



Demiryolu Makası İmalatında Ön Isıtma ve Presleme İşlemlerinin Rayın Mekanik ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi

Mehmet Emin AKAY¹, Umut Emre BİNGÖL², Anıl RIDVANOĞULLARI^{*3}

¹ KBÜ Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Programı, Karabük, Türkiye

² MZA Demiryolu Malzemeleri ve Makine İmalat Ltd., OSB kavşağı, Karabük, Türkiye

³ Muş Alparslan Üniversitesi, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Muş, Türkiye

*a.ridvanogullari@alparslan.edu.tr

(Alınış/Received: 15.05.2023, Kabul/Accepted: 29.05.2023, Yayınlama/Published: 31.07.2023)

Öz: Bu makalede demiryolu makas üretiminde kullanılan raylara uygulanan 500 °C ön ısıtma ve presleme işleminin malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kullanılan ray R260 60E1 olup, aynı şarj numarasına sahip monoblok bir raydan numune olarak, 3 eşit ray parçası alınmıştır. Bu ray parçalarının ikisine 500 °C ön ısıtmalı presleme işlemi uygulanırken, diğer ray parçasına ise ön ısıtma ve presleme işlemi uygulanmamıştır. Ray parçalarından alınan test numunelerine çekme testi, % uzama testi, sertlik testi ve kimyasal kompozisyon testi uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları birbiri içerisinde malzeme sınır değerleri dikkate alınarak incelenmiştir. 500 °C ön ısıtmalı presleme işlemi uygulanan raylardan alınan numunelerden elde edilen test sonuçları incelendiğinde, malzemenin mekanik ve kimyasal değerlerinin sınır değerlerinin içinde kaldığı gözlenmiş, sonuçta makas üretiminde bu tür bir ısıl işlem uygulanması, üretimin kolaylaşması açısından yararlı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Demiryolu makası, Ray ön ısıtma, Presleme, Mekanik ve kimyasal özellikler

The Effect of 500 °C Preheating and Bending Processes applied to the Rails on the Mechanical and Chemical Properties of the Rail for the Production of Railway Turnouts

Abstract: The change in the mechanical and chemical properties of the materials after the 500 °C preheated bending process applied to the rails in the production of railway turnouts was investigated in this paper. A rail profile of R260 quality 60E1 was used, three equal lengths of rail sample were used, taken from a monoblock rail with the same charge number. Two of the rail sample were 500 °C preheated and bending process was applied. Third sample has bending process without preheated condition. Tensile test, % elongation test, hardness test and chemical composition test were applied to the all test samples taken from the rail parts. When the test results obtained from the samples taken from the rails, which were subjected to 500 °C preheated pressing process, were examined, it was observed that the mechanical and chemical values of the material remained within the limit values. As a result, applying such a heat treatment during turnout production was found usefull in terms of easier process.

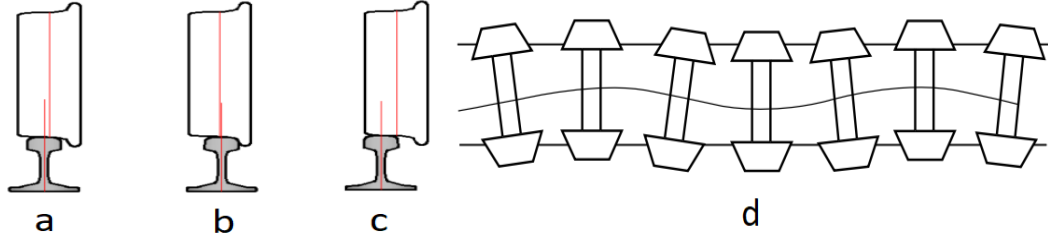
Keywords: Railway turnouts, Rail preheating, Pressing, Mechanical and Chemical properties

1. Giriş

Raylı ulaşım sistemleri Tekerlek – Ray etkileşimi nedeniyle çalışan “izli sistemler” olarak tanımlanırlar. Raylı taşıt dingilleri, bir mile preslenerek geçirilmiş iki tekerlek ve bir milden oluşur ve “tekerlek takımı” adını alır. Tekerlekler de yüzeyindeki “boden” isimli flanşları sayesinde ray üzerinde kılavuzlama sağlarlar. Bu yapıya ilaveten kurlarda iç ve dış tekerleklerin farklı yol alma mesafelerini telafi etmek için, tekerlek yuvarlanma yüzeylerinde 1/25 – 1/40 değerleri arasında değişen koniklik vardır. Bu sayede kurlarda kaymadan dönüş sağlanır.

Atıf için/Cite as: M.E. Akay, U.E. Bingöl, A. Rıdvanoğulları, “Demiryolu makası imalatında ön ısıtma ve presleme işlemlerinin rayın mekanik ve kimyasal özelliklerine etkisi,” *Demiryolu Mühendisliği*, no. 18, pp. 73-85, July 2023. doi: 10.47072/demiryolu.1297318

Kılavuzlanmış tekerlek hareketinin, taşıtın düz hat üzerinde (aliymanda) veya kurbli bölgelerde seyrine göre farklı şartları Şekil 1. a, b, c’de gösterilmiştir. Diğer yandan konik tekerleklerin bir dingile preslenmesiyle oluşan “rijit tekerlek takımının” seyr esnasında dingilde küçük “kinematik osilasyonlar” doğurduğu, Klingel tarafından 1883 yılındaki çalışmasında “sinüs hareketi” olarak tanımlanmıştır [1]. Tekerlek bodeni sinüs hareketi etkisiyle, Şekil 1. d’de gösterildiği gibi dar kurplarda raya tırmanmaya çalışır ve “demiryolu aracında devirici etki” yapar. Bu sinüs dalgası hareketi hem boden hem de taşıtın süspansiyon sistemi tarafından önlenir.



Şekil 1. Tekerleğin farklı seyr şartlarında yuvarlanma yüzeyleri; a) aliymanda, b) kurb dışı yüksek rayda, c) kurb içi alçak rayda [2], d) Raylı taşıt tekerlek takımının sinüs hareketi [3]

Bütün bu etkilerin en aza indirgenmesi için, rayın traverse sağlam bir şekilde tespit edilerek, balast tabakası üzerine oturtulması gereklidir. Rayları traverse tespit edilmesinde kullanılan ray klips sistemlerinden iki örnek Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Vidalamalı elastik bağlantı türleri; a) Vossloh, b) Nabla [4]

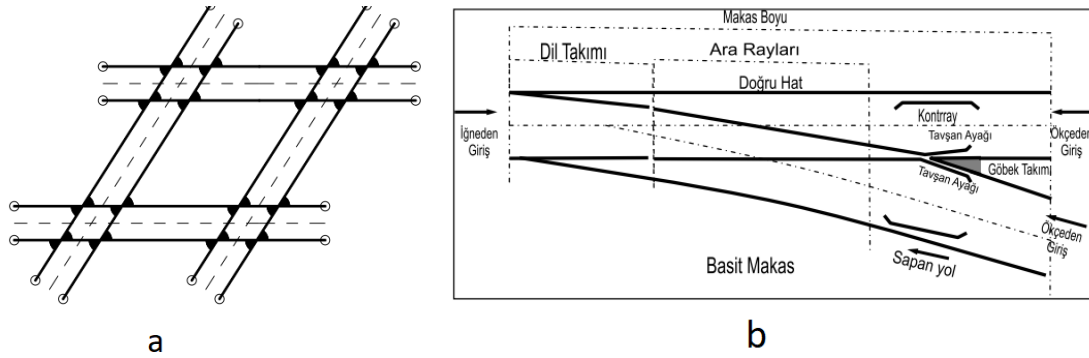
1.1. Raylar, makaslar ve geçiş sistemleri

Demiryolu makasları raylı ulaşım sistemlerinin önemli bileşenlerinden birisi olarak, raylı araçların bir yoldan diğer bir yola geçmesinin sağlayan mekanizmalarıdır. Demiryolu makasları tasarım ve yapım doğası gereği karmaşık sistemlerdir. Bu yüzden makaslar yüksek kaliteli yapım ve bakım gerektirirler [5]. Makasların yapısında, demiryolu rayları ve onları taşıyıcı makas traversler bulunur. Bu mekanizmaların temel bağlantı elemanları; tirfon, selet, gergi kısıkaçı, bulonlar ve somun gibi malzemelerden oluşurken, bu mekanizmalarda emniyetli yön değişimi için kilitleme sistemleri de kullanılmaktadır [6].

Demiryollarında bir hattan başka bir yola geçiş sabit kruvazmanlar ve kontrollü makaslar ile yapılır. Makas kontrolleri manuel (toplu makas) veya TSİ kumanda merkezinden kontrollü motorlu makas türünde olmaktadır.

Kruvazman kesişme noktalarındaki açılar 90° veya farklı değerde ayarlanır (Şekil 3. a). Raylı taşıtlar bu kesişme noktalarından trafik kontrol noktasının denetiminde ve yavaş seyirle geçerler. Makaslar ise türlerine göre; basit, S tipi, İngiliz ve çapraz takımı gibi isimlerle anılırlar. [7].

Basit bir makas, Şekil 3. b’de gösterildiği gibi; dil takımı, göbek takımı ve bunları birleştiren ara raylardan oluşur. Makasların doğru yol rayı ile sapan yol rayının birbirini kestiği noktaya “makas göbeği” denir.



Şekil 3. a) Kruvazman, b) Makas sisteminin elemanları [7]

Makas göbekleri raydan veya manganlı çelikten dökülerek yapılmaktadır. Bu çalışmada R260 kalitede 60E1 raylı 1/9 eğime sahip 190 metre kurp yarıçaplı bir makasa ait, presleme öncesi ön ısıtma gerektiren tavşan ayakları kullanılmıştır.



Şekil 4. Demiryolu makası tavşan ayakları; a) Makas göbeğinde tavşan ayaklarının pozisyonu, b) Tavşan ayaklarının pres bölgelerinin gösterilmesi [6]

Dünya genelinde tercih edilen konvansiyonel demiryolu hatlarındaki demiryolu makaslarında ağırlıklı olarak UIC 60E1 ve UIC 49E1 tipi raylar kullanılmaktadır. Kruvazman ve demiryolu makaslarının üretimi sırasında bazı rayların kurp yarıçapı ve imalat gereklilikleri için kalıcı şekil değişikliklerine uğraması gerekmektedir. Bu şekil değişikliği açının ve kurbun şiddetine göre sıcak (ön ısıtmalı) ve soğuk olarak yapılmaktadır [6].

Makasların üretiminde, makas tipi ve kullanım alanı, kullanım hızı, eğim, makas açısı, dingil yükü ve kurp yarıçapı önemli girdilerdir. Ray üretim akış basamaklarına göre, bu girdiler bir araya getirilerek, tasarlanan makaslar üretime alınır. Makas üretimi aşağıdaki sırayla yapılır:

- ~ Raylar proje boylarına göre kesilir.
- ~ Takoz, dayama sacı ve cebire bileşenleri için ray boyunlarına delik delinir.
- ~ Daha sonra, rayların emniyetli geçiş için yapışma yüzeyleri CNC tezgâhlarda işlenir,
- ~ Makas kurp yarıçapına göre raylar preslenir.

Bu işlemleri takiben raylar, diğer bağlantı elemanları ve traversler ile montajlanıp, makas yapısını kazanırlar. Kurp yarıçapına göre presleme işleminin şiddeti, yarıçap büyüklüğüne ve ray boyuna göre değişiklik gösterir ve presleme işleminin ön ısıtmalı ya da ön ısıtmasız olacağını belirler. Bu makede, ön ısıtmalı pres işleminin rayın mekanik ve kimyasal özelliklerine etkisi incelenecektir.

1.2. Rayların kimyasal ve mekanik özellikleri

Demiryolu raylarının imalatında hipötektoid veya periötektoid perlitik çelikler kullanılır. Uygun ürün şekli için döküm, plastik işleme veya ısıl işlem prosesleri kullanılırken, istenilen profilin ve gerekli mekanik özelliklerin elde edilmesi gerekir. Bu amaçla Avrupa standardı EN 13674-1, dokuz çelik sınıfı ayırt eder; haddelemeden sonra da beş sınıf ray (R200, R220, R260, R260Mn, R320Cr) ve ısıl işlem görmüş dört sınıf ray (R350HT, R350LHT, R370CrHT), ve R400HT şeklinde kullanılmaktadır. Sertlikleri de demiryolu işletmecisinin talebine göre 200 ila 400 HBW arasında geniş ölçüde değişebilmektedir.

R260 kalitesindeki rayların üretimi sırasında fabrikada optik emisyon spektrometresi ile yapılan kimyasal kontroller sonucu bileşimi aşağıdaki gibi olmalıdır [6].

~ Karbon (C)	% C	: 0,60 – 0,80
~ Mangan (Mn)	% Mn	: 0,80 – 1,30
~ Silisyum (Si)	% Si	: 0,10 – 0,50
~ Kükürt (S)	% S	: max. 0,04
~ Fosfor (P)	% P	: max. 0,04

1.3. Literatür araştırması

Bu alanda daha önce aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır:

Tunçay ve Yıldız bildirimlerinde, R260 kalite haddelenmiş ray çeliği imalatının, çeliğinin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada; mikro yapı incelemeleri, optik mikroskop ve tarama elektron mikroskobu görüntüleri, sertlik testi ve çekme testi yapılmıştır. Optik ve tarama elektron mikroskobu görüntülerinde, haddeleme operasyonu esnasında, Ferrit tane boyutunun küçüldüğü, tandem ve bitirme (finish) haddelemesini takiben, Perlitli oluşturan Sementit fazlarının düzenlendiği görülmüş, Sementit faz arası mesafe azalırken, R260 ray çeliğinin çekme özelliklerinin de iyileştiği belirlenmiştir. Tane boyutunun azalmasıyla, makro sertlik, maksimum çekme, akma dayanımı ve % uzama değeri artarken, kırılmış yüzey incelemelerinde, küresel yapı FeO bileşiği yoğun ve homojen olarak dağılmıştır [5].

Kuchuk – Yatsenko et al. çalışmalarında bir ara ek parçası kullanarak makas göbeğinin alın kaynağıyla üretiminin doku analizi yapmışlardır. Kaynaklı makas göbeği üretiminde, niyobyum veya titanyum alaşımlı, kimyasal bileşimi %0,6 C, %17,5 Cr ve %9,5 Ni şeklinde olan östenitik parça, makas göbeği için kaynaklı olarak kullanılmıştır. İlk önce, ray östenitik ek parçaya kaynaklanırken, ek yeri hava soğutmalı olarak 350-100 °C sıcaklıkta 2-5 saat difüzyon tavına tabi tutulur, sonra döküm manganez çekirdek ile kaynaklanmaktadır. Yapılan inceleme sonucunda, ısıl işlemsiz kaynaklı makas göbekleri üretilebileceği ve metalografik incelemeleri ile mangan çeliği ve östenitik ek parçanın kaynaklı eklemenin tehlikeli yapılar olmadığı ve östenitik ek parçanın ray çeliği ile sağlıklı birleştiğini tespit etmişlerdir [8].

Dhar doktora tezinde demiryolu makası ve kruvazman üretiminde kullanılan manganlı çeliklerin mikroyapılarını ve yorulma davranışlarını araştırmıştır. Çalışmada demiryolu makas bölgesinden hizmet dışına çıkarılan parçalar; optik mikroskopi, elektron mikroskobu ve mikro sertlik profilleri dâhil olmak üzere kapsamlı metalografik incelemelerle test edilmiş, yorulma çatlağı ağlarının üç boyutlu haritalanmasında X-ışını tomografisi kullanılmıştır. Testler sonucunda Mangan göbekli ray çeliklerinin çatlak morfolojisinin, perlitik ray çeliklere benzer olduğunu gözlenirken, aşınmış makas göbeklerindeki çatlak yayılmasının taneler arasında olduğu ve göbek rayı yüzeyinden 15 mm derinliklerde de büyük kalıntı gerilmeler olduğu tespit etmiştir [9].

Bąkowski and Piwnik çalışmalarında raylarda kullanılan UIC 860 standardını karşılayan ve aynı kimyasal bileşimdeki Perlitik çeliklerin ısıtılı ve ısıtılmamış durumlarda mekanik özelliklerini test etmişlerdir. Isıtılı işlem sayesinde perlitin morfolojisinde farklılıklar görüldüğü, özellikle de perlitik çeliklerin mekanik özellikleri üzerinde etkili olan sertlik değeri ile lameller arasındaki mesafe değişmektedir. Lamel arası mesafe ısıtılmamış çelikte 0,4 µm iken, ısıtılı işlem sonucunda bu değerin 0,1 µm değerine değiştiğini saptamışlardır [10].

Rıdvanoğulları et al. ray ve makas üretiminde kullanılan S49 ray çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla; üç adet numune tel erozyon yöntemi ile kesilmiş, üç nokta eğme testi yapılmış, mikroyapı analizleri de taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Sonra da S49 ray çeliğinin kimyasal bileşimini enerji dağılım spektrometresi (EDS) ile öğrenilmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için sertlik testi ve üç nokta eğme testi yapılmıştır. Sonuçta, içyapıda, martenzit bloklar halinde serpiştirilmiş sementit tanelerine rastlanmış, elmas koni uçlu, 10 kgf ön yük ve 150 kgf toplam yükü ölçülen makro sertlik değerlerinin HRC 24,76 olarak ölçülmüş, üç nokta eğme testi ölçümünün ortalaması 1776 MPa olarak hesaplanmıştır. S49 ray çeliği malzemesinin kırılan yüzeyden sonra kırılma eğilimi görülmüş ve kırık yüzey EDS analizi sonucunda numunenin içyapısında Fe, Mn ve C elementlerinin pik noktaları tespit edilmiştir [11].

Shtayger et. al. çalışmalarında yakma alın kaynağı ile elde edilen ray birleştirmelerde hem statik eğilme testleri uygulanmış, hem de bu kısımların işletme şartları sonrasında yüzeyleri kırılarak incelenmiştir. Kırılma yüzeyinin mikro yapısının ve kimyasal heterojenliğinin analizi, bir taramalı elektron mikroskobu JEOL JIB-Z4500 yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda, ana yapısal kusurların, kaynaklı bağlantılardaki varlığı kabul edilemeyen zayıf penetrasyonu ifade eden demir-mangan silikatlarının inklüzyonları bulunduğunu göstermiştir. Bu durum kaynaklı bağlantıların mekanik testlerinde kabul edilemez bir durumdur [12].

Hajizad et. al. beynitik demiryolu raylarının mikroyapılarının mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Beynitik çeliklerin mekanik dayanımını tespit için, çekme testi ve sertlik ölçümleri, mikro yapının mekanik davranış üzerindeki etkisinin karakterizasyonu için ışık optik mikroskopi (LOM), taramalı elektron mikroskobu gibi farklı mikroskopi teknikleri (SEM) ve elektron geri saçılım kırınımı (EBSD) kullanılmıştır. Uygulanan izotermal beynitik ısıtılı işlemin beynitik kalitelerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılması amacıyla B360, B1400 plus, Cr-Bainitik ve R350HT rayı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, bünyesinde karbürsüz beynitik çeliğin (B360), beynitik ferrit ve östenit çeliklerden daha iyi mekanik dayanım gösterdiğini tespit edilmiştir [13].

Bozkurt deneysel çalışmasında, rayın mekanik özelliklerinin mantar kısmından tabanına doğru değiştiği için R260 rayının mantar, gövde ve taban bölümlerinin tribolojik özellikleri açısından araştırmasını yapmıştır. R260 rayının farklı bölümlerini mikro yapısal, sertlik, tribolojik ve aşınma direnci özellikleri açısından değerlendirmiştir. Disk üzerinde bilye aşınma testlerinden elde edilen sonuçlarına göre, beklendiği gibi en yüksek aşınma direnci R260 rayının mantar kısmında tespit etmiştir. Sonuç olarak R260 rayının mantar, gövde ve taban kısımlarının sürtünme katsayılarını sırasıyla 0,39, 0,35 ve 0,38 olarak tespit etmiştir [14].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ön ısıtılı pres işleminin rayın kimyasal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda R260 kalitede UIC 60E1 ray ele alınarak, EN 13674-1 standardında tanımlanan R260 kalitedeki raya ait mekanik ve kimyasal özelliklerdeki değişimler incelenmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Aynı şarj numarasına sahip monoblok bir raydan 1 metre uzunluğunda 3 adet parça çıkarılmıştır. Bu raylardan 2 parça ray 500 °C ön ısıtma uygulanarak preslenmiş ve pres bölgelerinden numune alınmıştır. Bir numuneye ısıl işlem uygulanmadan, şekillendirme yapılmıştır. Bu sıcaklık derecesi makas üretiminde tecrübeyle bulunan bir değer olup, bunun altındaki derecelerde rayda çatlak oluşmakta, üstündeki sıcaklıklarda ise preslemede ray formu bozulmaktadır. 3 parça raydan alınan numunelere; çekme testi, uzama testi, sertlik testi, kimyasal kompozisyon testi uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları sertlik değerleri ve birbiri ile kıyaslanarak yorumlanmıştır. Yapılan çalışmada 1 numaralı numuneye(N1) ön ısıtma ve preslenme işlemi uygulanmamış olup 2 ve 3 numaralı(N2-N3) numunelere ise 500 °C ön ısıtma ve presleme işlemleri uygulanmıştır. Numune 2 ve 3 birebir aynı parametrelere maruz bırakılmış raylardır.

2.1. Raylara uygulanan ön ısıtma ve presleme işlemleri

Numuneler aynı şarj numarasına sahip monoblok bir raydan 1 metre uzunluğunda ve 3 adet olarak belirlenmiştir. Bu raylardan bir tanesine ön ısıtma ve pres işlemi uygulanmazken (N1), kalan 2 adet parça raya, merkez noktasından 500 °C ön ısıtma uygulanarak preslenmiştir (N2-N3). Presleme işlemlerinde BAKKER 2000 Ray presleme tezgâhı kullanılmıştır. Bu tezgâhın kenarlarında iki adet sabit çene, ortasında ise 200 mm itme kapasiteli hareketli çene bulunmaktadır. Raylar prese alınmadan hemen önce oksijen-asetilen üfleciyle ısıtılmıştır. Isıtılan raylar pres tezgahına yerleştirilerek, sabit çene rayın tam ortasında kalacak şekilde preslenmiştir. Rayların ısıtılma ve presleme işlemleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



a



b

Şekil 5. Uygulanan ön ısıtma ve pres işlemi a) Ön ısıtma İşlemi, b) Pres işlemi [6]

Ön ısıtmayla raylar merkezden 30 mm itilerek, şekillendirilmiş ve rayda oluşan deplasman miktarı da kalibrasyonlu kumpas ve çelik cetvel yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 6).



a

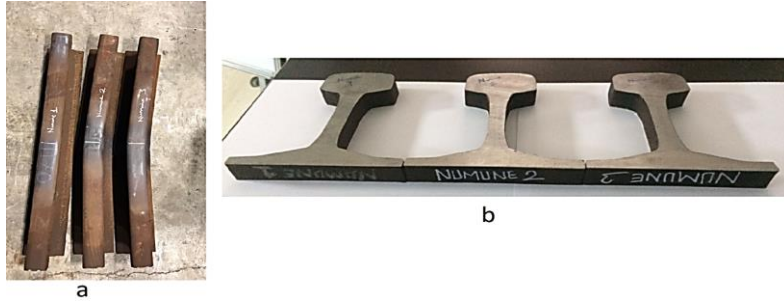


b

Şekil 6. Presleme sonrası ölçü kontrolü; a) Preslenen raylar, b) Ölçü kontrolü [5]

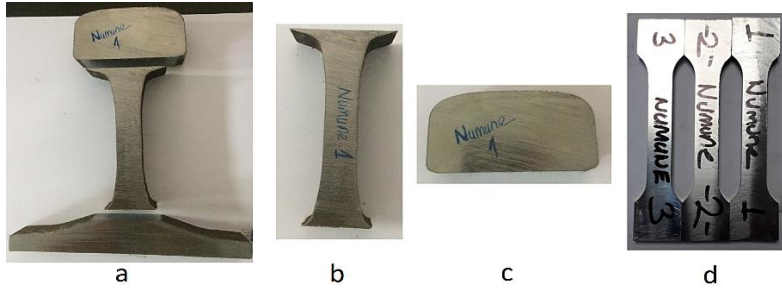
Ön ısıtma ve pres işlemine maruz bırakılmayan ray numune 1(N1) olarak adlandırılmıştır. 500 °C ön ısıtma işlemine ve pres işlemine maruz bırakılan diğer iki ray ise sırası ile numune 2(N2) ve numune 3(N3) olarak adlandırılmıştır (Şekil 7. a). 1 no'lu numunenin merkezinden, 2 ve 3 no'lu numunelerinde, pres merkezlerinden Bekamak marka şerit testere kullanılarak 25 mm genişliğinde kesitler alınmıştır (Şekil 7. b).

Şerit testereyle üretilen numune kesitleri, kimyasal kompozisyon testi, sertlik testi ve mekanik testler için ray mantarı ve ray boynu olmak üzere parçalara ayrılmıştır (Şekil 8. a, b, c).



Şekil 7. a) Numunelerin adlandırılması, b) Numune kesitleri [5]

Kimyasal kompozisyon testi ve sertlik testi ray mantarı üzerine istenen yüzey kalitesi sağlandıktan sonra direkt olarak uygulanırken, çekme mukavemeti ve uzama testi ise, ray mantarından talaşlı imalat ile alınan papyon numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 8. d).



Şekil 8. Numune kesitlerinin parçalara ayrılmış hali, a) Rayın kısımlara ayrılması, b) Rayın boyun kısmı, c) Rayın mantar kısmı, d) Rayın mantarından alınan çekme numuneleri [5]

2.2. Raylara uygulanan testler

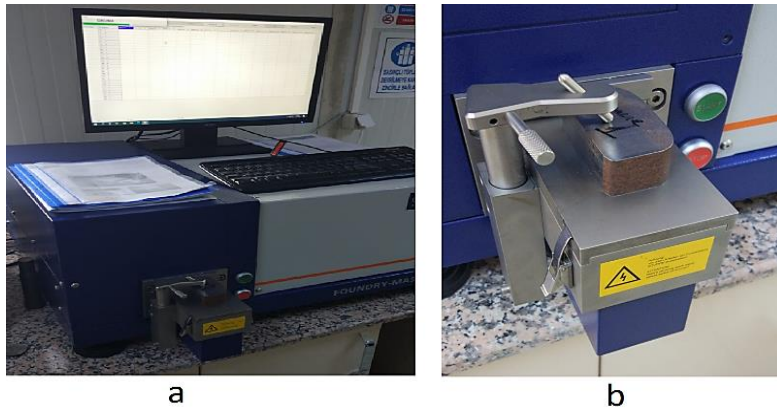
Raylara; kimyasal kompozisyon testi, sertlik testi ve çekme-uzama testi olmak üzere üç farklı test uygulanmıştır. Ray mantarına uygulanacak bu testler için ilk olarak Şekil 9'da gösterilen Struers LaboPol-5 tezgâhında, deney numunelerine zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır. Bu işlemle şerit testere ile kesilen raya ait pürüzlü yüzeylerin teste uygun hale getirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 9. Struers LaboPol-5 Zımparalama ve parlatma cihazı [5]

Kullanılan zımparalama ve parlatma makinasında 50 – 500 dev/dk hıza sahip bir dönen tabla bulunmaktadır. Bu tablaya “değiştirilebilir zımpara kâğıtları” takılarak, numune yüzeyi kimyasal kompozisyon testine ve sertlik testine uygun hale getirilmiştir. Bu işlemi takiben numuneler, 30 elementin hassas ölçümünü yapabilen Foundry Master Smart optik emisyon spektrometresinde analiz edilmiştir. Bu cihaz, numune bileşiminde bulunan elementlerin argon gazı ile yakılması ile edilen emisyonu optik sistemi sayesinde dalga boylarına ayırmakta, her elementin dalga boyu farklı olduğundan optik sistem içerisinde bulunan dedektör, her dalga boyu için ışığın yoğunluğunu ölçmektedir.

Kimyasal kompozisyon testi Şekil 10’da gösterilen Foundry Master Smart optik emisyon spektrometresi ile yapılmıştır. Test ile 500 °C ön ısıtmalı ve presleme yapılmayan 1 numaralı numune ile, ısıtma ve presleme parametrelerine maruz kalan 2 ve 3 numaralı numuneler sırasıyla optik emisyon spektrometresinde analiz edilmiştir.



Şekil 10. Optik Emisyon Spektrometresi; a) Spektrometre dış görünümü ve deneye hazırlık b) Spektrometreye numunenin bağlanması ve deney aşaması [5]

Yüzeylerin bir tarafına kimyasal kompozisyon testi yapılırken, diğer yüzeyleri de sertlik testinde kullanılmıştır. Ray numuneleri Emcotest Durajet sertlik ölçüm cihazında incelenmiştir (Şekil 11). 1 – 250 kg arasında değişen yüklerle cihazın hareketli yük uygulama bileşeninin numune üzerinde bıraktığı yük izinin çapı otomatik olarak ölçülerek, numunelerin sertlik değerleri elde edilmiştir.



Şekil 11. Emcotest Durajet sertlik ölçüm cihazı; a) Sertlik ölçüm cihazı dış görünüşü b) Numunelerin sertliğinin ölçülmesi [5]

Çekme ve % Uzama Testi ,500 °C ön ısıtma ve pres işlemine maruz kalmayan raydan alınan numune 1 ile ısıtma ve presleme parametrelerine maruz kalan numune 2 ve numune 3’e ait papyon numunelerin presleme merkezinden alınmıştır. Numunelerin çekme testi ve % uzama testi sonuçları, 600 kN test kuvvetine sahip Zwick Roell Z600E test cihazında incelenmiştir.

3. Deneysel Bulgular ve Sonuçlar

Deneysel çalışmalar kapsamında; kimyasal kompozisyon testi, sertlik testi, çekme mukavemeti ve % uzama testleri uygulanmıştır.

3.1. Kimyasal kompozisyon testi

Analiz sırasında numunelere 6 – 9 adet yakma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları yakma bölgelerine göre numunelerin kendi içerisinde ve birbiri arasında incelenmiştir. Test sonrası numunelerin son biçimleri Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. Analiz sonrası numunelerin görünüşü [5]

Numunelerin alındığı raya ait 3.1 sertifika değerleri ve uygulanan parametrelere göre elde edilen analiz değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin kimyasal kompozisyon değerleri [5]

	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni	% Cu	% Al
Sertifika	0,730	1,08	0,31	0,017	0,009	0,040	0,015	0,030	0,030
Numune 1	0,736	1,06	0,34	0,012	0,006	0,034	0,036	0,022	0,029
Numune 2	0,717	1,04	0,34	0,015	0,005	0,034	0,037	0,023	0,029
Numune 3	0,712	1,03	0,35	0,016	0,006	0,035	0,036	0,024	0,029

Sertifika değerleri ile ön ısıtma ve presleme işlemi uygulanmayan numune 1’den alınan test sonuçlarında benzerlik vardır. Ön ısıtma ve presleme işlemi yapılan numune 2 ve 3’ten alınan test sonuçlarına sertifika değerleriyle karşılaştırıldığında, % C miktarında 0,024 ve % Mn miktarında da 0,03 oranında azalmalar görülmüştür [6]

3.2. Sertlik testi

Numunelerin Brinell sertlik değerleri, ray mantarının 5 farklı bölgesinden ölçülerek Tablo 2’de gösterilmiş olup numuneler üzerindeki yük izleri de Şekil 13’te gösterilmiştir.

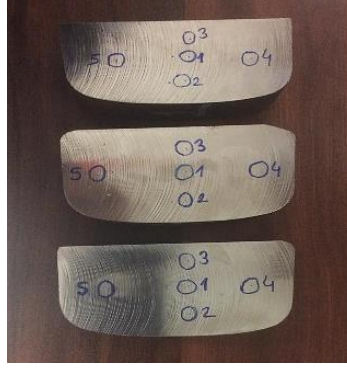
Tablo 2. Numunelerin ölçülen Brinell (HBN) sertlik değerleri [6]

	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm 5	Ortalama
Numune1	285	298	292	298	278	290
Numune2	298	292	292	298	292	294,4
Numune3	285	278	292	285	285	285

Numunelerden ölçülen sertlik değerlerinin 260 – 300 HBN arasında görülmesi, sertliklerin malzeme sınır değerleri içinde olduğu göstermektedir. Aynı numunedan alınan 5 farklı ölçümü takiben ortalama sertlik değerleri arasındaki değişim ± 5 HBN olarak bulunmuştur [6].

3.3. Çekme mukavemeti ve % uzama testi

Standartlara göre 60E1 R260 kalitedeki bir rayın çekme mukavemeti minimum 880 MPa, % uzama değeri ise, minimum %10 olmalıdır. Ön ısıtma ve pres işlemine maruz kalmayan 1 numaralı numunenin çekme mukavemeti 990 MPa iken, ön ısıtma ve pres işlem uygulanan 2 ve 3 numaralı numunelerin çekme mukavemeti yaklaşık %2 artarak, 1.007 MPa ve 1.002 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 13. Numuneler üzerindeki yük izleri [6]

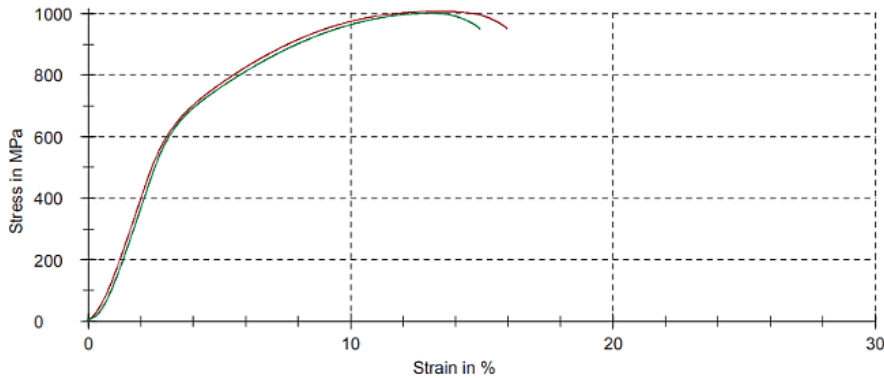
Numunelere ait % uzama değerleri ise, minimum %10 sınırının üzerinde ölçülmüş olup, %2'ye varan kayıplar tespit edilmiştir [6].

Numunelerin alındığı raya ait sertifika değerleri ve uygulanan parametrelere göre elde edilen analiz değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin çekme ve % uzama değerleri [6]

	Çekme Kuvveti (MPa)	Uzama (%)
Ray Sertifika Değeri	994	12,8
Numune 1	990	11,8
Numune 2	1.007	11,3
Numune 3	1.002	10,2

2 ve 3 numaralı numunelere ait çekme testi grafikleri Şekil 14'te gösterilmiştir. N1 standart R260 çeliği olduğundan, deney yapılmayarak, grafikte gösterilmemiştir.



Şekil 14. Numune 2 ve numune 3 çekme deneyi grafikleri [6]

4. Sonuçlar ve Öneriler

4.1. Sonuçlar

Demiryollarının en önemli bileşenlerinden olan demiryolu makaslarının üretimi sırasında raylara uygulanan 500 °C ön ısıtma ve 1 metrede 30 mm itme kuvvetinin rayların mekanik ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi bu makalede incelenmiştir. Çalışmada R260 kalitedeki 60E1 ray kullanılmıştır. 500 °C ön ısıtma ve 1 metrede 30 mm itme kuvvetine maruz kalan ray numunelerin 2 ve 3 numaralı numune olarak adlandırıldığı, hiçbir işleme maruz kalmayan ray numunesinin ise, 1 numaralı numune olarak adlandırıldığı bu çalışmada, kullanılan raya ait 3.1 sertifikası dikkate alınmıştır. Üretici firmaların 3.1 sertifikası verebilmesi için, kendi bünyesinde yeterlilik belgesine ve kalibrasyonlu test cihazlarına sahip laboratuvarının olması ve en az bir yetkilisinin olması gerekmektedir. Parametrelere maruz kalan demiryolu rayları EN 13674-1 standardında belirtilen sınır değerlerine göre incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda;

- ~ Optik emisyon spektrometresi test sonuçlarına göre, ön ısıtmalı pres işlemi uygulanan raylardan alınan test numunelerinin kimyasal kompozisyondaki karbon ve mangan değerinin %2 oranında azaldığı tespit edilmiştir.
- ~ Ön ısıtma ve pres işlemi uygulanan rayların test numunelerinin test sonuçlarına göre çekme mukavemeti değerleri %1,7 artarak 1.007 MPa ve %1,2 oranında artarak 1.002 MPa olarak ölçülmüştür.
- ~ Ön ısıtma ve presleme işlemi sonrasında % uzama değerlerinde ön ısıtma ve presleme işlemi sonrasında %2'ye varan kayıplar tespit edilmiştir.
- ~ Sertlik deneyleri sonuçlarında bütün ölçümler 278 – 298 HBN aralığındadır.

4.2. Tartışma ve Öneriler

Test sonuçlarının ışığında aşağıdaki hususlar tartışılmıştır:

Sertlik deneyleri sonuçlarının 278-298 HBN arasında ve ortalamalarının 285-294,4 HBN aralığında çıkması, Tekerlek-Ray etkileşimi sonuçlarının araştırılmasını gündeme getirmektedir. TS EN 13262 + A2 “Demiryolu uygulamaları - Tekerlek takımları ve bojiler - Tekerlekler - Mamul özellikleri” standardında belirtilen “İspit sertlik karakteristikleri” ER6 - ER9 tipi tekerlekler için kategori 1 ve 2 olarak sertlik değerleri vermektedir. Sertlikler kategori 1 için 245 HBN iken, kategori 2’de 225-255 HBN arasında değişmektedir. TCDD’nin hat yenilemesi yapılan bölgelerinde, son 5-7 yılda demiryolu tren işletmecilerince (DTİ), hem yük ve hem de yolcu vagonlarında gözlemlenen “yoğun ve hızlı tekerlek aşınması” durumu sektörel bir sorundur.

Yapılan öneriler şunlardır:

- ~ Tekerlek-Ray etkileşiminin sertlik değerleri bağlamında araştırılması, TCDD’nin ray spesifikasyonları ile TÜRASAŞ’ın tekerlek teknik şartnamelerinin yeniden gözden geçirilmesinde fayda vardır.
- ~ Presleme öncesi yapılan ön ısıtma işleminin 500 °C değerinin altında ve üstündeki küçük değer farklarıyla nasıl etki yapacağı sonraki araştırmalarda incelenmeli, bu şartlarda mikroyapı görüntüleri elde edilmelidir.
- ~ Ön ısıtma ile elde edilen yüzeyler SEM mikroskobu ile incelenerek, ön ısıtma ve preslemenin malzeme mikro yapısı üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- ~ Demiryolu rayları ile demiryolu taşıt tekerlekleri arasındaki sertlik farkının değişiminin aşınma üzerindeki etkilerinin incelenmesi yararlı olacaktır.

Kaynakça

- [1] M. Antali, G. Stepan, & S.J. Hogan, “Kinematic oscillations of railway wheelsets,” *Multibody Syst Dyn* 34, 259–274, 2015
- [2] K. Tzanakakis, *The railway track and its long term behaviour - a handbook for a railway track of high quality*. Springer-Verlag, Berlin- Heidelberg, 2013
- [3] C. Esveld, *Modern railway track*. Digital Edition, MRT Productions, Zaltbommel- The Netherlands, 2014
- [4] Ş. Günoral, *Demiryolu hatlarının döşenmesi (poz)*. Karabük Üniversitesi Yayını, Karabük, 2019
- [5] T. Tunçay ve M. Yıldız, “R260 ray çeliğinin haddeleme operasyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi,” *ISERSE’18, IV. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu*, Karabük, 2018
- [6] U. Emre Bingöl, “Demiryolu makaslarının üretiminde raylara uygulanan 500 °C ön ısıtma ve pres işleminin rayın mekanik ve kimyasal özelliklerine etkisi,” *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2022
- [7] Anonim, *Makaslar, Raylı Sistemler Teknolojisi Alanı*, MEB Yayınları, Ankara, 2014.
- [8] S. I. Kuchuk-Yatsenko, Yu V. Shvets, E. A. Dumchev V. I. Shvets, Ya I. Mikitin, S. D. Taranenko, N. N. Nikitina, “Flash-but welding of railway frogs with rail ends using an intermediate insert,” *The Paton Welding Journal*, International Association Welding, Kiev, Ukraine, 2005
- [9] S. Dhar, “Microstructure and fatigue properties of railway steels for switches and crossings,” Ph.D., Technical University of Denmark, Denmark, 2019
- [10] H. Bąkowski and J. Piwnik, “Quantitative and qualitative comparison of tribological properties of railway rails with and without heat treatment,” *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 61, iss. 2A, pp. 469-474, 2016, doi: 10.1515/amm-2016-0037
- [11] A. Rıdvanogulları, T. Çetin, M. Akkaş, “Experimental investigation of the mechanical and microstructure properties of S49 rail steel,” *European Journal of Technique*, vol. 11, no.1, pp. 43-46, 2021, doi: doi.org/10.17694/ejt.812142
- [12] M. G. Shtayger et al., “Investigation of macro and micro structures of compounds of high-strength rails implemented by contact butt welding using burning-off,” *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* vol. 560, 012190, June 2019, doi: 10.1088/1757-899X/560/1/012190
- [13] O. Hajizad, et al., “Influence of microstructure on mechanical properties of bainitic steels in railway applications,” *Metals*, vol. 9, iss. 7, pp. 778-797, July 2019, doi:10.3390/met9070778
- [14] F. Bozkurt, “Investigation of tribological properties of head, web and foot sections of R260 rail,” *Railway Engineering*, no. 17, pp. 107-114, Jan. 2023, doi: 10.47072/demiryolu.1166068

Özgeçmiş**Mehmet Emin AKAY**

1952 yılında İzmir’de doğmuştur. Gazi Üniversitesi Otomotiv Eğitimi Bölümünde 1975’te lisans, 1996’da yüksek lisans ve Kırıkkale Üniversitesinde 2005’te doktora eğitimini tamamlamıştır. 1987 – 2009 arası Kırıkkale Üniversitesinde öğretim görevlisi, 2009 – 2011 arası Bartın Üniversitesinde, 2011 – 2015 yılları arasında Kırıkkale Üniversitesinde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yaptı. Uzmanlık alanları; İçten Yanmalı Motorlar ve Taşıtlar, Yakıtlar, Yanma ve Emisyon Kontrolü, Raylı Taşıt Tekniği ve Demiryolu İşletmeciliği olarak sıralanabilir. Yazarın ulusal ve uluslararası olmak üzere çok sayıda yayını vardır. 2015 yılından bu yana KBÜ Raylı Sistemler Mühendisliğinde Program Başkanı olarak görev yapmaktadır.

E-Posta: eminakay@karabuk.edu.tr

Umut Emre BİNGÖL

1991 yılında Karabük’te doğmuştur. İlk, orta ve lise öğretimini aynı ilde tamamladı. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde 2013 lisans, Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde 2022 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2015 yılından bu yana MZA Demiryolu Makas Fabrikasında Üretim Müdürü olarak görev almaktadır.

E-Posta: uebingol@gmail.com

**Anıl RIDVANOĞULLARI**

1992 tarihinde Hatay’da doğmuştur. Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği Programında 2016 lisans, 2018 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2016 – 2019 yılları arasında aynı programda yarı zamanlı öğretim elemanı olarak görev yaptı. Yazarın demiryolu araç bileşenleri ve demiryolu hat yapısıyla ilgili ulusal ve uluslararası olmak üzere yayınları mevcuttur. 2019 yılından bu yana Muş Alparslan Üniversitesi Raylı Sistemler Yol Teknolojisi Programında Program Başkanı olarak görev almaktadır.

E-Posta: a.ridvanogullari@alparslan.edu.tr

**Beyanlar:**

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Yazar katkıları belirtilmemiştir.