

Araştırma Makalesi / Research Article

Na₂SO₄-V₂O₅-NaCl Tuzuna Maruz Bırakılan Inconel 718 Süper Alaşım Malzemesinin Yüksek Sıcaklıkta Sıcak Korozyon Davranışı

Okan ODABAŞ*

* Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4886-5196>, okanoodabas@gmail.com

Geliş/ Received: 17.05.2025;

Revize/Revised: 26.06.2025

Kabul / Accepted: 16.08.2025

ÖZET: Inconel 718 süper alaşımı, havacılık ve uzay endüstrisinde sıcak korozyona karşı dayanıklılığıyla bilinse de düşük kaliteli yakıtların neden olduğu agresif ortamlarda ciddi yapısal hasarlara maruz kalabilmektedir. Bu çalışmada, %35 Na₂SO₄ + %35 V₂O₅ + %30 NaCl tuz karışımı, Inconel 718 altlık üzerine uygulanarak 900 °C ± 25°C sıcaklıkta 1, 3, 5 ve 24 saatlik sıcak korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Test öncesi ve sonrası mikroyapısal değişimler SEM, EDS, elementel haritalama ve XRD ile analiz edilmiştir. Bulgular, kısa süreli maruziyetlerde sınırlı oksitlenme görülürken, 24 saatlik sürede yüzeyde belirgin faz dönüşümleri ve yapısal bozulmaların başladığını göstermiştir. Bu sonuç, Inconel 718'in yüksek sıcaklıkta agresif tuz ortamlarına karşı dayanımının zamanla azaldığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Süper alaşımlar, Tel erozyon yöntemi, Havacılık ve uzay endüstrisi, Termal bariyer kaplamalar

*Sorumlu yazar / Corresponding author: okanoodabas@gmail.com

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

High-Temperature Hot Corrosion Behavior of Inconel 718 Superalloy Material Exposed to $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-V}_2\text{O}_5\text{-NaCl}$ Salt

ABSTRACT: Although Inconel 718 superalloy is known for its resistance to hot corrosion in the aerospace industry, it can be subjected to severe structural damage in aggressive environments caused by low-quality fuels. In this study, a 35% Na_2SO_4 + 35% V_2O_5 + 30% NaCl salt mixture was applied on an Inconel 718 substrate, and hot corrosion tests were performed at $900^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ for 1, 3, 5, and 24 hours. Microstructural changes before and after the tests were analyzed by SEM, EDS, elemental mapping, and XRD. The results showed that while limited oxidation was observed in short-term exposures, significant phase transformations and structural deterioration started on the surface at 24 hours. This result reveals that the resistance of Inconel 718 to aggressive salt environments at high temperatures decreases over time.

Keywords: Superalloys, Wire erosion method, Aerospace industry, Thermal barrier coatings

1. GİRİŞ

Havacılık ve uzay endüstrisinde, ekstrem sıcaklıklar ve zorlu çalışma koşulları altında bile yapısal bütünlüğünü koruyabilen malzemelere duyulan ihtiyaç, termal bariyer kaplama (TBK) sistemlerinin gelişimini teşvik etmiştir (Altaf ve ark., 2025). Bu sistemler, yüksek dayanım ve sertlik sunan metal-metal veya metal-seramik bileşimlerinden oluşmakta olup, özellikle motor bileşenleri, türbin kanatları ve egzoz sistemleri gibi yüksek sıcaklığa maruz kalan alanlarda kritik bir rol oynamaktadır (Gupta ve ark., 2025). Kompleks yapıya sahip bu kaplama sistemleri, genellikle altlık malzeme üzerine çeşitli termal sprey kaplama teknikleri kullanılarak uygulanan çok katmanlı bir yapıya sahiptir (Liu ve ark., 2025). Bu kompleks yapı, bir bağ katmanı ile bir veya birden fazla üst kaplama katmanından oluşur (Odabas ve ark., 2025). Bağ katmanı, altlık malzeme ile üst kaplama arasında mekanik ve termal uyumu artırarak aderansı güçlendirirken; üst kaplama katmanı ise doğrudan yüksek sıcaklık ve oksidatif çevre koşullarına karşı koruma sağlar (Sun ve ark., 2025). Altlık malzeme üzerine farklı özelliklere sahip bağ ve üst kaplama katmanlarının uygulanmasının temel amacı, özellikle yüksek sıcaklık, termal şok ve oksidasyon gibi aşındırıcı etkiler karşısında altlık malzemenin ömrünü uzatmak ve böylece sistemin genel performansını artırmaktır (Alazzawı ve ark., 2024). Bu sayede, bakım aralıkları uzatılmakta ve operasyonel maliyetler düşürülmektedir. Günümüzde altlık malzeme olarak paslanmaz çelikler, özel üretim çelikler ve Ti-Al esaslı alaşımlar gibi çeşitli malzemeler kullanılabilmektedir (Cınca ve ark., 2012). Ancak, özellikle yüksek sıcaklık dayanımı, korozyon direnci ve mekanik kararlılık gibi üstün özelliklerinden dolayı, süper alaşımlar (Inconel 718, 768, 618 vb.) endüstride en çok tercih edilen altlık malzemeler arasında yer almaktadır (Li ve ark., 2025). Özellikle Inconel 718 gibi nikel veya kobalt bazlı süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini koruyabilmeleri ve kaplama sistemleri ile mükemmel uyum sağlayabilmeleri nedeniyle kritik uygulamalarda ön plana çıkmaktadır (Jeong ve ark., 2025). Ayrıca Inconel 718 agresif ortamlarda oksidasyon ve korozyona karşı güçlü bir direnç sergileyerek kaplama sisteminin delaminasyon veya çatlama gibi hasarlara karşı daha uzun süre dayanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte diğer bazı süper alaşımlara kıyasla daha kolaylıkla işlenebilmektedir. Paslanmaz çelikler hızlı performans kaybına uğrarken Inconel 718 süper alaşım malzemesi daha uzun kullanım ömrü, sülfür içeren agresif çevre şartlarına daha uzun dayanabilme ve yüksek sürünme dayanıma sahip olmaları tercih edilmelerinde daha etkili olmaktadır (Wang ve ark., 2025). Termal

bariyer kaplama (TBK) sistemlerinde, altlık malzemenin yüksek sıcaklık, oksidasyon ve termal şok gibi aşındırıcı etkilere karşı korunarak kullanım ömrünün uzatılması hedeflenmektedir. Bu amaçla, altlık malzeme üzerine farklı özelliklere sahip bağ katmanı ve üst kaplama katmanı, çeşitli gelişmiş kaplama yöntemleri kullanılarak uygulanmaktadır. En yaygın kullanılan kaplama teknikleri arasında Yüksek Hızlı Oksijen Yakıt Sprey (HVOF), Atmosferik Plazma Sprey (APS) ve Soğuk Gaz Dinamik Sprey (CGDS) yöntemleri bulunmaktadır (Odabas ve ark., 2024). Bu kaplama yöntemleriyle altlık malzeme üzerine püskürtülen her bağ ve üst kaplama tozunun, altlık malzemenin kimyasal ve termal özellikleriyle uyumlu olması büyük önem taşımaktadır. Çünkü kaplama ile altlık arasındaki uyumsuzluk, özellikle yüksek sıcaklık döngülerinde, çatlak oluşumu, delaminasyon (katman ayrılması) ve kaplamanın erken aşınması gibi ciddi sorunlara yol açabilir (Bayraktar, 2015). Havacılık sektöründe, hava araçlarında kullanılmak üzere geliştirilen süper alaşım içerikli termal bariyer kaplama (TBK) sistemleri, zaman zaman düşük kaliteli ve sülfür içeriği yüksek yakıtların kullanımı sonucunda agresif sıcak korozyon hasarlarına maruz kalabilmektedir (Akdoğan, 2011). Sıcak korozyon ortamı, çoğunlukla kalitesiz yakıt içerisinde bulunan sodyum (Na), klor (Cl), kükürt (S), vanadyum (V) ve potasyum (K) gibi elementlerin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesi sonucu oluşan tuz karışımları ile meydana gelmektedir. Literatürde sıcak korozyon olgusu, sıcaklık aralığına bağlı olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır: Tip 1 sıcak korozyon, 650°C-750°C aralığında düşük sıcaklıklarda meydana gelirken; Tip 2 sıcak korozyon ise 750°C-1000°C aralığında yüksek sıcaklıklarda etkili olmaktadır (Pond ve ark., 2002). Bu çalışmada odaklanılan Tip 1 yüksek sıcaklık sıcak korozyonunda, başlangıçta sülfat tuzlarının reaktifliği artmakta ve yüzeyde oluşan sınırlı oksidasyon tabakaları zamanla bozulmaya başlamaktadır (Hu ve ark., 2021). Sülfat eriyiklerinin altlık malzeme yüzeyinde çözünerek ilerlemesiyle, koruyucu oksit filmler zarar görmekte ve altlık malzemede önemli düzeyde hasar meydana gelmektedir. Bu süreç, hava aracı bileşenlerinin hizmet ömrünü ciddi şekilde kısaltabilmekte ve sistem performansı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu çalışmada, Inconel 718 süper alaşım altlık malzemenin agresif sıcak korozyon ortamı altındaki performansını değerlendirmek amacıyla, numune yüzeyine 1,5 mg/cm² miktarında %35 Na₂SO₄, %35 V₂O₅ ve %30 NaCl içeren bir sıcak korozyon tuz karışımı uygulanmıştır. %35 Na₂SO₄ + %35 V₂O₅ + %30 NaCl tuz karışımı, havacılık ve enerji endüstrilerinde görülen agresif sıcak korozyon ortamlarını laboratuvarında simüle etmek için kullanılır. Na₂SO₄ sülfat korozyonunu, V₂O₅ eriyik tuz korozyonunu, NaCl ise klorür kaynaklı lokalize korozyonu temsil eder. Bu bileşenlerin birlikte etkisi, gerçek servis koşullarındaki karmaşık sıcak korozyon süreçlerini yansıtarak malzeme dayanımının test edilmesini sağlar. Hazırlanan numuneler, 900°C ± 25°C sıcaklıkta sırasıyla 1, 3, 5 ve 10 saatlik sürelerle termal fırında ısıl işleme tabi tutulmuştur. Testler sonrasında elde edilen sonuçlar, çeşitli ileri malzeme karakterizasyon yöntemleri (SEM, XRD, elementel haritalama analiz) kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen bulgular, mevcut literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılarak tartışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada testlerde kullanılacak süper alaşım altlık malzeme olarak Inconel 718 tercih edilmiştir. Altlık malzeme (5 mm x 5 mm x 2 mm) boyutlarında kare formunda hazırlanmış olup, kesim işlemi yüksek hassasiyet gerektirdiğinden tel erozyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kesim işleminden sonra, altlık yüzeyinin pürüzlülüğünü azaltmak ve homojen bir yapı elde etmek amacıyla mekanik zımparalama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sırasında, silisyum karbür (SiC) içerikli Metcon marka zımpara kâğıtları kullanılmış ve aşındırıcı büyüklüğü kaba (60 grit) seviyeden ince (3000 grit)

seviyeye doğru kademeli olarak azaltılmıştır. Zımparalama işleminin ardından, yüzeyde kalan olası partikül ve kalıntıların tamamen giderilmesi için, elmas partikülleri içeren solüsyonlarla sırasıyla ($3\text{ }\mu\text{m} \rightarrow 1\text{ }\mu\text{m} \rightarrow 0.25\text{ }\mu\text{m}$) partikül boyutlarında olmak üzere parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon işlemlerinde malzeme yüzey morfolojisi, yüzeydeki elementel dağılımlar, Zeiss Evo marka SEM-EDS cihazı ile detaylı şekilde incelenmiştir. Ayrıca, yüzeyde oluşan faz yapıları ve bileşenler Rigaku 2200 PC model XRD cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada, havacılık sektöründe kullanılan parçaların 900°C sıcaklıkta (Tip 2) maruz kaldığı yüksek sıcaklık korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Sıcak korozyon tuzlarının isimleri, tedarikçisi, saflığı sırasıyla; Na_2SO_4 (Merck, %98 saflık), V_2O_5 (Acros organics, %98 saflık), NaCl (Merck, %98 saflık) şeklindedir. Inconel 718 süper alaşımına ait kimyasal bileşim Çizelge 1 verilmiştir. Deneysel çalışmalarda ASTM G28 (Yüksek Sıcaklık Korozyon Testi) standartları baz alınarak yapılmıştır. Deneyler çalışmalarda kullanılan test cihazları Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Deneyler çalışmalarda kullanılan test cihazları; (a) SEM, (b) zımparalama ve parlatma, (c) XRD, (d) stereo mikroskop, (e) yüksek sıcaklık fırını

Çizelge 1. Inconel 718 süper alaşım malzemenin kimyasal bileşimi

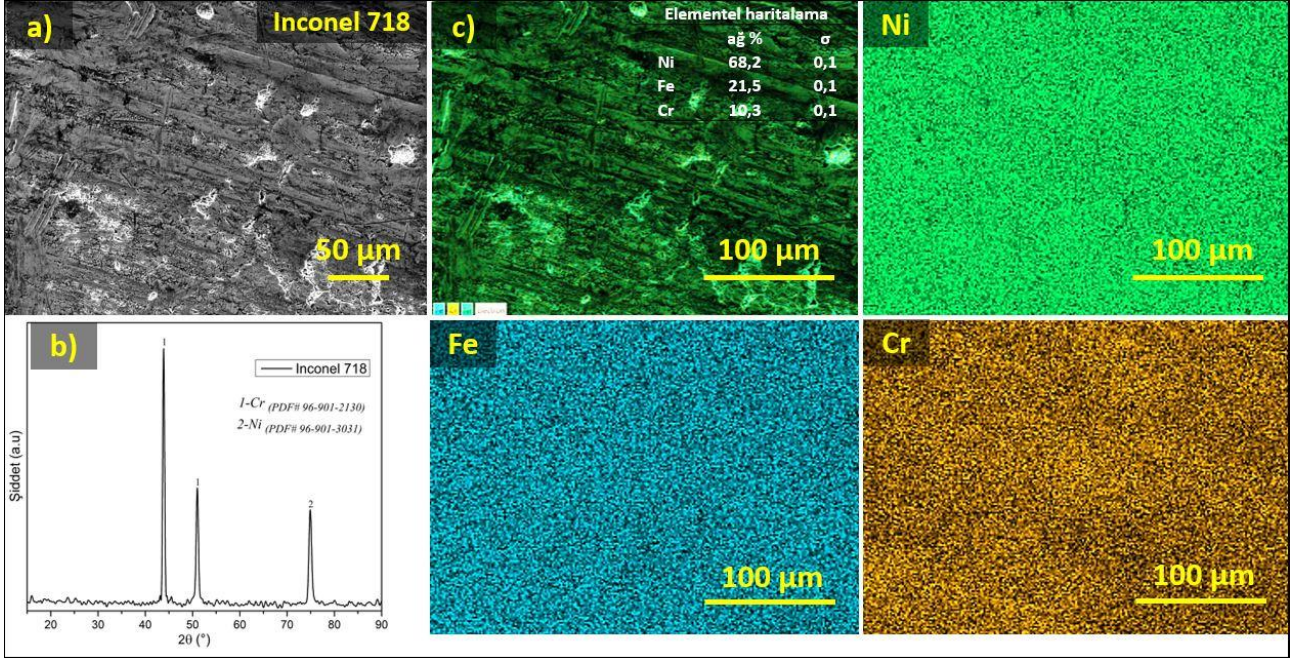
Ni	Cr	Fe	Nb	Mo	Ti	Al	Co
53.7	19.2	16.7	5.4	3.2	0.9	0.6	0.3

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Inconel 718 Substrat Malzemesinin Karakterizasyonu

Şekil 2’de ise Inconel 718 süper alaşım malzemesinin korozyon öncesi yapılan karakterizasyon analizleri sunulmuştur. Ni, alaşımın oksidasyon-korozyon karşı direncini ve ısıl gerilmelere karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bileşimde bulunan diğer element krom ise, altlığın özellikle sıcak

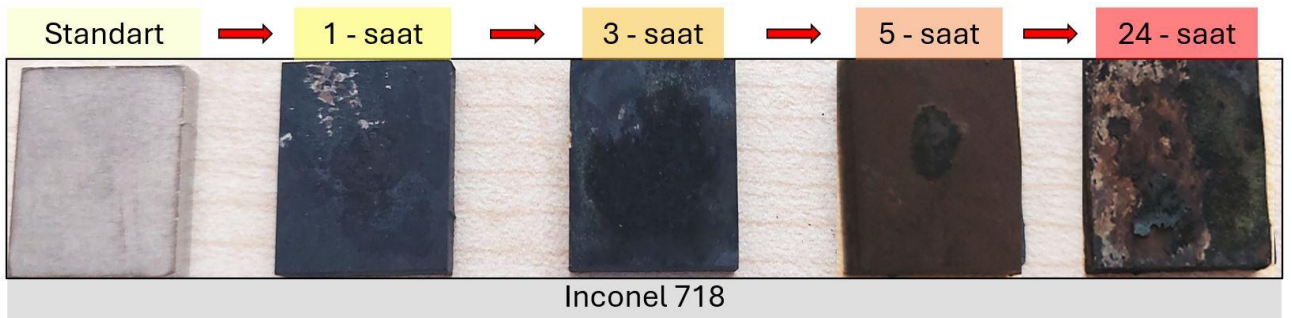
korozyona ve genel çevresel korozyona karşı direncini güçlendirir. Bir başka element olan Fe ise, yüksek sıcaklıklarda γ matris faz yapısında bulunarak stabil mikro yapıların korunmasına yardımcı olurken, faz oluşumlarını da kontrol altında tutmaktadır. Ayrıca kullanılacak malzemenin üretim maliyetlerini düşürerek ekonomik açıdan daha sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır.



Şekil 2. Inconel 718 altlık malzemesinin korozyon öncesi karakterizasyon analizleri; (a) SEM görüntüsü, (b) XRD analizi, (c) elementel haritalama-EDS analizi

3.2 Sıcak Korozyon Testleri

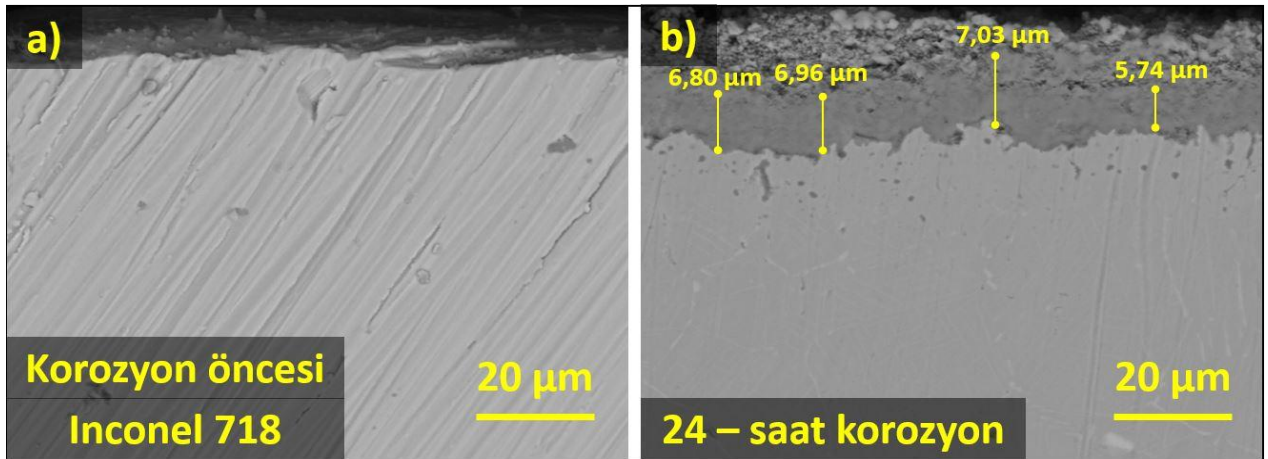
Inconel 718 süper alaşımı üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, her bir numuneye hassas terazi yardımıyla $1.5 \text{ mg/cm}^2 \pm 0.1$ hassasiyetinde ölçülen %35 Na_2SO_4 , %35 V_2O_5 ve %30 NaCl içeren tuz karışımı homojen şekilde uygulanmıştır. Uygulama sonrasında numuneler, 900°C sıcaklıkta 1, 3, 5 ve 24 saat sürelerle izotermal sıcak korozyon testlerine tabi tutulmuştur. Sıcak korozyon tuz karışımı kaplamanın kenar etkisi hasarına maruz kalıp parçalanmasını engellemek için numunenin ortasına koyulmuştur, korozyon başlamasıyla birlikte numune bütününe yayılmıştır. Korozyon öncesi ve sonrası altlık yüzeylerinde meydana gelen değişimler, stereo optik mikroskop görüntüleriyle elde edilerek Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Inconel 718 altlık malzemesinin korozyon öncesi ve 900°C sıcaklık sonrasında stereo optik mikroskop görüntüleri

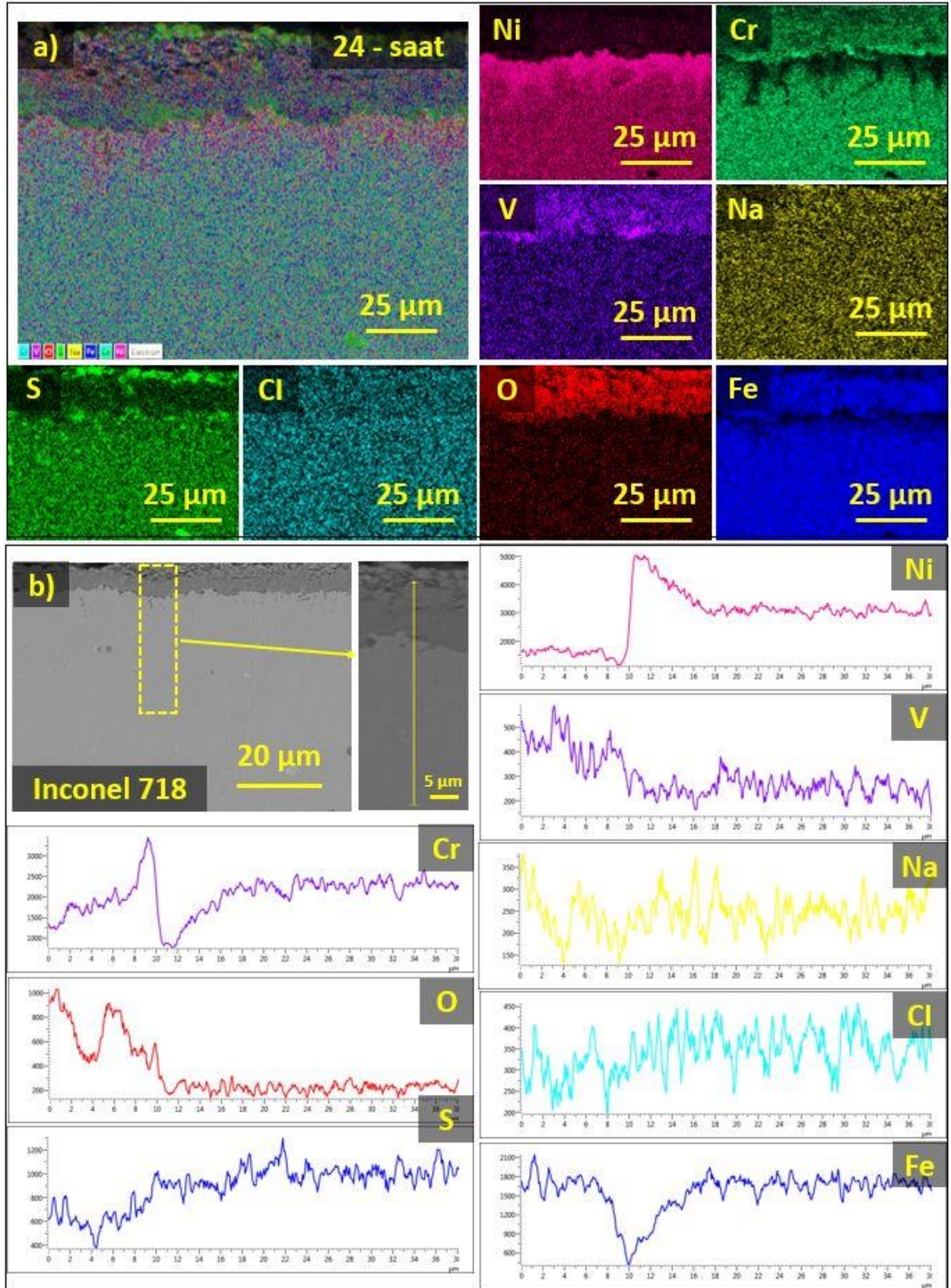
Şekil 2'ün incelenmesi sonucunda, artan korozyon süresi ile numune yüzeyinde oluşan hasarların şiddetinin gözle görülür biçimde arttığı belirlenmiştir. Özellikle 24 saatlik testin ardından,

yüzeyde geniş alanlara yayılan makroskobik çatlaklar, pullanmalar ve belirgin renk değişimleri gözlemlenmiştir. Bu gözlemler, sıcak korozyonun ilerleyen aşamalarında oksit tabakasının bütünlüğünün bozulduğunu ve V_2O_5 içeren tuz karışımının eriyerek koruyucu oksit tabakalarını tahrip ettiğini göstermektedir. Yüzeyde tespit edilen renk değişimleri ise, korozyon ilerlemesinin ve oksidatif reaksiyonların görsel bir yansıması olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sıcak korozyon ortamındaki agresif iyonların (özellikle vanadat ve klorür iyonlarının) Inconel 718 yüzeyinde ciddi boyutlarda makro hasar oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 4'te sıcak korozyon öncesi ve sonrası SEM kenar görüntüleri sunulmuştur. 900°C sıcaklıkta yapılan 24 saat korozyon sonrası süper alaşım malzemenin kenar kesimi boyunca ergimiş sıcak korozyon toz tabakası oluşmuştur. Oluşan korozyon kalınlığı yaklaşık olarak 7.03 μm – 5.74 μm aralığındadır.



Şekil 4. Korozyon öncesi ve sonrası SEM kenar görüntüleri

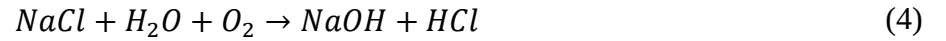
Şekil 5'te sıcak korozyon sonrasında elde edilen element bazlı EDS analizleri ve elementel haritalama sonuçları sunulmaktadır. 900°C'de 24 saat gerçekleştirilen korozyon testi sonrasında, korozyonun temel hasar mekanizmasını oluşturan $Ni_3V_2O_8$ bileşiğini oluşturan elementlerin dağılımı, Şekil 5a'da birbiriyle örtüşerek aynı bölgelerde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, korozyon ortamında yer alan Na_2SO_4 bileşiğine ait Na ve S elementlerinin tüm numune yüzeyine yayıldığı; özellikle S elementinin numunenin kenar bölgelerinde daha yoğun bir şekilde biriktiği tespit edilmiştir. Şekil 5b'de ise hem korozyonun yoğun olarak gerçekleştiği kenar bölgelerden hem de Inconel 718 alaşımının daha iç kısımlarından elde edilen EDS analizleri yer almaktadır. Bu analizlerin amacı, oluşan korozyon ürünlerine ait elementlerin sinyal yoğunluklarının birbiriyle örtüşüp örtüşmediğini değerlendirmektir. Elde edilen sonuçlar, Ni, V ve O elementlerinin sinyallerinin eşleşerek $Ni_3V_2O_8$; Cr, Ni ve O elementlerinin ise bir araya gelerek Cr_2NiO_4 korozyon ürünlerinin oluştuğunu göstermekte ve bu yapıları desteklemektedir.



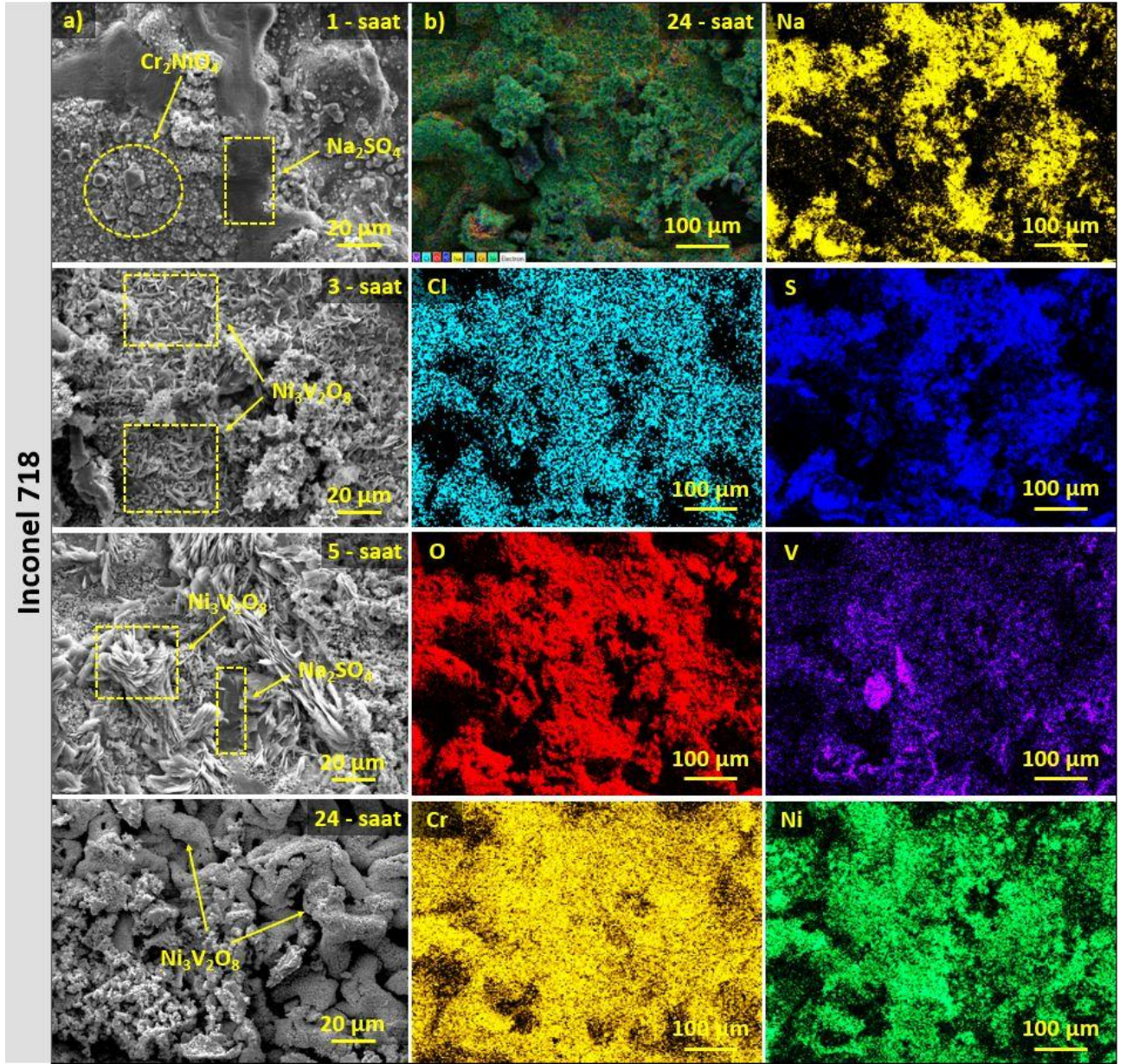
Şekil 5. Inconel 718 süper alaşımının 900°C-24 saat korozyon sonrası karakterizasyon analizleri; (a) elementel haritalama analizi, (b) SEM-element bazında EDS analizleri

Sıcak korozyon hasarında başlarında prizma şeklinde kırılğan özellikli Cr_2NiO_4 bileşiği oluşmuştur. Özellikle yüzey altı bölgelerde belirgin bir nikel yoğunlaşmasının meydana geldiği

açıkça gözlemlenmiştir. Bu durum, difüzyon süreçleri ve oksidasyon davranışıyla ilişkili olarak yüzeydeki diğer elementlerin tükenmesiyle birlikte nikelin yüzey altı bölgelerde lokal olarak zenginleştiğini göstermektedir. Korozyon süresi ilerledikçe, süper alaşım malzemenin çoğunluğunu oluşturan Ni elementiyle V_2O_5 reaksiyona girerek ince-çubuksu ana korozyon ürünü $Ni_3V_2O_8$ oluşmuştur. Ayrıca, $Ni_3V_2O_8$ 'in oluşumu nikelin vanadyum ile reaksiyona girerek yapısal matristen uzaklaşmasına yol açtığından, altlık malzemenin mekanik dayanımı, süneklik ve oksidasyon direnci önemli ölçüde zayıflar (Li ve ark., 2023). Oluşan bu yeni faz, termodinamik olarak kararsız olabilmektedir. Bu da koruyucu oksit tabakalarının sürekliliğini ve bütünlüğünü bozar, koruyucu oksit bariyerinin delinmesine ve altlık yüzeyinin sürekli yeniden oksitlenmesine neden olur (Selim ve ark., 2024). Şekil 6'de korozyon sonrası SEM ve elementel haritalama analizleri sunulmuştur. Sıcak korozyon sonrası oluşan/oluşabilecek muhtemel reaksiyonlar ve korozyon ürünleri aşağıda verilmiştir (Binal, 2023; Narayanan ve ark., 2019; Benito ve ark., 2022; Patil ve ark., 2022).



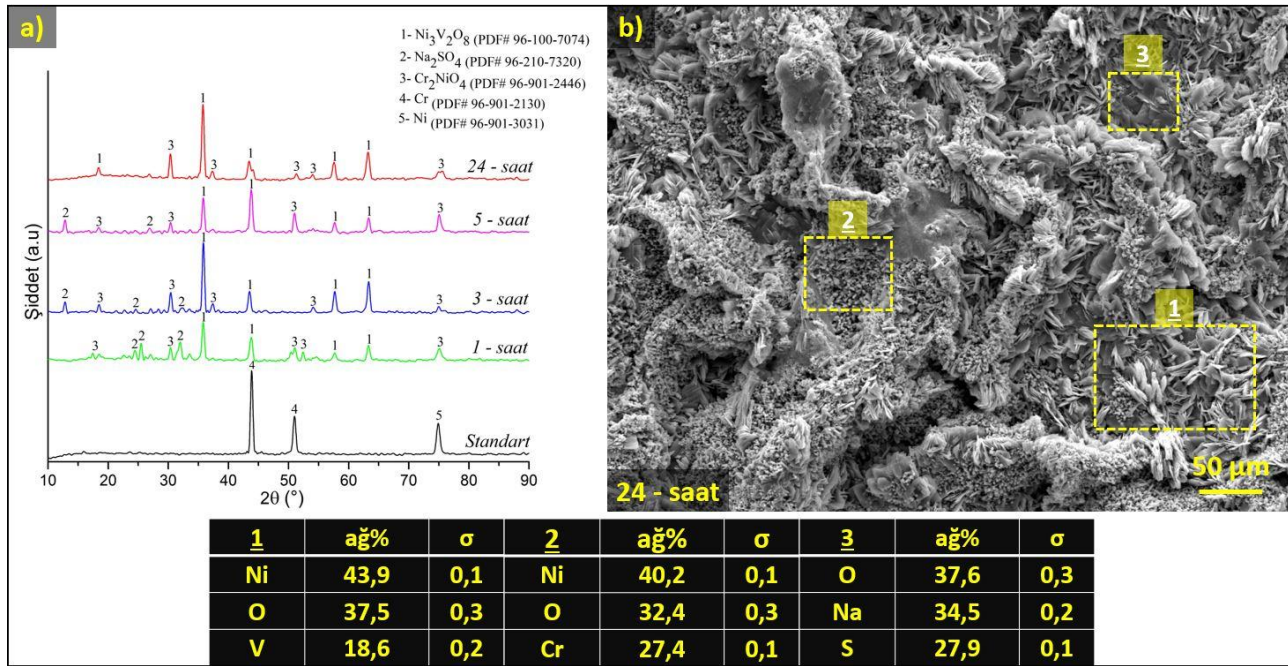
NaCl gaz fazına geçebilir (özellikle nemli ortamda). Oluşan HCl, metal yüzeyindeki NiO'yu uçucu hale getirerek koruyucu oksit tabakasını bozabilir. $NiCl_2$ uçucudur, bu da nikelin yüzeyden uzaklaşmasına (volatilizasyon) ve yüzeyin çıplak kalmasına neden olur (Yao ve ark., 2025). Koruyucu oksit tabakası bozulduğu için alttaki metal oksijenle doğrudan temas eder ve hızla oksitlenir.



Şekil 6. Inconel 718 süper alaşımın 900°C sıcak korozyon sonrasında alınan karakterizasyon analizleri; (a) SEM üst yüzey görüntüleri, (b) 24 saat korozyon sonrası elementel haritalama analizi

Şekil 7a’da sunulan XRD analiz sonuçları, korozyon öncesi ve sonrası faz oluşumlarını karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır. Analizlerde, özellikle korozyon öncesinde Inconel 718 alaşımında en yüksek pik şiddetiyle gözlemlenen Ni elementi dikkat çekmektedir. Bu element, yüksek sıcaklık ortamlarında değişken kısmi oksijen basınçları ve agresif baziklik koşulları altında, özellikle vanadyum içeren tuzlarla reaksiyona girerek metal vanadat fazlarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada da deneysel koşullarda kullanılan korozyon toz karışımı içerisinde bulunan ve yüksek reaktiviteye sahip V_2O_5 bileşiği ile Ni elementi arasında bir reaksiyon gerçekleşmiş ve bunun sonucunda, termodinamik olarak kararlı ve refrakter özelliğe sahip olan $Ni_3V_2O_8$ korozyon ürünü tespit edilmiştir. $Ni_3V_2O_8$ fazının oluşumu, sistemde vanadyum oksitlerin nikel ile etkileşime girerek yapısal bozulmalara neden olabileceğini göstermesi açısından önemlidir. Swaminathan ve ark. (1993) Nikel içeriği yüksek süper alaşım altlık malzemelerinin (650°C-750°C) sıcaklık aralığında yüksek korozif özelliğe sahip V_2O_5 tozunun etkisinde 100 saat korozyon testleri gerçekleştirmişlerdir. Testler sonrasında yapılan karakterizasyon analizlerinde

benzer olarak ana korozyon hasarına neden olan $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$ bileşiği oluşmuştur. Gülfem. (2023) HVOF yöntemiyle üretilen Ni içeriği yüksek (80Ni-20Cr) malzemenin 750°C (5, 25, 50 ve 75 saat) yaptığı korozyon testleri sonrasında benzer şekilde $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$ ve Na_2SO_4 bileşiklerini tespit etmiştir. Ayrıca, tüm korozyon süreleri boyunca XRD desenlerinde ortak olarak gözlemlenen bir diğer faz ise Cr_2NiO_4 bileşiğidir. Bu spinel yapıli oksit fazı, Cr ve Ni elementlerinin oksijenle etkileşimi sonucu oluşmakta olup, yüzeyde oluşan koruyucu oksit tabakasının yapısal bütünlüğüne katkıda bulunabilecek potansiyele sahiptir. Badea ve ark. (2022) Inconel 625 üzerine V_2O_5 korozyon tozu varlığında 900°C sıcaklıkta yaptıkları bir korozyon testinde, korozyon sırasında oksidasyon hasarının da meydana gelmesi ve korozif tozların porozitelerden sızmasıyla birlikte ana yapıda bulunan Cr elementine bağlı Cr_2NiO_4 bileşiği oluşmuştur. Luo ve ark. (2022) %25 NaCl varlığında 700°C - 900°C sıcaklıklarda Inconel 718/Haynes25'in 100 saat sonraki sıcak korozyon davranışını değerlendirmek için yaptıkları bir çalışmada, Ni ve Cr elementine bağlı spinel oksitler ile iğnemsiz/çubuksu kırılğan bileşikler oluşmuştur. Her iki fazın oluşumu da yüksek sıcaklıkta tuzlarla etkileşim sonucu meydana gelen kimyasal reaksiyonların ve korozyon mekanizmalarının anlaşılması açısından önemli veriler sunmaktadır.



Şekil 7. Sıcak korozyon öncesi ve sonrası karakterizasyon analizleri; (a) XRD analizi, (b) 24 saat korozyon sonrası EDS analizi

4. SONUÇ

Havacılık ve uzay endüstrisinde yoğun olarak kullanılan Inconel 718 süper alaşımın $900^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 1, 3, 5 ve 24 saat (%35 Na_2SO_4 - %35 V_2O_5 - %30 NaCl) sıcak korozyon toz etkisi altında testlerinin gerçekleştirilmesiyle;

- Inconel 718 süper alaşımı tel erozyonla kesilmiş, ardından yüzeydeki kalıntılar zımparalama ve özel elmas solüsyon ile yapılan parlatma işlemleriyle başarıyla giderilmiştir.
- Sıcak korozyon süresi arttıkça özellikle 24 saat sonra süper alaşım yüzeyinde bozulmalar, dökülmeler ve çatlamlar meydana gelmiştir.
- Yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen sıcak korozyon testleri sonrasında, yapılan XRD analizlerinde, her korozyon süresinde spinel- Cr_2NiO_4 ve 1, 3 ve 5 saat boyunca Na_2SO_4

bileşikleri gözlemlenmiştir. Oluşan bu fazlar, sıcak korozyonun ilerleyişi ve yüzeydeki kimyasal değişimlerin anlaşılması açısından önemli veriler sağlamaktadır.

- Yüksek oranda Ni içeren süper alaşım, yüksek reaktif V_2O_5 ile reaksiyona girerek korozyonun ana hasar yapısını oluşturan iğnemsili/çubuk morfolojiye sahip $Ni_3V_2O_8$ korozyon ürünü oluşmuştur. Bu fazın varlığı, yüzeyde gelişen çatlama, oksitlenme ve mekanik zayıflama gibi hasar süreçlerini açıklayıcı niteliktedir.

5. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

6. YAZAR KATKISI

Okan ODABAŞ, çalışmanın kavramsal ve/veya tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetilmesi, verilerin toplanması, verilerin analizi ve sonuçların yorumlanması, makalenin hazırlanması ve fikrîsel içeriğin eleştirel incelenmesi ve son onay konusunda tam sorumluluğa sahiptir.

7. KAYNAKLAR

- Akdoğan V. U., Termal Bariyer Kaplamaların Lazer ile Yüzey Modifikasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2011.
- Alazzawi S., Mahmood W. A., Shihab S. K., Comparative Study of Natural Fiber-Reinforced Composites for Sustainable Thermal Insulation in Construction. *International Journal of Thermofluids* 24, 100839, 2024.
- Altat S. F., Rahman A., Wani M. F., Long-term stability and performance of nanostructured thermal barrier coatings deposited by magnetron sputtering on superalloys: A review. *Surface Engineering* 41(2), 149-175, 2025.
- Badea T. A., Assessment of hot corrosion in molten Na_2SO_4 and V_2O_5 of inconel 625 fabricated by selective laser melting versus conventional technology. *Materials* 15(12), 4082, 2022.
- Bayraktar Ş., Assessment of cutting performance on drilling with different drilling methods of fiber reinforced polymer composites: A Literature Review. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 33(2), 609-626, 2018.
- Benito E. D., Ueno A., Fukuyama T., Current State of Knowledge on Bare High-Nickel Type Weathering Steel Towards the Application as Concrete Reinforcement. *Journal of Advanced Concrete Technology* 20(4), 313-327, 2022.
- Binal G., Isothermal oxidation and hot corrosion behavior of HVOF sprayed 80Ni-20Cr coatings at 750° C. *Surface and Coatings Technology* 454, 129141, 2023.
- Cinca N., Guilemany J. M., Thermal spraying of transition metal aluminides: An overview. *Intermetallics*, 24, 60-72, 2012.
- Gupta A., Patel P., Shah S., Patel K., Nanocomposites in focus: tailoring drug delivery for enhanced therapeutic outcomes. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences* 11(1), 37, 2025.
- Hu S., Finklea H., Liu X., A Review of Molten Sulfate Salts Induced Hot Corrosion. *Journal of Materials Science & Technology* 90, 243-254, 2021.

- Jeong W., Lee T., Youn S. J., Lee M., Kong T., Ryu H. J., Effect of decomposed TiCp on the mechanical properties of laser powder directed energy deposited Inconel 718. *Journal of Materials Science & Technology* 224, 66-79, 2025.
- Li L., Li L., Zhang G., Xue H., Cui M., Wang W., Liu D., Hot corrosion behavior of inconel 625 in Na_2SO_4 and V_2O_5 molten salt system. *Metals* 13(6), 1069, 2023.
- Li Z., Lin X., Sui S., Zhao X., Yao B., Zhong C., Gasser A., Tan H., Single-crystal structure formation in laser directed energy deposited Inconel 718 through process parameter optimization and substrate orientation tuning. *Journal of Materials Processing Technology* 335, 118673, 2025.
- Liu Z., Li R., Wu Y., Ye D., He C., Progress in terahertz nondestructive testing of thermal barrier coatings: a review. *Nondestructive Testing and Evaluation* 1-38, 2025.
- Luo K., Li S., Xu G., Hosseini S. R. E., Lu, J., Hot corrosion behaviors of directed energy deposited Inconel 718/Haynes 25 functionally graded material at 700° C and 900° C. *Corrosion Science* 197, 110040, 2022.
- Narayanan B. K., Duraiselvam M., Natarajan S., Khan M. A., Hot Corrosion and Oxidation Behaviour of a Laser Processed Nickel-based Superalloy. *Lasers in Engineering (Old City Publishing)* 43, 2019.
- Odabas O., Karaoglanli A. C., Ozgurluk Y., Binal G., Ozkan, D., Evaluation of AlCoCrFeNiTi-high entropy alloy (HEA) as top coat material in thermal barrier coating (TBC) system and investigation of its high temperature oxidation behavior. *Surface and Coatings Technology* 495, 131569, 2025.
- Odabas O., Karaoglanli A. C., Comparison of microstructural evolution and high temperature oxidation behavior of AlCoCrFeNiTi and AlCoCrFeNiZr high-entropy alloy coatings. *Surface and Coatings Technology* 494, 131529, 2024.
- Patil A. R., Vagge S. T., Hot corrosion behaviour of Inconel 738 superalloy in presence of NaCl, Na_2SO_4 , V_2O_5 . *Materials Today: Proceedings*, 65, 74-80, 2022.
- Pond Jr R. B., Shifler D. A., High-temperature corrosion-related failures. In: *Failure Analysis and Prevention*. ASM International 868-880, 2002.
- Selim H., Suleiman B., Dawood A., Montagne P., Amancherla S., Khalidi A., Water-Based Yttrium Additive for Hot Corrosion Inhibition in a Gas Turbine. In: *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*. American Society of Mechanical Engineers, V03BT04A017, 2024.
- Sun K., Zhong W., Huang S., He X., Cai W., Ma R., Jiang T., You S., Wang L., Li W., Research Progress on the Corrosion Mechanism and Protection Monitoring of Metal in Power Equipment. *Coatings* 15(2), 119, 2025.
- Swaminathan J., Raghavan S., Iyer S. R., Studies on the hot corrosion of some nickel-base superalloys by vanadium pentoxide. *Transactions of the Indian Institute of Metals (India)*, 46(3), 175-181, 1993.
- Wang H., Guo Q., Li C., Cui L., Yao H., Liu Y., Effect of homogenization treatment on the microstructure and creep properties of additively manufactured Inconel 718 alloy modified by Ti_2AlC inoculants. *Journal of Alloys and Compounds* 1017, 179062, 2025.
- Yao B., Fu L., Zhu J., Yang W., Zhou L., Thermostable Nickel Chloride Film as High Specific Power Cathode for Thermal Battery. *ACS Applied Materials & Interfaces* 17(7), 10662-10673, 2025.