



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



R260 ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki davranışının EMI yöntemi ile incelenmesi

Investigation of the R260 rail steel behavior at varying temperatures by EMI method

Yazar(lar) (Author(s)): Mesut TEKKALMAZ¹, Gökhan HAYDARLAR², Ümit ER³

ORCID¹: 0000-0003-3781-0384

ORCID²: 0000-0001-7430-8145

ORCID³: 0000-0001-7447-504X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tekkalmaz M., Haydarlar G. ve Er Ü., “R260 ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki davranışının EMI yöntemi ile incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 955-960, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.463956

R260 Ray Çeliğinin Değişen Sıcaklıklardaki Davranışının EMI Yöntemi ile İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mesut TEKKALMAZ, Gökhan HAYDARLAR*, Ümit ER

Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 26.09.2018 ; Kabul/Accepted : 04.01.2019)

ÖZ

Yapısal sağlık izleme (SHM)'de son yıllarda Elektromekanik Empedans (EMI) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde yapısal sağlığı denetlenen yapıya kurşun-zirkonat-titanat (PZT) seramik sensör yaması eklenir. Empedans analizör kullanılarak empedans ve admittans karakteristikleri ölçülür. Bu ölçümler yapısal sağlığın değerlendirilmesinde referans karakteristiğini oluşturur. Bu karakteristiklerin yapıda hata, kusur vb. olmadığı sürece değişmemesi beklenir. Ancak değişen çevresel koşullar ve sıcaklık dalgalanmaları gibi bazı durumlarda bu karakteristiklerin değiştiği bilinmektedir. Eğer sıcaklık etkisi dikkate alınmazsa, yapıda hata, kusur vb. olmadığı halde varmış gibi yanlış yorumlamalara yol açar. Raylar sürekli olarak değişen çevresel koşullara maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, R260 ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki davranışı EMI yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, sıcaklık azaldıkça frekans ve genliğin değiştiği gözlenmiştir. Bu değişim hasar metrikleri kullanılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: EMI yöntemi, sıcaklık etkisi, ray.

Investigation of the R260 Rail Steel Behavior at Varying Temperatures by EMI Method

ABSTRACT

In recent years, Electromechanical Impedance (EMI) method has been widely used in structural health monitoring (SHM). In this method, lead zirconate titanate (PZT) ceramic sensor patch is added to the structure to be monitored for structural health. Impedance and admittance characteristics are measured using an impedance analyzer, which forms the reference characteristic in the evaluation of structural health. It is expected that these characteristics will not change as long as there is no change in the structure. However, it is known that these characteristics change in some situations, such as exposure to external environmental conditions and temperature fluctuations. If the effect of temperature is not taken into account, it leads to misinterpretations as if there were faults in the structure. Rails are exposed to changing environmental conditions continuously. In this study, the behavior of the R260 rail steel at varying temperatures is investigated using the EMI method. As a result of the experimental studies, it has been observed that frequency and amplitude change with decreasing temperature. This change has been interpreted using damage metrics.

Keywords: EMI method, temperature effect, rail.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapısal sağlık izleme (SHM); hasarın oluşmasından sonra hasarın tespitini, konumunu, büyüklüğünü ve yapının kalan ömrünü belirlemek için belirli stratejilerin uygulandığı bir süreçtir. SHM ile yapısal sistemin veya bileşenlerinin değişen yüklemeye ve/veya çevresel şartlarda tepkisi sürekli olarak ölçülür. SHM genellikle

Uygun bakım; bir yapının ömrünü uzatır ve ciddi arızaları önler. Yüksek işletme yükleri, tasarımların karmaşıklığının artması, değişen çevresel şartlar ve yapıların ömrünün uzun olması SHM'nin gerekliliği ve önemini arttırmıştır. Ülkelerin ekonomileri ulaşım altyapılarına (köprü, karayolu, demiryolu vb.) bağlıdır. Taşıma altyapısının optimum seviyede performans göstermemesi, ülkenin gayri safi yurtiçi hasılasını etkiler. Sürekli yüklenmenin ve çevrenin etkisinden dolayı yapıların mukavemeti azalır. Bu mukavemet

azalmasından dolayı yapının performansının yeterli olup olmadığı değerlendirilmelidir. Yapısal güç belirli bir eşik seviyesinin altına düşerse, ani bir arıza meydana gelebilir. Bu durum kazaya neden olabilir ve yapının kullanılabilirliğini etkiler. Yapıdaki değişimin erken tespit edilmesi çok önemlidir. Yapıda meydana gelen değişim zamanında tespit edilemezse yapının güvenliği için ciddi sonuçlar doğurabilir. Yapının mukavemetini etkileyen çeşitli durumlar söz konusudur. Bu durumlara maruz kalan yapının güvenliğinin güvence altına alınması gerekmektedir. Eğer yapılar düzenli veya sürekli olarak izlenirse yapının davranışı daha iyi anlaşılır. Bu da tasarım iyileştirme çalışmalarına katkı sağlar. Uygun SHM yöntemleri ile telafisi mümkün olmayan durumlar azaltılabilir ve böylece ülkelerin ekonomisinin gelişmesine katkı sağlanabilir. Yapı işlevini yerine getiremez duruma gelmeden önce meydana gelen hasar veya çatlaklar erken safhalarda belirlenirse uygun önlemler alınabilir. Köprülerin, yüksek binaların ve diğer önemli yapıların çöküşü, tren

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ghaydarlar@ogu.edu.tr

raylarından kaynaklanan kazalar ve hava araçlarında meydana gelen kazalar ülkenin ekonomik büyümesini engellemekte ve aynı zamanda insan kaynaklarının kaybedilmesine neden olmaktadır. Yapılar belirli bir ömür için tasarlanmıştır ve bu süre zarfında yapının düzgün bir şekilde işlevini yerine getirdiği varsayılmaktadır. Uygun SHM yöntemleri sayesinde yapının ömrünün uzatılması sağlanarak büyük tasarruflar yapılması mümkündür. SHM ile yapının performansı güvence altına alınabilir [3].

Elektromekanik empedans (EMI) tekniği, SHM için nispeten yeni bir tekniktir. EMI tekniğinde, piezoelektrik seramik sensör yaması, yüksek mukavemetli epoksi yapıştırıcı kullanarak sağlığı denetlenecek yapıya eklenir veya gömülür. Yamanın empedans karakteristiği, yüksek frekans aralığında (30-400 kHz) elde edilir. Bu karakteristik, yapısal sağlığın değerlendirilmesinde referans oluşturmaktadır. Herhangi bir zamanda yapının sağlığı değerlendirilmek istendiğinde, empedans karakteristiği tekrar elde edilir ve referans karakteristiği ile karşılaştırılır. Bağlanmış sensör yamasının karakteristiği, genellikle ticari olarak temin edilebilen empedans analizör vasıtasıyla elde edilir. Empedans analizör, önceden belirlenmiş frekans aralığı üzerinden bağlı / gömülü PZT dönüştürücüye 0,5/1 Voltluk bir alternatif voltaj sinyali uygular. Kararlı durum akımının büyüklüğü ve fazı, hiçbir dönüşüm yapmaya gerek olmadan doğrudan empedansın gerçek ve sanal kısmı şeklinde kaydedilir [3].

Literatürde SHM ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Siebel ve Lilov karbon fiber ile güçlendirilmiş plastik panellere (500mmx500mmx5mm) farklı boyutlarda kurşun-zirkonat-titanat (PZT) yamalar ekleyerek değişen sıcaklıklar için (-50°C ile 100°C) sıcaklık telafi algoritması maksimum kovaryans (CC) kullanarak hasarlı durum ve sıcaklık etkisini ayırt etmeye odaklanmışlardır. 50 kHz'e kadar aktif yüzey alanı büyük olan PZT yamalarda sıcaklık duyarlılığının daha yüksek olduğu, yüksek kusur hassasiyeti için düşük frekans bandının tercih edildiği ve büyük PZT yamaların kusur hassasiyetinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır [4].

Baptista vd. yapısal sağlık izlemede elektromekanik empedans sinyalleri üzerinde sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Alüminyum numuneler kullanılarak 25°C ile 102°C aralığında empedans sinyalleri elde ettikten sonra frekans ve genlikteki değişimi deneysel olarak analiz etmişlerdir. Sıcaklık etkisini telafi etmek için frekans aralığı seçiminin önemli olduğunu, sağlığı izlenen yapıda yanlış tespitlerden kaçınmak için yeterli dar frekans bandı seçilmesi zorunluluğunu vurgulamışlardır [5].

Zou vd. fonksiyon üretici ve osiloskop yardımıyla gömülü PZT yamaları kullanarak mermer bloğunun farklı frekanslarda (1, 10, 100 ve 1000 Hz) harmonik sinyal girdisiyle değişen sıcaklıklarda (30, 40, 50, 60, 70 ve 80°C) algılanan sinyallerin genliğini incelemişlerdir. Düşük frekanslı sinyallerin sıcaklık değişimine karşı

daha hassas olduğu ve sıcaklık etkisinin telafi edilmesinin zorunlu olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6].

Wandowski vd. karbon fiber ile güçlendirilmiş polimerlerin hasarlı ve hasarsız durumları için sıcaklık değişiminin elektromekanik empedansın gerçek kısmı (rezistans) üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sıcaklık değişiminin rezistans sinyallerinde frekans değişimine neden olduğunu inceledikleri tüm numunelerde gözlemlemişlerdir. Hasarlı yapının değişen sıcaklıklarda tespiti için çapraz korelasyon değişimi (CCD) değerlerini sıcaklık etkisini telafi ederek ve etmeyerek hesaplamışlardır [7].

Xu vd. yüzeye yapılandırılan piezoelektrik sensör ve yapı üzerinde sıcaklığın etkisini düşünerek admittansı tahmin etmek için spektral eleman metodu önermişlerdir. Artan sıcaklıkla admittans piklerinin sola kaydığını ve genliğin azaldığını gözlemlemişlerdir [8].

Haider vd. dairesel piezoelektrik sensörün değişen sıcaklıklarda (50°C-250°C) empedans ve admittansının sıcaklığa bağlı fonksiyonunu üretmişlerdir. Sensörün malzeme özelliklerindeki bozulmanın sıcaklığa bağlı etkisini, analitik model ve deneysel sonuçların karşılaştırılmasıyla belirlenebileceği sonucuna ulaşmışlardır [9].

Empedans karakteristiklerinin yapıda kusur olmadığı sürece aynı kalması beklenir. Ancak değişen ortam sıcaklıklarına maruz kalan yapılarda bu karakteristikler değişir. Sıcaklık etkisi dikkate alınmazsa, yapıda kusur olmadığı halde varmış gibi yanlış yorumlamalara sebep olur. Yanlış tespitleri önlemek için sıcaklık etkisinin telafi edilmesi zorunludur [3].

Ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki davranışının tespit edilmesi önemlidir. Literatürde gerçek boyutlu ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki davranışını EMI yöntemi kullanarak inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki davranışı EMI yöntemi kullanılarak incelenmiştir ve korelasyon katsayısı sapması (CCDM) hasar metriği kullanılarak sıcaklık etkisi telafi edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde deneysel yöntem ve hasar metrikleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Son bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEM ve HASAR METRİKLERİ (EXPERIMENTAL METHOD and DAMAGE METRICS)

2.1 Deneysel Yöntem (Experimental method)

10 mm çapında ve 0,5 mm kalınlığındaki PIC255 ürün kodlu piezoelektrik sensör, PI Ceramic firmasından temin edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda R260 ray çeliği kullanılmıştır. Bu ray çeliği hızlı tren demiryolu hatları üst yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır ve hattın yapımını gerçekleştiren firmadan temin edilmiştir. Çizelge 1'de R260 ray çeliğinin kimyasal bileşimi için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 1. R260 ray çeliğinin kimyasal bileşimi (Chemical composition of R260 rail steel)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	V	Co	Ti
0,71	0,28	1,052	0,015	0,032	0,04	0,004	0,013	0,001	0,021	0,001	0,002	0,0017

İlk olarak ray çeliğine piezoelektrik sensörün kurulum işlemi literatürdeki prosedürlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ray çeliği yağ temizleyici ile temizlendikten sonra sensörün yapıştırılacağı yer işaretleyici kullanılarak belirlenmiş ve nötralizasyon işlemi uygulanmıştır. Sonra yüzey gazlı bezle silinerek kurutulmuştur. Sensörün yapıştırılacağı yere ince kaplama şeklinde katalist sıvısı damlatılmış ve kuruması için yeterli süre (yaklaşık 1,5 dakika) beklenmiştir. Yapıştırıcı damlası sensöre eklendikten sonra daha önceden konumu belirlenen yere hizalanmıştır. Piezoelektrik sensör ve ray çeliği arasında düzgün yapışmayı sağlamak için yeterli basınç uygulanmış ve yaklaşık 1 dakika kadar beklenmiştir. Yeterli yapışmanın sağlanması için oda sıcaklığında numuneler 24 saat bekletilmiştir [10-11]. Daha sonra piezoelektrik sensöre bakır kablo lehimlenmiştir. Şekil 1’de piezoelektrik sensör kurulum kiti gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Piezoelektrik sensör kurulum kiti [10] (Piezoelectric sensor installation kit)

Şekil 2’de piezoelektrik sensör eklenmiş ray çeliği gösterilmiştir.

**Şekil 2.** Piezoelektrik sensör eklenmiş ray (Piezoelectric sensor attached to the rail steel)

Empedans ölçümü için ölçüm uçlarından biri sensöre lehimlenmiş olan bakır kabloya, diğeri ise numuneye tutturulmalıdır. Rayın kalınlığının fazla olmasından dolayı ölçüm ucu doğrudan ray çeliğine tutturulamamıştır. Bu sorun, bakır kablonun ray çeliğine mıknatıs yardımıyla sabitlenmesinden sonra (Şekil 3), ölçüm ucunun bakır kabloya tutturulması sayesinde çözülmüştür.

**Şekil 3.** Mıknatıs yardımıyla kablonun ray çeliğine eklenmesi (Attaching the cable to the rail steel using a magnet)

Sonraki adımda ray çeliğinin oda sıcaklığındaki empedans ölçümleri Keysight E4990A model empedans analizör kullanılarak 40-75 kHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Şekil 4’de gösterildiği gibi 49-50 kHz frekans aralığına odaklanılmıştır. Empedansın gerçek kısmı, sensör eklenmiş numunenin titreşim spektrumunu yansıtır. Bu yüzden ölçümlerde empedansın gerçek kısmına odaklanılmıştır.

**Şekil 4.** Ray çeliğinin oda sıcaklığındaki deneysel ölçümü (Experimental measurement of rail steel at room temperature)

Oda sıcaklığındaki ölçüm tamamlandıktan sonra, ray çeliği ARCTIKO LFE140 model laboratuvar tipi soğutucu içine bırakılmıştır. Soğutucu sırasıyla -10°C ve

-25°C'ye set edilmiş ve ray çeliğinin istenen sıcaklığa gelmesi için 2 gün beklenmiştir. Ray çeliği hedeflenen sıcaklıklara ulaştıktan sonra empedans ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2.2 Hasar Metrikleri (Damage Metrics)

Hasar metrik değerleri, hasar indeksini gösteren skaler bir değerdir. Bu değer iki empedans spektrumunun işlenmesi sonucu ortaya çıkan farkı ifade eder. Bugüne kadar, empedans spektrumlarını karşılaştırmak ve hasar varlığını değerlendirmek için birçok hasar metriği kullanılmıştır. Bunlar arasında en çok kullanılan metrikler; ortalama kareler sapmasının karekökü (RMSD), ortalama mutlak yüzde sapma (MAPD), kovaryans (CC) ve korelasyon katsayısı sapmasıdır (CCDM). Bu metriklerin matematiksel ifadeleri Eşitlik 1-4 arasında gösterilmiştir [11].

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_N [Re(Z_i) - Re(Z_i^0)]^2}{\sum_N [Re(Z_i^0)]^2}} \quad (1)$$

$$MAPD = \frac{1}{N} \sum_N \left| \frac{Re(Z_i) - Re(Z_i^0)}{Re(Z_i^0)} \right| \quad (2)$$

$$CCDM = 1 - \frac{\sum_N [Re(Z_i) - \overline{Re(Z)}][Re(Z_i^0) - \overline{Re(Z^0)}]}{\sqrt{\sum_N [Re(Z_i) - \overline{Re(Z)}]^2 \sum_N [Re(Z_i^0) - \overline{Re(Z^0)}]^2}} \quad (3)$$

$$CC = 1 - CCDM \quad (4)$$

N örneklem nokta sayısını, üst olarak 0 yapının bozulmamış halini (referans halini), Z değerleri empedans değerlerini, \bar{Z} ve \bar{Z}^0 empedans değerlerinin ortalamalarını göstermektedir. Eşitlik 1-4'de skaler değerler üretilir. Bu değerler karşılaştırılan spektrum değerleri arasındaki ilişkileri ifade eder. Eşitlik 1-4'de girdi empedans spektrumlarının bir ön işleme ihtiyacı yoktur. Cihazdan ölçüm sonucu elde edilen veri doğrudan hasar metriklerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Öte yandan rezonans tepe değerlerinde frekans kaymalarının istatistiksel hasar indeksleri üzerine etkisi belirgin olmayabilir. Bu durumda doğru frekans bandının seçilmesi büyük önem taşır. Genellikle rezonans tepelerinin yoğun olduğu frekans bantlarının istatistiksel hasar indekslerinin hesaplanmasında kullanılması tavsiye edilir [11].

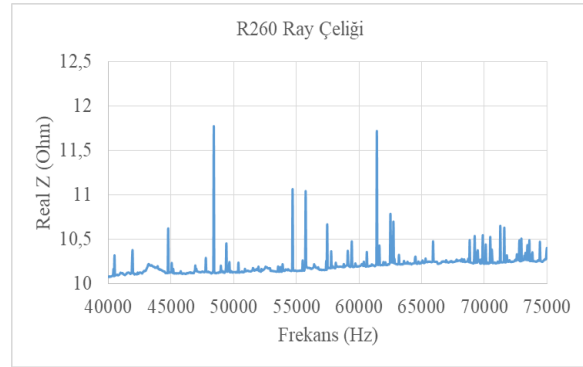
Efektif frekans kaydırma yöntemi sıcaklığın etkisini telafi etmek için basit bir yöntemdir ve çeşitli koşullar altında çok çeşitli yapılara uygulanabilir. Sıcaklık değişimine bağlı olarak elde edilen empedansı referans empedans ile kıyaslayarak minimum CCDM indeksi, maksimum korelasyon katsayısı elde edilene kadar (ideal olanı 1'dir) döngü oluşturularak frekans kaydırma işlemi gerçekleştirilir [12].

Bu çalışmada empedans grafiğinde sıcaklığın düşüşü sağa doğru kayma meydana getirirken bu durumu telafi

etmek için maksimum korelasyon katsayısı elde edilene kadar eğriler sola doğru kaydırılmıştır. Efektif frekans kaydırma yöntemi uygulanmıştır ve CCDM metriğine göre sıcaklık etkisi telafi işlemi gerçekleştirilmiştir. Hasar metrikleri olarak RMSD, MAPD ve CCDM kullanılmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

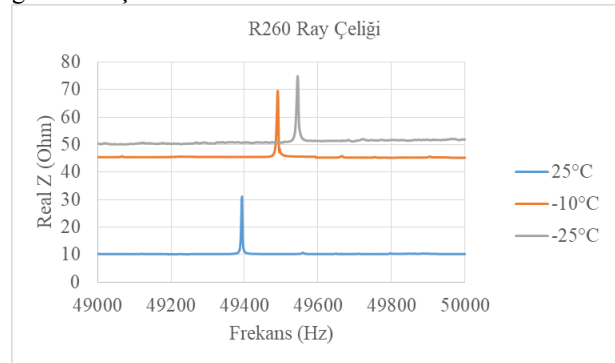
Ray çeliğinin empedans ölçümü ilk olarak 40-75 kHz frekans aralığında, 1000 adımda gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'de elde edilen sonuç gösterilmiştir.



Çizelge 2. Efektif frekans kaydırma yöntemi ile elde edilen frekans kayma miktarları (Hz) (The frequency shifts obtained by the effective frequency shift method)

-10°C	-25°C
97,09710	151,15115

Şekil 5'de en yüksek gerçek empedans değerlerinin 49-50 kHz frekans aralığında olduğu açıkça görülmektedir. Bu yüzden oda sıcaklığı ve diğer sıcaklıklar için deneyler 49-50 kHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da değişen sıcaklıklar için elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 6. Ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki empedans ölçüm sonuçları (Impedance measurement results for the rail steel at varying temperatures)

Şekil 6'da görüldüğü gibi, sıcaklık düştükçe frekans sağa doğru kaymakta ve gerçek empedans değerleri de artmaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalarda sıcaklık arttıkça frekansın sola kaydığı ve gerçek empedans

değerlerinin azaldığı gözlenmiştir [7-9]. Yapılan bu çalışmada da, sıcaklığın azalması ile aynı eğilim gözlenmiştir. Bu değişim oda sıcaklığındaki referans ölçümle karşılaştırılmış ve hasar metrikleri kullanılarak değişim yorumlanmıştır.

3.1. Hasar metrikleri açısından deneysel sonuçlar (Experimental results in terms of damage metrics)

Efektif frekans kaydırma yöntemiyle elde edilen frekans kayma miktarları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2’de açıkça görüldüğü gibi, sıcaklık düştükçe frekans kayma miktarı artmıştır.

Ray çeliğinin sıcaklık etkisi telafi edilmemiş hasar metrik değerleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Sıcaklık etkisi telafi edilmemiş hasar metrik değerleri (Temperature effect uncompensated damage metrics)

	-10°C	-25°C
RMSD	3,41000	3,95000
MAPD	3,43000	3,98000
CCDM	1,00947	1,01803

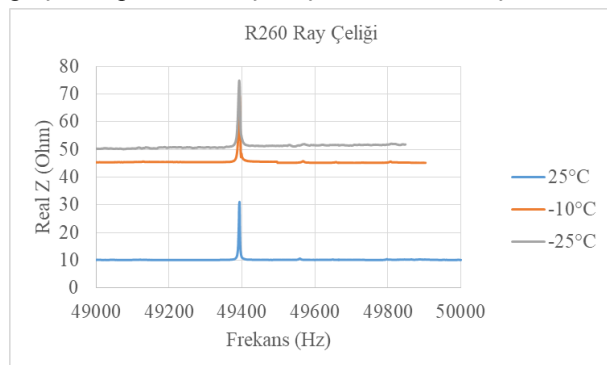
Sıcaklık azaldıkça hasar metrik değerlerinin arttığı Çizelge 3’de açıkça görülmektedir.

Efektif frekans kaydırma yöntemiyle elde edilen hasar metrik değerleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Sıcaklık etkisi telafi edilmiş hasar metrik değerleri (Damage metric values where effect of temperature is compensated)

	-10°C	-25°C
RMSD	3,25000	3,67000
MAPD	3,19000	3,53000
CCDM	0,86559	0,89744

Hasar metrik değerlerinin sıcaklık etkisinin telafi edilmesi sonucunda azaldığı Çizelge 3 ve 4’de açıkça görülmektedir. Ray çeliğinin sıcaklık etkisi telafi edilmiş gerçek empedans sonuçları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Sıcaklık etkisi telafi edilmiş gerçek empedans sonuçları (Temperature effect compensated real impedance results)

Elde edilen maksimum gerçek empedans değeri yaklaşık 74,90 Ohm civarındadır. Elde edilen rezonans frekansı ise yaklaşık 49392 Hz civarındadır.

Tüm sonuçlar incelendiğinde sıcaklık azalışı ile beraber gerçek empedans grafikleri sağa doğru kaymıştır. Sıcaklık değişimi arttıkça frekans kayma miktarı artmıştır. Bu grafikler sola doğru kaydırılarak sıcaklık etkisi telafi edilmiştir. Sıcaklık etkisi telafi edildikten sonra, hasar metrikleri değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Sıcaklık azalışı ile beraber gerçek empedans değerleri artmıştır. Bu kapsamda sonuçların literatürdeki çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür [5,7,8,9,13,14].

4. SONUÇ ve ÖNERİLER (RESULT and SUGGESTIONS)

Piezoelektrik sensörler yapılara eklenerek yapının sağlığının eş zamanlı olarak izlenmesini sağlarlar. Sıcaklığın piezoelektrik malzeme özelliklerini değiştirdiği bilinmektedir. Sıcaklık etkisi dikkate alınmazsa yapıda hata, kusur olmadığı halde varmış gibi yanlış yorumlamalara yol açabilir.

Bu çalışmada ray çeliğinin değişen sıcaklıklardaki davranışı EMI yöntemi kullanılarak incelenmiştir. -10°C ve -25°C’deki empedansın gerçek kısmındaki değişimler oda sıcaklığındaki ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır. Sıcaklık düştükçe frekansın sağa kaydığı ve gerçek empedans değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu değişim CCDM hasar metriği kullanılarak telafi edilmiştir. Bu sayede rayda kusur olmadığı, değişimin sıcaklık etkisinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık düşüşü ile birlikte hasar metrik değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Daha sonraki çalışmalarda sıcaklık aralığı daha geniş seçilerek çalışmalar yapılabilir. Ayrıca daha küçük ve büyük numuneler için deneyler tekrar edilerek boyut etkisi değerlendirilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 201715A119 nolu proje olarak desteklenmiştir.

REFERANSLAR (REFERENCES)

- [1] Aktan A. E., Helmicki A. J. and Hunt V. J., “Issues in health monitoring for intelligent infrastructure”, *Smart Materials and Structures*, 7(5): 674-692, (1998).
- [2] Doebling S. W., Farrar C. R. and Prime, M. B., “A summary review of vibration-based damage identification methods”, *The Shock and Vibration Digest*, 30(2): 91-105, (1998).
- [3] Shankar R., “An integrated approach for structural health monitoring”, *PhD thesis*, Indian Institute of Technology Delhi, (2009).

- [4] Siebel, T. and Lilov, M., “Experimental investigation on improving electromechanical impedance based damage detection by temperature compensation”, *Key Engineering Materials*, 569: 1132-1139, (2013).
- [5] Baptista F. G., Budoya D. E., De Almeida V. A. and Ulson J. A., “An experimental study on the effect of temperature on piezoelectric sensors for impedance-based structural health monitoring”, *Sensors (Basel)*, 14(1): 1208-1227, (2014).
- [6] Zou, D., Liu, T., Liang, C., Huang, Y., Zhang, F., Du, C., “An experimental investigation on the health monitoring of concrete structures using piezoelectric transducers at various environmental temperatures”, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 26(8): 1028-1034, (2015).
- [7] Wandowski T., Malinowski P. H. and Ostachowicz W. M., 2016, “Delamination detection in CFRP panels using EMI method with temperature compensation”, *Composite Structures*, 151: 99-107, (2016).
- [8] Xu G., Xu B., Xu C. and Luo Y., “Temperature effects in the analysis of electromechanical impedance by using spectral element method”, *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 12(1): 119-132, (2016).
- [9] Haider M. F., Giurgiutiu V., Lin B. and Yu L., “Irreversibility effects in piezoelectric wafer active sensors after exposure to high temperature”, *Smart Materials and Structures*, 26(9): 095019, (2017).
- [10] <http://www.vishaypg.com>, “Vishay Micro Measurements”, (2013).
- [11] Giurgiutiu V., “Structural health monitoring with piezoelectric wafer active sensors”, Second Edition, *Elsevier*, U.S.A., (2014).
- [12] Rabelo, D.S., Steffen, V., Neto, R.M.F. and Lacerda, H.B., “Impedance-based structural health monitoring and statistical method for threshold-level determination applied to 2024-T3 aluminum panels under varying temperature”, *Structural Health Monitoring*, 16(4): 365-381, (2017).
- [13] Sepehry, N., Shamsirsaz, M. and Bastani, A., “Experimental and theoretical analysis in impedance-based structural health monitoring with varying temperature”, *Structural Health Monitoring*, 10(6): 573-585, (2010).
- [14] Sepehry, N., Shamsirsaz, M. and Abdollahi, F., “Temperature variation effect compensation in impedance-based structural health monitoring using neural networks”, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 22(17): 1975-1982, (2011).