



Araştırma Makalesi - Research Article

# Kiremit Üretiminde Kuruma Hassasiyetinin Tespiti ve Çatlakların Giderilmesinde Bigot Yönteminin Kullanımı

## Implementation of the Bigot Method for the Determination of Drying Sensitivity and Removal of Cracks in Roof Tile Production

Nihal Derin Coşkun<sup>1\*</sup>, Eray Çaşın<sup>2</sup>

Geliş / Received: 11/03/2022

Revize / Revised: 02/01/2023

Kabul / Accepted: 19/01/2023

### ÖZ

Türkiye’de kiremit sektörü her geçen gün gelişmekte ve geleneksel üretimlerin yerini ar-ge çalışmalarıyla değerlendirilen süreçler almaktadır. Bu doğrultuda Ece Kiremit üretim tesislerinde kiremit ürünlerin şekillendirme sonrası doğal kurutma esnasında kuruma çatlaklarının tespiti ve giderilmesi için bigot ve yeni reçete çalışmaları yapılmıştır. Bu hataların giderilebilmesi için tüm hammaddelerin Bigot Eğrilerinin çıkarılması, karakterizasyonları ve yeni reçete çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bigot Eğrisi mantığına göre kiremit numunelerinin nem atma özellikleri ve kuruma küçülmelerinin tespiti için tüm örneklerin 100 °C’de kuruma eğrileri çıkarılmış ve Bigot’a göre küçülme – nem eğrileri verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, çalışmada yer alan Gülücek kil, Gülücek kist ve Kınık kisti olmak üzere üç farklı kil çalışılmıştır. Gülücek Kistinin kuru küçülmesinin diğer hammaddelere göre daha az olduğu, neminin az bir kısmını (%1,04) attığında bütün kuru küçülmesini bitirdiğinden dolayı reçete içerisinde yüksek miktarda kullanımının kuruma çatlaklarına sebep olacağı çözümlenmiştir. Ayrıca yapılan karakterizasyon analizlerinin sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, klorit ve klinoklor minerallerini içeren bir yapıda olduğundan su tutma özelliğinin de diğer hammaddelerden daha fazla olduğu görülmüştür. Oluşturulan reçete çalışmalarında 4 farklı reçete yapılarak Gülücek Kistinin oranı reçete içerisinde düşürülmüştür. Yapılan 4 reçetede de kuruma küçülmelerinin zamana bağlı olarak daha geniş aralıkta olduğu, fakat içerisindeki nemi daha çabuk bıraktığı görülmektedir. Özellikle Reçete 3 ve 4’ün öncelikli olarak üretim denemelerinin yapılması, olumsuz olabilecek durumlarda reçete 2’nin üretim denemesinin yapılması uygun bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler-** Kiremit, Kil, Kurutma, Bigot

### ABSTRACT

Roof tile sector in Turkey is continuing to develop every day and traditional production methods are replaced by processes evaluated via R&D studies. Accordingly, bigot and new recipe studies have been conducted at Ece Kiremit production facilities for the identification and elimination of drying cracks during natural drying following the shaping of roof tile products. Bigot Curves were drawn for all raw materials in addition to conducting studies for drawing out their characterizations as well as studies for new recipes for eliminating these faults. Based on the Bigot Curve logic, drying curves were drawn for all samples at 100 °C to identify the moisture release characteristics of roof tile samples as well as their drying shrinkage and curves were provided for shrinkage –

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişimi: [nihalderincoskun@odu.edu.tr](mailto:nihalderincoskun@odu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-3024-9443>)

Seramik ve Cam Bölümü, Ordu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Ordu, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [eraycasin@gmail.com](mailto:eraycasin@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0003-3698-2248>)

Ece Banyo Ar-Ge Merkezi, Çorum, Türkiye

moisture based on Bigot. As a result of the experimental studies conducted, three different clays were used in the study including Gülücek Clay, Gülücek Kist and Kınık Kist. It was analyzed that since Gülücek Kist has a lower dry shrinkage compared to the other raw materials and since it completes its dry shrinkage upon releasing a small portion (1,04 %) of its moisture, using it in high amounts in the recipe will lead to drying cracks. In addition, as can be understood from the results of characterization analyses, it was observed to have a greater water retention capacity compared with the other raw materials since it has a structure that includes minerals such as chlorite and clinocllore. A total of 4 different recipes were developed and the ratio of Gülücek Kist was decreased in the recipe. It can be observed for all 4 recipes that drying shrinkages are at a wider interval based on time but that the moisture is released faster. Recipes 3 and 4 were considered to have priority for production trials and it was considered appropriate to conduct production trial with recipe 2 in case any adverse results are obtained.

**Keywords- Tile, Clay, Drying, Bigot**

## I.GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca barınma temel ihtiyaçlardan olmuştur ve bu sorunu gidermek için insanlar ahşap, taş, kerpiç, tuğla ve kiremit gibi çeşitli malzemelerden faydalanmıştır. Milattan 6000 yıl öncesine dayanan bu süreç elle şekillendirilip hazırlanan kiremit örneği olan kerpiçlerden buhar makinesinin 1786'da keşfiyle beraber üretimin makinelerle yapıldığı bir sürece dönüşmüştür. Kiremit üretiminde özellikle kullanılan Hoffman fırınlar, helezonlu şekillendirme makineleri Almanya'da gelişen teknolojinin tüm Dünya'ya yayılmasında öncü olmuştur [1,2]. 1895'te kamara kurutmaların keşfi ana hammadde killer olan kiremit ve tuğla sektöründe üretime büyük katkılar sağlamıştır [1]. Kiremit ve tuğla üretiminde hala geçmiş yüzyıllardaki adımlar takip edilmesine rağmen gelişen teknoloji ve yöntemler hammadde karakterizasyonu ve hazırlama aşamaları, pişirme, fırın tasarımları ve ileri mekanizasyonla daha kaliteli ürünler ortaya konmasını sağlamaktadır.

Kiremit üretiminde kurutma teknolojisinin yanı sıra kullanılan temel hammaddelerde büyük önem taşımaktadır. Başlıca hammadde olan killer benzer kimyasal bileşime sahip olmalarına karşın fiziksel olarak farklı özellikler sergilemektedir. Bunları genel olarak yüzey killeri, şeyller ve ateş killeri olarak sınıflandırmak mümkündür [3]. Genellikle muskovitik ve lateritli killer kullanılarak üretilen kiremitler; mukavemet, termal özellikler ve tane boyut dağılımının düzenlenmesinin sonucu olarak sızdırmazlık dayanımları gibi fiziksel özelliklerinin de geliştirilmesi ile teknik detayların da göz önünde bulundurularak üretilen bir malzeme haline gelmiştir. Kiremitler, doğal killerden oluşturulduğundan insan sağlığını etkileyecek herhangi bir yabancı madde içermediği gibi dış etkenlerin etkisi altında kalmalarına rağmen (hava şartlarındaki değişiklikler gibi) uzun yıllar dayanıklı tüketim malzemesi haline gelmişlerdir. Kiremit üretiminde kullanılan killerin diğer seramik malzemelerin üretimlerinde kullanılan killere farkı yüksek demir, silis ve karbonat içeriğine sahip olmalarıdır. Bu tip killer montmorillonit, kaolinit, kuvars, klorit ve illit gibi mineralleri içerir [4,5]

Killer plastik yapıya sahip su ile şekillendirilebilen, kurutma ve pişirme işlemleriyle sertleşen malzemelerdir. Plastikliğin oluşabilmesi için bünyenin su alması gereklidir. Bu fiziksel bir özelliktir. Ve her kilin bünyeye aldığı su miktarı değişiklik göstermektedir [6]. Şekillendirilen ürünün bünyesindeki bu suyun sonrasında bünyeden uzaklaştırılarak atılması gerekmektedir. Bu işlem kontrollü olmadığı veya bünye bileşiminde sorunlar olduğunda çatlaklar ve deformasyonlar meydana gelmekte bu da nihai ürün adedi ve kalitesinde etki etmektedir [5,6]. Mısırlılardan Babillilere, Asurlulardan 19. yy.'a kadar inşaatlarda kullanılan tuğla ve kiremitler incelendiğinde kurutma açık havada mevsim şartlarına bağlı olarak gerçekleştirilirken 1858'de ilk olarak kurutucuların ortaya çıktığı görülmektedir [7]. Gerek şekillendirme gerek kurutma kiremit üretiminde suyun atılmaya başladığı aşamalarıdır ve bu doğrultuda yapılan her işlem son ürüne etki etmektedir. Bu süreçte; sıcaklık, nem ve küçülme birbiriyle bağlantılı hareket etmektedir. Yalnızca ürün kalitesi değil, enerji maliyetleri, zaman ve toplam ürün miktarı da bu faktörlerden etkilenmektedir [8]. Yapılan çalışmada Ece Kiremit A.Ş. özelinde kiremit üretiminden elde edilen ürünlerde şekillendirme sonrası meydana gelen çatlakların nedeni ve bu sorunlara çözüm yöntemleri laboratuvar bazlı araştırılmıştır. Seramik ham malzemede ilk olarak kurutma su kaybının ani olduğu seramik malzemenin şekillendirmesi için gerekli olarak bünyeye almış olduğu ve küçülmeyi belirleyen suyun atıldığı, ikinci aşamada ise porlar içerisinde yer alan nispeten azalarak çatlakların oluşumuna kadar devam eden ve kurumada hassasiyet gerektiren aşamalar bulunmaktadır [9]. Bu hassasiyeti ölçmek malzemede meydana gelecek sorunları gidermek açısından önem taşımaktadır. Kuruma hassasiyeti indeksi olan Bigot ve Ratzemberger yöntemlerinden Chijsky-Bigot Metodu seçilmiştir [10].

Bigot yöntemi aşağıdaki denklem kullanılarak verilerin hesaplanmasıyla çizilen grafiklerle elde edilen verilerin değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır.

$W_m$  = Şekillendirme nemi (%)

$W_{cr}$  = Kritik Nem (%)

k = Kuruma Hassasiyeti Katsayısı

$$k = (W_m - W_{cr}) / W_{cr} \quad [11]$$

Bu yöntemin tercih edilmesinde etken kurutmada uygun sıcaklık, nem ve süreyi kolayca belirleyerek kurutmada enerji tüketiminin azaltılması, kurutma işlemi sonunda kusurlu tuğlaların azaltılmasını sağlayarak zaman açısından da kazanım sağlamasıdır. [11,12]. Ayrıca nihai sonuçların işletme için yeterli ve işlemin kolay uygulanabilir olması da bu etkenleri arttırmaktadır. Bigot metodu pek çok çalışmaya konu olmuş kuruma hassasiyetinin zamanla ve hammadde içeriğiyle orantılı değişimi gözlemlenmiştir [13,14]. Ancak kiremit sektörünün yoğun olduğu Çorum bölgesinde kullanılan ve çalışmada belirtilen hammaddeler üzerine uygulama yapılmaması bu alanda literatür oluşturması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada killerin yanı sıra killi toprakların alt tabakalarında bulunan ticari olarak kist olarak adlandırılan taşlaşmış kil mineralleri de kullanılmıştır. Kiremit üretiminde kullanılan killerin bileşimlerinden farklılık arz eden kistlerin oksit değerleri özellikle demir ve toprak alkalilerin oranlarında farklılık göstermektedir. Ayrıca killere oranla taşlı veya taşlaşmış yapıya sahip kistler özellikle maliyet açısından avantaj sağladığı ve üretimde kullanıma uygun olduğu için çalışmada yer almaktadır.

## II. MALZEME VE YÖNTEM

Ece Kiremit bünyesinde üretimi yapılan kiremitlerin reçetesinde kullanılan hammaddeler üzerinde kurutma, küçülme, tane boyut dağılımı ve sinterleme testleri yapılarak mevcutta kullanılan kiremit reçetesinin kuruma çatlağı problemlerinin azaltılabilmesi için reçete önerileri hazırlanmıştır. Ece Kiremit üretim tesisinde kiremit üretimi için kullanılan 3 farklı yapıda kil ve kiremit kırığı bulunmaktadır. Çorum Bölgesi'nde üretim yapan fabrikada; Gülücek Kili, Gülücek Kisti ve Kınık Kisti kullanılmaktadır. Bu hammaddeler kimyasal analizlerde belirtilen içeriklere sahip olmakla birlikte stokiyometrik olarak hesaplanan bileşimlerde reçete hazırlanarak üretim gerçekleştirilmektedir.

Kiremit üretiminde hammadde olarak gelen kil ve kist öncelikle açıklıkları 1 mm'den başlayıp 250 mikrona kadar azaltılan sıralı valslerden geçirilmektedir. Vals açıklıkları sırasıyla 1mm-750µm-500µm-250µm olarak sıralanmaktadır. Her bir valsın altında seperasyon elekleri bulunmakta ve bu eleklerin üzerinde kalan malzemeler diğer valse aktarılırken kalanlar sistemden otomatik olarak banta inmektedir. Sistemde dağılımları yapılan 3 farklı malzeme belirli yüzde oranlarında karıştırılarak reçete elde edilmektedir.

Bu killer üzerinde Bigot eğrisi çalışmaları yapılmıştır. Bigot eğrilerinin çıkarılması için hammadde içerisindeki nem miktarının bilinmesi gerekmektedir. Hammadedeki nem miktarları farklı numuneler üzerinden karşılaştırılması amacıyla tüm hammaddelerin nemleri aynı orana getirilmiş ve belirli periyotlarla sabit ısı altında ne kadar su kaybettikleri bulunmuştur. Her tartımda tartım kaybı yazılarak bir tablo oluşturulmuş ve buna göre de hangi zaman aralığında ne kadar çok su kaybettiği belirlenmiştir. Bu değer bize killerin su bırakma kapasitesini ve bünye içerisinde su tutma zamanını vermektedir. Bunun belirlenmesindeki amaç beraber kullanılacak olan killerin kuruma hızlarının birbirine yakın olmadığı tespit durumunda, kuru malzemedeki çatlak oluşumlarının partiküllerin su bırakma oranına göre tespit edilmesidir.

DeneySEL çalışmada; her bir kiremit hammaddesinin bağıl su miktarı %18'e sabitlenmiş ve sabit sıcaklık altında (100°C) kuruma hızları ölçülmüştür. Bunun için 5 dakikalık periyotlarda numuneler üzerinden tartım alınmış ve tablolar oluşturulmuştur.

Bigot eğrilerinin bir diğer özelliği de nem değerinin küçülmeye olan etkisini incelemektir. Kil partikülleri bünyesi içerisinde aldıkları yoğurma suyunu bırakırken kuru küçülmeye başlarlar. Bu da bünye içerisindeki su moleküllerinin sistemden çıkarak kil partiküllerinin birbirlerine olan mesafelerinin kısalması anlamına gelmektedir. Sabit sıcaklıkta belirli periyotlarda ölçümlenen kuru küçülmeler üzerinden bir tablo oluşturularak eğriler oluşturulmuş böylece aynı zaman dilimi içerisinde farklı küçülme değerlerine sahip olan killer bir arada reçetede kullanıldığında küçülme farklılıklarından dolayı çatlaklar meydana gelebilmektedir.

DeneySEL çalışmalarda; her bir kiremit hammaddesinin nemleri aynı orana getirilerek sabit sıcaklık altında 5 dakikada bir kuru küçülme ölçümleri alınmış ve bu değerler karşılaştırılmıştır.

DeneySEL çalışmalarda 150x50x20mm boyutlarında kiremit hammaddelerinden yapılan plakalar kullanılmıştır. Bu plakalar eşit miktarda hammadde ve eşit miktarda su ile yoğrulmuş, şekillendirilmiş ve daha sonra deneySEL çalışmalara tabi tutulmuştur.

Ayrıca plakaların şekillendirme öncesinde bünyedeki su çıkışına etkisinin olmaması için tane boyut dağılımlarının da eşit olması için 500 mikron altına elenmiş ve tane boyut dağılımına bakıldıktan sonra şekillendirme işlemi yapılmıştır.

Zamansal olarak da killerin hangi zaman aralıklarında ne kadar küçüldüğü ve ne kadar su kaybettiği deneySEL olarak eğriler ile gösterilmiştir. Hammaddelerin tane boyut dağılımlarına ve reçete çalışmalarında

imalatta kullanılan mevcut reçetenin tane boyut dağılımları tespit edilmiştir. Üretimde kullanılan hammaddelerin faz analizleri X ışını kırınım desenleri (XRD) Rigaku, Rint 2000, Japan X-Işınları Diffraktometresinde (Cu-K $\alpha$ , 2 $\theta$  5-70°, 2 $^\circ$ /dk), kimyasal analizleri Spectro X-Lab 2000 model XRF cihazında yapılmıştır. L\*a\*b\* renk değerleri Konika-Minolta Chroma Meter CR-400 colormetreyle, Tane boyut analizleri Malvern marka zetasizer ile, teorik plastiklik değerleri pfefferkorn plastiklik ölçüm grafiklerinde elde edilen denklemlerle tablo haline getirilmiş ve üretim reçeteleri oluşturulmasında hammaddelerin karakterizasyon sonuçları göz önünde bulundurulmuştur.

### III.BULGULAR

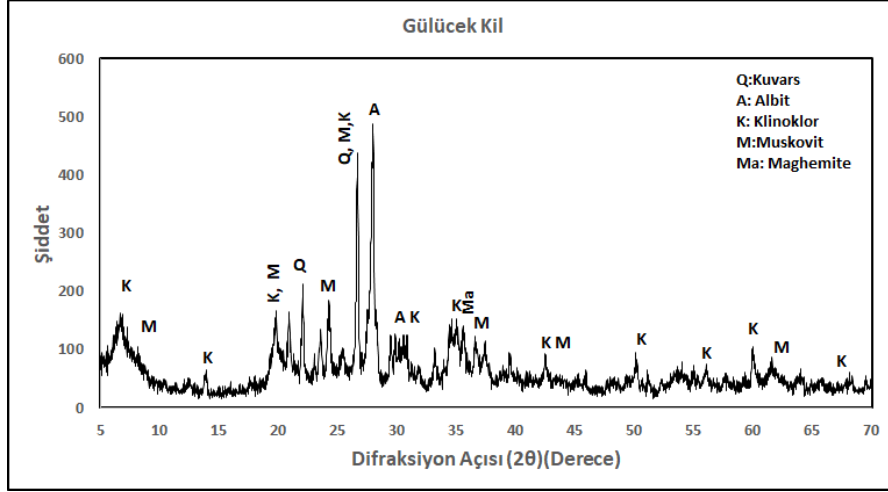
Çalışmada kullanılan hammaddelerin içeriklerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilen XRF kimyasal analiz sonuçları Tablo 1’de tüm killer ve imalatta kullanılan reçetede dahil edilerek verilmektedir. Kullanılan hammaddelerin kompozisyonu çalışmada tüm prosesi kontrol etmektedir. Bu nedenle nihai reçeteleri elde etmede içeriğin bilinmesi üretim maliyetlerinden nihai ürün kalitesine, nihai ürün miktarından üretim sorunlarına pek çok üretimsel süreci etkilemektedir.

**Tablo 1.** Ece Kiremit A.Ş. Kiremit Üretiminde Kullanılan Killerin ve İmalat Reçetesinin Kimyasal Analiz Sonuçları

	Gülücek Kil (%)	Gülücek Kist (%)	Kımık Kist(%)	İmalat (%)
<b>A.Z.</b>	6.955	3.886	8.053	8.167
<b>SiO<sub>2</sub></b>	47.9431	48.7719	52.2527	47.3669
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	15.2538	13.9181	15.556	15.0132
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	13.3315	14.6176	8.4458	12.8124
<b>TiO<sub>2</sub></b>	2.4338	2.3289	1.1189	2.1957
<b>CaO</b>	6.542	8.3022	5.3478	6.6579
<b>MgO</b>	3.6472	4.2166	4.3822	3.8699
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2.2723	2.9077	1.6998	2.3897
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.0912	0.5791	2.7043	1.0658
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.046	0	0.0425	0
<b>MnO</b>	0.2037	0.2053	0.0938	0.1678
<b>SO<sub>3</sub></b>	0.0316	0	0.1042	0.0607
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.249	0.2666	0.199	0.2329

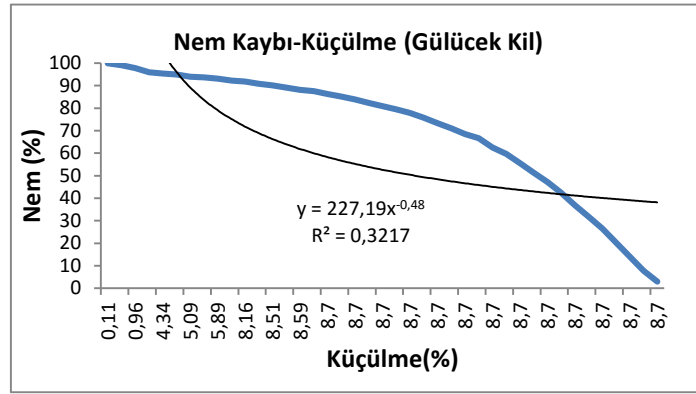
Killerin içerdiği minerallere göre kullanılan kilin özellikleri ve kiremit üretiminde etkileri de değişmektedir. Bu nedenle yapılan XRD analizleri doğrultusunda çalışmada yer alan Gülücek kili Şekil 1’de görüldüğü üzere incelenmiştir. Mineralojik olarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda bu kil; yüksek miktarda kuvars, albit, muskovit, maghemite ve klinoklor içeren mika tipi kil grubudur.

Potasyumlu feldspatik yapıların ayrışmasıyla meydana gelen levha şeklinde tabakalara sahip olması su tutma özelliğine işaret etmektedir. Yapıda yer alan klinoklor Tablo 1’de verilen kimyasal analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere Mg ve Fe açısından zengindir. Bu yapılar 950-970°C’lerde sinterlemeye olanak sunmakta ve ayrıca kırmızı pişme rengine sahip ürün eldesi sağlamaktadır.

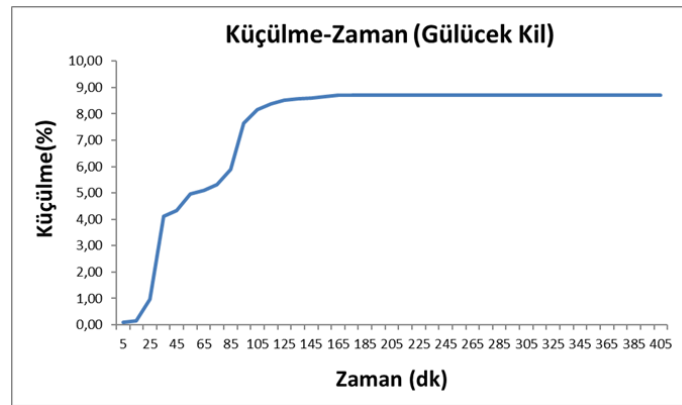


Şekil 1. Gülücek Kiline ait X ışınları desenleri

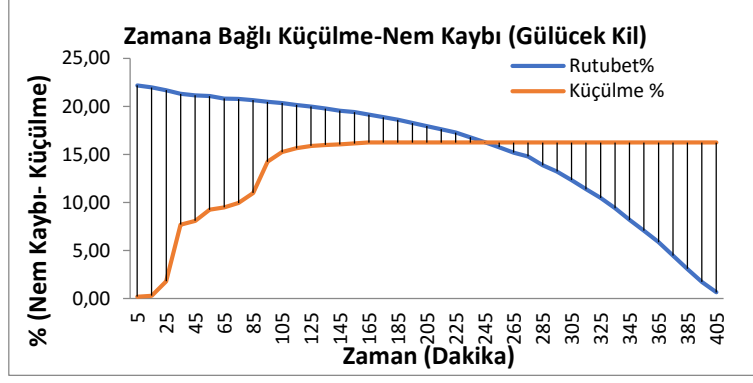
Çalışmada kullanılan Gülücek Kili, Gülücek Kisti ve Kınık Kisti'ne ait küçülme ve nem değerleri ve bunların zamana bağlı değişimleri gözlemlenmiştir. Elde edilen değerler şekil 2'den şekil 22'ye kadar grafiklendirilmiş ve tablo 2'den tablo 11'e kadar kategorize edilerek işletme şartlarında kullanılan farklı hammaddelerde küçülme, zaman ve nem faktörlerinin birbiriyle bağlantıları bu veriler doğrultusunda ortaya konmaktadır.



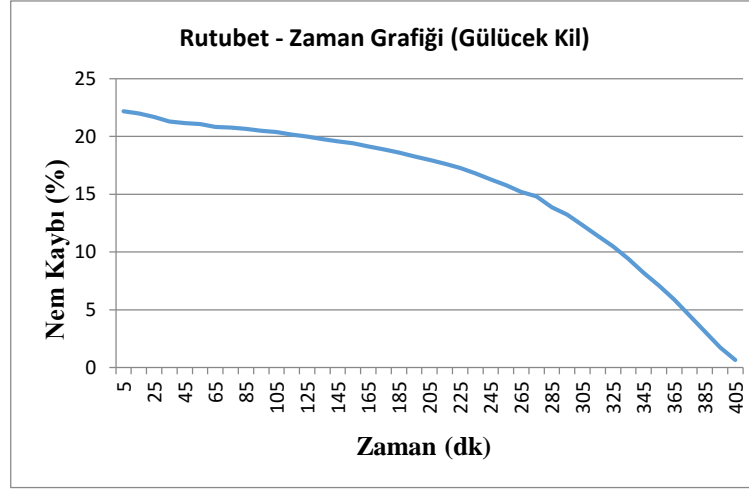
Şekil 2. Gülücek Kili Bigot Eğrisi



Şekil 3. Gülücek Kili Küçülme Zaman Grafiği



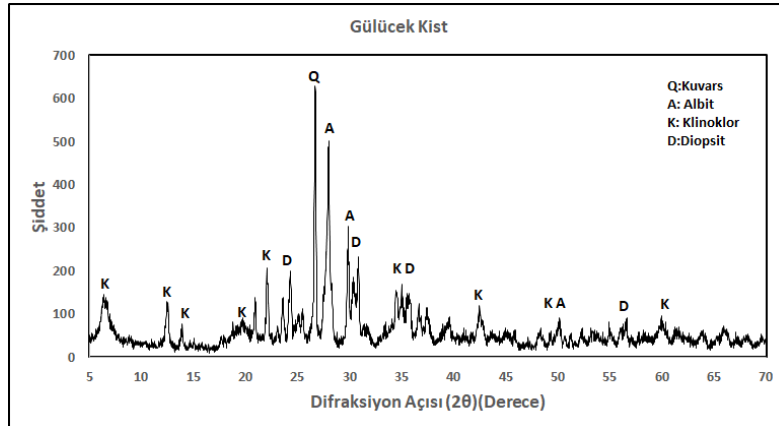
Şekil 4. Gülücek Kili Zamana Bağlı Küçülme ve Nem Kaybı Eğrisi



Şekil 5. Gülücek Kili Nem Kaybı– Zaman Grafiği

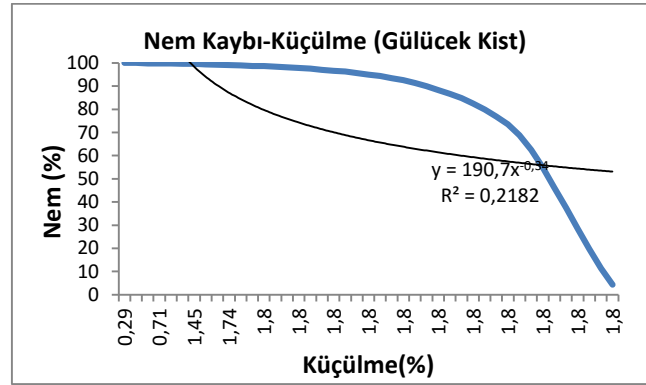
Gülücek Kili'ne ait veriler incelendiğinde kilin bigot eğrisinin ilk su kaybının olduğu nokta dışında lineer bir şekilde ilerlediği ve %0.11'le başlayan küçülme değerlerinin azalan bölümde %4.34'ten %8.7'ye kadar küçülmenin devam ettiği ancak bu aşamadan sonra lineer olarak kaybedilen neme rağmen küçülme değerlerinin sabitlendiği görülmektedir. Küçülme zaman grafiklerinde ise ilk 105 dk dan sonra değerlerin stabil hale geldiği tespit edilmektedir. Nemin lineer olarak düşüşü ve bigot eğrisinin sabitlenmeye başlaması kurutmada sorun çıkarmayacağını ancak ilk nem kaybının olduğu aşamalarda küçülme oranı yüksek olması itibarıyla de kontrollü kurutulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Zamana bağlı küçülme ve nem kaybı eğrisinde ilk 245 dk'da dengeye ulaşması da bu verileri desteklemektedir [15].

Şekil 6'da Gülücek Kisti'ne ait mineralojik veriler incelendiğinde bu kil; yüksek miktarda kuvars, albit, diopsit ve klinoklor içeren bir kil olduğu görülmektedir.

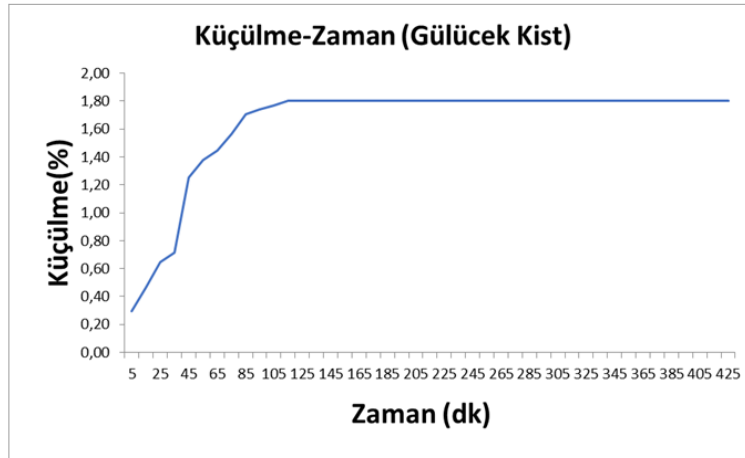


Şekil 6. Gülücek Kistine ait X ışınları desenleri

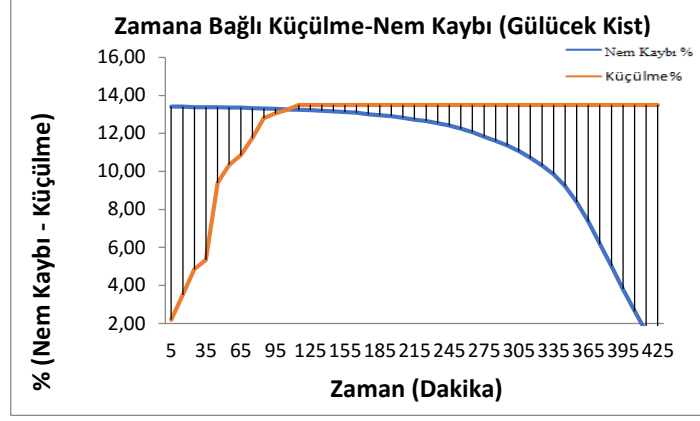
Gülücek kist hammaddesi Gülücek kili ile benzerlik göstermekte ancak demir oranı gülücek kilinde ~%13.3 iken Gülücek kistinde bu oran ~14.6 değerinde olduğu görülmekte bu da yapıda daha kırmızı bir pişme rengi elde edilmesine neden olmaktadır. Ancak Fe oranında olduğu gibi CaO oranının da yüksek olması sarılık b\* değerlerini de etkilemektedir. Tablo 2’de verilen %1.8’lik küçülme değeri diğer killere oranla çok düşüktür. Zamana bağlı küçülme değerleri incelendiğinde Gülücek kilinde 245dk olan sürenin Gülücek kistinde 105 dk olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nem kaybı zaman grafikleri incelendiğinde Gülücek kilinde 405 dk.’da ~%20’ye ulaşan %nem değerinin Gülücek kistinde 425 dk.’da ~%12 nem olacak şekilde değiştiği görülmektedir. Tablo 3’te de görüldüğü üzere teorik plastisite değerleri diğer hammaddelerin 1/3 oranındadır ve reçete içerisindeki sert hammaddelerden olduğu görülmektedir. Şekil 6’da verilen faz içerikleri incelendiğinde klorit ve demir yüksekliğinden kaynaklı klinoklor değerinin fazlalığı ve buna bağlı olarak düşük su tutma kabiliyetine sahip bir kil olduğu tespit edilmiştir. Mineralojik olarak yapıda içerdiği diopsit; Ca ve Mg silikattan oluşmakta bu da kiremit üretiminde en büyük problemlerden biri olan kireç oluşumunu tetikleyen bir mekanizmaya sahip olduğunu ortaya koymaktadır [16].



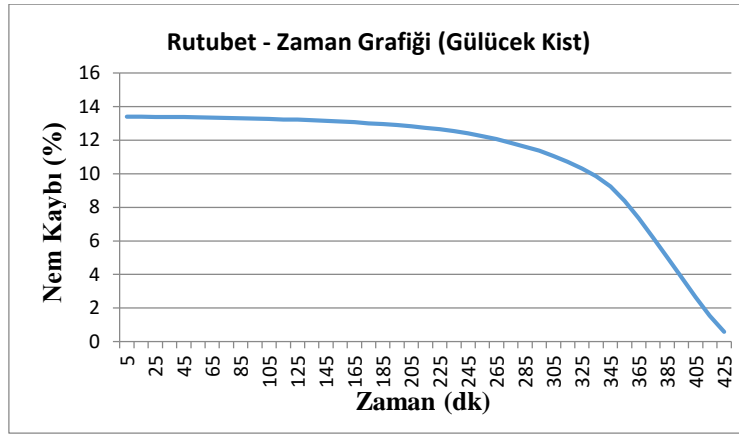
Şekil 7. Gülücek Kisti Bigot Eğrisi



Şekil 8. Gülücek Kisti Küçülme Zaman Grafiği

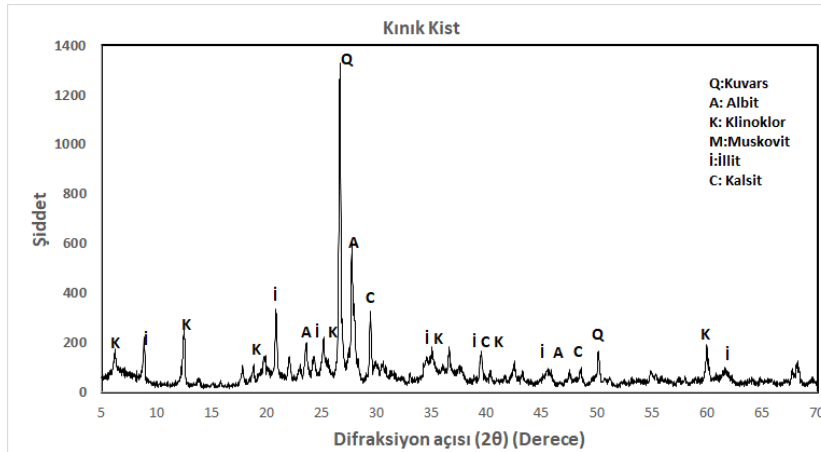


Şekil 9. Gülücek Kisti Zamana Bağlı Küçülme ve Nem Kaybı Eğrisi



Şekil 10. Gülücek Kisti Nem Kaybı - Zaman Grafiği

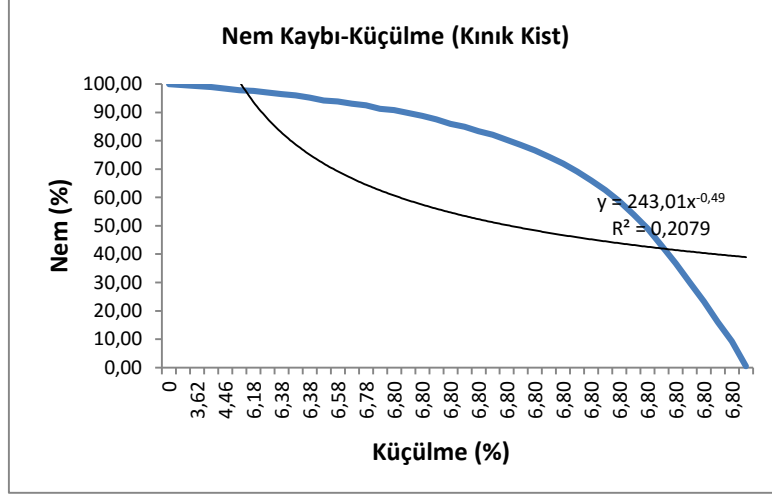
Reçetede kullanılan bir diğer hammadde ise Kınık Kistidir. Kınık hammaddesi kiremit killlerinde yaygın olarak gözlemlenen klinoklor mineralini içermektedir. Ayrıca yapısında illitik yapıda kil barındırması kiremitin şekillendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu yapı bünyede su tutma kabiliyeti ile alınan higroskopik suyun uzun süre atılmamasını sağlamaktadır. Tablo 1'de verilen kimyasal analiz sonuçlarından görüldüğü üzere Fe oranı ~%8.5 değeri ile kırmızı pişme rengi diğer killere oranla daha düşüktür. Ancak CaO oranının diğer killere oranla daha düşük olması reçete içerisinde kullanımında kireç oluşumunun azalmasını sağlamaktadır. Şekil 11'de verilen mineralojik analizde kınık kistin yapıda kuvars, albit, klinoklor, muskovit, illit ve kalsit minerallerini içerdiğini göstermektedir. Bu malzemede kalsitin fazla olması ve tablo 1'de verildiği üzere ateş zayıyatı miktarının yüksek olması yapıda demirin yüksek olmasına rağmen diğer minerallerin yapının pişme sonrası rengini etkilediğini göstermektedir.



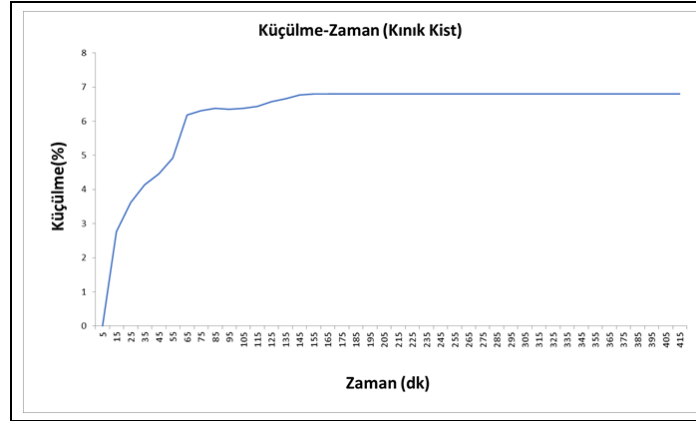
Şekil 11. Kınık Kistine ait X ışınları desenleri



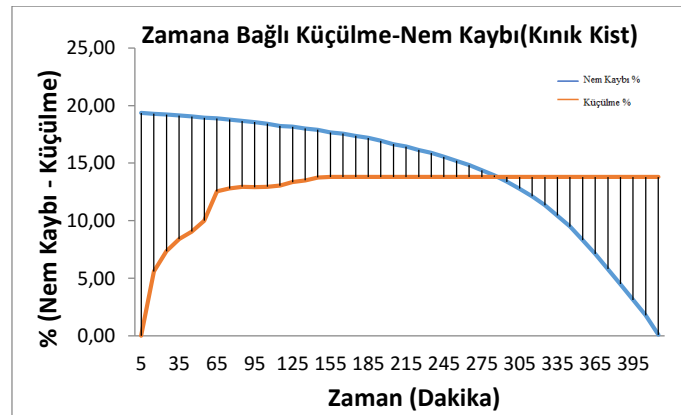
Bigot eğrisi incelendiğinde linear bir akış sergilediği görülen Kınık kisti küçülme zaman grafikleri incelendiğinde ilk 65 dk. bünyedeki küçülmenin hızlı bir şekilde gerçekleşirken 65-145 dk arasında daha yavaş bir küçülme meydana geldiği ve bu aşamadan sonra dengeye ulaştığı gözlemlenmektedir. Zamana bağlı nem kaybı grafikleri incelendiğinde ise kullanılan hammaddeler arasında ~295 dk.'lık uzun bir süreden sonra dengeye ulaştığı görülmektedir. Nem kaybının ~%20'lere kadar ulaşması bünyede su tutma kabiliyeti yüksek bir kil olarak görev yaptığını göstermektedir. Kritik noktadan sonra malzeme su kaybını tamamlayarak küçülme işleminin son bulduğu grafiklerden gözlemlenmektedir [17].



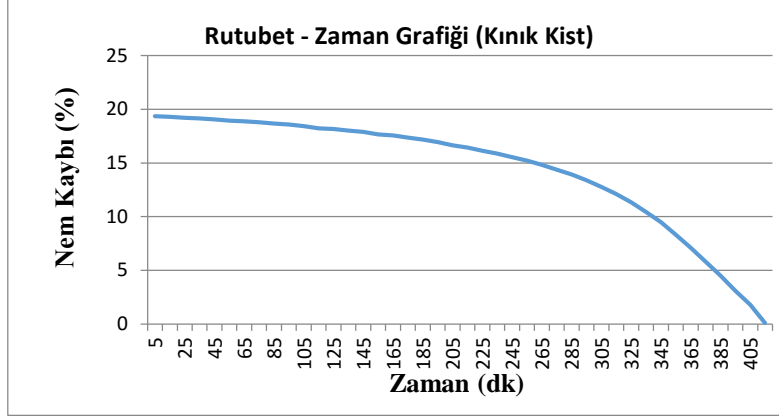
Şekil 12. Kınık Kisti Bigot Eğrisi



Şekil 13. Kınık Kisti Küçülme Zaman Grafiği



Şekil 14. Kınık Kisti Zamana Bağlı Küçülme ve Nem Kaybı Eğrisi



Şekil 15. Kınık Kisti Nem Kaybı – Zaman Grafiği

Yapılan laboratuvar çaplı analizlerde kuru küçülme, pişme küçülmesi (toplam küçülme) ve ateş yasıatı verileri analiz edilmiş ve Tablo 2’de elde edilen değerlerde gösterilmiştir. Reçete içerisinde kullanılan hammaddelerin nem oranlarını atabilme yeteneklerinin yakın düzeylerde olması gerekmektedir. Buna bağlı olarak küçülme oranlarının da birbirine yakın olması reçete içerisindeki kullanım oranlarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Tablo 2. Kiremit Hammaddelerinin Fiziksel Özellikleri

	Kuru Küçülme (%)	Toplam Küçülme (%)	A.Z. (%)
Gülücek Kil	8.7	9.8	6.72
Gülücek Kist	1.8	2	4.22
Kınık Kist	6.8	7.6	6.96
İmalat	6.7	7.5	7.63

Deneyel çalışmalarda her bir hammadde şekillendirilerek küçülme ve nem kaybı değerleri incelenmiştir. Ayrıca her ölçüm belirli bir zaman aralığında yapılmıştır. Nem Kaybı- küçülme eğrisi (Bigot Eğrisi) karşılaştırmalarındaki verilerin yanı sıra pfefferkorn plastiklik eğrilerinin regresyon çizgisindeki formül ile teorik plastisite değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. Teorik Plastisite Değerleri

	Teorik Plastisite
Gülücek Kil	299.69
Gülücek Kist	91.86
Kınık Kist	293.56
İmalat	239.4

Hammaddelerin teorik plastisite sonuçlarına bakıldığında. Vakum pres (ekstrüzyon) yöntemi ile şekillendirilen bu tip killerin plastiklik değerlerinin yüksek olması beklenmektedir. Ancak Gülücek Kistin plastikliğinin az olması diğer hammaddelere göre bünye içerisinde sert hammadde gibi davranmasına sebep olmaktadır. Bu değişim yaş bünyenin içerisine aldığı su miktarının diğer hammaddelerle kıyaslandığında daha düşük olmasıyla açıklanmakta ve kuruma hassasiyeti diğer hammaddelerle farklılık göstermektedir [18].

Kiremit hammaddeleri ve imalat reçetesi tane boyut dağılımları Tablo 4’te verilmiştir. Hammaddelerin tane boyut dağılımlarına bakıldığında. 300 mikron altı tanelerin oranının %72-77 (Gülücek Kist: %74.37, Gülücek Kil: 71.82, Kınık Kist: 76.45) oranları arasında olduğu görülmüştür. Tane boyut dağılımının 300 ile 45 mikron aralığında hammaddelerde yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Reçetede yüksek miktarda kullanılan Gülücek Kilinin 32 mikron altı ince taneli partikül oranının %23.03 olduğu ve genel anlamda bu oranlarda hammaddelerin kullanımında paketlenme sorunu yaratmayacağı düşünülmektedir.

**Tablo 4.** Hammaddelerin ve İmalat Reçetesinin Tane Boyut Dağılımı (Kümülatif)

ELEK (mikron)	Gülücek Kist (%)	Gülücek Kil (%)	Kınık Kist (%)	İmalat (%)
710	7.08	3.27	8.85	7.82
500	11.97	9.22	14.28	13.02
300	25.63	28.18	23.55	21.49
150	41.08	32.2	35.7	35.11
125	44.07	48.41	38.97	38.28
63	56.62	57	51.58	53.13
45	61.1	62.84	59.18	59.76
32	65.55	76.97	63.81	64.65

Ece Kiremit bünyesinde kullanılan imalat reçetesi yukarıda belirtilen killer ve imalattan elde edilen kırıklarında çok düşük yüzdelerde reçeteye dahil edilmesiyle hazırlanmıştır. Mevcut reçetedeki hammadde dağılımları Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** İmalat Reçetesi Hammadde Oranları

Hammadde	Oran (%)
Gülücek Kili	57.71
Gülücek Kisti	19.47
Kınık Kisti	19.10
Kiremit Kırığı	3.72



**Şekil 16.** Kiremit Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin ve bünyenin pişmiş örnekleri

Şekil 16'da verilen görselde imalat reçetesi ve kullanılan killerin şekillendirilmiş işletme şartlarında sinterlenmiş örnekleri yer almaktadır. Elde edilen örneklerin renk ölçümleri yapılmıştır. Renk ölçüm sonuçları tablo 6,7 ve 8'de verilmektedir. Kiremit hammaddelerinin karışım oranları değiştirilerek yapılması planlanan yeni reçetelerin renk değerlerinin imalat reçetesindeki renk değerlerine yakın değerlerde olması ve kiremit pişme renginin bozulmaması sağlanmalıdır. Bu nedenle hazırlanan reçetelerde bu analiz sonuçları göz önüne alınmıştır. Renk ölçümlerinde  $\Delta E$  hesaplaması yapılabilmesi için referans olacak bir pişmiş kiremit numunesi gereklidir. Çalışmada pişmiş kiremit numunesi referansı için imalat reçetesi kullanılmıştır. Malzemenin değerleri üzerinden  $\Delta E$  hesaplaması tabloda verilmiştir. Elde edilen verilerden a\*kırmızılık değeri en yüksek olan kınık kisti hammaddesinin  $\Delta E$  değerlerinin diğer hammaddelere göre düşük olduğu ve renk değerlerinin yapıda yer alan minerallerden kaynaklandığı ve bu minerallerin mikroyapıda meydana gelen değişimler hakkında yol gösterici olabileceği öngörülmektedir. Yapıda demir kırmızı renge neden olurken kalsit içeriklerinin yapıda sarı rengi arttıracığı ve diğer safsızlıklarında yapıda mavilik b\* (-) yönde değişime neden olduğu tablolarda görülmektedir [19].

Tablo 6. İmalat ve hammaddelerin renk değerleri

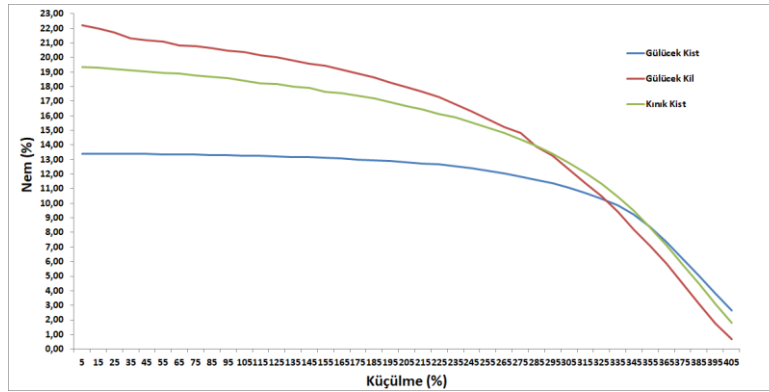
	Gülücek Kil	Gülücek Kist	Kınık Kist	İmalat
L	37.84	51.12	48.51	45.83
a*	17.54	17.73	19.25	18.85
b*	20.29	29.81	24.86	24.06
ΔE	8.931355	7.893098	2.825314	

Renk ölçümlerinde L (Lightness Brightness) Açıklık Koyuluk. a\* Kırmızılık-Yeşillik ve b\* değeri ise Mavilik-Sarılık değerlerini vermektedir. Tablo aşağıdaki gibidir.

Tablo 7. Renk ölçümlerinde L a\* b\* sembollerinin karşılığı

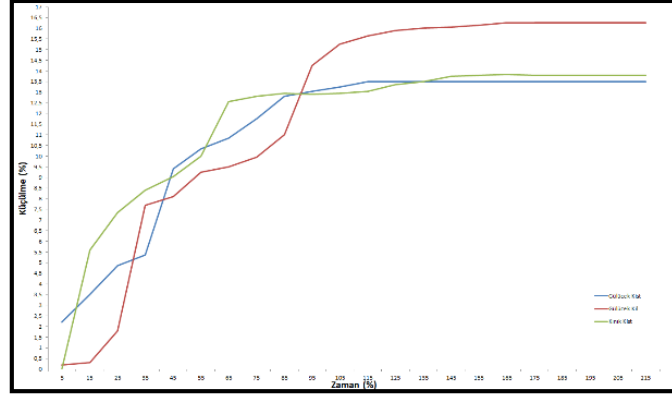
	-	+
L	Siyahlık artar	Beyazlık artar
a*	Yeşillik artar	Kırmızılık artar
b*	Mavilik artar	Sarılık artar

Kiremit üretiminde doğal kurutma ile kurutulan kiremitlerde kullanılan hammaddelerin farklı kuruma zamanlarında olmasından ve farklı kuru küçülme değerleri göstermesinden dolayı çatlak oluşumları meydana geldiği belirlenmiş ve yapılan analizler çatlakların nasıl oluşabileceğini açıklamak için yapılmıştır. Yapılan hammadde analizlerinin sonuçlarını birlikte değerlendirmek için veriler tek bir tabloda grafiklendirilmiştir. Sonuçta Şekil 17, 18 ve 19’de verilen grafikler elde edilmiştir. Verilerin birbiri ile kıyaslanması açısından önceki aşamalarda elde edilen sonuçlar tek bir grafikte toplanarak tek tek incelemenin yanı sıra kümülatif değerlendirme imkânı elde edilmiştir.



Şekil 17. Bigot Eğrisi

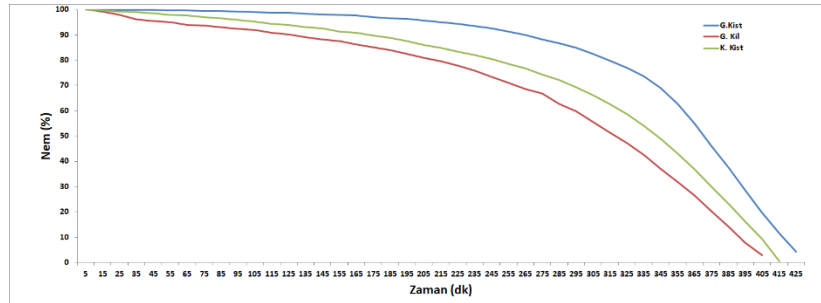
Hammaddelerin küçülme–nem kaybı eğrilerine bakıldığında laboratuvarında yapılan deneysel sonuçlara göre Gülücek Kisti 105 dakikada, Gülücek Kili 245 dakikada ve Kınık Kisti 265 dakikada küçülme – nem kaybı eğrilerinin çakıştığı görülmüştür. Bu çakışma küçülmenin bitmiş olduğunu fakat maksimum küçülme değerine ulaştıktan sonra bünyenin su bıraktığını göstermektedir. Gülücek Kistindeki çakışmada maksimum küçülmeye neminin yalnızca %1.04’ünü bırakarak geldiği görülmektedir. Bu aşamadan sonra nem 315 dakikada bünyeden çıkmaktadır. Aynı şekilde hemen hemen yakın zamanlarda küçülme – nem kaybı eğrilerinin çakıştığı gözlemlenen Kınık Kisti ve Gülücek Kilinde maksimum küçülmelerini tamamladıklarında Gülücek kilinde %13.69, Kınık Kistinde ise %8.73 oranında nem atabilmişlerdir.



Şekil 18. Küçülme Zaman Grafiği

Kuru küçülme değerlerine bakıldığında Gülücek Kilinin % 8.7 küçüldüğü, Kınık Kistin % 6.8 küçüldüğü ve Gülücek Kistin % 1.8 oranında küçüldüğü görülmüştür. Yukarıdaki veriler ile karşılaştırıldığında, yalnızca bu analiz için, yakın küçülme değerlerine sahip olan Gülücek Kili ve Kınık Kistin imalat reçetesi içerisinde küçülme ve nem atabilme yeteneklerinin birbirine yakın olduğu ve yalnızca iki hammaddeden yapılabilecek reçetede çatlak riskinin mevcut imalat reçetesine göre daha az olduğu tespiti yapılmıştır. Fakat Gülücek Kistin su bırakma özelliği ve küçülme değerinin de diğer hammaddelere göre az olmasından dolayı bünye içerisinde çatlak oluşumunu tetikleyebilecek hammadde olduğu söylenebilmektedir.

Şekil 19'da verilen karşılaştırmalı Nem – zaman eğrisinde görüldüğü gibi, tüm hammaddelerin eşdeğer zamanda nem atabilme yetenekleri farklıdır. 3 hammaddenin de nem atabilme yeteneklerinin farklı olması çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Gülücek Kistin su bırakma yeteneğinin zayıf olması uzun zaman aralıklarında suyunu atmasından dolayı ve küçülme grafiklerinde de diğer hammaddelere göre daha az küçülmesi, bünye içerisinde daha fazla su kalmasına sebep olmakta ve kuruma çatlaklarına sebep olmaktadır.



Şekil 19. Zamana Bağlı Nem Kaybı Eğrisi

Hammadde çalışmalarından alınan sonuçlara göre 4 farklı kiremit reçetesi yapılmıştır. Bu reçetelerde; Gülücek Kisti'nin kuruma eğrilerine bakıldığında kuruma eğrisinin diğer hammaddelere göre daha geç olduğunun ve reçete içerisindeki oranının da kuruma çatlaklarına sebebiyet verebileceği düşünülerek reçetelerdeki oranları düşürülmüştür.

#### IV.SONUÇLAR

Hammaddeler üzerine yapılan analizlerden elde edilen verilerden yola çıkılarak Tablo 7'de verilen reçete çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonrasında hammaddelere uygulandığı üzere reçetelerin bigot eğrileri ve diğer parametreleri ölçülerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 8. Deneme Reçeteleri

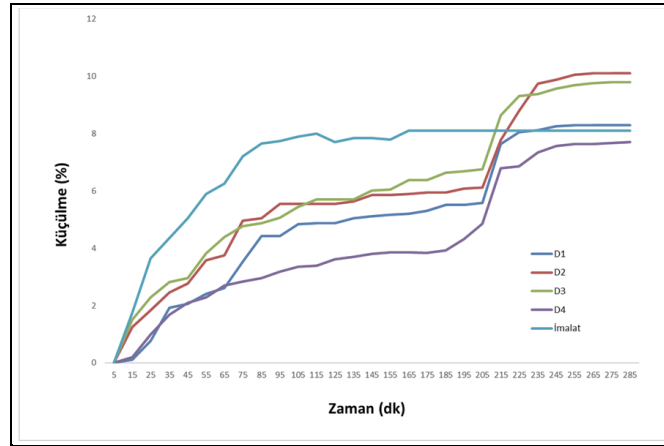
	Mevcut İmalat (%)	D1 (%)	D2 (%)	D3 (%)	D4 (%)
Gülücek Kil	57.71	58	62.5	67	58
Gülücek Kist	19.47	12.5	9.5	9.5	10
Kınık Kist	19.10	26	24.5	20	28.5
Kiremit Kırığı	3.72	3.5	3.5	3.5	3.5
Toplam	100	100	100	100	100

Gülücek Kisti yapılan deneysel çalışmalardan sonra bünyesinde tuttuğu nemini diğer hammaddelere göre daha çabuk atması, kuru küçülme değerinin diğer hammaddelere göre daha düşük olmasından kaynaklı olarak neminin yalnızca %1.04'ünü bırakarak maksimum küçülmeye geldiği gözlemlenmiş ve reçete denemeleri bu parametreler dikkate alınarak yapılmıştır. Yalnız Gülücek Kisti'nin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı diğer hammaddelere göre daha fazla olduğundan kiremitlerin kırmızılık değerlerinin değişebileceği öngörülmüştür.

Tablo 9. Denemeler Sonucunda Kiremitlerin ve Hammaddelerin Renk ve Ateş Zayıyatı Sonuçları

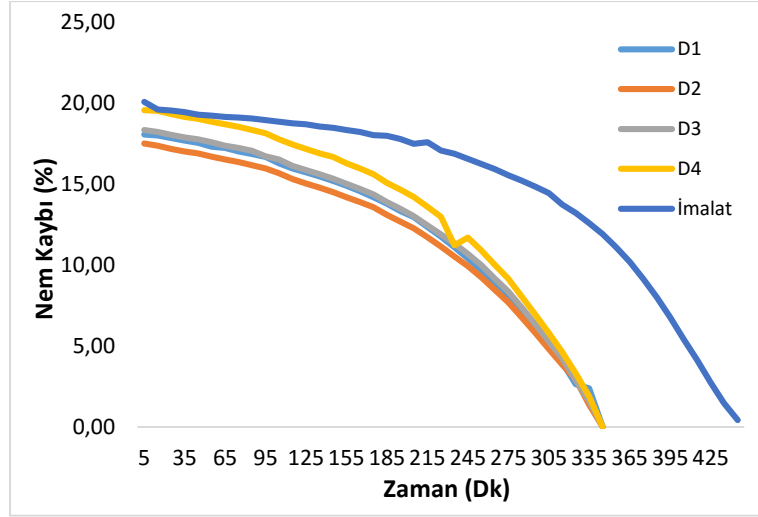
	Gülücek Kist	Gülücek Kil	Kinik Kist	İmalat	D1	D2	D3	D4
LOI	4.11	6.5	6.13	6.09	6.12	6.22	6.27	6.34
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
L	51.12	37.84	48.51	45.83	47.9	48.53	45.85	47.54
a*	17.73	17.54	19.25	18.85	15.98	16.69	16.6	17.25
b*	29.81	20.29	24.86	24.06	19.47	20.8	21.44	23.19
ΔE	7.893098	8.931355	2.825314	Referans	5.795679	4.752178	3.453592	2.498199

Deneysel çalışmalar bilgi, tasarım ve ayrıca üretim yöntemlerinin de gizliliği açısından herhangi bir kalıp veya kiremit numunesinin pişmiş veya şekillendirilmiş halleri kullanılmadan laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olup referans örneğe en yakın değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Yapıda yer alan demir yoğunluğu yüksek olduğu için yapıda su tutma kabiliyetini etkilediğini ve aynı zamanda a\* (kırmızılık) değerlerinin ise en iyi sonuç alınan D2 ve D3 reçetelerinde birbirine yakın olduğu diğer çalışmalarda farklı sonuçlar oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 20. Reçetelerin Küçülme – Zaman Grafiği

Hammadde denemelerinde kuru küçülmenin en düşük olduğu Gülücek Kistin'in %1.8 kuru küçülmesinin olduğu görülmüştür. Yapılan denemelerde Gülücek Kistin'in kuru küçülmesinin az olmasının reçete içerisindeki hammaddelerin küçülmelerinde dengesizlik yarattığı, kuru küçülme devam ederken malzemenin homojen olarak nemi atamadığından da kritik bölgelerde kuruma çatlakları olabileceği tespit edilmiştir. Reçetede oranları düşürülerek denemeler yapılmıştır. Gülücek Kistin'in reçetede oranının düşürülmesi kuru küçülmeyi arttırmaması beklenmiştir. Deneme 2 ve 3'te bu oranın yüksek olduğu görülmüştür.

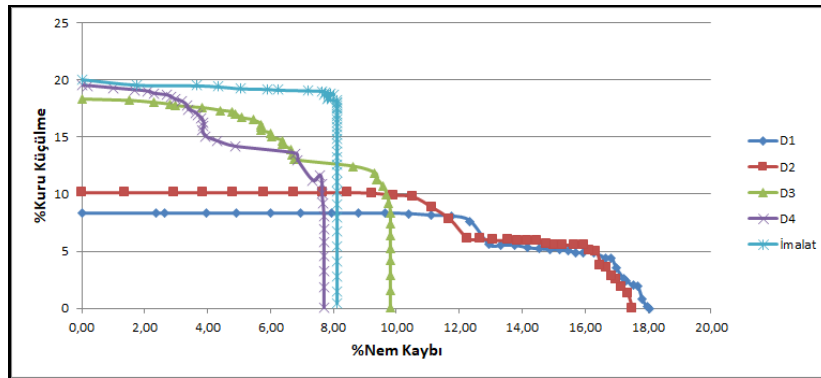


Şekil 21. Reçetelerin Nem Kaybı – Zaman Karşılaştırma Grafiği

Nem kaybı – Zaman grafiklerine bakıldığında, 100 °C’de yapılan kurutma çalışmalarında Gülücek Kistinin reçetelerdeki oranının azaldığında kiremitlerin daha çabuk kuruduğu. Gülücek Kistinin içerisinde su tuttuğunu göstermektedir. Killere göre kistlerin şekillendirme zorluğu ve içerisine aldığı nemi yapısında bulunan klorit ve klinoklardan ötürü bırakamaması kurutma süresinin de uzamasına etkindir. Özellikle klorit gibi  $\text{ClO}_2^-$  gibi bir yapıda olmasından ötürü sistemde su ile girdiği reaksiyonda kireç oluşumunu tetiklediği ve şişerek suyu bırakmadığı teorik olarak açıklanabilmektedir [6]. Reçetelerde  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oranının fazla olduğu Gülücek Kistinin tamamen çıktığında  $a^*$  değerinin düşeceği bilindiği için reçetede oranı %50 azaltılmıştır. Hammaddelerin nem atabilme yetenekleri birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu hammaddelerin iki tipi kist biri de kildir. Killerin nemini atarken plastiklikleri yüksek olduğundan homojen nem atabilme ve tabakaları arasında suyu rahat bırakabilme özelliklerinden dolayı reçete denemelerinde kil oranı artırılarak yapılan Deneme 2 ve 3 reçetelerinde daha iyi ve üretimde kuruma çatlaklarının daha az olacağı görülmüştür.

İmalat reçetesinin zamana bağlı küçülme grafiğinde kısa zaman içerisinde küçülmesinin bittiği, nem kaybı grafiği ile karşılaştırıldığında ise küçülme maksimuma geldiğinde nemini atmaya devam ettiği görülmüştür. Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak Gülücek Kistinin mineralojik özelliklerinden kaynaklı olarak bu duruma sebebiyet verdiği düşünülmüş ve reçetede kullanım oranı azaltıldığında kuru küçülmenin daha uzun zaman diliminde olmasının üretimde de kuruma çatlaklarını kesilebileceğini göstermektedir.

Şekil 22’de tüm reçeteler için kuru küçülme ve nem kaybının birlikte verildiği grafik incelendiğinde üretimde Deneme 3 ve 4’ün denenebileceği. Mevcut reçetelerden verim alınmadığı takdirde Deneme 2’nin de üretimde uygulanabileceği öngörülmektedir.



Şekil 22. Reçetelerin Kuru küçülme –Nem Kaybı Grafiği

Tablo 10’da yer alan teorik plastisite değerlerinin de pfefferkorn plastiklik testi eğrilerden hesaplanması yapılmıştır. Bu kapsamda teorik plastisitenin reçetede Gülücek Kisti oranının azalması ile arttığı görülmüştür. Plastiklik oranının artmasının üretimde şekillendirme ve kurutma aşamalarında kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

**Tablo 10.** Reçetelerin Teorik Plastisite Değeri

	Teorik Plastisite
D1	319.52
D2	325.94
D3	319.26
D4	317.93
İmalat	239.4

**Tablo 11.** Yapılan Deneme Reçetelerinin Elek Analizleri

	D1	D2	D3	D4	İmalat
710	9.88	9.26	9.62	10	7.82
500	15.91	14.87	15.71	17.18	13.02
300	24.77	24.23	23.6	26.04	21.49
150	37.39	37.68	35.01	38.16	35.11
125	40.48	41.06	37.56	40.91	38.28
63	55.08	55.51	51.4	54.79	53.13
45	60.86	60.98	57.62	59.8	59.76
32	65.53	65.92	62.94	65.28	64.65

Tablo 11’de tane boyut analizleri incelendiğinde imalat reçetesinde 300 mikron altı tanelerin %73-78 arasında olduğu (D1: %75.23- D2: %75.77- D3: %76.4- D4: %73.96 ve imalat: %78.51) tespit edilmiştir. Tane boyu malzemenin bünyesindeki suyu sıcaklıkla dışarı verebilme kabiliyetini ve aynı zamanda küçülme değerlerinde etkili olduğu üzere incelemeler tablo 10’da verilmiştir. D3 ve D4 reçetelerinde değerlerin imalata yakın olduğu 300 ile 45 mikron aralığında tane partikül oranı açısından D2 -D3 ve D4 reçetelerinin ince tane boyut dağılımına sahip olduğu ve kurumaya neden olan kireç oluşumunun öğütme ile yapı içinde dağılmasına ve daha az sorun oluşturmaya neden olduğu öngörülerek bu açıdan avantaj oluşturacağı düşünülmektedir.

Kiremit üretiminde temel hammadde killer olduğu ve her geçen gün artan yeni hammadde arayışları doğrultusunda içerik olarak daha kompleks ancak maliyeti düşük kil ve türevi malzemelerin araştırılmasının önem kazandığı görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda malzemelerin kimyasal mineralojik ve fiziksel değişimlerinin birlikte değerlendirildiğinde çalışmada gözlemlendiği üzere rengin oluşumundan küçülmeye, nem miktarından kurumaya pek çok faktörün nihai ürün eldesini etkilediği sonucu elde edilmektedir [20]. Bu sonuçların literatürde bölge hammaddeleri için yol gösterici olacağı ve bu alanda pek çok işletmenin olduğu bölge kiremit sektörüne verileri ve sorunları değerlendirmede yardımcı olacağı öngörülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Ece Banyo Ar-Ge Merkezine çalışmada verdikleri desteklerden dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] Bacıoğlu. A. & Bacıoğlu. S. (2013). *Tuğla ve Kiremit /Üretim-Yatırım-İşletme*. Yaman Ofset.
- [2] İşlek. A. (2010). *Bayburt ilinin bazı endüstriyel hammaddelerinin karakterizasyonu ve tuğla-kiremit üretiminde kullanılabilirliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [3] Işık. İ. (2010). *Tuğla ve Kiremit Üretim Teknolojisi Ders Notları*. Yayınlanmamış. Kütahya.
- [4] Daday. M. & Kara. A. (2017). Development of using local raw materials deposits in Eskisehir region. Turkey. *J. Aust Ceram Soc* 53, 591–597.
- [5] Demirbilek F. (2007). *Kaolinitik ve illitik seramik killerinin farklı sıcaklıklarda mineralojik yapılarının. plastikliklerinin ve fiziksel özelliklerinin değişimi*. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [6] Uz. V. (2004). *İnorganik. Organik ve biyolojik bazlı ilavelerin killerin seramik özellikleri üzerine etkisi*. Doktora Tezi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [7] SERSA. (2021). Seramik Sağlık Gereçlerinde Kurutma.
- [8] Madan. E. (2014). *Seramik fırınlarında atık baca gazından enerji geri kazanımı ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı. Bilecik.
- [9] Oummadi. S., Nait-Ali. B., Alzina. A., Paya. M.C., Gaillard. J.M., Smith. D.S., (2020). *Optical method for evaluation of shrinkage in two dimensions during drying*



- of ceramic green bodies. *Open Ceramics*, 2.
- [10] Aungatichart. P. & Wada S. (2009). *Correlation between Bigot and Ratzenberger drying sensitivity indices of red clay from Ratchaburi province (Thailand)*. *Applied Clay Science* 43, 182–185.
- [11] Daday. M. (2015). *Ekstrüzyon ile hızlı pişirim terracotta dış cephe kaplaması üretiminde süreç parametrelerinin araştırılması* Doktora Tezi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı. Eskişehir.
- [12] Mancuhan. E., Özen. S., Sayan. P., & Sargut. S.T. (2016). *Experimental investigation of green brick shrinkage behavior with Bigot's curves*. *Drying Technology*. 2, 1-7.
- [13] Sokolar. R. & Nguyen. N. (2021). The Effect of Class C Fly Ash on the Plasticity and Ageing of Ceramic Mixtures Based on Kaolin. *Materials*, 14, 2761.
- [14] Vasic. M. R., (2022). Estimation of the drying behaviour for different clay raw materials – drying sensitivity techniques review. *Journal of Silicate Based and Composite Materials* 74(3), 88-93.
- [15] Uz. V., Işık. İ., Özdağ. H., Demirbilek. F., & Demirbilek. M., (2006). The preliminary study on the effect of plasticity and drying behaviour of extrusion formed clay for the tile&brick manufacturing. *D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 12, 105-116.
- [16] Çoban. F. (2004). Gümeli (İvrindi-Balikesir) talk oluşumlarının mineralojik. jeokimyasal özellikleri. *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi* 17(1).
- [17] Atasanov. A. (2005). Drying Properties of a Ceramic Mass Resistible to Aggressive Environment. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. 40(4) 311-314.
- [18] Güngör. E. (2005). *Seramik Sağlık Gereçlerinde Kurutma Hızını Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Odtü Fen Bilimleri Enstitüsü. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Ankara.
- [19] Uz. V., Işık. İ., Coşkun. N.D., Yener. S. & Çaşın. E., (2018). *Characterization of Commercial Clays Using in Ceramic Sanitaryware Sector*, SERES IV. International Ceramic, Glass, Porcelain, Enamel, Glaze and Pigment Congress, p. 191, October 10-12, Eskişehir Turkey.
- [20] İssi. A., Coşkun N.D., Tiryaki. V. & Uz. V., (2017).  *Casting and Sintering of Sanitaryware Body Containing Fine Fire Clay (FFC)*. *J. Aust. Ceram. Soc.* 53, 157-162.