlanır. Önce birinci kalıp raya montajı yapılır ve kaynağı her iki taraftan eşit mesafede yerleştirildiğine dikkat edilir. Birinci kalıp mengene kolları aracılığıyla hafifçe sıkıştırılır ve ikinci kalıp yerleştirilmeden önce imbisat boşluğunun üst kısmı bir parça ile örtülür. İkinci kalıp yerleştirilirken üstten ve alttan tuğla kalıplar göz ile kontrol edilir. Kalıp yerleşimi tamamlandıktan sonra her iki kalıp mengene ile sıkıştırılır (Koçtürk, 2014).

Kalıplar yerleştirildikten sonra macunlama aşamasına geçilir. Macunun kıvamı tuğla kalıbın birleşim noktalarını boşluksuz sarmasına dikkat edilmelidir. Kıvamında olan macun tuğla kalıp kenarlarına, üstüne ve alt taraflarına sıkı bir biçimde uygulanmalıdır. Kalıpların macunlanma işlemi bittikten sonra cüruf kapları yerleştirilir (Koçtürk,2014).



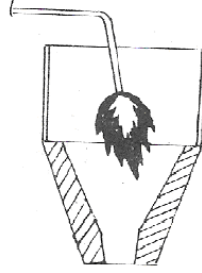
**Fotoğraf 2.6.** Kalıp bağlanması

### 2.4.1.4 Potanın hazırlanması

Pota özverili bir şekilde tam olarak imbisat boşluğunu ortalayacak biçimde konumlandırılmalıdır. Kaynağın istenilen kalitede olması için temiz ve sağlam potaya ihtiyaç vardır. Pota kesinlikle kum ile sıvanmamalıdır. Gerekli olduğu durumlarda çok az bir cüruf tozu ile onarılabilir. Kumla onarılması halinde kaynama esnasında kaynak metali içerisine fazla miktarda silis karışır, bu da kaynak bölgesinin gevrek olmasına sebep olur. Ayrıca karışımın içerdiği nem kaynak için zarar teşkil eder. Pota içindeki

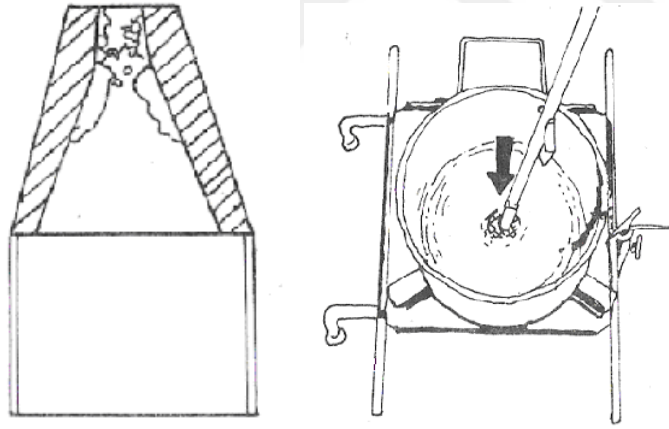


cüruf potayı koruyacağından potanın içinde durması gerekir; ancak her 15-20 (bu rakam her firma için değişebilir) kaynakta bir mutlaka temizlenmelidir.

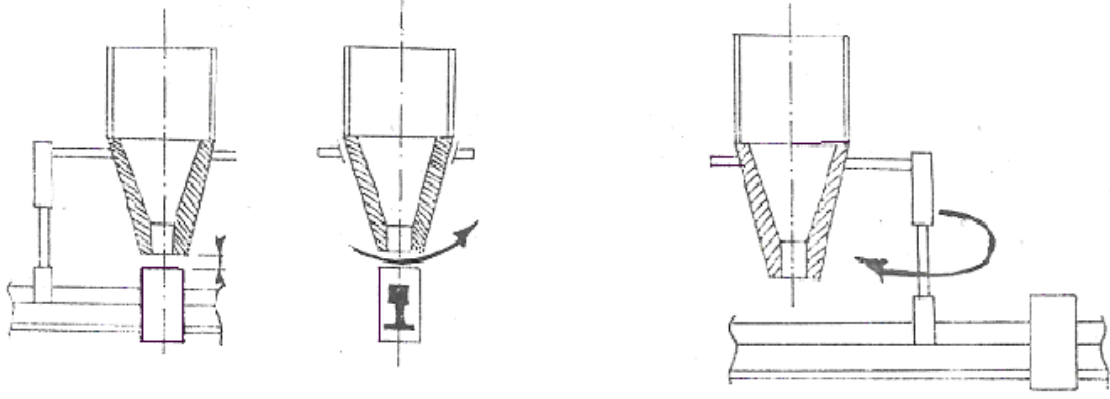


**Şekil 2.1.** Potanın ısıtılması (Tulumtaş, 1997)

Potanın temizlenmesi sırasında; бага sökülerek çıkartılmalıdır, Bir ucu sivri bir aletle potanın ağzından dışa doğru vurmak suretiyle cüruflar temizlenmelidir. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi demir çubuklar yardımı ile pota temizlenir. Fakat bu işlem yapılırken pota kaplamasına zarar verilmemelidir. Potanın dibindeki cüruf kalıntısı potayı koruyucu durumdadır. Bu nedenle potanın içinde kalmasında yarar vardır (Tulumtaş, 1997).



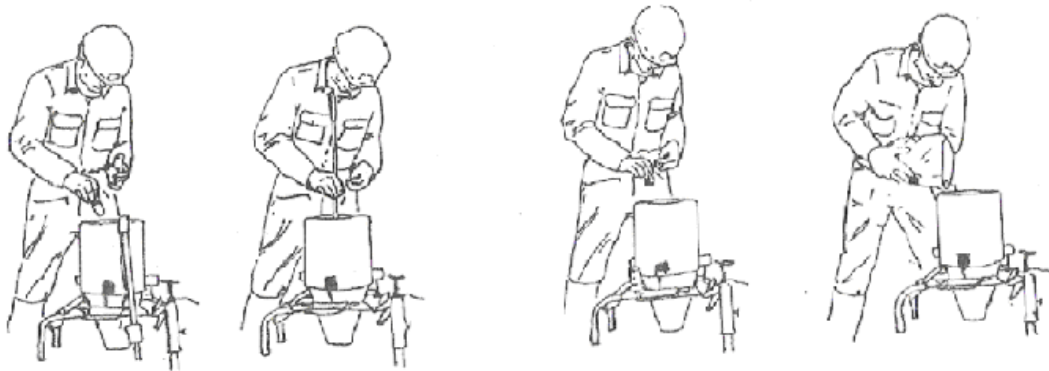
**Şekil 2.2.** Potanın temizlenmesi (Tulumtaş, 1997)



**Şekil 2.3.** Potanın yerleştirilmesi (Tulumtaş, 1997)

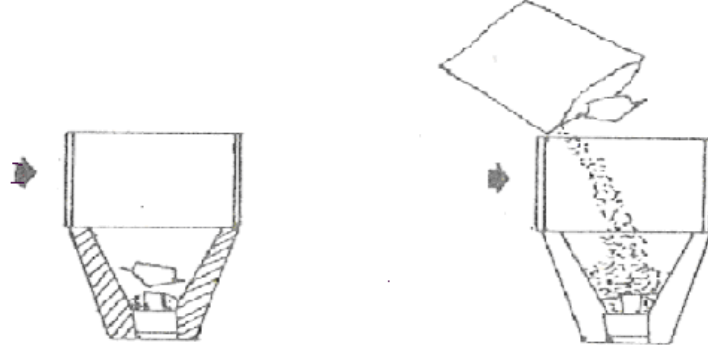
Her gün, o günün ilk kaynağından önce pota iyice kurutulmalıdır. Bunun için pota yaklaşık 15-20 dakika ya da dış tarafına el dayakmayacak kadar (yaklaşık 100 °C) Şekil 2.1 'de gösterildiği gibi şaloma ile ısıtılmalıdır.

Eğer iki kaynak arası süre bir saati geçiyorsa kurutma işlemi tekrarlanmalıdır. Potanın hazırlanmasına ilişkin işlemler aşağıda sıralanmıştır. Önce pota yerine oturtulur. Pota ile kalıp arasındaki mesafe malzemelerin alındığı firma talimatlarında belirtilen yüksekliğe göre ayarlanır. Dökümden önce pota kalıp tapasını merkezleyecek şekilde yerleştirilmelidir. Otomatik baga ,baga maşası ile potaya yerleştirilir ve maşa yavaşça geri alınır (Şekil 2.4). Baganın üzerine, reaksiyon bitimine kadar baganın açılmamasını sağlamak için magnezyum oksit konur reaksiyon bitiminde baga kendiliğinde açılır.



**Şekil 2.4.** Potanın hazırlanması (Tulumtaş, 1997)

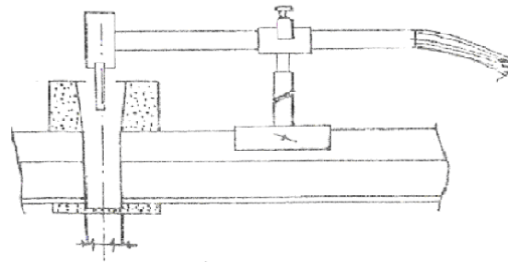
Kaynak şarjı (termit) potaya dökülür. Şekil 2.5'deki gibi termit, her kaynak için bir torba olarak kullanılmalı, asla diğer bir paketle birleştirilmemelidir, yarım kullanılmamalı veya ekleme yapılmamalıdır (Tulumtaş,1997).



Şekil 2.5. Termitin potaya boşaltılması (Tulumtaş, 1997)

#### 2.4.1.5 Ön ısıtma (Tavlama)

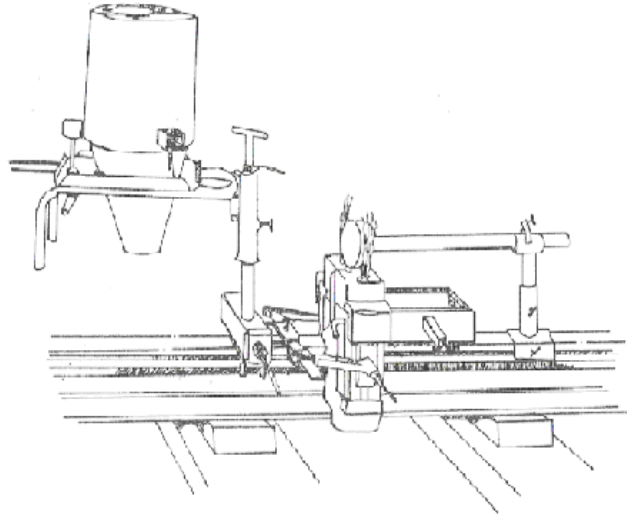
Şaloma (Brülör) üzerindeki delikler kontrol edilmeli eğer deliklerin çapı büyümüşse ya da tıkanmışsa yeni şaloma (Brülör) kullanılmalıdır. Benzin-hava ile ön ısıtma yapılacaksa motor 5/6 oranında doldurulmalıdır, daha fazla doldurulması sakıncalıdır. Motorun yakıtı doldurulduktan sonra civarda hiçbir şekilde ateş bulundurulmamalıdır. Yakıt deposu en az dört günde bir temizlenmeli dibine çöken yabancı madde ve toz artıklarından arındırılmalıdır. Yakıt doldurulurken herhangi bir katkı veya su karışması önlenmelidir. Benzin pompalanırken temizlenmesini sağlamak amacıyla çıkışına bir filtre konulmalıdır. Ön Isıtma işlem sırası aşağıdaki şekilde olmalıdır (Tulumtaş, 1997). Şaloma, ray yüzeyinden malzemelerin alındığı firma talimatlarında belirtilen yüksekliğe göre Şekil 2.6 'da gösterildiği gibi kalıba zarar vermeyecek şekilde ayarlanır.



Şekil 2.6. Şalomanın ayarlanması (Tulumtaş, 1997)

Motor çalıştırılır ve en yüksek hıza getirilir. Hava vanası açılır ve manometrede okunan hava basıncının termit malzemesinin alındığı firmanın önerdiği değerde olması sağlanır. Tankın benzin musluğu açılır. Benzin dağıtımını kontrol eden iğneli musluk açılır. Brülörden benzin akıncaya kadar birkaç saniye beklenir (Bu işlem kalıpların dışında yapılmalı, böylece kalıpların benzinle ıslanması önlenmelidir).

Brülör yerine yerleştirilir.(Bunun önceden ayarlanması gerekir.) Brülörün ray üzerinden yüksekliği termit malzemesinin alındığı firmanın önerdiği değerde olması sağlanır. Benzin dağıtımını kontrol eden iğneli musluk ayarlanarak benzin akışı kontrol edilir ve kalıpların 12-15 cm. üstünde mavi bir alev olması sağlanır (Şekil 2.7).



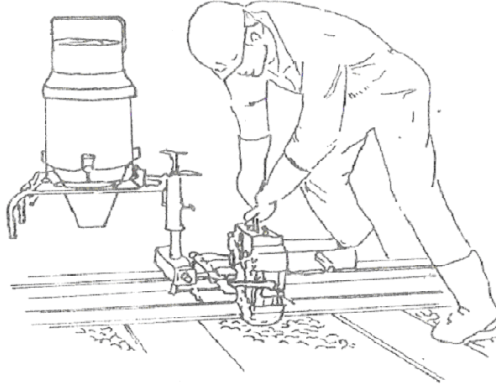
**Şekil 2.7.** Ön ısıtma (Tulumtaş, 1997)



**Fotoğraf 2.7.** Ön ısıtma

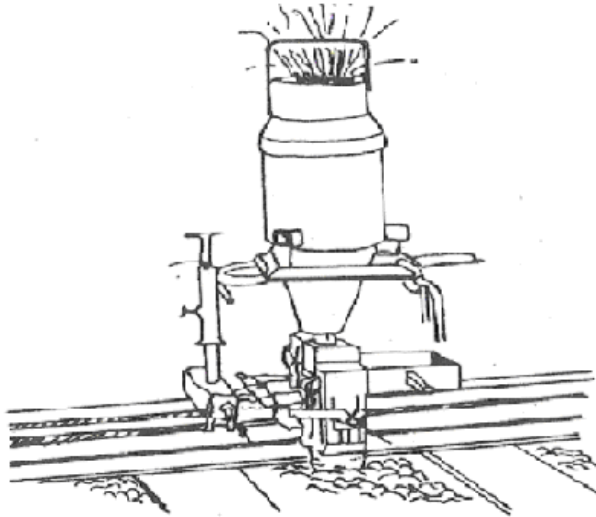
#### 2.4.1.6 Döküm

Ön ısıtma işlemi bittikten sonra ön ısıtma grubu kenara alınır ve Şekil 2.8’de gösterildiği biçimde kalıp tapası sıkı bir şekilde kalıp ağzına kapatılır.



Şekil 2.8. Tapanın yerleştirilmesi (Tulumtaş, 1997)

Daha önceden hazırlanmış olan pota, kalıbın üzerine kalıbı tam olarak merkezlenecek şekilde getirilmeli (Şekil 2.9) ve döküm tam olarak merkezden yapılmalıdır.

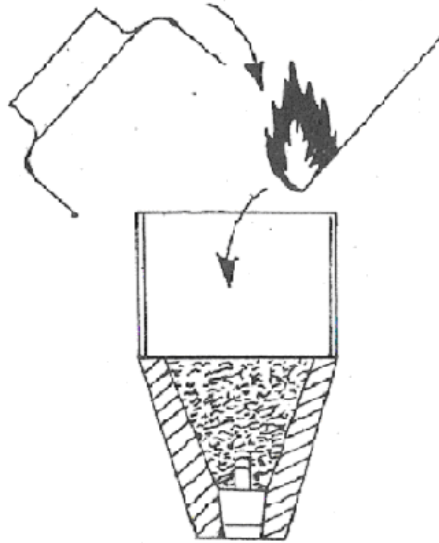


Şekil 2.9. Döküm yapılması (Tulumtaş, 1997)

Pota içindeki termit malzemesinin orta kısmı kolay tutuşturulması amacıyla küçük bir tepe haline getirilir ve Şekil 2.10'deki gibi tam bu noktadan maytap yardımı ile tutuşturulur.



**Fotoğraf 2.8.** Döküm yapılması

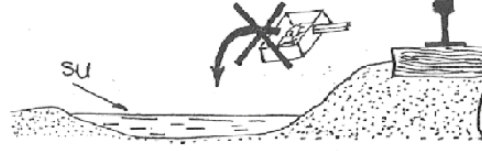


**Şekil 2.10.** Termitin ateşlenmesi (Tulumtaş, 1997)

Potanın kapağı kapatılarak etrafa zarar vermemesi için bulunduğu merkezden kaçınılmalıdır. Reaksiyonun başlamasından yaklaşık 25-30 saniye sonra otomatik olarak бага açılarak döküm işlemi başlar ve reaksiyon sonucunda oluşan cüruf toplanır. Potanın



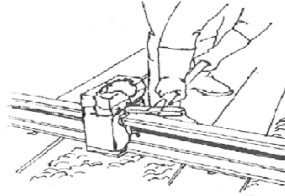
işi biter bitmez kenara alınır (Tulumtaş,1997). Cüruf tablası kalıbın yanından ayrılır; fakat asla donmuş zemine, suya veya traversin üzerine atılmamalıdır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Cürufun atılması (Tulumtaş, 1997)

#### 2.4.1.7 Kalıbın alınması

Döküm bittikten sonra kalıp tutucuları(karkas) malzemelerin alındığı firma talimatlarında belirtilen süre içinde alınır. Kalıplar, uygulanan kaynak yöntemine ve ray kesitine göre malzemelerin alındığı firma talimatlarında belirtilen süre içinde kırılır (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Kalıbın alınması (Tulumtaş, 1997)

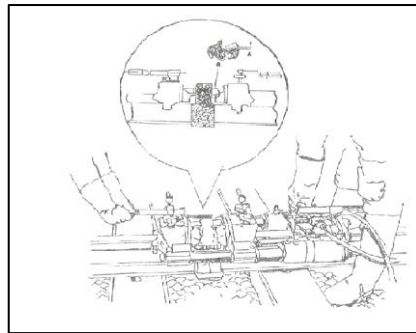


Fotoğraf 2.9. Kalıp tutucuların alınması Fotoğraf 2.10. Kalıbın alınması

#### 2.4.1.8 Kaynak fazlalıklarının sıyırılması

Kaynak artıklarının alınması işlemi hidrolik sıyırma aracı vasıtasıyla yapılmaktadır. Ray üzerinde malzemelerin alındığı firma talimatlarında belirtilen miktarda fazlalık bırakacak şekilde yapılmalıdır. Cürufun balyoz ile sıyırılması sakıncalıdır; Ancak başka alternatif olmadığı durumlarda kullanılabilir. Balyoz kullanılırken önce ray üzerindeki fazlalık her iki yönde yarısına kadar kesilir, daha sonra tek tarafa doğru vurmak suretiyle tamamen kopartılır. Mantarın yan tarafındaki fazlalıklar aşağıya doğru vurmak suretiyle kesilir. Fakat çok zorunlu olmadıkça asla balyoz kullanılmamalı mutlaka sıyırma makinesi kullanılmalıdır.

Hidrolik sıyırma makinesi kullanılırken daha çabuk hareket etmeli ve kaynağın soğumasına fırsat vermeden kesme işlemi gerçekleştirilmelidir. Çünkü kaynak soğuduktan sonra sertleşir ve makine ile sıyırmak mümkün olmayabilir. Sıyırma makinesini yerleştirmeden önce hareketli bıçağın olduğu taraftaki kalıp sökülmesi ve kum taneleri iyice süpürülmelidir. Yollukların çıkıntısı yanlara doğru yatırılmalı ancak kaynak iyice soğuduktan sonra kopartılmalıdır.



Şekil 2.13. Kaynak fazlalığının sıyırılması (Tulumtaş, 1997)



Fotoğraf 2.11. Kaynak fazlalığının sıyırılması



#### 2.4.1.9 Ön taşlama

Kaynaktan sonra kaba taşlama yapılır. Taşlama başlamadan önce yan taraftaki cüruf atma deliklerinin çıkıntıları aşağıya doğru eğilir. Kaba taşlama yolun trafiğe açılması için yapılır. Bu işlem yapılırken ray mantarının üst ve yan taraflarından (metalin soğuduktan sonra çekilmesi göz önünde bulundurularak) en az 0,5 mm. fazlalık bırakılmalıdır.(Hidrolik sıyırma aleti) kullanıldığında kaba taşlamaya gerek olmayabilir (Tulumtaş, 1997).



**Fotoğraf 2.12.** Ön taşlama

#### 2.4.1.10 İnce taşlama

Kaynak bölgesinin ray geometrisinin iyileştirilmesi amacı ile son işlem olarak yapılmaktadır.



**Fotoğraf 2.13.** İnce taşlama görünümü (Koçtürk, 2014)

#### 2.4.1.11 Temizleme

Kaynakçı kaynağın çevresindeki tüm çıkıntıları temizlemelidir. Bütün artıklar, kum, kalıp artıkları ve kalıntılar temizlenmelidir. Ray çevresindeki çıkıntılar, çapaklar, yolluk çıkıntısı taşlama yoluyla temizlenmelidir. Kaynak yapımında kullanılan tüm alet edevat toplanmalıdır. Kalıp ve termit kılıfları toplanıp balast üzerinde pislik bırakılmamalıdır.

#### 2.4.3.12 Perlitleme

Mantarı sertleştirilmiş rayların kaynak bölgesindeki kısımlarının metalürjik yapısı kaynak esnasında bozulur. Aynı zamanda yapılan kaynağın da rayla aynı sertliğe ulaştırılması gereklidir. Bunun için ısıl işlem uygulanarak kaba perlite dönüşen yapı ince perlite dönüştürülür. Bu ısıl işleme perlitleme adı verilir (Koçtürk, 2014).



**Fotoğraf 2.14.** Perlitleme ve sonrası ray görünümü (Koçtürk, 2014)

## BÖLÜM III

### RAY KAYNAKLARINA UYGULANAN TESTLER

İyi bir kaynak yuvarlanma yüzeyi ve kaynak boyunca rayda meydana gelen gerilmelere karşı dayanım göstermelidir. Kaynakların mekanik testleri bu iki gerilme şekli için kullanılır. Statik eğilme testinde iki tarafından sabitlenmiş bir kiriş olarak görev yapmakta olan kaynaklı raya kırılıncaya kadar yük tatbik edilir. Böylece yük sapma grafiği meydana gelir. Testin başlangıç safhasında yük lineer sapma ile hızla artış gösterir. Burada ilk safha elastik olan bölgedir. Yük miktarı belli bir safhaya ulaştığında akma dayanımı aşılır ve bu noktadan sonra yük artışı kademeli olarak azaltılır. Bu safhadan sonra plastik deformasyon gözlenir. Statik eğilme testinde kabul görmüş standart testler uygulanmaktadır (Onay,2011).

**Çizelge 3.1.** Kopmadaki toplam sapma ve yük değerleri (Onay,2011)

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

Çizelgedeki değerler kullanılan çeliğin cinsine göre tüm kesitler için Alman Demiryolları tarafından kabul görmüş sapsmalardır. Kalite testlerinde parametre olarak kopma anındaki toplam sapma miktarı rayın kullanım anında, kaynak bölgesinde oluşan plastik şekil değiştirmelerine dayanımını ortaya çıkarır.

Açık hava koşullarında kalmış tüm ray cinsleri ve kesitlerinde 200N/mm<sup>2</sup> eğilme gerilimi altında darbeli yorulma dayanımına karşı gelmesi beklenmektedir. Kaynak kısmındaki yuvarlanma yüzeyinin sertlik profili hizmet süresi boyunca seyir düzleminin düzgün kalmasını sağlayacak biçimde olmalıdır. 330 ile 380 HV sertliğindeki kaynağın

büyük bir kısmı diğer kısımlardan daha sert olmaktadır. Ray malzemesinin dayanımını artırmanın metodu ise ısıtma işlemidir. Raylarda ve yakma alın kaynağı bağlantılarında yorulma çatlakları uzama oranına olduğu kadar kırılma dayanımı, çekme dayanımı ve darbe enerjisini de etkilemektedir. Ray kaynağı sonrasında kalite kontrolü büyük önem taşımaktadır. Kaynağın kalitesini belirlemede Ultrasonik, muayene, mikro yapının kontrolü, yorulma, statik eğilme kimyasal analiz ve sertlik testleri yapılmaktadır (Kökçe, 2002).

### **3.1 Sertlik Testi**

#### **3.1.1 Brinell sertliği**

Kaynak yüzeyinin sertliğinin belirlenmesi için; sertliği ölçülecek kaynaklı parçanın üst kısmı düz bir yüzey elde etmek için taşlanır. Düz yüzeyin eksenleri düşey eksen ile keşişmeli ve yüzey bu noktada ray mantarına teğet olmalıdır. Kaynak yüzeyinin üzerinde birbirinden 15 mm aralıklarla 3 değişik noktada standarta göre Brinell sertlik testi yapılmaktadır. Bu testte elde edilen Brinell sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması brinell sertliği olarak kabul görür. Yapılan kaynağın sertliği 278 ila 327 sertlik değerine sahip olmalı ve kaynak bölgesinin sertliği rayın sertliğinden 17 ile 23 sertlik değerine sahip olabilmektedir. Bu nedenle önce ray parçasında mikro yapı incelemesinde kullanılan yüzeyde ve ray mantarı yüzeyinin 3mm altında kaynak merkezinden her iki tarafa yeter sayıda Brinell sertlik ölçümü alınır (Onay, 2004).

#### **3.1.2 Vickers sertliği**

Vickers metodunda askı elemanı olarak 136° elmas uçlu kare piramit kullanılmaktadır. F yükü ile malzemeye preslenen piramit ucun bıraktığı dörtgen izin köşegenleri ölçülerek hesaplanan ortalama köşegen uzunluğu formülde yerine yazılarak sertlik değerleri hesap edilir. Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Ölçme hatalarını en aza indirmek ve farklı yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısıyla izi büyütmek faydalı olacaktır. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük numune üzerinde kalma süresi takribi 20 saniyedir. Bu süre sonunda baskı ucu numune üzerinden alınır ve deney sonlandırılır.

### 3.2 Yorulma testi

Birçok makine parçasına ve yapı elemanına uygulanan tekrarlı yükler ve titreşimler, metalik malzeme ihtiva eden bu parçalara uygulanan fiziksel etmenin neden olabileceği gerilme, malzemenin statik dayanımından küçük olsa bile, belirli bir çevrim sayısından sonra, yüzeyinin çatlamasına, sonrasında malzemenin kopmasına neden olmaktadır. Bahsi geçen bu olay ‘Yorulma’ olarak adlandırılmaktadır. Malzemelerde meydana gelen yorulmanın nedenleri arasında en çok yorulmaya etki eden faktörlerin fazlalığı ve statik yüklemeye nadir rastlanması yer alır. Bilhassa rayların kaynak bölgelerinin trenlerin geçişi esnasında dingil yüküne maruz kalması, kaynakların yorulma dayanımı, kullanım ömrü ve maliyeti açısından çok önemlidir. Yorulma testi 130 cm uzunluğunda 1 mm açıklığında basit şekilde mesnetlendirilmiş ve tam orta noktasının ray kaynağını ortalayacak şekilde ray üzerinde yapılmaktadır. 20 ton ile 0,5 ton arasında değişen yük 5,55 Hz frekansla 5.000.000 çevrim uygulandıktan sonra kaynakta herhangi bir çatlak ve kırılma gözlenmemesi gerekmektedir. Söz konusu test TCDD bünyesinde Demiryolu Araştırma Merkezi Laboratuvarında uygulaması yapılabilmektedir Fotoğraf 3.1’de rayın deney düzeneği gösterilmiştir(Onay,2011).



**Fotoğraf 3.1.** Rayın yorulma deney düzeneği (Onay, 2004)

Yorulma kırığı yüzeyi; pürüzsüz olan yorulma çatlaklarının ilerlediği bölge ile pürüzlü ve yarıklı son kırılma bölümlerinden meydana gelir. Pürüzsüz olan yorulma çatlaklarının olduğu bölgede kumsal çizgileri şeklindeki duraklama çizgileri meydana gelebilir. Duraklama çizgileri yükün değişimi, makinenin hızının değişimi gibi hallerde çatlak

ilerleme hızlarının değişmesi, dolayısıyla çatlak uçlarındaki oksidasyonunun farklı şiddette olmasından ileri gelir. Bu duraklama çizgileri, yorulma çatlağının ilerlemesi sırasındaki çeşitli aşamalarda, çatlak cephesinin aldığı şekiller hakkında bilgi sunar. Çatlak cephesinin şekli, yüklemenin şeklini belirttiğinden, hasar analizinde önemli bir yeri vardır. Bu yüzden duraklama çizgileri çevrim çizgileri ile karıştırılmamalıdır (Onay, 2004).

### 3.3 Statik eğilme testi

Eğme deneyi Türk Standartlarına göre tarif edilen tanımına göre (TS-205) eğme testi yapılacak deney numunesi iki desteğe serbest oturtulan genellikle dairesel veya dikdörtgen kesitli düz bir deney numunesi yn değiştirmeksizin orta noktasına bir eğme kuvveti uygulandığı zaman şeklinde değişim göstermesidir. Fotoğraf 3.2 'de test makinesi genel görüntüsü verilmiştir.



**Fotoğraf 3.2.** Statik eğme test makinesi

Ray kaynağında önemli bir yeri olan mekanik ölüm testidir. Öncelikle kaynaklanmış rayın ortasına tekil bir kuvvet uygulamak suretiyle numune eğilme gerilmelerine maruz bırakılır. Rayın çatlamadan yapabildiği maksimum sehim llr. Uygulanan kuvvet ray kırılana kadar arttırılır ve kırılma yükü belirlenir. Rayın çatlamadan vereceği sehim miktarı en az 15 mm ve kırılma yükü minimum 82 ton olmalıdır (Onay, 2004).



### 3.4 Ultrasonik muayene

Ultrasonik dalgalarının bir malzeme içerisinde bir prob vasıtası ile bir demet halinde gönderilmesi ve malzemenin içerisinde geçen dalga demetinin değişime uğrayarak, dalgaların malzemeden çıktığı anda aynı veya başka bir prob sayesinde proba gelen dalgaların probun piezo elektrik kristali tarafından tekrar elektrik titreşimlerine dönüştürülmesi ile yapılmaktadır. Cihazın her iki probu elektronik bir devre ile bir ultrason cihazını oluşturmaktadır (Fotoğraf 3.4). Cihazın ekranında elde edilen görüntüler giriş çıkış yüzeyleriyle parçada bulunan hatalar vb. yansıtıcıları belirlemektedir. Test işlemi, rezonans frekansını, zaman ve genişliği ölçümü ile yapılmaktadır. Rayların ultrasonik muayene işlemini yapan personel en az seviye II düzeyinde EN-473 gerekleri ile sertifikalandırılmış olması gerekmektedir. Ayrıca bu uygulama konusunda deneyime sahip olması gerekmektedir. Ray kaynaklarında tarama bölgesi kaynak bölgesi, ITAB bölgesi (en az 10mm) ve ana ray metal (en fazla 20mm ) olmalıdır. Ray kaynaklarının hata tespitinde Tandem yöntemi seçilmiş ise 70 ° açılı problar kullanılması en iyi sonucu verecektir. İki probun ses alanlarının keşişim bölgesi, duyarlılık bölgesini belirler. Problar arasındaki mesafe değiştirilerek duyarlılık bölgesinin derinliği değişmektedir. 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 (İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. 2008).



**Fotoğraf 3.3.** Ultrasonik muayene cihazı

Ray ve ray kaynaklarının yüzeyi pürüzsüz olmasına dikkat edilmelidir. Yüzeyde bulunan pas kir yağ gibi vb. maddeler test öncesi mutlaka temizlenmelidir. Yüzeyindeki pürüzlü olması akustik empedans farkından dolayı testten hatalı sonuçlar çıkmasına yol açabilir. 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 sebeple prob ile test parçası arasında temas sıvısı kullanılarak hava film tabakasını yok edilebilir. Ayrıca test parçasının yüzey sıcaklığı, malzemenin korozyon tehlikesi ve yüzey pürüzlülüğü bir temas sıvısı kullanımını gerektirmektedir (İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. 2008).

Tespit edilecek hata türü ve konumuna bağlı olarak rayların kontrolünde boyuna ve enine dalgalar ile test yöntemi kullanılmalıdır. Boyuna dalgalarla test işleminde normal prob kullanılır. Çekme boşluğu, gözenekler, cüruf vb. hacimsel hatalarla, laminasyon, çatlak vb. düzlemsel hatalarda aranabilir. Enine dalgalarla test genellikle açılı prob lar ile yapılmaktadır. Prob açısı kabaca demet hataya dik bir şekilde gelmesi sağlanmalıdır. Dolayısıyla hata türünü yerini ve yönünü öngörmek önem arz eder. Yaygın olarak uygulanan prob açıları  $45^{\circ}$  ,  $60^{\circ}$  ,  $70^{\circ}$  ve  $80^{\circ}$  dir. Enine dalgalarla gözenek, cüruf vb. hacimsel hatalar ve çatlak, yetersiz nufuziyet, yetersiz kaynama vb. düzlemsel hatalar test edilir (Onay, 2011).

Test parçasındaki oluşabilecek hataları bulunabilmesi için uygun pro seçilmelidir. Test parçasının malzemesi, üretim şekli boyutları ve geometrik şekli gibi faktörler değerlendirildikten sonra prob kararı verilir. Bu faktörler değerlendirildikten sonra kişi malzemede hata tiplerini tahmin edebilir. Prob hataya dik ses demeti gönderecek şekilde bir prob tipi veya açısı seçilmelidir. Düzlemsel hataların tespit edilmesi için uygun bir prob açısı seçmek gerekmesine karşılık hacimsel hataların tespit edilmesi için açı pek önemli arz etmemektedir.



Yüzeysel çatlakların tespiti için en uygun  $45^\circ$ 'dir. Kısa mesafelerde 5 mm kadar çift kristalli problar tercih edilmelidir. Eğrisel yüzeyli malzemelerin testinde küçük boyutlu problar kullanılmalıdır. (Fotoğraf 3.4)'de ultrasonik muayene düzeneği görülmektedir (Onay, 2011).



**Fotoğraf 3.4.** Ultrasonik test düzeneği

Kalın cidarlı malzemeler  $45^\circ$  açılı tandem tekniği ile test edilebilir. Bu teknik yüzeye özellikle düşey doğrultuda oluşan süreksizliklere karşı etkindir. Malzemenin cidar kalınlığına ve derinliğe göre problar arasındaki mesafe ve açısı farklı olmalıdır. Genel olarak ultrasonik testlerde 1-5 Mhz arasında frekanslar kullanılır. Test frekansı seçilirken malzemenin ayırma gücü, test alanı, dedekte edilecek minimum hata boyutu ve süreksizlik yönü göz önünde bulundurulmalıdır. Frekans yükseltildiğinde malzemedeki zayıflama oranı da yükselir. Dalga boyu ortalama tane boyutunun en az 5 katı olmalıdır. Kaba tanelerde yüksek frekans gürültüye neden olmaktadır. Böyle durumlarda frekans 0,5 Mhz'e kadar düşürülmelidir. Hataların dedekte edilebildiği hata boyutu ses demeti kesit oranı ile artar. Yakın mesafeler ses basıncının yakın alandaki karmaşık değişiminden dolayı yanılmalara neden olmaktadır (İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş.2008).

### 3.5 Mikro yapılar

Kaynak çeliği ile ray çeliği yapısı aynı görünüşte eşit büyüklükteki tanelerden oluşmalıdır. Yapı çeliği perlitik yapıda olmalıdır. Ray ve kaynak çeliğinde mevcut mikro yapının incelenmesi amacıyla, yapılan kaynaklardan alınan numunelerin

yüzeyleri %4'lük nital ile dağlanarak hazırlanmalıdır. Daha sonra 100X ve 500X büyüterek metalografik olarak incelenmektedir. Ray metalinde rayın ITAB bölgesinin yapısı esas olarak incelendiğinde perlit tanelerinden oluğu ve tane sınırlarında az miktarda ferrit bulunduğu saptanmaktadır. Ferrit miktarı %5'in altında olup bu durum %0,59 C içeren çelik için uygun nitelendirmektedir(Onay, 2011).

### **3.6 Kimyasal analiz**

49E1 R260 ray ile yapılan kaynak işlemlerinin sonunda numunelerin hem kaynak metalleri hem de esas metalleri kimyasal analize tabi tutulmaktadır. Sonuçlar(Çizelge 3.2)'de verilmiştir. (Onay, 2011).



**Çizelge 3.2.** Alüminotermite kaynağın kimyasal yapısı (TS EN14730-1,2012)

Element	İzin Verilen Aralık(%)		Çalışma Aralığı	Ray Sınıfı EN 13674-1
	En az	En Fazla		
Karbon	0,3	0,55	±0,12	R200
	0,35	0,7	±0,12	R200
	0,4	0,75	±0,12	R260, R260Mn
	0,5	0,85	±0,12	R320Cr, R350 HT, R350LHT
Silisyum	0	1,2	±0,25	Hepsi
Mangan	0,4	1	±20	R200
	0,45	1,2	±20	R220
	0,5	1,4	±20	R260, R320Cr, R350HT,
	0,5	1,6	±20	R260 Mn
Fosfor	0	0,035		Hepsi
Kükürt	0	0,035		Hepsi
Krom	0	0,2		R200, R220, R260, R260 Mn
	0	0,8	±0,20	R320Cr, R350 HT, R350LHT
Molibden	0	0,1		Hepsi
Nikel	0	0,1		Hepsi
Alüminyum	0,02	0,6	±0,20	Hepsi
Bakır	0	0,2		Hepsi
Kalay	0	0,02		Hepsi
Antimon	0	0,02		Hepsi
Titanyum	0	0,05		Hepsi
Niobyum	0	0,01		Hepsi
Vanadyum	0	0,25		R200, R220, R260,
	0	0,45		R260 Mn, R320Cr, R350
	0	0,65		HT, R350LHT

Çizelge 3.3'te S49 R260 Ray esas metalin kimyasal bileşimi verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** S49 R260 rayın esas metalin kimyasal bileşimi (Onay,2011)

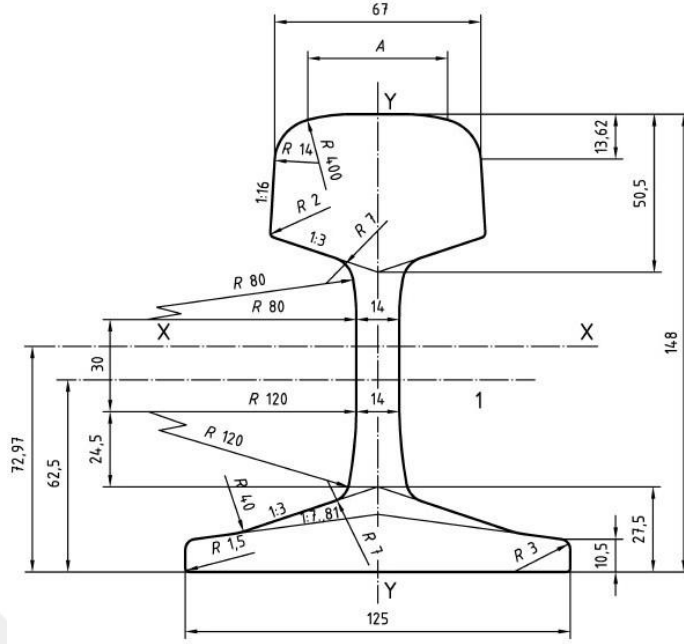
<b>Element</b>	<b>%</b>	<b>Element</b>	<b>%</b>	<b>Element</b>	<b>%</b>
Karbon (C)	0,66	Silisyum (Si)	0,205	Mangan (Mn)	1,22
Fosfor (P)	0,0143	Kükürt (S)	0,029	Krom (Cr)	0,0501
Molibden (Mo)	0,001	Nikel (Ni)	0,00847	Alüminyum (Al)	0,00386
Kobalt (Co)	0,001	Bakır (Cu)	0,0253	Niyobyum (Nb)	0,002
Titanyum (Ti)	0,00482	Vanadyum (V)	0,001	Tungsten (W)	0,005
Kurşun (Pb)	0,002	Kalay (Sn)	0,003	Antimon (Sb)	0,02

## BÖLÜM IV

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1 Alüminotermite Kaynaklı Rayın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Üzerinde demiryolu araçlarının hareket etmesini sağlayan, tekerlekleri kılavuzluk yapan ve dingillerden gelen kuvvetleri traverslere aktaran, dökme çelikten yapılmış üstyapı malzemesine ray denir. Kaliteli çelik malzemeden imal edilen ve demiryolu araçlarının yol ile temasını sağlayan üstyapı elemanıdır. Raylar; aşınmaya karşı yeterli dayanımı sağlayacak kadar sert, ancak darbeler ve üzerine gelen yükler nedeniyle oluşabilecek şekil değişimleri nedeniyle hemen kırılmayacak kadar yumuşak bir çelikten imal edilirler. Ray çeliğinin bileşiminde demirden başka karbon, silis, manganez, fosfor ve kükürt bulunur. Bunlardan karbon, silis ve manganezin belli miktarlarda bulunması, rayı daha dayanıklı hale getirmesi açısından faydalıdır. Fosfor ve kükürt ise çelik bünyesinden tamamen çıkarılmayan zararlı elementlerdir. Günümüzde taşıma gücünü artırarak daha fazla dingil basıncı ile yüksek hızlarda işletmecilik yapmak ihtiyacı ray kesitinin büyütülmesi ile sağlanabilmektedir. UIC(Uluslararası Demiryolları Birliği) standartlarına göre ray çeliğinin çekme mukavemeti  $880 \text{ N/mm}^2$  ile  $1030 \text{ N/mm}^2$  olarak tayin edilmiştir. Bu çalışmada alüminotermite kaynak ile birleştirilmiş rayların; mekanik özelliklerinin yeterliliklerinin incelenmesi amacıyla bazı testler ve deneysel çalışmalar yapılacaktır. Testler için TCDD Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi (DATEM) İşletme Müdürlüğünde R260 çelik kalitesi,  $880$  ile  $1030 \text{ N/mm}^2$  asgari çekme mukavemetine sahip alüminotermite kaynaklı çelikten mamul 49E1( $49,050 \text{ kg/m}$ ) raylar seçilmiştir. Yapılan testler için numuneler, kaynak prosedürüne göre kaynaklanmış raylardan elde edilmiştir. Kaynak prosedürüne göre yapılan testler; sertlik testi statik eğme testi, yorulma testi, kimyasal analiz, mikro yapı testi, makro yapı inceleme testleridir.



Şekil 4.1. 49.050 Kg/m Ray Profilinin Ölçüleri

Çizelge 4.1. 49E1 Rayın Teknik Özellikleri

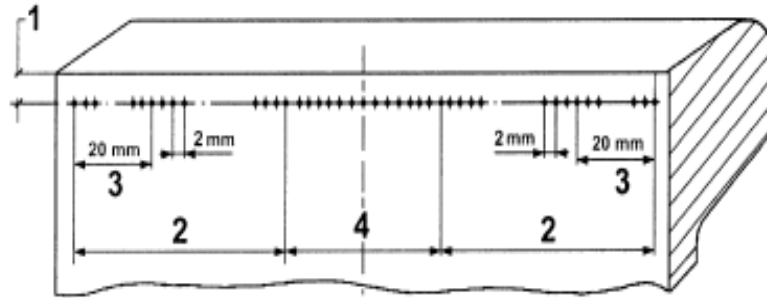
<b>Çelik Türü</b>	R260
<b>Ray Kalitesi</b>	900A
<b>Çekme Mukavemeti</b>	880N/mm <sup>2</sup>
<b>Yeni İsmi</b>	49E1
<b>Rayın Birim Ağırlığı</b>	49,050Kg/m
<b>Taban Genişliği</b>	125mm
<b>Yükseklik</b>	148mm
<b>Mantar Genişliği</b>	67mm
<b>Kesit Alanı</b>	62,48cm <sup>2</sup>
<b>Atalet Momenti x-x</b>	1797cm <sup>2</sup>
<b>Atalet Momenti y-y</b>	319cm <sup>4</sup>
<b>Kesit Modülü x-x</b>	239cm <sup>3</sup>
<b>Kesit Modülü y-y</b>	51cm <sup>3</sup>

**Çizelge 4.2.** Yapılan deneylerde kullanılan Z<sub>1</sub>,Z<sub>2</sub> ve Z<sub>3</sub> numunelerine ait genel bilgiler

Yapılan Testler	Numuneler	Muayene Değerlendirme Standartları	DeneY Metodu	Test Numune Boyu	Çelik Türü	Ray Kalitesi
Sertlik Testi	Z1, Z2, Z3 Numuneleri	TS-14730-1	HV 30	120 cm	R 260	900 A
		TS-14730-1	HV 30	120 cm	R 260	900 A
		TS-14730-1	HV 30	120 cm	R 260	900 A
Yorulma Testi	Z1, Z2, Z3 Numuneleri	TS-14730-1	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-14730-1	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-14730-1	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
Statik Eğme Testi	Z1, Z2, Z3 Numuneleri	TS-EN 14730-1 Ek F	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14730-1 Ek F	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14730-1 Ek F	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
Mikro Yapı Testi	Z1, Z2, Z3 Numuneleri	TS-14730-1	100 X Büyütme	120 cm	R 260	900 A
		TS-14730-1	100 X Büyütme	120 cm	R 260	900 A
		TS-14730-1	100 X Büyütme	120 cm	R 260	900 A
Kimyasal Analiz	Z1, Z2, Z3 Numuneleri	TS-EN 14730-1 Bölüm 7.6	Fe 10	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14730-1 Bölüm 7.6	Fe 10	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14730-1 Bölüm 7.6	Fe 10	120 cm	R 260	900 A
Mikro Yapı Testi	Z1, Z2, Z3 Numuneleri	TS-EN 14730-1 Ek D	%3 Nital ile Dağlama	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14730-1 Ek D	%3 Nital ile Dağlama	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14730-1 Ek D	%3 Nital ile Dağlama	120 cm	R 260	900 A

#### 4.1.1 Sertlik testi

Kaynaklı ray numunesinin sertlik değeri çok sayıda ölçümle elde edildi. Yapılan farklı ölçümlerin ortalaması alınarak kaynak bölgesi ve geçiş bölgesi için sertlik değerleri tespit edildi. Kaynak bölgesinin ve rayın sertlik değerlerinin değişimleri incelendi ve uygulanan kaynak yüzey taşlamasının sertlik üzerine etkisi incelenerek kaynak numunelerinden elde edilen sertlik değerleri aşağıdaki tablolarda gösterildi. Isının tesiri altındaki bölgenin sertlik dağılımı TS EN ISO 6507-1'e uygun şekilde Vickers yöntemi kullanılarak 30 kg yük altında belirlenmiş ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), ray metalinin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde ısıtılması sonucunda ray metalinin yeniden kristalleşmesi ve bunun neticesinde kaynak ısı, soğuk şekil değiştirmiş metalin ITAB'yi yeniden kristalleştirir. Böylece metalin önemli ölçüde sertliği azalır yani metal yumuşar. Kaynak bölgesine yakın olan ısı tesiri altında kalan bölgenin kaynak yapımı sırasında sıcaklığın aniden çok yükselmesi ve birden ani soğuması sırasında kaynak bölgesine yakın ısı tesirinde kalan bölgenin yeniden kristalleşerek tanecik yapısının büyük olması bunun neticesi olarak da ısının tesirine maruz kalan bu bölgenin sertliğinde önemli ölçüde bir azalma görüldü. Isı tesiri altında kalan bölge erime bölgesinin bittiği yerden başlamakta ve bu bölgede ani ısı değişimlerinde metalin yeniden kristalleşmesi sırasında sertlik değişimleri oluşturduğu görülmüştür.



Şekil 4.2. Boyuna sertlik ölçümü (TS EN14730-1,2012)

Açıklama: 1-) 3 mm ve 5 mm arasında derinlik 2-) Ana Ray Malzemesi 3-) Kaynak Isısından Etkilenmemiş Bölge 4-) Ergime Bölgesi



**Çizelge 4.3.** Z<sub>1</sub> numune kesitinden alınan sertlik değerleri

Muayene Parçası Bilgileri			Teknik Bilgiler			
<b>Üretim Şekli</b>	Alüminotermite kaynaklı ray		<b>Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar</b>		TS 14730-1	
<b>Malzem</b>	Çelik		<b>Deney Metodu</b>		HV 30	
<b>Ana ölçüler</b>						
<b>UIC 49 Kaynaklı Ray</b>						
<b>SERTLİK KONTROLÜ</b>						
Min. sertlik	Max. sertlik	Ana Metal 1 Ortalama Sertlik	Ana Metal2 Ortalama Sertlik	Uygulanan Deney Metodu	Ölçüm Sayısı	Formülasyon
240	330	285,4	273,2	TS EN 14730-1 Ek J	1	X1:Ana M1 Ort. Sertlik-10
				TS EN ISO 6507-1		X2:Ana M2 Ort. Sertlik-10

Isının tesiri altındaki bölgenin sertlik dağılımı TS EN ISO 6507-1'e uygun şekilde Vickers yöntemi kullanılarak 30 kg yük altında belirlenmiştir. Sertlik ölçüm izleri rayın yuvarlanma yüzeyinin boylam ekseninin 3mm ila 5mm altında bir çizgi üzerinde olması gerekmektedir. Yukarıdaki tabloda yer alan ray ana malzemesinin kaynaklanmış kısmının her iki tarafında ortalama sertliği, ısıdan etkilenmiş bölgeden 2mm aralıklarla alınan sertlik değerleri tabloda belirtilmiş ölçümler sonucunda ana X1 metal ortalama sertliği 285,4 HV ölçülmüştür. Tabloda ana X2 ortalama sertlik çizgisine x mesafe kadar aşağıda alınan ölçüm ise 273,2 HV olarak ölçülmüştür. Bu deney numunesinde maksimum sertlik 330 HV minimum sertlik ise 240 HV olarak ölçülmüştür. Çizelge 4.3'de Z<sub>1</sub> numunenin kesitinden alınan sertlik değerler sayısal olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Z<sub>2</sub> Numune kesitinden alınan sertlik değerleri

Muayene Parçası Bilgileri			Teknik Bilgiler			
Üretim Şekli	Alüminotermite kaynaklı ray		Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar		TS 14730-1	
Malzeme	Çelik		Deney Metodu		HV 30	
Ana ölçüler						
UIC 49 Kaynaklı Ray						
SERTLİK KONTROLÜ						
Min. sertlik	Max. sertlik	Ana Metal 1 Ortalama Sertlik	Ana Metal2 Ortalama Sertlik	Uygulanan Deney Metodu	Ölçüm Sayısı	Formülasyon
244	326	285,3	273,3	TS EN 14730-1 Ek J	2	X1:Ana M1 Ort. Sertlik-10
				TS EN ISO 6507-1		X2:Ana M2 Ort. Sertlik-10

Isının tesiri altındaki bölgenin sertlik dağılımı TS EN ISO 6507-1'e uygun şekilde Vickers yöntemi kullanılarak 30 kg yük altında belirlenmiştir. Sertlik ölçüm izleri rayın yuvarlanma yüzeyinin boylam ekseninin 3mm ile 5mm altında bir çizgi üzerinde olması gerekmektedir. Yukarıdaki tabloda yer alan ray ana malzemesinin kaynaklanmış kısmının her iki tarafında ortalama sertliği, ısıdan etkilenmiş bölgeden 2mm aralıklarla alınan sertlik değerleri tabloda belirtilmiş ölçümler sonucunda ana X1 metal ortalama sertliği 285,3 HV ölçüldü. Tabloda ana X2 ortalama sertlik çizgisine x mesafe kadar aşağıda alınan ölçüm ise 273,3 HV olarak ölçüldü. Bu deney numunesinde maksimum sertlik 326 HV minimum sertlik ise 244 HV olarak ölçüm alındı. Çizelge 4.4'de Z<sub>1</sub> numunenin kesitinden alınan sertlik değerler sayısal olarak gösterilmiştir. Ölçülen sertlik değerlerinin standart ile mukayese edildiğinde standarda uygun olduğunu gösterir.

**Çizelge 4.5.** Z<sub>3</sub> Numune kesitinden alınan sertlik değerleri

Muayene Parçası Bilgileri			Teknik Bilgiler			
Üretim Şekli	Alüminotermite kaynaklı ray		Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar		TS 14730-1	
Malzeme	Çelik		Deney Metodu		HV 30	
Ana ölçüler						
UIC 49 Kaynaklı Ray						
SERTLİK KONTROLÜ						
Min. sertlik	Max. sertlik	Ana Metal 1 Ortalama Sertlik	Ana Metal2 Ortalama Sertlik	Uygulanan Deney Metodu	Ölçüm Sayısı	Formülasyon
246	321	284,8	272,4	TS EN 14730-1 Ek J	2	X1:Ana M1 Ort. Sertlik-10
				TS EN ISO 6507-1		X2:Ana M2 Ort. Sertlik-10

Isının tesiri altındaki bölgenin sertlik dağılımı TS EN ISO 6507-1'e uygun şekilde Vickers yöntemi kullanılarak 30 kg yük altında belirlenmiştir. Sertlik ölçüm izleri rayın yuvarlanma yüzeyinin boylam ekseninin 3mm ile 5mm altında bir çizgi üzerinde olması gerekmektedir. Yukarıdaki tabloda yer alan ray ana malzemesinin kaynaklanmış kısmının her iki tarafında ortalama sertliği, ısıdan etkilenmiş bölgeden 2mm aralıklarla alınan sertlik değerleri tabloda belirtilmiş ölçümler sonucunda ana X1 metal ortalama sertliği 284,8 HV ölçüldü. Tabloda ana X2 ortalama sertlik çizgisine x mesafe kadar aşağıda alınan ölçüm ise 272,4 HV olarak ölçüldü. Bu deney numunesinde maksimum sertlik 321HV minimum sertlik ise 246 HV olarak ölçüm alındı. Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de numunenin kesitinden alınan sertlik değerler sayısal olarak gösterilmiştir. Ölçülen sertlik değerlerinin standart ile mukayese edildiğinde standarda uygun olduğunu gösterir.

Çizelge 4.6. Z<sub>1</sub> ve Z<sub>2</sub> Numune kesitinden alınan sertlik değerleri

Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar						TS 14730-1					
Deney Metodu						HV30					
Z <sub>1</sub> Numunesi						Z <sub>2</sub> Numunesi					
No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer
	HV <sub>30</sub>		HV <sub>30</sub>		HV <sub>30</sub>		HV <sub>30</sub>		HV <sub>30</sub>		HV <sub>30</sub>
1	287	41	330	81	240	1	287	41	330	81	240
2	285	42	322	82	284	2	285	42	322	82	284
3	285	43	321	83	283	3	285	43	321	83	283
4	285	44	316	84	283	4	285	44	316	84	283
5	284	45	315	85	282	5	284	45	315	85	282
6	284	46	315	86	280	6	284	46	315	86	280
7	284	47	314	87	280	7	284	47	314	87	280
8	283	48	315	88	280	8	283	48	315	88	280
9	280	49	313	89	279	9	280	49	313	89	279
10	279	50	314	90	279	10	279	50	314	90	279
11	279	51	313	91	277	11	279	51	313	91	277
12	280	52	312	92	277	12	280	52	312	92	277
13	278	53	311	93	277	13	278	53	311	93	277
14	276	54	310	94	276	14	276	54	310	94	276
15	276	55	309	95	276	15	276	55	309	95	276
16	275	56	306	96	276	16	275	56	306	96	276
17	275	57	307	97	275	17	275	57	307	97	275
18	274	58	305	98	275	18	274	58	305	98	275
19	269	59	304	99	276	19	269	59	304	99	276
20	266	60	302	100	277	20	266	60	302	100	277
21	266	61	301			21	266	61	301		
22	266	62	302			22	266	62	302		
23	266	63	301			23	266	63	301		
24	266	64	301			24	266	64	301		
25	266	65	298			25	266	65	298		
26	265	66	297			26	265	66	297		
27	265	67	297			27	265	67	297		
28	262	68	296			28	262	68	296		
29	261	69	296			29	261	69	296		
30	261	70	296			30	261	70	296		
31	261	71	296			31	261	71	296		
32	260	72	295			32	260	72	295		
33	259	73	294			33	259	73	294		
34	253	74	295			34	253	74	295		
35	253	75	294			35	253	75	294		
36	253	76	294			36	253	76	294		
37	252	77	293			37	252	77	293		
38	246	78	293			38	246	78	293		
39	287	79	292			39	287	79	292		
40	285	80	292			40	285	80	281		

**Çizelge 4.7.** Z<sub>3</sub> Numune kesitinden alınan sertlik değerleri

<b>Teknik Bilgiler</b>					
<b>Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar</b>				<b>TS 14730-1</b>	
<b>Deney Metodu</b>				<b>HV30</b>	
<b>Z<sub>3</sub>Numunesi</b>					
<b>No</b>	<b>Değer HV<sub>30</sub></b>	<b>No</b>	<b>Değer HV<sub>30</sub></b>	<b>No</b>	<b>Değer HV<sub>30</sub></b>
1	283	41	321	81	272
2	280	42	316	82	274
3	279	43	315	83	270
4	279	44	315	84	269
5	280	45	314	85	269
6	278	46	315	86	267
7	276	47	313	87	267
8	276	48	314	88	267
9	275	49	313	89	266
10	275	50	312	90	265
11	274	51	311	91	264
12	269	52	310	92	264
13	266	53	309	93	264
14	266	54	306	94	263
15	266	55	307	95	263
16	266	56	305	96	246
17	266	57	304	97	270
18	266	58	302	98	276
19	265	59	301	99	276
20	265	60	302	100	277
21	262	61	301		
22	261	62	301		
23	261	63	298		
24	261	64	297		
25	260	65	297		
26	259	66	296		
27	253	67	296		
28	253	68	296		
29	253	69	296		
30	287	70	295		
31	301	71	294		
32	301	72	295		
33	298	73	294		
34	297	74	294		
35	297	75	293		
36	296	76	293		
37	296	77	292		
38	296	78	292		
39	296	79	288		
40	295	80	287		

#### 4.1.2 Yorulma testi

Kaynaklı ray numunesinin yorulma testi ‘‘Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa Standardı EN 14730-1’’e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm uzunluğunda 100 cm, açıklığında basit mesnetlenmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip ray üzerinde yapılmıştır. Deney parametreleri, aşağıda belirtilen koşullara göre ayarlanmıştır. Koşullar şu şekildedir:

Test numune boyu	: 120 cm.
Mesnet açıklığı	: 100 cm.
Frekans	: 480 çevrim/dakika
Üst yük	: 220 kN
Alt yük	: 50 kN
Yük uygulama adedi	: 5.000.000 çevrim
Yükleme formu	: Sinüs dalgası

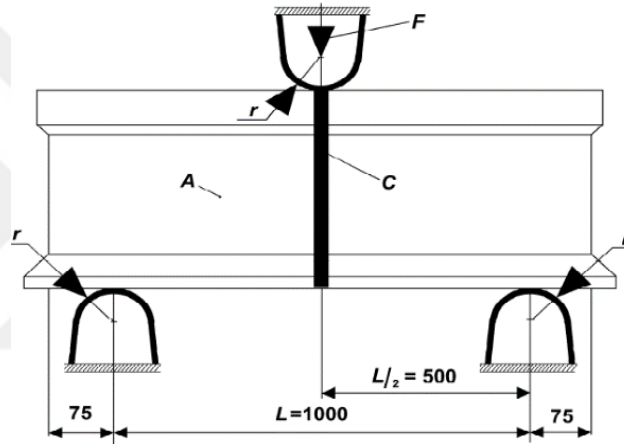


**Fotoğraf 4.1.** Yorulma deneyi sonrası kaynak numunesi

Deneyin sonucunda kaynaklı ray numunelerinde herhangi bir çatlama veya kırılma olmamıştır. Deney sonrası numunenin durumu Fotoğraf 4.1.’de görüldüğü gibidir.

### 4.1.3 Statik eğilme testi

Kaynaklı ray numunesinin statik eğilme testi “Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa standardı EN 14730-1”e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm. uzunluğunda 100 cm, açıklığında basit mesnetlenmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip 3 adet kaynaklı 49E1 R260 çelik kalitesine sahip ray numunesi üzerinde yapılmıştır. Kaynaklı ray numunesinin ortasına bir kuvvet uygulanarak; numune eğilme kuvvetine ve gerilmelerine maruz bırakılmış ray kırılma gerilmesi 300 ton yük altında rayın kırılmadan vereceği sehim kaynak standardına göre minimum 15 mm olması gerekmektedir.



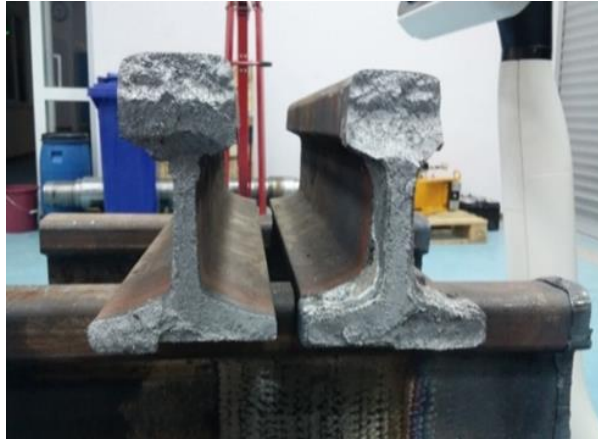
Şekil 4.3. Ray eğme deneyinin şematik gösterimi

Z<sub>1</sub> numunesinin statik eğilme testi “Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa Standardı EN 14730-1”e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm uzunluğunda 100 cm açıklığında basit mesnetlendirilmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip Z<sub>1</sub> numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Z<sub>1</sub> numunesinin TS EN 14730-1 standardının Ek-F maddesine uygun şekilde hazırlandığı ve BTM 3000 SE marka cihaz kullanılarak 300 ton yük altında 65 kN/s yükleme hızı ile 898,89 kN deney sonu yüküne ulaştığı ve 15,27 mm sehim vererek kırıldığı görülmüştür. Aşağıdaki Fotoğraf 4.2’ de Z<sub>1</sub> numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü yer almaktadır.



**Fotoğraf 4.2.** Z<sub>1</sub> numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü

Z<sub>2</sub> numunesinin statik eğilme testi “Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa Standardı EN 14730-1”e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm uzunluğunda 100 cm açıklığında basit mesnetlendirilmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip Z<sub>2</sub> numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Z<sub>2</sub> numunesinin TS EN 14730-1 standardının Ek-F maddesine uygun şekilde hazırlandığı ve BTM 3000 SE marka cihaz kullanılarak 300 ton yük altında 65 kN/s yükleme hızı ile 913,25 kN deney sonu yüküne ulaştığı ve 17,44 mm sehim vererek kırıldığı görülmüştür. Aşağıdaki Fotoğraf 4.3’ de Z<sub>2</sub> numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü yer almaktadır.



**Fotoğraf 4.3.** Z<sub>2</sub> numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü

Z<sub>3</sub> numunesinin statik eğilme testi “Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa Standardı EN 14730-1”e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm uzunluğunda 100 cm açıklığında basit mesnetlendirilmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip Z<sub>3</sub> numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Z<sub>3</sub> numunesinin TS EN



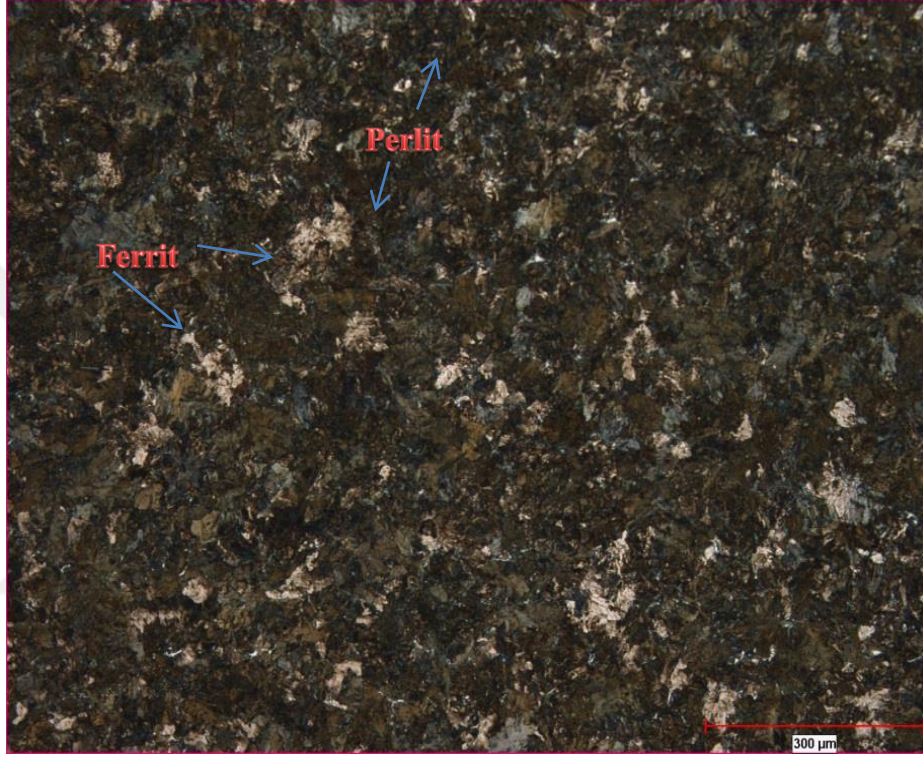
14730-1 standardının Ek-F maddesine uygun şekilde hazırlandığı ve BTM 3000 SE marka cihaz kullanılarak 300 ton yük altında 65 kN/s yükleme hızı ile 615,15 kN deney sonu yüküne ulaştığı ve 10,45 mm sehim vererek kırıldığı görülmüştür. Statik eğme testinde ray kırılma gerilmesi 300 ton yük altında ray kırılmadan vereceği sehim TS EN 14730-1'e göre 15 mm olması gerekmektedir.  $Z_3$  numunesinin standarda belirtilen şartta uygun olmadığı görülmektedir. Aşağıdaki Fotoğraf 4.4' de  $Z_3$  numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü yer almaktadır.



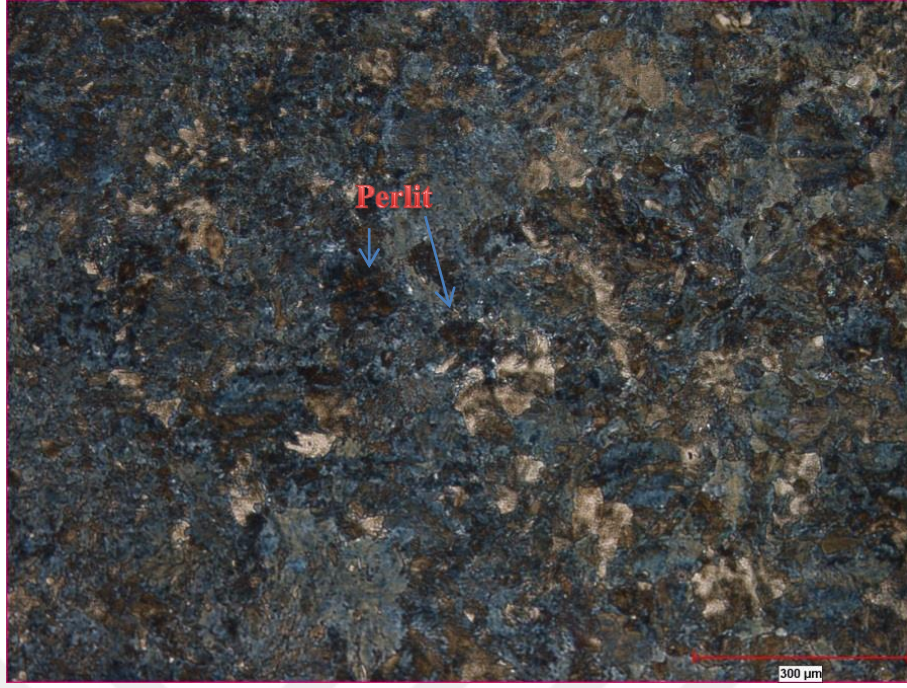
**Fotoğraf 4.4.**  $Z_3$  numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü

#### 4.1.4 Mikroyapı inceleme

Alüminotermite kaynaklı Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub> ray numunesinin kaynak bölgesi temizlenip, zımparalanıp, parlatılarak, daha sonrasında optik mikroskopta metalografik incelemeler yapıldı. Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub> numunesini kaynak bölgesinin ve geçiş bölgesinin mikro yapısı aşağıdaki fotoğraflarda verilmiştir.



**Fotoğraf 4.5.** 100X Ray mantarı ana metali perlitik iç yapı (Z<sub>1</sub> numunesi)



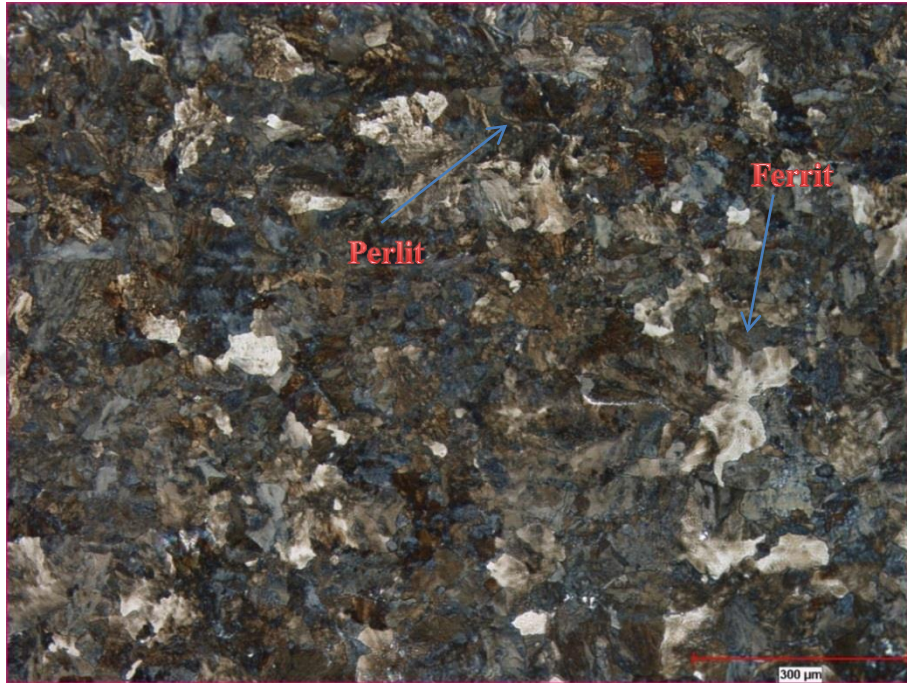
**Fotoğraf 4.6.** 100X Yeniden kristalleşme bölgesi ve tane büyümesi-perlitik yapı (Z<sub>1</sub> numunesi)



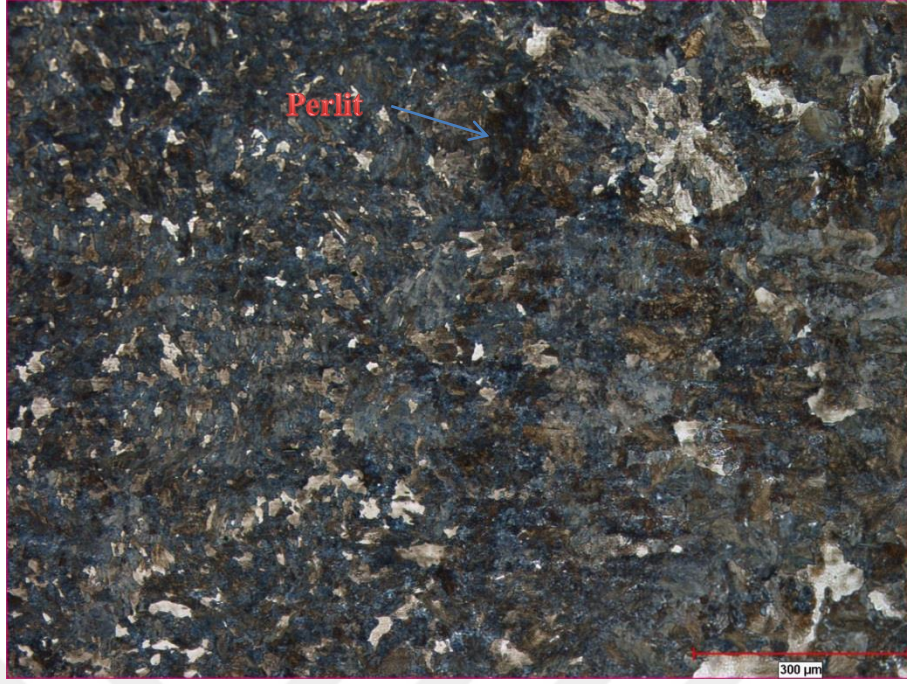
**Fotoğraf 4.7.** 100X Kaynaklı bölge-ana yapı perlitik-tane sınırlarında ferritler-kaynak boşlukları (Z<sub>1</sub> numunesi)



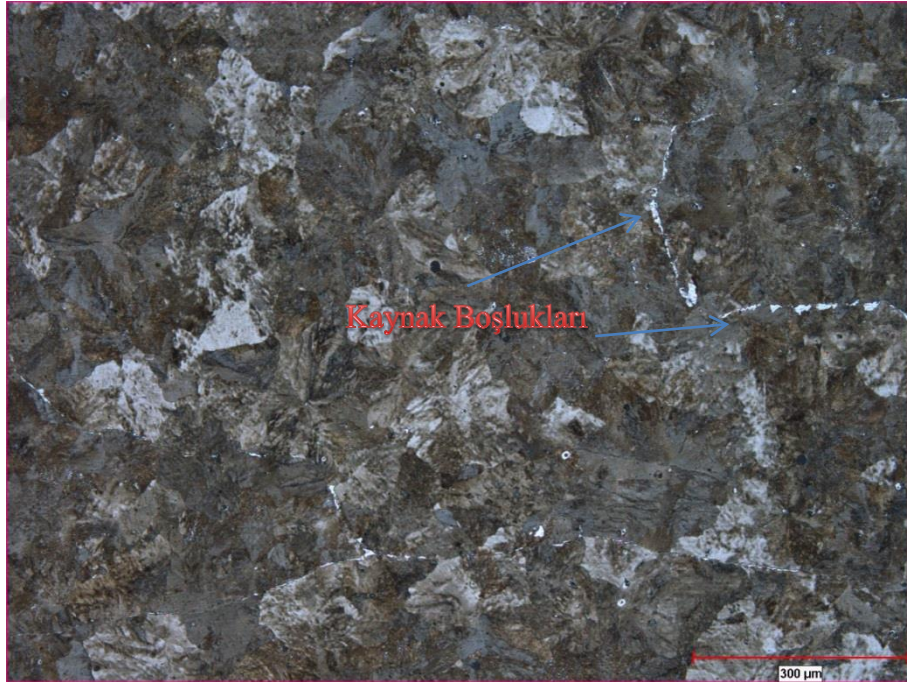
Mikro yapı fotoğraflarında siyah görülen bölgeler perlitik, açık renkli görülen bölgeler ise ferrit fazını temsil etmektedir. Fotoğraf 4.5'de kaynak bölgesinin mikro yapı fotoğrafında, kaynak malzemesinin ferrit ve perlit yapıların olduğu ayrıca iri ferrit taneleri arasında perlit yapının bulunduğu ancak dağılımın homojen olmadığı, belirli bölgelerde yoğunlaşmaların olduğu görüldü. Kaynak ray geçiş bölgesinin Fotoğraf 4.6'de ki mikro yapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlendi. Kaynak ray geçiş bölgesinin Fotoğraf 4.7'deki mikro yapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlendi.



**Fotoğraf 4.8.** 100X Ray tabanı ana metali perlitik iç yapı (Z<sub>2</sub> Numunesi)



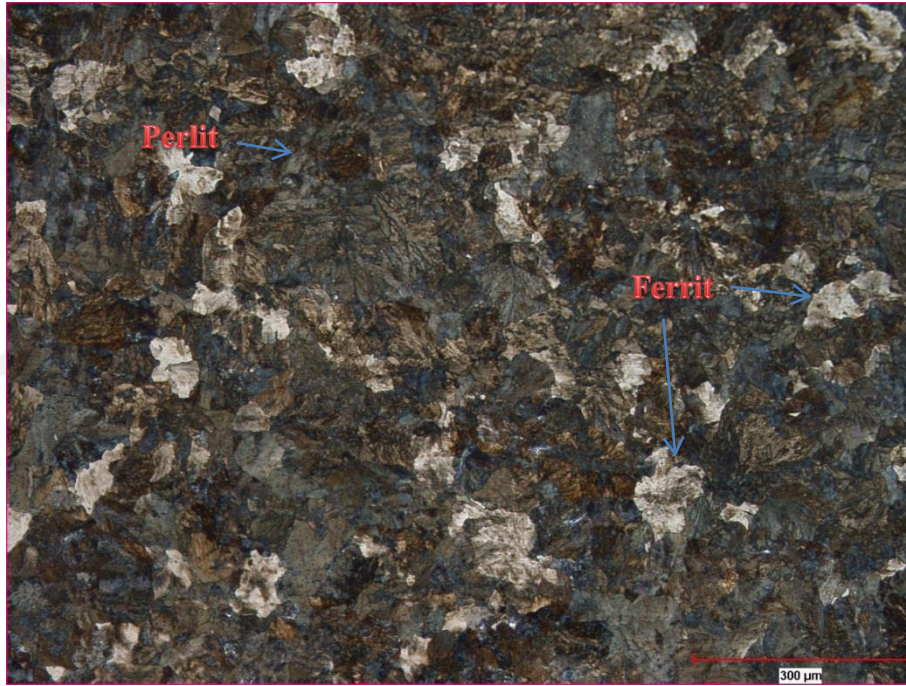
**Fotoğraf 4.9.** 100X Yeniden kristalleşme bölgesi ve tane büyümesi-perlitik yapı (Z<sub>2</sub> numune)



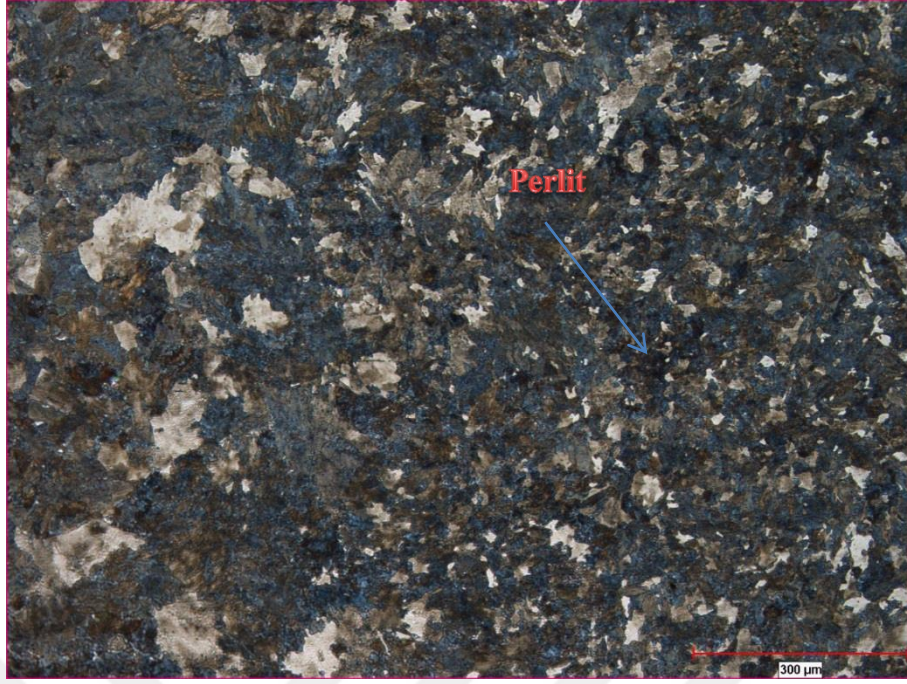
**Fotoğraf 4.10.** 100X Kaynaklı bölge-ana yapı perlitik-tane sınırlarında ferritler-kaynak boşlukları (Z<sub>2</sub> numune)



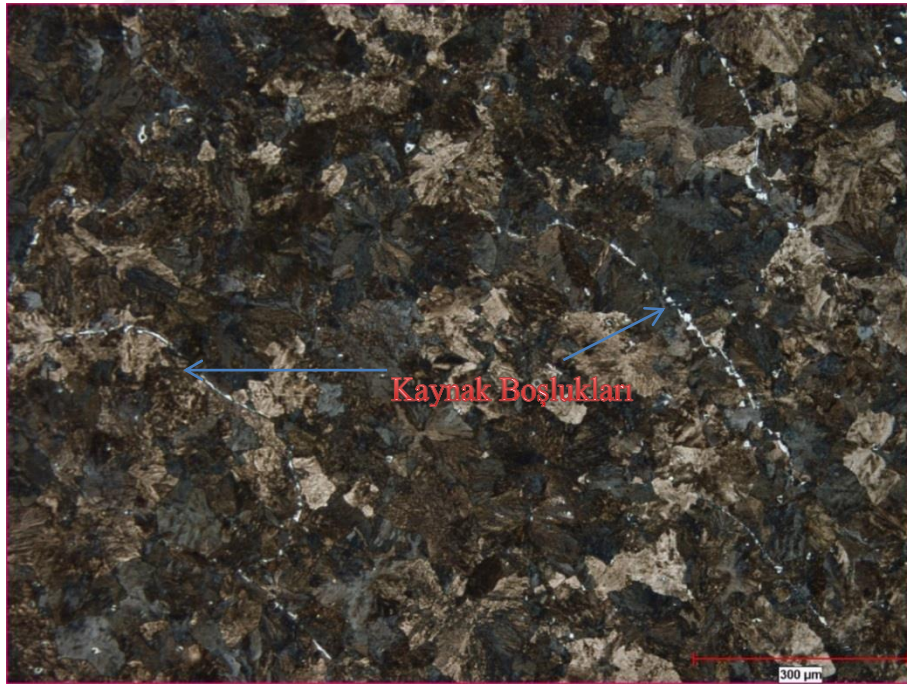
Mikro yapı fotoğraflarında siyah görülen bölgeler perlitik, açık renkli bölgeler ise ferrit fazını temsil etmektedir. Fotoğraf 4.8' de kaynak bölgesinin mikro yapı fotoğrafında, kaynak malzemesinin ferrit ve perlit yapıların olduğu ayrıca iri ferrit taneleri arasında perlit yapının bulunduğu ancak dağılımın homojen olmadığı, belirli bölgelerde yoğunlaşmaların olduğu görüldü. Kaynak ray geçiş bölgesinin Fotoğraf 4.9'deki mikro yapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlendi. Kaynak ray geçiş bölgesinin Fotoğraf 4.10'deki mikro yapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlendi.



**Fotoğraf 4.11.** 100X Ray mantarı ana metali perlitik iç yapı ( $Z_3$  numunesi)



**Fotoğraf 4.12.** 100X Yeniden kristalleşme bölgesi ve tane büyümesi-perlitik yapı (Z<sub>3</sub> numunesi)



**Fotoğraf 4.13.** 100X Kaynaklı bölge-ana yapı perlitik-tane sınırlarında ferritler-kaynak boşlukları (Z<sub>3</sub> numunesi)

Mikroyapı fotoğraflarında siyah görülen bölgeler perlitik, açık renkli bölgeler ise ferrit fazını temsil etmektedir. Fotoğraf 4.11'de kaynak bölgesinin mikro yapı fotoğrafında, kaynak malzemesinin ferrit ve perlit yapıların olduğu ayrıca iri ferrit taneleri arasında perlit yapının bulunduğu ancak dağılımın homojen olmadığı, belirli bölgelerde yoğunlaşmaların olduğu görüldü. Kaynak ray geçiş bölgesinin Fotoğraf 4.12'deki mikro yapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlendi. Kaynak ray geçiş bölgesinin Fotoğraf 4.13'deki mikro yapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlendi.





#### 4.1.5 Kimyasal analiz

Alüminotermite kaynak numunelerinin spektral analiz sonucunda belirlenen kimyasal kompozisyonları aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Aşağıdaki tablolarda ray numunesinin kimyasal analizi yapılmış ve ortalamaları Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Z<sub>1</sub> Kaynak numunesinin kimyasal analiz sonucu

Muayene Parçası Bilgileri		Teknik Bilgiler	
Üretim Şekli	Alüminotermite kaynaklı ray	Muayene ve değerlendirme için	TS EN 14730-1 Bölüm 7.6
Malzeme	Çelik	Deney Metodu	Fe 10
<b>Kimyasal Analiz Sonucu</b>			
	<b>Element</b>	<b>%</b>	
	C	0,581	
	Si	0,908	
	Mn	0,713	
	P	0,0227	
	S	0,018	
	Ti	0,0016	
	Mo	0,008	
	Cr	0,139	
	Al	0,0544	
	Cu	0,0541	
	Nb	0,0038	
	Ni	0,041	
	Sn	0,0043	
	Sb	<0,0004	
	V	0,0489	
Rayın yuvarlanma yüzeyinin ergimiş bölgesinin enine ekseninden uzaklığı		7,8 mm	
Ergime sınırından uzaklık		9,6 mm	
Kimyasal analiz alınan bölge * Test sonuçları yapılan dört analizin ortalamasıdır.			

**Çizelge 4.9.** Z<sub>2</sub> Kaynak numunesinin kimyasal analiz sonucu

Muayene Parçası Bilgileri		Teknik Bilgiler	
Üretim Şekli	Alüminotermite kaynaklı ray	Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Bölüm 7.6
Malzeme	Çelik	Deney Metodu	Fe 10
<b>Kimyasal Analiz Sonucu</b>			
	<b>Element</b>	<b>%</b>	
	C	0,591	
	Si	0,842	
	Mn	0,759	
	P	0,0201	
	S	0,0154	
	Ti	0,0019	
	Mo	0,0078	
	Cr	0,141	
	Al	0,12	
	Cu	0,0558	
	Nb	0,0036	
	Ni	0,0407	
	Sn	0,0043	
	Sb	<0,0004	
	V		
Rayın yuvarlanma yüzeyinin ergimiş bölgesinin enine ekseninden uzaklığı		6,9 mm	
Ergime sınırından uzaklık		10,2 mm	
Kimyasal analiz alınan bölge * Test sonuçları yapılan dört analizin ortalamasıdır.			

**Çizelge 4.10.** Z<sub>3</sub> Kaynak numunesinin kimyasal analiz sonucu

Muayene Parçası Bilgileri		Teknik Bilgiler	
Üretim Şekli	Alüminotermite kaynaklı ray	Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Bölüm 7.6
Malzeme	Çelik	Deney Metodu	Fe 10
<b>Kimyasal Analiz Sonucu</b>			
	<b>Element</b>	<b>%</b>	
	C	0,586	
	Si	0,816	
	Mn	0,749	
	P	0,0221	
	S	0,0154	
	Ti	0,0019	
	Mo	0,0077	
	Cr	0,135	
	Al	0,129	
	Cu	0,0512	
	Nb	0,0037	
	Ni	0,0409	
	Sn	0,0041	
	Sb	<0,0004	
	V	0,0479	
Rayın yuvarlanma yüzeyinin ergimiş bölgesinin enine ekseninden uzaklığı		8,5 mm	
Ergime sınırından uzaklık		10,5 mm	
Kimyasal analiz alınan bölge * Test sonuçları yapılan dört analizin ortalamasıdır.			

Kaynak malzemesinin içyapısını analiz etmek amacıyla 3 adet kaynaklı ray numunesi TCDD Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi'nde (DATEM) analiz edilmiştir. Bu numune üzerinde spektral analiz ölçümleri yapılmış kimyasal kompozisyon ortaya çıkmıştır. Belirli bir referansa göre ölçüm yapan spektrometrelerle analiz yapılmıştır. Analiz anında numune parça yüzeyinden sadece birkaç miligram buharlaşma ile numunenin içerisindeki demir, karbon, silisyum, manganez, fosfor, kükürt ve diğer katkı maddelerin analizleri yapılmıştır.

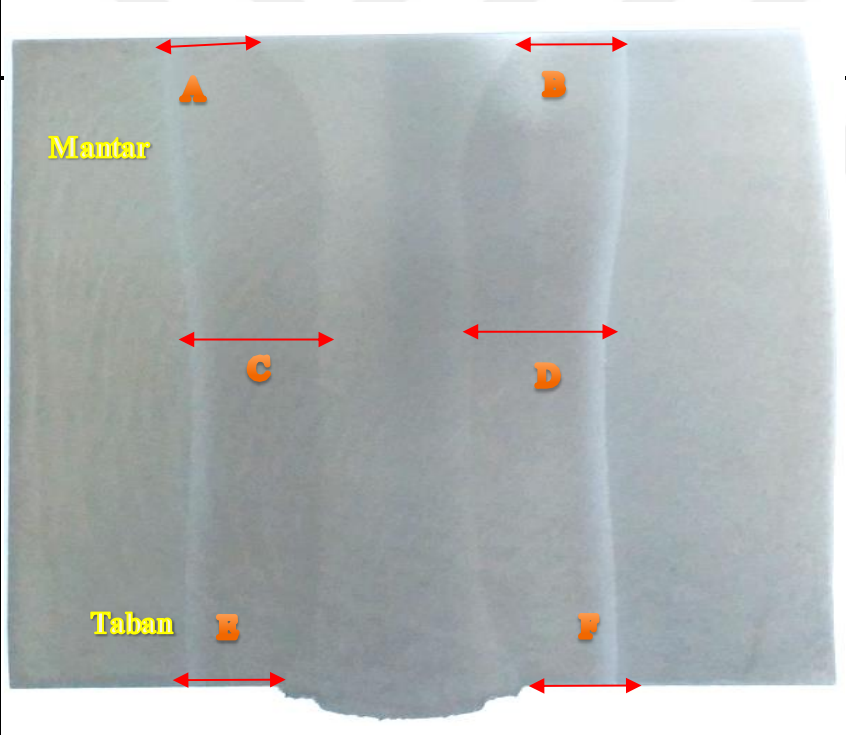
Kısa zamanda ve oldukça hassas yapılan ölçümler spektrometrelerin ekranlarında görülmüştür. Sisteme bağlı olan yazıcı ile de analiz raporu yazdırılmış ve bunun sonucunda yukarıdaki Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 verilmiştir.

#### 4.1.6 Makroyapı incelemesi

Alüminotermite ray kaynağı ile hazırlanan Z<sub>1</sub> deney numunesi, % 3 Nital ile dağlanmış ve kaynaklı bölge görünür hale getirildi. Kaynak bölgesinin genel görünümü aşağıdaki Çizelge 4.11 'de verilmiştir. Deney raporunda görüldüğü gibi, ısıdan etkilenen bölgenin bitimi kaynak eksenini etrafında simetriktir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği minimum 22,10 mm, maksimum 40,40 mm'dir.

Çizelge 4.11. Z<sub>1</sub> numunesinin makro yapı inceleme sonucu

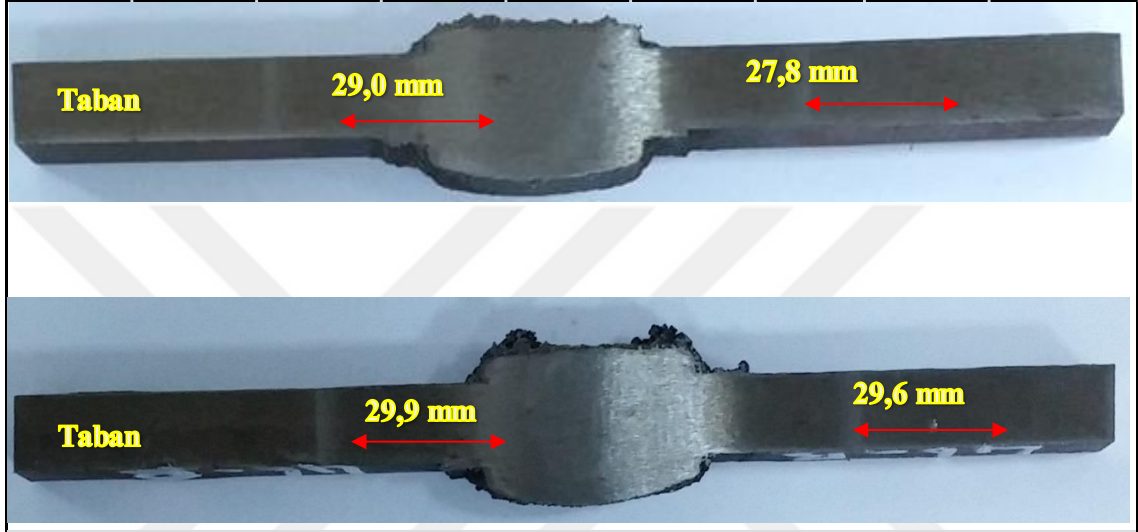
Z <sub>1</sub> NUMUNESİ	
Asgari	22,10 mm
Azami	40,40 mm
A	22,10 mm
B	24,60 mm
C	38,50 mm
D	40,40 mm
E	24,30 mm
F	23,80 mm



Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma 20 mm'den azdır ve yukarıdaki görülen bulunan değerler incelendiğinde yapılan bu alüminotermite kaynakların standart dahilinde olduğu bize gösterir. İncelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği gibi durumların olmadığı gözlemlendi. Alüminotermite kaynak bölgesinin makro yapısı incelendiğinde, alüminotermite kaynakta tam bir şekilde birleşme olduğu, ısıdan etkilenmiş bölgenin kontrol altında soğutulduğunda, tane yapısının değiştiği

görülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 4.12 gösterilen alüminotermite kaynağı numunesinin taban kısmının sağ ve sol tarafından alınan numunelerin TS EN 14730-1 Alüminotermite kaynak standardına göre ısıdan etkilenmiş görünür bölgenin genişliği en fazla 45mm en az ise 20 mm olmalıdır denilmektedir. Bu sebeple Çizelge 4.12’de gösterilen ölçülere göre standart dahilinde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.12.** Z<sub>1</sub> Numunesinin ray tabanının makro yapı inceleme sonucu



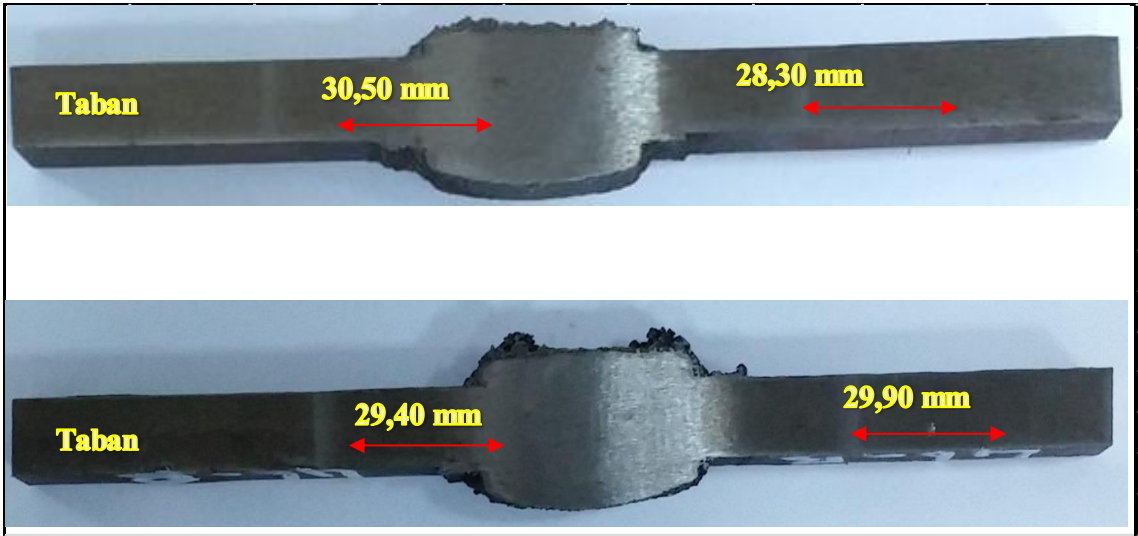
Alüminotermite ray kaynağı ile hazırlanan Z<sub>2</sub> deney numunesi, % 3 Nital ile dağlanmış ve kaynaklı bölge görünür hale getirildi. Kaynak bölgesinin genel görünümü aşağıdaki Çizelge 4.13 'de verilmiştir. Deney raporunda görüldüğü gibi, ısıdan etkilenen bölgenin bitimi kaynak eksenine etrafında simetriktir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği minimum 20,90 mm, maksimum 37,20 mm'dir.

**Çizelge 4.13.** Z<sub>2</sub> numunesinin makro yapı inceleme sonucu

Z <sub>2</sub> NUMUNESİ	
Asgari	20,90 mm
Azami	37,20 mm
A	22,60 mm
B	24,10 mm
C	35,90 mm
D	37,20 mm
E	20,90 mm
F	22,00 mm

Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma 20 mm'den azdır ve yukarıdaki görülen bulunan değerler incelendiğinde yapılan bu alüminotermite kaynakların standart dahilinde olduğu bize gösterir. İncelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği gibi durumların olmadığı gözlemlendi. Alüminotermite kaynak bölgesinin makro yapısı incelendiğinde, alüminotermite kaynaktaki tam bir şekilde birleşme olduğu, ısıdan etkilenmiş bölgenin kontrol altında soğutulduğunda, tane yapısının değiştiği görülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 4.14 gösterilen alüminotermite kaynağı numunesinin taban kısmının sağ ve sol tarafından alınan numunelerin TS EN 14730-1 Alüminotermite Kaynak standardına göre ısıdan etkilenmiş görünür bölgenin genişliği en fazla 45mm en az ise 20 mm olmalıdır denilmektedir. Bu sebeple Çizelge 4.14'da gösterilen ölçülere göre standart dahilinde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.14.** Z<sub>2</sub> Numunesinin ray tabanının makro yapı inceleme sonucu



Alüminotermite ray kaynağı ile hazırlanan Z<sub>3</sub> deney numunesi, % 3 Nital ile dağlanmış ve kaynaklı bölge görünür hale getirildi. Kaynak bölgesinin genel görünümü Çizelge 4.15 'de verilmiştir. Deney raporunda görüldüğü gibi, ısıdan etkilenen bölgenin bitimi kaynak eksenine etrafında simetriktir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği minimum 20,70 mm, maksimum 38,70 mm'dir.

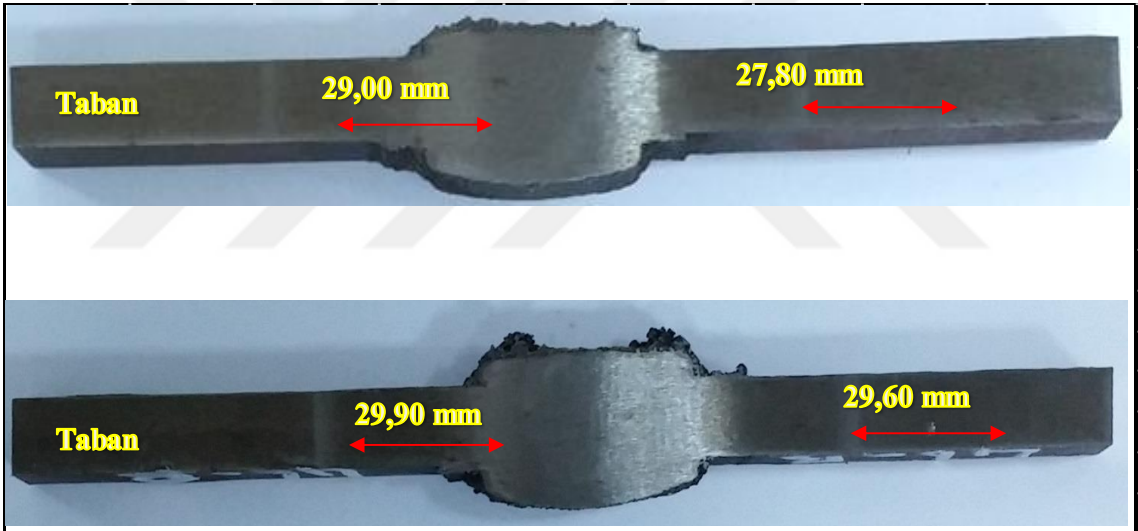
**Çizelge 4.15.** Z<sub>3</sub> numunesinin makro yapı inceleme sonucu

Z <sub>3</sub> NUMUNESİ	
Asgari	20,70 mm
Azami	38,70 mm
A	21,50 mm
B	20,70 mm
C	38,70 mm
D	35,90 mm
E	25,10 mm
F	24,90 mm



Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma 20 mm'den azdır ve yukarıdaki görülen bulunan değerler incelendiğinde yapılan bu alüminotermite kaynakların standart dahilinde olduğu bize gösterir. İncelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği gibi durumların olmadığı gözlemlendi. Alüminotermite kaynak bölgesinin makro yapısı incelendiğinde, alüminotermite kaynakta tam bir şekilde birleşme olduğu, ısıdan etkilenmiş bölgenin kontrol altında soğutulduğunda, tane yapısının değiştiği görülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 4.16 gösterilen alüminotermite kaynağı numunesinin taban kısmının sağ ve sol tarafından alınan numunelerin TS EN 14730-1 Alüminotermite Kaynak standardına göre ısıdan etkilenmiş görünür bölgenin genişliği en fazla 45mm en az ise 20 mm olmalıdır denilmektedir. Bu sebeple Çizelge 4.16'da gösterilen ölçülere göre standart dahilinde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.16.** Z<sub>3</sub> Numunesinin ray tabanının makro yapı inceleme sonucu



Alüminotermite kaynak bölgesi, kaynak bölgesi ve tavlanmış bölgeler olarak ikiye ayrılır. İri tanecikli yapı, kaynak yapılan malzemenin erime sıcaklığına çok yakın sıcaklıklarda, malzemenin ısıtılmasının bir sonucu olarak, birleşme yüzeylerinin yanında oluşur. Bitişik olan normalize olmuş bölgeler ise ince tanecik yapısındadır. Ancak, ray çeliğinin ısıtılması sırasında oluşan tavlanmış dar bölge, ısıdan etkilenmiş bölgenin dış sınırını oluşturur. Bu bölge, sertlikte azalmanın ortaya çıktığı yerdir. Kaynak dikişinde görülen sertlik azalması ise, karbon azalmasına dayalı ferrit oluşumu nedeniyle oluşmaktadır.



## 4.2 Yakma Alın Kaynaklı Rayın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

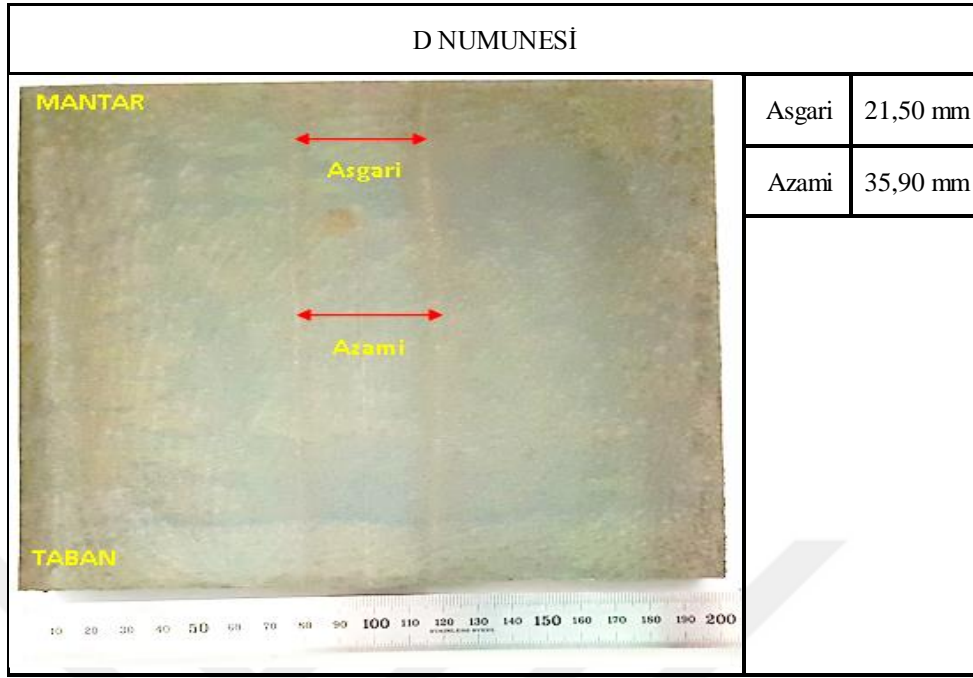
Çizelge 4.17. D,F ve N Numunelerinin Genel Özellikleri

Yapılan Testler	Numuneler	Muayene ve Değerlendirme Standartları	Deney Metodu	Test Numune Boyu	Çelik Türü	Ray Kalitesi
Görsel Muayene	D,F,N Numuneleri	TS-EN 14587-2	Gözle Muayene	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	Gözle Muayene	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	Gözle Muayene	120 cm	R 260	900 A
Makro Yapı Testi	D,F,N Numuneleri	TS-EN 14587-2	%2 Nital ile Dağlama	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	%2 Nital ile Dağlama	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	%2 Nital ile Dağlama	120 cm	R 260	900 A
Sertlik Testi	D,F,N Numuneleri	TS-EN 14587-2	HV 30	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	HV 30	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	HV 30	120 cm	R 260	900 A
Eğme Deneyi	D,F,N Numuneleri	TS-EN 14587-2	Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2	Eğme	120 cm	R 260	900 A
Yorulma Testi	D,F,N Numuneleri	TS-EN 14587-2 Ek-C	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2 Ek-C	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A
		TS-EN 14587-2 Ek-C	Statik Eğme	120 cm	R 260	900 A

### 4.2.1 Makroyapı incelemesi

Yakma alın kaynağı makro numuneleri TS EN 14587-2 muayene ve değerlendirme standardına göre %2 Nital ile dağlanmış ve kaynak bölgesi görünür hale getirildi. D numunesinin kaynak bölgesinin genel görünümü Çizelge 4.18 verilmiştir. Aşağıdaki deney raporlarında detaylı olarak görüldüğü gibi, ısıdan etkilenen bölgenin bitimi kaynak eksenine etrafında simetriktir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği D numunesinin asgari 21,50 mm, azami 35,90 mm'dir.



**Çizelge 4.18.** D numunesinin makro yapı görüntüsü



Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma 20 mm'den azdır. İncelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği gibi durumların olmadığı gözlemlendi. Isı tesiri altında olan bölgenin daraltılması yakma alın kaynağının kullanılması ile mümkün olmuştur. Bu sayede ray teker yuvarlanma yüzeylerinde sertlik ve aşınma farkları minimize edilmiş ve ray gövde ve tabanında dar ısı tesiri altında bölgenin sertlik dağılım farkları azaltılmış ve kaynakta tokluk artmıştır. Bu da kaynakta tokluğun artması ray kırılmalarını azaltmıştır.

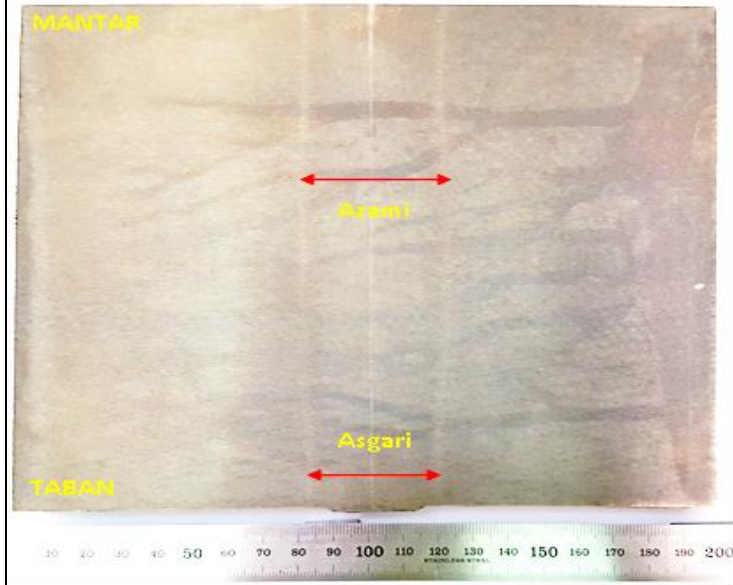
Aşağıdaki Çizelge 4.19 gösterilen yakma alın kaynağı numunesinin taban kısmının sağ ve sol tarafından alınan numunelerin TS EN 14587-2 Yakma alın kaynak standardına göre ısıdan etkilenmiş görünür bölgenin genişliği en fazla 45mm en az ise 20 mm olmalıdır denilmektedir. Bu sebeple Tablo 4.19'da gösterilen ölçülere göre standart dahilinde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.19.** D numunesinin ray tabanlarının makro yapı görüntüsü

	Taban -1
	41,00 mm
	Taban-2
	40,40 mm

Yakma alın kaynağı makro numuneleri TS EN 14587-2 muayene ve değerlendirme standardına göre %2 Nital ile dağlanmış ve kaynak bölgesi görünür hale getirildi. F numunesinin kaynak bölgesinin genel görünümü Çizelge 4.20 verilmiştir. Aşağıdaki deney raporlarında detaylı olarak görüldüğü gibi, ısıdan etkilenen bölgenin bitimi kaynak eksenine etrafında simetriktir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği F numunesinin asgari 39,60 mm, azami 44,70 mm'dir.

**Çizelge 4.20.** F numunesinin makro yapı görüntüsü



F NUMUNESİ		
	Asgari	39,6 mm
	Azami	44,70 mm

Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma 20 mm'den azdır. İncelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği gibi durumların olmadığı gözlemlendi. Isı tesiri altında olan bölgenin daraltılması yakma alın kaynağının kullanılması ile

mümkün olmuştur. Bu sayede ray teker yuvarlanma yüzeylerinde sertlik ve aşınma farkları minimize edilmiş ve ray gövde ve tabanında dar ısı tesiri altında bölgenin sertlik dağılım farkları azaltılmış ve kaynakta tokluk artmıştır. Bu da kaynakta tokluğun artması ray kırılmalarını azaltmıştır.

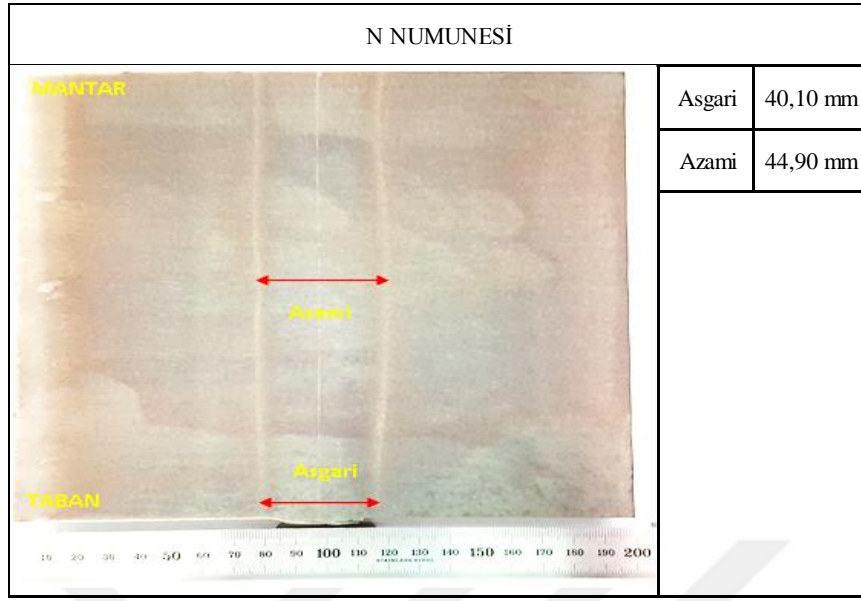
Aşağıdaki Çizelge 4.21 gösterilen yakma alın kaynağı numunesinin taban kısmının sağ ve sol tarafından alınan numunelerin TS EN 14587-2 Yakma alın kaynak standardına göre ısıdan etkilenmiş görünür bölgenin genişliği en fazla 45 mm en az ise 20 mm olmalıdır denilmektedir. Bu sebeple Çizelge 4.21’da gösterilen ölçülere göre standart dahilinde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.21.** F numunesinin ray tabanlarının makro yapı görüntüsü

	Taban-1
	39,10 mm
	Taban-2
	39,00 mm

Yakma alın kaynağı makro numuneleri TS EN 14587-2 muayene ve değerlendirme standardına göre %2 Nital ile dağlanmış ve kaynak bölgesi görünür hale getirildi. N numunesinin kaynak bölgesinin genel görünümü Çizelge 4.22 verilmiştir. Aşağıdaki deney raporlarında detaylı olarak görüldüğü gibi, ısıdan etkilenen bölgenin bitimi kaynak eksenine etrafında simetriktir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği F numunesinin asgari 40,10 mm, azami 44,90 mm'dir.

**Çizelge 4.22.** N numunesinin makro yapı görüntüsü



Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma 20 mm'den azdır. İncelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği gibi durumların olmadığı gözlemlendi. Isı tesiri altında olan bölgenin daraltılması yakma alın kaynağının kullanılması ile mümkün olmuştur. Bu sayede ray teker yuvarlanma yüzeylerinde sertlik ve aşınma farkları minimize edilmiş ve ray gövde ve tabanında dar ısı tesiri altında bölgenin sertlik dağılım farkları azaltılmış ve kaynakta tokluk artmıştır. Bu da kaynakta tokluğun artması ray kırılmalarını azaltmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.23 gösterilen yakma alın kaynağı numunesinin taban kısmının sağ ve sol tarafından alınan numunelerin TS EN 14587-2 Yakma alın kaynak standardına göre ısıdan etkilenmiş görünür bölgenin genişliği en fazla 45 mm en az ise 20 mm olmalıdır denilmektedir. Bu sebeple Çizelge 4.23'da gösterilen ölçülere göre standart dahilinde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.23.** N numunesinin ray tabanlarının makro yapı görüntüsü

	Taban-1
	40,60 mm
	Taban-2
	40,30 mm

#### 4.2.2 Sertlik testi

Çizelge 4.24. D ve F numunesinin sertlik deney sonuçları

Teknik Bilgiler					
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar				TS 14730-1	
Deney Metodu				HV30	
N numunesi					
No	Değer HV <sub>30</sub>	No	Değer HV <sub>30</sub>	No	Değer HV <sub>30</sub>
1	284	35	280	69	289
2	290	36	274	70	282
3	288	37	278	71	287
4	297	38	276	72	279
5	287	39	272	73	279
6	293	40	264	74	284
7	285	41	281	75	286
8	301	42	292	76	281
9	289	43	317	77	284
10	289	44	311	78	287
11	294	45	314	79	283
12	285	46	316	80	289
13	289	47	307	81	285
14	282	48	310	82	290
15	290	49	303	83	293
16	291	50	272	84	287
17	285	51	307	85	283
18	290	52	305	86	286
19	285	53	302	87	290
20	293	54	300	88	288
21	288	55	301	89	286
22	285	56	307	90	283
23	290	57	307	91	288
24	293	58	304	92	284
25	286	59	290	93	291
26	292	60	271	94	294
27	286	61	263	95	284
28	293	62	274	96	291
29	292	63	275	97	286
30	284	64	275	98	286
31	285	65	290	99	287
32	280	66	278	100	288
33	282	67	279		
34	283	68	280		

**Çizelge 4.25.** D numunesinin ortalama sertlik sonuçları

<b>Asgari Sertlik</b>	263 HV	<b>Ana Metalin Ortalama Sertliği (P)</b>	288 HV
<b>Azami Sertlik</b>	317 HV		
<b>Ölçüm Sayısı</b>	100	P-30	258 HV
<b>Deney Sıcaklığı</b>	22°C	P-60	348 HV

Kaynaklı ray numunesinin sertlik değeri çok sayıda ölçümlerle elde edilmiştir. Yapılan 100 farklı ölçümlerin ortalaması alınarak kaynak bölgesi ve geçiş bölgesi için sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinin ve rayın sertlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca uygulanan kaynak yüzey taşlamasının sertlik üzerine etkisi incelenmiştir. Yukarıdaki D numunesinden elde edilen sertlik değerleri Çizelge 4.25’de verilmiştir. Kaynak bölgesinin azami sertlik değeri 317 HV ve azami sertlik değeri 263HV olarak ölçülmüştür. 900A çelikten imal edilen ana ray malzemesinin sertlik değeri 288 HV ‘dir. TS EN 14587-2 ve EN ISO 6507-2 standartlarına göre kaynağın vickers sertlik değerlerinin normal sınırlar dahilinde olduğu görülmektedir.



**Çizelge 4.26.** F numunesinin ortalama sertlik sonuçları

<b>Asgari Sertlik</b>	260 HV	<b>Ana Metalin Ortalama Sertliği (P)</b>	260 HV
<b>Azami Sertlik</b>	320 HV		
<b>Ölçüm Sayısı</b>	100	P-30	260 HV
<b>Deney Sıcaklığı</b>	22°C	P-60	260 HV

Kaynaklı ray numunesinin sertlik değeri çok sayıda ölçümlerle elde edilmiştir. Yapılan 100 farklı ölçümlerin ortalaması alınarak kaynak bölgesi ve geçiş bölgesi için sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinin ve rayın sertlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca uygulanan kaynak yüzey taşlamasının sertlik üzerine etkisi incelenmiştir. Yukarıdaki F numunesinden elde edilen sertlik değerleri Çizelge 4.26'de verilmiştir. Kaynak bölgesinin azami sertlik değeri 320 HV ve azami sertlik değeri 260HV olarak ölçülmüştür. 900A çelikten imal edilen ana ray malzemesinin sertlik değeri 292 HV 'dir. TS EN 14587-2 ve EN ISO 6507-2 standartlarına göre kaynağın vickers sertlik değerlerinin normal sınırlar dahilinde olduğu görülmektedir.



**Çizelge 4.27.** N numunesinin sertlik deney sonuçları

Teknik Bilgiler					
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar				TS 14587-2	
Deney Metodu				HV <sub>30</sub>	
N Numunesi					
No	Değer	No	Değer	No	Değer
	HV <sub>30</sub>		HV <sub>30</sub>		HV <sub>30</sub>
1	284	35	280	69	289
2	290	36	274	70	282
3	288	37	278	71	287
4	297	38	276	72	279
5	287	39	272	73	279
6	293	40	264	74	284
7	285	41	281	75	286
8	301	42	292	76	281
9	289	43	317	77	284
10	289	44	311	78	287
11	294	45	314	79	283
12	285	46	316	80	289
13	289	47	307	81	285
14	282	48	310	82	290
15	290	49	303	83	293
16	291	50	272	84	287
17	285	51	307	85	283
18	290	52	305	86	286
19	285	53	302	87	290
20	293	54	300	88	288
21	288	55	301	89	286
22	285	56	307	90	283
23	290	57	307	91	288
24	293	58	304	92	284
25	286	59	290	93	291
26	292	60	271	94	294
27	286	61	263	95	284
28	293	62	274	96	291
29	292	63	275	97	286
30	284	64	275	98	286
31	285	65	290	99	287
32	280	66	278	100	288
33	282	67	279		
34	283	68	280		

**Çizelge 4.28.** N numunesinin ortalama sertlik sonuçları

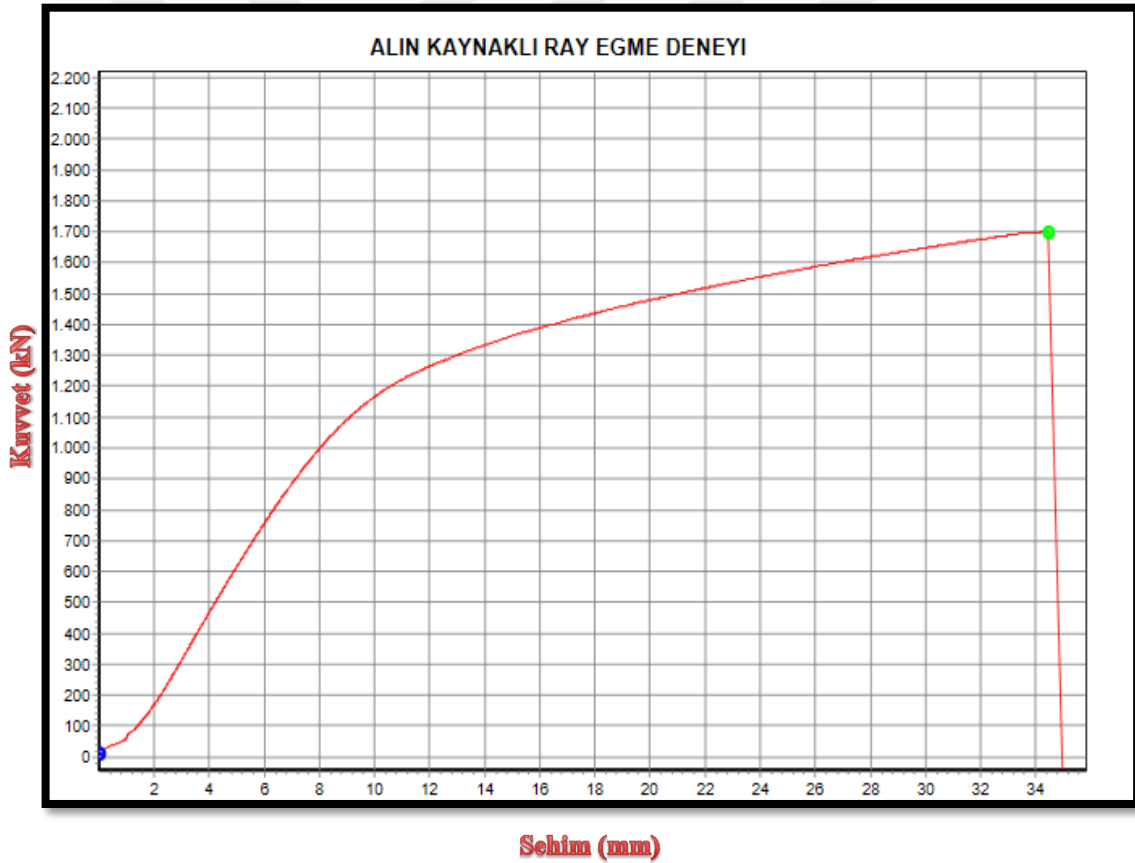
<b>Asgari Sertlik</b>	261 HV	<b>Ana Metalin Ortalama Sertliği (P)</b>	291 HV
<b>Azami Sertlik</b>	321 HV		
<b>Ölçüm Sayısı</b>	100	P-30	262 HV
<b>Deney Sıcaklığı</b>	22°C	P-60	352 HV

Yukarıdaki tablolar incelendiğinde N Numunenin kaynak bölgesinin azami sertlik değeri 321 HV ve asgari sertlik değeri 261HV olarak ölçülmüştür. 900A çelikten imal edilen ana ray malzemesinin sertlik değeri 291 HV dir. TS EN 14587-2 ve EN ISO 6507-2 standartlarına göre kaynağın vickers sertlik değerlerinin normal sınırlar dahilinde olduğunu görülmektedir. N numunesinde bu değerler incelendiğinde TS EN 14587-2 ve EN ISO 6507-2 standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.

### 4.2.3 Statik eğme testi

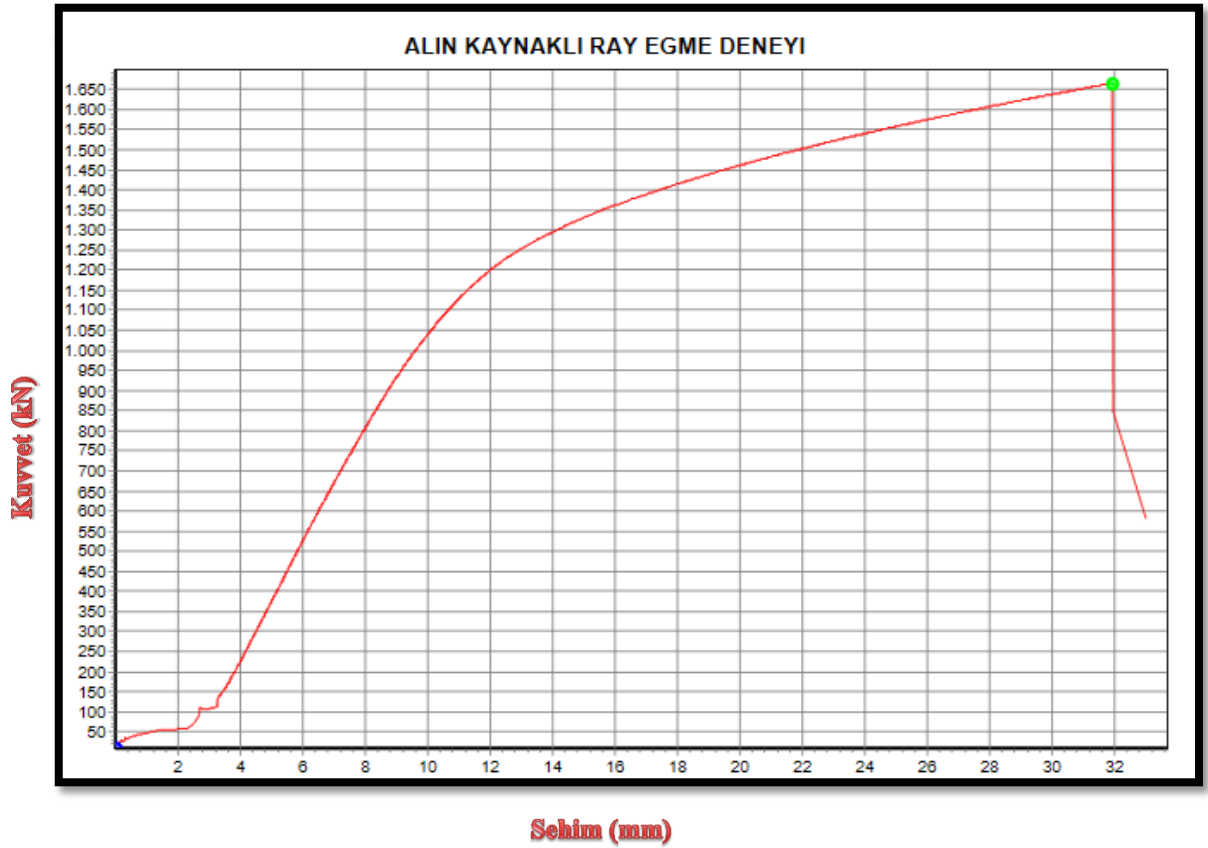
D numunesinin statik eğilme testi “Rayların Yakma Alın Kaynağı Avrupa Standardı EN 14587-2”e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm uzunluğunda 100 cm açıklığında basit mesnetlendirilmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip D numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. D numunesinin TS EN 14587-2 standardının Ek-A maddesine uygun şekilde hazırlandığı ve BTM 3000 SE marka cihaz kullanılarak 300 ton yük altında 65 kN/s yükleme hızı ile 1701,02 kN deney sonu yüküne ulaştığı ve 34,41 mm sehim vererek kırıldığı görülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 4.29’ da D numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü yer almaktadır.

Çizelge 4.29. D numunesi ray eğilme deneyi sonucu



F numunesinin statik eğilme testi “Rayların Yakma Alın Kaynağı Avrupa Standardı EN 14587-2”e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm uzunluğunda 100 cm açıklığında basit mesnetlendirilmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip F numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. F numunesinin TS EN 14587-2 standardının Ek-A maddesine uygun şekilde hazırlandığı ve BTM 3000 SE marka cihaz kullanılarak 300 ton yük altında 65 kN/s yükleme hızı ile 1665,97 kN deney sonu yüküne ulaştığı ve 31,91 mm sehim vererek kırıldığı görülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 4.30’ da F numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü yer almaktadır.

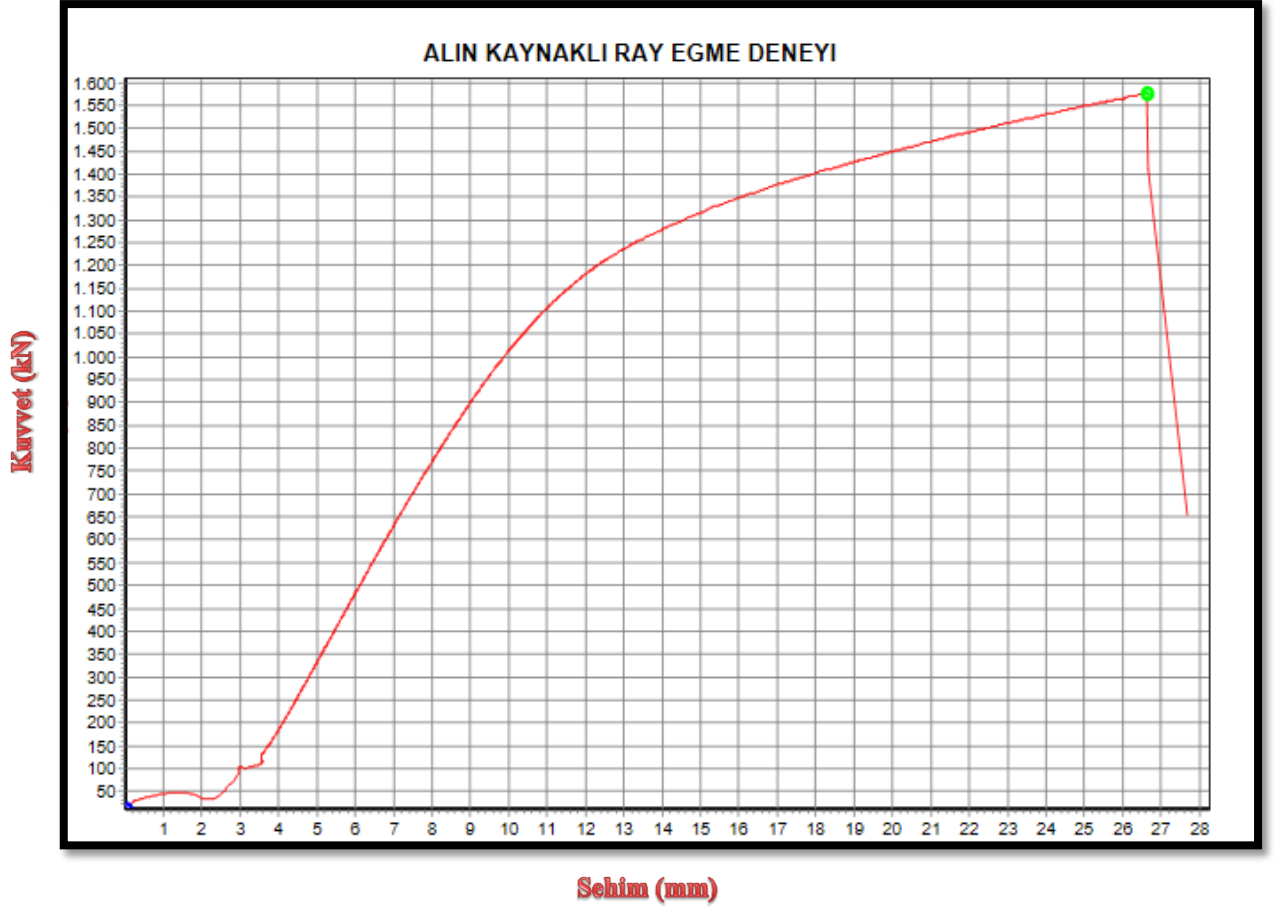
**Çizelge 4.30.** F numunesi ray eğilme deneyi sonucu



N numunesinin statik eğilme testi “Rayların Yakma Alın Kaynağı Avrupa Standardı EN 14587-2”e uygun olarak yapılmıştır. Test 120 cm uzunluğunda 100 cm açıklığında basit mesnetlendirilmiş, tam ortasında kaynak bulunan ve deneyde kullanılacak özelliklere sahip N numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir.

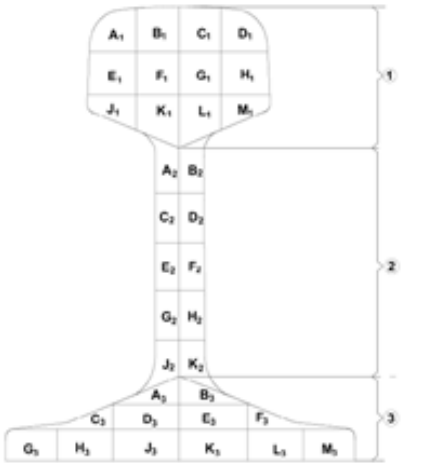
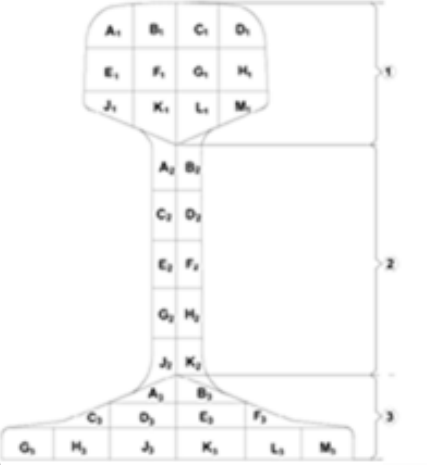
N numunesinin TS EN 14587-2 standardının Ek-A maddesine uygun şekilde hazırlandığı ve BTM 3000 SE marka cihaz kullanılarak 300 ton yük altında 65 kN/s yükleme hızı ile 1577,46 kN deney sonu yüküne ulaştığı ve 26,63 mm sehim vererek kırıldığı görülmüştür. Aşağıdaki Çizelge 4.31' de F numunesinin eğme testi sonrası görüntüsü yer almaktadır.

**Çizelge 4.31.** N numunesi ray eğilme deneyi sonucu



#### 4.2.4 Yorulma testi

Çizelge 4.32. Yorulma Deney Raporu

TEKNİK BİLGİLER	
Muayene ve değerlendirme standardı	TS EN 14587-2 Ek C
Deney Tipi	Onay Deneyi
Deney Metodu	Geçmiş Son Deney
İç Açıklık ( $\geq 150$ mm)	154 mm
Dış Açıklık ( $\geq 472$ mm)	1100 mm
Uygulanan Azami Gerilme	190 MPa
Uygulanan Asgari Gerilme	19 MPa
Aktüatörün merkez ekseninden yükleme noktalarına kadar olan uzaklık	$\leq 3$ mm
Uygulanan Çevrim Sayısı	Deney numunelerine 5.000.000 çevrim uygulanmıştır.
Deney Sonu Numune Durumu	D,F,N deney numuneleri çevrim sayısını tamamlamıştır.
Başarısızlık durumdaki çatlak başlangıcının konumu	
1.Kırılma Yüzeyi	2.Kırılma Yüzeyi
	
D,F,N deney numuneleri çevrim sayısını tamamlamıştır.	

Yakma alın kaynağı için yorulma deney yöntemi TS EN 14587-2 Ek C standardı 5 milyon çevrim dayanıklılığında bir kaynağın yorulma dayanım dağılımını oluşturmak için merdiven deney yöntemini tarif eder. Yorulma dayanımı, kaynağın tabanında fiber gerilme aralığına göre belirlenir. Bu gerilme aralığı kaynak eksikliğinin bulunduğu ana raydaki kaynak konumunda olmalıdır. Bu deney yöntemi üç kaynağı deneye tabi tutulmalı ve bunlardan hiçbiri tanımlanmış çevrimsel gerilme seviyesinde veya altında kırılmamalıdır. Harici anma fiber gerilmeye uygulanan yükün ilişkisi düz rayın uzunluğu, gerinim ölçer ve deney sıklığında yük çevrimi kullanılarak belirlenir. Yukarıdaki Çizelge 4.32 'de 154 mm iç açıklığa, 1100 mm dış açıklığa sahip deney numunelerine asgari 19 MPa azami olarakta 190 MPa kuvvet uygulanmış ve deney numuneleri 5.000.000 çevrime dayanarak yorulma deney testini kırılmadan tamamladığı gözlemlendi.

## BÖLÜM V

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Yakma alın kaynağı yorulma, eğilme, gerilme dayanımı açısından değerlendirildiğinde alüminotermite kaynağa göre daha avantajlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Çünkü yakma alın kaynağı yapılma aşamasında hiçbir yardımcı kaynak materyal kullanılmadığından yorulma, eğilme ve gerilme değerleri alüminotermite kaynağına göre yüksek değerler çıkması yakma alın kaynağının alüminotermite kaynağından daha uzun ömürlü, kaynak kalitesinin daha mukavemetli olduğunu göstermektedir. Alüminotermite kaynağı mikro yapısı incelendiğinde yapının büyük bir bölümü perlit yapıdan oluştuğu görülmektedir. Bu yapı kaynak dayanımını arttırdığı gibi kırılma ihtimalini de arttırdığı görülmektedir. Fakat sertlik ve malzemenin çekme dayanımı arttırarak yorgunluk performansını azaltacaktır. Düşük dayanımlı çelik yüksek dayanımlı sert bir malzeme ile karşılaştırıldığında gerilim başlangıcı oluşturacağı ve kaynağın yorgunluğa daha az duyarlı olacağı saptanmıştır.



## BÖLÜM VI

### SONUÇLAR

TCDD Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi (DATEM) İşletme Müdürlüğünde yapılan Laboratuvar deneylerinde, döküldükten sonra işlem görmemiş olan yüzey incelemesinde kazıma ve son taşlama işleminin ardından, dökümden sonra işlem görmemiş olan kaynak bileziği yüzeyi sağlamlık açısından gözle muayene edilmiş ve kaynak numunelerinde 2 mm'den daha uzun çatlaklara rastlanılmadı. Kaynak numunelerinin yüzey kalitesi değerlendirildiğinde ise 3 mm'den daha büyük gözenekler görülmedi. Bu da TS EN 14730-1 standardına göre alüminotermite ray kaynağı numunelerinin kabul edilebilir standart çatlak ve gözenek boyutlarında olduğu sonucunu gösterir. Mikroskobik inceleme numunelerinde ısının tesiri altında kalan gözle görünür bölge 100X büyütme ile incelendiğinde beynit ve martenzit yapı içermediği görülmüş ve bu yapılar haricinde perlitik bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesi ve geçiş bölgesinin metalografik fotoğrafları optik mikroskop aracılığı ile elde edilmiştir. Kaynak bölgesi mikroskop görüntüleri incelendiğinde, kaynak bölgesinin beklendiği gibi ferrit faz yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ancak kaynak bölgesinin bazı kısımlarında ise ferrit faz yoğunluğu azalmıştır. Kaynak bölgesi mikroskop görüntülerinde tanımlanamayan yapıların bulunduğu gözlemlenmiş bu yapıların ise gaz boşluğu yada cüruf olduğu düşünülmektedir. Kaynak bölgesi iç yapısında yer yer ferrit kümelenmeleri görülmüştür. Kaynak bölgesinin üst kısımlarındaki tanecikler; yani havaya daha yakın tanecikler, büyümeye fırsat bulamadan hızlı bir şekilde soğumuş ve sonuçta tanecikler daha küçük kalmıştır. Ray-kaynak geçiş bölgesinin içyapısı beklendiği gibi tamamen perlitik yapıdadır. Kaynak esnasındaki cüruf oluşumunun kaynak yapısının hava ile direkt temas etmesini engellediği ve bu yüzden dekarbürizasyonun oluşmadığı anlaşılmıştır. Mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında da kaynak malzemesindeki zayıf alfa fazının, ray malzemesine göre %25'e yakın bir oranda daha fazla olması, kaynağın raya göre zayıf bir karakterde olduğunu göstermektedir. Alüminotermite kaynaklarda ray çeliğinden farklı özelliklere sahip malzemenin yani (Al, Mn, Si, Mo, V) gibi elementler karıştırılarak kullanıldığından; Alüminotermite kaynağın, yakma alın kaynağına göre kötü bir performans sergilediği gözlemlendi. Yakma alın kaynağında, ray metaline hiç bir katkı olmadan kaynak

yapılmaktadır. Bunun sonucu olarak, yakma alın kaynağı alüminotermite kaynağından daha sert ve dayanımının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Kaynaklı ray numunesinin statik eğilme testi, deney numunesinin orta noktasına bir kuvvet uygulanarak, numune eğilme gerilmelerine maruz bırakılmıştır. Ray kırılma gerilmesi TS EN 14730-1 standardına göre belirlenen yük altında, rayın kırılmadan vereceği sehimin, minimum 15 mm olacağı testlerde irdelenmiştir. Eğme deneyi testi, TS EN 14730-1 standardına göre, 120 cm'den uzun numuneler ile yapılmış ve standartta belirtilen kriterler de numuneler yavaş eğme testine tabi tutulmuş ve sonuç olarak yakma alın kaynağı numunelerinin alüminotermite kaynağı numunelerine göre kırılmadan daha yüksek sehimler yaptığı gözlemlenmiş, bu sonuçlar doğrultusunda yakma alın kaynağı yönteminin alüminotermite kaynağı yöntemine göre daha mukavemetli, dayanımı yüksek, kullanım ömrünün daha uzun olacağı görülmüştür. Kaynak bölgesinin sertlik özellikleri incelendiğinde ana ray malzemesi ile arasında 20 HV ye yakın bir fark olduğu ölçülmüştür. Kaynak bölgesindeki mangan ve fosfor miktarının fazla olması da sertlik miktarının fazla çıkmasında etkilidir. Ayrıca kaynak esnasında oluşan ısı, kaynak ısısından etkilenen bölgenin aşınma oranı düşmektedir. Buna göre ısının tesiri altındaki bölgenin iç yapısının değişmesi, kaynaklı bölgenin dayanımını olumlu yönde etkilemektedir. Isının tesiri altındaki bölgenin sertlik dağılımı yapılan deneylerde vickers yöntemi ile belirlenmiş ve deney numunelerinin yuvarlanma yüzeyi boyunca yapılan ölçümlerinin ortalaması alınarak, TS EN 14730-1 standardına uygun olduğu görülmüştür. Kaynağın yapımı sırasında yakma alın kaynağına göre, Alüminotermite kaynağına etkileyen daha çok parametre içerdiğinden uygulaması daha kontrollü olarak yapılmalıdır. Ayrıca yakma alın kaynağı yöntemine göre bu yöntemde kaynakçı personellerin daha etken olmasından dolayı eğitilmiş ve tecrübeli olması daha fazla önem taşımaktadır. Alüminotermite kaynağı yapılırken termit tipine göre firmaca belirtilen ön ısıtma, döküm, kalıptan çıkarma süreleri önem taşıdığından kaynakçı personelin bu kriterlere dikkat etmesi önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

Kaçer, İ., Ray Kaynağı, *TCDD Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürlüğü Yayınları*, Eskişehir, 2005.

Koçtürk, B., Ray Kaynağı, *TCDD Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Yayınları*, Ankara, 2014.

Onay, M., Demiryollarında Alüminotermit Kaynak İle Yakma Alın Kaynak Yöntemlerinin Teknik Ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s.20-27, 2011

Evren, G., Demiryolu, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1998.

Özdemir, M., "Mütareke ve Kurtuluş Savaşı Başlangıç Dönemlerinde Türk Demiryolları- Yapısal Ekonomik Sorunlar ( 1918-1920)", *Kültür Bakanlığı Yayınları*, Ankara, 2001.

Güven,S. "1950'li Yıllarda Türk Ekonomisi Üzerine Amerikan Kalkınma Reçeteleri Hilts Raporu, Thornburg Raporu, Barker Raporu", *Ezgi Kitabevi Yayınları*, Bursa, Eylül 1998.

İnce, N. ve Erdelikara, Ü.," Raylı Sistemler Teknolojisi Raylı Sistem İşletmeciliği", *Millî Eğitim Bakanlığı Matbaası*, Ankara, 2011.

Günoral, Ş., 2002. *Balastlı Üst Yapılarda Yol Bakım Ve Tamiratu*. İstanbul:İ.B.B., *İstanbul Ulaşım A.Ş. yayınları*, ss.116-122.

Onay, M., 2004. Ray birleştirme kaynak yöntemleri. *Bitirme Tezi, Marmara Üniversitesi: Teknik Eğitim Fakültesi*, ss.14-54.

Onay,M., Ray Birleştirme Kaynak Yöntemleri, Bitirme Tezi, **Marmara Üniversitesi.Teknik Eğitim Fakültesi**, İstanbul, s.14-54, 2004.

Derlin ,K. U. A. Oberbau-Schweissen, Eissenbahn-Fachverlag Heidelberg Mainz, Band 8/14, **DB Fachbuch, Bundesbahn-Sozialamt**, 1980.

Key,A. J., The Thermit Process for Railwelding. **Metal Construction**, s.419-422, July,1984.

Bay,K., Raylı Sistemlerde Kullanılan Alüminotermit Kaynağının Kalitesinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s.47-57, 2011.

Tulumtaş,H., **Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir Yolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yol Dairesi Başkanlığı Alüminotermit Ray Kaynağı Talimatnamesi**, Ankara, 1997.

Kökçe, Y., Demiryolu Taşıt ve Raylarının Üretim ve Tamir-Bakımında Uygulanan Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s.142-172, 2002.

Kaçer, İ.ve Tulumtaş, H., Raylı sistemler teknolojisi Alüminotermit kaynak, **Milli Eğitim Bakanlığı**, Ankara, 2013.

MEB, 2008. Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, **Raylı Sistemler Teknolojisi Alüminotermit Kaynağı kitabı**, Ankara, s.30-32.

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

Günoral, Ş. Demiryolu Makasları, **İ.B.B Ulaşım A.Ş Yayınları**, İstanbul, 2002.

Öztürk, Z., Arlı, V., Demiryolu Mühendisliği, **ATM Dijital Baskı ve Matbaa**, İstanbul, s.205,2009

TS EN 14730-1+A1, Demiryolu uygulamaları-Demiryolu rayların alümino termik kaynağı-Bölüm 1: Kaynak işlemlerinin onayı, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.

TS EN 14587-2, Demiryolu uygulamaları - Yol - Rayların alın yakma kaynağı - Bölüm 2: Yeni R220, R260, R260Mn ve R350HT sınıf rayların sabit bir tesis dışında sahada seyyar kaynak makinası ile kaynaklanması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010

TS EN ISO 6507-1 Metalik Malzemeler - Vickers Sertlik Deneyi - Bölüm 1: Deney Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2007

TS EN 13674-1, Demiryolu Uygulamaları - Demiryolu Hattı - Ray - Bölüm 1: 46 Kg/m ve Üzeri Vignole Demiryolu Rayları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013

Flash butt welding machine, [http://www.schlattergroup.com/en/weldingplants/downloads/Schlatter\\_Stationair\\_GAAS\\_80\\_580\\_en.pdf](http://www.schlattergroup.com/en/weldingplants/downloads/Schlatter_Stationair_GAAS_80_580_en.pdf), erişim tarihi 07.11.2016.

Ray Termometresi, <http://www.cgcrail.com/images/urunler/olcme-aletleri/1.jpg>, erişim tarihi 07.11.2016.

Trifonöz, <http://trenturk.com/urundetay.asp?id=696>, erişim tarihi 07.11.2016.

Trifonöz, <http://trenturk.com/urunler.asp?id=209>, erişim tarihi 07.11.2016.

Isı Tabancası, [http://www.turkier.com/index.php?route=product/product&product\\_id=79](http://www.turkier.com/index.php?route=product/product&product_id=79), erişim tarihi 07.11.2016.

Ray Taslama Makinası, <http://www.geismarturkiye.com/index.php?sayfa=RayTaslama-Makinalari>, erişim Tarihi 09.11.2016.

Masterlama, <http://www.cgcrail.com/index.php?sayfa=Aliminotermite-Ray-Kaynagi>, erişim Tarihi 09.11.2016.

Alın Kaynak Makinesi, <http://raybayapi.com/ray-kaynaklari> alın kaynak makinesi,  
erişim Tarihi 08.11.2016.



## EKLER

### RAY ISI FARKINA GÖRE RAY UZAMA MİKTARLARI

Çizelge Ek-1. Ray ısı farkına göre ray uzama miktarları

Ray Isı Farkı (0 <sup>C</sup> )	Ray Uzunluğu (m)									
	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360
Uzunluk değişikliği (mm)										
1	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4
2	1	2	2	3	4	5	6	7	7	8
3	1	2	4	5	6	7	9	10	11	12
4	2	3	5	7	8	10	12	13	15	17
5	2	4	6	8	10	12	14	17	19	21
6	2	5	7	10	12	15	17	20	22	25
7	3	6	9	12	14	17	20	23	26	29
8	3	7	10	13	17	20	23	26	30	33
9	4	7	11	15	19	22	26	30	34	37
10	4	8	12	17	21	25	29	33	37	41
11	5	9	14	18	23	27	32	36	41	46
12	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
13	5	11	16	22	27	32	38	43	48	54
14	6	12	17	23	29	35	41	46	52	58
15	6	12	19	25	31	37	43	50	56	62
16	7	13	20	26	33	40	46	53	60	66
17	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
18	7	15	22	30	37	45	52	60	67	75
19	8	16	24	31	39	47	55	63	71	79
20	8	17	25	33	41	50	58	66	75	83
21	9	17	26	35	43	52	61	70	78	87
22	9	18	27	36	46	55	64	73	82	91
23	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
24	10	20	30	40	50	60	70	79	89	99
25	10	21	31	41	52	62	72	83	93	104
26	11	22	32	43	54	65	75	86	97	108
27	11	22	34	45	56	67	78	89	101	112
28	12	23	35	46	58	70	81	93	104	116
29	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
30	12	25	37	50	62	75	87	99	112	124

**Çizelge Ek-2.** Son 50 yıla ait illere göre ray sıcaklık ortalama değerleri

BÖLGESİ	İL	SON 50 YILDA ÖLÇÜLEN HAVA SICAKLIKLARI		YAKLAŞIK RAY SICAKLIKLARI		ORT. RAY SICAKLIĞI	OPTİMUM (NÖTR) RAY SICAKLIĞI	NİHA BAĞ. YAP. SICAK. ARA.	
		MAX (A)	MİN (B)	MAX. (C=Ax1,5)	MİN (D=B)			[E=(C+D)/2]	(F=E+5)
1	EDİRNE	42.20	-19.50	63.30	-19.50	21.90	26.90	24	30
	KIRKLARELİ	42.50	-15.80	63.75	-15.80	23.98	28.98	26	32
	TEKİRDAĞ	38.40	-13.30	57.60	-13.30	22.15	27.15	24	30
	İSTANBUL	40.50	-13.90	60.75	-13.90	23.43	28.43	25	31
	İZMİT	44.10	-8.80	66.15	-8.80	28.68	33.68	31	37
	ADAPAZARI	44.00	-14.50	66.00	-14.50	25.75	30.75	28	34
	BİLECİK	41.00	-16.00	61.50	-16.00	22.75	27.75	25	31
2	ESKİŞEHİR	40.60	-23.80	60.90	-23.80	18.55	23.55	21	27
	ZONGULDAK	39.50	-8.00	59.25	-8.00	25.63	30.63	28	34
	KARABÜK	44.10	-15.10	66.15	-15.10	25.53	30.53	28	34
	ÇANKIRI	42.40	-25.00	63.60	-25.00	19.30	24.30	21	27
	ANKARA	40.80	-24.40	61.20	-24.40	18.40	23.40	20	26
	KIRIKKALE	41.60	-22.40	62.40	-22.40	20.00	25.00	22	28
	YOZGAT	38.80	-24.40	58.20	-24.40	16.90	21.90	19	25
	NEVŞEHİR	39.50	-23.60	59.25	-23.60	17.83	22.83	20	26
	KAYSERİ	40.70	-31.40	61.05	-31.40	14.83	19.83	17	23
	NİĞDE	38.00	-24.20	57.00	-24.20	16.40	21.40	18	24
3	BURSA	43.80	-19.20	65.70	-19.20	23.25	28.25	25	31
	BALIKESİR	43.70	-21.80	65.55	-21.80	21.88	26.88	24	30
	MANİSA	45.10	-13.10	67.65	-13.10	27.28	32.28	29	35
	İZMİR	42.70	-6.40	64.05	-6.40	28.83	33.83	31	37
	AYDIN	44.60	-7.60	66.90	-7.60	29.65	34.65	32	38
	DENİZLİ	42.40	-11.40	63.60	-11.40	26,10	31,10	28	34



**Çizelge Ek-3.** Son 50 yıla ait illere göre ray sıcaklık ortalama değerleri

BÖLGESİ	İL	SON 50 YILDA ÖLÇÜLEN HAVA SICAKLIKLARI		YAKLAŞIK RAY SICAKLIKLARI		ORT. RAY SICAKLIĞI	OPTİMUM (NÖTR) RAY SICAKLIĞI	NİHA BAĞ. YAP. SICAK. ARA.	
		MAX (A)	MİN (B)	MAX. (C=Ax1,5)	MİN (D=B)			[E=(C+D)/2]	(F=E+5)
4	SAMSUN	38.30	-8.10	57.45	-8.10	24.68	29.68	27	33
	AMASYA	45.00	-20.40	67.50	-20.40	23.55	28.55	26	32
	TOKAT	45.00	-23.40	67.50	-23.40	22.05	27.05	24	30
	SİVAS	40.00	-34.60	60.00	-34.60	12.70	17.70	15	21
	ERZİNCAN	40.60	-32.50	60.90	-32.50	14.20	19.20	16	22
	ERZURUM	35.60	-37.00	53.40	-37.00	8.20	13.20	10	16
5	KARS	35.40	-36.70	53.10	-36.70	8.20	13.20	10	16
	VAN	37.50	-28.70	56.25	-28.70	13.78	18.78	16	22
	MALATYA	42.20	-22.20	63.30	-22.20	20.55	25.55	23	29
	ELAZIĞ	42.20	-22.60	63.30	-22.60	20.35	25.35	22	28
	BİNGÖL	42.00	-25.10	63.00	-25.10	18.95	23.95	21	27
	MUŞ	41.60	-34.40	62.40	-34.40	14.00	19.00	16	22
	SİİRT	46.00	-19.30	69.00	-19.30	24.85	29.85	27	33
	ADİYAMAN	45.30	-14.40	67.95	-14.40	26.78	31.78	29	35
	DİYARBAKIR	45.90	-23.00	68.85	-23.00	22.93	27.93	25	31
BİTLİS	44.40	-22.00	66.60	-22.00	22.30	27.30	24	30	
6	K.MARAŞ	44.30	-9.60	66.45	-9.60	28.43	33.43	30	36
	GAZİANTEP	44.00	-17.50	66.00	-17.50	24.25	29.25	26	32
	ŞANLIURFA	46.80	-11.40	70.20	-11.40	29.40	34.40	31	37
	MARDİN	42.50	-14.00	63.75	-14.00	24.88	29.88	27	33
	MERSİN	39.80	-6.60	59.70	-6.60	26.55	31.55	29	35
	ADANA	45.60	-8.10	68.40	-8.10	30.15	35.15	32	38
	KARAMAN	40.40	-28.00	60.60	-28.00	16.30	21.30	18	24
	OSMANİYE	42.00	-8.50	63.00	-8.50	27.25	32.25	29	35
	KİLİS	47.00	-12.00	70.50	-12.00	29.25	34.25	31	37
HATAY	43.90	-14.60	65.85	-14.60	25.63	30.63	28	34	
7	BURSA	43.80	-19.20	65.70	-19.20	23.25	28.25	25	31
	KÜTAHYA	39.50	-27.40	59.25	-27.40	15.93	20.93	18	24
	UŞAK	40.20	-19.50	60.30	-19.50	20.40	25.40	22	28
	AFYON	39.80	-27.00	59.70	-27.00	16.35	21.35	18	24
	BURDUR	39.60	-14.60	59.40	-14.60	22.40	27.40	24	30
	ISPARTA	38.00	-21.00	57.00	-21.00	18.00	23.00	20	26
	KONYA	40.60	-26.50	60.90	-26.50	17.20	22.20	19	25

## ÖZ GEÇMİŞ

Serdar KAHRAMAN 05.06.1982 tarihinde Niğde’ de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Niğde’ de tamamladı. Niğde Üniversitesi Niğde Meslek Yüksekokulu Otomotiv Bölümü’nden 2006 yılında mezun oldu, 2006 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğrenime başladı ve 2010 yılında mezun oldu. 2010-2012 yılları arasında Sivas Beton Travers Fabrikası Grup Müdürlüğünde mühendis olarak çalıştı. 2012 yılında Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenime başladı. 2019 Mayıs ayında bu öğrenimi tamamladı. Halen Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları 26. Demiryolu Bakım Müdürlüğü’nde Makine mühendisi olarak görev yapmaktadır.

