

# Kardemir A.Ş.'de Yerli R350HT Kalite Rayların Üretimi

Sait Özçelik\*, Abdulrezzak Erdem\*, Serkan Atamer\*, Hayrettin Ahlatcı+, Yavuz Sun+, İsmail Esen+

\*Kardemir A.Ş.

[saozcelik@kardemir.com](mailto:saozcelik@kardemir.com), [aerdem@kardemir.com](mailto:aerdem@kardemir.com), [satamer@kardemir.com](mailto:satamer@kardemir.com)

+Karabük Üniversitesi

[hahlatci@karabuk.edu.tr](mailto:hahlatci@karabuk.edu.tr), [ysun@karabuk.edu.tr](mailto:ysun@karabuk.edu.tr), [iesen@karabuk.edu.tr](mailto:iesen@karabuk.edu.tr)

**Özet** - Ülkemizde de demiryollarındaki gelişmelerle beraber ortaya çıkan daha kaliteli malzeme ihtiyaçları ve bu malzemelerin maliyetleri ihtiyacın yerli kaynaklarla karşılanması fikrini ortaya çıkarmaktadır. Raylar demiryolları için hayli maliyetli ve bir o kadar da hayati öneme sahip elemanlardır. Raylar düz yollarda ve virajlı yollarda farklı yüklemelere maruz kalırlar. Özellikle eğrilik yarıçapı 2000 metreden düşük virajlarda rayların servis ömürleri %50 civarında düşmektedir. Raylarda, aşınma ve yorulma çatlakları en çok mantar üzerinde görüldüğünden raylarda mantar sertleştirme işlemleri uygulanmaktadır. Mantarı sertleştirilmiş raylar, özellikle raylarda kayma aşınması ve yuvarlanma temas yorulmasını önlemek için eğrilik yarıçapı düşük olan virajlarda (dar yarıçaplı kurplar) kullanılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, Ray, Mantar Sertleştirme, Yorulma

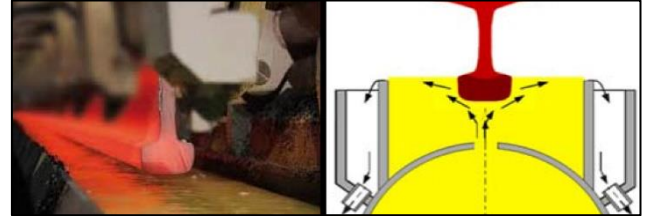
**Abstract** -In our country, the needs of higher quality materials that arise with the developments in railways and the costs of these materials raise the idea of meeting the need with domestic resources. Rails are very costly and vital elements for Railways. Rails are subjected to different loads on straight roads and winding roads. Especially at bends with a curvature radius of 2000 meters, the service life of the rails falls by about 50%. Head hardening processes are applied on the rails, as wear and fatigue cracks are most commonly seen on the Cork. Cork hardened rails are especially used in bends with low curvature radius (narrow radius kurps) to prevent slip wear and rolling contact fatigue on rails.

**Keyword:** Railway, Rail,

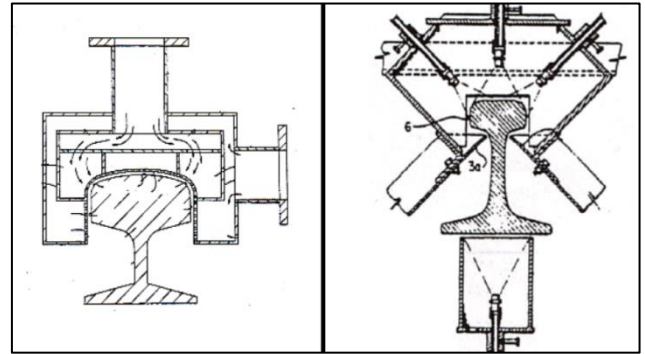
## I. Mantar Sertleştirme Prosesi Gerekliği

Demir yolu taşımacılığında, yaklaşık olarak son çeyrek yüzyılda, mantarı sertleştirilmiş raylar önemli yer tutmaktadır. Bunun nedeni, yaygın olarak kullanılan ve R260 olarak bilinen perlitik rayların, artan dingil yükleri ve araç hızları ile, aşınma ve yorulma gibi zorlamalara

karşı yeterince dayanıklı olmamasıdır. R260 kalite raylar, kaba perlitik mikroyapısıyla, mantar üstünde yaklaşık 260 HB sertlik değerine sahiptir. Bu değer, rayların hızlı tren uygulamalarında ve dar yarıçaplı kurplarda (virajlarda) daha çabuk hasar görmesine neden olmaktadır [1]. Demiryollarında eğrilik yarıçapı 2000 m'den az olan kurplar, dar yarıçaplı kurp olarak adlandırılır. Ülkemizdeki demir yolu ağının %34,2'si dar yarıçaplı kurplardan oluşmaktadır. Bu kurplarda aşırı sürtünme etkisiyle iç taraftaki raylar daha kısa sürede aşınmakta ve kullanım ömürleri düşmektedir. [1, 2] Mantar sertleştirme prosesi şekil 1'de görüldüğü üzere iki şekilde gerçekleştirilir.



a.



b.

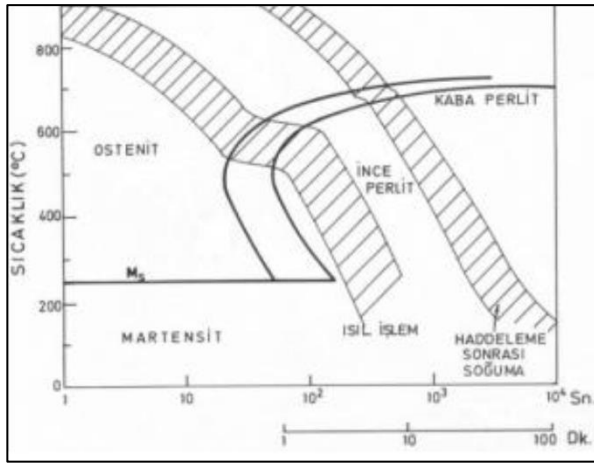
Şekil 1. Mantar sertleştirme prosesinde iki temel yöntem olan daldırma (a) ve sprey (b) metotlarının şematik gösterimi. [8]

Bu prosesin temel felsefesi, Tablo 1'de verilen kimyasal kompozisyondaki çeliğin, şekil 1'de görülen ısıl işlem yardımı ile, mikroyapıda martensit oluşturmadan sertlik

artışı sağlamaktır. Zira perlitik mikroyapının yorulma direnci demiryolu raylarının kullanım ömürlerine katkı sağlamaktadır [3, 8].

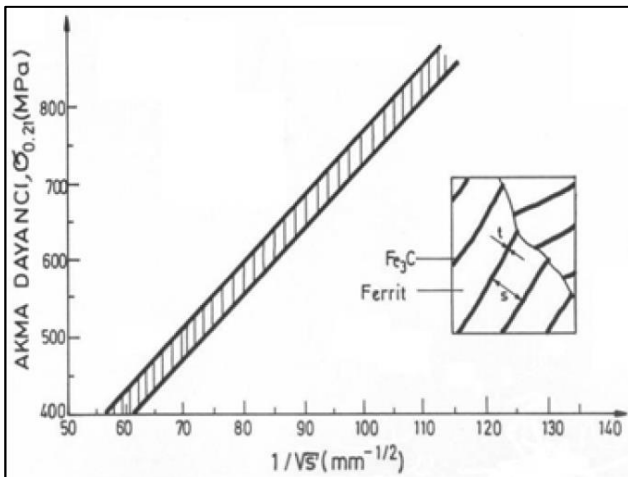
Tablo 1. EN13674 standardına göre R260 ve R350HT kalite rayların kompozisyonları. [9]

Ray Kalitesi	%			ppm (max.)	
	C	Si	Mn	O	H
R260	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	20	2,5
R350HT	0,70-0,80	0,13-0,60	0,65-1,25	20	2,5



Şekil 2. R260 ve R350HT ray çeliği kompozisyonu için TTT diyagramı ve ısıtım işlem haritası. [8]

R350 HT üretiminde uygulanan kontrollü soğuma sayesinde, perlitik mikroyapıda lameller arasındaki mesafenin azalması ve oluşan sıkı dizili perlit yapısıyla birlikte, şekil 3’de görüleceği gibi mekanik özelliklerin ve servis ömrünün iyileşmesi hedeflenmektedir.



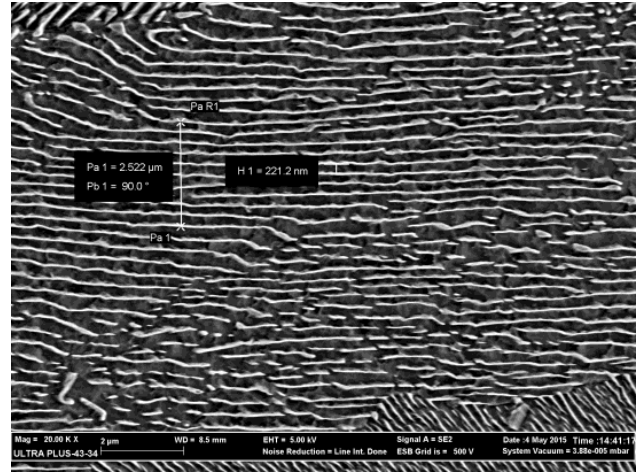
Şekil 3. Perlitik mikroyapıda, perlit lamelleri arasındaki mesafenin akma mukavemetine etkisi [8].

Literatürde, perlitik mikroyapıda lameller arasındaki mesafenin 150 nm ‘den fazla olduğu durumlarda kaba

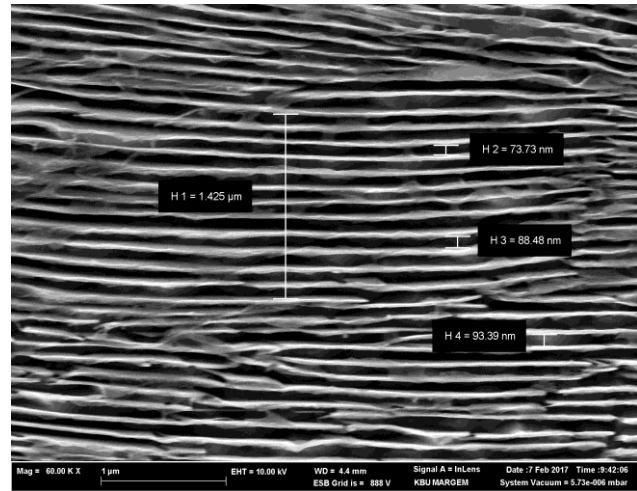
perlit, 90-150 nm aralığında ince/sıkı dizili perlit ve 90 nm’den daha düşük olduğu durumlarda ise aşırı ince perlit olarak isimlendirildiğini görmekteyiz [5]. TCDD özellikle hızlı tren uygulamalarında, ivmelenme bölgelerinde, makas civarlarında ve dar yarıçaplı kurplarda mantarı sertleştirilmiş raylara ihtiyaç duymaktadır [2, 4]. Kullanımı zorunluluk haline gelen bu malzeme halen yurtdışından yüksek fiyatlarla ithal edilmektedir. Bu ihtiyacın yerli imkanlarla, Kardemir A.Ş. tarafından giderilmesi, teknolojisinin geliştirilmesi gerek ülkemiz ekonomisi ve prestiji için de son derece önemlidir [8].

## II. R350HT Pilot Üretimi ve Saha Testleri

TCDD İhtiyacı Mantarı Sertleştirilmiş Raylar (R350HT9 İçin Yerli Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi” isimli TÜBİTAK 1007/KAMAG projesi kapsamında, Kardemir A.Ş. Ray-Profil Haddehanesinde üretilen R350HT kalite raylar, R260 kalite raylara göre daha ince perlit yapısına sahip olarak ilk hedefe ulaşmıştır.

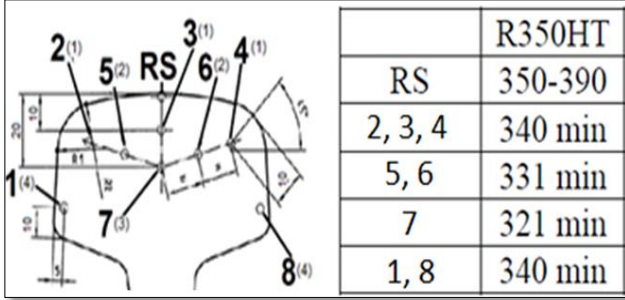


Şekil 4. R260 kalite rayın RS bölgesinden alınan SEM görüntüsü ve perlit lamelleri arasındaki mesafe ölçümü.



Şekil 5. R260 kalite rayın RS bölgesinden alınan SEM görüntüsü ve perlit lamelleri arasındaki mesafe ölçümü.

Şekil 4 ve 5’de görüleceği üzere, R260 kalitede lameller arasındaki mesafe 220 nm civarında iken proje sonucu elde edilen R350HT kalitede 90 nm seviyelerine kadar inmiştir. Bu değerler beraberinde sertlik değerlerinde de iyileşmeler doğurmuştur. EN13674 standardına göre ray kesitinde sertlik ölçülecek noktalar ve sağlanması gereken değerler Şekil 6’da görülmektedir.



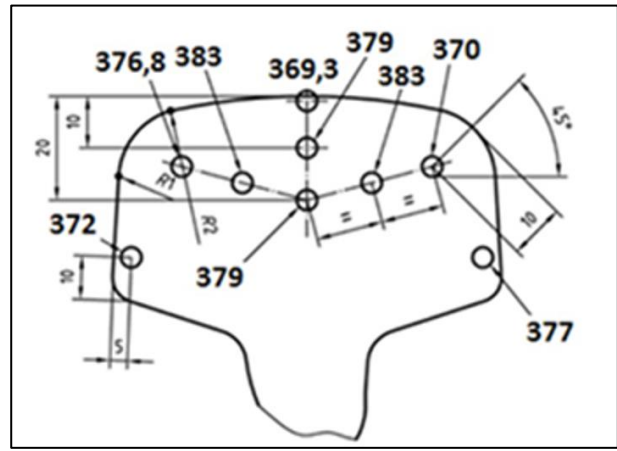
Şekil 6. EN 13674 standardına göre sertlik ölçüm bölgeleri ve R350HT için sınır değerler (HB). [9]

Mantar sertleştirme operasyonunda mantar kesitinde sertlik dağılımını yakalamak kadar tüm ray boyunca, ilgili sertlik ölçüm noktalarının birbirine yakın sonuçlar vererek, lineer bir istikrar sağlanması da önemlidir. Bunu değerlendirebilmek için, proje sonucu elde edilen, 72 metre uzunluktaki raylar 20 cm uzunluğunda parçalara ayrılmış, her bir parçanın kestinden sertlik taraması yapılmış Tablo 2’ de görülen standart sapma değerleri elde edilmiştir. [5]

Tablo 2. Deneme Üretimi Raylarda 72 metre boyunca sertlik bölgelerinin standart sapma değerleri.

Ölçüm Bölgesi	Standart Sapma (%)
RS	12,6
1	13,7
2	13,7
3	14,1
4	18
5	16,4
6	15,7
7	12,7
8	14,5

Ray boyunca sertlikte meydana gelecek bir dalgalanma, gerilme yığılması ya da kontrolsüz bir iç gerilme gibi problemlere yol açarak mikro çatlakların oluşumunu hızlandıracaktır. Bu durum da özellikle raylarda çok karşımıza çıkan, “rolling contact fatigue” olarak ifade edilen, ray ve teker arasındaki aşınma-yorulma kompleks dinamiğini olumsuz etkileyecektir. [6, 7] TCDD İhtiyacı Mantarı Sertleştirilmiş Raylar (R350HT9 İçin Yerli Üretim Teknolojisinin Geliştirilmesi” isimli TÜBİTAK 1007/KAMAG projesi kapsamında, Kardemir A.Ş. Ray-Profil Haddehanesinde üretilen R350HT kalite raylar için standart sapma değerleri uygun görülmüş ve sertlik taraması sonucu ölçüm bölgelerine göre ortalama değerleri şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Proje sonucu elde edilen R350 HT kalite rayların 72 metre boyunca ortalama sertlik ölçümleri.

Sertlik dağılımının başarılı olduğunu kanıtlayacak parametrelerden biri de kalıntı gerilme değerleridir. EN 13674 standardı raylarda kalite gözetmeksizin, kalıntı gerilme değerini 250 MPa ile sınırlandırmıştır. Kardemir A.Ş. tarafından üretilen hali hazırda R260 kalite raylar ile proje sonucu elde edilen, ısıl işlemlili, R350HT kalite rayların kalıntı gerilme değerleri kesme metodu ile ölçülmüştür. Tablo 3’de görüleceği üzere, proje sonucu elde edilen R350HT rayların kalıntı gerilme değerleri 250 MPa sınırının altında ve gayet güvenli bir bölgededir. [8]

Tablo 3. R260 ve proje sonucu elde edilen R350HT kalite raylar için kesme yöntemi ile ölçülen kalıntı gerilme değerleri

Kalıntı Gerilme Değeri (MPa)		
No	R260	R350HT
1	134	127
2	136	140
3	116	161
4	129	135

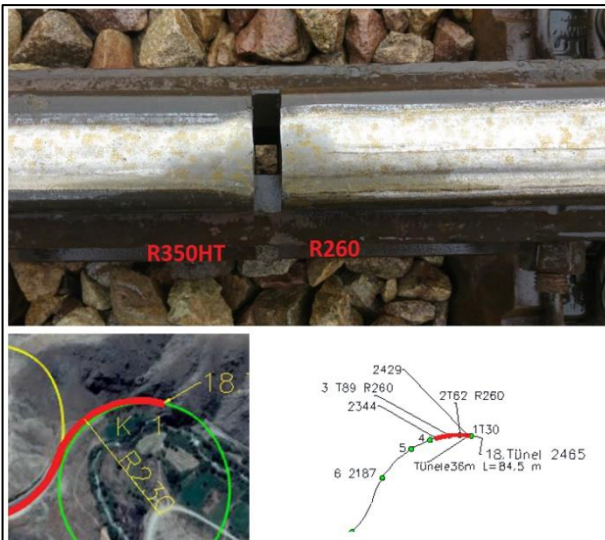
5	100	112
6	85	147
Ort.	116,67	137

Proje sonucunda, laboratuvar şartlarında EN13674 standardının istediği kriterleri sağlayan Kardemir A.Ş. üretimi R350HT kalite raylar Yerköy/YOZGAT sınırları içinde, şekil 8’de görülen 2500 metre uzunlukta demir yolu hattında denemeye tabi tutulmuştur. Deneme hattında, eğrilik yarıçapları ortalama 250 metre olan 8 adet kurp mevcuttur. R260 ile proje sonucunda üretilen rayların performanslarının karşılaştırılabilmesi için iki ray tipi de hat üzerinde kullanılmıştır.



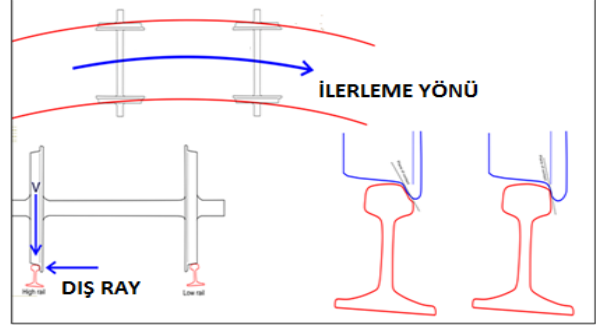
Şekil 8. Yerköy/YOZGAT sınırları içinde yer alan, saha testleri için tahsis edilen, TCDD hattı uydur görünümü.

260 metre eğrilik yarıçapına sahip bir kurpun içinde yer alan, şekil 9’da görülen R260 ve R350HT kalite rayların kesişim noktalarından biri tanesinde bariz aşınma farkları oluşmuştur. İki rayda aynı zamanda hatta monte edilmiş olmasına rağmen aralarındaki fark proje sonucu elde edilen R350HT kalite rayın üstünlüğünü göz önüne sermektedir.



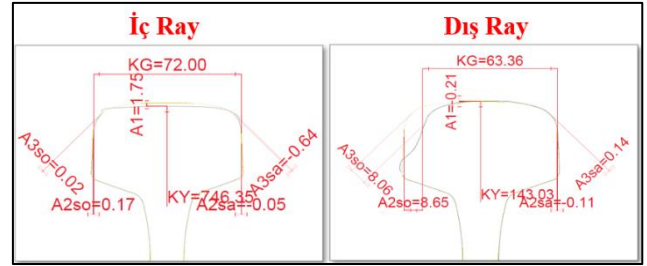
Şekil 9. Test hattı içinde R260 ve R350HT kalite rayların kesişimi.

Kurplarda özellikle eğrilik yarıçapının dış tarafında kalan rayların aşındığı şekil 10’da görülmektedir.



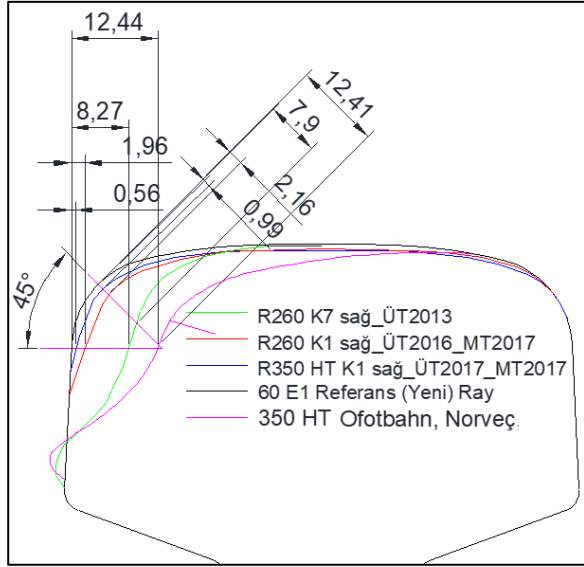
Şekil 10. Demiryollarında kurp içinde rayların maruz kaldığı zorlanma şematik gösterimi.

Bu doğrultuda, Aynı hat üzerinde, 210 metre eğrilik yarıçapında başka bir kurpta, 3 yıl boyunca kullanılmış olan R260 kalite iç ve dış rayların “NextSense Calipri Ray Profili Ölçüm Cihazı” ile alınmış aşınma profilleri de hem hat yoğunluğu hem de konvansiyonel rayların yetersizliği hakkında fikir vermektedir.



Şekil 12. Test hattında 3 yıl boyunca, 210 metre eğrilik yarıçapına sahip kurpta, kullanılmış rayların aşınma profili.

Başka bir firmanın ürettiği R350HT kalite raylar üzerinde yapılan bir çalışma ile saha testlerimiz mukayese edildiğinde, şekil 13’te görüldüğü üzere, Kardemir A.Ş.’de üretilen R350HT kalite rayların performansı göze çarpmaktadır.



Şekil 13. Farklı rayların aşınma profillerinin mukayese edilmesi.

Norveçte 4 yıl süre ile 20 ton dingil yüküyle deneme yapılan rayların kurp içinde kalanlarının, şekil 13’de gösterilen bölgeden, aşınma hızları mm/ay olarak tablo 4’de verilmektedir. Mevcut durumda, test hattımızda yaklaşık 20 ton dingil yüküyle 5 ay çalışmış olan Kardemir üretimi R350Ht rayların aşınma hızları da kaydedilmiş ve mukayese edilmiştir. 3 yıl boyunca (2013-2016 yılları arası) test hattında kullanılan R260 kalite raylar, aşınma sonucunda profillerini kaybetmiş ve kullanılamaz hale gelmiştir.

Tablo 4. Farklı rayların aşınma hızlarının mukayese edilmesi.

Aşınma Hızı (mm/ay)	R260	R350HT
Kardemir A.Ş. (Türkiye)	0,412	0,218
Diğer Firma (Norveç)	-	0,258

Tablo 4’e ilk bakıldığında iki ray kalitesi arasındaki bariz fark göze batmaktadır. Bununla birlikte proje sonucunda Kardemir A.Ş.’de üretilen rayların, Norveç’de test edilen raylara göre daha mukavemetli olduğu da görülmektedir. Ancak Norveç’de yapılan testin 48 ay sürdüğü de dikkate alınmalıdır. Uzayan test sürelerinin aşınma hızını artıracağını bilmekteyiz. Daha objektif yaklaşımlar geliştirebilmek için, Kardemir A.Ş. ve diğer üreticilerin raylarının mukayese edildiği bu tip uzun süreli testlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak her halükarda, ülkemizin dışa bağımlı olduğu bir malzeme grubunda artık tüm standartları sağlayan bir üretici olması bu projenin başarı ile sonuçlandığını göstermektedir.

### III. Genel Değerlendirme Ve Sonuçlar

Unutulmamalıdır ki, rayların mukavemeti arttıkça demir yolu tekerlerinin de gelişmesi gerekecektir. Bu iki malzeme birbirini tetikleyen bir döngü gibidir. Bugün ray üreticileri içerisinde, mantarda mikro çatlak oluşumunu daha da geciktiren beynitik ray çalışmaları devam etmektedir. Ülkemizin yapılanları takip eden konumundan kullanıcılara yön veren konumuna gelmesi için ihtiyaçların daha önceden belirlenip bu tarz çalışmaların artırılması gerekmektedir. İnsanlar ihtiyaç duydukça bilimsel çalışmalar gelişir ve yeni çözüm önerileri sunulur, sunulan çözümler geliştikçe insanların ihtiyaçları değişir.

### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme (1007) Programı kapsamında 112G081 No ile desteklenmiş olup Yazarlar, KARDEMİR A.Ş. ve Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları yönetimine ve çalışanlarına teşekkür ederler.

### Referanslar

- [1] Başkonuş, M., ve Tekin, E., (2012). “Hızlı Tren Olgusu, Mantarı Sertleştirilmiş ve Beynitli Ray Çelikleri”, International Iron and Steel Symposium, 02-04 Nisan 2012, Karabük.
- [2] TCDD, (2010). T.C. Devlet Demir Yolları İstatistik Yıllığı 2006-2010, Yayın No: 24, Ankara.
- [3] UIC, (2005). Recommendation For The Use Of Rail Steel Grades, Yayın No: 8, Paris.
- [4] TCDD, (1993). 1100 Kalite Rayların Kırılma Nedenleri Belirleme Araştırma Projesi Raporu, Yayın No: 5, Ankara.
- [5] Svejkovsky, U., ve Nerzak, T., (2007). “Modern Rail Production Using CCS and Railcool Technologies”, Stahl und Eisen, 127:55-60.
- [6] Lee, K.M., ve Polacarpou, A.A., (2005). “Wear Of Conventional Pearlitic and Improved Bainitic Rail Steels”, Wear, 259: 391-399.
- [7] Danielli, R., (2010). “Head Hardening Process”, Danews, 158:62-64.
- [8] Özçelik, S., (2014). Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışı İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] EN 13674-1, (2003). Railway Applications Track Rail Part 1: Vignole Railway Rails 46 kg/m and Above, Brussels.