

**Kırka Bor Atığının Porselen Döküm Massede Kullanılabilirliğinin Araştırılması**  
**Possible use of Kırka Boron Tailings in Porcelain Body**

G. Sağlam,  
*Kütahya Porselen, Kütahya*

Ö. F. Emrulloğlu  
*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Afyon*

**ÖZET:** Bu çalışmada Kırka bor atığının değişik hammaddelerle karıştırılarak kalsine edilmesinin sonucu sert porselen bünyesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Laboratuvar çalışmaları; ham ve atık malzemelerin karakterizasyonu, kalsinasyon deneyleri, döküm tekniği ile şekillendirme, kurutma, sinterleme ve nihai ürünlerin karakterizasyon aşamalarından oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar üç bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm, Kırka bor atığının, sert porselen üretiminde kullanılan hammaddelerle karıştırılarak kalsine edilmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Kalsinasyon çalışmaları sonucunda ideal reçete olarak belirlenen ve % 67,5 oranında Kırka bor atığı içeren reçete ikinci bölüm çalışmalarında kullanılmak üzere çoğaltılmıştır. İkinci bölüm çalışmalarında, ideal reçete olarak belirlenen kalsine edilmiş malzeme, porselen döküm massesine % 0, % 2, % 4, % 6, % 8, % 10 gibi artan oranlarda katılmıştır. Üçüncü aşamada; Porselen plastik masse reçeteleri ile elde edilen numunelere deformasyon, kuru mukavemet, çekme, porozite ve su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak kalsine malzemenin değişik oranlarda bünyeye katılması ile hazırlanan reçetelerle porselen örnekler elde edilmiştir. Bu örneklerin katkısız porselen örneklerle ve birbirleriyle mukayese edilmesi sağlanmıştır.

**ABSTRACT:** In this study the usability of Kırka boron wastes by mixing with different materials in hard porcelain body was investigated. The laboratory work essentially consists of characterization of the raw and tailing materials, calcination experiments, shaping by slip casting, sintering and characterization of the final products. Experimental studies consist of three steps. The first step consists of the studies of calcination of Kırka boron waste with hard porcelain raw materials. The ideal recipe containing 67,5 % Kırka boron waste which was determined from the first step studies was prepared to use in the second section studies. In the second step; the calcined material obtained as ideal recipe in the first step studies was added to the slip casting body in the increasing amounts of 0, 2, 4, 6, and 10 %. In the third step; deformation, green strength, shrinkage, porosity and water absorption tests were applied to the sintered samples. As a result porcelain samples were obtained by adding the calcined material in different proportions. These samples were compared with porcelains bodies without calcined material and among each other.

## **1. GİRİŞ**

Dünya bor rezervlerinin %65'i ülkemizde bulunmaktadır. Bor rezervlerimiz Eskişehir, Kütahya, Bursa ve Balıkesir illeri çevresinde bulunmaktadır.

Etibor Kırka Boraks İşletmesinin üretimi başlamasından günümüze kadar 1.000.000 ton'a yakın tesis atığı gölette toplanmıştır.

Bor atıklarının seramik bünyelerde, sırlarda ve yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi üzerine son senelerde yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Etibank Kırka Boraks İşletmesi konsantratör atığının (EKBİKA) duvar karosu sırlarında K-feldspat yerine kullanılması üzerine yapılan çalışmada sır reçetesindeki K-feldspatın yaklaşık %89'unun yerini alabileceği (Karasu ve ark., 2002), firtleştirilmiş EKBİKA 'nın yer karosu sırlarının

*G. Sağlam, Ö. F. Emrulloğlu*

etkisi üzerine yapılan araştırmada ise ticari olarak kullanılan bir yer karosu firit reçetesine değişen oranlarda katılarak üretilen firitin hızlı pişirim koşullarına tamamen uyum gösterdiği anlaşılmıştır (Karasu ve ark., 2002).

Etibor Kırka Boraks İşletmesi DSM elek üstü atığının (EKBİDSMEÜA) yer karosu bünye özelliklerine etkisini araştırmak için yapılan çalışmada % 5 bor atığı katkı numunelerin 1200 °C 'de sinterlenmesi sonucu elde edilen ürünlerin su emme değerlerinde önemli düşüşler görülmüştür (Emrulloğlu ve ark., 2002).

EKBİKA ve türev atıklarının duvar karosu üzerine etkisini araştırmak için yapılan çalışmada atığın reçetede % 10 oranında kullanılabilceği anlaşılmıştır (Karasu ve ark., 2002).

EKBİKA'nın pres tuğla üretiminde ergitici eleman olarak kullanımı üzerine yapılan çalışmada EKBİKA katkısının pişme sıcaklığı, su emme %'sini ve pamuklaşma miktarını düşürdüğü görülmüştür (Kavas ve ark., 2002). EKBİDSMEÜA ile mermer atıklarından 650 °C 'de pişen beyaz tuğla üretilmiştir (Emrulloğlu ve ark., 2002). Diğer çalışmalar ise Demir ve ark., 2002; Ediz ve ark., 2002; tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada bor üretimi sonucu atık olarak ortaya çıkan, çevre kirliliği ve stoklama sorardan yaratan EKBİDSMEÜA 'nın porselen döküm massesinde kullanım imkanları araştırılmıştır (Sağlam, 2003).

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

*Hindistan Feldspat:* Kütahya Porselen Sanayii'nden temin edilmiş olup kimyasal analizi Çizelge 1 'de, tane boyut dağılımı da Çizelge 2 'de sunulmuştur.

*Grolleg Kaolen:* Kütahya Porselen Sanayii'nden temin edilmiş olup kimyasal analizi Çizelge 1 'de, tane boyut dağılımı da Çizelge 2 'de sunulmuştur..

*Kuvars:* Çine kuvars Kütahya Porselen Sanayii'nden temin edilmiş olup kimyasal analizi

Çizelge 1 'de, tane boyut dağılımı da Çizelge 2 'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan ham ve atık malzemelerin kimyasal bileşimleri

Bileşen	Hindistan Feldspat	Grolleg Kaolen	Kuvars	Kırka Bor Atığı	Torna Atığı
SiO <sub>2</sub>	67.69	46.47	99.14	12.55	61.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.74	37.98	-	0.98	25.69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.68	0.01	0.38	0.46
CaO	0.18	0.12	0.28	14.72	0.25
MgO	0.03	0.26	0.20	10.90	0.23
Na <sub>2</sub> O	2.33	0.09	0.13	4.18	0.65
K <sub>2</sub> O	10.56	1.99	0.12	0.76	3.25
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.09	eser	0.10	0.11
SO <sub>3</sub>	-	0.16	-	-	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	20.96	-
AZ	0.30	12.16	0.12	34.37	7.26

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan ham ve atık malzemelerin tane boyut dağılımları

Tane Boyutu (mikron)	Hindistan Feldspat	Grolleg Kaolen	Kuvars	Kırka Bor Atığı	Torna Atığı
+ 75	1.04	-	3.96	4.98	1.32
-75+63	1.29	-	3.76	0.90	1.26
-63+45	4.78	0.09	10.95	1.69	3.82
-45+22	20.00	2.84	30.50	3.79	12.58
-22+10	25.98	18.74	25.06	5.70	21.23
-10	46.93	78.33	25.77	82.94	59.79
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

*Kırka Bor Atığı:* DSM elek üstü atığının kimyasal analizi Çizelge 1 'de, tane boyut dağılımı da Çizelge 2 'de sunulmuştur.

*Torna Atığı:* Kütahya Porselen Sanayii'nden alınmıştır. Sert porselen massesine uygun olarak hazırlanan, değirmende öğütülen, filtre pres ve vakum preslerden geçirilen çamurun fincan ve tabak tormalarında şekillendirilmesi sırasında torna bıçağı yardımı ile alınan fazlalık kısmıdır. Bu malzeme, porselen sektöründe ya döküm ya da plastik masse hazırlamada kullanılmaktadır.

Bu malzemenin kimyasal analizi Çizelge 1 'de, tane boyut dağılımı da Çizelge 2 'de sunulmuştur.

**2.2. Kırka Bor Atığı İçeren Reçetelerin Kalsinasyon Denemeleri:**

Porselen bünyeyi oluşturan kaolen, kuvars, feldspat üçlüsü içinde kırka bor atığının değerlendirilebilmesi amacı ile birinci adım olarak kırka bor atığı ve feldspat %'leri sabit tutularak kuvars ve kaolen oranlarının değiştirildiği reçeteler hazırlanmıştır. Hazırlanan reçeteler ve kalsinasyon sıcaklıkları Çizelge 3 ve 4'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Birinci adım kalsinasyon denemeleri için hazırlanan reçeteler

Reçete Kodu	Bor An» %	Feldspat %	Kaolen %	Kuvars %
KQ1	50	20	30	0
KQ2	50	20	25	5
KQ3	50	20	20	10
KQ4	50	20	15	15
KQ5	50	20	10	20
KQ6	50	20	5	25
KQ7	50	20	0	30

Çizelge 4. Birinci adım kalsinasyon denemeleri için hazırlanan reçetelerin kalsinasyon sıcaklıkları.

Reç. Kodu	Kalsinasyon Sıcaklıkları (°C)					
	500	600	700	800	900	1000
KQ1	KQ15	KQ16	KQ17	KQ18	KQ19	KQ110
KQ2	KQ25	KQ26	KQ27	KQ28	KQ29	KQ210
KQ3	KQ35	KQ36	KQ37	KQ38	KQ39	KQ310
KQ4	KQ45	KQ46	KQ47	KQ48	KQ49	KQ410
KQ5	KQ55	KQ56	KQ57	KQ58	KQ59	KQ510
KQ6	KQ65	KQ66	KQ67	KQ68	KQ69	KQ610
KQ7	KQ75	KQ76	KQ77	KQ78	KQ79	KQ710

Hazırlanan her reçete, içerisinde 50 gr alumina öğütme bilyası bulunan laboratuvar tipi jet değirmende 15 dakika süre ile öğütülerek karışım homojenize edilmiştir. Değirmenlerden alınan 300 gr'lık kalsinasyon numuneleri altı değişik sıcaklık aralığında kalsinasyon işlemine tabi tutulmak üzere her biri 45 gr olan 6 eşit parçaya bölünmüştür.

KQ 48; 4 numaralı reçetenin 800 °C 'de,  
KQ 710; 7 numaralı reçetenin 1000°C 'de kalsine edildiğini göstermektedir.

Kalsinasyon işlemleri Bentrup TC-60/8 Model Panasonic marka laboratuvar tipi elektrikli kamara fırında gerçekleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı 10

°C/dak. hızla artırılmış ve maksimum sıcaklıkta 10 dakika bekleyecek şekilde programlanmıştır.

**2.3. Sabit Bor Atığı İçeren Reçetelerin Kalsinasyon Denemeleri:**

Birinci adım kalsinasyon denemeleri sonucunda en iyi sonuç veren reçete olarak seçilen KQ59 kodlu reçetede % 50 oranından başlatılarak beşer puan indirilmiştir. Feldspat ise KQ59 ile dönüşümlü olarak % 0 'dan başlatılmış ve beşer puan artırılarak % 30 oranına yükseltilmiştir. Hazırlanan 2. adım reçeteler ve kalsinasyon sıcaklıkları Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 5. İkinci adım kalsinasyon reçeteleri

Reçete kodu	Bor atığı %	Feldspat %	KQ59 %
KOF1	50	0	50
KQF2	50	5	45
KQF3	50	10	40
KQF4	50	15	35
KQF5	50	20	30
KQF6	50	25	25
KQF7	50	30	20

Çizelge 6. İkinci adım kalsinasyon denemeleri için hazırlanan reçetelerin kalsinasyon sıcaklıkları.

Reç. Kodu	Kalsinasyon Sıcaklıkları (°C)					
	500	600	700	800	900	1000
KOF1	KQF15	KQF16	KQF17	KQF18	KQF19	KQF110
KQF2	KQF25	KQF26	KQF27	KQF28	KQF29	KQF210
KQF3	KQF35	KQF36	KQF37	KQF38	KQF39	KQF310
KQF4	KQF45	KQF46	KQF47	KQF48	KQF49	KQF410
KQF5	KQF55	KQF56	KQF57	KQF58	KQF59	KQF510
KQF6	KQF65	KQF66	KQF67	KQF68	KQF69	KQF610
KQF7	KQF75	KQF76	KQF77	KQF78	KQF79	KQF710

Hazırlanan her reçete, içerisinde 50 gr alumina öğütme bilyası bulunan laboratuvar tipi jet değirmende 15 dakika süre ile öğütülerek karışım homojenize edilmiştir. Değirmenlerden alınan 300 gr'lık kalsinasyon numuneleri altı değişik sıcaklık aralığında kalsinasyon işlemine tabi tutulmak üzere her biri 45 gr olan 6 eşit parçaya bölünmüştür.

**2.4. Kalsinasyon Denemeleri Sonucu Elde Edilen İdeal Reçetenin Porselen Döküm Massesine Uygulanması:**

Kalsinasyon denemeleri sonucu ideal reçete olarak belirlenen KQF48 kodlu reçetenin, porselen döküm

massesine ilave edilerek döküm yolu ile porselen ürünlerin şekillendirilmesi, pişirilmesi sonucu elde edilen ürünlere çeşitli testler uygulanmıştır.

KQF48 kodlu ideal kalsinae yon reçetesinin öğütme denemeleri yapılarak istenilen % 98 'lik 75 mikron altı değerine ulaşması sonucunda, bu malzemenin porselen döküm massesine katılımı denemelerine başlanılmıştır. Döküm massesi hazırlamada ilk olarak % o katkılı (katkısız) normal işletme şartlarındaki döküm massesi hazırlanmıştır.

Porselen döküm massesi, plastik çamut ile üretim yapan tornaların "torna atığı" diye belirtilen atıkların hızlı bir mikser içerisinde su ile karıştırılması sonucu üretilmiştir. Bu yöntemle hazırlanan döküm massesinin litre ağırlığını yükseltmek ve vizkozitesini düzenlemek amacı ile elektrolit olarak cam suyu kullanılmıştır. Yapılan döküm massesi denemelerinin tümünde 1.5 kg kuru madde miktarı olacak şekilde ön hazırlık yapılmış, hazırlanan döküm massesi reçetelerine % 2, 4, 6, 8 ve 10 oranlarında KQF48 kodlu karışımdan eklenmiştir. Elde edilen DM 01, DM 02, DM 03, DM 04, DM 05 ve DM 06 kodlu döküm massesi reçetelerini Çizelge 7'de sunulmuştur.

Çizelge 7. KQF 48 Katkılı Döküm Masse Reçeteleri

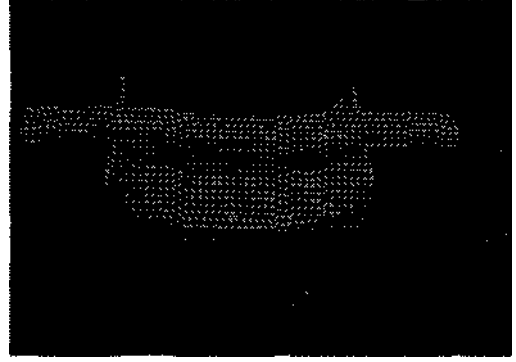
Reçete Kodu	Torna Atığı		KQF48	
	%	Gr.	%	Gr
DM01	100	1500	0	-
DM02	98	1470	2	30
DM03	96	1440	4	60
DM04	94	1410	6	90
DM05	92	1380	8	120
DM06	90	1350	10	150

1.5 kg kuru madde üzerinden hesaplanan reçetelere 700 cc su kullanılmıştır. Laboratuvar tipi mikserde döküm massesi hazırlamada elektrolit olarak 3.75 cc cam suyu katılmıştır.

#### 2.5. İdeal Kalsinasyon Reçetesi Katkılı Porselen Döküm Ürünlerine Uygulanan Testler;

Hazırlanan her reçeteden, kuru mukavemet, toplam çekme, bisküvi porozite ve bisküvi su emme testlerinin yapılabilmesi amacı ile dörder adet deneme çubukları ve birer adet porselen fincan dökülmüştür.

**Deformasyon Testi:** Hazırlanan döküm çamurundan boyu 300 mm, eni 32 mm ve yüksekliği 10 mm olan alçı kalıp kullanılarak deformasyon çubukları üretilmiştir. Şekil 1 de deformasyon testinde kullanılan deformasyon ayağı ve çubuğu görülmektedir.



Şekil 1. Deformasyon testinde kullanılan deformasyon ayağı ve çubuğu

Şekillenen parçanın üzerine numune ismi yazılır. Alçı kalıptan çıkarılan çubuklar, üzerine ince bir karo plaka konularak 2 saat oda sıcaklığında bekletilir. Oda sıcaklığında kurutulan çubuklar önce 60 °C 'de 2 saat, sonra 110 °C 'de 24 saat olmak üzere etüvde kurumaya bırakılır. Etüvden alınan çubuklar şekil 1 'de görüldüğü gibi özel olarak hazırlanan deformasyon ayağının üzerine her iki uçtan 7 cm bırakılacak şekilde oturtulur. Hazırlanan bu düzenek, fırın arabasının üst plakasının orta kısmına yerleştirilerek, sırt fırınına verilir. Ayak çizgileri işaretlenerek iki nokta bir cetvel yardımı ile birleştirilerek düz çizgi ile eğri arasındaki yükseklik mm olarak tayin edilir.

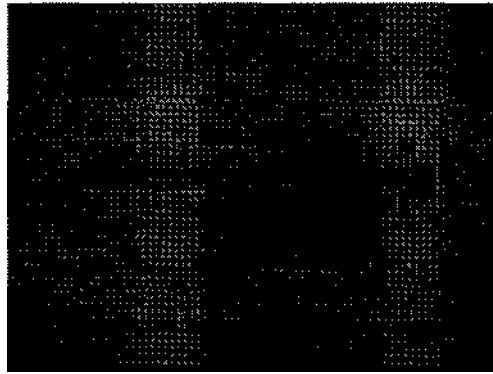
**Kalınlık Alma Testi :** Porselen sofraya eşyası üretiminde kullanılan şekillendirme tekniklerinden biri olan döküm yöntemi ile şekillendirmede kullanılan döküm massesinin kalınlık alma özelliği bu yöntemin en önemli kriterlerinden biridir.

Döküm çamurunun kalınlık alma özelliğinin istenilen değerde olması, ölçümlenen döküm massesinin, döküm performansını yükselterek, en kısa sürede en fazla üretimin yapılmasını sağlayacaktır. Bu da kalıp başına yapılan üretim verimliliğini artırarak, birim üretimdeki kalıp maliyetini düşürmektedir.

Çizelge 7 'de verilen dokum massesi reçetelenne göre hazırlanan dokum çamuru ile iki adet fincan kalıbına ayrı ayrı dokum yapılır Dokum öncesi fincan kalıplarının alçı kalıplar içm hazırlanan kurutuluculara 24 saat bekletilerek kurutulur

Dokum yapılan kalıplardan birinin içindeki dokum çamuru 10 dakika sonra, diğen 20 dakika sonra boşaltılır Kalıp içindeki fincanlar kurutulularak kalıptan çıkarılır Elde edilen fincanların kalınlıkları fincanın ayak kısmına yakın olan yerinden bir kumpasla ölçülür Elde edilen değerler dokum çamurunun 10 ve 20 dakika sonunda alçı kalıp üzerinde ne kadar et kalınlığı oluşturduğunu gösterir

**Kuru Mukavemet Testi** Kuru mukavemet testi içm 250 mm uzunluğunda, 22 mm eninde ve 18 5 mm denliğimde alçı kalıba dokum yapılarak çubuk numuneler üretilmiştir Bu numuneler deformasyon



test çubukları gibi aynı şartlarda kurutulmuştur Testlerde kullanılan cihaz Şekil 2 'de görülmektedir

Şekil 2 401 Model Netszsch Marka Kuru Mukavemet Test Cihazı

Çubukların Şekil 2'de verilen cihazda mukavemetine bakılır Sonuç aşağıdaki formülden hesaplanır

$$P = (3 PL) / (2bh^2)$$

F Kuru mukavemet (Eğilme muk) (kg/cm<sup>2</sup>)  
P Çubuğun kırıldığı anda cihazdan okunan değer (kırılma yuku) (kg)  
L İki mesnet arası mesafe (cm)  
B Çubuğun kırıldığı bölgedeki genişliği (cm)  
H Çubuğun kırıldığı bölgedeki kalınlığı (cm)

**Çekme Testi** Çekme testi için 300mmx32 mmx10 mm boyutlarında numuneler alçı kalıp kullanılarak üretilmiş ve benzer şekilde kurutulmuştur Çubuklar bisküvi ve sır fırınlarından geçirildikten sonra iki işaret arasında kalan mesafe kumpas yardımı ile ölçülmüştür Daha sonra aşağıda verilen formüller kullanılarak % bisküvi çekme ve toplam çekme değerleri hesaplanmıştır

$$\% \text{ Kuru çekme (KÇ)} = 100 \times (L_0 - L_1) / L_0$$

$$\% \text{ Bisküvi Çekme (BÇ)} = 100 \times (L_1 - L_2) / L_1$$

$$\% \text{ Toplam Çekme (TÇ)} = 100 \times (L_0 - L_3) / L_0$$

L<sub>0</sub> Kalıptan çıkan numunenin,

L<sub>1</sub> Kurutulmuş çubuğun,

L<sub>2</sub> Bisküvi fırından çıkmış çubuğun,

L<sub>3</sub> Sır fırından çıkmış çubuğun işaretli kısımlarının uzunlukları (mm)

**Porozite ve Su Emme Testi** Bisküvi fırından geçirilen deneme çubuklarından birer parça kesilir Kesilen bu parçalar hassas terazide tartılır (D), saf su dolu kaptan 2 saat süre ile kaynatıldıktan sonra su içinde tartımı yapılır (S), sudan çıkarılır, yüzeyi kurulanır ve tekrar tartılır (W) Tartım işlemleri bittikten sonra tek tek her bir parça içm porozite ve su emme değerleri aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır

$$V = W - S$$

V Hacim

$$P = 100 \times (W - D) / V$$

D Kuru Tartım (gr)

$$A = 100 \times (W - D) / D$$

P Porozite (%)

$$S \text{ su içinde tartım (gr)}$$

A Su emme (%)

$$W \text{ su emmiş tartım (gr)}$$

Porselen üretiminde en önemli işlemlerden birisi de sırlama işlemidir Porselen ürünlerin yüzey kalitesi ancak iyi bir bisküvi ürün ve iyi bir sırlama ile mümkündür İyi bir sırlama operasyonunun gerçekleşmesi de sırlanacak olan mamullerin su emme ve porozite değerlerinin istenilen limitler içerisinde olması ile mümkündür Bu nedenle porselen ürünlerde su emme ve porozite testleri daima bisküvi ürün üzerinde yapılır

**Etki Analiz Yöntemi Re Puanlama Tablosu**

Değişik oranlarda (% 0, 2, 4, 6, 8 ve 10) KQF 48 bor atığı kullanılarak elde edilen 6 değişik dokum massesi ile yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda hangi reçetenin sonuçlarının daha iyi olduğunu belirlemek amacı ile Kütahya Porselen

*G. Sağlam, Ö. F. Emrullahoğlu*

Sanayi tarafından geliştirilen ve kullanılan etki analiz yöntemi ile puanlama tabloları oluşturulmuştur.

Bu yöntemin uygulanmasında ilk aşama bütün reçetelere ait sonuçların bir araya getirilmesidir. Böylece oluşturulan tabloda döküm massesi reçetelerinin deformasyon, kalınlık alma (10' ve 20'), kuru mukavemet, küçülme (çekme), su emme ve porozite değerleri mukayeseli olarak verilmiş olacaktır. Döküm yöntemi ile porselen üretiminde kullanılan döküm masselerinde hassasiyetle aranan beş özellik için etki analiz yöntemi ile puanlama yapılmaktadır. Bu puanlama sonucunda her bir masse reçetesi için hesaplanan puan değeri, o reçetenin işletme şartlarındaki performansını belirlemektedir. Sonuçlar Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. Döküm massesi reçeteleriyle elde edilen örneklerin deformasyon, kalınlık alma ve kuru mukavemet puan tablosu

Ölçümlenen Test Değerleri			
Puan	Deformasyon	Kalınlık alma 10'	Kuru muk.
5	<5.9	>3.5	>36.0
4	6.0-8.9	3.0-3.4	34.0-35.9
3	9.0-11.9	2.5-2.9	32.0-33.0
2	12.0-14.9	2.0-2.4	30.0-31.9
1	15.0-17.9	1.5-1.9	28.0-29.9
0	18.0<	1.4>	27.9>

Çizelge 9. Döküm massesi reçeteleriyle elde edilen örneklerin deformasyon, toplam çekme ve porozite puan tablosu

Ölçümlenen Test Değerleri		
Puan	Toplam Çekme	Porozite
0	>12.96	>38.97
1	12.73-12.96	38.21-38.97
2	12.49-12.72	37.46-38.20
3	12.25-12.48	36.73-37.45
4	12.01-12.24	36.01-36.72
5	12.00	35.00-36.00
4	11.76-11.99	34.30-34.99
3	11.52-11.75	33.96-34.29
2	11.04-11.51	33.28-33.95
1	10.80-11.03	32.61-33.27
0	10.80>	32.61 >

### 3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

#### 3.1 Kalsinasyon Deney Sonuçları;

*Sabit Bor atığı ve Feldspat İçeren reçetelerin Deney Sonuçları;*

Çizelge 4 'de verilen sabit bor atığı ve feldspat içeren reçetelerin kalsinasyon işleminden sonra yapışma gösterip göstermediğini belirten sonuçlar Çizelge 10 'da verilmiştir.

Çizelge 10. Birinci adım kalsinasyon denemeleri için hazırlanan reçetelerin kalsinasyon sonuçları

Reç. Kodu	Kalsinasyon Sıcaklıkları (°C)					
	500	600	700	800	900	1000
KQ1	-	-	-	-	-	+
KQ2	-	-	-	-	-	+
KQ3	-	-	-	-	-	+
KQ4	-	-	-	-	-	+
KQ5	-	-	-	-	-	+
KQ6	-	-	-	-	Başlıyo	+
KQ7	-	-	-	-	+	+

: Yapışma yok, : Yapışma var.

Çizelge 10'da görüldüğü gibi 7 değişik kalsinasyon reçetesinde 500,600,700 ve 800 °C 'lerde hiç yapışma görülmezken, 900 °C 'de KQ6 'da yapışma başlamış ve KQ7 yapışmıştır. 1000 °C de sinterlenen tüm numunelerde yapışma olmuştur. Şekil 3 'de yapışma başlangıcının yaşandığı KQ6 numaralı reçetenin bütün kalsinasyon sıcaklıklarında elde edilen ürüne ait resimler verilmiştir.



Şekil 3. KQ6 kodlu reçetenin değişik kalsinasyon sıcaklık ürün görüntüleri.

Kalsinasyon işlemleri sonucunda hem yapışma olmaması ve hem de kalsinasyon sonrası elde edilen ürünün aldığı renk yönünden en uygun reçete KQ59 olarak belirlenmiştir. KQ59 kodlu reçete, yapışma göstermeden en yüksek sıcaklıkta kalsine edilebilen ve kalsinasyon işlemi sonrası rengi porselen liritimi için aranan renk olan beyaz olduğu için ideal reçete olarak belirlenmiştir.

Şekil 4. de Kırka bor atığının tek başına 900 °C 'de kalsine fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4. de Kırka bor atığının tek başına 900 °C 'de kalsine fotoğrafı görülmektedir;

Birinci adım kalsinasyon çalışmaları sonucunda ideal reçete olarak belirlenen KQ59 kodlu reçete, % 50 bor atığı + % 20 feldspat + % 10 kaolen + % 20 kuvars içeren bir açılıma sahiptir. Bu reçete ikinci adım kalsinasyon denemelerinde kullanılmak üzere çoğaltılarak 900 °C 'de kalsine edilmiştir.

#### Sabit Bor atığı İçeren reçetelerin Deney Sonuçları;

Kalsinasyon öncesi beyaz olan reçete karışımının rengi 500, 600 ve 700 °C 'lerdeki kalsinasyon işlemlerinden sonra birinci adım kalsinasyon işlemlerinin sonucunda olduğu gibi gri'ye dönmüştür. 800, 900 ve 1000 °C 'lerdeki kalsinasyon işlemlerinde ise beyaz renk elde edilmiştir.

Çizelge 11 'de ikinci adım kalsinasyon işlemleri sonucunda reçetelerin almış oldukları renkler verilmiştir.

#### Çizelge H, KQF Reçetelerinin Değişen Kalsinasyon Sıcaklıklarında Aldıkları Renkler

Kalsinasyon Sıcaklığı °C	Kalsinasyon sonrası oluşan renk
500	Gri
600	Koyu gri
700..	Açık-gri
«00	Beyaz
900	Beyaz
1000	Beyaz

Çizelge 5 'de verilen reçetelerin kalsinasyon işleminde sonra yapışma gösterip göstermediğini belirten sonuçlar ise Çizelge 12 'de verilmiştir.

Bu çizelge incelendiğinde tüm ikinci adım reçetelerinin 900 ve 1000 °C 'lık kalsinasyon numunelerinin- yapıştığı görülmüştür. 800 °C 'de yapılan kalsinasyon işleminde ise KQF 5, KQF 6 ve KQF 7 kodlu reçetelerde yapışma başlangıcı olduğu belirlenmiştir. KQF 4 kodlu reçeteden başa doğru gidildiğinde ise 800 °C ve daha düşük sıcaklıklara ait numunelerin hiçbirinde yapışma görülmemiştir.

Çizelge 12. ikinci adım kalsinasyon denemeleri için hazırlanan reçetelerin kalsinasyon sonuçları.

Reç. Kodu	Kalsinasyon Sıcaklıkları (°C)					
	500	600	700	800	900	1000
KOF1	-	-	-	-	+	+
KOF2	-	-	-	-	+	+
KOF3	-	-	-	-	+	+
KQF4	-	-	-	-	+	+
KQF5	-	-	-	Başlıyor	+	+
KQF6	-	-	-	Başlıyor	+	+
KQF7	-	-	-	Başlıyor	+	+

- : Yapışma yok, + : Yapışma var

ikinci adım kalsinasyon işlemleri sonucunda elde edilen 42 değişik numune\* yan yana dizilerek, birinci adım kalsinasyon işlemlerinin sonucunda olduğu gibi hem yapışma ve hem de reçetenin almış olduğu renk kriterlerine bakılmıştır. Bu çalışma sonunda ikinci adım kalsinasyon numuneleri içinde KQF 48 kodlu reçete ideal reçete olarak seçilmiştir. KQF48 kodlu reçete, % 50 bor atığı + 15 feldspat + % 35 KQ 59 içeren bir açılıma sahiptir. Bu reçeteden porselen döküm de kullanılmak üzere çoğaltılmıştır. KQF 48 kodlu reçete toplam olarak % 67.5 bor atığı, + % 22 feldspat + % 3.5 kaolen + % 7 kuvars içermektedir.

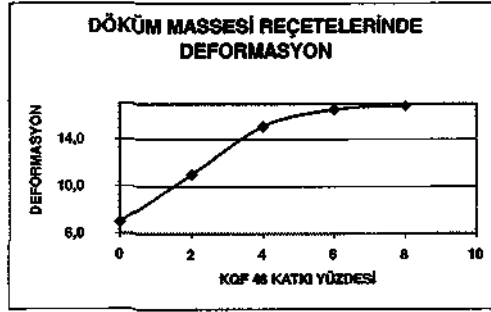
G. Sağlam, Ö. F. EmruUahoğlu

### 3.2. İdeal Kalsinasyon Reçetesinin Porselen Döküm Massesinde Uygulanmasına Ait Deney Sonuçları;

**Deformasyon Deneyi Sonuçları :** Deney sonuçları Çizelge 13 ve Şekil 5 'de verilmiştir.

Çizelge 13. Deformasyon deneyi sonuçları

Reç.kodu	Katkı (%)	Deformasyon (mm)
DM01	0	7.0
DM02	2	11.0
DM03	4	15.1
DM04	6	16.5
DM05	8	16.8
DM06	10	-



Şekil 5. Döküm massesi örneklerinin deformasyon grafiği

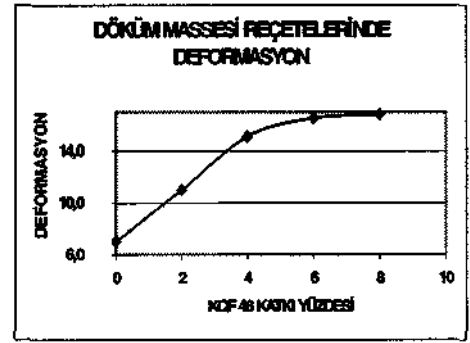
Katkısız döküm massesi ile yapılan deformasyon testinde 7 mm 'lık bir deformasyon değeri elde edilmiştir. % 2 KQF 48 bor atığı katkı DM 02 massesinde 11 mm 'ye yükselen deformasyon değeri, % 4 katkıda 15.1mm 'ye, % 6 katkıda 16.5 mm'ye ve % 8 katkıda ise 16.8 mm 'ye yükselmiş, % 10 katkı numune ise kalıba tamamen yapıştığı için ölçüm alınamamıştır.

**Kalınlık Alma Deneyi Sonuçları :** Deney sonuçları Çizelge 14 ve Şekil 6 'da sunulmuştur.

Çizelge 14 ve Şekil 6 'da verilen sonuçlar incelendiğinde En yüksek kalınlık alma değerine KQF 48 bor atığı içeren ( % 10) DM 06 kodlu reçetede ulaşılmıştır.

Çizelge 14. KQF48 Kodlu bor atığı kullanılarak > hazırlanan döküm masseleri ile elde edilen kalınlık alma değerleri

Reçete kodu	Katkı %	Kalınlık Alma	
		10 dk.	20 dk.
DM01	0	3.5	4.4
DM02	2	3.0	4.3
DM03	4	2.7	4.4
DM04	6	2.9	4.7
DM05	8	3.5	5.7
DM06	10	4.2	6.4



Şekil 6. Döküm massesi örneklerinin kalınlık alma grafiği

Porselen sofa eşyası üretiminde kullanılan şekillendirme tekniklerinden biri olan döküm yöntemi ile şekillendirmede kullanılan döküm massesinin kalınlık alma özelliği bu tekniğin en önemli kriterlerinden biridir.

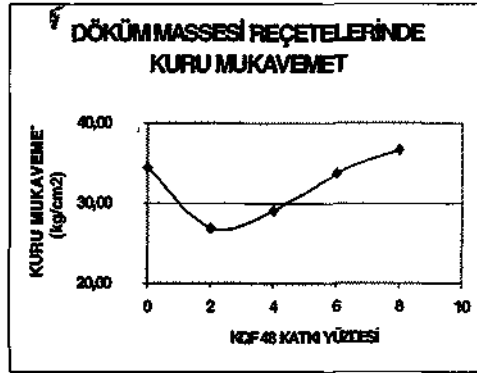
Çizelge 14 de verilen 10 ve 20 dakika kalınlık alma değerleri incelendiğinde % 8 bor atığı içeren DM 05 kodlu reçetenin 10 dakikalık kalınlık alma değerinin katkısız DM 01 kodlu reçetenin kalınlık alma değeri ile aynı olduğu görülmektedir. 20 dakikadaki kalınlık alma değeri ise yüksektir.

**Kuru Mukavemet Deneyi Sonuçları :** Deney sonuçları Çizelge 15 ve Şekil 7 'da sunulmuştur.



Çizelge 15. KQF 48 Kodlu bor atığı kullanılarak hazırlanan döküm masseleri ile elde edilen örneklerin kuru mukavemet değerleri.

Reçete kodu	Katkı miktarı (%)	KuruMuk. • (kg/cm <sup>2</sup> )
DM01	0	34.44
DM02	2	26.80
DM03	4	29.14
DM04	6	33.68
DM05	8	36.60
DM06	10	-

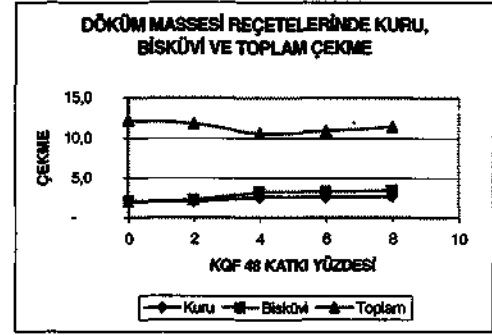


Şekil 7. Döküm massesi örneklerinin kuru mukavemet değişimi.

Çekme Deneyi Sonuçları : Deney sonuçları Çizelge 16 ve Şekil 8 'da sunulmuştur.

Çizelge 16. KQF 48 Kodlu bor atığı kullanılarak hazırlanan döküm masseleri ile elde edilen örneklerin çekme (küçülme) değerleri

Reçete kodu	Katkı (%)	Kuru Çekme (%)	Bisküvi Çekme (%)	Toplam Çekme (%)
DM01	0	2.0	2.1	12.2
DM02	2	2.1	2.3	11.8
DM03	4	2.6	3.2	10.6
DM04	6	2.6	3.3	10.9
DM05	8	2.7	3.4	11.4
DM06	10	-	-	-



Şekil 8 Döküm massesi örneklerinin kuru, bisküvi ve toplama çekme (küçülme) değişimi

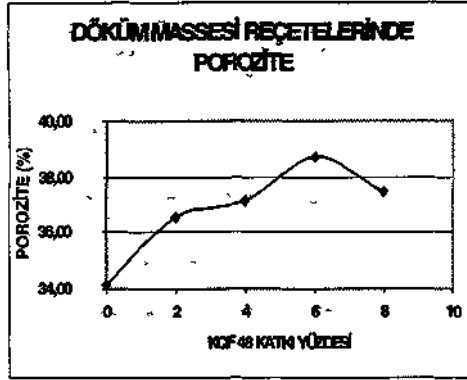
Şekil 8. de hazırlanan döküm masselerinin kuru, bisküvi ve toplam çekme (küçülme) grafiği görülmektedir. Ancak porselen sofraya üretilen nihai ürünün ebatları önemli olduğundan, daha ziyade toplam çekme (küçülme) üzerinde durulmaktadır.

Porozite Deneyi Sonuçları: Deney sonuçları Çizelge 17 ve Şekil 9 'da sunulmuştur.

Çizelge 17. KQF 48 Kodlu bor atığı kullanılarak hazırlanan döküm masseleri ile elde edilen örneklerin porozite değerleri

Reçete kodu	Katkı miktarı (%)	Porozite (%)
DM01	0	34.15
DM02	2	36.53
DM03	4	37.14
DM04	6	38.73
DM05	8	37.45
DM06	10	-

Katkı içermeyen DM 01 döküm massesi ile elde edilen numunenin porozite değeri % 34,15 çıkmıştır. % 2 katkı içeren DM 02, % 4 katkı içeren DM 03 ve % 6 katkı içeren DM 04 döküm masselerinde porozite değeri artış göstermiştir. % 8 katkılı DM 05 döküm massesinde ise porozite değeri azalmaya başlamıştır.

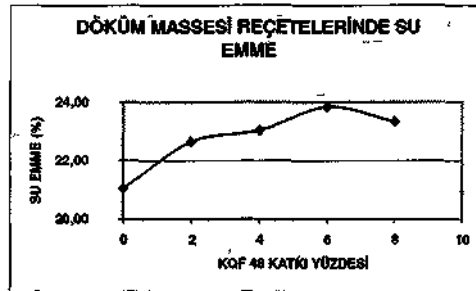


Şekil 9. Döküm massesi örneklerinin porozite değişimi

*Su Emme Deneyi Sonuçları* : Deney sonuçları Çizelge 18 ve Şekil 10 'da sunulmuştur.

Çizelge 18. KQF 48 Kodlu bor atığı kullanılarak hazırlanan döküm masseleri ile elde edilen örneklerin su emme değerleri

Reçete kodu	Katkı miktarı (%)	Porozite (%)
DM01	0	21,05
DM02	2	22,65
DM03	4	23,04
DM04	6	23,84
DM05	8	23,24
J5M06	10	-



Şekil 10. Döküm massesi örneklerinin su emme değişimi

Katkı içermeyen DM 01 döküm massesi ile elde edilen numunenin su emme değeri % 21,05

çıkmiştir. % 2 katkı içeren DM 02, % 4 katkı içeren DM 03 ve % 6 katkı içeren DM 04\* döküm masselerinde su emme değeri porozite değerinde olduğu gibi artış göstermiştir. % 8 katkıli DM 05 döküm massesinde ise su emme değeri azalmıştır.

*Etki Analiz Yöntemi ile En İyi Döküm Massesinin Belirlenmesi*: Döküm masselerinde hassasiyetle aranan kriterlerin hangi değer aralıklarında, hangi puanı alacakları Çizelge 19 'da verilmiştir. Bu çizelgede belirtilen değerler ve puanlar Kütahya Porselen Sanayii tarafından ortaya konulmuş değerlerdir.

Çizelge 19. Döküm massesi reçetelerinin puan tablosu.

Reçete Kodu	Değer Puan	D (mm)	KA (mm)	KM (kg/cm <sup>2</sup> )	TÇ (%)	P (%)
DM01	Değer	7,0	3,5	34,44	12,2	34,15
DM01	Puan	4	5	4	4	3
DM02	Değer	11,0	3,0	26,80	11,8	36,53
DM02	Puan	3	4	0	4	4
DM03	Değer	15,1	2,7	29,14	10,6	37,14
DM03	Puan *	1	3	1	1	3
DM04	Değer	16,5	2,9	33,68	10,90	38,73
DM04	Puan	1	3	3	1	1
DM05	Değer	16,8	3,5	36,60	11,40	37,45
DM05	Puan-	1	<5	5	2	3
DM06	Değer	-	4,2	-	-	-
DM06	Puan	-	5	-	-	-

D : Deformasyon, KA : Kalınlık alma (10'), KM : Kuru mukavemet TÇ : Toplam çekme P : Porozite

Çizelge 19. incelendiğinde hazırlanan döküm massesi reçetelerinden en yüksek puanı alan reçetenin 16 puanla % 8 KQF 48 bor atığı içeren DM 05 kodlu\* reçete olduğu görülmektedir. Bu reçetenin kriter olarak en zayıf tarafının deformasyon olduğu rahatlıkla görülmektedir. Üretim esnasında çok büyük önem arz eden 10' kalınlık alma ve kuru mukavemet puanlarının en yüksek değerde olduğu da yine Çizelge 19 dan belirlenebilmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

##### 4.1. Kalsinasyon Çalışmalarının Sonuçları

Bor atığı ve feldspatın sabit tutularak, kaolin ve kuvars oranlarının değiştirilmesi ile elde edilen bininci adım kalsinasyon reçeteleri, 900 °C nin üzerindeki kalsinasyon sıcaklıklarında yapışma görülmektedir.

Bor atığı sabit tutularak, feldspat ve birinci adım kalsinasyon çalışmaların sonucu ideal reçete olarak belirlenen KQ 59 oranlarının değiştirilmesi ile elde edilen ikinci adım kalsinasyon reçeteleri 800 °C de yapışma göstermeye başlamıştır. 900 ve 1000 °C lerde yapışma artmaktadır.

Birinci ve ikinci adım kalsinasyon çalışmalarında ancak 800 °C ve üzerindeki kalsinasyon sıcaklıklarında porselen üretiminde büyük önem arz eden beyaz renk elde edilmektedir.

Kalsinasyon çalışmaların sonucunda elde edilen KQF 48 kodlu reçete % 67,5 bor atığı içermektedir.

##### 4.2. Porselen Döküm Massesi Çalışmalarının Sonuçları

KQF 48 katkılı döküm massesi reçetelerinde katkı yüzdesi arttıkça, deformasyon değeri de artmaktadır.

KQF 48 katkılı döküm massesi reçetelerinde 10 dakikalık kalınlık alma değeri, katkısız reçeteye göre % 2, % 4 ve % 6 katkılı reçetelerde daha düşük olmaktadır. % 8 katkılı reçetede, katkısız reçete ile aynı olmakta; % 10 katkılı reçetede ise değer büyümektedir.

20 Dakikalık kalınlık alma değerlerinde ise % 2 katkılı reçete, katkısız reçeteye göre düşük, % 4 katkılı reçetede aynı, % 6 ve daha yüksek katkı oranlarında ise büyük olmaktadır.

KQF 48 katkılı döküm massesi reçetelerinde; % 2, % 4, % 6 katkı içeren reçetelerde, katkısız reçeteye göre daha düşük çıkan kuru mukavemet değeri, % 8 katkı içeren reçetede daha büyük olmaktadır.

KQF 48 katkılı döküm massesi reçetelerinde katkı oranı arttıkça. Jcru çekme ve bisküvi çekme değerleri de artmaktadır. Toplam çekme değeri ise, katkı tüm reçetelerde katkısız reçeteye göre daha düşük olmaktadır.

KQF 48 katkılı döküm massesi reçetelerinde, katkı tüm reçetelerin porozite ve su menime değerleri katkısız reçeteye göre daha büyük olmaktadır.

Yapılan etki analizi ile puanlama yöntemine göre, hazırlanan döküm massesi reçetelerinden en uygun olanı % 8 KQF 48 içeren DM 05 kodlu reçete olduğu belirlenmiştir.

##### Öneriler

Kırka bor atığının, porselen üretiminde kullanılan feldspat, kuvars ve kaolin- gibi hammaddelerle karıştırılarak kalsine edilmesi sonucunda elde edilen malzemenin değişik oranlarda kullanılması mümkün olmuştur.

Ancak bu malzemeyi kullanarak elde edilen porselen döküm çamurunda deformasyon oranı yüksek olmaktadır. -

Bu araştırmada sadece kırka bor atığının porselen bünyede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kırka bor atığından kaynaklanan deformasyonun önlenmesi amacıyla kırka bor atığı ve kuvarın birlikte porselen bünyede kullanılması araştırılarak deformasyonun önlenmesi aynı bir araştırma konusu olarak ele alınabilir.

Kırka bor atığının kimyasal analizi incelendiğinde bünyesinde fazla miktarda CaO, MgO ve Na<sub>2</sub>O bulunduğu görülmektedir. Dolomit ve feldspatik yapısından dolayı, kırka bor atığının, stone ware ve earthen ware gibi bünyelerde de kullanılabilirliği diğer bir araştırma konusu olarak düşünülebilir.

##### KAYNAKLAR

Karasu B., Kaya G. Ve Kozulu R. (2002) "Konsantre boraks atığının duvar karosu sınırlarında K-feldspat yerine kullanımı" 1 Uluslararası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh. 193-198

Karasu B., Gerede E. (2002) "Firitleştirilmiş boraks konsantre atığının yer karosu sırlarının özelliklerine etkisi" 1 Uluslar arası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh.198-201

Emrulloğlu Ö.F., Emrulloğlu C.B., Özçelik F. (2002) "Etibank Kırka Boraks atığının yer karosu bünye özelliklerine etkisi" 1 Uluslar arası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh.213-218.

Karasu B., Kaya G., Yurdakul H. (2002) "Etibank Kırka Boraks İşletmesi konsantre ve türev atıklarının duvar karosu bünye özelliklerine etkisi" 1 Uluslar arası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh.224-228.

Kavas T., Önce G. (2002) "Etibank Kırka Boraks İşletmesi konsantratör atıklarının pres tuğla üretiminde ergitici eleman olarak kullanılabilirliği" 1 Uluslar arası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh.219-223.

Demir İ, Orhan M.(2002) "Bor atıklarının yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi" 1 Uluslar arası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh.235-239.

Ediz N., Yurdakul H., İssi A.(2002) "Etibank Kırka Boraks İşletmesi DSM elek üstü atığının duvar karosu bünyesinde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması" 1 Uluslar arası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh.240-245.

Ediz N., Yurdakul H., İssi A.(2002) "Etibank Kırka Boraks İşletmesi DSM elek üstü atığının duvar karosu bünyesinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması" 1 Uluslar arası Bor Sempozyumu Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya. Sh.246-249.

Sağlam G. (2003) "Kırka Bor Atığının porselen bünyede kullanılabilirliğinin araştırılması" Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Bölümü Yüksek Lisans Tezi.