

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜLKEMİZ İNŞAAT SEKTÖRÜNDE
GAZBETON KULLANIMI

105973

Mimar Semiha KARTAL
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GAZBETON KULLANIMI

Bu tez 25/01/2001 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Doç.Dr.
SÜKRAN DILMAÇ
Danışman

Prof. Dr.
Abdurrahman
GÜNER
Üye

Doç Dr Gülcani
KÜÇÜKÇAYA
Üye

Edirne- 2001

105973

İÇİNDEKİLER

Sayfa no:

ÖNSÖZ	I
ŞEKİL LİSTESİ	II
TABLO LİSTESİ	VI
FOTOĞRAF LİSTESİ	VIII
FORMÜL LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XIII
BÖLÜM 1: GİRİŞ	1
BÖLÜM 2: TARİHÇE	3
BÖLÜM 3: GAZBETONUN TANITILMASI	7
3. 1. Bileşenlerin tanıtılması	8
3. 1. 1. Silisli kum (kuvarsit)	8
3. 1. 2. Kireç	9
3. 1. 3. Çimento	10

3. 1. 4. Alüminyum	11
3. 1. 5. Cüruf	12
3. 1. 5. 1. Cürüflü ve Cürufsuz Sistemde Tobermorite Oluşumu.....	14
3. 2. Gazbetonun üretim teknolojisi	16
3. 2. 1. Üretim aşamaları	17
3. 2. 1. 1. Hammaddenin kalıplara dökülmesi	20
3. 2. 1. 2. Malzemenin kesilmesi	21
3. 2. 1. 3. Kür uygulaması	25
3. 2. 1. 4. Malzemenin parçalara ayrılması	27
3. 2. 1. 5. Malzemenin paketlenmesi	30
3. 2. 1. 6. Malzemenin depolanması	33
3. 3. Gazbetonun sınıflandırılması	34

BÖLÜM 4: GAZBETONUN ÜRÜN ÖZELLİKLERİ

37

4. 1. Gazbetonun fiziksel özellikleri	38
4. 1. 1. Isı iletkenliği	39
4. 1. 1. 1. İletim	41
4. 1. 1. 2. Radyasyon	41
4. 1. 2. Isıl atalet	42
4. 1. 2. 1. Gazbetonun Isıl Atalet Davranışları ile İlgili Araştırmalar.....	47
4. 1. 2. 2. Gazbetonun Isıl Atalet Açısından Avantajı.....	48
4. 1. 3. Gazbetonun Neme Karşı Gösterdiği Değişimin Belirlenmesi.....	57

4. 1. 3. 1. Ön Hazırlık	58
4. 1. 3. 2. Çalışma Sonuçları	63
4. 2. Gazbetonun mekanik özellikleri	71
BÖLÜM 5:DENEYSEL ÇALIŞMALAR	74
5. 1. Higroskopik Denge Nemliliği	76
5. 1. 1. A ve B Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 24. 01. 2000 – 28. 02. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Higroskopik Denge Nemliliği Deneyi.....	76
5. 1. 2. A, B ve C Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 08. 08. 2000– 08. 09. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Higroskopik Denge Nemliliği Deneyi.....	80
5. 2. Su Emme Oranları Tayini (1, 3 ve 7 günlük)	82
5. 2. 1. A ve B Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 24. 01. 2000– 28. 02. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Su Emme Oranları Tayini.....	85
5. 2. 2. A, B ve C Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 08. 08. 2000– 08. 09. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Su Emme Oranları Tayini	87
5. 3. Doyma Nemliliği Tayini	91
5. 3. 1. A ve B Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 24. 01. 2000– 28. 02. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Doyma Nemliliği Tayini.....	92

5. 3. 2. A, B ve C Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 08. 08. 2000– 08. 09. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Doyma Nemliliği Tayini.....	92
5. 4. Kütlelerin Kuruma Hızlarının Tayini	98
5. 4. 1. A ve B Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 24. 01. 2000– 28. 02. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Deneyler Sonucunda Kütlelerin Kuruma Hızlarının Tayini.....	99
5. 4. 2. A, B ve C Firmalarına Ait Numuneler Üzerinde 08. 08. 2000– 08. 09. 2000 Tarihleri Arasında Gerçekleştirilen Deneyler Sonucunda Kütlelerin Kuruma Hızlarının Tayini.....	101
5. 5. Gazbetonun Isıl Ataleti İle İlgili Deneyler	109
BÖLÜM 6: DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ	115
6.1. Higroskopik Denge Nemliliği	115
6.2. Su Emme Değerleri ve Doyma Nemliliği	118
6.3. Kuruma Davranışı	120
6.4. Isıl Atalet Deneyleri	122
BÖLÜM 7: GENEL SONUÇLAR	125

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

ÖNSÖZ

İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemeleri açısından önemli bir yer oluşturmaya çalışan gazbeton, ilk üretime başladığından günümüze kadar belli bir pazar payı edinmeyi başarmıştır.

“ Ülkemiz İnşaat Sektöründe Gazbeton Kullanımı ” isimli çalışma konusu;ulusal ve uluslararası kaynaklardan faydalanarak incelenmiştir. Bu amaçla kitap, makale, bildiri, firma yayınları, standartlar ve internet taramaları kullanılmıştır. Bu teorik bilgiler değerlendirilmiş ve ülkemizde üretim yapan üreticilerden alınan gazbeton numuneler üzerinde fiziksel özellikleri ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Sonuç olarak gazbetonun genel karakteristikleri üzerinde ulusal ve uluslararası çalışmalar derlenerek ürün davranışı hakkında bir değerlendirme yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bunun yanısıra, ülkemizde üretilen gazbeton numuneler üzerinde yapılan deneyler ile, ülkemiz inşaat sektöründeki gazbeton ürünlerin suya karşı davranışları deneysel olarak belirlenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca, derlenen bilgilerle deneysel bilgiler veya teorik yaklaşımlar arasındaki uyumsuzluklar da ifade edilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında, bana her konuda destek olan ve çalışma hayatımda çok önemli bir yeri olan sayın danışman hocam Doç. Dr. Şükran DİLMAÇ’a sevgi ve saygılarımı sunarak çok teşekkür ederim. Bana bu çalışma boyunca bilgi ve manevi desteklerini esirgemeyen Y.Mimar. Ülkem BUCKLEY’e, Öğr. Gör. Filiz ŞENKAL’a, Arş. Gör. Esma MIHLAYANLAR’a, Arş. Gör. Ertan ARDA’ya, Yrd. Doç. Dr.Yılmaz ÇAN’a ve diğer çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarım için 15 gün boyunca beni evine konuk eden sevgili Sevil KANER’e teşekkür ederim. Ayrıca sevgili eşim Mak. Müh. Nadir KARTAL ve kızım Ülkem KARTAL’a bana verdikleri destekten ve gösterdikleri sabırdan dolayı minnettarım...

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil no:	Adı:	Sayfa no:
Şekil 2.1.....	1929-1975 yılları arasında Ytong üretimi.....	4
Şekil 3.1.....	Gazbetonun üretim akış şeması 1.....	18
Şekil 3.2.....	Gazbetonun üretim akış şeması 2.....	19
Şekil 4.1.....	Gazbetonun boşluklu yapısının mikrografı.....	37
Şekil 4.2.....	Güneşli bir gün için periyodik ısı transferi Dış solar-hava sıcaklığı ile iç duvar sıcaklığının günün belirli saatleri ile karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.3.....	Gazbeton örnekleri için yoğunlukla faz kaymasının değişimi.....	54
Şekil 4.4.....	Dokuz deney serisi için nem koşulları.....	59
Şekil 4.5.....	Birinci seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	60
Şekil 4.6.....	İkinci seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	60
Şekil 4.7.....	Üçüncü seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	60
Şekil 4.8.....	Dördüncü seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	61
Şekil 4.9.....	Beşinci seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	61
Şekil 4.10.....	Altıncı seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	61
Şekil 4.11.....	Yedinci seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	62
Şekil 4.12.....	Sekizinci seri için kütle ve uzunluk değişimi	62
Şekil 4.13.....	Dokuzuncu seri için kütle ve uzunluk değişimi.....	62
Şekil 4.14.....	Dokuz seri için bağıl nem ile bağıl uzunluk değişimi arasındaki ilişki.....	66
Şekil 4.15.....	Regresyon çizgileri ve buna bağlı veri noktaları.....	66
Şekil 4.16.....	Mikro gözeneklere, kılcal gözeneklere ve yüzeye dağılan suyun gösterimi.....	68
Şekil 4.17.....	Deneyde kullanılan tip gazbeton için uzunluk ve değişimlerinin hesapları.....	68

Şekil 5.1.....	Birinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce higroskopik denge nemlilikleri.....	81
Şekil 5.2.....	Birinci deneydeki gazbeton numunelerin kütlece ortalama su içeriklerinin değişimi.....	81
Şekil 5.3.....	İkinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce higroskopik denge nemlilikleri.....	86
Şekil 5.4.....	İkinci deneydeki gazbeton numunelerin kütlece ortalama su içeriklerinin değişimi.....	86
Şekil 5.5.....	Birinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ortalama su içeriğinin değişimi.....	95
Şekil 5.6.....	Birinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	96
Şekil 5.6a.....	A firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	96
Şekil 5.6b.....	A firmasına ait şantiyeden elde edilen numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	97
Şekil 5.6c.....	B firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	97
Şekil 5.6d.....	B firmasına ait şantiyeden elde edilen numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	98
Şekil 5.7.....	Birinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi.....	99
Şekil 5.8.....	İkinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ortalama su içeriğinin değişimi.....	102
Şekil 5.9.....	İkinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	103

Şekil 5.9a.....	A firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	103
Şekil 5.9b.....	B firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	104
Şekil 5.9c.....	C firmasına ait şantiyeden elde edilen numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	104
Şekil 5.10.....	İkinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi.....	105
Şekil 5.11.....	Birinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleye oranının değişimi.....	106
Şekil 5.12.....	Birinci deneyde gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleye oranının değişimi.....	106
Şekil 5.13.....	Birinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında buharlaşan su miktarının doygun kütleye oranının değişimi.....	107
Şekil 5.14.....	İkinci deneyde gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleye oranının değişimi.....	108
Şekil 5.15.....	İkinci deneyde gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleye oranının değişimi.....	108
Şekil 5.16.....	İkinci deneyde gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında buharlaşan su miktarının doygun kütleye oranının değişimi.....	109
Şekil 5.17.....	Gazbeton duvar iç ve dış sıcaklık farkları.....	111
Şekil 5.18.....	Gazbeton duvar sönüm oranı değerlerinin zamana göre değişimi.....	111
Şekil 5.19.....	Gazbeton duvar sönüm oranları değerleri ile iç sıcaklık farkı değişimi.....	112

Şekil 5.20.....	Tuğla duvar iç ve dış sıcaklık farkları	113
Şekil 5.21.....	Tuğla duvar sönüm oranı değerlerinin zamana göre değişimi.....	114
Şekil 5.22.....	Tuğla duvar sönüm oranları değerleri ile iç sıcaklık farkı değişimi.....	114
Şekil 6.1.....	Her iki deneyde kullanılan numunelerin bağıl neme göre ortalama su içeriğinin değişimi.....	117
Şekil 6.2.....	Her iki deneyde kullanılan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce higroskopik denge nemlilikleri.....	117
Şekil 6.3.....	Her iki deneyde kullanılan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları.....	120



TABLO LİSTESİ

Tablo no:	Adı:	Sayfa no:
Tablo 3.1.....	XRF kullanılarak ölçülen ham malzemelerin kimyasal kompozisyonları.....	13
Tablo 4.1.....	Gazbetonun gözenek oranı.....	38
Tablo 4.2.....	Malzemelerin ısı iletkenlik değerleri.....	40
Tablo 4.3.....	Gazbeton ve geleneksel yapı malzemelerinin ısısal atalet özellikleri.....	51
Tablo 4.4.....	Gazbetonun ısısal ataleti ve diğer özellikleri.....	54
Tablo 4.5.....	Isısal atalet değerleri özeti (gerçek ve teorik).....	56
Tablo 4.6.	Bağıl nemin bir fonksiyonu olarak değişen denge durumundaki uzunluk.....	64
Tablo 4.7.....	Çizgisel regresyon analizinin sonuçları.....	65
Tablo 4.8.....	TS 453' e göre gazbetonun yoğunluk ve basınç mukavemetlerinin değişimi.....	72
Tablo 4.9.....	RILEM' e göre gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının yoğunluk ve basınç mukavemetlerinin değişimi.....	72
Tablo 4.10.....	Gazbetonların karakteristik dayanıma göre Sınıflandırılması.....	73
Tablo 4.11.....	Gazbetonun mekanik özellikleri.....	73
Tablo 5.1.....	Higroskopik denge nemliliği tayini için 24.01.2000 28.02.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler.....	78-79
Tablo 5.2.....	Numunelerin deney öncesindeki su içerikleri ve %58±2 bağıl nemdeki higroskopik denge nemlilikleri.....	80
Tablo 5.3.....	Higroskopik denge nemliliği tayini için 08.08.2000 08.09.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler.....	83-84

Tablo 5.4.....	Numunelerin deney öncesindeki su içerikleri ve 56±2 bağıl nemdeki higroskopik denge nemlilikleri.....	85
Tablo 5.5.....	Su emme oranları tayini için 24.01.2000 28.02.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler.....	88-89
Tablo 5.6.....	Su emme oranları tayini için 08.08.2000 08.09.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler.....	90-91
Tablo 5.7.....	Doyma nemliliği tayini için 24.01.2000 28.02.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler.....	93-94
Tablo 5.8.....	Birinci deney için su emme değerleri.....	95
Tablo 5.9.....	Doyma nemliliği tayini için 08.08.2000 08.09.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler.....	100-101
Tablo 5.10.....	İkinci deney için su emme değerleri.....	102
Tablo 5.11.....	Birinci deneyde kuruma sırasında ölçülen kütle değerleri.....	105
Tablo 5.12.....	İkinci deneyde kuruma sırasında ölçülen kütle değerleri.....	107
Tablo 5.13.....	Gazbeton duvarlarda sıcaklık ölçümleri.....	110
Tablo 5.14.....	Tuğla duvarlarda sıcaklık ölçümleri.....	113
Tablo 6.1.....	Gazbeton numunelerin su içeriklerinin bağıl nem ile değişimi.....	116
Tablo 7.1.....	İncelenen duvarların malzeme özellikleri.....	127
Tablo 7.2.....	İncelenen duvarların yalıtım düzeyi ile sönüm oranlarının değişimi.....	128

FOTOĞRAF LİSTESİ

Fotoğraf no:	Adı:	Sayfa no:
Fotoğraf 3.1.....	Gazbeton hamurunun kalıplara dökülmesi.....	20
Fotoğraf 3.2.....	Kabarması beklenen gazbeton hamuru.....	21
Fotoğraf 3.3.....	Kabarması tamamlanmış gazbeton hamuru.....	22
Fotoğraf 3.4.....	Gazbetonun taşıyıcı ray sisteminde taşınması.....	22
Fotoğraf 3.5.....	Kesime hazır gazbeton.....	23
Fotoğraf 3.6.....	Gazbetonun kesilmesi.....	24
Fotoğraf 3.7.....	Gazbetonun kesilmesi.....	24
Fotoğraf 3.8.....	Artık gazbeton parçalarının döküldüğü kanallar.....	25
Fotoğraf 3.9.....	Gazbetonun kurutma fırınlarına (otoklavlara) taşınması.....	26
Fotoğraf 3.10.....	Gazbetonun kurutma fırınlarında kurutulması.....	26
Fotoğraf 3.11.....	Gazbetonun kurutma fırınlarından çıkarılması.....	27
Fotoğraf 3.12.....	Gazbetonun özel ayırıcı makinalara yerleştirilmesi.....	28
Fotoğraf 3.13.....	Yapışan parçaların temizlenmesi.....	28
Fotoğraf 3.14.....	Artık parçaların ray sistemine boşaltılması.....	29
Fotoğraf 3.15.....	Artık parçaların ray sistemi ile ham madde kazanına Gönderilmesi.....	29
Fotoğraf 3.16.....	Ayrılma işlemi bitmiş parçalar.....	30
Fotoğraf 3.17.....	Gazbetonun paketlenmeye hazırlanması.....	31
Fotoğraf 3.18.....	Gazbetonun taşınması.....	31
Fotoğraf 3.19.....	Gazbetonun poşetlenmesi.....	32
Fotoğraf 3.20.....	Gazbetonun uygun alanlara taşınması.....	32
Fotoğraf 3.21.....	Gazbetonun depolanması.....	33

FORMÜL LİSTESİ

Formül no:	Formül:	Sayfa no:
(1).....	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ (sönmüş kireç).....	9
(2).....	$\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}_2$	11
(3).....	$4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 754 \text{ kcal}$	11
(4).....	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 278 \text{ kcal/kg}$	16
(5).....	$2\text{Al} + 3\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 + 3676 \text{ kcal/kg}$	16
(6).....	$5\text{Ca(OH)}_2 + 6\text{SiO}_2 + 5.5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \underline{5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5.5 \text{ H}_2\text{O}} + 5\text{H}_2\text{O}$	16
	11°C Tobermorit	
(7).....	$\lambda = (2.43 \times 10^{-4})\rho + (4.62 \times 10^{-3})$	40
(8).....	$q_y = -\lambda (\partial T / \partial y)$	41
(9).....	$A_i / A_d = (\text{Tiçmax} - \text{Tiçort}) / (\text{Tdışmax} - \text{Tdışort})$	44
(10).....	$A_i / A_d = [2 / (F^2 + G^2)]^{1/2}$	44
(11).....	$\Delta t = \phi / 15$	44
(12).....	$\Delta \text{Tiç} = 17.1\delta + 1.2, \quad R^2 = 0.76$	123
(13).....	$\Delta \text{Tiç} = 24.7\delta + 0.22, \quad R^2 = 0.76$	123

ÖZET

İnşaat teknolojisi son yıllarda büyük bir gelişme süreci içerisinde. Her alanda çok sayıda malzeme üretimi mevcuttur. Ancak bu farklı malzemelerin özellikleri tam ve doğru olarak bilinmedikçe mimarların doğru malzeme seçimi yapmaları imkansız hale gelecektir.

Büyük şehirlerin oluşması, çok katlı yapılara olan eğilim, deprem gibi doğal afetler sonucu oluşan risklerin büyük boyutlara ulaşması gibi sebepler, yeni malzemeler ile ilgili gelişmeleri daha da hızlandırmıştır. Bu araştırmalar sonucunda inşaat sektörüne giren malzemelerden biri de gazbetondur.

Yaklaşık 100 yıl önce başlayan sistematik bir gelişmenin ürünü olan gazbetonun Türkiye'deki üretimi ilk defa 1966 yılında gerçekleşmiştir (8). Ülkemizde 1989 yılına kadar sadece bir tesiste üretilen gazbeton, günümüzde ise YTONG, ÇİMENTAŞ ve NUH BETON adlı firmalar tarafından üretimine devam edilmektedir.

Bu çalışmada amaç, gazbetonu tanıtmak, özellikle ülkemizde üretilen gazbeton ürünlerin fiziksel özellikleri hakkında ölçüm sonuçlarına dayalı bir araştırmayı ve değerlendirmeyi gerçekleştirmektir.

“ Ülkemiz İnşaat Sektöründe Gazbeton Kullanımı ” başlıklı bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır.

Birinci ve ikinci bölümde, konu ile ilgili genel bilgiler verilerek geçmişten günümüze gazbetonun tarihçesi ve gelişim süreci anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde, gazbetonun bileşenleri tanıtarak gerekli bilgiler verilmektedir. Gazbetonun iç yapısı tanıtıldıktan sonra gazbetonun üretim teknolojisi anlatılmıştır.

Üretim sırasındaki; hammaddenin kalıplara dökülmesi, malzemenin kesilmesi, kür uygulaması, parçalara ayrılması, paketlenmesi ve depolanması aşamaları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu aşama için Trakya Bölgesi'nde Tekirdağ Saray'da bulunan Ytong fabrikası, İzmir'de bulunan Çimentaş fabrikası gezilerek fotoğraflar çekilmiştir. Nuh Çimento fabrikası ile gerekli organizasyon sağlanamadığı için gezilememiştir.

Gazbetonun üretim aşamaları ile tanıtılmasından sonra, TSE 453 standartına göre sınıflandırılması verilmiştir. Bu bölüm gözlem, görüşme ve kaynak taraması sonucu oluşmuştur.

Dördüncü bölümde gazbetonun ürün özelliklerinden bahsedilmiştir. Bu bölümde uluslar arası makalelerden elde edilen bilgiler doğrultusunda, fiziksel özellikleri bakımından; gazbetonun ısı iletkenliği, ısı atalet davranışları ve neme karşı göstermiş olduğu değişimin malzeme iç yapısına bağımlılığı da incelenmiştir. Mevcut kaynaklar gazbetonun ürün özelliklerinin sadece yoğunluğa değil, ısı iletkenliğine, ısı kapasitesine, gözenekliliğine, ortalama gözenek büyüklüğüne ve malzeme yapısı değişikliğine bağımlı olduğunu ifade etmektedirler.

Tezde verilen bu bilgilerden sonra, beşinci bölümde ise; ülkemizde üretilen gazbetonların su karşısındaki davranışlarının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için de, gazbeton üreten üç farklı firmadan numuneler alınarak iki farklı dönemde deneyler yapılmış ve sonuçlar detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Gazbetonun su karşısındaki davranışları; higroskopik denge nemliliği, su emme değerleri, doyma nemliliği ve kuruma davranışı başlıkları altında ayrı ayrı ele alınmıştır. Sonuçlar tablo ve grafiklerle açıklanmıştır.

Beşinci bölümde ayrıca alternatif malzeme ile karşılaştırma açısından bir ön deney kapsamında deneysel çalışma yapılmıştır.

Duvar malzemesi olarak gazbeton ve tuğla kullanılmış olan iki ayrı evde sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Sonuçlar tablo ve grafiklerle verilmiştir.

Altıncı bölümde ise, literatür derlemesi ve deneysel çalışmaların sonucu elde edilmiş bilgilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Gazbetonun su karşısındaki davranışları incelendiğinde, gazbetonun belli bir higroskopik davranış gösterdiği belirlenmiştir. Su emme değerleri, doyma nemliliği vb. büyüklükler için ilgili standartlarda sınır değerler ve bu sınır değerlerin değişim aralıklarının belirtilmediği görülmüştür. Firma broşürlerinde de bu şekilde bir değer aralığı ve sınırlaması verilmemektedir. Ancak tez çalışmaları kapsamında deneyler tekrarlandığında, sonuçların birbirinden normal şartlarda beklenenin ötesinde bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Sabit yoğunluklara sahip numunelerde deney sonuçlarında görülen bu dağılım, ilgili özellikler yoğunlukla birlikte, gözenek miktarı, boyutu ve dağılımdan etkilendiği şeklinde yorumlanmıştır. Numunelerde iç yapı ile ilgili bu özelliklerin değişmesi, deney sonuçlarında da dikkat çeken dağılımlara sebep olabileceklerdir. Numunelerin su emme değerlerinde yaklaşık % 10' a varan bir dağılım gözlenmiştir. Doyma nemliliğine ise 7-9 gün arasında değişen zamanlarda ulaşılmıştır. Numunelerin kuruma hızlarının ise atmosfer şartlarına bağlı olarak oldukça yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bir ön deney niteliği taşıyan ısıl atalet ile ilgili çalışmada da, gazbeton ve tuğla duvarların birbirine yakın özellikler göstermesine rağmen, tuğla duvarların gazbeton duvarlara nazaran biraz daha büyük sapmalar gösterdiği görülmüştür.

Son bölümde ise, teorik bilgilerle, deneysel çalışmalar sonucu ortaya çıkan sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Mevcut bilgilerdeki yanlış değerlendirmeler irdelenmiştir.

SUMMARY

Autoclaved Aerated Concrete (AAC) is a product of systematic development during the last 100 years. In Turkey commercial production started in 1966. Although AAC was produced by only one company until 1989, nowadays, YTONG, ÇİMENTAŞ and NUH BETON companies continue to produce AAC.

This work entitled “The use of AAC in Turkish Construction Sector ” comprises six chapters.

In this work, a literature review on some physical properties of AAC is given, and the effect of water on the properties and its thermal behaviour (thermal inertia) are experimentally studied.

General information about AAC and a short history of development are given in the first and the second chapters.

In chapter 3, pouring of the raw materials into moulds, cutting of the material, autoclaving, separation into parts, packing and storing stages during the production have been described. The production stages of AAC and a classification of AAC according to TSE 453 Standart is given.

In chapter 4, the properties of AAC has been mentioned. Thermal coefficient behavior of thermal inertia and length variation moisture content of AAC have been cited qusting from internationally recognized articles.

Theoretical information and the effect of water content on the properties, of AAC produced in Turkey has been investigated. Experiments were carried out in two different periods by using the specimens obtained from three different companies.

In chapter 5, the results of an experimental work on two houses are given. Temperatures were measured in two different houses of which wall materials were made of AAC and brick. Results are given in tables and graphs.

The results of the theoretical and the experimental studies are discussed and conclusions are listed in chapter 6..



BÖLÜM 1: GİRİŞ

İnşaat sektörünün ülkemizde sürekli bir gelişim gösterdiği dolayısıyla da her türlü malzeme için uygun bir pazar oluşturduğu izlenmektedir. Yapı malzemelerinin üretimi ve geliştirilmesi konularında sürekli teknolojik araştırmalar yapılmaktadır.

Büyük şehirlerin oluşması, özellikle çok katlı yapılara olan eğilim, doğal afetlerin oluşturduğu risklerin büyük boyutlara ulaşması gibi sebepler, yeni malzemeler ile ilgili gelişmeleri daha da hızlandırmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda inşaat sektörüne pek çok malzeme girmiştir. Gazbeton da bunlardan biridir.

Gazbeton bünyesinde gözenekler ihtiva eden, kullanım yeri ve amacına göre nitelikleri uyarlanabilen, ahşabın kolay işlenebilirliğini, belli bir ölçüde dayanım ile birlikte belirli bir yalıtım özelliğini sağlayabilen bir malzemedir. Gazbetonun ısı iletkenliği düşüktür. Dolayısıyla sebep olacağı ısı kaybı azdır. Belirli bir ısıl ataletle sahiptir. Bu da iç ortamda sıcaklık değişimlerinin az olmasını ve ısıl konforun sabit kalmasını sağlar.

Ancak gazbeton bir ısı yalıtım malzemesi değildir. Gazbeton, belirtildiği gibi kolay işlenebilen, taşıyıcılık özelliği de kazanabilen blok malzemeler içinde yüksek enerji verimliliğine sahip bir yapı malzemesidir. Pomza taşı veya gözenekli lav taşları olarak bilinen doğal malzemeler, gazbetonla benzer özellikler göstermektedir. Ancak boyut, fiziksel özellikler ve kullanım amacı olarak kontrollü bir prosesle üretilen gazbeton, tabiatıyla bu doğal malzemelerden daha üstündür.

Gazbetonun üretilmesinde en büyük adım J. A Erickson tarafından atılmış ve bulunduğu yöntem 1924 yılında Durox patent adı altında İsveç'te üretilmeye başlamıştır (7). 1950'ye kadar pek bir ilerleme sağlanamamış olsa da, bu tarihten sonra Avrupa'da ve dünyanın başka birçok yerinde hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır (9). Ülkemizde de 1966 yılından itibaren üretilmeye başlanmıştır (7).

Gazbeton 18 Kasım 1989’ da yayınlanan TS 453 “Gazbeton ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları Standardı” ile ülkemizde resmi olarak varlığını belirlemiştir. Standardda gazbeton ve köpük beton birlikte ele alınarak, ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç/çimento) ile hazırlanan karışımın gözenek oluşturuca bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kürüyle sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli hafif beton olarak tanımlanmıştır (20).

İleride gazbeton ve köpük beton için ayrı ayrı standartlar hazırlanmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Çünkü bu iki betonun ortak özelliği, betonun içinde havadan başka bir gazın oluşturularak yoğunluğunun düşürülmesidir. Ancak üretim teknikleri ve ürün özellikleri açısından birbirlerinden farklıdırlar.

Gazbetonun üretiminde, gözenek oluşturuca olarak alüminyum tozu veya macunu kullanılmaktadır. Köpük beton üretiminde ise köpük oluşturan vinilik reçina ve alkariil sülfonat katkıları kullanılır. Karma suyuna ilave edilip kuvvetli ve hızlı bir karıştırma sağlanarak betonda köpük meydana getirilir. Köpüğün kaybolmaması için silikatlı bir stabilizan katılır. Ayrıca köpük betonda, rötre ve stoklama sorunları vardır (1).

Gazbeton ülkemiz inşaat sektöründe önemli bir yer edinmiştir. Diğer geleneksel blok malzemelere alternatif olarak piyasada mevcut olan gazbeton, ilk üretime başladığından günümüze kadar belli bir pazar payı artışı göstermiştir. Ancak ülkemizde uzun süre yabancı patent altında üretilen gazbeton ile ilgili olarak, ülkemizdeki deneysel araştırmalar mekanik özelliklerle sınırlı kalmıştır. Fiziksel özellikleri ile ilgili olarak deneysel araştırma sonuçları yok denecek kadar azdır.

Bu çalışmada gazbeton, özellikle yapı fiziği açısından değerlendirilmiş, literatür çalışmalarının yanı sıra, T. Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Labaratuarlarında Su Emme, Higroskopik Denge Nemliliği ve Doyma Nemliliği ile ilgili deneyler yapılmış ve iki farklı evde sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

BÖLÜM 2: TARİHÇE

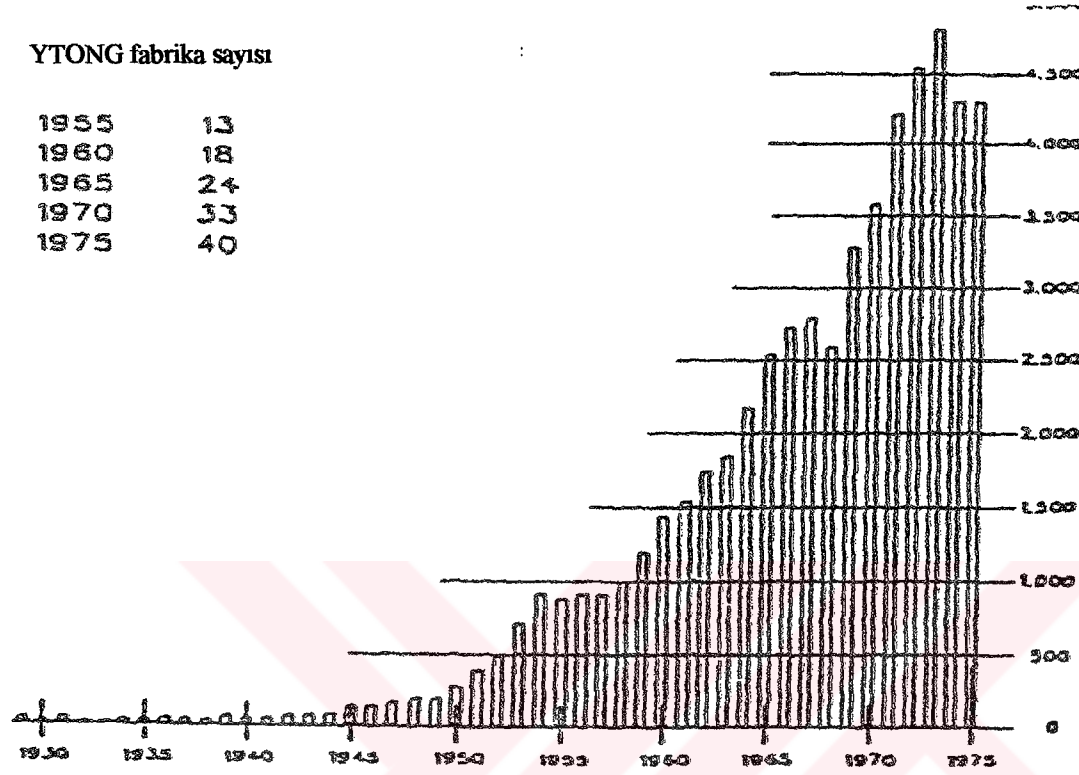
Gazbeton yaklaşık 100 yıl önce başlayan sistematik bir gelişmenin ürünüdür. Şimdiki haliyle bilinen gazbeton 1920'li yılların sonunda İsveç'te geliştirilmiştir. Donatılı gazbetonlar ilk kez İskandinav ülkelerinde çatı ve döşeme elemanı olarak ve ayrıca duvar panellerinde kullanılmıştır. Bunun gelişmesi yaklaşık 10–20 yıl sürmüştür (9).

Gazbetonun gelişimi YTONG, SPOREX ve DUROX gibi çok iyi bilinen firmalar tarafından sağlanmıştır. Alman HEBEL ve Danimarka'daki HENDRIKSEN and HENDRIKSEN (H+H) gibi başka firmalar da kendi değişik teknolojileriyle bu gelişmeyi takip etmiştir.

Devlet yönetiminin hakim olduğu ülkelerde, hükümet kontrolüyle yapılan girişimlerde olmuştur. Batı teknolojisi temeline dayandırılarak kendi üretimlerini yapmışlardır. Bunlardan en iyi bilineni Polonya'da ki Unipol metodudur. Buna benzer girişimler de, Romanya'da FOREXİM ve CSFR'de ARMOPORİT'de görülmektedir.

II. Dünya Savaşı gazbetonun hızlı gelişmesini geçici bir süre durdurmuştur. Fakat 1950'den sonra Avrupa' da ve dünyanın başka birçok yerinde hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Bu gelişimi gazbeton üretiminde etkili bir yeri olan YTONG firmasının gelişim süreci takip etmiştir. 1929–1975 yılları arasında YTONG üretiminin gelişimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. 1955 yılında sadece 13 YTONG fabrikası bulunurken, 1975 yılında bu sayının 40'a yükseldiği belirtilmektedir.

1991 yılı sonu verilerine dayanılarak, Sovyetler Birliği'nin Asya kısmını da içine alarak Batı ve Doğu Avrupa'da yaklaşık 200, Asya'nın geri kalan kısmında 50 ve dünyanın diğer kısımlarında da 16 gazbeton üreten fabrikanın çalışmalarına devam ettiği, 15 gazbeton tesisinin de inşa halinde olduğu belirlenmiştir (9).



Şekil 2.1. 1929- 1975 yılları arasında Ytong üretimi (9)

Batı Avrupa'da 1991 yılında 8.65 mio(milyon) m³ gazbeton üretildiği belirlenmiştir. Bunun % 84'ünü donatısız gazbeton ürünleri oluşturmaktadır. Almanya 4.47 mio m³'lük üretim yaparak ilk sırayı almaktadır. Bu üretimi 32 fabrikası ile sağlamış ve bu başarısı ile Batı Avrupa'da ki toplam üretimin % 50' sinden fazlasını oluşturmuştur (9).

İngiltere 24 mio m³'lük üretimiyle ikinci sırayı almaktadır. Bu üretimin tümü 13 fabrikadan sağlanmış donatısız ürünlerdir. Donatılı gazbetonlar ise diğer ülkelerden ithal edilmektedir.

Almanya ve İngiltere birlikte ele alınacak olursa, 1991 yılında 45 fabrikayla Batı Avrupa'nın % 80'lik gazbeton ihtiyacını karşılamış oldukları görülmektedir. Fransa ve Hollanda'nın dışında Batı Avrupa'da bulunan diğer ülkelerin çoğu, 1 ya da 2 fabrika ile üretim yapmaktadırlar (9).

Yunanistan, İrlanda ve Lüksemburg'da gazbeton üretimi yapılmamaktadır. Bu ülkeler ihtiyaçlarını komşu ülkelere sağlanmaktadır. Ancak Yunanistan da Hebel teknolojisi kullanılarak köpük beton üretilmektedir.

Doğu Avrupa da ise 1991 yılı sonu bilgilerine dayanılarak elde edilen sonuçlarda, 120 gazbeton üreten fabrika bulunduğu ve üretimin 22-24 mio m³ olduğu belirlenmiştir.

1981 yılına kadar Polonya' da toplam kapasiteleri 5.5 mio m³ olan 27 gazbeton fabrikası inşa edilmiştir. 1988 yılında ise Polonya'daki üretim 4.6 mio m³ olup, bunların % 15'ini duvar paneli, çatı ve döşeme elemanları gibi donatılı ürünlerin oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca prefabrik ürünler de bulunmaktadır. Sovyetler Birliği için de üretim kapasitesinin 10-12 mio m³ olduğu ve bunun 60 fabrikadan sağlandığı belirlenmiştir. Bu üretimin % 20'si donatılı ürünlerdir.

CSFR de ise 13 fabrika üretim yapmakta ve 4 tanesi Calsilox tekniğini (Durox) kullanmaktadır. Üretimin % 20'sini donatılı ürünler oluşturmaktadır. Malzemeler ise çatı ve duvar panellerinin dışında Polonya'da ki üretimin aynısıdır. Çatı ve duvar malzemeleri çok az üretilmektedir. Toplam kapasitenin yaklaşık 12 mio m³ olduğu saptanmıştır. Romanya'da da 12 fabrika çalışmaktadır. Teknik kapasitesi 2 mio m³'tür. Macaristan'da 450.000 m³ kapasiteli 2 fabrika bulunmaktadır. Bu fabrikalar ise sadece donatısız ürünler üretmektedirler.

Asya'da her biri 125.000 m³/yıl kapasiteli 50 fabrikanın yılda 6 mio m³ üretim ile çalıştığı belirlenmiştir. Çin için fazla bilgi sağlanamamıştır. Sadece, 1966'da Beijing' de kurulan Sporex fabrikasından sonra yaklaşık 30 fabrikanın daha kurulduğu tahmin edilmektedir.

1990'lı yılların sonlarına doğru Avrupalı gazbeton üreticilerin Asya'ya doğru bir yönelim içinde olduğu görülmüştür. 5 yıl içinde Japonya, Kore, Honkong, Hindistan, İsrail ve İran'da yeni fabrikalar açılmıştır.

İnşa halinde veya yapılması planlanan birçok fabrikaların olduğu saptanmıştır. Japonya 20 fabrikasıyla Asya'da en çok üretim yapan ülke durumundadır. Üretim çoğunlukla donatılı ürünlerden oluşmaktadır. Yıllık üretiminin yaklaşık 2.5 mio m³ olduğu bilinmektedir. Güney Kore'de 1992 yılı sonunda üretime geçen 8 fabrika bulunmaktadır. Bu fabrikaların toplam kapasitesinin 1 mio m³ olduğu tespit edilmiştir. Asya ve Avrupa dışındaki diğer kıtalarda da gazbeton üreten fabrikalar bulunmaktadır. Afrika'da 7, Amerika'da 6 ve Avusturalya'da da 3 fabrika ile üretim yapılmaktadır.

Gazbeton iklimsel şartlara göre değerlendirilecek olursa, ılıman ve tropik birçok farklı iklim özelliği gösteren bölgelerde kullanılmış olduğu belirlenmiştir. Fakat Orta ve Güney Avrupa, Güney Japonya, Güney ve Doğu Çin, Doğu ve Güney Batı Avusturalya'da ki gibi sıcak-nemli bölgeler ve İskandinav ülkeleri ve Sovyetler Birliği'nin büyük bir bölümünde rastlanan soğuk-nemli bölgelerde daha çok kullanıldığı görülmüştür.

Mısır, İsrail, Kuveyt, İran, Güney Afrika gibi sıcak-kurak bölgelerle, Brezilya, Küba, Hindistan, Endonezya gibi tropik-nemli bölgelerde ise çok az kullanıldığı görülmüştür. Japonya, Endonezya, Irak, İran, Türkiye, İtalya, Yunanistan, Cezair ve Meksika gibi deprem hattı üzerinde bulunan ülkelerde de gazbeton uygulanmıştır. Yapım özellikleri bu ülkelerin geleneksel isteklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. RILEM TC 78 MCA'nın Mart 1991'de yayınlanan "Sismik Tasarım" belgesinde bu konu ile ilgili bilgiler bulunmaktadır (9).

Türkiye'deki üretimin ise 1991 yılı sonunda belirlenen verilere göre 400.000 m³ olduğu ve bu üretimin de yaklaşık % 12'sinin donatılı ürünlerden oluştuğu tespit edilmiştir. Türkiye'de ilk defa 1966 yılında YTONG ismi ile üretimi gerçekleştirilen gazbeton, 1989 yılına kadar sadece bir tesiste üretilirken, günümüzde ise YTONG, ÇİMENTAŞ ve NUH BETON adlı firmalar tarafından üretimine devam edilmektedir.

BÖLÜM 3: GAZBETONUN TANITILMASI

Gazbeton gözenekli bir beton yapı malzemesidir. Yabancı literatürde, otoklavlanmış hava boşluklu beton (Autoclaved Aerated Concrete –AAC) veya otoklavlanmış hücreli yapı beton (Autoclaved Cellular Concrete – ACC) diye adlandırılmaktadır.

Gazbeton kullanım yeri ve amacına göre nitelikleri uyarlanabilen, ahşabın kolay işlenebilirliğini, belli bir dayanım ile birlikte düşük ısı iletkenliğine sahip bir yapı malzemesidir.

Bileşenleri, yüksek silisli bir dolgu maddesi (kum, kumtaşı, yüksek fırın cürufu) ile sönmemiş kireç ve portland çimentosu ile gözenekli yapısını sağlayan alüminyum tozudur.

Gazbetonun bileşenleri yapılışına göre değişmektedir. Malzemeyi oluşturmak üzere hazırlanan bu bileşenlerin oranları her firmanın kendine özgü belirlemiş olduğu reçetelere bağlı olarak hazırlanmaktadır. Genellikle ağırlığın % 67'sini katı içerikler oluştururken, geriye kalan % 33'ünü ise su oluşturmaktadır. Katı malzemelerin oranları yapılışına göre değişir fakat, genellikle yüzde oranları (katı ağırlık bazında) aşağıdaki gibi olmaktadır (17):

1. Uçucu kül (veya kum) $\approx$ % 59
2. Çimento $\approx$ %33
3. Kireç $\approx$ %8
4. Alüminyum tozu $\approx$ %0.07

Gazbeton boşluklu yapıya sahip bir malzemedir. Strüktürel görünüşü, binlerce gözeneği saran bir matrix iskelete sahip olan polistiren köpük malzemeye benzer. Bu gözenekler gazbetonun en ayırıcı ve en önemli özelliğini oluştururlar.

En fazla yaygın olan gazbeton tiplerindeki toplam gözeneklilik hacimsel olarak % 75 ile % 90 arasında değişmektedir (17).

Gazbetonun gözenekli yapısı Ürün Özellikleri Bölüm 4'te ayrıca detaylı olarak açıklanmıştır.

Aşağıda gazbetonun bileşenleri kısaca tanıtılmıştır.

3.1. Bileşenlerin Tanıtılması

Bu bölümde gazbeton oluşumu için kullanılan bileşenlerin malzeme bünyesinde ne amaçla kullanıldığı ve içerikleri kısaca açıklanmıştır.

3.1.1. Silisli kum (kuvarsit)

Gazbetonda dolgu malzemesi olarak kullanılan kumun yapısında bulunan silis (SiO_2), kuvarz halinde doğada bol miktarda bulunmaktadır. Saf kuvarz renksizdir. Kuvarzın birçok renkleri vardır. Doğada en fazla bulunan kuvarz renkleri sarı, duman ve süt rengidir. Kuvarzın granül formu kuvarsit olarak adlandırılmaktadır (4). Silis çimentolu kuvarsit taneli kum taşlarının metamorfizmasıyla kuvarsit adı verilen kayaç oluşmaktadır. Kuvarsitler diğer silisli kayaçlar gibi cam, metalurji, seramik sanayiinde ve dökümde kullanılmaktadır.

Gazbeton malzemesi kullanılan silisli hammaddenin cinsine bağı olarak beyaz, gri veya pembe renkler alabilir. Gazbeton üretiminde kuvarsit ve katkı maddeleri kullanıldığından imalat beyaz veya kirli beyaz olmaktadır (5).

Yurdumuzun çeşitli yörelerinde değişik karakterlerde kuvarsit yatakları bulunmaktadır. İstanbul dolayları ve Kocaeli yarımadası kuvarsitleri üzerinde yoğun jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Bunun sonucunda Maltepe, Gebze civarı, Pendik Gözdağ Aydınlıköyü yolu üzerinde ve Çengelköy dolaylarında kuvarsitlerin varlığı tespit edilmiştir.

Ayrıca Afyon Bölgesi, Antalya Bölgesi, Elazığ Bölgesi, Adana-Belemedik, Feke, Saimbey Bölgesi, Kahramanmaraş Dere Boğazı, Fatmalı, Araplı Bölgesi, Kırşehir, Aydın-Çine, İzmir-Bayındır, Zonguldak-Damarlı, Mersin-Gülnar, Antakya-Hassa, Çorlu ve Bilecik-Bayırköy-Osmaneli civarında büyük kuvarsit rezervleri bulunmaktadır (6).

3.1.2. Kireç

Gazbetonun diğ er bir hammaddesi olan kireç, bileşimi kalsiyum karbonat (CaCO_3) olan kireçtaşı veya $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ olan dolomitik kireçtaşlarının 900 °C civarında yakılmasıyla elde edilmektedir (1).

900 °C

$\text{CaCO}_3 + \text{ısı} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ olur. Oluş an CaO 'e ise sönmemiş kireç adı verilir. Gazbeton üretiminde kullanılan sönmemiş kireç su ile reaksiyona girerek sönmüş kireç haline dönüşür (1). Gazbeton üretimi açısından bu sürecin önemi, bu süreçte ortaya çıkan yüksek miktardaki ısı enerjisidir.



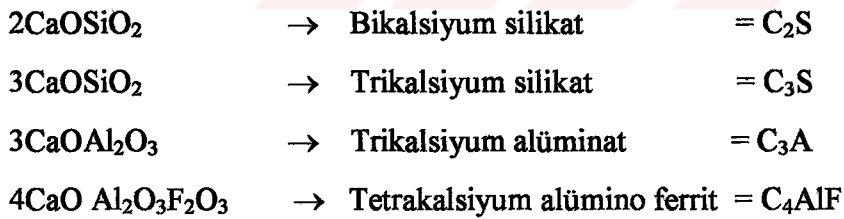
3.1.3. Çimento

Gri portland çimentosu, killi (SiO_2) + kalker (CaCO_3) özel fırınlarda demir filizi içeren toprakla birlikte pişirilip çok ince öğütüldükten sonra %3 oranında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilavesi ile elde edilen, su ile karıştırıldığında katılaşp sertleşen, harç ve beton yapımında kullanılan açık gri renkte toz halindeki bağlayıcı malzemedir. Çimentonun kimyasal yapısı, kalsiyum silikat ile kalsiyum alüminatlardan oluşmaktadır (1).

1400 °C

Kil + Kalker → Kil ve kalker içindeki SiO_2 ve CaCO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 önce ayrışır. Yarı erimiş halde iken yeni kimyasal formüle sahip yeni bileşenler oluşur. Buna karma oksitler (potansiyel oksit)denir.

Çimentonun dört ana bileşeni şunlardır;



Çimento kimyasında CaO , " C " sembolü ile; SiO_2 , " S " sembolü ile; Al_2O_3 , " A " sembolü ile; F_2O_3 , " F " sembolü ile gösterilmektedir (1).

3.1.4. Alüminyum Tozu

Aluminyum diğer metallere oranla yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en fazla bulunan bir metaldir. Aluminyum volkanik kayaların %8,13'ünü teşkil etmektedir (15).

Oksijene karşı olan büyük ilgisi, bu elementin serbest halde doğada bulunmasına engel olmaktadır. Oksijenden başka bazı ametaller ile de bileşikler verir. Bu koruyucu oksid tabakası bazik ortamda giderilirse metalik alüminyum suyu 100° C de ayrıştırılabilir;



Reaksiyondaki ayrışma sonucu hidrojen gazı çıkar. Alüminyumun şekli de (tel, levha, toz, parça vb.) onun oksijen ile reaksiyon vermesine etki eder. Parça halinde erime sıcaklığının çok yukarısına kadar ısıtılan alüminyum eriyip sıvı hale geldiği halde oksitlenip yanmaz. Fakat toz ya da çok ince tabaka halinde bulunan alüminyum kolayca reaksiyona girer. Alüminyumun oksitlenmesi ise aşağıdaki şekilde meydana gelir.



Bu yanmadan oluşan ısı ile, sıcaklık 3500 °C'yi bulur. Alüminyumun oksijene karşı olan büyük ilgisinden teknikte yararlanılarak bazı metal oksitlerinden metaller elde edilebilir. Bu yolla demir, mangan, nikel, krom, kobalt oksitlerinden metaller elde edilmektedir. Alüminyumun indirgen etkisi o kadar kuvvetlidir ki reaksiyon sırasında sıcaklık 2000 °C dolayına çıkar. Bu yüzden oluşan metal erimiş durumda ortamdan kayarak ayrılabilir. Bu yönteme genel olarak “alüminotermi” adı verilir. Bu işlem için toz alüminyum, toz metal oksit ile iyice karıştırılır. Karışım bir noktasından reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılır. Reaksiyonun başlaması ile oluşan ısı reaksiyonun sürmesini sağlar (4).

Gazbetonda faydalanılan reaksiyon (2) ve (3) nolu eşitliklerin karışımı gibidir. Böylece çıkan H_2 gazı ürünün küçük gözenekler halinde boşluklu olmasını sağlar. Al'un sönmüş kireç üzerine etkisi ile $3CaOAl_2O_3$ ve H_2 gazı elde edilir.

3.1.5. Cüruf

Son zamanlarda gazbeton üretiminin bazı süreçlerinde, kalkerli veya silisli hammadde yerine, granüle öğütülmüş yüksek fırın cürufu (GYFC) da kullanılmaktadır. Türkçe kaynaklarda bu durum belirtilmediği için detaylı bir şekilde anlatılmaya ihtiyaç duyulmuştur.

GYFC alkali gibi bir dış aktivatörün eklenmesi durumunda çimentonunkine benzer hidrolik özellikler gösterir. Ayrıca kireç ve kuvarstla olan hidrotermal reaksiyonun ilk aşamasında yüksek reaksiyon gösterir. Otoklavlı çimentolu malzemelerin üretiminde GYFC'nun kullanılması ile enerji ve ham malzeme tasarrufu sağlanabilmektedir (11).

Gazbetonun üretiminde kullanılan ham malzemeler ağırlıkça % 47 wt GYFC, % 29 Kuvarst kumu, % 24 Portland çimentosu ve kabartıcı etkisi olan Al'dan çok az miktarda kullanılmaktadır. Tablo 3. 1'de GYCF ile kuvarst kumunun X- ray floresanıyla belirlenen kimyasal kompozisyonları gösterilmektedir (11).

GYFC, XRD'nin belirlenmesine göre amorfür ve BET'e göre özgül yüzey alanı $2.4m^2/g$ 'dır. $Su/GYFC = 0.75$ ' tir. Hidrojen gaz oluşumu yoluyla taze halde hücrel bir yapı oluşturmak amacıyla $120 \times 120 \times 70m$ 'lik boyutlarında bir kalıp içinde yapılmaktadır. Tüm gazbeton blokları $500 kg/m^3$ 'lük bir yoğunluğa göre üretilmişlerdir. 5 saatlik kalıplama sürecinden sonra $180 ^\circ C$ ' de doymuş buhar basıncı altında 1'den 128 saate kadar değişen sürelerde otoklavlanmışlardır (11).

Tablo 3.1. XRF kullanılarak ölçülen ham malzemelerin kimyasal kompozisyonları(ağırlıkça %) (11)

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	Kızdırma. kaybı	Toplam
Cüruf	34.5	1.3	13.0	1.8	40.9	6.6		0.2	0.5	1.2	100.0
Kuvarts	94.4	0.8	1.4	1.9	0.1	0.1		0.1		1.2	100.0

XRD incelemelerinde otoklavlamadan önce reaksiyona girmeyen başlangıç malzemeleri olarak C-S-H, Ca(OH)₂ ve ettringite, alite, belite ve kuvartsın (hidratlı ürünlerdeki gibi) olduğu görülmüştür.

Tobermorite ve [Ca₃Al₂ (OH)₁₂], 1 saatlik otoklavlamadan sonra bile oluşmuşlardır. Ayrıca, 4 saatlik otoklavlamaya kadar hızlı C-S-H oluşumu gözlemlenirken, daha uzun süreli otoklavlamalarda ise C-S-H oluşumunun azaldığı gözlemlenmiştir. Tobermorite'in kristal boyutu 32 saatlik otoklavlamaya kadar artış göstermiş, bundan sonra da hemen hemen sabit kalmıştır (≈30 nm).

Bu sonuçlar tobermoritin kristal boyutunun 32 saatlik otoklavlamaya kadar arttığını ortaya koymaktadır. 4 saatlik otoklavlamaya kadar alite (2θ=34.3°'de) ve belite (2θ=32.6°'de) gözlemlenirken, ettringite ise 1 saatlik otoklavlamadan sonra bile gözlenememiştir. Cürufun ise amorf karakterinden dolayı XRD yoluyla tanınması çok zordur.

1 saatlik otoklavlamadan sonra tobermoritin ortalama Ca / (Al + Si) oranı 0.89 olarak bulunmuştur. Otoklavlama süresinin artırılmasıyla Ca / (Al + Si) oranı 0.76' ya düşmüş ve 64 saatten sonra ise sabit kalmıştır. Tobermoritin ortalama Al / (Al + Si) oranı, 28 saatlik otoklavlama sonunda 0.15' te sabit kalmıştır (11).

3.1.5.1. Granüle Öğütülmüş Yüksek Cürüflu (GYFC) ve Cürufsuz Sistemlerde Tobermorite Oluşumu

Başlangıç malzemeleri arasında GYFC bulunan ve bulunmayan sistemlerdeki tobermorit oluşum sürecinde bazı farklılıklar gözlemlenmiştir.

GYFC'lu sistemlerde, 1 saatlik otoklavlamadan sonra oluşan tobermoritin ortalama $\text{Ca} / (\text{Al} + \text{Si})$ oranı cürufsuz sistemlere göre daha düşük ve ortalama $\text{Al} / (\text{Al} + \text{Si})$ oranı ise daha yüksektir. GYFC'nun varolduğu koşullarda tobermorit, 1 saatlik otoklavlamadan sonra 0.89 $\text{Ca} / (\text{Al} + \text{Si})$ oranı ile 0.15 $\text{Al} / (\text{Al} + \text{Si})$ oranına sahip iken, cürufun olmadığı koşullarda ise bu değerler sırası ile 0.92 - 1.05 ve 0.01 -0.04 olmaktadır(11).

GYFC sisteminde, kısa otoklavlama süresi içerisinde Si' un yerini Al' a bırakmasıyla neredeyse stoykiyometrik bir $\text{Ca} / (\text{Al} + \text{Si})$ oranına sahip tobermorit oluşmaktadır. Bu durum GYFC'nun hidrotermal reaksiyonun ilk aşamalarındaki yüksek çözünürlüğünden kaynaklanmaktadır.

Bu sonuçlar, GYFC'nun kullanılması halinde üretim sürecinin kısılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Cüruf, kısa otoklavlama süreci içerisindeki tobermorite oluşumu ile çok çabuk çözülmesine rağmen, gazbetonda oluşan temel elemanlar (tobermorit, C-S-H ve hydrogrossular) cürufun en temel maddelerinden olan Mg'u çok az miktarda içerirler. Bu yüzden, MgO içeren başka bir eleman oluşur. (örneğin amorf magnezyum silikat hidrat gibi)

GYFC'nun olmadığı koşullarda tobermoritin $\text{Ca} / (\text{Al} + \text{Si})$ oranının 0.78–0.80 arasında sabit bir değere ulaşabilmesi için 16–32 saatlik otoklavlama gerekmektedir. Fakat cürufun kullanıldığı durumlarda çok farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Belirli bir oran elde edebilmek için, bu sürecin iki katından daha uzun otoklavlama süresi (64 saat) gerekmiştir(11).

Kaynaklar, silis camı veya cüruf yüzeyi üzerindeki ince fakat neredeyse geçirimsiz olan katmanın, bu malzemelerin kireçle kullanıldıkları durumlarda daha sonraki hidrotermal reaksiyonları engellediğini ileri sürmüştür.

16-32 saatten sonra cürufsuz koşullarda, kuvartsın reaksiyonu yavaşlamaktadır. Diğer yandan, cürufun kullanıldığı durumlarda kuvartsın reaksiyon derecesi 128 saate kadar sürekli bir şekilde artmaktadır. Bu sonuç, tobermorit bileşimindeki silisyum oranı artışına paraleldir (11).

Sonuç olarak şunlar söylenebilir;

- Cürufun kullanılmasıyla ilk aşamada oluşan tobermoritin cürufsuz ortamda oluşan tobermorite göre $Al / (Al + Si)$ oranının daha yüksek, $Ca / (Al + Si)$ oranının ise daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise, cürufun reaksiyonun ilk aşamalarındaki yüksek çözünürlüğüdür. Bu sonuçlar, cürufun kullanılmasının gazbetonun reaksiyon sürecini dolayısıyla üretim süresini kısaltacağı şeklinde yorumlanmaktadır.

- Otoklavlama süresinin arttırılmasıyla, cüruf liflerinin reaksiyon halkaları içeriye doğru büyümektedir. Aynı zamanda arta kalan cüruf ise bütünden çözünüp ve yuvarlak bir şekil alarak reaksiyona girmeyen cüruf ile reaksiyon halkası arasında boşluk alanlarının oluşmasına neden olmaktadır.

- Otoklavlama zamanının azalmasıyla reaksiyon halkasındaki CaO içeriği azalırken, MgO ve TiO içerikleri artmaktadır. Bu da, matriste oluşan tobermorit'e geçişinin direkt olarak değil, reaksiyon halkalarından olduğunu ve aynı zamanda bunun, reaksiyonun geç safhalarındaki tobermorit oluşumunu da geciktirdiğini göstermektedir (11).

3.2. Gazbetonun Üretim Teknolojisi

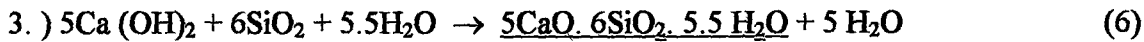
Bölüm 3.1. de tanıtılan bağlayıcı malzemeler (kireç +çimento) çok ince toz şeklinde öğütülür ve kumla karıştırıldıktan sonra su ilave edilir. Sönmemiş kireçle su reaksiyona girince büyük miktarda ısı açığa çıkar ve sönmüş kireç elde edilir. Açığa çıkan enerjinin etkisiyle karışımın sıcaklığı istenilen düzeye gelince gözenek oluşturunca alüminyum tozu eklenir.

Alüminyum tozunun açığa çıkardığı gaz habbeleri hamur halindeki malzemeyi kabartır. Böylece istenilen yoğunlukta mikro gözenekli yapı sağlanmış olur (5). Gazbetonun üretim kimyası ile ilgili aşamalar aşağıda biraz daha detaylı olarak açıklanmıştır;

Sönmemiş kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu yüksek ısı ve kalsiyum hidroksit açığa çıkmaktadır.



Açığa çıkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'e kabartıcı etkisi olan alüminyum tozu ilave edilirse hidrojen gazı açığa çıkarak malzemeyi yaklaşık iki kat kabartır.



11 A ° Tobermorit

Yukarıda üretimin kireçle ilgili olan aşamaları açıklanmıştır. Üretim aşamasında oluşan kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminatlar portland çimentosu sebebiyle de meydana gelmektedir.

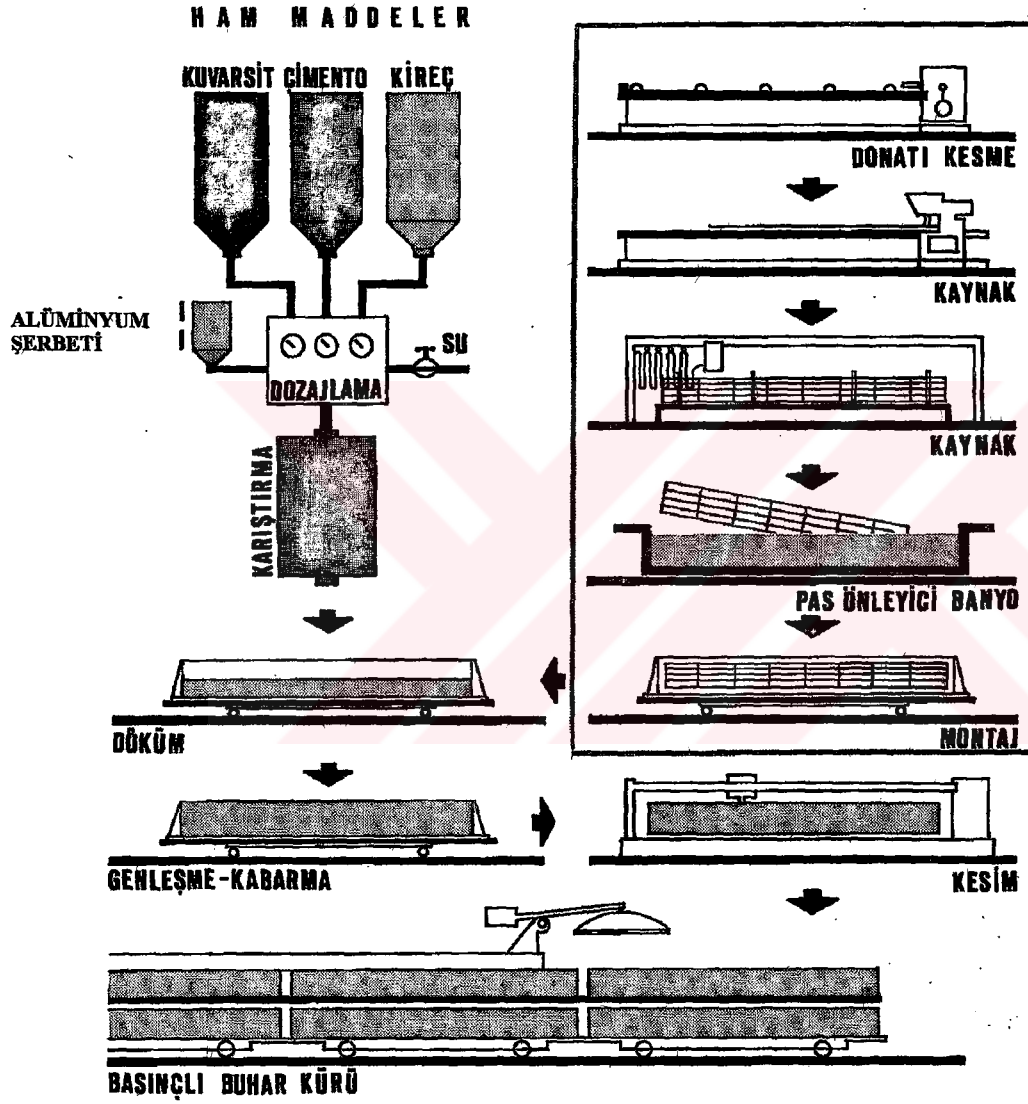
Gazbetonun kendine has düşük yoğunlukta yüksek basınç mukavemeti, otoklavlardaki buhar sertleşmesi sonucu elde edilmektedir. Kesim aşamasından sonra döküm arabaları otoklavlara alınarak doymuş buharda 12 atmosfer basınç ve 190 °C sıcaklık altında 10 saat süre ile sertleştirilir. Bunun sonucunda otoklav çıkışında gazbeton son mukavemetine ve hacim sabitliğine erişmiş olur.

Otoklavlarda buhar sertleşmesi sonucu malzemenin bünyesi çeşitli kalsiyum hidrosilikat kristallerinden oluşur. En çok rastlanan 11 Å Tobermorit ($C_5S_6H_5$) kristaldir. Her zaman olmasa da Xonolit (C_6S_6H), Gyrolit (C_2S_3), Hillebrandit (C_2SH) ve Afwilit ($C_3S_2H_3$) kristallerine de rastlandığı belirtilmektedir (5).

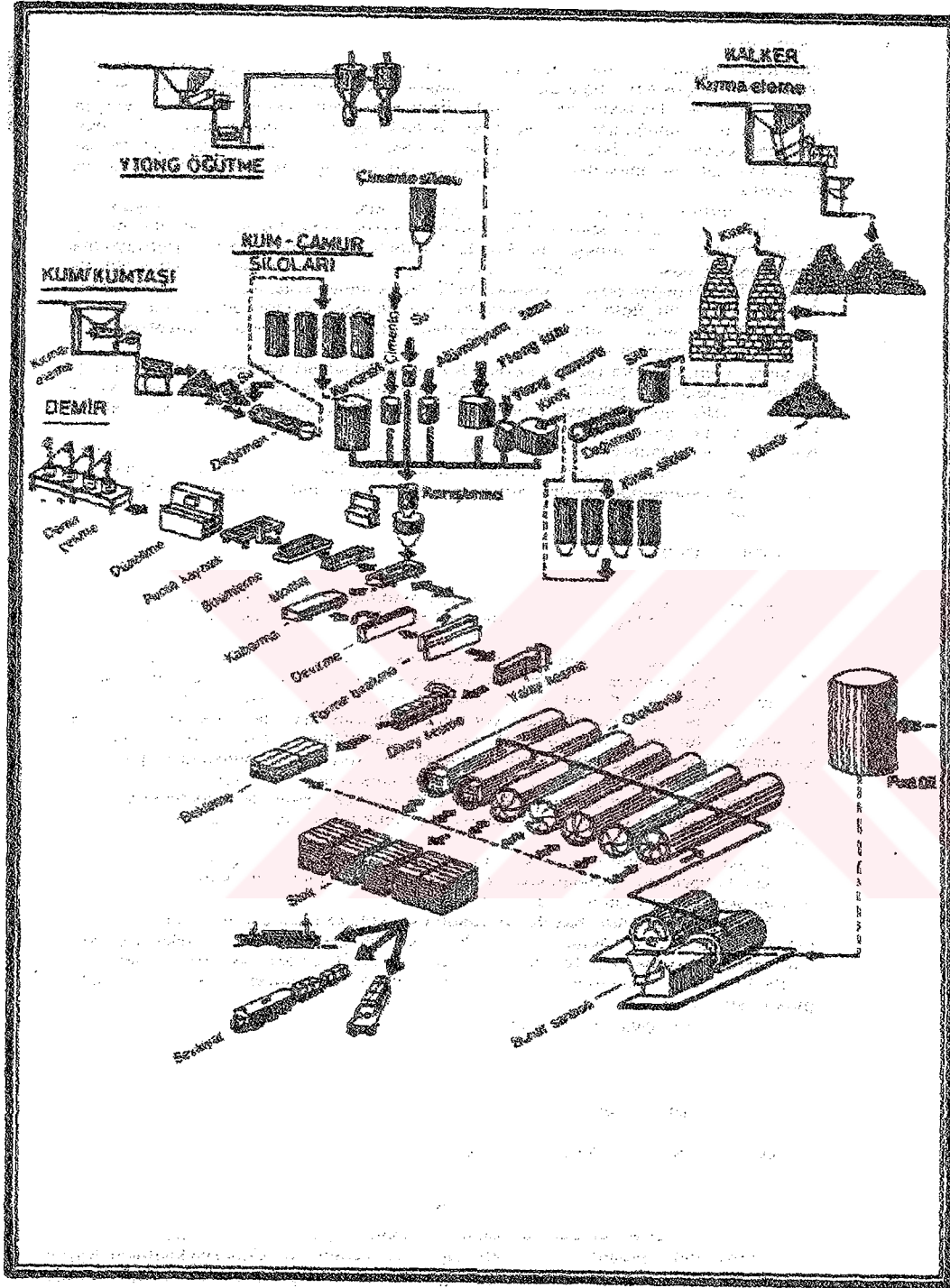
3.2.1. Üretim Aşamaları

Gazbetonun üretim akış şemaları basit ana hatlarıyla Şekil 3.1’de ve ayrıntılı olarak Şekil 3.2’de verilmiştir. Ayrıntılı bir şekilde gazbetonun üretim aşamaları fotoğraflarla desteklenerek anlatılmaya çalışılmıştır. Gazbeton üretimi ise;

- 1) Hammaddenin kalıplara dökülmesi
- 2) Malzemenin kesilmesi
- 3) Kür uygulanması
- 4) Parçalara ayrılması
- 5) Paketlenmesi
- 6) Depolanması, aşamalarıyla gerçekleştirilir.



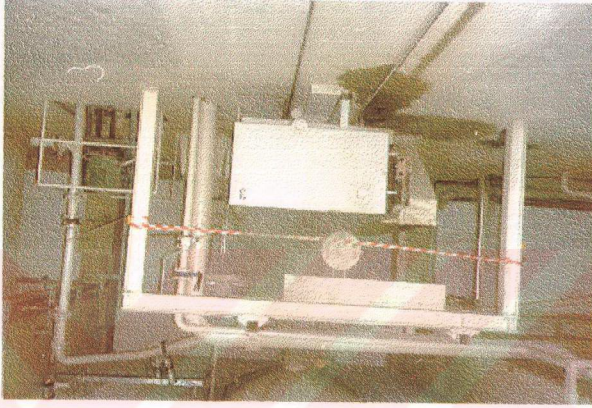
Şekil 3.1. Gazbetonun üretim akış şeması (7)



Şekil 3.2 Gazbetonun Üretim Akış Şeması (5)

3.2.1.1. Hammaddenin Kalıplara Dökülmesi

Üretim sırasında stok sahasında bulunan kuvarsit kırma tesislerinde granüler olarak küçültülür ve içine bir miktar alçı taşı eklenerek biliyalı değirtirgende öğütülerek, sürekli olarak karıştırılan silolara alınır. Bu işleme paralel olarak diğer bir tarafta sönmemiş kireç öğütülmektedir. Silolarda bekletilen hammaddeler bilgisayar yardımıyla karıştırılır, ancak aynı kalite ve standartta malzeme üretebilmek için karışımların hazırlanmasında değişik reçeteler kullanılmaktadır. Karışımın sıcaklığı istenilen dereceye geldiği zaman alüminyum şerbeti eklenmektedir. Bu işlemlerden sonra, daha önce değirtirgende öğütülen kuvarsit, çimento, kireç, alüminyum tozu ve su makinalarda karıştırıldıktan sonra elde edilen gamur kıvamındaki karışım $600 \times 150 \times 60$ cm. ebatlarındaki kalıplara dökülür (Fotoğraf 3.1).



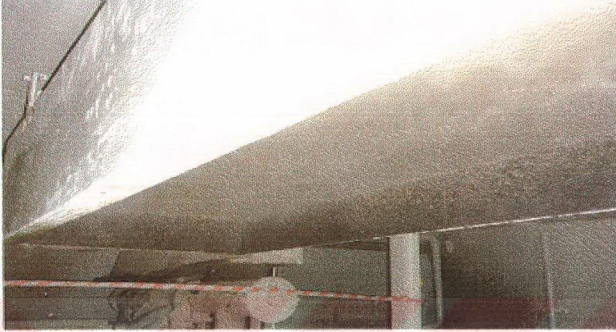
Fotoğraf 3.1. Gazbeton hamurunun kalıplara dökülmesi

3.2.1.2. Malzemenin Kesilmesi

Kalıplara dökülen hammaddenin kabarması için yaklaşık 3 - 5 dk. bir süre beklenir (Fotoğraf 3.2). Çünkü gazbeton karışımı içinde bulunan kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı, alüminyum tozunun kabartıcı etkisiyle gazbeton hamurunun kabarmasını ve gözenekli bir yapı kazanmasını sağlar. Belli bir süre sonunda kabartan ve gözenekli bir yapıya sahip olan bu kitle gerçek boyutuna ulaşarak belli bir sertlik kazanır (Fotoğraf 3.3).

Donatılı yapı elemanları üretilecekse, donatılar önceden hazırlanarak kalıpların içine yerleştirilir ve kalıp arabaları sıcaklığı sabit tutulan tünellerde bekletilerek harcın kabarması ve sertleşmesi sağlanır.

Kalıplardaki malzeme yaklaşık 3-4 saat sonra pasta kıvamına gelir. Daha sonra malzeme kalıptan çıkartılır ve kesilmek üzere taşıyıcı ray sistemine oturtulur (Fotoğraf 3.4, Fotoğraf 3.5).

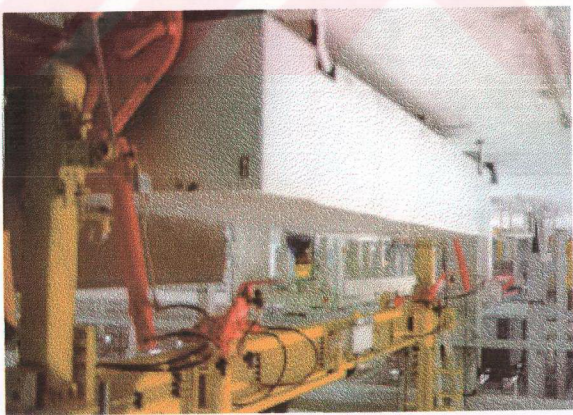


Fotoğraf 3.2. Kabarması beklenen gazbeton hamuru

Fotoğraf 3.4. Gazbetonun taşıyıcı ray sisteminde taşınması



Fotoğraf 3.3. Kabarması tamamlanmış gazbeton hamuru



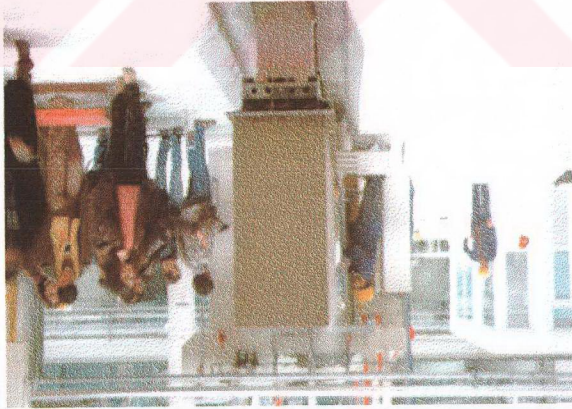
(Fotoğraf 3.8)

Kesme işlemi sonucunda artan parçalar, kesme makinasının altında bulunan kanallara dökülür. Bu kanallarda sıvı halde bulunan malzeme tekrar kullanılmak üzere biriktirilir.

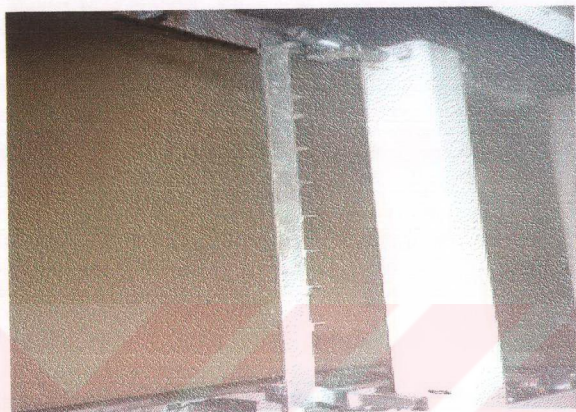
(Fotoğraf 3.6, Fotoğraf 3.7)

Kalıptan çıkarılan ve raylı sisteme yerleştirilen malzeme kesme makinasında TSE normlarına uygun ölçülerde kesilir. Kesme işleminde kesici gelik teller kullanılır.

Fotoğraf 3.5. Kesime hazır gazbeton



Fotoğraf 3.7. Gazbetonun kesilmesi



Fotoğraf 3.6. Gazbetonun kesilmesi



hale gelir (Fotoğraf 3. 10).

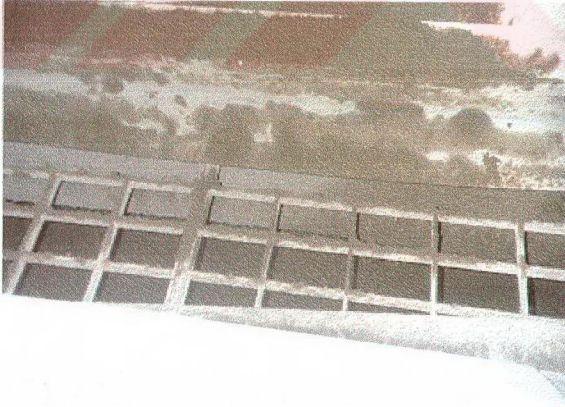
Otoklavlarda doymuş buharda 12 atmosfer basınç ve 190° C sıcaklık altında 10 saat süre ile kürlenerek sertleştirilir. (Otoklavlardaki buhar sertleşmesi sonucu malzeme bünyesinde geçitli kaolinit hidrosilikat kristalleri oluşur. En çok rastlanımı 11 Å° Tobermorit ($C_5S_6H_2$) kristaldır. Otoklavlardan çıkan malzemenin rengi değişerek beyaz

(Fotoğraf 3.9)

Kesim işlemi tamamlanan gazbeton kütesi düşük yoğunluk ve yüksek basınç mukavemetine erişmesi için taşıyıcı makinalar yardımıyla kurutma fırınlarına taşınır.

3.2.1.3 . Kür Uygulaması

Fotoğraf 3.8. Artık gazbeton parçalarının döküldüğü kanallar



Fotoğraf 3.10. Gazbetonun kurutma fırınlarında kurutulması



Fotoğraf 3.9. Gazbetonun kurutma fırınlarına taşınması



3.2.1.4. Malzemenin Parçalara Ayrılması

Kurutma fırınlarından çıkartılan malzeme soğutulmak üzere bir süre bekletilir (Fotoğraf 3.11). Özel ayırıcı makinalara yerleştirilir. Bu makinalar parçaların birbirinden ayrılmasını sağlar (Fotoğraf 3.12).

Bu ayırma işlemi sırasında bazı parçalar birbirine yapışabilir. Bu parçalar birbirinden ayrılmazlar. Bir usta mala yardımıyla yapışan parçaları birbirinden ayırır ve yüzeyi düzeltir (Fotoğraf 3.13).

Yüzey düzeltildikten sonra artan parçalar taşıyıcı bir ray sistemine boğaltılarak yeniden kullanılmak üzere hammaddelere kazanına gönderilir (Fotoğraf 3.14, Fotoğraf 3.15). Yapılan bu işlemlerle parçalar birbirinden kolayca ayrılabilircek duruma getirilirler (Fotoğraf 3.16).

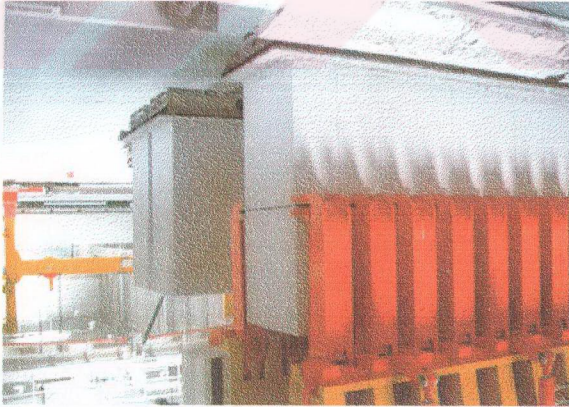


Fotoğraf 3.11. Gazbetonun kurutma fırınlarından çıkarılması

Fotoğraf 3.13. Yapısan parçaların temizlenmesi



Fotoğraf 3.12. Gazbetonun özel ayırıcı makinalara yerleştirilmesi



Fotoğraf 3.15. Artık parçaların ray sistemi ile hammade kazanına gönderilmesi



Fotoğraf 3.14. Artık parçaların ray sistemine boşaltılması

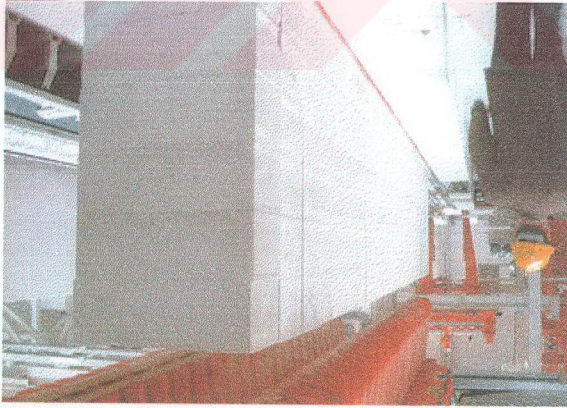


Kullanıma hazır hale getirilen gazbeton blokları paketlenmek üzere otomatik paketlenme servisine alınır ve belirli düzen ve sayıda parçalara ayrılır (Fotoğraf 3.17).

Taşıyıcı rulolar yardımıyla stok alanlarına taşınır (Fotoğraf 3.18). Fabrika dışına taşınan malzemeler taşıma araçlarıyla uygun alanlara götürülür. Bu malzemeler poşetlenerek kullanılmak üzere stoklanır (Fotoğraf 3.19, Fotoğraf 3.20).

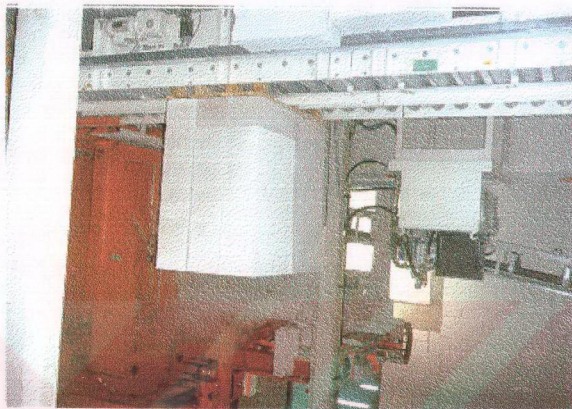
3.2.1.5. Malzemenin Paketlenmesi

Fotoğraf 3.16. Ayrılma işlemi bitmiş parçalar





Fotoğraf 3.17. Gazbetonun paketlenmeye hazırlanması



Fotoğraf 3.18. Gazbetonun taşınması

Fotoğraf 3.20. Gazbetonun stok yerlerine taşınması

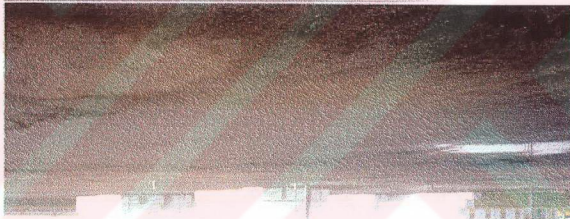


Fotoğraf 3.19. Gazbetonun posetlenmesi



3.2.1.6. Malzemenin Depolanması

Yapılan tüm bu işlemlerden sonra paketlenerek kullanıma hazır hale getirilen gazbeton malzemeler açık veya kapalı mekanlarda depolanırlar (Fotoğraf 3.21).



Fotoğraf 3.21. Gazbetonun depolanması

3.3. Gazbetonun Sınıflandırılması

Gazbeton TSE 453 Standardına göre; donatılı olup olmadıklarına, basınç mukavemetlerine ve birim hacim ağırlıklarına göre çeşitli şekilde sınıflandırılmaktadır. (20).

Donatılı olup olmadıklarına göre 2 sınıfa,

- 1) Yapı malzemesi
- 2) Yapı elemanı

Basınç mukavemetlerine göre 5 sınıfa,

- 1) 15 kgf / cm² (G1)
- 2) 25 kgf / cm² (G2)
- 3) 35 kgf / cm² (G3)
- 4) 50 kgf / cm² (G4)
- 5) 75 kgf / cm² (G6)

Birim hacim ağırlıklarına göre 5 sınıfa ayrılmaktadır.

- 1) 0.4 kg / dm³
- 2) 0.5 kg / dm³
- 3) 0.6 kg / dm³
- 4) 0.7 kg / dm³
- 5) 0.8 kg / dm³

TSE 453 / 1988' de belirtilen gazbeton tipleri de gözenekli beton yapı malzemesi ve gözenekli beton yapı elemanları olarak tiplere ayrılmaktadırlar (19).

Gözenekli beton yapı malzemesi 4 tipe,

- 1) Tutkalla uygulanan duvar blokları (T)
- 2) Harçla uygulanan duvar blokları (H)
- 3) Asmolen bloklar (A)
- 4) Yalıtım plaklar (Y)

Gözenekli beton yapı elemanları 6 tipe ayrılmaktadır.

- 1) Kapı ve Pencere Lentoları (L)
- 2) Döşeme Plakları (D)
- 3) Çatı Plakları (C)
- 4) Düşey Duvar Elemanları (DD)
- 5) Yatay Duvar Elemanları (YD)
- 6) Yalıtım Elemanları (YE)

Gazbetonun donatılı olup olmaması, kullanım yerine göre değişmektedir. Donatısız ürünlerin genel kullanım alanları daha çok dolgu duvarları ve ayırma için kullanılan duvarlardır.

Özel kullanım alanları ise; büyük ocakların çevreleri, fermentasyon kulelerinin ısı izolasyonlu kaplamaları ve bazı evlerin çatılarıdır. 1-3 mm arasında ince derzli olarak yapılan duvarlar Almanya ve diğer Avrupa ülkelerinde kullanılmaktadır. Fakat İngiltere ve Doğu Avrupa'da buna pek rastlanmamaktadır. Gazbetonla yapılan bodrum duvarları su tehlikesine karşı korunmalıdır.

Zemin şartlarına bağlı olarak, gazbeton toprak altındaki rutubete karşı koruma yapılmadan da kullanılabildiği belirtilmektedir. Bu uygulamaya örnek olarak İngiltere

gösterilmektedir.

Gazbeton T kırılsıyla beraber kullanıldığında basit ve ekonomik döşeme yapımı mümkün olmaktadır. Ayrıca İngiltere, Avusturya, Portekiz gibi ülkelerde farklı uygulamaya tekniğinin de görüldüğü belirtilmektedir (9).

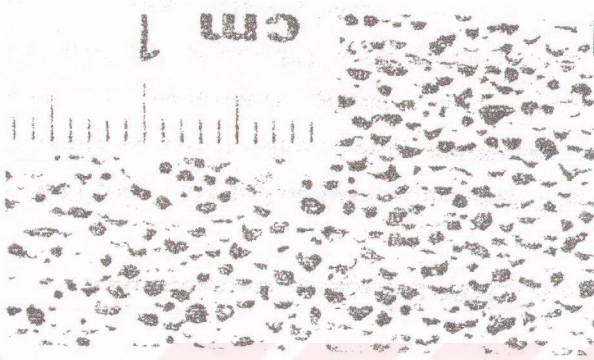
Donatılı gazbetonlar ise, çatı ve zemin döşemelerinde, duvar panellerinde, belli bir yük almaya müsade edilebilen duvarlarda kullanılmaktadır ancak bu elemanlar boşluk oranı, taşımaları gereken yükü göre sınırlandırılmıştır. Boşluk miktarı arttıkça, yük alma kapasitesi önemli ölçüde azalacaktır. Gazbeton ile birlikte donatı kullanıldığı zaman donatı korozyona karşı korunmalıdır. Hollanda'da duvar panelleri uzunlamasına demir çubuklarla yapılmaktadır. Bunun sebebi nakliye sırasında koruma sağlamak içindir. Donatı çapraz bağlamalar içermez ve korozyona karşı ilave koruma yapılmaz. Maximum üretim uzunluğu 6 m' dir. Bazı durumlarda 7,5 m olmaktadır. Genişliği normalde 0,60-0,625 m arasındadır, fakat bazen 0,75 olmaktadır. Bu ürünlerin kalınlığı genellikle 100-300 mm arasında değişmektedir. Japonya ve ülkemiz gibi deprem bölgelerinde kalınlıkları daha azdır. 30-50 mm olmaktadır. Özellikle Doğu Avrupa'da ki ülkelerde duvar panelleri pencerelele birleştirilerek daha büyük duvarlar olarak yapılmaktadır. Hazır eleman siva altı tabakasına kadar bitmiş olarak şantiyeye gelmekte, son siva tabakası ise şantiyede yapılmaktadır.

Bazı uygulamalarda beton, siva veya akrilik reçine tabakasından oluşan son bitirme katmanı da fabrikada yapılmış olarak şantiyeye getirilebilmektedir. Özel yapılmış olan gazbeton duvar malzemeleriyle endüstriyel binalarda ilginç kaplamalar da yapılmaktadır. Almanya ve Japonya da bunun örneklerine rastlamak mümkündür (9).

BÖLÜM 4: GAZBETONUN ÜRÜN ÖZELLİKLERİ

Gazbeton boşluklu bir yapıya sahip malzemedir (Şekil 4.1). Yapısında bulunan 0.5–1.5 mm arasında yuvarlak makro gözenekler mikro gözenekler ile çevrelenmiştir. Gazbeton hacminin yaklaşık olarak % 80'inin boşluklu olmasından dolayı $1m^3$ hammaddede ile $4m^3$ lük malzeme üretilir. Boşluk oluşturulmuş ve sertleştirilmiş malzemede ki hacim yaklaşık iki kat kadar genişler ve malzemenin yaklaşık % 50' si hava boşluğu, % 30'u küçük boşluklar ve % 20'si ise katı malzemeden oluşur. Katı madde/gözenek oranı malzemenin birim hacim ağırlığı ve fiziksel tüm özelliklerini belirler. Gözenekleştirici katkı maddesi olan alüminyum tozunun dozunu ayarlayarak, istenen fiziksel özelliklerde gazbeton üretmek mümkündür (5).

Malzemenin gözenekli olması yoğunluğunu ve buna bağlı olarak da malzemenin ağırlığını düşürmektedir. Tablo 4.1'de yoğunluk sınıflandırılmasına bağlı olarak gözenek oranının değişimi görülmektedir (2).



Şekil 4.1. Gazbetonun boşluklu yapısının mikrografi (2)

4.1. Gazbetonun Fiziksel Özellikleri

Malzemeler kullanım sırasında yapı fiziki açısından birtakım dış etkilere maruz kalmak durumundadırlar. Gazbetonun ısı iletkenliği, nem ve etkileri, ses yalıtımı ve yangın dayanımı gibi özellikleri araştırmacıların çalışmalarna konu olmuştur. Bu bölümde, yurt dışında yapılan deneylerin belirlendiği verilerle birlikte bu çalışmaların sonuçları incelenmektedir.

Aşağıdaki bölümlerde gazbeton özellikleri fiziksel özellikler ve mekanik özellikler olarak ayrıca incelenmiştir.

Gazbeton taşıyıcı eleman olarak da kullanılabildiği için mekanik özelliklerinin ayrı bir önemi vardır. Yapı fiziki, enerji tasarrufu ve konfor şartları açısından da diğer fiziksel özellikleri (ısı iletkenliği, su emme oranları vb.) önemlidir.

SİNİFİ (kg / dm ³)	GÖZENEK ORANI (%)
0.8	69 – 73
0.7	73 – 77
0.6	77 – 81
0.5	81 – 85
0.4	85 – 88

Tablo 4.1. Gazbetonun gözenek oranı(2)

4.1.1. Isı İletkenliği

Isı sıcaklık farkı yardımıyla bir ortamdan diğer bir ortama geçen bir enerji çeşitidir. Isı akışı belirli bir alandaki ısı enerjisi transferinin oranı olarak tanımlanmaktadır. İki ana transfer mekanizması vardır: iletim ve radyasyon (17). Gazbeton gibi katı malzemelerde ısı, etkin olarak iletim yoluyla taşınmaktadır.

Isı sürekli olarak bir denge arayışı içindedir. Sıcak cisimden soğuk cisme doğru iletilir ve birimi joule'dür. Birim zaman başına enerji ise joule/s = Watt'dır. Isı iletkenliği ısı iletimi için temel kavramdır ve λ ile gösterilir. Isı iletkenliği; kararlı rejim halinde yani sabit sıcaklıklar etkisinde bulunan homojen bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyi arasında 1°C sıcaklık farkı olduğunda 1m^2 alandan ve bu alana dik birim zamanda geçen ısı enerjisi miktarıdır. Birimi W / mK ' dir.

Bir malzemenin ısı iletkenliği yoğunluğuna, gözeneklerin büyüklüğüne, dağılımına ve rutubetine bağlıdır. Bir malzemenin ısı iletkenliği laboratuvar ortamında ve malzemenin tamamen kuru olduğu durumda test edilerek bulunmaktadır. Ancak doğal ortamda malzemenin tam olarak kuru halde bulunması mümkün değildir.

Bu sebeple şartnamelerde higroskopik denge rutubetindeki malzemenin ısı iletkenlik değeri verilmektedir ve λ_h sembolüyle gösterilir. λ_h değeri de TSE 388 Plaka metodu ile ısı iletkenliğinin tayini esaslarına göre tespit edilen λ 'ya bir güvenlik faktörü olan ve malzemeden malzemeye değişen bir Z değerinin eklenmesiyle bulunmaktadır. Duvar yapımında kullanılan bazı malzemelerin TSE 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'na göre ısı iletkenlik değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir (5).

Tablo 4.2. Malzemelerin ısı iletkenlik değerleri (5)

Malzeme veya bileşenin çeşidi	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W / mK)
Kireç – çimento harçlı sıva	0.87
Çimento harçlı sıva	1.40
Perlitli sıva (400 – 800 kg / m ³)	0.14 – 0.29
Yatay delikli tuğla duvarlar	0.45
Tutkallı gazbeton duvarlar (G2 / 04)	0.15
TS 4916' ya uygun harç kullanılan gazbeton duvarlar	0.14
Boşluklu briket duvarlar	0.35
Hafif beton duvar plakları	0.29
Normal donatılı beton	2.10
Normal donatısız beton	1.74

Gazbetonun ısı iletkenliği öncelikle yoğunluğuna bağlıdır. Bu iki değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek için aşağıdaki denklem geliştirilmiştir.

$$\lambda = (2.43 \times 10^{-4}) \rho + (4.62 \times 10^{-3}) \quad (7)$$

λ = Gazbetonun W / (m.K) cinsinden ısı iletkenliği

ρ = Gazbetonun kg / m³ cinsinden yoğunluğudur.

Bu denklem, gazbetonun ısı iletkenliği ile yoğunluğu arasındaki ilişkiyi belirleyen basitleştirilmiş bir yöntemdir ve nem içeriği % 1.6 ile % 5 arasında değişen gazbetonlar için geçerli olduğu belirtilmektedir (17).

Isı akışı mekanizmasının iletim ve radyasyon yolu ile olduğundan kısaca bahsedilmiştir. Bu iki mekanizma için biraz daha geniş bilgi verilmeye çalışılmıştır.

4.1.1.1. İletim

İletim, ilk ısı transferi mekanizmasıdır ve aynı bütünün iki parçası arasında veya iki bütün arasında birbirleriyle fiziksel kontakta oluşan moleküler kinetik enerji değişiminden kaynaklanan ısı iletimidir.

İletimle ısı transferi Fourier Kanunu'nda aşağıdaki gibi açıklanmaktadır;

$$q_y = -\lambda (\partial T / \partial y) \quad (8)$$

Burada $q_y = W / m^2$ cinsinden y-doğrultusundaki ısı akı $\lambda = W / (m \cdot K)$ cinsinden ısı iletkenliği ve $(\partial T / \partial y) = y$ -doğrultusundaki sıcaklık eğimi K / m cinsinden alınır.

Isı akışı her üç boyutta da olur, fakat inşaat malzemelerinin atalet çalışması için tek boyutlu ısı akışı yeterlidir.

4.1.1.2. Radyasyon

İkinci ısı transferi mekanizması da radyasyondur. Radyasyon uzayda elektromanyetik dalgalar halinde veya farklı fotonlar olarak yayılan enerjidir. En çok tanınan ve en önemli radyasyon çeşidi solar (güneş ışığı) radyasyonudur.

Mackey ve Wright (1942), emilen solar radyasyonun bir duvar yüzeyi üzerindeki etkisini araştırmak için eş değerdeki bir dış hava sıcaklığını veya solar hava sıcaklığını kullanmayı önermişlerdir (12). Bu etkiyi aşağıdaki formülle ifade etmişlerdir;

$$T_e = T_a + [(aI)/h_L] = T_a + (aIRe)$$

T_e = Duvardaki güneş ışıının etkisini içeren dış hava eşdeğer sıcaklığı

(solar hava sıcaklığı), K (°C) cinsinden

T_a = Dış hava kuru termometre sıcaklığı, K (°C) cinsinden

a = Dış duvar yüzeyinin güneş ışıını emme oranı

I = Güneş ışıının şiddetinin dış duvar yüzey üzerindeki etkisi,

$$W / (m^2 \cdot \lambda)$$

h_L = Dış yüzey film katsayısı,

$$W / (m^2 \cdot \lambda)$$

Re = Dış hava tabakasının ısı direnci ($1 / h_L$),

$$(K \cdot m^2) / W$$

Solar-hava sıcaklığı herhangi bir elemanın gölgedeki dış hava sıcaklığı ve güneş ışıının birlikte etkisinde kaldığı zaman tanımlanan bir teorik hava sıcaklığıdır. Ancak bu sıcaklığı kullanarak hesap yapıldığında, eleman hem dış hava hem de güneş etkisinde kaldığında meydana gelecek sıcaklık dağılımına ve ısı iletimine eş değer sıcaklık dağılımı ve ısı iletimi hesaplanır.

4.1.2. Isıl Atalet

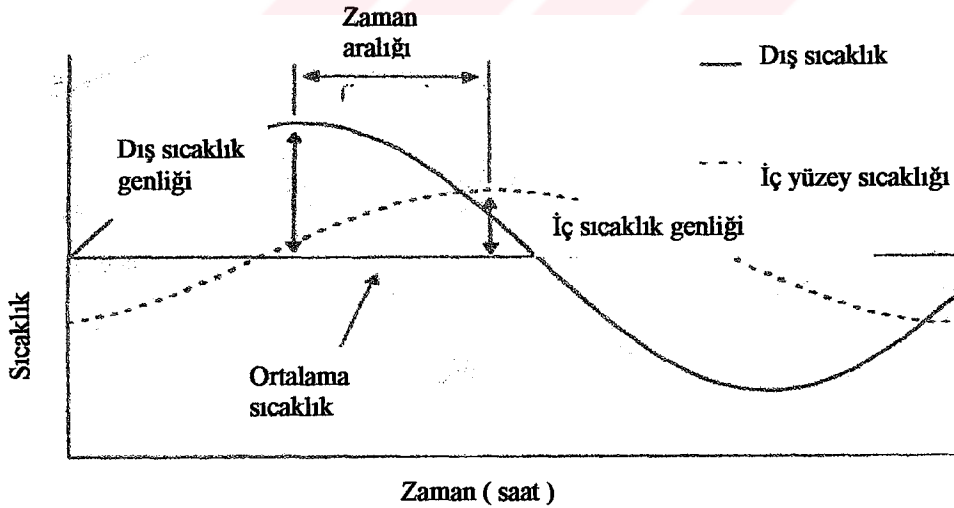
Yeryüzünün gün boyunca ısınması ve gece boyunca soğumasından dolayı bina yüzeyindeki ısı transferi en iyi şekilde periyodik olarak tanımlanabilir. Periyodik ısı transferi, duvardaki veya çatıdaki ısı transferinin sürekli bir şekilde değiştiği fakat bu değişikliklerin belirli bir zaman periyodu içinde belirli bir seriye uygun olarak oluştuğu yarı-sabit-durum koşulu olarak tanımlanır. Binalarda periyod 24 saat olarak alınır.

Sıcaklığın periyodik değişimi sonucu ısının bu periyodik transferinin sonuçları ısı atalet olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak ısı ataletinin, bir cismin sıcaklığının çevre sıcaklığına ulaşmasındaki yavaşlık derecesi olarak tanımlandığı belirtilmektedir. Isıl atalet yaz şartlarında binalar içinde daha önemli olmaktadır.

Bir bina solar radyasyon (güneş ışığı) ve daha yüksek hava sıcaklığının kombinasyonu ile gün içinde ısındığından dolayı, binanın iç sıcaklığı da aynı oranda olmasa da artmaya başlar. Çoğu zamanda içerideki sıcaklık dışarıdaki sıcaklıkla dengeye ulaşmadan dış sıcaklık azalmaya başlar. Bu yüzden iç ve dış ortamda sabit sıcaklıklara ve denge şartlarına asla ulaşılamaz ve sabit-rejim koşulu asla oluşmaz. Şekil 4.2’de bu durum açıklanmaktadır.

Literatürlerde ısı atalet faz kayması ve azaltma faktörü parametreleri ile tanımlanır. Bu parametreler sırasıyla malzemenin yoğunluğu, özgül ısı ve ısı iletkenliği ile kalınlığı (ısı direnci) arasındaki ilişkiye dayanmaktadır.



Şekil 4.2. Güneşli bir gün için periyodik ısı transferi: Dış solar-hava sıcaklığı ile iç duvar sıcaklığının günün belirli saatlerinde karşılaştırılması (17)

Isıl ataleti 2 ana parametre belirlemektedir;

1) Zaman gecikmesi (faz kayması), Δt (saat cinsinden): Duvar iç yüzey sıcaklığı ile dış yüzey sıcaklığı (solar-hava) nın en yüksek değerleri arasındaki zaman farkıdır.

2) Sönüm oranı, (A_i / A_d) (birimsiz): İç yüzey sıcaklık değişim genliğinin (A_i), dış yüzey sıcaklık (solar sıcaklık) değişim genliğine (A_d) oranıdır.

Şekil 4.2 Sıcaklık- zaman ölçülerine dayanarak bu parametrelerin nasıl belirleneceğini göstermektedir. Faz kayması direk grafikten okunabilir. Sönüm oranı için ise aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (3)

$$A_i / A_d = (T_{i\max} - T_{i\text{ortalama}}) / (T_{d\max} - T_{d\text{ortalama}}) \quad (9)$$

$T_{i\max}$ = İç yüzey sıcaklıkların max. değeri

$T_{d\max}$ = Dış yüzey sıcaklıkların max. değeri

$T_{i\text{ortalama}}$ = İç yüzey sıcaklıkların ortalama değeri

$T_{d\text{ortalama}}$ = Dış yüzey sıcaklıkların ortalama değeri

Eğer ölçüm sonuçları yok ise faz kayması ve sönüm oranının aşağıdaki şekilde hesaplanabileceği belirtilmektedir (13).

$$A_i / A_d = [2 / (F^2 + G^2)]^{1/2} \quad (10)$$

$$\Delta t = \phi_1 / 15 \quad (11)$$

$$\phi_1 = \tan^{-1} [(F - G) / (F + G)]$$

$$F = (\pi_1 + 1)C_1 + (C_3 / \pi_3) + 2\pi_1\pi_3 C_4$$

$$G = (\pi_1 + 1)C_2 + (C_4 / \pi_3) - 2\pi_1\pi_3 C_3$$

$$C_1 = \cos \pi_2 \cosh \pi_2 + \sin \pi_2 \sinh \pi_2$$

$$C_2 = \cos \pi_2 \cosh \pi_2 - \sin \pi_2 \sinh \pi_2$$

$$C_3 = \sin \pi_2 \cosh \pi_2$$

$$C_4 = \cos \pi_2 \sinh \pi_2$$

$$\pi_1 = h_o / h_L = R_e / R_i$$

$$\pi_2 = sL$$

$$\pi_3 = (\lambda s) / h_o = \lambda s R_i$$

$$s = [(0.1309 \rho c) / k]^{1/2}$$

$$\lambda = \text{ısı iletkenliği}$$

$$\rho = \text{yoğunluk}$$

$$c = \text{özgöl ısı}$$

$$h_o = \text{iç hava film ısı iletimi katsayısı}$$

$$h_L = \text{dış hava film ısı iletimi katsayısı}$$

$$R_i = \text{İç hava film ısı direnci}$$

$$R_e = \text{Dış hava film ısı direnci}$$

(10) ve (11) nolu denklemlerle hesaplanan faz kayması da, sönüm oranı da birinci harmonik değerlerdir. Kesin sonuç harmonik seri ile ifade edilen karma bir toplamının sonucu olarak elde edilir. Fakat pratikte birinci harmonik değerler yeterli görülür. Bu formüllerdeki değişkenler iç ve dış yüzey film katsayıları, malzemenin yoğunluğu, malzemenin özgül ısısı, malzemenin ısı iletkenliği ve elemanın kalınlığıdır.

Film katsayıları yüzeyden havaya veya havadan yüzeye konveksiyon ve radyasyonla gerçekleşen ısı iletimini temsil ederler. Aslında pek çok faktörün etkisinde olan ve değişken değerlerdir.

Ancak hesap kolaylığı açısından yapı elemanının düşey veya yatay olmasına ve yüzeyin iç veya dış olmasına göre standartlarda verilen sabit değerler kullanılır (13). Burada teklif edilen değerler sırasıyla;

1. Malzemenin yoğunluğu
2. Malzemenin özgül ısısı
3. Malzemenin ısı iletkenliği
4. Duvarın veya çatının kalınlığı

Değişkenlerden duvar kalınlığı hariç diğerleri malzemenin bir fonksiyonudur (malzeme sabitidir). Dolayısıyla herhangi bir kalınlık için belli bir malzemeye ait faz kayması ve sönüm oranı o malzemenin karakteristiklerinden (yoğunluğu, ısı iletkenliği, özgül ısısı) faydalanılarak hesaplanabilir.

Isı akımı problemleri için iki genel yaklaşım vardır; ısı direnci ve ısısal atalet. Her iki metodun dezavantajları olmasına rağmen, ısı akımının ısısal atalet yaklaşımı ile incelenmesi daha doğru sonuçlar verir. Çünkü böylece iç ve dış hava sıcaklıklarının gün boyu gerçekleşen değişimlerinin de dikkate alınması mümkün olur. Katı malzemedeki ısı akışı sabit değildir.

Malzeme içindeki fononların etkileşmesi sonucu elemanın bir yüzeyindeki sıcaklığın etkisi ile diğer yüzeyinde meydana gelecek sıcaklık değişimi arasında bir zaman gecikmesi meydana gelir. Isıl atalet yaklaşımındaki faz kayması bu gecikmeyi ifade eder. Halbuki ısısal direnç metodu sabit sıcaklık şartlarında geçerlidir ki bu gerçek duruma aykırıdır.

Gazlarda atomlar ve moleküller sürekli hareket halindedirler. Isıl enerji arttıkça hızları artar. Katılarda ise atomlar arası kuvvetli bağlar nedeni ile hareketleri kısıtlıdır, ısısal enerji etkisiyle ancak denge konumu etrafında titreşim hareketi yapabilirler, titreşim yaparken bağ boyları arttığından ısısal genleşme oluşur. Atomlar arası bağ kuvvetleri elastik yay gibi davranarak titreşimleri atomdan atoma termoelastik dalgalar halinde iletirler.

Bu termoelastik dalgaların frekansları ve hızları malzemenin atomsal yapısına, atomlar arası bağ kuvvetine, elastik rijitliğine ve yoğunluğuna bağlıdır.

Belirli bir enerji paketine sahip olan termoelastik dalgaların hareketi, elektronlarda olduğu gibi **fonon** denen parçacıkların hareketine benzetilir. Her fonon belirli bir enerji içerir ve bu enerji fononun titreşim frekansı ile orantılıdır. Bir kütlenin asıl enerjisi yaklaşık olarak mevcut fononların enerjilerinin toplamı kadardır (14). Isıl ataletin diğer bir avantajı da, yapı malzemelerinin ısı depolama yeteneği / kapasitesini de göz önünde bulundurmasıdır. Isı enerjisinin hepsi malzemeden iletilmez, bir kısmı malzemenin bünyesi içinde depolanır. Bu olaya örnek olarak ısı adası etkisi örnek gösterilebilir. Gün boyunca ısı enerjisinin bir bölümü asfaltlarda, bina duvarlarında ve diğer elemanlarda depolanmakta, gece saatlerinde ise (solar sıcaklık düşmekte) depolanan bu ısı enerjisi tekrar radyasyonla havaya iletilmektedir.

Sonuç olarak şehirlerdeki gece hava sıcaklığı, kırsal alanlardan daha fazla olmaktadır. Isıl direnç bu durumu hesaba katmamaktadır. Açıklanan bu iki faktörden dolayı ısı atalet metodu bina kabuğundaki ısı akımını daha doğru bir şekilde tanımlar.

4.1.2.1. Gazbetonun Isıl Atalet Davranışları İle İlgili Araştırmalar

Binalardaki ısı ataletten dolayı elde edilen enerji tasarrufu ile ilgili birkaç çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisi İsveç'te, ısı geçirgenlikleri (toplam ısı geçirgenlikleri $\equiv u$ değeri) yaklaşık olarak aynı, fakat ısı ataletleri farklı olan yalıtılmış bir metal çatı ile gazbeton çatı üzerinde yapılmıştır.

Bu çalışmadaki ısı akımı ve maliyet analizlerine göre, metal çatılı bina; metal çatının düşük ısı ataletinden dolayı binanın m^2 maliyetinin yaklaşık % 25'i kadar m^2 başına ilave maliyet gerektirmiştir. Bu ilave maliyet ısı konforu sağlamak üzere iç hava şartlandırılması nedeniyle gerekmiştir. (3)

Isıl ataletin enerji tasarrufu konusunda ikinci bir çalışma da, Japonya Otoklavlı Hafif Beton Birliği (Autoclaved Lightweight Concrete Association of Japan) tarafından 20 konut birimi üzerinde yapılmıştır. Bu konutların 12 tanesi tek aile konutu olmakla beraber bunlardan 6 tanesi ahşap, diğer 6 tanesi de gazbeton strüktürüne sahiptir. Diğer 8 konut birimi de yarısı betonarme yarısı gazbeton strüktürlü, çok aileli apartmanlardır.

Burada her durumda da gazbeton strüktürlü birimlerin karşıtlarından daha az enerji tükettikleri gözlemlenmiştir. Gazbeton strüktürüne sahip birimlerin, ahşap evlerin harcadığı enerjinin yalnızca % 65'ini, betonarme strüktürlü apartmanların harcadığı enerjinin de % 72'sini harcadığı görülmüştür (3).

Üçüncü bir çalışma da, Pittsburgh Üniversitesi, Duquesne Light Co, T. Ryan Enterprises ve Equity Builders tarafından ortaklaşa yapılan, 1875ft²' lik iki aynı ev arasındaki enerji tüketimi oranlarını karşılaştırmadır. Evlerden birisi geleneksel malzemeler ile inşa edilmiş iken (tuğla, ahşap, beton kagir birimler), diğer ev ise gazbetondan prefabrike olarak yapılmıştır. Her iki ev de çalışma boyunca (17 Ocak – 16 Ağustos 1995 tarihine kadar) boş bırakılmıştır.

Bu süreç içerisinde toplanan verilerin bazıları büyük hata içerdiğinden ayıklanmış olmakla birlikte kalan datalar göstermiştir ki; gazbetonla yapılan ev bahar ayları boyunca geleneksel ev ile aynı enerjiyi kullanırken, yaz aylarında geleneksel evin kullandığı enerjiden % 9.41 daha az enerji tüketmiştir (17).

4.2.2. Gazbetonun Isıl Atalet Açısından Avantajı

Isı akımına, ısıl atalet yaklaşımı ile bakıldığında ısı akımının bina kabuğunun kütlelerinin artışı ile büyük ölçüde etkilendiği görülür. Bu metod kalın ve ağır duvarların yapımını getirmiştir. Kerpiç ve dolu tuğla bu tür malzemeye örnek teşkil etmektedir.

Ancak bina kabuğunun kütlesini arttırmak pratik ve maliyet açısından akılcı bir çözüm değildir. Isıl ataletin parametreleri sadece kütleye (yoğunluğa) bağlı değildir. Aynı zamanda ısı iletkenliği ve malzemenin özgül ısısına da bağlıdır. Gazbeton, düşük yoğunlukla birlikte optimum ısıl atalet sağlamayı başaran kendine has özelliği ile bina kabuğunun kütlesinin arttırılmasının tek şart olmasını bir ölçüde ortadan kaldırmıştır.

Thermal Inertia Properties Of Autoclaved Aerated Concrete adlı (17) nolu makalede bu konuyla ilgili geniş bir araştırma yapılmıştır. Aşağıda deney tekniği ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

Deneyde çeşitli gazbeton ve geleneksel yapı malzemeleri örneklerinin ısıl atalet parametrelerini belirlemek için geliştirilmiş bir “sıcak-kutu” tasarımı kullanılmıştır. Bu kutu sıcak tarafı kapalı, soğuk tarafı ise çevredeki ortam koşullarına açık şekilde düzenlenmiştir.

Kutunun içine yerleştirilen infrared lamba ile numune üzerinde belirli bir homojen solar-sıcaklık elde edilmeye çalışılmıştır. Numunenin duvar içindeki yüzeyleri ise kalın bir yalıtımla kaplanarak bu yöndeki ısı iletimleri en aza indirilmeye çalışılmış ve tek boyutlu ısı iletim şartlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu iki şartı yerine getirebilmek amacıyla, 10.2cm kalınlıkta 20.3x20.3cm² alanlı numuneler kullanılmıştır. Deney sırasında dış yüzey sıcaklığı 24 saatlik bir periyodla değiştirilmiş, sıcaklık değerleri 15dk.’da bir kaydedilmiştir.

İnfrared lamba bir voltaj kontrol regülatörüne bağlanarak deney numunesinin dış yüzündeki temsili solar sıcaklığı uygun aralıklarla değişimini sağlamıştır. Deneyde, üç geleneksel yapı malzemelerinin yanında 5 farklı yerlerde üretilen gazbeton örneği incelenmiştir. Bunlar;

1. New England Power gazbeton
2. Ohio Edison # 1 gazbeton
3. Georgia Power gazbeton

4. Alabama Power gazbeton (yüksek yoğunluklu)
5. Alabama Power gazbeton (düşük yoğunluklu)
6. Beton
7. Redland tuğlası
8. 1.3 cm kontrplak + 8.9 cm masif ahşap

Seçilen gazbeton örnekleri, değişik yoğunluk, gözenek büyüklüğü ve gözenek oranına sahiptirler. Seçilen geleneksel malzemeleri ise, bina yapımında sık kullanılan malzemelerdir. Bulunan deney sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Masif ahşap numune haricinde gazbeton örnekleri diğer geleneksel malzemelerden çok daha fazla ısısal atalet göstermişlerdir. Beton ve tuğla örneklerindeki iç duvar yüzey sıcaklıkları, tüm gazbeton örneklerine karşılık hemen hemen her zaman çok daha fazla bulunmuştur. Tüm testlerdeki iç hava sıcaklığı, oldukça standart olduğu için, yüksek dış yüzey sıcaklığı, odanın içerisine yüksek derecede ısı akışı anlamına gelmektedir. Sonuç olarak geleneksel yapı malzemelerinin (masif ahşabın dışındaki) mekana (soğuk tarafa) gazbeton örneklerinden daha fazla ısı enerjisi transfer ettikleri görülmüştür.

Yüksek ısı akışı, sönüm oranlarındaki gözlenen farklılıklar yolu ile doğrulanmaktadır. Her durumda gazbeton örneklerinin sönüm oranları yaklaşık 0.10 iken, tuğla ve beton örneklerindeki sönüm oranları yaklaşık 0.40’tır. Yani 4 kat daha fazladır. Isıl atalet yaklaşımındaki ve periyodik ısı akışı modelindeki sönüm oranı ısı direnç metodundaki ısı direnci ile benzerdir. Her iki faktörde (sönüm oranı ve ısı direnci), bir duvarın yalıtım kabiliyetinin ölçümünü sağlamaktadır. Sönüm oranı faktörü ne kadar yüksek ise yalıtım o kadar düşüktür ve ısı akışı o kadar fazla olmaktadır (17).

Çok daha düşük sönüm oranı faktörlü gazbeton blokları, bu örneklerde daha az ısı akışı olduğu anlamına gelmektedir. Bu sonuçlar gazbetonun geleneksel tuğla ve betona nazaran daha iyi bir ısı yalıtım özelliği gösterdiğini belirtmektedir.

Tablo 4. 3. Gazbeton ve Geleneksel Yapı Malzemelerinin Isısal Atalet Özellikleri(17)

Değişkenler	New England Power Gazbeton	Ohio Edison# 1 Gazbeton	Georgia Power Gazbeton	Alabama Power Gazbeton (LD) ^b	Alabama Power Gazbeton (HD) ^b	Beton	Ahşap + Kontraplak	Tuğla
Max. Dış yüzey Sıcaklık	47	47	47	48	47	44	45	45
Ortalama Dış yüzey Sıcaklık	31.99	31.36	31.39	31.47	31.42	31.13	30.97	31.16
Max. İç yüzey Sıcaklık	26	25	25	25	25	32	25	31
Ortalama İç yüzey Sıcaklık	24.35	23.51	23.34	23.46	23.55	23.58	23.58	26.03
Ortalama İç hava Sıcaklığı	23.01	22.22	22.04	22.62	22.59	22.36	22.36	22.51
İç hava Sıcaklık Aralığı	23-24	22-23	22-23	22-23	22-23	22-23	22-23	22-23
Dış yüzey Sıcaklık Genliği	15.01	15.64	15.51	16.53	15.58	14.03	14.03	13.84
İç yüzey Sıcaklık Genliği	1.65	1.49	1.66	1.54	1.45	1.42	1.42	4.97
Sönüm oranı	0.11	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.10	0.36
Faz kayması	3.125	2.375	2.75	1.875	2.75	2.25	2.625	1.75

(Tüm örnekler 10.2 cm kalınlıktadır.)

LD = Düşük yoğunluk

HD = Yüksek yoğunluk

Dış yüzey sıcaklık solar sıcaklığı temsil etmektedir.

Faz kayması yaklaşık bir değerdir.

Sönüm oranlarının tersine zaman aralıkları tüm örnekler için fazla değişiklik göstermemişlerdir. Gazbeton örnekleri için zaman aralıkları 1.875–3.125 h arasında değişirken, geleneksel yapı malzemelerinde 1.75 h (tuğla) ile 2.625 h (masif ahşap) arasındadır. Genel olarak gazbeton örnekleri daha fazla zaman aralığına sahiptirler, fakat aradaki farklar çok önemli değildir.

Alınan sonuçlar, literatürün hem gazbeton hem de ağır yapı malzemelerinin (tuğla ve beton) iyi ısısal ataleti (bu durumda zaman aralığı) konusundaki beklentilerine uygun düşmektedir. Fakat burada bir uyarı söz konusudur. Zaman aralığı örneğin kalınlığına bağlıdır. Dolayısıyla zaman aralığındaki farkın, örneğin kalınlığının artması ile artacağı söz konusudur. Yüksek kalınlıklarda ise zaman aralığı sapması önemli boyutlarda olabilmektedir.

Masif ahşap örneği ilginç sonuçlar vermiştir. Diğer geleneksel yapı malzemelerine (tuğla ve beton) benzer ısısal atalet özellikleri göstermeyen masif ahşap örneği, gazbeton örneklerinin verdiği sonuçlara benzer özellikler göstermiştir. Sönüm oranı gazbetonunki ile aynı (0.10'a karşı 0.09 – 0.11) ve faz kayması ise gazbetonunkilere çok benzerdir (1.875 – 3.125 h'a karşılık 2.625 h).

Çeşitli tip gazbetonların karşılaştırılması değişik sonuçlar vermiştir. Tablo 4.4' de bu durum belirtilmiştir. Zaman aralığı değerleri (düşük yoğunluklu Alabama Power Gazbeton) 1.875 h'dan, (New England Power Gazbeton) 3.125 h'a kadar değişik değerler göstermiştir. Tablo 4.4, 0.09'dan 0.11'e kadar değişen sönüm oranlarını göstermektedir. Bu değişim aşağıdaki faktörlerden kaynaklanabilir.

1. Isı iletkenliği
2. Isı kapasitesi
3. Yoğunluk
4. Gözeneklilik
5. Ortalama gözenek büyüklüğü (makro gözenek)
6. Malzeme yapısı değişikliği

Gazbetonun özgül ısısı, bloğun nem içeriğine bağlıdır. Belli bir süre sonra bu nem içeriği ortamdaki havanın nem içeriğine eşitlenerek dengeye ulaşır. Gazbeton blok örnekleri aynı ortamda 18 ay kadar bırakıldıkları için her beton örneğinin nem içeriği, dolayısıyla özgül ısısı aynı olarak kabul edilebilir.

Tada (1986) yayınında, gazbetonun ısı iletkenliğinin yoğunluğuna, nem içeriğine bağlı olduğunu göstermiştir (19). Burada tüm gazbeton örneklerinin nem içerikleri aynı olduğu için nem içeriğine bağlılığı söz konusu değildir. Sonuç olarak bu üç faktör, faz kayması sapmasının olası nedenleri olarak elimine edilmişlerdir.

Geriye kalan değişkenlerden yoğunluk en önemlisidir. Faz kayması üzerinde ısı iletkenliğinin önemi bilinen bir gerçektir. Yoğunluğun da ısı iletkenliği üzerinde etkin olmasından dolayı, yoğunluğun faz kayması üzerinde etkin olması beklenen bir durumdur. Söz konusu çalışmaya göre yoğunlukla faz kayması arasındaki ilişki Şekil 4.3’de görülmektedir.

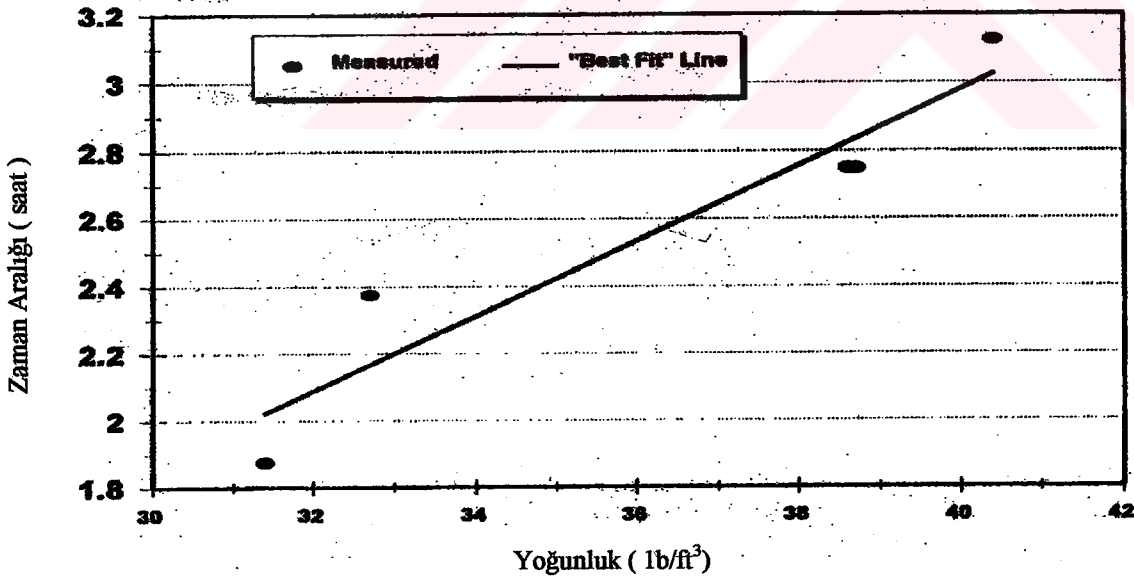
Gözeneklilik ve ortalama gözenek büyüklüğü ise ısı iletkenliği üzerinde etkili olan diğer parametrelerdir. Dolayısıyla bunların da faz kayması üzerinde etkili olması doğaldır.

Ortalama gözenek büyüklüğü ile faz kayması arasındaki korelasyonun belirlenmesindeki bir güçlük de yoğunluk ile ortalama gözenek büyüklüğünün birbirine bağlı değerler olmasıdır. Her bloğun yoğunluğu arttıkça genel olarak gözenek boyutu belli bir miktarda azalmaktadır. Bu sebepten ortalama gözenek boyutu ile faz kayması arasındaki herhangi bir bağıntı yoğunluğun değişmesinden kaynaklanabilecektir. Kesin bir değerlendirme yapabilmek için aynı yoğunlukta fakat farklı ortalama gözenek büyüklüğünde numunelerin üretilmesi ve test edilmesi gerekecektir (17).

Tablo 4.4. Gazbetonun ısıl ataleti ve diğer özellikleri (17)

Değişkenler	New England Power Gazbeton	Ohio Edison #1 Gazbeton	Georgia Power Gazbeton	Alabama Power Gazbeton (LD) ^b	Alabama Power Gazbeton (HD) ^b
Sönüm oranı	0.11	0.10	0.11	0,09	0,09
Faz kayması (h) ^c	3.125	2.375	2.75	1,875	2,75
Yoğunluk (lb/ft ³) ^d (kg/m ³) ^d	40.4 647.1	32.7 523.8	38.6 618.3	31,4 503,0	38,7 619,9
Gözenek büyüklüğü	0.92	1.31	0.84	1,49	0,73
Gözeneklilik	-	0.339	0.370	0,368	0,302

(Tüm örnekler 10.2 cm kalınlıktadır. Faz kayması yaklaşık bir ölçümdür.)



Şekil 4. 3. Gazbeton örnekleri için yoğunlukla faz kaymasının değişimi (17)

Periyodik ısı akışı modeli kullanılarak bütün deney örneklerinin ısısal atalet özelliklerinin teorik tahminleri yapılmıştır. Teorik hesaplar her bir deney örneği için deneysel olarak bulunan değerler ile karşılaştırılmış ve Tablo 4.5’de gösterilmiştir.

Deneysel veriler, tahminlerden elde edilen verilerden genel olarak % 15’ten fazla sapma göstermemiştir.

Özellikle sönüm oranı hesapları deneysel verilerden elde edilen sönüm oranları ile çok iyi uyum içindedir. Bir istisna dışında, her durumda deneysel ölçümlerle tahminler arasındaki fark % 10 veya daha az olmuştur.

Faz kayması değerleri tam tersine, teorik ve deneysel değerler arasında çok büyük farklılıklar göstermiştir. Özellikle geleneksel yapı malzemelerinin değerleri büyük sapma göstermiştir. Her durumda, deneysel ve teorik değerler arasındaki fark % 15’i geçmiştir. Bu farklılıkların birçoğu, spesifik malzemelerin ısı iletkenliği ve hacimsel özgül ısı değerlerinin tahmini olarak alınmasından kaynaklanabilir.

Gazbetonlardaki farklı faz kayması değerlerindeki farklılıklar belirgin düzeydedir. Üç durumda, teorik ve deneysel değerler arasındaki fark % 8’ten az bulunmuştur. Diğer iki durumda ise, bu farklar % 15 veya daha fazladır. Buradaki sapmaların bir çoğu deneysel sapma şeklinde açıklanabilir. Veya ortalama gözenek büyüklüğü ile gözeneklilik farklılığının kombinasyonu olarak gösterilebilir.

Gazbeton gözenekli bir malzeme olduğu için , bu özellikler faz kayması değerlerini etkileyebilir. Periyodik ısı akışı modeli hesaplarına bu değişkenleri dahil etmemektedir.

Yapılan bu deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda gazbetonun önemli ısısal kabiliyetleri olan bir malzeme olduğu söylenebilir. Birçok geleneksel malzemelere oranla daha iyi bir ısısal ataleti vardır. Gazbetonla inşa edilen binalar az derecede yalıtım gerektirirler (17).

Masif ahşabın gazbeton ile benzer ısıl atalet özellikleri gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak masif ahşapla inşa edilen bir bina kabuğu çok daha yüksek maliyetli ve yangın tehlikesi ile karşı karşıya olacaktır.

Özellikle faz kayması açısından çeşitli gazbeton blokları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Ortalama gözenek büyüklüğünün bu konuda bir etkisi olabilir ancak en büyük neden olarak yoğunluk göze çarpmaktadır (17)

Tablo 4.5. Isısal atalet değerleri özeti (gerçek ve teorik)(17)

Değişkenler	New England Power Gazbeton	Ohio Edison# 1 Gazbeton	Georgia Power Gazbeton	Alabama Power Gazbeton (LD) ^b	Alabama Power Gazbeton (HD) ^b	Beton	Tuğla	Ahşap + Kontraplak
Isı İletkenliği K [BTU / (1b °F)]	0.0935	0.0762	0.0895	0.0733	0.0897	1	0.417	0.08
Özgül ısı C [BTU / (1b °F) ^c]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	N/A	N/A	N/A
Yoğunluk ρ (1b / ft ³) ^f	40.4	32.7	38.6	31.4	38.7	N/A	N/A	N/A
Hacimsel Özgül ısı [BTU / (ft ³ °F) ^g]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	35	19.9	11.2
Örnek Kalınlığı (ft)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Dış hava Tabakası Katsayısı [BTU / (h ft ² °F)]	4	4	4	4	4	4	4	4
İç hava Tabakası Katsayısı [BTU / (h ft ² °F)]	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Faz kayması (h) (teorik olarak)	2.72	2.57	2.685	2.543	2.687	2.74	2.26	3.313
Zaman Aralığı (h) ^b (ölçülen)	3.125	2.375	2.75	1.875	2.75	2.25	1.75	2.625
Fark (% teorik)	-14.89	7.59	-2.42	26.27	-2.34	17.88	22.57	20.77
Sönüm oranı (teorik)	0.12	0.11	0.12	0.10	0.12	0.43	0.33	0.10
Sönüm oranı (ölçülen)	0.11	0.10	0.11	0.09	0.09	0.42	0.36	0.10
Fark (% teorik)	8.33	9.09	8.33	10.00	25.00	2.33	-9.09	0.00

4. 1. 3. Gazbetonun Neme Karşı Gösterdiği Değişimin Belirlenmesi

Gazbetonda nem farklılaşmasından dolayı oluşan uzunluk değişiminin incelenmesi için Danimarka ürünü bir gazbeton üzerinde testler yapılmıştır. Bu araştırmada, gazbetonların kullanıcıya ilk ulaştığı andaki nemi ile birlikte bağıl nemi % 43'ten fazla olan bir ortamda saklanması halinde şişme gösterdiği, bağıl nemi % 43'ten az ortamda saklanması halinde ise rötre gösterdiği görülmüştür. Bu ön hazırlıktan sonra betonda görülen uzunluk değişimlerinin, bağıl nemdeki değişimle hemen hemen orantılı olduğu görülmüştür.

Danimarka' da, gazbetondaki nem değişikliğinden oluşan uzunluk değişimleri, standart bir prosedürün bir parçası olarak düzenli bir şekilde ölçülürler. Gazbetondaki uzunluk değişimlerinin ölçüm yöntemi Danimarka Standardı DS 433.6; Sürüklenmiş Hafif Beton Bileşenler – Rötre ve Şişmesi 1989 (Aerated lightweight concrete components – Shrinkage and swelling)'da tanımlanmıştır.

Danimarka Standardı DS 433.6'ya göre test edilen gazbeton, umulmadık bir şekilde bu uzunluk değişimlerinin (rötre) çoğu kez pozitif ve nadiren sıfıra eşit olduğunu göstermiştir. Örneğin; deney parçasının başlangıçtaki nem içeriğinin % 43 bağıl neme kadar kurumamasından sonraki uzunluğu, başlangıçtaki uzunluğundan daha fazladır. Bu sonuçlar, yaygın bir kanı olan gözenekli maddelerin içeriğindeki nemi takip ettikleri, örneğin; maddelerin yüksek nem ortamlarında şişme göstereceği, düşük nem ortamlarında ise rötre göstereceği kanısıyla uygun düşmemektedir.

Bu problemin daha derin araştırılması için Danimarka Bina Araştırma Enstitüsü, Bina Malzemeleri Laboratuvarı, DTU ve H+H Industry A/S ile birlikte birçok gazbetonun test edildiği ortak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın başlangıcında deney parçalarının başlangıç bir nem içeriği bulunmuş olup daha sonradan çalışma sırasında farklı nem koşullarına tabi tutulmuşlardır.

Rötre ve şişme ile ilgili sonuçları desteklemek üzere basınç mukavemeti, çekme mukavemeti, young modülü ve sorption izotermlerinin ölçümleri de dikkate alınmıştır. Ancak bu makalede bu ölçümler belirtilmemiştir.

Sonuç olarak bu deneylerden elde edilen sonuçları yorumlamak ve açıklamak amacıyla matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu model sorption izotermi ile rutubete bağımlı uzunluk değişimlerini birleştirmektedir. Bu amaçla gözenek yapısı dağılım analizinden faydalanmaktadır. Bu modelin teorik ilkeleri kısaca özetlenmiş ve gözlemlenen davranışını açıklayabildiği görülmüştür (10).

4.1.3.1.Ön Hazırlık

Uzunluk değişimlerinin ölçümü, bağıl nemi değişen iklim şartlarına tabi tutulan gazbeton deney parçaları üzerinde yapılmıştır. Bu araştırma üç örnekten alınmış olan üç test parçası üzerinde 9 farklı nem koşullarını kapsamaktadır.

Bu deney yönteminin prensibi, deney parçasının farklı iklim koşullarında hazırlama süreci içerisinde uzunluğunun sabit sıcaklıkta fakat farklı bağıl nem oranlarında, denge elde edilene kadar düzenli olarak ölçülmesi olarak düşünülmüştür. Denge elde edildiğinde, uzunluk ölçülmüş ve deney parçası yeni bir bağıl nem ortamına konmuştur.

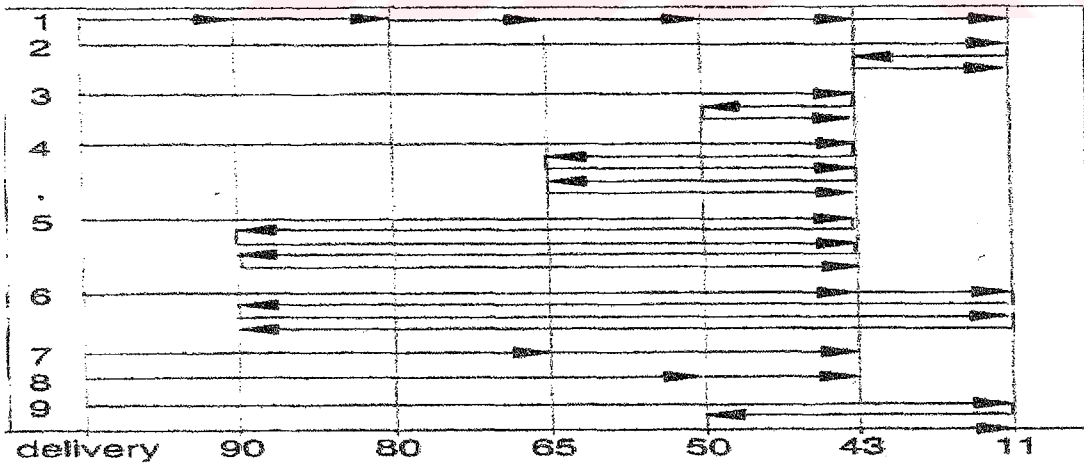
Tekrar dengenin elde edilmesi beklenmiş ve sonra tekrar uzunluk ölçülmüştür. Bu süreç, istenilen en son iklim koşulunun (= bağıl nem şartı) sonunda dengeye ulaşınca kadar devam etmiştir (10).

Deney parçaları 40x40x160mm boyutlarında prizma şeklinde alınmıştır. Daha büyük 100x100x400mm boyutlarındaki deney parçaları ise Danimarka Standardı DS 433.6'nda kullanılmıştır.

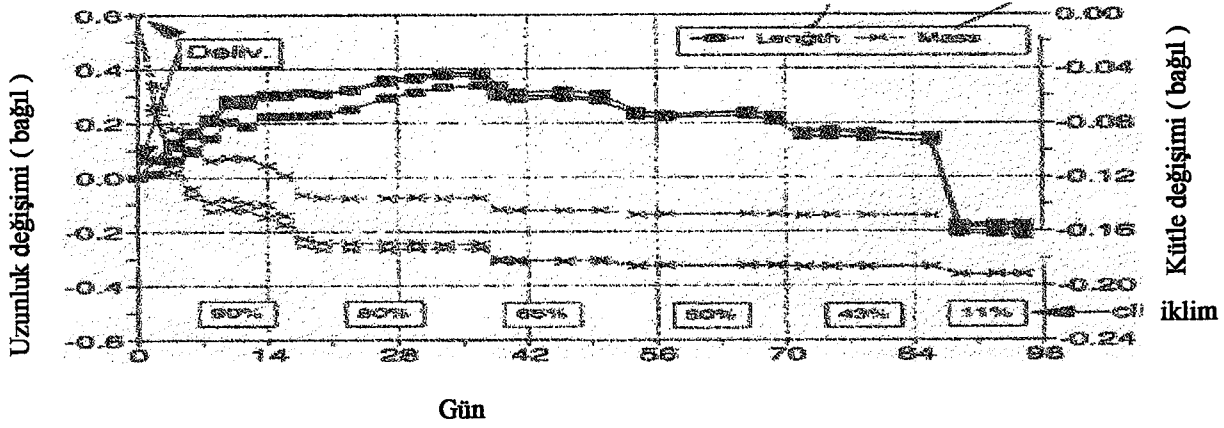
TC YÜKSEK ÖĞRETİM
BİLİM VE TEKNOLOJİ
BİLİM VE TEKNOLOJİ

Ancak halihazırdaki araştırmalarda deney sonuçlarının daha kısa zamanda alınması gerektiği için küçük deney parçaları tercih edilmiştir. Ayrıca test parçalarının büyüklüklerinin deney sonuçlarını büyük ölçüde değiştirmeyeceği düşünülmüştür. Fabrikadaki üretimi hemen takiben deney numuneleri kesilmiş, akabinde uzunluk ölçüm aleti numuneye tespit edilmiş ve deney numuneleri numaralandırıldıktan sonra polietilen folyo içine sarılmıştır. Teste başlayıncaya kadar polietilene sarılı numuneler % 90 bağıl nemde ve 26 ± 2 °C sıcaklıkta testlere başlayıncaya kadar muhafaza edilmiştir. Bu süre içinde numunelerin kütle ve uzunlukları periyodik olarak ölçülmüş ve bu ölçümlere göre numunelerin kütle ve uzunluklarının test başlangıcına kadar değişmediği tespit edilmiştir. Üç veya dört gün aralıklarla alınan ardışık ölçümlerde uzunluğun 0.005 mm'den az değişmesi halinde dengeye geldiği kabul edilmiştir.

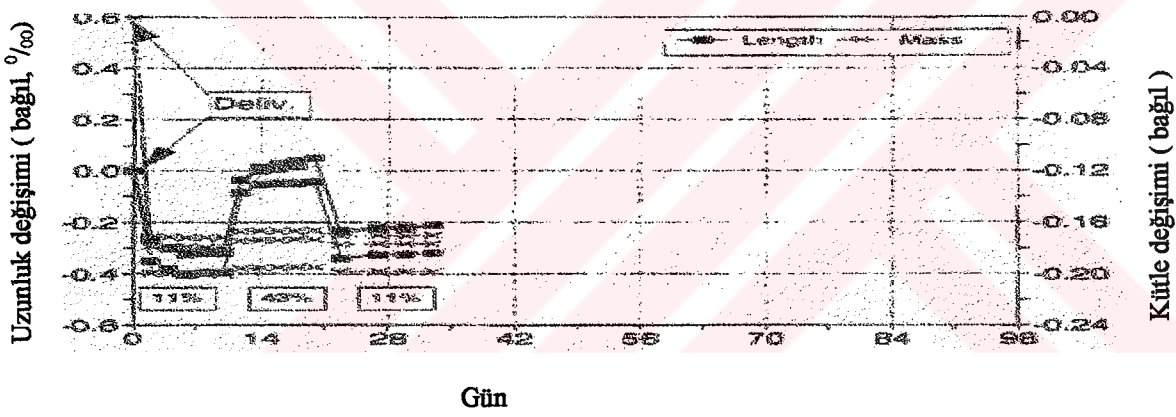
Bu deneylerde kullanılmış olan iklim ortamları; hepsi $\pm$ %2 toleranslı % 90 bağıl nem, % 80 bağıl nem, % 65 bağıl nem, % 50 bağıl nem, % 43 bağıl nem ve % 11 bağıl nem'dir. Bütün bu iklim koşullarındaki sıcaklık ise 26 ± 2 °C'dir. Bu araştırma, Şekil 4.4'de gösterildiği gibi 9 seri farklı nem koşullarını kapsamaktadır. Her seri üç deney parçasını içermektedir. Her serideki kütle ve uzunluk değişimleri Şekil 4.5'den Şekil 4.13'e kadar gösterilmiştir (10).



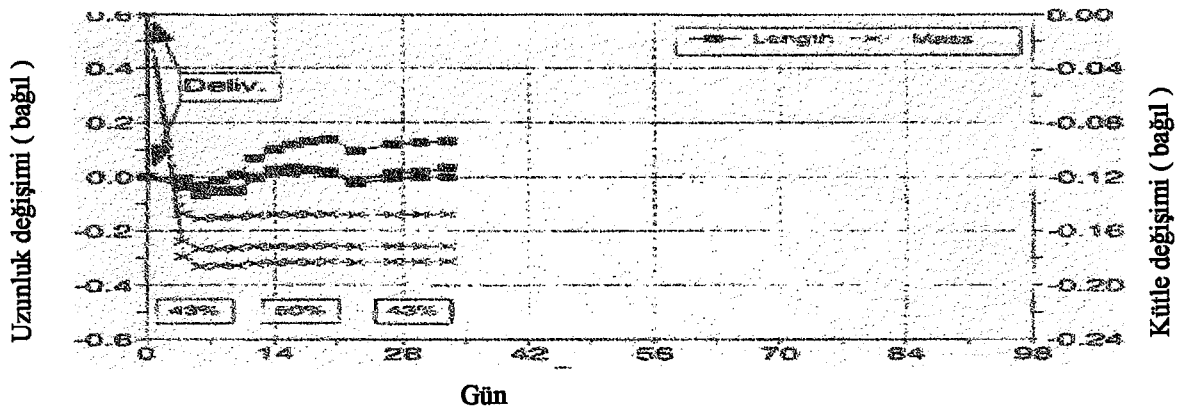
Şekil 4.4. Dokuz deney serisi için nem koşulları (10)



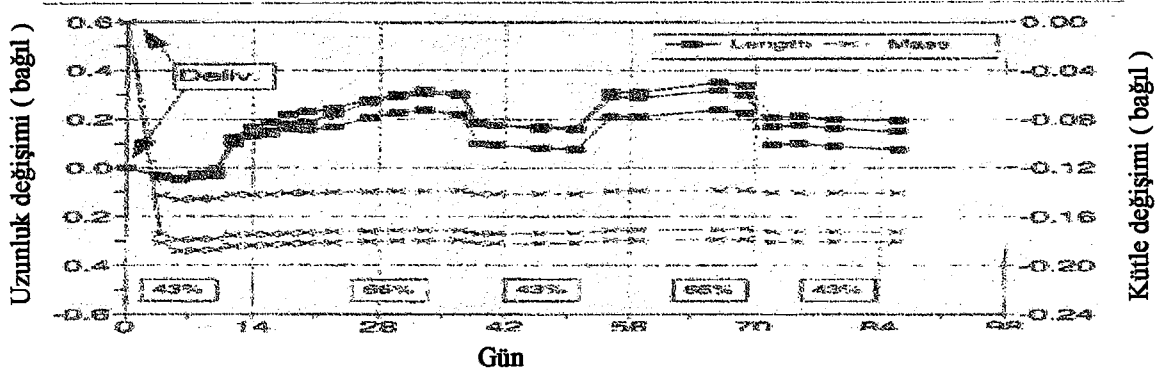
Şekil 4. 5. Birinci seri için kütle ve uzunluk değişimi



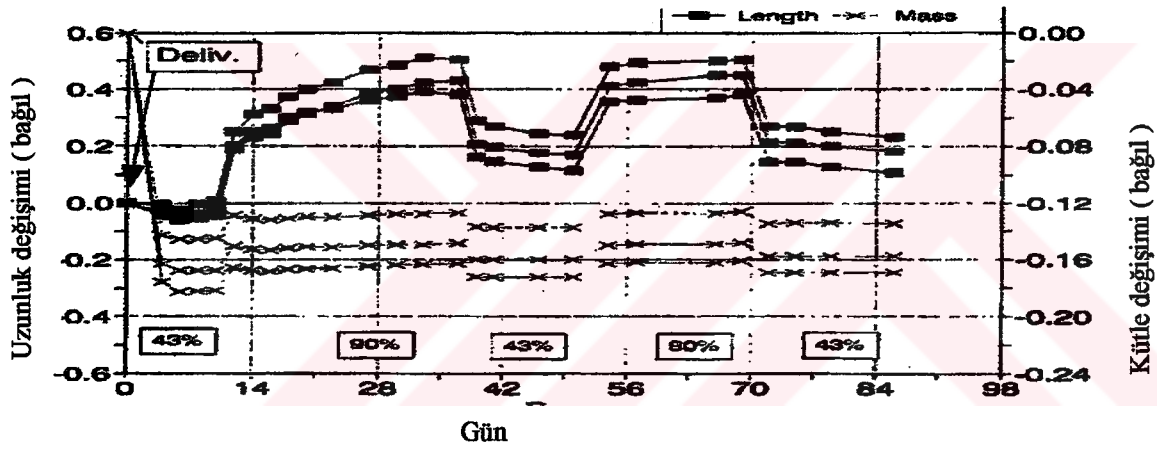
Şekil 4. 6. İkinci seri için kütle ve uzunluk değişimleri



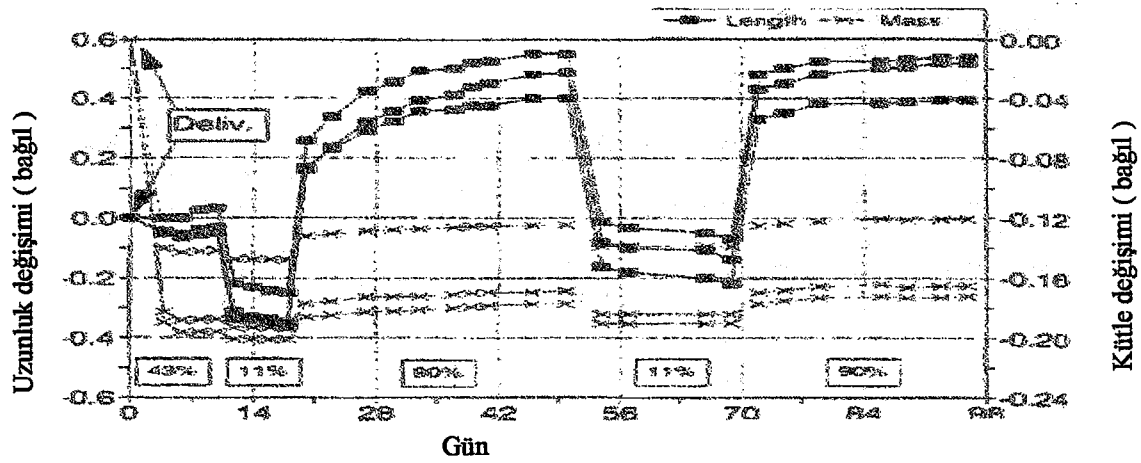
Şekil 4. 7. Üçüncü seri için kütle ve uzunluk değişimleri



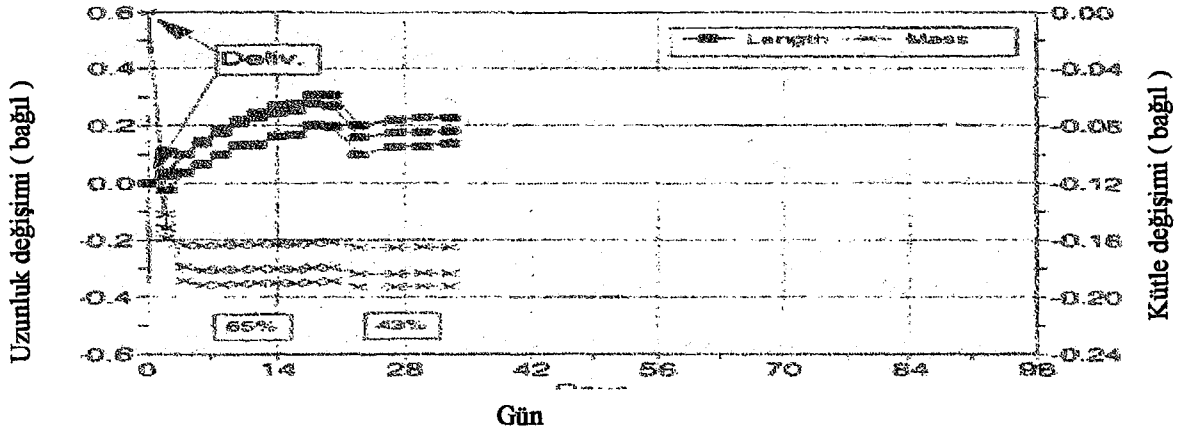
Şekil 4.8. Dördüncü seri için kütle ve uzunluk değişimleri



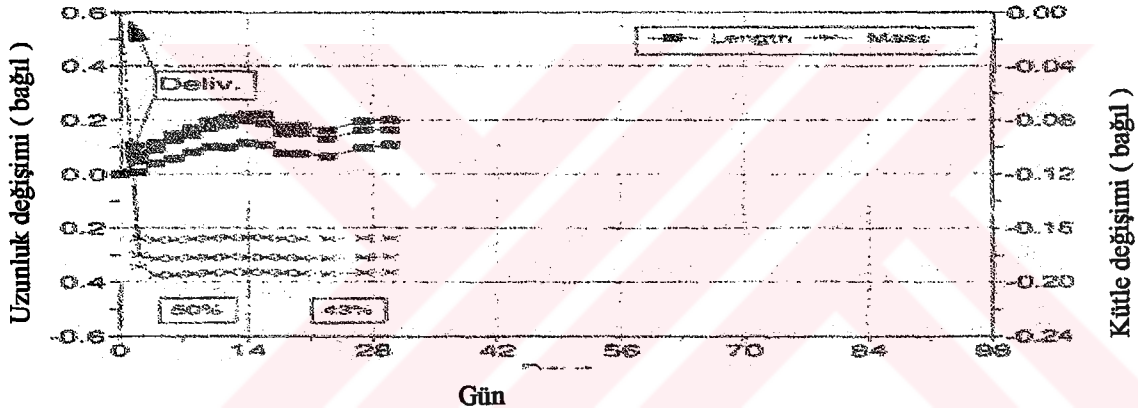
Şekil 4.9. Beşinci seri için kütle ve uzunluk değişimi



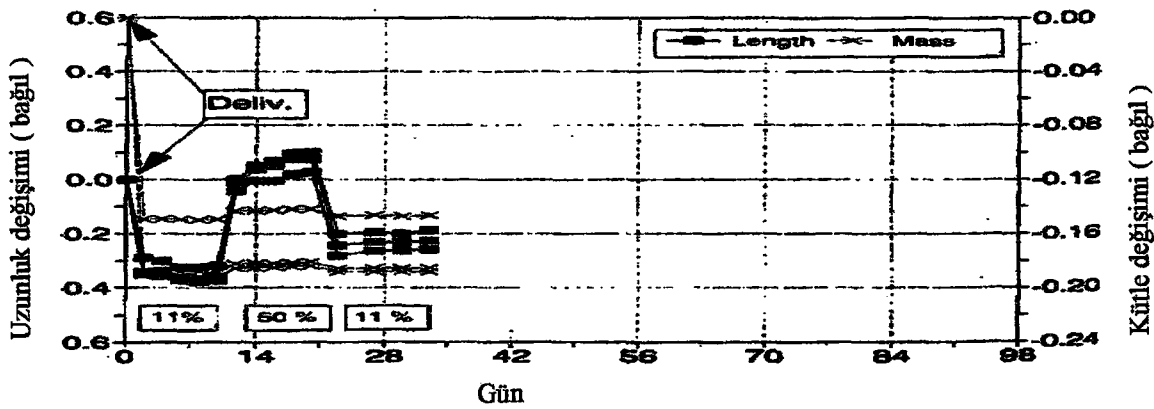
Şekil 4.10. Altıncı seri için kütle ve uzunluk değişimi



Şekil 4. 11. Yedinci seri için kütle ve uzunluk değişimi



Şekil 4. 12. Sekizinci seri için kütle ve uzunluk değişimi



Şekil 4. 13. Dokuzuncu seri için kütle ve uzunluk değişimi

4. 1. 3. 2. Çalışma Sonuçları

Deney parçalarının mevcut iklim koşullarında dengeye ulaşmalarından sonra farklı testlerdeki uzunluk değişimleri Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tekrarlanan nemlendirme ve kurutmada uzunluk değişimlerinin hemen hemen aynı çizgi doğrultusunda hareket ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de dengeye ulaşıldıktan sonraki ilk ölçümler gösterilmiştir. Gösterilen tüm bu veriler için çizgisel regresyon yoluyla best-fit çizgisi bulunmuştur; bu da Şekil 4.15’de gösterilmiştir.

Çizgisel regresyondan elde edilen sonuçlar ise Tablo 4.7’de gösterilmiştir. Tablo 4.7’de görüldüğü üzere tüm ölçüm sonuçları kullanıldığında korelasyon katsayısı 0.93 bulunmakta, %11 bağıl nemdeki ölçümler çıkarıldığında ise korelasyon katsayısı 0.87 olmaktadır. Her iki durumda da bağıl nemle uzunluk değişimleri arasında doğrusal bir bağıntı olduğunu göstermektedir.

Gazbeton üzerinde yapılan araştırma da göstermiştir ki, uzunluk değişimleri ile bağıl nem düzeyi arasındaki ilişki doğrusaldır, fakat %30 bağıl nemde küçük bir bükülme olmaktadır. Bu araştırma da %11 bağıl nem ile %43 bağıl nem arasında bir ölçüm değeri yoktur. Bu yüzden böyle bir eğrinin varlığı ve yeri hakkında bu çalışmaya dayanarak bir şey söylemek mümkün değildir.

Gazbeton otoklavı ilk terk ettiğinde, çok yüksek oranda suya sahiptir. Tüm gözenekleri ve boşlukları su ile dolu olur.

Tablo 4.6. Bağıl nemin bir fonksiyonu olarak değişen denge durumundaki uzunluk(10)

Seri no	Bağıl nem (%)	Örnek no			Ortalama	Standart sapma
		1	2	3		
1	90	0,225	0,306	0,300	0,277	0,045
	80	0,338	0,375	0,388	0,367	0,026
	65	0,281	0,288	0,306	0,292	0,013
	50	0,225	0,206	0,225	0,219	0,011
	43	0,150	0,131	0,150	0,144	0,011
	11	-0,188	-0,231	-0,200	-0,206	0,023
2	11	-0,394	-0,319	-0,313	-0,34 2	0,045
	43	-0,044	0,050	0,050	0,019	0,054
	11	-0,319	-0,213	-0,213	-0,248	0,061
3	43	-0,056	-0,050	0,006	-0,033	0,034
	50	0,019	0,013	0,138	0,056	0,070
	43	0,031	0,000	0,131	0,054	0,069
4	43	-0,025	-0,031	-0,006	-0,021	0,013
	65	0,300	0,219	0,306	0,275	0,049
	43	0,163	0,075	0,156	0,131	0,049
	65	0,338	0,225	0,300	0,288	0,057
	43	0,194	0,075	0,150	0,140	0,060
5	43	-0,044	-0,019	0,006	-0,019	0, 025
	90	0,431	0,381	0,506	0,440	0,063
	43	0,169	0,113	0,238	0,173	0 063
	90	0,450	0,381	0,506	0,446	0,063
	43	0,181	0,106	0,231	0,173	0,060
6	43	-0,050	-0,031	0,031	-0,017	0,043
	11	-0,363	-0,350	-0,250	-0,321	0,062
	90	0,488	0,400	0,550	0,479	0,075
	11	-0,138	-0,219	-0,069	-0,142	0,075
	90	0,519	0,394	0,538	0,483	0,078
7	65	0,194	0,269	0,306	0,256	0,057
	43	0,137	0,181	0,225	0,181	0,044
8	50	0,106	0,219	0,188	0,171	0,058
	43	0,106	0,200	0,163	0,156	0,047
9	11	-0,375	-0,363	-0,319	-0,352	0,030
	50	0,025	0,075	0,100	0,067	0,038
	11	-0,256	-0,225	-0,188	-0,223	0,034

Tablo 4.7. Çizgisel regresyon analizinin sonuçları (10)

A. %11 bağıl nem' den %90 bağıl nem'e kadar olan değerler	
Eğim (a)*	Her % bağıl nem için $^{\circ}/_{\infty}$ 0.0086
x =0 iken y eksenini kesim noktası (b)*	% - 0.283
Korelasyon katsayısı	0.93
B. %43 bağıl nem' den %90 bağıl nem'e kadar olan değerler	
Eğim (a)	Her % bağıl nem için $^{\circ}/_{\infty}$ 0.0072
x = 0 iken y eksenini kesim noktası (b)	% - 0.194
Korelasyon katsayısı	0.87

$$*y = ax + b$$

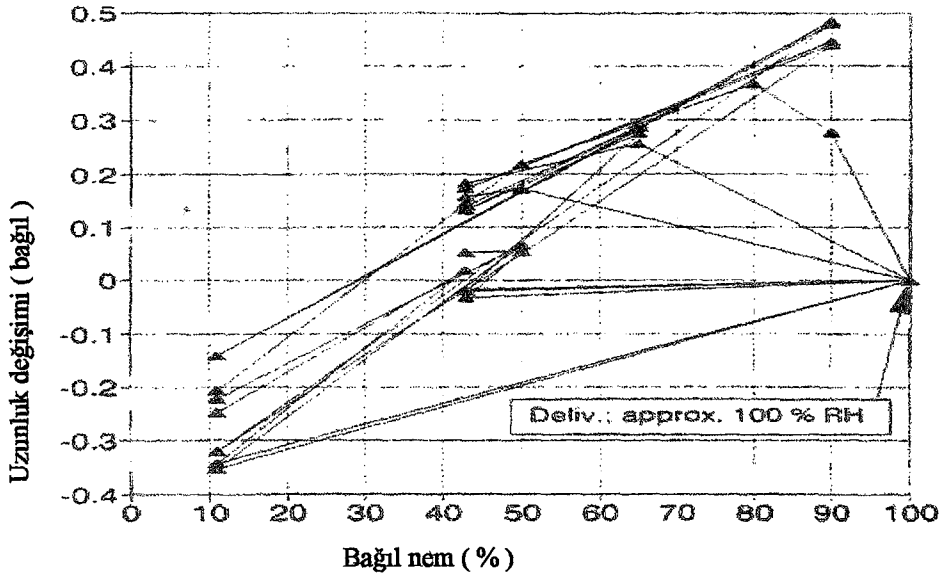
Gazbetonun içeriğindeki su 4 kategoriye ayrılabilir;

1. Mikro gözeneklerdeki su
2. Kılcal gözeneklerdeki su
3. Daha büyük gözeneklerdeki ve boşluklardaki yüzey suyu
4. Gözenekleri ve boşlukları dolduran serbest su

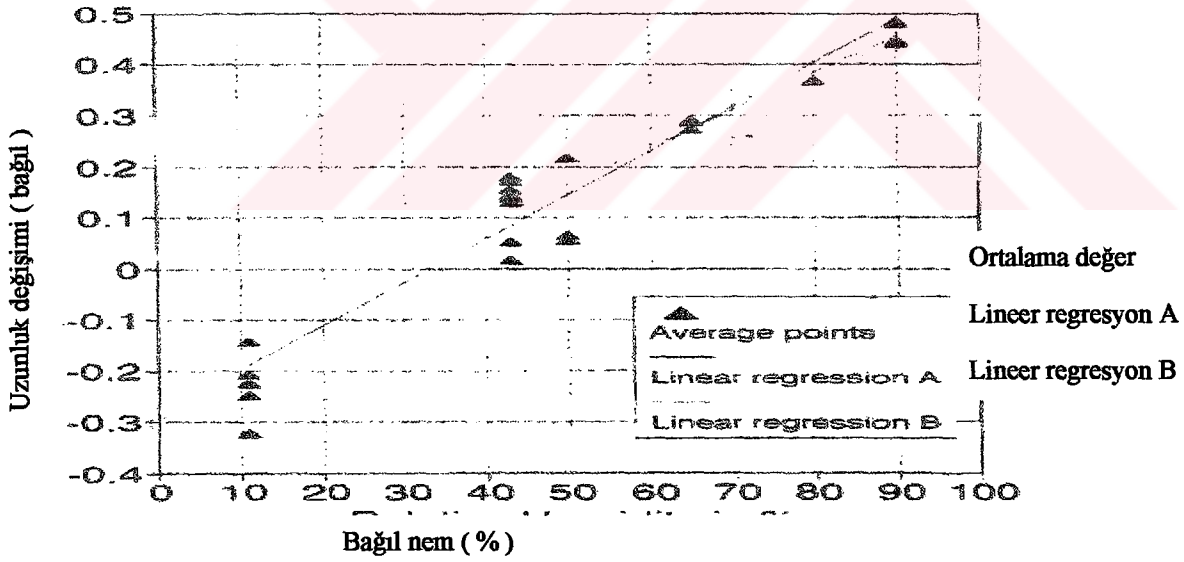
Serbest suyun gazbetonun uzunluk değişimine etkisi çok küçük olduğu için aşağıda ihmal edilmiştir. Gazbetonun içeriğindeki bağlı suyun miktarı, çevredeki bağıl neme bağlıdır ve bu bağıllık bir “sorption” grafiği ile gösterilebilir. Bu sorption grafiği, Şekil 4.16'da gösterilen noktalarla deneysel olarak oluşturulabilir.

Sorption grafiği baz alınarak, mikro gözeneklere, kılcal gözeneklere ve yüzeye dağılan suyun miktarını hesaplamak mümkündür. Bu, Şekil 4.16'da üzerinde çalışılan gazbeton için gösterilmiştir.

Kılcal gözeneklerdeki su bu boşlukları tamamen dolduracaktır. Daha büyük boşluklara ve gözeneklere geçişlerde ise menisküs denilen eğri yüzeyler oluşacaktır. Yüzeyin çekmesinden dolayı bu menisküslerin altındaki suda alçak basınç olur.



Şekil 4. 14. Dokuz seri için bağıl nem ile bağıl uzunluk değişimi arasındaki ilişki (Her veri noktası her üç deney parçasının ortalamasını göstermektedir.)(10)



Şekil 4. 15. Regresyon çizgileri ve buna bağlı veri noktaları(10)

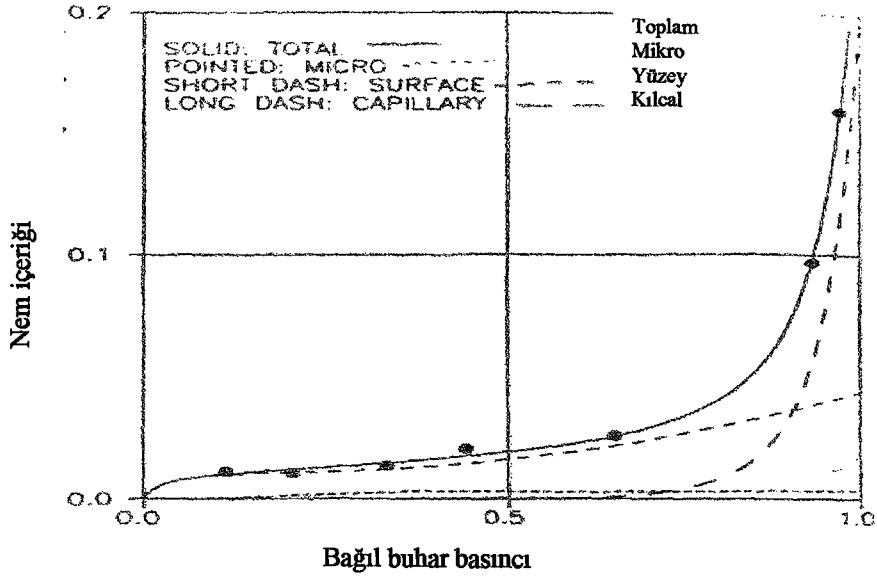
Kılcal gözeneklerdeki bu alçak basınç, gazbetonda basınç gerilmelerine sebep olur. Gazbeton kururken, kılcal gözeneklerdeki su buharlaşacak, sudaki alçak basınç azalacak ve bunu takiben de gazbetondaki basınç gerilmeleri de düşecektir. Bu durum, betonun şişmesine neden olur (10).

Yüzey suyu, gazbetonun içindeki tüm serbest yüzeylere ince bir film halinde bağlıdır. Moleküller arası kuvvetler sebebiyle bu film halindeki yüzey suyu içinde çekme kuvvetleri, katı yüzeyler arasında ise basınç kuvvetleri oluşur. Özellikle mikro gözeneklerde, gözenek duvarları arasındaki yakınlıklardan dolayı bu basınç kuvveti fazla olacaktır. Sudaki bu basınç kuvvetleri gazbeton içerisindeki çekme gerilmeleri olarak etki eder. Su buharlaştığında, sudaki basınç ve gazbetondaki çekme azalır; bu da gazbetonun rötresi anlamına gelir.

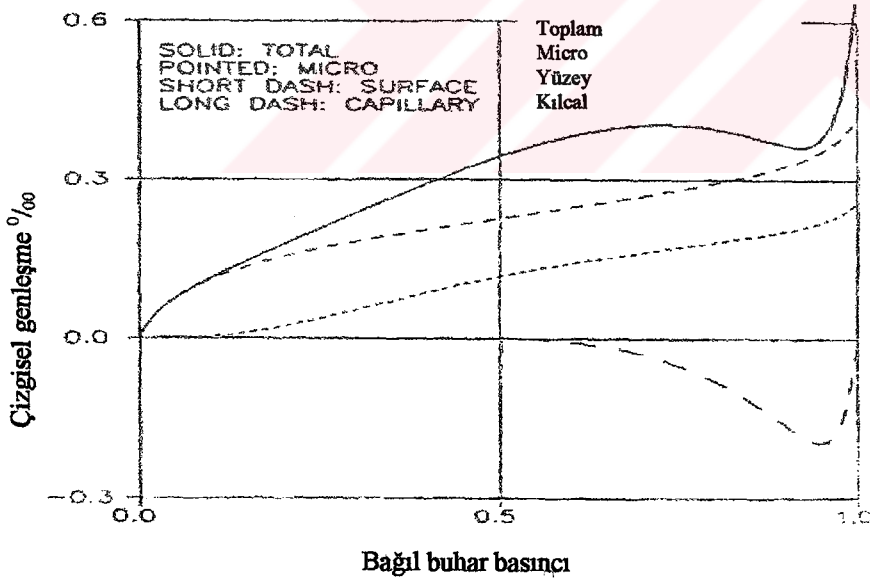
Böylece gazbetonun ilk kuruması süresinde etkili olan birbirine zıt iki eğilim vardır; mikro gözeneklerdeki ve su tabakasındaki basınç kuvvetlerinin azalması ile oluşan rötreye ve menisküslerin serbest yüzeylerinin altındaki çekme kuvvetlerinin azalması ile oluşan şişme.

Sorption grafiği ve 1994 yılında Nielsen, L.F tarafından Danimarka Yapı Malzemeleri Laboratuvarlarında hazırlanan teknik bir raporda geliştirilen prosedür yardımıyla, gazbeton denge durumuna ulaştığında bağıl neminin çevre havasının fonksiyonu olarak meydana gelen gerilmeleri ve buna orantılı olarak ortaya çıkan uzunluk değişimlerini hesaplamak mümkündür.

Deneyde kullanılan belli bir gazbeton tipi için elde edilen uzunluk değişimlerinin hesapları 1995 yılında Knuttson H:H, Nielsen A ve Nielsen, L:F tarafından Danimarka Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ve Teknik Üniversitede bulunmuş ve sonuç Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Mikro gözeneklere, kılcal gözeneklere ve yüzeye dağılan suyun gösterimi (10)



Şekil 4.17. Deneyde kullanılan tip gazbeton için uzunluk değişimlerinin hesapları (10)

Şekil 4.16'da bağıl nemin % 100'den % 80'e düşmesi ile kılcal suyun tamamen buharlaştığı gözlenmiştir. Yeni üretilmiş gazbetonun ilk kuruması süresindeki uzunluk değişimleri pozitif olacaktır; örneğin bağıl nem %90'ın üzerinde olduğu sürece şişme meydana gelecektir. Orta derecedeki bağıl nem ortamında uzunluk değişimi sıfıra yaklaşacak derecede düşerken, düşük bağıl nem ortamlarında rötre oluşacaktır.

Kılcal gözeneklerdeki sudan dolayı oluşan uzunluk değişiminin doğrusal olmadığı ve sadece % 80 bağıl nem üzerindeki ortamlarda önemli derecede olduğu gözlemlenirken, mikro gözeneklerdeki ve yüzeydeki sudan oluşan uzunluk değişiminin ise %10 bağıl nem ile %80 arasında hemen hemen doğrusal olduğu saptanmıştır. Bu durum gazbetonun ilk kurumasını takiben %30 bağıl nem ile %80 bağıl nem arasında bulunması halinde ortamın bağıl nemi ile hemen hemen doğrusal değişen şişme ve rötre göstermesini açıklar.

Gazbeton, 10^{-3} m ve 10^{-8} m ve arasında değişen gözeneklere sahiptir ve gözenek büyüklüğü dağılımı, söz konusu gazbeton ürününün tipine bağlıdır. Gözenek büyüklüğü dağılımı, yukarıda belirtilen 1'den 4'e kadar olan kategorilerdeki suyun da dağılımını etkileyeceğinden dolayı bu, nem koşullarının değişmesinden doğan uzunluk değişimleri, gazbetonun tipine bağlıdır anlamına gelir.

Böylece değişik tip gazbeton ürünlerinin ilk kuruması sırasında meydana gelen uzunluk değişimleri de farklı olacaktır. Fakat ilk kurumadan sonra hemen hemen her tip gazbeton, yukarıda açıklanan mekanizmadan dolayı ortamdaki bağıl nem ile doğrusal olarak değişen uzunluk değişimleri gösterecektir.

Halihazırdaki araştırma, yalnızca Danimarka'da üretilen tek bir tip gazbeton üzerinde yapılmıştır. Bu araştırma, ürünün ilk halindeki nem içeriğinin % 80 bağıl neme kadar ki olan ilk kurutulması bu tip gazbeton için % 0,04'e kadar uzunluk artışına sebep olduğunu göstermiştir. Kuruma süresince şişme durumu daha önce bazı İsveç malı gazbetonlarda da görülmüştür.

% 43 bağıl nem düzeyinin altında malzeme çekmekte ve % 43'deki dengeye ulaşıldığında da malzeme, üretildiği andaki uzunluğuna hemen hemen ulaşmaktadır. Dengeye % 11 bağıl nem ortamında ulaşıldığında, malzemenin ilk üretildiği andaki koşullara bağlı olarak % 0,02' den % 0,04'e kadar çekme oluşur.

% 11 bağıl nem denge ortamındaki nem içeriğinin arttırılarak % 90 bağıl nem ortamındaki dengeye ulaşıldığında malzeme yaklaşık olarak % 0,07 ile % 0,08 arasında şişme gösterecektir. Ardından tekrar % 11 bağıl nemdeki dengeye kadar kurumaya bırakılan malzeme % 0,07 ile % 0,08 arasında çekme gösterir. Bundan dolayı ilk şişmeden sonraki uzunluk değişimleri tersinedir.

Her iki Avrupa Standart'ı da maddenin ilk kuruması sürecindeki uzunluk değişimini belirler. Fakat yukarıda sözü edilen sonuçlara göre bu, gazbetonun strüktürel tasarımda kullanabilecek uygunluktaki çekme ve şişme özelliklerini tanıtmaya yeterli değildir. Farklı malzemelerin sorptionlarındaki farklılıklardan dolayı nem değişmesi, nem içeriğinin kütleli farklılığına bağlı değil, belli düzeydeki bağıl nem ortamlarındaki dengeye bağlı olacaktır.

Gazbetondaki uzunluk değişimlerinin ölçümündeki gelişmiş bir metod, yeni Nordest Metodu' nda, gazbetondaki nem farklılaşmasından doğan uzunluk değişiminin belirlenmesi, NT Build 444 (1996) verilmiştir. Bu test metodunda, gazbetonun şişmesi, test parçasının öncelikle % 43 bağıl nem ortamında ilk hazırlığının yapılması ve daha sonradan % 85 bağıl nemde dengeye getirilmesi olarak tanımlanır. % 43 bağıl nem ve % 85 bağıl nem değerleri, sıradan konutlardaki bağıl nemin limitleri olarak ele alınmıştır (10).

Günümüzdeki araştırmaların sonuçlarına dayanarak ileri sürülebilir ki; bu prosedür, gazbetonda nemden dolayı oluşan uzunluk değişimlerinin daha güvenilir bir şekilde ölçümünü sağlayacaktır.

Bu çalışmada yazar farklı standartlardaki (EN 680, Gazbetonun kuruma-çekmesinin belirlenmesi, prEN 772-12 :1992, Duvar elemanlarındaki nem hareketi süresince oluşan uzunluk değişimlerinin belirlenmesi) gazbetonun farklı rutubetlerdeki boyut değişimlerinin tayini için önerilen deney tekniklerini karşılaştırmıştır.

4.2. Gazbetonun Mekanik Özellikleri

Malzeme etkileyen kuvvetin özelliğine göre basınç, çekme, eğilme, kesme, burkulma ve burulmaya karşı direnç göstermektedir. Gazbeton tesislerinde üretilen malzemeler TS 453 Gazbeton ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları Standardı'nda verilen asgari değerleri sağlamak durumundadırlar. Tablo 4.8'de gazbetonun sınıflara ve yoğunluğa göre üreticilerin sağlaması gereken basınç değerleri verilmiştir.

Gazbetonun basınç mukavemeti TSE 453/1988'de belirtilen uygun boyutlardaki küplerin belirli bir rutubet içeriğine (ağırlıkça % 10) erişinceye kadar kuruması sonucu kırılması ile belirlenir. Gazbetonun kuru birim hacim ağırlığı ise malzemenin 105 °C sıcaklıkta sabit kütleye erişinceye kadar kurutulması ve tartılması ile elde edilir.

RILEM'e göre gazbetonun sınıflandırılması da Tablo 4.9'da gösterilmiştir (16).

Gazbetonun çekme dayanımı, basınç dayanımının yaklaşık %15-30'u, kesme dayanımı da %20-30'u kadar olduğu ve her iki dayanımın da rutubet miktarı arttıkça düşüş gösterdiği belirtilmiştir (7).

Tablo 4.8. TS 453'e Göre Gazbetonun Yoğunluk ve Basınç Mukavemetleri Değişimi (20)

Sınıf	Yoğunluk (ortalama birim hacim ağırlığı) (kg/m ³)	Basınç Mukavemeti (Min) (kgf/cm ²)	Basınç Mukavemeti (Max) (kgf/cm ²)
G2	400~500	20	25
G3	500~600	30	35
G4	600~700	40	50
G5	700~800	60	75

Tablo 4.9. RILEM'e Göre Gözenekli Beton Yapı Malzeme ve Elemanlarının Yoğunluk ve Basınç Mukavemetleri Değişimi (16)

Sınıfı	Ortalama basınç mukavemeti (kgf / cm ²) (N / mm ²)	En küçük basınç mukavemeti (kgf / cm ²) (N / mm ²)	Birim hacim ağırlığı sınıfı	Yoğunluk (Ortalama birim hacim ağırlığı) (kg / m ³)	Sınıf işareti
G1	15 (1,5)	10 (1,0)	0,4	310 – 400	G1 / 0,4
			0,5	410–500	G1 / 0,5
G2	25 (2,5)	20 (2,0)	0,4	310 – 400	G2 / 0,4
			0,5	410 –500	G2 / 0,5
G3	35 (3,5)	30 (3,0)	0,5	410 – 500	G3 / 0,5
			0,6	510 – 600	G3 / 0,6
G4	50 (5,0)	40 (4,0)	0,6	510 – 600	G4 / 0,6
			0,7	610 – 700	G4 / 0,7
G5	75 (7,5)	60 (6,0)	0,7	610 – 700	G5 / 0,7
			0,8	710 – 800	G5 / 0,8

(2) nolu kaynakta ise gazbetonların karakteristik dayanıma göre bir sınıflandırılması dikkati çekmektedir. Bu sınıflandırma Tablo 4.10'da gösterilmiştir. Tabloda verildiği üzere gazbetonlar mukavemet bakımından üç gruba ayrılmakta ve fırın kurusu ağırlığının üst sınır değeri 1000kg/m^3 olarak verilmektedir. Gazbetonun basınç mukavemeti kuru birim ağırlığına ve içinde bulundurduğu rutubete bağlı olarak değişmektedir (2).

Genel olarak gazbetonun mekanik özellikleri ise Tablo 4.11'de verilmiştir (18).

Tablo 4.10. Gazbetonların karakteristik dayanımına göre sınıflandırılması (2)

Özellik	Düşük	Orta	Yüksek
Basınç Dayanımı (Mpa)	< 1.8	1.8 – 4.0	> 4
Elastisite modülü (Mpa)	< 900	900 – 2500	> 2500
Kuru Birim Ağırlık (kg / m ³)	200 – 400	300 – 600	500 – 1000

Tablo 4.11. Gazbetonun Mekanik Özellikleri (18)

Sınıfı	Ort. Küp Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	En Küçük Küp Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Birim Hacim Ağırlığı t/m ³	Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Çekme Dayanım (kg/cm ²)	Kayma Dayanım (kg/cm ²)	Hesap Ağırlığı t/m ³	Basınç Emniyet Gerilm. (kg/cm ²)	Eğilmede Kayma Emniyet Gerilm. (kg/cm ²)
G1	15	10	0.4~0.5	7500~12500	1.5				
G2	25	20	0.4~0.5	7500~12500	2.5	0.8			
G3	35	30	0.5~0.6	12500~20000	3.5	0.8	0.72	13	2
G4	50	40	0.6~0.7	20000~30000	5.0	1.2	0.84	17	3
G6	75	60	0.7~0.8	30000~42000	7.5	1.2			

BÖLÜM 5: DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Gazbeton yapı malzemesinin su ve nem karşısındaki davranışını tespit etmek amacıyla, teorik araştırmaların yanı sıra deneysel çalışmalar da yapılmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmalarda, gazbeton yapı malzemesinin deney öncesindeki su içerikleri, higroskopik denge nemliliği, su emme oranları (1- 3- 7 günlük) ve doyma nemliliği bulunmuştur. Aşağıda bu deneylerle ilgili açıklamalar ve deney sonuçları gösterilmiş; son olarak da deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Deneyler; 24 Ocak 2000 – 28 Şubat 2000 kış dönemi, 08 Ağustos2000 – 08 Eylül 2000 yaz dönemi olmak üzere 2 aşama şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar, Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuarlarında yapılmıştır.

Deneyler yapılırken TSprEN 1353/Nisan 1996 Gaz ve Köpük Beton-Rutubet Muhtevası Tayini ve TS EN 678/Kasım 1995 Gaz ve Köpük Beton–Kuru Yoğunluk Tayini standartlarından yararlanılmıştır. Higroskopik denge nemliliği ile ilgili TS bulunamamıştır.

Deney çalışmaları sırasında, deney numunelerinin boyutlarını 0.1mm doğrulukla ölçebilecek nitelikte olan kumpas, deney numunelerinin kütlesini 0.1g doğrulukla ölçebilecek terazi ve sıcaklığı $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de tutabilen, hava dolaşımli etüv kullanılmıştır. Deney sırasında ortamın $0.5 ^\circ\text{C}$ hassasiyetle kuru ve ıslak sıcaklık ölçülmüş ve buna bağlı olarak da psikrometrik diyagramdan bağıl nem bulunmuştur.

Deneylerde kullanılacak olan numuneler, incelenecek gazbeton mamulünü temsil edebilecek şekilde çeşitli firmalar ve şantiyelerden seçilmeye çalışılmıştır. Firmalar tarafından gönderilen numuneler yaklaşık olarak 50x50x100mm (Standardlarda ölçülere bu şekilde istenmiştir) boyutlarında hazır şekilde gelmiştir.

Şantiyelerden elde edilen numuneler ise büyük bloklar halinde elde edilmiştir. Bu bloklar mümkün olduğu kadar az hasar görecektir şekilde elektrikli kesme makinası ile temiz ve düzgün olarak belirlenen numune ölçülerinde kesilmiştir.

Deneylerde kullanılan ürünler, firma tarafından gönderilen numuneler ve yine bu firmaların şantiyelerden elde edilmiş numuneleri olmak üzere iki ayrı şekilde incelenmiştir. Firma tarafından gönderilen numuneler “fabrika”, şantiyelerden elde edilmiş numuneler ise “şantiye” adı verilerek kodlandırılmıştır.

A firmasından gönderilen numunelere NA_{FAB} , ve B firmasından gönderilen numunelere NB_{FAB} ; yine aynı firmaların şantiyelerden elde edilmiş numunelerine ise sırasıyla $NA_{ŞANT}$ ve $NB_{ŞANT}$ adı verilmiştir. C firması üretmiş oldukları gazbeton ürünlerinden numuneler göndermemiştir. Bu yüzden C firmasının ürünleri, inşaat malzemeleri satan bir depodan alınmıştır. Bu numunelere $NC_{ŞANT}$ adı verilerek incelenmiştir.

Deney numuneleri, $(105 \pm 5) ^\circ C$ 'a ayarlı hava dolaşımli etüvde, sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Deney numuneleri etüvden çıkarıldıktan hemen sonra kuru kütleleri ayrı ayrı ölçülmüştür.

24 saat aralıklarla ölçülen deney numunelerinin kütlesinde % 0.2'den fazla değişme olmadığı durumda, sabit kütleye erişildiği kabul edilmiştir. Böylelikle numunenin etüv kurusu ağırlığı belirlenmiştir.

5. 1. Higroskopik Denge Nemliliği

Bu deneyde amaç, gazbeton numunelerinin kapalı ortamdaki rutubetten almış olduğu nem miktarını belirlemek, bunu da kütlece ve hacimce almış olduğu nem miktarı olarak ifade etmektir.

C firmasının ürünleri, fabrikadan gönderilmemiş ve inşaat malzemeleri satan bir depodan temin edilmiştir. A ve B firmalarından elde edilen ürünlerle farklı bir zaman dilimine rastlamıştır. Bu sebeple A ve B firmasının ürünleri üzerindeki deneyler 24.01.2000 ile 28.02.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilirken, C firmasının ürünleri üzerindeki deneyler 08.08.2000 ile 08.09.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Karşılaştırma yapabilmek için C firmasının ürünleri ile birlikte A ve B firmalarının bir önceki deneyden farklı ürünleri üzerinde de deneyler tekrarlanmıştır. Farklı zaman dilimlerindeki deneyler aşağıda 5.1.1 ve 5.1.2 gibi farklı bölümlerde verilmiştir.

5.1.1. A ve B firmalarına ait numuneler üzerinde 24.01.2000 ile 28.02.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen higroskopik denge nemliliği deneyi

Numunelerin boyutları ve ağırlıkları Tablo 5. 1’de, numunelerin kütlece ve hacimce almış oldukları nem miktarları da Tablo 5. 2’de verilmiştir. Deneyler süresince farklı tarihlerde numunelerin bulunduğu ortamın kuru termometre sıcaklıkları 18 °C – 20 °C arasında, bağıl nemi % 42,5 - % 77,5 arasında değişmiştir. Bu tarihler arasında boyutlarda 0.1-0.2 mm mertebelerinde değişimler okunmuştur.

Numunelerin ilk önce bulundukları ortam şartlarındaki kütleleri ölçülmüş ve etüve konulmuştur. Daha sonra etüv kurusu ağırlıkları bulunmuştur.

24 saat aralıklarla kütle ölçümü yapılmıştır. İki gün arasındaki ölçüm farkı % 0,2'yi geçmeyecek duruma geldiğinde numunelerin sabit kütleye eriştiği kabul edilmiştir. NA_{FAB} ile NB_{FAB} , 4 gün sonunda sabit kütleye erişmiştir. $NA_{\text{ŞANT}}$ ile $NB_{\text{ŞANT}}$ ise 3. gün sonunda sabit kütleye erişmiştir.

Oda şartlarında kuru termometre sıcaklığının ve bağıl nemin değeri Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Son olarak; numunelerin oda şartlarındaki ağırlığından, etüv kurusu ağırlığı çıkarılmış ve etüv kurusu ağırlığına bölünmüştür. Böylece numunelerin deney öncesindeki su içerikleri kütlece ve hacimce tespit edilmiş ve sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir.

Higroskopik denge nemliliklerinin tayini için, numuneler etüvden çıkarıldıktan sonra sabit kütleye erişinceye kadar normal hava şartlarında bekletilmiş ve 24 saat aralıklarla ölçümler alınmıştır. Kütlelerin dengeye geldikleri son iki gün odanın bağıl nemi % 57.5 - % 60 arasında, kuru sıcaklıkları ise 19 °C – 20 °C arasında kalmıştır.

A ve B firmasının şantiyeden elde edilen numuneleri fabrikadan gelen numunelerden bir gün önce oda şartlarına çıkmalarına rağmen, fabrikadan gelen numunelerle aynı gün sabit kütleye ulaşmışlar ve elde edilen değerler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Son olarak; numunelerin denge halindeki ağırlığından, etüv kurusu ağırlığı çıkarılmış ve etüv kurusu ağırlığına bölünmüştür. Böylece numunelerin % 58 ± 2 bağıl nemdeki higroskopik denge nemlilikleri kütlece ve hacimce tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo 5.2 ve Şekil 5.1'de verilmiştir.

Bağıl neme göre gazbeton numunelerin su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5. 1. Higroskopik Denge Nemliliği Tayini için 24.01.2000 – 28.02.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler

Numune Kodu		Oda içinde	Etiv kurusu			Oda içinde			
	Tarih	24.01.00	25.01.00	26.01.00	27.01.00	27.01.00	28.01.00	31.01.00	01.02.00
	Sıcaklık (T)	18 °C	-	-	-	19,5 °C	20,5 °C	19 °C	20 °C
	Bağıl nem (ϕ)	% 77,5	-	-	-	% 42,5	% 52,5	% 57,5	% 60
N ₁ A _{FAB}	En (mm)	49,5	49,3	49,3	49,3	-	49,3	49,4	49,5
	Boy (mm)	100,3	100,1	100,1	100,1	-	100,1	100,1	100,1
	Yükseklik(mm)	99,3	99,1	99,1	99,1	-	99,2	99,2	99,2
	Ağırlık (g)	208,9	-	203,6	203,7	-	206,5	208,3	208,3
N ₂ A _{FAB}	En (mm)	50,0	49,9	50,0	50,0	-	50,0	50,0	50,0
	Boy (mm)	100,3	100,1	100,1	100,1	-	100,2	100,2	100,2
	Yükseklik(mm)	98,8	99,0	98,8	98,8	-	99,0	99,0	99,0
	Ağırlık (g)	205,3	200,8	199,9	200,2	-	202,9	204,7	204,7
N ₃ A _{FAB}	En (mm)	50,0	49,9	49,8	49,8	-	49,9	49,9	49,9
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0	100,0	-	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik(mm)	98,5	98,5	98,5	98,5	-	98,5	98,5	98,5
	Ağırlık (g)	200,7	196,0	195,9	196,0	-	198,7	200,2	200,3
N ₁ A _{ŞANT}	En (mm)	49,6	49,5	49,5	-	49,6	49,5	49,7	49,7
	Boy (mm)	99,7	99,5	99,5	-	99,6	99,7	99,8	99,8
	Yükseklik(mm)	99,7	99,7	99,7	-	99,7	99,8	99,8	99,8
	Ağırlık (g)	211,9	205,4	205,4	-	208,5	209,6	211,2	211,4
N ₂ A _{ŞANT}	En (mm)	47,7	47,8	47,7	-	47,8	47,8	47,8	47,8
	Boy (mm)	99,4	99,3	99,3	-	99,4	99,4	99,4	99,5
	Yükseklik(mm)	100,3	100,2	100,2	-	100,3	100,2	100,3	100,3
	Ağırlık (g)	200,5	194,7	194,2	-	197,1	198,1	199,8	199,9
N ₃ A _{ŞANT}	En (mm)	49,4	49,3	49,3	-	49,4	49,4	49,5	49,5
	Boy (mm)	99,7	99,5	99,5	-	99,7	99,7	99,8	99,8
	Yükseklik(mm)	99,8	99,7	99,7	-	99,8	99,8	99,8	99,9
	Ağırlık (g)	206,0	200,6	200,1	-	203,0	203,9	205,5	205,5

Tablo 5. 1.' in devamı,

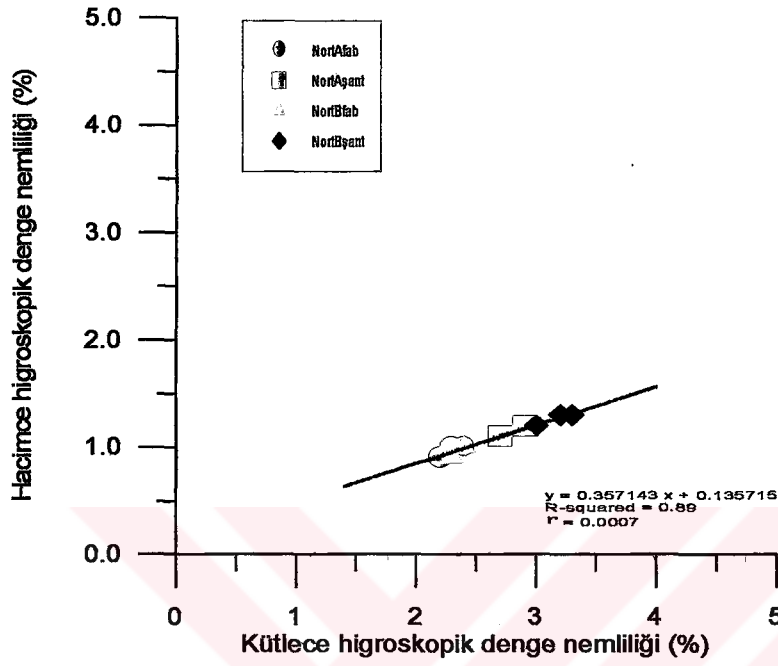
Numune Kodu		Oda içinde	Etüv kurusu			Oda içinde			
	Tarih	24.01.00	25.01.00	26.01.00	27.01.00	27.01.00	28.01.00	31.01.00	01.02.00
	Sıcaklık (T)	18 °C	-	-	-	19,5 °C	20,5 °C	19 °C	20 °C
	Bağıl nem (ϕ)	% 77,5	-	-	-	% 42,5	% 52,5	% 57,5	% 60
N ₁ B _{FAB}	En (mm)	49,5	49,4	49,4	49,4	-	49,4	49,4	49,5
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0	100,0	-	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik(mm)	100,2	100,0	100,0	100,0	-	100,0	100,0	100,1
	Ağırlık (g)	208,5	203,6	203,3	203,4	-	206,0	207,9	208,0
N ₂ B _{FAB}	En (mm)	49,7	49,5	49,5	49,5	-	49,5	49,6	49,7
	Boy (mm)	100,5	100,3	100,3	100,3	-	100,3	100,3	100,3
	Yükseklik(mm)	100,3	100,2	100,2	100,2	-	100,2	100,2	100,2
	Ağırlık (g)	210,6	205,7	205,4	205,2	-	208,0	209,9	210,1
N ₃ B _{FAB}	En (mm)	50,0	49,8	49,8	49,8	-	49,9	49,9	49,9
	Boy (mm)	100,3	100,1	100,1	100,1	-	100,1	100,2	100,2
	Yükseklik(mm)	100,2	100,0	100,0	100,0	-	100,1	100,1	100,1
	Ağırlık (g)	206,0	201,4	200,7	200,9	-	203,6	205,4	205,5
N ₁ B _{ŞANT}	En (mm)	49,5	49,3	49,3	-	49,4	49,4	49,5	49,5
	Boy (mm)	99,7	99,5	99,6	-	99,6	99,7	99,7	99,7
	Yükseklik(mm)	100,3	100,2	100,2	-	100,2	100,2	100,2	100,2
	Ağırlık (g)	200,8	193,9	193,9	-	197,3	198,5	200,0	200,1
N ₂ B _{ŞANT}	En (mm)	50,0	49,9	49,9	-	49,9	49,9	49,9	49,9
	Boy (mm)	100,2	100,1	100,1	-	100,1	100,1	100,1	100,1
	Yükseklik(mm)	100,0	100,0	100,0	-	100,1	100,0	100,0	100,0
	Ağırlık (g)	203,3	196,7	196,6	-	199,9	201,0	202,5	202,5
N ₃ B _{ŞANT}	En (mm)	49,7	49,5	49,5	-	49,5	49,5	49,5	49,5
	Boy (mm)	99,3	99,2	99,3	-	99,3	99,3	99,3	99,3
	Yükseklik(mm)	100,0	100,0	99,9	-	100,0	100,0	100,0	100,0
	Ağırlık (g)	206,1	199,0	198,9	-	202,5	203,7	205,3	205,4

Tablo 5.2. Numunelerin deney öncesindeki su içerikleri ve % 58±2 bağıl nemdeki higroskopik denge nemlilikleri

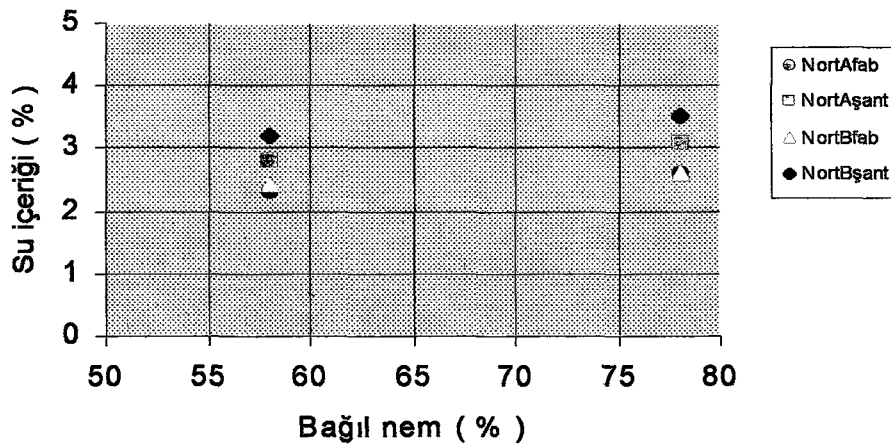
Numune Kodu	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Deney öncesi oda içinde su içeriği		Higroskopik denge nemliliği	
		Sıcaklık (°C) : 18°C (T ≡ °C)		Sıcaklık (°C) : 20°C (T ≡ °C)	
		Bağıl nem (ϕ) : 77.5 ($\phi \equiv \%$)		Bağıl nem (ϕ) : 58±2 ($\phi \equiv \%$)	
		Kütlece (%)	Hacimce (%)	Kütlece (%)	Hacimce (%)
N ₁ A _{FAB}	413	2,6	1,1	2,3	1,0
N ₂ A _{FAB}	404	2,7	1,1	2,4	1,0
N ₃ A _{FAB}	397	2,5	1,0	2,2	0,9
N ₁ A _{SANT}	432	3,2	1,3	2,9	1,2
N ₂ A _{SANT}	409	3,2	1,3	2,9	1,2
N ₃ A _{SANT}	410	2,9	1,2	2,7	1,1
N ₁ B _{FAB}	410	2,6	1,0	2,3	0,9
N ₂ B _{FAB}	372	2,6	0,9	2,4	1,0
N ₃ B _{FAB}	399	2,6	1,1	2,4	1,0
N ₁ B _{SANT}	395	3,6	1,4	3,2	1,3
N ₂ B _{SANT}	400	3,4	1,4	3,0	1,2
N ₃ B _{SANT}	408	3,6	1,5	3,3	1,3

5.1.2. A, B ve C firmalarına ait numuneler üzerinde 08.08.2000 ile 08.09.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen higroskopik denge nemliliği deneyi

08.08.2000 – 08.09.2000 tarihleri arasında 2. Aşama olarak gerçekleştirilen deneylerde de gazbeton numunelerinin deney öncesindeki su içerikleri ve higroskopik denge nemlilikleri kütlece ve hacimce tespit edilmiştir.



Şekil 5. 1. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce higroskopik denge nemlilikleri



Şekil 5. 2. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin kütlece ortalama su içeriklerinin değişimi

Deneyin yapılışı ve amaçları bölüm 5.1’de ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu deney de aynı amaca yöneliktir. Bu amaçla bu bölümde sadece deney sırasında elde edilen değerler ve sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar tablo ve grafik halinde gösterilmiştir.

Numunelerin ilk önce bulundukları ortam şartlarındaki kütleleri ölçülmüş ve numuneler etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuş, daha sonra etüv kurusu ağırlıkları bulunmuştur. NA_{FAB} , NB_{FAB} ve $NC_{ŞANT}$ 4 gün sonunda sabit kütleye erişmiştir. Oda şartlarında kuru termometre sıcaklığının ve bağıl nemin değeri Tablo 5.3’de gösterilmiştir. Numunelerin deney öncesindeki su içerikleri kütlece ve hacimce tespit edilmiş ve sonuçları Tablo 5.4’de verilmiştir.

Higroskopik denge nemliliği için, kütlelerin dengeye geldikleri son iki gün odanın bağıl nemi % 57.5 - % 55 arasında, kuru sıcaklıkları ise 28.5 °C – 29 °C arasında kalmıştır. NA_{FAB} , NB_{FAB} ve $NC_{ŞANT}$ 3 gün sonunda sabit kütleye erişmiştir. Elde edilen değerler Tablo 5.3’de verilmiştir.

Numunelerin % 56 ± 2 bağıl nemdeki higroskopik denge nemlilikleri kütlece ve hacimce tespit edilmiş ve sonuçlar Tablo 5.4 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Bağıl neme göre gazbeton numunelerin su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.4’de verilmiştir.

5. 2. Su Emme Oranları Tayini (1, 3, 7 günlük)

Bu deneyde amaç, su içerisinde tutulan gazbeton numunelerinin 1, 3 ve 7 gün sonunda bünyesine almış olduğu su miktarını kütlece ve hacimce belirlemektir.

Numuneleri suda bekletebilmek için, geniş bir kap ve saf su kullanılmıştır. Numunelerin boyutlarını yaklaşık olarak 50 mm aşacak düzeyde saf su koyulmuş ve numuneler bu su içerisinde tutulmuştur.

Tablo 5. 3. Higroskopik Denge Nemliliği Tayini için 08.08.2000 – 08.09.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler

Numune kodu		Oda içinde	Etiv kurusu			Oda içinde	
	Tarih	08.08.00	09.08.00	10.08.00	11.08.00	12.08.00	14.08.00
	Sıcaklık (T)	29°C	-	-	-	28.5°C	29°C
	Bağıl nem (φ)	% 72.5	-	-	-	%57.5	%55
N ₁ A _{FAB}	En (mm)	48.8	48.7	48.7	48.8	48.9	48.9
	Boy (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Yükseklik(mm)	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.1
	Ağırlık (g)	206.5	206.4	201.8	201.6	205.2	205.2
N ₂ A _{FAB}	En (mm)	49.0	49.2	49.2	49.1	49.1	49.0
	Boy (mm)	99.2	99.2	99.2	99.1	99.2	99.2
	Yükseklik(mm)	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
	Ağırlık (g)	206.5	206.3	202.2	201.8	205.2	205.2
N ₃ A _{FAB}	En (mm)	49.5	49.5	49.5	49.4	49.5	49.5
	Boy (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	99.9
	Yükseklik(mm)	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
	Ağırlık (g)	204.1	203.9	199.8	199.7	202.9	202.9
N ₁ B _{FAB}	En (mm)	49.5	49.5	49.5	49.4	49.6	49.5
	Boy (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Yükseklik(mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	218.4	218.1	213.5	213.3	217.2	217.2
N ₂ B _{FAB}	En (mm)	49.8	49.6	49.6	49.6	49.5	49.5
	Boy (mm)	100.0	100.0	99.8	99.8	99.9	100.0
	Yükseklik(mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	217.0	216.8	212.5	212.3	215.9	215.9
N ₃ B _{FAB}	En (mm)	49.8	49.8	49.7	49.6	49.5	49.5
	Boy (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Yükseklik(mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	211.4	211.1	206.7	206.7	210.3	210.3

Tablo 5. 3'nin devamı,

Numune kodu		Oda içinde	Etiv kurusu				Oda içinde
	Tarih	08.08.00	09.08.00	10.08.00	11.08.00	12.08.00	14.08.00
	Sıcaklık (T)	29°C	-	-	-	28.5°C	29°C
	Bağıl nem (φ)	% 72.5	-	-	-	%57.5	%55
	Gün	1	2	3	4	5	7
N ₁ C _{ŞANT}	En (mm)	50.0	50.1	50.0	50.0	50.0	50.0
	Boy (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.1
	Yüksekli (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	202.0	201.8	196.7	196.4	200.7	200.7
N ₂ C _{ŞANT}	En (mm)	50.0	50.1	50.0	49.9	50.0	50.0
	Boy (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Yükseklik(mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	201.5	201.3	196.4	196.4	200.3	200.3
N ₃ C _{ŞANT}	En (mm)	49.3	49.3	49.5	49.5	49.6	49.5
	Boy (mm)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Yükseklik(mm)	100.0	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	202.6	202.3	197.3	197.3	201.2	201.2

Higroskopik denge nemlilikleri tespit edilmiş olan gazbeton numuneleri suya bırakılmadan önce kütleleri ve boyutları ölçülmüştür. Farklı zaman dilimlerindeki deneyler aşağıda 5.2.1 ve 5.2.2 gibi farklı bölümlerde verilmiştir.

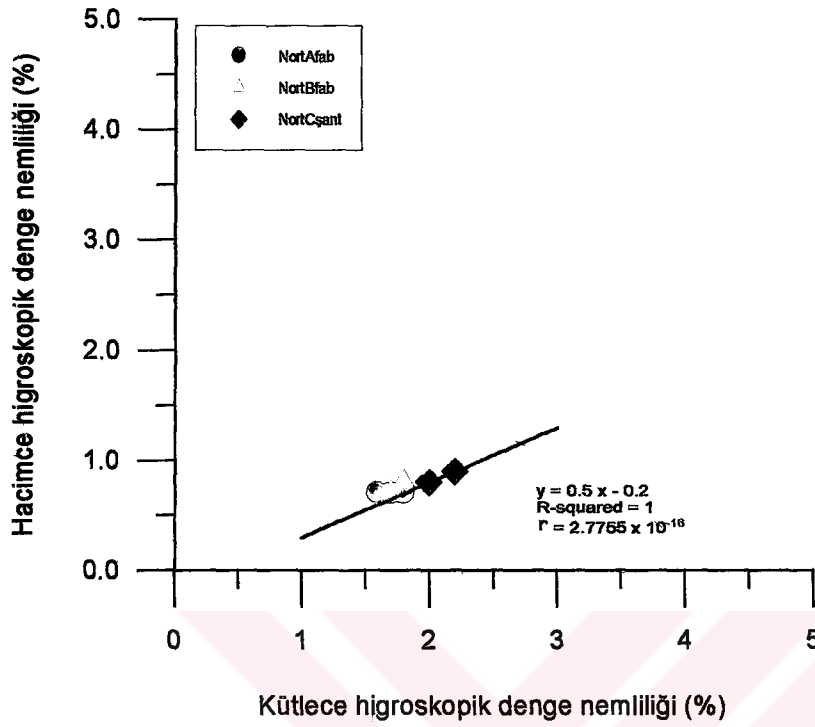
Tüm numuneler su içinde bırakılmış ve 1 günlük, 3 günlük ve 7 günlük su emmiş kütleleri ve boyutları ölçülerek, bu değerler tablolarda verilmiştir.

Tablo 5. 4. Numunelerin deney öncesindeki su içerikleri ve % 56±2 bağıl nemdeki higroskopik denge nemlilikleri

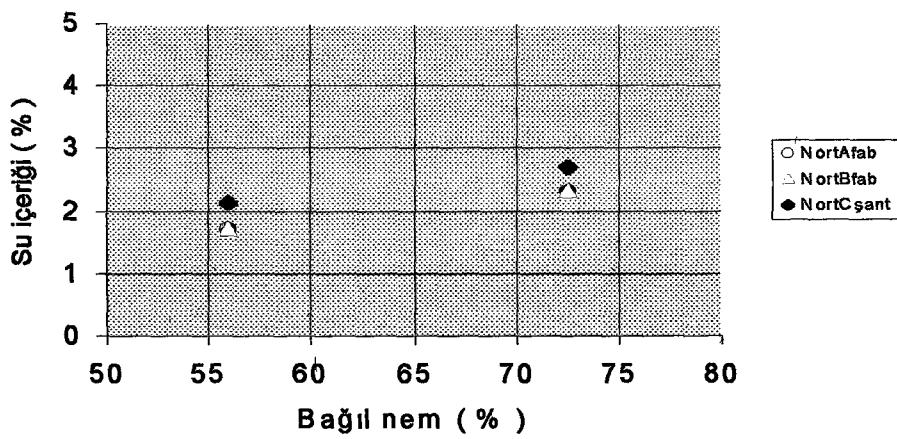
Numune kodu	Yoğunluk ρ (kg / m ³)	Deney öncesi		Higroskopik denge nemliliği	
		Sıcaklık (°C) : 29°C (T ≡ °C)		Sıcaklık (T) : 29°C (T ≡ °C)	
		Bağıl nem (ϕ) : 72.5 (ϕ ≡ %)		Bağıl nem (ϕ) : 56±2 (ϕ ≡ %)	
		Kütlece (%)	Hacimce (%)	Kütlece (%)	Hacimce (%)
N ₁ A _{FAB}	417	2,4	1,0	1.8	0.7
N ₂ A _{FAB}	419	2,3	1,0	1.7	0.7
N ₃ A _{FAB}	407	2,2	0.9	1.6	0.7
N ₁ B _{FAB}	431	2.4	1,0	1.8	0.8
N ₂ B _{FAB}	426	2,2	0.9	1.7	0.7
N ₃ B _{FAB}	415	2,3	0.9	1.7	0.7
N ₁ C _{SANT}	393	2.8	1,1	2.2	0.9
N ₂ C _{SANT}	393	2.6	1,0	2.0	0.8
N ₃ C _{SANT}	400	2.7	1,1	2.0	0.8

5.2.1. A ve B firmalarına ait numuneler üzerinde 24.01.2000 ile 28.02.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen su emme oranları tayini

Su emme oranları tayini için A ve B firmalarına ait numunelerin su emme oranları ile ilgili ölçümler Tablo 5.5’de verilmiştir. Numunelerin 1 günde emilen suyun kütlesinden, etüv kurusu ağırlığı çıkarılmış ve etüv kurusu ağırlığına bölünmüştür. Böylece numunelerin 1 günlük su emme oranları kütlece ve hacimce tespit edilmiş, sonuçlar Tablo 5.8 ve Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.6a, Şekil 5.6b, Şekil 5.6c, Şekil 5.6d’de verilmiştir. Bu sırada 1 gün su içerisinde kalmış olan NA_{SANT} numunelerinden biri parçalanmıştır. Ayrıca numunelerin ortalama su içeriklerinin değişimi Şekil 5.5’de, ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5. 3. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce higroskopik denge nemlilikleri



Şekil 5. 4. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin kütlece ortalama su içeriklerinin değişimi

Numunelerin 3 günde emilen suyun kütlesinden, etüv kurusu ağırlığı çıkarılmış ve etüv kurusu ağırlığına bölünmüştür. Böylece numunelerin 3 günlük su emme oranları kütlece ve hacimce tespit edilmiş, sonuçlar Tablo 5.8 ve Şekil 5.6, Şekil 5.6a, Şekil 5.6b, Şekil 5.6c, Şekil 5.6d'de verilmiştir. Bu sırada 3 gün su içerisinde kalmış olan NB_{ŞANT} numunelerinden biri parçalanmıştır. Ayrıca numunelerin ortalama su içeriklerinin değişimi Şekil 5.5'de, ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.7'de verilmiştir.

Son olarak; numunelerin 7 günde emilen suyun kütlesinden, etüv kurusu ağırlığı çıkarılmış ve etüv kurusu ağırlığına bölünmüştür. Böylece numunelerin 7 günlük su emme oranları kütlece ve hacimce tespit edilmiş, sonuçlar Tablo 5.8 ve Şekil 5.6, Şekil 5.6a, Şekil 5.6b, Şekil 5.6c, Şekil 5.6d'de verilmiştir. Ayrıca numunelerin ortalama su içeriklerinin değişimi Şekil 5.5'de, ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.7'de verilmiştir.

5.2.2. A, B ve C firmalarına ait numuneler üzerinde 08.08.2000 ile 08.09.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen su emme oranları tayini

08.08.2000 – 08.09.2000 tarihleri arasında 2. Aşama olarak gerçekleştirilen deneylerde de gazbeton numunelerinin su emme oranları kütlece ve hacimce tespit edilmiştir.

Deneyin yapılışı ve amaçları bölüm 5.2'de ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu deney de aynı amaca yöneliktir. Bu amaçla bu bölüm de sadece deney sırasında elde edilen değerler ve sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar tablo ve grafik halinde gösterilmiştir. NA_{FAB}, NB_{FAB} ve NC_{ŞANT} su içinde bırakılmış ve 1 günlük, 3 günlük ve 7 günlük su emmiş kütleleri ve boyutları ölçülerek, bu değerler Tablo 5.6' da verilmiştir. Numunelerin 1, 3 ve 7 günlük su emme oranları kütlece ve hacimce tespit edilmiş, sonuçlar Tablo 5.10 ve Şekil 5.9, Şekil 5.9a, Şekil 5.9b, Şekil 5.9c'de verilmiştir. Ayrıca numunelerin ortalama su içeriklerinin değişimi Şekil 5.8'de, ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5. 5. Su Emme Oranları Tayini için 24.01.2000 – 28.02.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler

Numune kodu	Tarih	Su emme oranları ölçümleri		
		1 günlük	3 günlük	7 günlük
		02.02.00	04.02.00	07.02.00
N_1A_{FAB}	En (mm)	49,5	49,4	49,5
	Boy (mm)	100,1	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	100,1	100,0	99,2
	Ağırlık (g)	344,9	351,3	352,4
N_2A_{FAB}	En (mm)	50,0	50,0	50,0
	Boy (mm)	100,2	100,2	100,2
	Yükseklik (mm)	99,0	99,0	99,0
	Ağırlık (g)	339,8	344,7	347,1
N_3A_{FAB}	En (mm)	49,9	50,0	49,9
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	98,5	98,4	98,5
	Ağırlık (g)	338,5	344,0	346,9
$N_1A_{\text{ŞANT}}$	En (mm)	49,5	49,7	49,7
	Boy (mm)	99,8	99,8	99,8
	Yükseklik (mm)	99,8	99,9	99,9
	Ağırlık (g)	365,0	366,4	367,2
$N_2A_{\text{ŞANT}}$	En (mm)	47,8	47,8	47,8
	Boy (mm)	99,5	99,4	99,5
	Yükseklik (mm)	100,2	100,2	100,3
	Ağırlık (g)	347,3	356,9	355,2
$N_3A_{\text{ŞANT}}$	En (mm)	49,4	49,5	49,5
	Boy (mm)	99,8	99,8	99,8
	Yükseklik (mm)	99,9	99,8	99,9
	Ağırlık (g)	358,2	362,6	363,2

Tablo 5. 5' in devamı,

Numune kodu	Tarih	Su emme oranları ölçümleri		
		1 günlük	3 günlük	7 günlük
		02.02.00	04.02.00	07.02.00
N ₁ B _{FAB}	En (mm)	49,5	49,4	49,5
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	100,1	100,1	100,1
	Ağırlık (g)	372.4	379.8	385.2
N ₂ B _{FAB}	En (mm)	49.7	49.7	49.7
	Boy (mm)	100,2	100,2	100,2
	Yükseklik (mm)	100.1	100.1	100.0
	Ağırlık (g)	375.6	384.2	387.9
N ₃ B _{FAB}	En (mm)	49,9	50.0	49,9
	Boy (mm)	100,1	100,1	100,0
	Yükseklik (mm)	100.1	100.1	100.1
	Ağırlık (g)	368.4	375.5	379.2
N ₁ B _{ŞANT}	En (mm)	49,5	49,5	49,5
	Boy (mm)	99,8	99,8	99,8
	Yükseklik (mm)	100.2	100.1	100.2
	Ağırlık (g)	367.4	375.5	376.2
N ₂ B _{ŞANT}	En (mm)	49.9	49.9	50.0
	Boy (mm)	100.1	100.0	99.9
	Yükseklik (mm)	100,0	100,0	100,0
	Ağırlık (g)	380.8	384.5	355.2
N ₃ B _{ŞANT}	En (mm)	49,4	49,5	49,5
	Boy (mm)	99,2	99,2	99,2
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0	99,9
	Ağırlık (g)	366.1	372.3	374.3

Tablo 5. 6. Su Emme Oranları Tayini için 08.08.2000 – 08.09.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler

Numune kodu	Tarih	Su emme oranları ölçümleri		
		1 günlük	3 günlük	7 günlük
		15.08.00	17.08.00	21.08.00
N ₁ A _{FAB}	En (mm)	49,0	49,0	49,1
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	99,1	99,2	99,2
	Ağırlık (g)	339,5	345,0	348,3
N ₂ A _{FAB}	En (mm)	49,0	49,1	49,0
	Boy (mm)	99,2	99,1	99,0
	Yükseklik (mm)	99,4	99,5	99,6
	Ağırlık (g)	338,4	342,0	344,1
N ₃ A _{FAB}	En (mm)	49,6	49,5	49,6
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	99,1	99,1	99,0
	Ağırlık (g)	338,3	344,0	349,4
N ₁ B _{FAB}	En (mm)	49,6	49,6	49,5
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	100,0	100,0	100,1
	Ağırlık (g)	388,4	397,8	399,3
N ₂ B _{FAB}	En (mm)	49,7	49,6	49,7
	Boy (mm)	100,1	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	100,0	100,0	100,0
	Ağırlık (g)	382,2	390,5	393,3
N ₃ B _{FAB}	En (mm)	49,5	49,6	49,5
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	100,1	100,0	100,0
	Ağırlık (g)	374,0	380,6	381,1

Tablo 5. 6' nın devamı,

Numune kodu	Tarih	Su emme oranları ölçümleri		
		1 günlük	3 günlük	7 günlük
		15.08.00	17.08.00	21.08.00
N ₁ C _{ŞANT}	En (mm)	50,0	49,9	50,0
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	99,9	100,0	99,9
	Ağırlık (g)	353,5	358,6	360,2
N ₂ C _{ŞANT}	En (mm)	50,0	50,0	50,0
	Boy (mm)	99,8	99,9	100,0
	Yükseklik (mm)	99,9	100,0	100,0
	Ağırlık (g)	363,9	370,2	372,6
N ₃ C _{ŞANT}	En (mm)	49,5	49,6	49,5
	Boy (mm)	100,0	100,0	100,0
	Yükseklik (mm)	100,0	99,8	99,9
	Ağırlık (g)	356,1	360,9	362,5

5. 3. Doyma Nemliliği Tayini (Su emme Tayini)

Bu deneyde amaç, malzemenin su içerisinde bekletilerek bünyesine alabileceği maximum su miktarını kütlece ve hacimce belirlemektir. Yani malzemenin sudaki denge halini bulmaktır.

Malzemenin 7 günlük su emme oranları bulunduktan sonra, su içerisinde bekletilerek 24 saat aralıklarla ölçümleri yapılmış ve sabit kütleye erişinceye kadar bu ölçümler devam etmiştir. Farklı zaman dilimlerindeki deneyler aşağıda 5.3.1 ve 5.3.2 gibi farklı bölümlerde verilmiştir.

5.3.1. A ve B firmalarına ait numuneler üzerinde 24.01.2000 ile 28.02.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen doyma nemliliği tayini

A ve B firmalarına ait numuneler 9 gün sonunda doymun hale gelmiştir. Elde edilen değerler Tablo 5.7’de verilmiştir.

Son olarak, numunelerin sudaki denge halindeki ağırlığından, etüv kurusu ağırlığı çıkarılmış ve etüv kurusu ağırlığına bölünmüştür. Böylece numunelerin doyma nemliliği oranları kütlece ve hacimce tespit edilmiş, sonuçlar Tablo 5.8 ve Şekil 5.6, Şekil 5.6a, Şekil 5.6b, Şekil 5.6c, Şekil 5.6d’de verilmiştir. Ayrıca numunelerin ortalama su içeriklerinin değişimi Şekil 5.5’de, ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.7’de verilmiştir.

5.3.2. A, B ve C firmalarına ait numuneler üzerinde 08.08.2000 ile 08.09.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen doyma nemliliği tayini

08.08.2000 – 08.09.2000 tarihleri arasında 2. Aşama olarak gerçekleştirilen deneylerde de gazbeton numunelerinin doyma nemlilikleri kütlece ve hacimce tespit edilmiştir.

Deneyin yapılışı ve amaçları bölüm 5.3’de ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu deney de aynı amaca yöneliktir. Bu amaçla bu bölüm de sadece deney sırasında elde edilen değerler ve sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlar tablo ve grafik halinde gösterilmiştir. 12 gün sonunda tüm numuneler doymun hale gelmiştir. Elde edilen değerler Tablo 5.9’da verilmiştir. Son olarak, numunelerin doyma nemliliği oranları kütlece ve hacimce tespit edilmiş, sonuçlar Tablo 5.10 ve Şekil 5.9, Şekil 5.9a, Şekil 5.9b, Şekil 5.9c, Şekil 5.9d’de verilmiştir. Ayrıca numunelerin ortalama su içeriklerinin değişimi Şekil 5.8’de, ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi de Şekil 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5. 7. Doyma Nemliliği Tayini için 24.01.2000 – 28.02.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler

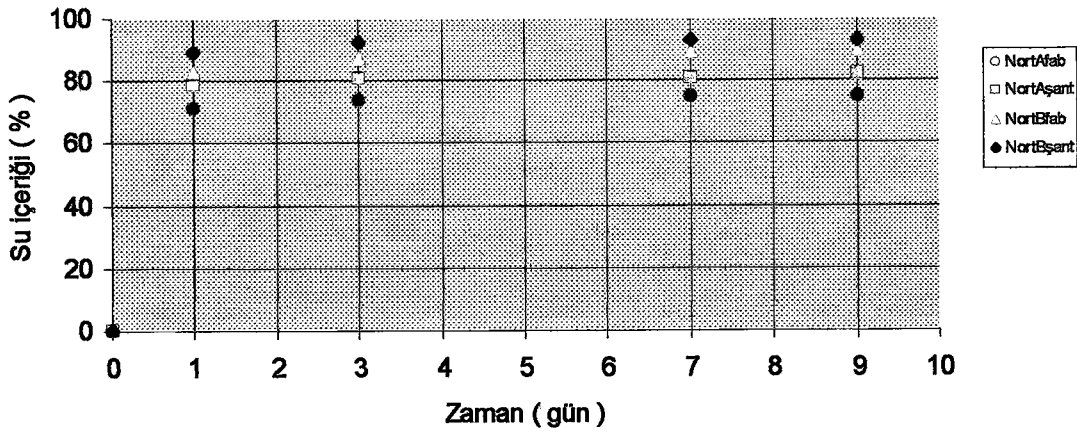
Numune kodu	Doyma Nemliliği Ölçümleri		
	Tarih	08.02.00	09.02.00
N ₁ A _{FAB}	En (mm)	49.5	49.5
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	99.1	99.2
	Ağırlık (g)	351.8	-
N ₂ A _{FAB}	En (mm)	50.0	50.0
	Boy (mm)	100.2	100.2
	Yükseklik (mm)	99.0	99.0
	Ağırlık (g)	347.8	-
N ₃ A _{FAB}	En (mm)	50.0	50.0
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	98.5	98.5
	Ağırlık (g)	349.6	-
N ₁ A _{ŞANT}	En (mm)	49.7	49.7
	Boy (mm)	99.7	99.7
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	-	367.8
N ₂ A _{ŞANT}	En (mm)	47.8	47.8
	Boy (mm)	99.5	99.5
	Yükseklik (mm)	100.3	100.3
	Ağırlık (g)	-	358.7
N ₃ A _{ŞANT}	En (mm)	49.4	49.5
	Boy (mm)	99.8	99.8
	Yükseklik (mm)	99.9	100.0
	Ağırlık (g)	-	364.7

Tablo 5. 7' nin devamı,

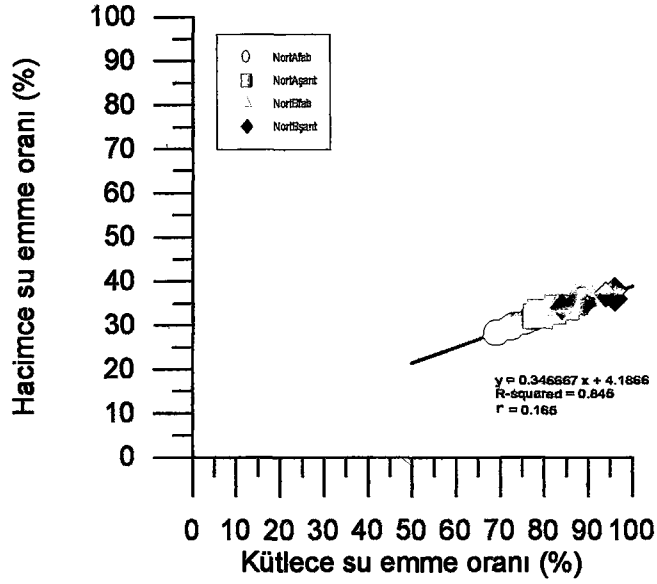
Numune kodu	Doyma Nemliliği Ölçümleri		
	Tarih	08.02.00	09.02.00
N ₁ B _{FAB}	En (mm)	49.5	49.4
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.1	100.1
	Ağırlık (g)	-	385.8
N ₂ B _{FAB}	En (mm)	49.6	49.5
	Boy (mm)	100.1	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	-	389.3
N ₃ B _{FAB}	En (mm)	50.0	50.0
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	380.7	-
N ₁ B _{ŞANT}	En (mm)	49.5	49.5
	Boy (mm)	99.7	99.7
	Yükseklik (mm)	100.1	100.0
	Ağırlık (g)	-	378.1
N ₂ B _{ŞANT}	En (mm)	50.0	50.0
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	-	386.1
N ₃ B _{ŞANT}	En (mm)	49.5	49.5
	Boy (mm)	99.2	99.1
	Yükseklik (mm)	99.8	99.8
	Ağırlık (g)	-	376.1

Tablo 5.8. Birinci deney için su emme değerleri

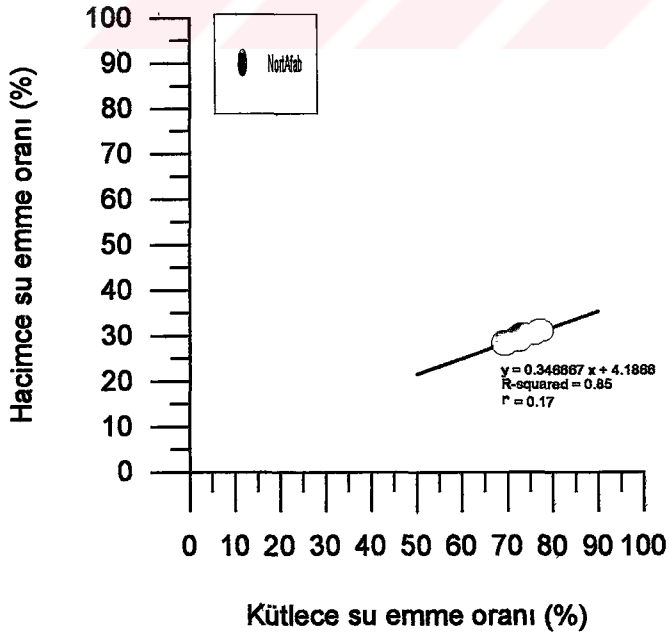
Numune Kodu	Su emme oranları ölçümleri (%)							
	1 günlük		3 günlük		7 günlük		Doyma nemliliği	
	Kütlece	Hacimce	Kütlece	Hacimce	Kütlece	Hacimce	Kütlece	Hacimce
N ₁ A _{FAB}	69	28	73	30	73	30	73	30
N ₂ A _{FAB}	70	28	72	29	74	30	74	30
N ₃ A _{FAB}	73	29	76	30	77	31	78	31
N ₁ A _{ŞANT}	78	32	78	32	79	33	79	33
N ₂ A _{ŞANT}	79	32	84	34	83	34	85	34
N ₃ A _{ŞANT}	79	32	81	33	81	33	82	33
N ₁ B _{FAB}	83	34	87	36	89	37	90	37
N ₂ B _{FAB}	83	34	87	36	89	37	90	37
N ₃ B _{FAB}	84	34	87	34	89	36	90	36
N ₁ B _{ŞANT}	89	35	94	37	94	37	95	37
N ₂ B _{ŞANT}	94	37	96	38	96	38	96	38
N ₃ B _{ŞANT}	84	34	87	35	88	36	89	36



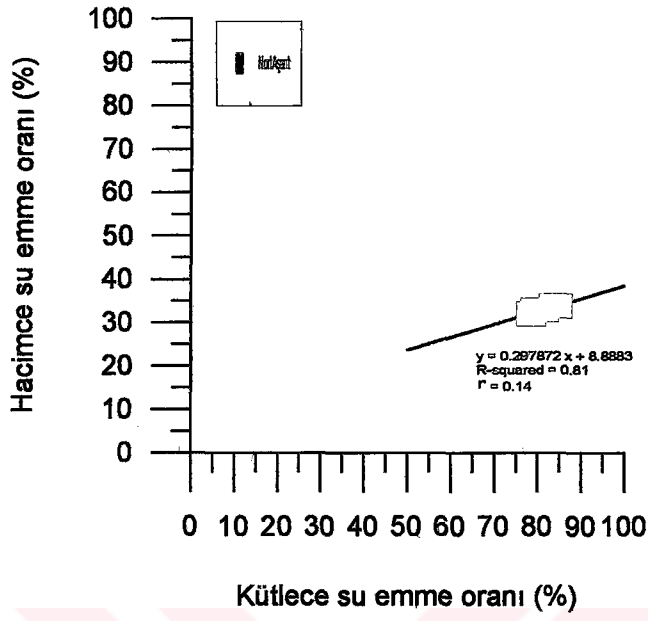
Şekil 5. 5. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ortalama su içeriğinin değişimi



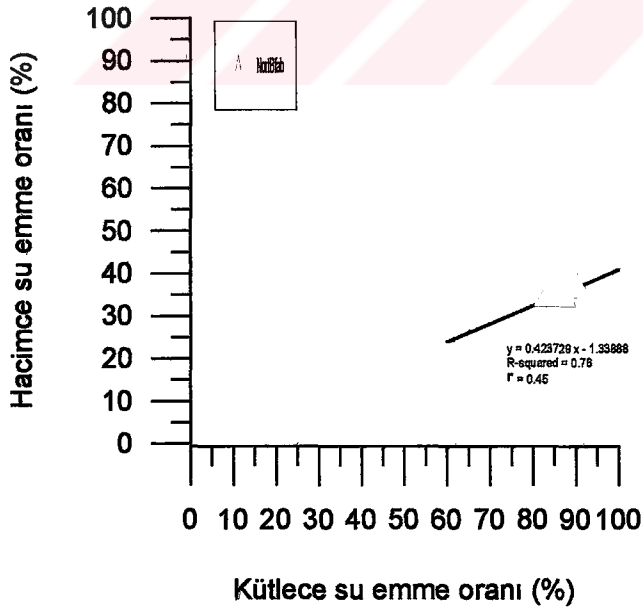
Şekil 5. 6. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları



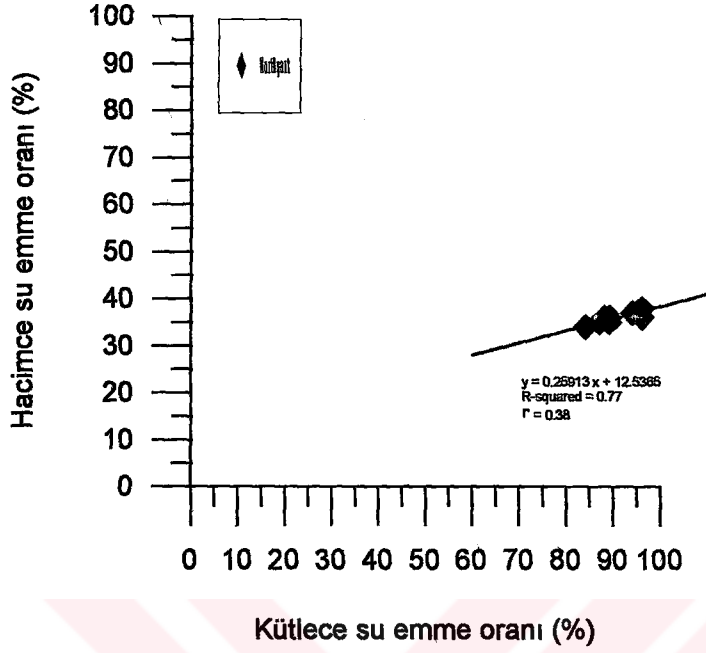
Şekil 5. 6a. A firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları



Şekil 5. 6b. A firmasına ait şantiyeden elde edilen numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları



Şekil 5. 6c. B firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları

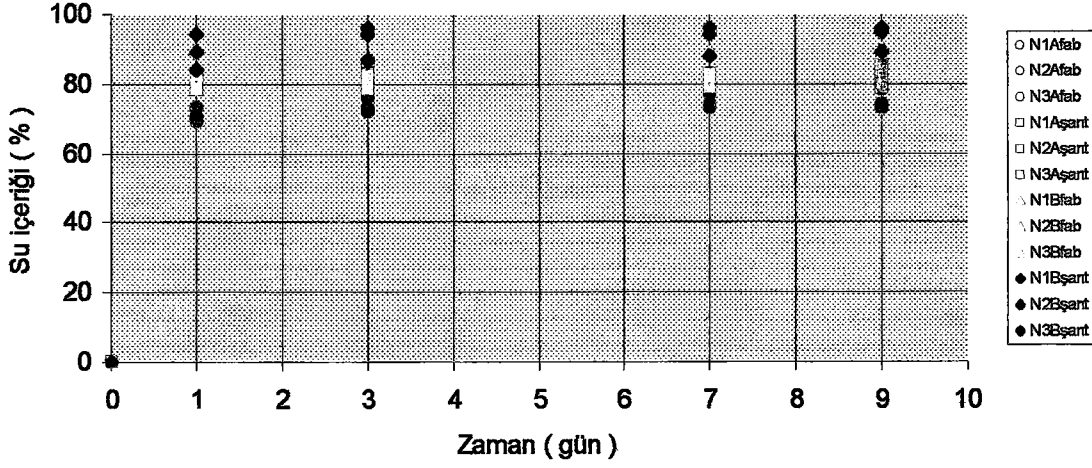


Şekil5. 6d. B firmasına ait şantiyeden elde edilen numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları

5.4. Kütlelerin Kuruma Hızlarının Tayini

Bu aşamada amaç, malzemenin su içinde doymun hale geldikten sonra, ortam şartlarına çıkarılarak ne kadar sürede kuruyacağını bulmaktır.

Malzemenin doyma nemlilikleri bulunduğundan sonra, ortam şartlarında bekletilerek 24 saat aralıklarla kütle ölçümleri yapılmış ve sabit kütleye erişinceye kadar bu ölçümler devam etmiştir. Farklı zaman dilimlerindeki ölçümler aşağıda 5.4.1 ve 5.4.2 gibi farklı bölümlerde verilmiştir.



Şekil 5. 7. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ayrı ayrı su içeriklerinin değişimi

5.4.1. A ve B firmalarına ait numuneler üzerinde 24.01.2000 ile 28.02.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen deneyler sonucunda kütlelerin kuruma hızlarının tayini

09.02.2000 ve 29.02.2000 tarihleri arasında kütlelerin kuruma hızlarının bulunması için alınan ölçüler sonucunda NA_{FAB} 12 gün, $NA_{ŞANT}$ 14 gün, NB_{FAB} 15 gün ve $NB_{ŞANT}$ 13 gün sonunda kuruyarak sabit kütleye erişmiştir.

Kuruma hızlarının bulunması için alınan ölçüler Tablo 5.11’de verilmiştir Gazbeton numunelerin ortalama su içeriğinin atmosfer şartlarında etüv kurusu kütleye göre değişimi Şekil 5.11’de, numunelerin ayrı ayrı su içeriğinin atmosfer şartlarında etüv kurusu kütleye göre değişimi Şekil 5.12’de verilmiştir. Ayrıca numunelerin ortalama kuruma oranının atmosfer şartlarında doygun kütleye göre değişimi de Şekil 5.13’de verilmiştir.

Tablo 5. 9. Doyma Nemliliği Tayini için 08.08.2000 – 08.09.2000 tarihleri arasında alınan ölçümler

Numune kodu	Doyma Nemliliği Ölçümleri		
	Tarih	27.08.00	28.08.00
N ₁ A _{FAB}	En (mm)	49.0	49.0
	Boy (mm)	100.0	100.1
	Yükseklik (mm)	99.1	99.1
	Ağırlık (gr)	359.3	359.4
N ₂ A _{FAB}	En (mm)	49.0	49.1
	Boy (mm)	99.0	99.1
	Yükseklik (mm)	99.6	99.6
	Ağırlık (g)	357.3	357.3
N ₃ A _{FAB}	En (mm)	49.5	49.6
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	99.1	99.0
	Ağırlık (g)	358.8	358.8
N ₁ B _{FAB}	En (mm)	49.5	49.6
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.1
	Ağırlık (g)	409.8	410.8
N ₂ B _{FAB}	En (mm)	49.5	49.6
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	403.2	403.5
N ₃ B _{FAB}	En (mm)	49.5	49.5
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.1
	Ağırlık (g)	391.9	392.0

Tablo 5.9' un devamı,

Numune kodu	Doyma Nemliliği Ölçümleri		
	Tarih	27.08.00	28.08.00
N ₁ C _{ŞANT}	En (mm)	50.0	50.0
	Boy (mm)	100.0	100.1
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	374.3	374.9
N ₂ C _{ŞANT}	En (mm)	49.9	50.0
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	383.6	383.6
N ₃ C _{ŞANT}	En (mm)	49.5	49.6
	Boy (mm)	100.0	100.0
	Yükseklik (mm)	100.0	100.0
	Ağırlık (g)	373.2	373.5

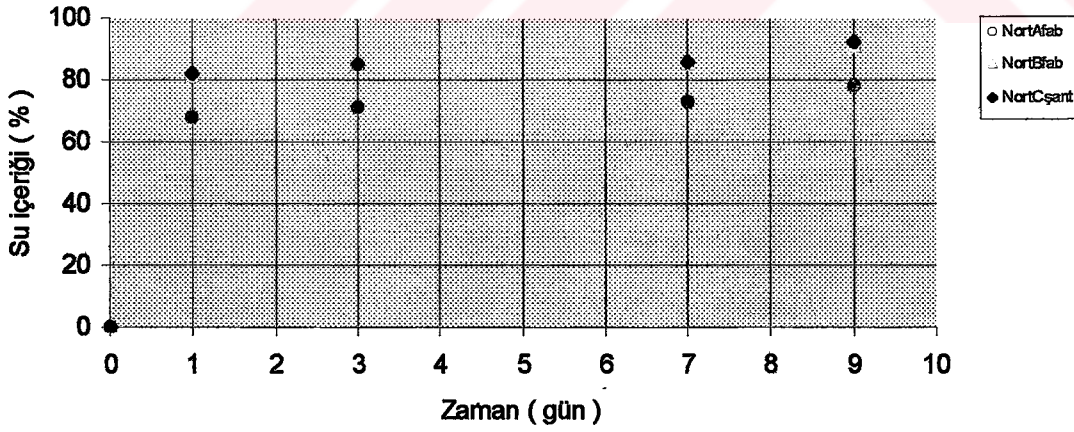
5.4.2. A, B ve C firmalarına ait numuneler üzerinde 08.08.2000 ile 08.09.2000 tarihleri arasında gerçekleştirilen deneyler sonucunda kütlelerin kuruma hızlarının tayini

28.08.2000 ve 08.09.2000 tarihleri arasında kütlelerin kuruma hızlarının bulunması için alınan ölçüler sonucunda NA_{FAB}, NB_{FAB} ve NC_{ŞANT} 9 gün sonunda kuruyarak sabit kütleye erişmiştir. Kuruma hızlarının bulunması için alınan ölçüler Tablo 5.12'de verilmiştir. Gazbeton numunelerin ortalama su içeriğinin atmosfer şartlarında etüv kurusu kütleye göre değişimi Şekil 5.14'de, numunelerin ayrı ayrı su içeriğinin atmosfer şartlarında etüv kurusu kütleye göre değişimi Şekil 5.15'de verilmiştir.

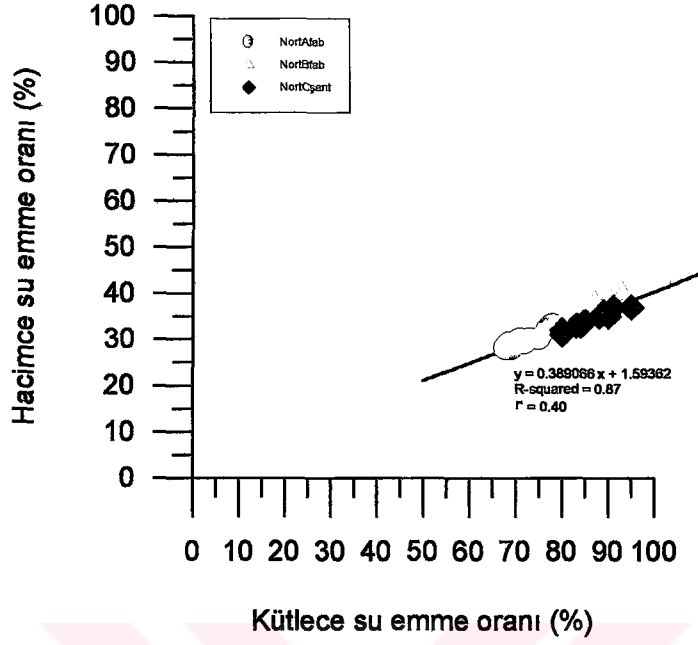
Ayrıca numunelerin ortalama kuruma oranının atmosfer şartlarında doymuş kütleye göre değişimi de Şekil 5.16'de verilmiştir.

Tablo 5.10. İkinci deney için su emme değerleri

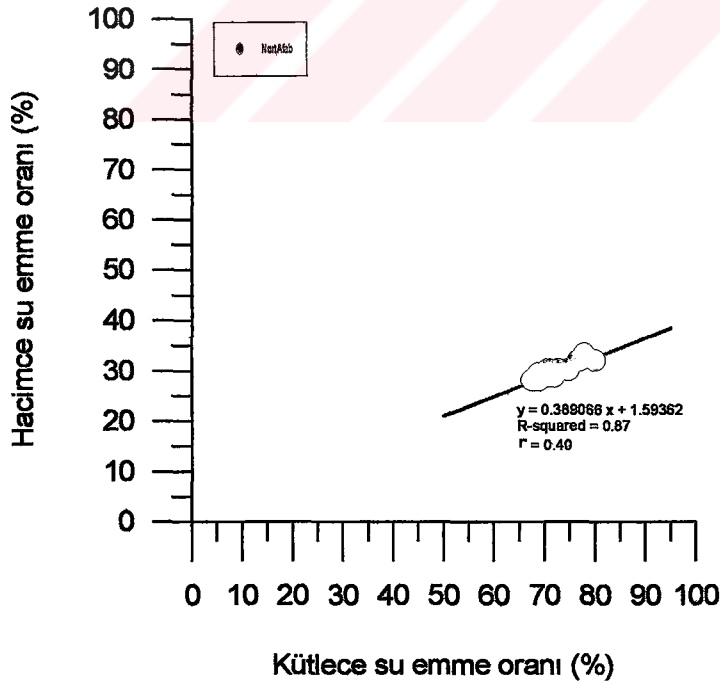
Numune Kodu	Su emme oranları ölçümleri (%)							
	1 günlük		3 günlük		7 günlük		Doyma nemliliği	
	Kütlece	Hacimce	Kütlece	Hacimce	Kütlece	Hacimce	Kütlece	Hacimce
N ₁ A _{FAB}	68	28	71	30	73	30	78	33
N ₂ A _{FAB}	68	28	69	29	71	29	77	32
N ₃ A _{FAB}	69	28	72	29	75	30	80	32
N ₁ B _{FAB}	82	35	87	37	87	38	93	40
N ₂ B _{FAB}	80	34	84	36	85	36	90	39
N ₃ B _{FAB}	81	34	84	35	84	35	90	37
N ₁ C _{ŞANT}	80	31	83	33	83	33	91	37
N ₂ C _{ŞANT}	85	34	88	35	90	35	95	37
N ₃ C _{ŞANT}	80	32	83	33	84	33	89	36



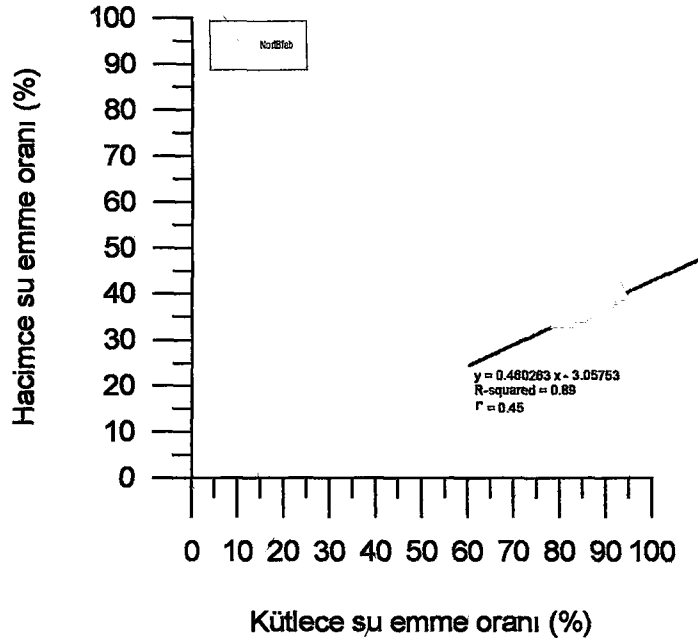
Şekil 5.8. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ortalama su içeriklerinin değişimi



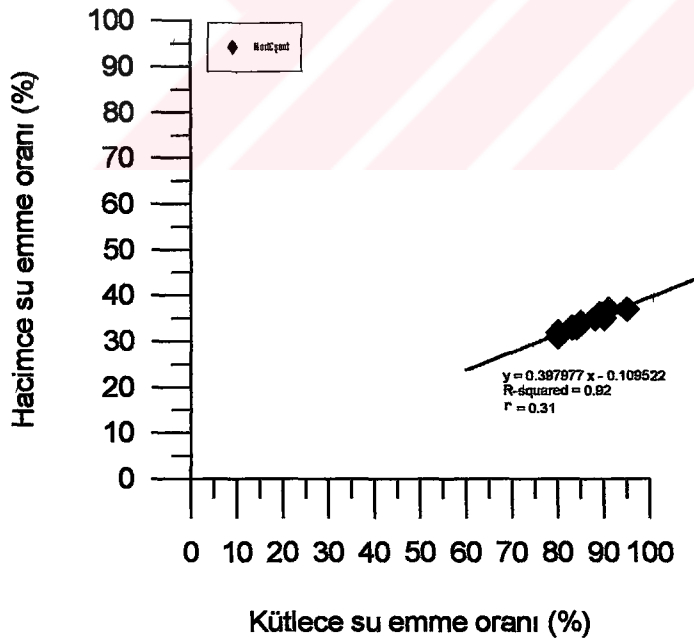
Şekil 5.9. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları



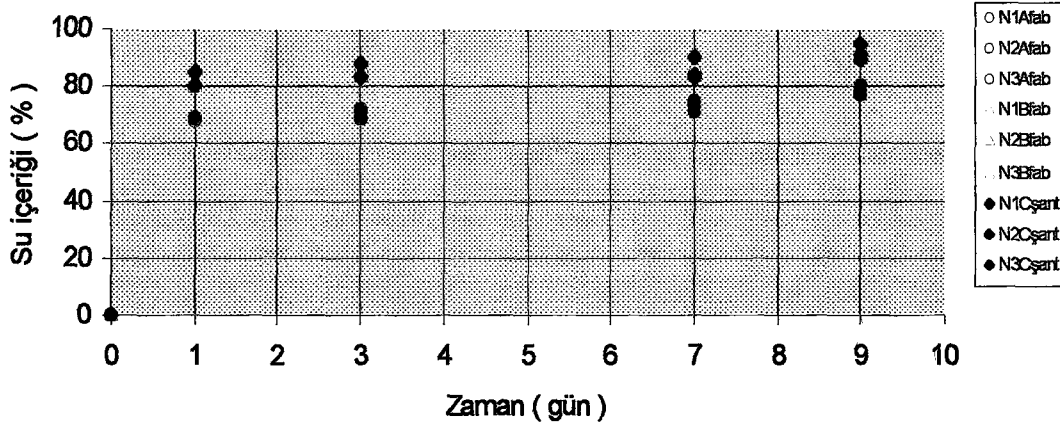
Şekil 5.9a. A firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları



Şekil 5.9b. B firmasına ait fabrikadan alınan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları



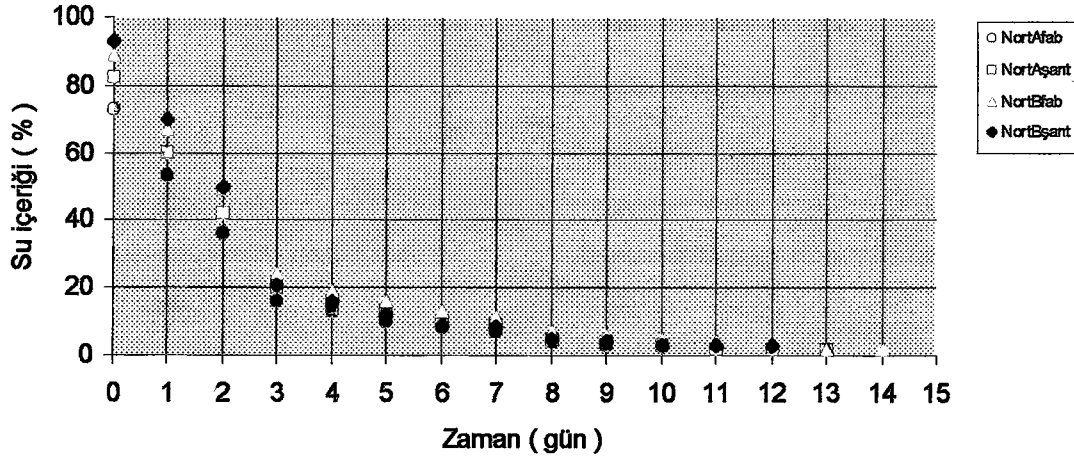
Şekil 5.9c. C firmasına ait şantiyeden elde edilen numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları



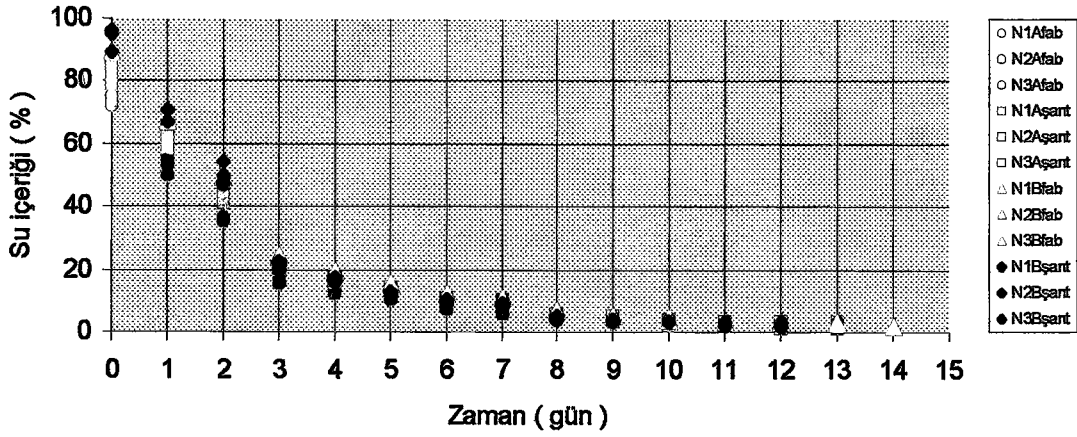
Şekil 5.10. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin su içindeki kütlece ayrı ayrı su içeriğinin değişimi

Tablo 5.11. Birinci deneyde kuruma sırasında ölçülen kütle değerleri

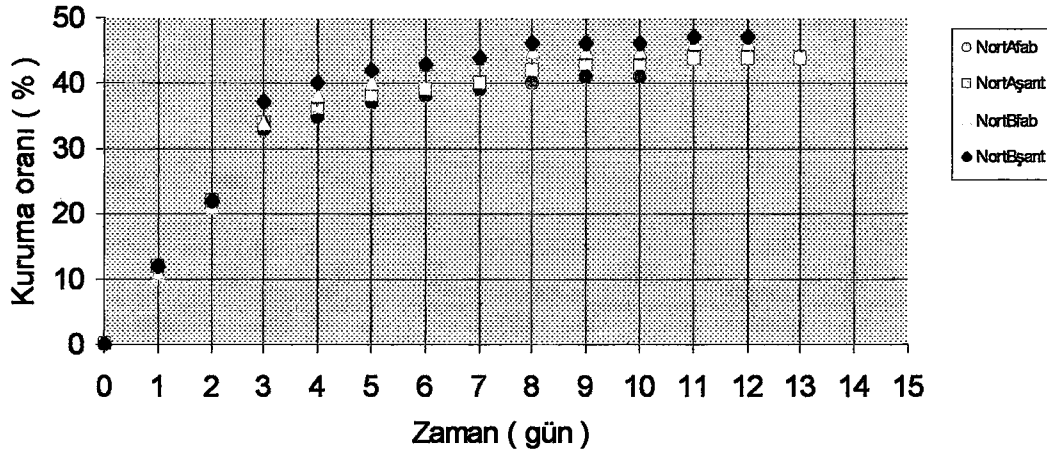
Tarih	Sıcaklık T (°C)	Bağıl nem (φ)	Kuruma sırasında ölçülen kütle değerleri											
			NA _{FAB}			NA _{ŞANT}			NB _{FAB}			NB _{ŞANT}		
			N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃
09.02.00	20	82.5	350.8	346.6	342.8	367.8	358.7	364.7	385.8	389.3	379.9	378.1	386.1	376.1
10.02.00	21	70	304.7	306.2	302.8	325.5	316.6	319.8	337.7	343.7	336.2	331.9	335.7	329.9
11.02.00	21	70	274.1	271.4	265.7	292.3	280.3	283.9	302.7	306.1	299.1	299.2	295.4	292.7
14.02.00	20.5	50	236.4	232.5	226.9	248.8	233.7	239.1	252.6	256.1	248.9	235.1	239.7	239.3
15.02.00	21	55	229.5	225.6	220.2	240.8	225.6	231.1	243.7	246.8	240.0	225.7	230.0	230.3
16.02.00	22	55	224.1	219.9	214.7	234.3	218.8	224.5	236.3	239.3	232.4	217.9	222.4	223.1
17.02.00	19.5	65	219.6	215.3	210.3	229.1	213.5	219.3	230.1	232.9	226.4	212.1	216.6	217.3
18.02.00	20	70	217.2	212.9	207.8	226.3	210.6	216.5	226.8	229.6	223.1	209.0	213.4	214.3
21.02.00	18	75	212.1	207.8	203.0	219.5	204.0	210.2	218.9	221.5	215.2	202.4	206.5	207.9
22.02.00	19.5	55	210.7	206.4	201.7	217.3	202.0	208.2	216.3	218.8	212.7	200.4	204.4	206.1
23.02.00	21	67.5	209.5	205.4	200.7	215.1	200.0	206.2	213.8	216.2	210.2	199.0	202.8	204.8
24.02.00	20.5	55	209.0	205.0	200.4	213.4	198.6	204.9	211.7	214.1	208.4	198.6	202.0	204.2
25.02.00	21.5	65				212.0	198.0	204.1	210.3	212.5	207.1	198.4	201.7	203.9
28.02.00	20.5	60				211.6	198.0	204.0	209.3	211.3	206.3			
29.02.00	21	60							209.1	211.1	206.0			



Şekil 5.11. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleye oranının değişimi



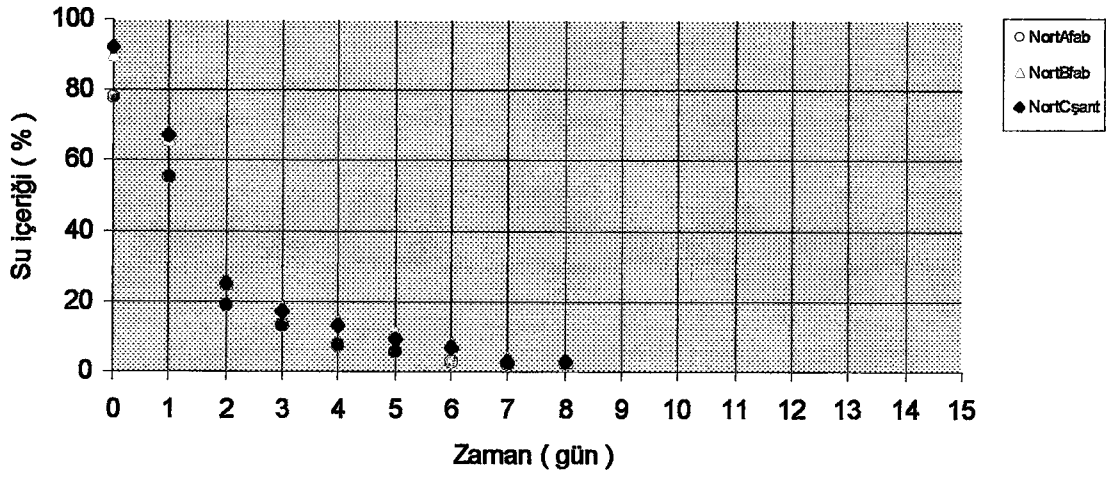
Şekil 5.12. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleye oranının değişimi



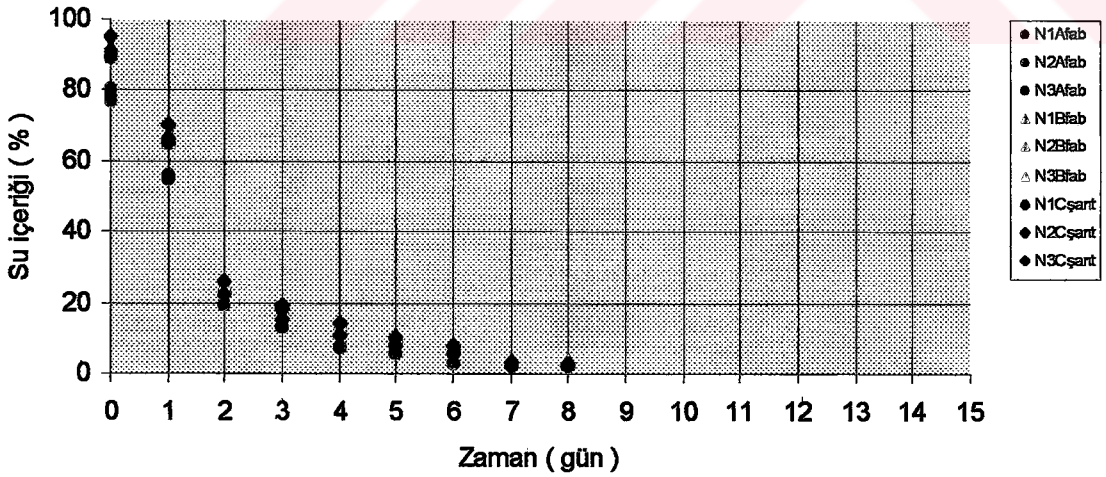
Şekil 5.13. Birinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında buharlaşan su miktarının doygun kütle oranının değişimi

Tablo 5.12. İkinci deneyde kuruma sırasında ölçülen kütle değerleri

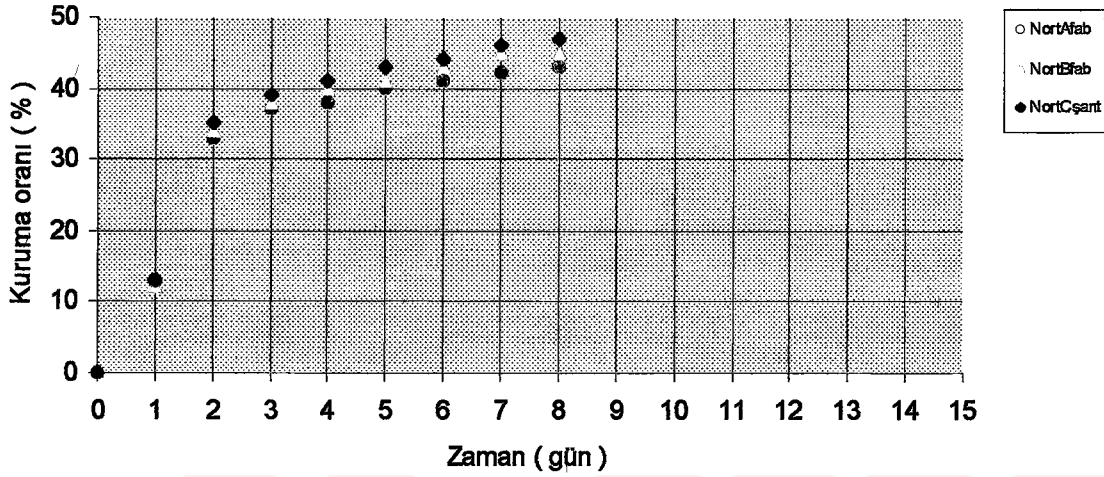
Tarih	Sıcaklık T (°C)	Bağıl Nem ϕ	Kuruma sırasında ölçülen kütle değerleri								
			NA _{FAB}			NB _{FAB}			NC _{ŞANT}		
			N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃
28.08.00	29	70	359.4	357.3	358.8	410.8	403.5	392.0	374.9	383.6	373.5
29.08.00	29	72.5	312.9	312.7	310.8	358.7	353.2	343.1	325.6	334.1	325.3
31.08.00	30	72.5	239.2	239.5	237.2	267.7	266.5	258.4	240.1	247.3	247.0
01.09.00	31	70	228.2	228.6	226.5	252.9	252.6	244.9	226.6	233.0	233.4
02.09.00	30	67.5	221.3	221.8	219.7	243.6	243.6	236.3	218.2	223.9	224.6
03.09.00	27.5	70	216.3	216.6	214.5	236.6	236.6	229.5	212.0	216.0	217.8
04.09.00	28	67.5	212.4	212.7	210.6	231.1	231.1	224.1	207.4	211.6	212.5
07.09.00	28	77.5	207.0	207.1	204.8	222.0	221.7	215.0	200.9	202.7	203.8
08.09.00	28	77.5	206.6	206.5	204.2	221.2	220.9	214.2	200.4	201.9	203.0



Şekil 5.14. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleyle oranının değişimi



Şekil 5.15. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında su içeriklerinin etüv kurusu kütleyle oranının değişimi



Şekil 5.16. İkinci deneydeki gazbeton numunelerin atmosfer şartlarında kuruma sırasında buharlaşan su miktarının doygun kütleyle oranının değişimi

5. 5. Gazbetonun Isıl Ataleti İle İlgili Deneyler

Gazbetonun ısııl ataleti ile ilgili uluslararası araştırmaların sonuçları Bölüm 4. 1. 2’de ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu bölümde ise bu konuyla ilgili olarak Edirne’de duvar malzemesi gazbeton ve tuğla olan iki ayrı evde 15 gün boyunca sıcaklık ölçümlerinin sonuçları belirtilmiştir.

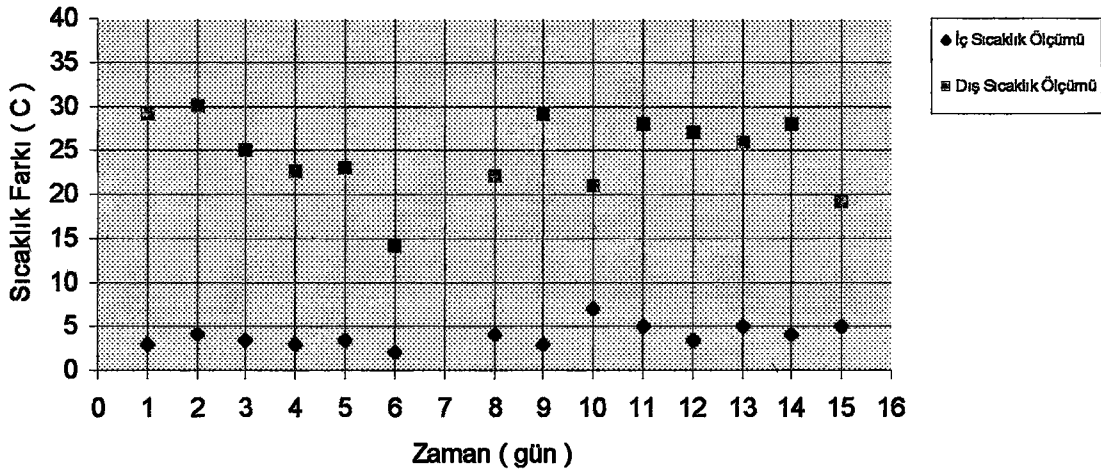
Bu çalışmada Max. Min. Termometre kullanılmıştır. Termometreler önce aynı ortamda tutularak aynı ölçümü gösterip göstermediği kontrol edilmiştir. Daha sonra termometreler ilk önce duvar elemanı olarak gazbeton kullanılan eve, daha sonra da tuğla kullanılan eve yerleştirilerek 15 gün boyunca sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

bulunmuştur. Gazbetonun zaman bağı olarak sönüm oranları değerleri de Şekil 5. 18’da verilmiştir.

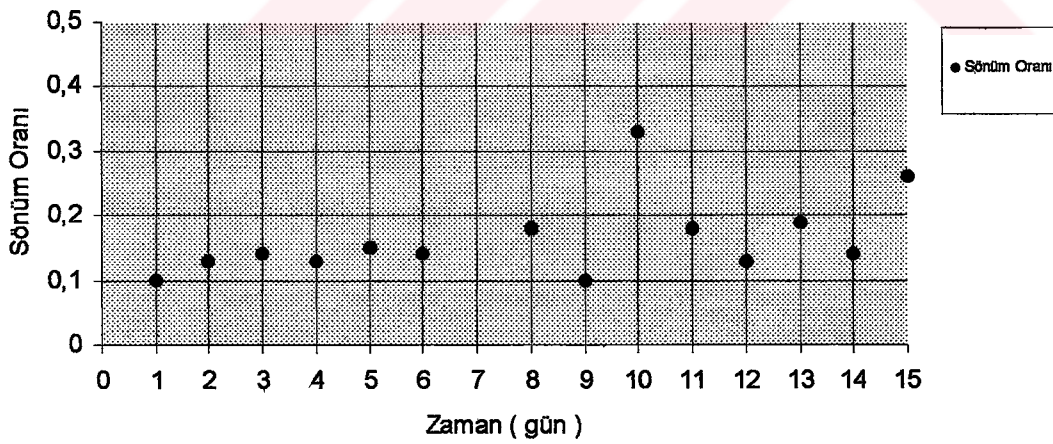
Sönüm oranlarının dış sıcaklık değişim genliği ile değişimi incelenmiş, fakat anlamlı bir bağıntı gözlemlenmediği için gösterilmemiştir. Sönüm oranlarının iç sıcaklık genliği ile değişiminin anlamlı sayılabilecek bir bağıntıyı gösterdiği belirlenmiş ve Şekil 5.19’da verilmiştir.

Tablo 5. 13. Gazbeton duvarlarda sıcaklık ölçümleri

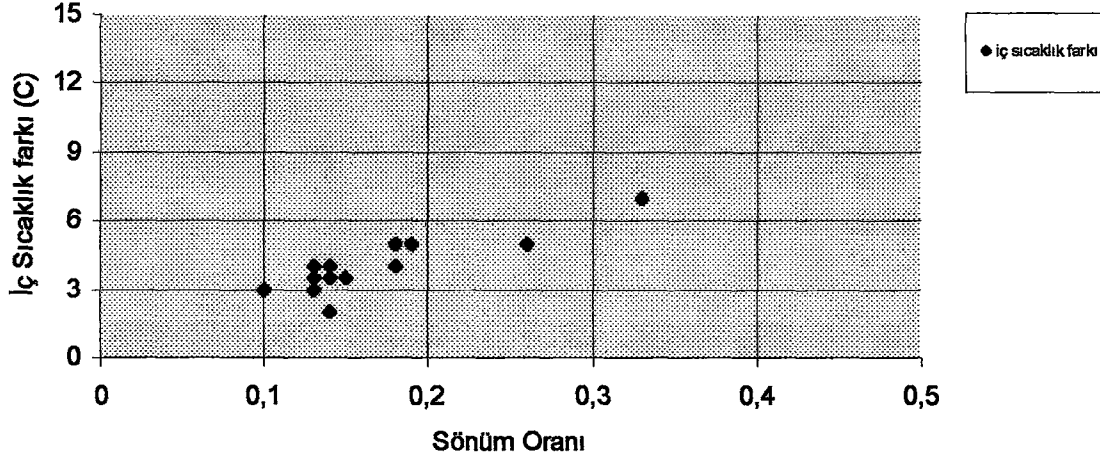
Tarih	Gazbeton duvarlarda sıcaklık ölçümleri						Sönüm oranları Değerleri
	İç ortam sıcaklık ölçümleri (°C)			Dış ortam sıcaklık ölçümleri (°C)			
	Min.	Max.	Fark	Min.	Max.	Fark	
18.05.00	23.5	23	0	32	32.5	0.5	0
19.05.00	21	24	3	13	42	29	0.10
20.05.00	21	25	4	13	43	30	0.13
21.05.00	21.5	25	3.5	14	39	25	0.14
22.05.00	22	25	3	17	39.5	22.5	0.13
23.05.00	21.5	25	3.5	16	39	23	0.15
24.05.00	21	23	2	13	27	14	0.14
25.05.00	-	-	-	-	-	-	-
26.05.00	19	23	4	14	36	22	0.18
27.05.00	21	24	3	13	42	29	0.10
28.05.00	20	27	7	19	40	21	0.33
29.05.00	20	25	5	14	42	28	0.18
30.05.00	20.5	24	3.5	16	43	27	0.13
31.05.00	19	24	5	15	41	26	0.19
01.06.00	21	25	4	11	39	28	0.14
02.06.00	20	25	5	14	33	19	0.26



Şekil 5. 17. Gazbeton Duvar İç ve Dış Sıcaklık Genlikleri



Şekil 5. 18. Gazbeton duvar sönüm oranı değerlerinin zamana göre değişimi



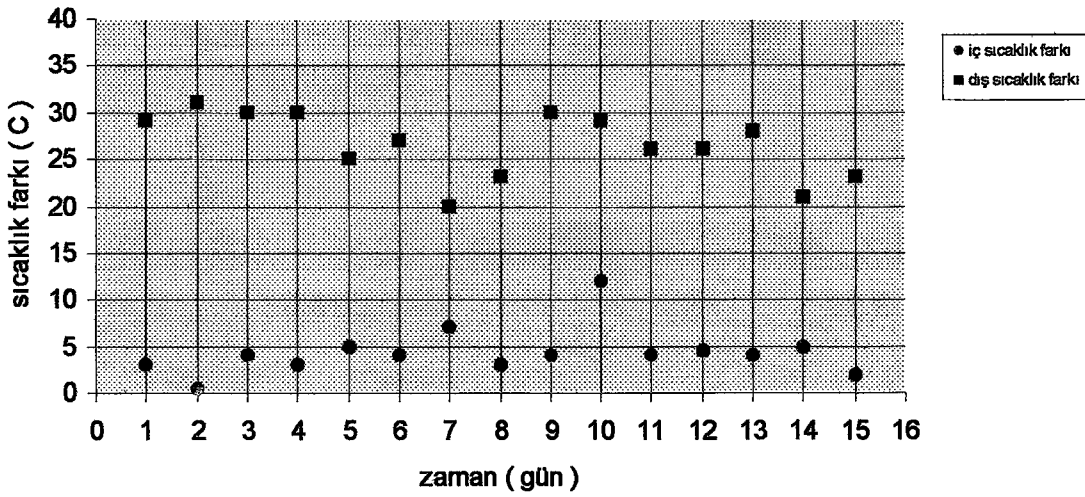
Şekil 5.19. Gazbeton duvar sönüm oranları değerleri ile iç sıcaklık genliği değişimi

Duvar elemanı olarak tuğlanın kullanılmış olduğu evde termometreler evin güney yönündeki duvarının her iki tarafına yerden ≈ 150 cm yükseklikte, pencereden ≈ 50 cm uzaklıkta yerleştirilmiştir. Tuğlanın kullanıldığı bu ev de, her gün saat 13⁰⁰'de sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler Tablo 5. 14'de verilmiştir.

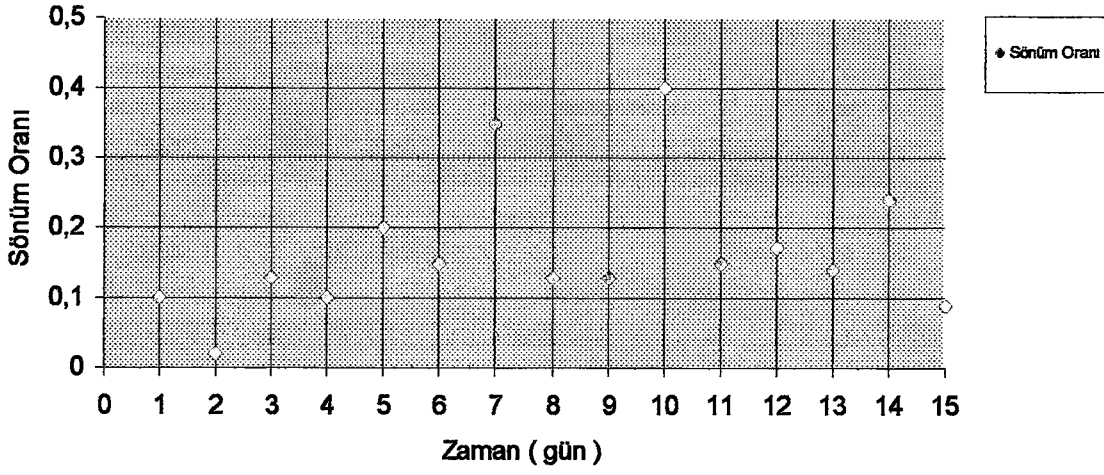
Sıcaklık ölçümleri alındıktan sonra, tuğlanın iç ve dış sıcaklık farkları bulunmuş ve Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Tuğlanın da sönüm oranlarının zamana göre değişimi de Tablo 5.21'de verilmiştir. Daha sonra tuğlanın sönüm oranları değerleri bulunmuş ve bu da Şekil 5. 22'de verilmiştir.

Tablo 5. 14. Tuğla Duvarlarda Sıcaklık Ölçümleri

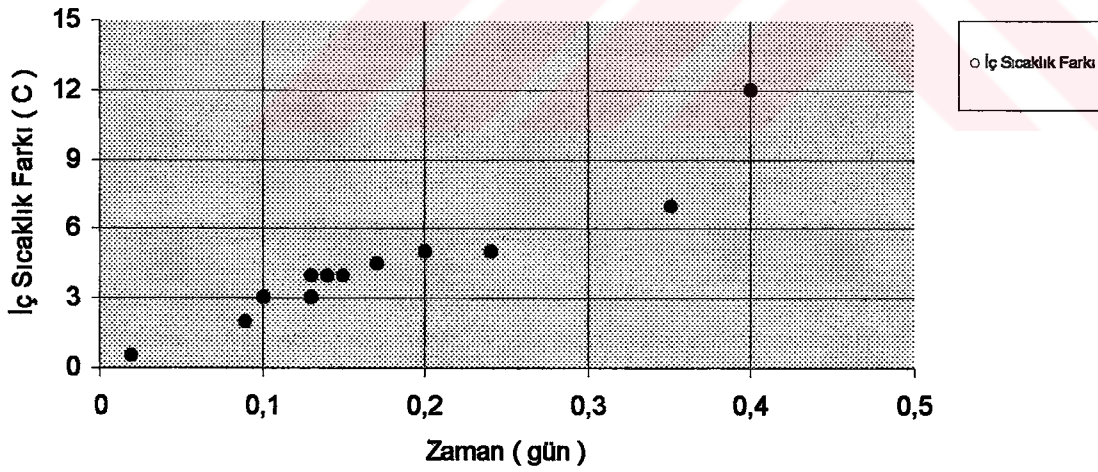
Saat: 13 ⁰⁰	Tuğla duvarlarda sıcaklık ölçümleri						Sönüm oranları Değerleri
Tarih	İç ortam sıcaklık ölçümleri (°C)			Dış ortam sıcaklık ölçümleri (°C)			
	Min.	Max.	Fark	Min.	Max.	Fark	
20.08.00	29	30	1	34.5	36	1.5	0.7
21.08.00	28	31	3	21	50	29	0.10
22.08.00	27.5	28	0.5	19	50	31	0.02
23.08.00	28	32	4	20	50	30	0.13
24.08.00	28	31	3	20	50	30	0.10
25.08.00	27	32	5	21	46	25	0.20
26.08.00	26	30	4	19	46	27	0.15
27.08.00	25	32	7	17	37	20	0.35
28.08.00	24	27	3	18	41	23	0.13
29.08.00	24	28	4	17	47	30	0.13
30.08.00	20	32	12	14	43	29	0.40
31.08.00	24	28	4	17	43	26	0.15
01.09.00	25	29.5	4.5	21	47	26	0.17
02.09.00	26	30	4	19	47	28	0.14
03.09.00	24	29	5	21	42	21	0.24
04.09.00	24	26	2	13	36	23	0.09



Şekil 5. 20. Tuğla Duvar Sıcaklık Genliği Ölçümleri



Şekil 5. 21. Tuğla duvar sönüm oranları değerlerinin zamana göre değişimi



Şekil 5. 22. Tuğla duvar sönüm oranı değerleri ile iç sıcaklık genliği değişimi

BÖLÜM 6: DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada gazbetonun mekanik özelliklerinden ziyade diğer fiziksel özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Özellikle de ülkemizde üretilen gazbetonların su karşısındaki davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Su karşısındaki davranışları;

- Higroskopik denge nemliliği
- Su emme değerleri
- Doyma nemliliği (su emme oranı)
- Kuruma davranışı, olarak ayrı ayrı ele alınmıştır.

6.1. Higroskopik Denge Nemliliği

Higroskopik denge nemliliğinde her ne kadar su ile direkt temas söz konusu değilse de, sonuç olarak malzemenin su içeriğinin değişmesine sebep olduğu için malzemenin su karşısındaki davranışlarının incelenmesine dahil edilmiştir.

Şekil 5.2'den görüldüğü üzere, gazbetonun denge halindeki su içeriği, içinde bulunduğu ortamın bağıl nemi değiştikçe aynı yönde bir artış göstermektedir. Bu artış çok küçük olmakla beraber gazbetonun belli bir higroskopik davranış gösterdiğini, yani ortam havasının bağıl nemi ile dengeye gelecek şekilde ortam havasındaki su buharını bünyesine alarak nem oranını arttırdığını göstermektedir. Tablo 6.1'de su içeriğinin bağıl nem ile artışını ifade etmek için önerilen doğru denklemleri verilmiştir.

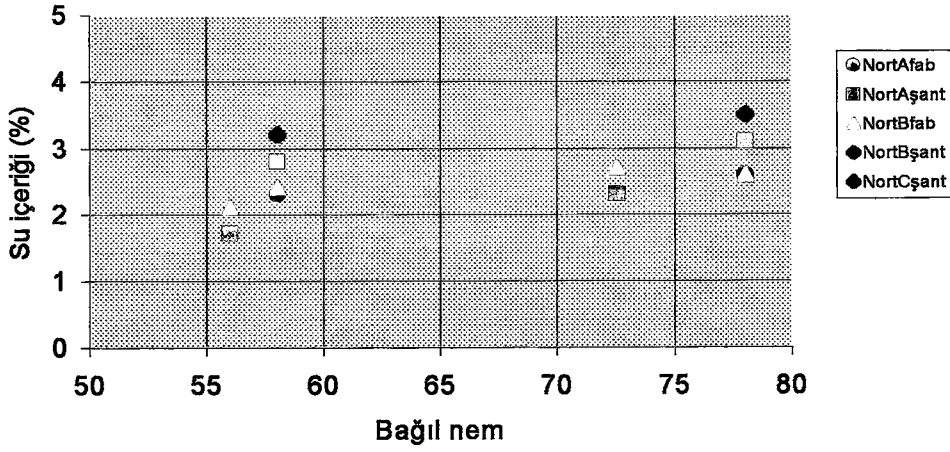
Şekil 5.2'de dikkati çeken diğer bir husus, ülkemizde üretilen gazbeton numunelerinde higroskopik denge nemliliği açısından bir dağılım görüldüğüdür.

Bu dağılım fabrikadan elde edilen numunelerde söz konusu değilken, şantiyelerden elde edilen numunelerde etkin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Şantiyelerden elde edilen numuneler daha higroskopik davranış göstermektedir. Özellikle B firmasına ait şantiye numunelerinin higroskopik nemlilikleri daha fazladır. C firmasının ürünleri fabrikadan sağlanamadığı için bu firmanın ürünleri sadece bayiden alınan örnekler üzerinde farklı bir zaman diliminde incelenebilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için, C firmasının ürünleri ile beraber A ve B firmasının ürünleri üzerindeki ölçümler tekrarlanmıştır (Şekil 5.3). Şekil 6.1’de tüm değerler birlikte görülmektedir. İkinci deneylerde dağılım daha az olmakla beraber, eğimin daha fazla olduğu, yani bağıl nem ile su içeriği artışının biraz daha etkin (şiddetli) olduğu dikkati çekmektedir.

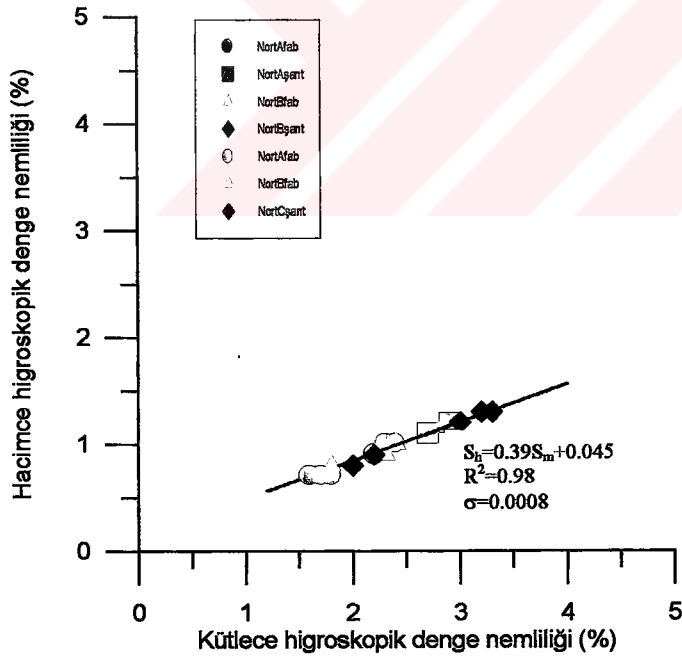
Tablo 6.1. Gazbeton numunelerin su içeriklerinin bağıl nem ile değişimi

Numune kodu	I. Denklem (24.01.2000-28.02.2000)	II. Denklem 08.08.2000-08.09.2000)
NortAfab	$0,015x+1,43$	$0,036x-0,34$
NortAşant	$0,015x+1,93$	-
NortBfab	$0,01x+1,82$	$0,036x-0,34$
NortBşant	$0,015x+2,33$	-
NortCşant	-	$0,036x+0,06$

Gerek higroskopik denge nemliliği gerekse diğer su emme özellikleri farklı yayınlarda kütlece veya hacimce su emme değeri olarak verilmektedir. Bu çalışmada, kütlece ve hacimce su emme değerleri ölçüm sonuçlarına dayanarak hesaplanmış ve birbiri ile bağıntısı Şekil 5.1 ve Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Genellikle hafif malzemelerde olduğu gibi, aynı su kütlesi için hacimce su emme oranı kütlece su emme oranından küçüktür. Ancak ısı yalıtım malzemelerindeki kadar büyük bir fark da söz konusu değildir. Şekil 6.2’de tüm numuneler için bu değişimin grafiği görülmektedir.



Şekil 6.1. Her iki deneyde kullanılan numunelerin bağıl neme göre kütlece ortalama su içeriğinin değişimi



Şekil 6.2. Her iki deneyde kullanılan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce higroskopik denge nemlilikleri

A ve B firmalarının ürünlerinin deney sonuçlarına göre kütlice higroskopik denge nemliliği (S_m) ile hacimce higroskopik denge nemliliği (S_h) arasında, deney sonuçlarına göre $S_h = 0.36S_m + 0.14$ eşitliği önerilmiştir.

A, B ve C firmasının numunelerinin hepsi ile yapılan ikinci deney sonuçlarını dikkate aldığımızda önerilen eşitlik $S_h = 0.5S_m - 0.2$ şeklinde olmaktadır.

Tüm deney sonuçlarını dikkate aldığımızda ise, eşitlik $S_h = 0.39S_m + 0.045$ şeklinde önerilmektedir.

6.2. Su Emme Değerleri ve Doyma Nemliliği

Gazbeton numunelerin su ile temas ettikleri ilk anlarda önemli miktarda su emdikleri Şekil 5.5'ten görülmektedir.

Daha 1. gün numunelerin su içerikleri % 1-3 değerinden %70-90 değerine çıkmaktadır. Bundan sonra numuneler su emmeye devam etmekte ancak su emme hızı çok düşük olmaktadır.

Doyma nemliliğine ulaşılması Tablo 5.8'den de görüldüğü üzere, 7 günde gerçekleştiği gibi, 9 gün sonra da olabilmektedir.

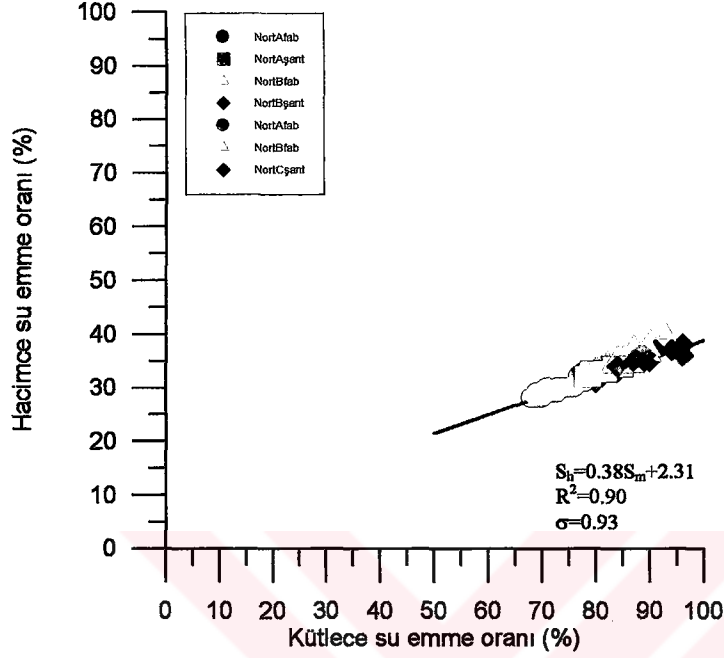
Numunelerin su emme değerlerinde yaklaşık %10'a varan bir dağılım görülmektedir. En düşük su emme değerleri A firmasının fabrikadan direkt gelen ürünlerinde belirlenmiştir. Aynı firmanın şantiyeden alınan ürünlerinde daha yüksek su emme oranları ölçülmüştür. B firmasının fabrikadan gelen numunelerinde ölçülen su emme değerleri A firmasının bütün ürünlerinden daha yüksektir. B firmasının şantiyeden alınan ürünleri ise en yüksek su emme değerleri göstermektedir.

Şekil 5.8’de ise C firmasının bayiden alınan ürünleri ile birlikte tüm firmaların ürünlerinin sonuçları verilmiştir. B ve C firmaları ürünlerin su emme değerleri hemen hemen çakışırken A firmasının değerleri, diğerlerine göre oldukça küçük değerler almıştır.

Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz ki, ülkemizdeki gazbeton numunelerin su emme değerleri %70-90 arasında değişen değerler almaktadır ve bunun oldukça büyük bölümü ilk gün içinde gerçekleşmektedir. Doyma nemliliğine ise yaklaşık olarak 7 gün ile 9 gün arasında ulaşılmaktadır.

Şekil 6.3’de her iki deney numunelerin ortalama hacimce ve kütlece su emme değerleri verilmiştir. Islak iken, hacimce ve kütlece su emme oranları arasındaki bağıntı için birinci deneyde $S_h = 0.35S_m + 4.2$, ikinci deneyde $S_h = 0.39S_m + 1.6$ uygun görülmektedir.

Her grup numune için bu eşitliklerin ikinci teriminde anlamlı bir değişim gözlenmektedir. Tüm deney sonuçlarını dikkate aldığımızda ise, eşitlik $S_h = 0.38S_m + 2.31$ şeklinde önerilmektedir. Şekil 5.6 ve 5.9 ile Tablo 5.8 ve 5.10’da görüldüğü gibi kütlece %70-90 mertebelerindeki su içeriği hacimce %30-40 mertebelerine karşılık gelmektedir.



Şekil 6.3. Her iki deneyde kullanılan numunelerin ortalama kütlece ve hacimce su emme oranları

6.3. Kuruma Davranışı

Su, yapı malzemeleri kullanımı sırasında istenmeyen bir maddedir. Dolayısı ile su emen malzemelerin bu suyu bünyelerinden kısa sürede atabilmeleri için kuruma hızları önem taşımaktadır.

Şekil 5.11'i incelediğimizde gazbetonun (sıvasız durumda iken) kuruma hızlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, su emmenin önemli bir bölümü ilk 1. gün içinde gerçekleşirken kurumunun önemli bir bölümünün gerçekleşmesi için 3 gün geçmesi gerekmektedir. Malzemenin kuruması, ıslanmasından daha yavaştır.

Her iki grup deneyi karşılaştırdığımızda, gazbetonun kurumasının içinde bulunduğu atmosfer şartları ile (özellikle kuru termometre sıcaklığı ile) yakından ilgili olduğu görülmektedir.

Birinci grup deneylerde ortamın kuru termometre sıcaklığı 18-22°C arasında, bağıl nemleri %55-82.5 değişirken, ikinci grup deneylerde ise; kuru termometre sıcaklığı 27.5-31 °C, bağıl nemleri %67.5-77.5 arasında değişmektedir. Hava sıcaklığı artması ile kuruma hızı önemli ölçüde artmakta ve tam kuruma için gerekli süre de 13-14 günden 8-9 güne düşmektedir.

Kuruma sırasında da farklı firmaların ürünleri arasında, aynı firmanın farklı şartlarda sağlanan ürünleri arasında ve hatta aynı firmanın aynı şartlarda sağlanan ürünleri arasında bile anlamlı farklılıklar görülmektedir. Bu durum Şekil 5.11- 5.12, Şekil 5.14 ve 5.15’de gösterilmiştir.

Deney sonuçları arasındaki bu farklılıklar hemen her deneyde karşımıza çıkmaktadır. Numunelerin hepsinin yoğunlukları nominal olarak 400kg/m³’tür ve gerçek yoğunlukları 372kg/m³- 432kg/m³ değerler arasında değişmektedir. Deney sonuçlarındaki dağılımın sadece yoğunluğa bağlanması anlamlı değildir. Sabit sayılabilecek yoğunluklara sahip numuneler arasında böylesine farklı deney sonuçlarının elde edilmesi bu numunelerin,

1. Gözenek miktarı
2. Ortalama gözenek boyutu
3. Gözenek dağılımı,

gibi parametrelerin farklı olduğunu düşündürmektedir. (17) nolu kaynakta da gazbetonun özellikleri üzerinde yoğunluğun yanında gözeneklilik yapısı ile ilgili bu parametrelerin de etkin olduğu belirtilmektedir.

Dolayısı ile ülkemizdeki ürünlerde bu parametrelerin sabit olmadığı düşünülmektedir. Ancak kesin yargıya varabilmek için numunelerin gözeneklilik yapısını inceleyen deneyler yapılması gerekir. İleriki çalışmalarda bu durumun incelenmesi tavsiye edilir.

6.4. Isıl Atalet Deneyleri

Bölüm 4.1.2'de gazbetonun ısı atalet davranışı ile ilgili teorik bilgiler ve Bölüm 5.5'de de, gazbetonun ısı ataleti ile ilgili deneyler verilmiştir.

Gazbeton duvarda sönüm oranı değerleri 0.10 ile 0.33 arasında değerler almaktadır. 0.26 ve 0.33 gibi iki büyük sapma gösteren değeri ihmal edersek sönüm oranının 0.10 ile 0.20 arasında değerler aldığını söyleyebiliriz. Gazbeton duvar kesiti ,0.025 cm dış sıva, 20 cm gazbeton ve 0.020 cm iç sıvadan oluşmaktadır. λ değerini TS 825'den gazbeton için 0.20 W/mK, sıva için 0.82 W/mK alırsak duvarın U değeri 0.85 W/m²K olarak hesaplanmaktadır.

Tuğla duvarın kesiti 0.025 cm dış sıva,19 cm tuğla ve 0.020 cm iç sıva şeklindedir. Tuğlanın λ değeri 0.45 W/mK ve sıvanın λ değeri 0.87 W/mK olarak alındığında duvarın U değeri 1.56 W/m²K olmaktadır.

Tuğla duvarda sönüm oranı 0.02 ile 0.40 arasında dağılım göstermektedir. Aşırı sapma gösteren değerler çıkarıldığında 0.10 ile 0.24 arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 5.19 ve 5.22'yi incelediğimizde tuğla duvar sönüm oranı sonuçlarındaki dağılımın gazbeton duvardaki sönüm oranı sonuçlarının dağılımından çok daha fazla olduğu görülmektedir.

İç sıcaklıklar da, gazbeton duvarda tuğla duvara nazaran daha küçük bir aralıkta değişmektedir.

Bir eleman karakteristiği olan sönüm oranının sabit bir değer alması gerekir. Ölçümler sırasında görülen bu değişim, dış hava sıcaklıklarındaki aynı farkların değişik sıcaklık-zaman grafiğini izlemesinden kaynaklanabilir. Minimum ve maksimum sıcaklıkların olduğu zamanların arasındaki sürede dış hava sıcaklıklarının aldığı ara değerler, iç sıcaklık değerlerinin değişimini etkilemekte ve aynı veya yakın $\Delta T_{dış}$ değerleri için farklı $\Delta T_{iç}$ değerleri ölçülmektedir. Dolayısıyla da farklı sönüm oranları hesaplanmaktadır.

Ayrıca kullanıcılar farklı zamanlarda, iç ortam havalandırmasında farklı davranışlar içine girebilecektir. İç ortam havalandırmasının değişimi yapı elemanının karakteristiklerinden bağımsız olarak iç ortam sıcaklık farkını etkileyebilecektir ki, bu durum aynı $\Delta T_{dış}$ için farklı $\Delta T_{iç}$ değerlerinin ölçülmesine, dolayısı ile de farklı sönüm oranlarının hesaplanmasına sebep olacaktır.

Şekil 5.18 ve 5.21' de her iki duvar için sönüm oranının iç sıcaklık farkı ile değişimi görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi sönüm oranının büyük değerleri için tabiatıyla iç sıcaklık farkı da büyük değerler almaktadır.

Bu değişimi matematiksel olarak ifade etmek istediğimizde;

Gazbeton için ($\Delta T_{dış}=14-30$ °C arasında değişirken);

$$\Delta T_{iç} = 17.1\delta + 1.2, \quad R^2=0.76, \text{ elde edilmektedir.} \quad (12)$$

Tuğla için ($\Delta T_{dış}=21-31$ °C arasında değişirken);

$$\Delta T_{iç} = 24.7\delta + 0.22, \quad R^2=0.89, \text{ elde edilmektedir.} \quad (13)$$

δ = Sönüm oranı, $\Delta T_{iç}$ = İç sıcaklık değişim genliği (°C)

$\Delta T_{dış}$ = Dış sıcaklık değişim genliği(°C)

Isıl atalet ile ilgili olarak gerçekleştirilen bu deneyler, ileriki çalışmalar için birer n deney özelliğindedir. Farklı konutlarda kullanıcıların farklı olması ve havalandırma parametresinin sabit tutulamayışı gibi sebeplerle bu deney sonuçlarına dayanarak malzeme sabitlerinin elde edilmesi ve karşılaştırılması mümkün değildir. Ancak uygulamadaki davranışları açısından bilgi vermektedir.

Sonuçlar uygulamadaki duvarlar açısından her iki duvarın birbirine yakın özellikler göstermesine rağmen, tuğla duvarların gazbeton duvarlara nazaran biraz daha büyük sapmalar gösterdiğini belirtmektedir.



BÖLÜM 7: GENEL SONUÇLAR

Günümüzde gazbetonun inşaat sektöründeki yeri konusunda fikir birliği sağlanamamıştır. Bu bölümde genel hatları ile bu konuya açıklık getirilmeye çalışılırken mevcut yayınlardaki açıklamaların da irdelenmesi yapılmıştır. Ayrıca ülkemizde üretilen gazbeton ürünlerin fiziksel özellikleri ilgili karşılaştırmalar deney sonuçlarına dayanılarak verilmiştir.

Gözenekli bir beton yapı malzemesi olan gazbeton, kullanım yeri ve amacına göre özellikleri belirli aralıklarda değiştirilebilen, kolay işlenebilen, sınırlı bir taşıyıcılık özelliğinin yanında, düşük ısı iletkenliğine sahip bir yapı malzemesidir.

Tabiatıyla bu kadar çok özellik aynı anda bulunduğunda, ancak optimum değerler elde edilebilmektedir. Dolayısı ile gazbeton, normal beton kadar yüksek basınç mukavemetine sahip değildir. Normal betonda bugün için 25-40 MPa basınç mukavemetleri kolaylıkla elde edilirken, gazbetonda elde edilen en yüksek basınç mukavemetleri ortalama 10 MPa'nın altındadır (2, 16).

Isı iletkenliği açısından incelediğimizde ise, genellikle diğer taşıyıcı elemanlar veya dolgu duvar malzemelerine göre düşük bir ısı iletkenliği gösterirler. TS 825'e göre betonarme elemanların λ değeri 2.1 W/mK iken gazbeton duvarlarda λ değeri 0.20 W/mK olarak verilmektedir. Bazı kaynaklarda bu değer 0.14 W/mK'e kadar düşürülebildiği belirtilmektedir (5). Tuğla duvarlarda ise TS825 λ değeri için 0.45 W/mK değerini vermektedir.

Ancak ısı yalıtım malzemelerini incelediğimizde λ 'nın, mineral yünler, polistiren köpükler, poliüretan köpükler için yaklaşık 0.03-0.04 W/mK arasında değiştiğini görmekteyiz. Dolayısı ile gazbetonun λ değeri düşüktür ama bir ısı yalıtım malzemesi mertebesinde düşük değildir.

Enerji birimleri ve çevre sorunlarının artması ile binaların enerji ihtiyaçları üzerine getirilen güncel sınırlamalarla gazbetonun tek başına gerekli yalıtımı sağlayabileceği durumlar sınırlıdır. Günümüzde ısı yalıtım malzemesi olarak kabul edilen ve $\lambda = 0.09$ W/mK olan ahşap yünü levhalar bile, ısı yalıtımı amacı ile tek başlarına kullanılmamaktadır. Ahşap yünü, polistiren köpük veya mineral yünleri ile oluşturulan kompozit elemanlar şeklinde kullanılmaktadır.

Günümüzde gazbetonun özelliklerinin yoğunlukla değiştiği bilinmektedir. Ancak uluslararası literatürde incelediğimizde özellikleri etkileyen tek faktör yoğunluk olmadığı, gözenek miktarı, gözenek büyüklüğü ve dağılımının da malzeme özelliklerini ihmal edilemeyecek boyutta etkilediği anlaşılmaktadır.

Gazbetonun malzeme özelliklerini etkileyen bir diğer özelliği malzemedeki rutubet miktarıdır. Malzemenin su içeriği arttıkça, mekanik ve diğer fiziksel özellikleri istenmeyen yönde değişmektedir (mukavemet azalmakta, ısı iletkenliği artmakta vb.). Bu değişimler metin içinde belirtilmiştir.

Gazbetonun önemli bir özelliği, nispeten düşük ısı iletkenliğinin yanında yüksek ısıl atalet göstermesidir. Konut vb. yapılarda yüksek ısıl atalet, ısıl konforun iyileşmesini sağlamaktadır.

Gazbetonun ısıl atalet ile ilgili davranışları geniş bir şekilde incelenmiş ve Bölüm 4.2.2’de bu bilgiler verilmiştir. Bu bölümde söz konusu (17) nolu kaynaktaki bazı bilgilerin düzeltilmesi amaçlanmıştır. Kaynakta bir duvarın sönüm oranının, o duvarın yalıtım kabiliyetinin bir ölçüsü olduğu, sönüm oranı küçüldükçe yalıtım kabiliyetinin arttığı savunulmaktadır. Bu hatalı bir değerlendirmedir. Tablo 7.1’de (8) nolu kaynaktan faydalanarak hazırlanmış ve “ASHRAE.1977 Handbook.of Fundamentals”a göre farklı duvar kesitleri için verilen malzeme karakteristikleri, Tablo 7.2’de ise bu kesitler için U değeri ve sönüm oranları görülmektedir (8). U değeri her duvar için bu çalışma kapsamında ayrıca hesaplanmış ve tablolara eklenmiştir.

U değeri duvarın yalıtım kabiliyetinin kesin bir ölçüsüdür. Tablo 7.2’de görüldüğü üzere U değeri ile sönüm oranı arasında genel hatları ile benzer bir eğilim varmış gibi görölse bile oldukça küçük bir sönüm oranı veren (0.19) kesitin U değeri çok yüksektir (2.28 W/m²K). Dolayısı ile sönüm oranı ile ısı yalıtım kabiliyeti U değeri arasında birebir bağıntı kurmak bilimsel olarak doğru değildir.

Tablo 7.1. İncelenen duvarların malzeme özellikleri (8)

Duvar no	Ashrae no	Tabaka (dıştan içe)	Kalınlık (cm)	Yayılm k/ρcx10 ⁴ (m ² /s)	U W/m ² K	Depolama (kρc) ^{1/2}	λ W/mK
1	5	Tuğla	10,20	6,80	2,28	50	1,3
		H.Beton	5,10	7,50		14	0,38
		Sıva	3,80	5,40		31	0,72
2	51	Tuğla	10,20	6,80	0,57	50	1,3
		Yalıtım	5,10	16,20		1	0,04
		N.Beton	30,50	9,30		57	1,71
		Sıva	3,80	5,40		31	0,72
12	81	As.Çim.L.	2,54	4,50	2,63	33	0,70
		N.Beton	10,20	10,00		26	0,82
		Sıva	3,80	5,40		31	0,72
13	87	As.Çim.L.	2,54	4,50	1,89	33	0,70
		H.Beton	10,20	7,50		14	0,38
		Sıva	3,80	5,40		31	0,72
14	19	Bitirme	1,30	3,10	0,47	24	0,42
		Yalıtım	7,62	16,20		1	0,04
		Bitirme	1,30	3,10		24	0,42

Tablo 7.2. İncelenen duvarların yalıtım düzeyi ile sönüm oranlarının değişimi (8)

Duvar no	Toplam kalınlık (cm)	Sönüm oranı	U (W/ m ² K)
1	19,1	0,19	2,28
2	49,6	0,04	0,57
12	16,54	0,56	2,63
13	16,54	0,55	1,89
14	10,22	0,25	0,47

Gazbetonun nem farklılaşmasından dolayı oluşan boyut değişiminin belirlenmesi için bir tip gazbeton üzerinde testler yapılmıştır. Bağıl nemin değişimi sonucundaki gazbetonun uzunluk değişimleri (10) nolu kaynakta açıklanmıştır. Bölüm 4.1.3’de bu bilgiler verilmiştir. Gazbetonun kullanıcıya ilk dağıtımı takiben bağıl nemi %43’den fazla olan bir ortamda saklandığında şişme gösterdiği, bağıl nemi %43’den az olan bir ortamda saklandığında ise rötre gösterdiği görülmüştür. Belli bir ilk dengeden sonra gazbetonda görülen uzunluk değişimlerinin bağıl nemdeki değişimle orantılı olduğu belirtilmektedir.

Yukarıdaki açıklamalar, gazbeton ile ilgili olarak ulusal ve uluslararası araştırma sonuçlarının değerlendirilmesidir ve genel anlamda tüm gazbeton ürünlerini ifade etmektedir. Tez çalışması kapsamında ise ülkemizde üretim yapan tüm gazbeton üreticilerin numuneleri üzerinde deneyler yapılmış ve bu ürünlerin su karşısındaki davranışları karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda gazbeton numunelerin higroskopik bir özellik gösterdikleri görülmektedir (Şekil 5.2).

Deney sonuçlarına göre gazbetonun kütlece higroskopik denge nemliliği ile hacimce higroskopik denge nemliliği arasında $S_h = 0.39 S_m + 0.045$ bağıntısı verilmiştir.

Su emmiş durum için ise; $S_h = 0.38 S_m + 2.31$ bağıntısı verilmiştir. Gazbeton numunelerin su ile temas ettikleri ilk anlarda önemli miktarda su emdikleri görülmüştür (Şekil 5.5).

Ülkemizdeki gazbeton numunelerin su emme değerleri kütlece %70-90 arasında, hacimce ise %30- 40 arasında değişen değerler almaktadır. Doyma nemliliği ise yaklaşık 7- 9 gün arasında gerçekleşmektedir.

Gazbetonun (sıvasız durumda iken) kuruma hızlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Malzemenin kuruması, ıslanmasından daha yavaştır. Su emmenin önemli bir bölümü 1 gün içinde gerçekleşirken, kurumanın önemli bir bölümünün gerçekleşmesi için 3 gün geçmesi beklenmektedir. Ayrıca gazbetonun kuruması içinde bulunduğu atmosfer şartlarına özellikle kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu şartlar kurumayı hızlandırabilir veya yavaşlatabilir.

Gazbetonun ve alternatif bir malzeme olan tuğlanın ısıl ataleti ile ilgili davranışlarını incelemek amacıyla yapılan deneysel çalışma sonucunda, gazbeton duvardaki sönüm oranı sonuçlarının, tuğla duvardaki sönüm oranı sonuçlarının dağılımından daha az olduğu görülmektedir. İç sıcaklıklar da, gazbeton duvarda tuğla duvara kıyasla daha küçük bir aralıkta değişmiştir. Sonuç olarak tuğla duvarlar gazbeton duvarlara nazaran daha değişken davranış göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. AKMAN, S., Yapı Malzemeleri Kitabı.
2. ANLAMA, H., “Gazbeton ve Tuğlanın Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Trakya Ünivrsitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Çorlu, 2000.
3. ARONİ, S., “On Energy Conservation Characteristics of Autoclaved Aerated Concrete”, Materials and Structures, Vol: 23, 1990
4. BAYKURT, F., Modern Genel Anorganik Kimya, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Sayı: 3770, Mühendislik Fakültesi, No: 90, Doyuran Matbaası, İstanbul, 1993.
5. BORHAN, B., “Ytong El Kitabı 2”, Türk Ytong Sanayi A.Ş., 1990.
6. BOZKURT, R., “ Endüstriyel Hammaddeler”, Anadolu Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Yayınları, 1989.
7. ÇİMENTAŞ – GAZBETON Tasarım ve Uygulama El Kitabı, İzmir, 1988.
8. DİLMAÇ, Ş., EĞRİCAN, N., “ Binalarda Isı Konforu Amaçlı Enerji Tüketimi Üzerine Malzeme Seçiminin Etkisi ” April 28-30, İstanbul, 1994.
9. DUBRAL, W., “On Production and Application of AAC Worldwide”, YTONG AG, Munich, Germany, 1192.



10. GOTTFREDSEN, F. R., KNUTSSON, H. H., NIELSEN, A., "Determination of Length Changes due to Moisture Variations in Autoclaved Aerated Concrete", Materials and Structures, Vol: 30, April, 1997.
11. ISU, N., SASAKI, K., ISHIDA, H., MITSUDA, T., "Mechanical Property Evaluation During Autoclaving Process of Aerated Concrete Using Slag: I, Tobermorite Formation and Reaction Behavior of Slag", Journal of the American Ceramic Society, August, 1994.
12. MACKEY, C. O., WRIGHT, Jr. L. T., "Summer comfort factors as influenced by the thermal properties of building materials", Heating, Piping and Air Condition, : Vol: 14, 1942
13. MACKEY, C. O., WRIGHT, Jr. L. T., "Periodic Heat Flow – Homogeneous Walls and Roofs", Heating, Piping and Air Condition, Vol: 16, 1944.
14. ONARAN, K., Malzeme Bilimi., İstanbul, 1995.
15. ÖZDEMİR, H. İ., İlaveli Genel Anorganik ve Teknik Kimya, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1981.
16. RILEM Technical Committees:78-MCA and 51-alc,Autoclaved aerated concrete, Properties,Testing and Design FN spon, London,1993.
17. ROPELEWSKI, L., NEUFELD, R. D., "Thermal Inertia Properties of Autoclaved Aerated Concrete", Journal of Energy Engineering, August, 1999.
18. SESİĞÜR, Haluk., ÇELİK, Oğuz Cem.,ÇİLİ, Feridun., "Gazbeton Taşıyıcı Düşey Duvar ve Döşeme/Çatı Elemanları ile Oluşturulmuş Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Davranışları", Yapı Dergisi, Sayı:191, 1997.

19.TADA, S., “Material Design of Aerated Concrete-an Optimum Performance Design”
Material and Structures., Paris, Vol:19,1986.

20.TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, “Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve
Elemanları”, TS 453, Ankara, 1988.

21.TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, “Gaz ve Köpük Beton – Kuru Yoğunluk
Tayini”, TS 678, Ankara, 1995.

22.TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, “Gaz ve Köpük Beton – Rutubet
Muhtevası Tayini”, TS 1353, Ankara, 1996.



ÖZGEÇMİŞ

Semiha KARTAL 30.09.1973 yılında Malatya' da doğdu. Aşağıda belirtilen tarihler arasında ilgili kurumlarda eğitimini tamamlayarak 1991 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 1995 yılında mezun oldu. 1996 yılında Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 1997 yılında T.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak girdi. Halen aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

EĞİTİM DURUMU:

1979- 1984 Malatya- Atatürk İlkokulu

1984- 1987 Malatya- Hasan Varol Ortaokulu

1987- 1990 Malatya- Malatya Lisesi

1991- 1995 Edirne- TÜ. Müh. Mım. Fak. Mimarlık Bölümü Lisans Eğitimi