



## SKL-21 Tipi Gergi Kıskaçlarının Deneysel Hasar Analizi

Ali MOTAMENİ<sup>1</sup>, Ömer Can FARUKOĞLU<sup>2</sup>, Rıza GÜRBÜZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

\*ali.motameni@raymaklab.com

(Alınış/Received: 06.09.2023, Kabul/Accepted: 13.10.2023, Yayımlama/Published: 31.01.2024)

**Öz:** Bu araştırmanın amacı demiryolu hatlarında kullanılan bağlantı elemanlarından biri olan SKL-21 gergi kıskaçlarının hasar analizinin deneysel olarak tespitidir. Çalışmada kullanılan kıskaçlar aynı şehir içi metro hattından 4 adetlik bir örnektir. Kıskaçların kırılma sebeplerini anlamak için numuneler üzerinden çeşitli ölçümler alınmıştır. Kıskaçlar öncelikle gözle muayene edilmiş ve daha sonra taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelemeye alınmıştır. Mikroyapı incelemeleri ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) analizleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerden Vickers sertlik ölçümleri alınmıştır. Yapılan hasar analizi kapsamında, kırılmanın oluşumunda iki farklı mekanizma görülmüştür. İlk duruma göre kıskaçlar hatalı montajdan dolayı ray tabanına göre normalden daha düşük bir pozisyonda kalmıştır. Bu durum; tren ray üzerinden geçerken aşırı deplasmana sebep olmakta ve tren rayın üzerinden geçerken kıskaçların zarar görmesi ile sonuçlanmaktadır. İkinci durum ise bazı bağlantı noktalarında kırılan kıskaçların karşısındaki kıskaçların yeterli torkla monte edilmemesidir; bu da kıskaçların aşırı yüklenerek kırılmasına neden olur.

**Anahtar kelimeler:** SKL-21 gergi kısıkaçı, Hasar analizi, Demiryolu bağlantı sistemi

### Experimental Failure Analysis of SKL-21 Type Tension Clamps

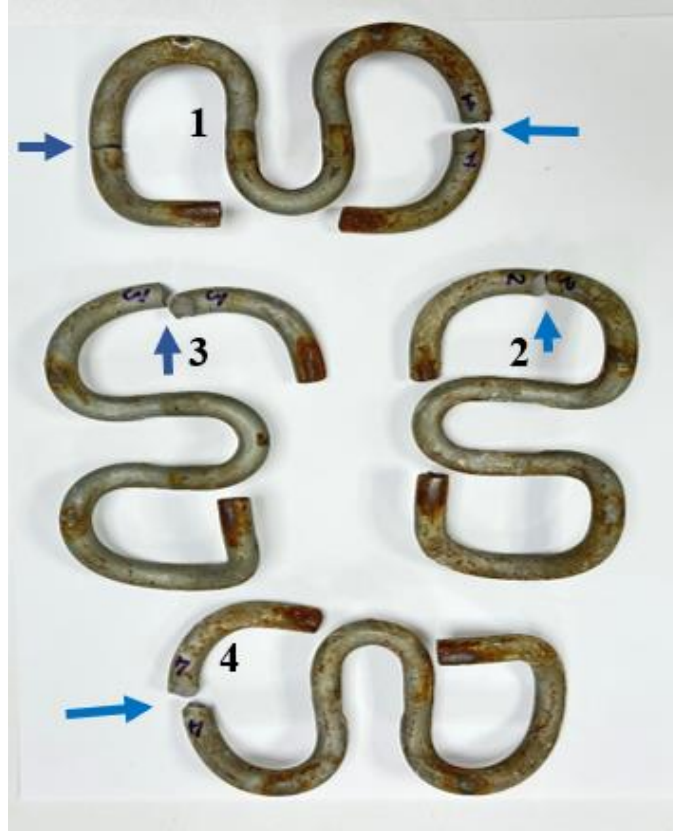
**Abstract:** The aim of this research is to experimentally determine the failure of SKL-21 tension clamps, one of the fasteners used in railway lines. The clamps used in the study are a sample of 4 from the same urban metro line. Various measurements were taken from the samples to understand the reasons for the fracture of the clamps. The clamps were first visually inspected and then examined by scanning electron microscopy (SEM). Microstructure examinations and energy dispersive spectroscopy (EDS) analyses were performed. Additionally, Vickers hardness measurements were taken from the samples. Within the scope of the failure analysis, two different mechanisms are observed in the formation of the fracture. According to the first case, the clamps remained in a lower position than the rail base due to incorrect assembly. This situation causes excessive displacement and results in damage to the clamps as the train passes over the rail. The second case is that, at some fastening points, the clamps across the fractured clamps are not assembled with enough torque, which causes fracture by overloading the clamps.

**Keywords:** SKL-21 tension clamp, Failure analysis, Railway fastening system

## 1. Giriş

Demiryolu taşıma sistemleri sektördeki gelişmelerle birlikte hızlı bir ilerleme kaydetmiştir. Özellikle Çin, Japonya gibi Asya ülkelerinde faal olan yüksek hızlı demiryolu sistemleri, toplu taşıma için ayrılan bütçelerde belirgin ekonomik kalemler oluşturmaktadır. Benzer yatırımlar Avrupa kıtasında da karşımıza çıkmaktadır. Bu taşıma sistemlerinde hizmet kalitesini ve hızını arttırmak için ülkelerin ulaştırma bakanlıkları ve muhtelif kurumları faal olarak görev sürdürmektedir. Dolayısıyla, hız ve kalitenin artırılması arzusu aşılması gereken bir takım teknik ve mühendislik sorunlarında beraberinde getirmektedir.

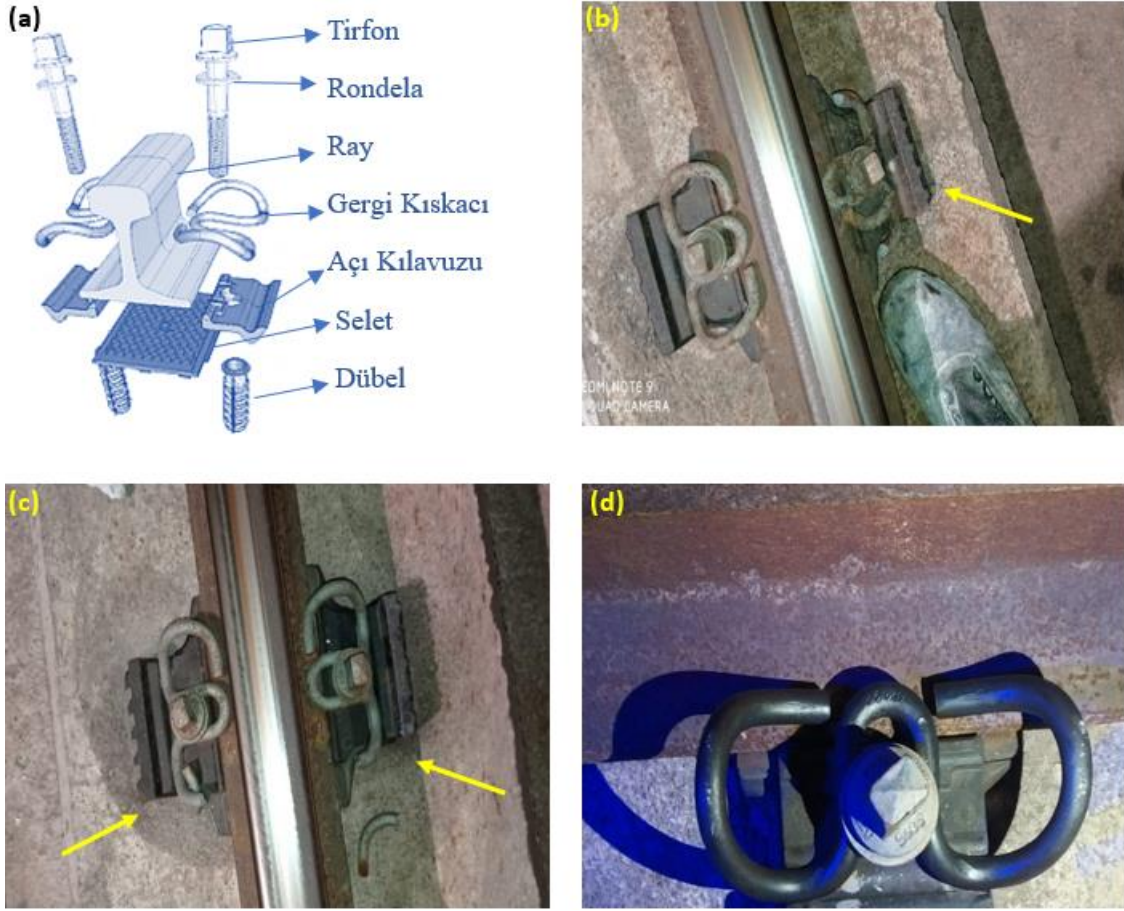
Atıf için/Cite as: A. Motameni, Ö.C. Farukoğlu, R. Gürbüz, "SKL-21 tipi gergi kıskaçlarının deneysel hasar analizi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 19, pp. 56-66, Jan. 2024. doi: 10.47072/demiryolu.1356197



Şekil 1. Hasara uğramış SKL-21 gergi kısıkaçları

Bu çalışmada rayların ve traverslerin birbirine bağlanmasında kullanılan bağlantı elemanlarından biri olan gergi kısıkaçlarında oluşan hasarın sebepleri araştırılmıştır. İşbu analize konu hasar görmüş gergi kısıkaçlarından bir örneklem (4 adet) analiz edilmiştir. Örneklem Şekil 1’de verilmiştir ve her bir hasarlı kısıkaç 1’den 4’e kadar numaralandırılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere kısıkaçlardaki kırılma noktaları oklarla belirtilmiştir. İlk kısıkaç iki yerden kırılırken, diğer kısıkaçlar tek noktadan kırılmıştır. Kısıkaçlar SKL-21 tipidir ve HM tipi ray bağlantılarında kullanılmaktadır. Şekil 2 (a)’da HM tipi ray bağlantı ekipmanları illüstrasyon halinde verilmiştir. Diğer bağlantı tipleri hakkında bilgi edinmek için ayrıca kaynak [1]’e bakılabilir. Şekil 2 (b), (c) ve (d)’de ise kısıkaçları kapsayan saha fotoğrafları sunulmuştur. Kısıkaçların bulunduğu hatta iki tip bağlantı elemanı kullanılmıştır. Bunlar TPS 05 (ray altı pedi rijitlik değeri  $30 \times 10^6$  N/m) ve TPS 08 (ray altı pedi rijitlik değeri  $16 \times 10^6$  N/m) bağlantı malzemeleridir. Bağlantı malzemeleri, tırfonun 200-250 Nm torklanması ile monte edilmektedir. Torklama işlemi sırasında herhangi bir yağlama yapılmamıştır. Yağlama işlemi montaj esnasında aşınmayı ve sürtünmeyi azaltırken aynı zamanda montajlanan parçaların birbiriyle uyum içinde çalışması arttırır. Bazı kesimlerde kırılan kısıkaçların karşısındaki veya öncesindeki veya sonraki kısıkaçların torklarının yeterli sıkılmadığı görülmüştür. Hasarlı parçalar üzerinde yapılan test ve incelemelerin detayları ve sonuçları aşağıda hasar analizi bölümünde alt başlıklar halinde verilmiştir.

Teknik analize geçmeden önce literatürde raporlanmış benzer durumlara değinmek yerinde olacaktır. Bu çalışmaya konu SKL tipi gergi kısıkaçları dışında farklı geometriye sahip kısıkaçlarda demiryollarında kullanılmaktadır. Bu kapsamda, e-tipi kısıkaçlar için verilen kaynaklara göz atılabilir [2-6]. Çalışma [2]’de Çin’de şehir içi metro hatlarında kullanılan e-tipi gergi kısıkaçlarının hasar analizi yapılmıştır. Araştırmada sonlu elemanlar yöntemiyle hem statik hem



Şekil 2. (a) HM tipi bağlantı şekli, (b) Rayın tek tarafından kırılan gergi kısıkaçı, (c) Rayın çift tarafından kırılan gergi kısıkaçı, (d) Montajı sağlam yapılmış gergi kısıkaçı

de dinamik analiz yapılmıştır. Statik analizde lineer olmayan temas teorisi kullanılarak gerilme-gerinim analizleri yapılmıştır. Dinamik analizde ise titreşim modları incelenmiştir. Çalışmada kısıkaçların yanlış montaj, rezonans ve gerilim konsantrasyonları sebebiyle hasara uğradığı belirtilmiştir. Araştırma [3]'te e-tipi kısıkaçlar için yorulma analizi yapılmıştır. Modelin simülasyonunda hem Abaqus hem de Fe-safe programlarından yararlanılmıştır. Bu modeller 12 farklı çalışma koşulu için yapılmıştır. Kaynak [4]'te yine e-tipi bağlantı kısıkaçları için kısıkaçların "tabanına ve ucuna binen yükün kısıkaçın deformasyonu ve yorulma direnci üzerine etkileri incelenmiştir. Sonlu elemanlar metodu, statik yük deneyleri ve yorulma deneyleri ile kısıkaçın deformasyonu ve yorulma direnci değerlendirilmiştir. Referans [5]'te e-tipi ve fast-tipi kısıkaçlar için Fatemi-Socie yorulma kriteriyle birlikte Abaqus programı kullanılarak sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Ayrıca, yorulma davranışını daha derinlemesine anlamak için kısıkaç malzemelerinden ASTM E466 standardına göre tek eksenli yorulma testleri de yapılmıştır. Makale [6]'da ray ondülasyonunun metro ray bağlantı elemanlarının yorulma ve kırılma davranışları üzerindeki etkisinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi yapılmıştır. Hatta kısa ve uzun aralıklı iki farklı ondülasyon gözlemlenmiştir. Ayrıca, hasara uğramış kısıkaçların birçoğunun kısa aralıklı ondülasyonun olduğu bölgelerde görüldüğü ifade edilmiştir. Bahsi geçen çalışmada da e-tipi kısıkaçlar değerlendirilmiştir. Çalışma [7]'de 300-350 km/s yüksek hıza sahip demiryolu hatlarında W1-tipi kısıkaçların hasar analizi yapılmıştır. Araştırmada, kısıkaçların dinamik frekans tepkisi, dinamik gerilimi, yüksek frekansla uyarım (580-680 Hz) gibi konuların hasar mekanizmasına etkisi incelenmiştir. Kaynak [8]'de Güney Kore'de yurtiçi hatlarda kullanılan KR-tipi gergi kısıkaçlarının yapısal davranış ve yorulma performans analizleri yapılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan testlerde sıkma işleminden sonra kısıkaçlarda, özellikle gerilim yoğunlaşması olan bölgelerde tekrar eden tren yükleri sebebiyle akma

mukavemetinin aşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmalar sonlu eleman modelleriyle de desteklenmiştir.

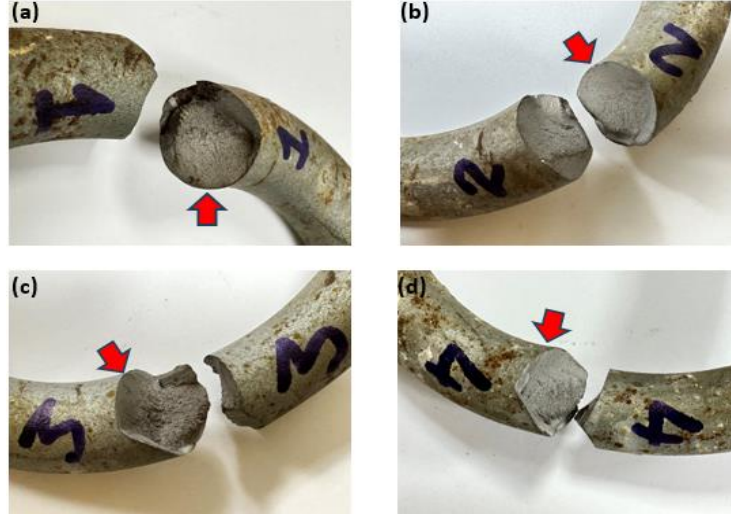
Şu noktaya kadar literatürde bulunan SKL tipi dışındaki farklı geometriye sahip gergi kısıkaçlarına değinilmiştir. Bu kısımda ise SKL tipi gergi kısıkaçlarına odaklanılacaktır. Makale [9]'da SKL-1 tipi kısıkaçlar için hem deneysel hem de sonlu eleman metodu ile yapısal bütünlük analizi yapılmıştır. Bu çalışmada çoğu raporlanan araştırmanın aksine, kısıkaçlardaki hasarın yorulma sebebiyle olmasının oldukça zor bir olasılık olduğu belirtilmiştir. Çalışma [10]'da, Güney Kore'de şehir içi raylı taşımacılık sistemlerinde kullanılan SKL-15 tipi gergi kısıkaçlarında oluşan hasar analizi yapılmıştır. Bu kısıkaçlarda su verilmiş ve temperlenmiş yay çeliğinin üzerindeki dekarbürize tabakanın derinliğinin kırılmaya olan etkisi incelenmiştir. Araştırmada, imalatçı tarafından izin verilen 0.2 mm'lik dekarbürize katman derinliğinin kısıkaçlarda yorulma çatlaklarına sebep olabileceği saptanmıştır. Bir diğer Güney Kore şehir içi raylı hatlar araştırmasında [11], SKL-15 tipi gergi kısıkaçları için yorulma üzerine güvenilirlik tabanlı analiz yapılmıştır. Analizde, sahada kısıkaçlarda gerinim ölçer vasıtasıyla veriler toplanmıştır ve istatistiksel bir model hazırlanmıştır. Yine SKL-15 tipi gergi kısıkaçlarının konu olduğu bir çalışmada [12], 6, 11 ve 16 yıldır hat üzerinde kullanılan kısıkaçlar incelenmiştir. Kısıkaçların hizmet süresine göre malzeme mukavemetindeki bozunma ve kısıkaçların performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma [13]'te deneysel sonuçlar ve sonlu elemanlar metodu vasıtasıyla, SKL-15 gergi kısıkaçları için yorulma parametrelerinde iyileştirme ile kısıkaçlarda dayanım artışı incelenmiştir. Benzer bir biçimde, yine sonlu elemanlar metodu ve deneysel analizle SKL-15 tipi kısıkaçlarda hasar ve yorulma analizleri kaynak [14]'te ele alınmıştır. Burada, Goodman ve Gerber eğrileri kullanılarak yorulma mekanizması hakkında analitik incelemeler yapılmıştır. Yakın tarihli başka bir çalışmada [15] ise SKL-14 gergi kısıkaçları incelenmiştir. Bu çalışmada bahsi geçen kısıkaçlar için çatlak ilerlemesi bakımından güvenilirlik analizi yapılmıştır. Literatür taramasından da görüldüğü üzere, SKL tipi kısıkaçlar için muhtelif çalışmalar mevcuttur. Çalışmalar özellikle SKL-15 tipi geometriye sahip kısıkaçlar üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada ise şehir içi metro hatlarında kullanılan SKL-21 tipi gergi kısıkaçlarında hasar analizi yapılacaktır. Hattın TS EN 13481-5+A1 [16] standardına göre bağlantı sınıfı kriteri B tipi olup, azami tasarım dingil yükü 180 kN ve hattın asgari kurp yarıçapı 80 metredir.

## 2. Hasar Analizi

Deneysel analiz kapsamında makro gözlemler, mikroyapı gözlemleri, sertlik testi ve kimyasal analiz yapılmıştır. Kısıkaçlar öncelikle gözle muayene edilmiş, ardından SEM ile incelemeye alınmıştır. Mikroyapı incelemeleri ve EDS analizleri yapılmıştır. Bununla birlikte kısıkaçların Vickers sertlik ölçümleri alınmıştır. Bu analizler aşağıdaki alt başlıklarda detaylandırılmıştır.

### 2.1. Makro gözlemler

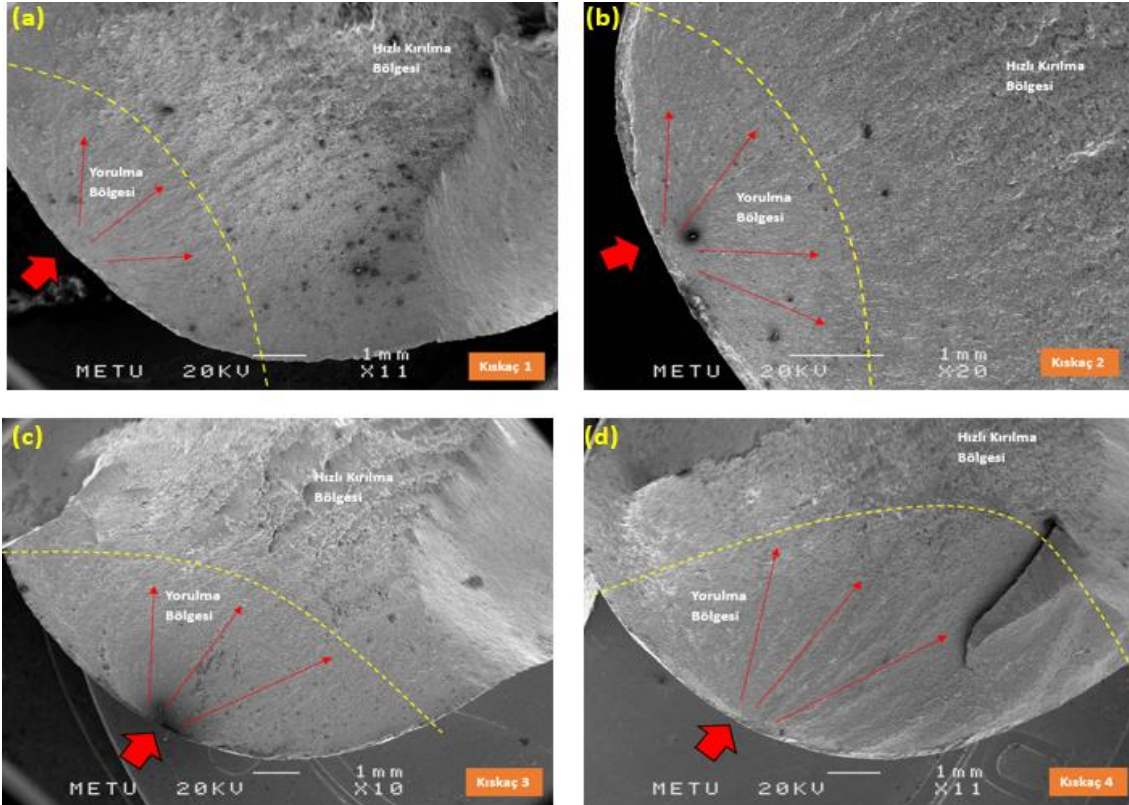
Kırılan kısıkaçların fotoğrafları Şekil 1'de verilmiştir. Bu fotoğraflardaki ortak nokta kısıkaçların aynı noktalarından benzer şekilde kırılmasıdır. Kırılmalar kısıkaçların raya basan uç kısımlarında oluşmuştur. Kısıkaç 1 ise iki ucundan da kırılmış durumdadır. Dört kısıkaçında kırılma yüzeyleri benzer karakterdedir, bakınız Şekil 3. Kırık yüzeyde iki farklı doku dikkat çekmektedir. Nispeten daha düz ve pürüzsüz olan bölge kırılmanın ilk başladığı ve ilerlediği bölgedir. Yorulma yüklemesi (çevrimsel yüklenme) sonucunda oluştuğu görülen bu bölgeler Şekil 3'te oklarla işaretlenmiştir. İkinci bölge ise daha engebeli ve pürüzlü bir dokudadır. Bu bölgenin, kırılmanın son evresinde, eğilme ve burkulma nedeniyle oluştuğu anlaşılmaktadır.



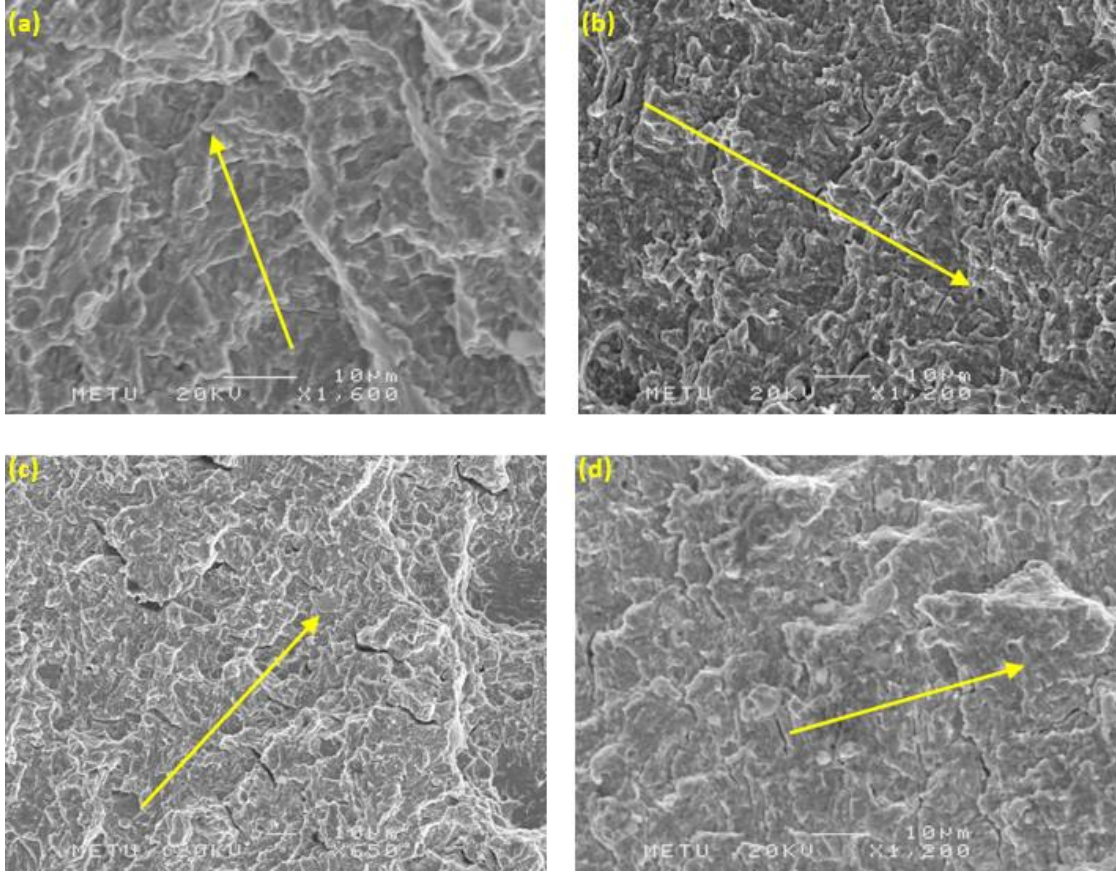
Şekil 3. Numaralandırılmış numunelerin kırık yüzeylerinin makro görünüşleri. Oklar kırılmanın başladığı noktaları göstermektedir

## 2.2. Elektron mikroskobu ile incelemeler

Kırık yüzeyler elektron mikroskobunda detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 4'te her bir numunenin kırık yüzeyi tek tek verilmiştir. Yorulma çatlaklarının başladığı noktalar radyal şevron çizgileri aracılığıyla kolaylıkla belirlenmiş ve bu noktalar fotoğraflar üzerinde kalın kırmızı oklarla işaretlenmiştir. Yorulma çatlaklarının ilerleme yönleri ise ince kırmızı oklarla gösterilmiştir. Sarı kesikli hatlar ise yorulma çatlaklarının ani kırılma öncesinde gözlemlenebilen son konturlarını göstermektedir. Tüm numunelerde ani kırılma bölgeleri daha engebeli ve sünek dokudadır.



Şekil 4. Kırık yüzeylerin elektron mikroskobundaki genel görünüşleri a) Kıskaç No:1, b) Kıskaç No:2, c) Kıskaç No:3, d) Kıskaç No:4



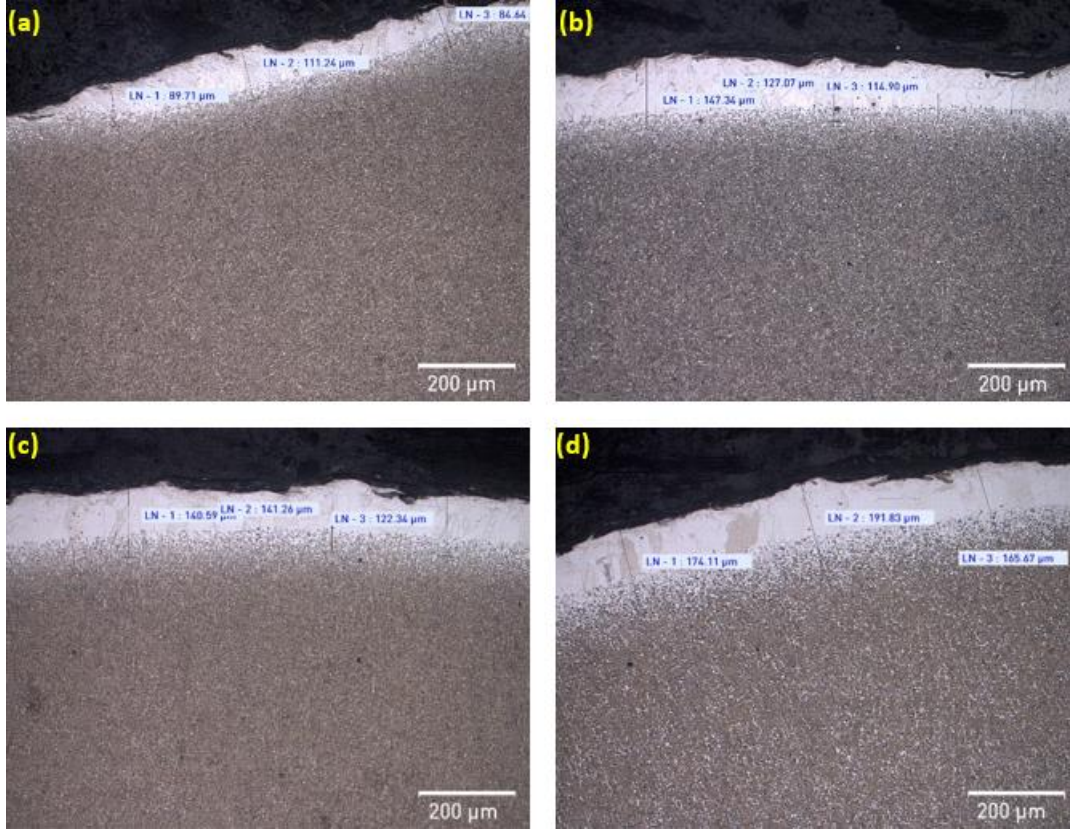
**Şekil 5.** Yorulma yüzeyi üzerindeki çatlak ilerleme izleri: Yorulma çizgileri ve ikincil çatlaklar. Oklar yorulma çatlaklarının ilerleme yönlerini göstermektedir. a) Kıskaç No:1, b) Kıskaç No:2, c) Kıskaç No:3, d) Kıskaç No:4

Yorulma çatlak yüzeyleri üzerinde, çatlak ilerlemesine ait birbirine paralel ikincil çatlaklar ve yorulma çizgileri belirgin olarak gözlemlenmiştir, bakınız Şekil 5. Yorulma çatlaklarının ilerleme yönleri Şekil 5 üzerinde oklarla gösterilmiştir.

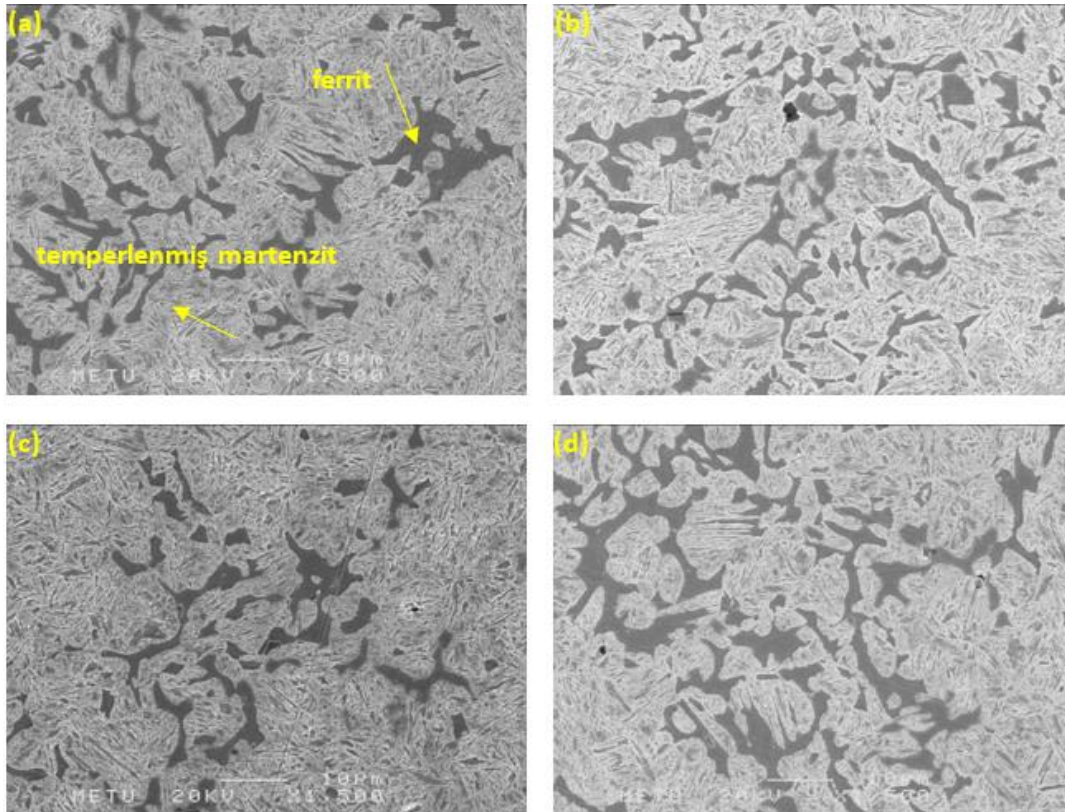
### 2.3. Mikroyapı incelemeleri

Kıskaçların kesitleri metalografik olarak hazırlanmış ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Tüm numunelerin dış yüzeyinde karbonsuzlaşmış (dekarb) bir tabaka mevcuttur. Dekarb tabakasının en kalın olduğu yerlerden çekilen mikroyapı fotoğrafları her bir kıskaç için Şekil 6'da verilmiştir. Optik yöntemle ölçülen dekarb derinlikleri mikroyapı fotoğrafları üzerinde gösterilmiştir. Kıskaç No 1'den 4'e kadar ortalama dekarb tabakası derinlikleri sırasıyla 95, 129, 135 ve 177 mikron değerindedir. Dekarb tabakaları iri taneli ferrit fazından oluşmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) Teknik Şartnamelerine göre dekarb tabakasının kalınlığı maksimum 0.2 mm derinlikte olması gerekmektedir. Kıskaçlar bu koşulu sağlamaktadır.

Dekarb tabakasının dışında yay çeliğinden imal edilmiş kıskaçların genel iç yapıları Şekil 7'de verilmiştir. Yapı ferrit ve menevişlenmiş (temperlenmiş) martensitten oluşmaktadır. Martensitik yapının hâkim olduğu matriste yer yer widmanstatten ferrit ve beynit bölgeleri de mevcuttur. Şekil 7(a)'da ferrit ve temperlenmiş martensitik yapılar oklarla gösterilmiştir.

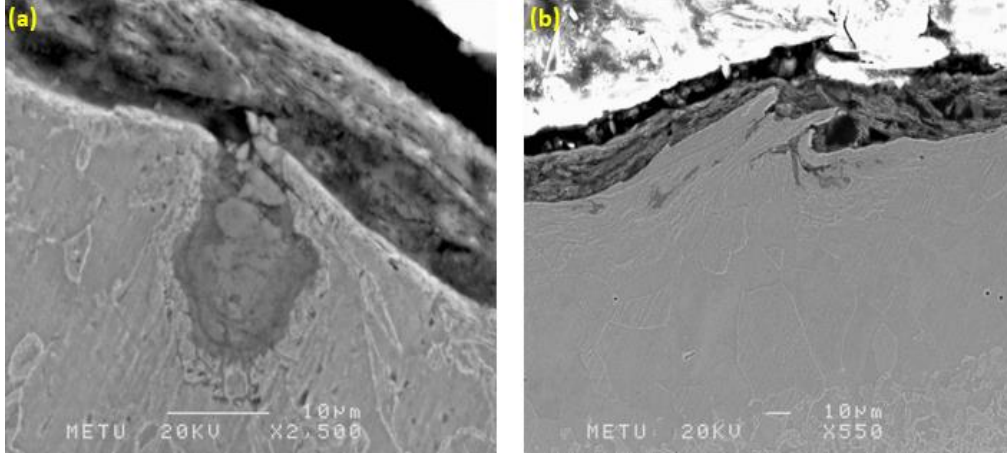


Şekil 6. Kıskaçların dış yüzeyindeki dekarb tabakası ve derinlikleri a) Kıskaç No:1, b) Kıskaç No:2, c) Kıskaç No:3, d) Kıskaç No:4

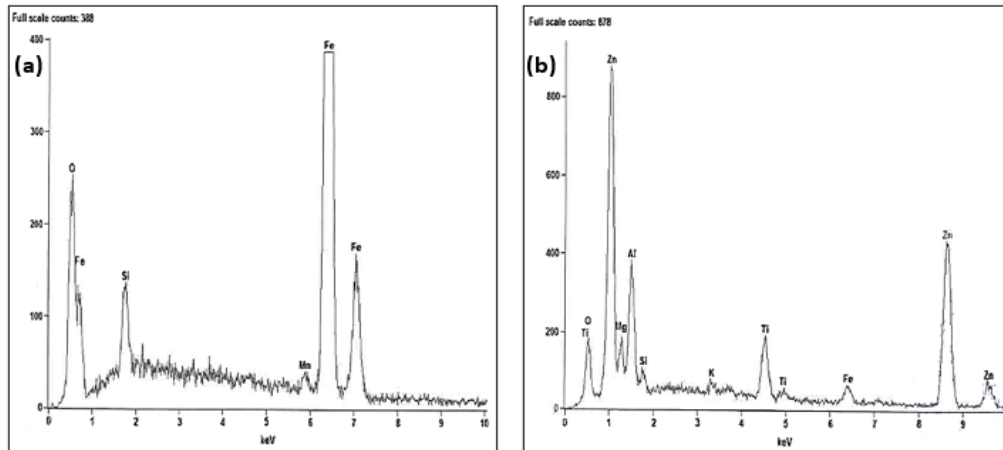


Şekil 7. Kıskaçların genel mikroyapısı a) Kıskaç No:1, b) Kıskaç No:2, c) Kıskaç No:3, d) Kıskaç No:4

Kıskaçların dış yüzeylerinde rastlanan korozyon çukurcuğu, katlanma hatası benzeri düzensizliklerden örnekler Şekil 8’de sunulmuştur. Bu hataların boyu 0.2 mm’den küçüktür. Yüzeydeki korozyon çukurcuklarından birinin içinden yapılan EDS ölçümünün sonucu (Şekil 9 (a)) korozyon ürününün demir oksit olduğunu göstermiştir. EDS analizleri ile numuneyi kaplayan korozyondan koruma tabakasının çinko ve titanyumdan oluştuğu (galvaniz) saptanmıştır, bakınız Şekil 9(b).



Şekil 8. Kıskaç yüzeyinde yorulma çatlakları oluşturabilecek hatalar, a) Korozyon çukurcuğu, b) Katlanma hatası



Şekil 9. EDS analiz sonuçları a) Şekil 8(a)’daki korozyon çukurcuğunun içi, b) Dıştaki galvaniz tabakasının kompozisyonu

#### 2.4. Kimyasal analiz

Optik emisyon spektrometresi kullanılarak kıskaç çeliklerinin kimyasal birleşimi saptanmıştır. Tüm kıskaçlar benzer bileşime sahiptir. Belirlenen kimyasal bileşim Tablo 1’de verilmiştir. Kıskaç çeliğinin kimyasal kompozisyonu yay çelikleri için öngörülen bileşimle uyumludur.

Tablo 1. Kimyasal analiz sonuçları (Ağırlık yüzdesi olarak)

	C	Si	Mn	P	S
Kıskaç Çeliği	0.41	1.8	0.7	0.013	0.009
Yay çeliği için öngörülen kimyasal kompozisyon aralığı	0.35-0.42	1.4-1.8	0.5-0.8	Maks 0.025	Maks 0.025



### 2.5. Sertlik testleri

Kısaçların kesitlerinden hazırlanan mikroyapı numunelerinin sertlikleri Vickers yöntemiyle ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinin sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. Tabloda verilen her değer 5 adet ölçümün ortalamasıdır. Kısaçların sertlikleri yay çelikleri için öngörülen sertlik aralığı değerleri içindedir.

	Kısaç No:1	Kısaç No:2	Kısaç No:3	Kısaç No:4
Vickers sertlik değeri, HV2	412	402	430	418
Yay çeliği için öngörülen Vickers sertlik aralığı	400-460 HV			

### 3. Değerlendirme ve Sonuçlar

Kısaçlar yorulma çatlama ve çatlama ilerlemesi nedeniyle zaman içinde kırılmışlardır. Kırılma lokasyonu genellikle kurp bölgeleridir. Tüm kırılmaların kısaçların aynı bölgesinden olması dikkat çekicidir.

Kısaçalarda yorulma çatlaklarının başlama nedeni olarak iki vaka mevcuttur. İlk vakaya göre kısaçlar hatalı montajdan dolayı ray tabanına göre normalden daha düşük seviyede kalmıştır. Bu da kısaçların raya basan uçlarında daha fazla deplasman yapar ve kısaçalarda meydana gelen gerilme malzemenin yorulma dayanım limitinin üzerine çıkar. Bu durumda kısaçların ömrü sonlu olacak ya da tasarım ömürleri kısılacaktır.

İkinci vakada ise kısaçlar normalden fazla yüke maruz kalmışlardır. Bazı bağlantı noktalarında; kırılan kısaçların karşısındaki veya öncesindeki veya sonrasındaki kısaçalarda torklarının yeterli şekilde verilmediği görülmektedir. Çevredeki kısaçların yeterince torklanmamış veya gevşek olmaları, kırılan kısaçlara binen yükü (veya deplasmanı) arttıracaktır. Bu da normalde oluşması beklenmeyen yorulma çatlaklarının oluşması ve ilerlemesini mümkün kılar. Bu durumun özellikle kurplarda daha etkin olması ve kısaçların çevrimsel aşırı yüklere maruz kalmaları beklenen bir olgudur.

Kısaçların kırılma hasarıyla ilgili varılan sonuçlar şunlardır:

- Kırılan kısaçlar kimyasal kompozisyon ve sertlik olarak TCDD teknik şartnamelerine uygundur.
- Kırılmaların nedeni yorulmadır. Yorulma çatlakları kesitin yaklaşık üçte birini geçtikten sonra kısaçlar aniden kırılmıştır.
- Yorulma çatlama kısaçların dış yüzeyinden başlamıştır. Çatlak başlangıç noktalarında galvaniz işleminden veya yetersiz menevişlenmeden kaynaklanan herhangi bir taneler arası kırılma olgusu gözlemlenmemiştir.
- Bu tür yay çeliklerinde yapının tamamen martensitik olması amaçlanır. Kısaçların mikroyapısında bulunan ferrit fazı numunelere doğru ısı işlem yapılmadığını (su verme ve menevişleme) göstermektedir. Temperlenmiş martenzite göre daha yumuşak olan ferrit, yorulma çatlama ve çatlak ilerlemesini kolaylaştırmaktadır. Dış yüzeydeki ferritik dekarb bölgesi de çatlak oluşumu için uygun bir zemin hazırlamıştır.
- Kısaçların dış yüzeyindeki yüzey bozuklukları ve korozyon çukurcuklarının boyutları (0.2 mm’den küçük) her ne kadar öngörülen değerlerin içinde kalsa da yorulma

yüklemesi durumunda bu hataların çatlak başlangıcına neden olabilecekleri teorik bir gerçektir.

Çalışmanın başında yapılan literatür taramasından da görüleceği üzere SKL tipi veya diğer geometrilere sahip kısıkaçlarda hasar oluşması arzulanmasa da karşılaşılan bir durumdur. Hasarın oluşması malzeme kaynaklı, mekanik yük kaynaklı veya imalat hatası gibi muhtelif sebeplerle olabilmektedir. Bunun görece önüne geçmek için kısıkaçların geometrileri üzerine bir optimizasyon çalışması yürütülebilir, imalat yöntemleri güncellenebilir veya saha uygulamalarında daha ehemmiyetli olunması teşvik edilebilir.

### Kaynakça

- [1] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Raylı Sistemler Teknolojisi, Raylar ve Bağlantılar*. Ankara, Türkiye: MEB, 2013
- [2] H. Xiao, J. B. Wang and Y. R. Zhang, “The fractures of e-type fastening clips used in the subway: theory and experiment,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 81, pp. 57-68, 2017.
- [3] X. Hong, G. Xiao, W. Haoyu, L. Xing and W. Sixing, “Fatigue damage analysis and life prediction of e-clip in railway fasteners based on abaqus and fe-safe,” *Adv. Mech. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 1687814018767249, 2018.
- [4] A. Hasap, P. Paitekul, N. Noraphaiphaksa and C. Kanchanomai, “Influence of toe load on the fatigue resistance of elastic rail clips,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F: J. Rail Rapid Transit*, vol. 232, no. 4, pp. 1078-1087, 2018.
- [5] Z. Liu, K. S. Tsang, Y. Liu and J. H. L. Pang, “Finite element and experimental study on multiaxial fatigue analysis of rail clip failures,” *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 43, no. 10, pp. 2390-2401, 2020.
- [6] L. Ling, W. Li, H. Shang, X. Xiao, Z. Wen and X. Jin, “Experimental and numerical investigation of the effect of rail corrugation on the behaviour of rail fastenings,” *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 52, no. 9, pp. 1211-1231, 2014.
- [7] X. Gao, A. Wang, L. Liu, Y. He and L. Ju, “Analysis of failure mechanism of w1-type fastening clip in high speed railway and structure study of damping composite,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 118, pp. 104848, 2020.
- [8] S. H. Kim, X. J. Fang, Y. C. Park and H. B. Sim, “Evaluation of structural behavior and fatigue performance of a kr-type rail clip,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 24, pp. 12074, 2021.
- [9] D. Ferreño, J.A. Casado, I. A. Carrascal, S. Diego, E. Ruiz, M. Saiz, J. A. Sainz-Aja, A. I. Cimentada, “Experimental and finite element fatigue assessment of the spring clip of the skl-1 railway fastening system,” *Eng. Struct.*, vol. 188, pp. 553-563, 2019.
- [10] Y. C. Park, C. B. An, M. Kim and H. B. Sim, “Effect of the depth of decarburized layer in skl-15 tension clamp on fatigue strength,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 9, pp. 3841-3950, 2021.
- [11] J. H. Kim, Y. C. Park, M. Kim and H. B. Sim, “A fatigue reliability assessment for rail tension clamps based on field measurement data,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no.2, pp. 624-634, 2022.
- [12] J. Y. Choi, S. H. Kim, S. J. Kim and J. S. Chung, “Failure analysis of tension clamps (skl-15) used in serviced urban railway tracks: numerical analyses and experiments,” *Mater.*, vol. 15, no. 18, 6354-6369, 2022.
- [13] J. G. Cho, J. W. Kim and J. S. Koo, “A study on fatigue strength improvement for tension clamp of railway using work hardening,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Bangkok, Thailand, 2019, pp. 012028.
- [14] Y. C. Park, C. An, H. B. Sim, M. Kim and J. K. Hong, “Failure analysis of fatigue cracking in the tension clamp of a rail fastening system,” *Int. J. Steel Struct.*, vol. 19, pp. 1570-1577, 2019.
- [15] S. Mohammadzadeh, S. Ahadi and H. Keshavarzian, “Assessment of fracture reliability analysis of crack growth in spring clip type vossloh skl-14,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part O: J. Risk Reliab. Proc. Inst. Mech. Eng. O: J. Risk Reliab.* vol. 228, no.5, pp. 460-468, 2014.
- [16] *Demiryolu uygulamaları yol-bağlantı sistemleri için performans özellikleri bölüm 5*, TS EN 13481-5+A1, 2017

**Özgeçmiş****Ali MOTAMENİ**

Ali Motameni Lisans ve Yüksek Lisans eğitimin Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden almıştır. Doktora eğitimini ise aynı üniversitenin Mühendislik Bilimleri bölümünde tamamlamıştır. Çankaya Üniversitesi Makine Mühendisliğinde ders vermekte olup, Raymak Test firmasının genel müdürlüğü görevini yürütmektedir. İlgili alanları hasar analizi, yorulma, katı mekaniği ve raylı sistemlerdir.

E-posta: ali.motameni@raymaklab.com

**Ömer Can FARUKOĞLU**

Ömer Can Farukoğlu Lisans eğitimini TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği'nde tamamlamıştır. Yüksek Lisansını Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Bilimleri bölümünden almıştır. Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine devam etmekte ve Çankaya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde ders vermektedir. Profesyonel ilgi alanları katı mekaniği, kompozit malzemeler ve hasar analizidir.

E-Posta: omercan.farukoglu@gazi.edu.tr

**Rıza GÜRBÜZ**

Rıza Gürbüz Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesinde tamamlamıştır. Faal olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde dersler vermekte olup, bölüm başkan yardımcılığı görevini yürütmektedir. Akademik ilgi alanları arasında yorulma, hasar analizi ve mekanik testler bulunmaktadır.

E-Posta: rgurbuz@metu.edu.tr

**Beyanlar:**

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Yazar katkıları belirtilmemiştir.