

# Çelik Cüruflarının Tarımsal Amaçlı Kullanılması

## Use of Steel Slags for Agricultural Purposes

### ÖZ

Çelik cürufları çelik üretimi sırasında oluşan, depolanması veya bertaraf edilmesi çevresel sorun olabilen endüstriyel bir işlemin yan ürünleridir. Çelik cürufları, yüksek miktarda CaO içermeleri nedeniyle, toprak asiditesinin giderilmesinde toprak düzenleyicisi olarak ve aynı zamanda çeşitli konsantrasyonlarda fosfor (P), kükürt (S), mangan (Mn), demir (Fe), molibden (Mo) ve silisyum (Si) gibi bitki besin elementlerine sahip olmaları nedeniyle toprak verimliliğine ve ürün kalitesine katkı sağlamak amacıyla mineral gübre olarak kullanılmaya potansiyeline sahiptirler. İçerdikleri kalsiyum silikat nedeniyle çelik cürufları buğday, çeltik ve şeker kamışı gibi silisyuma duyarlılık gösteren bazı bitkiler için önemli bir besin elementi kaynağı ve birçok kültür bitkisi için de hastalıklara karşı direnç artırıcı önemli bir ürün olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen literatür bulguları; çelik cüruflarının tarımda alternatif kireçleme materyali olarak asit toprakların ıslahında etkin bir şekilde kullanılabileceğini, önemli miktar ve çeşitlilikte temel bitki besin elementlerine sahip olması nedeniyle toprak verimliliğine ve dolayısıyla da ürün miktarına katkı sağlama potansiyelinin olduğunu ve aynı zamanda doğrudan gübre olarak kullanılabileceği gibi, bitkisel ve hayvansal atıklarla karıştırılıp kompost yapılarak da etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bazik oksijen fırını cürufları, elektrik ark ocağı cürufları, indüksiyon ocağı cürufları, toprak düzenleyici, mineral gübre



### ABSTRACT

Steel slags are by-products of an industrial process formed during steelmaking, whose storage or disposal can be an environmental concern. Steel slags, due to their high CaO content, are used as soil conditioners for removing soil acidity and have the potential to be used as mineral fertilizers to contribute to soil fertility and crop quality in various concentrations such as phosphorus, sulfur, manganese, iron, molybdenum, and silicon. Due to their calcium silicate content, steel slags are defined as an important source of nutrients for some plants sensitive to silicon, such as wheat, paddy, and sugar cane, and an important input to increase resistance to diseases for many cultivated plants. This study shows that steel slags can be used effectively in the reclamation of acid soils as an alternative liming material in agriculture, and they have the potential to contribute to soil fertility and thus to crop yield as they contain a significant amount and variety of essential plant nutrients. Steel slags can also be used directly as fertilizer or mixed with vegetable and animal wastes and used as compost.

**Keywords:** Basic oxygen furnace slags, electric arc furnace slags, induction furnace slags, mineral fertilizer, soil conditioner

### Giriş

Çelik cürufları, çelik üretimi sırasında Bazik Oksijen Fırını (BOF), Elektrik Ark Ocağı (EAO) ve İndüksiyon Ocağında (İO) metal eriyiğinin rafinasyonu ve oksitlenmesi sırasında, yoğunluğunun çeliktan daha düşük olması sebebiyle, çeliğin üzerinde oluşan cüruftur. Türkiye 2021 yılında 40,4 milyon ton çelik üretimi yaparak Avrupa'nın en büyük, dünyanın 7. büyük çelik üreticisi konumunda yer almaktadır (Yayan, 2022). 2021 yılı itibarıyla Türkiye'de mevcut 37 adet tesisin 26 tanesi EAO, 8 tanesi İO ve 3 tanesi BOF ile ham çelik üretimi yapmaktadır. İO ile üretim yapan tesislerin sayısı ve üretim miktarları, BOF ve EAO'larına oranla çok düşük olduğundan İO bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir. Çelik cürufu miktarı ton ham çelik başına, 150–200 kg arasındadır. 2018 yılında, Türkiye genelinde 37.311.733 ton ham çelik üretimi sonucunda 5.562.018 ton cüruf açığa çıkmıştır (STB, 2020; TÇÜD, 2021).

Gülşen TOZSİN<sup>1</sup>   
Taşkın ÖZTAŞ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Erzurum, Türkiye



Geliş Tarihi/Received: 09.05.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 14.10.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date: 30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:  
Gülşen TOZSİN  
E-mail: gulsentozsin@gmail.com

Cite this article as: Tozsin, G., & Öztaş, T. (2022). Use of steel slags for agricultural purposes. *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 36-41.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Türkiye'de demir-çelik sektörünün en önemli yan ürünü olan ve cürufaların yaklaşık yarısını oluşturan yüksek fırın (YF) cürufu tekrar kullanılmak üzere çimento fabrikalarına gönderilirken, geriye kalan çelik cürufları atık sahalarında depolanmakta ve ekonomik anlamda atıl bırakılmaktadır. Oysaki çelik cürufları iyi bir toprak düzenleyici olduğu kadar mineral gübre olarakta önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, çelik cürufları bitki büyümesini teşvik etmek, toprağın yapısal özelliklerini düzenlemek ve ürün verimini artırmak amacıyla gübre veya toprak düzenleyici olarak çevre dostu bir uygulama fırsatı sunabilmektedir (Wen ve ark., 2020).

Endüstriyel bir işlemin yan ürünü olarak ortaya çıkan çelik cürufları, ticari olarak üretilen kireç taşına göre önemli maliyet avantajları sunmaktadır. Ayrıca, çelik cürufları bir kireçleme materyali olmanın ötesinde içerdikleri besin elementleri ve silis nedeniyle mineral gübre olarak toprağın üretim gücüne, Ca, Mg ve Fe içeriklerinden dolayı da toprağın strüktürel gelişimine katkı sağlayabilmekte ve mantar enfeksiyonlarını da ciddi boyutlarda azaltabilmektedir (Das ve ark., 2019; Mamatha ve ark., 2018; Yang ve ark., 2018).

Çelik üretimi sırasında oluşan cüruflar, çimento üretimi, yol yapımı, arazi dolgu malzemesi, gübre ve toprak düzenleyici olarak farklı alanlarda kullanım potansiyeline sahiptirler (Branca ve ark., 2014). Birçok ülkede çelik cürufları, yüksek miktarlarda Ca ve Mg içermeleri nedeniyle toprak düzenleyici olarak, diğer yandan bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı direncini artırmak amacıyla doğrudan silisyum gübresi veya fosforlu gübre üretimi ve mikro-element katkısı için gübre üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Hammadde kaynağı, çelik üretim yöntemi, fırın koşulları vb. değişkenler nedeniyle farklı miktarlarda olsa bile çelik cürufları tarımsal anlamda önemli düzeyde CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve MnO içermektedirler (Proctor ve ark., 2000; Reuter ve ark., 2004; Yi ve ark., 2012).

Çelik cürufları alkalin karakterlidir ve pH'sı genellikle 8-10 arasında değişmekle birlikte eğer yüksek miktarlarda serbest CaO içeriyor ise pH'sı 12 veya daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Çelik cüruflarındaki kireçlenme materyali suda çözünür ve daha az çözünür Ca ve Mg içermektedir. Bünyelerindeki serbest Ca, su ile hızlı bir tepkimeye girerek Ca(OH)<sub>2</sub>'i oluşturmakta ve ortaya çıkan Ca(OH)<sub>2</sub> ise aktif toprak asitliliğine karşı hızlı bir tepki vermektedir. Suda daha az çözünür silikat bileşikler ise daha yavaş reaksiyona girerek toprak pH'sının daha uzun süreli tamponlanmasına olanak sağlamaktadır. Diğer bir ifadeyle, yüksek derecede alkalin karakterli olan Ca-silikat toprakta uzun süreli bir kireç çözücü madde görevi görürken, toprak reaksiyonundaki ani kireçlenme etkisi, serbest CaO ve MgO'dan ortaya çıkmaktadır (NLA, 1990; Yonar, 2017).

### Çelik Cüruflarının Toprak Düzenleyici Olarak Kullanılması

Endüstriyel atık malzemelerin sorunlu toprakların iyileştirilmesinde kullanılması uygun maliyetli ve çevre dostu bir yöntemdir. Toprak pH'sının 5.5'ten daha düşük olduğu koşullarda, ağır metallerin çözünürlüğü artmakta ve bu durum ağır metallerin bitkiler tarafından daha fazla alınmasına yol açmaktadır. Mihalache ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, farklı dozlarda (kontrol, 1 t/ha, 2 t/ha, 3 t/ha, 5 t/ha) çelik cürufu uygulamasının buğday verimini artırdığını, Cu, Cd, Co, Ni, Pb ve Zn miktarı açısından bitki üzerinde bir sorun yaratmadığını belirterek, cürufun toprak asitliliğini düzeltmek, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini ve toprak verimliliğini artırmak için başarıyla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Chand ve ark. (2015) entegre çelik tesislerinde geri dönüştürülebilir atıklardan biri olan BOF cüruflarının tarımda mevcut ve olası kullanımı ile ilgili çalışmaları topladığı derlemesinde, cürufun tarım topraklarında toprak asitliliğini nötralize etmek için kireç taşı yerine başarıyla kullanılabileceğini ve gübre materyali olarakta değerlendirilmesinin mümkün olabileceğini değerlendirmişlerdir. Benzer şekilde, Das ve ark. (2007) BOF cüruflarının tarımsal gübre ve toprak düzenleyici olarak güvenli ve etkin bir şekilde kullanılabileceğine dikkat çekmişlerdir. Demir ve çelik-üretim endüstrisinin yan ürünü olan ve %29 Ca, %21 Fe ve %5 Mg içeren BOF cürufunun dolomit kireçleme malzemesi olarak mera topraklarında kullanım olanaklarını inceleyen Pinto ve ark. (1995), cüruf uygulamasıyla (0, 1, 1,5, 3, 5 ve 7,5 t/ ha) toprak pH'sının önemli düzeyde ve doğrusal olarak yükseldiğini ve mera veriminin hektara 3 ton cüruf uygulamasıyla %41 oranında arttığını belirtmişlerdir.

Munn (2005) yaptığı çalışmada, ABD'nin Ohio Eyaletinde, çelik endüstrisi cüruflarını tarım ve asidik maden alanlarının ıslahı için kireçleme materyali olarak kullanmış ve 3 yıllık sera denemesiyle asidik maden alanlarındaki topraklarda cüruf uygulamasının bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemiştir. Çelik cürufu, pH'sı 3,5 olan asit toprağa uygulanmış ve farklı ardeşik bitkiler; yulaf (*Avena sativa* L.), buğday (*Triticum aestivum* L.), mısır (*Zea mays* L.), buğday ve soya fasulyesi (*Glycine max* (L.) Merr.) yetiştirilerek fide aşamasında hasat edilmişlerdir. Çelik cürufu uygulamasının kontrole göre verimi  $p < ,01$  seviyesinde artırdığı belirlenmiştir. Uygulamaya bağlı olarak; toprak ve bitkinin Ca ve Mg içeriğinin arttığı, bitkinin Al ve Mn içeriğinin önemli düzeylerde azaldığı ve çelik cürufların yüksek Fe içeriğine rağmen cüruf ile muamele edilmiş bitki dokularında yüksek miktarlarda depolanmadığı belirlenmiştir.

Kore, Japonya, Bangladeş ve Çin gibi çeltik üretiminin hayati önem taşıdığı ülkelerde, çeltik üretiminin stabilize edilmesi, çeltik tarlalarından ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve çok daha önemlisi toprak verimliliğinin artırılması amacıyla çelik cürufları toprak düzenleyici olarak etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Wang ve ark. (2018a) yaptıkları çalışmada, çelik cüruflarının Fe ve diğer besin elementleri bakımından oldukça zengin olduğunu belirterek, toprağa uygulanması durumunda özellikle çeltik tarlalarında asidik toprak pH'sının yükseltilebileceğine, bu alanlarda meydana gelen metan emisyonunun azaltılabileceğine, toprak kalitesinin iyileştirilebileceğine ve çeltik veriminde önemli düzeylerde artış sağlanabileceğine dikkat çekmişlerdir. Makela ve ark. (2012) çelik cüruflarının, küspe ve kağıt endüstrisi katı atıklarıyla karıştırılmasıyla elde edilen kompostun asit karakterli toprakların ıslahında oldukça başarılı sonuçlar verdiğini, bu nedenle ticari gübrelerle ikame edilebileceğini belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2018b) yaptıkları çalışmada, çelik cüruflarının çeltik tarlalarına uygulanmasının bitki-toprak besin dağılımı ve verim üzerine etkilerini incelemişler, uygulamaya bağlı olarak toprakta N ve P miktarının arttığı, yarayışlı-N/yarayışlı-P oranının azaldığı, toprakta Ca ve Si konsantrasyonlarının ve yaprak ve kök N ve P konsantrasyonlarının önemli düzeyde arttığını belirlemişlerdir. Toprağın P, Ca ve Mg içeriğindeki artışa bağlı olarak çeltik veriminin de arttığını ifade etmişlerdir. Çelik cürufu uygulaması ile verim arasında pozitif bir ilişkinin tespit edildiği ve bunun da uygulamaya bağlı olarak toprakta Ca, Si ve P yarayışlılığının artmasına (toplam etkinin %35'i) bağlı dolaylı bir etki olduğuna dikkat çekmişlerdir. Sonuç olarak, çeltik tarlalarına çelik cürufu uygulamasının, besin

elementi kullanımını teşvik ederek bitki gelişimini ve verimi artırdığı, toprak ve bitki kimyasını düzenlediği belirlenmiştir. Aynı çalışmada Wang ve ark. (2018b) toprak düzenleyicisi olarak çelik cürufu ve biocharı hem ayrı ayrı hem de birlikte uygulayarak, toprak organik C stoku üzerine etkilerini incelemişler ve toprağın 30 cm'lik üst toprak katmanındaki organik C miktarının 8 ton ha<sup>-1</sup> oranındaki uygulamalara bağlı olarak %28,7–%42,2 oranında arttığını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada ayrıca çelik cürufu uygulamasının, toprak mantar popülasyonunu kontrol toprağına göre %62,8 oranında azalttığı, toprak tuzluluğunda istatistiksel anlamda önemli olmakla birlikte az da olsa yükselttiği saptanmıştır.

### Çelik Cüruflarının Mineral Gübre Olarak Kullanılması

Çelik cürufu gübreleri; cüruf silikatlı gübre, kireçli gübre, cüruf fosfatlı gübre veya Fe-katkılı özel gübre olarak kategorize edilmekte ve bol miktarda Ca, Si, Mg, P, Mn ve Fe içermektedirler. Çelik cürufları yüksek miktarda CaO, SiO<sub>2</sub> ve MgO gibi bileşenleri içerdiklerinden dünyanın birçok bölgesinde silikat gübresi olarak kullanılmaktadır. Çelik cürufları ayrıca Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gibi temel bitki besinlerini de içerdiklerinden, tarım ve mera alanlarında da gübre olarak etkin bir şekilde kullanım potansiyeline sahiptirler. Çelik cüruflarının kalsiyum silikat gübresi olarak uygulandığı topraklarda bitki besin elementi dengesinin özellikle Si, Fe, Ca, Mg, P, Mn ve B arasında hızla sağlanabildiği görülmektedir. Si birçok kültür bitkisinde; fotosentezi teşvik etmesi, kök aktivitesini artırması, alt yaprakların sararmasını engellemesi, gövde dayanıklılığını artırması ve yanık oluşumuna engel olması sebebiyle önemli bir besin elementidir. Bu nedenle, kalsiyum silikat uygulamasına bağlı olarak verimde, kalite ve kantite yönünde önemli artışlar meydana gelmekte, özellikle kuru madde üretimi ve tane verimi artmakta, görünüm ve tat göstergeleri pozitif yönde değişmektedir. Ayrıca, Fe, Mn ve P takviyesi nedeniyle ürün verimi artmakta, kök çürüklüğü ve yaprak yanması başta olmak üzere ürün kaybına yol açan olumsuzluklar ortadan kalkmaktadır (Ito, 2015; Yonar, 2017).

Diğer yandan, çelik cüruflarının Fe gübresi olarak kullanım etkinliğinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda, Fe eksikliği olan kireçli topraklarda uygulama dozuna bağlı olarak verim ve bitki Fe alımında çok önemli düzeylerde artışlar sağlandığı ortaya konulmuştur. Xian and QingSheng (2006) çelik cürufunu doğrudan veya asitleştirilmiş formda 2 farklı dozda (10 ve 20 g/kg) kireçli toprağı uygulamış ve uygulama sonunda mısır bitkisinin kuru madde oranında ve bitki Fe içeriğinde istatistiksel manada çok önemli artışların olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, araştırmacılar cürufun Fe eksikliği bulunan kalkerli topraklarda verimi artırmak ve Fe kaynaklı kloroz etkisini azaltmak amacıyla etkin ve ekonomik olarak kullanılabileceğine dikkat çekmişlerdir.

Ito (2015) çelik cüruflarının gübre için hammadde olarak kullanılmasının 1878 yılında İngiltere'de Thomas dönüştürücü sürecinin icadına kadar gittiğini belirtmektedir. 1882 yılında, Wagner, Thomas dönüştürücü prosesinde üretilen cürufun fosfatlı gübre haline getirilebileceğini açıklamış ve cüruftan üretilen "Thomas fosfatlı gübre" çok kısa sürede değerli bir fosfor kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yıllarda Almanya'da Thomas fosfat gübre üretim miktarının 2 500 000 tona ulaştığı rapor edilmiştir. Ancak 1970 yıllarda kompoze gübre (NPK) üretimiyle birlikte, Thomas fosfat gübre üretiminin hızlı bir şekilde azaldığı ve günümüzde artık üretilmediği bildirilmektedir.

Cürufun resmi onaylı silikatlı gübre olarak kullanımına ilk defa 1955 yılında Japonya Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından başlanmıştır. Araştırma sonuçlarına dayalı olarak BOF cürufunun sıradan bir gübre olarak kullanımı ise 1981 yılında onaylanmıştır. Japonya'da cüruf halihazırda 4 farklı gübre çeşidinin, silikatlı gübre, tarım kireci, fosforlu gübre ve Fe içerikli özel gübre, üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Özellikle BOF cüruflarının Ca, Mg ve Si yanı sıra Fe, Mn ve B gibi farklı iz elementler içermesi gübre üretiminde kullanılmasını ön plana çıkarmaktadır (Horii ve ark., 2015). Çelik cüruflarının Çin'de gübre olarak kullanılması 2011 yılında Taiyuan Demir ve Çelik Grubu ile ABD Harsco Şirketinin ortak yatırımlarıyla başlatılan "İlk Çelik Cürufu Gübre Programı" ile hayata geçirilmiştir (Yi et al, 2012).

Ito (2015) yaptığı çalışmada; Japonya Nippon Cüruf Birliği'nin 2012 yılı cüruf kullanımına ait istatistikleri paylaşarak, çelik cüruflarının inşaat alanında 3 470 000 ton, çimento üretiminde 530 000 ton ve altlık materyali olarak 260 000 ton olarak kullanıldığını belirtmiştir. Cürufların gübre hammaddesi veya toprak düzenleyici olarak kullanımının ise halen istenilen düzeyde olmadığına (100 000 ton çelik cürufu) dikkat çekmiştir. Hindistan Tarım Bakanlığı, çelik cüruflarının Ca, P ve Fe gibi besin elementleriyle zenginleştirilmesiyle elde edilen ve Hindistan Gübre Birliği tarafından üretilen Growell adlı ürünü toprak düzenleyici olarak onaylamıştır. Söz konusu ürünün asidik topraklarda oldukça başarılı sonuçlar verdiği ve verimin en az %25 arttığı belirlenmiştir (Chand ve ark., 2015). Branca ve ark. (2014) İtalya ve Almanya'da cürufun tarımda mineral gübre olarak kullanılmasıyla ilgili uzun süreli tarla denemesi yaptıkları çalışmalarında, Almanya'daki denemelerinde BOF cürufunu, referans kireçleme materyali ve ticari mineral gübrelerle karşılaştırmışlar, uzun süreli cüruf uygulamasının ürün miktarını ve besleme kalitesini önemli derecede artırdığını ve toprakta Cr ve V miktarında artışlar olmakla birlikte toprak verimliliğinde herhangi bir olumsuz etkinin ortaya çıkmadığını rapor etmişlerdir. İtalya'da yaptıkları denemelerde ise, uzun süreli cüruf uygulamasının toprakta değişebilir Ca miktarını önemli düzeyde artırdığını, buna rağmen Na miktarında sodikliğe yol açabilecek bir artışın meydana gelmediğini, diğer yandan yüksek dozda (7 g/kg) cüruf uygulamasının drenaj suyunda yüksek miktarda V yıkanmasına yol açtığına dikkat çekmişlerdir.

Çelik cürufları Si, Ca, P, Mg, Mn ve Fe gibi gübrelemeye gerekli birçok besin elementini içermektedir. Doğrudan gübre olarak kullanılabilecekleri gibi, çelik cürufları bitkisel ve hayvansal atıklarla karıştırılıp kompost yapılarak da daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Kompostlanmış hayvan gübresi N ve P kaynağı olarak kullanılmaktadır. Çelik cüruflarının hayvan gübresi ile karıştırılarak N ve P yanısıra Si, Ca, Mg, Mn ve Fe gibi elementlerce zenginleştirilmiş bir kompost halinde toprağı uygulanmasıyla oldukça başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Ito (2015) yaptığı çalışmada, sığır gübresine ağırlık esasına göre %15 oranında cüruf karıştırılmasıyla hazırlanan kompostun, yüzeyden 20 cm derinlikte sıcaklığı 70°C'ye kadar yükseldiğini, kontrol grubunda ise bu sıcaklığın sadece 58 °C ye kadar yükseldiğini, her 10 günde bir karıştırıldığı durumda bile sıcaklığın kısa bir düşüşten sonra 65–70°C lerde sabitlendiğini, bu nedenle de kompostlamada cüruf kullanımının süreci hızlandırarak daha kısa sürede kompost elde edilebileceğini ifade etmiştir. Aynı çalışmada cüruf karıştırılan kompostun daha yüksek oranda bir çimlenme sağladığı ve verimi önemli derecede artırdığı belirtilmiştir.

Çelik cüruflarının toprağı mineral gübre olarak uygulanmasında temel amaç besin elementi sağlamaktır. Ancak bu atıkların insan,

hayvan, bitki ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olmamalıdır. Dolayısıyla çelik cüruflarının tarımda verim üzerine etkileri incelenirken, ağır metal ve tuz içeriği nedeniyle toprak sağlığı ve yeraltı suyu kalitesi bakımından da dikkatle izlenmesi gerekmektedir. Yüksek etkinlik ve düşük maliyetli olması sebebiyle çelik cürufları dünyanın birçok ülkesinde tarım topraklarında toprak asitliğini nötralize etmek amacıyla kireç taşı yerine başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Chand ve ark. (2015) tarımda daha etkili ve sürdürülebilir kullanımını incelemek amacıyla çelik cüruflarında bulunan ağır metallerin topraktaki davranış ve immobilizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, topraktaki ağır metal konsantrasyonunun yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerin altında olduğunu ifade etmişlerdir. Wang ve ark. (2015) çelik cüruflarının, toprakta ve dane üzerinde olumsuz etki yaratabilecek konsantrasyonlarda ağır metal birikimine yol açmadan, çeltik dane veriminin artırılması ve çeltik alanlarından kaynaklanan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonunun azaltılmasında etkili bir toprak düzenleyicisi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Çelik cüruflarından üretilen gübrenin bitkiler tarafından fazlaca tüketilen Ca ve Mg gibi besin elementleri içermesi yanı sıra, Fe ve Mn gibi mikro bitki besin elementlerini özellikle de bazı özel ürünler için zaruri olan Si içermesi gübreleme açısından önem arz etmektedir. Ancak, cüruftan üretilen gübrenin bitkiler için temel besin elementi olarak kabul edilen ve makro düzeyde ihtiyaç duyulan N, P ve K eksikliğini tamamen ortadan kaldırması beklenmemelidir. Çünkü cürufun N ve K içeriği çok düşük, P içeriği ise bitkinin optimum düzeyde isteklerini karşılayabilecek miktarlarda değildir. Dolayısıyla üretilecek gübrenin bir miktar NPK gübresiyle birlikte kullanılması gerekmektedir (Das ve ark., 2020; Ito, 2015). Toprağa ilave edilecek kireç miktarı, kullanılan kireç materyalinin özellikleri yanı sıra, ıslah edilecek toprak tabakasının kalınlığına, tekstür ve toprağın başlangıç pH'sı başta olmak üzere toprak özelliklerine ve yetiştirilecek ürün isteklerine bağlı olarak önemli düzeylerde farklılıklar gösterebilmektedir. Uygulanacak kireçleme materyalinin CaO içeriği ve tane büyüklüğü oldukça önemlidir. Kireçleme materyalinin CaO içeriği arttıkça birim alana uygulanacak miktarı azalırken, tane büyüklüğünün küçük olması spesifik yüzey alanının artmasına sebep olduğundan kimyasal etkinliğinin yüksek olmasını sağlayacaktır. Kireçleme materyalinin uygulanacağı toprak tabakasının kalınlığı genellikle 15–20 cm olarak dikkate alınmaktadır. Bu derinlik birçok kültür bitkisinin kök yoğunluğunun %80'inin bulunduğu, suyu ve bitki besin maddeleri yoğun olarak kullandığı ve mikrobiyal aktivitenin en yüksek olduğu toprak derinliğidir (Anderson ve ark., 2013; USDA, 1999).

Asidik toprakların ıslahı açısından toprağın tamponlama kapasitesi büyük önem taşımaktadır. Toprağın tamponlama kapasitesi toprak tekstürünün, topraktaki hakim kil tipinin ve toprağın organik madde içeriğinin bir fonksiyonudur. Özellikle simektit grubu 2:1 tipi kil minerallerince zengin, fazla miktarlarda kil ve organik madde içeren toprakların tamponlama kapasitesi yüksektir. Birçok kültür bitkisi için nötr pH (6.7–7.2), bitki gelişimi ve besin elementi alımı için idealdir. Ancak düşük pH isteği olan bitkilerde aşırı kireçleme özellikle Cu ve Zn gibi mikro elementler açısından olumsuz etkiler yaratabilmektedir (Curtin & Trollove, 2013; Goulding, 2016; Neina, 2019). Asidik toprakların ıslahında kullanılan tarımsal kireç materyali genellikle her 3–5 yılda bir toprağa yeniden uygulanmaktadır. Kireç taşının çözünürlüğünün düşük olması istenilen toprak pH'sının bu süre boyunca stabil kalmasını sağlayabilmektedir. Çelik cürufu uygulamalarında ise bu durum biraz farklıdır. Cüruftaki CaO toprak nemi ile reaksiyona girdiğinde ortaya çıkan Ca(OH)<sub>2</sub> toprak pH'sında ani bir yükselme meydana

getirmektedir. Ancak bu durum geçici olmakta ve istenilen pH, cüruf içindeki az çözünür kireçli bileşenlerin toprakla tepkimeye girmesiyle ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla çelik cüruflarının kireçleme amacıyla toprağa uygulanma sıklığı, cürufların istenen toprak pH'sını koruyabildiği süreye bağlı olarak değişir ve bu durum toprak reaksiyonunun birkaç yıl aralıklarla izlenmesiyle tespit edilebilir (Yonar, 2017).

Çelik cüruflarının tarımsal kireç materyali olarak kullanılması durumunda, bu cürufların uygulanmasına bağlı olarak toprağa ilave edilen tuz miktarı, değerlendirilmesi gereken en önemli hususlardan biridir. Kireç taşının sudaki çözünürlüğü düşük olduğundan bu materyallerin kullanılmasıyla toprakta biriken çözünebilir tuzların miktarı ciddi bir risk oluşturmamaktadır. Fakat, çelik cüruflarının suda çözünebilir tuz içeriği kireç taşına göre çok daha yüksektir. Cürufdaki CaO ve MgO su ile reaksiyona girerek Ca(OH)<sub>2</sub> ve Mg(OH)<sub>2</sub>'i oluşturmaktadır. Bu hidroksitlerin suda çözünürlüğü sırasıyla 1.20 g/L ve 0,009 g/L olup, CaCO<sub>3</sub> (0,014 g/L) ve MgCO<sub>3</sub>'a (0,013 g/L) oranla çok daha yüksektir (Beck & Daniels, 2008; NLA, 1990). Ancak, cürufun toprak pH'sının nötralizasyonu amacıyla optimum dozlarda uygulandığı koşullarda, çözünebilir tuzların yağışlı bölgelerde ve iyi-drenajlı topraklarda sorun olması beklenmemektedir. Beck ve Daniels (2008) yaptıkları çalışmada ince ve kaba çelik cüruflarının çözünebilir tuz içeriklerinin sırasıyla 3,68 ve 2,55 dS/m olduğunu belirtmişlerdir. Bitkilerin 4 dS/m'ye kadar olan toprak tuzluluğunu tolere edebilir oldukları dikkate alındığında, çelik cüruflarının uygulanması ile toprakta çözünebilir tuzlarla ilgili ciddi bir sorun olması beklenmemektedir. Ancak çelik cüruflarının yüksek dozlarda uygulandığı alanlarda çözülebilir tuzların ve toprak tuzluluğunun izlenmesi gerekmektedir.

Çelik cüruflarıyla birlikte toprağa ilave edilen ağır metal miktarının da mutlaka izlenmesi gerekmektedir. Çelik cürufları çeşitli konsantrasyonlarda ağır metal içerebilmektedir. Yapılan çalışmalar çelik cürufu uygulaması ile toprağa ilave edilen ağır metal miktarlarının kabul edilebilir sınır değerlerin genellikle çok altında kaldığını göstermektedir. Çelik cüruflarının kireçleme materyali olarak kullanıldığı durumlarda, toprak pH'sının nötr olduğu koşullar için, Al, Cr (III), Pb, Cd, Ni, Co, Be, Ba ve Sr gibi metallerin topraktaki çözünürlüklerinin düşük olması nedeniyle herhangi bir risk oluşturmadığı görülmektedir (NSA, 2021; Yonar, 2017).

### **Toprak Düzenleyici ve/veya Mineral Gübre Olarak Kullanımı Açısından Çelik Cüruflarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri**

Çelik cüruflarının en önemli fiziksel özelliği tane büyüklük dağılımıdır. Tarımsal açıdan kireçleme materyali olarak kullanılacak cüruf ne kadar küçük olursa, o kadar reaktif olacağından toprak asitliğinin nötralizasyonundaki etkinliği de o ölçüde artacaktır. Tane büyüklük dağılımı bakımından cürufun %90'ının 20 mesh (841 mikron) elekten geçmesi önerilmektedir. Çelik cüruflarının hacim ağırlığı ve özgül ağırlığı tarımsal kireç materyaline oranla daha yüksektir. Bu durum çelik cüruflarının içerdiği metal miktarıyla doğrudan ilgilidir. Çelik cüruflarının hacim ağırlığı 1.6 ile 1.9 g/cm<sup>3</sup> arasında değişirken, tarımsal kireç materyalininki 1.4 ile 1.5 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Benzer şekilde çelik cüruflarının özgül ağırlığı 3.2–3.6 g/cm<sup>3</sup> arasında değişirken, tarımsal kireç materyalininki 2.7–2.9 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir (NSA, 2021).

BOF ve EAO cüruflarının genel kimyasal bileşimleri Tablo 1'de görülmektedir. Çelik cüruflarının kimyasal bileşimleri oldukça



**Table 1.**  
BOF ve EAO Cürufalarının Kimyasal Bileşimleri (Yi ve ark., 2012).

CÜRUF TÜRÜ (%)	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
BOF Cürufu	45–60	10–15	1–5	3–13	2–6	3–9	1–4
EAO Cürufu	30–50	11–20	10–18	8–13	5–10	5–6	2–5

Note: BOF = basic oxygen furnaceslugs; EAF = electric arc furnace.

değişkenlik göstermekte ve genel olarak kimyasal bileşimlerini CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oluşturmaktadır (Yi ve ark., 2012). Çelik cürufaları, üretilen çeliğin türüne ve kullanılan çelik üretim işlemine bağlı olarak çeşitli konsantrasyonlarda iz elementleri de içerebilmektedirler (Kourounis ve ark., 2007; Motz & Geiseler, 2001).

## Sonuç ve Öneriler

2021 yılı itibariyle Türkiye’de mevcut 37 adet tesisin 26 tanesi EAO, 8 tanesi İO ve 3 tanesi BOF ile ham çelik üretimi yapmakta ve bu üretim sonucunda yan ürün olarak cürufalar oluşmaktadır. Çelik cürufu miktarı, ton ham çelik başına 150–200 kg arasında değişmekte ve Türkiye’de bu cürufalar sahalarda düzenli/düzensiz depolanmaktadır. Temel olarak CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeren çelik cürufaları birçok ülkede asidik toprakların ıslahında kireçleme materyali olarak ve bitki besin elementi olarak kullanılmaktadır.

Çelik tesislerinde yan ürün olarak ortaya çıkan çelik cürufalarının toprak düzenleyici ve/veya mineral gübre olarak kullanımı tarımsal, çevresel ve ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Çelik cürufalarının toprak düzenleyici ve/veya mineral gübre olarak kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar CÜRUFUN (Tozsın & Oztas, 2022);

- Asit topraklarda agronomik açıdan daha uygun kimyasal ve biyolojik ortam koşulları oluşturarak besin elementi alımını teşvik ettiği, bitki gelişimini ve verimi artırdığını,
- Önemli bir maliyet avantajı sağladığından tarım kirecine alternatif olarak, asit toprakların ıslahında etkin ve ekonomik bir toprak düzenleyici materyal olarak kullanılabilceğini,
- Farklı bitki besin elementlerine (P, S, Mn, Fe, Mo ve Si) sahip olması nedeniyle, doğrudan gübre olarak kullanılabilceği gibi, bitkisel ve hayvansal atıklarla karıştırılıp kompost yapılarak da daha etkin bir şekilde uygulanabileceğini,
- Fazla miktarda CaO, SiO<sub>2</sub> ve MgO gibi gübre bileşenlerine sahip olması nedeniyle Japonya, Çin, Hindistan, ABD ve Almanya başta olmak üzere birçok ülkede doğrudan silikat gübresi olarak kullanılabildiğini,
- Yüksek miktarlarda Si içermesi nedeniyle ve Si’nin temel bitki besin elementi olmamakla birlikte birçok kültür bitkisinde fotosentezi teşvik etmesi, kök aktivitesini artırması, alt yaprakların sararmasını engellemesi, gövde dayanıklılığını artırması ve yanık oluşumuna engel olması gibi verimde kalite ve kantite üzerine ciddi bir etki yaratması nedeniyle silikat gübresi olarak yaygın bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu,
- Mineral gübre olarak uygulandığında verimde ciddi artış sağlayabildiğini,
- Asit topraklarda P yetersizliğini önemli ölçüde azalttığını,
- Fe kaynaklı kloroz etkisini minimize ettiğini,
- Bitki organlarında depolanan Al ve Mn miktarını önemli ölçüde azaltarak zehirlenmelere engel olduğunu,
- Yüksek Fe içeriğine rağmen cüruf ile muamele edilmiş bitki dokularında yüksek miktarlarda Fe depolanmadığını,

- Hali hazırda dünya piyasalarında çeşitli formasyonlarda (cüruf silikatlı gübre, kireçli gübre, cüruf fosfatlı gübre ve Fe-katkılı özel gübre) üretildiğini,
- Belirli miktarlarda ağır metal içermesine karşın, toprağa yüklenen veya topraktan bitkiler tarafından alınan Cu, Cd, Co, Ni, Pb ve Zn miktarının kabul edilebilir sınır değerlerin altında olduğunu, ortaya koymaktadır.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Yazar Katkıları:** Konsept – G.T., T.Ö.; Tasarım – G.T., T.Ö.; Denetim – G.T., T.Ö.; Kaynaklar – G.T., T.Ö.; Veri Toplama ve/veya İşleme – G.T., T.Ö.; Analiz ve/veya Yorum – G.T., T.Ö.; Literatür Taraması – G.T., T.Ö.; Yazma – G.T., T.Ö.; Eleştirel İnceleme – G.T., T.Ö.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

**Finansal Destek:** Yazarlar, bu makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Concept – G.T., T.Ö.; Design – G.T., T.Ö.; Supervision – G.T., T.Ö.; Resources – G.T., T.Ö.; Materials – G.T., T.Ö.; Data Collection and/or Processing – G.T., T.Ö.; Analysis and/or Interpretation – G.T., T.Ö.; Literature Search – G.T., T.Ö.; Writing Manuscript – G.T., T.Ö.; Critical Review – G.T., T.Ö.

**Declaration of Interests:** The authors declare that they have no competing interest.

**Funding:** The authors declare that this study had received no financial support.

## Kaynaklar

- Anderson, N. P., Hart, J. M., Sullivan, D. M., Christensen, N. W., Horneck, D. A., & Pirelli, G. J. (2013). *Applying lime to raise soil pH for crop production (Western Oregon)*. Oregon State University, Extension Service, EM9057.
- Anunziata Branca, T. A., Pistocchi, C., Colla, V., Ragolini, G., Amato, A., Tozzini, C., Mudersbach, D., Morillon, A., Rex, M., & Romaniello, L. (2014). Investigation of (BOF) convertor slag use for agriculture in Europe. *Metallurgical Research and Technology*, 11(3), 155–167. [\[CrossRef\]](#)
- Beck, M., & Daniels, W. L. (2008). *Tube City IMS, LLC steel slag characterization study*. Department of Crop and Soil Environmental Sciences, Virginia Tech University.
- Chand, S., Paul, B., & Kumar, M. (2015). An overview of use of Linz-Donawitz (LD) steel slag in agriculture. *Current World Environment*, 10(3), 975–984. [\[CrossRef\]](#)
- Curtin, D., & Trolove, S. (2013). Predicting pH buffering capacity of New Zealand soils from organic matter content and mineral characteristics. *Soil Research*, 51(6), 494–502. [\[CrossRef\]](#)
- Das, B., Prakash, S., Reddy, P. S. R., & Misra, V. N. (2007). An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(1), 40–57. [\[CrossRef\]](#)
- Das, S., Gwon, H. S., Khan, M. I., Jeong, S. T., & Kim, P. J. (2020). Steel slag amendment impacts on soil microbial communities and activities of rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific Reports*, 10(1), 6746. [\[CrossRef\]](#)
- Das, S., Kim, G. W., Hwang, H. Y., Verma, P. P., & Kim, P. J. (2019). Cropping with slag to address soil, environment, and food security. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1320. [\[CrossRef\]](#)
- Goulding, K. W. T. (2016). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 32(3), 390–399. [\[CrossRef\]](#)
- Horii, K., Tsutsumi, N., Kato, T., Kitano, Y., & Sugahara, K. (2015). *Overview of iron/steel slag application and development of new utilization technologies* [Technical Report] (s. 109). Nippon Steel and Sumitomo.
- Ito, K. (2015). *Steelmaking slag for fertilizer usage* [Technical Report no. 109] (pp. 130–136). Nippon Steel & Sumitomo Metal.

- Kourounis, S., Tsvivilis, S., Tsakiridis, P. E., Papadimitriou, G. D., & Tsioubki, Z. (2007). Properties and hydration of blended cements with steel-making slag. *Cement and Concrete Research*, 37(6), 815–822. [\[CrossRef\]](#)
- Mäkelä, M., Watkins, G., Pöykiö, R., Nurmesniemi, H., & Dahl, O. (2012). Utilization of steel, pulp and paper industry solid residues in forest soil amendment: Relevant physicochemical properties and heavy metal availability. *Journal of Hazardous Materials*, 207–208, 21–27. [\[CrossRef\]](#)
- Mamatha, D., Gowda, R. C., & Shivakumara, M. N. (2018). Effect of basic slag on yield, nutrient status and uptake by paddy in acid soils of Karnataka, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 2286–2292. [\[CrossRef\]](#)
- Mihalache, M., Ilie, L., Doru, I. M., Mihalache, D., & Ildiko, A. (2016). Research on heavy metals translocation from soil amended with LF slag in wheat grains. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2016), Water Resources, Forest, Marine and Ocean Ecosystems Conference Proceedings (Volume II, pp. 281–286), June 30–July 06. Albena, Bulgaria.
- Motz, H., & Geiseler, J. (2001). Products of steel slags an opportunity to save natural resources. *Waste Management*, 21(3), 285–293. [\[CrossRef\]](#)
- Munn, D. A. (2005). Steel industry slags compared with calcium carbonate in neutralizing acid mine soil. *Ohio Journal of Sciences*, 105(4), 79–87.
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1–9. [\[CrossRef\]](#)
- NLA (National Lime Association). (1990). *Lime: Handling, application and storage* (p. 22201).
- NSA (National Slag Association). (2021). *A guide for the use of steel slag in agriculture and for reclamation of acidic lands* (pp. 1–9).
- Pinto, M., Rodriguez, M., Besga, G., Balcazar, N., & Lopez, F. A. (1995). Effects of Linz-Donawitz (LD) slag as soil properties and pasture production in the Basque Country (Northern Spain). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 38(1), 143–155. [\[CrossRef\]](#)
- Proctor, D. M., Fehling, K. A., Shay, E. C., Wittenborn, J. L., Green, J. J., Avent, C., Bigham, R. D., Connolly, M., Lee, B., Shepker, T. O., & Zak, M. A. (2000). Physical and chemical characteristics of blast furnace, basic oxygen furnace and electric arc furnace steel industry slags. *Environmental Science and Technology*, 34(8), 1576–1582. [\[CrossRef\]](#)
- Reuter, M., Xiao, Y., & Boin, U. (2004). Recycling and environmental issues of metallurgical slags and salt fluxes. VII. International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa. (pp. 349–356).
- STB (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı). (2020). *Demir çelik sektör raporu. Sektörel Raporlar* (s.: 1–35). Sanayi Genel Müdürlüğü.
- TÇÜD (Türkiye Çelik Üreticileri Derneği). (2021). *Çelik haritası*. <https://celik.org.tr/harita/>.
- Tozsın, G., & Oztas, T. (2022). Use of steel slag as a soil amendment and mineral fertilizer in agriculture: A mini review. *Waste Management and Research*, 1–28.
- USDA (United States Department of Agriculture) (1999). *Liming to improve soil quality in acid soils. Soil quality-agronomy technical note* (vol. 8).
- Wang, W., Lai, D. Y. F., Abid, A. A., Neogi, S., Xu, X., & Wang, C. (2018a). Effects of steel slag and biochar incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field. *Agronomy*, 8(8), 1–17. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, W., Sardans, J., Lai, D. Y. F., Wang, C., Zeng, C., Tong, C., Liang, Y., & Peñuelas, J. (2015). Effects of steel slag application on greenhouse gas emissions and crop yield over multiple growing seasons in a subtropical paddy field in China. *Field Crops Research*, 171, 146–156. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, W., Sardans, J., Wang, C., Zeng, C., Tong, C., Bartrons, M., & Peñuelas, J. (2018b). Steel slag amendment increases nutrient availability and rice yield in a subtropical paddy field in China. *Experimental Agriculture*, 54(6), 842–856. [\[CrossRef\]](#)
- Wang, X., & Cai, Q. (2006). Steel slag as an iron fertilizer for corn growth and soil improvement in a pot experiment. *Pedosphere*, 16(4), 519–524. [\[CrossRef\]](#)
- Wen, T., Yang, L., Dang, C., Miki, T., Bai, H., & Nagasaka, T. (2020). Effect of basic oxygen furnace slag on succession of the bacterial community and immobilization of various metal ions in acidic contaminated mine soil. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 121784. [\[CrossRef\]](#)
- Yang, Y., Reijonen, I., Yu, H., Dharmarajan, R., Seshadri, B., & Bolan, N. S. (2018). Back to basic slags as a phosphorous source and liming material. In *Soil amendments for sustainability: Challenges and Perspectives* (s.: 237–250). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Yayan, V. (2022). Türkiye rekor üretim ile 2021 yılında da Avrupa'nın en büyük çelik üreticisi oldu. *Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, Çelik Dergisi*, 133, 1–48.
- Yi, H., Xu, G., Cheng, H., Wang, J., Wan, Y., & Chen, H. (2012). An overview of utilization of steel slag. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 791–801. [\[CrossRef\]](#)
- Yonar, F. (2017). *Elektrik ark ocağı çelikhane cürufunun karayolu esnek üstyapı tabakalarında kullanımının ve karışım performansının araştırılması* [Doktora Tezi] (s. 264). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.