

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CO₂-SODYUM SİLİKAT BAĞLI KUM SİSTEMLERİNE
ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENİP MACA VE KALIP
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Orhan Şerif KOMAÇ

Tezin Fen Bilimleri Ens.Verildiği Tarih : 14.1.1985

Tezin Savunulduğu Tarih : 22.4.1985

Doktorayı Yöneten Öğretim Üyesi : Doç.Dr.Niyazi ERUSLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Recep SAFOĞLU

Doç.Dr.E.Sabri KAYALI

İ.T.Ü.KİMYA-METALURJİ FAKÜLTESİ OFSET ATÖLYESİ

İSTANBUL, NİSAN 1985

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZET	I
SUMMARY	IV
SEMBOLLER	IX
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ	3
2.1. CO ₂ -Sodyum Silikat Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları ...	3
2.2. Kalıp ve Maça Karışımları	4
2.2.1. Kullanılan Kumun Özellik- leri	4
2.2.2. Sodyum Silikat Bağlayıcı- ları	5
2.2.3. Karışımın Hazırlanması .	7
2.3. CO ₂ -Sodyum Silikat Reaksiyonu .	8
2.4. Karbon Dioksit	9
2.4.1. CO ₂ -Sodyum Silikat Yönte- minde Karbondioksit Kontrolü	10
2.4.2. Gaz Verme Metotları	10
2.4.2.1. Propla Gaz Verme	10
2.4.2.2. Başlık Sistemi İle Gaz Verme .	11
2.4.2.3. Vakum Yaratarak Gaz Verme	11
2.5. Gaz Verilmiş Sodyum Silikat-Kum Karışımının Özellikleri	11
2.5.1. Düşük Modüllü Sodyum Si- likat Bağlayıcıları İle Hazırlanmış ve Gaz Veril- miş Durumdaki Karışımla- rın Özellikleri	12

2.5.1.1. Kullanılan Sodyum Silikatda Katı Madde Miktarı	12
2.5.1.2. Kum-Sodyum Silikat Karışımlarındaki Sodyum Silikat Miktarının Basma Mukavemetine Etkisi ...	13
2.5.2. Yüksek Modüllü Sodyum Silikat Bağlayıcıları İle Hazırlanan Karışımların Özellikleri	14
2.6. Maça ve Kalıpların Depolama Özellikleri	15
2.6.1. Modülün Etkisi	15
2.6.2. Gaz Verme Süresinin Etkisi .	16
2.6.3. Ortamın Nem Oranının Etkisi.	16
2.7. Yüksek Sıcaklık Özellikleri	17
2.7.1. Yüksek Sıcaklıkta Mukavemet.	17
2.7.2. Kalıcı Mukavemet Özellikleri	17
2.7.3. Termal Genleşme Özellikleri.	18
2.8. Kalıcı Mukavemeti ve Termal Genleşmeyi Azaltma Yöntemleri	18
2.8.1. Karışımdaki Sodyum-Silikat Miktarının Azaltılması	18
2.8.2. Modülün Değiştirilmesi	19
2.8.3. Kum-Sodyum Silikat Karışımına Yapılan İnorganik İlaveler..	19
2.8.4. Kum-Sodyum Silikat Karışımına Yapılan Organik İlaveler ...	19
2.9. Sodyum Silikat Bağlı Kumların Reklamasyonu	19
2.9.1. Yaş Reklamasyon	20
2.9.2. Kuru Reklamasyon	20

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	21
3.2. Deneylerde Kullanılan Ölçü Aleti ve Cihazlar	22
3.3. Deneylerin Yapılışı	25
3.3.1. Kum-Cam Suyu Karışımının Hazırlanması	26
3.3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	26
3.3.3. Standart Numunelere Gaz Verilmesi	27
3.3.3.1. Gaz Verme Süresinin Tespiti	28
3.3.4. Gaz Verilmiş Standart Numunelerin Basma Mukavemetlerinin Bulunması	31
3.3.5. Gaz Verilmiş Standart Numunelerin Kuru Basma Mukavemetlerinin Bulunması	31
3.3.6. Bekletme Özelliklerinin Belirlenmesi	31
3.3.7. Yüksek Sıcaklık Özelliklerinin Belirlenmesi	31
4. DENEY SONUÇLARI	33
4.1. Basma Mukavemetlerin Değişimi ..	33
4.2. Kuru Basma Mukavemetinin Değişimi	40
4.3. Yüksek Sıcaklıktaki Özelliklerin Değişimi	48
4.3.1. Sıcak Basma Mukavemetinin Değişimi	49
4.3.2. Kalıcı Mukavemetin Değişimi	57
4.3.3. Termal Genleşme	59
4.4. Bekletme Özelliklerinin Değişimi.	59

4.4.1. Bekletme Süresinin Basma Mukavemetine Etkisi	59
4.4.2. Bekletme Süresinin Ağırlık Kaybına Etkisi	59
4.5. Katkı Malzemelerinin Özelliklere Etkisi	63
4.5.1. Dekstrinin Bekletme Mukavemetine Etkisi	63
4.5.2. Dekstrinin Ağırlık Kaybına Etkisi	63
4.5.3. Dekstrinin Kalıcı Mukavemete Etkisi	67
4.5.4. Dekstrinin Termal Genleşmeye Etkisi	70
4.5.5. Değişik Katkı Malzemelerinin Kalıcı Mukavemete Etkisi	73
4.5.6. Değişik Katkı Malzemelerinin Termal Genleşmeye Etkisi	75
5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ	78
5.1. Basma Mukavemetine Etki Eden Faktörler	78
5.2. Kuru Basma Mukavemetine Etki Eden Faktörler	80
5.3. Sıcak Basma Mukavemetine Etki Eden Faktörler	83
5.4. Kalıcı Mukavemete Etki Eden Faktörler	84
5.5. Termal Genleşmeye Etki Eden Faktörler	85
5.6. Bekletmenin Fiziksel Özelliklere Etkisi	86
5.7. Katkı Malzemelerinin Bekletme Sonrası Fiziksel Özelliklere Etkisi	88

5.8. Katkı Malzemelerinin Kalıcı Mukavemete Etkisi	89
5.9. Katkı Malzemelerinin Termal Genleşmeye Etkisi	90
5.10. Kum-Cam Suyu Sisteminde İşlem Parametrelerinin İrdelenmesi.	91
6. GENEL SONUÇLAR	94
7. FAYDALANILAN REFERANSLAR	97

TEŞEKKÜR

ÖZGEÇMİŞ



Ö Z E T

Fizik, kimya, metalurji ve seramik bilimlerinin döküm problemlerine uygulamasıyla döküm endüstrisinde meydana gelen hızlı ilerlemeden payını alan CO_2 -sodyum silikat yöntemine etki eden parametreler incelenerek "basma mukavemeti, yüksek sıcaklık ve bekletme" özellikleri geliştirilmiştir.

Ekonomik olarak daha verimli çalışmak amacıyla 2,0-3,0 aralığında her modül için yapılabilir en yüksek özgül ağırlıktaki ($^{\circ}\text{Be}$) cam sularının farklı oranları ile 48AFS tane nolu silis kumundan yapılan karışımlardan standart numuneler hazırlanmış ve hesaplanan teorik gaz verme sürelerinin katları kadar sürelerde 10 lt/dak. gaz verme debisi ile CO_2 gazı verilmiştir.

CO_2 -sodyum silikat yönteminin özelliklerinin belirlenmesi için, basma ve kuru basma mukavemetleri, sıcak mukavemet, kalıcı mukavemet, termal genleşme ve bekletme deneyleri yapılmıştır. Yöntemin sorunu olan kalıcı mukavemetin yüksekliği, bağlayıcı miktarının optimum seçilmesi ve uygun katkı malzemeleri ile düşürülmüştür.

CO_2 -sodyum silikat sisteminde sertleşme, kum taneleri arasında silikajel " $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ " meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Sertleşme mekanizmasını fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar meydana getirir.

Kimyasal reaksiyon orta derecede ekzotermiktir, halbuki fiziksel reaksiyon az derecede endotermiktir. (42). Yüksek derecede bazik olan kum-sodyum silikat karışımları gaz verme sırasında kuru CO_2 tarafından dehidratlaştırılır. Dehidrasyonla birlikte sodyum silikat filminin vizkozitesi artar, aşırı gaz verdiğinde sodyum bikarbonat meydana gelmesiyle, taneler arasındaki bağ köprüsü asidikleşir ve bağlanmayı oluşturan dehidrasyon azalır, mukavemet düşer, kırılgenlık artar.

Düşük modüllü ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=2,0$) cam suyunun miktarı % 3 den 6'ya arttıkça kum tanelerini saran cam suyu film kalınlaşması sonucu, 15 dak. gibi kısa bir sürede sertleşme reaksiyonu tamamlanmadığından basma mukavemetinin düştüğü gösterilmiştir. Cam suyu modülü 2,0 den 2,8'e arttığında basma mukavemeti 28 N/cm^2 den 66 N/cm^2 arttığı belirlenmiştir.

Kum tanelerini saran cam suyu filminin reaksiyona girmesi için yeterli süre ve sıcaklık sağlandığında, cam suyu oranı arttıkça kuru basma mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Bilhassa bu etkinin daha belirgin olduğu düşük (2.0) modüllü cam suyu kullanıldığında cam suyu oranı % 3 den % 6 ya arttığında kuru basma mukavemetinin 300 N/cm^2 den 810 N/cm^2 ye arttığı gözlenmiştir.

" $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ " oranı 2,0 den 2,8'e arttıkça aşırı dehidrasyon sebebiyle kuru basma mukavemetleri 810 N/cm^2 den 282 N/cm^2 ye düştüğü ve aşırı gaz vermeden dolayı NaHCO_3 oluşması sebebi ile kuru basma mukavemetinin azaldığı gözlenmiştir.

Aynı miktar bağ oluşturacak şekilde optimum cam suyu oranları ile çalışılarak hazırlanmış standart numunelerin, sıcak basma mukavemetleri 700°C den 1100°C 'ye kadar farklı sıcaklık ve tutma sürelerinde sistematik olarak ilk defa incelenmiştir.

Optimum cam suyu kullanılarak hazırlanan numunelerin kalıcı mukavemetlerinin, sıcaklığın 700°C den 1100°C ye artması ile 73 N/cm^2 den 110 N/cm^2 ye arttığı ve cam suyu modülü 2,0 den 2,8'e arttıkça kalıcı mukavemetin 110 N/cm^2 den 35 N/cm^2 ye düştüğü gözlenmiştir.

Sıcaklık 700°C den 1100°C ye yükseldikçe % 1,12 den % 3,02 ye artan termal genleşmenin, cam suyu modülü 2,0 den 2,8'e arttıkça % 3,02 den % 0,98'e düştüğü tespit edilmiştir.

Sıcak yırtılmaya yol açan termal genleşmeyi azaltmak için "dekstrin çözeltisi+zift" ilavesinin etkisi sistematik olarak incelenmiştir. 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan numunelerin 1100°C deki termal genleşmeleri "%1 dekstrin çözeltisi+%1 zift" ilavesi ile % 3,02 den % 1,02 ye düşürülmüştür.

Bekletme süreleri arttıkça sertleşme reaksiyonları tamamlandığından basma mukavemetlerinin önce arttığı, daha sonra aşırı dehidrasyon sebebiyle azaldığı gözlemlenmiştir. Cam suyu modülü 2,0 den 2,8'e arttıkça ağırlık kaybı % 0,24 ten % 0,9'a arttığından bekletme sonu basma mukavemeti 140 N/cm² den 25 N/cm²'e düştüğü ölçülmüştür. Bekletme özelliklerine dekstrin ilavesinin etkisi sistematik olarak incelemiş, % 1 dekstrin çözeltisi ilavesine kadar, numunelerin nem kaybı azaldığından basma mukavemetlerinin 200 N/cm² ye arttığı, daha fazla dekstrin ilavesinde nem kaybı arttığından basma mukavemetinin azaldığı bulunmuştur.

Dağılılabirliği arttırmak için dekstrin ve zift ilavelerinin kalıcı mukavemete etkisi yine sistematik olarak incelenmiş, "%0,5 zift+%0,5 dekstrin çözeltisi" ilavesi ile kalıcı mukavemetin 295 N/cm² den 55 N/cm² ye azaltılması sağlanmıştır. Kalıcı mukavemete inorganik ilavelerin etkileri incelemiş %1 Al₂O₃ ilavesi ile kalıcı mukavemetin 65 N/cm²'ye kadar düşürülmesi sağlamıştır.

Farklı modüllü cam sularının kullanıldığı "kum-camsuyu" sistemlerinde işlem parametreleri detaylı olarak incelenmiş ve optimum çalışma şartları tesbit edilmiştir.

THE INVESTIGATION OF THE PARAMETERS EFFECTING THE MOLD AND CORE MADE OF CO₂-SODIUM SILICATE BONDED SANDS FOR IMPROVING THE PROPERTIES

Having applied the sciences of physics, chemistry, metallurgy and ceramics to the foundry problems, foundry industry has advanced further in the last decade. This progress has done the striking effect upon the technology of sodium-silicate foundry binders.

The chemistry of the CO₂-sodium silicate process for bonding foundry sand was investigated with particular emphasis given to the composition of the sodium silicate, CO₂ utilization, additives and holding time and temperature.

The materials used for investigation were commercial grades of sodium silicate solution which has chemical composition listed in Table 3.2, silica with screen distribution listed in Table 3.1. The equipments used are shown in Figure 3.1.

The as gassed mechanical properties for mixtures composed of AFS GFN 48 sand bonded with 3% - 6% sodium silicate and with various degrees of CO₂ gassing are shown

in Table 4.2 - 4.13. A CO_2 flow rate of 10 lt/min was used throughout the work.

When CO_2 was passed through sand bonded with sodium silicate, it was found that both chemical and physical reactions occur concurrently. Low flow rates favor the chemical reaction while high flow rates dehydration reaction. CO_2 gassing helps to dehydrate the amorphous silicate hydrogel, binder bridges. The silica hydrogel consist of network of colloidal particles. The viscosity of the sodium silicate film is increased with dehydration and silicic acid is formed. If gassing continues a point where overgassing will occur with the formation of sodium bicarbonate is reached the bond becomes acidic and dehydrated to the point where the binding characteristics are diminished.

The maximum compressive strength of a sand mixture, obtained by the CO_2 reaction was shown to be dependent on the factors which were the percentage and composition of sodium silicate sand grain size distribution, loss of the moisture after mixing, gassing time.

It was demonstrated that the compressive strength decreases, since the thickness of sodium silicate film surrounding around sand increases as the amount of sodium silicate increases from 3% to 6% within 15 minutes the hardening reaction attained the completion. It was found that as the $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio increases from 2,0 to 2,8, the compression strength increases from 28 N/cm^2 to 66 N/cm^2 .

When sand samples were dried for period of 30 minutes at the temperature of 110°C . The dry compressive strength has been found to be the composition and the percentage of the sodium silicate and the CO_2 gassing time.

The dry compressive strength has been shown to decrease from 810 N/cm^2 to 282 N/cm^2 because of overdehydration and the formation of NaHCO_3 due to overgassing as $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio increase from 2,0 to 2,8.

The hot compressive strengths of sodium silicate bonded sand for a range of temperatures has been determined, for various holding time, after having been attained the same bonding condition by using optimum sodium-silicate. The hot compressive strengths at 700°C of the sand bonded with sodium silicate which have $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio 2,0 have been found to increase from 184 N/cm^2 to 302 N/cm^2 as holding time increases from 60 seconds to 120 seconds, then to decrease up to 17 N/cm^2 as holding time increases up to 15 minutes.

The retained strength of the mixtures prepared by using optimum sodium silicate was found to increase from 73 N/cm^2 to 110 N/cm^2 as the temperature increases from 700°C to 1100°C and decrease from 110 N/cm^2 to 35 N/cm^2 as the $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio increases from 2,0 to 2,8.

The compressive strength of sodium silicate bonded sand that was allowed to air dry after gassing was found to be dependent on the percentage and composition of base silicate used and gassing time, mixing condition.

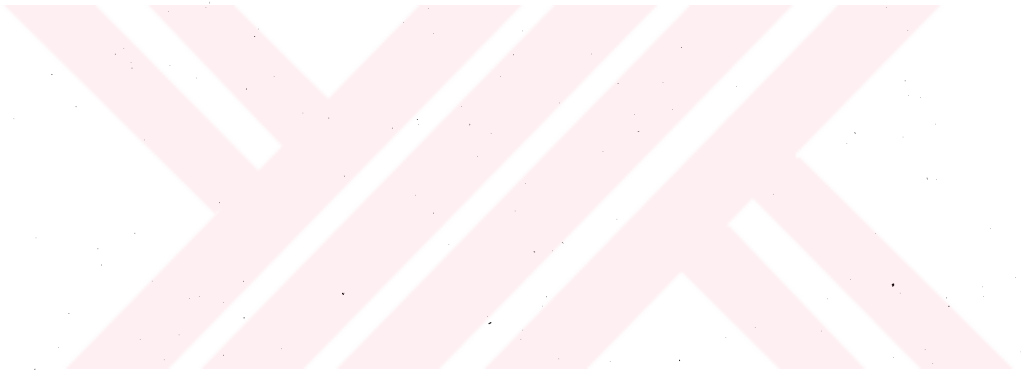
It was shown that as the storage duration increases the physical reaction reaches the completion, in the beginning the compressive strength increases, then decreases due to overdehydration. It was found that the compressive strength at the end of storage decrease from 140 N/cm^2 to 25 N/cm^2 as the $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio increases from 2,0 to 2,8 because of the fact the weight loss increases from 0,24 % to 0,9 %.

The effect of dextrin addition on the storage properties of the CO_2 sand has been systematically investigated. Since the moisture loss of the sample decreases up to 1% dextrin solution addition, the compressive strength increases to 200 N/cm^2 , as the addition of the dextrin increases the compression strength decreases due to increase of the moisture loss.

The thermal expansion has been determined to increase from 1,12 % to 3,02 % as the temperature increases from 700°C to 1100°C and to decrease from 3,02 % to 0,98 % as $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, ratio increases from 2,0 to 2,8.

In order to decrease the thermal expansion leading to hot tearing, the effect of the addition of dextrin and pitch was systematically investigated. Thermal expansion was shown to decrease to the value of 1,02 % by addition of 1 % dextrin solution and 1 % pitch.

The optimum working condition were determined having evaluated the effect of parameters in the sand-sodium silicate systems.



SEMBOLLER

V = Hacim (cm^3)

A = Alan (cm^2)

P = Basınç (atm)

T = Mutlak Sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)

n = Mol Sayısı

R = Gaz sabit ($0,08206 \text{ lt.atm./Mol}^{\circ}\text{K}$)

a = Moleküller arası etkileşim sabiti

$$(3.592 \frac{\text{lt}^2 \cdot \text{atm}}{\text{mol}^2})$$

b = Gazın sıkıştırılabilirliği ile ilgili sabit

$$(0,04267 \text{ lt/Mol})$$

$^{\circ}\text{Be}$ = Borne derecesi

x_i = Ölçülen değer

$\bar{x}$ = Ortalama değer

σ_x = Standart sapma

I. GİRİŞ VE AMAC

Kalıp ve maça yapım yöntemleri, herhangi bir döküm işleminde nihai ürünün kalitesini belirleyen en önemli faktörlerdendir. Bağlayıcı olarak kilin kullanıldığı konvensiyonel kum kalıp ve maçaları -nın alternatifi olarak gelişen kimyasal bağlı maça veya kalıp yöntemlerinin içinde en geniş bir biçimde uygulama alanı bulmuş yöntem CO_2 -Sodyum Silikat yöntemidir.

Düşük yatırım ihtiyacı, dökümhanelerde faydalı çalışma alanını arttırması, maça veya kalıpların pişirmeye gerek kalmadan bir kaç dakikada hazır hale gelmesi, boyutsal hassasiyetin iyi olması, kullanılan gazın zehirli olmayışı nedenleri ile CO_2 -sodyum silikat yöntemi, kimyasal bağlayıcıları diğer yöntemlere nazaran daha fazla uygulanmaktadır.

CO_2 -Sodyum silikat yönteminde cam suyu modülü ve özgül ağırlığı, kum-cam suyu karışımını hazırlama şekli, maça veya kalıplara gaz verme debisi, şekli ve süresi, kum-cam suyu karışımına yapılan ilaveler, hazırlanan kalıp veya maçaların bekletilme yer ve süresi yöntemin özelliklerini etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin çok sıkı kontrolü ve en iyi özelliklerin elde edildiği bağlayıcı bileşim ve miktarı gaz verme süresi, ilave madde çeşit ve oranlarının bulunması gereklidir.

Bu araştırmada, yukarda belirtilen parametreler gözönünde bulundurularak, optimum çalışma şartlarının tespiti amacıyla, mukavemet termal genleşme ve bekletme deneyleri yapılmıştır.

Bu konuda, literatürde toplu ve detaylı bir bilgi henüz mevcut bulunmadığından, döküm endüstrisi için bir başvuru kaynağı oluşturmak, bu çalışmanın amacını teşkil etmiştir.



2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ

İdeal bir maça veya kalıp yapım yönteminde, kum ve bağlayıcı gibi gerekli hammaddelerin kolay temini, döküm ve katılaşma sırasında boyutsal stabilite, maça veya kalıp hazırlarken kullanılan "kum-bağlayıcı" karışımı bekletme ömrünün mükemmel olması, nem oranı ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi, sıyırma ilaveleri kullanmadan maça kutusundan iyi sıyrılabilme, yüksek refrakterlik ve döküm işlemi sonucu yüzey düzgünlüğü, maça ve kalıp yapımı döküm ve kalıp bozma işlemleri esnasında istenmeyen gazların meydana gelmeyişi, artık madde sorununun olmayışı, döküm işlemi sonrası iyi dağılabilirlik gibi özelliklerin bulunması gereklidir (8).

Büyük bir üretim düzeyinde hiç bir maça veya kalıp üretim yöntemi, bu sayılan ihtiyaçların hepsine birden olumlu cevap veremez. İdeal sistem henüz mevcut olmadığından, seçim, hammadde - lerin bulunabilirliği, maliyeti, işçilik, sisteme yatırılan para, işlenebilirlik, maça ve kalıp hazırlama ekipmanları, döküm ürününün kalitesi, temizleme ve döküm sonu işlemlerine göre yapılır (32).

2.1. CO₂ - Sodyum Silikat Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Yöntemin avantajları, dökümhanelerin efektif çalışma sahasını artırması boyutsal hassa -

siyetin mükemmelliği, uçucu gaz içeriğinin az olması, kurutma ve fırınlamaya gerek olmadığından kalıp ve maçalarda distorsiyon meydana gelmemesi işçilik masraflarının azlığı, özel bir ekipman gerektirmeyip konvensiyonel ekipmanlardan faydalanılabilmesi, maçaların, maça kutusundan çıkartıldıkları anda döküm işlemi için hazır olmaları döküm parçası ağırlığından dolayı sınırlamaların olmayışdır (9) (18) (19) (21) (44) (60) (61) (64).

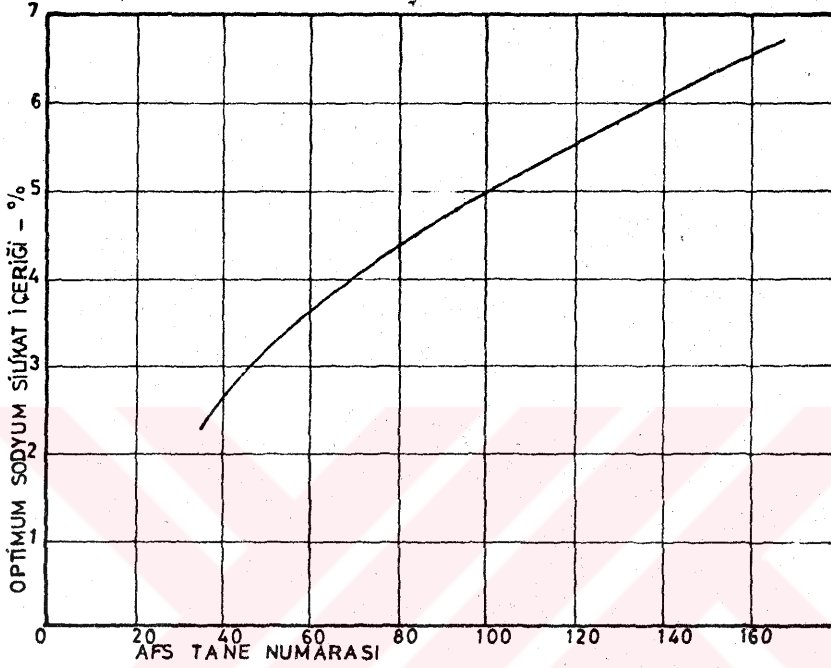
Yöntemin dezavantajları ise kolayca giderilebilir. "Kum-sodyum silikat" karışımları kapalı ambarlarda veya polietilen örtüler altında korunmazsa kısmı sertleşmeler meydana gelebilir. Döküm işlemi sonrası kalıp bozma (shake-out) özellikleri, uygun cam suyu ve miktarının seçimi, ve katkı malzemeleriyle iyileştirilir. CO₂ gazının valflerde donması, gaz basıncı ve hızı kontrol edilerek minimuma indirilebilir (1) (2) (4) (9).

2.2. Kalıp ve Maça Karışımları

2.2.1. Kullanılan Kumun Özellikleri

Yıkanmış, kurutulmuş ve soğutulmuş döküm kumlarının (9), CO₂-Sodyum silikat yönteminde kullanılabilmesi için, ekonomik bir şekilde temininin yanı sıra tane yapısının homojenlik göstermesi gereklidir (8). Genellikle 45-85 AFS nolu silis kumu kullanılması yanında zirkon ve olivin gibi kumlar da kullanılabilir (27) (11).

Kullanılan kumun tane inceliği arttıkça gerekli bağlayıcı oranı artar (Şekil 2.1). Gereğinden fazla bağlayıcı kullanılırsa döküm işlemi sonrası dağılabilirlik (kollapsibilite) özelliği iyi olmaz (4). Aşırı bağlayıcı, "kum-cam suyu" karışımının geçirgenlik özelliğini kötü yönde etkiler.



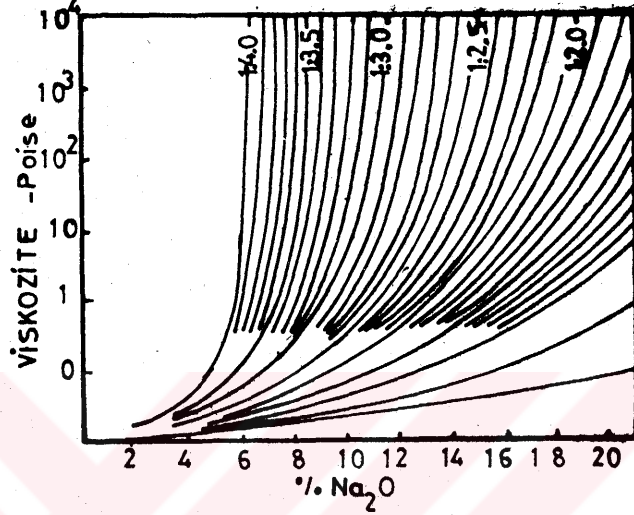
Şekil 2.1 - Kumun tane inceliğine bağlı olarak gerekli sodyum silikat miktarının değişimi (4).

Kum sıcak olursa, karıştırma anında kısmi sertleşmeler olur, karışımın bekletme ömrü kısaldır (63). Kum çok soğuk ise reaksiyon hızı düşük olur. Kil içeriğinin fazla olması, maçaların bekletme ömürlerinin kısa olmasına neden olur (38). Kum % 0,25 ten fazla nem içeriyorsa düşük basma mukavemet değerleri elde edilir (8).

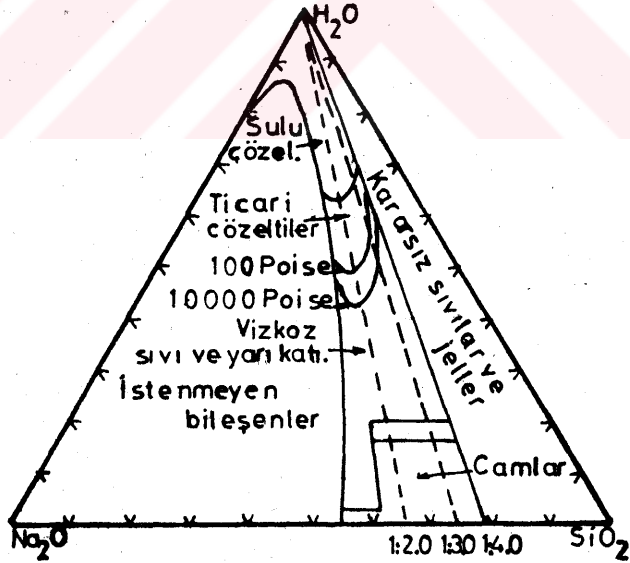
2.2.2. Sodyum Silikat Bağlayıcıları

Sodyum silikatlar, kimyasal bileşikler olmayıp, su içinde Na_2O ve SiO_2 'in erimesi sonucu oluşan çözeltilerdir. Sodyum silikat çözeltileri-

nin özellikleri Na_2O , SiO_2 ve su miktarı, modül ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$), özgül ağırlık ($^{\circ}\text{Be}$), viskozite ile belirlenir (40) (57).



Şekil 2.2 - Sodyum Silikat çözeltilerinin vizkozitesine bileşimin etkisi (4) (5) (13).



Şekil 2.3 - Sodyum Silikat çözeltilerinin fiziksel özellikleri (2) (13) (14).

Çeşitli " $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ " oranlarına sahip sodyum silikat çözeltilerinin bileşimleri ve vizkoziteleri arasında ilişki vardır (Şekil 2.2). Düşük modüllü sodyum silikatlara karşın, yüksek modüllü sodyum silikatlarda, vizkozite, konsantrasyonun artması ile çok çabuk yükselir (2) (5). Bu durumda, "kum-sodyum silikat" karışımı hazırlanırken meydana gelecek az oranda su kaybı, vizkoziteyi etkileyeceğinden yüksek modüllü sodyum silikatlarla çalışırken dikkatli olmak gerekecektir (9) (43).

Sodyum silikat çözeltilerinin su içeriklerindeki ufak bir değişme vizkoziteyi büyük oranda etkilediği için, çok dar bir bileşim aralığında çalışabilmektedir (Şekil 2.3).

Karışım hazırlarken, yüksek modüllü cam sularının aksine, düşük modüllü cam suları, sıcaklık, gaz verme süresi, karıştırma süresi ve nem kaybına daha az duyarlıdır (9) (55).

2.2.3. Karışımın Hazırlanması

Sodyum silikat çözeltileri ile kum, laboratuvar tipi, değirmen (16) veya sürekli (37) karıştırıcılarla karıştırılabilir. Karışımı minimum mer-tebede atmosferde temasta tutacak karıştırma şekli idealdir (9) (28). Karıştırma düşük hızla ve 3-5 dakika süre ile yapılmalıdır (33). Yavaş karıştırma, sodyum silikat peletlerinin meydana gelmesini önler (31).

Kullanılan cam suyunun modülü yüksekse, karıştırma sırasında meydana gelebilecek nem kaybı sorunlara yol açabilir. Bunun için yüksek modüllü cam suları ile çalışırken karıştırma işlemi minimum sürede gerçekleştirilmelidir. Aşırı karıştırma durumunda yer yer sertleşmeler meydana gelir ve gaz verilmiş durumdaki mukavemet düşer (43). Karışımında kullanılan kumun sıcaklığı $15-30^{\circ}\text{C}$

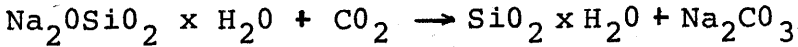
olması gereklidir (8). Kumun sıcaklığı yüksek olursa hazırlanan maça ve kalıpların bekletme sonu mukavemetleri düşer (63).

Hazırlanan karışımlar, nem kaybının önlenmesi ve havadaki CO₂ ile temas etmemesi için kapalı kaplarda, nemli bezler (31) veya polietilen örtüler altında saklanıp (31), minimum gecikme ile kullanılmalıdır.

2.3. CO₂-Sodyum Silikat Reaksiyonu

CO₂-Sodyum silikat sistemlerinde sertleştirme mekanizmasının "Na₂CO₃·xH₂O" nun oluşması ile sağlandığı zannedilirdi (4). Son yapılan çalışmalarda sertleşmenin kum taneleri arasında silika jel "SiO₂·xH₂O" ile oluştuğu gösterilmiştir (7). Kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar iki kademe oluşur. a) Gaz verirken, jelleşme (kimyasal), dehidrasyon (fiziksel), b) Tutma sırasında nemin atmosfere çıkışı (fiziksel) reaksiyonları oluşur.

SARKAR'a göre kimyasal reaksiyon aşağıdaki gibidir (47).



(2.1)

Kimyasal reaksiyon orta derecede ekzotermiktir, halbuki fiziksel reaksiyon az derecede endotermiktir (42)(62). Yüksek derecede bazik olan kum-sodyum silikat karışımları gaz verme sırasında kuru CO₂ tarafından dehidratlaştırılır. Dehidrasyonla birlikte sodyum silikat filminin vizkozitesi artar ve yüksek bazikliği nötralize etmeye yardımcı silisik asit (H₄SiO₄) oluşarak pH'ı azaltır (48). Aşırı gaz verildiğinde sodyum bikarbonat meydana gelir, tanelerin arasındaki bağ köprüsü

asidik olur ve bağlanmayı oluşturan dehidrasyon azalır, mukavemet düşer, kırılgenlik artar (7), (23).

"Sodyum silikat-kum" karışımı atmosfere maruz bırakıldığında (14) veya ısıtıldığında (17) fiziksel reaksiyon meydana geleceğinden sertleşme olur ama reaksiyon hızlı değildir.

2.4. Karbon Dioksit

Maça veya kalıpları sertleştirme işleminde kullanılan CO_2 normal basınç ve sıcaklıkta gaz halindedir. Karbondioksitin sıvı veya katı şekilde temini ekonomiktir. CO_2 , minimum 4 kg/cm^2 basınç altında ve yalnız $-56,6^\circ\text{C}$ (sıcaklıkta sıvı halde bulunur. Yüksek sıcaklıklarda sıvı durumun devamı için basınç değerlerinin yükselmesi gereklidir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 - Karbondioksitin sıvı durumda bulunması için gerekli denge koşulları (3).

Basınç Değeri (kg/cm^2)	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)
20	- 17,8
34	0
58	21,1

Katı karbondioksit atmosferik basınçta $-78,5^\circ\text{C}$ yüzey sıcaklığına sahiptir ve bu sıcaklığın altında bekletilmedikçe buharlaşır. Sıvı olarak silindirik tüplerde bulundurulanan CO_2 56 kg/cm^2 basınç altındadır.

Endüstriyel CO_2 % 0,2 den daha fazla artık gaz içermemelidir. Kullanım yerlerine göre nem içeriği %0,015 - 0,05 arasında değişir (3).

2.4.1. Karbondiyoksit - Silikat yönteminde karbon Dioksit Kontrolü

Başarılı bir CO₂ yöntemi uygulaması için gaz verme pratiğinin iyi olması gereklidir. Döküm kalitesi, hammadde özellikleri, işçilik masrafları gibi parametreler, gaz verme tekniğinin seçiminde beraberce etkili olurlar (30).

Yetersiz gaz verme, düşük mukavemete, aşırı gaz verme, kalıp ve maçaların gevrekliğine (46) (51) (59) ve bekletme ömürlerinin kısa olmasına neden olur (23). Kullanılan cam suyunun modül değeri yükselirse gerekli CO₂ miktarı azalacaktır. Akım oranı ve gaz verme süresinin dik katli seçilmesi gerekir. Ayrıca gaz verme süresinin mukavemet üzerinde son derece önemi vardır (26).

Eğer gerekli CO₂ miktarı çok fazla ise, CO₂ gazı soğur ve valflerde buzlanmalar meydana gelir. Bu durumda ya ısıtıcı kullanılır, ya da basınçlı gaz kabına ihtiyaç duyulur (30).

2.4.2. Gaz verme metotları

CO₂ gazının verilmesi için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar ;

2.4.2.1. Propla gaz verme

Propalar, gaz verme amacıyla maça veya kalıplara daldırılan, açık bırakılmış borulardan müteşekkildir. Birkaç probun birleştirilmiş şekliyle gaz verme manifoldları elde edilir. Maçalara ve kalıplara propla veya manifoldla gaz verilebilir.

2.4.2.2. Başlık sistemi ile gaz verme

Genellikle maça ve kalıplar mekanik olarak üretildiklerinde başlık sistemi ile gaz verme uygulanır. Bu sistemde maça veya kalıp üst yüzeylerinde kapak gibi kullanılan başlıklar vasıtasıyla gaz verme işlemi yapılır.

2.4.2.3. Vakum yaratarak gaz verme

Gaz verilen maçanın, özelliklerinin her yönünde tamamen homojen olması ve geçirgenliği düşük kum karışımlarında bile kolayca gaz verilebilmesi gibi avantajları nedeniyle vakum yaratarak gaz verme yöntemi önem kazanmıştır (49).

Vakum hücresine maça ve kalıplar konur. 1,8 kg/cm² basıncında CO₂ gazı enjekte edilip 0,07 atmosfer basıncı sağlanarak kalıbın her noktasına homojen gaz verilmiş olur.

2.5. Gaz Verilmiş, Sodyum Silikat-Kum Karışımının Özellikleri

Sodyum silikat-kum karışımına gaz verildiği zaman; 1. Bölüm 2.3 de belirtildiği gibi bir kimyasal reaksiyon silika-hidrojel bağına meydana getirir.

2. CO₂ gazının sıvı sodyum silikatı dehidratlaştırması sebebiyle fiziksel reaksiyon ve yüksek vizkoziteli sodyum silikat bağı meydana gelir (3) (7). Maçalara veya kalıplara gaz verilmesi esnasında, her iki reaksiyon birden sertleşme mekanizmasını oluştururlar.

2.5.1. Düşük modüllü sodyum silikat bağlayıcıları ile hazırlanmış ve gaz verilmiş durumdaki karışımların özellikleri

2.5.1.1. Kullanılan sodyum silikatda katı madde miktarı

Kullanılan sodyum silikatın içindeki katı madde miktarı ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$), gaz verilmiş durumdaki basma mukavemet değerlerini önemli derecede etkiler. Dolayısıyla çalışılacak sisteme istenen mukavemet değerlerine uygun olarak, belirli katı oranına sahip sodyum silikat verilir. Sodyumsilikatlarda katı oranı, yoğunluk veya bome derecesi (özgül ağırlık) ile belirlenir.

NICHOLAS, K.E.L. (3), 2,0 modüllü cam suyundan % 4 oranında kullanarak hazırladığı standart, numunelerde katı madde miktarı ($^{\circ}\text{Be}$) azaldıkça, basma mukavemetlerinin hızla arttığını görmüştür. Örneğin hazırladığı numunelere 60 sn gaz verdiğinde bulduğu basma mukavemet değerleri Tablo 2.2 de verilmiştir.

Tablo 2.2 - 2,0 Modülle cam suyundan %4 kullanıldığında katı madde oranına göre basma mukavemet değerlerinin değişimi (3).

Özgül Ağırlık ($^{\circ}\text{Be}$)	Basma Mukavemeti (N/cm^2)
60	9
57	39
53	64
50	104

NICHOLAS, K.E.L. aynı karışımlardan hazırladığı standart numuneleri, gaz vermeden atmosfere bıraktığında, dehidrasyon sebebiyle mukavemet

kazandıklarını belirlemiştir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3 - 2,0 Modüllü cam suyundan %4 kullanıldığında katı madde oranı ve bekletme süresine bağımlı olarak basma mukavemet değerlerinin değişimi

Özgül Ağırlık ($^{\circ}\text{Be}'$)	Bekletme süresi (saat)	
	2	6
	Basma Mukavemet Değerleri (N/cm^2)	
60	44	112
57	32	112
53	19	83
50	18	76

Bağlayıcı olarak yüksek $^{\circ}\text{Be}'$ li cam suyu kullanıldığında numunelerin gaz verilmiş durumdaki basma mukavemetleri yüksek olmamasına rağmen, atmosferde bekletilen maça veya kalıpların basma mukavemetleri daha da yükselir. Düşük $^{\circ}\text{Be}'$ li cam suları kullanıldığında gaz verme işleminin çok sıkı kontrol edilmesi şarttır, aşırı gaz verme durumunda, maça veya kalıplar kırılabilir. Ayrıca $^{\circ}\text{Be}'$ 'si düşük olan sodyum silikat çeşitleriyle hazırlanmış numunelerin bekletme ömürleri kısa olduğundan, hazırlanan maça veya kalıpların uzun süre depolanması sorun yaratabilir (3) (27).

2.5.1.2. Kum-sodyum silikat karışımlarındaki sodyum-silikat miktarının basma mukavemetine etkisi

GOTHERIDGE, J. (7), düşük modüllü ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2,0$) sodyum silikat ve AFS no=62 olan döküm kumlarının oluşturduğu karışımlarla çalışmalar yapmış-

tır. Buna göre % 2 cam suyu içeren numunelerin daha kırılğan olduğunu görmüştür, bu numuneler maksimum basma mukavemetlerine kısa gaz verme sürelerinde erişebilmektedir.

Kullanılan sodyum silikat oranı artırıldığında, kum taneleri etrafındaki sodyum silikat filminin kalınlığı artar, buna paralel olarak mukavemet artış hızı yavaşlar. Mukavemeti artırabilmek için daha fazla CO₂ miktarı ve gaz verme süresine ihtiyaç duyulacaktır (7). Aksine karışım düşük oranda sodyum silikat içeriyorsa, kum taneleri etrafında ince sodyum silikat filmi meydana gelecektir. Bu numunelere az miktar gaz vermeyle hızlı bir sertleşme reaksiyonu meydana gelecektir (3).

Orta modüllü ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2,4$) sodyum silikatlarla hazırlanan kum-sodyum silikat karışımlarının gaz verilmiş durumdaki basma mukavemetleri incelendiğinde, düşük modüllü sodyum silikatlara oranla daha hızlı bir mukavemet artışı gözlenir (7).

2.5.2. Yüksek modüllü sodyum silikat bağlayıcıları ile hazırlanan karışımların özellikleri

GOTHERIDGE, J. yaptığı çalışmalarda, yüksek modüllü sodyum silikat kullandığı zaman, jelleşme reaksiyonunun meydana gelmesi için, gerekli CO₂ gazı ihtiyacı ve süresinin azaldığını göstermiştir. Kalıp veya maça yapımında yüksek modüllü sodyum silikat kullanılmasının avantaj ve dezavantajları vardır.

CO₂ ve sodyum silikatın vereceği hızlı reaksiyonlardan dolayı maça veya kalıp üretiminin hızlandırılması, CO₂ sarfının ekonomikleğe kavuşturulması, döküm işlemi sonrası kalıp bozma özelliğinin geliştirilmesi, karışımların düşük sıcaklıklarda yüksek mukavemet kazanabilmesi, diğer sodyum silikatlara nazaran maliyetlerinin az olması avantajlarını oluşturur.

Gaz verme işlemi kontrolünün düşük modüllü silikatlara nazaran önem kazanması, hazırlanan maça veya kalıpların bekletme özelliklerinin düşük modüllü sodyum silikatla hazırlanan maça veya kalıpların ki kadar iyi olmaması dezavantajlarını oluşturur. Ama bunlar dikkatli çalışma ve ilavelerle giderilebilecek sorunlardır (3) (7) (9) (22).

Yüksek modüllü sodyum silikatlarla çalışıldığı zaman, orta veya düşük modüllü sodyum silikatlarla hazırlanan karışımlardan elde edilen mukavemet değerini elde edebilmek için, karışım-daki sodyum silikat oranı fazla olmalıdır. Arzu edilen mukavemete erişebilmek için, eşdeğer sodyum silikat ilavelerinde 2,0 modüllü sodyum silikatın yaklaşık ihtiyacının yarısı kadar CO₂ gazına ihtiyaç duyulacaktır (7).

2.6. Maça ve Kalıpların Depolama Özellikleri

Hazırlanan maça veya kalıplar depolanırsa sertleşme mekanizmalarının kompleks yapısından dolayı, basma mukavemetlerinde değişimler gözlenir. Bu değişim karışımda bağlayıcı olarak kullanılan sodyum silikatdaki fiziksel dehidrasyonun devam ettiği sürece vardır.

Depolamada, mukavemetin etkilendiği parametreler, sodyum silikatın modülü ve ⁰Be' değeri, karışımdaki bağlayıcı miktarı, ortam sıcaklığı ve ortamdaki nem miktarıdır (10) (23) (27).

2.6.1. Modülün Etkisi

Düşük modüllü sodyum silikat bağlayıcıları ile hazırlanan maçaların depolama özellikleri yüksek modüllü sodyum silikat bağlayıcıları ile hazırlanan maçalara nazaran daha iyidir (39).

NICHOLAS, K.E.L. (3) yaptığı çalışmalarda %4 oranında 2,0 ve 2,5 modüllü sodyum silikat kullandığında 30 sn, % 6 oranında 3,0 modüllü cam suyu kullandığında 15 sn gaz vermiş ve düşük modüllü (2,0) sodyum silikat kullandığında, gaz verme, işleminden sonra maça mukavemetlerinin uzun süreli depolama durumunda arttığını, yüksek modüllü (3,0) sodyum silikat kullandığında, gaz verme işleminden hemen sonra maçaların, mukavemetlerini kaybetmeye başladığını gözlemiştir.

2.6.2. Gaz verme süresinin etkisi

NICHOLAS, K.E.L. (3) ve WORTHINGTON, R. (23) yaptıkları çalışmalarda gaz verme süresinin bekletme mukavemeti üzerine etkisini göstermişlerdir. Hazırlanan numunelere gereğinden fazla gaz verilirse, ilk andaki mukavemetleri yüksek olmasına karşın, bekletme sonu basma mukavemetleri hızla düşer. Yüksek modüllü sodyum silikatla hazırlanan numunelerde bu özellik daha açık bir şekilde görülür.

2.6.3. Ortamın nem oranının etkisi

Kuru depolama şartlarında, maçaların mukavemet kaybı, nem kaybı nedeniyle olmaktadır. 3,0 modüllü sodyum silikatın bağlayıcı olarak kullanıldığı maçaların ağırlıkları, 72 saat sonunda orijinal ağırlıklarının % 3,7 si kadar azalır. 2,0 modüllü sodyum silikat kullanarak hazırlanmış maçalar 72 saat sonunda yaklaşık % 1 ağırlık kaybına uğrarlar (3).

Düşük modüllü sodyum silikatların bağlayıcı olarak kullanıldığı durumlarda, maça veya kalıplar depolanırken mukavemet düşmesi açısından fazla bir sorun yoktur. Yüksek modüllü sodyum silikatların bağlayıcı olarak kullanıldığı maçalar, hemen kullanılmayıp bekletilirlerse mukavemet düşmesi ve kırılma sorunları ortaya çıkabilir.

CO₂-silikat bağının nem kaybı, maça veya kalıpların yüksek oranda nem içeren ortamlarda depolanması sayesinde azaltılabilir. Bundan dolayı maçalar, gaz verilmiş durumdaki mukavemetlerini yaklaşık olarak korurlar. Örneğin modülü 3,0 olan sodyum silikat bağlayıcısı ile hazırlanmış maçaların 24°C ve % 88 relatif rutubet içeren ortamda 5 gün bekletilmesi sonunda ağırlık kaybı % 1,5'dir (3).

2.7. Yüksek Sıcaklık Özellikleri

2.7.1. Yüksek sıcaklıkta mukavemet

Çeşitli modüllerde sodyum silikatlarla hazırlanmış maçaların sıcak mukavemetleri 400°C'ye kadar düşer, 400-535°C arası yükselir. Daha yüksek sıcaklıklarda Na₂O ve silis kumu arasında olan reaksiyonlar ve minarolojik değişimler sonucu sıcak mukavemet değerlerinde düşmeler görülür (7), 400-535 °C arası sıcaklıklarda görülen mukavemet yükselmelerinin sebebi ise, reaksiyona girmemiş sodyum silikatın dehidrasyonudur (3) (7). NICHOLAS, K.E.L (3) tarafından, karışımdaki bağlayıcı miktarının azalması ve modül değerinin artması durumunda, sıcak mukavemetlerinin azalacağı belirtilmiş olmasına rağmen, GOTHERIDGE, J., (7) nin yaptığı çalışmalardan görülmektedir ki modülün artması ile sıcak mukavemetlerin arasında kesin bir ilişki yoktur.

2.7.2. Kalıcı mukavemet özellikleri

Maçaların döküm işlemi sonrası soğuduktan sonra sahip olduğu mukavemete, kalıcı mukavemet denir. Kalıcı mukavemetin düşük olması istenir. Sodyum silikat bağlayıcısının modülü arttıkça kalıcı mukavemetleri düşer. Karışımda gereğinden fazla sodyum silikat kullanılması da kalıcı mukavemetlerin yükselmesine neden olur (3) (9) (34). GOTHERIDGE, J., (7) %3,5 sodyum silikat içerikli,

kum karışımlarında (AFS.no.62) kalıcı mukavemetleri incelemiş, sıcaklık yükseldikçe kalıcı mukavemetlerin arttığını belirlemiştir. Örneğin 2.0 modüllü sodyum silikatla hazırlanmış numunenin 1200°C de kalıcı mukavemeti 400 N/cm² dir. Bu değer cam suyunun modül değeri arttıkça düşer.

Kalıcı mukavemet değerlerinin 600°C den sonra ani olarak yükselmesine, kuvars kumu ile sodyum bileşikleri ve artık sodyum silikatın yapıtları reaksiyonlar sebep gösterilmiştir (3) (9) (34).

2.7.3. Termal genleşme özellikleri

NICHOLAS, K.E.L. % 4 sodyum silikatla bağlı maçalarla yaptığı çalışmalarda, 1000°C nin altında normal genleşme olduğunu (maksimum % 1) göstermiştir. Fakat yüksek sıcaklıklarda genleşme oranları anormal bir şekilde artar. Örneğin 1200°C de % 3 genleşme değerine erişir (3).

Kuvars kumunun yüksek sıcaklıklarda uğradığı faz değişimleri ve sodyum silikatın yoğunluğunda meydana gelen azalma, sodyum silikata bağlı maçaların genleşmesine sebep olarak gösterilmiştir (3) (7).

Yüksek sıcaklıklarda meydana gelen genleşmenin, kil, demiroksit ve/veya alümina ilavele riyle azaltılabileceği ileri sürülmüştür (2) (3) (7).

2.8. Kalıcı Mukavemeti ve Termal Genleşmeyi Azaltma Yöntemleri

2.8.1. Karışımdaki sodyum silikat miktarının azaltılması

Karışımda yüksek oranda sodyum silikat kullanılması, kalıcı mukavemeti ve termal genleşmeyi arttırır. Bu nedenle karışımda, yeterli basma mu-

kavemetini sağlayacak minimum oranda sodyum silikat kullanılırsa, kalıcı mukavemetin önemli ölçüde azalacağı ileri sürülmüştür (3).

2.8.2. Modülün değiştirilmesi

Düşük modüllü sodyum silikatlarla hazırlanan kalıp veya maçaların kalıcı mukavemetleri yüksektir. Yüksek modüllü sodyum silikatlar kullanıldığında, kalıcı mukavemetleri düşük olacağından döküm sonu kalıp bozma işlemlerinin kolaylaşacağı ileri sürülmektedir(3)(7).

2.8.3. Kum-sodyum silikat karışımına yapılan inorganik ilaveler

Kum-sodyum silikat karışımına ilave olarak kil,mağnezyumoksit, demiroksit, alümina gibi maddelerden % 0,5-3 arasında kullanılarak kalıcı mukavemet ve termal genleşme değerlerinde düşmeler sağlanacağı ileri sürülmektedir (3)(9)(10)(35)(41).

2.8.4. Kum-sodyum silikat karışımına yapılan organik ilaveler

Termal genleşme ve kalıcı mukavemeti düşürmek için, kömür tozu, odun talaşı, karbonhidrat gibi organik malzemeler önerilmiştir (7)(3)(33)(34). Kömür tozu ilavesinin, kalıcı mukavemeti azaltmada etkili olmasına rağmen, termal genleşmeyi azaltmada önemi daha büyüktür (3). Kullanılan kömür tozunun % 50'lik bölümünün (-100,-200 mesh), % 50 lik diğer bölümünün ise (-200 mesh) tane boyutunda olması gereklidir (8).

2.9. Sodyum Silikat bağlı kumların reklamasyonu

Döküm işlemi sonrası, sodyum silikata bağlı kumlar yeniden kazanılabilir. Kumun yeniden

kazanılması (reklamasyonu) kuru veya yaş olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir (3)(50).

Eğer reklame kumda soda içeriği belirli bir seviyenin üzerinde ise, yeni kum ilavesiyle bu oran düşürülmelidir, çünkü, sodyum tuzları gaz verilmiş durumdaki kalıp veya maçaların basma mukavemetinin düşmesine neden olur. Reklame kumda soda içeriği % 0,5-0,75 olabilir (3). Yeni kum ilavesinin ikinci nedeni, tane inceliğini belirli bir seviyede tutmak arzudur (29)(52). % 20 oranında yeni kum ilavesi yeterli olabilmesine rağmen "% 50 yeni + % 50 reklame kumla" daha iyi sonuçlar elde edilir (51). Sıcak basma mukavemetlerinin düşük olmaması içinde "% 50 yeni + % 50 reklame kum" kullanılması gereklidir, eğer reklame kum oranı fazla olursa Na_2O oranı artacağından sıcak basma mukavemetlerinin düşeceği ileri sürülmektedir (29).

2.9.1. Yaş reklamasyon

Döküm işlemi sonrası, manyetik ayırma işlemine tabii tutulan kullanılmış kum kaba kırıcıdan geçirilir, tambur elekte sulu olarak eleme işlemi yapılır, kumdaki Na_2O içeriği azaltılmış olur. Daha sonra kum kurutma işlemi yapılır (3).

2.9.2. Kuru reklamasyon

Kuru reklamasyon devresi; kırıcı, manyetik seperatör, yüksek devirli pülverizatör ve döner elekten oluşur. Ön kırıcıda kırılıp, manyetik ayırması yapılan kum daha sonra tanelerin pülverize edildiği ince kırıcıya iletilir. 40 mesh'lik döner elekte elenen kum haznede toplanır (3).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Kum : Deneylerde Şile yöresinin yıkanıp kurutulmuş silis kumu kullanılmıştır. Bu kumun elek analizi yapılmış ve AFS tane inceliği 48 olarak bulunmuştur. Tablo 3.1'de yapılan elek analizi gösterilmektedir. Şile yöresi kumunun köşellilik katsayısı 1,21-1,43 arasında değişmektedir (65).

Tablo 3.1 - Deneylerde Kullanılan Silis Kumunun Tane Dağılımı

US.elek no.	Elek üzerinde kalan m.		Çarpım faktörü	Netice
	gram	%		
20	-	-	-	-
30	0,7	1,4	20	28
40	4,0	8	30	240
50	1,6	32	40	1280
70	21,1	42,2	50	2110
100	7,5	15	70	1050
140	0,4	0,8	100	80
200	0,1	0,2	140	28
Tava	-	-	200	-
Toplam	49,8	99,6	-	4816
$\text{Tane incelik no} = \frac{\text{Toplam sonuç}}{\text{Yüzde elek üstü top.}} = \frac{4816}{99,6} = 48,35$				

Cam suyu : Deneylerde, bağlayıcı olarak Ege Kimya Sanayinden temin edilen cam suları kullanılmıştır. Kullanılmış olan cam sularının teknik özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Deneylerde modüllerine göre ayrılan cam suları en yüksek ^{90}Be 'lerde kullanılmıştır.

Karbondioksit gazı : Deneylerde sıvılaştırılmış karbondioksit gazı kullanılmıştır. Hazırlanmış standart numunelerin üzerine 10 lt/dak. debi ile gaz verilmiştir. Gaz debisinin ayarlanması, tüp çıkışına yerleştirilmiş flowmetre vasıtasıyla yapılmıştır.

3.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

CO_2 sodyum silikat sistemini incelemek için aşağıda sıralanan alet ve cihazlar kullanılmıştır.

Cam suyu - kum karışımları, S-bıçak tip laboratuvar mikseri kullanılarak hazırlanmıştır.

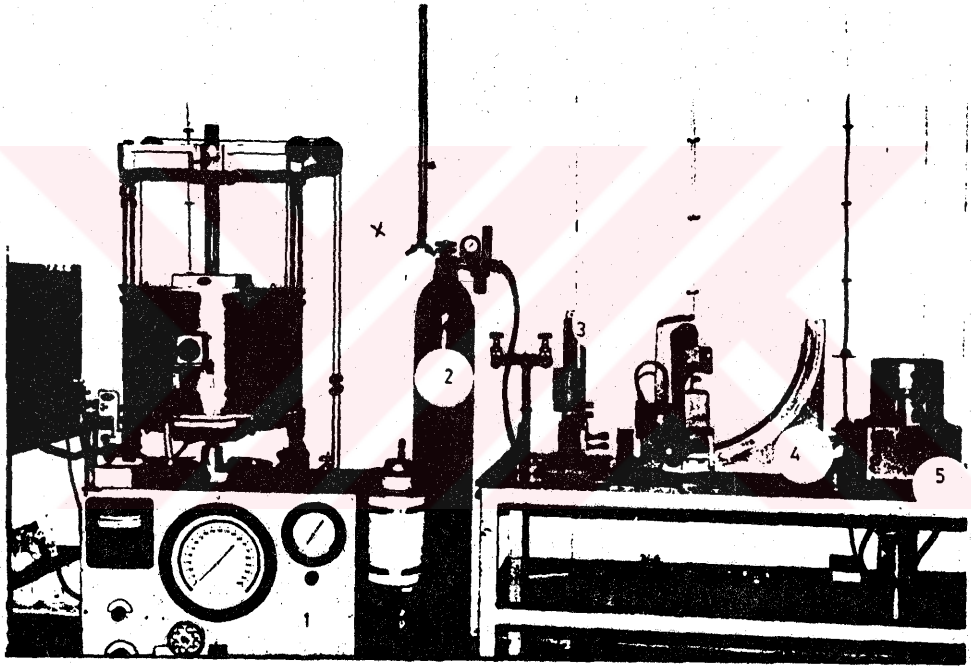
Standart numunelerin hazırlanması için kullanılan numune kab sertleştirilmiş (65-70 Rockwell C) $5,08 \pm 0,00254$ cm iç çapında ve $12 \pm 0,1778$ cm. yüksekliğinde bir çelik tüpdür. Yüksek sıcaklık deneyleri için $2,857$ cm iç çapında $13,35$ cm. yüksekliğinde çelik tüp kullanılmıştır. Standart numunelerin hazırlanması için kullanılan standart numune hazırlama cihazının dövücüsü 6350 gr.dır.

Hazırlanmış standart numunelere, deney tübünden sıyrılmadan gaz verilmiştir. Karbondioksit tübünün çıkışına, gaz debisini ayarlamak için flowmetre yerleştirilmiştir. Gaz verme süresi, kronometre yardımıyla kontrol edilmiştir.

Gaz verilmiş ve/veya gaz verildikten sonra etüvde bekletilmiş standart numunelerin basma mukavemet değerleri, "basma mukavemet cihazı" kul-

Tablo 3.2 - Deneylerde Kullanılan Ticari Cam Sularının Tipik Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Modül $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$	% Na_2O	% SiO_2	% Katı	Özgül Ağırlık (0°Be) $20^\circ\text{C}/68^\circ\text{F}$	Viskozite Centipoise	pH
20	16,9	34,75	51,65	58°Be	2000	11,40
22	14,5	31,43	45,93	53°Be	770	11,37
24	12,44	30,57	43,01	$48,3^\circ\text{Be}$	410	11,33
26	10,98	29,42	40,4	$45,3^\circ\text{Be}$	300	11,28
28	10,24	29,14	39,38	$44,3^\circ\text{Be}$	300	11,28
30	9,27	28,57	37,84	$42,5^\circ\text{Be}$	310	11,17



- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Thermolab | |
| 2. Gaz verme ekipmanı | 4. Basma mukavemet cihazı |
| 3. Standart numune hazırlama cihazı | 5. Kum mikseri |

Şekil 3.1 - Deneylerde Kullanılan Cihazlar

lanılarak bulunmuştur. Cihaz, bir ölü ağırlık ve itici koldan ibarettir.

Standart numunelerin sıcak basma mukavemeti, kalıcı mukavemeti ve termal genleşme değerlerini bulabilmek için "Thermolab cihazı" kullanılmış - tır.

3.3. Deneylerin Yapılışı

CO₂ sodyum silikat yönteminin özelliklerinin belirlenmesi için, mukavemet deneyleri, termal genleşme, sıcak mukavemet ve bekletme deneyleri yapılmıştır. Bilhassa yöntemin büyük sorunu olan kalıcı mukavemetlerin yüksekliği, bağlayıcı miktarının optimum seçilmesi ve uygun katkı malzemeleri ile düşürülmeye çalışılmıştır. Yöntemin özelliklerinin belirlenmesinde aşağıdaki sıra takip edilmiştir.

Kum-cam suyu karışımları belirli bir süre içinde hazırlanıp, kontrollü olarak gaz verilmiş aşağıdaki özellikler incelenmiştir.

o Gaz verilmiş numunelerin basma mukavemet - leri,

o Gaz verilmiş numunelerin etüvde kurutulduktan sonra, kuru basma mukavemetleri,

o Hazırlanan standart numunelerin laboratu - var ortamında bekletilmesiyle, basma mukavemet değerlerinde meydana gelen değişimler,

o Numunelerin, sıcak mukavemet, kalıcı mukavemet ve termal genleşme değerleri gibi yüksek sıcaklık özellikleri ve,

o Katkı malzemelerinin bahsedilen özelliklere etkileri incelenmiştir.

3.3.1. Kum-cam suyu karışımının hazırlanması

Döküm kumu, tane boyutu dağılımını homojen hale getirmek için, karıştırıcı da 1 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra belirlenen oranda cam suyu ilavesi yapıp, 4 dakika karıştırdıktan sonra homojen karışım elde edilmiştir.

Homojen olmayan bir karışım elde edilmesine yol açan kısa süreli karıştırma sonunda sodyum silikat toprakları oluşur. Bu topraklar döküm işleminde "yüzey hatalarına neden olur". Buna karşılık karıştırma işlemi gereğinden uzun süreli yapılmışsa atmosferdeki karbondioksit nedeniyle, karışımда kısmi sertleşmeler gözlenmiştir.

Deneyler sırasında karışıma katı ilaveler yapılması gerekli durumlarda, katı ilavelerin kumla, homojen bir karışımı sağlandıktan sonra cam suyu ilavesi yapılmıştır. Sıvı katkı malzemeleri ise cam suyu ilavesinden sonra kum-cam suyu karışımına ilave edilmiştir.

Deney için hazırlanmış karışım atmosfere açık bulundurulursa ortamdan CO₂ kapabileceğinden dolayı, hazırlanan numunelerle sıhhatli sonuçlar elde edilemez. Deneyler sırasında hazırlanmış kum-cam suyu karışımları nemli bezler altında saklanarak bu sorun halledilmiştir. Deneylerden sıhhatli sonuçlar alınması için, kum-cam suyu karışımlarından deney numunesi hazırlanması işlemi süratli bir biçimde gerçekleştirilmiştir.

3.3.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Deney numuneleri standart olup, AFS standardına göre çapı 51 mm (2 in) ve yüksekliği $51 \pm 0,8$ mm ($2 \pm 1/32$ in) olarak hazırlanmışlardır (15). Numune kabındaki kum-cam suyu karışımı, Dietert'in standart numune hazırlama cihazında 6,350 kg ağırlıkla 3 kez dövülerek standart numuneler hazırlanmıştır. Belirtilen standarda uygun numunelerin

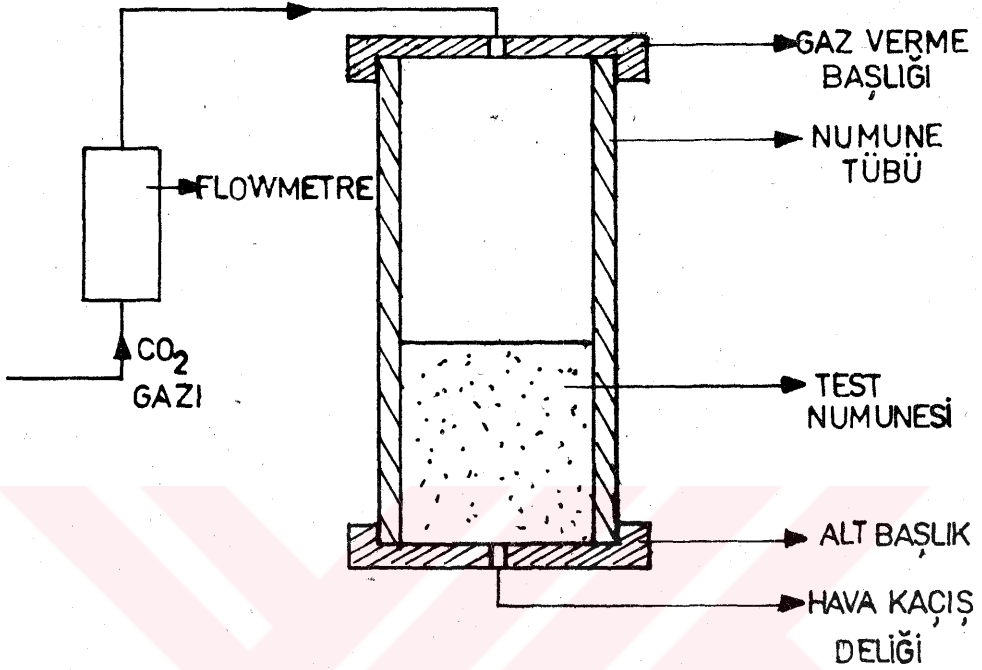
hazırlanabilmesi için yaklaşık olarak 164 gr. karışım numune kabına konmuştur.

Sıcak mukavemet ve kalıcı mukavemet değerlerinin bulunabilmesi için, 2 86 mm çapında 51 mm yüksekliğinde standart numuneler hazırlanmıştır (15). Numunelerin bu şekil hazırlanmasında ki amaç ; thermolab cihazında yüksek sıcaklık özellikleri belirlenirken, numunenin her kesitinin daha kısa sürede aynı sıcaklığa erişmesini sağlamaktır. Yüksek sıcaklık özelliklerinin belirlenmesi için standart numunelerin hazırlanmasında, standart boyutların elde edilmesi amacıyla 49-50 gr kum-sodyum silikat karışımı numune tübüne konmuş ve standart numune hazırlama cihazının ölü ağırlığıyla 3 kez dövülmüştür, böylece numunelerde yeterli kompaktlık sağlanmıştır.

3.3.3. Standart numunelere gaz verilmesi

CO₂ sodyum silikat yönteminde gazverme işleminin kontrollü yapılması gereklidir. Aksi takdirde, maçaların gevrekliği ve kalıcı mukavemeti artar. Bu sebeple gaz debisi ve süresi itinalı bir şekilde seçilmiş ve kontrol edilmiştir. Deneyler esnasında, deney tübündeki standart numunelere, belirlenen süre ve debide gaz verilmiştir. Gaz verme işlemi şematik olarak Şekil 3.2 de gösterilmiştir.

Deneylerde 10lt/dak. gaz debisi ile çalışılmıştır. Bu değerden çok düşük gaz verme debisi yetersiz nüfuziyet sağlayacağından, maça veya kalıpların mukavemetleri düşük kalır (29). Eğer, çok yüksek gaz verme debisi seçilirse, maça ve kalıpların yüzeyleri gevrekleşir, ayrıca depolama özellikleri bozulur. Deneylerden önce teorik olarak gaz ihtiyaçları belirlenmiş ve gaz verme süreleri bu kritere göre belirlenmiştir.



Şekil 3.2 - Gaz Verme İşleminin Şematik Gösterilişi

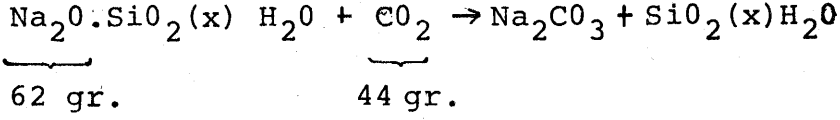
3.3.3.1. Gaz verme süresinin tespiti

Kum-sodyum silikat karışımlarında %3-6 arasında değişen oranlarda sodyum silikat kullanılmıştır. 10 lt/dak. gaz debisi uygulandığında, sertleşme reaksiyonu için teorik olarak gerekli CO₂ miktarı ve teorik miktarın katlarını veren gaz verme süreleri hesaplanıp tablo haline getirilebilir. Bu işlemler değişik modüllü cam suları için ayrı ayrı yapılarak Tablo 4.1'de verilmiştir.

Örnek olarak ;

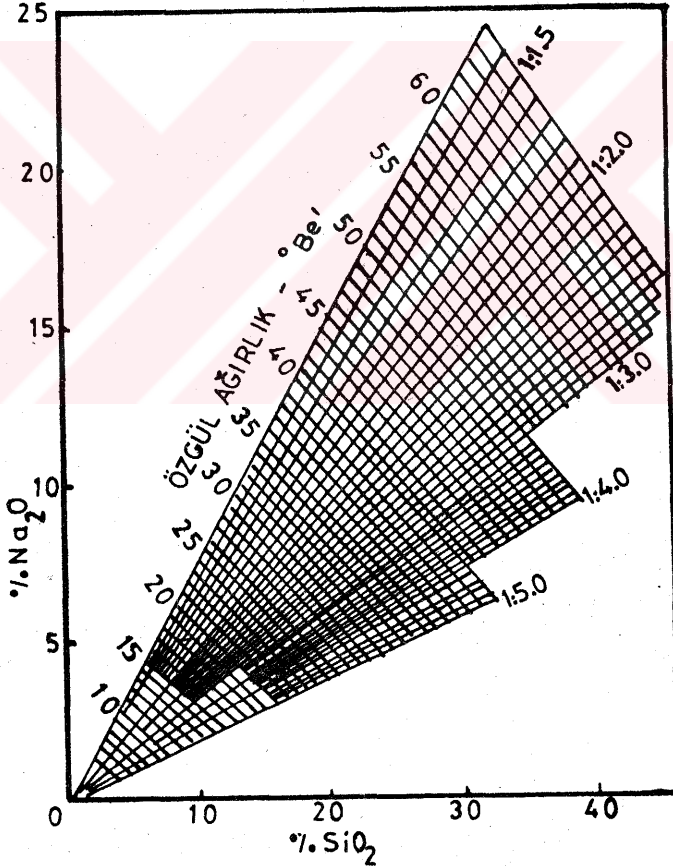
$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 20$, özgül ağırlık = 58 °Be' olan sodyum silikattan %3 kullanıldığında teorik olarak gerekli CO₂ miktarının 7 katını veren gaz verme süresinin (teorik 7x) hesaplanması :

CO₂-sodyum silikat yönteminde sertleşme reaksiyonu;



idi.

Reaksiyonun teorik olarak gerçekleşmesi durumunda, 62 gr Na₂O 44 gr CO₂ ile bileşik yapmaktadır.



Şekil 3.3 - 20°C de Sodyum Silikat Solüsyonlarında bileşim ve özgül ağırlık (°Be') arasındaki ilişki (2) (5) (13).

Şekil 3.3 den 2.0 modül 58 ⁰Be' li cam suyunda % 16,9 Na₂O, % 34,75 SiO₂, % 51,65 katı madde olduğu bulunur. % 3 cam suyu kullanıldığında 164 gr. ağırlığındaki standart deney numunesi için 4,92 gr cam suyu gerekir. Bu miktar cam suyunda 0,831 gr Na₂O vardır. Reaksiyonun olması için $0,831 \times \frac{44}{62} = 0,59$ gr CO₂ gazı gerekmektedir. Teorik olarak gerekli CO₂ miktarının 7 katı (teorik 7x) ise 4,13 gr'dır.

20°C ortam sıcaklığı ve 7 60 mm Hg basıncında 1 mol gaz Van Der Walls denklemine göre; (6)

$$\left(P - \frac{n^2 a}{V^2}\right) (V - nb) = nRT \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} a &= 3,592 \text{ lt}^2 \text{atm}/(\text{mol})^2 \\ b &= 0,04267 \text{ lt/mol} \\ R &= 0,08206 \text{ lt.atm/mol.}^\circ\text{K} \\ V &= 23,95 \text{ lt.} \end{aligned}$$

bulunur. 10 lt/dak. gaz debisi ile çalışıldığında dakikada elde edilen CO₂ miktarı ağırlık olarak

$$\frac{44 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{23.95 \text{ lt}} \cdot \frac{10 \text{ lt}}{\text{dak}} = 18,37 \text{ gr/dak.}$$

bulunur.

4,13 gr CO₂ gazını sisteme vermek için gerekli li gaz verme süresi'

$$\frac{4,13 \text{ gr}}{18,37 \text{ gr/dak.}} \times 60 = 13,49 \text{ sn.}$$

olarak bulunur.

3.3.4. Gaz verilmiş standart numunelerin basma mukavemetinin bulunması

Belirlenen süre kadar gaz verilmiş standart numuneler, numune tübünden sıyr lm   ve kendilerine gelmeleri için standart olarak atmosferde 15 dakika bekletilmi lerdir. Daha sonra basma mukavemet cihazı kullanılarak basma mukavemet değerleri bulunmuştur.

3.3.5. Gaz verilmiş standart numunelerin kuru basma mukavemetlerinin değişimi

Döküm endüstrisinde maçalar genellikle boyan r ve kurutulur. Bundan dolayı, döküm endüstri-sine bir      tutması açısından deneyler sırasında gaz verilmiş durumdaki standart numunelerin kuru basma mukavemetleri bulunmuştur. Bunun için hazırlanan standart numuneler, gaz verme işlemin-den sonra 1/2 saat süreyle 110 C (etüv) de kurutulmu lardır. Daha sonra numuneler so utulmu  ve kuru basma mukavemet değerleri bulunmuştur.

3.3.6. Bekletme  zelliklerinin belirlenmesi

Döküm endüstrisinde kullanılan kal p ve maça-ların, kullanılmadan önce bekletilmeleri gerekebilir, bu durumda kal p veya maça mukavemetinin döküm işlemini tehlikeye düşürecek şekilde de i -memesi gereklidir. Bunun için hazırlanan standart numuneler ortam sıcaklığı 20 C, relatif nem oranı % 80-84 olan laboratuvar ortamında belirli süreler bekletilmiştir. Numunelerin nem kaybı ve basma mukavemet değerlerindeki de i meler gözlenmiştir.

3.3.7. Yüksek sıcaklık özelliklerinin belirlenmesi

Sıcak basma mukavemetlerinin bulunabilmesi için "thermolab" cihazı kullanılmıştır. Haz rla-

nan standart numuneler (28,6 x 51 mm), gaz verme işleminden sonra 1/2 saat 110°C de tutulmuştur. Thermolab cihazına konan bu numuneler istenen sıcaklıkta belirli süreler bekletildikten sonra sıcak basma mukavemet değerleri bulunarak, bekletme sürelerinin "sıcak-basma mukavemetlerinin" değişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sıcaklıkları olarak 700 °C, 900 °C ve 1100 °C seçilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği üzere bekletme sürelerine göre sıcak basma mukavemetinin değişimi incelenerek, döküm işlemleri sırasında kalıp ve maça mukavemetinin değişimi üzerine fikir edinilmiştir.

Kalıcı mukavemetlerin bulunabilmesi için, numuneler gaz verildikten sonra 1/2 saat 110 °C de bekletilmiştir. Bu numuneler 700 °C de 15 dak, 900 °C de 12 dak., 1100 °C de 9 dak. bekletildikten sonra termolabdan çıkartılarak soğutulmuş ve kalıcı mukavemetleri bulunmuştur. Thermolabda bekletme süreleri, her sıcaklık için değişik olup, numunelerin tüm kesitlerinin bulunduğu sıcaklığa erişmesi için gerekli sürelerdir (7).

Termalgenleşme değerlerini bulmak için, standart numuneler, 700 °C, 900 °C, 1100 °C sıcaklığa çıkartılarak yine aynı sürelerde bekletilmiş, thermolab dışında soğutulduktan sonra termal genleşmeleri bulunmuştur.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Basma Mukavemet Değişimi

Basma mukavemet deneyleri Tablo 3.2 de teknik özellikleri belirten cam suları ile yapılmıştır. Deneyler yapılmadan önce teorik gaz verme süreleri (teorik X) bölüm 3.3.3 teki gibi hesaplanmış ve gaz verme işlemleri kontrollü yapılmıştır.

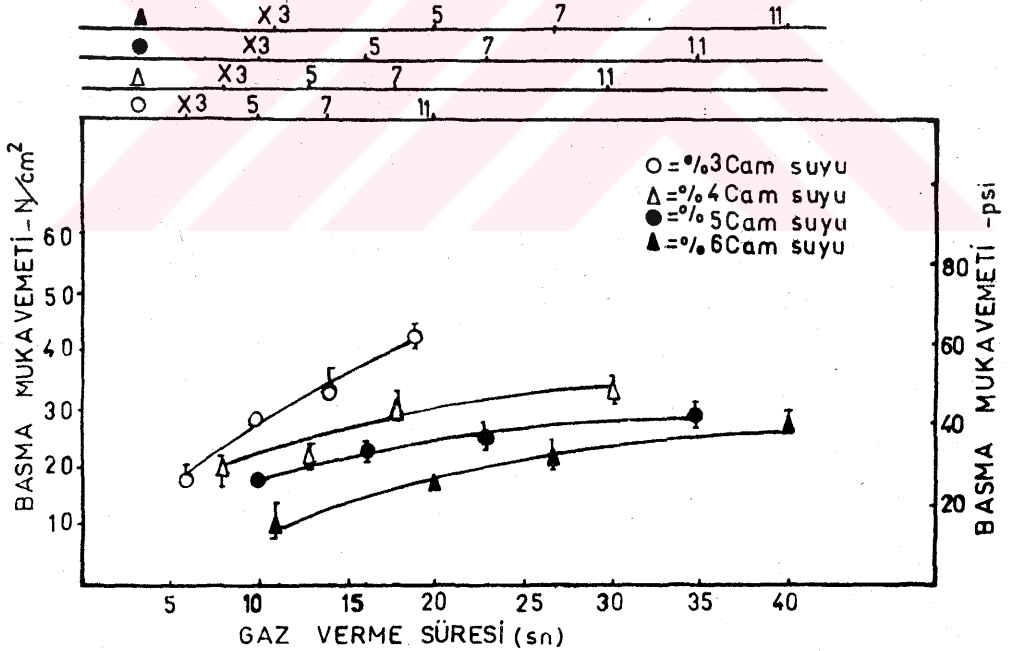
Tablo 4.1 - 10 lt/dak. gaz debisi ile çalışıldığında, teorik gaz verme süresinin, cam suyu modülüne göre değişimi.

Cam suyu oranı(%)	Cam Suyu Modülü					
	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
	Teorik gaz verme süresi (sn)					
3	1,93	1,65	1,42	1,25	1,16	1,05
4	2,57	2,2	1,89	1,67	1,56	1,4
5	3,2	2,76	2,36	2,1	1,95	1,76
6	3,86	3,3	2,84	2,5	2,33	2,1

Hazırlanmış standart numunelere, hesaplanan gaz verme sürelerinin belirli katlarınca gaz verildikten sonra numuneler 15 dakika bekletilmiş daha sonra basma mukavemetleri bulunmuştur. Her şartda 4 numunenin basma mukavemeti bulunarak, ortalamaları Tablo 4.2 - 4.7 de verilmiş ve basma mukavemeti değişim eğrileri Şekil 4.1-4.6 da gösterilmiştir.

Tablo 4.2 - 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan numuneler ile elde edilen basma mukavemetleri

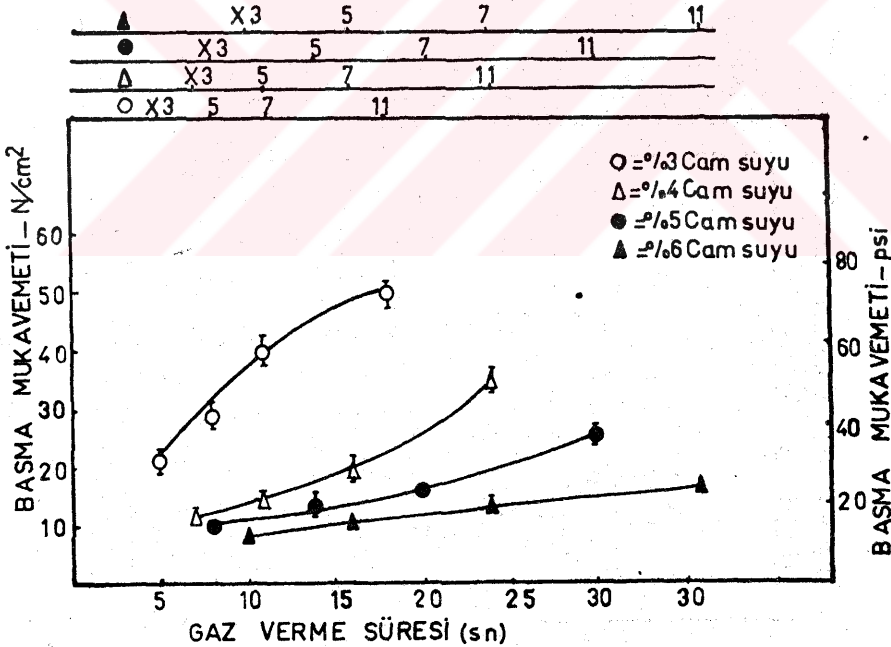
Gaz verme süresi (sn)	Cam suyu oranı	Basma Mukavemeti - N/cm ²							
		§ 3		§ 4		§ 5		§ 6	
		$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
6		18,5	2	-	-	-	-	-	-
8		-	-	2,0	2,2	-	-	-	-
10		28,5	1,1	-	-	18	0,7	-	-
11		-	-	-	-	-	-	10	1,8
13		-	-	22,5	1,4	-	-	-	-
14		33	2,4	-	-	-	-	-	-
16		-	-	-	-	24	1,7	-	-
18		-	-	30,5	1,5	-	-	-	-
20		47,5	1,5	-	-	-	-	18	0,7
23		-	-	-	-	25,5	1,3	-	-
27		-	-	-	-	-	-	22	1,2
30		-	-	33	1,6	-	-	-	-
35		-	-	-	-	29	1,9	-	-
40		-	-	-	-	-	-	28	1,2



Şekil 4.1 - Karışımlarda 2,0 modüllü cam suyu kullanıldığında, gaz verme süresi ve kullanılan cam suyu oranına göre basma mukavemetlerinin değişimi

Tablo 4.3 - 2,2 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numuneler ile elde edilen basma mukavemetleri

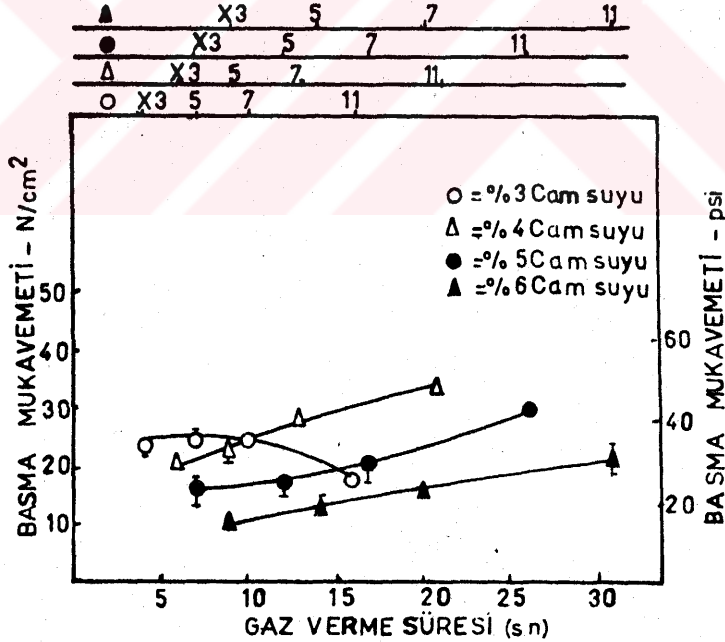
Cam suyu verme süresi (sn)	Cam suyu oranı	Basma Mukavemeti - N/cm ²							
		1/3		1/4		1/5		1/6	
		$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
5		21	1,6	-	-	-	-	-	-
7		-	-	13	1,1	-	-	-	-
8		29	1,3	-	-	10	0,7	-	-
10		-	-	-	-	-	-	9	0,3
11		40	2,3	15	1,2	-	-	-	-
14		-	-	-	-	13	1,2	-	-
16		-	-	20	1,9	-	-	11	0,5
18		50	1,4	-	-	-	-	-	-
20		-	-	-	-	18	0,9	-	-
24		-	-	35	1,2	-	-	14	0,7
30		-	-	-	-	25	1,2	-	-
36		-	-	-	-	-	-	17	1,1



Şekil 4.2 - Karışımlarda 2,2 modüllü cam suyu kullanıldığında, gaz verme süresi ve kullanılan cam suyu oranına göre basma mukavemetlerinin değişimi.

Tablo 4.4 - 2,4 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen basma mukavemetleri

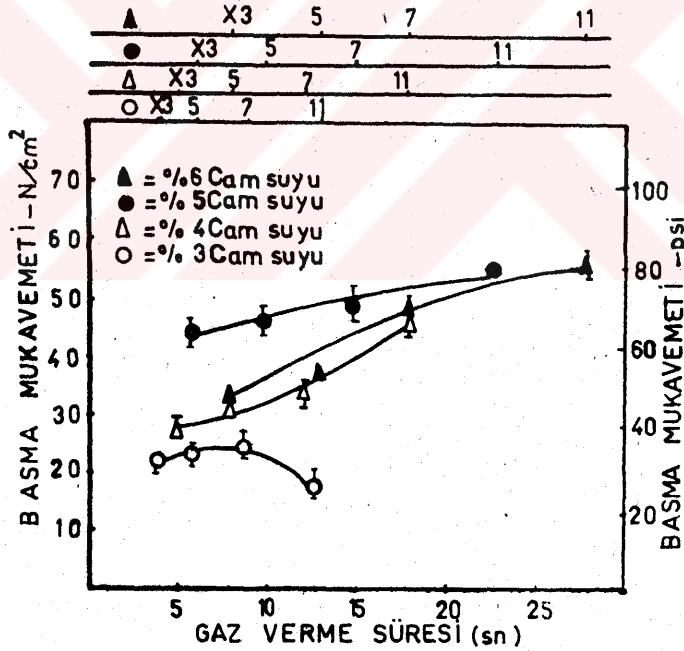
Cam suyu oranı Gaz verme süresi (sn)	Basma Mukavemeti - N/cm ²							
	3		4		5		6	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
4	23	1,1	-	-	-	-	-	-
6	-	-	21	0,4	-	-	-	-
7	24	1,3	-	-	16	1,4	-	-
9	-	-	23	1,2	-	-	11	0,5
10	24	0,7	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	17	0,7	-	-
13	-	-	29	0,7	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	13	1,2
16	17	1,4	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	21	1,2	-	-
20	-	-	-	-	-	-	16	0,9
21	-	-	34	0,7	-	-	-	-
26	-	-	-	-	29	1,2	-	-
31	-	-	-	-	-	-	21	0,6



Şekil 4.3 - Karışımlarda 2,4 modüllü cam suyu kullanıldığında gaz verme süresi ve kullanılan cam suyu oranına göre basma mukavemetlerinin değişimi.

Tablo 4.5 - 2,6 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen basma mukavemetleri

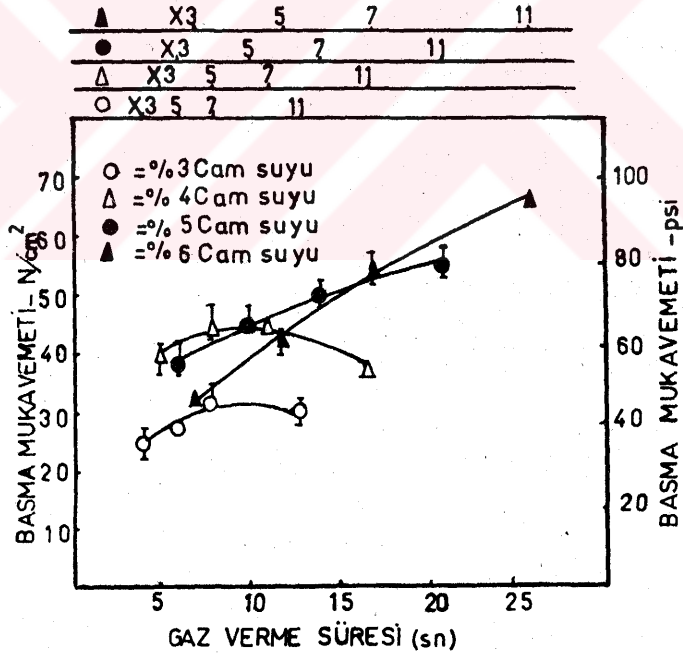
Cam suyu Gaz verme süresi (sn)	Basma Mukavemeti - N/cm ²							
	% 3		% 4		% 5		% 6	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
4	22	0,7	-	-	-	-	-	-
5	-	-	28	2,6	-	-	-	-
6	23	1,2	-	-	44	2,1	-	-
8	-	-	32	2,2	-	-	33	0,5
9	25	1,6	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	46	1,6	-	-
12	-	-	34	1,6	-	-	-	-
13	18	1,4	-	-	-	-	37	1,9
15	-	-	-	-	49	1,9	-	-
18	-	-	45	1,7	-	-	49	1,1
23	-	-	-	-	55	0,7	-	-
28	-	-	-	-	-	-	56	1,2



Şekil 4.4 - Karışımlarda 2,6 modüllü cam suyu kullanıldığında gaz verme süresi ve kullanılan cam suyu oranına göre basma mukavemetlerinin değişimi.

Tablo 4.6 - 2,8 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen basma mukavemetleri

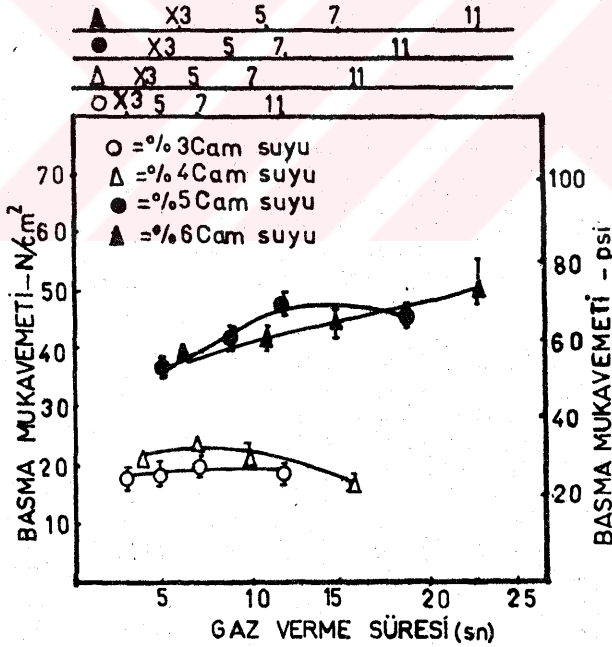
cam suyu Gaz verme süresi (sn)	Basma Mukavemeti - N/cm^2							
	t 3		t 4		t 5		t 6	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
4	25	2,1	-	-	-	-	-	-
5	-	-	39	2,1	-	-	-	-
6	27	0,8	-	-	38	2,4	-	-
7	-	-	-	-	-	-	32	3,1
8	32	1,9	43	2,7	-	-	-	-
10	-	-	-	-	45	2,2	-	-
11	-	-	45	2,2	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	42	3,5
13	30	1,6	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	50	0,7	-	-
17	-	-	37	0,6	-	-	54	3,2
21	-	-	-	-	55	0,3	-	-
26	-	-	-	-	-	-	66	2,5



Şekil 4.5 - Karışımlarda 2,8 modüllü cam suyu kullanıldığında gaz verme süresi ve kullanılan cam suyu oranına göre basma mukavemetlerinin değişimi

Tablo 4.7 - 3,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen basma mukavemetleri

Cam suyu oranı Gaz verme süresi(sn)	Basma Mukavemetleri - N/cm ²							
	3		4		5		6	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
3	18	1,4	-	-	-	-	-	-
4	-	-	22	0,6	-	-	-	-
5	19	1,1	-	-	37	1,2	-	-
6	-	-	-	-	-	-	39	1,2
7	20	1,2	24	1,4	-	-	-	-
9	-	-	-	-	40	1,5	-	-
10	-	-	22	1,4	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	42	2,5
12	19	0,7	-	-	48	2,1	-	-
15	-	-	-	-	-	-	45	1,6
16	-	-	17	1,3	-	-	-	-
19	-	-	-	-	46	1,4	-	-
23	-	-	-	-	-	-	51	3,3



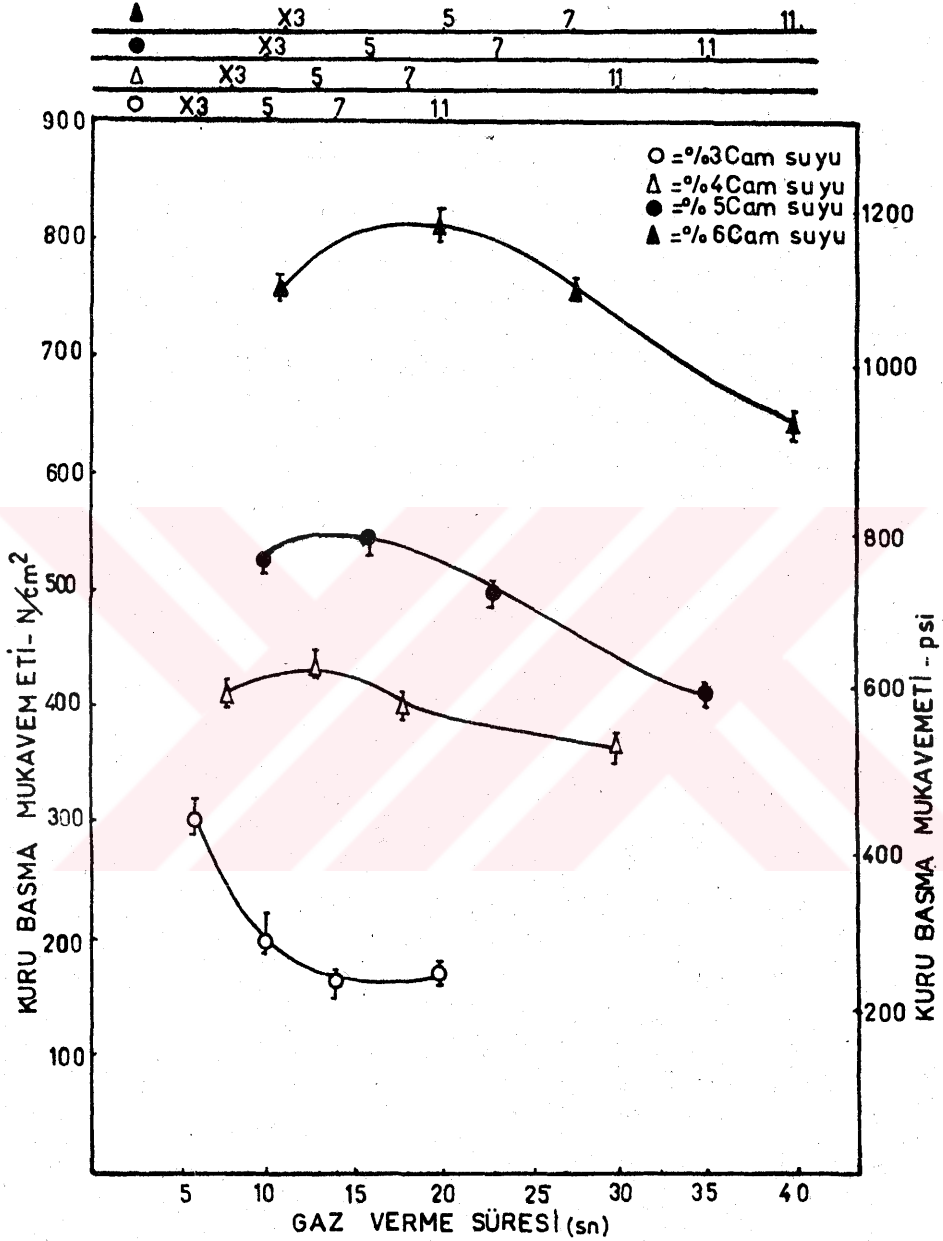
Şekil 4.6 - Karışımlarda 3,0 modüllü cam suyu kullanıldığında gaz verme süresi ve cam suyu oranına göre basma mukavemetlerinin değişimi

4.2. Kuru Basma Mukavemetinin Değişimi

Tablo 3.2 deki özelliklerine sahip olan cam suları ile hazırlanıp teorik gaz verme sürelerinin belirli katlarınca gaz verilmiş standart numunelerin kuru basma mukavemetleri Bölüm 3.3.5' de belirtildiği gibi bulunarak sonuçların ortalamaları Tablo 4.8-4.13 de verilmiş ve kuru basma mukavemeti değişim eğrileri çizilmiştir (Şekil 4.7 - 4.11).

Tablo 4.8 - 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen kuru basma mukavemetleri

cam suyu Gaz verme süresi(sn) orani	Kuru Basma Mukavemeti - N/cm ²							
	§ 3		§ 4		§ 5		§ 6	
	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X
6	300	1,2	-	-	-	-	-	-
8	-	-	410	14	-	-	-	-
10	200	1,2	-	-	525	12,5	-	-
11	-	-	-	-	-	-	755	9,5
13	-	-	435	8	-	-	-	-
14	165	9,4	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	545	13	-	-
18	-	-	400	7	-	-	-	-
20	170	7	-	-	-	-	810	7,5
23	-	-	-	-	495	9	-	-
27	-	-	-	-	-	-	755	6
30	-	-	365	10,5	-	-	-	-
35	-	-	-	-	410	7,5	-	-
40	-	-	-	-	-	-	640	8



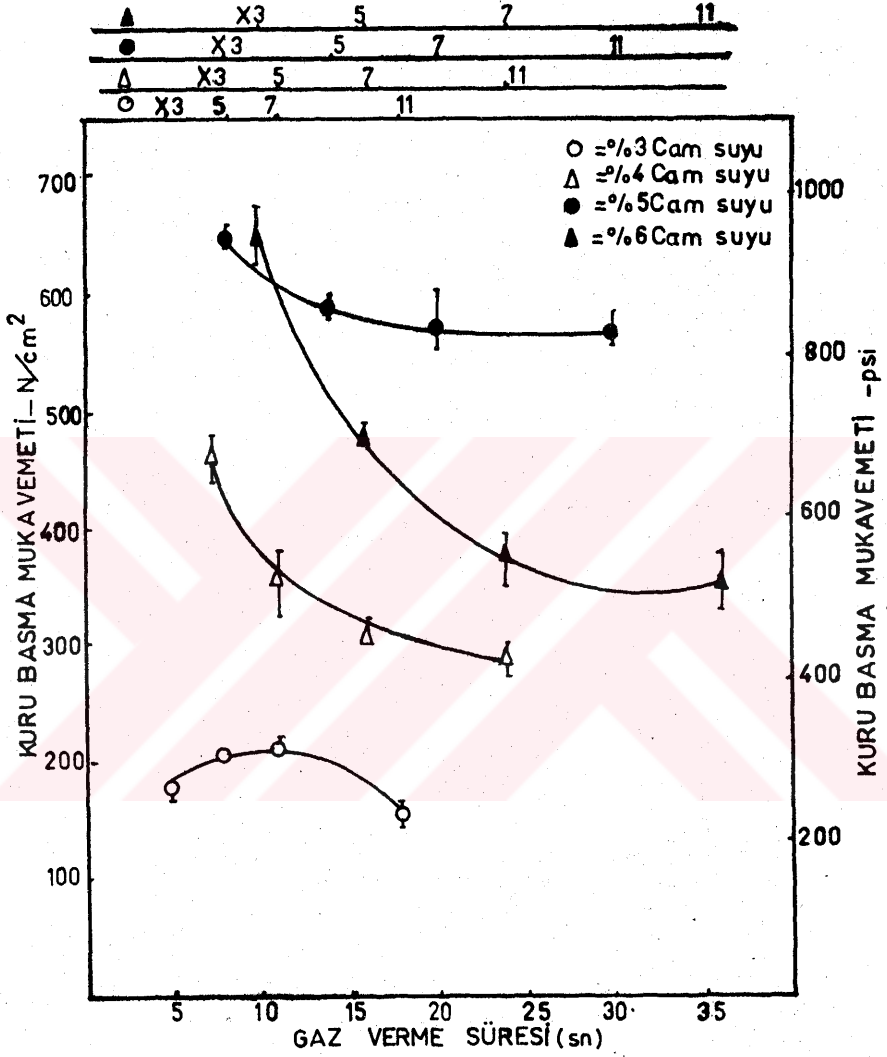
Şekil 4.7 - 2.0 Modüllü cam suyu kullanılan karışımlarda gaz verme süresi ve cam suyu oranına göre kuru basma mukavemetlerinin değişimi.

Tablo 4.9 - 2,2 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen kuru basma mukavemetleri

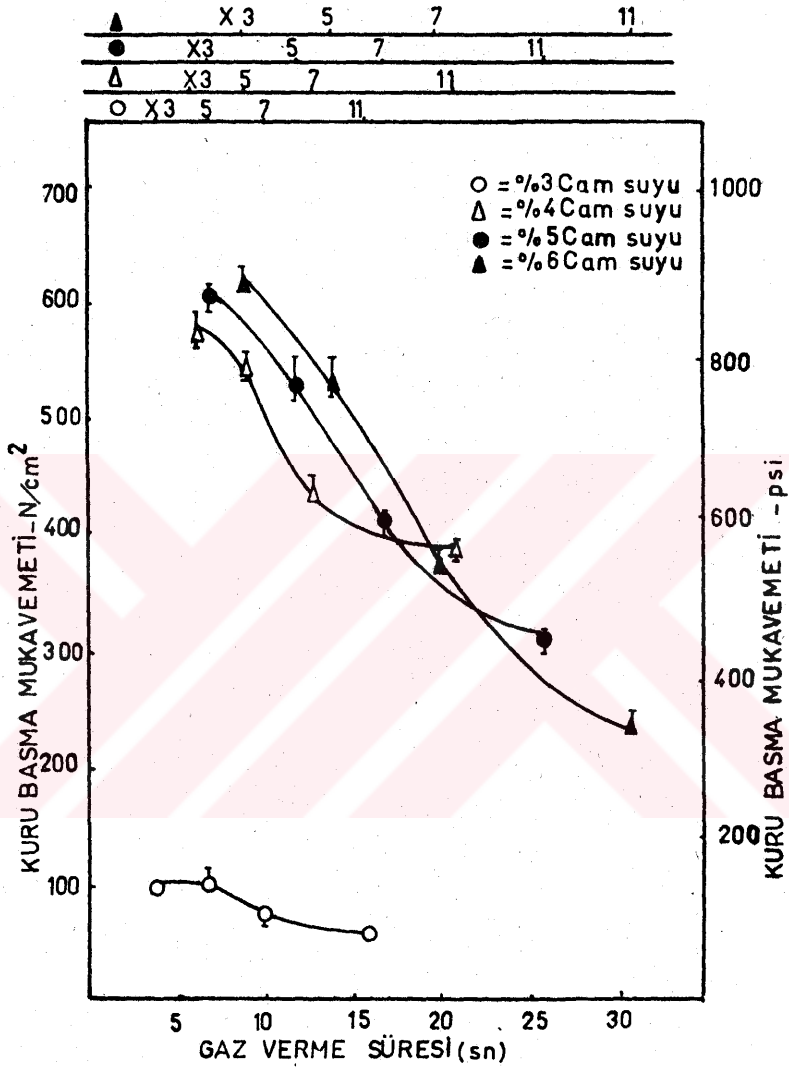
[illegible]

Tablo 4.10 - 2,4 modüllüü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen kuru basma mukavemetleri

[illegible]



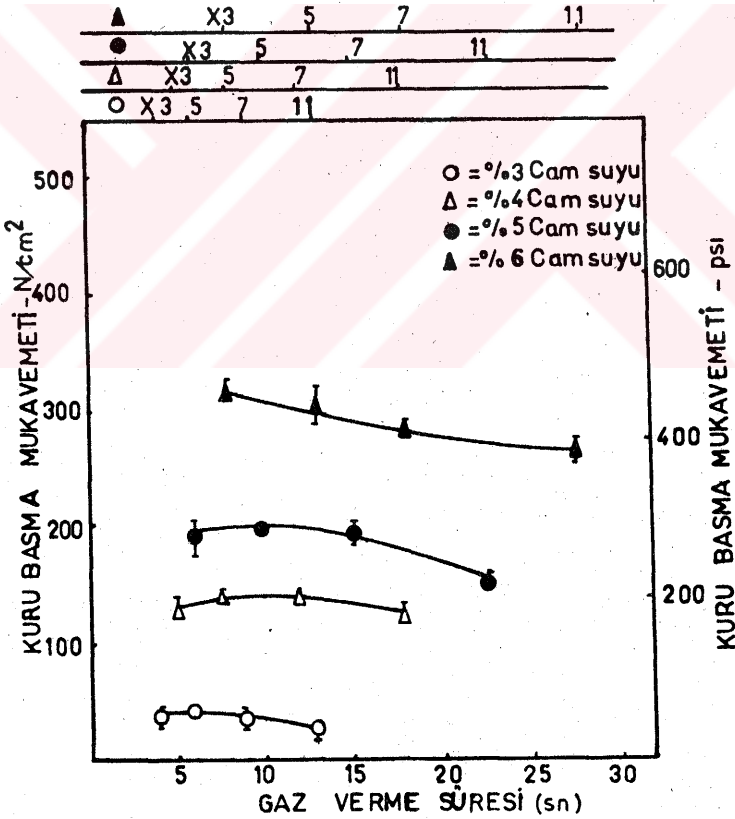
Şekil 4.8 - 2,2 Modüllü cam suyu kullanılan karışımlarda gaz verme süresi ve cam suyu oranına göre kuru basma mukavemetlerinin değişimi.



Şekil 4.9 - 2.4 Modüllü cam suyu kullanılan karışımlarda gaz verme süresi ve cam suyu oranına göre kuru basma mukavemetlerinin değişimi.

Tablo 4.11 - 2,6 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen kuru basma mukavemetleri

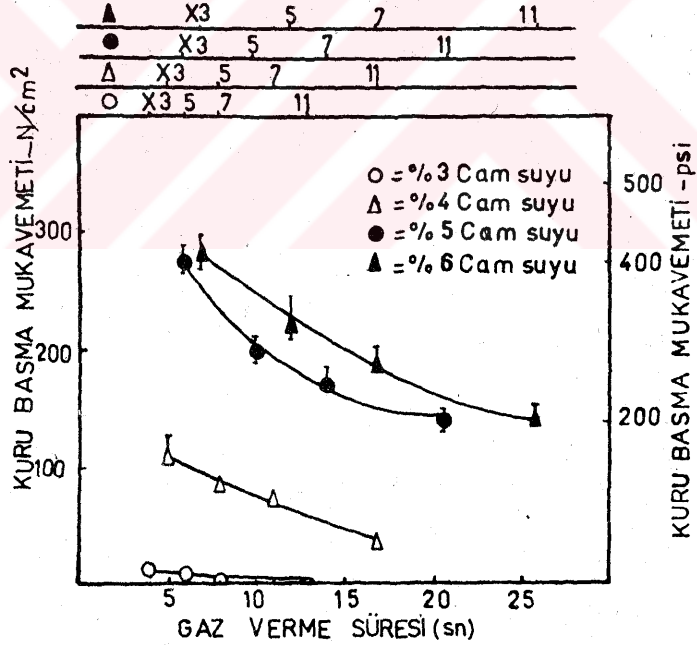
cam suyu oranı Gaz verme süresi (n)	Kuru Basma Mukavemetleri - N/cm ²							
	1 3		1 4		1 5		1 6	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
4	39	4,6	-	-	-	-	-	-
5	-	-	137	6,5	-	-	-	-
6	44	1,9	-	-	193	11	-	-
8	-	-	141	3,3	-	-	321	4,3
9	36	4,7	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	200	4,4	-	-
12	-	-	146	2,5	-	-	-	-
13	28	3,5	-	-	-	-	306	8,4
15	-	-	-	-	195	0,9	-	-
18	-	-	130	2,3	-	-	287	1,7
23	-	-	-	-	130	3,7	-	-
28	-	-	-	-	-	-	265	3,7



Şekil 4.10 - 2,6 modüllü cam suyu kullanılan karışımlarda gaz verme süresi ve cam suyu oranına göre kuru basma mukavemetlerinin değişimi

Tablo 4.12 - 2,8 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen kuru basma mukavemetleri

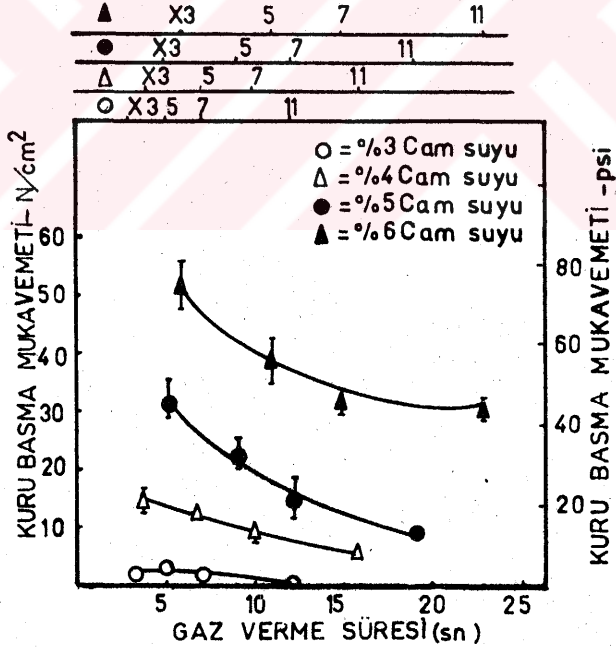
cam suyu oranı Gaz verme süresi(sn)	Kuru Basma Mukavemetleri - N/cm ²							
	3		4		5		6	
	X	σ_x	X	σ_x	X	σ_x	X	σ_x
4	9	1,7	-	-	-	-	-	-
5	-	-	117	9,7	-	-	-	-
6	6,5	0,5	-	-	274	9,1	-	-
7	-	-	-	-	-	-	282	7,7
8	4	1	85	2	-	-	-	-
10	-	-	-	-	200	5,5	-	-
11	-	-	76	4,2	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	222	11,2
13	2	0,1	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	172	8,6	-	-
17	-	-	38	4	-	-	190	9,6
21	-	-	-	-	141	6,7	-	-
26	-	-	-	-	-	-	144	5,7



Şekil 4.11 - 2,8 modüllü cam suyu kullanılan karışımlarda gaz verme süresi ve cam suyu oranına göre kuru basma mukavemetlerinin değişimi

Tablo 4.13 - 3,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerde elde edilen kuru basma mukavemetleri

cam suyu oranı Gaz verme süresi(sn)	Kuru Basma Mukavemetleri - N/cm ²							
	§ 3		§ 4		§ 5		§ 6	
	X	σ _x	X	σ _x	X	σ _x	X	σ _x
3	2	0,1	-	-	-	-	-	-
4	-	-	15	2	-	-	-	-
5	4	0,4	-	-	32	2,5	-	-
6	-	-	-	-	-	-	52	3,2
7	2	0,2	13	1,5	-	-	-	-
9	-	-	-	-	23	1,9	-	-
10	-	-	3	0,7	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	39	2,9
12	1	0	-	-	15	2,1	-	-
15	-	-	-	-	-	-	32	1,6
16	-	-	5	0,5	-	-	-	-
19	-	-	-	-	10	0,4	-	0,7
23	-	-	-	-	-	-	30	-



Şekil 4.12 - 3,0 modüllü cam suyu kullanılan karışımlarda gaz verme süresi ve cam suyu oranına göre kuru basma mukavemetlerinin değişimi

4.3. Yüksek Sıcaklıktaki Özelliklerin Değişimi

Deneylerin bundan sonraki bölümlerinde tekrarlamalardan, aşırı gaz verme ve aşırı cam suyunun yaratacağı sorunlardan sakınmak için optimum değerler seçilmiştir. 2,0 modüllü cam suyu ile çalışırken, AFS nosu 48 olan deney kumu için optimum miktar olarak Şekil 2.1 den % 3 oranı seçilmiştir. Yapılan diğer deneylerde eğer modül değişirse, sertleşmeyi silikajel($\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$) sağladığından dolayı cam suyundaki SiO_2 miktarının sabit kalması düşünülmüş ve gerekli cam suyu oranları buna göre belirlenmiştir.

Örnek ; 2,2 modüllü cam suyu kullanıldığında, Şekil 3.3 den 2,0 ve 2,2 modüllü cam sularının özellikleri belirlenmiştir (Tablo 4.14).

Tablo 4.14 - 2,0 ve 2,2 modüllü cam sularının özellikleri

$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	Özgül Ağırlık ($^{\circ}\text{Be}'$)	% SiO_2	% Na_2O
2,0	58	34,75	16,3
2,2	53	31,43	14,5

2,0 modüllü cam suyundan optimum değer % 3 seçilirse $34,75 \times 3 = 31,43 \times A$ $A = 3,32$ o halde,

2,2 modüllü cam suyundan % 3,32 optimum miktar olarak belirlenmiş olur.

Gaz verme süresi olarak da teorik gaz verme süresinin üç katı (teorik 3 x) seçilerek 10 lt/dak. debi ile gaz verilmiştir. Sıcak özellikler belirlenirken küçük tip standart numune (50 gr) kullanılmıştır. Hesaplamalar Bölüm 3.3.3.1 deki gibi yapılmış, büyük (164 gr) tip ve küçük tip standart numunelere gaz verme süreleri Tablo 4.15 de gösterilmiştir.

Tablo 4.15 - Hazırlanan standart numunelerde gerekli optimum cam suyu oranları ve 10 lt/dak gaz debisi ile çalışıldığında optimum gaz verme süreleri

Modül	Optimum cam suyu Oranları (%)	Optimum gaz verme süresi (sn) Teorik 3x	
		A	B
2,0	3	1,8	5,8
2,2	3,32	1,7	5,5
2,4	3,41	1,5	4,8
2,6	3,54	1,4	4,4
2,8	3,58	1,3	4,2
3,0	3,65	1,2	3,9

A = Küçük standart numune

B = Büyük standart numune

4.3.1. Sıcak Basma Mukavemetinin Değişimi

Bu grup deneylerde, thermolabda bekletme sabit sürelerde yapılmayıp artan sürelerde yapılmış, böylece yüksek sıcaklıkta bekletme sürelerinin sıcak basma mukavemetlerinin değişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bundan amaç, döküm işlemi sırasında kalıp ve maça mukavemetlerinin değişimi üzerine fikir edinmektir.

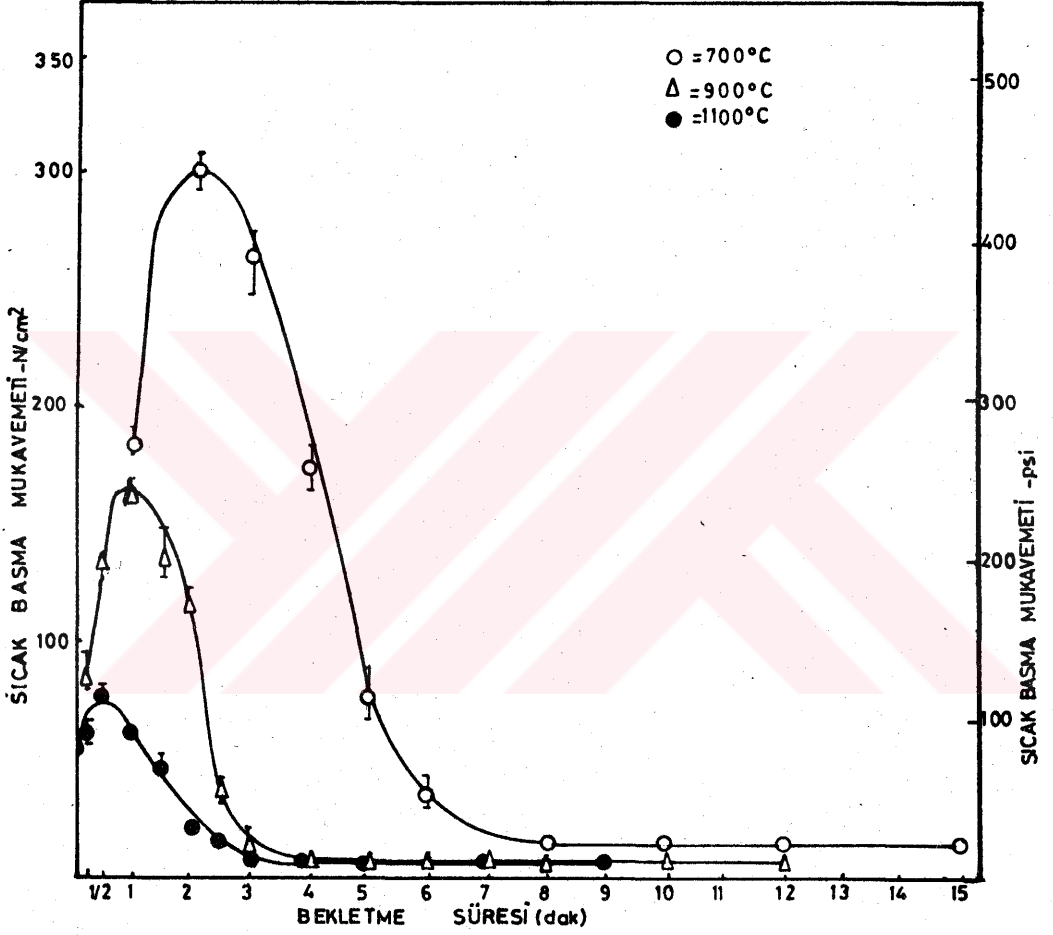
Deneylerde kullanılan cam sularından Tablo 4.15 de belirtildiği gibi optimum miktarlarına hazırlanmış küçük standart numunelere 10 lt/dak. debide, teorik gaz, verme süresinin üç katı sürede (teorik 3x) gaz verilmiştir. Çalışma sıcaklıkları olarak 700°C ve 1100 °C seçilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.16 - 4.21 de belirtilmiş, sıcak basma mukavemetlerinin değişimi Şekil 4.13 - 4.18 de gösterilmiştir.

Tablo 4.16 - 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerin, çeşitli sıcaklıklardaki sıcak basma mukavemetleri

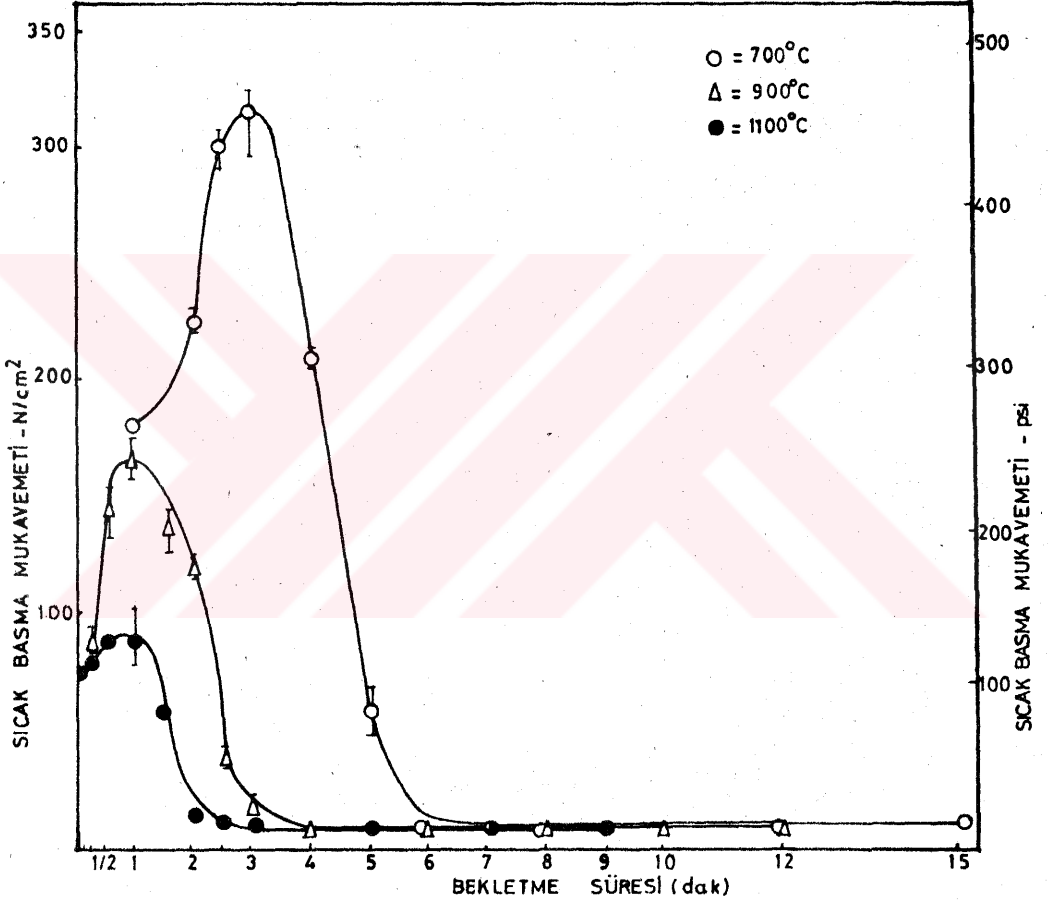
Bekletme süresi (dakika)	Sıcaklık	Sıcak Basma Mukavemetleri - N/cm ²					
		700°C		900°C		1100°C	
		X	u _x	X	u _x	X	u _x
15	17	0,5	-	-	-	-	-
12	17	0,3	10	0,8	-	-	-
10	17,5	0,7	10	0,6	-	-	-
9	-	-	-	-	10	0,7	-
8	17,5	0,9	10	0,4	-	-	-
7	-	-	-	-	10	0,5	-
6	36,5	5,2	10,5	0,7	-	-	-
5	80	7,3	10,5	0,8	10,5	0,4	-
4	176	6,5	11	0,6	-	-	-
3	267	12,5	17	2,8	10,5	0,8	-
2,5	-	-	38	3,5	16	1,3	-
2	302	4,9	119	2,5	21	1,1	-
1,5	-	-	137	7,8	48	2,5	-
1	184	5	166	2,6	62	0,7	-
1/2	-	-	137	1,3	79	2,1	-
1/4	-	-	89	3,2	62	3,7	-
1/6	-	-	-	-	62	0,3	-
1/12	-	-	-	-	55	3,2	-

Tablo 4.17 - 2,2 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerin, çeşitli sıcaklıklardaki sıcak basma mukavemetleri

Bekletme süresi (dakika)	Sıcaklık	Sıcak Basma Mukavemeti - N/cm ²					
		700°C		900°C		1100°C	
		X	u _x	X	u _x	X	u _x
15	10	0,8	-	-	-	-	-
12	10,5	0,9	10	0,1	-	-	-
10	10,5	0,6	10	0,3	-	-	-
9	-	-	-	-	10	0,8	-
8	10,5	0,5	10	0,2	-	-	-
7	11	0,4	-	-	10	0,8	-
6	11	0,5	10,5	0,3	-	-	-
5	58	7	-	-	10,5	0,9	-
4	208	2,5	10,5	0,3	-	-	-
3	314	7,5	17	2,1	11	0,8	-
2,5	300	5	38	2,8	10	0,5	-
2	225	3,5	122	2,5	14	1,4	-
1,5	-	-	137	7	58	1,6	-
1	182	1,2	166	7,5	89	2,2	-
1/2	-	-	143	7,2	89	1,1	-
1/4	-	-	89	5,1	79	3,7	-
1/6	-	-	-	-	76	2,8	-
1/12	-	-	-	-	76	1,4	-



Şekil 4.13 - 2,0 Modüllü cam suyu kullanarak hazırlanmış standart numunelerde sıcaklık ve bekletme sürelerine bağımlı olarak sıcak basma mukavemetlerinin değişimi.



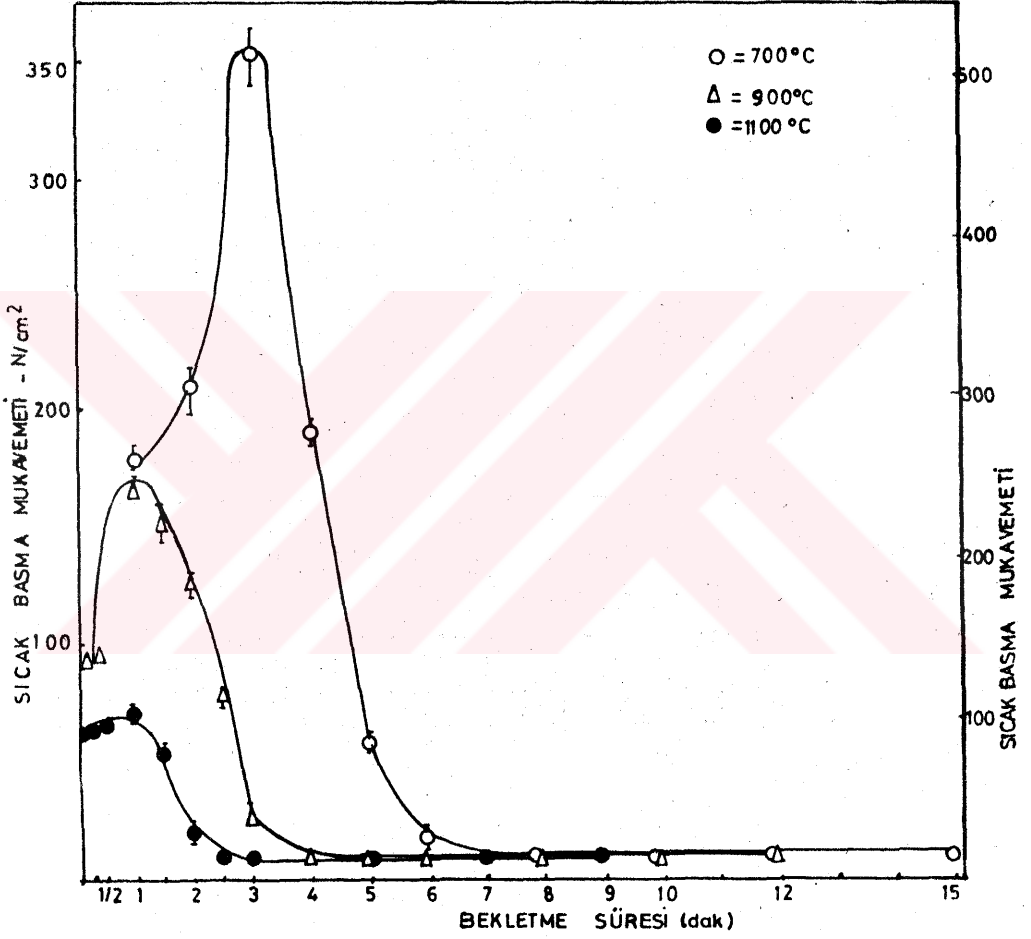
Şekil 4.14 - 2,2 Modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanmış standart numunelerde, sıcaklık ve bekletme sürelerine bağımlı olarak sıcakbasma mukavemetlerinin değişimi.

Tablo 4.18 - 2,4 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerin, çeşitli sıcaklıklardaki sıcak basma mukavemetleri

Sıcaklık Bekletme süresi(dakika)	Sıcak Basma Mukavemeti - N/cm ²					
	700°C		900°C		1100°C	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
15	10	0,8	-	-	-	-
12	10	0,8	10	0,7	-	-
10	10	0,6	10	0,7	-	-
9	-	-	-	-	10,5	0,4
8	10,5	0,4	10	0,6	-	-
7	-	-	-	-	10,5	0,4
6	17	2,7	10,5	0,8	-	-
5	58	2,9	10,5	0,9	10,5	0,9
4	190	3,1	10,5	0,8	-	-
3	354	8,2	27	1,9	11	0,8
2,5	-	-	79	2	11	0,8
2	210	7,6	124	1,7	19	2,4
1,5	-	-	151	6,2	54	1,4
1	179	2,8	168	1,6	71	2,5
1/2	-	-	96	1,1	65	2,6
1/4	-	-	93	2,8	65	2,8
1/6	-	-	-	-	65	4,9
1/12	-	-	-	-	58	2,5

Tablo 4.19 - 2,6 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerin, çeşitli sıcaklıklardaki sıcak basma mukavemetleri

Sıcaklık Bekletme süresi(dakika)	Sıcak Basma Mukavemetleri - N/cm ²					
	700°C		900°C		1100°C	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
15	10	0,4	-	-	-	-
12	10	0,3	10	0,7	-	-
10	10,5	0,3	10	0,6	-	-
9	-	-	-	-	10	0,3
8	10,5	0,5	10,5	0,7	-	-
7	-	-	-	-	10	0,5
6	29	2,5	10	0,4	-	-
5	46	3,9	11	0,4	10	0,3
4	65	1,5	11	0,3	-	-
3	130	6,1	24	2,1	10,5	0,3
2,5	-	-	47	0,7	10,5	0,6
2	90	4,9	60	4,9	19	2,4
1,5	-	-	78	4,9	51	7,3
1	40	1,2	98	7,6	69	4,9
1/2	21	0,5	100	1,5	82	0,9
1/4	-	-	41	2,6	69	4,9
1/6	-	-	-	-	69	0,8
1/12	-	-	-	-	58	1,5



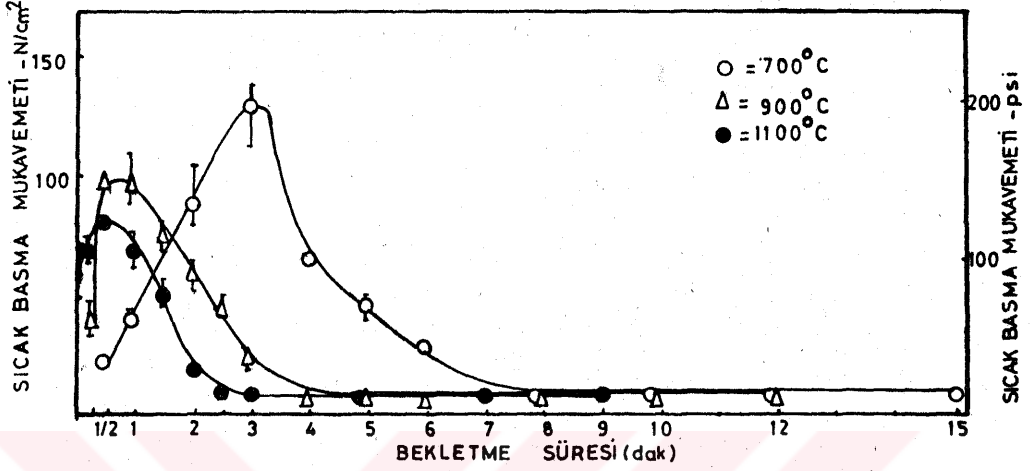
Şekil 4.15 - 2,4 Modüllü cam suyu kullanarak hazırlanmış standart numunelerde, sıcaklık ve bekletme sürelerine bağımlı olarak sıcak basma mukavemetlerinin değişimi

Tablo 4.20 - 2,8 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerin, çeşitli sıcaklıklardaki sıcak basma mukavemetleri

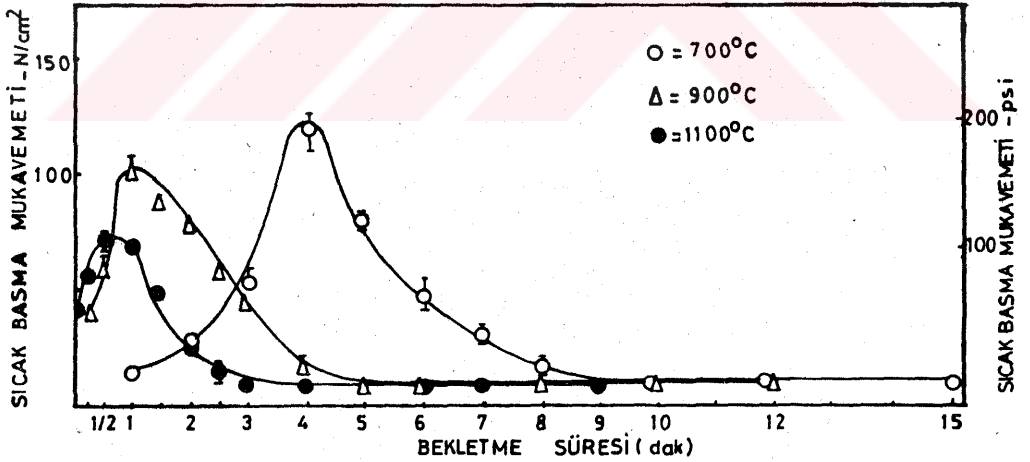
Sıcaklık Bekletme süresi (dak.)	Sıcak Basma Mukavemeti - N/cm ²					
	700°C		900°C		1100°C	
	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X
15	10	0,3	-	-	-	-
12	10,5	0,3	10,5	0,2	-	-
10	10,5	0,7	10,5	0,3	-	-
9	-	-	-	-	10,5	0,4
8	17	2,1	10,5	0,3	-	-
7	31	2,1	-	-	10,5	0,4
6	47	5	11	0,4	10,5	0,5
5	80	2,5	11	0,9	-	-
4	120	6,1	16	2,4	10,5	0,7
3	52	3,8	45	0,9	11	0,9
2,5	-	-	58	2,5	14	2,8
2	27	0,6	80	1,4	24	0,7
1,5	-	-	89	1,2	48	0
1	17	0,8	101	3,2	69	0,9
1/2	-	-	60	2,5	69	2,1
1/4	-	-	41	0,9	55	2,2
1/6	-	-	-	-	41	4,9
1/12	-	-	-	-	41	-

Tablo 4.21 - 3,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numunelerin, çeşitli sıcaklıklardaki sıcak basma mukavemetleri

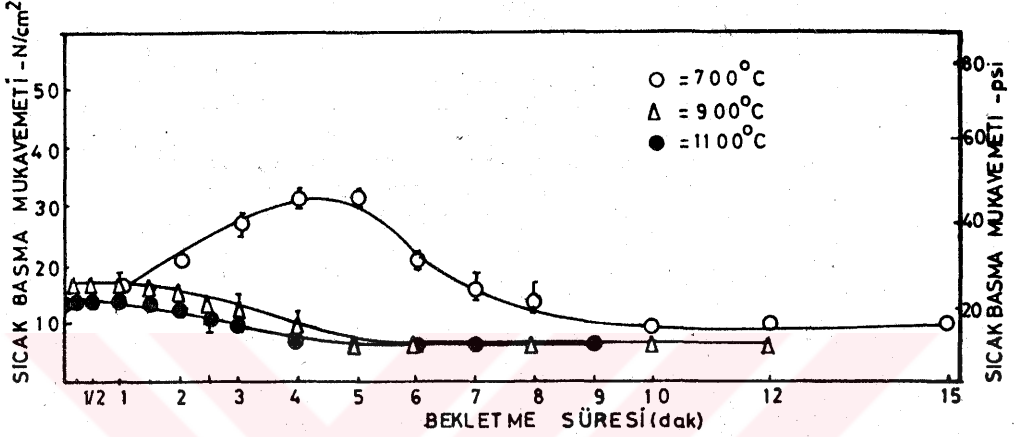
Sıcaklık Bekletme süresi (dak.)	Sıcak Basma Mukavemeti - N/cm ²					
	700°C		900°C		1100°C	
	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X
15	10	0,4	-	-	-	-
12	10	0,4	7	0,3	-	-
10	10,5	0,5	7	0,2	-	-
9	-	-	-	-	7	0,4
8	14	1,9	7,5	0,2	-	-
7	16	1,9	-	-	7	0,3
6	21	0,7	7,5	0,1	7	0,3
5	32	0,7	7,5	0,2	-	-
4	31	1,2	10	1,4	7,5	0,2
3	27	1,4	13	1,2	10	0,2
2,5	-	-	14	0,1	11	1,2
2	20	0,9	15	0,7	12	0,8
1,5	-	-	17	0,7	14	1,2
1	17	0	17	1,4	14	0,9
1/2	-	-	17	0,2	14	1,2
1/4	-	-	17	0,15	14	0,4
1/6	-	-	-	-	14	0,3
1/12	-	-	-	-	14	0,9



Şekil 4.16 - 2,6 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanmış standart numunelerde, sıcaklık ve bekletme sürelerine bağımlı olarak sıcak basma mukavemetlerinin değişimi



Şekil 4.17 - 2,8 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanmış standart numunelerde, sıcaklık ve bekletme sürelerine bağımlı olarak sıcak basma mukavemetlerinin değişimi



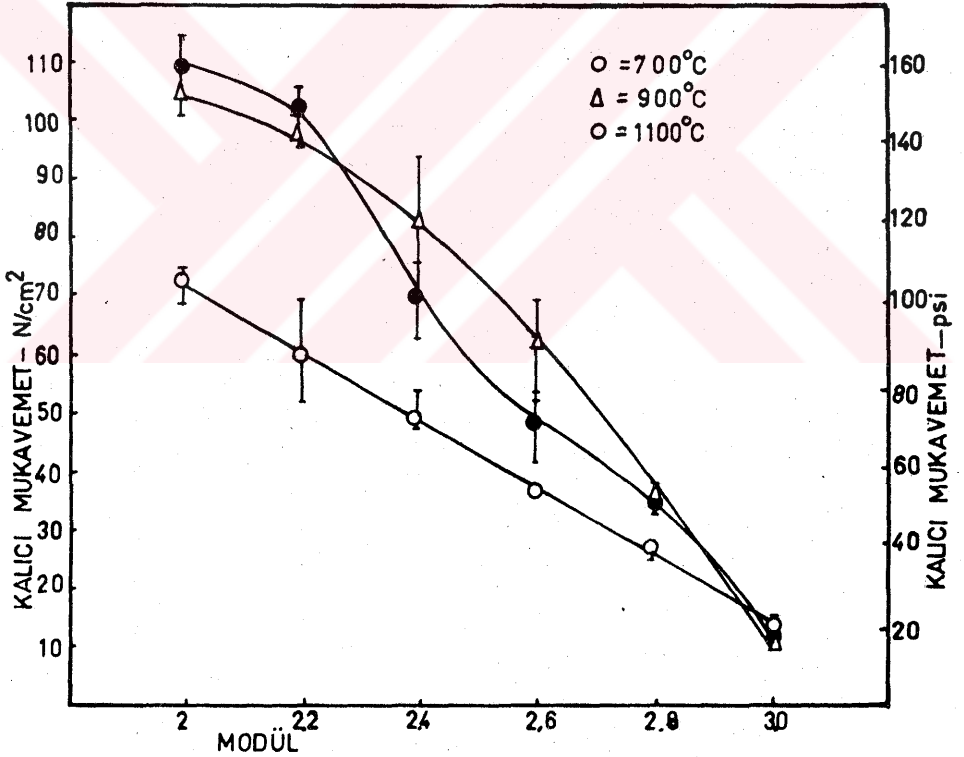
Şekil 4.18 - 3,0 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanmış standart numunelerde, sıcaklık ve bekletme sürelerine bağımlı olarak sıcak basma mukavemetlerinin değişimi

4.3.2. Kalıcı Mukavemetin Değişimi

Bu grup deneylerde, kullanılan camsularından Tablo 4.14 de belirtildiği gibi optimum miktarlarda alınarak hazırlanmış küçük standart numunelere, 10lt/dak. debide teorik gaz verme süresinin üç katı sürede (teorik 3x) gaz verilmiştir. Gaz verilmiş standart numuneler 700°C de 15 dakika, 900°C de 12 dakika, 1100°C de 9 dakika (7) bekletilerek numunelerin her tarafında homojensıcaklık dağılımı sağlanmıştır. Numuneler daha sonra soğutulularak kalıcı mukavemetleri bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 4.22 de belirtilmiştir. Kalıcı mukavemetlerinin değişimi Şekil 4.19 da gösterilmiştir.

Tablo 4.22 - Değişik modüllü cam suyu ile hazırlanmış standart numunelerin çeşitli sıcaklıklardaki kalıcı mukavemetleri

Sıcaklık Cam suyu modülü	Kalıcı Mukavemet - N/cm ²					
	700°C		900°C		1100°C	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
2,0	73	2,3	105	4	110	4,4
2,2	60	6,4	99	2,6	103	1,8
2,4	50	2,4	83	8,6	70	4,9
2,6	37	1	62	6,1	49	4,8
2,8	28	1	36	1,2	35	2,1
3,0	14	1,2	11	0,6	13	1,2



Şekil 4.19 - Standart numuneler, değişik sıcaklıklarda bekletildikten sonra kalıcı mukavemetlerinin "SiO₂/Na₂O" oranına bağımlı olarak değişimi

4.3.3. Termal Genleşme

Bölüm 4.3.2 de belirtildiği gibi hazırlanan numuneler, 700°C, 900°C ve 1100°C de bekletilmişler ve soğutulmuşlardır. Daha sonra numunelerin termal genleşmeleri bulunmuş ve sonuçlar Tablo 4.23 de belirtilmiştir. Termal genleşmelerin değişimi Şekil 4.20 de gösterilmiştir.

4.4. Bekletme Özelliklerinin Değişimi

Uygulamalarda kullanılan maça ve kalıpların bekletilmeleri gerekebilir. Bu sebepten dolayı, bekletmenin kalıp veya maça mukavemeti üzerine etkisi incelenmiştir. Silikajeldeki ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) nem kaybı kalıp veya maçanın mukavemetini etkileyeceğinden bekletmenin ağırlık kaybına etkisi de incelenmiştir.

4.4.1. Bekletme Süresinin Basma Mukavemetine Etkisi

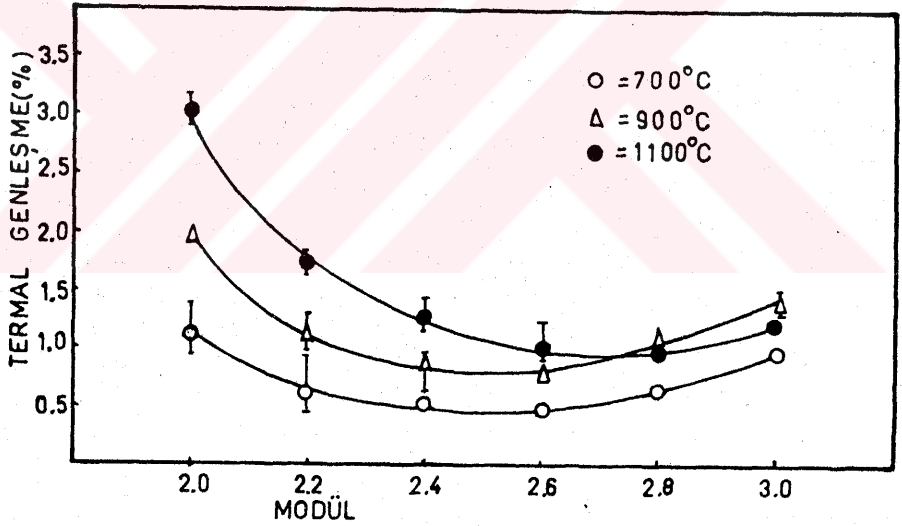
Tablo 4.14 den hareketle değişik modüllü cam sularından optimum miktarda kullanarak hazırlanmış büyük standart numunelere, teorik 3x sürelerinde gaz verilmiş, relatif nem oranı % 80-84 olan laboratuvar ortamında "1/4 ila 120 saat" arasında bekletilip basma mukavemetleri belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.24 te belirtilmiş, bekletme sürelerine bağımlı olarak basma mukavemetlerinde meydana gelen değişim Şekil 4.21 de gösterilmiştir.

4.4.2. Bekletme Süresinin Ağırlık Kaybına Etkisi

Tablo 14'den hareketle değişik modüllü cam sularından optimum miktarlarda kullanarak hazırlanmış büyük standart numunelere Teorik 3x sürelerinde gaz verilmiş relatif nem oranı % 80-84 olan laboratuvar ortamında "1/4 ila 120" saat bekletilmişler daha sonra ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.25 de belirtilmiş, bekletme sürelerine bağımlı olarak, ağırlık kayıplarındaki değişim Şekil 4.22 de gösterilmiştir.

Tablo 4.23 - Değişik modüllü cam suyu ile hazırlanmış standart numunelerin, çeşitli sıcaklıklardaki termal genleşmeleri

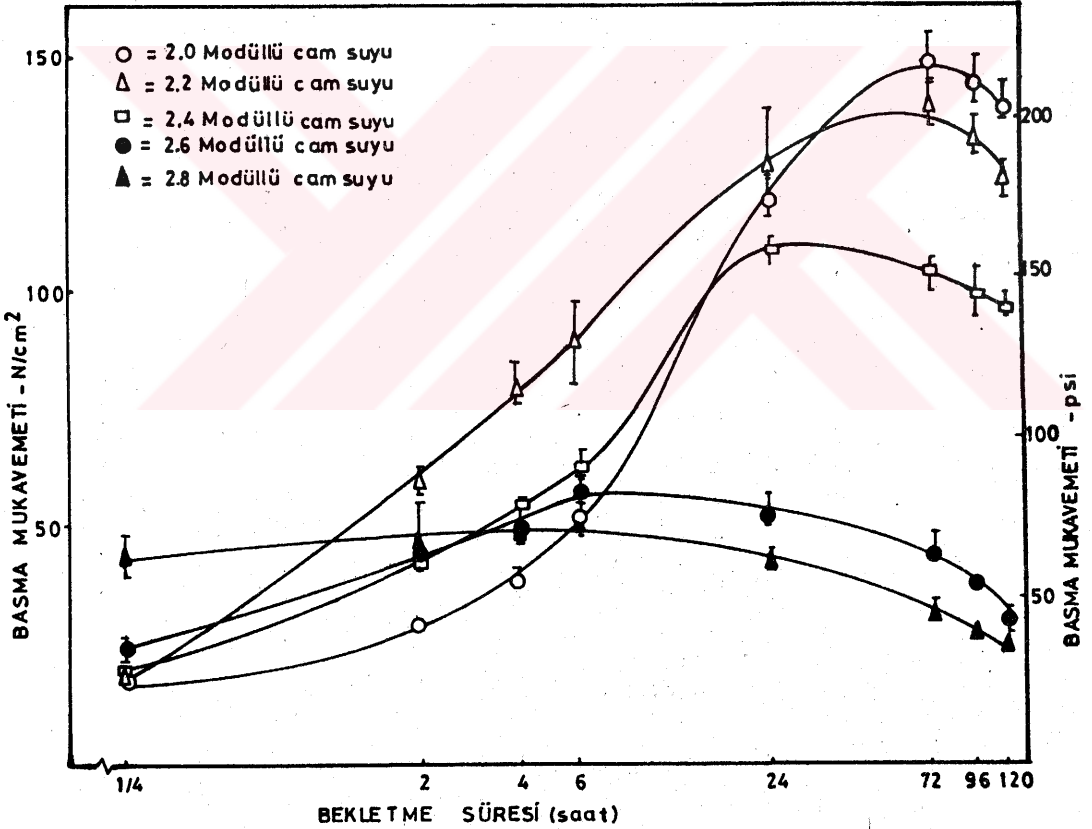
Sıcaklık Cam suyu modülü	Termal Genleşme (%)					
	700°C		900°C		1100°C	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
2,0	1,12	0,18	1,98	0,01	3,2	0,12
2,2	0,6	0,21	1,14	0,15	1,75	0,6
2,4	0,52	0,01	0,88	0,14	1,36	0,1
2,6	0,5	0,01	0,8	0,03	1,05	0,11
2,8	0,66	0,06	1,11	0,07	0,98	0,03
3,0	0,97	0,01	1,42	0,08	1,24	0,01



Şekil 4.20 - Standart numuneler değişik sıcaklıklarda bekletildikten sonra, termal genleşmelerinin " $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ " oranına bağımlı olarak değişimi

Tablo 4.24 - Değişik modüllü cam sularıyla hazırlanmış standart numunelerin , değişik süreler bekletildikten sonra bulunan basma mukavemetleri

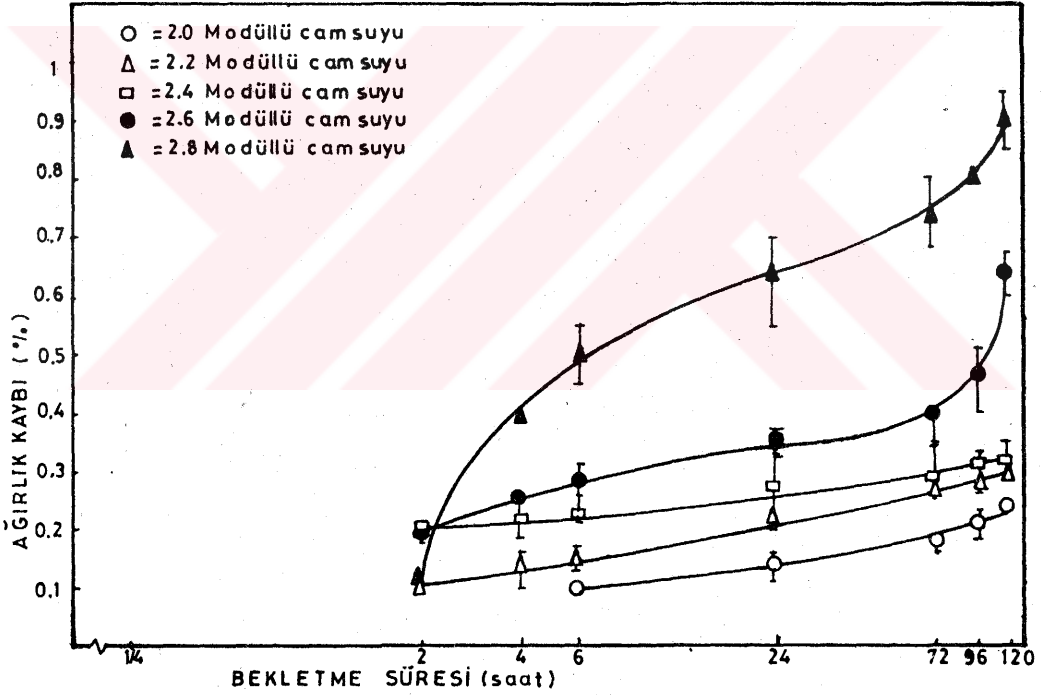
Cam suyu modülü Bekletme süresi (saat)	Basma Mukavemeti - N/cm ²									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
1/4	18,5	2	19	0,9	21	1,2	25	0,6	44	4
2	30	0,6	60	2,4	43	1,2	45	2,1	48	3,9
4	39	3	80	3,3	54	2	51	1,6	49	1,6
6	53	2,5	90	7,1	63	3,1	58	1,2	50	2,3
24	120	3,1	128	6,3	109	2,4	53	3,3	43	1,2
72	150	3,5	140	4	104	2,7	45	2,1	32	1,6
96	145	4,1	133	3,8	99	3,5	39	0,7	28	1,9
120	140	2,7	125	2,9	97	1,2	30	2,5	25	1,6



Şekil 4.21 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin basma mukavemetlerinin, bekletme sürelerine bağımlı olarak değişimi.

Tablo 4.25 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, değişik süreler bekletildikten sonra belirlenen ağırlık kayıpları

Cam suyu modülü Bekletme süresi (saat)	Ağırlık Kaybı (%)									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
1/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	0,1	0,02	0,2	0,03	0,19	0,01	0,12	0,01
4	-	-	0,14	0,02	0,22	0,03	0,25	0,01	0,4	0,01
6	0,1	0,01	0,15	0,01	0,23	0,02	0,29	0,02	0,5	0,03
24	0,14	0,02	0,23	0,03	0,28	0,03	0,36	0,01	0,65	0,11
72	0,18	0,01	0,26	0,01	0,29	0,03	0,4	0,03	0,74	0,06
96	0,21	0,02	0,28	0,02	0,31	0,01	0,47	0,04	0,8	0,01
120	0,24	0,01	0,3	0,02	0,33	0,01	0,64	0,04	0,9	0,03



Şekil 4.22 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, ağırlık kayıplarının bekletme sürelerine bağımlı olarak değişimi

4.5. Katkı Malzemelerinin Özelliklere Etkisi

Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, bekletme, ağırlık kaybı, kalıcı mukavemet ve termal genleşme gibi özelliklerine çeşitli katkı malzemelerinin etkileri incelenmiştir.

4.5.1. Dekstrinin Bekletme Mukavemetine Etkisi

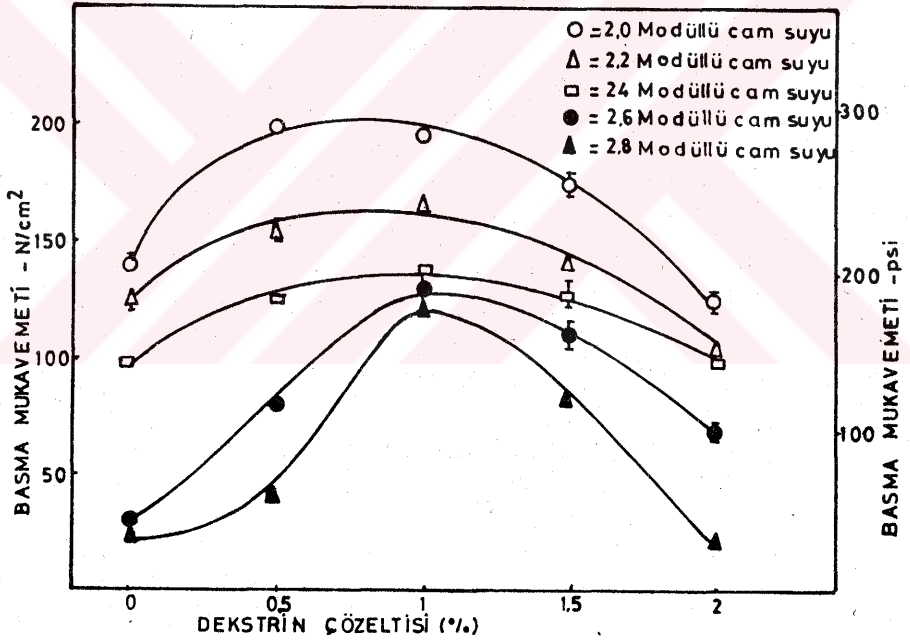
Tablo 4.14 den hareketle değişik modüllü cam sularından optimum miktarlarda, kullanılarak hazırlanmış büyük standart numunelere, teorik 3x sürelerinde gaz verilmiş, relatif nem oranı %80-84 olan labaratuvar ortamında 120 saat bekletilmişlerdir. Numuneler hazırlanırken karışıma değişik oranlarda dekstrin çözeltisi, ilave edilmiştir. Dekstrin çözeltisi % 50 su içermektedir. Labaratuvar ortamında 120 saat bekletme sonunda dekstrinin basma mukavemetlerini nasıletkilediği belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.26 da belirtilmiş, katkı oranına bağımlı olarak basma mukavemetlerinin değişimi Şekil 4.23 de gösterilmiştir.

4.5.2. Dekstrinin Ağırlık KaybınaEtkisi

Bölüm 4.5.1 deki gibi hazırlanmış standart numunelerin 120 saat bekletilmeleri sonucunda ağırlık kayıpları bulunmuştur. Değişik oranlarda kullanılan dekstrin çözeltisinin ağırlık kayıplarını nasıl etkilediği belirlenmiş, sonuçlar Tablo 4.27 de verilmiştir. Bu tablolardan yararlanarak belirlenen nem kayıpları Tablo 4.28 de verilmiştir. Nem kayıplarının, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi ise Şekil 4.24 de gösterilmiştir.

Tablo 4.26 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, 120 saat bekletildikten sonra belirlenen basma mukavemetleri

Cam suyu Dekstrin ilavesi (%)	Basma Mukavemeti - N/cm ²									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
0	140	2,7	125	2,9	97	1,2	30	2,5	25	1,6
0,5	200	1,2	153	3,1	125	1,87	80	1,6	40	0,7
1	195	2,1	167	2	136	1,22	130	2,54	122	4,1
1,5	175	4,3	140	1,87	127	3,87	110	2,34	82	1,73
2	125	4,3	105	2,44	100	1,22	69	2,3	22	2,4



Şekil 4.23 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, 120 saat bekletildikten sonra basma mukavemetlerinin deksrin oranına bağımlı olarak değişimi.

Tablo 4.27 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, 120 saat bekletildikten sonra belirlenen ağırlık kayıpları

Cam suyu Dekst. ilavesi (%) modülü	Ağırlık Kaybı (%)									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
0	0,24	0,01	0,3	0,02	0,33	0,01	0,64	0,04	0,9	0,03
0,5	0,26	0,01	0,32	0,02	0,36	0,02	0,59	0,01	0,85	0,03
1	0,30	0,01	0,36	0,01	0,39	0,01	0,50	0,02	0,8	0,002
1,5	0,36	0,02	0,41	0,01	0,44	0,01	0,63	0,01	0,94	0,02
2	0,42	0,03	0,48	0,01	0,5	0,03	0,83	0,01	1,2	0,04

Laboratuvar ortamında 120 saat bekletilen numunelerin, içerdikleri dekstrin çözeltisine bağımlı olarak nem kayıpları, Tablo 3.2, 4.25, 4.27 den faydalanılarak hesaplanmıştır.

Örnek olarak, 20 modüllü cam suyu ile hazırlanmış % 1 dekstrin ilaveli standart numunelerin 120 saat sonundaki nem kaybının hesaplanması :

Cam suyundan gelen nem miktarı :

$$164 \times 0,03 \times 0,4835 = 2,379 \text{ gr.}$$

Dekstrin çözeltisinden gelen nem miktarı:

$$164 \times 0,01 \times 0,5 = 0,82 \text{ gr.}$$

$$\text{Toplam nem miktarı} = 3,199 \text{ gr.}$$

$$\text{Toplam nem miktarı} = \% 1,95$$

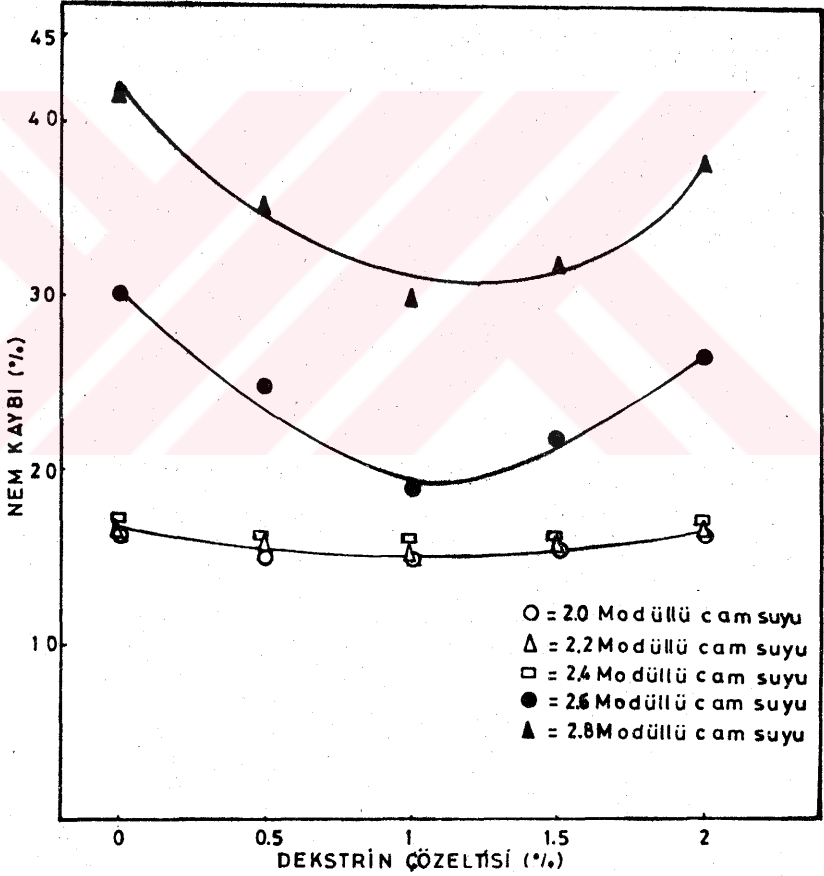
120 saat sonunda belirlenen ağırlık kaybı = % 0,3

$$\begin{aligned} \text{120 saat sonunda belirlenen nem kaybı} &= \frac{0,3 \times 100}{1,95} = \% 15,38 \end{aligned}$$

Hesaplanmış nem kayıpları Tablo 4.28 de belirtilmiş, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimleri ise Şekil 4.24 de gösterilmiştir.

Tablo 4.28 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, 120 saat bekletildikten sonra belirlenen nem kayıpları

Dekstrin c. ilavesi (%)	Cam Suyu Modülü				
	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	nem kaybı (%)				
0	16,6	16,7	17	30,3	41,5
0,5	15,3	15,6	16,4	25	35,1
1	15,4	15,7	16	19,2	30
1,5	16,4	16,1	16,3	22	32,2
2	17,1	17,2	17	26,7	37,9



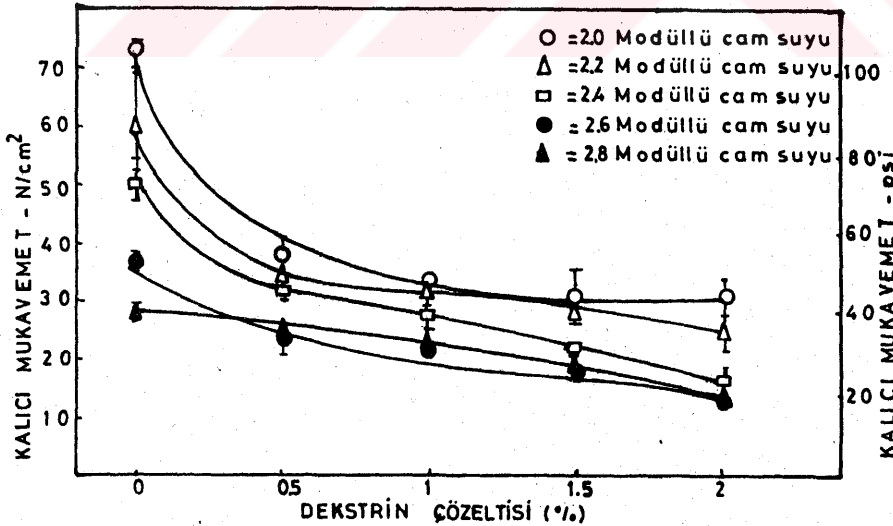
Şekil 4.24 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin, 120 saat bekletildikten sonra, nem kayıplarının dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi

4.5.3. Dekstrinin Kalıcı Mukavemete Etkisi

Bölüm 4.5.1 deki gibi hazırlanan standart numunelerin, 700°C, 900°C ve 1100°C deki kalıcı mukavemetleri bölüm 4.3.2 deki yol izlenerek bulunmuştur. Değişik oranlarda kullanılan dekstrin çözeltisinin, kalıcı mukavemetlerini nasıl etkilediği belirlenmiş, sonuçlar Tablo 4.29 - 4.31' de verilmiştir. Kalıcı mukavemetlerin destrin oranına bağımlı olarak değişimi ise Şekil 4.25 - 4.27 de gösterilmiştir.

Tablo 4.29 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 700°C de belirlenen kalıcı mukavemetleri

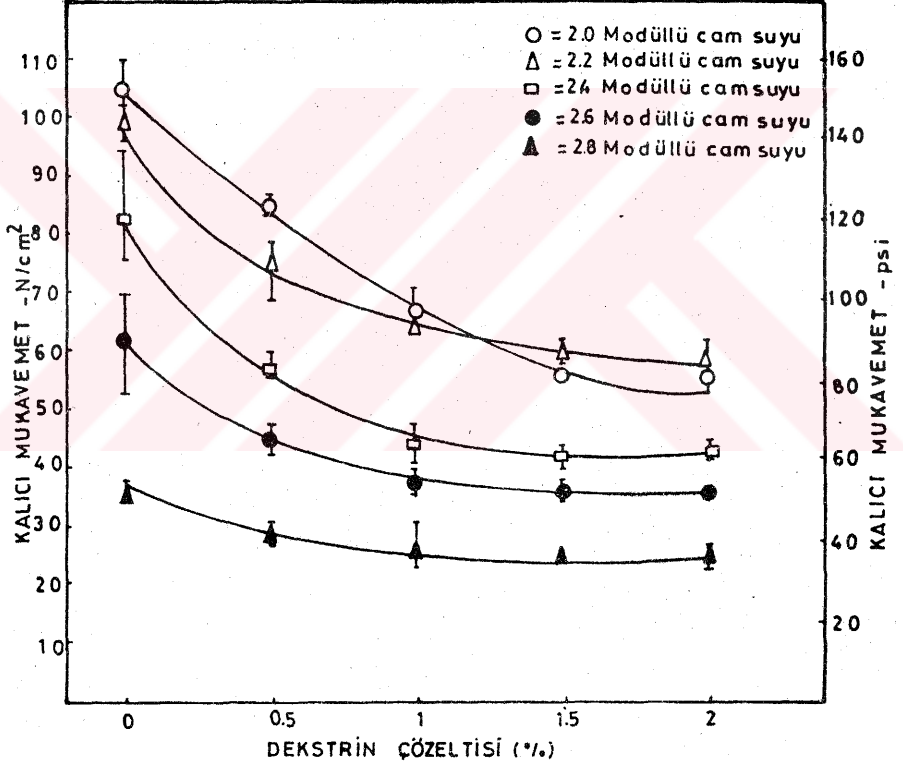
Cam suyu Dekstrin c. ilavesi (%)	Kalıcı Mukavemet - N/cm ²									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
0	73	2,3	60	6,4	50	2,4	37	1	28	1
0,5	38	2,5	34	3	31	1,2	23	1,4	25	0,7
1	33	2	32	2,0	27	1,3	22	2,1	23	1,6
1,5	31	2,4	28	2,1	22	2,5	18	1,2	19	1,2
2	31	1,2	25	2,6	16	1,4	12	1,3	14	1,2



Şekil 4.25 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 700°C deki kalıcı mukavemetlerinin, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi

Tablo 4.30 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 900°C de belirlenen kalıcı mukavemetleri

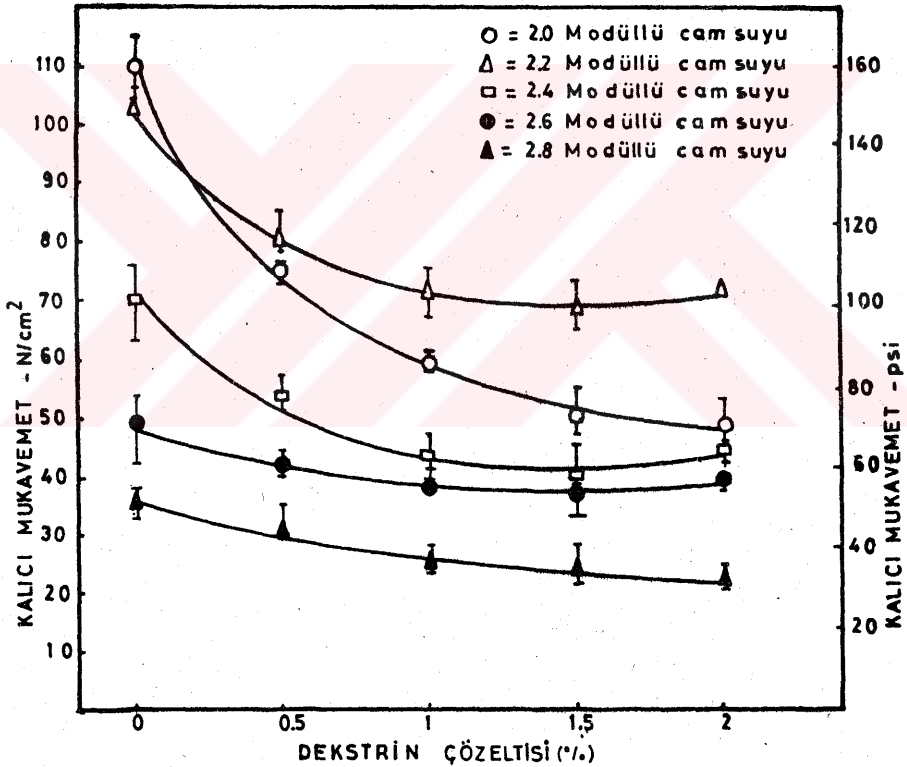
Cam suyu Dekst.c. ilavesi (%)	Kalıcı Mukavemet - N/cm ²									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x
0	105	4	99	2,6	83	8,6	62	6,1	36	1,2
0,5	85	1,6	75	3	58	1,3	45	2,1	29	1,6
1	67	2,7	65	2,5	44	2,6	38	1,6	26	3
1,5	56	0,7	60	1,4	42	2	36	1,2	25	2,7
2	57	2,3	59	2,1	43	1,2	36	0,7	25	1,6



Şekil 4.26 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 900°C deki kalıcı mukavemetlerinin, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi

Tablo 4.31 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 1100°C de belirlenen kalıcı mukavemetleri

Cam suyu Dekst. c. modülü ilavesi(%)	Kalıcı Mukavemet - N/cm ²									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x	$\bar{X}$	σ_x
0	110	4,4	103	1,8	70	4,9	49	4,8	35	2,1
1,5	75	1,8	80	3,7	54	1,9	42	2	31	3,3
1	59	1,2	71	3,5	43	2,8	38	0,7	25	2,2
1,5	50	2	68	3,3	40	1,9	36	1,9	24	1,9
2	48	3,6	72	1,1	45	3,2	39	1,9	22	1,4



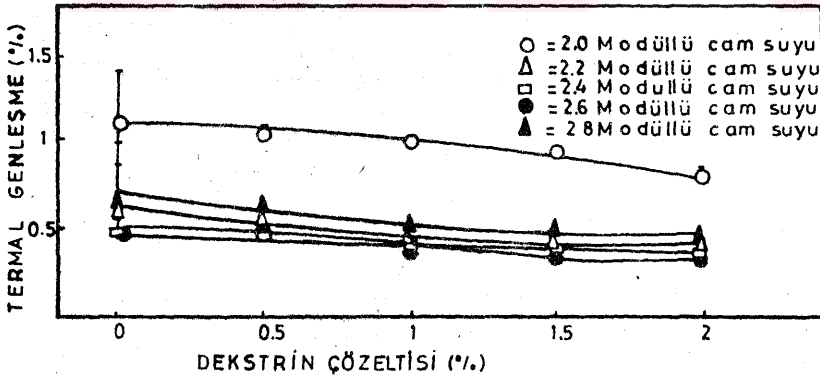
Şekil 4.27 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 1100°C deki kalıcı mukavemetlerinin, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi

4.5.4. Dekstrinin Termal Genleşmeye Etkisi

Bölüm 4.5.1'deki gibi hazırlanan standart numunelerin, 700°C, 900°C ve 1100°C'deki termal genleşmeleri bölüm 4.3.3'deki yol izlenerek bulunmuştur. Değişik oranlarda kullanılan dekstrin çözeltisinin, termal genleşmeyi nasıl etkilediği belirlenmiş, sonuçlar Tablo 4.32 - 4.34 verilmiştir. Termal genleşmelerin dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi ise Şekil 4.28 - 4.30'da gösterilmiştir.

Tablo 4.32 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 700°C'de belirlenen termal genleşmeleri

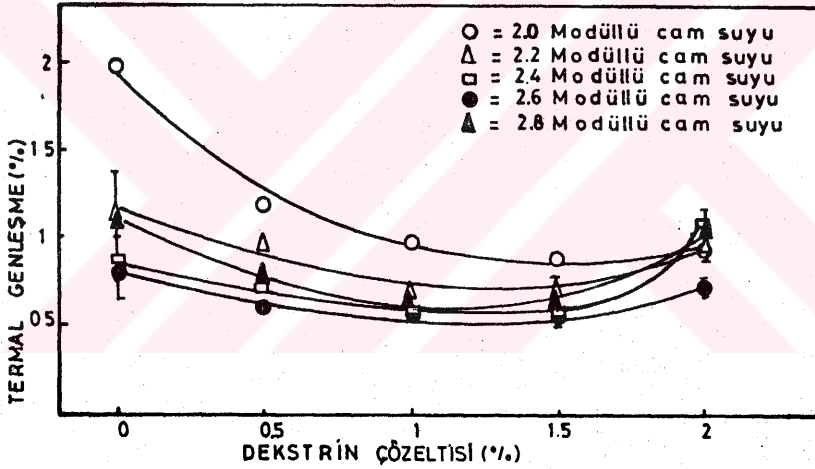
Cam suyu Dekst. c. ilavesi (%)	Termal Genleşme - (%)									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
0	1,12	0,18	0,6	0,21	0,52	0,01	0,5	0,01	0,66	0,06
0,5	1,06	0,04	0,58	0,02	0,48	0,02	0,52	0,02	0,64	0,01
1	1	0,03	0,44	0,02	0,42	0,02	0,37	0,01	0,54	0,02
1,5	0,94	0,02	0,4	0,01	0,41	0,02	0,34	0,01	0,5	0,02
2	0,8	0,02	0,42	0,01	0,37	0,02	0,32	0,02	0,46	0,03



Şekil 4.28 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 700°C'deki termal genleşmelerinin, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi

Tablo 4.33 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 900°C de belirlenen termal genleşmeleri

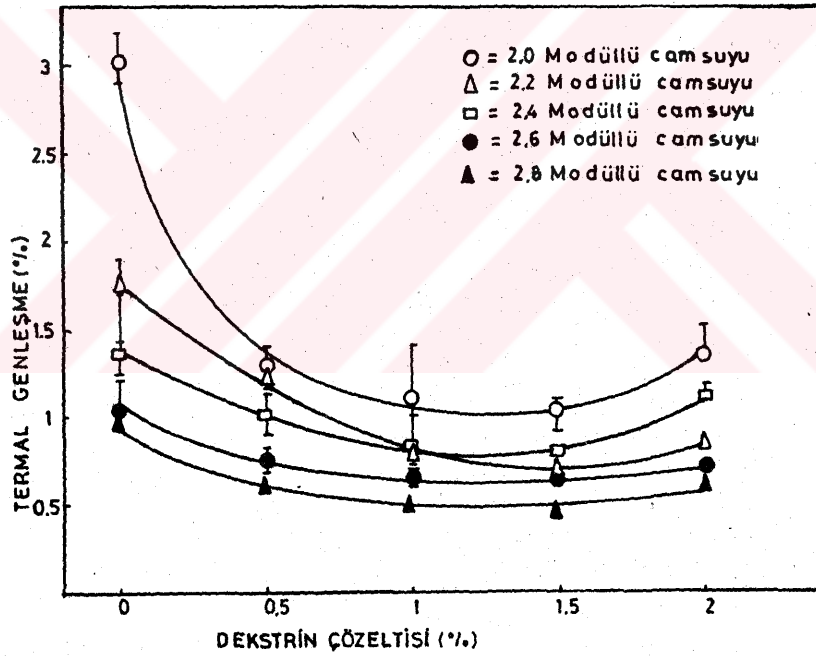
Cam suyu Dekst.ç. modülü ilavesi (%)	Termal Genleşme (%)									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
0	1,98	0,01	1,14	0,15	0,88	0,14	0,8	0,03	1,11	0,07
0,5	1,18	0,03	0,97	0,01	0,7	0,04	0,6	0,02	0,78	0,04
1	0,97	0,02	0,67	0,03	0,59	0,01	0,56	0,03	0,64	0,03
1,5	0,87	0,01	0,69	0,06	0,58	0,02	0,54	0,04	0,67	0,02
2	0,91	0,03	0,98	0,01	1,06	0,04	0,7	0,02	1,06	0,07



Şekil 4.29 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 900°C deki termal genleşmelerinin, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi

Tablo 4.34 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 1100°C de belirlenen termal genleşmeleri

Cam suyu Dekst. ç. ilavesi (%)	Termal Genleşme (%)									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X	$\bar{X}$	σ_X
0	3,02	0,12	1,75	0,6	1,36	0,1	1,05	0,11	0,98	0,03
0,5	1,3	0,06	1,25	0,08	1	0,09	0,74	0,03	0,63	0,02
1	1,12	0,08	0,79	0,04	0,85	0,11	0,64	0,04	0,51	0,01
1,5	1,02	0,06	0,7	0,02	0,78	0,04	0,67	0,01	0,47	0,03
2	1,36	0,11	0,84	0,02	1,12	0,01	0,7	0,03	0,63	0,02



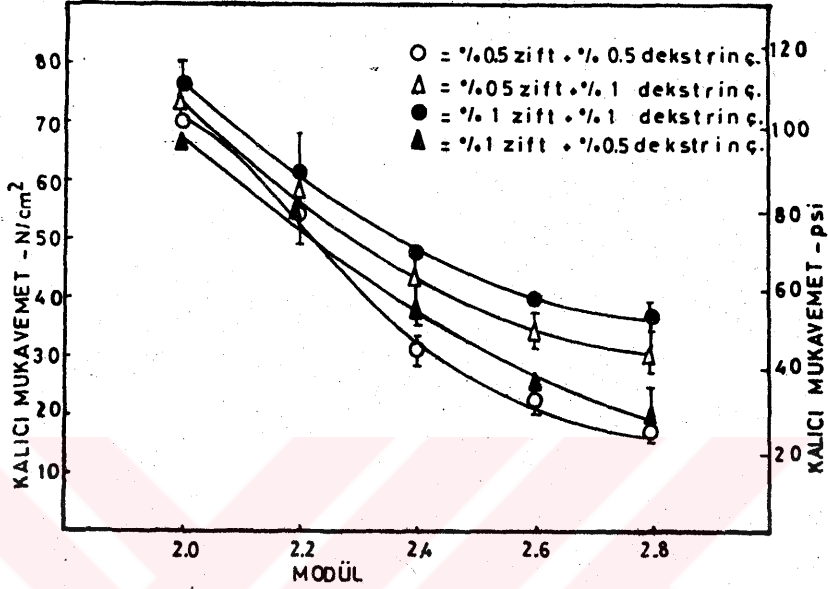
Şekil 4.30 - Değişik modüllü cam suları ile hazırlanan standart numunelerin 1100°C deki termal genleşmelerinin, dekstrin oranına bağımlı olarak değişimi

4.5.5. Değişik Katkı Malzemelerinin Kalıcı Mukavemete Etkisi

Bölüm 4.5.1 deki gibi hazırlanan standart numunelerin, 900°C ve 1100°C deki kalıcı mukavemetleri bölüm 4.3.2 deki yol izlenerek bulunmuştur. Değişik oranlarda zift ve dekstrin katkılarının kalıcı mukavemetleri nasıl etkilediği belirlenmiş sonuçlar Tablo 4.35, 4.36 ve Şekil 4.31, 4.32 de gösterilmiştir.

Tablo 4.35 - Değişik katkı malzemesi içeren standart numunelerin 900°C de kalıcı mukavemetleri

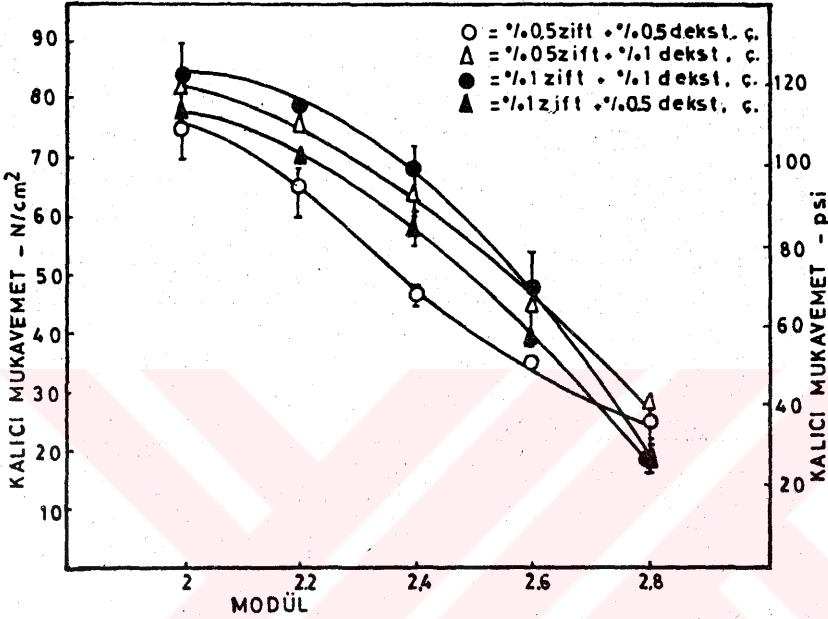
Cam suyu Katkı modülü Malzemesi	Kalıcı Mukavemet - N/cm ²									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
10,5 dekstrin ç.+ 10,5 zift	70	2,55	55	4,48	31	1,42	23	2,12	18	2,2
11 dekstrin ç.+ 10,5 zift	73	2,12	59	2,74	43	4,3	34	3	30	2,74
10,5 dekstrin ç.+ 11 zift	67	2,78	55	3,68	38	1,73	26	2,55	20	2,34
11 dekstrin ç.+ 11 zift	77	2,18	62	4,95	48	0,79	40	0,7	37	1,87



Şekil 4.31 - Değişik oranlarda katkı malzemesi içeren standart numunelerin 900°C de kalıcı mukavemetlerinin "SiO₂/Na₂O" oranına bağımlı olarak değişimi

Tablo 4.36 - Değişik katkı malzemesi içeren standart numunelerin 1100°C de kalıcı mukavemetleri

Cami suyu Katkı malzemesi modülü	Kalıcı Mukavemet - N/cm ²									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
%0.5 dekstrin c.+ %0.5 zift	75	5,43	65	3,1	47	1,22	35	1,17	25	4,2
%1 dekstrin c.+ %0.5 zift	82	4,1	76	1,22	64	3,16	45	2,92	28	1,73
%0.5 dekstrin c.+ %1 zift	78	1,87	70	0,94	58	3	40	1,22	18	1,87
%1 dekstrin c.+ %1 zift	84	4,24	79	1,73	68	3,16	48	3,74	18	2,83



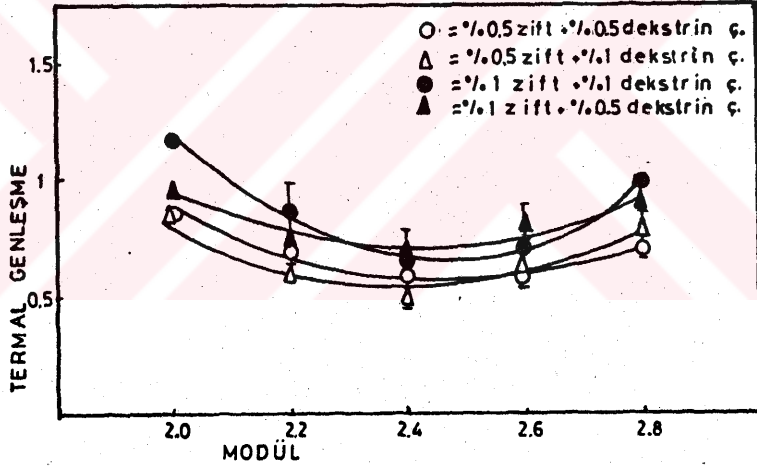
Şekil 4.32 - Değişik oranlarda katkı malzemesi içeren standart numunelerin 1100°C de kalıcı mukavemetlerinin " $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ " oranına bağımlı olarak değişimi

4.5.6. Değişik Katkı Malzemelerinin Termal Genleşmeye Etkisi

Bölüm 4.5.1 deki gibi hazırlanan standart numunelerin, 900°C ve 1100°C deki termal genleşmeleri bölüm 4.3.3 deki yol izlenerek bulunmuştur. Değişik oranlardaki zift ve dekstrin katkılarının termal genleşmeyi nasıl etkilediği belirlenmiş sonuçlar Tablo 4.37, 4.38 ve Şekil 4.33, 4.34 de gösterilmiştir.

Tablo 4.37 - Değişik katkı malzemesi içeren standart numunelerin 900°C de termal genleşmeleri

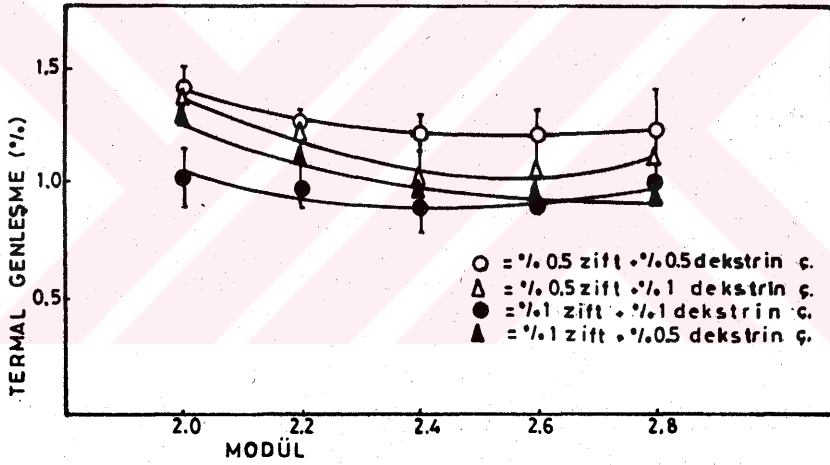
Cam suyu Katkı modülü Malzemesi	Termal Genleşme (%)									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
%0,5 dekstrin c. + %0,5 zift	0,85	0,02	0,7	0,04	0,6	0,02	0,6	0,06	0,7	0,03
%1 dekstrin c. + %0,5 zift	0,85	0,02	0,6	0,03	0,49	0,02	0,65	0,02	0,75	0,07
%0,5 dekstrin c. + %1 zift	0,93	0,04	0,75	0,08	0,69	0,07	0,8	0,05	0,9	0,05
%1 dekstrin c. + %1 zift	1,17	0,02	0,86	0,08	0,65	0,04	0,7	0,01	0,98	0,02



Şekil 4.33 - Değişik oranlarda katkı malzemesi içeren standart numunelerin 900°C de termal genleşmelerinin " $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ " oranına bağımlı olarak değişimi

Tablo 4.38 - Değişik katkı malzemesi içeren standart numunelerin 1100°C de termal genişlemeleri

Çam suyu Katkı modülü malzemesi	Termal Genleşme (%)									
	2,0		2,2		2,4		2,6		2,8	
	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
%0.5 dekstrin c. %0.5 zift	1,4	0,16	1,25	0,06	1,22	0,04	1,20	0,08	1,21	0,11
%1 dekstrin c. %0.5 zift	1,37	0,04	1,21	0,07	1	0,15	1,06	0,09	1,1	0,16
%0.5 dekstrin c. %1 zift	1,28	0,04	1,1	0,03	0,97	0,11	0,95	0,07	0,9	0,03
%1 dekstrin c. %1 zift	1,02	0,1	0,98	0,07	0,88	0,07	0,9	0,03	1	0,06



Şekil 4.34 - Değişik oranlarda katkı malzemesi içeren standart numunelerin 1100°C de termal genişlemelerinin " $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ " oranına bağımlı olarak değişimi

5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Değişik oranlarda farklı modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanan karışımların oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıktaki özelliklerini araştırmak amacıyla yapılan deneylerde, ekonomik olarak daha verimli çalışmak için, yapılabilir en yüksek özgül ağırlıktaki ($^{\circ}\text{Be}$) cam suları kullanılmıştır.

Deney sonuçlarını karşılaştırabilmek için standart numuneler hazırlanmış ve hesaplanan teorik gaz verme sürelerinin katları kadar sürelerde CO_2 gazı verilerek numuneler incelenmiştir. CO_2 sodyum silikat sistemleri üzerine bir araştırma(7) hariç sistematik bir analiz yapılmadığı gözlenmiş yapılan karşılaştırmalarda bilhassa bu durum belirtilmiştir.

5.1. Basma Mukavemetine Etki Eden Faktörler

2.0 modüllü cam suyunun bağlayıcı olarak kullanıldığı karışımlarda gaz verme süresi arttıkça, kimyasal reaksiyonun tamamlanması sebebiyle basma mukavemetlerinin attığı gözlenmiştir (Şekil 4,1). Cam suyu oranı arttıkça, basma mukavemetlerinin artması gerekirken artan cam suyu oranıyla, kum taneleri etrafındaki cam suyu tabakasının kalınlığı artmış, kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar tamamlanma fırsatı bulamadığından, bölüm 2.3 te anlatılan sertleşme mekanizması tam olarak gerçekleşememiş, cam suyu artmasına rağmen basma mukavemetleri düşük bulunmuştur. NICHOLAS, K.E.L.(3)

da 2,0 modüllü cam suyu ile yaptığı çalışmada, cam suyu oranı arttıkça sertleşme mekanizması tamamlanamadığından basma mukavemetlerinin düşük olduğunu göstermiştir.

2,2 modüllü cam suyu ile hazırlanan numunelerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Cam suyunun modülü arttıkça, sertleşme reaksiyonlarının tamamlanması daha kısa sürede gerçekleştiğinden basma mukavemet değerleri yükselmiştir. 2,4 modüllü cam suyundan % 3 oranında kullanılarak hazırlanan numunelerde, 7 sn (teorik 5x) den daha uzun süre gaz verilirse basma mukavemet değerleri düşmüştür (Şekil 4.3). Aşırı gaz verme noktasından sonra, (2.1) nolu kimyasal reaksiyon, sağa doğru ilerlemiş, sodyum bikarbonatın meydana gelmesi ile taneler arasındaki bağ köprüsünün asidikleşmesinden dolayı, bağlanmayı meydana getiren dehidrasyon azalmış ve basma mukavemetleri düşmüştür (7).

2,6, 2,8, 3,0 modüllü cam suları ile hazırlanan karışımlarda, aşırı gaz verme noktasına eriştikten sonra basma mukavemetlerindedüşmeler gözlenmiştir (Şekil 4.4-4.6). 2,8 modüllü cam suyundan % 4 oranında kullanılarak hazırlanan numunelere, 11 sn (teorik 7x) süreyle gaz verildiğinde basma mukavemeti 45 N/cm^2 iken, gaz verme süresi olarak 17 sn (teorik 11x) seçildiğinde 37 N/cm^2 bulunmuştur (Şekil 4.5). Karışımlarda 2,8 ve 3,0 modüllü cam suları kullanıldığında, bölüm 2.3 te bahsedilen kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar tamamlandığından dolayı cam suyu oranlarının artmasına paralel olarak basma mukavemet değerleri artmıştır. 2,8 modüllü cam suyundan % 5 kullanıldığında 21 sn (teorik 11x) gaz verilen numunelerin basma mukavemeti 55 N/cm^2 iken, cam suyu oranı %6 olarak seçildiğinde 26 sn (teorik 11x) gaz verilen numunelerin basma mukavemeti 66 N/cm^2 bulunmuştur (Şekil 4.5).

Yüksek modüllü (2,6-3,0) cam suları kullanıldığında, jelleşme reaksiyonunun meydana gelmesi için gerekli gaz verme süresi kısalmıştır.

2,0 modüllü cam suyundan % 4 oranında kullanılarak hazırlanmış numunelerde teorik 5x gaz verme 16 sn (Şekil 4.1) iken, % 4 oranında 2,8 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanan numunelerde teorik 5x gaz verme süresi 8 sn ye düşmüştür (Şekil 4.5). Bu nedenle, yüksek modüllü cam suları ile çalışılırken, gaz verme süresi iyi belirlenmelidir. Aksi halde, daha önce de belirtildiği gibi, aşırı gaz verme sebebiyle mukavemet düşmeleri ve kırılmalık meydana gelecektir.

5.2. Kuru Basma Mukavemetine Etki Eden Faktörler

Gaz verilmiş standart numuneler, 1/2 saat 110°C de tutulduğunda, fiziksel ve kimyasal sertleşme reaksiyonlarının tamamlanması için gerekli süre ve ısı sağlanmış olacağından, bölüm 2.3 te anlatıldığı gibi yüksek basma mukavemet değerlerine erişilmiştir. 2,0 modüllü cam suyundan % 4 oranında kullanılarak hazırlanan numunelere 13 sn (teorik 5x) gaz verildiğinde basma mukavemetleri 22,5 N/cm² iken, aynı şekilde hazırlanan numunelerin kuru basma mukavemetleri 435 N/cm² bulunmuştur.

2,0 modüllü cam suyu kullanılan karışımlarda, diğer modüllü cam suyu kullanılan karışımlara nazaran daha yüksek kuru basma mukavemetleri elde edilmiştir (Şekil 4.7). 2,0 modüllü cam suyundan % 5 kullanılarak hazırlanan 10 sn (teorik 3x) gaz verilmiş numunelerin kuru basma mukavemetleri 525 N/cm² iken, 2,4 modüllü cam suyundan % 5 kullanılarak hazırlanıp 7 sn (teorik 3x) gaz verilmiş numunelerin kuru basma mukavemetleri 601 N/cm² bulunmuştur. Cam suyu oranı arttıkça kum taneleri etrafındaki silikat filminin kalınlığı artmış ve bölüm 2.3 te belirtildiği gibi sertleşme olayında rolü bulunan fiziksel reaksiyon, numunelerin ısıtılması sebebiyle tamamlanma imkanı bulduğundan karışımdaki cam suyu oranları arttıkça kuru basma mukavemetleri artmıştır. Örneğin, 2,0 modüllü cam suyundan %4 kullanılarak hazırlanmış standart

numunelere 8 sn (teorik 3x) gaz verildiğinde kuru basma mukavemeti 410 N/cm^2 iken % 5 cam suyu kullanılarak hazırlanmış numunelere 10 sn (teorik 3x) gaz verildiğinde kuru basma mukavemeti 525 N/cm^2 bulunmuştur (Şekil 4.7), % 4, % 5, % 6 oranlarında 2,0 modüllü cam suyu içeren numunelerin kuru basma mukavemetleri, teorik 5x gaz verme süresinden sonra azalmaya başlamıştır (Şekil 4.7). GOTHERIDGE, J. (7)'inde belirttiği gibi, aşırı gaz verme noktasından sonra, (2.1) nolu kimyasal reaksiyon daha da ilerleyip, sodyum bikarbonatın meydana gelmesi ile taneler arası bağın asidikleşmesinden dolayı, bağlanma zayıflamış ve kuru basma mukavemetlerinde azalmalar görülmüştür. % 3 oranında cam suyu kullanıldığında aşırı gaz verme süresi, 6 sn (teorik 3x) den kısa bir süredir. Böyle olduğundan kuru basma mukavemet değeri, gaz verme süresi arttıkça düşmüştür. Kuru basma mukavemetleri, 5 sn (teorik 3x) gaz verilerek hazırlanmış numunelerde 300 N/cm^2 iken, 10 sn (teorik 5x) gaz verilmiş numunelerde ise 200 N/cm^2 bulunmuştur (Şekil 4.7).

2,2 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanan karışımlarda (Şekil 4.8), % 4, % 5, % 6, cam suyu içeren numunelerin kuru basma mukavemetleri, gaz verme süreleri arttıkça azalmıştır. % 4 cam suyu kullanılan karışımlarda 7 sn (teorik 3x) gaz verilerek hazırlanmış numunelerin kuru basma mukavemetleri 466 N/cm^2 iken, 11 sn (teorik 5x) gaz verilerek hazırlanmış numunelerin kuru basma mukavemetleri 360 N/cm^2 bulunmuştur. Bunun nedeni olarak, aşırı gaz verme noktalarının, teorik 3x gaz verme sürelerinden daha az süreler alması gösterilebilir. % 3 cam suyu kullanılan numunelerin kuru basma mukavemetleri, 11 sn (teorik 7x) gaz verilinceye kadar artmış (212 N/cm^2), gaz verilmeye devam edildiğinde (teorik 11x gaz verme süresinde 157 N/cm^2) aşırı gaz verme sorunu ortaya çıktığından dolayı düşmeye başlamıştır.

2,4 modüllü cam suyu ile hazırlanan karışımlarda, % 4, % 5, % 6 cam suyu kullanıldığında, aşırı gaz verme noktaları, teorik 3x gaz verme süresinden daha az süreler olduğundan gaz verme süresinin artmasına paralel olarak kuru basma mukavemetleri düşmüştür (Şekil 4.9). Örneğin, % 4 cam suyu kullanılarak hazırlanmış numunelerin kuru basma mukavemetleri 6 sn (teorik 3x) gaz verilince 572 N/cm^2 iken 9 sn (teorik 5x) gaz verilince 543 N/cm^2 bulunmuştur. % 3 cam suyu kullanılarak hazırlanan numunelerin kuru basma mukavemetleri düşük değerlerde kalmıştır. Örneğin, hazırlanan numunelere 4 sn (teorik 3x) gaz verildiğinde kuru basma mukavemeti 95 N/cm^2 bulunmuştur. Bunun nedeni olarak, bölüm 4.3 te de belirtildiği gibi, kum tanelerini bağlamak için gerekli cam suyu (2,4 modüllü) oranının artması, bu sebeple % 3 cam suyu oranının yetersiz kalışı gösterilebilir.

2,6 modüllü cam suyundan % 5 oranında kullanılarak hazırlanmış numunelerin kuru basma mukavemetleri 10 sn (teorik 5x) gaz verilince 200 N/cm^2 iken 15 sn (teorik 7x) gaz verilince 195 N/cm^2 ye düşmüştür (Şekil 4.10). Gaz verme süresine paralel olarak artan kuru basma mukavemetleri, aşırı gaz verme noktalarından sonra gaz vermeye devam edildiğinde düşmüştür. Bu nedenle, 2,6 ve 2,8 modüllü cam suları kullanılması halinde, aşırı gaz verme noktalarından sonra gaz vermeye devam edildiğinde kuru basma mukavemetlerinin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.10, 4.11). Ayrıca, her iki modülde de, hazırlanan numunelerde % 3 cam suyu kullanılırsa, kum tanelerinin bağlanması için bu oran yetersiz kaldığından, kuru basma mukavemeti azalmıştır. % 3 oranında modüllü 2,6 olan cam suyu kullanılarak hazırlanan numunelerde kuru basma mukavemetleri 39 N/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 4.10).

3,0 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanmış karışımlarda, aşırı gaz verme sorunu daha büyük önem kazanmıştır. % 6 cam suyu kullanılarak hazırlanmış numuneler bile kırılğan yapı arzemiş, kuru basma mukavemet değerleri azalmıştır. 6 sn (teorik 3x) gaz verilmiş numunelerde kuru basma

mukavemetleri 52 N/cm^2 bulunmuştur (Şekil 4.12). Bunun sebebi olarak aşırı gaz vermenin yarattığı kötü etkinin yanısıra kurutma yüzünden meydana gelen aşırı dehidrasyon gösterilebilir. Ayrıca THOMPSON, R.W. (9) ninde belirttiği gibi, yüksek modüllü sodyum silikatların vizkoziteleri su içeliklerine son derece bağımlıdır, karıştırma sırasında çok az bir su kaybı vizkoziteyi arttırır ve kum-cam suyu karışımlarında kısmi sertleşmeler meydana gelir. Bu nedenlerden dolayı 3,0 modüllü cam suyu kullanılmak istenirse çok dikkatli olunmalıdır.

Şekil 4.7-4.12 beraberce incelendiğinde, cam suyu modülü arttıkça, kuru basma mukavemetlerinin düştüğü gözlenmiştir. Kum tanelerini bağlamak için yeterli cam suyu oranı, modül arttıkça artmaktadır. Nitekim bölüm 4.3 de optimum cam suyu oranları belirlenmiştir. Uzun süreli gaz verme kuru basma mukavemet değerlerinin düşmesine neden olduğundan optimum gaz verme süresi olarak teorik gaz verme süresinin 3 katı (teorik 3x) belirlenmiş, numunelere bu süreler kadar gaz verilmiştir.

5.3. Sıcak Basma Mukavemetine Etki Eden Faktörler

2,0 modüllü cam suları ile hazırlanmış karışımlarda 700°C , 900° ve 1100°C de numunelerin sıcak basma mukavemetleri, thermolabda bekletme sürelerine bağımlı olarak, reaksiyona girmemiş sodyum silikatların dehidrasyonu sebebiyle önce artmış daha sonra Na_2O ve silis kumu arasında olan reaksiyonlar ve mineralojik değişimler sebebiyle azalmıştır (7). Reaksiyona girmemiş sodyum silikatın dehidrasyonu sıcaklık arttıkça daha çabuk olacağından, maksimum tepe noktası artan sıcaklıkla sola doğru kaymıştır. Na_2O ve silis kumu arasındaki reaksiyonlar ile mineralojik değişimler sıcaklık yükseldikçe arttığından, maksimum tepe noktaları sıcaklığın yükselmesine paralel olarak düşmüştür. 700°C de 302 N/cm^2 iken 900°C de 166 N/cm^2 1100°C de ise 79 N/cm^2 bulunmuştur.

2,2 ve 2,4 modüllü cam suları ile hazırlanan karışımlarda, 700°C, 900°C ve 1100°C deki sıcak basma mukavemetleri 2,0 modüllü cam suyu içeren numunelerin sıcak basma mukavemetlerine benzer davranış göstermiştir. (Şekil 4.14, 4.15).

2,6 ve 2,8 modüllü cam suları ile hazırlanan numunelerin 700°C, 900°C ve 1100°C deki sıcak basma mukavemet eğrilerinin gösterdiği pikler, 2,0 - 2,4 modüllü cam suları ile hazırlanan numunelerin sıcak basma mukavemet eğrilerindeki piklere nazaran düşme göstermiştir.

3,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan standart numuneler 700°C, 900°C ve 1100°C de, sıcakta bekletme süresine bağımlı olarak, belirlenen sıcak basma mukavemetlerinin yüksek olmaması, döküm işlemi sırasında sorun yaratabilir. Ayrıca bölüm 5.2 de 3,0 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanmış numunelerin kuru basma mukavemetlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı, bekletme ve katkı malzemelerinin özellikleri nasıl etkilediğini belirleyen deneylerde 3,0 modüllü cam suyu kullanılmamıştır.

5.4. Kalıcı Mukavemete Etki Eden Faktörler

Şekil 4.19 incelendiğinde, karışımlarda kullanılan cam sularının modülü arttıkça 700°C, 900°C ve 1100°C deki kalıcı mukavemetlerinin düştüğü görülür. Bu durumda karışımlarda yüksek modüllü, cam suyu kullanılırsa döküm sonu kalıp bozma işlemleri kolaylaşır. Ama 3,0 modüllü cam suyu bölüm 5.3 de belirtilen sebeplerden dolayı tavsiye edilemez.

Silis kumu ile sodyum bileşikleri ve aşırı sodyum silikatın yaptıkları reaksiyonlardan dolayı kalıcı mukavemet artar (3)(9). Bu reaksiyonlar sıcaklık yükseldikçe şiddetlendiğinden, kalıcı mukavemetler sıcaklıkla birlikte artmıştır. Örneğin, 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan nu-

munelerin kalıcı mukavemetleri, 700°C de 73 N/cm² iken 900°C de 105 N/cm² olmuştur.

Silis kumu ve aşırı sodyum silikatla reaksiyona girerek kalıcı mukavemetin yükselmesine neden olan Na₂O, cam suyu modülü arttıkça azaldığından, modülün artmasıyla kalıcı mukavemetler düşürülmüştür. Modülü 2,0 olan cam suyu ile hazırlanan numunelerin 900°C deki kalıcı mukavemetleri 105 N/cm² iken, 2,4 modüllü cam suyu kullanıldığında 83 N/cm², 2,6 modüllü cam suyu kullanıldığında ise 62 N/cm² bulunmuştur (Şekil 4.19).

Kum tanelerini bağlamaya yeterli cam suyu oranları seçildiğinden aşırı cam suyunun kalıcı mukavemetleri yükseltmesine imkan tanınmamıştır. Bu gözlem, 48 AFS tane nolu silis kumu ve özgül ağırlığı 60°Be' modülü 2,0 olan cam suyundan % 4 oranında kullanılarak hazırlanan numunelerin 1100°C deki kalıcı mukavemetleri 549 N/cm² olarak bulunduğu çalışma ile uyum içindedir (29). Kalıcı mukavemetin artmasının nedeni, aşırı sodyum silikatlarından dolayı numunedeki Na₂O miktarının artmasıdır. Hazırlanan karışımlarda, modülü 2,0, özgül ağırlığı 58°Be' olan cam suyundan % 3 oranında kullanılırsa, 5,07 grNa₂O/l kg karışım varken, modülü 2,0 özgül ağırlığı 60°Be' olan cam suyu kullanıldığında 6,9 gr Na₂O/l kg karışım vardır. Bu nedenle modülü 2,0, özgül ağırlığı 60°Be' olan cam suyundan % 4 kullanılınca kalıcı mukavemet değeri artmıştır.

5.5. Termal Genleşmeye Etki Eden Faktörler

Döküm işlemleri esnasında kalıp ve maçaların göstereceği genleşme sıcak yırtılma olayına yol açabilir. Bu nedenle termal genleşme bilinmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.

Değişik modüldeki cam suları ile hazırlanmış standart numunelerin 700°C, 900°C ve 1100°C deki termal genleşmeleri Şekil 4.20 de görüldüğü gibi sıcaklık yükseldikçe artmıştır. Termal genleşme, kullanılan cam suyunun modülü 2,8 değerine artıncaya kadar azalmış, 3,0 modüllü cam suyu kullanıldığında ise artmıştır. Bunun nedeni bölüm 5.3.1 de belirtildiği gibi, sıcakta bağlanmanın yetersiz kalışı ve cam suyunun yoğunluğunda meydana gelen azalmadır (3).

Termal genleşme, 700°C de sadece normal kuvars kumunun gösterdiği genleşmeden ileri gelmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ise kristabolit ve tridimit dönüşümlerinin yanı sıra, cam suyunun yoğunluğunun azalması da termal genleşme değerlerinin yükselmesinde önemli rol oynamıştır (Şekil 4.20). Karışımda gereğinden fazla cam suyu varsa, yukarıda belirtilen sebep yüzünden artık cam suyu termal genleşmeyi arttırır. Örneğin, 48 AFS tane nolu silis kumu ve % 5 oranında modülü 2,0, özgül ağırlığı 60°Be' olan cam suyu ile hazırlanan numunelerin 1100°C deki termal genleşmeleri % 4,3 bulunmuştur (29). Oysa, Şekil 4.20 den de görüleceği gibi modülü 2,0, özgül ağırlığı 58°Be' olan cam suyundan % 3 oranında kullanıldığı durumda, numunelerin 1100°C deki termal genleşmesi % 3,02 bulunmuştur. Sonuçlardan anlaşılabacağı gibi optimum miktarda cam suyu ile çalışmakla termal genleşmede % 30 luk bir azalma sağlanmıştır.

5.6. Bekletmenin Fiziksel Özelliklere Etkisi

Sodyum silikata bağlı kumun dökümhane atmosferinde durması genelde kurumaya yol açar. Bu durum gaz verme sonrası kum tanecikleri arasında kalan reaksiyona girmemiş sodyum silikatların dehidrasyonuna ve camsı bir silikat bağın oluşumuna yol açar. Aynı zamanda gaz verme esnasında kimyasal olarak reaksiyona giren silikat filmin yüzeyi kuruyarak silikajel bağı oluşur.

Bölüm 2.3 te de belirtildiği gibi sertleşme mekanizmalarının kompleks bir yapı arzemesinden dolayı, bekletme süreleri boyunca basma mukavemetlerinde önce artışlar gözlenmiştir (Şekil 4.21). Gaz verme işleminden sonra kum taneleri arasında, reaksiyona girmemiş cam suyunun dehidrasyonu sonucu basma mukavemeti yükselmiştir (23). Basma mukavemetlerinin, bekletme sürelerine bağımlı olarak önce yükselip sonra düşmesi, numunelerin nem kaybına uğramasıdır (Şekil 4.22).

Kum-sodyum silikat karışımının nem miktarı, içinde bulunduğu ortamdan yüksektir, bu nedenle dehidrasyon olayı meydana gelir (3) (23). Nem miktarı yüksek modüllü cam suları ile hazırlanan karışımlarda daha yüksek olduğundan bu tür karışımlarda dehidrasyon olayı oldukça kritiktir. Buharlaşma nedeniyle belirli bir nem kaybından sonra hacim kaybı olacak, kum taneleri arasındaki silikat başı büzülecektir. Bundan sonra, dehidrasyon olayı devam ederse, bilhassa yüksek modüllü cam suları ile hazırlanmış numunelerde mukavemet değerleri düşecektir (Şekil 4.21, 4.22).

Deneylerin yapıldığı ortamın relatif nem oranı (%80-84) oldukça yüksektir. Şekil 4.22 den de görüleceği gibi nem kaybı fazla oranlarda değildir. Örneğin, 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan numunelerin 120 saat sonunda ağırlık kaybı % 0,24, 2,8 modüllü cam suyu ile hazırlanan numunelerde ise % 0,9 olmuştur. Kuru ortamlarda karışımın nem kaybı artar ve mukavemetin düşmesi hız kazanır. NICHOLAS, K.E.L.(3), % 45-50 relatif nem oranı olan ortamda yaptığı çalışmalarda, % 6 oranında 3,0 modüllü cam suyu ile hazırladığı numunelere 9 sn. gaz vermiş, 72 saat sonunda numunelerin ağırlık kaybını % 3,7 bulduğundan, gaz verildiğinde 135 N/cm^2 olan basma mukavemeti, 72 saat sonunda 34 N/cm^2 ye düşmüştür. Relatif nem oranı % 88 olduğunda numunelerin bekletme sonu ağırlık kaybının % 1.5, bekletme sonu basma mukavemetinin 120 N/cm^2 olduğu gözlenmiştir.

Çalışılan ortamın, relatif nem oranı aşırı derecede yüksekse, hazırlanan numunelerde dehidrasyon olayı önlenir. Bu oran % 90 dan fazla olursa, dehidrasyon olmayıp aksine numuneler ortamdaki su buharı absorblar (23) ve basma mukavemetleri aşırı derecede düşer.

NICHOLAS, K.E.L (3) relatif nem oranı %45-50 olan ortamda yaptığı çalışmalarda, % 4 oranında 2,5 modüllü cam suyu ile hazırladığı numunelere 18 ve 42 sn. gaz vermiş 72 saat sonunda, 18 sn gaz verdiği numunelerin basma mukavemetini 270 N/cm² bulduğu halde, 42 sn gaz verdiği numunelerin basma mukavemetinin 135 N/cm² ye düştüğünü göstermiştir. Gaz verme süresinin uzatılması bekletme özelliklerini kötü yönde etkilemektedir.

5.7. Katkı Malzemelerinin Bekletme Sonrası

Fiziksel Özelliklere Etkisi

Bekletme sonrası fiziksel özelliklerin geliştirilmesi için, 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanan numuneler % 0,5 destrin çözeltisi içerdiğinde, 120 saat bekletme sonu basma mukavemeti 200 N/cm² ye yükselmiş, dekstrin çözeltisi oranı arttırıldığında, örneğin, % 1 dekstrin çözeltisi içeren numunelerin bekletme sonu basma mukavemetini 195 N/cm² ye düşmüştür. 2,2-2,8 modüllü cam suları ile hazırlanan numunelerde bekletme sonu basma mukavemetleri % 0,5 ve % 1 dekstrin çözeltisi ilavelerinde artmış, dekstrin oranı daha fazla arttırıldığında, bekletme sonu basma mukavemetleri azalmıştır (Şekil 4.23).

Şekil 4.23, 4.24 beraber incelendiğinde, 2,0 modüllü cam suyu kullanılarak hazırlanmış numunelerde % 0,5 dekstrin çözeltisi varsa nem kaybının azaldığı, bekletme sonu basma mukavemetinin arttığı, karışımda daha fazla destrin çözeltisi varsa nem kaybının arttığı ve bekletme sonu basma mukavemetinin azaldığı görülür. 2,2-2,8 modüllü cam suları ile hazırlanan numunelerde nem kaybı

% 1 dekstrin çözeltisi ilavesine kadar azalmış, bu değerden sonra nem kaybı artmaya başlamıştır. Bekletme sonu basma mukavemetleri de nem kaybının değişimine ters orantılı olarak değişmiştir. Numunelerin içindeki dekstrin çözeltisi miktarı belli bir değerden fazla ise (2,2-2,8 modüllü cam suyu ile hazırlanan numunelerde % 1) numunelerin içindeki nem oranı, ortamdaki nem oranından fazla olacağından, numunelerden ortalama nem kaybı artmıştır. Bunun neticesi olarak, bekletme sonu basma mukavemetlerinde azalma gözlenmiştir.

5.8. Katkı Malzemelerinin Kalıcı Mukavemete Etkisi

Şekil 4.25-4.27 de görüldüğü gibi, özellikle düşük modüllü cam suları ile hazırlanan numunelerin kalıcı mukavemetleri % 0,5 dekstrin ilavesinde hızla düşmüş daha fazla dekstrin ilavesinde düşme hızı azalmıştır. Örneğin, 2,4 modüllü cam suyu ile hazırlanmış numunelerin 900°C'deki kalıcı mukavemetleri 83 N/cm² iken % 0,5 dekstrin çözeltisi ilavesiyle % 30 luk bir azalma göstererek 58 N/cm² ye düşmüştür. % 1 dekstrin çözeltisi ile kalıcı mukavemetdeki azalma % 2,4, % 1,5 dekstrin çözeltisi ilave edildiğinde ise % 4,5 olmuştur.

Çeşitli oranlarda zift ve dekstrin katkılarının karışıma ilavesiyle kalıcı mukavemetlerin büyük oranda düştüğü gözlenmiştir (Şekil 4.31, 4.32). Karışımlara "% 0,52 zift + % 0,5 dekstrin çözeltisi" ilave edildiğinde kalıcı mukavemetleri en düşük düzeye inmiştir. Örneğin, 2,4 modüllü cam suyu ile hazırlanan katkısız numunelerin kalıcı mukavemetleri 83 N/cm² iken, % 0,5 zift + % 0,5 dekstrin ilavesiyle % 60'lık bir azalma ile 31 N/cm² olmuştur.

Deneylerde, 48 AFS kumu yerine 70 AFS nolu kum kullanılsaydı, modülü 2,2 özgül ağırlığı 53°Be' olan cam suyundan optimum miktar olarak % 4,38 seçilmesi gerekecekti. 70 AFS nolu kuma 2,2 mo-

düllü cam suyundan % 4,38 oranında kullanılarak hazırlanmış numunelere 10 litre/dak. debi ile 2 sn (teorik 3x) gaz verilmiş 900°C de kalıcı mukavemeti 295 N/cm² bulunmuştur. %1 dekstrin çözeltisi ilavesi, kalıcı mukavemeti 92 N/cm² ye düşürmüştür. Görüldüğü gibi cam suyu oranının artması kalıcı mukavemeti aşırı derecede artırmıştır.

Kalıcı mukavemetler inorganik katkı malzemeleriyle de düşürülebilir. 2,2 modüllü cam suyundan % 3,32 kullanılarak hazırlanan karışımlara % 1 oranında alümina ilave edilip 10 litre/dak. debide 1,7 sn. gaz verildiğinde, numunelerin 900°C deki kalıcı mukavemetleri % 33 azalarak 65 N/cm² olmuştur. Kalıcı mukavemetin azalmasının sebebi olarak, ergime noktası sodyum silikat-silika sisteminden yüksek olan, Al₂O₃-SiO₂-Na₂O gibi üçlü komplekslerin oluşması gösterilebilir (3). Alümina ilavesiyle karışımdaki katı maddelerin (kum-alümina) tane inceliği artacağından, karıştırma esnasında çabuk davranılmazsa dehidrasyon olayı başlayacaktır, bu durumdaki numunelerin gaz verildikten sonra basma mukavemetleri düşük olacağından yüksek modüllü cam suyu ile hazırlanmış karışımlara alümina ilave edilmek istendiğinde dikkatli olunmalıdır.

5.9. Katkı Malzemelerinin Termal Genleşmeye Etkisi

700°C de, % 0,5 dekstrin çözeltisi ilaveli numunelerin termal genleşmeleri katkısız numunelere oranla çok düşmüştür. Dekstrin çözeltisi miktarı arttırıldığında termal genleşmenin azalma hızı yavaşlamıştır (Şekil 4.28).

900°C ve 1100°C deki termal genleşme eğrileri incelendiğinde, dekstrin çözeltisi ilavesiyle termal genleşmelerde % 60 azalma görülmüştür. % 0,5 dekstrin çözeltisi ilavesinde termal genleşme hızla azalmış, dekstrin çözeltisi ilavesi arttıkça genleşmedeki azalma hızı yavaşlamıştır.

% 2 dekstrin çözeltisi ilave edilince, numunelerin toplam kütlesinde cam suyu oranı düşmüş, bu nedenle yüksek sıcaklıkta, silikat başının termal genleşmeye olan direnci azalmış ve termal genleşmeler tekrar artmaya başlamıştır (Şekil 4.29, 4.30).

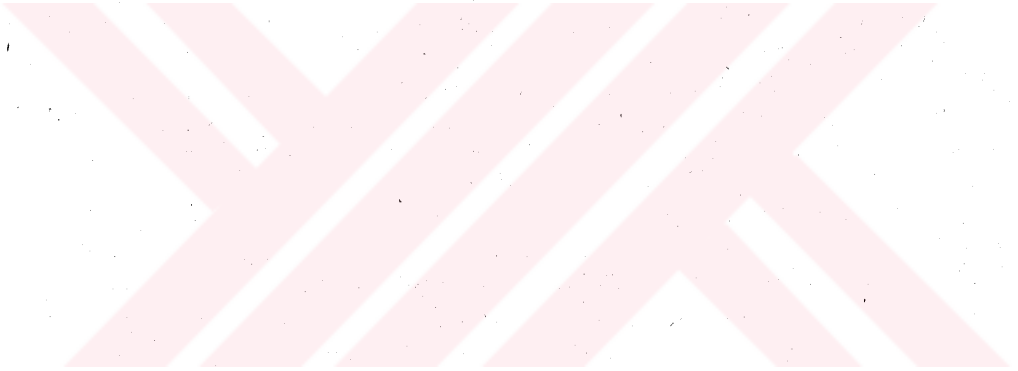
Çeşitli oranlarda zift ve dekstrin çözeltisi ilavesiyle hazırlanan numunelerin termal genleşmeleri incelendiğinde, "% 0,5 zift + % 0,5 dekstrin çözeltisi" veya "% 0,5 zift + % 1 dekstrin çözeltisi" ilavesiyle 900°C de en düşük termal genleşme sağlanmıştır. Katkısız olarak 2.0 modüllü cam suyu ile hazırlanmış numuneler 900°C de % 1,98 termal genleşme gösterirken, "% 0,5 zift+ % 0,5 dekstrin çözeltisi" veya "% 0,5 zift+% 1 dekstrin çözeltisi" ilavesiyle, termal genleşmede % 60 lık bir azalma sağlanarak % 0,85 lik termal genleşme elde edilmiştir. 1100°C deki termal genleşmelerde, en düşük değerlere "% 1 zift + % 1 dekstrin çözeltisi" ilavesi kullanıldığında erişilmiştir. Örneğin, 2,2 modüllü cam suyu ile hazırlanan numunelerin termal genleşmesinde % 45 lik bir azalma sağlanmıştır. Ama Şekil 4.32 den de görüleceği gibi "% 1 zift + % 1 dekstrin çözeltisi" ilavesi durumunda kalıcı mukavemetlerdeki azalma hızı yavaşlamıştır.

Termal genleşmelerin azalması, genleşmeden dolayı meydana gelebilecek sıcak yırtılma ihtimalini azalttığı gibi, döküm sonu yüzey özelliklerinin iyi olmasını sağlar. Yüksek sıcaklıkta meydana gelecek genleşmeyi, ziftin yanmasıyla meydana gelecek boşluklar karşılayacağından termal genleşme zift ilaveli durumlarda azalmıştır.

5.10. Kum-Cam Suyu Sisteminde İşlem Parametrelerinin İrdelenmesi

Yapılan irdelemelere göre ; Bölüm 5.2, 5.3.1 de anlatıldığı gibi, modülü 3,0 olan cam suyu bağlayıcı olarak kullanılmamalıdır.

Bölüm 2.5.1, 2.5.2 de belirtildiği gibi değişik modüllü cam sularının kendilerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Tablo 5.1 de 48 AFS tane nolu kumun kullanıldığı durumlarda optimum cam suyu miktarları, 10 litre/dak. debide ne kadar gaz verileceği (teorik 3x) optimum katkı oranları ve diğer özellikleri verilmiştir.



Tablo 5.1 - Değişik modüllü cam sularından optimum oranlarda kullanıldığında, karışıma ilave edilen yeterli miktarlardaki katkı malzemelerinin özelliklere etkisi

		Cam suyu modülü (SiO_2/Na_2O)					
		2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	
Özgül ağırlık ($^{\circ}Be''$)		58	53	48,3	45,3	44,3	
48 AFS nolu 1 kg kum için gerekli cam suyu miktarı (gr)		30	33,2	34,1	35,4	35,8	
10 lt/dak.gaz debisi ile çalışıldığında 1 kg kum için gerekli optimum gaz verme süresi (sn) (Teorik 3x)		36	34	30	28	26	
Basma Mukavemeti (N/cm^2)		18,5	19	21	25	44	
%80-84 relatif nem oranına sahip ortamda 120 saat bekletilen mağaların basma mukavemetleri (N/cm^2)	Katkısız	140	125	97	30	25	
	%0,5 dekstrin ç.	200	153	125	80	40	
	%1 Dekstrin ç.	195	167	136	130	122	
700°C	Kalıcı mukavemet (N/cm^2)	Katkısız	73	60	50	37	28
		%1 dekstrin ç.	33	32	27	22	23
		%1,5 dekstrin ç.	31	28	22	18	19
	Termal genleşme (%)	Katkısız	1,42	0,6075	0,52	0,5	0,66
		%1 dekstrin ç.	1	0,44	0,42	0,37	0,54
		%1,5 dekstrin ç.	0,94	0,4	0,41	0,34	0,5
900°C	Kalıcı mukavemet (N/cm^2)	Katkısız	105	99	83	62	36
		%0,5zift+%0,5dekst.ç.	70	55	31	23	18
	Termal genleşme (%)	Katkısız	1,98	1,14	0,88	1,11	1,42
		%0,5zift+%0,5dekst.ç.	0,85	0,7	0,6	0,6	0,7
1100°C	Kalıcı mukavemet (N/cm^2)	Katkısız	110	103	70	49	35
		%1 dekstrin ç.	59	71	43	38	25
		%1,5 dekstrin ç.	50	68	40	36	24
		%0,5zift+%0,5dekst.ç.	75	65	47	35	25
	Termal genleşme (%)	Katkısız	3,02	1,75	1,36	1,05	0,98
		%1 dekstrin ç.	1,12	0,77	0,85	0,64	0,51
		%1,5 dekstrin ç.	1,02	0,7	0,78	0,67	0,47
		%0,5zift+%0,5dekst.ç.	0,85	0,7	0,6	0,6	0,7

6. GENEL SONUÇLAR

Ekonomik olarak daha verimli çalışmak amacıyla, her modül için yapılabilir en yüksek özgül ağırlıktaki ($^{\circ}\text{Be}$) cam suları ile çalışılmıştır. Deney sonuçlarını karşılaştırabilmek için standart numuneler hazırlanmış ve hesaplanan teorik gaz verme sürelerinin katları kadar sürelerde CO_2 gazı verilerek numuneler incelenmiştir.

1. Düşük modüllü ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=2,0$) cam suyu kullanıldığında cam suyu oranı % 3 ten % 6 ya arttıkça, kum taneleri etrafındaki cam suyu filmi kalınlaştığında, 15 dak. gibi kısa bir sürede, sertleşme reaksiyonları tamamlanma fırsatı bulmadığından basma mukavemetleri 28 N/cm^2 gibi düşük değerlerde kalmıştır.

2. Cam suyu modülü, 2,0 den 2,8 e arttığında sertleşme reaksiyonları kolayca tamamlandığından, cam suyu oranlarının artmasına paralel olarak basma mukavemetleri 28 N/cm^2 den 66 N/cm^2 ye artmıştır.

3. Döküm işleminde maçalar kurutularak kullanıldığı için, kuru basma mukavemetleri sistematik olarak incelenmiştir. Kuru basma mukavemetleri, düşük modüllü ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=2,0$) cam suyu kullanıldığında, kum tanelerinin etrafındaki cam suyu filminin reaksiyona girmesi için yeterli süre ve sıcaklık sağlandığından, cam suyu oranı % 3 den % 6 ya arttıkça, 300 N/cm^2 den 810 N/cm^2 ye artmıştır.

4. " $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ " oranı 2,0 den 2,8 e arttıkça kuru basma mukavemetleri aşırı dehidrasyon nedeniyle 810 N/cm^2 den 282 N/cm^2 ye düşmüştür. Gaz verme sürelerine paralel olarak artan kuru basma mukavemetleri, sistemde NaHCO_3 oluşması nedeniyle aşırı gaz verme noktalarından sonra düşmüştür. 2,0 modüllü cam suyu ile hazırlanmış numunelerin kuru basma mukavemetleri, 20 sn (teorik 5x) gaz verilinceye kadar 810 N/cm^2 ye artmışken 40 sn (teorik 11x) gaz verildiğinde 640 N/cm^2 ye düşmüştür.

5. Farklı modüllü (2,0-3,0) cam suları ile hazırlanan karışımların yüksek sıcaklık özelliklerinin sistematik olarak incelenmesi için, aynı miktar bağ oluşturacak şekilde belirlenen optimum cam suyu oranları ile çalışılmıştır. Sıcak basma mukavemetinin, 700°C den 1100°C ye kadar sıcaklıklarda, tutma sürelerine göre değişimi, sistematik olarak ilk defa incelenmiştir.

6. Standart numuneler hazırlanırken, optimum cam suyu kullanılmış olduğundan, aşırı cam suyunun kalıcı mukavemeti yükseltmesine fırsat verilmemiştir. Sıcaklık 700°C den 1100°C ye arttıkça, kalıcı mukavemet 73 N/cm^2 ye yükselmiştir. Cam suyu modülü 2,0 den 2,8 e arttıkça kalıcı mukavemet 110 N/cm^2 den 35 N/cm^2 ye düşürülmüştür.

7. Optimum cam suyu oranları ile çalışıldığından, bölüm 5.5 te belirtilen sebeplerden dolayı, aşırı cam suyunun termal genleşmeyi yükseltmesine müsaade edilmemiştir. "Sıcaklık arttıkça termal genleşme % 1,12 den % 3,02 ye artmış. Cam suyu modülü arttıkça % 3,02 den % 0,98'e düşme gözlenmiştir.

8. Basma mukavemetleri, bekletme sürelerine bağımlı olarak sertleşme reaksiyonları tamamlandığından önce artmış, daha sonra aşırı dehidrasyondan dolayı düşmüştür. Yüksek modüllü (2,8) cam suyu kullanılınca, 6 saat sonunda 50 N/cm^2 olan basma mukavemeti, 120 saat sonunda 25 N/cm^2 ye düşmüştür.

9. Bekletme sonrası basma mukavemetleri numunelerin ağırlık (nem) kaybına bağlıdır. Cam suyu modülü 2,0 den 2,8'e arttığında ağırlık kaybı % 0,24 ten % 0,9 a arttığından, bekletme sonu basma mukavemeti 140 N/cm^2 den 25 N/cm^2 ye düşmüştür.

10. Bekletme özelliklerine dekstrin ilavesinin etkisi sistematik olarak ilk defa incelenmiştir. % 1 dekstrin çözeltisi ilavesine kadar numunelerin nem kaybı azaldığından, basma mukavemetlerinin 200 N/cm^2 ye arttığı daha yüksek (%2) dekstrin çözeltisi ilavesinde nem kaybı arttığından basma mukavemetinin 125 N/cm^2 ye düştüğü bulunmuştur.

11. Dağılabilirliği arttırmak için ilave edilen dekstrin ve zift ilavelerinin kalıcı mukavemete etkileri sistematik olarak incelenmiş kalıcı mukavemet 295 N/cm^2 den, 55 N/cm^2 ye kadar azaltılması "% 0,5 dekstrin çözeltisi + %1 zift" ilavesiyle sağlanmıştır.

12. Sıcak yırtılmaya yol açan termal genleşmenin % 3,02 den % 1,02 'e düşürülmesi, karışımlara "%1 dekstrin çözeltisi + %1 zift" ilavesiyle sağlanmıştır.

13. Kalıcı mukavemet inorganik ilavelerle de düşürülebilir. Karışımlara % 1 Al_2O_3 ilave edilerek, kalıcı mukavemetin 65 N/cm^2 ye kadar düşürülebildiği gözlenmiştir.

7. FAYDALANILAN REFERANSLAR

1. METALS HANDBOOK
Vol.8, "Forging and Casting" Eighth
Edition, ASM (1973).
2. MOLDING METHODS AND MATERIALS
First Edition, AFS Des Plaines, (1962).
3. NICHOLAS, K.E.L.,
"The CO₂-Silicate Process in Foundries"
Birmingham, BCIRA, (1972).
4. DIETERT, M.W.,
"Foundry Core Practice", Third Edition,
AFS Des Plaines, (1966).
5. WAIL, J.G.,
"Soluble Silicates Their Properties and
Uses", Volume I, New York, Reinhold
Publishing Corp., (1952).
6. HANDBOOK of CHEMISTRY and PHYSICS
The Chemical Rubber Corp., (1971).
7. GOTHERIDGE, J.,
"A Look in to the Future : Wider Applica-
tion of the Sodium Silicate-Carbon Dioxide
Process Through a Better Understanding
of the Basic Principles and the New Tech-
nology", AFS Transactions, Vol.87, (1979),
669-706.

8. HANCOX, D.E., FENNELL, D.G.,
"Why Not Make It by the CO₂ Process"
Chemical Binders in Foundries,
Birmingham, BCIPA, (1976).
9. THOMPSON, R.W.,
"Practical Guide to the CO₂ Process"
Foundry Trade Journal, November 19, (1964),
649-663.
10. HATTON, W.L.S.,
"Chemical Binders-The Suppliers Point
of View"
Chemical Binders in Foundries, Birmingham,
BCIPA, (1976).
11. ATTERTON, D.V.,
"CO₂ Process"
Institute of British Foundryman Paper
no.1142, Birmingham Branch, Foundry
Services Limited, (1956).
12. TALBOT, A.,
"Cores and Moulds by CO₂ Process"
Institute of British Foundry Paper no.
1140, London Branch, Foundry Services
Limited, (1956).
13. LANGE, E.A., MOREY, R.E.,
"Sodium Silicates for the CO₂ Process"
Modern Casting, Vol.34, July, (1958),
41-49.
14. SRINAGESH, K.,
"Chemistry of Sodium Silicate as a Sand
Binder"
AFS International Cast Metal Journal,
vol.4,1, June, (1979), 50-63.
15. "Methods of Testing Cold Setting Chemically
Bonded Sands : First Report of the Joint
Committee on Sand Testing"
The British Foundryman, Vol.66, 6, June,
(1973), 213-221.

16. "CO₂ Process Moulding", Progress Development Report, Foundry Trade Journal, January, 5, (1976), 42-47.
17. WULFF, C.E.,
"Investigation of the Hardening of Sodium Silicate Bonded Sand"
Modern Casting, Vol.33, March, (1958), 81-85.
18. "The Silicate-CO₂ Process in the Foundry Industry"
Ref.:SS2-3, United Kingdom, Joseph Crasfield Corp.
19. WORTHINGTON, R.,
"The Silicate-CO₂ Bond, Part I-Some Preliminary Observations"
Iron and Steel, Vol.39, May, (1966), 176-180.
20. WORTHINGTON, R.,
"The Silicate-CO₂ Bond, Part II - The Mechanism With 2.0:1 Ratio Sodium Silicate", Iron and Steel, Vol.39, June, (1966), 297-300.
21. WORTHINGTON, R.,
"The Silicate-CO₂ Bond, Part III - A Practical Study of Gassing Techniques", Iron and Steel, Vol.39, July, (1966), 331-335.
22. WORTHINGTON, R.,
"The Silicate-CO₂ Bond Part IV - The Advantages of Higher Ratio Silicates", Iron and Steel, Vol.39, November, (1966), 523-528.
23. WORTHINGTON, R.,
"The Silicate-CO₂ Bond, Part V - The Effect of Storage on the Bond", Iron and Steel, Vol.40, June, (1967), 261-264.

24. ROMANO, L.,
"Moulding With CO₂" Foundry, Vol.85,
October, (1957), 104-107.
25. ATTERTON, D.V.,
"The CO₂ Process", AFS Transactions,
Vol.64 (1956), 14-40.
26. "Develop Quality Tests for CO₂ Process",
AFS Sand Division Core Test Committee,
Modern Casting, Vol.41, January (1962),
46-47.
27. FRENCH, R.,
"Progress in Core Making, Silicate-CO₂",
Foundry, Vol.98, May (1970), 72-77.
28. COWLES, R.J.,
"Optimum CO₂ Molding, Critical Formula-
tion of Sodium Silicate and Sand",
Modern Casting, Vol.36, September (1959),
91-114.
29. KOMAÇ, O.Ş.,
"CO₂-Sodyum Silikat Yöntemine Etki Eden
Parametrelerin İncelenip Özelliklerin
Geliştirilmesi", MMLS Tezi, İ.T.Ü.
Metalurji Fakültesi, (1981).
30. PETTY, K.J.,
"The Control of CO₂ in the CO₂ Silicate
Process",
The British Foundryman, Vol.64, 12,
December (1971), 456-461.
31. STARR, C.,
"A New Approach to the CO₂ Process"
The British Foundryman, Vol.61, 4, April
(1968), 153-156.
32. APSLEY, S.D.,
"What About Dimensional Accuracy?",
Chemical Binders in Foundries,
Birmingham, BCIRA, (1976).

33. SCHUMACHER, W.,
"Application of CO₂ Process in the Foundry",
AFS Transactions, Vol.63, (1955), 488-492.
34. STANDBRIDGE, R.P.,
"Recent Advances the Technology and Application of Silicate Bonded Sand",
AFS Transactions, Vol.87, (1979), 77-85.
35. GETWERT, C.,
"New Results on the CO₂ Setting Process"
Giesserei, Vol.22, 59, November (1972),
649-660.
36. KOMAÇ, O.Ş.,
"Bağlayıcı Olarak Düşük Modüllü Cam Suyunun Kullanıldığı CO₂-Sodyum Silikat Yöntemine Etki Eden Parametrelerin İncelenip Geliştirilmesi", I.Ulusal Döküm Simpozyumu, İstanbul, (1981), 109-119.
37. "Major Advances of Chemically Bonded Sands",
Foundry Practice, Issue no.193, Foseco Foundry International Lim., January (1976).
38. "Silicate Bonded Sand", Information Sheet 12,
Foseco International Exports Limited, England.
39. "Major Advances in Inorganic Binding",
Foundry Practice, Issue no.200, Foseco Foundry International Lim. December, (1979).
40. "Carbon Dioxide Binders : Scope for Improvement", Foundry Practice, Issue no.197,
Foseco Foundry International Lim. June (1978).
41. KUNSMANN, H.G.P.,
"Hot Strength and Collapsibility of CO₂ Sand", AFS Transactions, Vol.79, (1971), 37-44.

42. ENNIS, C.S.,
"Take the Quesswork Out of Gassing - An Appraisal of Current Developments in the CO₂-Silicate Process", AFS Transactions Vol.88, (1974), 413-420.
43. GRUVER, W.E.,
"What You Should Understand About the CO₂ Process",
Foundry, Vol.82, June (1957), 106-110.
44. GITTERTON, D., ROBERTS, W.R.,
"Moulding Materials - The Next 25 Years"
The British Foundryman, Vol.64, 11,
November, (1971), 423-429.
45. FIALA, A.,
"Control of the CO₂ by A Potentiometric Technique",
Foundry Trade Journal, January 5, (1978),
13-24.
46. GORING, D.,
"Experiences with Chemically Bonded Sand and Sand Reclemation",
The British Foundryman, Vol.69, 4 April
(1976), 92-97.
47. SARKAR, A.D.,
"Foundry Core and Core Making",
United Kingdam-Pergamon Press (1964).
48. RUSIN, K., CIHLAR, J.,
"The CO₂ Process From the Electrochemical Viewpoint",
AFS International Cost Metal Journal,
Vol.6, 2, (1981), 56-62.
49. EKEY, D.C., VOGEL, E.G.,
"Steel Foundry Uses New CO₂ Gassing Techniques",
Foundry, Vol.85, August, (1957), 134-138.

50. ZIMNAWODA, H.W.,
"Reclamation of Foundry Sands",
The British Foundryman, Vol.65, 4,
April, (1972), 149-157.
51. MURTON, A.E.,
"Using Dry Reclaimed CO₂ Processes Sand",
AFS Transactions, Vol.79, (1971), 397-398.
52. WARNEKE, G.C.,
"Reclaim Sodium Silicate Bonded Sand",
Modern Casting Vol.35, June (1959), 95-99.
53. MACDONALD, R.M.,
"The Rebonding of Reclaimed Silicate
Sands",
AFS Transactions, Vol.84, (1976), 91-96.
54. "Modular Gassing - A New Approach to the CO₂
Process",
Foundry Trade Journal, October 12, (1978),
932-937.
55. ASHBY, G.,
"Moulding Practice, Control and Raw
Materials in the United Kingdom",
AFS Transactions, Vol.85, (1977), 43-49.
56. HANCOX, H.W.,
"Changing the Techniques of the Craft
Iron Foundry", The British Foundryman,
Vol.61, 8, August, (1968), 293-301.
57. ROBERTS, M.,
"Shelf Hardening Sodium Silicate-Bonded
Sands",
The British Foundryman, Vol.66, March
(1973), 61-70,
58. NICHOLAS, K.E.L.,
"Castable Sand Processes",
The British Foundryman, Vol.65,
December, (1972), 441-442.

59. HUGHES, P.T.,
"Some Practical Aspects of Steel Making",
The British Foundryman, Vol.68, May(1974),
131-132.
60. COLLINS, M.,
"Practical Steel Founding",
The British Foundryman, Vol.63, 9,
September (1970), 291-301.
61. CARRUTHERS, T.A.,
"A Practical Study of the Production
of Marine Steering Gear Castings in the
CO₂ Process", The British Foundryman,
Vol.64, 12, December (1971), 462-470.
62. HERMANN, R.H.,
"Making Ships Propellers With CO₂
Moulds and Cores",
Foundry, Vol.85, February (1957), 104-109.
63. NESTOR, G.,
"CO₂ Cores in a Malleable Foundry",
AFS Transactions, Vol.66, (1958),
252-256.
64. VEERABHADRAIAH, C.,
"Experiences With Self Setting Silicate
Bonded Sands",
Indian Foundry Journal, February (1976),
1-5.
65. SÖNMEZER, E.,
"Türkiye'de En Çok Kullanılan Döküm
Kumlarının Özellikleri", TUBİTAK Ge-
liştirme Raporu, Nr.1, Aralık, (1976).

Ö Z G E Ç M İ Ş

1956 yılında Uşak'ta doğan Orhan Şerif KOMAÇ, ilköğretimini Uşak Kurtuluş İlkokulunda, ortaöğretimini Uşak Lisesi'nde tamamlamıştır. 1974-75 öğretim yılında kaydolduğu, İ.T.Ü. Maden Fakültesi'ni 1978-1979 öğretim yılında "Metalurji Mühendisliği" ünvanıyla bitirmiştir. Daha sonra Metalurji Fakültesi, Döküm Bilim dalında 1979-1981 yılları arasında Yüksek Lisans eğitimine devam ederek "Metalurji Yüksek Mühendisi olmaya hak kazanmıştır. 1981 Nisan ayında Doktora öğrenimine başlamıştır.

Yayınları :

1. KOMAÇ, O.Ş., ÇAVUŞOĞLU, E.

"Bağlayıcı Olarak Düşük Modüllü Cam Suyunun Kullanıldığı CO₂-Sodyum Silikat Yöntemine Etki Eden Parametrelerin İncelenip Özelliklerinin Geliştirilmesi", I.Ulusal Döküm Simpozyumu, İstanbul, Eylül (1981), 109-119.

2. KOMAÇ, O.Ş., ÇAVUŞOĞLU, E., ERUSLU, N.

"Bağlayıcı Olarak Modüllü (SiO₂/Na₂O) = 2,2 Olan Cam Suyunun Kullanıldığı CO₂-Sodyum Silikat Yönteminin Özelliklerinin İncelenip Geliştirilmesi", 8.Metalurji Simpozyumu, İstanbul, Ekim (1984).

3. KOMAÇ, O.Ş., ÇAVUŞOĞLU, E., ERUSLU, N.

"Sodyum Silikat-Kum Sistemlerinde Bağlanma Mekanizması", Nisan (1985) tarihinde yapılacak olan, Seramik Kongresinde yayınlanacak.

TEŞEKKÜR

Döküm Bilim Dalında yapmış olduğum tüm çalışmalarım da bana yol gösteren, bu konuyu seçmemde yardımcı olup, Nisan 1984 tarihine kadar tez yöneticiliğimi yapan, daha sonra da yapıcı önerilerini esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr.Ergin ÇAVUŞOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her konuda yardımcı olan tez yöneticim Sayın Doç.Dr.Niyazi ERUSLU'ya teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımda yapıcı tenkitleri ile yardımcı olan Met.Yük.Müh.Sadettin ERGİN'e, çalışmalarımı kullandığım değişik modüldeki cam sularının hazırlanmasında yardımını gördüğüm, Ege Kimya Sanayi Müdürü Sayın Şemsettin ORHUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmayı hazırladığım döküm bilim dalı elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Y. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi