Adıyaman University
Journal of Engineering Sciences
Adyü J Eng Sci 2026;13:e260112
Adıyaman Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
Adyü Müh Bil Derg 2026; 13:e260112
https://doi.org/10.54365/adyumbd.1796522

Research Article / Araştırma Makalesi

# Tütün Bitkisi Atığı Küllerinin Artistik Seramik Sırlarında Hammadde Olarak Kullanım Potansiyelinin Araştırılması

## Investigation of the Potential Use of Tobacco Plant Waste Ash as an Raw Material in Artistic Ceramic Glazes

**Öznur Yıldırım[1] *, Nihal Turan Gül [1]**

[1] Adıyaman Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Adıyaman, Türkiye

**Öz**

Bu çalışma, tarımsal üretim sonucu ortaya çıkan tütün bitkisi atıklarının seramik sır yapımında alternatif bir hammadde olarak değerlendirilmesine yönelik deneysel bir araştırmadır. Tütün külü, içerdiği alkali ve toprak alkali oksitler sayesinde seramik sırlarında akışkanlaştırıcı ve ergitici bileşen olarak kullanılabilir. Araştırmada, standart saydam sır reçetesine belirli oranlarda tütün külü eklenmiş ve 1160 °C'de pişirilen numuneler renk değişimleri, yüzey morfolojileri ve estetik özellikler açısından incelenmiştir. Bulgular, tütün külü katkısının yüzey parlaklığı, renk çeşitliliği ve dokusal nitelikler bakımından sırların görsel kalitesini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, artistik sır oluşumlarında olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, atık bazlı hammaddelerin sır bileşiklerinde farklı oranlarda kullanılmasıyla estetik çeşitliliğin genişleyebileceğini ortaya koymaktadır. Araştırma, doğal kaynakların korunmasına katkı sunarak seramik endüstrisinde sürdürülebilir malzeme kullanımına yenilikçi bir yaklaşım geliştirmektedir. Bununla birlikte, çalışma yalnızca laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilmiş olup endüstriyel uygulamalara yönelik daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

***Anahtar Kelimeler:*** *Seramik, Bünye, Sır, Tütün külü, Sürdürülebilir malzeme*

**Abstract**

This study presents an experimental investigation into the reuse of tobacco plant residues generated from agricultural production as an alternative raw material in the making ceramic glazes. Due to its high content of alkali and alkaline earth oxides, tobacco ash can function as a fluxing and melting agent in ceramic glazes. In this research, varying proportions of tobacco ash were incorporated into a standard transparent glaze formulation, and samples fired at 1160 °C were analyzed in terms of color changes, surface morphology, and aesthetic qualities. The findings reveal that tobacco ash additions significantly enhanced glaze brightness, color variety, and textural features, while also yielding favorable results in artistic glaze development. These outcomes demonstrate that applying waste-derived materials at different ratios can expand aesthetic diversity in ceramics. Moreover, the study highlights the potential of utilizing waste-based raw materials to conserve natural resources and contribute to sustainable material practices. However, the experiments were limited to laboratory scale, and further studies are needed for industrial-level applications.

***Keywords:*** *Ceramic, Body, Glaze, Tobacco ash, Sustainable material*

* Sorumlu yazar e-posta (Corresponding e-mail): oznuraks@gmail.com
**Geliş Tarihi (Received):**03.10.2025, **Kabul Tarihi (Accepted):** 04.03.2026

## 1. Giriş

Günümüzde seramik endüstrisinde sürdürülebilirlik, çevresel etkilerin azaltılması ve alternatif hammadde arayışları önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu bağlamda, tarımsal üretim süreçlerinden kaynaklanan atıkların yeniden değerlendirilmesi hem çevresel yükün azaltılması hem de ekonomik açıdan avantaj sağlaması nedeniyle dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, uygun şekilde yönetilmeyen tarımsal atıkların insan sağlığı ve çevre için risk oluşturabileceği; geri dönüşüm ve yeniden kullanım yöntemleriyle sınırlı doğal kaynakların daha etkin biçimde değerlendirilebileceği vurgulanmaktadır [1].

Tarımsal atıkların seramik sırlarında kullanımına yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Literatürde pirinç kabuğu [2], zeytinyağı endüstrisi posası [3], muz kabuğu [4], patates kabuğu [5], patlıcan dalı atığı [6], durian meyvesi [7], fasulye bitkisi atığı [8], gül posası [9], fındıkkabuğu [10], kayısı kabuğu [11], kestane kabuğu [12], malt bitkisi [13], kahve posası [14], şeker küspesi [15], şerbetçi otu [16] ve zeytin çekirdeği [17] küllerinin seramik sırlarında değerlendirilmesine yönelik araştırmalar yer almaktadır. Buna karşın, tütün bitkisi atığı külü üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut literatürde tütün külü daha çok çimento benzeri yüksek karbon ($CO_2$) emisyonu yaratan malzemelere alternatif olarak incelenmiş [18], ancak seramik sır bileşiminde kullanımına ilişkin herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tütün bitkisi, Türkiye'de tarihsel olarak önemli bir üretim alanına sahip olup, özellikle Adıyaman ili coğrafi işaretli Çelikhan tütünü ile öne çıkmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde en yüksek üretim payına sahip olan tütünün [19] üretim potansiyeli ve ortaya çıkabilecek atık miktarı göz önünde bulundurulduğunda, bu malzemenin seramik sırlarında değerlendirilmesi sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sağlayabilir. Tütün üretiminde yalnızca ticari değere sahip yapraklar değerlendirilmekte; hasat ve işleme süreçleri sonucunda sap, dal, ana gövde ve kullanılmayan yaprak kısımlarından oluşan önemli miktarda bitkisel atık ortaya çıkmaktadır. Tarımsal ürünlerde yaygın olarak kabul edilen uygulamalara göre, bitkinin yalnızca belirli bir kısmının nihai ürün olarak kullanılması, geriye kalan biyokütlenin atık potansiyeli oluşturmasına neden olmaktadır. Bu üretim hacmi dikkate alındığında, Türkiye'de her yıl ortaya çıkan tütün bitkisi atıklarının miktarının dikkate değer bir seviyede olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada, literatürde ilk kez tütün bitkisi atığı külünün seramik sır bileşiminde kullanımına odaklanılmıştır. Araştırmanın temel amacı, hem bölgesel bir tarımsal atığın değerlendirilmesi hem de seramik endüstrisi için alternatif ve sürdürülebilir hammadde kaynaklarının geliştirilmesine katkı sunmaktır. Bu doğrultuda, farklı oranlarda kül katkısı ile hazırlanan sır reçeteleri şamotlu ve döküm çamuru esaslı bünyelerde uygulanmış ve 1160 °C'de pişirilmiştir. Ayrıca, standart saydam sır reçetesine katkı olarak ve sodyum feldispat ($NaAlSi_3O_8$), potasyum feldispat ($KAlSi_3O_8$) ve üleksit ($Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$) gibi ergiticilerle birlikte kullanılarak yeni sır formülasyonları geliştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmanın deneysel bölümü, tütün atığı külünün sanat alanında kullanılan seramik sır bileşimleri içindeki kullanım potansiyelini belirlemeyi amaçlamaktadır. Öncelikle, yerel bir kaynak olan tütün atığının toplanması, yakılması ve hazırlanması işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Ardından, elde edilen tütün atığı külünün kimyasal ve fiziksel özellikleri, uygun analitik yöntemlerle belirlenmiş ve bu analizler, atık malzemenin seramik sır içerisindeki aktivitesini değerlendirmek için kullanılmıştır. Tütün bitkisi atığı ve külü Adıyaman Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde iki aşamalı analiz sürecine tabi tutulmuştur. Hazırlanan numunelerin mekanik ve durabilite testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, mevcut literatürdeki verilerle karşılaştırılarak malzemenin karakteristik özellikleri belirlenmiştir.

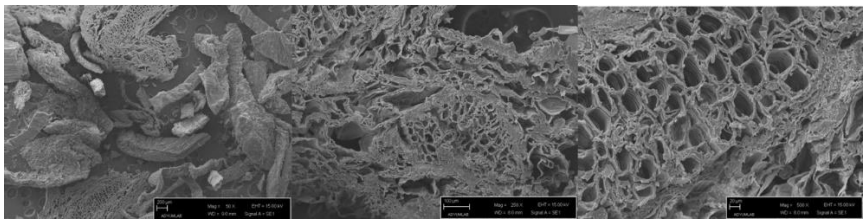
Çalışma kapsamında hazırlanan tüm reçeteler ve bünyeler, sistematik bir sınıflandırma ile kodlanmıştır. Saydam sır bileşimleri T harfi ile kodlanmış; kül katkısı oranları T1 (%0), T2 (%5), T3 (%10), … olacak

şekilde artan değerlerle numaralandırılmıştır. Üleksit katkılı sır reçeteleri UT harfi, potasyum feldispat katkılı reçeteler PT ve sodyum feldispat katkılı reçeteler ST harfi ile belirtilmiştir. Bu sistematik kodlama, deneysel uygulamaların düzenli bir şekilde sunulmasına ve elde edilen bulguların karşılaştırmalı olarak kolayca değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.



**Şekil 1.** Tütün bitkisi atığının kuru, ilk yakma ve kalsinasyon aşamaları (960 °C). (Kaynak: Araştırmacı arşivi)

Tütün bitkisi atığı küllerinin morfolojik yapısını detaylı şekilde incelemek amacıyla gerçekleştirilen SEM analizleri hem malzeme bilimi hem de estetik açıdan önemli bulgular sunmaktadır. Analiz edilen ham malzemenin (Şekil 2) belirgin lifli, hücresel ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu lifli morfoloji, tütün bitkisinin yüksek orandaki organik ve selülozik içeriğini yansıtmaktadır. Bu ön gözlem, piroliz (yakma) süreci sonrasında elde edilecek külün de benzer şekilde düzensiz ve gözenekli bir partikül yapısı sergileyeceğini öngörmüştür. SEM görüntüleri, bilimsel karakterizasyonun yanı sıra, mikro ölçekte gözlemlenen organik dokular, katmanlaşmalar ve rastlantısal geometrik formlar gibi estetik potansiyelleriyle de dikkat çekmektedir. Bu doğal ve rastlantısal yapılar, çağdaş seramik sanatında yeni biçimsel yaklaşımlar ve yüzey tasarımları için ilham kaynağı olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda, tütün külünün bilimsel bir veri üretim süreci, aynı zamanda sanatsal bir keşif sürecine dönüşerek, malzemenin sanatsal kullanımına yeni bir anlam katmanı eklemektedir. Böylece bu analiz, seramik bünyelerde ve sırlarda kullanılacak olan külün fiziksel özelliklerinin anlaşılmasına kritik bir başlangıç noktası sağlamış ve aynı zamanda disiplinler arası bir tasarım anlayışının temelini atmıştır.



**Şekil 2.** Ham tütün bitkisi atığının taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü

Kül tayini işlemi, tütün bitkisi atıklarının kimyasal bileşiminin belirlenmesi için yakma işlemini içermektedir. Yakım işlemi Perkin Elmer NexION 350X ICP-MS cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler, Berghof marka mikrodalga yakma cihazında nitrik asit (%65 $HNO_3$) kullanılarak belirlenen sıcaklık ve basınç parametrelerine göre hazırlanmıştır (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Numune yakma prosedürü

| Adım | Sıcaklık (°C) | Basınç (bar) | Güç (%) | Ramp süresi (dk) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 140 | 40 | 80 | 10 |
| 2 | 160 | 40 | 80 | 5 |
| 3 | 180 | 40 | 80 | 5 |
| 4 | 50 (soğutma) | 0 | 0 | - |

Mikrodalga yakma işlemi sonrasında elde edilen çözeltiler ultra saf su ile 10 ml'ye tamamlanmış ve gerekli seyreltiler yapılmıştır. ICP-MS analizinde cihazın standart performans kontrol prosedürleri uygulanarak gaz akış oranları, RF gücü ve diğer çalışma parametrelerinin doğruluğu test edilmiştir. Bu süreç, numunedeki elementlerin yüksek hassasiyetle ölçülmesini sağlamış ve tütün külünün seramik ve sır

malzemesi olarak kullanım potansiyelini değerlendirmek için gerekli kimyasal verileri sunmuştur (Çizelge 2-3).

**Çizelge 2.** Numune yakma prosedürü

| **Bileşen/Parametre Tür/Değer/Mod** | **Bileşen/Parametre Tür/Değer/Mod** |
|---|---|
| Nebulizer | Mainhard (Concentric) |
| Spray Chamber | Glass Cyclonic |
| Triple Cone Interface | Nickel |
| Plasma Gas Flow | 18.0 L/min |
| Auxiliary Gas Flow | 1.2 L/min |
| Nebulizer Gas Flow | 0.77 L/min |
| Örnek Alım Hızı | 1 mL/min |
| RF Gücü | 1500 W |
| Tekrar Sayısı (Numune Başına) | 3 |
| Çalışma Modu | STD/KED Mode |
| Çarpışma Modu | He gazı kullanılarak yapılmıştır. |

**Çizelge 3.** Tütün Külü Numunesine Ait ICP-MS Analiz Sonuçları

| **Parametre** | **Analiz Metodu/ Kullanılan Cihaz** | **Sonuç /Birim** | **Mass %** |
|---|---|---|---|
| P (Fosfor) | ICP-MS | 9329,555 **ppm** | 0.9330 |
| Ca (Kalsiyum) | ICP-MS | 43175,259 **ppm** | 4.3175 |
| Mg (Magnezyum) | ICP-MS | 30930,737 **ppm** | 3.0931 |
| Na (Sodyum) | ICP-MS | 1325,181 **ppm** | 0.1325 |
| K (Potasyum) | ICP-MS | 170838,996 **ppm** | 17.0839 |
| Fe (Demir) | ICP-MS | 7483,146 **ppm** | 0.7483 |
| Al (Alüminyum) | ICP-MS | 4391,301 **ppm** | 0.4391 |
| Mn (Mangan) | ICP-MS | 387970,115 **ppb** | 0.038797 |
| Zn (Çinko) | ICP-MS | 166824,530 **ppb** | 0.016682 |
| Cu (Bakır) | ICP-MS | 79369,138 **ppb** | 0.0079369 |
| V (Vanadyum) | ICP-MS | 14670,751 **ppb** | 0.0014671 |

## 3. Bulgular ve Tartışma

Tütün külü katkısının seramik sırları üzerindeki etkileri, farklı reçete serileri üzerinden değerlendirilmiştir. Sır denemeleri gerçekleştirilirken yakılan küller yaklaşık 30-40 meshlik kaba elekten geçirilerek, seramik havanda yaklaşık 5-10 dk. manuel öğütme işleminden sonra plakalar üzerine akıtma tekniği ile uygulanmıştır. Akıtma tekniği tüm reçetelerde aynı şekilde uygulanmış olmakla birlikte, reçetelerin litre ağırlığı ve viskozite değerlerindeki farklılıkların sır tabaka kalınlığında sınırlı değişimlere yol açabildiği ve bu durumun, özellikle yüksek ergiticiliğe sahip reçetelerde gözlenen akma ve toplanma davranışlarını ikincil düzeyde etkileyebildiği değerlendirilmektedir**.** Saydam sır bileşimlerinde, tütün külü içermeyen T1 numunesi referans reçete olarak belirlenmiş; T2–T20 serisinde kül oranları kademeli olarak artırılırken, feldispat, kaolin ve kuvars gibi bileşenlerde oransal azaltmalar yapılmıştır. T21 numunesi ise, %100 tütün külünden oluşan bir karşılaştırma bileşimi olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4). Bu düzenlemeler, tütün külünün ICP-MS analiz sonuçlarına göre yüksek oranda içerdiği potasyum ($K_2O$) ve kalsiyum (CaO) bileşenlerinin (Çizelge 3), seramik sır sistemlerinde ergitici rol üstlenerek cam faz oluşumunu teşvik etmesinden kaynaklanmaktadır [20, s. 35]. Nitekim %20–30 arası kül katkısı ile hazırlanan sırlar, alkali ve toprak alkali oksitlerin dengeli ergitici etkisi sayesinde daha parlak ve akışkan yüzeyler oluşturmuştur. Buna karşın %60 ve üzerindeki kül oranlarında, sır bünyesinde aşırı ergitici fazın baskın hale gelmesi, silika–alümina cam ağının zayıflamasına yol açarak cam faz oluşumunu olumsuz etkilemiştir. Bu durum, opaklaşma, kavlama ve yüzey kusurlarının ortaya çıkmasına neden olmuş; böylece sırın yüzeysel ve görsel kalite özellikleri belirgin biçimde düşmüştür (Şekil 3). Bu çalışmada sır

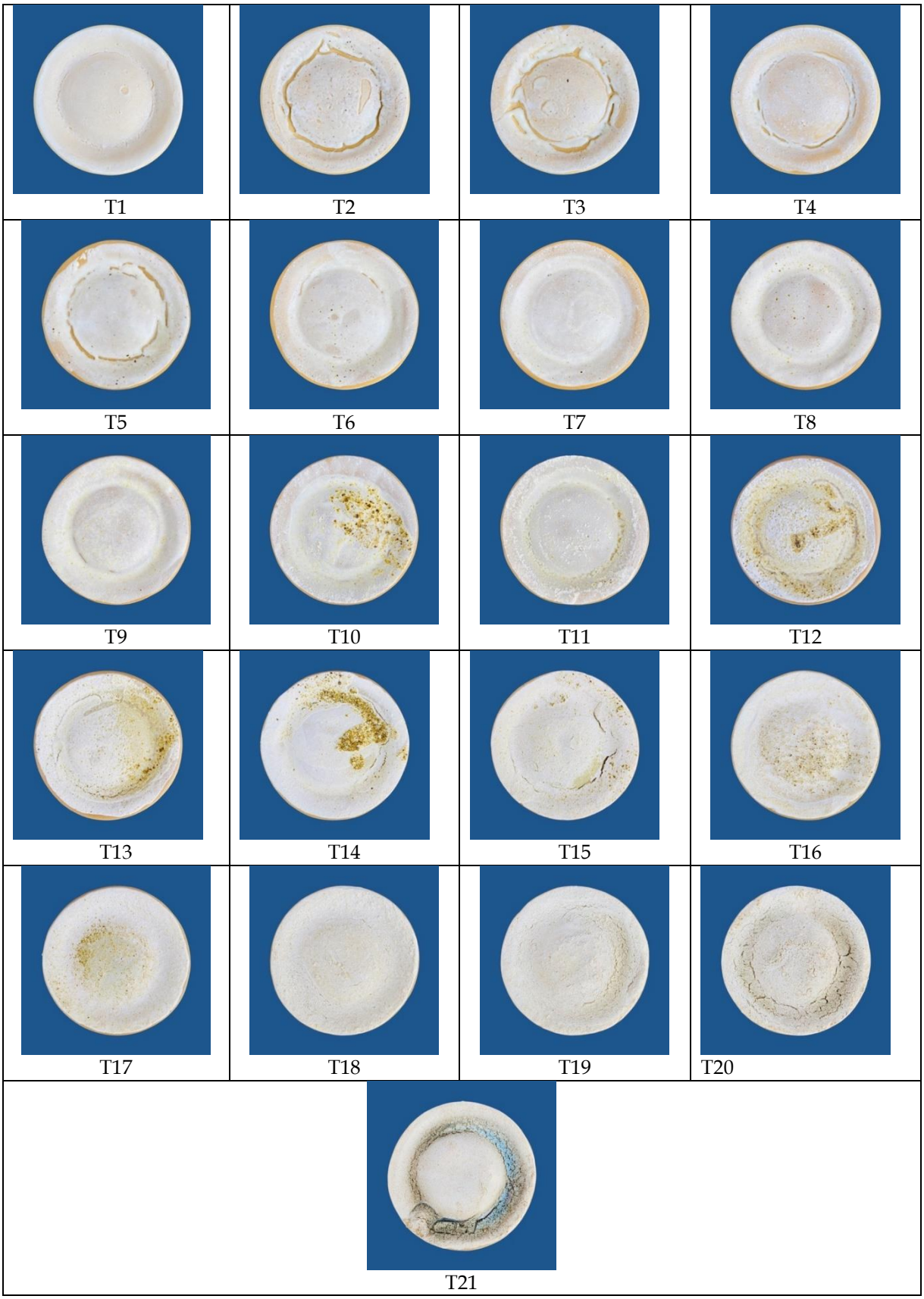
kalitesi kavramı, mekanik dayanımdan ziyade yüzey bütünlüğü, parlaklık, homojenlik ve görsel estetik özellikler üzerinden değerlendirilmiştir.

T10–T17 serilerinde gözlenen sarı benekli yüzey oluşumları, tütün külünün doğal yapısı gereği içerdiği demir esaslı safsızlıkların sır bünyesinde heterojen dağılması ile ilişkilendirilebilir. Fraser [21, s.45], seramik bünyelerde ve sırlarda görülen beneklenmelerin; özellikle demir içeren partiküller, yetersiz eleme ve öğütme, çevresel tozlar ve metal kaynaklı kirliliklerden kaynaklanabileceğini belirtmektedir. Kül gibi rafine edilmemiş hammaddelerde bu tür partiküllerin tam olarak çözünmeden kalması, pişirim sırasında lokal renklenmelere ve benekli yüzey görünümlerine yol açabilmektedir. T21 numunesinde gözlenen mavimsi yüzey etkisi, bu bileşimde yüksek alkali ve toprak alkali oksit içeriğine bağlı olarak cam faz dengesinin bozulması ve bünyede doğal olarak bulunan demir iyonlarının farklı oksidasyon durumlarında görünür hale gelmesiyle ilişkilendirilebilir. Fraser [21], yüksek ergitici içeriğe sahip sistemlerde metal iyonlarının optik etkilerinin belirginleştiğini ve bunun istenmeyen renklenmelere yol açabileceğini belirtmektedir.

**Çizelge 4.** Tütün Kül Oranı %0–100 Arasında Artan, Sabit Bileşen Oranlarına Göre Ayarlanmış Saydam Sır Reçetesi (Toplam %100 Ağırlık Esasına Göre)

| Reçete No | Kül (%) | Sodyum Feldispat | Potasyum Feldispat | Üleksit | Kuvars | Kaolin |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 0 | 40 | 40 | 6 | 8 | 6 |
| T2 | 5 | 38 | 38 | 5.7 | 7.6 | 5.7 |
| T3 | 10 | 36 | 36 | 5.4 | 7.2 | 5.4 |
| T4 | 15 | 34 | 34 | 5.1 | 6.8 | 5.1 |
| T5 | 20 | 32 | 32 | 4.8 | 6.4 | 4.8 |
| T6 | 25 | 30 | 30 | 4.5 | 6 | 4.5 |
| T7 | 30 | 28 | 28 | 4.2 | 5.6 | 4.2 |
| T8 | 35 | 26 | 26 | 3.9 | 5.2 | 3.9 |
| T9 | 40 | 24 | 24 | 3.6 | 4.8 | 3.6 |
| T10 | 45 | 22 | 22 | 3.3 | 4.4 | 3.3 |
| T11 | 50 | 20 | 20 | 3 | 4 | 3 |
| T12 | 55 | 18 | 18 | 2.7 | 3.6 | 2.7 |
| T13 | 60 | 16 | 16 | 2.4 | 3.2 | 2.4 |
| T14 | 65 | 14 | 14 | 2.1 | 2.8 | 2.1 |
| T15 | 70 | 12 | 12 | 1.8 | 2.4 | 1.8 |
| T16 | 75 | 10 | 10 | 1.5 | 2.0 | 1.5 |
| T17 | 80 | 8 | 8 | 1.2 | 1.6 | 1.2 |
| T18 | 85 | 6 | 6 | 0.9 | 1.2 | 0.9 |
| T19 | 90 | 4 | 4 | 0.6 | 0.8 | 0.6 |
| T20 | 95 | 2 | 2 | 0.3 | 0.4 | 0.3 |
| T21 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

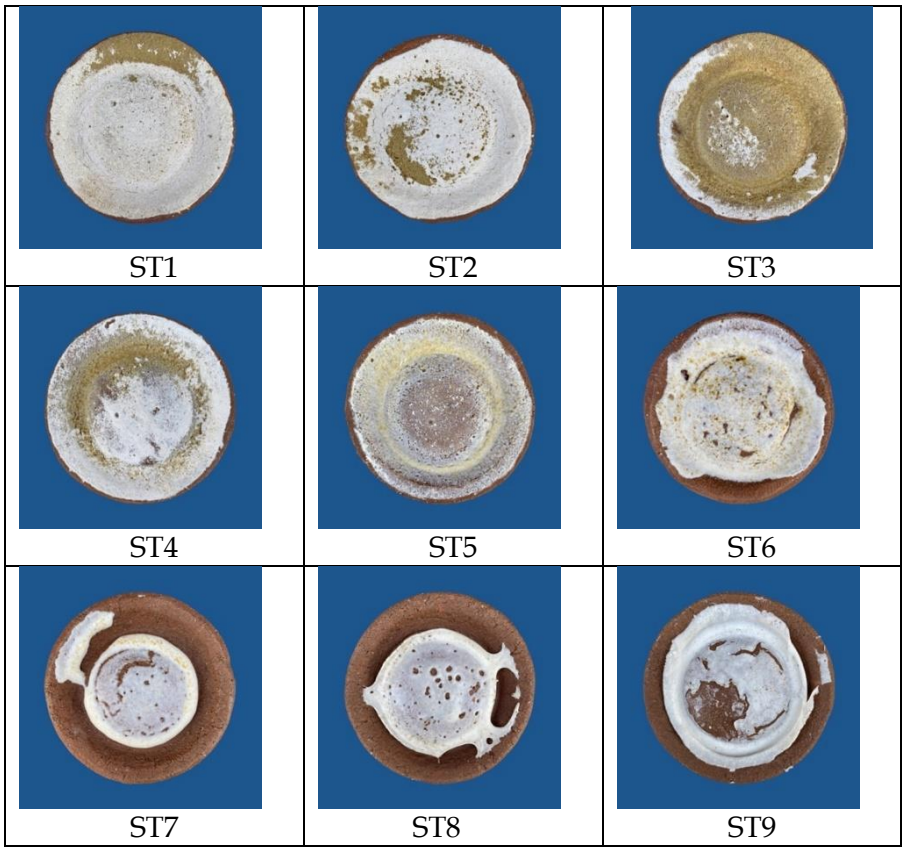
Çizelge 5'te, sodyum feldispat ve tütün külü oranlarının ikili diyagrama göre hazırlanan reçete bileşimleri sunulmaktadır. ST1'den ST9'a doğru ilerledikçe feldispat oranı artarken, tütün külü oranı azalmaktadır. Bu düzenleme, kül ve ergitici feldispatın bünyedeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Reçete bileşenleri, şamot ve döküm bünye plakaları üzerine uygulanmış ve yüzey özellikleri değerlendirilmiştir (Şekil 4 ve Şekil 5). Hem döküm hem de şamot bünyelerdeki ST1 ve ST2 kodlu deneme plakalarındaki sırların gelişmediği gözlemlenmiştir. En iyi sonuçlar, %40–60 tütün külü oranı aralığında yer alan ve döküm bünyeye uygulanan ST4, ST5 ve ST6 kodlu deneme plakalarından elde edilmiştir. Hem şamotlu hem de döküm bünyelerde, kül oranının %30'un altına düştüğü ve buna bağlı olarak feldispat oranının %70'in üzerine çıktığı reçetelerde, artan ergitici etki ve yüzey gerilimlerine bağlı olarak sırın aşırı akışkan hâle gelmesi sonucu yüzeyde belirgin toplanma etkileri gözlenmiştir.




**Şekil 3.** Çizelge 4'te değerleri verilen reçetelerin 1160 °C'de döküm çamuru bünye üzerindeki yüzey görünümleri

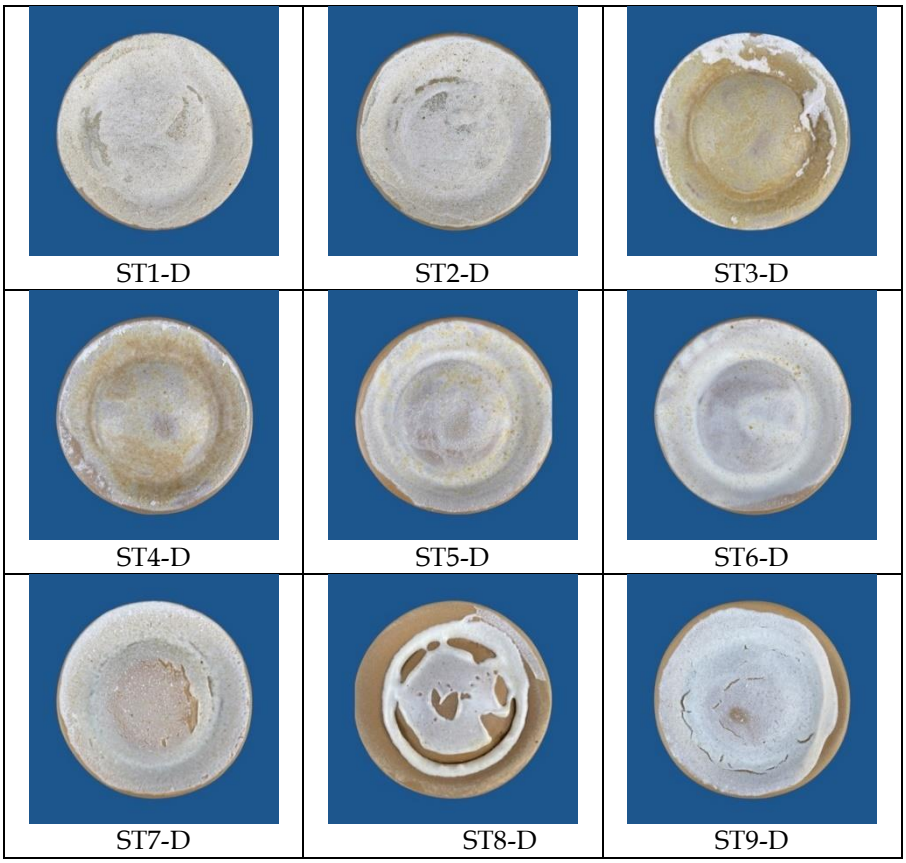
**Çizelge 5.** Sodyum Feldispat ve tütün külü ile oluşturulmuş reçete bileşeni

| **Hammadde %** | **Reçete** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **ST1** | **ST2** | **ST3** | **ST4** | **ST5** | **ST6** | **ST7** | **ST8** | **ST9** |
| Sodyum Feldispat | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Tütün külü | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |




**Şekil 4.** Sodyum Feldispat ve tütün külü ile oluşturtulmuş sır reçetelerinin şamot bünye üzerindeki pişme sonrası yüzey görüntüleri (1160 $^0$C)

Bir önceki reçete grubunda sodyum feldispat ile oluşturulan bileşimlerin ardından, ikinci aşamada potasyum feldispat kullanılarak ikili diyagrama göre yeni reçeteler hazırlanmıştır. Çizelge 6'da potasyum feldispat ve tütün külü oranlarının olduğu ikili diyagram görülmektedir. PT1'den PT9'a doğru ilerledikçe feldispat oranı artarken, tütün külü oranı azalmaktadır. Bu yaklaşım, farklı ergitici türlerinin kül katkısıyla etkileşimini inceleyerek, potasyum feldispatın seramik yüzey üzerindeki etkilerini sodyum feldispat ile karşılaştırmalı biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Şekil 6 ve Şekil 7). PT1, PT2 ve PT3 kodlu numunelerde, tütün külü oranının yüksek, potasyum feldispat oranının ise düşük olması nedeniyle yeterli ergitici faz oluşmamış; dolayısıyla bu numunelerde yüzeyde belirgin bir sır gelişimi gözlenmemiştir. PT4 kodlu numuneden itibaren, feldispat oranının artışına bağlı olarak ergitici etkinin güçlendiği ve yüzeyde camsı bir fazın oluşmaya başladığı görülmüştür. Ancak PT4'ten sonraki numunelerde hem şamotlu hem de döküm bünyelerde yüzeyde toplanma etkileri ortaya çıkmıştır. PT4'ten sonraki numunelerde hem şamotlu hem de döküm bünyelerde yüzeyde toplanma etkileri ortaya çıkmıştır. Literatürde "toplanmalı sırlar" olarak tanımlanan bu durum, özellikle magnezyum ve alüminyum oksit içeren bileşimlerin yüksek yüzey gerilimi sergilemesiyle (örneğin 1140 $^0$C'de 360 dyn/cm ve üzeri) açıklanmaktadır [20, s.111]. Bu etkileşim sonucunda sırın yüzeyde adacıklar şeklinde toplanması, sanatsal seramiklerde estetik bir ifade biçimi olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca bu sırlarda uygulamada sırın kalınlığının da etkisi oldukça fazladır. Bu bağlamda Şekil 6 ve 7'deki örneklerde gözlemlenen bu toplanma etkilerinin, reçete içeriğindeki magnezyum ve alüminyum oksitlerin etkisiyle artan yüzey geriliminin sırın viskozite direncini yenerek yüzeyde karakteristik adacıklar halinde kümelenmesine yol açmasından ve sırın kalın uygulanmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.




**Şekil 5.** Sodyum Feldispat ve tütün külü ile oluşturulmuş sır reçetelerinin döküm bünye üzerindeki pişme sonrası yüzey görüntüleri (1160 $^0$C)

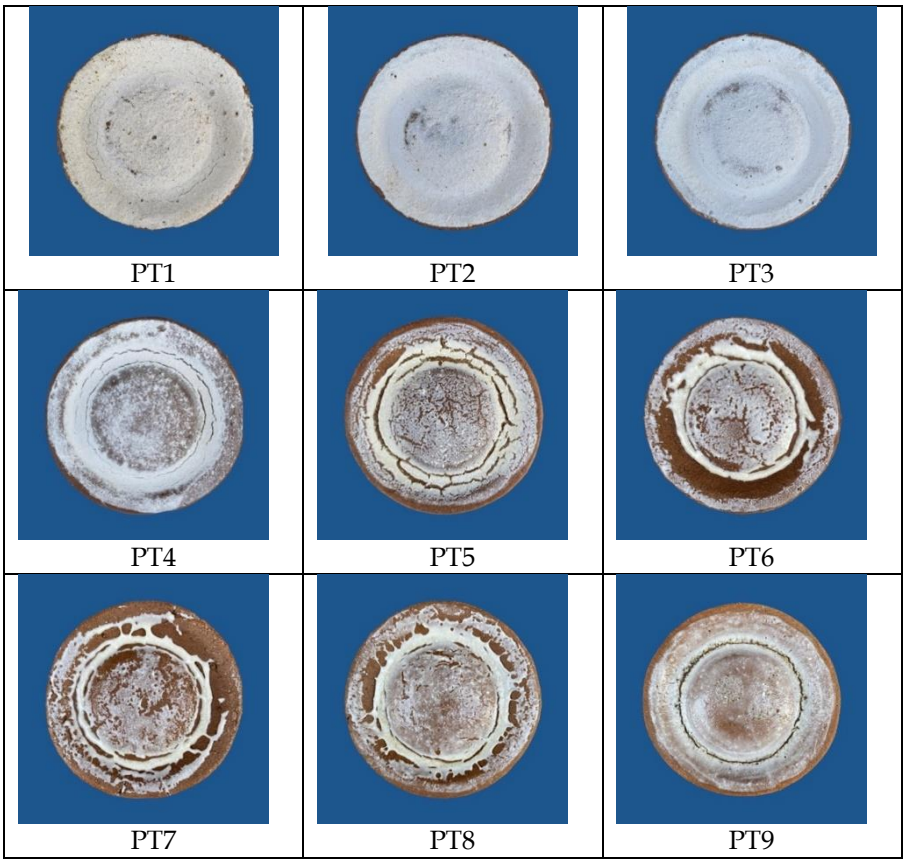
**Çizelge 6.** Potasyum Feldispat ve tütün külü ile oluşturulmuş reçete bileşeni

| **Hammadde** | **Reçete** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **%** | **PT1** | **PT2** | **PT3** | **PT4** | **PT5** | **PT6** | **PT7** | **PT8** | **PT9** |
| Potasyum Feldispat | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Tütün külü | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |

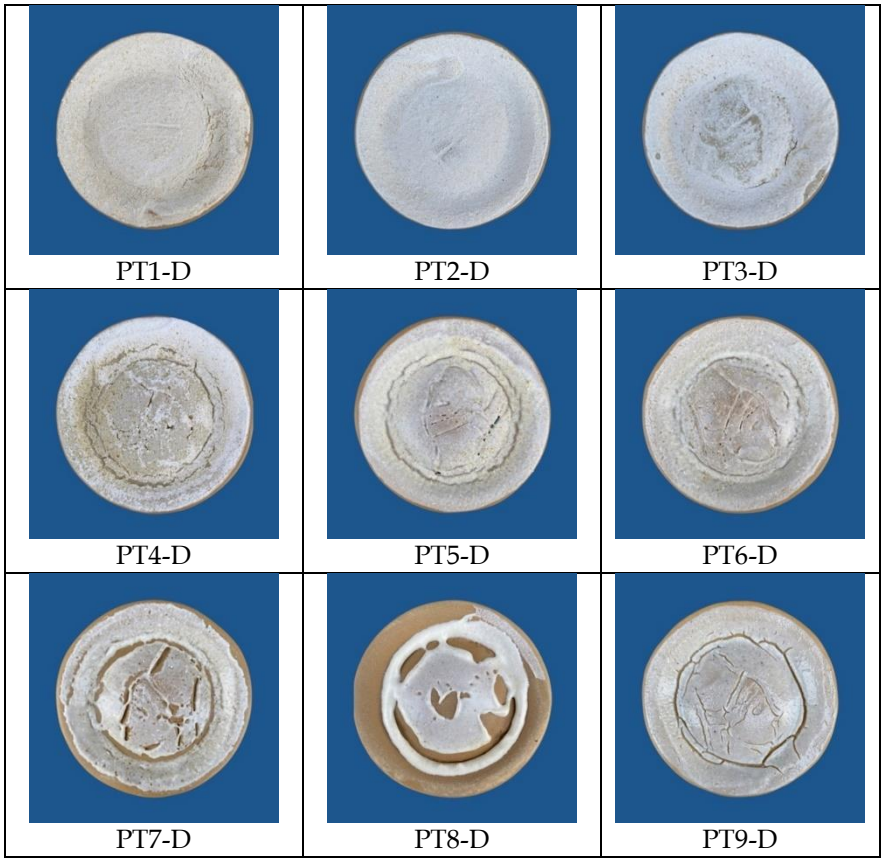
Çizelge 7'de, üleksit ve tütün külü oranlarının verilmiş olduğu ikili diyagram görülmektedir. UT1'den UT9'a doğru ilerledikçe üleksit oranı artarken tütün külü oranı azalmaktadır. Bu reçete bileşimleri, önceki çizelgelerde yer alan feldispat–kül sistemlerine benzer biçimde hazırlanmış ve karşılaştırmalı değerlendirmeler için kullanılmıştır. Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilen üleksit ve tütün külü ile oluşturulmuş sır reçetelerinin yüzey görünümleri, tütün külünün farklı bir endüstriyel ergitici olan üleksit ile olan etkileşimini ortaya koymaktadır. Düşük kül katkı oranına sahip ilk beş deneme numunesi (UT1-UT5) incelendiğinde, şamot bünye üzerinde mat ve opak yüzeyler elde edilirken, aynı reçetelerin döküm bünye üzerinde parlak ve saydam sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Örneklerdeki üleksit miktarının UT5 sonrası artırılmasıyla birlikte, sır eriyiğinin akışkanlığında kayda değer bir yükselme gözlenmiştir. "Üleksit yapısındaki kalsiyum ve bor oksitten dolayı sırlarda bor tülünün oluşmasını sağlar ve efektli sırların elde edilmesi için de sır bünyesinde kullanılır" [20, s.39, 22, s.232]. Bu da döküm çamuru üzerine uygulanan sırların renk değişimlerini açıklamaktadır.

**Çizelge 7.** Üleksit ve tütün külü ile oluşturulmuş reçete bileşeni

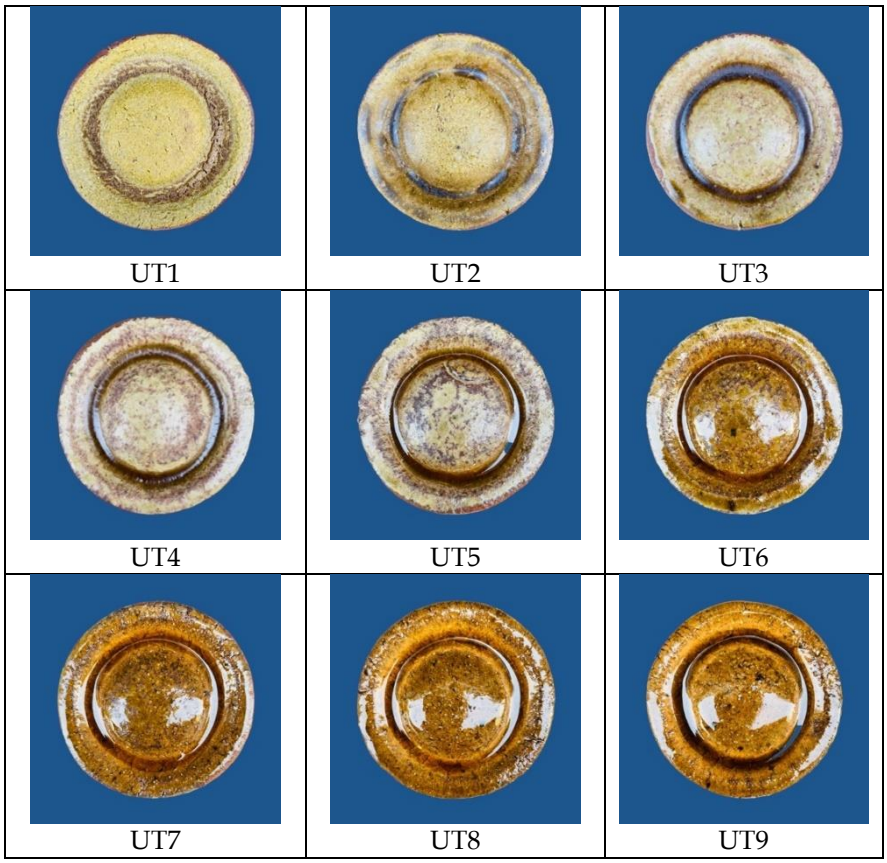
| **Hammadde** | **Reçete** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **%** | **UT1** | **UT2** | **UT3** | **UT4** | **UT5** | **UT6** | **UT7** | **UT8** | **UT9** |
| Üleksit | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Tütün külü | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |



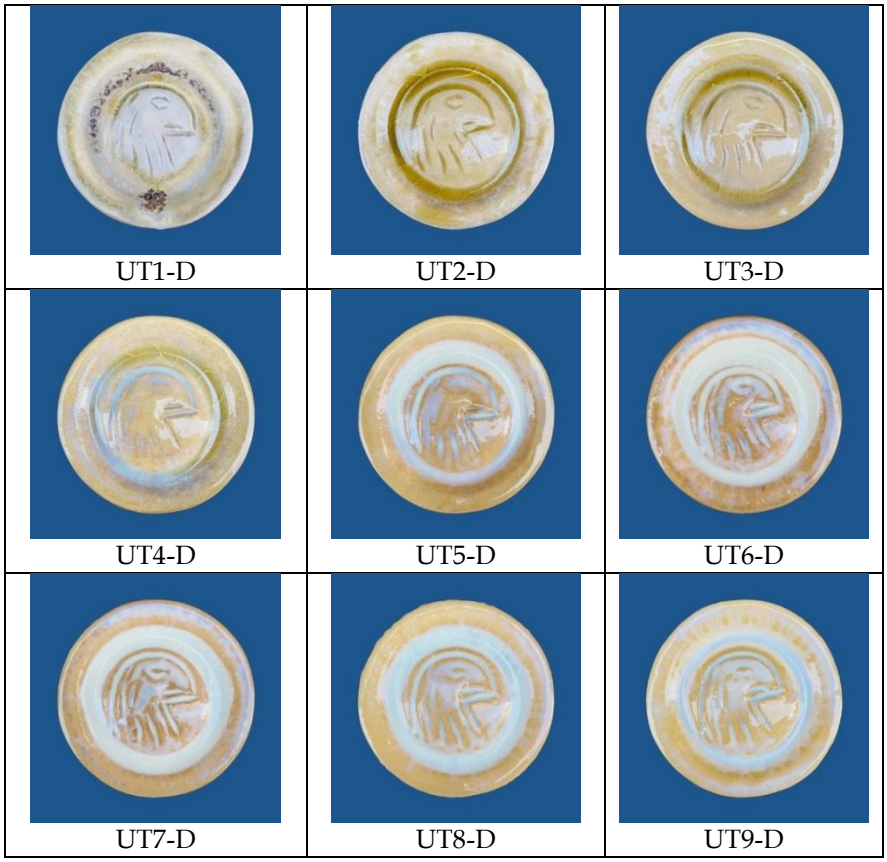

**Şekil 6.** Potasyum Feldispat ve tütün külü ile oluşturulmuş sır reçetelerinin şamot bünye üzerindeki pişme sonrası yüzey görüntüleri (1160 $^0$C)




**Şekil 7.** Potasyum Feldispat ve tütün külü ile oluşturulmuş sır reçetelerinin döküm bünye üzerindeki pişme sonrası yüzey görüntüleri (1160 $^0$C)




**Şekil 8.** Üleksit ve tütün külü ile oluşturulmuş sır reçetelerinin şamot bünye üzerindeki pişme sonrası yüzey görüntüleri (1160 $^0$C)




**Şekil 9.** Üleksit ve tütün külü ile oluşturulmuş sır reçetelerinin döküm bünye üzerindeki pişme sonrası yüzey görüntüleri (1160 $^0$C)

## 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, tarımsal üretim sonucu ortaya çıkan tütün bitkisi atığı külünün seramik sırlarında alternatif bir ergitici bileşen olarak kullanım olanakları deneysel olarak araştırılmıştır. ICP-MS analizleri, tütün külünün özellikle potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) bakımından zengin bir kimyasal bileşime sahip olduğunu ortaya koymuş; bu durum, söz konusu atığın seramik sır sistemlerinde ergitici özellik gösterebileceğini desteklemiştir. Standart saydam sır bünyesine farklı oranlarda kül ilavesiyle oluşturulan reçetelerin 1160 °C'de pişirilmesi sonucunda, kül katkısının sırların yüzey özellikleri ve estetik görünümleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığı saptanmıştır. Sodyum feldispat, potasyum feldispat ve üleksit ile kombine edilen reçeteler (ST, PT ve UT serileri), külün farklı ergiticilerle etkileşimini ortaya koymuştur. Düşük kül katkılı reçeteler (örneğin ST3, PT3, UT3) daha stabil ve düzgün yüzeyler sağlarken, yüksek katkılı numunelerde (ör. ST6, ST7, ST8, ST9, ST7-D, ST8-D, ST9-D, PT5, PT6, PT7, PT8, PT9, PT7-D, PT8-D, PT9-D) yüzeyde çatlaklar, toplanmalar ve renk dalgalanmaları oluşmuştur. Bu sonuç, tütün atığı külünün akışkanlık sağlayıcı etkisinin feldispat gibi endüstriyel ergiticilerle optimum seviyede dengelenmesi gerektiğini göstermektedir. Her ne kadar bünye üzerindeki bu toplanmalar endüstriyel anlamda hata olarak görülse de artistik anlamda sanatçıların bilinçli bir tercih olarak kullanımına da hizmet etmektedir. Şamotlu çamur ile döküm çamuru üzerindeki tütün katkılı sırların yüzey görünümleri karşılaştırıldığında şamotlu çamur üzerinde döküm çamuruna göre daha fazla çatlak ve toplanma olduğu gözlemlenmektedir; bu durum, düşük kil katkılı oranına sahip ilk beş deneme numunesi (UT1-UT5) incelendiğinde, şamot bünyede mat ve opak yüzeyler, döküm bünyede ise parlak ve saydam yüzeyler elde edilmesiyle desteklenmektedir. Şamotlu ve döküm çamuru yüzeylerinde gözlenen bu farklılıkların, şamotlu bünyelerin daha yüksek açık poroziteye sahip olması, pişirim sırasında artan gaz çıkışı ve şamot bünyenin ergimeyi geciktiren refrakter karakteri nedeniyle oluştuğu söylenebilir. Literatürde ZnO'nun, seramik sırlarda cam fazı düzenleyici bir ara ergitici olarak, termal genleşme uyumunu iyileştirebildiği ve bu yolla çatlak oluşumunu azaltmaya yönelik bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmektedir. Bu bağlamda, ZnO içeren sır sistemlerinin şamotlu bünyelerde tütün külü katkılı sır kompozisyonlarıyla birlikte incelenmesi, çatlak oluşumunun azaltılmasına yönelik ileri çalışmalar kapsamında değerlendirilebilir. Sonuç olarak, tütün bitkisi atığı külü, atık yönetimini destekleyen çevreci bir yaklaşım sunarken, kontrollü kullanımı ile seramik sanatı ve artistik uygulamalar için estetik çeşitliliği artırıcı bir potansiyel taşımaktadır. Bu kapsamda, tütün bitkisi atığı külünün, sır bileşimlerinde feldispatlar gibi geleneksel eriticilerle farklı oranlarda sır reçetesi oluşturulacak yeni formülasyonların, artistik ve endüstriyel seramiklerdeki potansiyel kullanım olanakları ve teknik etkilerinin araştırılması, bir sonraki çalışmanın konusu olarak tavsiye edilmektedir. Tütün bitkisi atığı külleri sır bileşiminde renklendirilerek kullanılabilir. Ayrıca tütün bitkisi atığı külü ile oluşturulan sır bileşimlerinin nihai ürünlerdeki gıda ile temasa uygunluğunu garanti altına almak amacıyla, uluslararası standartlara uygun ağır metal salınım testlerinin gerçekleştirilmesi gelecek çalışmalar için önerilmektedir.

**Teşekkür**

Bu araştırma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından GSFMAP/2024-0001proje numarası ile desteklenmiştir.

**Katkı Beyanı**

Araştırma tasarımı, literatür taraması ve değerlendirilmesi, veri toplama, veri analizi, verilerin ve analizlerin doğrulanması, bulguların yorumlanması ve makalenin yazımı süreçlerinin tümü yazarlar tarafından eşit oranda gerçekleştirilmiştir.

**Çıkar Çatışması Beyanı**

Makalenin yazarları herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

**Kaynaklar**


[1] Ali SW, Bairagi S, Bhattacharyya D. Valorization of agricultural wastes: an approach to impart environmental friendliness. In: Shahid-ul-Islam A, Shalla AH, Khan SA (eds). Handbook of Biomass Valorization for Industrial Applications. Hoboken: Wiley; 2022.

[2] Asotah W, Mark U, Zeberu E, Adeleke A. Optimization of the physical properties of rice husk ash in ceramic materials using the response surface methodology. Hungarian Journal of Industry and Chemistry 2021;49(1):23–30.

[3] Eliche-Quesada D, Felipe-Sesé MA, Infantes-Molina A. Olive stone ash as secondary raw material for fired clay bricks. Advances in Materials Science and Engineering; 2016:1–9.

[4] Çınar S, Tazeoğlu Filiz F. Use of waste banana peel ash in glaze making. Yedi: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi, 2024;32:1–14.

[5] Şölenay E, Turan N. Patates kabuğu atığı küllerinin 1160 °C'de sır hammaddesi olarak değerlendirilmesi. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 2020;10(21):61–70.

[6] Tizgöl K, Demir Gündeşlioğlu Ö. Bir sera atığı olarak patlıcan dalı külünün düşük dereceli seramik sırlarında kullanımı. Akdeniz Sanat Dergisi, 2016;9(18):11–20.

[7] Muangkaew T. Ash glaze from durian waste for ceramic creations. Humanities, Arts and Social Sciences Studies, 2022;755–767.

[8] Metcalfe C. New ash glazes from arable crop waste: exploring the use of straw from Pisum sativum (combining pea) and Vicia faba (field bean). [PhD thesis]. Sunderland: University of Sunderland; 2008.

[9] Ünal S, Akgeyik E. Gül posası külünün seramik yüzeylerde kullanımı. Akademik Sanat 2020;5(10):90–104.

[10] Genç S, Gülaçtı N. Zonguldak yöresi fındıkkabuğu külünün farklı kalsinasyon sıcaklıklarında kurşunlu-borlu ve alkalili sır bünyelerindeki etkilerinin araştırılması. In: 9. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu; 2015; Eskişehir, Türkiye.

[11] Çetinkaya PB, Özdemir Ö. Kayısı kabuğu ve gövde külünden kül sırrı araştırmaları. Sanat ve İnsan Dergisi, 2024;8(2).

[12] Kubat L. Kestane kabuğu külünün sır bileşeni olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Akademik Sanat, 2020;5(9):61–70.

[13] Shiwa Y, Nakao H, Watari T, Imaoka Y. Preparation and characteristics of glaze by malt ash. Journal of the Ceramic Society of Japan, 1998;106(1237):920–923.

[14] Tutgun D, Kubat L. Kahve posası katkılı sırların seramik bünyelere etkileri. Uluslararası Disiplinlerarası ve Kültürlerarası Sanat, 2024;9(19):43–62.

[15] Sarnıç Ö, Kubat L. Searching on the usage possibility of the sugar beet ashes belonging to Eskişehir region as glaze component and pigment. In: IV. Uluslararası Katılımlı Seramik, Cam, Emaye, Sır ve Boya Semineri Bildirileri; 2007; Eskişehir, Türkiye.

[16] Savaş F. Şerbetçi otu küllerinin 1160 °C'de sır hammaddesi olarak değerlendirilmesi. Uluslararası Disiplinlerarası ve Kültürlerarası Sanat. 2021;6(13):58–67.

[17] Divitcioğlu G, Karagül MF. Zeytin çekirdeği külünün artistik seramik sırlarında kullanımı. Journal of Awareness, 2021;6(3):155–164.

[18] Moreno P, Fragozo R, Vesga S, Gonzalez M, Hernandez L, Gamboa ID, Delgado J. Tobacco waste ash: a promising supplementary cementitious material. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 2018;6(1):1–13.

[19] Karabacak K. Türkiye'de tütün tarımı ve coğrafi dağılışı. Coğrafi Bilimler Dergisi, 2017;15(1):27–48.

[20] Genç S. Sır sanatı: artistik seramik sırları. 1. Basım. İstanbul: Boyut Yayınları; 2013.

[21] Fraser H. Seramik hataları ve çözüm yöntemleri. (Çev. Mete Z, Özkan İ.) İzmir: Karakalem Kitabevi Yayınları; 2010.

[22] Arcasoy A. Seramik teknolojisi. 1. Basım. İstanbul: Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları; 1983.