

ARKEOLOJİK DEMİR BULUNTULARDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE NEDENLERİ¹

Zeynep YILMAZ²

Özet

Arkeolojik demir buluntularda karşılaşılan sorunlar ve nedenleri üzerine derlenmiş olan çalışmada kısaca demir madenin özelliklerinin neler olduğu açıklanmaya çalışılmış, toprak altı ve üstünde karşılaşılan sorunlar ve nedenleri üzerinde durulmuştur. Demir buluntularda bozulmaların nedenleri her iki (toprak altı ve toprak üstü) koşulda da benzerlikler içermektedir. Bozulma nedenlerinden bağıl nem, sıcaklık ve oksijenin varlığı direk etki etmektedir. Klorürlerin etkisi ise bağıl nem varlığında etkisini yoğun olarak göstermektedir. Demir buluntuların bozulmalarını anlamak için öncelikle demir metalinin malzeme özelliklerinin ve demir buluntuların bozulma nedenlerini bilmek gerekmektedir. Demir korozyonunu ise demirin kendisinden çıplak gözle ayırt etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Temel olarak yapılacak incelemelerde stereo mikroskop kullanımı daha doğru sonuçlara ulaşmaya yardımcı olacaktır. Demir üzerinde oluşan korozyonların renkleri de birbirine benzediğinden ve hatta bazen aynı renk olduğundan gözle ayırt etmek mümkün olmayacaktır. Ancak ileri teknik analizler ile korozyon türünün ne olduğu tespit edilebilmektedir. Doğru tespitler sonucunda ise önleyici koruma ve direk müdahaleler ile demir buluntularını korumak mümkün olacaktır.

Anahtar kelimeler: Metal, koruma, demir bozulmaları, bozulma nedenleri, korozyon

Problems Encountered in Archaeological Iron Finds and Their Causes

Abstract

In the study, which was compiled on the problems encountered in archaeological iron finds and their causes, it was tried to explain the characteristics of the iron mine briefly, and the problems and reasons encountered above and

¹ Bu makale Gazi Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsünde yapılan Parion Antik Kenti Bronz Sikke Buluntularında Analiz Verilerine Göre Korunma Sorunları, Müdahalelerin Tespiti ve Koruma Onarım Uygulamaları başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

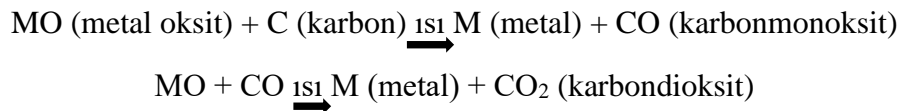
² Arş. Gör., Ankara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü. E-posta: zeynepars@yahoo.com.tr ORCID ID: 0000-0003-2201-2830

below the ground were emphasized. The causes of deterioration in iron finds are similar in both (subsoil and above ground) conditions. Relative humidity, temperature and presence of oxygen directly affect the causes of deterioration. The effect of chlorides shows its effect intensely in the presence of relative humidity. In order to understand the deterioration of iron finds, first of all, it is necessary to know the material properties of iron metal and the reasons for the deterioration of iron finds. It is not always possible to distinguish iron corrosion from the iron itself with the naked eye. Basically, the use of a stereo microscope will help to achieve more accurate results in the examinations to be made. Since the colors of the corrosions on iron are similar to each other and sometimes even the same color, it will not be possible to distinguish them with the eye. However, with advanced technical analysis, the type of corrosion can be determined. As a result of correct determinations, it will be possible to conservation the iron finds with preventive conservation and direct interventions.

Keywords: Metal, conservation, iron deterioration, causes of deterioration, corrosion

1. Giriş

Doğada nadiren saf halde bulunan demiri (Fe), "...priometalurji (ısı ile) metodu ile üretebilmek için ana madde olarak çıkartılan cevherin oksit halinde olması gereklidir. Demir içeren, Magnetit (Fe₃O₄), Hematit (Fe₂O₃), Götit (HFeO₂ – FeO (OH)), Limonit (FeO(OH).nH₂O) ve siderit (FeCO₃) gibi oksijen içeren cevherlerden metal üretimi, genel olarak kömürde bulunan karbonun kendisi ve ondan hasıl olan karbonmonoksit metal ile bileşik halde bulunan oksijeni ondan ayırma temeline dayanır ve kimyasal reaksiyonu (Fathalizadeh, 2012, s.55) şu şekilde gerçekleşir:"



En önemli metalik malzemelerden biri olan demirin günlük yaşamda kullanımı ile birlikte insan yaşamına etkisinin de belirleyici olduğu bilinmektedir. Demirin alet bazında kullanımının başladığı tarihler Demir Çağı olarak adlandırılmaktadır. Anadolu'da ve Yakın Doğunun komşu ülkelerinde Demir Çağı'nın başlangıcı MÖ 2 binin son çeyreği olarak kabul edilmektedir (Yalçın, 2000, s.307). Eski dünyada demirin kullanım tarihleri bölgesel olarak değişebilmektedir.

Arkeolojik kazılarda en çok karşılaşılan metallere oranla daha fazla bozulmaya uğramaktadır. Toprak altından ele geçen demirlerdeki bozulmaları çıplak gözle sınıflandırmak mümkün değildir. Renk ve yapı olarak birbirine benzer korozyon ürünleri, ileri arkeometrik analizler sayesinde tanımlanabilmektedir. Ayrıca korozyon kabuğunu demir özünden ayırt etmek için demir metalini ve oluşması muhtemel bozulmaları tanımak ve gerekiyorsa stereo mikroskop altında objeyi incelemek gerekmektedir.

2. Demir Objelerde Karşılaşılan Sorunlar ve Nedenleri

Arkeolojik demir objeler toprak altında en fazla oksidasyona uğrayan metallerdir. Bu sebepten dolayı toprak altından çıktuktan sonra bozulmanın tespiti ve stabil hale getirilmesi önem arz etmektedir. Aksi durumda ani ortam değişikliğine, oksijene, sıcak havaya ve bağıl neme maruz kalan demirde bozulmanın reaksiyonları hızlanarak devam etmektedir. Bozulmaları ve sebeplerini iki ana başlık altında toplamak mümkündür.

-Toprak altı bozulmalar ve bozulmalara etki eden sebepler

-Kazı sonrası oluşan bozulmalar ve bozulmalara etki eden sebepler

Demir buluntuların toprak altında bozulmalarına sebep olan etkileri şu şekilde sıralanabilir;

- Klorür iyonlarının etkisi
- Nemin etkisi
- Gömü (mezar/toprakaltı) ortamlarının etkisi
- Oksijenin etkisi
- Sıcaklık ve değişimleri
- Demiri oluşturan bileşiklerinin etkisi
- Toprak altında oluşan mekanik etki

Bozulma etkilerini çeşitlendirmek mümkündür. Bunlara, objenin gömülü olduğu bölgedeki toprağın yapısı, iklim şartları ve insanlar tarafından toprak üstünde yapılagelmiş faaliyetler ki bunlardan en yaygın olanı tarımsal faaliyetlerdir. Tarım ilaçlarının kullanımı, toprağın yapısını etkileyebilecek ve bölgeden bölgeye farklılık gösterebilecek bozulmaların oluşmasına da sebep olabilmektedir.

Oluşabilecek bozulmaların en önemli sebeplerinden biri de çözünebilir tuzlardır. Bağıl nem ile birlikte harekete geçen tuzlar oldukça aşındırıcı (agresif) bozulmalara neden olmaktadır. Demir toprak altındayken klorür iyonlarını çeker, oksidasyon sonucunda iyonların elektron alışverişi korozyona sebebiyet verir ve korozyonun özellikleri ortam koşullarına göre değişkenlik gösterir (Watkinson, Rimmer, Kergourlay, 2013, s. 409). Bağıl nem ile etkileşime giren tuz, korozyon hızının da artmasına sebep olmaktadır (Kumar, 2018 s.23). Kazı buluntuları üzerinde korozyon sorunlarının diğer bir belirtisi ise düşük oranlarda mikroskop altında görülebilen, nesne yüzeyi üzerindeki ıslak asidik sıvı damlası veya kuru ve kırmızı yuvarlak zarların oluşumudur. Damlaların oluşumu demir klorür tuzlarının higroskopik doğası (su emici yapısı) ile ilgilidir. Nem nispeten yüksek olduğunda ve tuz suyu absorbe ettiğinde demirde çözünmeler ve sıvı damlaları oluşur. Oluşan bu damlaların kenarlarında demir hidroksitler birikir ve yuvarlak bir kabuk oluşturur. (Kumar, 2018, s.25)

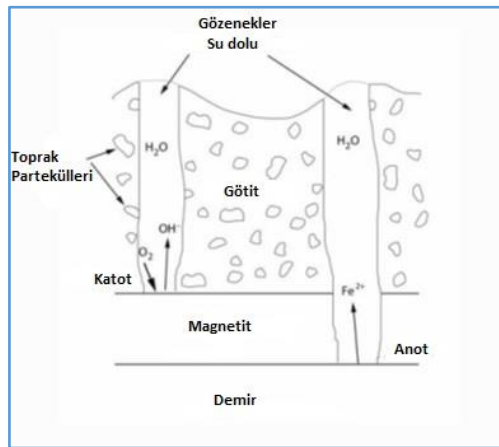
Bağıl nem değişimi, havanın sıcaklık ve soğuk dengesiyle de bağlantılıdır; “sıcak hava soğuk havadan daha çok su tutar. Bu nedenle kapalı alanlarda sıcaklık azaldığında bağıl nem artar”. Gömü (mezar) ortamları buna örnek olarak gösterilebilir. Gömülerde indirgenmiş sülfür de bozulma sebeplerindedir (Kumar, 2018, s.23).

Vimal Kumar (2018, s.24-25) soy metaller hariç diğer tüm metallerin kimyasal olarak kararsız olduğunu belirtmiştir. Metaller oksijenle birleştiğinde metal oksit oluşumları gözlenmektedir. Oksijene erişme hızı da önem taşıdığından hızlı şekilde oksijene maruz kalan bir demirde oksidasyon oluşur. Fe^{2+} iyonları ise aşağıdaki çözeltide oluşur:



Korozyon; metallerin çevresi ile yaptığı kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu metalik özelliklerini kaybetmesi olayıdır. Metaller doğada genellikle oksit ve sülfür mineralleri halinde bulunur. Bu bileşikler metallerin en kararlı halidir. Metaller bu bileşikler halinde iken serbest enerjileri en düşük durumdadır. Mineralleri metal haline dönüştürmek için enerji harcanması gerekir. Ancak metaller üretilirken almış oldukları bu enerjiyi geri vererek kendiliğinden doğada buldukları hale dönmek eğilimdedirler. Örneğin demir doğada genelde oksit mineralleri halinde bulunur. Bu minerallerden yüksek fırınlarda enerji harcanarak üretilen demir metali, zamanla korozyona uğrayarak doğada bulunan demir oksit mineraline benzeyen pası oluşturur (Gürü ve Yalçın, 2006, s.199).

Klorür iyonlarının demir korozyonunu hızlandırdığı bilinmektedir (Kumar, 2018, s.25). Sülfat iyonları ise korozyon döngüsünden yavaş olarak ayrılırlar; çünkü çözünmeyen demir (III) hidroksil sülfatları oluştururlar. Fe^{2+} iyonlarının oksidasyona uğraması sonucunda sülfürik asit (H_2SO_4) salınımı oluşur bu da daha fazla korozyona sebebiyet verir. Fe^{2+} iyonlarının oksidasyonu aynı zamanda götit (α - $FeOOH$), lepidokrosit (γ - $FeOOH$) ve akagenit (β - $FeOOH$) gibi birçok farklı oksihidroksitin birikmesine sebep olur. Akagenit sıklıkla havaya maruz kalan fakat işlem görmemiş olan arkeolojik buluntularda görülür. Demir buluntularda akagenitin varlığı korozyon tabakasının altında aktif demir korozyonu belirtisidir. (Graedel, T., Frankenthal, R., 1990, s.2385-2394; Kumar, 2018, s.25). Korozyon profillerinin bileşimleri çeşitlilik gösterebilir fakat demirde ağırlıklı olarak götit (α - $FeOOH$), magnetit (Fe_3O_4) ve magemit (Fe_2O_3) oluşumları gözlenir (Watkinson vd., 2013, s. 408).³ (Görsel 1)



Görsel 1. Demir korozyonunu gösteren şematik çizim (Einarsdóttir, 2012, s. 19)

³ Daha detaylı bilgi için bkz. (Neff, Vega, Dillmann, Descostes, Bellot, Gurlet and Béranger, 2007, s. 41-76)

Görsel olarak demir üzerindeki bozulmaları eksiksiz ve doğru olarak tanımlamak pek mümkün değildir, ancak ileri analiz teknikleri ile bozulmaların tespiti daha sağlıklı şekilde yapılabilir.

Tablo 1. Demir üzerinde görülen bazı korozyon ürünleri (Bloom and Smith, 1969, s. 2; Kumar, 2018, S. 24)

Kimyasal isim	Mineral ismi	Kimyasal formül	Renk
Demir oksit	Magnetit	Fe ₃ O ₄	Siyah
Demir oksit	Hematit	α-Fe ₂ O ₃	Kırmızı ya da siyah
Demir karbonat	Siderit	FeCO ₃	Sarı-kahverengi
Demir oksihidroksit	Götit	α-FeOOH	Sarı-kahverengi
Demir oksihidroksit	Akagaenit	β-FeOOH	Kırmızı-kahverengi
Demir oksihidroksit	Lepidokrokit	γ-FeOOH	Turuncu
Demir sülfat tetrahidrat	Rozenite	FeSO ₄ 4H ₂ O	Yeşil
Demir sülfat pentahidrat	Siderotil	FeSO ₄ 5H ₂ O	Beyaz
Demir sülfat heptahidrat	Melanterite	FeSO ₄ 7H ₂ O	Mavi-yeşil
Demir hidroksit sülfat dihidrat	Butlerit	Fe(OH)SO ₄ 2H ₂ O	Turuncu

Toprak altında demir objelerde görülen bozulmalar yalnızca kimyasal yapıda olmaz aynı zamanda fiziksel bozulmalar da gözlemlenmektedir. Fiziksel bozulmalar kimi zaman kimyasal kaynaklı olurken kimi zaman da mekanik kaynaklı olabilmektedir. Toprak altında uzun yıllar kalan demir metalinin kimyasal kaynaklı bozulmalara uğramasını fiziki olarak gözlemlemek mümkündür. Objede korozyonun sebep olduğu şekilsel bozulmalar veya minerallerin tepkimeye girerek oluşturduğu renk skalası buna örnek olarak verilebilir. Korozyona uğrayan demirin zayıfladığı ve kırılmanlaştığı bilinmektedir. Bu zayıflık ve kırılmanlık fiziksel bozulma olarak adlandırılan kırılmalara ve/veya çatlaklara sebep olmaktadır. Toprağın yarattığı mekanik baskı da kırılmalara ve çatlaklara neden olabilmektedir.

Toprak altında başlayan bozulma süreci objeler toprak üstüne çıktığında da devam etmektedir. Hatta toprak altında bir süre sonra yavaşlayan bozulma döngüsü stabil hale gelirken toprak üstüne çıkartılan objelerde bozulma oldukça hızlı şekilde devam etmektedir. 2000 yıl kadar toprak altında kalan ve nispeten daha az korozyona uğrayan bir obje yüzeye çıkartıldıktan 40-80 yıl sonra tamamen tahrip olabilmektedir. Toprak üstüne çıkartıldıktan sonraki korozyon artışının topraktakine kıyasla birçok nedeni vardır. Topraktaki stabilitenin temel nedeni, nispeten düşük oksijen içeriği ve inhibe edici katmanların oluşumu gibi görünmektedir. Toprak üstüne çıktıktan sonra obje %40'dan fazla bağıl neme maruz kaldığında klorit iyonları demir çekirdeği ile korozyon tabakası arasındaki ara yüzde nem oluşturan sıvı elektrolitleri çeker. Klorürlerin katalitik etkisiyle birlikte yüksek oksijen konsantrasyonu yukarıda belirtilen toprak üstüne çıkartıldıktan sonraki

korozyon artışının hızının artmasına sebep olarak gösterilmektedir (Patscheider and Vepřek, 1986 s. 29).

Demir buluntuların toprak üstünde bozulmalarına sebep olan diğer etkileri şu şekilde sıralanabilir;

- Bağlı nemin etkisi
- Oksijenin etkisi
- Sıcak havanın etkisi
- Atmosferik kirliliğin etkisi
- Yanlış koruma uygulamalarının etkisi

Bağılı nem ve oksijenin etkisinden yukarıda bahsedilmiştir, buna ek olarak demir objelerin arazi şartlarında, laboratuvar ortamında ve uzun süreli depolama alanlarında maruz kaldığı yüksek bağlı nem bozulmanın ana etkilerindedir. Objeler, kazı alanında toprak altından (gömmü ortamından) çıktıktan sonra, arazi şartlarında, kazı laboratuvarına teslim edilene kadar belli bir süre muhafaza edilecekse mümkün olduğu kadar toprak altı koşullarına benzer şartlar sağlanmaya çalışılmalıdır. Laboratuvarda koruma onarım işlemleri sonrası gerekli stabilizasyon işlemlerinin tamamlanıp depolama alanına aktarılan objelerin muhafaza edileceği alanın bağlı nem oranlarının gerekli seviyelerde tutulması, objelerin tekrar korozyona uğrama risklerini azaltacaktır. Aksi durumda toprak altından daha hızlı bir şekilde korozyon döngüsü devam edecektir.

Bir diğer etken olan atmosferik etki, endüstriyel atıkların bulunduğu atmosferde, özellikle kömürün yanmasıyla ortaya cüruf, kül ve sülfür bileşenleri, deniz suyunda bulunan klorürler ve toprakta bulunan asit metalleri atmosferik korozyona uğratar (Uluengin, 2006, s. 17). Bu etkiler daha çok dış ortamda sergilenen objelerde veya mimari kalıntılar üzerindeki metallere görülmektedir.

Demirlerin bozulmasında yanlış koruma uygulamalarının etkisi oldukça sık rastlanan bir sorun olabilmektedir. Özellikle koruma konusunda uzman olmayan kişi veya kişilerce gerçekleştirilen (hatalı) koruma onarım uygulamaları, sadece demir objeler üzerinde değil tüm arkeolojik objeler üzerinde geri dönülmesi imkânsız hasarlar bırakabilmektedir. Metal objelerde bu hasarlar görece daha fazla olabilmektedir. Özellikle demir objelerde bozulmanın tespiti ve bu tespit ışığında koruma onarım yöntemine karar verilmesi aşamasında oldukça titiz davranılması gerekmektedir. Demir objelerde bozulan kısımları ve metalin kendisini birbirinden ayırmak güç olabilmektedir. Bu nedenle topyekün uygulanan ve kontrolü güç olan kimyasal temizlik yöntemlerindense, bölgesel uygulamanın mümkün olduğu ve kontrolün sağlanabildiği mekanik yöntemleri tercih etmek, daha doğru olacaktır. Demir objelerin koruma onarımında tuzdan arındırma işlemleri sırasında kullanılan bazı kimyasal solüsyonlar, işlemin bitmesinin ardından obje üzerinden yeterince uzaklaştırılmamış ise çevresel etkilerle ve demir metaliyle etkileşime geçerek reaksiyon oluşturabilir ve bozulma döngüsünün tekrar etmesine sebep olabilir. Bunlarla birlikte kırık olan objelerin yapıştırılmasında veya eksik olan objelerin tamamlanmasında kullanılacak olan kimyasal maddeler, objeye verebilecekleri zararlar gözetilerek seçilmelidir.

3. Sonuç ve Değerlendirme

Eski tarihlerden bu yana birçok alanda sıklıkla kullanımına devam edilen metal olan demir, günümüzde pas önleyici solüsyonlar, boyalar vb. koruma önlemleri alınarak kullanılmaya devam etmektedir. Doğada çok bulunmasının yanında kolay işlenebilirliği nedeniyle de eskiden bu yana tercih edilmektedir.

Arkeolojik kazılarda toprak altından ele geçen demir objeler çoğunlukla yüksek oranda bozulmuş olarak karşımıza çıkmaktadır. Çoğu zaman metal özünü de kaybetmiş olarak ele geçen demir objeler, topraktan çıkarıldıktan sonra da bozulma reaksiyonları, önlem alınmadığı sürece artarak devam etmektedir.

Toprak altında uzun yıllar kalan buluntunun zamanla ortam koşullarına uyum sağlayarak stabil duruma geçtiği kabul edilir; ancak koşullara uyum sağlama sürecinde, bir taraftan da ortama, malzeme özelliklerine ve koşullara bağlı bozulmalar da meydana gelmektedir. Zamanla oluşan bu bozulmalar toprak altı ortamında oksijen azlığına bağlı olarak yavaş ilerler, yüzeye çıkarılan buluntu, yeni ortam (atmosfer) koşullarına maruz bırakılmış olur ve bu duruma tepki geliştirir (Sease, 1994, s.1; Angelini, Rosalbino and Grassini, 2007, s.209-214; Gerwin, Baumhauer, 2000, s.63-80). Toprak altında klorürler, nem, oksijen ve sıcaklık demir objelerin bozulma reaksiyonlarını başlatarak zincir halinde devam etmesinin sebeplerindedir. Toprağın yapısı ve sıcaklık oksijen miktarını direk olarak etkilediğinden dolayı demirlerin bozulma reaksiyonlara etki ederler. İklim şartları ve su kaynakları da toprak yapısını doğrudan etkileyen bozulmaları ise dolaylı olarak etkileyen sebeplerdendir.

Demir obje, eğer ki alanda bir süre muhafaza edilecekse, boyutuna ve durumuna göre Polietilen (PE) poşetlerde veya Polietilen kutularda, hava sirkülasyonu sağlanarak ve güneş ışığından korunarak bekletilmelidir. Ele geçen toprak altı buluntular oldukça hassas yapıda olabilirler; gözle görülen veya görülmeyen (olduğu ön görülen) çatlaklar, kırıklar, yüzeysel dökülmeler varsa veya buluntu hassasiyeti söz konusu ise polietilen kutu içerisinde, asitsiz kâğıt ya da nötr kumaş türleri (Tyvek gibi) ile tampon yapılarak muhafaza edilmesi, taşıma esnasında buluntuyu olası darbelerden koruyarak daha fazla deforme olmasının önüne geçecektir. Metal buluntuların, kazı-laboratuvar arası süreçlerinde üst üste konulmadan saklanması ve taşınması, birbirinden ayrı tutulması, mekanik dirençsizlik sorunlarıyla oluşabilecek fiziksel bozulmaların da önüne geçilmesinde önemli bir konu oluşturacaktır. Ayrıca toprak üstünde bağıl nem, oksijenin varlığı, sıcak hava, atmosferik kirlilik ve yanlış koruma uygulamaları da demir objelerin bozulma sebeplerindedir.

Koruma onarımı tamamlanmış ve stabil hale getirilerek dış etkenlere karşı koruma altına alınmış olan demir objeler arkeolojik kazı depolarında veya müze depolarında saklanmaktadır. Depoların da belli koşullarda sabit tutulması gerekmektedir. Bağıl nem metallerde %45 in üzerine çıkmamalı ve sıcaklık 18-22°C'de sabit tutulmalıdır. Demir objeler paketlenirken mekanik etkiden kaçınılmalı ve mümkün olduğunda tek tek paketlenmeli ve üst üste konulmamalıdır. Periyodik olarak takip edilmeli ve gözle görülür bir bozulma durumunda tespiti yapılarak gerekli önlemler alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- Angelini, E., Rosalbino, F., Grassini, S. (2007). Simulation of Corrosion Processes of Buried Archaeological Bronze Artifacts. P. Dillmann, G. Béranger, P. Piccardo and H. Matthiessen. (Eds), *Corrosion of Metallic Heritage Artefacts* (s. 203-218). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Bloom, M. C., Smith, Jr. S. H. (1969). The Corrosion Products of Iron and Their Relation to Corrosion in Steam Generating Equipment (report no: AD0686651). Washington: Naval Research Lab.
- Einarsdóttir, S. S. (2012). *Mass Conservation of Archaeological Iron Artifacts A Case Study at the National Museum of Iceland*. Göteborgs Universitet Institutionen för Kulturvård, Sweden.
- Fathalizadeh, A. (2012). Eski Çağda Demir Üretim, Teori ve Teknolojisi. *Metallurji*, 164, s. 53-60.
- Gerwin, W., Baumhauer, R. (2000). Effect of Soil Parameters on the Corrosion of Archaeological Metal Finds. *Geoderma*, 1-2, 63-80.
- Graedel, T. E., Frankenthal, R. (1990). Corrosion Mechanisms for Iron and Low Alloy Steels Exposed to the Atmosphere. *Journal of the Electrochemical Society*, 137(8), 2385-2394.
- Güder, Ü. (2015). *Anadolu'da Ortaçağ Demir Metallurjisi: Kubad Abad, Samsat, Kinet Höyük, Hisn Al-Tinat ve Yumumktepe Kazısı Buluntuları* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Gürü, M., Yalçın, H. (2006). *Malzeme Bilgisi*. Ankara: Palme Yayınevi.
- Karatak, A., Akyol, A., A. (2020). Genel Hatlarıyla Öntarihte Demir ve Çelik. Yalçın, H. G. Stegemeier, O. (Ed). *Metallurgica Anatolica Ünsal Yalçın 65. Yaşgünü Armağını Kitabı* (s. 311-318). İstanbul: Ege Yayınları.
- Kumar, V. (2018). Preservation Methods of Historical Iron Objects: An Overview. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(3), s. 22-29.
- Patscheider, J. Veprék, S. (1986). Application of Low-Pressure Hydrogen Plasma to the Conservation of Ancient Iron Artifacts. *Studies Conservation*, 31 (1), 29-36.
- Sease, C. (1994). *A Conservation Manual for the Field Archaeologist, Archaeological Research Tools*. (Third Edition). Los Angeles: Cotsen Institute of Archaeology Press.
- Watkinson, D., Rimmer M. B., Kergourlay, F. (2013). Alkaline Desalination Techniques for Archaeological Iron., P. Dillmann, D. Watkinson, E. Angelini and A. Adriaens. (Eds). *Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Metallic Artifacts* (s. 407-434). England: Woodhead Publishing.
- Yalçın, Ü. (2000). Zur Technologie der frühen Eisenverhüttung. Arbeits- und Forschungsberichte zur Sächsischen Bodendenkmalpflege, Band 42, s. 307-316.