

**ATIK CAMLARIN YER KAROSU
ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

H.Özlem YURTSEVER (KARA)

Yüksek Lisans Bitirme Tezi

**Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran 2002**

**ATIK CAMLARIN YER KAROSU
ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

H.Özlem YURTSEVER (KARA)
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Seramik Mühendisliği
Anabilim Dalı
2002

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

H.Özlem YURTSEVER (KARA)'nın Yer Karosu Üretiminde Atık Camların Değerlendirilmesi başlıklı Seramik Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 10.06.2002 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı Soyadı

İmza

Üye: Doç. Dr. Servet TURAN (Danışman)

Üye: Doç. Dr. Bekir KARASU

Üye: Yard. Doç. Dr. Alpagut KARA

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
19.06.2022 tarih ve ...2.11.2.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Orhan ÖZER
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK CAMLARIN YERKAROSU ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

H.ÖZLEM YURTSEVER (KARA)

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Servet TURAN

2002, 60 sayfa

Çeşidi ne olursa olsun yeryüzünde bulunan atıklar, problem teşkil etmektedirler. Oluşan atıkların en verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada amaç, atık camların yer karosu üretiminde kullanılmasıdır. Cam atıklarının büyük çoğunluğu kullanılmış cam şişelerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Türkiye’de atık camlar sadece yeniden cam üretiminde kullanılarak ekonomiye kazandırılmaktadırlar. Buna karşılık bazı gelişmiş ülkeler başka değerlendirme alanları bularak ekonomilerine daha fazla katkıda bulunmaktadır. Atık cam ve seramik hammaddeleri kıyaslandığında kimyasal özellik olarak feldispatı yakın olduğu saptanmış ve atık cam yer karosu üretiminde feldispat yerine kullanılmıştır.

Yer karosu masse reçetesinde feldispat yerine değişik oranlarda (%10, 20, 30 ve 40) atık cam kullanıldığında, 1180°C olan pişirim sıcaklığı 1000-1100°C arasına düşürülebilmektedir. Sıcaklık azalması ile elde edilen enerji kazancı yaklaşık olarak % 25 civarındadır ve bu miktar yadsınmayacak kadar önemlidir. Deneyler sonucunda; elde edilen mukavemet, çekme, su emme gibi fiziksel test sonuçları atık camın yer karosu masse reçetesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Atık cam, Yer karosu, Feldispat, Pişirim sıcaklığı

ABSTRACT**Master of Science Thesis****USE OF WASTE GLASS IN FLOOR TILE MANUFACTURING****H.ÖZLEM YURTSEVER (KARA)**

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Ceramic Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Servet TURAN**2002, 60 pages**

Wastes are one of the most important environmental problem in the world and they must be recycled very efficiently. Glass is one of the waste and occur as a result of used bottles. In this study, use of waste glass in the manufacturing of floor tile is investigated. In Turkey, waste glasses are recycled either by reusing or remelting to produce glass again. However many developed countries use waste glass for higher added value products.

Waste glass has similarities to feldspar and therefore waste glass can be used instead of feldspar in ceramic industry especially in tile manufacturing.

The raw material containing different ratio of waste glass (10, 20, 30 and 40%) has decreased the firing temperature of floor tile from 1180 °C to around 1000-1100 °C. As a result, approximately 25 % of energy can be preserved. In addition to saving energy physical properties like strength and water absorption are better than conventional floor tiles.

Keywords: Waste glass, floor tile, feldspar, sintering temperature

TEŞEKKÜR

Çalışmam esnasında bana her zaman yardımcı olan ve çalışmamı yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Servet TURAN'a ve konu ile ilgili araştırmalarım yardımcı olarak çalışmalarımı hızlandırmamı sağlayan değerli eşim Özgür KARA'ya sonsuz teşekkürler.

H.Özlem YURTSEVER (KARA)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. SERAMİK HAMMADDELERİ	2
2.1. Feldispat	2
2.1.1. Feldispatların Seramik Ürünlerdeki Etkileri	3
2.2. Cam	4
2.2.1. Cam Türleri	5
2.2.1.1. Silikat Esaslı Camlar	5
2.2.1.2. Alkali Silikat Camları	5
2.2.1.3. Kireç Camları	5
2.2.1.4. Kurşun Camları	6
2.2.1.5. Bor Silikat Camları	6
2.2.1.6. Alümina Silikat Camları	6
2.2.1.7. Fosfat Camları	7
2.2.1.8. Hidrojen Bağlı Camlar	7
2.2.1.9. Halid Camları	7
2.2.1.10. Kalgojenit Camları	7
2.2.2. Kristalleşme	9

Sayfa No

3. YER KAROSU VE GRANİT ÜRETİMİ İLE ÜRÜN ÖZELLİKLERİ.....	12
3.1. Yer Karosu Üretimi ve Ürün Özellikleri.....	12
3.2. Granit Üretimi ve Ürün Özellikleri.....	13
4. ATIK CAMLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ.....	16
4.1. Atık Camların Oluşumu ve Geri Dönüşüm Miktarları.....	16
4.2. Atık Camların Diğer Kullanım Alanları.....	18
4.2.1. İnşaat Malzemesi.....	18
4.2.2. Dekoratif Malzeme.....	18
4.2.3. Beton Hammaddesi.....	18
4.2.4. Asfalt.....	18
4.2.5. Aşındırıcı.....	18
4.2.6. Su veya Sıvı Tutucu ve Katyon Değişirme Malzemesi	19
4.2.7. Filtre Malzemesi.....	19
4.2.8. Seramik ve Tuğla Hammaddesi.....	19
4.2.9. Metal Döküm Endüstrisinde Katkı Malzemesi.....	19
4.2.10. Boya ve Plastikte Dolgu Malzemesi.....	19
4.2.11. Hidroponik Malzeme.....	19
4.3. Atık Camların Granit Üretiminde Değerlendirilmeleri.....	20
4.3.1. Üretim Prosesi.....	20
4.3.1.1. Ayrılma İşlemi.....	20
4.3.1.2. Ezme İşlemi.....	21
4.3.1.3. Karıştırma İşlemi.....	21
4.3.1.4. Şekillendirme.....	21
4.3.1.5. Pişirme.....	21
4.3.1.6. Paketleme.....	21

	<u>Sayfa No</u>
4.3.2. Atık Camların Yer Karosu Üretiminde Kullanılmasının	
Avantajları.....	21
4.3.2.1. Hammadde Tasarrufu.....	21
4.3.2.2. Enerji Tasarrufu.....	22
4.3.3. Atık Cam Kullanılan Yerkarosu Bünyesinde Oluşan	
Kimyasal Reaksiyonlar.....	22
4.4. Amaç.....	23
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
5.1. Kullanılan Malzemeler.....	25
5.1.1. Kil.....	25
5.1.2. Feldispat.....	26
5.1.3. Mermer.....	26
5.1.4. Tüf.....	26
5.1.5. Bisküvi Kırığı.....	27
5.1.6. Beyaz Cam.....	27
5.1.7. Yeşil Cam.....	27
5.1.8. Kahverengi Cam.....	28
5.2. Kullanılan Cihazlar.....	28
5.3. Yer Karosu Bünyesi Hazırlama Süreçleri.....	29
5.3.1. Öğütme ve Çamur Hazırlama.....	29
5.3.2. Eleme.....	32
5.3.3. Kurutma ve Nemlendirme.....	32
5.3.4. Şekillendirme.....	32
5.3.5. Kurutma.....	32
5.3.6. Bisküvi Pişirimi.....	32
5.4. Bünyelere Uygulanan Testler ve Analizler.....	33
5.4.1. Elek Bakiye Tayini.....	33
5.4.2. Kuru ve Pişme Küçülmesi.....	34
5.4.3. Mukavemet Deneyi.....	35

	<u>Sayfa No</u>
5.4.4. Su Emme Deneyi.....	35
5.4.5. Aşınma Testi.....	36
5.4.6. XRD Analizi.....	37
5.4.7. SEM ve EDX Analizi.....	37
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	38
6.1. Masselerin Elek Bakiye Değerleri.....	38
6.2. Karoların Kuru ve Pişme Çekme Sonuçları.....	40
6.3. Karoların Ham, Kuru ve Pişmiş Mukavemetleri.....	43
6.4. Karoların Su Emme Miktarları.....	47
6.5. Karoların Aşınma Değerleri.....	49
6.6. SEM ve EDX Sonuçları.....	49
6.7. XRD Sonuçları.....	55
7. GENEL SONUÇLAR VE TAVSİYELER.....	56
8. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
3.1. Yer karosu üretim prosesi.....	12
3.2. Granit üretim prosesi.....	14
4.1. Atık cam kullanılarak üretimi yapılan yer karosunun üretim Prosesi.....	20
6.1. A ve B kodlu standart ve deneme masselerin elek bakiyeleri.....	39
6.2. A ve B kodlu standart ve deneme karoların kuru çekme değerleri.....	41
6.3. A ve B kodlu standart ve deneme karoların pişme çekme değerleri.....	42
6.4. A ve B kodlu standart ve deneme karoların ham mukavemet değerleri.....	44
6.5. A ve B kodlu standart ve deneme karoların kuru mukavemet değerleri.....	45
6.6. A ve B kodlu standart ve deneme karoların pişme mukavemet değerleri.....	46
6.7. A ve B kodlu standart ve deneme karoların su emme değerleri.	48
6.8. A, 20A ve 30A standart ve deneme yer karolarının aşınma değerleri.....	49
6.9. Standart yer karosunun 1180°C'de sinterlendikten sonra çekilmiş SEM görüntüleri.....	51
6.10. %30 atık cam içeren yer karosunun 1000°C'de sinterlendikten sonra çekilmiş SEM görüntüleri.....	52
6.11. %30 atık cam içeren yer karosunun 1075°C'de sinterlendikten sonra çekilmiş SEM görüntüleri.....	53
6.12. %30 atık cam içeren yer karosunun 1150°C'de sinterlendikten sonra çekilmiş SEM görüntüleri.....	54
6.13. 1000, 1100, 1180°C'de sinterlenmiş 30A bünyesi ile 1180°C'de sinterlenmiş standart A bünyesinin XRD paterni.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
2.1. Porselen ve seramikte hammadde olarak kullanılan feldispatta istenilen oksit miktarları.....	4
2.2. Cam oluşturan temel maddeler ve ergime sıcaklıkları.....	8
2.3. Cam ve sır renklendirici oksitleri ve bünyeye kazandırdıkları renkler.....	11
3.1. Yer karosu malzemesinin fiziksel özellikleri.....	13
3.2. Granit malzemesinin fiziksel özellikleri.....	15
4.1. Geri kazanım konusunda yapılan sanayii yatırımları (Şişecam Grubu / Cam Kırığı İşletme Tesisi).....	16
4.2. Avrupa ülkelerindeki cam geri dönüşüm oranları (1989).....	17
4.3. Feldispat ve beyaz, yeşil, kahverengi camların kimyasal analiz Önekleri.....	23
5.1. A ve B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan killerin kimyasal analizleri.....	25
5.2. A ve B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan Feldispatların kimyasal analizleri.....	26
5.3. B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan mermerin kimyasal analizleri.....	26
5.4. B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan tufün kimyasal analizleri.....	27
5.5. B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan bisküvi kırığının kimyasal analizleri.....	27
5.6. A ve B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan beyaz camın kimyasal analizleri.....	27
5.7. A ve B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan yeşil camın kimyasal analizleri.....	28
5.8. A ve B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan kahverengi camın kimyasal analizleri.....	28

	<u>Sayfa No</u>
5.9. A kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyeleri.....	30
5.10. B kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyeleri.....	30
5.11. A kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyelerinin seger değerleri.....	31
5.12. B kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyelerinin seger değerleri.....	31
7.1. Crystal Clay Şirketi'nin üretim esnasında elde ettiği enerji kazanç değerleri.....	57

1. GİRİŞ

Çeşidi ne olursa olsun atıklar çeşitli sorunlara sebep olmaktadır. teşkil etmektedirler. Atıklar genellikle bir ürünün üretilmesi esnasında ikinci bir ürün olarak veya ürünlerin kullanımından sonra atılması sonucu (örneğin, metal içecek kutuları, cam şişeler) ortaya çıkarlar. Atıkların en verimli şekilde ekonomiye tekrar kazandırılması ve miktarlarının azaltılması hem ekonomik hem de çevre sorunları açısından oldukça önemlidir. Türkiye’de 2001 yılında 300.000 ton cam üretilmiş 180.000 ton atık cam kontrol altında tutulmuş bunun 70.000 tonunun geri dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Cam atıkları ise şu anda Türkiye’de Şişecam Grubu’nun tekeli altındadır. Bu şirket topladığı atık camların geri dönüşümünü Gebze Kırık Cam Tesis ’lerinde yapmaktadır. Tek değerlendirme alanı ise, tekrar cam üretiminde kullanılmasıdır. Bu şekilde şu anda atık camların % 23’ü geri kazanılmaktadır. Dünyada bu konuda önde gelen ülkelerden Almanya’da ise bu oran % 79’dur. Gelişmiş bazı ülkeler atık camları sadece cam üretiminde değil değişik alanlarda da kullanılmaktadırlar.

Atık camlar tekrar cam üretiminde kullanılmalarının dışında; inşaat malzemesi, dekoratif malzeme, beton hammaddesi, asfalt malzemesi, aşındırıcı malzeme, su veya sıvı tutucu ve katyon değiştirme malzemesi filtre malzemesi, seramik ve tuğla hammaddesi, metal döküm endüstrisinde katkı maddesi, boya ve plastikte dolgu malzemesi ve hidroponik malzeme olarak kullanılmaktadırlar [1,2].

Şu anda Japonya, Amerika ve İngiltere gibi gelişmiş ülkelerde bazı firmalar, atık camları yer karosu üretiminde kullanılmaktadırlar. Japonya’da bulunan Crystal Clay Şirketi, yer karosu üretim reçetelerinde % 70 oranında atık cam kullanılmaktadır. Bu sayede pişirim sıcaklığını 1000°C’e düşürmüşlerdir. Şirket bu çalışmasını, enerjiden yapmış oldukları kazanç ve elde ettikleri fiziksel özellikler açısından çok başarılı bulmaktadır. Bu şekilde ürettikleri ürünlerini ise granit karo olarak sunmaktadırlar.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada, atık camlar yer karosu masse reçetesinde kullanılmıştır. Camın kimyasal analizi ile reçetede bulunan hammaddelerin kimyasal analizleri kıyaslandığında feldispat yerine kullanılabilmesine karar verilmiştir. Bu doğrultuda atık cam % 10, % 20, % 30

ve % 40 oranlarında masse reçetesine ilave edilmiştir. 1180°C, 1100°C, 1000°C, 950°C ve 900°C 'lerde pişirilerek fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, % 40 atık cam ilaveli reçetede 900-1000°C sıcaklık aralığında olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

2. SERAMİK HAMMADDELERİ

Seramik üretiminde kullanılan birçok hammadde vardır. Bu hammaddeler özlü ve özsüz olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar.

Özlü seramik hammaddeler; su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurdukları zaman verilen şekli koruyabilen hammaddelerdir. Feldispatların asidik ortamda bozunması sonucu oluşan kaolen, kaolenlerin doğal olaylarla taşınıp başka yerlerde yataklanması sonucu oluşan killer ve bazik ortamda feldispatların bozunması ile oluşan montmorillonit ile bu minerallerin doğal etkiler de taşınması sonucu oluşan bentonit mineralleri özlü seramik hammaddeleridir.

Özsüz seramik hammaddeler; su ile karıştırıldıklarında kolayca şekil verilemeyen, şekil verilse bile bir dış etkenle şekillerini kaybedip dağılan maddelerdir. Kuvars, feldispat, talk, magnezit ve dolomit bu grubu oluşturmaktadır [3].

Burada sadece bu çalışmayı ilgilendiren özsüz seramik hammaddeleri grubundan feldispat ve atık camlar hakkında bilgi verilecektir.

2.1. Feldispat

Kristalin kayalardaki en yaygın mineral feldispattır. Sertliği 6,0-6,5 Mohs'dur. Feldispatlar; potasyum, sodyum, kalsiyum ve baryum alüminyum silikatlarıdır. Kimyasal yönden katyon türlerine bağlı olarak, K-feldispatlar (ortoklas, $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), Na-feldispatlar (albit, $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), Ca-Feldispatlar ve Ba-feldispatlar olarak ayrılırlar [3].

Na-feldispat, 1120°C, K-feldispat ise 1170°C 'de tamamen erir. Eridikten sonra bünyelerinde % 90 camsı faz, % 10 serbest silis içerirler. K-Feldispat grubundan olan ortoklas, mikrolin, sanidin, anortoz aynı kimyasal yapıya sahiptir ancak ortoklas ve sanidin monoklinik, mikrolin ve anortoz triklinik sistemde kristalleşmiştir [4,5].

Ortoklas ısıtıldığında 1160°C civarında bozulmaya başlar ve 1290°C 'de erimesi tamamlanır. Saf ortoklas eriyince tetragonal yapıdaki leucite ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$) ve cama dönüşür. Albit 1120°C'de ergirken % 65 ortoklas ve

% 35 albit içeren bir karışım 1070°C 'de ergir. Ortoklastaki çok az albit miktarı ergime miktarını düşürür [5].

Plajioklaslar, Na-Ca feldispat olup saf albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ile anortit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ arasında sürekli bir katı eriyik serisi yaparlar. Plajioklas bileşiminde Na ile Ca'nun her oranda yer değiştirmesiyle yapıda meydana gelen yük fazlalığını yok etmek için Si'un yerini Al alır [6].

Feldispatların içerisinde demirli bileşikler de bulunur. Bunlar ötektik sıcaklığı düşürür ve üründe lekelenmelere neden olur. Bunun için feldispatlar zenginleştirildikten sonra kullanılmalıdır. Ancak Akkoyuncu'nun [7] yapmış olduğu çalışmada, zenginleştirilmiş feldispatların ürünün kalitesini etkilediği belirtilmiştir.

Feldispatın seramik bünyelerde kullanılmasının nedeni, K_2O , Na_2O , CaO bileşiklerini çamura kazandırmaktır. Seramik yapıdaki cam faz bu oksitlerin yardımı ile sağlanmaktadır. Bunların eriticilik özelliklerinden yararlanılarak pişme esnasında kuvars ile birlikte cam faz oluşturulur [8]. Feldispat çamurlarda belli bir pişme sıcaklığına çıkıldığı zaman çamurları pekiştirerek eriticilik özelliği gösterdiği gibi sırlarda da eritici olarak kullanılmaktadır [9].

2.1.1. Feldispatların Seramik Ürünlerdeki Etkileri

Karışımındaki feldispat miktarı arttıkça sistemin erime noktası ve ürün dayanımı düşer. Fayanstaki feldispat 1165°C 'de erimesine rağmen 1040°C 'de sertleştirici rol oynar [10]. Kuvarsın ısıl genleşme katsayısını düşürme gibi olumsuz etkilerini azaltmak için karışıma feldispat ilave edilebilir. İlave edilen feldispat çatlamları önler. Buna karşılık 1200°C'ye kadar maddenin plastikliğini düşürmektedir. 1200°C 'nin üzerinde eriyerek karışım maddesinin dayanımını artırmakta ve poroziteyi düşürmektedir .

Fazla feldispat içeren masse üzerinde pembe benekler meydana gelebilmektedir. Plajioklasların pişme dereceleri 1200°C, erime dereceleri ise 1220°C'dir ve birbirlerine çok yakındır. K-feldispatların yumuşama dereceleri ile erime dereceleri birbirinden uzaktır. Bu nedenle K-feldispatlar seramik bünyeler için önemlidir [11].

Porselen ve seramik hammadde olarak kullanılacak olan feldispatlarda aranan özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Porselen ve seramikte hammadde olarak kullanılan feldispatta istenen oksit miktarları

	PORSELEN	SERAMİK
K_2O	% 6’dan fazla	% 8’den fazla
$Na_2O + K_2O$	% 8’den fazla	% 10’dan fazla
Fe_2O_3	% 0,25’den az	% 1,5’dan az
$TiO_2 + CaO + MgO$	% 2’den az	% 1,5’dan az
Nem	Önemli değil	% 3,3’den az olmalıdır

Feldispatların ince öğütülmesi (ortalama 74 μm), pişme renklerinin ise beyaz olması gerekmektedir. Düşük erime sıcaklığına sahip plajyoklaslar daha çok sıklarda kullanılırlar [12].

2.2. Cam

Cam, organik ya da inorganik hammaddelerden hareketle ergitme sonrası hızlı bir şekilde soğutulmuş olarak kristalleşmeden elde edilen amorf karakterli bir malzemedir. Camlarda kristalleşme istenmez bunun nedeni, homojen bir malzemenin kimyasal dayanımının daha fazla olması ve kristalleşmiş cam malzemenin artık homojen olmamasıdır.

Malzemede soğutma olduğunda vizkozite artmakta ve katılaşma başlamaktadır. Bu esnadaki geçiş sıcaklığı tek bir nokta değildir, cam amorf bir malzeme olduğu için bir geçiş aralığıdır.

Ergitme süresi en az 4 saattir. Çünkü, 1-2 saat reaksiyonların meydana gelmesi beklenmektedir. İkili reaksiyonlar oluşmaktadır. Şiddetli reaksiyonlar bir saat içinde oluşmaktadır. Reaksiyon esnasında;

Beklenen süre;

1.Kısım: Silika ergitiliyor.

2.Kısım: 1,5 saat sonra ergimemiş kum kalmıyor.

3.Kısım: 2,5-4 saat arası karbonatlar ve sülfatlar tamamen uzaklaştırılarak istenilirse karıştırma işlemi yapılıyor.

4.Kısım: 1 saat de saflaştırma için bekleniyor.

Her camın geçiş bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgenin hızlı geçilmesi gerekmektedir.

Dünyada üretilen camların %70'i silikat (SiO_2) esaslı camlardır. Bunların yanında teknik olarak boroksit (B_2O_3) ve fosfor (P_2O_5) camları da bulunmaktadır [13].

2.2.1. Cam Türleri

2.2.1.1. Silikat esaslı camlar

Silikanın ergime sıcaklığı $1725\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir ve oldukça vizkozdur. Silika kumu ya da kuvars kristallerinden elde edilir.Ergitme süreci oldukça yavaştır. Saf silika camı, yüksek sıcaklıkta ergitilmesi gerektiği ve şekillendirilmesi zor olduğu için üretimi sınırlı, kullanım alanı dardır. Daha çok uzay araçlarında kullanılmaktadır [13].

2.2.1.2. Alkali silikat camları

Alkaliler sisteme ergitme sıcaklığını düşürmek için katılmaktadırlar. Bunlar akışkanlaştırıcıdır ve camı yumuşatmaktadırlar. Cam yığınına karbonatlar ve sülfatlar şeklinde ilave edilmektedirler. Alkali ilavesi camın dayanımını azaltmaktadır. Yüksek alkali ilaveli olanlar suda kolayca çözünmekte ve aşındırıcı olarak kullanılmaktadır [13].

2.2.1.3. Kireç camları

Alkali silikat camının kimyasal dayanımını artırmak, kolay ergitilirliliğini korumak için modifiye edici elementler ilave edilir. Bunların içinde en yaygın kullanılanı CaO 'dur. Yüksek oranda varlığı kristalizasyona neden olmaktadır. Bunun için MgO katkısı gerekmektedir.

Bu tip camlarda, ağırlıkça % 8-12 oranında $\text{CaO} + \text{MgO}$ bulunmaktadır. Alkali konsantrasyonu ise % 12-17 şeklindedir.Yapısında bulunan maddeler;

CaO, Al₂O₃, MgO, alkaliler ve SiO₂'dir. Al₂O₃ miktarı % 4 civarında olmalıdır [13].

2.2.1.4. Kurşun camları

Kurşun, hem modifiye edici görev üstlenmekte hem de bizzat silika ağına direbilmektedir. amodifiye edici elementlerdir. Direk sistemde yer almamaktadırlar. Bazı durumlarda ise cam yapıcı olarak kullanılmaktadırlar. Bu grup camların aralığı geniştir. Çalışma alanları yüksektir. Ani sıcaklık değişikliklerinden fazla etkilenmemektedirler. Pb'dan dolayı vizkozitesi düşüktür ve kolay şekil alırlar. Camlarda iletkenliği alkaliler sağlamaktadır. Alkalilere Pb ilavesiyle alkali kurşun oksit camları elde edilmektedir. Bu tip camlar elektrik sanayiinde kullanılmaktadır. PbO, yüksek kırınım indisine sahip olduğundan optik uygulamalarda da kullanılmaktadır [13].

2.2.1.5. Bor silikat camları

Ergitme sıcaklığı 460 °C'dir.. Bor oksit, cam yapısında akışkanlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu tip camlar filtre malzemesi, bakteri tutacağı, fiber optik olarak kullanılabilirler. Yapıda bulunan bor silika iskeleti 900 °C'nin üstünde ısıtılırsa % 96 silika konsantrasyonuna sahip cam elde edilmektedir [13].

2.2.1.6. Alümina Silikat Camları

Bu tip camlarda sisteme belli bir miktar alümina oksit ilave edilmektedir. Alümina oksit yüksek sıcaklık vizkozitesini yükseltmektedir. Yanma tüpleri, fiber camları bu tip camlardan üretilmektedir. Cam seramikleri kullanılmaktadırlar ayrıca elektrik-elektronik sanayiinde de kullanılmaktadırlar [13].

2.2.1.7. Fosfat Camları

Bu tip camlar, fosfat elementinin oluşturduğu camlardır. Yapı olarak silika camına benzerlik göstermektedirler. En önemli farkları ise saf silika camında Si:O:1/2 olmasıdır. Yüksek alkali ve düşük alkali içeriğine sahip fosfat camları bulunmaktadır. Kimyasal dayanımları ve optik özellikleri oldukça iyidir [13].

2.2.1.8. Hidrojen Bağlı Camlar

Bazı oksit camları hidrojen bağı içermektedir. Bunun nedeni yapıya dışardan hidrojen girmesidir [13]

2.2.1.9. Halojen Camları

BeF_2 ve ZnCl_2 cam yapıcı olarak kabul edilmektedirler. Temel maddesi ise BeF_2 'dir [13].

2.2.1.10. Kalgojenit Camları

İkili sistemleri geniş bir bileşim alanında cam üretmektedirler. Diğer sülfat ve selenitlerin bu sistemlere ilave edilmesiyle çok daha kompleks camlar elde edilmektedir [13].

Yukarıda bahsedilen cam türlerinden kimyasal yapısının uygunluğu açısından silikat esaslı camların atıkları, granit üretiminde kullanılabilir olarak belirlenmiştir. Diğer cam türleri hem kimyasal yapılarında bulundukları elementlerden ötürü hemde fazla atıkları bulunmadıkları için böyle bir çalışma için tercih edilmemişlerdir.

Çizelge 2.2'de cam oluşturan temel maddeler ve ergime sıcaklıkları verilmektedir.

Çizelge 2.2 Cam oluşturan temel maddeler ve ergime sıcaklıkları

MALZEME	ERGİME SICAKLIĞI (K)
SiO_2	1996
B_2O_3	723
P_2O_5	695-853
GeO_2	1389
As_2O_3	551-582
Se	480
ZnCl_2	591
BeF_2	823
As_2S_3	583
Gliserin	186

Silika aşırı viskoz olduğu için şekillenmede güçlük çekilmektedir. Ergitme işlerini yapabilmesi için 2000°C 'e çıkılması gerekmektedir. Çok küçük ısıl genleşme katsayısına sahiptir.

Bazik karakterli oksitler (alkali ve toprak alkali oksitler) sisteme konulduğunda Si ve O arası bağı koparmakta yani sistemi yumuşatmaktadırlar. Lityumun iyon boyutu küçük olduğu için büzölmeye neden olmaktadır. Potasyumun ise iyon boyutu büyük olduğu için genişlemeye neden olmaktadır. Cam yapımında en çok Na₂O tercih edilmektedir.

S, Se, Te + Ge, Si, As, Sb bileşiminden kükürtlü cam elde edilmektedir. Flor kullanılırsa *florlu camlar* denilmektedir.

Tek başlarına cam oluşturmayan ama ikinci bir oksit ilavesiyle cam oluşturan maddeler vardır. Bunlar; Al₂O₃, V₂O₅ ve TeO₂

Cam oluşumu esnasında S, 4 O ile birleşmekte saf kuvars ya da silika camında üç boyutlu yer almaktadır. AlO₄'de ise bu durumda bir oksijen fazlalığı söz konusu olmaktadır. Bunun için tek başlarına cam yapamamaktadırlar. Cam yapımında Al'un bir kısmı kullanılmaktadır. Böyle maddelere *şartlı cam yapıcılar* denilmektedir. Vanadyum oksit camları yarı iletken, telleryum oksit camları ise yüksek dielektrik ve yüksek kırınım indisine sahiptir.

Bazı metalik alaşımlar çok hızlı soğutulursa cam yapabilmektedirler. Bunlar forya ya da şerit şeklinde üretilebilmektedir. Çünkü, belli bir kalınlık için soğutulursa kristalleşme oluşabilmektedir. Bunların basmaya karşı dirençleri yüksektir, toklukları fazladır ve *metalik camlar* olarak adlandırılırlar.

Camlar basmaya karşı oldukça dayanıklıdırlar. Camlarda tane sınırı olmadığı için korozyon dayanımları yüksektir. Bazı camların tokluğu bazılarının ise kimyasal dayanımı yüksektir.

Saf silika camlarında; Si:O=1/2'dir. Bu sisteme Na₂O ilave edilince fazladan oksijen verilmekte ve oksijen sayısı artmaktadır. Bu durum kafesi yumuşatmakta, bağlar kolaylıkla kopmakta ve ergime sıcaklığı düşmektedir. Silikaya Na₂O yada başka maddeler ilave edilince küçük sıcaklık noktaları oluşmaktadır. Silikaya ilave edilen Na₂O sisteme istenmeyen özellikler de getirebilmektedir. Bu yüzden modifiye edici MgO, CaO, Al₂O₃ ilavesi de yapılabilmektedir.

Bir malzemenin diğ er malzemeye bağ yapabilmesi için ısasal genleşme katsayılarının uyuşması gerekmektedir [13].

2.2.2. Kristalleşme

Cam sistemlerinin çoğ u liküdü s sıcaklığının altına gelince kristalleşme gösterebilmektedir. Bu yüzden bu sıcaklık hızla geçilmelidir.

Bazı sistemlerin kristalleşmeye dayanımı fazladır. Bunlar; B_2O_3 ile sodyum feldispattır ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$).

İki türlü kristalleşme vardır. Bunlar;

- a. Homojen kristalleşme
- b. Heterojen kristalleşme

Nüve adı verilen çekirdeklendirici mikron altında boyuta sahiptir. Bunlar soğutma sırasında yapıda bulunmaktadır. Bunlarda kristal büyümeler oluşmaktadır. Yani kompozisyondan hareketle oluşan fazladan müdahale olmayan kristalleşmelere *homojen kristalleşme*, istenmeyen maddeler içeren yine kompozisyondan oluşan kristalleşmelere *heterojen kristalleşme* denilmektedir.

Sonuçta; yüzeyde kristalleşme istenmemektedir. Çünkü, dentritler oluşmaktadır. Bazı durumlarda yüzeyde kristalleşme yapılarak camın dayanıklılığı artırılabilir ya da cam bazı işlemlerden geçirilerek de kristalleşebilmektedir [14].

Çizelge 2.3'de cam ve sır renklendirici oksitler ve bünyeye kazandırdıkları renkler verilmektedir.

Çizelge 2.3. Cam ve sır renklendirici oksitleri ve bünyeye kazandırdıkları renkler

OKSİT	BÜNYEYE KAZANDIRIĞI RENK
Cr_2O_3	Yeşil ve tonları
CaO	Mavi ve tonları
Siyah CuO	Sıcaklığa ve ortama göre yeşil tonları ve koyu kırmızı
Fe_2Cr_3	Gri-kahve ve gri
Fe_2O_3	Kırmızı, kahve, siyah tonları
MnO_2	Mor-kahve
NiO	Gri-kahve, gri-mavi
TiO_2	Gri-kahve
V_2O_5	Sarı
$\text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	Gri-mavi, gri-yeşil
$\text{CaO} + \text{MnCO}_3$	Mavi-mor
$\text{CaO} + \text{TiO}_2$	Gri-mavi
$\text{CaCO}_3 + \text{TiO}_2$	Kristalin yeşil, kristalin mavi- yeşil
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}$	Kristalin kahve, gri-kahve
MnCO_3	Siyah

3. YER KAROSU VE GRANİT ÜRETİMİ İLE ÜRÜN ÖZELLİKLERİ

3.1. Yer Karosu Üretimi ve Ürün Özellikleri

Yer karosu üretiminde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta uygun hammadde seçimi ve oranı ile uygun şartlarda üretim prosesinin gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla hazırlanan yer karosu masselerinin kimyasal yapısında; kil, kaolen, feldispat gibi hammaddeler bulunmaktadır. Hazırlanan bir yer karosu massesinin reçetesinde yaklaşık olarak [4];

% 42 kil

% 36 feldispat

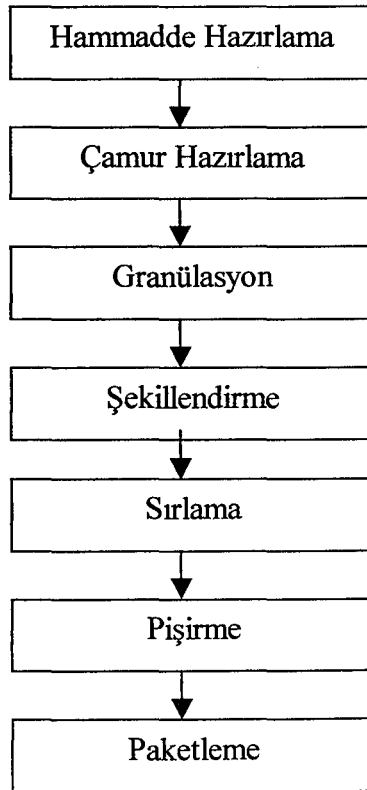
% 20 granit kumu

% 9 mermer

% 3 tuf bulunabilmektedir.

Yer karosu üretim prosesi şekil 3.1'de verilmektedir.

Şekil 3.1. Yer Karosu Üretim Prosesi



Yer karosu malzemelerinin fiziksel özellikleri çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Yer Karosu Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

	Sırlı Yer Karou
Eğilme Dayanımı (kg/cm²)	300-350
Su Emme (%)	3
Sertlik (Mohs)	6-7
Derin Aşınma (mm³)	-
Asitlere Dayanım	Dayanıklı
Lekelere Dayanım	Dayanıklı

3.2. Granit Üretimi ve Ürün Özellikleri

Son yıllarda hızla gelişme gösteren seramik ürünlerinden, kullanımı giderek yaygınlaşan bir çeşidi de granittir. Müşteriye mat ve parlatılmış olarak sunulan çeşitli renkli taneciklerin karışımıyla oluşan bu ürünler, gerek görünüm açısından gerekse dayanım açısından granit kayacını andırdığı için bu isimle anılmaktadır. Sırlı seramiklere göre fiziksel dayanımları daha yüksek olduğundan özellikle trafiğin yoğun olduğu zeminler için uygun malzemelerdir.

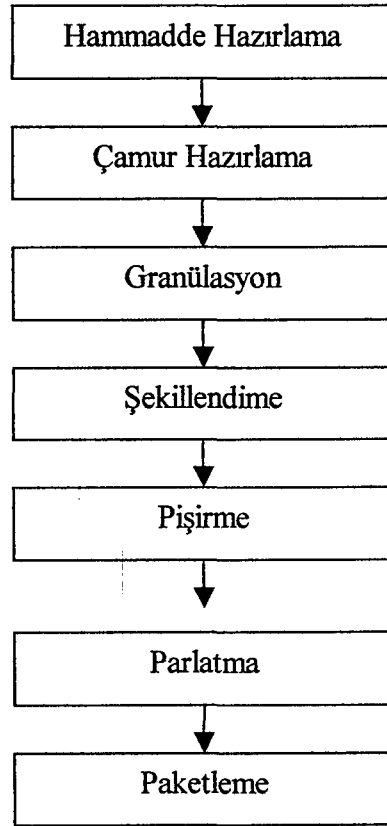
Sırlı seramiklerden en önemli farkı, malzemenin sır-bünye diye iki tabakadan oluşmayıp sır özelliği kazandırılmış tek bir bünyeden oluşmasıdır. Dolayısıyla bu malzemenin bünyesi sır gibi, tamamen renklendirilip daha yüksek sıcaklıklarda pişirilerek sıfır poroziteye düşürülmeye çalışılmıştır.

Sırsız seramik granit malzemelerin üretim teknolojisi açısından sırlı seramiklerden önemli bir farkı bulunmamaktadır. İlave olarak pişme işlevinden sonra çeşitli aşındırıcılardan oluşan yüzey parlatma işlemi bulunmaktadır. Bu ürünlerin üretimdeki en önemli problem temiz ve kaliteli hammadde teminidir.

Granit seramik karoların diğer sırlı seramik karolardan farkı, sırlı seramikler altta poroz dekorasyon özelliği bulunmayan ana gövde ile üstte ise genelde 0,3 mm. kalınlığında dekorasyon özelliğinde tamamen camsı yapıda renkli sırla kaplanmış olup, granit seramik ürünleri ise çeşitli renkli granüllerin karışımıyla oluşmuş tamamen sır özelliğinde tek bir bünye ile

tanımlanabilmektedir. Ağır trafik şartlarında yere döşenen sırlı karoların 0,3 mm. kalınlığındaki sır tabakalarının tamamen aşınıp yok olmamasına rağmen, özellikle mat granit karolar alternatifsiz bir malzemedir. Şekil 3.2'de granit üretim prosesi verilmektedir.

Şekil 3.2. Granit Üretim Prosesi



Çizelge 3.2'de granit malzemesinin fiziksel özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. Granit Malzemesinin Fiziksel Özellikleri

	Granit Seramik	Doğal Seramik
Eğilme Dayanımı (kg/cm²)	400-450	150-250
Su Emme (%)	0,05	0,5
Sertlik (Mohs)	7-8	6-7
Derin Aşınma (mm³)	130	150
Asitlere Dayanım	Dayanıklı	Dayanıklı
Lekelere Dayanım	Dayanıklı	Dayanıklı

Bütün karo bünyesinin renkli hazırlanmasından dolayı sırlı karoda 25 gr/m² boya kullanımı olduğu halde granit seramik karoda 750gr/m² civarındadır. Bu da sırlı karoya göre yalnızca 30 kat boya maliyeti getirmektedir. Seramik ürünlerde en pahalı girdi boya olduğu için maliyeti de bir hayli yüksek olmaktadır. Yaklaşık olarak granit malzemenin reçetesini şöyledir [15];

% 5 kuvars

% 5 kaolen

% 40 kil

% 50 perlit

4. ATIK CAMLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ

4.1. Atık Camların Oluşumu ve Geri Dönüşüm Miktarları

Cam atıkları, kullandığımız cam ev eşyalarından (süs eşyaları), ev mutfak eşyalarından (şişeler, bardaklar, tabaklar vb) oluşmaktadır. Bu atıkların geri dönüşümlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Kullanılmış camlar genellikle yeniden cam yapımında değerlendirilmektedir. Bazı gelişmiş ülkelerde bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmış ve cam atıkların değerlendirilebileceği yeni alanlar bulunmuştur.

Ülkemizde 1991 yılında çıkartılan "Katı Atıkların Kontrolü" yönetmeliği ile birlikte atıkların toplanıp değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar hızlanmıştır [16].

Türkiye’de cam üretimi ve dolayısıyla atık camların toplanıp değerlendirilmesi Şişecam A.Ş.’nin tekeli altındadır. Şişecam A.Ş, atık camların geridönüşümünü gerçekleştirebilmek için ülke çapında atık camları toplama kampanyası başlatmış ve ülkenin her yerine kumbaralar yerleştirilmiştir.

Şişecam Grubu, topladığı atık camları Gebze Kırık Cam Tesisleri’nde kırma ve öğütme işlemlerinden geçirerek tekrar hammadde haline getirmekte ve cam üretiminde kullanmaktadır [16]. Çizelge 4.1’de geri kazanım konusunda yapılan sanayi yatırımları verilmektedir.

Çizelge 4.1. Geri kazanım konusunda yapılan sanayi yatırımları (Şişecam Grubu / Cam Kırığı İşletme Tesisi)

Tesis Sayısı	5
Yatırım (T.L)	800.000.000.000
Yaratılan İstihdam (Kişi)	330
Kapasite (Ton/Yıl)	120.000
Yıllık Ciro (T.L)	1.300.000.000.000
Kumbara Sayısı	2000 (33 Belediye)

Avrupa Birliđi ÷lkeleri arasında cam malzeme geri kazanım oranları sıralamasında Türkiye %23 ile Büyük Britanya'yı geride bırakmıştır. Cam malzemelerin geri kazanımında Almanya %79 ile ilk sırada yer almaktadır. Yıllara göre cam geri kazanım oranları; 1998, 1999 ve 2000 yıllarının her biri için % 36'dır.

Türkiye'de 2001 yılı istatistiklerine bakıldığında ise; yılda 350.000 Ton cam üretimi yapıldığı ve 180.000 ton atık camın kontrol altında olduğu bunun da 70.000 tonunun geri kazanımının gerçekleştiği gör÷lmektedir.

Çizelge 4.2'de 1989 yılına ait Avrupa ÷lkelerindeki cam geri dönüşüm oranları verilmektedir [17].

Çizelge 4.2. Avrupa ÷lkelerindeki cam geri dönüşüm oranları (1989)

ÜLKE	GERİ DÖNÜŞÜM MİKTARI (TON)	ÜRETİM / GERİ DÖNÜŞÜM (%)
Almanya	1.538.000	53
Fransa	760.000	38
İtalya	670.000	42
Büyük Britanya	310.000	17
İspanya	287.000	24
İsviçre	164.000	56
Avusturya	115.000	54
Danimarka	58.000	36
Türkiye	47.000	27
Portekiz	34.000	14
Finlandiya	18.000	36
İrlanda	11.000	13
Norveç	11.000	24
TOPLAM	4.566.000	38,7

4.2. Atık Camların Diğer Kullanım Alanları

4.2.1. İnşaat Malzemesi

Atık camlar, kırılmış kaya parçaları yerine kullanılmaktadır. Avantajları; aynı yada düşük maliyet, sıkışma kuvvetine karşı yüksek direnç ve iyi geçirgenlik özelliğine sahip olmalarıdır. Buna karşılık dezaavantajları ise; zaman zaman inşaat atıkları gibi mühendislik gereklerini tam karşılayamayabilmeleri ve başka atıklarında bu dalda kullanılabilir olmasıdır [1,2].

4.2.2. Dekoratif Malzeme

Atık camlar; kırılmış kaya parçaları, çakıl ve mozaik yerine kullanılmaktadır. Avantajları; yukarıda belirtilen avantajlara ek olarak dekoratif renkler içermeleridir. Dezavantajları ise; yabancı malzeme içermeleri örneğin; etiket ve kapak gibi ve görüntülerinde kesici gibi algılanmalarıdır [1,2]

4.2.3. Beton Hammaddesi

Atık camlar; kırılmış kaya parçası, çakıl, portland çimentosunda kullanılan uçucu kül yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; düşük maliyet, dekoratif renkler ve alkali silika reaksiyonlarını önleme özellikleridir. Dezavantajı ise; mekanik mukavemetlerinin düşük olabilmesidir [1,2].

4.2.4. Asfalt Hammaddesi

Atık camlar; kırılmış kaya parçaları yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; aynı ya da daha düşük maliyet, gece görüş özelliğini artırması ve bulk yoğunluğunu düşürmesidir. Dezavantajları; camların asfalt yüzeyinden çıkabilme olasılığı, cam parçacıkları lastik kesilmesine yol açabilmesi ve yansımayı artırabilmeleridir [1,2].

4.2.5. Aşındırıcı

Burada atık camlar; kum, çelik bilye, çakıl, lal taşı, bakır ya da nikel cürufu, olivine ve alüminyum yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; çok düşük maliyet, yüksek performans, yüksek güvenlik ve ağır metal içermemeleridir. Bilinen bir dezavantajı bulunmamaktadır [1,2].

4.2.6. Su ve Sıvı Tutucu ve Katyon Değiştirme Malzemesi

Atık camlar; doğal kil, zeolit kalsiyum silikat ve hidrate yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; düşük maliyet, ışlandığında yapışmamasıdır. Dezavantajı ise; ticari bir ürün olarak üretilememeleridir [1,2].

4.2.7. Filtre Malzemesi

Atık camlar, silika ve antrasit yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; düşük maliyet ve bakteri yetişmesini önlemeleridir. Dezavantajı ise; ancak sağlık düzenlemelerinin geliştirilmesine bağlı olarak kullanılabilmesidir [1,2]

4.2.8. Seramik ve Tuğla Hammaddesi

Burada da atık camlar; benzer kimyasal özellik taşıyan hammadde yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; düşük pişme sıcaklığı ve düşük pişme süresi ve yakıt tasarrufudur. Belirli bir dezavantajına rastlanmamıştır [1,2].

4.2.9. Metal Döküm Endüstrisinde Katkı Malzemesi

Atık camlar, yüksek kaliteli silika kumu yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; düşük maliyet, ürün kirliliğinin ve erime karakteristiklerinin tahmin edilebilmesidir. Herhangi bir dezavantajına rastlanmamıştır [1,2].

4.2.10. Boya ve Plastikte Dolgu Malzemesi

Burada da atık camlar; kil ve karbonatların yerine kullanılmaktadırlar. Herhangi bir avantajı bulunmamaktadır. Dezavantajı ise; pahalı işlem gerektirmesidir (ince öğütme için) [1,2].

4.2.11. Hidroponik Malzeme

Atık camlar zenginleştirilmiş kil yerine kullanılmaktadırlar. Avantajları; serbest akabilme ve kolay siteril olabilmeleridir. Dezavantajı; eldivensiz kullanıldığında kesme ve yaralanmaya neden olabilmesidir [1,2].

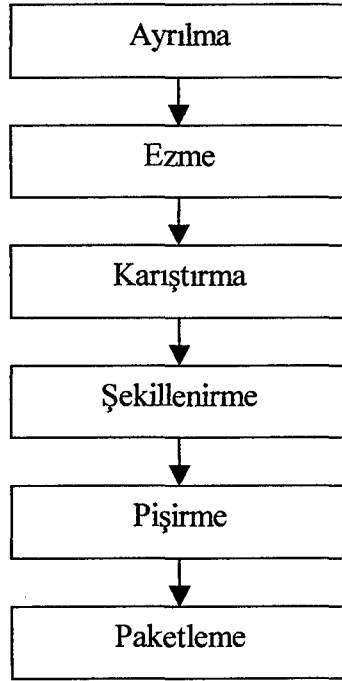
4.3. Atık Camların Yer Karosu Üretiminde Değerlendirilmesi

Daha önce de belirtildiği gibi, atık camların tekrar cam üretiminde kullanılması dışında başka kullanım alanları da bulunmuştur. Bu kullanım alanlarından biri de yer karosu üretimidir. Camlar aşağıda anlatılacak olan proseslerden geçtikte sonra hammadde olarak yer karosu üretiminde kullanılabilir [18,19].

4.3.1 Üretim Prosesi

Şekil 4.1'de atık cam kullanılarak üretilen yer karosunun üretim süreci verilmektedir.

Şekil 4.1 Atık cam kullanılarak üretilen yer karosunun üretim süreci



4.3.1.1. Ayrılma İşlemi

Kullanılmış cam şişelerden ayrıştırıcıların yardımıyla plastik, çelik ve alüminyum gibi malzemeler uzaklaştırılır. Daha sonra, kırılmış camlar tanklara yüklenirler, pet şişelerin, çelik kapların, alüminyum kapların diğer çeşitleri varsa bunlar da ayrılır [18,19].

4.3.1.2. Ezme İşlemi

Kırılmış camlar, yüklü buldukları tanklardan tamamen boşaltılırlar ve ezicilere yüklenirler. Sıcak hava altında tutulan ezilmiş camlar, vibrasyonlu ayırıştırıcılara yüklenirler ve tane boyutları 1.2 μm 'den daha az olacak şekilde öğütülürler. Bu camlar daha sonra, ezilmiş cam tanklarına yüklenirler ve yapıda kalmış diğer çelik ve kağıt parçaları da uzaklaştırılır [18,19].

4.3.1.3. Karıştırma İşlemi

Bu işlemlerden geçen camlar, diğer hammaddelerle karıştırılırlar. Karıştırma işlemi 20-30 dk. kadardır. Daha sonra değirmenlerden boşaltılırlar [18,19].

4.3.1.4. Şekillendirme

Karıştırılan ve püskürtücü kurutucudan geçirilen masse preslerle şekillendirilirler. Buradan da fırınlara taşınırlar [18,19].

4.3.1.5. Pişirme

Yukarıda anlatılan işlemlerden geçirilen yerkarosu, Roller Fırın'da yaklaşık 1000°C'de pişirilir [18,19].

4.3.1.6. Paketleme

Pişirilmiş olan karolar kalite kontrol aşamasından sonra paletlere yüklenerek paketlenirler [18,19].

4.3.2. Atık Camların Yer Karosu Üretiminde Kullanılmasının Avantajları

4.3.2.1. Hammadde Tasarrufu

Eski camları kullanmak hammadde kazancı ve ergitme için gerekli enerjiden kazanç demektir. Camın içeriğinde %72 kum, %14 soda külü ve %12 limestone bulunmaktadır. Atık camların kullanılması bu hammaddelerin doğadan çıkarılması ve taşınması sonucu oluşan problemleri azaltmaktadır. Ayrıca yer karosu üretim maliyetini de azaltmaktadır [20,21].

4.3.2.2. Enerji Tasarrufu

Kırık cam atıkları, ergitme prosesine de yardımcı olmaktadır. Atık cam diğer hammaddelerden daha düşük sıcaklıkta ergidiği için daha az yakıt harcanmaktadır. Ortalama olarak her bir %10 atık cam kullanılması ile enerji maliyeti %1 oranında azalmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi ergitme esnasında açığa çıkan CO₂ miktarının da azalması çevre kirliliğini önlemek için yararlıdır [20,21].

4.3.3. Atık Cam Kullanılan Yer Karosu Bünyesinde Meydana Gelen Kimyasal Reaksiyonlar

Daha önce de belirtildiği gibi, silika aşırı viskoz olduğu için şekillendirilmesinde güçlük çekilmektedir. Ergitme için 2000°C'ye çıkılması gerekmektedir. Sistemde bazik karakterli oksitler bulunduğunda bu oksitler Si ve O arası bağı kopartmaktalar yani sistemi yumuşatmaktadırlar (Li₂O, Na₂O, K₂O) [13].

Buradan da anlaşılacağı gibi bünyede bulunan bazik karakterli oksit miktarı arttığında sistemin ergime sıcaklığı da aynı paralellikte düşmektedir. Cam ile diğer seramik hammaddelerinin kimyasal analizleri kıyaslandığında feldispatın kimyasal yapısına benzediği ortaya çıkmaktadır. Seramik ve cam sektörü için feldispatların erime derecelerinin büyük önemi vardır .

1. Potasyum Feldispat: 1200-1250 °C
2. Sodyum Feldispat: 1150-1225 °C
3. Kalsiyum Feldispat: 1500-1550 °C

Çizelge 4.3'de Na-feldispat ve beyaz, yeşil, kahverengi camların kimyasal analiz örnekleri verilmektedir.

Çizelge 4.3. Feldispat ve beyaz, yeşil, kahverengi camların kimyasal analizleri

	Na-Feldispat	Beyaz Cam	Yeşil Cam	Kahverengi Cam
SiO₂	68,93	70,94	70,95	72,45
Al₂O₃	18,42	2,69	1,90	2,59
TiO₂	0,41	0	0	0,25
Fe₂O₃	0,15	0	0	0,43
CaO	0,69	7,96	7,45	9,17
MgO	0,09	3,27	3,44	1,47
Na₂O	10,22	14,82	15,78	13,36
K₂O	0,29	0,32	0,2	0,72
Cr₂O₃	0	0,17	0,25	0
V₂O₅	0	0,1	0	0
BaO	0	0,1	0	0
KK	1,29	0	0	0

4.4. Amaç

Bu çalışmayla, yer karosu ve granit üretiminde önemli ölçüde ve yaygın bir biçimde kullanılan feldispatların yerine kimyasal özellik açısından benzerlik gösteren atık camların kullanılması hedeflenmiştir. Böylece hem yer karosu üretiminde sinterleme sıcaklığının düşürülerek ürün maliyetinin azaltılması ve bunun paralelinde fiziksel özelliklerin iyileştirilmesi hem de atıkların çevresel açıdan zararlı etkilerinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kullanılan Malzemeler

Yer karosu masse denemeleri esnasında 2 tip masse reçetesi kullanılmıştır. Bunlardan A kodlu standart ve deneme masse reçeteleri hazırlanmasında; fiyos kili, albit, pegmatit, ve bisküvi kırığı hammaddeleri, B kodlu standart ve deneme masse reçetelerinin hazırlanmasında ise kil, feldispat, granit kumu, mermer, tuf kullanılmıştır. Her iki çeşit reçetede beyaz, yeşil ve kahverengi atık camları karıştırılarak belirli oranlarda ilave edilmişlerdir.

5.1.1. Kil

A Kodlu yer karosu masse reçetesinde Kil A, Kil B, Kil C ve Kil D kodlu fiyos killeri kullanılmıştır. B Kodlu yer karosu masse reçetesinde ise; K 201, S 401, A 281, A 241 Y, 3291 ve T 121+211 Kodlu masselik killeri kullanılmıştır. Belirtilen killerin kimyasal analizleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. A ve B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan killerin kimyasal analizleri

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z.
Kil A	58,78	24,64	3,52	1,16	0,17	0,60	0,14	2,31	8,4
Kil B	64,89	21,61	2,66	1,14	0,12	0,49	0,01	1,85	7,28
Kil C	62,13	23,06	3,07	1,16	0,21	0,58	0,06	1,88	7,84
Kil D	66,22	20,78	2,25	1,22	0,09	0,47	0,19	2,02	6,43
K 201	62,22	21,58	2,69	1,14	1,12	0,58	0,16	2,27	8,05
S 401	61,86	22,58	2,73	1,19	0,38	0,7	0,1	2,42	7,96
A 281	60,1	17,46	8,09	1,01	1,34	1,06	0,15	2,43	7,43
A 241 Y	61,37	17,5	6,18	1,01	1,95	1,13	1,42	2,14	4,55
3291	59,14	25,48	2,24	0,97	0,18	0,79	0,19	3	7,58
T 121+2161	58,17	24,57	2,39	0,42	1,35	1,02	0,63	2,63	7,99

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.1.2 Feldispat

A kodlu yer karosu bünyesinde fedispat olarak albit ve pegmatit,B Kodlu yer karosu bünyesinde ise A 126 Y3 kodlu ve A 126 Y5 Kodlu masselik feldispatlar ile I 116 Y1 Kodlu Na-Feldispat kullanılmıştır. Belirtilen feldispatların kimyasal analizleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. A ve B kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan feldispatların kimyasal analizleri

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z
Albit	67,8	19,29	0,26	0,13	0,80	0,15	10,01	0,55	0,75
Pegmatit	66,27	19,9	2,18	0,79	0,33	0,39	1,32	2,24	6,18
A 126 Y3	73	14	1,5	0,5	2	1	4	6,2	2
A 126 Y5	73,06	15,14	0,71	0,13	0,63	0,28	3,35	4,71	1,18
I 116 Y1	68,5	17,5	0,5	0,5	1	1	1	8,02	0,5

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.1.3. Mermer

B Kodlu yer karosu bünyesinde A 178 Kodlu masselik mermer kullanılmıştır. Belirtilen mermerin kimyasal analizi Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. B Kodlu yer karosu bünyesinde kullanılan mermerin kimyasal analizi

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z
A 178	70,5	17,8	1,5	1	1	0,5	2,3	3	5

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.1.4. Tüf

B Kodlu yer karosu bünyesinde E 136 Kodlu masselik tüf kullanılmıştır. Belirtilen tüfün kimyasal analizi Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. B Kodlu yer karosu bünyesinde kullanılan tüfün kimyasal analizi

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z
E 136	68,9	15,6	1,5	0,5	2,3	1	1,2	6	7

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.1.5. Bisküvi Kırığı

A Kodlu yer karosu bünyesinde ham bisküvi kırıkları kullanılmıştır. Kullanılan bisküvi kırıklarının kimyasal analizi Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. B Kodlu yer karosu bünyesinde kullanılan külün kimyasal analizi

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z
Bisküvi Kırığı	65,4	22,64	2,56	0,84	1,30	0,75	3,07	3,02	0,40

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.1.6. Beyaz Cam

A ve B Kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan beyaz cam atığının kimyasal analizi Çizelge 5.6'da verilmiştir. Aşağıda verilen analiz sonuçlarına ilaveten beyaz cam bileşiminde %0,1 V₂O₃, % 0,17 Cr₂O₃ ve % 0,1 BaO bulunmaktadır.

Çizelge 5.6. A ve B Kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan beyaz camın kimyasal analizi

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z
Beyaz Cam	70,94	2,69	-	-	7,96	3,27	14,82	0,32	0

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.1.7. Yeşil Cam

A ve B Kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan yeşil cam atığının kimyasal analizi Çizelge 5.7'de verilmektedir. Yeşil cam yapısında aşağıdaki analiz sonuçlarına ilaveten % 0,25 oranında Cr₂O₃ de bulunmaktadır.

Çizelge 5.7. A ve B Kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan yeşil camın kimyasal analizi

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z
Yeşil Cam	70,95	1,90	-	-	7,45	3,44	15,78	0,2	0

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.1.8. Kahverengi Cam

A ve B Kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan kahverengi cam atığının kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. A ve B Kodlu yer karosu bünyelerinde kullanılan kahverengi camın kimyasal analizi

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	*A.Z
Kahverengi Cam	72,45	2,59	0,43	0,25	9,17	1,47	13,36	0,72	0

* A.Z: Ateş zaiyatı

5.2. Kullanılan Cihazlar

Reçetelere göre tartımları gerçekleştirilen hammaddelerin, sulu öğütme sistemiyle istenilen tane boyutuna indirilmesinde maksimum 2 kg kuru madde kapasiteli Retsch marka çamur değirmenleri, çamur değirmenlerinde hazırlanan çamurun ve şekillendirilen ürünün kurutulmasında Nüve FN 400 etüvü kullanılmıştır. Etüvde kurutulan çamur küçük parçalara ayrıldıktan sonra Retsch Halkalı Öğütücüsünde öğütülerek tane boyutu azaltılmıştır. Halkalı öğütücüde tane boyutu düşürülen masse bir gün nemlendirildikten sonra Instruments-Mignon S pres yardımıyla şekillendirilmiştir. Şekillendirilen ürünler 1350°C'lik kamara tipi fırında farklı sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Daha sonra, feldispatın yerine kullanılan atık camların, bünyelerin mekanik özellikleri üzerine etkisi Gabrielli CRAB 424 marka mukavemet cihazıyla tespit edilmiştir. Gabbrielli Abraimetre CAP aşınma cihazında da aşınma testleri yapılmıştır. Atık camların bünye reçetelerinde değerlendirilmesi sonucu meydana gelen yapısal değişiklikler Rigaku Rint 2000 serisi X-Işınları Difraktometresi (XRD) cihazı kullanılarak

belirlenmiştir. Daha sonra Camscan S4 serisi Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve buna bağlı olarak Oxford Instrument Firması'nın ürettiği 5108 model Enerji Saçılımlı X-Işınları Spektroskopisi (EDX) kullanılarak, XRD analizi ile belirlenen fazların dağılımı ve boyutlarının tayini yapılmıştır.

5.3. Yer Karosu Bünyesi Hazırlama Süreçleri

5.3.1. Öğütme ve Çamur Hazırlama

Atık camların yer karosu bünyelerinin fiziksel, kimyasal ve minerolojik özelliklerine etkisini incelemek için % 65 katı oranında iki çeşit standart reçete üzerinde çalışılmıştır. A ve B kodları verilen bu iki farklı yer karosu reçetesi Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da verilen oranlarda hazırlanmıştır. Daha sonra atık camlar reçetede kullanılır hale gelebilmeleri için bazı işlemlerden geçirilmişlerdir. Öncelikle üzerlerinde bulunan etiketlerden ve metal parçalardan temizlenmişlerdir, daha sonra küçük parçalar halinde kırılarak halkalı öğütücüde 1400 devirde 60 sn öğütülerek yer karosu bünye reçetesinde kullanılabilecek duruma getirilmişlerdir. Atık camlar Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da belirtilen oranlarda A ve B reçetelerine ilave edilerek diğer hammaddeler ile birlikte maksimum 2 kg kuru madde kapasiteli alümina bilyeli değirmenlerde her iki çeşit yer karosu bünye reçetesi için toplam 6'şar saat süreyle öğütülmüşlerdir. Deneme reçetelerinin yanı sıra standart yer karosu bünye reçeteleri de aynı işlemlerden geçirilmişlerdir.

A ve B Kodlu standart ve deneme yer karosu aynı reçetelerin seger değerleri Çizelge 5.11 ve 5.12'de verilmektedir.

Çizelge 5.9. A Kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyeleri

Hammadde	A	10A	20A	30A	40A
Kil A	20	20	20	20	20
Kil B	11	11	11	11	11
Kil C	17	17	17	17	17
Kil D	11	11	11	11	11
Albit	32	22	12	2	-
Pegmatit	5	5	5	5	-
Bisküvi Kırığı	4	4	4	4	1
Beyaz, Yeşil, Kahverengi Cam Karışımı	-	10	20	30	40

Çizelge 5.10. B Kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyeleri

Hammadde	B	10B	60B
Masselik Kil (K 201)	15	15	15
Masselik Kil (T 121+2161)	2	2	2
Masselik Kil (S 401)	10	10	10
Masselik Kil (A 281)	1	1	1
Masselik Kil (A 241 Y)	1	1	1
Masselik Kil (3291)	15	15	16
Masselik Na-Feldispat (I 116 Y1)	10	-	-
Masselik Feldispat (A 126 Y3)	10	10	-
Masselik Feldispat (A 126 Y5)	16	16	-
Masselik Feldispat (A 126 Y2)	20	20	-
Masselik Tüf (E 136)	3	3	3
Masselik Mermer (A 178)	9	9	4
Beyaz, Yeşil, Kahverengi Cam	-	10	60

Çizelge 5.11. A Kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyelerinin Seger değerleri

	Bazik Oksitler				Anfoter Oksitler	Asidik Oksitler		
	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
A	0,630	0,190	0,123	0,056	2,36	12,02	0,112	0,146
10A	0,534	0,144	0,161	0,161	1,644	9,150	0,085	0,110
20A	0,480	0,115	0,177	0,220	1,210	7,480	0,070	0,080
30A	0,450	0,100	0,192	0,260	0,910	6,120	0,056	0,068
40A	0,430	0,062	0,240	0,280	0,640	4,910	0,044	0,050

Çizelge 5.12. B Kodlu standart ve atık cam içeren deneme yer karosu bünyelerinin Seger değerleri

	Bazik Oksitler				Anfoter Oksitler	Asidik Oksitler		
	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
B	0,398	0,358	0,111	0,133	1,802	11,513	0,127	0,111
10B	0,375	0,281	0,144	0,199	1,321	9,176	0,097	0,086
60B	0,467	0,054	0,182	0,294	5,412	3,993	0,019	0,026

Yukarıdaki çizelgelerde;

A: A simgeli standart reçete

10A: % 10 atık cam ilaveli reçete

20A: % 20 atık cam ilaveli reçete

30A: % 30 atık cam ilaveli reçete

40A: % 40 atık cam ilaveli reçete

B: B simgeli standart reçete

10B: % 10 atık cam içeren reçete

60B: % 60 atık cam içeren reçete

A reçetesinde çamurun akışkanlığının sağlanabilmesi için % 1,6 oranında cam suyu, B reçetesinde ise % 1,1 oranında cam suyu ve % 0,50 oranında soda kullanılmıştır.

5.3.2. Eleme

Öğütme süresinin yeterli olup olmadığını kontrol etmek ve değirmen içerisinde öğünmeden kalmış olabilecek iri parçaları elimine etmek için, öğütme işlemi sonucu çamur 100 meş'lik (150 µm) elekten geçirilmiştir.

5.3.3. Kurutma ve Nemlendirme

Elekten geçirilen çamurlar daha sonra etüvde yaklaşık 200°C'de 3-4 saat kurumaya bırakılmışlardır. Daha sonra tamamıyla kuruyan çamur küçük parçalara ayrılarak halkalı öğütücü yardımıyla tane boyutları düşürülmüştür. Bu şekilde elde edilen standart ve deneme yer karosu bünye granülleri % 5 nem kazandırmak amacıyla nemlendirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bünyelerin ilave edilen suyu bünyelerine iyice çekmeleri sağlandıktan sonra elekten geçirilmişler ve poşetlere konularak 1 gün boyunca bekletilmişlerdir.

5.3.4. Şekillendirme

Bir gün boyunca bekletilen bünyelerin her birinden daha sonra 10x20 cm ebatlarında 24'er adet karo basılmıştır. Bunlardan, dört tanesi ham mukavemet ve dört tanesi kuru mukavemet ölçümlerinde kullanılmışlardır. Diğerleri ise belirlenen her bir sıcaklık için dörder tane olmak üzere pişmiş mukavemet ölçümünde kullanılmışlardır.

5.3.5. Kurutma

Bir çamurun içinde, yoğrulma suyu üç durumda bulunur:

- Yüzey suyu: Kil taneciklerinin yüzeylerini film şeklinde saran sudur.
- Por suyu: Bu tanımlamadan, taneciklerin arasında bulunan su anlaşılır. Çamurdaki suyun büyük bir kısmını oluşturur.
- Emme suyu: Kil taneciklerinin yüzeyinden içine emilme yolu ile giren sudur. Böylece su, seramik çamurun plastikliğinde söz sahibi olur. Kurutma sırasında çamurdan en güç ayrılan sudur.

Şekillendirilen yer karosu bünyelerinin kurutma işlemleri yaklaşık 100°C'de etüvde 1 saat bekletilerek gerçekleştirilmiştir.

5.3.6. Bisküvi Pişirimi

Şekillendirilen ve kurutulan standart ve atık cam içeren deneme yer karosu karoları 1350°C'lik Kamara Tipi fırında sinterlenmişlerdir. A Kodlu reçetelerden 4'er tanesi 1000, 1075, 1100, 1125, 1150 ve 1180°C'de sinterlenmiştir. B Kodlu reçetelerden ise; 4'er tanesi 900, 930, 960, 1000, 1100 ve 1170°C'de sinterlenmiştir.

5.4. Bünyelere Uygulanan Testler ve Analizler

5.4.1. Elek Bakiye Tayini

Hazırlanan çamurların elek bakiyelerinin hesaplanabilmesi için öncelikle % kuru miktarları bulunmuştur. Bunun için, 10 gr bünye daha önce darası belirlenen bir kaba alınarak etüvde kurumaya bırakılmıştır. Suyunu tamamen kaybettikten sonra tekrar tartılmıştır. Elek üstü aşağıda verilmekte olan formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\% \text{ Su Miktarı} = [(M_1 - M_2) / 10] \times 100 \quad (5.1)$$

$$\% \text{ Kuru Miktar} = 100 - [(M_1 - M_2) / 10 \times 100] \quad (5.2)$$

M_1 : [Bünye miktarı] + [Kabın darası] (gr)

M_2 : Etüvde kuruduktan sonraki miktar

Yukarıdaki sonuçtan yola çıkarak elek bakiyelerin hesaplanabilmesi için tekrar 100 gr bünye daha önce darası belirlenen kaba konularak tartılmıştır. Bu bünye 100 meşlik elekten geçirilerek tekrar belirtilen kaba alınmış ve etüvde kurutulmuştur.

$$\% \text{ Elek Bakiye} = [(M_2 - M_1) / (\% \text{ Kuru Miktar})] \quad (5.3)$$

M_1 : [Masse miktarı] + [Kabın darası] (gr)

M_2 : Etüvde kuruduktan sonraki miktar (gr)

5.4.2. Kuru ve Pişme Küçülmesi

Değirmenden boşaltılıp kurutulan çamur, 2,5 mm'lik elekten geçecek şekilde elle öğütüldükten sonra daha önce belirtildiği gibi nemlendirilerek granül halde preslenmiştir. Şekillendirilen numuneler bir kumpas yardımıyla ilk boyutu (plastik uzunluk), 120°C'deki etüvde 1 saat süre sonunda kuru boyut, çeşitli sıcaklıklarda pişirilerek pişmiş boyutlar ölçülerek % presleme genişmesi, % kuru küçülme ve % pişme küçülmesi aşağıdaki denklikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Presleme Genleşmesi} = [(L_2 - L_1) / L_1] \times 100 \quad (5.4)$$

$$\% \text{ Kuru Küçülmesi} = [(L_2 - L_3) / L_2] \times 100 \quad (5.5)$$

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = [(L_3 - L_4) / L_3] \times 100 \quad (5.6)$$

$$\% \text{ Toplam Küçülme} = [(L_3 - L_4) / L_3] \times 100 \quad (5.7)$$

L_1 : Kalıp uzunluğ

L_2 : Plastik uzunluk

L_3 : Kuru uzunluk

L_4 : Pişmiş uzunluk

Killerin kurutulduklarında küçülme göstermesinin nedeni; şekillendirme suyunun uzaklaşmasıdır. Kil tanecikleri arasında kalan su kilden uzaklaştıkça, tanecikler birbirine yaklaşır ve küçülme ortaya çıkar [9].

Kurutulan bir masse şekillendirme suyunu tamamen verinceye kadar küçülür. Bu kuru küçülmeyi izleyen aşamada kil pişirme işlemi esnasında da küçülme devam eder. Bunun nedeni ise; yapısındaki organik maddelerin yanması, gazların uzaklaşması, kristal suyunun yapıdan ayrılması ve kompleks kristal ve faz değişimleridir. Bir başka deyişle malzemedeki ergitici feldispat hammaddeleri ve mevcut safsızlıkların ergiyerek diğer yüksek sıcaklıkta ergiyen tanecikleri kuşatarak yoğun bir yapı halini alması, yani sinterleşmeden dolayı seramik malzemenin küçülme göstermesidir [9].

5.4.3. Mukavemet Deneyi

Ham (yaş), kuru ve pişme mukavemetini ölçmek için karo numuneler üzerine 3 nokta eğme testi uygulanır.

Eğilme dayanımı kontrolü için alınan numune, mukavemet cihazı mesnetleri arasına yerleştirilir. Numune üzerine sabit hızla kuvvet uygulanarak kırma işlemi tamamlanır. Kırılma anında cihaz üzerinde okunan değer kırılma yüküdür. Numunenin kırılma bölgesindeki uzunluğu kumpas yardımıyla, kalınlığı ise kompratör yardımıyla ölçülür.

Kuru numuneler bu işlemlerden etüvde 100°C'de yaklaşık 1 saat kurutulduktan sonra geçirilirken, pişmiş mukavemet testi için numuneler daha önce belirtilen sıcaklıklarda pişirildikten sonra bu işlemlerden geçirilmişlerdir. Elde edilen değerler;

$$\sigma = 1,5x[(PxL)/(bxd^2)] \quad (5.8)$$

denkliğinde yerlerine konularak mukavemet değerleri hesaplanır.

σ : Mukavemet (kg/cm²)

P: Kırılma yükü (kg)

L: Mesnet aralığı (cm)

b: Kırılma bölgesinin uzunluğu (cm)

d: Kırılma bölgesinde karonun taban ile ayak kalınlıkları arasındaki fark (cm)

5.4.4. Su Emme Deneyi

Su emme değeri, pişen ürünün açık gözeneklerine alabildiği su olarak tanımlanmaktadır. Ortamda nem olmayacak şekilde soğutulan pişmiş ürünün değişmez ağırlıkta tartımı yapılır. Daha sonra bunlar içi su dolu bir kaba alınarak birbirine değmeyecek şekilde 4 saat kaynatılıp 24 saat su içinde kaldıktan sonra kap içerisine alınır. Suyun içinden çıkarılan numunelerin, üzerlerindeki parlaklığı tam olarak kaybetmeden kurularak yaş tartımları yapılmıştır. Yaş tartım ile kuru tartım arasındaki fark numunenin emdiği su miktarını verir. Su emme % olarak hesaplanmak istendiğinde aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\% \text{ Su Emme} = [(W_s - W_k) / W_k] \times 100 \quad (5.9)$$

W_k : Kuru ağırlık

W_s : Su emmiş ağırlık

1000, 1075, 1100, 1125, 1150 ve 1180°C'de sinterlenen A kodlu standart ve deneme masse tabletlerinin ve 900, 930, 960, 1000, 1100 ve 1170°C'de sinterlenen B kodlu standart ve deneme masse tabletlerinin her biri yukarıda belirtilen işlemlerden geçirilmişlerdir. Daha sonra yine yukarıda verilen formülle % su emme değeri hesaplanmıştır.

Su emmeyi etkileyen faktörler; başlangıç hammaddelerinin özellikleri, granül % nem oranı, granül tane boyut dağılımı, presleme basıncı ve pişirim sıcaklığı olarak sıralanabilir [5,9].

Belli bir sıcaklık aralığında fırın sıcaklığı artarken su emme yavaş yavaş düşmekte, pişme küçülmesi ve pişme mukavemeti artmaktadır [10]. Bunun nedeni; feldispatın eriyerek cam faz oluşturması, erimiş cam fazın içerisindeki meta kaolinin müllite dönüşmesidir. Bir miktar kuvars feldispat camı içerisinde erir. Bu sebeple cam fazın akıcılığı azalır. İğne şeklindeki müllit kristalleri, bünyeye sağlamlık kazandırır [22]. Pişme küçülmesinde gözlenecek bir düşme, bünyedeki kapalı gözeneklerin şişerek hava kabarcığı oluşturmaya yol açmaktadır. Küçülmenin geriye dönüşünden kısa bir süre sonra su emme artar [10]. Aynı zamanda pişirme sıcaklığının uygun sinterleme sıcaklığının üzerine çıkması durumunda pişme mukavemeti değerinde de düşme gözlenir. Bunun nedeni ise; bu sıcaklıkta feldispat camının müllit kristallerini eritmeye başlaması, bünyeye sağlamlık kazandıran kristal yapının azalarak amorf cam faz miktarında artış olmasıdır [22].

5.4.5. Aşınma Testi

Yer karosu ürünlerinde aşınma değerlerinin az olması tercih edilmektedir. Bu testin yapılmasında Gabbrielli Abrasimetro CAP aşınma cihazı kullanılmıştır.

5.4.6. XRD Analizi

X-ışını difraktometresinde x ışınları, test edilecek numunenin üzerine gönderilir. Işın demetleri maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden Bragg kanununa göre kırınımına uğrar. Her mineralin farklı açılarda ve şiddetlerde kırınım vermesi ile edinilen sonuçlar analiz edilerek faz tespiti yapılmaktadır.

Yer karosu bünyelerinde değişik oranlarda kullanılan atık camların miktarı ve pişirim sıcaklıklarıyla, bünyelerde oluşan fazların tespiti için numuneler Rigaku Rint 2000 serisi XRD cihazı ile incelenmiştir.

5.4.7. SEM ve EDX Analizi

Hammadde ve ürünlerin gözle görülemeyen yapılarını inceleyerek mikro yapı oluşumunu tayin etmek elektron mikroskopuyla mümkündür.

Numuneler elektron mikroskopuyla incelenmeden önce kırılıp küçük boyutlarda kesilmiş ve kırık yüzeyleri incelenmiştir. Daha sonra altın ile kaplanmışlardır. Bu şekilde hazırlanan numuneler, SEM ve buna bağlı olan EDX cihazı kullanılarak incelenmiştir.

EDX analiziyle elektron mikroskopunda görüntülenen kristal yapıların elementel analizi mümkündür. Ayrıca, EDX cihazı ile elementel olarak kantitatif analiz de yapılabilmektedir.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Standart ve atık cam içeren (Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10) her bir reçete için; elek bakiyesi, kuru küçülme, pişme küçülmesi, toplam küçülme, kuru mukavemet, pişme mukavemeti ve % su emme değerleri pişirim sıcaklıkları dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca değişen atık katkı miktarının mikro yapı üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu SEM ve EDX araştırmalarıyla incelenmiştir.

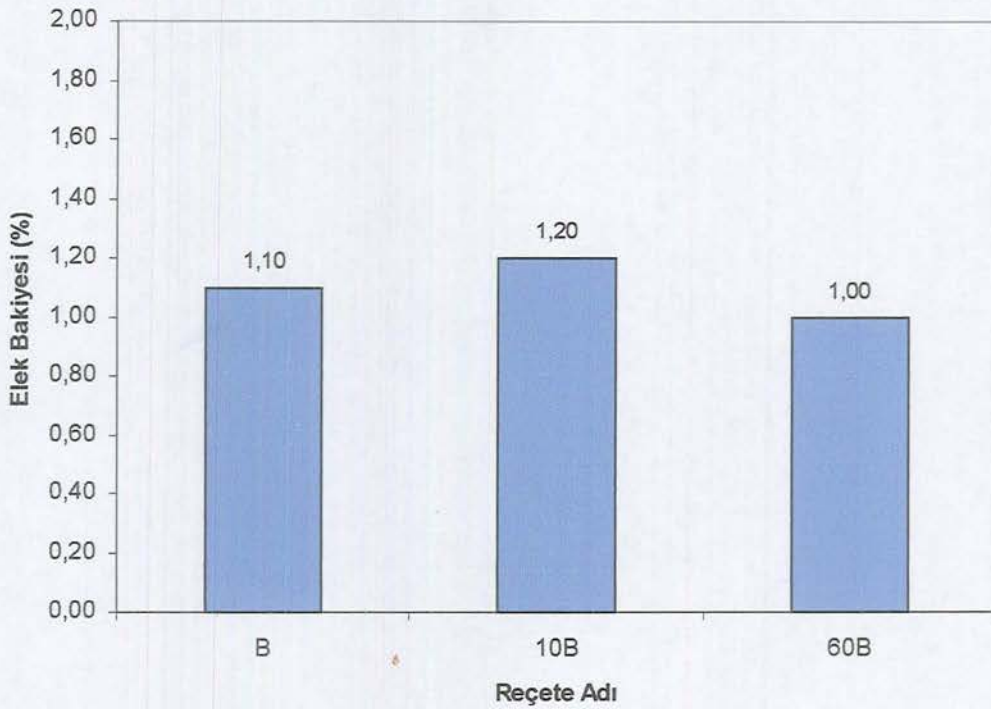
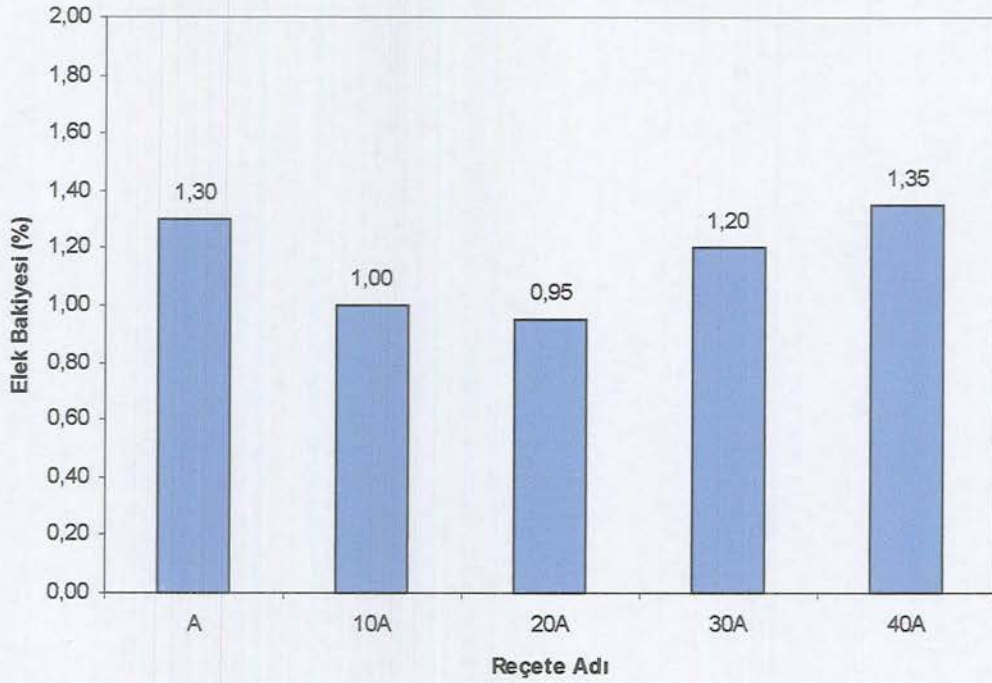
6.1. Masselerin Elek Bakiye Değerleri

Yer karosu massesini oluşturan hammaddelerin öğütülmesi sonucu elde edilen tane inceliği sinterleşmede oldukça önemli rol oynamaktadır. Killerin yanında sert bir yapıya sahip olan albit ve pegmatit gibi sert feldispat hammaddeleri bilyeli değirmenlerde öğütülerek tamamının karo reçetesine geçmesine dikkat edilmelidir. Çünkü bilyalı değirmenden boşaltılan çamurda eleme sonucu feldispat hammaddelerinin varlığı reçeteye girmemesi sebebiyle nihai üründe olumsuz özelliklere neden olabilmektedir.

Yeterli öğütmenin sağlanmadığı karolarda bu durum, pişirim sonucunda fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri oluşturan reaksiyonların gecikmesine, ya da bir kısmının hiç oluşmamasına sebebiyet vermektedir. Sonuç olarak seramik bünye iskeleti tamamlanmaz, camlaşma gecikir, tüm fiziksel özellikler yetersiz kalır. Bu sebepten etkin öğütmenin kontrolünde elek bakiyesi kontrol edilir.

Standart olarak kabul edilen A ve B kodlu reçeteler ile bu reçetelere değişik oranlarda ilave edilen atık camların öğütme süresine bağlı olarak elek bakiye değerleri tespit edilmiştir. Şekil 6.1'de A ve B kodlu standart ve deneme masselerin öğütme süresine bağlı olarak elek bakiye değerleri verilmektedir.

A serisinde atık cam oranı artan reçetelerde % 40'dan az ilave miktarlarında elek bakiyesi reçetelere oranla daha düşüktür. Bu durum atık cam kullanılan yer karosu üretiminde öğütmenin standart yer karosu üretimine göre daha kısa zamanda gerçekleşebileceğini göstermektedir. Bu, hem zaman hem de enerji kazancı olarak değerlendirilebilir.



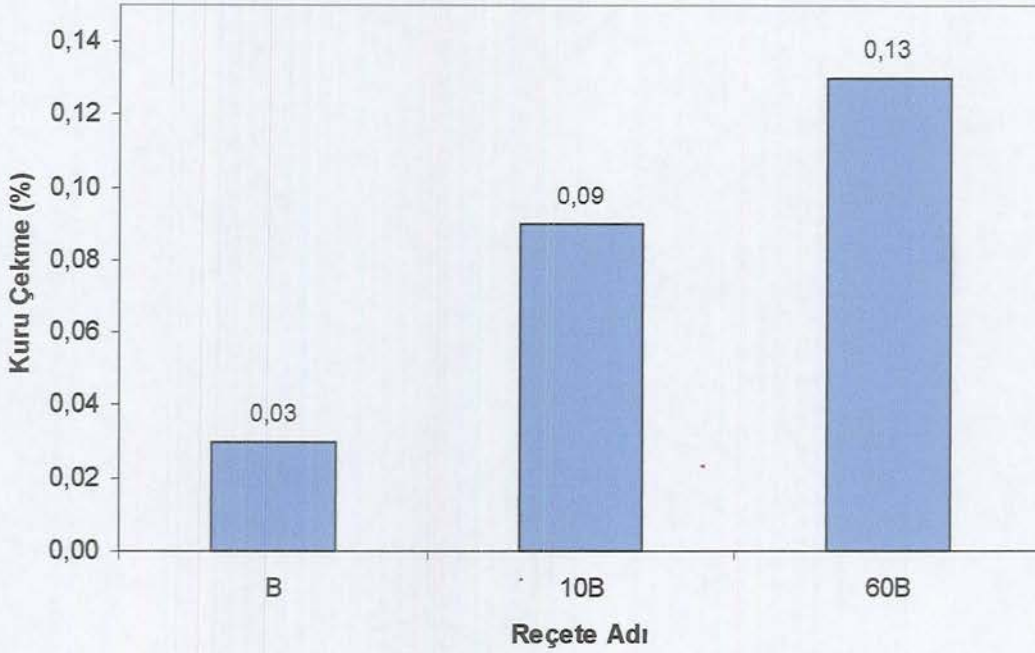
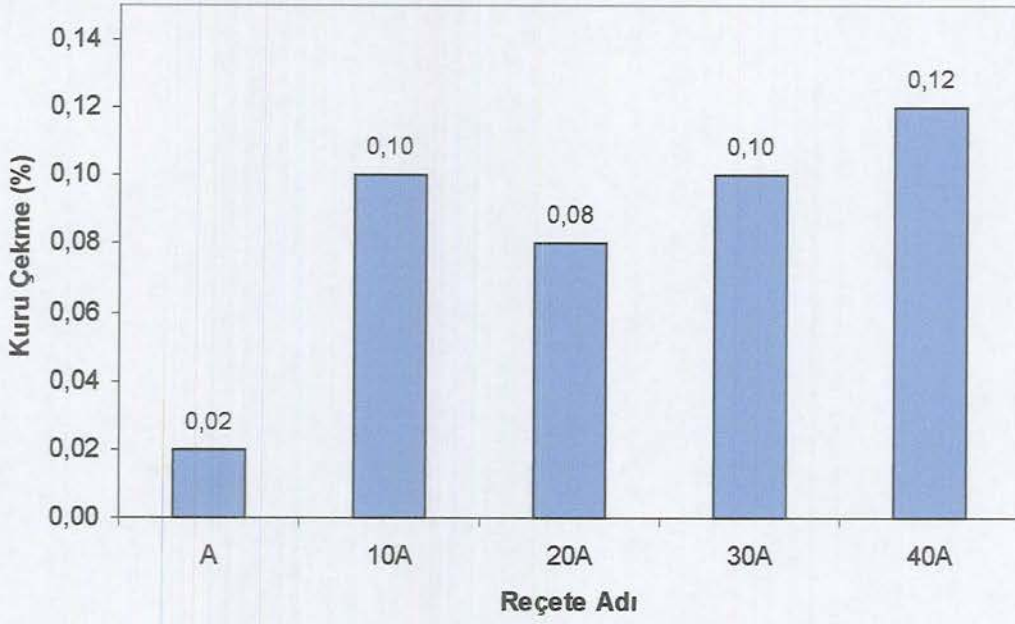
Şekil 6.1. A ve B kodlu standart ve deneme masselerinin elek bakiyesi değerleri

6.2. Karoların Kuru ve Pişme Çekme Miktarları

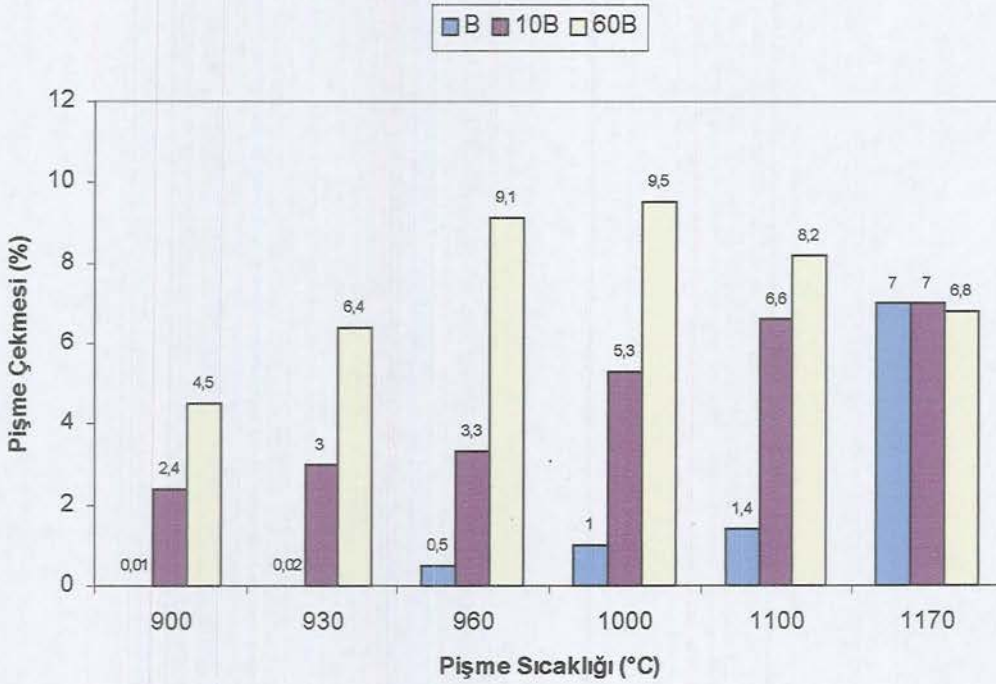
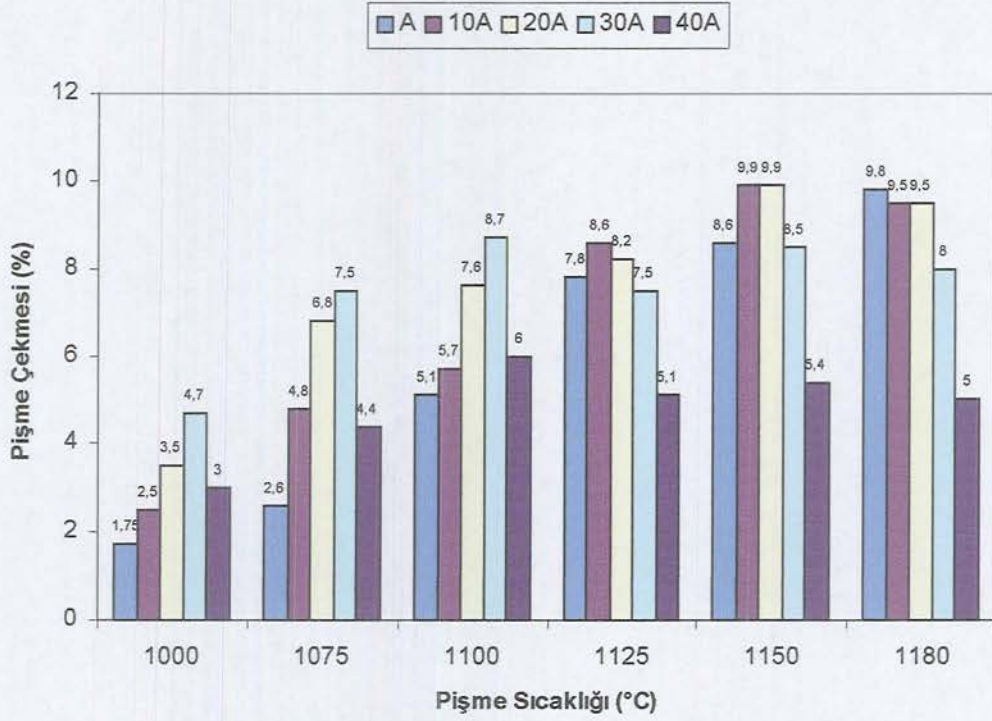
Gözenekli ürünlere göre daha yüksek sıcaklıklarda sinterlenerek yüksek mukavemet, düşük gözenek ve su emmeye sahip ürünlerin boyut küçülmeleri daha fazladır. Duvar karosu üretiminde % 1 civarında olan pişme küçülmesi, yer karolarında % 6-9 civarındadır [15].

Şekil 6.2'de standart ve deneme reçetelerinin kuru çekme değerleri verilmektedir. Kuru çekme değerleri ilave edilen atık cam miktarı ile artmasına rağmen toplam çekme göz önünde bulundurulduğunda ihmal edilebilir derecede düşüktür. Şekil 6.3'de ise standart ve deneme reçetelerin pişme çekme değerleri verilmektedir. A ve B standart reçetelerinde pişme küçülme değerleri, sıcaklık artışıyla birlikte artma göstermektedir. Buna karşılık 10A ve 20A deneme reçetelerinde 1150°C'e kadar sıcaklık artışıyla pişme küçülme değerleri artmakta 1180°C'de ise azalmaktadır. 30A ve 40A deneme reçetelerinde ise 1100°C'e kadar pişme küçülme değeri artarken bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklık değerlerinde azalmaktadır. 40A reçetesinde max. ve min. çekme değerleri 3-6 arasında değişirken 10A ve 20A'da yaklaşık olarak 2,5 ile 10 arasında değişmektedir. Sonuçlar endüstriyel uygulamalar açısından değerlendirildiğinde yer karosu kalıp boyutları belli bir üretici için sabit kalacağı için 40A reçetesi A reçetesini standart olarak kullanan üretici için uygun olmayacaktır.

10B deneme reçetesinde ise sıcaklık artışıyla pişme çekmesi artmaktadır. 60B deneme reçetesinde ise 1000°C'e kadar pişme küçülme değeri artmakta daha sonra azalmaktadır.



Şekil 6.2. A ve B kodlu standart ve deneme yer karolarının kuru çekme değerleri



Şekil 6.3. A ve B kodlu standart ve deneme yer karolarının pişme çekme değerleri

6.3. Karoların Ham, Kuru ve Pişme Mukavemetleri

Preslemede granüllerin yapı ve dağılımları ile beraber granüllerdeki nem karoların fiziksel özellikleri bakımından oldukça önemli bir yere sahiptir. Presleme anındaki nem, granüllerin birbirlerine sıkıca yapışmasını sağladığından ürünün ham ve kuru mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca şekillendirme nemindeki ufak bir değişimde kuru küçülme dolayısıyla toplam küçülme etkileneceğinden bünyede boyut problemleri yaşanmakta mukavemet ve su emme değerleri değişebilmektedir [15,22].

Prensip olarak şekillendirme nemi (% 10'u aşmamak kaydıyla) arttıkça ham ve kuru mukavemet artmakta, kuru küçülme miktarı artıp, su emme değeri düşmektedir. Ancak, karoların şekillendirilmesinde presleme basıncının etkisi çok büyüktür. Ham ve kuru mukavemet pişirme öncesi ürünlerin taşınması ve fırına yerleştirilmesi açısından önemlidir. Atık cam miktarının artışı ile ham ve kuru mukavemetin artması bize presleme basıncını düşürme ve dolayısıyla kuru ve pişme çekme küçülmesini kontrol etme avantajı sağlayacaktır. Ayrıca, presleme esnasında uygulanacak olan düşük basınçlar, kalıp ömrünün artmasına sebep olacaktır.

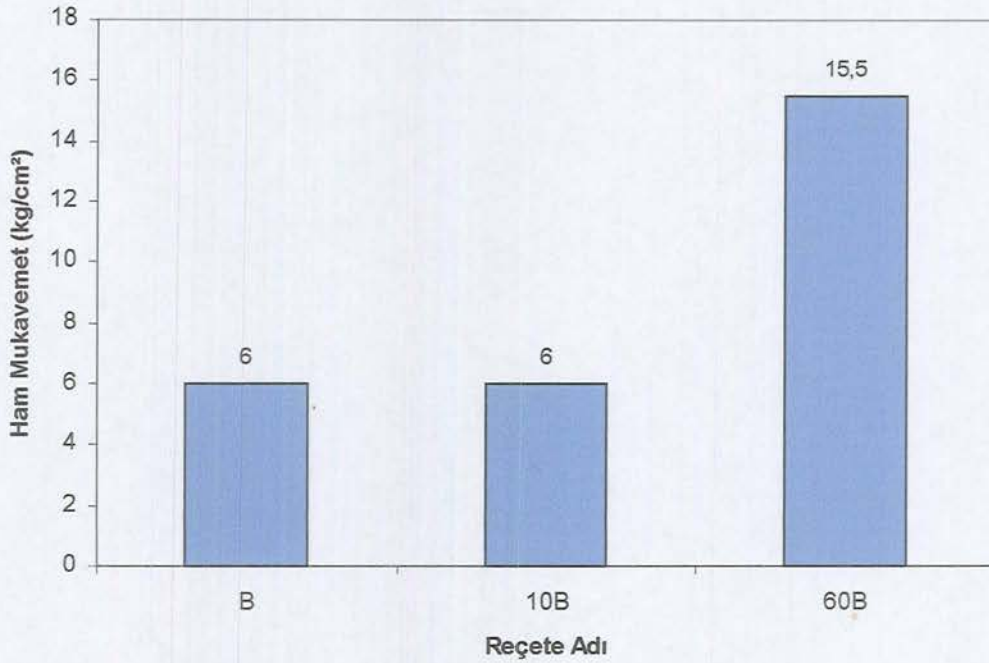
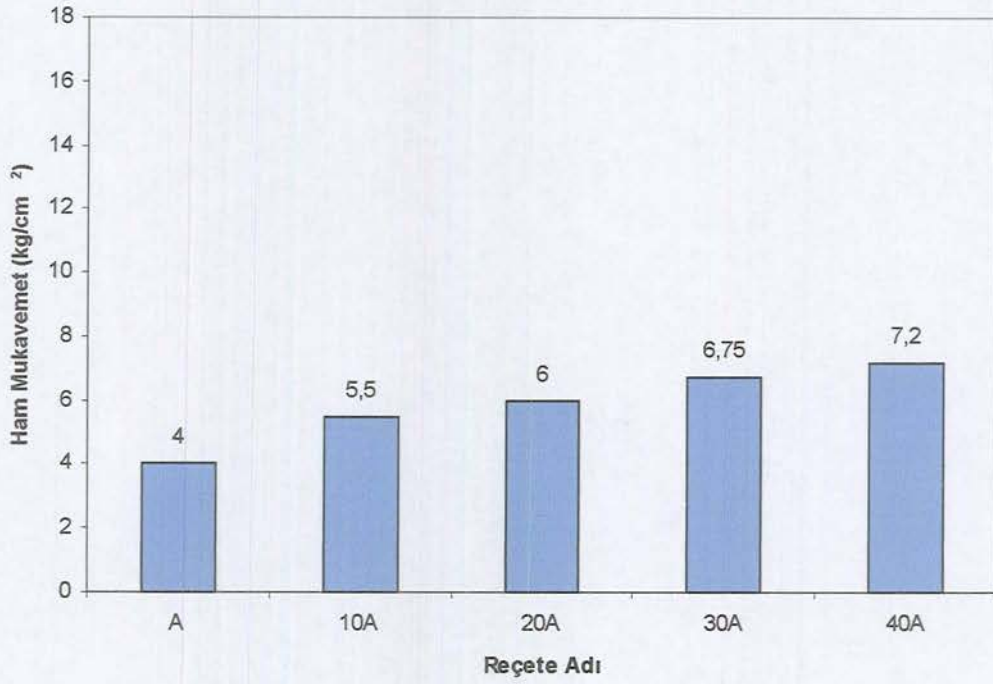
Şekil 6.4'de standart ve deneme reçetelerin ham mukavemet değerleri, Şekil 6.5'de ise kuru mukavemet değerleri verilmektedir. Reçetelerdeki atık cam miktarı arttıkça ham ve kuru mukavemet değerleri artış göstermektedir.

Ürünlerin sinterleme sonrası basınca karşı dayanıklılığının ölçülmesi için pişme mukavemetlerine bakılmaktadır. Pişme mukavemet değerinin yüksek olması ürünün uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır.

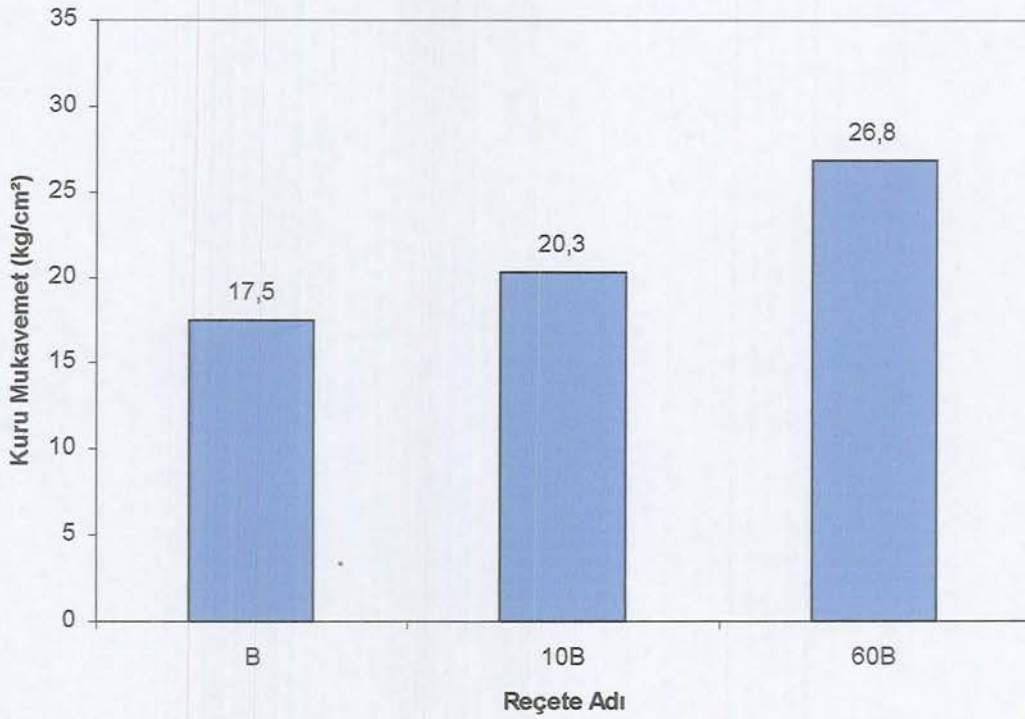
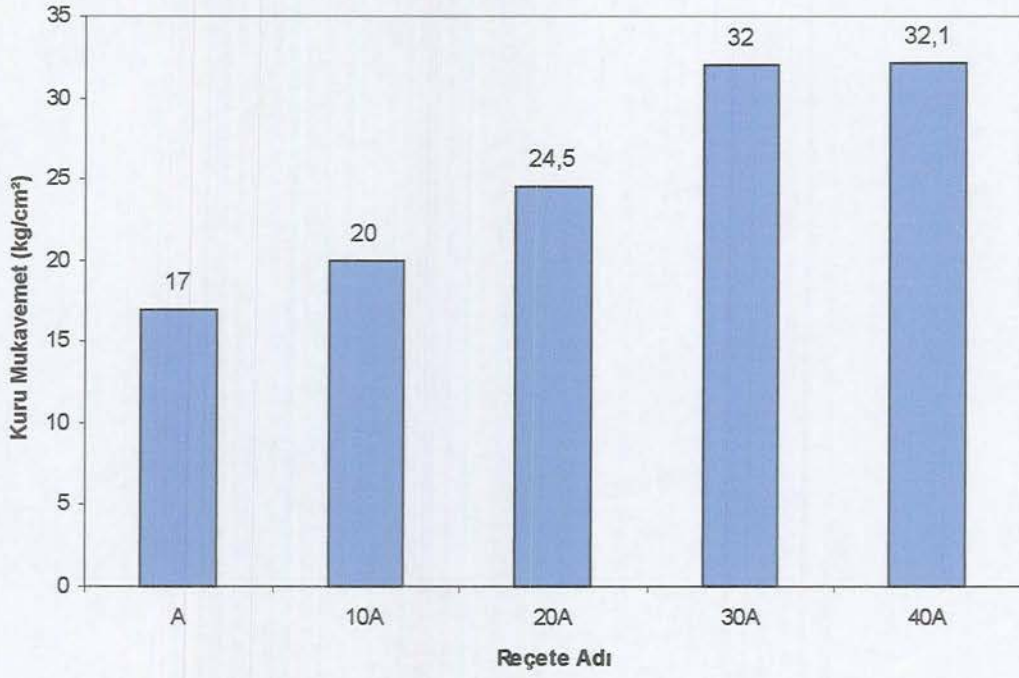
Şekil 6.6'da görüldüğü gibi; A ve B standart reçetelerinde artan sıcaklık değeriyle birlikte mukavemet değerleri de artış göstermektedir. 10A deneme reçetesinde 1125°C, 20A deneme reçetesinde 1100°C, 30A reçetesinde 1075°C, 40A deneme reçetesinde 1075°C'den sonra, 10B reçetesinde 1100°C ve 60B deneme reçetesinde 960°C'den sonra artan sıcaklık değeriyle birlikte mukavemet değerlerinde azalma gözlenmektedir. Mukavemet testi sonuçlarında elde edilen değerlerde ± 5 tolerans bulunmaktadır.

Her bir reçete için tespit edilen bu sıcaklık değerleri, söz konusu reçeteler ile hazırlanan bünyelerin maksimum üretilebilecekleri sıcaklık değerleridir.

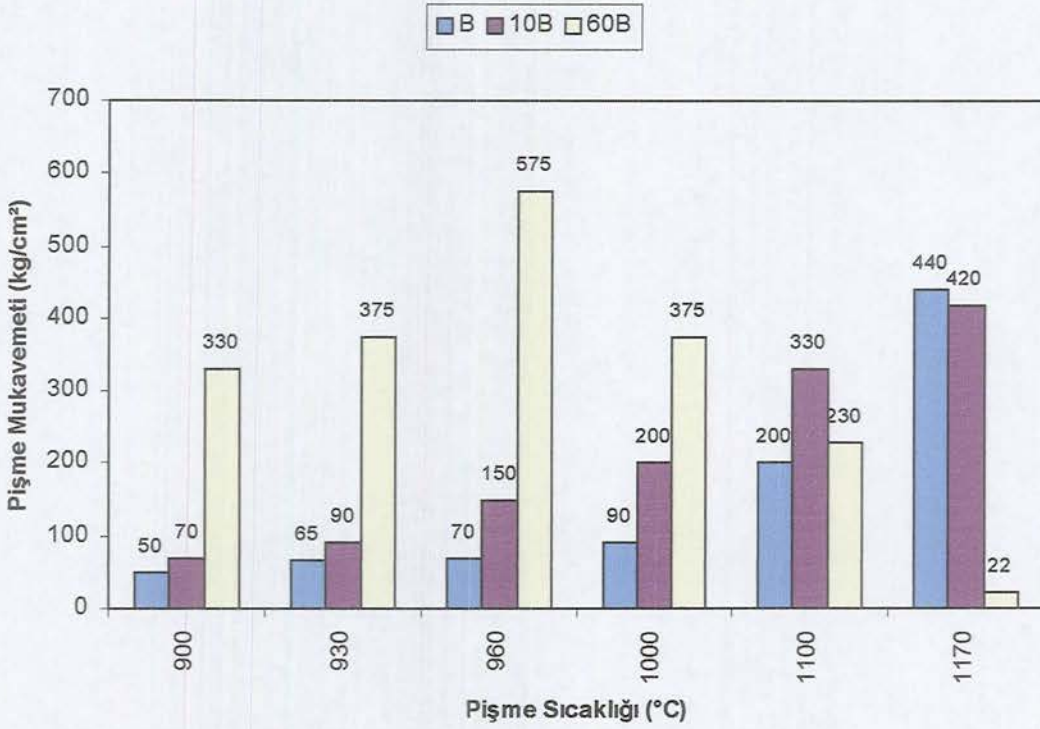
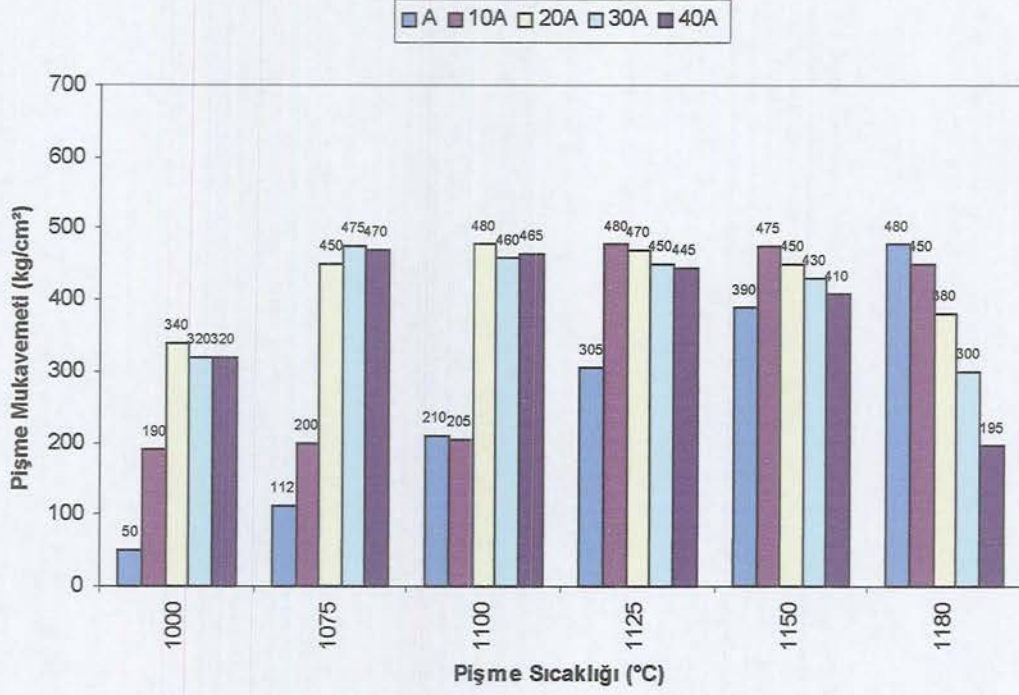
Reçeteler için en iyi mukavemet değerleri bu sıcaklıklarda gözlenmiştir. A serisinde standart reçete ile 1180°C'de elde edilen 480 kg/cm² mukavemet değeri 10A ile 1125°C'de, 20, 30 ve 40A ile 1075-1125°C arasında elde edilebilmektedir. Aynı şekilde B serisinde %60 cam ilavesi ile 960°C gibi düşük bir sıcaklıkta %30'luk mukavemet artışı sağlanabilmektedir. Standart yer karosu üretim sıcaklığının altında olan bu değerler atık cam kullanılan yer karosu bünyelerininin daha düşük sıcaklıklarda üretilebileceğini başka bir deyişle daha düşük maliyetle üretilebileceğinin bir göstergesidir.



Şekil 6.4. A ve B kodlu standart ve deneme yer karolarının ham mukavemet değerleri



Şekil 6.5. A ve B kodlu standart ve deneme yer karolarının kuru mukavemet değerleri



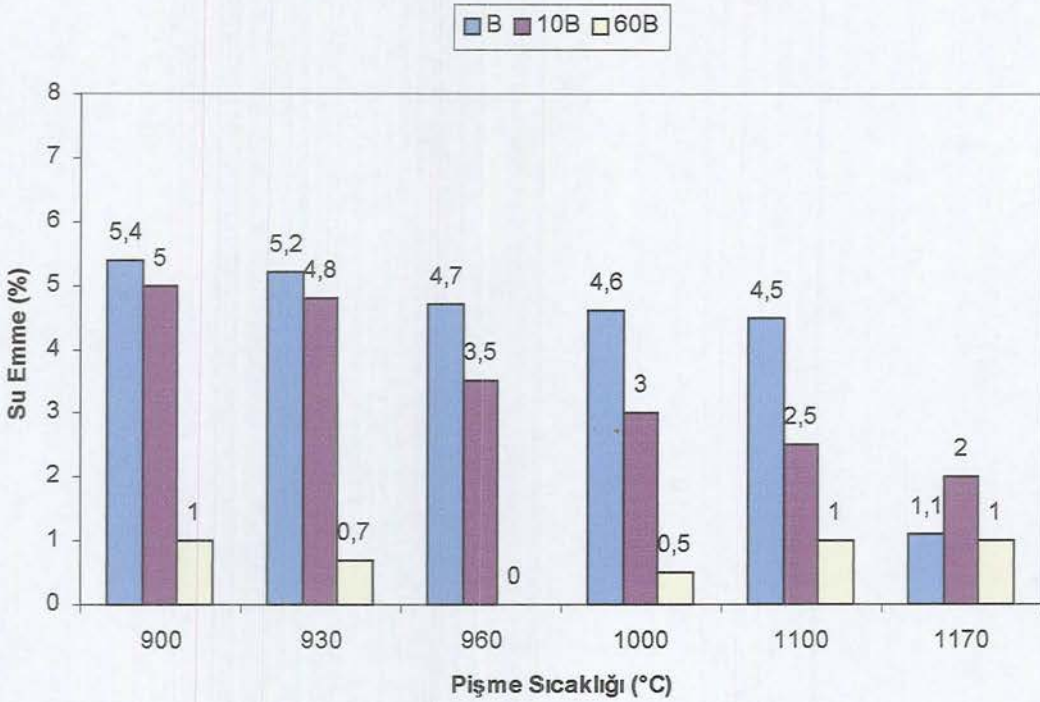
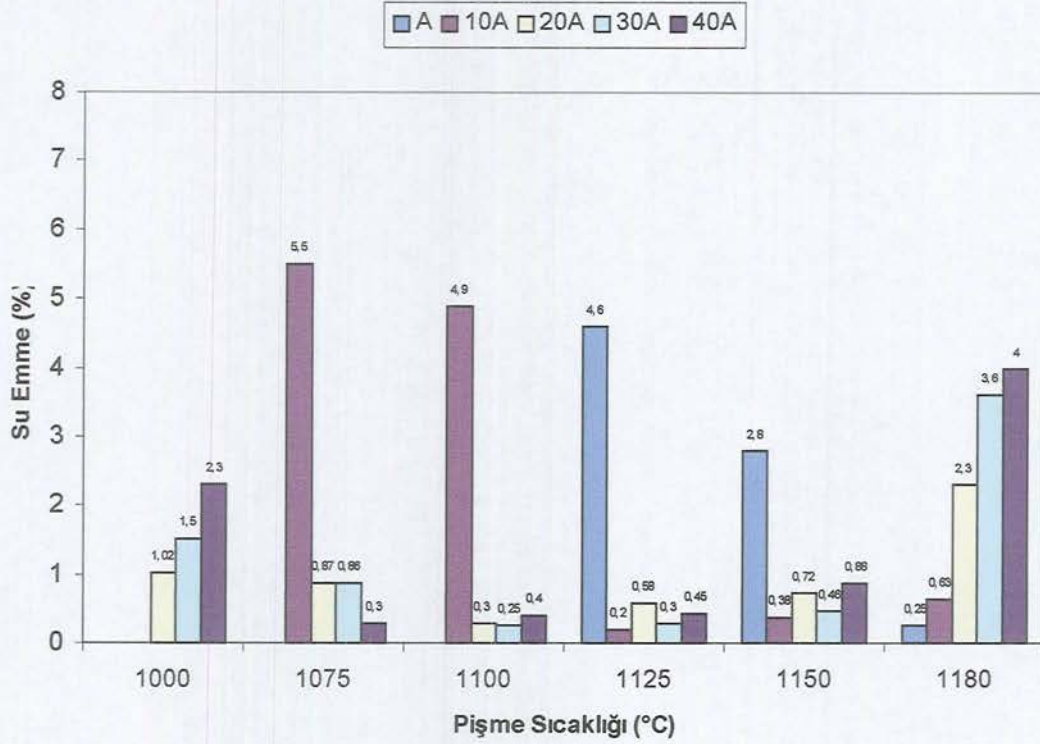
Şekil 6.6. A ve B kodlu standart ve deneme yer karolarının pişme mukavemeti değerleri

6.4. Karoların Su Emme Miktarları

Karoların su emme miktarları Şekil 6.7'de verilmiştir; A ve B standart karolarda artan sıcaklıkla birlikte su emme değerleri azalmaktadır. Su emme miktarları A serisinde standart pişirim sıcaklığında % 0,25 iken B serisinde % 1,1'dir. Bu yanında 10A reçetesinde 1125°C, 20A reçetesinde 1100°C, 30A reçetesinde 1100°C, 40A reçetesinde 1100°C, 10B reçetesinde 1000°C ve 60B reçetesinde 960°C'e kadar azalma ve bu sıcaklıktan sonra ise su emme değerlerinde artış bulunmaktadır. Bu sıcaklıklarda standart karoların su emme değerlerine en yakın değerler elde edilmektedir. Belirli sıcaklıklara kadar su emme miktarının azalması bu sıcaklıklarda optimum sinterleşmenin gerçekleştiğini göstermektedir. Bu sıcaklıkların üzerindeki sıcaklıklardaki su emme miktarındaki artış ise şu şekilde açıklanabilir; sıcaklık arttıkça yapıda bulunan kapalı poroziteler büyümeye başlamaktadır ve zamanla açık porozite halini almaktadır. Bu nedenle yukarıda verilen sıcaklıkların üzerindeki sıcaklıklarda az da olsa su emmede artış gözlenmektedir.

Standart yer karosu ürünlerinde, düşük su emme değerlerinin elde edilebilmesi için yüksek oranlarda ergitici hammadde kullanılmaktadır. Bu hammaddelerin birim fiyatları diğer kullanılan hammaddelere oranla daha yüksek olduğundan karo üretim maliyetini doğrudan artırmaktadır. Buradan hareketle standartlara uygun bir su emme değeri için hem ergitici oranının hem de sinterleme sıcaklık değerinin düşürülmesi büyük çaplı üretim yapan işletmeler için önemli bir enerji tasarrufunu gündeme getirecektir.

A kodlu standart reçetenin su emme değeri 1000, 1075 ve 1100°C'de, 10A reçetesinin 1000°C'de çok yüksek oldukları için (A kodlu standart reçetenin 1000°C'de % 19,5, 1075°C'de %10,5 ve 10A kodlu deneme reçetesinin 1000°C'de % 10) Şekil 6.7'de grafiğe girilmemiştir.

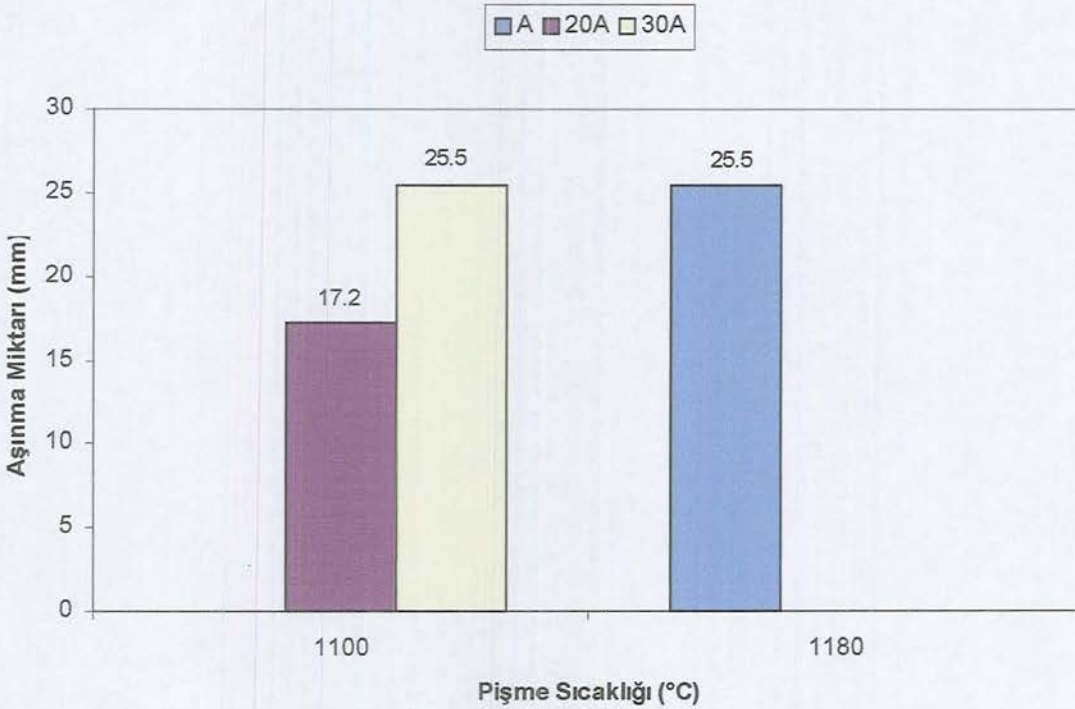


Şekil 6.7. A ve B kodlu standart ve deneme yer karolarının su emme değerleri

6.5. Karoların Aşınma Değerleri

Yer karolarında aşınma testleri de önem taşımaktadır. Genellikle yüksek aşınma değerine sahip ürünler tercih edilmektedir. Atık cam kullanılarak üretilen yer karosu ürünleri özellikle dış yüzeylerde de kullanılabilmesi için aşınma değerleri önem taşımaktadır. Mukavemet, su emme ve çekme değerleri standartlara yakın olan reçetelerden 1100°C'de pişirilen 20A ve 30A kodlu karoların aşınma değerleri standart ile karşılaştırılmak üzere belirlenmiştir (Şekil 6.8).

Yapılan aşınma testi sonucunda 1100°C'de sinterlenen 30A deneme reçetesinin aşınması standart A reçetesiyle benzerlik göstermektedir. 20A reçetesinin ise bu sıcaklıkta aşınma davranışı iyi olmamasına rağmen daha yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile standarda benzer değerler elde edilebilir.

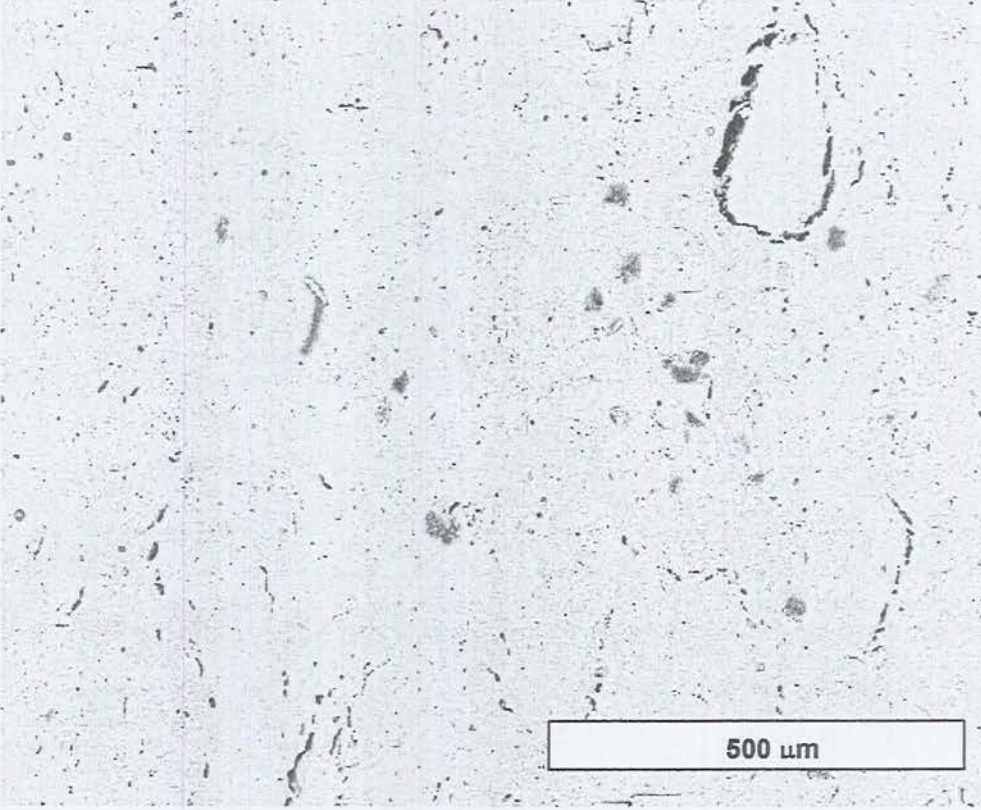


Şekil 6.8. A, 20A ve 30A standart ve deneme yer karolarının aşınma miktarları

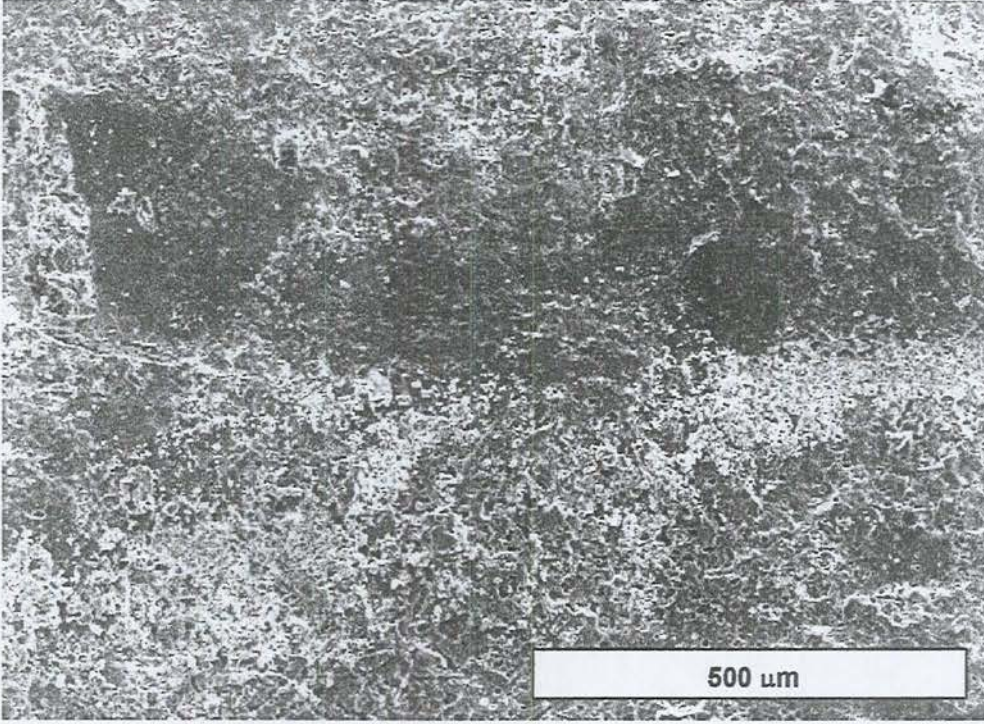
6.6. SEM ve EDX Sonuçları

Standart ve değişik oranlarda atık cam içeren karoların mikro yapıları incelenmiş ve mikro yapı görüntülerinde elde edilen fazların miktarları EDX analizi ile belirlenmiştir. Bu amaçla sıcaklık artışı ile belli bir atık cam ilavesi için ve belli bir sıcaklıkta atık cam ilavesi artışının özellikler üzerinde meydana getirdikleri farklılıkları belirliyerek yorumlamak amacıyla %30 atık cam ilavesi ile sıcaklık değişimi ve 1100°C'de atık cam ilavesi değişimi mikroyapı incelemeleri için seçilmiştir.

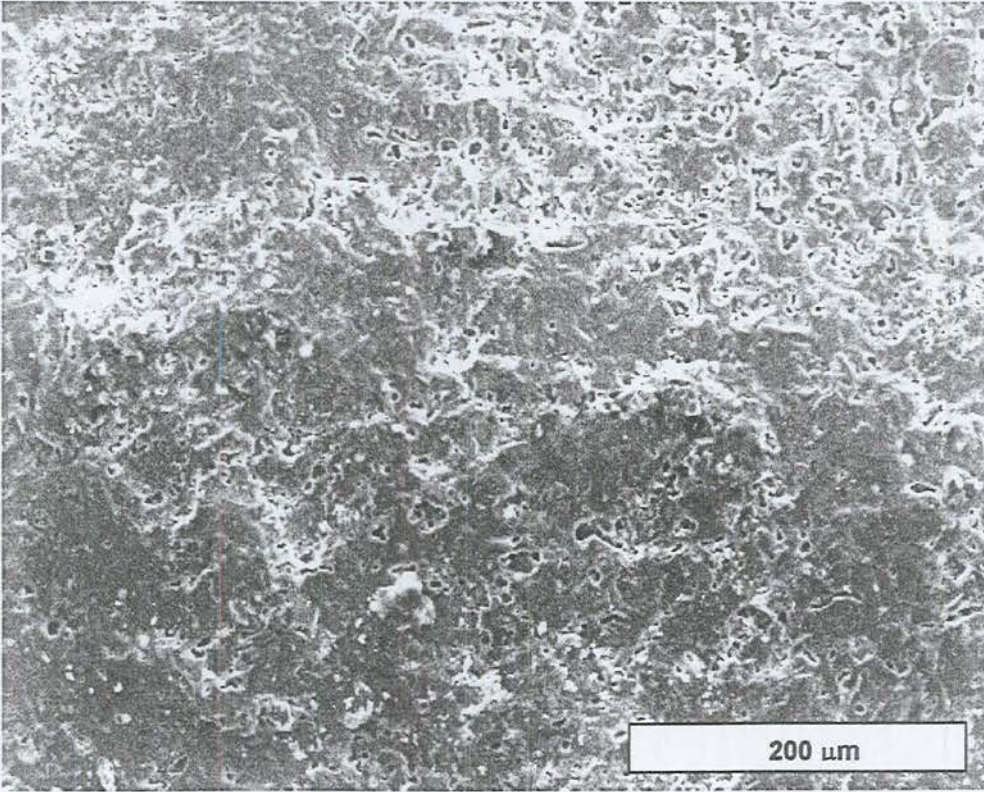
SEM görüntülerine bakıldığında; yapıda yoğun bölgeler görülmektedir. Cam yoğun bir malzeme olduğu için yapıda bu tür durumlara rastlanabilmektedir. Bunun yanı sıra Şekil 6.12'de görüldüğü gibi bünye içinde poroziteler de mevcuttur. Bu reçetelerin tümünde su emme değerleri düşük çıkmıştır. Bunun nedeni SEM görüntülerinde de görülen yoğun bölgelerdir. Bunun yanı sıra mukavemet değerleri düşük su emmelere rağmen olması gereken kadar yüksek çıkmamaktadır. Bunun nedeni de yine SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi yapıda olan kapalı porlardır. Sıcaklık artışı ile birlikte su emme değerlerinde azalma olması beklenirken mevcut kapalı porlar sıcaklık artışı ile genişlediği için açık porozitelerin oluşması söz konusu olmuştur bu durumda sabit atık cam oranında sıcaklık arttıkça su emme değerlerinin bir miktar azalmasına yol açmıştır. %30 atık cam içeren ve 1000°C'de pişirilen karoda porozite görülmezken aynı atık cam oranında 1150°C'de pişirildiğinde karolarda poroziteler gözlenmektedir.



Şekil 6.13. Standart yer karosunun 1180°C’de sinterlendikten sonra elde edilen SEM görüntüleri

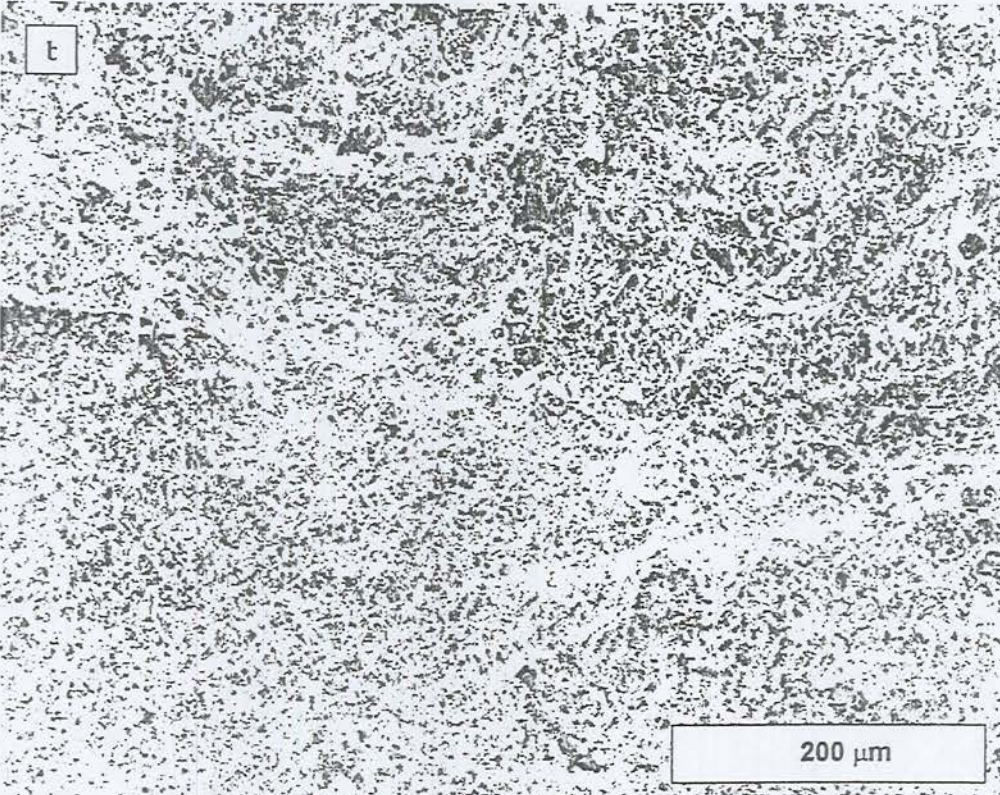
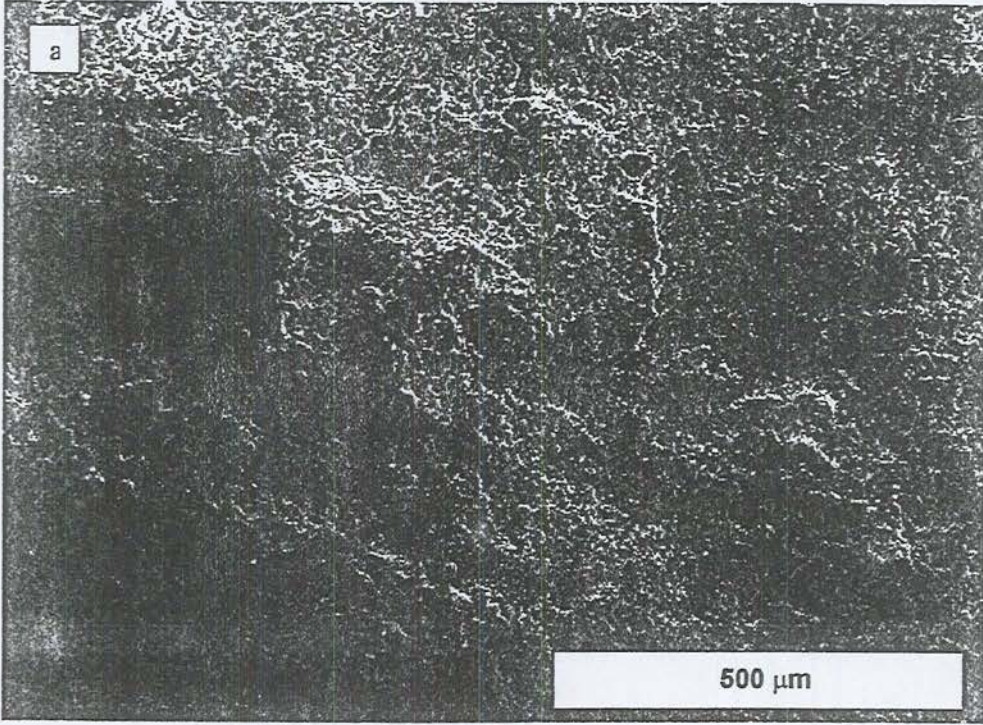


(a)

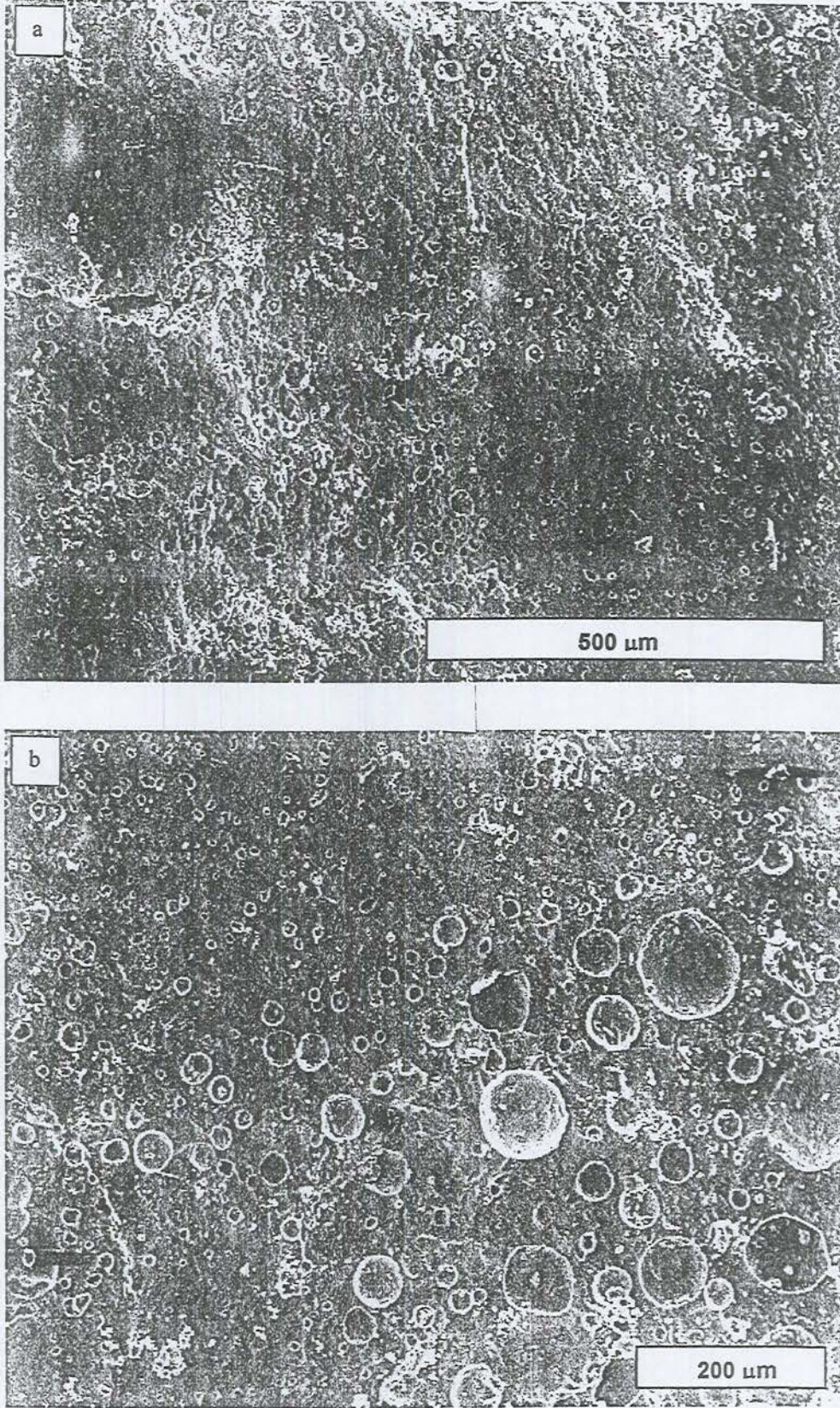


(b)

Şekil 6.11. %30 atık cam içeren yer karosunun 1000°C'de sinterlendikten sonra farklı büyütmelerde çekilmiş SEM görüntüleri



Şekil 6.11. %30 atık cam içeren yer karosunun 1075°C'de sinterlendikten sonra çekilmiş SEM görüntüleri

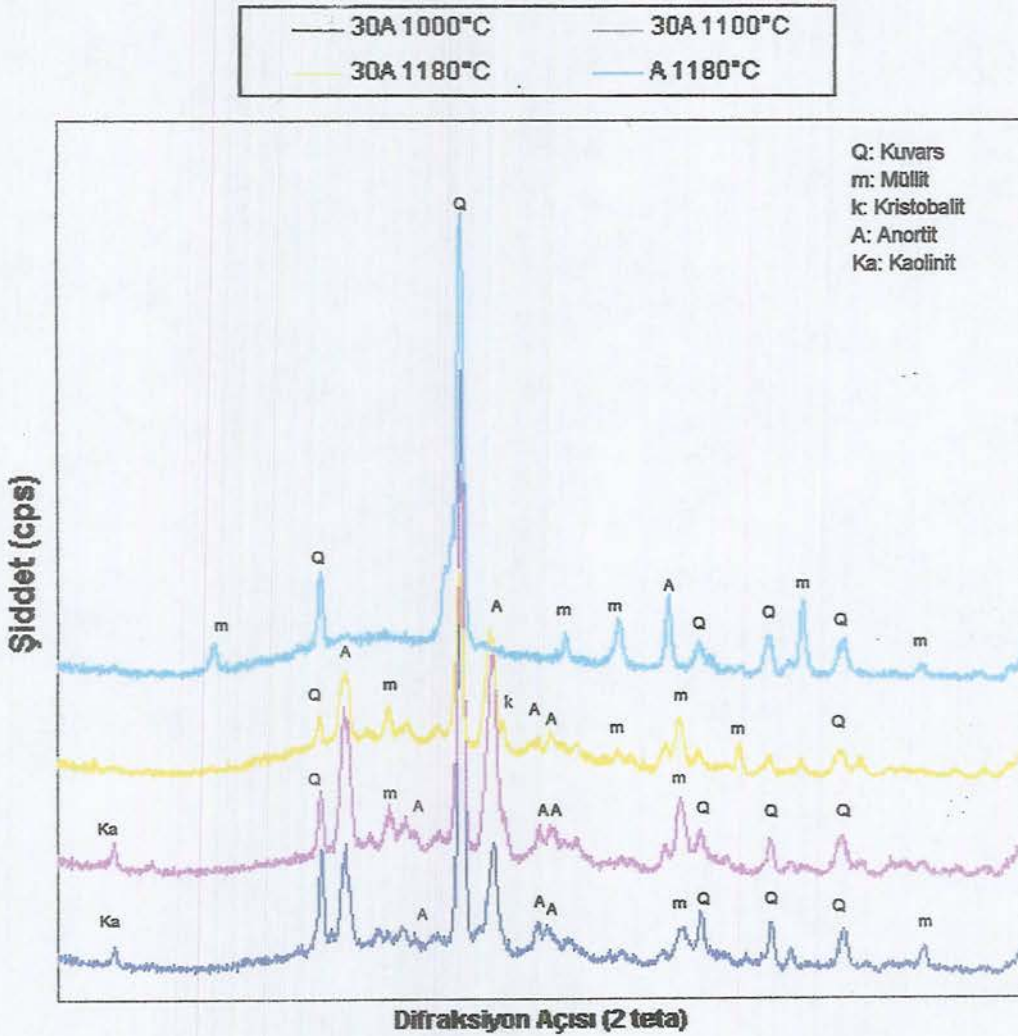


Şekil 6.12. %30 atık cam ilaveli yer karosunun 1150°C'de sinterlendikten sonra çekilmiş SEM görüntüleri

6.7. XRD Sonuçları

Mukavemet, su emme ve çekme değerlerindeki değişimleri yorumlamak için sıcaklık artışı ile oluşan fazların belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla %30 atık cam içeren ve 1000, 1100 ve 1180°C'de sinterlenmiş karoların XRD sonuçları incelenmiştir.

XRD çalışmalarında, pişirim sonucu üretilen bünyelerde kuvars, müllit, anortit ve bir miktar kristobalit pikleri tespit edilmiştir. Şekil 6.13'de de görüldüğü gibi en yüksek pik kuvarsa aittir. Yapıya atık cam ilave edildiği için bu beklenen bir durumdur. Bunun yanı sıra müllit pikleri de bulunmaktadır.



Şekil 6.13. 1000, 1100 ve 1180°C'de sinterlenmiş 30A numunesi ile 1180°C'de sinterlenmiş standart A numunesinin XRD paterni

7. GENEL SONUÇLAR VE TAVSİYELER

Atık camların kimyasal analizine bakıldığında yapılarında toplam alkali oranının (K_2O+Na_2O) albite göre biraz daha fazla olması bu malzemenin ergitici olarak daha etkili olduğunu göstermektedir. Yapıya artan oranda giren atık camlar düşük sinterleme sıcaklık özelliği sayesinde sistemin sinterleme sıcaklığını düşürmekte, standart reçeteye oranla daha düşük sıcaklık değerlerinde sinterleme başlangıcı gösterip pişirim sonrası sinterleşme oranı yüksek nihai ürünlerin eldesini sağlamaktadır. Yapıdaki amorf bölgelerin artması yoğun bölgelerde artışı sağlamakta bu da beraberinde düşük sinterleme sıcaklığında düşük su emme değerini getirmektedir. Bu sonucun paralelinde artan sıcaklık değeriyle birlikte mukavemet değerlerinin düşmesinin nedeni ise; SEM fotoğraflarında görüldüğü gibi bünyede kristalin fazın azalıp amorf fazın artmaya başlamasıdır. Bünye camı özellik kazandıkça yoğun bir hal almasına rağmen artan sıcaklık değerleriyle birlikte mukavemetleri azalmaktadır. Şekil 6.13'de görüldüğü gibi %30 atık cam içerikli ve $1150^{\circ}C$ 'de sinterlenmiş karonun yapısında yine %30 atık cam içerikli fakat $1000^{\circ}C$ 'de sinterlenmiş karonun yapısına kıyasla daha çok porozite görülmektedir. Sıcaklık arttıkça yapıda bulunan kapalı poroziteler genişmekte açık porozite oluşturmaya başlamaktadır. Bu durum da artan sıcaklıkla birlikte su emme değerinin artışı ve mukavemetin azalmasına neden olmaktadır.

XRD sonuçlarına bakıldığında; standart bünyede kuvars, müllit ve anortit fazları görülürken deneme bünyelerde de kuvars, müllit, anortit, kristobalit ve kaolonit fazları görülmektedir. Bilindiği gibi yapıda bulunan müllit mukavemeti artırıcı yönde etki göstermektedir. Standart yapıdaki gözlemlenen müllit fazının fazla oluşu bu yapının mukavemetinin fazla oluşunun nedenini açıklamaktadır. Bunun yanı sıra 30A reçetelerine bakıldığında yapıda anortit, çok az kristobalit ve kaolinit fazları görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında anortit fazının 30A reçetesinde mukavemeti artırıcı yönde etki yaptığı gözlenmiştir. 30A reçetesinin $1075^{\circ}C$ 'de sinterlenmiş yapısında anortit fazı en fazladır ve mukavemetin en fazla olduğu reçetede bu reçetedir. Aynı şekilde 30A reçetesinin 1000 ve $1100^{\circ}C$ 'de sinterlenmiş bünyesinde kaolonit fazı da görülmektedir. Bu fazda mukavemetin bu reçetelerde fazla olmasını sağlamaktadır. Kaolonit fazı standart ve 30A

reçetesinin 1180°C'de sinterlenmiş bünyesinde gözlenmemektedir. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında en verimli sonuç %30 atık cam içeren ve 1100°C'de sinterlenen karolarda elde edilmiştir.

Benzer bir çalışmayı Japonya'da bulunan "Crystal Clay Corporation" isimli şirket gerçekleştirmiştir. Bu şirket, %70 atık cam+%30 diğer seramik hammaddeleri+renklendirici kullanarak fiziksel özellikleri iyi karolar elde etmişlerdir [18].

Crystal Clay Şirketi'nin bu şekilde ürettiği yer karoları ile Tokyo'nun yer döşeme ürünlerinin kayma direnci 40 BPN iken 77-97 BPN'ye yükselmiştir. Böylelikle, atık cam kullanılarak ürettikleri yer karolarını, asfalt ve yol malzemesi olarak, yaya kaldırımı ya da parklarda rahatlıkla kullanabilmektedirler

Daha öncede belirtildiği gibi, atık cam içeren yer karosunun pişirim sıcaklığı yaklaşık 1000-1100°C'dir (orijinal yer karosunun pişirim sıcaklığı 1170-1200°C'dir). Buradan elde edilen enerji kazancı çok fazladır. Çizelge 7.1'de Crystal Clay Şirketi'nin üretim esnasında elde ettiği enerji kazanç değerleri verilmektedir. Bu değerler, Crystal Clay Şirketi'nin üretim esnasında elde ettikleri sonuçlardır [18].

Çizelge 7.1. Crystal Clay Şirketi'nin üretim esnasında elde ettiği enerji kazanç değerleri

	Crystal Clay	Orijinal Yer Karusu	Kaydedilen Oran
Enerji Tüketim Oranı (Mcal/kg)	4,349	5,871	%26
Elektrik	4,262	5,765	%26
LPG	0,293	0,106	%26
Açığa Çıkan CO₂ Hacmi (kg.C/kg)	0,087	0,395	%26

Bu çalışmada elde edilen labaratuvar ve endüstriyel uygulama sonuçları yukarıda belirtilen şirketin üretim sonuçlarıyla kıyaslandığında paralellik gösterdiği gözlenmektedir. Tüm sonuçlara bakıldığında yer karosu üretiminde atık

cam kullanmak, gerek ürünün fiziksel özelliklerini iyileştirmesi açısından gerek enerji tasarrufu açısından ve gerekse atık camların çevreye verdikleri olumsuzlukların giderilmesi açısından çok önemlidir.

Atık camların yer karosu üretiminde değerlendirilmesiyle ilgili diğer çalışmayı ise Youssef ve arkadaşları gerçekleştirmiştir [23]. Yaptıkları çalışmada %30, %40 ve %50 oranlarında atık cam kullanmışlar ve 950, 1050 ve 1100°C'de sinterlemişlerdir. En iyi özellikleri %30 atık cam içeren ve 1100°C'de sinterlenen ürünler vermiştir. Çalışmanın sonucunda atık cam miktarı arttıkça su emme miktarının azaldığı belirtilmiştir. Aynı sıcaklıkta 1 saatten uzun sürelerde daha düşük su emme değerleri elde edilmiştir. Camlaşma nedeniyle büyük küresel boşluklar oluşmaktadır. Yaptıkları çalışmada 1100°C'de cam miktarı arttıkça mukavemet artmakta ve porozite azalmaktadır. Yani porozite azalması ile mukavemet artmaktadır. Belli bir cam miktarında mukavemet sabitleşmekte ve daha da azaldığında ise mukavemet azalmaktadır. Camın mukavemeti düşük olduğu için artan oranlarda ana malzemenin mukavemetini düşürmektedir. Düşük miktarda sinterlemeyi artırıp poroziteyi düşürdüğü için mukavemeti artırmaktadır.

Atık cam kullanımıyla bünyenin sinterleşme sıcaklığındaki düşüş endüstriyel boyutta önemli bir enerji tasarrufunu da beraberinde getirecektir. Yapılan maliyet hesaplaması sonucunda deneylerde kullanılan standart reçetenin 1 tonu yaklaşık 26 dolar iken %60 atık cam içeren reçetenin 1 tonu ise yaklaşık 13 dolardır. Deneysel çalışmada kullanılan reçeteyi kullanarak sürekli üretim yapan yer karosu fabrikasının günde 10 ton masse hazırladığını düşünürsek bir günde 370 kg feldispat kullanması gerekecektir ama reçetesinde atık cam kullanırsa en fazla 400 kg atık cam ile enerji tasarrufu sağlayarak üretim maliyetini daha önce belirtilen oranlar da düşürecektir. Atık cam kullanıldığında sinterleme sıcaklığı 1170°C'den 1000-1100°C arasına düşmüştür. Atık camların yer karosu üretiminde kullanılmasının getirdiği bir diğer avantaj ise camların renklerine göre sınıflandırılmasına gerek kalmamasıdır.

KAYNAKLAR

1. PASCOE, R.D., BARLEY, R.W. ve CHILD, P.R., *Recycling and reuse of glass cullet*, Thomas Telford Ltd, London, 15-29 (2001).
2. *Waste Glasses*, British Glass Manufacturers Federation, London, (2000).
3. RÖSLER, H.J., *Lehrbuch der minerologie*, Berlin, 428-430 (2000).
4. BOZDOĞAN, İ., *Seramik sanayi hammaddeleri sorunları, çözüm önerileri*, Seramik teknik kongresi bildiriler kitabı, TMMOB, Kimya ve Metalurji Mühendisliği Odaları, Ankara, 82-88 (1985).
5. GÜNER, Y., *Seramik*, İstanbul, 10-21 (1987).
6. GÖK, S., *Kil mineralleri ve killerin jeolojisi*, M.T.A., Endüstriyel Hammaddeler Daire Başkanlığı, Ankara, 1-48 (1983).
7. AKKOYUNCU, H., *Porselen hammaddelerin zenginleştirilmesi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, (1994).
8. DOĞAN, Ş., *Seramik teknolojisi*, İstanbul, 24-25 (1985).
9. ARCASOY, A., *Seramik teknolojisi*, Güzel sanatlar fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınlar, No:2, İstanbul (1983).
10. TANIŞAN, H. H. ve METE, Z., *Seramik teknolojisi ve uygulaması*, Söğüt, 7-22 (1988).
11. YERSEL, G., *Seramik hammaddeleri ders notları*, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, (2000).
12. SARIİZ, K. ve NUHOĞLU, İ., *Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği*, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No: 52, 105-430 (1992).
13. KARASU, B., *Cam teknolojisi ders notları*, (2001)
14. HAROLD, R., *Properities and applications of glass*, Department of ceramics, Glasses and Polymers, University of Sheffield, England, 269-286 (1980).
15. AKKURT, İ., *Granit seramik üretimi*, Kalebodur Seramik San. A.Ş., İstanbul, 139-143 (1999).

16. ŞİŞECAM GRUBU, *Geri kazanım konusunda yapılan sanayi yatırımları, Türkiye*,(2000).
17. BLACK, M., *The Irish glass bottle*, The Irish Glass Bottle Co. Ltd., London,(2000).
18. CRYSTAL CLAY, *Recycled enviromental material*, Crystal Clay Corporation, Japon, (2000).
19. *Using of waste glass*, American Geophysical Institue, America, (1982).
20. JAMES, W., *Glass Tile*, Futuristic Tile Ltd., Wisconsin, (2000).
21. *Standard Specification for materials*, American Association of State Highway and Transportation Officials, America, (1986).
22. ERCİYES, T., *Karo-Seramik Üretim Teknolojisi*, Teknik Yayınlar Serisi, (2000)
23. YOUSSEF N.F., ABADİR M.F.ve SHATER M.A.O., *Utilization of Soda Glass (Cullet) in the Manufacture of Wall and Floor Tiles*, J. of Euro. Ceram. Soc., 18, 1721-1727 (1998).