



# TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS IN CERAMIC-TILE PRODUCTION IN RECENT YEARS: A REVIEW ON TURKEY AND THE WORLD

**Mahammad ALİYEV\***

\*Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Tasarımı Bölümü,  
[muhammet.aliyev@hotmail.com](mailto:muhammet.aliyev@hotmail.com)

Received Date: 12.04.2022 Revised Date:02.06.2022 Accepted Date:01.07.2022

Copyright © 2022 Mahammad ALİYEV. This is an open access article distributed under the Eurasian Academy of Sciences License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## ABSTRACT

It can be said that advanced materials science and engineering applications are receiving increasing attention in manufacturing industries. In this study, it is aimed to examine the materials science, engineering applications and the products obtained by the manufacturing industry using technology in ceramic-tile production. For this purpose, the developments in Turkey and the world have been examined and presented. In this study, it is determined in which areas the technologies used in ceramic-tile production in Turkey and in the world are concentrated, where and how the materials used in production are obtained, and which areas are of interest in Turkey and in the world. In this context, the effect of clay mixtures obtained depending on the geographical conditions in Turkey is evaluated, and it is seen that the use of waste materials in recycling and ceramic-tile production in the world is more concentrated.

**Keywords:** Ceramic-tile, Production, Technology

## SERAMİK-ÇİNİ ÜRETİMİNDE SON YILLARDAKİ TEKNOLOJİK GELİŞMELER: TÜRKİYE VE DÜNYA ÜZERİNE BİR İNCELEME

## ÖZET

Gelişmiş malzeme bilimi ve mühendislik uygulamalarının, imalat endüstrilerinde artan bir ilgi gördüğü söylenebilir. Bu çalışmada da seramik-çini üretiminde malzeme bilimi, mühendislik uygulamaları ve imalat endüstrisinin teknolojiyi kullanarak elde ettikleri ürünlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Türkiye ve dünya üzerindeki gelişimler incelenmiş ve sunulmuştur. Yapılan çalışmada Türkiye’de ve dünyada seramik-çini üretiminde kullanılan teknolojilerin hangi alanlarda yoğunlaştığı, üretimde kullanılan malzemelerin nereden ve nasıl elde edildiği ve Türkiye’de ve dünyada hangi alanlara ilgi duyulduğu belirlenmektedir. Bu bağlamda, Türkiye’de coğrafi koşullara bağlı olarak elde edilen kil karışımlarının etkisi değerlendirilmekte, dünyada ise daha çok atık malzemelerin geri dönüşümde seramik-çini üretiminde kullanılmasına yoğunlaştığı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Seramik-çini, Üretim, Teknoloji



## 1. GİRİŞ

Tarihin ilk dönemlerinden bugüne dek yaşanan proseste insanlık tabiatı, tüm ihtiyaçlarını gidermek üzere kullanmıştır. Dünyanın en üst katmanı olan toprak, tarihin ilk dönemlerinden itibaren insanoğlunun gereksinimlerini karşılayan en zengin kaynak olmuştur. Taşıma kaplarıyla çanak-çömlek nesnelere, heykeller, idoller, süs eşyaları, mühürler gibi eşyalar pek çok nesne, toprak, kayaç ya da taşlardan imal edilmiştir (Acartürk, 2012). Toplumun kültür yapısı zaman içinde değişse de tüm dönemlerde seramik-çini söz konusu değişimde ön plana çıkmış ve gelişime sahne olmuştur. Toprak, malzeme olarak, insanların hayatında devamlı olarak önemli bir yer işgal etmiştir. Toprağın, seramik-çini sanat ve teknolojisi manasında kullanılmış olduğu bu araştırmada insanlığın tarihi süreçte biçimlendirdiği bu malzemenin gerçekte insanın kendisini, yaşamıyla kültürü de aynı çerçevede nasıl geliştirdiği anlaşılmaktadır. Kısacası; toprak, insanı insan yapan en önemli yapıtaşlarından biri olmuştur (Burst, 1991).

Teknolojik ilerlemeyle birlikte, doğal malzemeler, ürün yetenekleri ve işlevleriyle ilgili artan talepleri karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Antik çağda insanlar, doğal olarak mevcut malzemelerin özelliklerini iyileştirmek veya değiştirmek için yeni malzemeleri sentezlemek için ateşi kullanmışlardır (Richerson, 2012). Fırının icadı ile metalurji, cam ve seramik teknolojisinde devrim niteliğinde ilerlemeler sağlanmıştır. Seramik-çini teknolojisinin ilerlemesi, metalurjik teknolojilerden elde edilen deneyime dayanmaktadır. On dokuzuncu ve yirminci yüzyıllarda, üstün dayanıklılık ve diğer özelliklere sahip çok çeşitli yeni yapı malzemeleri türleri ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında tuğla, drenaj sistemleri ve çatı kaplamaları için kiremit boruları, sıhhi tesisat ve cam vb. bulunmaktadır. Ayrıca çelik ve yeni malzemelerin yüksek sıcaklıkta işlenmesine bağlı diğer endüstriler için fırın astarı görevi gören yüksek sıcaklık yalıtım malzemeleri geliştirilmiştir (Somiya, 2013).

Seramik bileşenleri oluşturmak üzere birleşebilen birçok metalik ve metalik olmayan atom kombinasyonu vardır ve ayrıca her bir atom kombinasyonu için genellikle çeşitli yapısal düzenlemeler mümkündür. Bu, bilim insanlarını çeşitli uygulama alanlarında artan gereksinimleri ve talepleri karşılamak için birçok yeni seramik malzeme icat etmeye yönlendirmiştir (Zhang & Reece, 2019). Gelişmiş fırınlar ve ısı motorları, sanayi devriminin başarısında önemli rol oynarken, çeşitli fırın ve motor türlerinin ısı yalıtımı için seramik malzemelere ihtiyaç duyulmuştur. Elektrik ve elektronik teknolojileri ilerledikçe, elektriksel olarak yalıtkan seramik malzemeler geliştirildi. Gittikçe daha yüksek frekanslar ve voltajlar kullanıldıkça, seramik dielektriklere olan talep daha önemli hale gelmiştir. Ayrıca, yeni elektronik ve elektro-optik teknoloji devriminin bir parçası olarak seramiklerin manyetik ve optik özellikleri için yeni özellikler geliştirilmiştir (Richerson & Lee, 2018).

Genel olarak seramik-çini ürünler terimi, metalik olmayan bileşiklerden oluşan ve bir pişirme işlemiyle kalıcı hale getirilen inorganik malzemeler (muhtemelen bir miktar organik içeriğe sahip) için kullanılır. Kil esaslı malzemelere ek olarak, bugün seramikler, az miktarda kil içeren veya hiç içermeyen çok sayıda ürün içermektedir. Seramikler sırlı veya sırsız, gözenekli veya vitrifiye olabilir (Paulin, 1964). Seramik-çini ürünlerin karakteristik özellikleri arasında yüksek mukavemet, aşınma direnci, uzun hizmet ömrü, kimyasal eylemsizlik ve toksik olmama, ısıya ve ateşe dayanıklılık, (genellikle) elektrik direnci ve bazen de belirli bir gözeneklilik bulunur. Seramik ürünlerin imalatındaki ana adımlar, kullanılan malzemelerden ve nihai üründen büyük ölçüde bağımsızdır. Süreç şu adımlardan oluşur: hammaddelerin madenciliği/taş ocakçılığı ve seramik tesisine



taşınması, hammaddelerin depolanması, hammaddelerin hazırlanması, şekillendirme, kurutma, yüzey işleme, ateşleme ve sonraki işlemlerdir (Bey & Pool, 1992).

Bu çerçevede çağdaş/ileri seramikler şeklinde tasnif edilen grup içinde toprak, yine başta gelmektedir. Bu grup içindeki seramiklerin numuneleri, sızdırmazlık unsurları, aşınma plakaları, contalar, kesici uçlar, entegre devre kartlarında altlık şeklinde kullanılmakta olan kapasitörle rezistörlerdir. İleri seramikler bilhassa ileri teknoloji sürecinde yüksek aşınmayla korozyon dayanımı, elektriksel ve ısıtıl nitelikleri, sertlikleriyle endüstriyel sahaların neredeyse tamamında kullanılmaktadır. Söz konusu gruptaki seramikler “iletken, süper iletken, yalıtkan” özellikleriyle süratli ve yüksek verimde mühim fonksiyonları gerçekleştiren malzemelerdir (Okumuş, 2017).

Seramik-çini ürünler, geleneksel sanayi sektörleri olarak adlandırılan çok sayıda üründe son yıllarda tanık olunan eğilime yabancı değildir. Bu anlamda alışılmış pazarlarını genişletmeyi sağlayan yeni kullanım arayışları bulunmaktadır. Gerçekten de seramik malzemelerin özellikleri birden fazla uygulamaya izin verdiği için bu şaşırtıcı olmamalıdır (Sanz et al., 2012). Bu anlamda bir örnek teknik seramiklerdir: bunlar, optimum teknik performans özellikleri göz önüne alındığında, özellikle uzun süredir bu bağlamda standart malzemeler olan metaller gibi diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, yüksek teknoloji ile ilişkili uygulamalarda yıllardır kullanılmaktadır (Michalak, 2021). Bu bağlamda, motorlar için seramik bileşenlerden, sondaj ekipmanı için seramik kaplamalardan, türbin kanatlarından, seramik membranlardan, entegre devreler için desteklerden vb. bahsetmek yeterlidir (Berto, 2007).

Günümüzün sanayileşme prosesinde seramik-çini sahasında Türkiye’de ulusal bilimle teknoloji birikimini geliştirmek için AR-GE faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. İleri seramikler sahasında Türkiye’de bilimsel temelli ileri teknoloji yaklaşımı kullanılmıştır. Dünyanın ilgisini çeken seramik sanatı kadar seramik teknolojisi de dünya standartlarını izlenebilecek ve tatbik edilebilecek haldedir. Hammadde kaynakları, insani güç, Türkiye’nin uygun coğrafi konumuyla oldukça kuvvetli geleneğiyle seramik endüstrisi bu hususta avantajlıdır (Liang & Dutta, 2001).

Bu anlamda kullanımı giderek yaygınlaşan seramik-çini ürünlerinin üretiminde kullanılan teknoloji ve yeniliklerin takip edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada da Türkiye ve Dünya üzerinde, seramik-çini üretimindeki yeni teknolojik gelişmelerin neler olduğu araştırılıp değerlendirilmeye çalışılmıştır. Böylece araştırmacılara seramik-çini üretimdeki yeni teknolojik gelişmeler bir arada sunulmuş olacaktır. Bu bağlamda giriş bölümünde seramik-çini malzemesinin gelişimi ve teknoloji uyumundan bahsedilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmı olan materyal metot bölümünde araştırmanın nasıl yapıldığına yer verilerek araştırmacıların kavramsal bakımdan soruları cevaplandırılmaya çalışılmıştır. Üçüncü bölümde literatürde yer alan “Türkiye ve Dünya üzerinde seramik-çini üretimindeki yeni teknolojiler” konusu ayrı bölümler halinde incelenmiştir. Son bölümde ise üçüncü bölümde incelenen literatür ışığında değerlendirmelerde bulunulmuştur.

## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışma, Google Scholar akademik veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Google Scholar’ın avantajları arasında: sadece akademik makaleler ve konularda tarama yapması ve konuların altındaki atıflar bölümünde makaleye atıfta bulunan diğer makalelerin sayısı/listesi yer almaktadır. Çalışma başlığı çok geniş kapsamlı olduğundan literatür son 10 yıl ile sınırlandırılmıştır. Bu bakımdan 2014-2023 yılları arasındaki çalışmalar değerlendirilmiştir. İnceleme yapılırken Türkiye ve Dünya üzerindeki teknolojiler ayrı bölümler halinde ele alınmıştır.



### 3. LİTERATÜR İNCELEMESİ

#### 3.1. Türkiye’de Seramik-Çini Üretimindeki Yeni Teknolojiler

Seramik-Çini imalat endüstrisinde, ıslak öğütme ve sprey kurutma dahil olmak üzere ıslak işlem, granül hazırlama için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sprey kurutucuda su buharlaşması için yüksek enerji tüketimi nedeniyle, ıslak proseste önemli bir sorun haline gelmiştir. Yapılan bu araştırmada Yarı Islak Proses adı verilen yeni bir üretim sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yeni sistem yatay kurutucu, kuru bilyalı değirmen, separatör ve ilave bir yüksek hızlı karışımdan oluşmaktadır. Düşük neme sahip hammaddeler, kuru boyut küçültme işleminde gerekli inceliğe kadar öğütülür. Geleneksel ıslak proseste hazırlanan tarifin diğer bileşenleri, karıştırma bulamacı tankında kuru hazırlanmış toz ile karıştırılır. Kuru toz ilavesi, son süspansiyonun su oranını azaltmaktadır. Türkiye'deki Kaleseramik Fabrikası'nda gerçekleştirilmiş ve pozitif sonuçlar elde edilmiştir (Ergin et al., 2014).

Granit, dokuda granüler ve faneritik olan yaygın bir müdahaleci, felsik, magmatik kaya türüdür. Zeolitler ise endüstride su arıtmada, katalizör olarak, ileri malzemelerin hazırlanmasında ve nükleer yeniden işlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmacıların amacı, seramik-çini ürünlerin imalatında doğal granit ve zeolitin kullanım olasılığını araştırmaktır. Türkiye'den doğal zeolit ve granit kullanılarak farklı kompozisyonlar hazırlanmıştır. Dört farklı kompozisyon için zeolit ve granit hammaddeleri karıştırılmıştır. Bunlar; % ağırlık 25 Ze-75 Gr, 50 Ze-50 Gr, 75 Ze-25 Gr, 100 Ze. Karıştırma, alümina topları ile 10 saat boyunca bilyeli öğütme ile gerçekleştirilmiştir. 20 mm çapındaki numuneler 400 MPa basınçta kuru presleme ile şekillendirilmiştir. Hazırlanan numuneler atmosfer koşullarında 1150 ve 1200 °C'de 1 saat sinterlenmiştir. Daha sonra ürünler SEM, EDS ile karakterize edilmiştir. Çalışma sonucunda numunelerin kütle yoğunlukları, mikro sertlikleri ve % su emme değerleri ölçülmüş, elde edilen sonuçların yeni teknolojilerde kullanılabilirliği tartışılmıştır (Karakuş & Demirkıran, 2014).

Türkiye Boraks Madeninin (BM) çözünme ünitesinin atıkları, deneysel bir duvar seramik-çini gövde bileşimi geliştirmek için mermerin kısmi ikamesi olarak farklı miktarlarda kullanılmıştır. Ağırlıkça %2, 4, 6 ve 9 BM ile parti bileşimlerine dahil edilerek laboratuvar koşullarında kuru presleme ile şekillendirilmiş ve bir dizi seramik-çini formülasyonu hazırlanmıştır. Elde edilen numuneler, endüstriyel koşullar altında toplam 38 dakikalık (soğuktan soğuğa) ateşleme süresi boyunca 1150 °C'lik bir tepe sıcaklığında sinterlenmiştir. Ortaya çıkan ürünlerin lineer ateşleme büzülmesi, su emme ve eğilme mukavemeti gibi bazı teknolojik özellikleri, bu sıcaklıklarda mermer yerine BM içeriğinin arttırılmasının bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre, standart duvar seramik-çini formülasyonlarına kıyasla BM varlığının artması, vitrifikasyon işlemini hızlandırmış ve malzemenin fiziksel özelliklerini geliştirmiştir. Genel sonuçlar, BM'nin bir duvar seramik-çini gövdesinin üretimi için ağırlıkça% 4'e kadar bir hammadde olarak kullanılması ihtimalini ortaya koymaktadır. Ağırlıkça %4 BM içeren R2 formülasyonunun reolojik davranışı, viskozite analizi ile deflokkulan miktarının bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. TS EN 14411 Türk Standardına göre 1100°-1120°C'de duvar seramik-çini üretimi mümkün görünmektedir (Celik, 2015).

Seramik-çini imalat endüstrisinde, yüksek enerji tüketimi nedeniyle sprey kurutucuda suyun buharlaşması ıslak proseste büyük bir problem haline gelmiştir. Son yıllarda, dikey valsli değirmen veya sarkaçlı değirmen gibi kuru değirmenler ile



granülatörden oluşan, granül şekillerinde ve granül boyut dağılımlarında çeşitli problemler bulunan ve üretimde kalite sorunlarına neden olan kuru granülasyon proseslerinin geliştirilmesine yönelik çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Yapılan araştırmada Semi-Wet Process olarak adlandırılan yeni bir üretim sisteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yeni sistem yatay bir kurutucu, kuru bilyalı değirmen, ayırıcı ve ek yüksek hızlı karışımdan oluşmaktadır. Burada nem oranı düşük hammaddeler kuru boyut küçültme işleminde gerekli incelikte öğütülür. Konvansiyonel yaş proste hazırlanan reçetenin diğer bileşenleri, karışım bulamaç tankında kuru hazırlanan toz ile karıştırılır. Kuru tozun eklenmesi, nihai süspansiyonun su oranını azaltır, diğer bir deyişle, bulamacın kütle yoğunluğu artar. Geliştirilen Yarı Yaş Sistemin kasa uygulaması Türkiye'nin en büyük seramik üreticisi olan Kaleseramik Fabrikası'nda gerçekleştirilmiştir. Kuru hazırlanan toz, karıştırma tankındaki gövde bulamacına %15 oranında ilave edilmiş ve duvar seramik-çini astarının kütle yoğunluğu 1632 g/L'den 1750 g/L'ye yükseldiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, doğal gaz tüketimi 52,52 sm(3)/ton'dan 37,52 sm(3)/ton'a düşürülmüştür. Önerilen sistemin önemli oranda tasarruf sağladığı görülmüştür (Durgut et al., 2015).

Farklı bir çalışmada pirofilitin geleneksel seramik endüstrisinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ham pirofilit Malatya/Türkiye'de elde edilmiştir. Fırında farklı sıcaklıklarda (800, 900, 1000 ve 1100 °C) ısıtılan ham pirofilit ve hazırlanan seramiklerin karakterizasyonu XRF, XRD, FTIR, SEM ile yapılmış ve toplam büzülme, su emme kapasitesi ve sıkıştırma dayanımı gibi temel fiziksel özellikler belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda; ham pirofilitin kolayca şekillenebilmesi için feldispat ve yüksek plastisiteye sahip başka bir kil (Ünye kili) ile karıştırılması gerektiğinden, optimum ağırlıkça %70 pirofilit, ağırlıkça %20 Ünye kili ve ağırlıkça %10 feldspat oranları belirlenmiştir. Elde edilen seramik-çini ürünlerinin temel özellikleri, spesifik beyaz pişirme rengi ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık olarak tespit edilmiştir (Kizilkaya, Onal, Depci, & Yucel, 2016).

Afyonkarahisar, Yeniköy/Akharım formasyonu içinde, tortul kayaçlarla ilişkili kaolinitik killer geniş bir alana yayılmıştır. Türkiye'nin Kütahya ve Uşak ili gibi seramik sanayi bölgelerine yakınlığı nedeniyle Akharım ilçesindeki killer son yıllarda yoğun olarak işletilmektedir. Yatağın KD bölümünde alt seviyelerden yüzeye doğru alterasyon derecesi artmaktadır. Yapılan çalışma, kaolinitik killerin mineraloji, jeokimya ve seramik özelliklerine odaklanmıştır. Kil ocağı duvarından incelenen numuneler üzerinde X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri, kimyasal, fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Akharım kil yatakları ağırlıklı olarak kaolinit ve kuvarstan oluşmaktadır. Ayrıca simektit, biyotit, feldispat, jarosit, kalsit ve hematit minerallerini içerirler. Akharım killeri orta düzeyde plastisite (PL = 17.07–24.09), düşük su emme (%3.64–9.53 ağırlık), düşük doğrusal büzülme (%8.08–15.55 ağırlık), yüksek eğilme mukavemeti (17.72–32.69 N/mm<sup>2</sup>) ile ideal açıklık değerleri ( $L^* = 46,50-82,74$ ) ve renk değerleri ( $a^* = 4,71-29,87$ ;  $b^* = 14,67-28,72$ ) karakterize edilmiştir. Bu özellikler Akharım killerinin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sonuç olarak, Akharım killeri mineralojik, jeokimyasal ve seramik özelliklerine göre zemin ve duvar seramik-çini ürünleri için istenen özelliklere sahiptir (Kuşcu & Yıldız, 2016).

Bu araştırmada, Türkiye'nin Balıkesir-Sındırgı bölgesindeki alunitik kaolinitlere boyut küçültme sonrası alünit ve diğer safsızlıkları gidermek için mekanik fırçalama, eleme ve öğütme içeren bir zenginleştirme işlemi uygulanmıştır. SiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için bileşimdeki değişiklikleri belirlemek için boyut gruplarının kimyasal ve mineralojik



analizi yapılmıştır. Daha sonra konsantre kaolinlerin seramik-çini üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla bir seramik fabrikasında kullanılan kaolinin yerine konsantre alunitik kaolinlerin kullanılması için üç farklı reçete hazırlanmıştır. Üretilen seramik karoların özellikleri daha sonra fabrikanın kendi ürünleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda %20 oranında konsantre alunitik kaolin kullanımının fabrika seramik-çini ürünlerinin fiziksel özelliklerini iyileştirdiği ve kaolinin içindeki kükürtün tolere edildiği kanıtlanmıştır (Ediz, Tatar, & Aydın, 2017).

Temel olarak kil-silika-feldispat sistemi kullanılan inşaat ve seramik kaplama malzemeleri için doğal hammadde ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada, Nevşehir'in (Türkiye) kuzey doğusunda Avanos'ta bulunan iki farklı kil (beyaz ve Ayhanlar killeri) seramik-çini kompozisyonları için incelenmiştir. Bu killeri, seramik-çini kompozisyonlarına farklı killeri yerine belirli oranlarda ilave edilmiştir. Daha sonra fiziksel (kromatik koordinatlar, su emme, doğrusal büzülme, termal genleşme katsayısı) ve mekanik özellikler endüstriyel standart bir seramik-çini ile karşılaştırılarak incelenmiştir. Numunelerin faz ve mikroyapı gelişimi, X-ışını kırınımı ve elektron mikroskopu ile incelenmiştir. Avanos killeri kullanan Anortit oluşumu, sinterlenmiş örneklerde oldukça başarılı olmuştur. Bu çalışma, hem bu beyaz ve kırmızı killerin kullanım alanlarını genişletmesi hem de Avanos killerinin sergilenmesi açısından Türk seramik-çini endüstrisi için alternatif bir kil malzemesi olması açısından önemli bir çalışmadır (Ozturk, 2017).

Bor üreten ülkelerde her yıl büyük miktarda bor madenciliği atığı oluşmakta ve bu da acilen uygulanabilir bir değerlendirme çözümü bulma ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Seramik üretiminde enerji tüketimini azaltmak için seramik-çini üretiminde potansiyelleri araştırılmıştır. Önerilen ağırlıkça %5-6 atık içeren seramik-çini formülasyonları, ağırlıkça %1 ila %33 aralığında bir bor oksit ( $B_2O_3$ ) içeriğine sahiptir.  $B_2O_3$ 'ün eritme kabiliyeti sayesinde, geliştirilen seramik-çinilerin sinterleme sıcaklığı  $70^{\circ}C-1050^{\circ}C$ 'ye, geliştirilen seramik-çinilerin sinterleme sıcaklığı ise  $1130^{\circ}C$ 'ye, kıyaslamalı (ticari kıyaslama) seramik-çinilere göre  $65^{\circ}C$ 'ye düştüğü belirtilmiştir. Geliştirilen seramik ürünler, %0,49 su emme ve  $38,43N/mm^2$  mukavemete sahip yer seramiklerinin TS EN ISO 10545 standardı gerekliliklerini sağlayan %19,39 su emme ve  $20,46N/mm^2$  mukavemete sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışma endüstriyel ölçekte daha sürdürülebilir seramik-çini üretimine bor madenciliği atıklarını dahil etmek için önemli bir çalışmadır (Cicek, Karadağlı, & Duman, 2018).

Bu çalışmada,  $1210^{\circ}C$  pişirme sıcaklığı kullanılarak altı farklı porselen seramik-çini formülasyonu (%0, baryum karbonat ile ağırlıkça %2-10) üretilmiştir. Baryum karbonatın ikincil akış malzemesi olarak seramiklerin doğrusal büzülme, kütle yoğunluğu ve su emme özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Seramiklerin mikroyapı ve kimyasal analizleri sırasıyla SEM ve XRD analiz cihazları kullanılarak incelenmiştir. Seramik-çiniler ağırlıkça %2-6 arasında baryum karbonat ilavesi seramik-çiniler için önerilen su emme değerini (sıfır) etkilememiştir. Ancak bunun ağırlıkça %8 ve ağırlıkça %10 baryum karbonat ilavesinden sonra çarpıcı bir şekilde %6.65'e yükseldiği tespit edilmiştir (Odabaşı, Anıl, Odabaşı, & Kocabıyık, 2018).

Çimento ve çelik endüstrileri gibi ağır endüstrilerden kaynaklanan atıkların hacmi artmaktadır. Bu bağlamda düzenli depolama sahası bertaraf maliyetinin de her gün artılabilmektedir. Bu atık ürünlerin büyümesini durdurmak için ekonomik ve çevre dostu geri dönüşüm alanları geliştirilmektedir. Çimento fırın tozu (ÇFT), çimento endüstrisinde atık bir üründür. Daha ince kireç, silika, alümina ve demir parçacıklarına ek olarak çimento gibi çok ince taneler içerir. Bu partiküller yüksek konsantrasyonlarda



sülfat ve alkali barındırmaktadır. Yapılan çalışmanın amacı seramik-çini üretiminde alternatif bir CaO kaynağı olarak ÇFT kullanımının etkilerini incelemektir. Kalsit yerine ÇFT (%15 kütle max) ile farklı oranlarda seramik-çini kompozisyonları hazırlanmıştır. Tüm şekillendirilmiş numuneler 1150 °C'de sinterlenmiştir. Sinterleme davranışını değerlendirmek için optik dilatometre kullanılmış ve doğrusal ateşleme büzülmesi, kütle yoğunluğu, eğilme mukavemeti ve su emme gibi fiziksel özellikler de ölçülmüştür. ÇFT içeren gövdeler, nem genişmesinde bir azalma göstermiş ve standart bir bileşimin gövdesinin daha beyaz olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, ÇFT'nin seramik-çini üretiminde etkili bir CaO kaynağı olduğunu göstermiştir (Aydın, Tarhan, & Tarhan, 2019).

Borik asit ( $H_3BO_3$ ) üretiminden kaynaklanan bor madenciliği (BM) ve zenginleştirme atığı, bor endüstrisinin bir yan ürünüdür. BM, ağırlıkça %16-31  $B_2O_3$  içeriği sergiler ve bu nedenle, termal genişleme katsayılarını artırmadan seramiklerin sinterleme sıcaklığını etkili bir şekilde düşürmek için kullanılabilir. Burada, ticari seramik-çini üretimi için kullanılan bir formülasyona ağırlıkça %3-10 BM eklenmiş ve sinterleme sıcaklığında 38°C'lik (1195°C'ye) bir düşüş elde edilmiştir. Ortaya çıkan seramik-çini ürünleri 44,80 MPa mukavemet ve %0,01 su emme yüzdesi sergileyerek TS ISO EN 10545 gerekliliklerini karşılamıştır. Böylece, bu çalışma, seramik-çini üretiminde BM'nin kullanılmasının ve değerlendirilmesinin önünü açmakta ve seramik üretiminde BM'nin kullanılmasına yönelik diğer fırsatların araştırılmasına ilham oluşturmaktadır (Karadagli & Cicek, 2020).

Seramik-çini üretiminde  $\alpha-Al_2O_3$ , seramik gövde ve sır formülasyonlarında kullanılan ana alümina türüdür. Seramik-çini gövdelerinde opaklaştırıcı, sırlarda matlaştırıcı görevi görür. Beyaz erimiş alümina (BEA), kalsine alüminanın dikkatlice kontrol edilen koşullar altında bir elektrik ark ocağında eritilmesiyle üretilir. Genellikle seramik-çini sırlarında aşınma direncini arttırmak için tercih edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, alümina ve BEA ilavesinin şeffaf yer seramik-çini sırlarının termal davranışını, mikroyapısal evrimini ve estetik özelliklerini nasıl etkilediğinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktır. Sonuçlar hem alümina hem de BEA'nın standart ticari sıranın sinterleme ve erime sıcaklıklarını arttırdığını göstermiştir. Seramik-çini sırlarda BEA ilavesi ile ana fazda korund tespit edilmiştir. BEA camsı faz ile reaksiyona girmediği için başka kristal faz oluşmamıştır. Bu davranış, kaynaşmış alüminanın daha yüksek refrakterliğine bağlanabilir. BEA katkılı sırlarda daha düzgün yüzey ve homojen yapı gözlenmiştir. Ancak alümina katkılı sırlarda anortit ve korund fazları tespit edilmiştir. Bu sırlarda pürüzlü yüzeyli yüksek kristalizasyonlu sırlar gözlenmiştir. Alüminanın, BEA ilavesine kıyasla opaklığı arttırmada ve parlaklığı azaltmada daha etkili olduğu bulunmuştur (Bayer Ozturk, Yıldız, & Kara, 2020).

Tarih boyunca yaygın olarak kullanılan doğal yapı taşlarına örnek olan silikat kayası yani Sille taşı ( $SiO_2 > \%65$ ), Konya ilinin (Türkiye) Sille bölgesine ait andezitik tipte bir volkanik kayadır. Bu çalışmada, endüstriyel üretime dayalı yer seramik-çinilerini formüle etmek amacıyla geleneksel hammaddeleri kısmen ikame etmek için Sille taş tozları kullanılmıştır. Bitmiş ürün üzerindeki potansiyel etkilerini incelemek için seramik-çini bileşimine ağırlıkça %20'ye kadar Sille taşı tozları dahil edildi. Yer karosu numunelerinin yapısal ve teknik özelliklerinde katkı maddesi kaynaklı değişiklikler, kimyasal ve mineralojik analiz (X-ışını kırınımı ve floresan spektrofotometrisi) ve termal analiz (DTA, TG ve dilatometri testi) kullanılarak ayrıntılı olarak karakterize edilerek fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Sonuçlar, Sille taşı tozlarının yer seramik-çini bileşimlerinde kullanılması, gövdelerin su emilimini azaltmış ve pişme rötresini



artırmıştır. Sille taş tozlarının kullanımı ile gövdelerin mekanik mukavemeti iyileştirilmiştir. Sille taş tozu atıklarının geri dönüşümü, geleneksel seramik-çini üretimi için umut verici bir yaklaşım olarak görülmektedir (Öztürk, Akpınar, & Tarhan, 2021).

Endüstriyel atıkların geri dönüşümü son yıllarda öncelikli bir konu haline gelmiştir. Endüstriyel atıkların olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Farina (ham karışım), çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin öğütülmesiyle elde edilen ham karışımdır. Yüksek orandaki oksitler, çimento ham karışımı atık tozunun seramik-çini duvar karosu gövde üretiminde iyi bir hammadde kaynağı olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada standart duvar seramik-çini tarifinde kullanılan kalsit yerine %2, %3, %5 ve %10 çimento ham karışımı atık tozu kullanılmıştır. Diğer bir endüstriyel atık olan mermer tozu da  $\text{CaCO}_3$  kaynağı olarak kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin pişme büzülmesi, kuru ve pişme mukavemeti, su emme gibi fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca temassız bir optik dilatometre kullanılarak ateşleme davranışı da incelenmiştir. Çalışma, çimento atığı ham karışım tozunun eklenmesinin fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirdiğini göstermiştir. Çimento atığı ham karışım tozu miktarı arttıkça kuru mukavemet ve eğilme mukavemeti artmıştır. Çimento atığı ham karışım tozunun eklenmesiyle yığın yoğunluğunun da arttığı gözlenmiştir. Özellikle kalsit yerine çimento atığı ham karışım tozu ilavesi ile kuru mukavemette %50 artış sağlanmıştır. Sinterleme hızı (dy/dt) olumsuz etkilenmiş ve ilave çimento miktarı arttıkça ham karışım tozu atıldığında sinterleme yavaşlamıştır. Çalışma, çimento atığı ham karışım atık tozunun ve mermer tozunun,  $\text{CaCO}_3$  yerine ağırlıkça %5'e kadar seramik-çini duvar karoları için alternatif hammadde olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Aydın, 2021).

Farklı bir araştırmada, Karadeniz bölgesinin Kastamonu ilinde kullanılmamış iki alüvyon kili araştırılmış ve yapı malzemelerindeki potansiyel uygulamaları incelenmiştir. Numuneleri kimyasal ve fiziksel özellikleri, spektrometrisi, termal davranışı, fazı ve mikro yapısı ile karakterize edilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda 900–1100 °C'de ısıtılmış killerin teknolojik özelliklerini (seramik özellikleri ve renk gibi), dilatometri, faz ve mikroyapı analizlerini de incelemektedir. Sonuçlar, her iki kilin de baskın faz olarak kuvars, kaolinit, illit ve kalsit içerdiğini ve az miktarda da killi mineraller içerdiğini göstermektedir. Kimyasal analiz, tortuların  $\text{SiO}_2$  (ağırlıkça %48.43–51.58),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ağırlıkça %17.92–20.87) ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ağırlıkça %5.93–6.91) ana oksitleri olan silisli killer olduğunu göstermektedir. Birinci kil, N<sub>2</sub>-fizisorpsiyon analizinden sonra 88.51 m<sup>2</sup>/g'lık oldukça yüksek bir yüzey alanı göstermiştir. Genel sonuçlar, her iki kilin de uygun teknolojik özelliklere sahip olduğunu, bu da onları kırmızı ateşli inşaat ve yapı parçaları üretiminde düşük maliyetli sürdürülebilir hammaddeler haline getirdiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, bu rezervlerin, genellikle yüksek demir veya yüksek karbonatlı maddeler içeren, bölgedeki diğer dağılmış doğal kil kaynaklarının tipik temsilcileri olduğunu göstermektedir (Arianpour & Arianpour, 2022).

Pınarbaşı Köyü (Kayseri/Türkiye) yataklarından endüstriyel sır uygulaması için işlenen krom cevherinin atığı ile yeni bir seramik pigment malzemesi elde edilmiştir. Atık tozun kimyasal analizi, X-ışını floresan (XRF) analizi ile yapılmış ve parçacık boyutu analizi, lazer parçacık boyutlandırıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel sırlarda farklı tip fritlerle sentezlenen pigmentlerin renk etkisini araştırmak için atık toz 900 °C ve 1000 °C'de kalsine edilmiştir. Renk oluşumu ve parametreleri üzerindeki ana faktörleri tanımlamak için deneyin faktöriyel tasarımı kullanılmıştır. Kullanılan faktörler, atık tozun kalsinasyon sıcaklığı, atık toz miktarı, sır türü ve pişirim sıcaklığıdır. En etkili faktörlerin L\* ve b\* parametreleri için sır türü ve atık toz miktarı, a\* parametresi için sır





türü ve pişim sıcaklığı olarak faktöriyel deney tasarımı ile belirlendiği görülmüştür. Kromit işleme atığı, frit/sır bileşimine bağlı olarak, seramik-çiniler için renkli sırlarda kahverengiden yeşil tonlara kadar geniş bir renk aralığı sağlamaktadır. Faktör tasarımı deneyi ve mikro yapı analiz sonuçları, kromit işleme atıklarının, pigment olarak seramik-çini sırları üretebilen ve atıkların giderilmesine katkıda bulunabilecek güçlü bir alternatif malzeme olduğunu ortaya koymaktadır (Bayer Öztürk & Dal, 2022).

### 3.2.Dünyada Seramik-Çini Üzerindeki Yeni Teknolojiler

Seramik-çini endüstrisi, teknolojik yenilikleri ve pazar trendleri, ürün ve süreçlerin karmaşık bir resmini çizen dinamik bir sektördür. Klasik referans şemaları artık kilin çini yapımındaki rolünü doğru bir şekilde tanımlayamaz ve tahmin edemez. Bu boşluğu doldurmak için, kil hammaddelerinin kimyasal ( $Fe_2O_3$  içeriği) ve mineralojik parametreler (fillosilikat ve karbonat miktarı) ile birlikte partikül boyutu (fraksiyonlar  $<2 \mu m$  ve  $> 63 \mu m$ ) plastisitedir. İlk olarak %3'lük bir demir oksit eşiğine göre açık ve koyu pişen killeri ayırt eder. Hafif ateşlenen killer, kaolinit grubu minerallerin miktarı ve "kaolinler" (yüksek dereceli, düşük dereceli ve ham kaolinler, kaolinik tınlr) ve "plastik killer" (toplu killer, pirofillitik killer, beyaz bentonitler) içindeki plastisite ile ayırt edilir. Artan plastisiteye sahip üç sınıf bilyalı kil ayrımı öngörülmüştür. Kara pişimli killer, iri taneli fraksiyon ve karbonat miktarına göre karbonatça zengin tipler (marnlı ve karbonatlı killer), kırmızı tınlı ve kırmızı killerde; bu sonuncular ayrıca kil minerallerinin nispi bolluğu ile ayırt edilmektedir. Böyle bir sınıflandırma, gövde formülasyonu için kılavuzlar çizmek ve her bir seramik-çini kategorisi için endüstriyel uygulamada izlenen kriterleri açıklamak için gereklidir. Hem kil sınıflandırması hem de gövde formülasyonu yönergeleri, seramik potansiyelini ve kil malzemelerin çini yapımında doğru kullanımını değerlendirmek için güncel araçlar sağlamayı amaçlamaktadır (Dondi, Raimondo, & Zanelli, 2014).

Son zamanlarda, cam atığı, uçucu kül, kanalizasyon çamuru ve cüruf gibi endüstriden gelen çeşitli katı atıklar, seramik-çini gibi çeşitli katma değerli ürünlere geri dönüştürülmektedir. Yıllık büyük miktarda katı atık bertaraf maliyetini artıracığından ve flora ve faunada kalıcı hasara yol açabileceğinden, Malezya da dahil olmak üzere, atıkların düzenli depolama alanlarına veya yakmaya boşaltılmasına ilişkin geleneksel çözümler artık kullanılmamaktadır. Bu son atık geri dönüşüm yaklaşımı, endüstriyel atıkların limitin üzerinde depolanmasıyla ilgili sorunları çözebildiği ve doğayı sürekli olarak sürdürmek için seramik karo için doğal kaynakların araştırılmasını azaltabildiği için çok daha iyi ve daha çevrecidir. Bu nedenle bu projede Malezya çelik sanayisinden elde edilen elektrik ark ocağı (EAF) cürufu atığının geleneksel toz sıkıştırma yöntemi ile seramik-çiniye dönüştürülmesine çalışılmıştır. Araştırma çalışması iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşama, EAF cürufunun (ağırlıkça %40, ağırlıkça %50 ve ağırlıkça %60) ve bilye kilinin (ağırlıkça %40, ağırlıkça %50) ağırlık yüzdesini değiştirerek seramik-çinideki EAF cürufunun uygunluğunu değerlendirmektir. İkinci aşamada, EAF cürufunun ağırlık yüzdesi ağırlıkça %40 ve bilye kil (ağırlıkça %30 ve ağırlıkça %40), feldispat (ağırlıkça %10 ve ağırlıkça %20) ve silika yüzdesi olarak sabitlendi. Elde edilen sonuçlar, EAF cürufunun ağırlık yüzdesinin ağırlıkça %60'a kadar arttığını, görünür gözeneklilik ve su emme yüzdesinin de çini eğilme mukavemetinde bir azalma ve artan gözeneklilik ile birlikte arttığını göstermektedir. Öte yandan, EAF cürufunun ağırlık yüzdesinin ağırlıkça %40 ile sınırlandırılması ve bilyeli kilin ağırlık yüzdesinin arttırılması, anortit ve volastonit minerallerinin toplam yüzdesinin daha yüksek olmasına ve dolayısıyla daha yüksek eğilme mukavemetine yol açmıştır. Silika ve feldispatın eklenmesinin, yoğunlaştırma işleminin optimizasyonu nedeniyle eğilme mukavemetini



daha da iyileştirdiği bulunmuştur. EAF cüruf atığı (ağırlıkça %40'a kadar) ile yapılan seramik karoların özellikleri, özellikle eğilme mukavemeti, ticari seramik karolarınkilerle karşılaştırılabilir ve bu nedenle, yüksek eğilme mukavemeti ve ağır hizmet yeşil seramik yer karosu olarak uygundur (Teo, Anasyida, Basu, & Nurulakmal, 2014).

Brezilya'da şeker kamışı endüstrisi büyük miktarlarda şeker kamışı küspesi külü üretir ve önemli bir konu bu katı atık malzemenin uygun kullanımını bulmaktır. Bu çalışmanın amacı, güneydoğu Brezilya'dan bir şeker kamışı küspesi külü örneğinin kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklerini belirlemek ve seramik-çini yer karosu üretiminde kullanımını araştırmaktır. Bu atık malzemenin numunesi kimyasal bileşim, mineralojik analiz, partikül boyutu dağılımı, morfoloji, partikül yoğunluğu ve organik madde açısından analiz edilmiştir. Kısmi kuvarsın ikamesi olarak ağırlıkça %2,5'e kadar şeker kamışı küspe külü atığı içeren yer karosu parçaları tek eksenli presleme ile hazırlanmış ve 1190°C'de sinterlenmiştir. Eğilme mukavemeti, görünür yoğunluk, doğrusal büzülme ve su emme gibi teknolojik özellikler standart prosedürler kullanılarak belirlendi. Deneysel sonuçlar, şeker kamışı küspe külü atığının kuvars partikülleri açısından zengin olduğunu ve seramik-çini yer karosu üretimi için alternatif bir hammadde olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Schettino & Holanda, 2015).

Geleneksel seramik üretiminde  $\text{CaCO}_3$  ile zenginleştirilmiş bazı atıkların, belediye katı atıklarının yakılmasından kaynaklanan küllerin ve diğer mermer kalıntılarının (çamur, artıklar...) geleneksel kil hammaddelerinin ikamesi uzun süredir uygulanmaktadır. Atıkların ikincil hammadde olarak geri dönüştürülmesi nedeniyle maliyetlerde olası tasarruflara yol açtığı kabul edilmektedir. Seramik-çinilerin inşaat kaplaması olarak üretimi, teknolojik ve seramik davranışı göz önünde bulundurularak en uygun kompozisyonlar seçilmiştir. Bu karoların seramik özelliklerini değerlendirmek için doğrusal büzülme, su emme kapasitesi ve eğilme mukavemeti belirlenmiştir. Doğrusal büzülme değerleri ile eklenen kalıntı içeriği arasındaki ilişki tartışılmıştır. Ancak kalıntı yüzdesindeki artış ile su absorpsiyonundaki artış belirgindir. Bu mermer çamurunun eklenmesi, tuğla veya çatı kiremiti üretiminde bazı kalıntılar eklendiğinde olağan olan eğilme mukavemetinde düşük bir azalmaya yol açmıştır. Her halükarda seramik-çini gövdeleri fiziksel ve mekanik özellikler dikkate alınarak endüstriyel seramiklere yakın özellik değerleri göstermektedir (Manuel M Jordán, Montero, Rincón-Mora, Rincón, & Sanfeliu, 2015).

Bu çalışma, seramik karo üretiminde uyumluluğunu ve uygunluğunu sağlamak için elektrik ark fırını (EAF) çelik cüruf atığının özelliklerini karakterize etmeyi ve araştırmayı amaçlamaktadır. Başlangıçta, Southern Steel Berhad, Penang'dan (Malezya'nın en büyük çelik üreticilerinden biri) elde edilen EAF cürufunun parça halindeki tozu ezilerek toz haline getirildi. Cüruf tozu daha sonra ateşleme kaybı, kimyasal bileşim, sızıntı davranışı, faz analizi ve akış düğmesi testi açısından karakterize edildi. EAF cürufunun üstün düşük ateşleme kaybına sahip olduğu bulunmuştur. Kimyasal bileşim açısından cüruf, seramik-çini üretiminde kullanılan tipik hammaddelere (kil, silika ve feldispat) benzeyen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  ve  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  gibi oksitlerden oluşmaktadır. Larnit ve gehlenit gibi  $\text{CaO}$  bazlı kompleks oksitler cüruftaki ana mineral fazlar iken, küçük fazlar olarak wustit ve manyetit bulunmaktadır. Akış düğmesi testinden, EAF cürufunun 1250 °C'de erimeye başladığı gözlemlenmiştir. Süzme testi hem musluk suyu hem de yağmur suyu koşullarında EAF cürufundan sızan ağır metal konsantrasyonlarının, Malezya Çevre Bakanlığı (DOE) tarafından düzenlenen limitin altında olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle cüruf tehlikesiz kabul edilebilir



düzyededir ve seramik-çini üretimi için hammaddelerden biri olarak kullanılması güvenli bulunmuştur (Ter Teo, Seman, Basu, & Sharif, 2016).

Günümüzde, seramik karolar, depurasyon işlemlerinden (tükenmiş kireç, cam çamuru ve cila çamuru) kaynaklanan tüm yan ürünleri ve kalıntıların bir kısmını geri dönüştürmeye izin veren sıfır emisyonla üretilmektedir. Bu çevre dostu eğilime ek olarak, son yıllarda artan sayıda bilimsel çalışma, üçlü kil-feldspat-kuvars sisteminin farklı bileşenlerinin yerine alternatif hammaddelerin kullanılmasının uygulanabilirliğini göstermiştir. Çalışmada, alternatif hammaddeler kullanarak test edilecek seramik gövdeleri formüle etmek amacıyla yazarlar tarafından yürütülen iki vaka çalışması rapor edilmiştir. Killer, akı ve/veya inert bileşiklerin (ağırlıkça %60'tan yüksek) karolardaki ambalaj atık camlarından ve tuğla bileşimlerinde ağırlıkça %20'ye kadar katot ışın tüpü camlarından ve ambalaj atık camından gelen artıklarla değiştirilerek yeni özel bileşimler elde edilmiştir (Andreola, Barbieri, Lancellotti, Leonelli, & Manfredini, 2016).

Çelik endüstrilerinden atık maddeler veya yan ürünler olarak önemli miktarlarda çamur ve cüruf üretilir. Yan ürünlerden biri de CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve FeO gibi oksitlerden oluşan Elektrik Ark Ocağı (EAF) çelik cürufudur. Bu, seramik-çini üretiminde cürufun hammaddelerin kısmen yerini almasını mümkün kılmaktadır. EAF cürufunun seramik karoya dahil edilmesiyle ilgili ön değerlendirmemizde, 1150°C'lik sabit pişirme sıcaklığında, ağırlıkça %40 EAF cürufu- ağırlıkça %60 top kil bileşimindeki seramiğin ticari seramik-çini ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olduğu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, bu mevcut çalışma, test formülasyonunun ve farklı pişirme sıcaklıklarının EAF cüruf katkılı seramik-çini özelliklerine etkilerine odaklanmaktadır. Southern Steel Berhad'dan (SSB) EAF cürufu mikron boyutunda ezildi (EAF cürufu içeriği ağırlıkça %40 idi) ve sıkıştırılmadan önce bilyeli kil, K-feldspat ve silika ile öğütüldü ve 1125°C ve 1150°C'de fırımlandı. EAF cüruf ilaveli karo, su emme, görünür gözeneklilik, kütle yoğunluğu, kopma modülü (MOR) ve X-ışını kırınımı (XRD) yoluyla faz analizi açısından karakterize edildi. Formülasyon en düşük su emme, görünür gözeneklilik ve en yüksek kütleli göstermiştir. Bununla birlikte, aynı seramik-çini bileşimi (10F\_20S), karodaki en yüksek toplam anortit ve volastonit takviye kristal fazlarının (ağırlıkça %78.40) mevcudiyetinin katkısıyla, 1125°C'lik düşük pişirme sıcaklığında en yüksek MOR'a sahiptir. Genel olarak, tüm seramik karoların hem su absorpsiyonu hem de MOR'u, MS ISO 13006:2014 Standardı tarafından düzenlenen gereksinimi aşmıştır (Sharif, Lim, Teo, & Seman, 2017).

Birçok araştırmacı, kalsiyum karbonat ilavesinin ince topraklar üzerindeki önemli etkisini incelemiştir. Kildeki kalsiyum karbonat (kalsit) içeriği ile plastisite indeksi arasında karşılıklı bir ilişki olduğunu kanıtlamışlardır. Bu araştırma, nihai ürünün özelliklerini olumlu yönde etkileyen yapay veya doğal katkı maddeleri ekleyerek mevcut hammaddeleri geliştirerek sektöre destek vermeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle, seramik-çini üretiminde çok önemli bir özellik olarak kabul edilen kilin plastisitesini değiştirmeye odaklanılmaktadır. Kil örnekleri bazı Suriye kil alanlarından seçilmiştir. Kil toprak üzerinde gerekli testleri uyguladıktan sonra Birleşik Toprak Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre sınıflandırılmıştır. Daha sonra referans seramik-çini numuneleri (katkısız) hazırlanmış ve su emme, eğilme mukavemeti ve lineer büzülme testleri gibi teknik testler uygulayarak diğer numunelerle (%5'ten %30'a kadar kalsiyum katkılı) karşılaştırılmıştır. Su emme azalırken eğilme mukavemeti artmıştır. Kalsiyum karbonat katkısı için en iyi yüzde yaklaşık %5'tir, bu da teknik özelliklerin uluslararası standartlarla eşleşmesini sağlamaktadır. Mukavemet, büzülme ve su emme değerlerindeki tüm değişiklikler, kalsit katkılarının yüzde 25'inden sonra sabit hale gelmiştir. Katkı maddelerinin etkinliği,



toprak bileşimi ile hem kimyasal hem de mineralojik olarak ilişkilidir (Murillo, Delvasto, & Gordillo, 2017).

Çalışma, Rusya'nın arjilit hammaddesine genel bir bakış sunmaktadır. Arjilitlerin kimyasal ve mineralojik özelliklerini ve temel özelliklerini açıklamaktadır. Arjilit kimyasının yüksek  $A_2O_3$  içeriği- %17'den 23'e,  $K_2O$ - %2,5'ten 4,3'e ve demir oksitlerin %4'ten 7'ye kadar bazı özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma, klinker ve seramik-çini döşemek için temel gereksinimleri ve üretimlerinin ana eğilimlerini içermektedir. Arjilit indirgeme oranı ve pişirme sıcaklığının numunelerin mukavemeti, emme kapasitesi ve yoğunluğu üzerindeki etkisinin bağımlılığı hakkında bilgi verilmiştir. Birbirleriyle bağlantılı yapılarının ürünün özellikleri üzerindeki etkisi açıklanmaktadır. 0-0.16 – 0-1.25 mm ebat aralığında daha ince arjilit azalması nedeniyle numune mukavemetinin 1.5-2.5 kat arttığı belirtilmektedir. 900 ila 1100 °C aralığında daha yüksek ateşleme sıcaklığı, gücü 2-4 kat artırmaya izin verir. Küçültme oranı ve pişirme sıcaklığının belirli aralıklarında, seramik-çini için gerekli olan %5'ten daha az su emme kapasitesi indeksi, 0 – 0.315 mm boyut küçültme ve 1000 °C ve üzeri pişirme sıcaklığı ile elde edilir. Kaplama klinkeri için gereken %2,5'ten daha az su emme kapasitesi, 0 - 0,315 mm boyut küçültme ve 1050 °C ve üzeri pişirme sıcaklığı ile elde edilir. Arjilitlere dayalı düşük sıcaklıkta sinterleme ile serme klinkeri ve seramik-çini üretim perspektifinin gerekçesi sağlanmıştır (Kotlyar, Lapunova, Lazareva, & Orlova, 2018).

Çin'de bina enerji tüketiminin çok sayıda artması nedeniyle, ısı yalıtım malzemelerinin geliştirilmesine oldukça ihtiyaç duyulmaktadır. Burada, ana hammadde olarak yüksek alümina uçucu kül ve atık cam kullanılarak yeni bir köpük/yoğun çift katmanlı yalıtım seramik üretilmiştir. Genel olarak, maliyeti ve üretim döngüsünü büyük ölçüde azaltan, tek yüklemeli bir presleme ve bir tek sinterleme sürecini içeren iki aşamalı bir hazırlama yöntemi kullanıldı. Proses parametrelerinin, yani sinterleme sıcaklığı ve kimyasal bileşimin, çift katmanlı izolasyon seramik karolarının mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen köpük/yoğun çift katmanlı yalıtım seramik ürünlerini mükemmel makro ve mikro özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, simülasyon sonuçları, iki katmanlı yalıtım seramik hazırlanmasının, endüstriyel atıkların yeni tür bina yalıtım malzemelerine dönüştürülmesi için umut verici bir strateji oluşturduğunu göstermiştir (Wang, Sun, Liu, Ji, & Wang, 2018).

Elektrik ark ocağı (EAF) cürufu, çelik üretim endüstrisindeki en yaygın yan ürünlerden biridir. Bu atığın kullanılmasına yönelik çeşitli çabalara rağmen, EAF cürufunun ticari seramik ürünlere geri dönüştürüldüğüne dair net bir gösterge henüz mevcut değildir ve çoğu EAF cürufunun çöplük yoluyla bertaraf edilmektedir. Bu nedenle, EAF cürufunun ticari seramik ürünlerin üretimine dahil edilmesinin potansiyel faydaları konusunda halkı ikna etmek ve ikna etmek için daha kapsamlı bir değerlendirme gereklidir. Bu araştırma çalışmasında, seramik üretiminde hammadde olarak EAF cürufu kullanılmıştır. EAF cürufu, ıslak karıştırılmadan önce ezildi ve mikron boyutunda toz halinde öğütüldü ve spesifik vücut formülasyonlarına göre bilye kil ile öğütüldü. Bu karışım kurutuldu, sıkıştırıldı ve 1100–1180°C'de ateşlendi. Sonuçlar, ağırlıkça %50 EAF cürufu-ağırlıkça %50 top kil içeren ve 1180°C'de pişirilen gövde formülasyonunun, en düşük su emme (%0,16), en düşük görünür gözeneklilik (%0,48), en yüksek hacim ile en uygun özelliklere sahip seramikler verdiğini göstermiştir. Seramik numuneleri üzerinde bir sızıntı değerlendirmesi yapılmış ve araştırmacılar, karolar 1180°C'de pişirildiğinde sızıntı suyundaki ağır metal konsantrasyonlarının Malezya Çevre Bakanlığı tarafından



düzenlenen güvenlik limiti içinde olduğunu bulmuşlardır (Ter Teo, Anasyida, Kho, & Nurulakmal, 2019).

Farklı bir çalışma, hammadde olarak linyit taban külünün etkin bir şekilde kullanılması için bir seramik-çini preparasyonu sunmaktadır. Karışımlardaki taban külü, ağırlıkça %40-50 aralığında değiştirilmiştir. Öğütülmüş hammaddeler 30 MPa basınçta preslenerek 2 $\text{Å}$ -4 inçlik seramik-çiniler elde edilmiştir. Numuneler kurutulmuş ve yeşil mukavemetlerini gözlemek için kopma modülü açısından test edilmiştir. Daha sonra numuneler 1150-1200 $\text{Å}^\circ\text{C}$ 'de fırınlanmıştır. Sinterlenmiş numuneler, kopma modülü, su absorpsiyonu ve faz bileşimi açısından incelenmiştir. Seramik-çini ürünler su emme ve kopma modülüne göre Tay Endüstriyel Seramik Karo Standartları (TIS 2508-2555) takip edilerek 3 gruba ayrılmıştır. Seramik-çinilerin uygun kuru mukavemeti, ağırlıkça %50 linyit taban külü, ağırlıkça %40 Mae Tan kilinden ve ağırlıkça %10 Lampang kilinden 110 $\text{Å}^\circ\text{C}$ 'de 2.82 MPa elde edilmiştir. Bu formül hem yer seramiği hem de duvar seramiği üretimine uygulanabilmektedir (Jiarawattananon, Wasanapiarnpong, & Mongkolkachit, 2019).

Seramik-çini üretimi, doğal hammaddelerin çıkarılmasında veya yanma aşamalarında gaz emisyonlarında büyük bir çevresel etkiye sahiptir. Endüstriyel katı atıkların seramik malzemelerde kullanılması, katı atığın özelliklerine ve işleme adımlarında seramik malzemelerle etkileşimine göre bu etkilerin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Bu nedenle, bu çalışma, süs kaya atığı içeren bir seramik karo yapmak için gereken malzemeleri karakterize etmeyi ve böylece bu birleştirmenin uygulanabilirliği ile ilgili temel özelliklerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Seramik eserlerin üretiminde kullanılan killerin fiziksel karakterizasyonu, atıklar için ise x-ışını kırınımı, konfokal optik mikroskoptan mikroyapı analizi, prototiplerin sinterlenmesi ve kimyasal analizler ile mineralojik analizleri yapılmıştır. Numuneler, birleştirme canlılığını değerlendirmek için mekanik direnç, su emme, pişme büzülmesi ve gözeneklilik gibi teknolojik testlere tabi tutulmuştur. Sonuçlar, tüm hammaddelerde kuvars parçacıklarının varlığını ve ayrıca çalışma bölgesindeki killerin ağırlıklı olarak kaolinitik olduğunu göstermiştir. Seramik-çiniler üzerine uygulama yapılması için Brezilya standardı teknolojik testlerinde, her iki kilde de %15'lik süs kayası atığının kullanılmasının olumlu sonuçlar ürettiği belirtilmiştir (Luiz et al., 2020).

Püskürtülerek kurutulmuş tozların kullanılması, özellikle porselen seramik-çiniler ve levhalar için seramik üretiminde geniş ölçüde konsolide edilmiştir. Ancak yeni bir mikro granülasyon işlemi su ve enerji tüketimini azaltabilmektedir. Kuru (kuru öğütülmüş tozlar, mikro granülasyon) veya hibrit (ıslak öğütülmüş bulamaç ve kuru öğütülmüş tozlar, mikro granülasyon) olarak yönetilebilen ıslatma-aglomerasyon-kurutma işlemlerine dayanmaktadır. Yeni mikro granüller, özellikle hibrit yol durumunda, bazı üretim koşulları altında spreyle kurutulmuş tozlarınine yaklaşan gelişmiş reolojik performanslar sergilemiştir. Sıkıştırma davranışında farklılıklar devam etmektedir. Bu, püskürtülerek kurutulmuş aglomeraların ve kuru/hibrit mikro granüllerin belirgin mikroyapısı, gözenekliliği ve sertliğinin bir sonucudur (R Soldati et al., 2020).

Seramik endüstrisi, döngüsel bir ekonomik geçişe dahil olmaktadır. Ancak, atık geri dönüşümüne yaygın bir şekilde başvurulmasının önündeki en büyük engel, seramik karo üretimindeki etkisi hakkında bilgi eksikliğidir. Bu çalışmanın arkasındaki mantık, geri dönüşüme sanayici gözüyle bakmaktır. Amaç, endüstriyel bir transfer beklentisiyle seramik-çinilerin teknolojik davranışı, teknik performansı ve çevresel etkisi üzerindeki farklı atık türlerinin etkilerini gözden geçirmektir. Bu çalışmada, atık geri dönüşümünün seramik-çini imalatına aktarılabilmesi için uyması gereken teknik kısıtlamalar detaylı



olarak incelenmiştir. Çeşitli kaynaklardan gelen atıkları içeren seramik-çini gövdelerinin davranışına ilişkin mevcut bilgiler, her üretim aşaması için eleştirel olarak gözden geçirilmiştir. Ana sonuç, fizibilite ve önerilen geri dönüştürülebilir miktar hakkında bir görünümdür. Ayrıca, ölçeği büyütmenin önündeki engeller ve endişe duyulan konular (örneğin, tehlikeli bileşenler ve gazlı emisyonlar) belirtilmiş ve tartışılmıştır. Örnekler ve başarı/başarısızlık nedenleri kısaca gösterilmiş ve seramik-çini üretiminde atık geri dönüşümünün döngüsel ekonomi perspektifinden değerlendirilmesi yapılmıştır (Zanelli, Conte, Molinari, Soldati, & Dondi, 2021).

Standart killerin artıklarla ikame edilmesiyle geleneksel seramik üretiminde MSW'nin yakma işleminden gelen bakır izabe cürufu ve uçucu küller, hammadde olarak geri dönüşüm yan ürünlerinin kullanılması nedeniyle maliyet tasarrufu sağlayabilir ve fırınlama sıcaklıklarını azaltabilir. Bununla birlikte, bu kalıntılar, stabilizasyonu uygun olmadığında hava, toprak ve su kirliliği faktörü olarak kabul edilir. Bu makalenin amacı, seramik tuğla imalatında bu kalıntının eklenmesinin fizibilitesini değerlendirmek ve ayrıca elde edilen seramik gövdelerinde Pb ve As'ın immobilizasyonunu test etmektir. Su emme, doğrusal büzülme ve eğilme mukavemeti sağlanmıştır. Eklenen atık miktarının artmasıyla su absorpsiyonundaki azalma test edilmiştir. Bu atıkların dahil edilmesi, mukavemette bir artışa yol açmıştır. Sonuçlar, kalıntı eklenmeden yapılan seramiklere kıyasla parçaların direncinde bir gelişme ile kilin %40'a kadar bu kalıntılarla değiştirilmesinin uygulanabilirliğini göstermiştir. Süzme testleri, artan ateşleme sıcaklığı ile her iki elementin (As ve Pb) immobilizasyonunun arttığını göstermektedir (Manuel Miguel Jordán, Montero, & Pardo-Fabregat, 2021).

Seramik endüstrisindeki mevcut eğilimler, büyük seramik karolar ve plakalar üretmenin mümkün olduğu porselen taş eşyalara artan bir ilgiyi ortaya koymaktadır. Bu ürünler, mükemmel teknolojik özelliklere sahiptir, ancak yüksek enerji ve su tüketimi gerektiren spreyle kurutulmuş tozlardan üretilmektedir. Kuru işlenmiş granüller, bu tür bir tüketimin azaltılmasına izin vermektedir. Seramik yapımının çevresel sürdürülebilirliğini iyileştirmeye yönelik bir çözüm, ıslak ve kuru yollarla hazırlanan tozları karıştırmaktır. Avantajlara ve olası tuzaklara işaret etmek için endüstriyel olarak üretilen karışık tozların teknolojik özellikleri (reolojik özellikler, sıkıştırma tepkisi ve ateşleme davranışı) araştırılmıştır. Kuru işlenmiş ve püskürtülerek kurutulmuş granüller, farklı reolojik ve sıkıştırma davranışlarına yansıyan farklı boyut, şekil ve nem dağılımları sergiler. Karışık tozlar, son terimler arasında doğrusallıktan az çok belirgin bir sapma gösterir. Bu gerçek, teknolojik özellikleri mevcut endüstriyel kuruluşlara yakın tutarak ~%50'ye kadar kuru granül eklemeyi mümkün kılmaktadır. Öğütme ve granülasyon aşamaları için su, enerji ve CO<sub>2</sub> emisyonu tasarrufu, %50 püskürtmeyle kurutulmuş ve %50 kuru işlenmiş toz karışımı için tahmin edilmektedir (Roberto Soldati et al., 2022).

Farklı bir çalışmada, seramik üretiminde uygulanan opaklaştırıcı (beyazlatıcı) malzemeler zirkon kumu ve alüminanın kullanımını değerlendirmekte ve karşılaştırmaktadır. Bu çalışma, bağımsız bir kritik inceleme paneli tarafından desteklenmektedir ve endüstriden gelen birincil verileri kullanarak zirkon ve alümina arasında Avrupa'yı temsil eden ilk LCA karşılaştırmasını sunmaktadır. Süper beyaz (CIELab koordinatı L\* > 85 olan) seramik, opaklaştırıcı olarak zirkon veya alümina kullanılarak farklı karışımlarla üretilebilir. Zirkon verileri için, daha önce ISO tarafından gözden geçirilmiş bir LCA ve bununla ilgili kâğıt kullanılmıştır. Bu veriler Zirkon Sanayicileri Derneği üyelerinden gelmektedir. Alümina için, Avrupa Alüminyum tarafından geliştirilen alümina ve boksitin eko profili kullanılmıştır ve "Avrupa Alüminyum Endüstrisi için Çevresel Profil Raporu"nda mevcuttur. Öğütme aşaması



verileri belirli üreticilerden toplanmış ve seramik karışımı hazırlama verileri daha geniş sanayi kuruluşlarından elde edilmiştir. İncelenen alümina karışımları, yaklaşık %20 daha yüksek Küresel Isınma Potansiyeli, Ötrofikasyon Potansiyeli, Asitleşme Potansiyeli, Fotokimyasal Ozon Oluşturma Potansiyeli, Abiyotik Tüketim Elemanı ve Fosil Potansiyeli ve Birincil Enerji göstermektedir. Ozon Tüketim Potansiyeli, zirkon karışımları ve alümina karışımları için benzer olan tek potansiyel etkidir. Çalışmanın sonuçları, zirkon ve alümina karışımları arasındaki temel farklılıkların, bölgesel şebeke elektrik üretiminin çevresel performansı ile yakından bağlantılı olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile seramik üreticilerine rasyonel, bilimsel ve hakemli bir metodoloji kullanılarak opaklaştırıcı malzeme seçiminde seçimlerine rehberlik edecek bir araç verilerek, iki malzeme arasında objektif karşılaştırma sağlanmaktadır (Morfino, Gediga, Harlow, & Mazzanti, 2022).

#### 4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

Gelişmiş malzemelerin, herhangi bir endüstrinin büyümesi, refahı ve sürdürülebilir kârlılığı için çok önemli olduğu kabul edilmektedir. ABD'deki Ulusal Araştırma Konseyi, gelecekteki teknoloji stratejilerinde malzemelerin rolünü incelemek için 1987'de yedi milyon kişiyi istihdam eden ve 1,4 trilyon ABD doları satış yapan sekiz büyük ABD endüstrisini araştırmıştır. Sonuçlar yüksek sıcaklıklara dayanabilen daha hafif, daha güçlü, daha korozyona dayanıklı malzemeler için genel bir ihtiyaç olduğunu göstermektedir. (Richlen, 1990). Seramik malzemeler bu gereksinimleri karşılamak için önde gelen ürünler arasında yer almaktadır (Liang & Dutta, 2001).

Son yıllarda bilim adamları, politika yapımcılar ve şirketler arasında ileri veya yüksek teknoloji seramik malzemelere büyük ilgi gösterilmiştir. Üst düzey uygulamalara yönelik ihtiyacı karşılayabilecek olağanüstü özelliklere sahip seramik malzeme çeşitleri ortaya çıkmıştır. Gelişmiş seramik malzemeler şunları içerir: oksitler, karbürler, nitrürler, borürler, silikatlar ve cam seramikler ve kompozit malzemeler-polimer matrisi, metal matrisi, seramik matrisi ve karbon-karbon malzemeleri. En yaygın olarak kullanılanlar alümina, zirkonya, silisyum karbür, silisyum nitrür, sialon, ferritler ve titanatlardır. Birçok uygulamada geleneksel parçalar için seramik bileşenlerin ikamesi, önemli üretkenlik iyileştirmeleri ve yüksek performans ile sonuçlanmaktadır.

Seramik hammaddelerinin birleşimde aşağıdaki rolleri oynadığı dikkate alınmalıdır.

- Plastisite sağlayıcı: Sabit bir kayma oluşturmaya yardımcı olur, presleme sırasında düzgün bir sıkıştırma sağlar ve pişmemiş seramiklere mekanik mukavemet kazandırır.
- Flux: yüksek sıcaklıkta sıvı faz oluşturur, viskoz akışla ürünün yoğunlaşmasını sağlar ve camsı faz gömme dolgu maddesine yol açar.
- Dolgu: Kuruma ve fırınlama sırasında karo rötresini kontrol etmeye yardımcı olan iskelet görevi görür, yüksek sıcaklıkta ürün viskozitesini artırarak piroplastik deformasyonları önler.
- Katkı maddeleri: Küçük miktarlarda eklenseler bile, teknolojik davranışın (örneğin, kayma reolojisi, yeşil yoğunluk, kuru eğilme mukavemeti, pişirme kinetiği, piroplastisite, pişirme sonrası renk) tekil sorunlarını modüle edebilir.

#### Sonuç

Çalışmada seramik-çini üretiminde kullanılan teknolojik ve yaklaşımlar literatür taranarak sunulmuştur. Bu yazıda, seramik teknolojisinin evrimi vurgulanmak için Türkiye ve dünya üzerindeki çalışmalar analiz edilmiştir. Bu bağlamda gelişmiş malzeme



bilimi ve mühendislik uygulamalarının, imalat endüstrilerinde artan bir ilgi gördüğü söylenebilir. Gelişmiş seramikler ve işlemler, üstün özellikleri nedeniyle birçok alanda geleneksel işlemlerin ve hammaddelerin yerini almıştır. Özetle, bu yazıda yeni, şimdiye kadar keşfedilmemiş seramik-çini işlevlerine dayalı olarak, seramik-çini yapımındaki çeşitli olasılıklardan birkaçı vurgulanmıştır. Ancak literatür daha fazla takip edilirse çok daha fazlası beklenebilir. Bu çalışmalar, seramik-çini üreticilerinden şartname yazarlarına, mimarlara ve iç tasarımcılara kadar bu yeni uygulamaların oluşturulmasında ve kullanılmasında, bu ürünlerin sağladığı tüm potansiyellerden tam olarak yararlanmak için yakın işbirliğini gerektirmektedir/gerektirecektir.

### REFERENCES

- Acartürk, B. (2012). Toprağın binlerce yıllık macerası. *Acta Turcica Çevrimiçi Tematik Türkoloji Dergisi*, 4(1), 1-17.
- Andreola, F., Barbieri, L., Lancellotti, I., Leonelli, C., & Manfredini, T. (2016). Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and glass case studies. *Ceramics International*, 42(12), 13333-13338.
- Arianpour, A. Ç., & Arianpour, F. (2022). Characterization, technological properties, and ceramic applications of Kastamonu alluvial clays (Northern Turkey) in building materials. *Construction and Building Materials*, 356, 129304.
- Aydın, T. (2021). The effects of cement raw mix waste dust on thermal properties of ceramic wall tile bodies. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(3), 1189-1200.
- Aydın, T., Tarhan, M., & Tarhan, B. (2019). Addition of cement kiln dust in ceramic wall tile bodies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136(2), 527-533.
- Bayer Ozturk, Z., Yıldız, B., & Kara, A. (2020). Effects of alumina and white fused alumina addition on technological properties of transparent floor tile glazes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 142(3), 1215-1221.
- Bayer Öztürk, Z., & Dal, S. (2022). Characterization of industrial ceramic glazes containing chromite processing waste: Experimental factorial design effects on color parameters. *Materials Chemistry and Physics*, 282, 125928.
- Berto, A. M. (2007). Ceramic tiles: Above and beyond traditional applications. *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 1607-1613.
- Bey, G., & Pool, C. (1992). *Ceramic Production and Distribution*: Westview Press, Boulder, CO.
- Burst, J. F. (1991). The application of clay minerals in ceramics. *Applied Clay Science*, 5(5-6), 421-443.
- Celik, H. (2015). Recycling of boron waste to develop ceramic wall tile in Turkey. *Transactions of The Indian Ceramic Society*, 74(2), 108-116.
- Cicek, B., Karadagli, E., & Duman, F. (2018). Valorisation of boron mining wastes in the production of wall and floor tiles. *Construction and Building Materials*, 179, 232-244.
- Dondi, M., Raimondo, M., & Zanelli, C. (2014). Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. *Applied Clay Science*, 96, 91-109.





- Durgut, E., Pala, C., Kayacı, K., Altıntaş, A., Yıldırım, Y., & Ergin, H. (2015). Development of a semi-wet process for ceramic wall tile granule production. *Journal of ceramic processing research*, 16(5).
- Ediz, N., Tatar, I., & Aydın, A. (2017). The use of alunitic kaolin in ceramic tile production. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53(2), 271-281.
- Ergin, H., Kiliç, M., Durgut, E., Kayacı, K., Altıntaş, A., & Yıldırım, Y. (2014). *Development of a semi-wet process for ceramic floor tile granule production*. Paper presented at the Advances in Science and Technology.
- Jiarawattananon, M., Wasanapiarnpong, T., & Mongkolkachit, C. (2019). Utilization of lignite ash as raw materials for ceramic tile. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 29(4).
- Jordán, M. M., Montero, M. A., & Pardo-Fabregat, F. (2021). Technological behaviour and leaching tests in ceramic tile bodies obtained by recycling of copper slag and MSW fly ash wastes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(2), 707-716.
- Jordán, M. M., Montero, M. A., Rincón-Mora, B., Rincón, J. M., & Sanfeliu, T. (2015). Rustic ceramic covering tiles obtained by recycling of marble residues and msw fly ash. *Fresenius Envir. Bulletin*, 24(2), 533-538.
- Karadagli, E., & Cicek, B. (2020). Boron mining and enrichment waste: A promising raw material for porcelain tile production. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17(2), 563-572.
- Karakuş, N., & Demirkıran, A. Ş. (2014). *Microstructural Properties of Ceramics Produced from Granite and Zeolite*. Paper presented at the International Multidisciplinary Microscopy Congress.
- Kizilkaya, N., Onal, M., Depci, T., & Yucel, A. (2016). *Usability of Malatya pyrophyllite in the traditional ceramic industry*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Kotlyar, A., Lapunova, K., Lazareva, Y., & Orlova, M. (2018). *Effect of Argillites Reduction Ratio on Ceramic Tile and Paving Clinker of Low-Temperature Sintering*. Paper presented at the Materials Science Forum.
- Kuşcu, M., & Yıldız, A. (2016). The mineralogy, geochemistry, and suitability for ceramic applications of Akharım (Afyonkarahisar, W Turkey) kaolinitic clay. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(7), 1-17.
- Liang, Y., & Dutta, S. P. (2001). Application trend in advanced ceramic technologies. *Technovation*, 21(1), 61-65.
- Luiz, N., Cecchin, D., Azevedo, A., Alexandre, J., Marvila, M., Silva, F., . . . Ferraz, P. (2020). Characterization of materials used in the manufacture of ceramic tile with incorporation of ornamental rock waste.
- Michalak, J. (2021). Ceramic tile adhesives from the producer's perspective: a literature review. *Ceramics*, 4(3), 378-390.
- Morfino, A., Gediga, J., Harlow, K., & Mazzanti, B. (2022). Life cycle assessment comparison between zircon and alumina sand applied to ceramic tiles. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100359.
- Murillo, L. M., Delvasto, S., & Gordillo, M. (2017). A study of a hybrid binder based on alkali-activated ceramic tile wastes and portland cement. In *Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites* (pp. 291-311): Elsevier.



- Odabaşı, H. K., Anıl, Ü. E., Odabaşı, A., & Kocabıyık, B. K. (2018). Effect of barium carbonate addition on the properties of porcelain ceramic tile. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 41-48.
- Okumuş, H. (2017). Geçmişte ve günümüzde seramiğin kullanım alanları. *Journal Of Awareness*, 2(3), 1-14.
- Ozturk, Z. B. (2017). Effect of addition of Avanos's (Nevsehir) clays on the physical and microstructure properties of ceramic tile. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53(1), 101-107.
- Öztürk, Ç., Akpınar, S., & Tarhan, M. (2021). Investigation of the usability of Silile stone as additive in floor tiles. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 57(2), 567-577.
- Paulin, H. S. (1964). *Ceramic Manufacturing Industry: Implications for Industrial Arts Curriculum Development*: The Ohio State University.
- Richerson, D. W. (2012). *The magic of ceramics*: John Wiley & Sons.
- Richerson, D. W., & Lee, W. E. (2018). *Modern ceramic engineering: properties, processing, and use in design*: CRC press.
- Sanz, V., Reig, Y., Feliu, C., Bautista, Y., Ribes, C., & Edwards, M. (2012). Technical evolution of ceramic tile printing. *Journal of Imaging Science and Technology*, 56(5), 50402-50401-50402-50407.
- Schettino, M. A. S., & Holanda, J. N. F. (2015). Characterization of sugarcane bagasse ash waste for its use in ceramic floor tile. *Procedia Materials Science*, 8, 190-196.
- Sharif, N. M., Lim, C. Y., Teo, P. T., & Seman, A. A. (2017). *Effects of body formulation and firing temperature to properties of ceramic tile incorporated with electric arc furnace (EAF) slag waste*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Soldati, R., Zanelli, C., Cavani, G., Battaglioli, L., Guarini, G., & Dondi, M. (2022). Improving the sustainability of ceramic tile-making by mixing spray-dried and dry-granulated powders. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 61(4), 325-335.
- Soldati, R., Zanelli, C., Cavani, G., Battaglioli, L., Guarini, G., Melandri, C., . . . Dondi, M. (2020). Powder rheology and compaction behavior of novel microgranulates for ceramic tiles. *Powder Technology*, 374, 111-120.
- Somiya, S. (2013). *Handbook of advanced ceramics: materials, applications, processing, and properties*: Academic press.
- Teo, P.-T., Anasyida, A. S., Basu, P., & Nurulakmal, M. S. (2014). Recycling of Malaysia's electric arc furnace (EAF) slag waste into heavy-duty green ceramic tile. *Waste Management*, 34(12), 2697-2708.
- Ter Teo, P., Anasyida, A. S., Kho, C. M., & Nurulakmal, M. S. (2019). Recycling of Malaysia's EAF steel slag waste as novel fluxing agent in green ceramic tile production: Sintering mechanism and leaching assessment. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118144.
- Ter Teo, P., Seman, A. A., Basu, P., & Sharif, N. M. (2016). Characterization of EAF steel slag waste: The potential green resource for ceramic Tile production. *Procedia Chemistry*, 19, 842-846.



- Wang, H., Sun, Y., Liu, L., Ji, R., & Wang, X. (2018). Integrated utilization of fly ash and waste glass for synthesis of foam/dense bi-layered insulation ceramic tile. *Energy and Buildings*, 168, 67-75.
- Zanelli, C., Conte, S., Molinari, C., Soldati, R., & Dondi, M. (2021). Waste recycling in ceramic tiles: A technological outlook. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105289.
- Zhang, R.-Z., & Reece, M. J. (2019). Review of high entropy ceramics: design, synthesis, structure and properties. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(39), 22148-22162.