

İzmir-Balçova Jeotermal Doğrudan Isıtma Sisteminde Kullanılan St-37 Karbon Çelik Malzemesinin Değişik Akışkan Hızlarındaki Korozyon Davranışı ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimler

Umut İNCE*

Macit TOKSOY

Mustafa GÜDEN

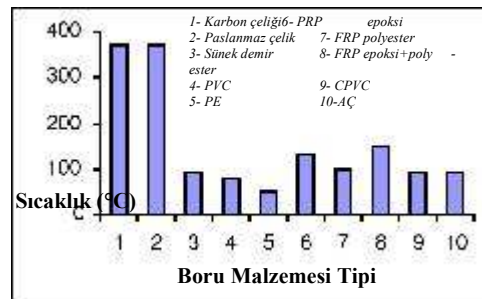
Özet

İzmir-Balçova ısıtma sisteminde kullanılan St-37 çelik malzemesinin düşük (0,002 m/s) ve yüksek (9,3 m/s) akışkan hızlarındaki korozyon davranışları ve korozyon sonucu oluşan mekanik özelliklerdeki değişimler araştırılmıştır. Deney sonuçları, düşük akışkan hızlarında homojen dağılmış korozyon hızının azaldığını ancak çukurcuk korozyon eğiliminin arttığını göstermiştir. Çalışılan her iki akışkan hızlarında malzeme yüzeyinde oluşan korozyon tabakalarının yapısı mikroskopik ve elemental analiz yöntemleri ile detaylı incelenmiştir. Korozyon deneyleri ve mekanik test sonuçları kullanılarak çalışılan akışkan hızlarında malzemenin ömürleri tahmin edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Jeotermal, Korozyon, Çukurcuk korozyonu, Mekanik özellikler

1. Giriş

Jeotermal ısıtma sistemlerinde karbon ve paslanmaz çelik, asbestos çimento (AÇ), sünek demir, polivinil klorür (PVC), chlorinated polivinil klorür (CPVC), polietilen (PE) ve cam elyaf takviyeli plastik (FRP) borular yaygın kullanılmaktadır [1]. Şekil 1'de bu malzemelerin azami kullanım sıcaklıkları sırası ile gösterilmektedir. Karbon çelikler, yüksek sıcaklığa karşı gösterdikleri dayanım ve ekonomik nedenlerden dolayı jeotermal sistemlerde tercih edilen boru malzemesidir. Bu malzemelerin en önemli dezavantaj



Şekil 1. Jeotermal akışkan dağıtım sistemlerinde kullanılan boru malzemeleri için çalışma sıcaklıkları [2].

* İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü

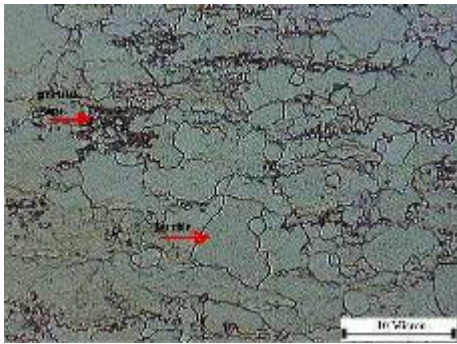
ları ise akışkan içerisinde oluşan korozyon ve kabuklaşmanın kullanım ömürlerini sınırlama sıdır [2]. Korozyon deneyleri sonuçları bu malzemelerde oluşan hasarlar ve korozyon hızları konusunda detaylı bilgi taşımaya karşın malzeme ömür tayininde yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, çukurcuk korozyonunun malzemede çatlak etkisi yaratarak malzemenin mekanik özelliklerini değiştireceği düşünce sini temel olarak, İzmir-Balçova jeotermal dağıtım sisteminde kullanılan St-37 karbon çelik malzemesinin ömrünü hesaplamaya yönelik bir çalışma yaptık. Seçilen düşük ve yüksek akışkan hızlarında oluşan homojen korozyon hızları ve korozyon ürünleri mikroskopik ve elemental analiz yöntemleriyle belirlenmeye de çalışılmıştır. Kullanılan yöntemin pratikte uygulanabilirliği bir sonraki çalışmada irdelenecektir.

2. MALZEME ve DENEYSSEL METODLAR

Korozyon deneylerinde kullanılan plaka şeklindeki St-37 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de, mikro yapısı ise Şekil 2’de gösterilmektedir. St-37 çeliği %0,17 C ve %0,3 Mn ve Si ana alaşım elementlerini içermekte, mikroyapısı ise ferrit daneleri arasına serpiştirilmiş az miktarda perlit’den oluşmaktadır (Şekil 2). Ferrit danelerinin boyutu 10 mikron civarındadır.

Tablo 1. St-37’nin kimyasal kompozisyonu.

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Diğer
0,17	0,3	0,05	0,050,3		0	0	0	0,009N



Şekil 2. St-37 karbon çeliğinin mikro yapısı.

- Korozyon deneyleri İzmir-Balçova jeotermal sisteminde B11 kodlu kuyu akışkanı içerisinde gerçekleştirilmiştir. B11 kuyusunun seçilmesinin nedeni, akışkan kimyasal içeriğinin ve sıcaklık ve elektrik iletkenliğinin diğer kuyulardaki özelliklerin ortalama değerlerini göstermesidir. Tablo 2’de kuyunun akışkan kimyasal kompozisyonu sıralanmıştır. Deneyler esnasında da akışkana jeotermal sistemlerde önerilen miktarlarda Antimon (Sb) bazlı katodik bir inhibitör eklenmiştir[3]. Katodik inhibitörler elektro kimyasal korozyon hücrelerinde gerçekleşen reaksiyonların hızlarını, özellikle de hidrojen indirgenme reaksiyon hızını, azaltarak genel korozyon hızını düşürmektedirler.

Tablo 2. İzmir-Balçova jeotermal sistemi B11 kuyusu akışkan kimyasal analizi.

Yer		B-11
T (°C)		100
pH(25 °C)		7,48
EC (25)	µS/cm	1897
Li+	mg/l	1,5
Na+	mg/l	366,5
K+	mg/l	29,8
Mg2+	mg/l	23,5
Ca2+	mg/l	31
B	mg/l	9,2
SiO ₂	mg/l	124
HCO ₃	mg/l	623
SO ₄ ²⁻	mg/l	161
F-	mg/l	3,75
Cl-	mg/l	208

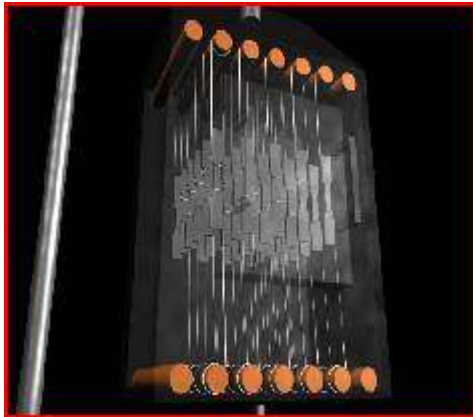
Şekil 3’de, B11 kuyusu dağıtım şebekesi sisteme eklenen deney düzeneği şematik olarak gösterilmektedir. Deney düzeneği St-37’den imal edilmiş ve A ve B olarak adlandırılan iki bölgeden oluşmaktadır. A bölgesinde akışkan hızı oldukça düşüktür (0,0020 m/s). Bu bölgede durgun akışkan korozyon deneyleri yapılmıştır. B bölgesinde ise akışkan hızı 9,3 m/s

deneylerinde kullanılmıştır. Şekil 3'de gösterildiği üzere, A bölgesine korozyon ve/veya mekanik test numunesi yerleştirmek üzere tasarlanmış düzeneğe numune yerleştirme ve alma işlemlerinin yapılabileceği bir kapı konulmuştur. Deney düzeneğine, kapının açılması ile sisteme giren oksijenin uzaklaştırılması için bir hava alma vanası yerleştirilmiştir. Düzeneğe yerleştirilen debimetre, termometre ve manometre ile deney süresince debi, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmıştır.

Korozyon ve mekanik test deneylerinde kullanılan St-37 çekme testi numuneleri ASTM E-8 standardına [4] uygun boyutlarda, tel erozyon cihazı ile hazırlanmıştır. Numuneler sırası ile A ve B bölgelerine sıcaklığa dayanıklı ip kullanılarak



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik görünüşü.



Şekil 4. Test numuneleri yerleşim şematiği.

ma zamanı ile değişimi sırası ile Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir. Homojen dağılımlı korozyon hızı bu numunelerde 0,0178 mm/yıl civarlarında değişmektedir. Şekil 5'de düşük zamanlarda ölçülen nispeten daha yüksek korozyon hızları çeliğin yüzeyinde oluşan

- üzere, plaka şeklinde hazırlanan çekme numuneleri, yüzeyleri sıvı akışına paralel şekilde durcuk şekilde asılmışlardır. Deney süresince akışkan sıcaklığı ölçülmüş ve sabit bir aralıkta (98-100 °C) değiştiği gözlenmiştir.
- Korozyon deneyleri öncesi ve sonrasında tüm numunelerin ağırlıkları ve boyutları ölçülmüştür.

Korozyona uğrayan deney numuneleri, çeşitli süreler sonrasında deney düzeneğinden alınmış ve kurutulduktan sonra ağırlıkları ölçülmüştür. Ağırlık kaybı prensibine dayanarak korozyon hızları hesaplanmıştır. Çukurcuk korozyonu oluşmuş bölgeler mikroskop ile belirlenmiştir.

Malzemede oluşan maksimum çukurcuk derinliği yüzey pürüzlülüğü cihazı (Mitutoyo SJ-201) ile ölçülmüştür. Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM), Enerji Difraksiyon X-ışını (EDX) ve X-ışınları Kırınım (XIK) cihazları kullanılarak korozyona uğramış malzemenin yüzeyleri incelenmiş ve korozyon ürünleri tespit edilmiştir. En son aşamada, numunelere çekme testi uygulanarak korozyon sonucu mekanik özellikler de oluşan değişimler belirlenmiştir. XIK analizi için numuneler malzeme yüzeyinden malzemeye zarar vermeksizin alınmıştır.

Homojen dağılımlı korozyon hızı aşağıda verilen denklemle hesaplanmıştır [5]:

$$\text{Korozyon hızı (mm/yıl)} = \frac{87,6 W}{D A T} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde W ağırlık kaybı (mg), D özgül ağırlık (gr/cm^3), A yüzey alanı (cm^2) ve T ise korozyona maruz kalma zamanıdır (saat). Homojen korozyon sonucunda oluşan malzeme kalınlığındaki azalma ise aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır:

$$\text{Kalınlık kaybı (mm)} = \frac{0,0099 W}{D A} \quad (2)$$

3. SONUÇLAR ve İRDELEME

3.1 Düşük Hız Korozyon Deneyleri

A bölgesinden alınan numunelerdeki korozyon hızı ve ağırlık kaybının akışkana maruz kal

- sedildiği gibi kullanılan inhibitörden kaynaklanmaktadır.

Korozyona maruz kalma zamanının artması ile gözenekli yapının büyük oranda kaybolduğu ve korozyon ürünlerinin çelik yüzeyini tamamen

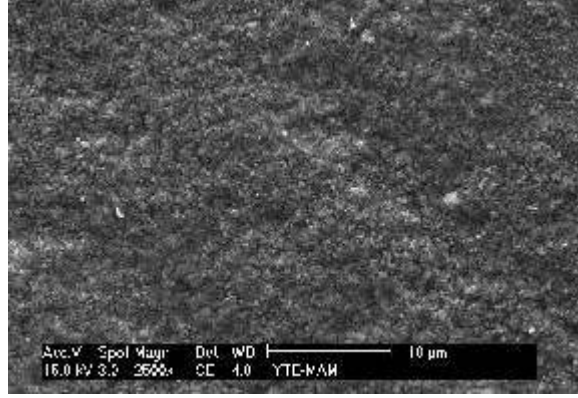
korozyon hızları çelik yüzeyine oluşan korozyon ürünleri ile yakından ilişkilidir.

Akışkan hızının azaldığı ortamlar, yüzeyde amorf yapıda korozyon ürünlerinin oluşmasını artırmaktadır. Şekil 7'de korozyona uğramış numunenin, Şekil 8'de ise 336 saat korozyona maruz kalmış numunenin TEM yüzey görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi 336 saat sonrası korozyon ürünleri amorf ve gözenekli yapıya sahiptirler. Gözenekli korozyon tabakası nedeni ile düşük sürelerde korozyon hızı yüksektir.

Yüzeyde yapılan EDX analizi (Şekil 9) korozyon ürününün başlıca C, O, Mg, Si, S, Sb, Fe elementlerinden oluştuğunu göstermiştir. Korozyon tabakasında Sb bulunması daha önce bah

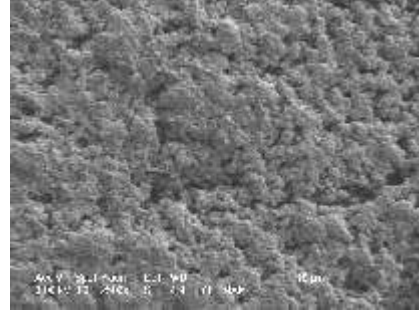
kapladığı Şekil 10'da görülmektedir. Artan korozyona maruz kalma sürelerinde amorf yapı metal yüzeyi tamamen kaplayarak çelik ve elektrolit (jeotermal akışkan) arasındaki elektrokimyasal reaksiyonlarını azaltmakta ve homojen dağılımlı korozyon hızını düşürmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi, çalışılan akışkan hızında (0,002 m/s), yüzeyde koruyucu amorf yapı ancak 554 saat sonrasında oluşmaktadır.

Korozyon ürün tabakalarının yapı ve kompozisyonunun belirlenmesi için 336 ve 845 saat jeotermal akışkana maruz kalmış numunelerin



Şekil 7. Korozyona uğramamış malzemenin yüzey TEM görüntüsü.

Şekil 5. Korozyon hızı-maruz kalma zamanı grafiği.

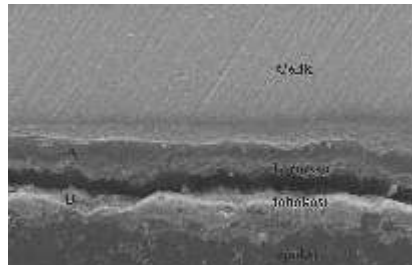


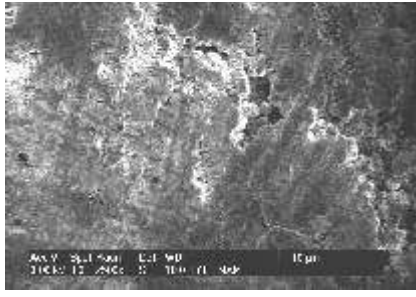
Şekil 8. 336 saat korozyona maruz kalmış numunenin yüzeyinde oluşan boşluklu korozyon tabakası.

Şekil 6. Ağırlık kaybı-maruz kalma zamanı grafiği.



Şekil 9. 336 saat korozyona maruz kalmış numunenin yüzey EDX analizi.





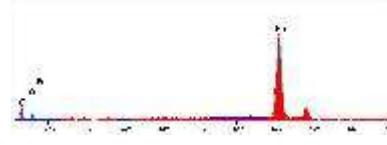
Şekil 10. 1207 saat korozyona maruz kalmış numunenin yüzey TEM görüntüsü.

kesitleri TEM ve EDX analizleriyle incelenmiştir. TEM numuneleri epoksi kalıp içine gömüldükten sonra parlatılmıştır. Gömme işlemi sonrası çelik üzerinde oluşan korozyon tabakası iki parçaya ayrılmıştır (Şekil 11). EDX analizi epoksiye yapışık kalan korozyon tabakasının (Şekil 11 'de B ile işaretlenen bölge) C, O, Fe, Mg, Si ve S'den oluştuğunu, çelik üzerinde yapışık kalan bölgenin ise (Şekil 11 'de A ile işaretlenen bölge) C, O ve Fe'den oluştuğunu göstermiştir. Şekil 11 'de gösterilen A bölgesi, çeliğe siyah renk vermek için uygulanan ısıtma işlemi sonucu oluşan katman ile korozyon sonucu oluşan demir-oksit tabakasıdır.

Şekil 13 'de 845 saat korozyona maruz bırakılmış numune üzerinde oluşan korozyon tabakasının TEM kesit görüntüsü verilmektedir. Benzer şekilde epoksi kalıplama sonucunda korozyon tabakasının bir bölgesi çelik üzerinden kalkmıştır. Şekil 13 'de görüldüğü üzere Şekil 11 'de görülen A tabakası (demir oksit) yüksek korozyon sürelerinde kaybolmuştur. Korozyon tabakasına yapılan (Şekil 13 'deki B bölgesi) EDX analizi Şekil 14 'de gösterilmektedir. Düşük korozyon sürelerine maruz kalan numunelere benzer şekilde, 845 saat sonrasında oluşan korozyon tabakasında C, O, Fe, Mg, Si ve S

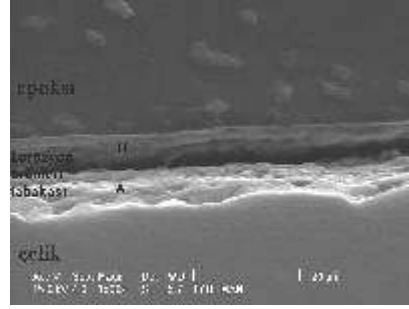


Şekil 11. 336 saat korozyona maruz bırakılmış çelik numunesinin kesit TEM görüntüsü.

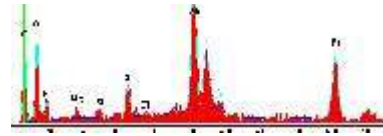


Şekil 12. Şekil 11 'de gösterilen A bölgesinin EDX analizi.

elementleri bulunmuştur. Ancak, uzun bekleme sürelerinde korozyon tabakasında Sb görülmeye başlamıştır.



Şekil 13. 845 saat korozyona maruz kalmış numunenin kesit TEM görüntüsü.



Şekil 14. Şekli 13 'deki B bölgesinin EDX analizi.

Mikroskopik gözlemler ayrıca çukurcuk korozyonunun gelişiminde önemli etkisi olan göze



neklilerle tünelimsi elyaf yapıların çalışmaları akışkan hızında oluştuğunu da göstermiştir (Şekil 15). Şekil 16 (a) 'da St-37 yüzeyinde oluşmuş tubercle yapı gösterilmektedir. Şekil 16(b) 'de ise yapının altında başlayan çukurcuk korozyonu açıkça görülmektedir.

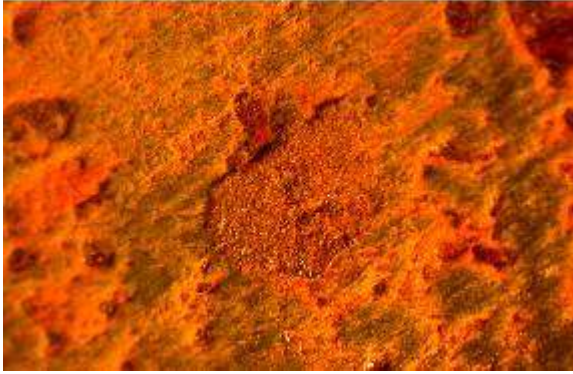
Şekil 17, düşük akışkan hızında maksimum çukurcuk derinliğinin ve homojen dağılımlı korozyon hızıyla hesaplanan kalınlık kaybının korozyona maruz kalma zamanı ile değişim grafiklerini göstermektedir. Maksimum çukurcuk derinliği test edilmemiş numunelerde 1.9 mikron iken, korozyona uğrayan numunelerde



Şekil 15. Yüzeyde oluşan tubercle yapının TEM görüntüsü.



(a)

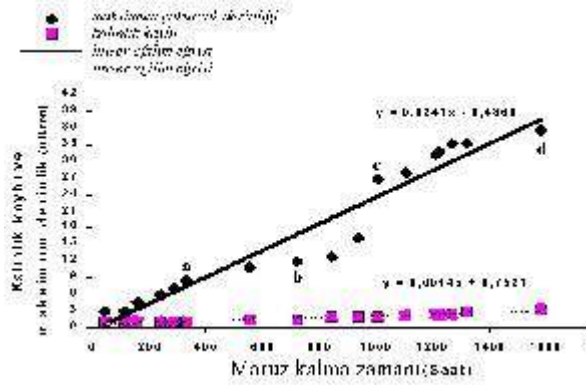


(b)

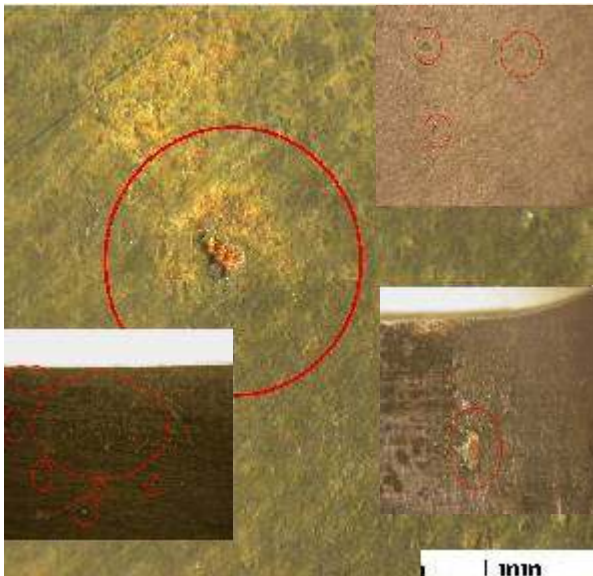
Şekil 16. (a) yüzeyde oluşan tubercle yapı ve (b) yapının altında başlayan çukurcuk korozyonu.

derinlik süre ile artmaktadır. 1581 saat maruz kalma sonucunda çukurcuk korozyonu kaynaklı çukurcuk derinliği 35,78 mikronken, kalınlık kaybı sadece 3,22 mikron dur.

Şekil 17'deki grafik üzerinde a, b, c ve d harflerine karşılık gelen korozyona maruz kalma sürelerinde yüzeyde oluşan çukurcuk korozyonunun mikroskopik görüntüleri sırası ile Şekil 18'de gösterilmektedir. Korozyona maruz kalma süresinin artması ile çukurcuk boyutunun artması bu şekilde açıkça görülmektedir. Değişik sürelerde deney düzeniğinden alınan numunelere yapılan çekme testinin sonuçları Şekil 19'de çekme gerilmesine karşılık birim şekil değişimi grafikleri ile gösterilmek



Şekil 17. Maksimum çukurcuk derinliği ve kalınlık kaybının artan korozyona maruz kalma zamanları ile değişim grafikleri.



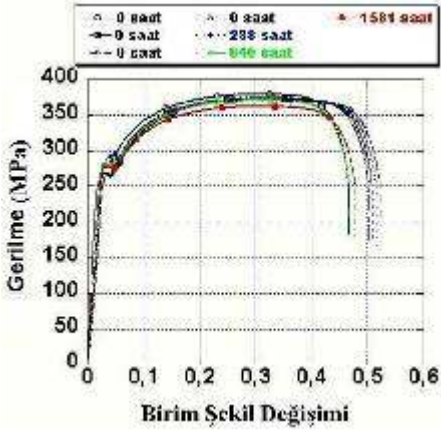
yüzeyinde oluşan çukurcukların çatlak gibi davranması ve/veya mikroskopik değişimler sonucunda oluştuğu varsayılmaktadır. Şekil 20'de ise maksimum gelimenin korozyona maruz kalma süresi ile lineer değişimi gösterilmektedir.

Akışkanlı borularda patlama için gereken basınç aşağıda verilen Barlow denklemi ile hesaplanabilir [6]:

$$P = \frac{2 * S * T}{(OD - 2 * T) * SF} \quad (3)$$

Burada P patlama basıncı, S maksimum çekme gerilmesi, T et kalınlığı, OD borunun dış çapı ve SF ise emniyet faktörüdür. Farklı korozyona kalma sürelerinde oluşan maksimum çukurcuk derinliğinden (Şekil 17'de gösterilen lineer denklem) Denklem 3'de verilen et kalınlığı ve

Şekil 18. Şekil 17'de harflendirilen; a, b, c ve d korozyona maruz kalma zamanlarında çelik yüzeyinde oluşan çukurcuk korozyonunun mikroskopik görüntüleri.



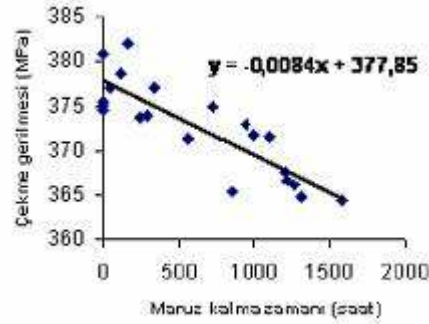
Şekil 19. Çeşitli zaman sürelerinde korozyona uğramış numunelerin gerilme-birim şekil değişimi grafikleri.

tedir. Korozyona maruz kalma süresi arttıkça maksimum çekme gerilmesi azalmakta ve malzeme daha kırılğan olmaktadır. Hiç korozyona uğramamış St-37 çeliğinin maksimum çekme gerilmesi 375-380 MPa aralığında iken, 1581 saat sonunda bu değer 364,2 MPa'a düşmüştür. Gerilmelerde gözlenen azalmanın malzeme

buna karşılık gelen maksimum çekme gerilmesi ile (Şekil 20'de verilen lineer denklem) hesaplanabilir. Denklem 3 kullanılarak ASTM A53-94 Schedule 40 standardına [7] uygun 2,87 mm et kalınlığı ve 26,67 mm dış çapa sahip St-37 malzemesi için patlama basıncının aylara göre değişimi hesaplanmıştır. Hesaplamalar da emniyet faktörü 1 kabul edilmiştir. Hesaplamalar, borunun patlama basıncının, 62 aylık (~5 yıl) kullanımdan sonra çukurcuk korozyonunun etkisiyle 1,2 barın altına düştüğünü göstermektedir (Şekil 21).

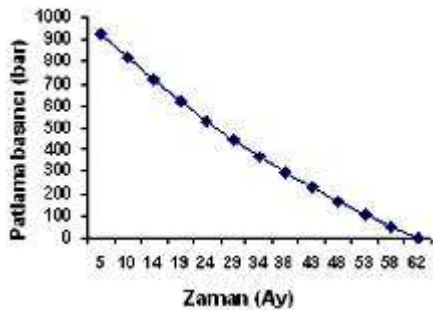
3.2 Yüksek Hız Korozyon Deneyleri

Daha önce belirtildiği üzere yüksek akışkan



Şekil 20. Maksimum çekme gerilmesinin korozyona maruz kalma zamanı ile değişimi.

hızı korozyon deneyleri 9,3 m/s akışkan hızında yapılmıştır. Numunelerdeki korozyon hızı



Şekil 21. Jeotermal sistemde çok düşük hızlarda korozyona maruz kalmış 2,87 mm et kalınlığına ve 26,67 mm dış çapa sahip St-37 borunun Barlow denkleminde hesaplanan yaklaşık patlama basınçlarının zamanla değişimi.

nün jeotermal akışkana maruz kalma zamanı ile değişimi Şekil 22'deki grafikte gösterilmektedir.

Şekil 22'de görüldüğü gibi, çalışılan akışkan

şanın ilk katman demir oksit ve demir karbon bileşiklerinden oluşmaktadır. Bu katmanın üzerinde bölgesel olarak karbon birikimleri gözlemlenmiştir. Ayrıca düşük hızlardaki korozyon tabakasına benzer şekilde magnezyum ve antimon miktarları üst katmanlara doğru artma eğilimi gösterdiği Şekil 25'deki EDX analizinde görülmektedir.

Şekil 26'da çalışılan akışkan hızında çukurcuk korozyonundan dolayı oluşmuş maksimum çukurcuk derinliğine ve homojen dağılımlı korozyon hızıyla hesaplanan kalınlık kaybına karşılık korozyona maruz kalma zamanı grafikleri gösterilmektedir. 1200 saat korozyona maruz kalma sonucunda oluşan çukurcukun maksimum derinliği 20,1 mikron iken, homojen dağılımlı korozyon hızından hesaplanan kalın



nızında homojen dağılımlı korozyon hızı 0,0221 mm/yıl civarındadır. Bu numuneler, düşük akışkan hızlarına maruz kalan numunelerden daha hızlı korozyona uğramaktadır. Ar

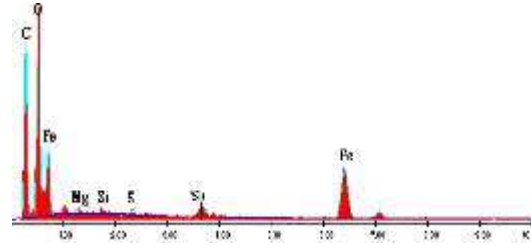


Şekil 23. 336 saat korozyona maruz kalmış St-37 karbon çeliği yüzeyinin TEM görüntüsü.

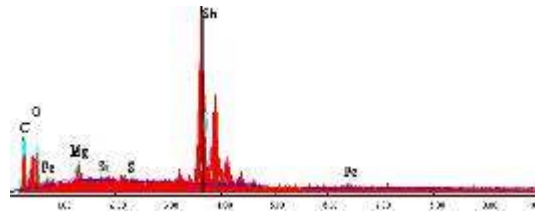


Şekil 22. Korozyon hızı-maruz kalma zamanı grafiği.

tan korozyon hızına korozyon ürünlerinin kristal yapıda olmasının (Şekil 23) neden olduğu düşünülmektedir. Kristaller arası boşlukların yüzey ile akışkan arasında teması oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Şekil 24'de gösterilen EDX analizine göre malzeme üzerinde olu



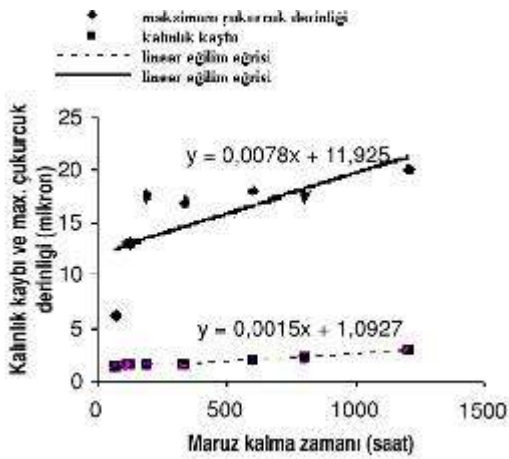
Şekil 24. Korozyon tabakası ilk katman EDX analizi.



Şekil 25. Korozyon tabakası son katman EDX analizi.

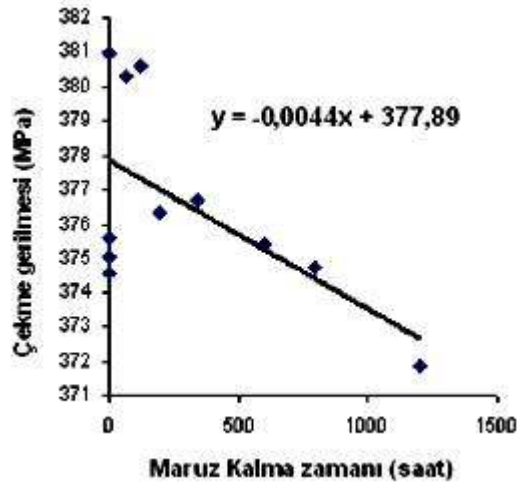
10
2004

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 83,

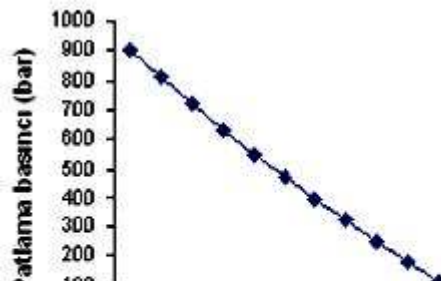


Şekil 26. Maksimum çukurcuk derinliği ve kalınlık kaybının artan korozyona maruz kalma zamanları ile değişimi.

lık kaybı 3,07 mikron'dur. Bu değerler düşük akışkan hızı için sırasıyla 31,3 ve 2,42 mikron'dur. Bu ise yüksek akışkan hızlarında homojen dağılımlı korozyonun, düşük hızlarda ise çukurcuk korozyonun daha etkin olduğu göstermektedir. Düşük akışkan hızları yüzeydeki duran su film tabakasının kalınlığının artma



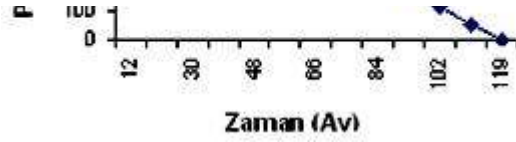
Şekil 27. Maksimum çekme gerilmesinin korozyona maruz kalma zamanı ile değişimi.



sı ile iyon transferini ve difüzyonunu azaltarak ve amorf yapıdaki korozyon ürünlerinin yüzeyde birikmesine izin vererek homojen dağılımlı korozyon hızını düşürmektedir. Fakat, düşük akışkan hızlarında oluşan tubercle yapıları malzeme yüzeyinde daha uzun süre kaldıkları için çukurcuk korozyonunu arttırmaktadır.

Yüksek akışkan hızı test numunelerindeki maksimum çekme gerilmesinin korozyona maruz kalma zamanı ile değişimi Şekil 27'de gösterilmektedir. Bu şekilde gösterilen lineer korrelasyon denkleminin eğimi düşük hız korozyon deney numunelerinden daha düşüktür. Bunun temel nedeni olarak oluşan maksimum çukucuk derinliğinin yüksek akışkan hızına maruz kalmış numunelerde daha düşük olması düşünülmektedir.

Benzer şekilde, yüksek akışkan hızına maruz kalmış numunelerin maksimum çukucuk derin



Şekil 28. Jeotermal sistemde yüksek akışkan hızlarında korozyona uğramış 2,87 mm et kalınlığına ve 26,67 mm dış çapa sahip St-37 borunun Barlow denkleminde zamanla değişen patlama basıncının zamanla değişimi.

liği ve maksimum gerilme verileri kullanılarak, Schedule 40 standartlarına uygun St-37 malzeme yapılmış borunun patlama basıncı aylara göre tahmin edilmiş ve sonuçlar Şekil 28'de gösterilmiştir. Boruda patlama basıncının, 119 aylık (~10 yıl) kullanımdan sonra çukurcuk korozyonunun etkisiyle 2 barın altına düşeceği hesaplanmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada St-37 çelik malzemesinin düşük (0,002 m/s) ve yüksek (9,3 m/s) akışkan hızla

rındaki korozyon davranışları ve korozyon sonucu oluşan mekanik özelliklerdeki değişimleri incelenmiştir. Korozyon deneyleri ve mekanik test sonuçları kullanılarak malzemenin bahsedilen hızlardaki ömürleri tahmin edilmiştir. Deney sonuçları, düşük akışkan hızlarında homojen dağılmış korozyon hızının daha düşük olmasına karşın, çukucuk korozyon eğiliminin arttığını göstermiştir. St-37 malzemesinin ömürünün, çalışılan düşük akışkan hızında 5, yüksek akışkan hızında ise 10 yıl olduğu hesaplanmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Lund J., Linenau Paul, Lunis B., "Geothermal direct-use engineering and design guide book", Geo-heat center, Oregon institute of technology.
2. Rafferty K., "Piping-chapter 10", Geo-heat center, Oregon institute of technology.

3. Türk Henkel Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş
4. ASTM E8 "Standart Test Methods of Tension Testing of Metallic Materials"
5. Fontana M.G., Corrosion Engineering, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1987
6. Machinery's Handbook, 27'th edition. Industrial press INC, Newyork 2000.
7. ASTM A53-94, ASTM A120-82 "Dimensions and weights for welded steel pipes, black, plain end.

