

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

TARIMSAL YAPILARDA KULLANILAN HAFİF AGREGALI
BETON BLOKLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ OLANAKLARI ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA

121358

Sırrı ŞAHİN

121358

TARIMSAL YAPILAR ve SULAMA ANABİLİM DALI

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ERZURUM
2002

Her hakkı saklıdır

Prof.Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU danışmanlığında, Sırrı ŞAHİN tarafından hazırlanan bu çalışma 29/04/2002 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Cengiz OKMAN

İmza : C. Okman

Üye : Prof.Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU

İmza : A. Vahap Yağanoğlu

Üye : Prof.Dr. Mustafa OKUROĞLU

İmza : M. Okuroğlu

Üye : Prof. Dr. Mazhar KARA

İmza : M. Kara

Üye : Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG

İmza : İ. Örüng

Yukarıdaki sonucu onaylarım

(imza)

Unut. Demir

Enstitü Müdürü

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZET

Doktora Tezi

TARIMSAL YAPILARDA KULLANILAN HAFİF AGREGALI BETON BLOKLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ OLANAKLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Sırrı ŞAHİN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. A.Vahap YAĞANOĞLU

Ülkemizde son yıllarda giderek kullanımları yaygınlaşan hafif beton bloklar, özellikle ısı yalıtımı, birim hacim ağırlığı ve donma-çözülme dayanıklılığı bakımından, taş, kerpiç ve tuğla gibi geleneksel yapı malzemelerine göre daha üstün niteliklere sahiptir. Ülkemiz hafif beton blok yapımında kullanılan doğal hafif agregaya kaynakları yönünden büyük bir potansiyele sahip bulunmaktadır.

Bu çalışma, doğal hafif agregaya ve bunlarla üretilen beton blokların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin, piyasada üretilen beton blokların özellikleriyle karşılaştırılması ve kırsal alandaki tarımsal yapılarda taşıyıcı duvarlarda kullanılan beton blokların özelliklerinin iyileştirilmesi olanaklarının araştırılması amacıyla yapılmıştır.

Hafif beton blok üretiminde Van ili Erciş ilçesi ve Erzurum ili Pasinler ilçesi yöresinde ekonomik potansiyeli bulunan agregaya ocaklarından sağlanan hafif agregalar ve bunlara ince malzeme olarak ayrı ayrı katılan tuf ve normal kum kullanılmıştır. Özellikleri belirlenen agregalarla doğal ve ayarlanmış granülometri bileşimini içeren 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ dozajlı beton bloklar üretilmiştir. Beton blokların belirlenen fiziksel ve mekanik özelliklerinden 28 günlük basınç dayanımlarının 12.1-26.3 kgf/cm², birim hacim ağırlıklarının 575-751 kg/m³, ısı iletkenliklerinin 0.135-0.192 kcal/mh°C, donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarının 12.9-29.6 kgf/cm² ve su emme değerlerinin ise %18.6-%27.6 arasında olduğu saptanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, tuf kumu karışımı hafif agregalarla üretilen beton blokların normal kum karışımı hafif agregalarla üretilen beton bloklardan daha düşük birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerlerine sahip olduğu, doğal ve granülometrisi ayarlanmış agregalarla üretilen beton bloklar arasında önemli farklılıklar bulunmadığı, hafif beton blokların standartta belirtilen minimum basınç dayanımlarına en az 250 kg/m³ çimento dozajlarında ulaşılabilirdiği, donma-çözülme etkisinin hafif beton bloklarda basınç dayanımını artırdığı ve su emme değerlerinin ise yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

Yöredeki beton blok üreticilerinin bu araştırmadan elde edilen değerleri dikkate aldıklarında, daha iyi özelliklere sahip beton blok üretebileceklerdir. Sonuç olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nde bol miktarda bulunan ve nitelikli özelliklere sahip olan araştırma materyali hafif agregalardan yapılan hafif beton blokların yöredeki tarımsal yapılarda kullanılmalarının yararlı olabileceği kanısına varılmıştır.

2002, 164 sayfa

Anahtar kelimeler: Hafif agregaya , pomza, tuf, hafif beton blok, tarımsal yapılar, fiziksel özellikler, mekanik özellikler.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

A STUDY ON IMPROVEMENTS OF SOME PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE BLOCKS USED IN AGRICULTURAL BUILDINGS

SİİRİ ŞAHİN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Buildings and Irrigation

Supervisor: Prof.Dr. A.Vahap YAĞANOĞLU

In Turkey, the usage of lightweight aggregate concretes is increasing during last years, due to its superior properties compared with traditional construction materials such as stone, adobe and brick specially in view of unit weights, thermal isolation and freezing-thawing durability properties. Turkey has a great potential sources of natural lightweight aggregate used in lightweight concrete blocks.

The objectives of this study were to determine physical and mechanical properties of lightweight aggregate concretes and to compare them with these of traditional concretes, and to study on improvements of some physical and mechanical properties of concrete blocks used in structural walls of agricultural buildings in rural areas.

Lightweight aggregates obtained from Erciş (Van) and Pasinler (Erzurum) and mixed tuff and natural sand were used in lightweight concrete blocks production. Properties of these aggregates were determined, natural and adjusted grading combination of these aggregate were used with 150, 200, 250 and 300 kg/m³ dosage for concrete blocks. Measured physical and mechanical properties of concrete blocks, indicated that 28 day compressive strength varied from 12.1 to 26.3 kgf/cm², oven dry unit weight between 575 and 751 kg/m³, thermal conductivity 0.135 and 0.192 kcal/mh°C, compressive strength after freezing and thawing 12.1 and 26.3 kgf/cm², and water absorption values between %18.6 and %27.6. It was determined that tuff mixed lightweight concrete blocks had lower unit weight and thermal conductivity than lightweight concrete blocks mixed with natural sand. There were no significant differences between concrete blocks produced by natural aggregates and aggregates adjusted by grading. Lightweight aggregate concrete blocks reached the minimum compressive strength, which is specified in standards, at 250 kg/m³ cement dosage. Freezing and thawing cycles increased compressive strength and water absorption values of concrete blocks.

It was clearly stated that if the local concrete blocks producers take into consideration our results, they will improve some properties of their products. In conclusion, lightweight concrete blocks produced by lightweight aggregate, which have a huge potential in the Eastern Anatolia Region and have suitable properties, can successfully be used in local agricultural buildings.

2002, 164 pages

Key words : Lightweight aggregate, pumice, tuff, lightweight concrete blocks, agricultural buildings, physical properties, mechanical properties

TEŞEKKÜR

Araştırmanın yürütülmesinde, değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım hocam Sayın Prof.Dr. A. Vahap YAĞANOĞLU'na, çalışmalarımın her aşamasında büyük ilgi ve destekleriyle yardımcı olan Sayın Prof.Dr. Ümit TURGUTALP, Sayın Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG, Sayın Prof. Dr. Mustafa OKUROĞLU ve Sayın Prof. Dr. Mazhar KARA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Mühendislik Fakültesinde malzeme özelliklerinin tayininde yardımcı olan Sayın Dr. Soner KUŞLU'ya, deneysel verilerin istatistik değerlendirmesinde kendisinden yararlandığım Sayın Arş. Gör. Mehmet TOPAL'a, laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan bölüm çalışanlarından Sayın Hasan YAZICI ve tez çalışmalarına katkıda bulunan Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

Sırrı Şahin

Mart 2002

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	9
2.1. Hafif Agregalar.....	9
2.1.1. Granülometri ve İncelik Modülü.....	12
2.1.2. En Büyük Tane Boyutu.....	14
2.1.3. Tane Şekli ve Yüzey Yapısı.....	14
2.1.4. Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk.....	15
2.1.5. Agregatanelerinin Boşluk Oranı ve Su Emmesi.....	16
2.1.6. Basınç (Ezilme) Dayanımı.....	17
2.1.7. Zararlı Maddeler.....	18
2.2. Hafif Betonlar ve Beton Bloklar.....	19
2.2.1. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	22
2.2.1.1. Birim Hacim Ağırlık ve Su Emme.....	22
2.2.1.2. Basınç Dayanımı	24
2.2.1.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı.....	27
2.2.1.4. Isı İletkenliği.....	29
2.2.1.5. Ses Emme.....	33
2.2.1.6. Ateşe Dayanıklılık.....	33
2.2.1.7. Kesilebilme ve Çivilenebilme.....	34
2.2.2. Taze Beton Özellikleri.....	34
2.2.2.1. Birim Hacim Ağırlık.....	34
2.2.2.2. İşlenebilme.....	35
2.2.2.3. Hava miktarı.....	36
2.2.3. Karışım Oranlarının Saptanması.....	36

2.2.4. Betonun Üretimi.....	41
2.2.4.1 Karıştırma.....	41
2.2.4.2. Taşıma ve Yerleştirme.....	42
2.2.4.3. Bakım (kür) ve Kontrol.....	42
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	44
3.1. Materyal.....	44
3.1.1. Doğal Hafif Agregalar.....	44
3.1.2. Kum.....	48
3.1.3. Çimento.....	49
3.1.4. Beton Karma Suyu.....	49
3.2. Yöntem.....	50
3.2.1. Agrega Deneylerinde Uygulanan Yöntemler.....	50
3.2.2. Hafif Agregaların Ocaktan Alınışı.....	51
3.2.3. Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler.....	52
3.2.3.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı.....	52
3.2.3.2. Birim Hacim Ağırlık.....	52
3.2.3.3. Zararlı Maddeler.....	53
3.2.3.3.1. Organik Madde.....	53
3.2.3.3.2. İnce Madde.....	53
3.2.3.3.3. Sülfat Miktarı.....	54
3.2.3.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme.....	55
3.3. Beton Seçeneklerinin Saptanması.....	57
3.3.1. Karışım Oranlarının Saptanması.....	60
3.4. Taze Beton Deneylerinde Uygulanan Yöntemler.....	67
3.4.1. Karışımların Üretilmesi.....	67
3.4.2. Üretilen Beton Blokların Taze Birim Hacim Ağırlığı.....	67
3.4.3. Beton Blokların Kürü.....	68
3.5. Sertleşmiş Beton Blok Deneylerinde Uygulanan Yöntemler.....	69
3.5.1. Birim Hacim Ağırlık.....	69
3.5.2. Örneklerin Başlıklanması.....	70
3.5.3. Basınç Dayanımı.....	71
3.5.4. Donma-Çözülme Dayanıklılığı.....	72

3.5.5. Isı İletkenliği.....	72
3.5.6. Su Emme.....	75
3.5.7. Şekil ve Gönyeden Sapma.....	76
3.5.8. Boyut ve Toleranslar.....	76
3.5.9. Verilere Uygulanan İstatistiksel Yöntemler.....	76
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	77
4.1. Agrega Özellikleri.....	77
4.1.1. Elek Analizi ve Granülometri Bileşimi.....	77
4.1.2. Gevşek Birim Hacim Ağırlık.....	89
4.1.3. Zararlı Maddeler.....	90
4.1.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme.....	92
4.2. Beton Özellikleri.....	94
4.2.1 Birim Hacim Ağırlık.....	95
4.2.2. Basınç Dayanımı.....	111
4.2.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı.....	122
4.2.4. Isı İletkenliği.....	131
4.2.5. Su Emme.....	141
4.2.6. Şekil ve Gönyeden Sapma.....	147
4.2.7. Boyot ve Toleranslar.....	147
5. SONUÇ.....	149
KAYNAKLAR.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	164

SİMGELER DİZİNİ

A	: Ölçü silindiri kesit alanı
ASTM	: American Society For Testing and Materials
B	: Taze beton blok betonunun birim hacim ağırlığı
B _g	: Agreganın gevşek birim hacim ağırlığı
F	: Basınç uygulanan yüzey alanı
γ_d	: İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı
γ_{di}	: İri agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı
γ_g	: İnce agreganın görünen özgül ağırlığı
γ_{gi}	: İri agreganın görünen özgül ağırlığı
γ_k	: İnce agreganın kuru özgül ağırlığı
γ_{ki}	: İri agreganın kuru özgül ağırlığı
h	: 24 saat dinlendirme sonunda ölçü silindirinde çökelen ince madde yüksekliği
I	: Isıtma telinden geçen akım
λ	: Malzemenin ısı iletkenlik katsayısı
m	: İnce agreganın su emme oranı
M ₂₄	: 24 saat dinlendirme sonunda çökelen ince madde oranı
m _i	: iri agreganın su emme oranı
M _y	: Yıkabilir ince madde oranı
P _{max}	: Kırılma anındaki kuvvet
R	: Birim uzunluktaki ısıtma telinin direnci
S	: Agreganın sülfat miktarı
σ_b	: Örneğin basınç dayanımı
Se	: Beton blokların su emme oranı
T ₁ , T ₂	: Seçilen iki zaman aralığına karşılık gelen ısıtma telindeki sıcaklıklar
t ₁ , t ₂	: Isıtma teline akım verilmesinden sonra herhangi iki zaman aralığı
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
V	: Ölçü kabının iç hacmi
V _d	: Örneğin dolu kısmının hacmi
V _t	: Beton blokun toplam hacmi
W	: Beton blokun fırın kuru ağırlığı

- W_0 : Fırın kuru duruma getirilmiş ve öğütülmüş deney örneğinin 0.09 mm göz açıklıklı elekten geçen yaklaşık 1 g lık kısmının ağırlığı
- W_1 : İnce agreganın fırın kuru ağırlığı
- W_{1i} : İri agreganın fırın kuru ağırlığı
- W_2 : İnce agreganın doygun kuru yüzey durumdaki ağırlığı
- W_{2i} : İri agreganın doygun kuru yüzey durumdaki havadaki ağırlığı
- W_3 : Ölçü kabı, su ve ince agreganın toplam ağırlığı
- W_{3i} : İri agreganın sudaki ağırlığı
- W_4 : 1000 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı
- W_a : Ölçü kabı boş ağırlığı
- W_b : Gevşek agregaya ile dolu ölçü kabı ağırlığı
- W_f : Örneğin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkları arasındaki fark
- W_k : Örneğin fırın kuru ağırlığı
- W_{k1} : Örneğin deney öncesi fırın kuru ağırlığı
- W_{k2} : Örneğin deney sonrası fırın kuru ağırlığı
- W_n : 24 saat su içerisinde bekletilen örnekler sudan çıkarılarak yüzeyleri kurulandıktan sonraki ağırlığı
- W_t : Örneğin net ağırlığı
- Δ : Sertleşmiş beton blokların birim hacim ağırlığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan hafif agregaların alındığı bölgeler	45
Şekil 3.2. Van-Erciş hafif agregasının alındığı ocak	46
Şekil 3.3. Erzurum-Pasinler hafif agregasının alındığı ocak	46
Şekil 3.4. Deney örneklerinin elde edilmesinde kullanılan bölgeç	51
Şekil 3.5. Taze beton blok betonunun birim hacim ağırlık deneyi	68
Şekil 3.6. Beton blok örneklerin kür edilmesi	69
Şekil 3.7. Beton blokların başlıklanması	70
Şekil 3.8. Örneklerin basınç dayanımının ölçülmesi	71
Şekil 3.9. Donma-çözülme deneyi	72
Şekil 3.10. Isı iletkenlik ölçüm sistemi	74
Şekil 3.11. Isı iletkenlik ölçüm cihazı	75
Şekil 4.1. Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler hafif agregalarının granülometri eğrileri..	85
Şekil 4.2. Erzurum-Pasinler tuf kumu ve Erzurum-Horasan normal kumunun granülometri eğrileri.....	85
Şekil 4.3. Tuf kumu karışımı Van-Erciş hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri	86
Şekil 4.4. Tuf kumu karışımı Erzurum-Pasinler hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri	86
Şekil 4.5. Normal kum karışımı Van-Erciş hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri	87
Şekil 4.6. Normal kum karışımı Erzurum-Pasinler hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri	87
Şekil 4.7. Atölyelerce kullanılan tuf ve normal kuma ait granülometri eğrileri	88
Şekil 4.8. A, B ve C atölyelerince kullanılan hafif agregalara tuf ve normal kum karışımı ile elde edilen granülometri eğrileri	88
Şekil 4.9. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki	106
Şekil 4.10. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki	107

Şekil 4.11. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	107
Şekil 4.12. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	108
Şekil 4.13. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki.....	113
Şekil 4.14. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki...	114
Şekil 4.15. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki...	114
Şekil 4.16. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki...	115
Şekil 4.17. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	115
Şekil 4.18. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	116
Şekil 4.19. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	116
Şekil 4.20. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	117

Şekil 4.21. Granülometrisi doğal Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	125
Şekil 4.22. Granülometrisi ayarlanmış Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	126
Şekil 4.23. Granülometrisi doğal Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	126
Şekil 4.24. Granülometrisi ayarlanmış Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	127
Şekil 4.25. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki.....	133
Şekil 4.26. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki.....	134
Şekil 4.27. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki.....	134
Şekil 4.28. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki.....	135
Şekil 4.29. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki.....	135
Şekil 4.30. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki.....	136

Şekil 4.31. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki.....	136
Şekil 4.32. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki.....	137
Şekil 4.33. Doğal granülometrilili Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	143
Şekil 4.34. Ayarlanmış granülometrilili Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	143
Şekil 4.35. Doğal granülometrilili Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	144
Şekil 4.36. Ayarlanmış granülometrilili Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki.....	144

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Van-Erciş hafif agregasının kimyasal analiz sonuçları.....	47
Çizelge 3.2. Erzurum-Pasinler hafif agregasının kimyasal analiz sonuçları.....	47
Çizelge 3.3. Erzurum İli Pasinler İlçesi volkanik tuf kumunun kimyasal analiz sonuçları.....	48
Çizelge 3.4. Araştırmada kullanılan çimentonun (PKÇ 32.5/B-R) kimyasal analiz değerleri ile fiziksel ve mekaniksel özellikleri.....	49
Çizelge 3.5. Dozajı 150 kg/m ³ olan doğal granülometrilik Van-Erciş hafif agregası ile üretilen 1m ³ beton karışımına giren malzeme miktarları.....	64
Çizelge 3.6. Bir m ³ beton karışımına giren ayarlanmış malzeme miktarları.....	64
Çizelge 3.7. Dozajı 150 kg/m ³ olan ayarlanmış granülometrilik Van-Erciş hafif agregası ile üretilen 1m ³ beton karışımına giren malzeme miktarları...	66
Çizelge 3.8. Bir m ³ beton karışımına giren ayarlanmış malzeme miktarları.....	66
Çizelge 4.1. Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler hafif agregaları ile elde edilen elek analizi değerleri.....	80
Çizelge 4.2. Erzurum-Horasan normal kumu ve Erzurum-Pasinler tuf kumunun elek analizi değerleri.....	81
Çizelge 4.3. Van-Erciş hafif agregası ve tuf kumu karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri.....	81
Çizelge 4.4. Erzurum-Pasinler hafif agregası ve tuf kumu karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri.....	82
Çizelge 4.5. Van-Erciş hafif agregası ve normal kum karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri.....	82
Çizelge 4.6. Erzurum-Pasinler hafif agregası ve normal kum karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri.....	83
Çizelge 4.7. A atölyesi tarafından kullanılan agreganın elek analizi.....	83
Çizelge 4.8. B atölyesi tarafından kullanılan agreganın elek analizi.....	84
Çizelge 4.9. C atölyesi tarafından kullanılan agreganın elek analizi.....	84
Çizelge 4.10. Hafif agregalar, normal ve tuf kumu için gevşek birim hacim ağırlık değerleri.....	90
Çizelge 4.11. Hafif agregalar için ince madde oranı değerleri.....	91
Çizelge 4.12. Normal ve tuf agregası için ince madde oranı değerleri.....	91

Çizelge 4.13. Hafif agregalarda sülfat miktarı değerleri.....	92
Çizelge 4.14. Agregalar için özgül ağırlık ve su emme değerleri.....	93
Çizelge 4.15. Hafif agregalar için özgül ağırlık faktörü değerleri.....	93
Çizelge 4.16. Doğal granülometrilili hafif agregalarla üretilen 150 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	96
Çizelge 4.17. Doğal granülometrilili hafif agregalarla üretilen 200 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	97
Çizelge 4.18. Doğal granülometrilili hafif agregalarla üretilen 250 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	98
Çizelge 4.19. Doğal granülometrilili hafif agregalarla üretilen 300 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	99
Çizelge 4.20. Ayarlanmış granülometrilili hafif agregalarla üretilen 150 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	100
Çizelge 4.21. Ayarlanmış granülometrilili hafif agregalarla üretilen 200 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	101
Çizelge 4.22. Ayarlanmış granülometrilili hafif agregalarla üretilen 250 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	102
Çizelge 4.23. Ayarlanmış granülometrilili hafif agregalarla üretilen 300 kg/m ³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri.....	103
Çizelge 4.24. Farklı ocaklardan elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrilili beton blokların fırın-kuru 28 günlük birim hacim ağırlıkları.....	104
Çizelge 4.25. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların fırın-kuru 28 günlük birim hacim ağırlıkları.....	104

Çizelge 4.26. Beton blokların 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlıkları (Y) ile çimento miktarı (X) arasındaki ilişki.....	108
Çizelge 4.27. Agreg a o ağı, granölometri, kum çeşidi ve dozajın beton blok birim hacim ağırlığına olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	109
Çizelge 4.28. Hafif beton blokların 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerleri.....	112
Çizelge 4.29. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların fırın-kuru 28 günlük birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerleri.....	112
Çizelge 4.30. Beton blokların basınç dayanımı (Y) ve birim hacim ağırlıkları (X) arasındaki ilişki.....	118
Çizelge 4.31. Beton blokların basınç dayanımı (Y) ve çimento dozajı (X) arasındaki ilişki.....	118
Çizelge 4.32. Agreg a o ağı, granölometri, kum çeşidi ve dozajın 28 günlük basınç dayanımına olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	119
Çizelge 4.33. Farklı agreg a ocaklarından elde edilen doğal ve ayarlanmış granölometrilili agregalarla üretilen beton blokların donma-çözölme sonrası basınç dayanım değerleri.....	122
Çizelge 4.34. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların donma-çözölme sonrası basınç dayanım değerleri.....	123
Çizelge 4.35. Donma-çözölme etkisinde bırakılmayan ve bırakılan beton blokların basınç dayanım değerleri (kgf/cm^2).....	124
Çizelge 4.36. Donma-çözölme etkisinde bırakılmayan ve bırakılan A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların basınç dayanım değerleri (kgf/cm^2).....	125
Çizelge 4.37. Beton blokların basınç dayanımı (Y) ve çimento dozajı (X) arasındaki ilişki.....	127
Çizelge 4.38. Agreg a o ağı, granölometri, kum çeşidi ve dozajın donma-çözölme sonrası basınç dayanımına olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	129
Çizelge 4.39. Hafif beton blok örneklerinin 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3) ve ısı iletkenlik katsayıları ($\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$).....	132

Çizelge 4.40. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blok örneklerinin 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3) ve ısı iletkenlik katsayıları ($\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$).....	132
Çizelge 4.41. Beton blok örneklerinin ısı iletkenlikleri (Y) ile birim hacim ağırlıkları (X) arasındaki ilişki.....	137
Çizelge 4.42. Beton blok örneklerinin ısı iletkenlikleri (Y) ile çimento dozajı (X) arasındaki ilişki.....	138
Çizelge 4.43. Agreg a o ağı, granölometri, kum çeşidi ve dozajın ısı iletkenliğine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	139
Çizelge 4.44. Beton blokların su emme değerleri (%).....	142
Çizelge 4.45. A, B ve C atölyelerince üretilen beton blokların su emme değerleri (%).....	142
Çizelge 4.46. Beton blokların su emme değerleri (Y) ve çimento dozajı (X) arasındaki ilişki.....	145
Çizelge 4.47. Agreg a o ağı, granölometri, kum çeşidi ve dozajın beton blokların su emme değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları...	146
Çizelge 4.48. Üretilen ve piyasadan alınan beton blokların boyutları ve standart ölçüler.....	148

1. GİRİŞ

Önemli bir yapı malzemesi olan beton, bulunuşundan günümüze kadar her çeşit yapıda yaygın olarak kullanılmıştır. Beton konusunda yapılan araştırmalar sonucunda, geleneksel betonların her yönüyle hafif betonlardan üstün olmadığı ve bu nedenle de, sanayi ülkelerinin bir çoğunda bazı koşullar altında hafif beton kullanımının sağlanmasına karşın, Türkiye'de bugüne kadar gerçek anlamda taşıyıcı hafif betonla yapılmış bir yapının bulunmadığı bilinmektedir. Bunun temel nedeni, doğal hafif agrega kaynakları bakımından zengin olan ülkemizde, bu tür betonlar konusunda gerekli bilgi ve deneyim birikiminin yeterli düzeyde olmamasıdır.

Beton genel olarak çimento, su, iri ve ince agregaların birleşerek sertleşmesinden oluşan önemli bir yapı malzemesidir. Su ve çimento karışımının oluşturduğu çimento hamuru, agregalar arasındaki boşlukları doldurarak onların birbirine bağlanmasını sağlar (Turgutalp 1978).

Çağımızın en önemli yapı malzemelerinden biri olan beton; agrega, su ve çimentonun uygun oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulur. Taze betona istenilen şeklin verilebilmesi, iskeletini oluşturan agreganın kolayca sağlanabilmesi, istenilen boyutlarda bireysel betonarme elemanlarının yapılabilmesi, dayanımının yüksek olması nedeniyle yapı elemanları boyutlarının küçültülebilmesi, dış etkilere dayanıklı olması, beton işçiliği için fazla uzmanlaşmaya gerek olmaması gibi önemli yararları bulunmaktadır. Buna karşılık beton, yüksek ısıya dayanmaz ve gerekli önlemler alınmadığı zaman ses, ısı ve nem iletir. Ayrıca sökülüp yeniden kullanılma özelliğinin olmaması, onarılmasının zor ve olanaksızlığı da betonun sakıncaları arasında sayılabilir. Betonun bu sakıncaları bazı önlemler alınarak önlenebildiğinden, yararları sakıncalarına oranla üstünlük kazanmaktadır. Bunun içindir ki günümüz koşullarında beton diğer yapı malzemelerine oranla gerek kentsel, gerekse kırsal alanlardaki yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng 1993).

Normal betonların bu sakıncalı yönlerini giderebilmek, daha ekonomik ve kullanışlı betonlar elde etmek için yeni betonlar üretme yoluna gidilmiştir.

Güntümüzde yapı alanlarında pek çok yapı malzemesi kullanılmaktadır. Bunların bir kısmı doğal olarak elde edilmekte, bir kısmı da yapay olarak üretilmektedir. Malzemenin hammaddelerini, üretilme yöntemlerini, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini bilmek, onları ona göre yapılarda, en uygun yerde ve şekilde kullanmak gerekir (Ekmekyapar ve Örüng 1993). Bunun için; özellikle değişik agrega kullanılarak, katkı maddeleri eklenerek, karışım oranlarını değiştirip yalnızca normal agrega ve çimento kullanarak, yapım tekniğinde değişiklik yaparak ya da bu yöntemlerden bir kaçı birlikte kullanılarak özel betonlar üretilmiştir (Baradan 1991).

Özel amaçlı betonların başında hafif betonlar gelir. Hafif beton kullanımındaki ana amaç, ısı yalıtımı açısından gerekli malzeme elde etmektir. Ancak malzemenin hafif oluşu ana amaca paralel olarak başka pek çok yararlar sağlar (Akman 1990). Hafif beton, bağlayıcı çimento hamurunun genleştirilmesiyle (havalı, hücreli ya da gaz beton) veya sadece geleneksel iri agrega kullanarak (kumsuz) elde edilebildiği gibi beton bileşiminde, geleneksel agrega yerine, hafif agrega kullanılarak da elde edilebilmektedir. Bağlayıcı çimento hamurunu genleştirme tekniği, bu hamur içinde gaz kabarcıkları oluşturmaktır. Bu amaçla karma suyu miktarını artırmadan taze betonun işlenebilirliğini artıran, plastikleştirici maddeler kullanılmaktadır. Kullanılabilecek hafif agregalar; pomza, volkanik tuf, volkanik cüruf gibi doğal malzemeler veya genleştirilmiş kil, genleştirilmiş şist, genleştirilmiş perlit, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi yapay hafif agregalar ve tahıl taneleri gibi bazı organik malzemelerdir (Hüsem 1995). Hafif betonlar, belirli bir dayanım için yoğunluğunun az olması istenilen durumlarda kullanılan malzemedir. Yapıda hafif malzeme kullanma gereksinimi tarihte çok eski zamanlar da bile düşünülmüş, Romalılar zamanında sünger taşı gibi hafif taşlar yapılarda kullanılmıştır. Hafif malzemenin beton yapımında yaygın olarak kullanılması geçen yüzyılın ortalarına rastlamaktadır. Bu tarihlerde Almanya'da "Bims Beton" diğer bir anlatımla sünger taşı agregası kullanılarak, hafif beton üretilmeye başlanmıştır (İhtiyaroğlu 1974).

Hafif betonların kullanımlarının bazı üstünlükleri; birim kütlelerinin hafifliği nedeniyle öz ağırlıkların azalması, taşıyıcı yapı elemanlarının kesiti küçüldüğünden maliyetin düşmesi, elemanlarda donatı ekonomisi sağlaması, ısı ve ses yalıtkanlığının iyileşmesi, donmaya ve ateşe karşı dayanıklı olması, depremden daha az etkilenmesi ve prefabrike yapı elemanlarının üretim koşullarının daha iyi olması şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte,

dayanımlarının normal betona göre düşük, ani ve zamana bağılı deformasyon özelliğinin daha büyük oluşu, üretim ve yerleştirilmesinde daha fazla özen istemesi, yapay veya fabrikasyonla elde edilen hafif betonların maliyetinin fazla olması başlıca sakıncalarını oluşturmaktadır (Durmuş vd 1996).

İlk uygulamalarda, hafif betonun ağırlığının ve ısı iletkenlik katsayısının küçük oluşu ekonomik yararlarının temelini oluşturmuştur. Ancak, dolgu ve yalıtım elemanı olarak kullanılmasında başarılı sonuçlar elde edilince bugün artık yalıtım görevine ek olarak taşıyıcı özelliği olan elemanlarda da kullanılmaya başlanmış, dolayısıyla mekanik özelliklerinin bilinmesine gerek duyulmuştur (Açıkel 1995).

Son yıllarda ülkemizde konut sektöründeki önemli gelişmelere paralel olarak yayınlanan ısı yalıtım yönetmeliği ile ısı yalıtımının zorunlu duruma getirilmesi hafif betonları önemli yapı malzemeleri arasına sokmuştur. Ülkemizde, sünger taşı agregalı hafif bloklar ve gazbeton, yapı endüstrisinde uygulama alanı bulmakla birlikte hafif betonlar yeterince tanınmamakta ve dolayısıyla gerektiği ölçüde kullanılmamaktadır (Uysal 1996).

İhtiyaroğlu (1974)'na göre yurdumuzda kömür cürufu, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve benzeri yapay hafif agrega ile doğal hafif agrega, hafif beton üretiminde kullanılmaktadır. Hafif beton üretiminde daha ekonomik olabilen doğal hafif agregalar başta tuf olmak üzere çeşitli bölgelerimizde bol miktarda bulunmaktadır.

Yurdumuzda kentsel yörelerdeki yapılara oranla kırsal alanlardaki yapılar, malzeme ve yapı tekniği bakımından genellikle daha iyi özellikte değildir. Bu bakımdan, kırsal yörelerde yaygın olarak bulunan doğal hafif agregaların yerinde değerlendirilerek hafif beton yapımında kullanılması ve tarımsal yapılarda uygulanması olanakları araştırılmalıdır (Turgutalp 1978).

Tarımsal yapılar; tarım işletmelerinde çeşitli amaçlar için kullanılan konut, depo ve koruma yapıları, hayvan barınakları ve ürün değerlendirme tesisleri olarak tanımlanır. Bu yapıların fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için çevre koşulları, işletme tipi, yapım amacı, yapı malzemesi ve işçilik ekonomisi gibi etmenlerin araştırılması gerekir (Balaban ve Şen 1988).

Tarımsal yapı alanındaki uygulamalarda karşılaşılan sorunların etkili biçimde çözümlenebilmesi için malzemelerin, yapı veya yapı elemanları içindeki davranışları yakından tanınmalıdır. Bir yapıdan beklenen temel işlevler, belli bir hacmi doğal ve yapay çeşitli dış etkilere karşı koruyacak şekilde kapatmak; depolanan ürünlere ve içinde barınacak insan ve hayvanlara uygun bir çevre ortamı yaratmak şeklinde açıklanabilir. Bir yapı malzemesi sözü edilen işlevleri yerine getirirken de dayanım, stabilite, şekil değiştirme, nem, ısı, ses, yüksek sıcaklık vb. özel etkilere dayanıklılık ve ekonomik yönden belli koşulları yerine getirmek zorundadır (Tekinsoy 1984). Hafif yapı sistemlerine olan gereksinme ise tarım kesiminin hafif betonlara olan ilgisini artırmış bulunmaktadır. Bu durum birim alana gelen yükün azaltılması ile birlikte, yapı içi çevre koşullarını dengeleme olanağı veren, prefabrik yapı malzemesi türünden, briketlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır (Balaban ve Şen 1979).

Doğu Anadolu bölgesi kırsal kesimindeki tarımsal yapılar genellikle teknolojik gelişmelerden uzak ve ilkel koşullarda yapılmış basit yapılardan oluşmaktadır. Kullanılan yapı malzemesinin seçiminde malzemenin ucuz ve kolay sağlanabilir olması düşünülmüş, dayanım ve diğer mekanik özelliklerine gereken önem verilmemiştir (Amil 1989). Dolayısıyla bu yapılar doğal afetlere ve özellikle depreme karşı yeterli dayanımı gösterememektedir. Tarımsal yapılarda standart özelliklere sahip hafif beton elemanların iyi bir şekilde kullanılmasıyla sağlamlık ve dayanım bakımından yeterlilik elde edilebilir (Turgutalp 1978).

Postacıoğlu (1981)'na göre bir yapının kendisinden beklenen işlevleri yerine getirebilmesi için yapıldığı andaki özelliklerini çeşitli nedenlerle zamanla yitirmemesi, yapının maliyet bedelinin düşük olması ve uygun özelliklere sahip malzeme kullanılması ile sağlanabilir. Bu bakımdan yapıların belirli özelliklere sahip olması için, kullanılan yapı malzemesi ile ilgili özelliklerin bilinmesi gerekir.

Tarımsal yapıların iyileştirilmesi; yapı elemanlarının oluşturulmasında kullanılan malzeme niteliğinin yükseltilmesi, yapı elemanlarıyla yapı birimlerinin uygun bir şekilde planlanması, yapımı ve bunlarla ilgili bilginin uygulanması ile sağlanabilir. Ülkemizde tarımsal yapılar çoğu durumlarda kendilerinden beklenen işlevleri yerine

getirememektedir. Bunun en önemli nedeni, işletmelerin gerektiği gibi planlanmamış ve uygun malzemelerin kullanılmamış olmasıdır (Örting vd 1997).

Ülkemizde özellikle tarımsal yapılarda, geleneksel bir malzeme olan taş ve kerpicingin kullanımı yaygındır. Ancak son yıllarda hafif betonlara ilişkin üretim tekniklerinin gelişmesi, söz konusu gereksinimleri karşılayan malzeme arayışları, tuğla ve briket kullanımını yaygınlaştırmıştır. Günümüzdeki hızlı fiyat artışları, malzeme fiyatlarını da etkilemiş ve dolayısıyla üreticileri ucuz, yapımı kolay ve geleneksel yapı malzemelerinin iyileştirilmesine doğru yöneltmiştir (Tekinsoy 1984). Hafif agregalarla üretilen betonların ısı iletkenlikleri düşük, ateşe dayanıklılığı yüksek ve donma-çözölmeye karşı da dayanıklıdır (Hüsem 1995, Durmuş vd 1996). Bu özellikler göz önünde tutulursa özellikle deprem bölgelerinde hafif betonun kullanılması, depremin yapı üzerindeki etkisini azaltacağından güven ve ekonomi yönünden önemli bir üstünlük sağlayacaktır (Gül ve Gençten 1993). Bu nedenle hafif beton blokların birinci derece deprem bölgesine giren Doğu Anadolu Bölgesi tarımsal yapılarında kullanılmasının taş ve kerpice oranla çok daha uygun olabileceği söylenebilir.

Beton blok ve briket, duvar yapımında kullanılmak üzere doğal veya yapay agregalar ile çimento, su ve gerektiğinde katkı maddeleri kullanılarak yapılmış beton malzemedir (Anonymous 1988). Briketler, başka bir tanımlamayla beton bloklar, kum, ince çakıl, hafif agrega, iyi yanmış kok veya maden kömürü cürufunun genellikle 200 dozajlı çimento ile karıştırılıp belirli miktarda su eklenerek üretilen karışımın özel kalıplarda sıkıştırılması ve daha sonra havada kurutularak sertleştirilmesiyle elde edilen bir yapı malzemesidir (Özçelik 1975).

Tarımsal yapılarda briket duvarlar, taşıyıcı ve bölme duvarı olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı duvarlarda 20x20x40 cm'lik tam briket, bölme duvarlarında 10x20x40 ve 15x20x40 cm'lik yarım briketlerin kullanımı yaygındır. Briket beş yüzü kapalı, bir yüzü açık ve içi boş olan dikdörtgenler prizması şeklindedir. İçinin boş oluşu briketin hafiflik, ses ve ısı yalıtımı özelliğini kazandırır. Genellikle betonarme karkas yapılarda bölme duvarlarında kullanılmakta, yağma yapılarda ise taşıyıcılık görevini duvar üstlendiğinden, iki kattan fazla briket yağma yapıya izin verilmemektedir (Balaban ve Şen 1979).

Briket yapımında kullanılan hafif betonlar ülkemizde, taşıyıcı betonarme yapı elemanları yerine, bölme ve yalıtım amacıyla veya tarımsal yapılara yönelik şekilde kullanılmaktadır. Tarımsal yapılar genellikle yığma yapıldığından dış duvarlar tümüyle, iç duvarlar da kısmen taşıyıcılık görevi yüklenmektedir. Ancak ülkemizin deprem kuşağında bulunması nedeniyle bu yapıların depreme dayanıklı olmaları istenir. Bu da, hafif, elastik ve dayanımları yüksek yapı malzemesi ile sağlanabilir (Tekinsoy 1984).

Beton blok ve briketlerin standart birim hacim ağırlıkları $500-2200 \text{ kg/m}^3$, basınç dayanımları $20-150 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değişir (Anonymous 1988). Beton blok ve briketlerde kuru birim ağırlık azaldıkça mekanik dayanım ve ısı iletkenlikleri de azalır. Birim ağırlıkları 800 kg/m^3 üzerinde olan betonlar genellikle yük taşıyıcı özelliklere sahiptir (Kars 1994).

Bir tarımsal yapıda, briket duvarın dayanımının yeterliliği, boyutlarının da büyük olması nedeniyle duvarda harç ve işçilik bakımından ekonomi sağlaması sonucu hafifliği, yangına, çürümeye ve zararlılara karşı dayanıklı olması, yalıtım özelliğinin diğer bir çok yapı malzemelerine göre daha iyi olması yaygın olarak kullanımını artıracaktır (Balaban ve Şen 1979). Soğuk iklimde sahip ve birinci derece deprem etkisinde bulunan Doğu Anadolu Bölgesi'nin kırsal yapılarında gereği gibi kullanılması durumunda, hafif agregalarla üretilen betonlar, büyük yararlar sağlayabilir. Hafif betonların basınç dayanımları; kullanılan malzeme, karışım oranı, su miktarı, karıştırma, sıkıştırma şekli ve beton yaşına bağlıdır. Bu konuda; hafiflik, ısı yalıtımı gibi üstünlükleri yanında, donma-çözülme sonucundaki bozulmaların da çok fazla olmayışı hafif betonların kullanılabilirliğini artırır (Turgutalp ve Örüng 1992).

Bims (pomza) kullanılarak üretilen briketlerin ısı iletkenlik değerleri standartlarda verilen değerlerden daha düşüktür. Bu özelliği ile briket, düşey konstrüksiyonların oluşturulmasında kullanılan tuğla ve benzeri yapı bileşenlerinden daha iyi ısı yalıtımına sahiptir. Isı yalıtımlı olması ve dayanıklılığı ile geleneksel bir sistem olan yığma yapılarda özellikle yeğlenmelidir. Enerji tasarrufu ve yapı maliyeti açısından ülke ekonomisine katkı sağlayacağı unutulmamalıdır (Kars 1994).

Teknolojinin geliştiği, enerjinin her geçen gün daha da değerlendiği günümüzde, kullanışlı, ekonomik ve güven duygusu veren yapıların oluşturulması gerekir. Ayrıca, lkemizin atıl durumda bulunan kaynaklarının değerlendirilmesi toplumsal refahı artırmak açısından da önemlidir.

Ülkemiz doğal hafif agrega kaynakları açısından çok zengindir. Özellikle Kayseri, Nevşehir, Bitlis, Van, Ağrı ve Kars yörelerinde olmak üzere Türkiye genelinde yaklaşık 3 milyar m³ rezerve sahip yalnızca pomzanın olduğu Devlet Planlama Teşkilatı'nın VI. Beş Yıllık Kankınma Planı'nda belirtilmektedir (Anonymous 1992). Bu kaynak hafif beton ve beton blok üretiminde değerlendirilebilir.

Hafif yapı malzemelerinin deprem, yapı ekonomisi, ısı yalıtımı, ateşe karşı dayanıklılık gibi bir çok soruna çözüm getirmesi ve özellikle bu malzemelerin başında gelen pomzanın Doğu Anadolu Bölgesi'nde yaygın olarak bulunması, bunlarla üretilecek hafif briket ve beton blokların bazı özelliklerinin iyileştirilmesinin araştırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Hafif beton blokların özellikle kırsal yerleşimlerdeki yapılarda kullanılması olanaklarının araştırılmasıyla ülke kalkınmasına ve özellikle deprem etkisinde kalan yapılarda birçok sorunun çözümüne katkıda bulunacağı bir gerçektir.

Bölgemizde ticari amaçlı üretilen beton blokların basınç dayanımları yeterli düzeyde olmadığı bu araştırmanın n çalışmalarıyla saptanmıştır. Türk standartlarınca beton blok için ngtrlen basınç dayanımının en az 20 kgf/cm² olması gerekirken, bölgemizde hafif agrega ile üretilen beton blokların basınç dayanımlarının yaklaşık 9-11 kgf/cm² olduğu belirlenmiştir.

Bu alışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nde konuyla ilgili ayrıntılı araştırmaların yapılmamış olması da göz önünde tutularak, Van'ın Eriş ve Erzurum'un Pasinler ilçesi yörelerinde bulunan hafif agrega ocaklarından sağlanan doğal hafif agregalara Erzurum'un Horasan ve Pasinler ilçeleri yörelerinden sağlanan normal ve tf kumunun (ince agrega) ayrı ayrı katılmasıyla üretilen beton blokların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilip tarımsal yapılarda taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Araştırmada, iki ayrı hafif agrega ve bunlara ayrı ayrı katılan tuf, normal kum kullanılarak doğal ve ayarlanmış granülometrilik, 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ dozajlı beton bloklar üretilmiştir. Üretilen örneklerin Anonymous (1988)'da öngörüldüğü gibi birim hacim ağırlığı, 28 günlük basınç dayanımı, donma-çözülme dayanıklılığı, ısı iletkenliği, su emme, şekil ve gönyeden sapma, boyut ve toleranslar gibi fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili değerler belirlenmiştir. Ayrıca Erzurum ilinde en çok üretim yapan üç beton blok atölyesinden yeterli sayıda alınan örnekler kendi aralarında ve alındıkları atölyeleri göstermek üzere A, B ve C şeklinde isimlendirilmiştir. Üretim tarihini izleyen 28 günün sonunda örnekler üzerinde birim hacim ağırlığı, 28 günlük basınç dayanımı, donma-çözülme dayanıklılığı, ısı iletkenliği, su emme, şekil ve gönyeden sapma, boyut ve tolerans gibi fiziksel ve mekanik özellikleri saptanmıştır.

Birinci derece deprem etkisinde olan Doğu Anadolu Bölgesi'nde, özellikle kırsal yapıların yapımında yörede bol bulunan hafif agregaların yapı malzemesi olarak kullanılması büyük öneme sahiptir. Bu araştırmadan elde edilen bulguların da göz önünde bulundurularak hafif beton blokların üretiminde bu agregalardan yararlanılması durumunda hafiflik, ısı yalıtımı, donma-çözülme dayanıklılığı ve yeterli basınç dayanımına sahip yapı malzemeleri üretilebilecektir. Böylece, kendinden beklenen işlevleri yerine getirebilecek daha nitelikli ve ekonomik yapılar yardımıyla tarımsal üretim artışı gerçekleştirilecektir. Ayrıca bölgede çok sayıda bulunan hafif agrega yataklarının en iyi şekilde değerlendirilmesi olanakları sağlanabilecek ve hafif beton blok üreticilerine daha iyi niteliklere sahip üretim yapma konusunda yardımcı olabilecek bilgi ve veriler sunulmuş olacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde hafif agregalar, hafif beton ve beton blokların özellikleri konusunda bilgi sunulmaktadır. Çalışmada hafif beton deyimiyle; hafif agregası (pomza) ile üretilen beton ve beton bloklar tanımlanmaktadır.

2.1. Hafif Agregalar

Hafif agregası, su, çimento ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak hafif beton üretiminde kullanılan, gevşek birim ağırlıklarının en büyük değeri 1200 kg/m^3 'ü aşmayan, kırılmış veya kırılmamış gözenekli inorganik agregasıdır (Anonymous 1986a).

Hafif agregalar kökenlerine göre farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptirler. Bunların en önemli özelliğini yüksek boşluk oranları nedeniyle düşük hacim ağırlıkları oluşturur. Hafif agregalar yapay ve doğal olmak üzere başlıca iki gruba ayrılırlar (Postacıoğlu 1987).

Yapay hafif agregalar, doğadaki malzemeye özel bir ısıtım işlemi uygulamak koşuluyla elde edilir. Genleştirilmiş kıl, şist ve yüksek fırın cürufu bu grubun en belirgin örneğidir (Anonymous 1998a).

Durmuş vd (1996), yapay hafif agregaların özelliklerini aşağıdaki şekilde açıklamıştır:

- Genleştirilmiş kıl ve şistler kimyasal maddeler kullanılarak yüksek sıcaklıklarda özel fırınlarda pişirilerek elde edilmektedir.
- Uçucu küller ise termoelektrik santral ve fabrika bacalarından çıkan kömür, fuel-oil küllerinin taneli biçime getirilmiş şeklidir.
- Vermikülit, mikaya benzer minerallerdir. Bunlar, $650-1000^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtıldığında genişterek hafif agregası üretimine uygun duruma gelmektedir.

- Genleştirilmiş perlit, doğal perlitin erime derecesine yakın (700-1200°C) bir sıcaklıkta genleştirilip, çok hafif bir duruma getirilmesi ile elde edilir.

Doğal hafif agrega, doğada bulunan volkanik taşların parçalanması sonucunda oluşmuş ve çok fazla miktarda boşluk içermektedir. Volkanik taşlar bims, pomza veya sünger taşı adları ile bilinmektedir (Postacioğlu 1987). Doğal hafif agrega olarak kullanılan başlıca agregalar sünger taşı, volkan cürufu, volkan külü, tuf ve diyatomitdir. Diyatomit dışında diğerleri volkanik kökenlidir. Bunlar doğal durumları ile hafif ve yeteri kadar dayanıma sahiptir (Price and Cordon 1949).

- Pomza (bims), püskürük doğal taşların dış püskürükler sınıfı içinde yer alan, hafif, birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı camsı doku gösteren bir maddedir. Bu madde, Almanlar tarafından "bims" Fransızlar tarafından "ponza veya pomza" diye adlandırılır. Türkiye'de "sünger taşı" olarak da bilinir (Yaşar ve Pehlevan 1997). Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanım türü olan asidik pomza, beyaz kirli, beyazımsı renkte olanıdır. Pomza oluşum sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmışlardır. Gözenekler birbirleri ile bağlantılı değildir. Asidik pomzanın yoğunluğu bazik olanlara göre daha az olup 0.5-1 g/cm³ arasında değişmektedir. Pomzanın fazla gözenekliliğinden dolayı ısı ve ses geçirgenliği oldukça düşüktür. Bünyesinde kristal suyu yoktur. Kimyasal olarak %75'e varan silis içeriğine sahiptir (Çevikbaş ve İlgün 1997).

- Volkanik cüruf (scoria), boşluklu düzensiz lav parçacıklarıdır. Bunlar yanardağlardan çıkan lavların ilk soğuyan kısmıdır.

- Tüfler temel olarak volkanik kayalardır. Tamamen volkanik tüfler olduğu gibi, tamamen sedimenter tüfler de vardır. Yaklaşık 4 mm'den küçük prioklastik tanelerin oluşturduğu tüflere tüfit, kum şeklinde olanlara ise volkanik kül adı verilmektedir. Tüflerin yapısını volkanik cam parçacıkları ile kristal ve volkanik olmayan maddeler oluşturmaktadır. Temel maddesi cam olan tüflere cam tuf, tane büyüklüğü 4 mm-32 mm olan tüflere lapititli tuf, daha büyük parçalardan oluşanlara ise volkanik breş adı verilmektedir.

- Diatomit, iskeletlerini silikatlar (SiO_2) oluşturur. Ölü diatomitlerin küçük kabukları, iç denizlerde kizelgur meydana getirmektedir. Fosil durumundaki diatomite kabuklarından oluşan kayalara "diatomit" adı verilmektedir (Durmuş vd 1996).

Türkiye'nin pek çok bölgesinde pomza (bims) ve tuf bulunur (Sükan 1966). Bugün bilinen doğal hafif agrega yataklarının Türkiye üzerindeki dağılımı bölge olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Açıkel 1995):

- Türkiye tüfleri: Ankara, Afyon, Artvin, Ağrı, Adıyaman, Bartın, Balıkesir, Bilecik, Bolu, Bitlis, Bursa, Burdur, Çanakkale, Çankırı, Çoruh, Dursunbey, Denizli, Edirne, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Gümüşhane, Giresun, Kars, Kastamonu, Kayseri, Konya, Kütahya, Kırşehir, İzmir, Isparta, Manisa, Malatya, Muğla, Muş, Nevşehir, Niğde, Uşak, Samsun, Sivas, Siirt, Trabzon, Yozgat, Van, Zonguldak tüfleridir.

- Türkiye bimsleri: Nevşehir-Ürgüp, Niğde-Gölcük, Bitlis-Ahlat-Sorköyü, Ağrı-Patnos-Sarısu, Nevşehir-Ayaktaş, Nevşehir-Derinkuyu bimsleridir.

1990'lı yıllarda özellikle teknolojik özellikleri ve bir çok sanayi türüne göre değişik üstünlüklere sahip olan pomza taşı, giderek artan bir eğilimle farklı sanayi dallarında yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Yapı sektöründe son yıllarda hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak, hammadde tüketiminde pomza taşının yapı malzemesi olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle son yıllarda, ısı yalıtımı ve birim ağırlığı bakımından normal betona göre üstünlüklere sahip olan hafif beton, hızla artan bir kullanım eğilimi göstermiştir (Davraz ve Gündüz 1997).

Pomzadan ülkemizde ve dünyada geniş anlamda yapı alanında yararlanılmaktadır. Ülkemizde üretilen pomzanın %90'ı yurt içindeki yapılarda kullanılmaktadır. Pomza normal kumun ve çakılın 1/3 ile 2/3'ü kadar birim ağırlığa sahiptir. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da söz konusudur. Pomza betonu, normal betonlardan hafif olması nedeni ile zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca zemin mekaniği açısından temele iletilen yük azalacağından yaklaşık %17 dolayında yapı çeliğinden de tasarruf sağlanabilmektedir. Pomza ile üretilen hafif betonun ısı geçirgenlik katsayısı normal

betondan 6 kat daha fazla olduğundan büyük çapta ısı ve enerji tasarrufu sağlamaktadır (Çevikbaş ve İlğün 1997).

Agregaların özellikleri bunlarla yapılacak betonun özelliklerini etkiler. Agregaların fiziksel dayanımı, tanelerin şekli ve yüzey yapısı, birim ağırlığı ve su emmesi, granülometrisi, nem etkisiyle oluşan boyut değişimleri ve ısı ile ilgili özellikleri beton yapımında önem taşır. Beton özellikleri, agrega özellikleri ile birlikte çimento niteliği, karışım oranları ve sıkıştırma derecesi tarafından da etkilenir (Teychenne 1967, Teychenne 1968).

Hafif beton üretimi bakımından agreganın önemli özellikleri; granülometrisi ve incelik modülü, en büyük tane boyutu, birim ağırlığı, tane şekli ve yüzey yapısı ile su emmesidir.

2.1.1. Granülometri ve İncelik Modülü

Agreganın granülometrisi, boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin agrega içerisindeki dağılım oranını belirler (Postacıoğlu 1987). Agrega granülometrisi, beton karışımının üniformluluğunu, kolay işlenebilmesini, istenilen nitelikte ve dayanımda beton elde etmek için daha az çimento kullanımını gerektirdiğinden önemlidir (Uluata 1981).

Hafif agregalar tane büyüklüklerine göre genel olarak ince agrega, iri agrega ve karışık agrega olarak sınıflandırılmaktadır (Anonymous 1986a).

İri ve ince agreganın granülometrisi ile bunların karışım oranları beton niteliği üzerinde önemli etkilere sahiptir. İyi derecelenmiş bir agrega en az boşluk hacmine sahip olduğundan, boşlukların doldurulmasında daha az çimento hamuruna gerek duyulur. Hafif agregaların farklı büyüklükteki tanelerinin yoğunlukları tane boyutu küçülürken artmaktadır. Genel olarak 0,15 mm'den küçük boyutlu tanelerin yoğunlukları doğal kuma yaklaşırken, bazı iri agrega taneleri de suda yüzebilmektedirler. Bu bakımdan hafif beton karışımlarının boşluk ve çimento oranları ile işlenebilirliğini belirleyen öge, her elek üstünde kalan malzeme ağırlığı olmaktan çok, her tane grubunun kapladığı hacim olmaktadır. Hafif agregaların ağırlık esasına göre granülometrelerinde-hacim olarak eşit

tane boyutu dağılımı sağlamak amacıyla-normal agregalara oranla ince elekler üzerinde kalan malzemenin daha fazla yüzdelere gerek vardır (Anonymous 1991, Nesbit 1966). Bu nedenle normal beton için uygulanan agreg granülometri değerleri hafif betonlar için uygulanamamaktadır (Turgutalp 1978).

Agreganın farklı en büyük tane boyutuna göre üretilecek betonlar için değişik granülometrilere gerek duyulur. Hafif agregalar ve bunlarla yapılacak değişik nitelikteki betonlar için gerekli agreg granülometrisi Anonymous (1986a), Anonymous (1998a) ve Anonymous (1998b) gibi çeşitli standartlarda verilmiştir.

Beton üretiminde kullanılacak agreg karışımlarının olanaklar ölçüsünde az boşluklu olması istenir. Bu ise agreg karışımının uygun bir granülometriye sahip olmasıyla sağlanabilir (Cimilli 1986). Agreganın uygun bir granülometriye sahip olmasını sağlamak amacıyla standartlar granülometri eğrilerini önermektedir. Bu eğriler, uygulama kolaylığı yönünden tek bir eğri yerine, eğrilerle sınırlandırılmış bölgeler olarak verilir. Beton üretiminde kullanılacak agreg karışımlarının granülometri eğrilerinin bu bölgeler dışına taşmaması istenir (Ekmekyapar ve Örüng 1993).

Hafif agreganın granülometrisi özellikle beton duvar birimlerinde büyük önem taşımaktadır. Duvar birimlerinin ağırlığı, dayanımını, dış yüzeylerinin yapısı, ısı yalıtım ve ses emme gibi fiziksel özellikleri agreganın granülometrisi tarafından etkilenir (Carlson 1956).

İncelik modülü ise granülometriyi daha kolay bir şekilde gösteren bir ölçüttür. Ancak granülometrisi farklı olan agregaların incelik modülleri birbirine eşit olabilir. Bu yüzden incelik modülü bir agreg karışımının granülometri bileşimini yeterli derecede açıklamasa da, tane dağılımının durumu bakımından kabaca bir fikir vermektedir. İncelik modülünün büyük değerler alması agreg içinde iri tanelerin, küçük değerler alması da ince tanelerin fazla miktarda bulunduğunu gösterir (Postacioğlu 1987).

2.1.2. En Büyük Tane Boyutu

Agreganın en büyük tane büyüklüğünü, çapını ve boyutunu, agreganın %90-100 oranında geçtiği en küçük elek boyutu belirler. Beton üretiminde olanaklar ölçüsünde en büyük tane büyüklüğü yüksek olan agreganın seçilmesi yararlıdır. Bu şekilde beton için gerekli çimento ve yoğurma suyu miktarları azaltılarak betonun niteliği yükseltilebilmektedir (Ekmekyapar ve Örüng 1993).

Bloem and Gaynor (1963), betonlarda agreganın en büyük tane boyutu ile beton dayanımı arasındaki ilişkinin hafif agregaya çeşidine göre değiştiğini, tane boyutunun büyütülmesiyle dayanımda bir artışın bulunmadığını, özellikle yüksek çimento miktarlarında, agregaya en büyük tane boyutunun artırılmasının dayanımı düşürdüğünü belirtmektedirler.

Bimsbeton agregalarında maksimum tane boyut 20 mm'den büyük olmamalı ve yerine göre 12,5 mm veya 10 mm'lik maksimum tane boyutlu karışımlar tercih edilmelidir (Anonymous 1978). Hafif betonlar için 16 mm, en büyük tane boyutu olarak istenilen işlenebilirliğin sağlanmasında uygun bir değerdir (Anonymous 1977a).

2.1.3. Tane Şekli ve Yüzey Yapısı

Kaynaklarına ve üretim şekillerine bağlı olarak hafif agregalar tane şekli ve yapılarında önemli farklılıklar gösterirler. Tane şekilleri; kübik, yuvarlak, köşeli veya düzensiz olabilirler. Yüzey yapıları ise; ince gözenek ile oldukça düzensiz büyük gözenekler arasında değişir (Klieger and Joseph 1994).

Değişik yerlerden elde edilen hafif agregalar tane biçimi ve yüzey yapısı bakımından oldukça farklıdır. Hafif agregaların tane biçimi ve yüzey yapısı karışım içinde ince ve iri agregaya miktarlarını, betonun işlenebilirliğini, ince agregaya-iri agregaya oranını, su ve çimento miktarlarını etkiler (Anonymous 1978).

İri agregaya tanelerinin şekli bu malzemeden üretilecek betonun özelliklerini önemli derecede etkiler. Beton özellikleri bakımından uygun agregaya taneleri, küresel ve kübik şekle

benzeyen tanelerdir. Bu şekillerden çok ayrılan uzun, yassı ve çubuk şeklinde olan tanelere kusurlu taneler denir. Kusurlu tanelerin karışımında belirli bir miktardan fazla bulunması, agreganın sıklılığını ve dolayısıyla betonun dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır (Postacıoğlu 1987).

2.1.4. Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk

Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığının bu hacme oranı birim hacim ağırlık olarak tanımlanmaktadır. Agreganın birim hacim ağırlığı agreganın granülometrisi, şekil faktörü, yerleştirme şekli ve agreganın yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterir (Postacıoğlu 1987).

Brink and Timms (1966), agregaların su emme ve yüzey nemindeki değişimlerle birlikte birim hacim ağırlık ve yoğunluklarının da hafif beton özellikleri üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilere sahip olduğunu bildirmektedirler. Hafif agregaların yoğunluğu, boşluklu bünyeleri nedeniyle normal agregalardan düşük olup tane boyutuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Yoğunluk ince tanelerde yüksek, iri tanelerde ise düşüktür.

Hafif agregalarda sıkı birim hacim ağırlık deneyi, tanelerin kırılıp parçalanmalarına neden olarak derecelenmesini değiştirdiğinden bir anlam taşımayıp, uygulamada sadece gevşek birim hacim ağırlık değerleri saptanmaktadır (Anonymous 1986a, Anonymous 1998a, Anonymous 1998c).

Hafif agregalar genellikle yüzeye açılan ve kapalı kalan boşluklar içerebildiğinden agreganın yoğunluğu farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Agreganın nem ve boşluk durumu göz önünde bulundurularak "fırın-kuru", "doğgun, yüzey-kuru" ve "görünen yoğunluk" gibi yoğunluk tanımlamaları bulunmaktadır (Anonymous 1977b, Turgutalp 1978). Beton karışım oranlarının saptanmasında doğgun, yüzey-kuru koşuldaki agreganın yoğunlukları önem taşımaktadır. Agreganın tüm iç boşluklarında bulunan su çimentonun hidratasyonunda etkili olamayabilir (Neville 1973).

Hafif agregaların gevşek (fırın-kuru) birim hacim ağırlıkları iri, ince ve karışık agregalar için sırasıyla 1000 kg/m^3 , 1200 kg/m^3 ve 1100 kg/m^3 'ten (Anonymous 1986a), bims agregasının ise gevşek (fırın-kuru) birim hacim ağırlıkları iri, ince ve karışık agregalar için sırasıyla 500 kg/m^3 , 700 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 'ten (Anonymous 1978) ve yapı betonları (taşıyıcı betonlar), duvar birimleri ve yalıtım betonlarında kullanılacak hafif agregalar için de aynı sırayla 880 kg/m^3 , 1120 kg/m^3 ve 1040 kg/m^3 'ten fazla olmamalıdır (Anonymous 1998a, Anonymous 1998c).

Hafif agregalar normal agregalara oranla önemli derecede düşük birim hacim ağırlıklara sahiptir. Agreganın çeşidi, yoğunluğu, granülometrisi ve tane şekline bağlı olarak bu değer 560 - 1120 kg/m^3 arasında değişiklik gösterir. Normal agreganın birim hacim ağırlıkları ise 1440 - 1760 kg/m^3 arasındadır. Aynı yoğunluğa sahip olan yuvarlak ve köşeli agregaların boşluk oranları değiştiğinden bunlar önemli derecede farklı birim hacim ağırlıklara sahip olabilir (Anonymous 1972).

2.1.5. Agreganın Tanelerinin Boşluk Oranı ve Su Emmesi

Agreganın taneleri içindeki boşluklar agreganın özelliklerini önemli derecede etkiler. Hafif tanelerin boşluk oranı en önemli özelliklerinden birisidir. Boşluk oranı arttıkça agreganın hafifleşir (Rudnai 1963).

Wills (1974), hafif agregaların genellikle normal agregalara oranla yüksek boşluk yüzdelere sahip olduğundan, üretilecek betonların su gereksinmesinin fazla ve dayanımlarının düşük olduğunu belirtmiştir.

Hafif agregalar, boşluklarından dolayı, su ile temas ettiklerinde, hemen suyu emmeye başlarlar. Fakat doygun hâle gelmeleri tam olarak gerçekleşemez. Laboratuvar koşullarında, suya tam daldırma halinde, 28 gün sonra bile doyma hâlinin ancak %30-40'ına ulaşabilirler. Bu özelliği nedeniyle, hafif agregalar donma ve çözülmeden etkilenmezler (Açıkel 1995)

Boşluklu agregaların su emme özelliğindeki değişimler sonucu beton üretiminde su-çimento oranı olumsuz yönde etkilenebilir. Bu nedenle karışıma çimento konulmadan önce hafif agregaya bir ön ıslatma uygulaması ile agreganın ani su emme gereksinmesi giderilebilir. Böylece pürüzlü yüzeyli tanelerin büyük boşlukları su ile doldurularak, karışımın su-çimento oranındaki değişim önlenir (Timms 1964).

Mihul (1968), su püskürtülen hafif agrega tanelerinin su içinde ıslatılan tanelere oranla daha fazla çimento hamuru gerektirdiğini, buna karşılık kuru agreganın su ile doymuş duruma getirilen agregaya oranla yaklaşık olarak iki katı çimento hamuruna gereksinme gösterdiğini bildirmiştir. İlk ıslatma ile iyice doymuş duruma getirilmeyen agrega karışımdan sürekli olarak su emebileceğinden, betonun işlenebilirlik değerleri karıştırma sırasında ve yerleştirme yerinde farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle işlenebilirlikte aynılığın sağlanması için agreganın ıslatılması ile birlikte karıştırma işleminin de daha uzun süre yapılması uygun olduğunu belirtmiştir.

Tanelerin içinde tutulan su ise karışım suyu olarak çimento ile etkileşimde hemen kullanılmaz. Ancak uzun kür periyotlarında agrega-çimento temas bölgelerindeki iyileşmelere oldukça etki eder (Klieger and Joseph 1994).

2.1.6. Basınç (Ezilme) Dayanımı

Hafif agregaların dayanımı, tanelerin yoğunluklarına bağlıdır. Aynı yoğunluğa sahip yuvarlak şekilli ve düzgün yüzeyli agregalar, kırılmış veya köşeli, pürüzlü yüzeyli agregalardan daha fazla dayanıma sahiptir. Betonda çimento miktarını etkileyen başlıca özelliklerden birisi agrega dayanımı ile taneler arasındaki boşluk hacmidir (İhtiyaroğlu 1974).

Teychenne (1967), hafif agregaların çoğunun mekanik dayanımının normal agregalardan çok düşük bulunmasına karşın bunlarla normal betonlar kadar dayanıklı beton yapılabileceğini bildirmektedir.

Karıştırma sırasında agreganın parçalanıp, ufalanma derecesini saptamak amacıyla yönelik güvenilir bir yöntem yoktur. Bu bakımdan hafif agregaların basınç dayanımları, agrega ile ilgili olarak çok genel bir bilgi vermektedir (Anonymous 1973a).

2.1.7. Zararlı Maddeler

Agregada bulunabilen zararlı maddeler, bağlayıcı maddenin ayrışmasına ve genişlemesine neden olarak betonun çatlamasına ve kırılmasına, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki yapışmanın (aderans) zayıflamasına ve yumuşak özellikte sağlam olmayan tanelerde beton dayanımının azalmasına yol açarlar (Barnbrook et al. 1975). Agregaların; çimento hamuru ile aderansını bozan, prizini etkileyen, çimento ile reaksiyona girip zararlı kimyasal etkilere yol açan çamurlu maddeler, kil, organik maddeler, kömür, fosil, deniz hayvan kabukları ve alkali reaktivite oluşturan maddelerden arınmış olması gerekir (Akman 1990).

Anonymous (1986a)'a göre agregada bulunabilecek maksimum ince madde oranları ağırlık yüzdesi olarak 0/2 tane için 5; 2/4 tane için 4; 4/8 tane için 3; 8/16 ve 16/32 tane sınıfları için ise 2 olarak verilmiştir.

Hafif agrega SO_3 olarak %1'den daha fazla suda çözünen sülfat içermemelidir. Yanma kaybı en fazla %4 olmalıdır. Hafif agregada organik madde miktarı standart ölçüt (referans) renkten daha koyu renk verecek derecede bulunmamalı ve kil topakları agrega kuru ağırlığının %2'sini geçmemelidir (Anonymous 1986a, Anonymous 1998c, Shacklock 1974).

Hafif betonlar bileşimleri nedeniyle sülfat etkisine karşı diğer betonlardan daha fazla dayanıksız değildir. Ancak, gerek sülfata gerekse diğer zararlı maddelere karşı en etkili savunma geçirimsizlik olduğu için bu da birçok hafif betonun karakteristik özelliği olmadığından dolayı sülfatlı zeminlerde iri agregalı hafif betonların kullanılması önerilmez (Short and William 1978)

Organik maddeler, taneli durumda bulundukları zaman renk değiştirme veya şişerek betonun yzeyinde patlamalara neden olur (Ekmekyapar ve Örüń 1993). Agregada organik maddelerin fazla miktarda bulunması bunlarla üretilen betonun dayanımının % 50 azalmasına ve bazan çimentonun priz yapmamasına neden olabilir (Postacıoğlu 1987).

Yıkabilir maddeler, agregada içinde ince toz durumunda dağılmış, topak durumunda veya agregada tanelerine yapışık olarak bulunan kil, silt ve ince taş ununu içeri (Cimilli, 1986). Bu maddeler, beton içinde agregada ile çimento arasındaki kenetlenmeyi zayıflattığı gibi, karışım suyu miktarını artırmasıyla da beton dayanımının azalmasına neden olabilmektedir (Postacıoğlu 1987).

2.2. Hafif Betonlar ve Beton Bloklar

Hafif betonlar dayanımın yanısıra hafiflik, ısı yalıtımı gibi özelliklerin de arandığı yerlerde kullanılan, birim ağırlıkları 400-2000 kg/m³ arasında değişen betonlardır (Ekmekyapar ve Örüń 1993).

Hafif beton normal betona göre bazı farklı özellikleri bulunan genellikle boşluklu, daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma, yüksek ısı yalıtımı özelliklerine sahip olan, bununla birlikte aynı amaçlarla kullanılabilen betondur (Neville 1973). Hafif betonlar yapımlarına göre; yapay ya da doğal hafif agregalı, geleneksel iri agregalı, çimento hamurunun genleştirilmesi suretiyle elde edilen hücreli ya da gazbeton olarak sınıflandırıldığı gibi kullanım amacına göre de taşıyıcı beton ve yalıtım betonu olarak sınıflandırılabilir (Hüsem 1995).

Taşıyıcı hafif beton için gerekli yapay hafif agregaların üretimiyle ilgili sanayi kolu ülkemizde henüz gelişmemiştir. Hafif agregada sanayi kurulmadan önce büyük miktarda bulunan doğal hafif agregaların değerlendirilmesi söz konusudur. Doğal hafif agregalardan ülkemizde en yaygın olanları pomza taşı, volkanik tuf ve volkanik cüruftur. Bunlardan özellikle pomza taşının Orta ve Doğu Anadolu'da oldukça büyük rezervleri bulunmaktadır. Bu hafif agregalarla su emme bakımından gerekli önlemler alınarak

yalıtım betonlarının üretilebileceği gibi taşıyıcı hafif betonların üretimi de olanaklıdır (Oğuz ve Türker 1997).

Taşıyıcı hafif beton Anonymous (1977a) standardına göre, havada kurumuş haldeki birim ağırlığı 1900 kg/m^3 'den az olan ve en az B 160 dayanım sınıfındaki betondur. Anonymous (1978)'da ise bimsbeton için alt sınır 1000 kg/m^3 ve üst sınır 1300 kg/m^3 olarak verilmekte, Anonymous (1986b)'da bimsbetondan üretilmiş yapı elemanları için, elemanların türlerine bağlı olarak birim hacim ağırlığı, boşluklu bloklarda $600-1000 \text{ kg/m}^3$, dolu bloklarda ise $800-1600 \text{ kg/m}^3$ arasında olduğu belirtilmektedir.

Hafif beton blokların hava kuru birim hacim ağırlıkları 1680 kg/m^3 'den az, basınç dayanımları ise minimum 35 kgf/cm^2 'dir. Söz konusu beton bloklar iç ve dış duvar yapımında, panellerde, çatı ve taban döşemelerin yalıtımında kullanılır (Topçu 1997).

Hafif beton yapımında volkanik silis içerikli çok sayıda camsı küçük zerreciklerden oluşmuş perlit ile hafif agregalardan lav artıkları, pomza ve tüflerden de yararlanılır. Beton blok üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan çimento ile birlikte ağır agregalar olarak soğutulmuş cürufalar, kırma taşlar, kum ve çakıllar kullanılabileceği gibi hafif agregalar olarak da genişletilmiş tortulu şist, genişletilmiş kil, kömür madeni artıkları gibi malzemeler yanında ayrıca doğal agregalar olarak volkanik artıklar ve pomza gibi malzemeler kullanılmaktadır (Çankıran 1997).

Pomza taşı hafif agregasıyla üretilen betonlar, taşıyıcı betonun dışında, ısı yalıtımı ve ses emme amacıyla blok olarak kullanılabileceği gibi bunlarla duvar panoları da üretilebilir. Pomza taşının öğütülmesi ile elde edilen puzzolanlar çimento hammaddesi olarak kullanılabilir. Pomza taşının yurdumuzda yaygın olan özel kullanımı da beton duvar blokları ve asmolen blok şeklindedir. Oysa pomza taşı agregasıyla üretilen farklı nitelikteki betonlar yapının taşıyıcı sisteminde kullanılabileceği gibi ısı ve ses yalıtımı açısından yapı fiziği sorunlarının çözümüne de yardımcı olabilirler (Karagüler 1988).

Üretim yöntemi, agregalar çeşidi, karışım oranları gibi etkenlere bağlı olarak hafif betonların birim ağırlıkları, dolayısıyla dayanım ve yalıtım özellikleri değişebilmektedir. Uygulama amacına göre değişik özelliklere sahip hafif betonlarla dolu ve boşluklu bloklar, prefabrik,

yerine dökülen taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yalıtım elemanları üretilebilmektedir (Gül ve Geçten 1994).

Ülkemizde üretilen beton blok ve briketlerin agregaları hafif ve ağır olmak üzere iki gruba ayrılır. Hafif agrega olarak daha çok bims, yüksek fırın curufu, perlit kullanılır. Normal agrega olarak deniz ve dere çakılı, kırma taş (mıcır) ve kum kullanılır. Çimento olarak portland, katkılı portland, demir portland, cüruf çimentosu, uçucu küllü çimento, traslı çimento, erken dayanımı yüksek çimento türleri kullanılır. Üretimde kullanılan suyun içerisinde çamur vb. gibi maddelerin bulunmaması, içilecek nitelikte olması gerekir (Özdeniz vd 1993).

Duvar yapımında kullanılan beton blok ve briketler yükseklikleri ile birbirinden ayrılmıştır. Buna göre beton briketlerin yüksekliği en çok 135 mm iken beton bloklarda sözkonusu yükseklik 185 mm veya 235 mm olduğu belirtilmiştir (Anonymous 1988).

Bims (pomza) beton bloklar, duvar yapımında kullanılan bileşenleridir. Bims beton blok üretiminde kullanılan bims agregası, bimsin kırılması ve elenmesi ile hafif beton yapı bileşeni üretimine uygun duruma getirilmiş şeklidir. Bims agregası, doğal hafif bir beton agregasıdır ve öncelikle hafif beton üretiminde kullanılır. Hafif agregalı beton blok üretiminde ana amaç, ısı yalıtımı fazla olan malzeme elde etmektir. Bunun yanında bims agregalı beton blokların büyük çoğunluğu taşıyıcı özellik de gösterir (Yaşar ve Pehlevan 1997).

Bims beton bloklar; duvar yapımında kullanılmak üzere bims agregası, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddeleri kullanılarak hazırlanan harcın, kalıplarda sıkıştırılması yoluyla elde edilen beton malzemelerdir (Anonymous 1986a). Bims malzemesinin kullanıldığı hafif beton malzemeye, üretim sırasında gerektiğinde kuvars kumu da eklenir (Yaşar ve Pehlevan 1997).

Beton blok ve briketler boşluklu olup olmadıklarına göre; dolu ve boşluklu olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Dolu bloklar, tam dolu ve özel yarıklı olmak üzere iki, boşluklular ise tek sıra boşluklu, iki sıra boşluklu, üç sıra boşluklu ve dört sıra boşluklu olmak üzere dört tipe ayrılır. Ayrıca dolu blok ve briketlerde bir veya iki adet kavrama delikleri bulunabilir.

Bu delikler 90 mm ile 110 mm uzunlukta 30 mm ile 45 mm genişlikte olmalıdır. Kavrama delikleri varsa kavrama deliklerinin toplam alanı bulunduğu yüzün alanının %10'undan fazla olmamalıdır (Anonymous 1988, Anonymous 1986a).

Beton blok ve briketler; beton karışımına kuvars kumu katılmış olup olmadığına göre de kuvars kumlu ve kuvars kumsuz olmak üzere iki, kullanılacağı yer ve şekillerine göre ise tam, yarım ve köşe blok ve briketler olmak üzere üç türe ayrılır (Anonymous 1988).

2.2.1. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Hafif agregalarla yapılan betonun özellikleri agreganın mineralojik yapısı ile birlikte granülometrisine , çimento miktarına, su-çimento oranına ve sıkışma derecesine bağlıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleriyle ilişkili olan özellikleridir. Genel olarak beton birim ağırlığı arttıkça ısı yalıtımı azalmakta, buna karşılık dayanımı artmaktadır (Anonymous 1970).

Hafif agregalı betonda agreganın dayanımı ve elastisite modülü düşüktür. Bu durumda, yükün agrega dokusu içinde bir taneden diğerine geçmesi yerine sünger gibi boşlukları bulunan katılaşmış çimento hamuru tarafından karşılanması durumu bulunmaktadır. Bu nedenle, agregaların büyük boyutlu olanlarının arasını orta büyüklükteki tanelerle doldurmak yerine, taşıyıcılığı yüksek olan doğal kum ve çimento hamuru karışımı ile doldurarak süngerimsi yapıyı güçlendirmek daha iyi bir yoldur (Açıkel 1995).

2.2.1.1. Birim Hacim Ağırlık ve Su Emme

Beton birim hacim ağırlığı birim hacminin ağırlığıdır. Sertleşme süresi ve nem durumuna göre farklı değerler alır. Taze betonun veya 28 günlük sertleşmiş betonun fırın veya hava-kuru birim ağırlıkları olarak belirtilir. Hafif agrega betonu genellikle 1850 kg/m^3 'ten daha az birim ağırlığa sahip betondur. Üretim yöntemine ve agrega çeşidine göre $560\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$ arasında değişiklik gösterebilir (Urhan 1993).

Hafif betonlar agrega çeşidi ve üretim yöntemlerine bağlı olarak, birim ağırlığı 320-1120 kg/m³ arasında değişen hafif yalıtım betonları; birim ağırlığı 1840 kg/m³'e kadar çıkabilen yapısal hafif betonlar ve 1840-2080 kg/m³ arasında birim ağırlığa sahip olan yarı hafif betonlar olmak üzere sınıflandırılır (Turgutalp 1978).

Taze hafif betonun birim ağırlığı 1520-1920 kg/m³ arasında değişebilir. Birim ağırlıktaki değişimler agrega granülometrisi, su emme, hava oranı ve hacim yoğunluğundaki farklılıklardan ileri gelebilir. Kuru hafif agrega ile yapılan beton başlangıçta yaş hafif agrega ile yapılan betona oranla daha düşük taze birim ağırlığa sahiptir (Anonymous 1972). Taşıyıcı hafif betonların havada kurumuş haldeki birim ağırlığı 1900 kg/m³'den azdır (Anonymous 1977a).

Malzemelerin kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişiklikler hafif blok elemanlarının özellikle mekanik ve ısı özelliklerini etkilemektedir. Kuru birim hacim ağırlığının yükselmesi durumunda dayanım artarken hafif blok elemanlarının ısı geçirgenlik dayanımları azalmaktadır. Kuru birim hacim ağırlıkları hafif blok türüne göre pomzada 600-1500 kg/m³, perlitte 80-240 kg/m³, ytonda 400-800 kg/m³, alçıda 600-900 kg/m³ ve genişletilmiş kil ürünlerinde 320-1040 kg/m³ arasında değişmektedir (Ünal vd 1997).

Hafif betonların su emmesi, normal betonlardan fazladır. Yüksek dayanımlı hafif betonlarda su emme, normal betonunkine eşdeğerdir (Açıkel 1995).

Betonun gözeneklerinde bulunan su mekanik ve termik özellikleri olumsuz yönde etkilediği için betonların hiç su emmemesi ya da az emmesi istenir. Su emme oranları normal betonlarda %10'dan az, genişletilmiş kil ve şist betonlarında %20'den az, genişletilmiş fırın cürufu betonlarında %15-25 arasında, pomza ve genişletilmiş perlit betonlarında ise %20-35 arasında olmaktadır. Bu oran gaz betonda %25-35 ve genişletilmiş polistren betonlarda %10-15 arasındadır. Hafif agregalar %5-15 arasında tipik olarak nem içermekle birlikte %20 oranında suyu emebilmeleri beton karışımında önemli sonuçlara neden olmaktadır. Dolayısıyla beton karışımı hazırlanmadan önce agregaya su püskürterek ıslatmak gereklidir (Çankıran 1997).

2.2.1.2. Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı standart küp, silindir veya prizma beton örneklerinde belirli süre ve bakım (kür) koşullarına bağlı olarak yapılır ve değerlendirilir. Betonun mekanik dayanımları arasında en büyük öneme sahip olanı basınç dayanımıdır. Betonun diğer özellikleri ile basınç dayanımı arasında sıkı ilişkiler bulunmaktadır. Betonun diğer mekanik özellikleri basınç dayanımı ile aynı yönde değişim gösterir (İhtiyaroğlu 1974).

Hafif beton, basınç dayanımı ölçüt olarak alınarak kullanılma amacına göre sınıflandırılmakta olup bu sınıflandırma 28 günlük basınç dayanımı 170 kgf/cm^2 'den az olmayan, birim ağırlıkları $1400\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ olan yapısal hafif beton; duvar birimleri üretimine uygun, basınç dayanımları $70\text{-}175 \text{ kgf/cm}^2$ olan hafif beton ve dayanımları $7\text{-}70 \text{ kgf/cm}^2$, birim ağırlıkları genellikle 800 kg/m^3 'ten az olan düşük dayanımlı yalıtım veya dolgu betonu şeklindedir (Neville 1973).

Beton blok ve briketlerin standart birim hacim ağırlıkları $500\text{-}2200 \text{ kg/m}^3$, basınç dayanımları $20\text{-}150 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değişir (Anonymous 1988). Anonymous (1986b)'da ise bims beton duvar bloklarının üretim şekillerine göre birim hacim ağırlıkları dolu duvar bloklarında $800\text{-}1600 \text{ kg/m}^3$, özel yarıklı dolu duvar bloklarında $600\text{-}800 \text{ kg/m}^3$ ve boşluklu bloklarda ise $600\text{-}1000 \text{ kg/m}^3$ arasında, basınç dayanımları da sırasıyla $20\text{-}150 \text{ kgf/cm}^2$, $20\text{-}50 \text{ kgf/cm}^2$ ve $20\text{-}50 \text{ kgf/cm}^2$ arasında olmaktadır.

Hafif betonlarda uygun agrega çeşidi ve karışım oranlarının seçilmesi ile birlikte iyi bir sıkıştırmanın uygulanması sonucunda yüksek dayanım değerleri elde edilebilir. Hafif betonların birim ağırlığı, çekme dayanımı ve elastikiyet modülü gibi özellikleri bunların basınç dayanımlarına bağlı olarak değişiklik gösterir (Anonymous 1973b).

Basınç dayanımı ve elastikiyet modülü, hafif betonlara göre yüksek olan yarı hafif betonların gelecekte daha yaygın bir uygulama alanı bulacağı söylenebilir. Bu tür betonlarda kullanılan agreganın ince bölümü hafif agrega olanlar, hem şekil değiştirme yeteneği hem de basınç dayanımı bakımından daha uygundur. Pomza taşı hafif agregası gibi doğada incisi irisinden daha fazla bulunan agregaların ince bölümünün kullanılmasıyla ayrıca ekonomi de sağlanmış olmaktadır (Açıkel 1995).

Volkan tüfleri ile üretilen betonların en düşük birim ağırlığı 1370 kg/m^3 ve basınç dayanımı en fazla 236 kgf/cm^2 olabilmektedir (Postacıoğlu 1987). Tüflerle üretilen betonlar için en az çimento miktarı 100 kg/m^3 'tür. Orta derecede dayanımlı tuf betonları için dozajın $160\text{-}200 \text{ kg/m}^3$ 'e çıkarılması gerekir (Rudnai 1963).

Bims betonu üzerinde yapılan bir çalışmada, bu tür betonlarda vigor özelliği olduğu saptanmıştır. Buna göre beton basınç dayanımı ile hava-kuru birim ağırlık arasında belirli bir ilişkinin olması gerekir. Dozajın bir fonksiyonu olarak basınç dayanımları, üstel bir fonksiyon olma eğilimindedir (Erciyes 1963).

Çukurova bölgesinde kullanılan hafif beton briketlerin mekanik, fiziksel ve nitelik özellikleri arasındaki fonksiyonel ilişkilerin incelendiği bir çalışmada, araştırmada çimento dozları ve briket basınç dayanımları ayrı ayrı ele alınmış ve piyasada kullanılan 200 dozdan daha yüksek, 300, 350 ve 400 doz kullanılmıştır. Karışımlar içerisinde 20 kgf/cm^2 basınç dayanımlı, 300 ve 400 kg/m^3 çimento dozlu briketler kullanılan agreganın (tuf) olumsuz özelliğinden dolayı boyut bozulmalarına uğramış, zaman zaman briketi dökmek olanaksız olduğu belirtilmiştir. Bölgedeki tarımsal yapılar için bazaltik tüften en iyi nitelikte hafif beton yapı elemanları ve briketlerin, 350 kg/m^3 çimento, %70 tuf ve %30 kum, %43 su/çimento oranı uygulanarak elde edildiği vurgulanmıştır. Karışım hesaplarında su/çimento oranı artırıldığında, basınç dayanımları ve nitelik katsayılarında düşüş görüldüğü saptanmıştır (Tekinsoy ve Çevik 1983).

Altınapa bims agregasından TS 3234'e uygun hafif beton briket üretimi ile ilgili yapılan çalışmada, 4 ayrı granülometri ile 200, 250, 300 ve 350 kg/m^3 dozajlarla üretilen hafif beton briketlerde; su/çimento oranının basınç dayanımına etkisi, dozaj-basınç dayanımı, dozaj-birim ağırlık, dozaj-ısı iletkenlik arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Dozajın artışına paralel olarak, basınç dayanımı, birim ağırlık ve ısı iletkenlik değerlerinin de arttığı belirlenmiştir (Ağırdır 1989).

Doğal hafif agregalı betonların dayanımları, genellikle agregası çeşidi, karışım oranları ve sıkıştırma gibi etkenlere bağlı olarak 100 kgf/cm^2 'den 300 kgf/cm^2 'ye kadar değişebilmekte ise de bazı özel amaçlı betonlarda 1500 kg/m^3 birim ağırlıkla $400\text{-}450 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye kadar basınç dayanımı elde edilebilmektedir (Dhir et al. 1989).

Kılıç ve Şimşek (1991), pomza taşı agregası ile yaptıkları çalışmada, çimentoyu belirli oranlarda azaltarak yerine uçucu kül kullanmışlardır. Bu çalışmada hafif betonun en yüksek basınç dayanımı değerlerini 28 günlük betonlarda çimento yerine % 30 uçucu kül kullanarak 164 kgf/cm^2 ve 90 günlük betonlarda basınç dayanımı çimento yerine % 40 uçucu kül kullanarak 184 kgf/cm^2 olarak saptamışlardır. En yüksek çekme dayanımı ise % 20 uçucu kül ile üretilen betonun 28 günlük 16 kg/cm^2 ve 90 günlük 18 kg/cm^2 olarak bulunmuşlardır. % 40 ve % 20 uçucu kül kullanarak üretilen 90 günlük hafif betonun ısı iletkenlik katsayıları $0.19-0.39 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Doğal yapıdaki pomza agregalarının kullanıldığı bir başka araştırmada, üretilen betonlarda çimento miktarları belirli oranlarda azaltılarak yerine kireç katılmıştır. Hafif betonların 28 günlük silindir basınç dayanımlarının $25 \text{ kgf/cm}^2-116.5 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değiştiği bulunmuştur. Karışımlardaki kireç miktarının artışına bağlı olarak basınç dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Kireç miktarının artışına bağlı olarak ısı iletkenliklerinin de azaldığı saptanmıştır. Sonuç olarak kirecin çimento ile bağlayıcı olarak hafif betonlara katılmasının dayanım artışına çimento kadar olumlu bir etkide bulunmadığı fakat karışımların yalıtkanlığını arttırdığı belirtilmektedir (Turgutalp ve Örtüng 1992).

Genleştirilmiş perlitli betonun özelliklerini incelemek için yapılan çalışmada, perlitli betonun dozajı 300 kg/m^3 sabit alınarak üretilen örneklerinin basınç dayanımları pomza gibi hafif agregalarla karşılaştırılmış, sonuç olarak perlitli betonların taşıyıcı beton olarak kullanılamayacağı ancak yalıtım amaçlı, ısı iletkenliğinin önemli olduğu yerlerde kullanılabileceği belirlenmiştir (Akman ve Taşdemir 1977).

Perlitten elde edilen hafif blok elemanları, yapı sektöründe ölü yükleri azaltma, ısı ve ses yalıtımı sağlama amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle taşıyıcı olmayan yapı birimlerinde kullanılmakla birlikte 35 kg/cm^2 ve daha yüksek dayanıma sahip perlit betonlarından ara duvar ve dış duvar elemanlarının yapımında da yararlanılmaktadır. Bu konuda perlit agregası kullanılarak üretilen beton blok elemanlarının dayanımlarının $30-60 \text{ kg/cm}^2$ arasında olduğu görülmüştür (Ünal 1986).

Silis dumanı ve uçucu külün, perlit ve pomza agregalarına karışımları sonucu üretilen hafif betonların basınç dayanımları üzerine etkilerinin incelendiği araştırmada, birim hacim

ağırlıkları $735-1154 \text{ kg/m}^3$ ve basınç dayanımları ise $60-126 \text{ kgf/cm}^2$ arasında olduğu saptanmıştır. Silis dumanı ve uçucu külün betonun donma-çözülme özelliklerini iyileştirdiği ve ısı iletkenlik değerleri ile birim hacim ağırlıklarını azalttığı gibi, silis dumanı katkısının basınç dayanımını artırırken, uçucu külün düşürdüğü belirtilmiştir (Demirboğa et al. 2001).

Kocapınar pomzasının hafif beton üretiminde kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmada, pomza karışımındaki toplam agrega hacmine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında normal agrega katılarak üç farklı çökme değerli ($3\pm 1 \text{ cm}$, $5\pm 1 \text{ cm}$, $7\pm 1 \text{ cm}$) betonlar üretilmiştir. Daha sonra %75 normal, %25 hafif agregalı karışımlarda dozaj 200, 250, 300, 350, 400 ve 500 kg/m^3 şeklinde değiştirilerek dozajın betona etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, bu hafif agreganın kullanıldığı betonların hem yalıtım amaçlı hem de taşıyıcı olarak kullanılmasında bir sakınca olmadığı görülmüştür (Gül vd 1997a).

2.2.1.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı

Donma-çözülme olayına karşı hafif betonların dayanıklılığı normal betonlarda olduğu gibi çimento oranı, hava katkısı, toplam su oranı ve agreganın nem durumu gibi özelliklere bağlıdır. Hava katkısı ve özellikle agregaya uygulanan ilk ıslatma hafif agrega betonunun donma-çözülme dayanıklılığını arttırmaktadır. Hava katkılı hafif betonların donma-çözülme dayanıklılığı normal betonların çoğundan fazla veya eşit durumdadır. Genel olarak çimento oranının artması ve toplam su oranının azalması betonun bu özelliğini iyileştirmektedir (Anonymous 1972).

Betonun içinde donan suyun oluşturduğu iç basınç betonda çatlaklar veya betonun bütünüyle dağılmasına neden olabilir. Betonun donma-çözülme karşı dayanıklılığını arttırmanın en etkili yolu suyun beton içine girmesini önlemektir. Bu her zaman olası olmadığından beton içinde genişleyen suyun yerleşebileceği boşluklar (gözenek) oluşturmak da etkili bir yöntem olabilir. Hafif agregalı betonlar donma-çözülme karşı normal betonlardan daha dayanıklıdır (Urhan 1993).

Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanılabilirliği üzerine yapılan bir çalışmada; doğal, ayarlanmış ve kısmen ayarlanmış granülometrilili agregalarla üretilen beton örneklerinin çekme ve basınç dayanımları için hazırlanan örnekler 28 günlük kürden sonra, 50 kez donma-çözülme etkisine bırakmıştır. Tüm betonların donma-çözülme etkisi sonunda basınç dayanımlarında artış olduğu, bu artışın 100 kg/m^3 dozajlı betonlarda 13 kgf/cm^2 , 500 kg/m^3 dozaj düzeyinde ise $25-50 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değiştiği bildirilmiştir (Turgutalp 1978).

Hafif agregalı betonlar önemli miktarda su emmesine karşın, donma-çözölmeye karşı dayanıklıdırlar. Bu durum, hafif agreganın doygun olmayan çok sayıda gözeneğe sahip olmasından dolayı, zarar görmeden gözeneklerindeki buzun genişlemesine olanak vermesinden ileri gelmektedir. Bu tür betonların, ısı iletkenlikleri düşük olduğundan kışın beton dökümü için uygundurlar. Çünkü hafif beton prizden doğan ısıyı, normal betona göre daha uzun süre korur (Durmuş ve Aytekin 1986).

Pomza ile yapısal hafif beton üreterek pomza betonunun donma-çözölme dayanıklılığının belirlendiği bir araştırmada, 90 günlük küp şeklindeki örneklerin dayanımı için 450 kg/m^3 dozajında betonlar dökölmüş ve TS 3944'te belirtilen yöntem izlenerek örnekler 4 saat süresince suya daldırıp çözölmüş, sonra 4 saat süresince -20°C de sabit tutulan dondurucuya yerleştirilmiş, bu işlem 25 kez yinelenmiş ve donma-çözölme işlemi sonucunda betonun basınç dayanımının 217 kgf/cm^2 'den 235 kgf/cm^2 'ye yükseldiği görölmüşür (Şatona 1994).

Van-Erciş, Kocapınar yöresinden elde edilen pomzanın, değişik oranlarda normal agrega ile karıştırılmasıyla üretilen betonların donma-çözölme dayanıklılıklarının belirlenmesi üzerine yapılan bir araştırmada, bu betonun normal betona göre donma-çözölmeye karşı daha dayanıklı olduğu ve gece gündüz sıcaklık farklarının yüksek olduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nde dona dayanıklılık koşullarının arandığı durumlarda kullanılabileceği bildirilmiştir (Göl ve Türkmen 1998).

2.2.1.4. Isı İletkenliği

Isı iletkenliği, homojen bir malzemenin kararlı durum koşullarında birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklıkları arasındaki fark 1°C olduğunda birim zamanda (1 saat) birim alan (1m^2) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1m) geçen ısı miktarıdır. Birim $\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ (W/mK)'dir (Anonymous 1977c, Anonymous 1989).

Betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı, boşluklarındaki nem oranı ve agregası gibi özelliklere bağlı olduğundan beton çeşitlerine göre çok farklı değerler alabilmektedir (Loudon and Stacy 1966). Hafif betonların ısı iletkenliği betonun birim ağırlığına bağlı ise de agreganın doğal yapısı ve granülometri bileşimi de bu konuda önemli etkilere sahiptir (Gorshkov 1968).

Isı iletkenliğini ölçme yöntemleri örnek içindeki sıcaklık dağılımına bağlı olup olmamasına göre, statik ve dinamik olarak ikiye ayrılır. Statik ölçümlerde, izotermal yüzeye dik doğrultudaki sıcaklık gradientinin ve ısı akım yoğunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Dinamik yöntemde ise ısısal düzensizliğin bilinen bir uzaklığa yayılması için zamanın ölçülmesi gerekir (Uysal 1996).

Kararlı durum yöntemlerindeki ölçümlerde, test örneği zamanla değişmeyen bir sıcaklık profiline sahip oluncaya kadar ısıtılır. Test örneği ısı yönünden denge durumuna ulaştıktan sonra ısı iletkenliği, birim alandaki ısı akışını ve sıcaklık değerlerini ölçerek doğrudan saptanabilir (Aksoy 1992).

Geçici yöntemlerde yapı malzemeleri, kayalar, gazlar, sıvılar gibi pek çok malzemenin ısısal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Geçici yöntemlerde ısı akımı yerine belirli noktalarda zamanla sıcaklık değişimi ölçülür. Kararlı durum koşullarını gerektiren yöntemlerin aksine geçici yöntemler yalnızca bir kaç dakika alır. Yöntem için, zamanla sıcaklık değişiminin belirlenmesi, ölçümlerin alındığı noktaların durumlarını ve ısıtma teline uygulanan ısısal gücün bilinmesine gereksinim duyulur (Sen Gupta et al. 1992, Grazzini and Balocco 1995).

Kuru hafif betonların ısı iletkenlikleri birim ağırlıkları ile orantılı olarak değişiklik gösterir. Normal betonun ısı iletkenliği 1 kabul edilirse, bu değer hafif yapı betonu için 1/3, duvar birimleri için 1/5 ve yalıtım betonları için ise 1/10 olarak alınabilir (Turgutalp 1978).

Bir yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği fırın-kuru durum için verilmektedir. Bununla birlikte çoğu yalıtım malzemeleri nem içermektedir. Kullanım koşullarında malzemelerin gerçek ısı iletkenlikleri birinci derecede önemlidir (Uysal 1996). Doğal bimsle yapılmış beton blok ve briketlerin çeşitlerine göre; dolu olanlarda birim hacim ağırlıklar 500-2000 kg/m³ arasında ve ısı iletkenlik değerleri de 0.25-0.85 kcal/mh°C, özel yarıklı olanlarda birim hacim ağırlıklar 500-800 kg/m³ arasında ve ısı iletkenlik değerleri de 0.22-0.30 kcal/mh°C, boşluklu olanlarda ise birim hacim ağırlıklar 500-1400 kg/m³ ve ısı iletkenlik değerleri de 0.25-0.77 kcal/mh°C arasında olduğu belirtilmiştir (Anonymous 1989).

Bir cismin içindeki ısı geçişi moleküllerin ısı aktarımı ile olur. Genleşmiş yüksek fırın cürufu, perlit, cam, kalsine uçucu kül ve sünger taşı agregalarının kimyasal yapıları diğer agregalara göre daha camsıdır. Dolayısıyla bu agregalar ile yapılan betonlar kuru birim hacim ağırlıklarına göre diğer betonlardan daha düşük ısı iletkenliğine sahip olabilmektedir (Urhan 1993).

Hafif betonun en belirgin özelliklerinden biri de kullanıldığı yerlerde diğer normal agrega ile üretilen betonlara oranla daha iyi ısı yalıtımı sağlamasıdır. Bir malzemenin ısı iletkenliği o malzemenin silikat yapısı ile içindeki boşluklarda bulunan ısı iletkenliklerinin toplamıdır (Short and William 1978).

Hafif agregalarla üretilen betonların özellikleri agreganın mineralojik yapısına, granülometrisine, çimento miktarına ve su/çimento oranı gibi bir çok etkene bağlıdır. Sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleri ile ilişkili olan özelliklerdir. Genel olarak betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile doğru, ısı yalıtımı ile ters orantılıdır (Durmuş ve Aytekin 1986).

Bims (pomza), volkanik cüruf ve tuf agregalarıyla üretilen beton blokların duvar elemanı olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, bu agregalarla üretilen beton

örneklerin ısı iletkenlik katsayıları "Plaka Yöntemi" ile, etüvde kurutulmuş 24x24x5 cm boyutlarında 3 adet örnek üzerinde belirlenmiştir. Betonun kuru birim ağırlığı arttıkça ısı iletkenlik katsayılarının da aynı paralelde arttığı saptanmıştır. Kuru birim ağırlığı 970-1115 kg/m³ arasında değişen bims (pomza) betonlarının ısı iletkenlik katsayılarının 0.15-0.175 kcal/mh°C arasında değiştiği gözlenmiştir (İhtiyaroğlu 1974).

Hafif betonların birim hacim ağırlıkları düşük olduğundan ısı yalıtımları yüksektir. Beton bünyesindeki nem oranına bağlı olarak ısı yalıtım katsayıları artmaktadır. Sünger taşı (bims, pomza) ile üretilen ve kuru birim hacim ağırlıkları 720-1280 kg/m³ arasında bulunan betonların ısı iletkenliği 0.12-0.31 kcal/mh°C arasında; 2320 kg/m³ kuru birim hacim ağırlığa sahip normal betonun ısı iletkenliği ise 0.99-1.49 kcal/mh°C arasında değişmektedir (Turgutalp 1978). Betonun nem içeriğinin artması betonun ısı iletkenliğini artırır (Ashworth and Ashworth 1991, Marabito 1989).

Çeşitli hafif agregalar kullanılarak üretilen betonların ölçülmüş ısı iletkenlik katsayılarının betonların kuru birim hacim ağırlıklarının fonksiyonu olduğu yapılan bir çalışmada saptanmıştır. Gözeneklerde ısı iletkenlik katsayısı düşük olan hava (0.02 W/mK) ile ısı iletkenlik katsayısı yüksek suyun (0.57 W/mK) yer değiştirmesinin ısı iletkenlik katsayısını etkilediği ve nem miktarına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısının arttığı vurgulanmıştır (Urhan 1993).

Kocapınar pomzası ile üretilen betonların ısı iletkenliklerinin araştırılması için yapılan çalışmada, Van-Erciş pomzasına farklı oranlarda normal agregalar karıştırılarak farklı çökmeli betonların ısı iletkenlikleri "Sıcak Tel" yöntemine göre ölçülerek %100 normal agregalar ile üretilen betonlarla karşılaştırılmıştır. Dozajın, betonun birim ağırlığı ve ısı iletkenliği üzerindeki etkisini incelemek için farklı dozajlı (200, 250, 350, 400 ve 500 kg/m³) betonlar üretilmiştir. Sonuç olarak, pomza kullanılarak üretilen betonların birim ağırlıklarının aynı koşullarda üretilen normal betonlara göre %40 hafif ve %46 oranında daha az ısıyı iletmediği gözlenmiştir. Dozajın artmasıyla hem birim ağırlık hem de ısı iletkenliğinin arttığı belirlenmiştir (Gül vd 1997b).

Yağanoğlu (1994), kırsal yörelerdeki tarımsal yapılarda işletme koşullarında kolaylıkla sağlanabilen saman, sap, hızar talaşı ve kömür cürufunun yalıtım özelliklerini

incelemiştir. Bu malzemeleri çeşitli oranlarda çimento, sönmüş kireç ve alçıyla karıştırılarak örnekler hazırlamış ve bu örneklerin ısı iletkenliklerini araştırmıştır. Yalıtım amaçlı üretilen bu malzemelerin ısı iletkenliğinin belirlenmesinde, geçici rejim yöntemlerinden "Sıcak Tel" yöntemini kullanmıştır. Her karışımın üç ayrı örneğinde yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak örneklerin ısı iletkenlik katsayılarının 0.055 W/mK-0.150 W/mK arasında değiştiğini saptamıştır.

Türkiye briketlerinin ısı davranışları ile ilgili yapılan bir çalışmada, örnekleme yoluyla Antalya, Artvin, Hatay, Havza, Hopa, İzmir, Kayseri, Muğla, Sivas, Tokat ve Trabzon İllerinden seçilen briketlerinin birim hacim ağırlıklarının 390-1914 kg/m³ arasında olduğu ve ısı iletkenliklerinin ise 0.17-0.49 W/mK arasında değiştiği belirtilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında briketlerde kuru birim ağırlık azaldıkça ısı iletkenliği hesap değerleri azaldığı, kuru birim ağırlık arttıkça ısı iletkenliği hesap değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Araştırmada kullanılan briketlerin hemen tamamında bu sağlanmış, yalnızca Hopa, İzmir ve Kayseri briketlerinde sağlanamadığı görülmüştür. Bu durumun briketlerin üretiminde kullanılan agregalardaki farklılıklardan kaynaklandığı vurgulanmıştır (Kars 1994).

Hafif betonların ısı iletkenliği normal betona göre yaklaşık %48 oranında daha düşük değerler alabilmekte ve daha iyi ısı yalıtımı özelliklerine sahip bulunmaktadır. Birim ağırlıkları 960-1648 kg/m³ arasında değişen hafif betonların ısı iletkenlikleri 0.19-0.40 kcal/mh°C arasında değerler alabilir. Birim hacim ağırlıkları 1280-1760 kg/m³ arasında değişebilen yapısal hafif betonların ısı iletkenliği genellikle fırın-kuru durumunda 0.29-0.52 kcal/mh°C arasındadır. Yalıtım betonları ve boşluklu betonlar için ise bu değer 0.06-0.25 kcal/mh°C arasında değişebilmektedir (Anonymous 1972).

Isı iletkenliği sünger taşı ve cürufllu betonlarda 0.15-0.25 kcal/mh°C arasında değişir (Akman 1962). Tüf ve sünger taşı ile yapılan betonların birim hacim ağırlıkları 900-1200 kg/m³ arasında bulunmuştur. Hafif betonun ısı iletkenlik katsayılarını ise 0.25-0.60 kcal/mh°C arasında olduğu saptanmıştır (Sükan 1966).

Hafif betonun ısı akımına karşı direnci ısıtma ve havalandırma harcamalarını azalttığından, sıcak veya soğuk iklime sahip yörelerde yapılan yapılarda hafif betonun kullanımı bu açıdan büyük yararlar sağlamaktadır (Urhan 1993).

2.2.1.5. Ses Emme

Hafif betonun ses emme özelliği, havadaki ses enerjisinin betonun çok küçük kanallarında ısıya dönüştürülmesi nedeniyle iyi bir özelliği olup, ses emme katsayısı normal betona oranla yaklaşık iki kat fazladır. Betonun birim ağırlığı azaldıkça ses yalıtımı iyileşmektedir. Boşluklu yüzey yapısına sahip malzemelerden yapılan duvarlar ses emme için etkili olarak kullanılabilir (Neville 1973).

Havada titreşim ile yayılan ses yoğunluğunun duvarın bir yüzeyinden ötekine geçerken azalması (gürültü azaltım katsayısı) duvarın m^2 ağırlığı ile birlikte artar. Çeşitli laboratuvarlarda yapılan ölçümler hafif ve çok hafif betonlarda gürültü azaltım katsayısı kütle yasasının öngördüğü değerlerden 3-6 dB daha yüksek olduğunu göstermektedir. Darbe kaynaklı seslerin yalıtımında ise en önemli etken sesin malzeme içinden geçerken oluşturduğu hızdır. Hafif ve çok hafif betonlarda sesin yayılma hızı normal betonlara göre % 30-50 daha düşük olup daha iyi yalıtım sağlarlar (Çankıran 1997).

Malzeme yüzeyine çarpan ses enerjisinin bir kısmı yapı elemanının malzeme cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak yutulur ve geri kalanı yansıtılır. Yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen ses enerjisine oranı ses yutma katsayısı olarak belirtilmektedir. Blok elemanın hafif malzeme türüne göre pomza, perlit, ytong, alçı, kil ve kil ürünlerinin ses yutma katsayıları sırasıyla 0.44, 0.60, 0.16, 0.035 ve 0.02'dir (Ünal vd 1997).

2.2.1.6. Ateşe Dayanıklılık

Mineral kökenli agregalardan yapılmış betonlar yanmaz ve duman çıkarmazlar. Betonun yangını geciktirmesi de kullanılan agreganın ısı iletim katsayısı ve ısıl uzama katsayısına bağlıdır. Değişik agregalardan yapılmış betonların yangın geciktirme süreleri beton kalınlıklarının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Buna karşın organik kökenli agregalar ateşe dayanıklı olmadıklarından bu agregalardan yapılan betonların da ateşe dayanıklılıkları mineral kökenli agrega betonlarına göre daha düşüktür (Akman 1990).

Hafif betonların ısı iletkenlik ve genleşme katsayıları küçük olduğundan yangına karşı dayanımları geleneksel (normal) betona göre daha yüksektir. Örneğin, 12 cm kalınlıkta geleneksel betondan bir döşeme plağının belirli bir yangına karşı dayanımı iki saat olduğu halde aynı kalınlıktaki hafif beton plağın aynı yangına karşı dayanım süresinin dört saat olduğu görülmüştür. Aynı şekilde 650°C de geleneksel betonun dayanımında %45'lik bir düşüş olmasına karşın hafif betonun, aynı sıcaklıkta, dayanımındaki düşüş %10 olmuştur (Durmuş vd 1996).

2.2.1.7. Kesilebilme ve Çivilenebilme

Hafif betonunun testere ile kolayca kesilebilmesi, çivilenebilmesi ve delinebilmesi yapı malzemesi olarak kullanılmasında önemli özelliklerinden birini oluşturur. Bu bakımdan değerlendirildiğinde normal betonlara göre çok daha iyi durumdadır. Hafif betonların bu özellikleri genellikle beton birim ağırlığı azaldıkça iyileşmektedir (Turgutalp 1978).

2.2.2. Taze Beton Özellikleri

Taze beton, betonun karıştırma işlemi bittikten sonra sahip olduğu işlenebilirliğini bir değişme olmadan koruyabildiği süre içindeki şeklidir (Anonymous 1986a).

2.2.2.1. Birim Hacim Ağırlık

Taze hafif betonun birim hacim ağırlığı 1520-1920 kg/m³ arasında değişebilir. Birim ağırlıktaki değişmeler agrega granülometrisi, su emme, hava oranı ve hacim yoğunluğundaki farklılıklardan ileri gelebilir. Kuru hafif agrega ile yapılan beton başlangıçta ıslak (nemli) hafif agrega ile yapılan betona oranla daha düşük taze birim hacim ağırlığa sahiptir (Anonymous 1972). Normal bir kurumayı izleyen sonraki günlerde birim ağırlıklar birbirine yakın değerler almaktadır (Turgutalp 1978).

2.2.2.2. İşlenebilme

İşlenebilme, betonun ayrışmadan yerleştirilip sıkıştırılarak istenen görünüme sahip olmasıdır (Anonymous 1986a)

Betonun işlenebilme özelliği su oranına, agreganın granülometrisine, tanelerin boyutuna, biçimine ve çimento oranı gibi etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Benzer kıvamda bulunan normal ve hafif taze betonlar karşılaştırıldığında, hafif betonun çökmesi yaklaşık olarak normal betonun yarısına eşittir (Neville 1995).

Agregaların tane şekli ve su emme gibi özelliklerinin karışımların işlenebilirliği üzerinde önemli etkileri vardır. Hafif agrega tanelerinin köşeli ve pürüzlü yüzeyleri beton karışımlarının genellikle işlenebilme özelliğini kötüleştirdiğinden işlenebilmeyi iyileştirmek için karışımda daha fazla ince tane kullanılması gerekir (Anonymous 1970).

Katı karışım yapmaya eğilimli hafif agregalı betonların işlenebilmesi hava katkısı ile önemli derecede iyileştirilebilmektedir. Hava katkı oranı, agrega en büyük tane boyutu küçüldükçe artırılmalıdır (Neville 1973).

Bazı hafif agregaların katı karışım oluşturmaları ve düşük birim ağırlıkları nedeniyle özellikle yüksek işlenebilme düzeyinde, iri hafif agrega karışımdan ayrılarak yukarıya doğru hareket edebilir. Bu durum iri hafif agreganın yüzme özelliği nedeniyle oluşur. Dolayısıyla karışımın yüksek derecede işlenebilirliğine sahip olması gerektiğinde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Hava katkısı kullanarak (%4-6) karışımın işlenebilmesi artırılırken, harcın yoğunluğu azaltılarak, agreganın yüzme özelliği önlenmektedir (Spratt 1975).

Smith (1973)'e göre genel olarak, betonun işlenebilirliği kum ve agreganın nem oranına bağlıdır. Her çimento birimi için kullanılan fazla su miktarı, beton dayanımını ters orantılı olarak etkiler. Beton yerleştirilirken ve deney yapılırken beton elemanları, ayrışmayacak şekilde basınçla yerleştirilmeli ve kür uygulanmalıdır. Oysa ülkemizde beton briketler doğal koşullar altında sertleşmeye terk edilmekte, bu da fiziksel ve mekanik özelliklerden özveride bulunmayı gerektirmektedir (Tekinsoy ve Çevik 1983).

2.2.2.3. Hava miktarı

Hava katkısı işlenebilirliği ve hava koşullarına dayanıklılığı artırdığından; kuma ve bozuk granülometriden gelebilecek eksiklikleri azalttığından genellikle arzu edilir. Dış etkilere dayanıklılık gerektiğinde, hafif agregalı betonlarda en büyük tane boyutu 16 mm ise en az $\%6 \pm \%1.5$, en büyük tane boyutu 8 mm ise en az $\%7.5 \pm \%1.5$ hava katılması önerilir. Sadece işlenebilirlik için optimum hava miktarı $\%4-8$ arasında değişir (Anonymous 1977a).

Hafif betonlarda hava katkısı betonun birim ağırlığını azaltması ve ısı yalıtımını iyileştirmesi ile birlikte, taze betonun taşınma ve yerleştirilmesini kolaylaştırdığından sık kullanılır. Yaklaşık hacim olarak $\%5$ hava katkısı, karışım suyu miktarını 20 kg/m^3 azaltmayı gerektirir (Shacklock 1974).

Hafif betonların çoğu genellikle $\%2-4$ arasında hava içerirse de bu oran işlenebilme ve sağlamlık üzerinde olumlu yönde yeterli etkiye sahip değildir. İyi bir işlenebilme için uygun toplam hava oranı genellikle $\%4-8$ arasındadır (Bizden 1976).

2.2.3. Karışım Oranlarının Saptanması

Beton karışım hesabı, en uygun malzemenin seçimi olarak tanımlanabilir. Diğer bir anlatımla, istenilen özelliklere sahip bir beton üretebilmek için en ekonomik çimento oranı, su ve çeşitli boyuttaki agreganın saptanması işlemidir (Short and William 1978).

Normal betonların karışım oranlarının saptanmasına ilişkin genel kurallar hafif beton karışımları için geçerli ise de uygulamada izlenen ayrıntılar bakımından farklılıklar bulunmaktadır (Turgutalp 1978). Normal betonların karışım oranlarının hesaplanmasında bir ölçüt olarak kullanılan su-çimento oranı hafif agregaların çoğunun yoğunluk, toplam su emme oranındaki farklılık ve kararsızlıkları nedeniyle yeterli derecede doğrulukla saptanamamaktadır (Urhan 1993). Bu nedenle hafif betonun karışım oranları, gerekli işlenebilirlik için değişik çimento dozajlarına göre bir dizi deneme karışımının yapılmasıyla bulunur. Farklı çimento dozajlarına sahip karışımlar, çimento oranı-dayanım

ilişkisi yardımıyla, uygun bir dayanım için gerekli çimento oranı bulunabilir (Neville 1973).

Betonun karışım oranları gerekli özelliklere sahip betonu üretebilecek malzemenin en ekonomik olarak kullanımını sağlayacak biçimde saptanmalıdır. Malzemenin uygun karışım oranlarının laboratuvar deneme karışımları ile saptanması ve uygulama amaçlarına göre ayarlanması gerekir (Anonymous 1979).

Normal agregalarda olduğu gibi hafif agregalarda da farklı çimento, su ve katkı maddeleri kullanarak çok değişik özelliklere sahip betonlar üretmek olanağı bulunmaktadır (Ryan 1968). Hafif agregalı betonların net su çimento oranı, karışım hesabına temel olabilecek yeterli doğrulukta saptanamadığından hafif agregalı beton karışımları öngörülen kıvamda, çimento dozu esasına göre bir seri deney karışımı yaparak hesaplanmalıdır (Anonymous 1977a)

Bizden (1976) hafif agregalı betonların karışım hesap yöntemleri üzerinde yaptığı bir çalışmada; 3'ü belirli bazı özelliklere sahip agregalarda, 6'sı da her çeşit hafif agregalarda uygulanmak üzere toplam 9 farklı yöntemin olduğunu bildirmiştir. Bunlardan her çeşit hafif agregaya uygulanan yöntemlerin de aşağıdaki temel ilkelere dayandığını belirtmiştir:

- Mutlak hacim yöntemi: Su ve çimentonun mutlak hacmi tahmin edilir, agreganın mutlak hacmi hesapla bulunur.
- Hacimsel yöntem: Agreganın kuru ve gevşek durumdaki hacmi ile çimentonun ağırlığı tahmin edilir, su miktarı ise, deney karışımı hazırlanırken deneysel olarak bulunur.
- Ağırlık yöntemi: Su ve çimentonun ağırlıkları tahmin edilir, agreganın ağırlığı ise hesapla bulunur.

Araştırma sonucu ise hafif betonlar için farklı bir karışım hesabı yöntemi gereğini doğrulamış ve deneme karışımıyla veya piknometreyle bulunan özgül ağırlık faktörü yönteminin diğerlerinden daha üstün olduğunu göstermiştir.

Günümüzde ise, hafif beton karışımlarında özgül ağırlık faktörü yöntemi kabul edilmiş olup gerek ASTM standartlarında gerekse de TSE standartlarında hesap yöntemi olarak verilmiştir (Anonymous 1977a, Anonymous 1978, Turgutalp 1978).

Karışım hesapları yapılırken hesap yönteminden başka, en büyük tane boyutu, su oranı, çimento oranı, agrega oranı, hava katkısı ve birim ağırlık da göz önünde bulundurulur (Turgutalp 1978).

Agreganın en büyük tane boyutu betonun kullanılacağı amaca bağlıdır. Bu boyut duvarlarda duvar kalınlığının 1/5'inden fazla olmamalı; kolon, kiriş ve döşemelerde ise elemanın en dar boyutunun 1/3'ü olarak alınmalıdır (Anonymous 1972).

Shacklock (1974) betonda kullanılacak agrega en büyük tane boyutunun olanaklar ölçüsünde büyük seçilmesinin, betonda gerekli çimento oranını azaltması nedeniyle daha ekonomik olduğunu ve prefabrik elemanların yapımında, elemanların en dar boyutunun agrega en büyük tane boyutundan dört kat daha büyük olması gerektiğini bildirmektedir.

Yapısal beton, duvar birimleri ve yalıtım betonları için öngörülen en büyük tane boyutu karışık agrega için 19 mm ve 12.50 mm'dir (Anonymous 1998a, Anonymous 1998b, Anonymous 1998c). Anonymous (1986a)'da ise karışık agrega için bu değerin 16 mm olabileceği belirtilmiştir.

Beton karışımına giren su agregayı ıslatır, çimentonun hidrasyonunu ve betonun işlenebilmesini sağlar. Gereğinden fazla su taze betonun birim ağırlığını düşürür ve beton dayanımının azalmasına neden olur. Fazla su kullanılması, gerekli çimento oranını arttırdığından, ekonomik bakımdan sakıncalı olmaktadır (Alkan 1972). Gereğinden az su kullanılması ise hidrasyonun gelişmesine yeterli olmayacağından ve işlenebilirliği azaltarak boşlukları artırdığından dolayı sakıncalıdır (Short and William 1978).

Sarı (1951)'ya göre hafif betonun temel özelliği, beton bileşimine giren malzemeden dolayıdır. Katkı malzemesi lav kökenli olan hafif betonlar, yükler altında daha dayanımlıdır. Bu dayanımlar, kullanılan agrega, su ve çimento oranları, karışımın şekli ve beton yaşına bağlıdır. Söz konusu beton ne denli az su içerirse, o denli dayanımlı briket

yapmak olanaklıdır. Ancak betonun kalıplar arasına girmesi için başlangıçta çok su içermesi gerekir. Fazla sudan doğan düşük basınç dayanımı, çimento dozu artırılarak giderilmektedir (Tekinsoy 1984).

Bims agregalar fazla gözenekli ve çok miktarda su emdiklerinden ve bu özellikler değişik yerlerden alınan bimslerde farklı olarak görüldüğünden bims betonda gerekli suyun saptanması için deneme karışımlarının yapılması gerekir. Seçilen kıvama göre gerekli su miktarı $200-300 \text{ kg/m}^3$ arasında değişebilir (Anonymous 1978).

Hafif agregaların yüksek derecede su emme yetenekleri nedeniyle 1 m^3 beton üretimi için genellikle agrega çeşidi, tane boyutu ve çimento oranına bağlı olarak gerekli su miktarı $170-300 \text{ kg}$ arasında değişebilmektedir (Anonymous 1972). Orta derecede işlenebilirliğe sahip sıkıştırılmış hafif betonlar için $260-380 \text{ kg/m}^3$ ve düşük derecede işlenebilirlik için ise $240-280 \text{ kg/m}^3$ arasında su miktarları gerekli olabilmektedir (Shacklock 1974).

Hafif beton karışımlarında belirli bir kıvam ve dayanım için normal betonlara oranla daha fazla çimento dozajlarına gerek duyulur (Turgutalp 1978). Çeşitli hafif agregalar aynı çimento dozajı ve çökme değerleri için benzer basınç dayanımları oluşturamazlar. Basınç dayanımı betonun uygulama amacına bağlı olarak saptanır. Genel olarak yapı betonları için gerekli dayanım $210-280 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değişir (Anonymous 1979).

Donatısız, özellikle yalıtım betonları için gerekli çimento dozajı $90-200 \text{ kg/m}^3$ ve yapı betonlarında ise bu değer $300-500 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir (Nelson and Frei 1958).

Beton blok karışım oranlarının seçiminde, yüksek dayanım ve dayanıklılık, agreganın kullanılabilir maksimum tane çapı ve briket makinası ile etkili biçimde sıkıştırılabilir katı kıvamın sağlanması göz önüne alınmalıdır. Ayrıca işlenebilirlik ve ekonomik olması da karışım oranlarının seçiminde önemlidir. Ekonomiklik için, beton blokun niteliğini bozmadan çimento miktarının minimum düzeyde tutulması gerekir. Beton blokun dayanıklılığını, aşınmaya karşı dayanımını ve görünümünü koruyabilmesi için çimentonun belirli bir miktarda olması gereklidir (Karause and Tadros 1994).

Tarımsal yapılar genellikle tek katlı olduğundan, taşıyıcı elemanlarında diğer yapılara göre daha düşük dayanımlara gerek duyulabilir. Bu bakımdan tarımsal yapılarda uygulanacak hafif beton elemanlarında daha düşük çimento dozajlarının kullanılabilme olanakları bulunmaktadır (Turgutalp 1978).

Agrega, beton hacminin %65-80'ini oluşturduğundan, beton maliyeti, dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde küçümsenmeyecek derecede etkilidir (Uluata 1981).

İri ve ince hafif agrega tanelerinin farklı yoğunluklara sahip olması ve tane biçimlerinin köşeli oluşu, yüzey yapılarının pürüzlülüğü gibi nedenlerle hafif beton karışımları normal betonlara oranla daha fazla ince tane oranına gereksinme gösterir (Turgutalp 1978). İyi bir işlenebilirlik için, hafif beton karışımlarında toplam (boşluklu) agrega hacminin %40-60'ı oranında ince agrega yer almalıdır (Neville 1973).

Genellikle 1 m³ beton üretimi için 1.04-1.19 m³ arasında kuru gevşek hafif agregaya gerek duyulduğundan bu miktarın tam olarak saptanması agreganın granülometrisine, tane şekline, tane boyutuna ve agreganın yüzey yapısına bağlıdır. İyi bir granülometri, küresel veya kübik tane şekli ve düzgün yüzey yapısı olan agregaların daha az toplam hacim ve düşük ince agregaya yüzdesine gerek gösterdiği bilinmektedir (Anonymous 1972).

Anonymous (1978)'a göre, 1 m³ beton için 1.2 m³ kuru gevşek hafif agregaya gerekmektedir. Bims agregalar bulundukları nemlilik durumu göz önüne alınarak ve buna göre düzeltme yapılarak ağırlıkça ölçülmelidir. İlk deneme karışımları yapılırken veya 150-300 kg/m³ dozajlı bims betonlarında kuru gevşek hacim ölçüsü de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Değişik çimento dozajları için ince agreganın toplam agreganın %25-70'ine kadar değişebilmektedir. Shacklock (1974) ince agreganın toplam agregaya oranının hacim olarak genellikle %40-50 arasında değişebildiğini ve ilk deneme karışımları için kesin veriler bulunmadığından, bu değerin %45 olarak kabul edilebileceğini belirtmekte; Nelson and Frei (1958) ise bu oranın %50-60 arasında olması gerektiğini bildirmişlerdir.

Anonymous (1978)'a göre, ince ve iri bims agreganın, uygun bir oranda seçilebilmesi için maksimum birim hacim ağırlığı verecek şekilde ayarlanmalıdır. İnce agreganın bir kısmı veya tamamı normal kum olursa işlenebilirlik artacağından ince agrega mutlak hacimce toplam agregaya göre %10 kadar azaltılabilir.

Hafif betonların karışım oranlarının saptanmasında birim ağırlık en fazla önem taşıyan bir özelliktir. Birim ağırlık agrega birim ağırlığına, çimento, su ve hava oranlarına; iri ve ince agrega oranlarına bağlı olduğundan gerektiğinde hafif betonların birim ağırlıkları, karışım oranlarının ayarlanması ile geniş sınırlar içerisinde değişebilir (Turgutalp 1978).

2.2.4. Betonun Üretimi

Hafif agrega betonlarının karışım oranlarının saptanması, karıştırma işlemi ve deney yöntemleri; hafif agregaların birim ağırlığı, tane şekli ve yüzey yapısı ile su emme özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle normal beton karışımlarından farklılık gösterir. Hafif agregalı betonlarında agreganın birim ağırlığı ve nem oranlarının sürekli kontrol altında bulundurulması, granülometride aynılığın sağlanması, üretilen beton hacmi ve dayanımını istenilen düzeylerde tutulması bakımından gereklidir (Anonymous 1977a, Turgutalp 1978).

2.2.4.1 Karıştırma

Hafif agrega, betonun diğer elemanları katılmadan önce betoniye konulup karışım suyunun 1/3'ü ile yaklaşık 60 saniye bir ön karıştırma yapılarak olabildiği kadar uniform nemli bir agrega elde edilmeye çalışılmalıdır. Havada yeterli nemliliği bulunan agregaların karışıma başlamadan önce ayrıca nemlendirilmesine gerek yoktur. Karıştırma için betoniye kullanılacaksa, daha homojen bir karışım elde edebilmek için düşey eksenli betoniye seçilmelidir (Anonymous 1978).

Agreganın karıştırmadan önce ıslatılması, granülometride aynılığı koruması ve çok farklı boyutlarda taneler içeren agregada tane dağılımının değişmesini azaltması gibi yararlar

sağlayabilmektedir. Bu nedenle önce agregayı karıştırma suyunun en az yarısı ile karıştırmak ve sonra çimentoyu eklemek yararlı olmaktadır. Bu işlemle çimentonun topaklanması ve çökme kaybı da önlenabilmektedir (Turgutalp 1978)

Karıştırma sırasında malzemenin aynı nem düzeyinde bulunmasını sağlamak için hafif agregası, kullanımından 24 saat önce ıslatılmalıdır. Bu şekilde ıslatma ile depolama ve taşımada agregası tane dağılımının değişimi de azaltılabilmektedir. Kuru hafif agregası karıştırıcıya konulmamalıdır. Hafif betonlarda iyi bir karışım sağlamak için genellikle normal betondan daha fazla süre karıştırmak gerekmektedir (Nesbit 1966).

2.2.4.2. Taşıma ve Yerleştirme

Karışım oranı iyi yapılmış hafif betonun taşınıp, yerleştirilmesi normal betona göre genellikle daha kolaydır. Hafif beton yerleştirilirken, karışım içinde oluşabilecek büyük boşlukları gidermek için 25-40 cm'lik tabakalar şeklinde dökülmelidir (Anonymous 1972).

Hafif agregası taneleri ve çimento hamurunun yoğunlukları arasındaki büyük fark nedeniyle özellikle ıslak kıvamdaki taze betonlarda hafif iri agregası taneleri yüzeye doğru yükselme eğilimi gösterir. Betonda istenmeyen bu ayrışma olayı taze beton karışımları üzerinde fazla mekanik işlem yapılmaması ile azaltılabilir (Shacklock 1974).

2.2.4.3. Bakım (kür) ve Kontrol

Kür, çimentonun yeterli hidrasyonunu sağlamak betonda tam ve uygun sertleşme elde edebilmek için, yerleştirme işleminden hemen sonra başlanarak taze betonun yeterli süre belirli sıcaklık ve nem altında tutulmasıdır (Anonymous 1986c).

Betona, sıcaklık ve nem miktarındaki değişimler nedeniyle bünyede oluşabilecek gerilmeleri azaltmak amacıyla kür uygulanmalıdır. Beton dökümü için en uygun sıcaklık dereceleri 15°C ile 25°C arası ise de soğuk havalarda beton dökümü sıfır derecenin (0°C)

üzerinde yapılmalıdır. Yeni dökülen beton don etkisinde kaldığında kazanabileceği dayanımın ancak yarısını geliştirebilmektedir. Sıcak havalarda da güneşlenmeden ve aşırı sıcaklık artışlarından korunmalıdır (Russel 1976).

Priz ve sertleşme aşamasında betona çevre koşullarının etkisi çok büyüktür. Kür koşulları adı verilen çevre koşullarını ayarlamak suretiyle beton niteliği yükseltilebilir. Kür koşullarını sıcaklık ve nem etkisi olarak düşünmek gerekir. Sıcaklık derecesinin ve nem oranının yüksekliği hidrasyonu hızlandırması nedeniyle betonun dayanım kazanma hızını artırır (Baradan 1991).

Beton blok ve briketler üretildikten sonra $23\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 'de ve en az %95 bağıl nemde bir hafta tutulmalı daha sonra örnekler üzerinde deneylerin yapılacağı süreye kadar (28 gün) 50 ± 5 nemde korunmalıdır (Anonymous 1998a). İklimin sert geçtiği yerlerde üstü hasırla örtülmelidir (Tekinsoy 1984).

Taze beton hacmindeki azalmalardan sakınmak için taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri en kısa zamanda tamamlanmalıdır. Bakım için seçilen yöntem betonun zarar görmeden sertleşebilmesini sağlamak için oldukça erken uygulanmaya başlanmalıdır (Russel 1976).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde araştırmada kullanılan materyal ve uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Araştırmada kullanılan ve betonun bileşenlerini oluşturan hafif agregalar (pomza), kum, bağlayıcı madde (çimento) ve beton karma suyu ile ilgili bilgi verilmiştir.

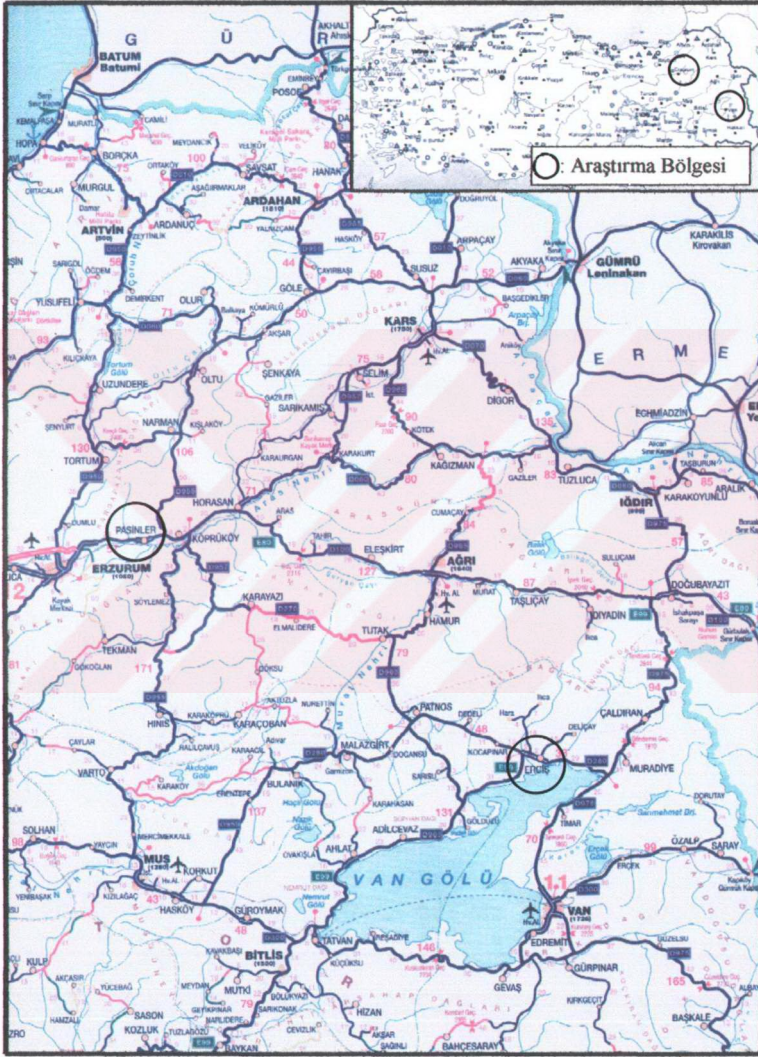
3.1.1. Doğal Hafif Agregalar

Doğal hafif agregalar, Bims (süngertaşı, pomza), volkanik cüruf, volkanik tuf ve benzeri gözenekli hafif taşlardan elde edilen agregalardır.

Deneme materyali olarak kullanılan pomza; volkanik bir kayaç türü olup asidik ve bazik karakterli volkanik faaliyetler sonucu oluşmuştur. Yeryüzünde yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza, beyaz ve kirli beyaz renkte olanıdır (İlhan vd 1997).

Araştırma materyali olarak kullanılan hafif agrega, Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler yörelerinden elde edilen agregalardır. Van-Erciş yöresinde volkanik curuf ocağından elde edilen hafif agreganın (pomza) rezerv değeri $154.625.000 \text{ m}^3$ ve Erzurum-Pasinler yöresinde volkanik curuf ocağından alınan hafif agreganın (pomza) rezerv değeri de $1.100.000 \text{ m}^3$ kadardır (Kaytancı vd 1996).

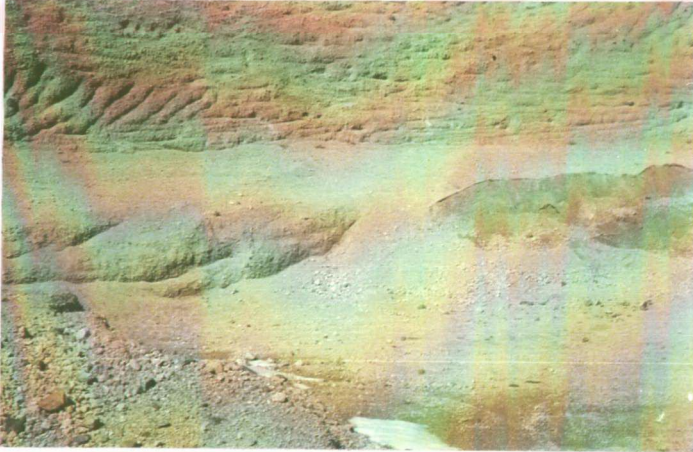
Deneylerde kullanılan hafif agregaların elde edildiği yörelerin yer aldığı harita Şekil 3.1' de, agrega ocaklarının görüntüşleri de Şekil 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan hafif agregaların alındığı bölgeler



Şekil 3.2. Van-Erciş hafif agregasının alındığı ocak



Şekil 3.3. Erzurum-Pasinler hafif agregasının alındığı ocak

Hafif agregaların kimyasal analizi Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır (Kocaman 2000). Kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Van-Erciş hafif agregasının kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal bileşenler	% Oran
MgO	0.01
Al ₂ O ₃	13.20
SiO ₂	71.35
CaO	1.84
Fe ₂ O ₃	1.54
SO ₃	0.04
K ₂ O	5.00
Na ₂ O	3.40
TiO ₂	0.25
Kızdırma kaybı	3.37

Çizelge 3.2. Erzurum-Pasinler hafif agregasının kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal bileşenler	% Oran
MgO	0.02
Al ₂ O ₃	12.99
SiO ₂	70.33
CaO	1.75
Fe ₂ O ₃	1.51
SO ₃	0.29
K ₂ O	5.80
Na ₂ O	3.90
TiO ₂	0.35
Kızdırma kaybı	3.06

3.1.2. Kum

Araştırmada kullanılan kum, Erzurum ili Pasinler ve Horasan ilçeleri yöresinden sağlanmıştır.

Erzurum ili Pasinler ilçesine 20 km uzaklıkta, Köprüköy ile Esendere köyü arasında bulunan ocaktan elde edilen kum volkanik tuf kumudur. 1972 yılından beri işletilmekte olan ocaklardan üretilen kum duvar örmek, ince ve kaba sıva, tesviye ve dolgu betonu yapmak amacıyla, karışık agrega şeklinde elde edilmektedir (Kan 1999)..

Erzurum ili Horasan ilçesi yöresinden elde edilen kum ise, Aras nehrinin biriktirdiği kum-çakıl yataklarından sağlanan normal kumdur.

Kan (1999)'da verilen volkanik tuf kumunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Erzurum İli Pasinler İlçesi volkanik tuf kumunun kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal bileşenler	% Oran
MgO	3.83
Al ₂ O ₃	15.80
SiO ₂	67.21
CaO	7.99
Fe ₂ O ₃	1.13
Mn ₂ O ₃	-
SO ₃	0.61
K ₂ O	0.74
Na ₂ O	0.39
Kızdırma kaybı	2.30

3.1.3. Çimento

Beton deney karışımlarında bağlayıcı madde olarak Elazığ Çimento Fabrikası ürünü PKÇ 32.5/B-R çimentosu kullanılmıştır. Elazığ Çimento Fabrikasından alınan çimentonun kimyasal analiz değerleri ile fiziksel ve mekaniksel özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Araştırmada kullanılan çimentonun (PKÇ 32.5/B-R) kimyasal analiz değerleri ile fiziksel ve mekaniksel özellikleri

Kimyasal analiz		Fiziksel ve mekaniksel özellikler		
Kimyasal bileşenler	Oran(%)	Özgül yüzey (cm ² /g)	4043	
SiO ₂	27.15	Priz başlangıcı (h)	2.35	
Al ₂ O ₃	7.84	Priz sonu (h)	4.00	
Fe ₂ O ₃	5.37	Özgül kütle (g/ml)	3.02	
CaO	47.80	Litre kütlesi (g/l)	995	
MgO	4.38	Hacim genişlemesi (mm)	Soğukta	2
SO ₃	1.92		Sıcakta	4
Kızdırma kaybı	1.90		Toplam	6
Serbest CaO	0.96	Basınç	2 gün	15.5
Belirlenemeyen	3.08	dayanımı	7 gün	25.0
		(N/mm ²)	28 gün	37.9

3.1.4. Beton Karma Suyu

Beton karışımlarında kullanılacak suyun, priz olayına, ileri yaşlarda betonun kimyasal dayanıklılığına olumsuz etki yapmaması gerekir (Akman 1990). İçilebilir sular beton üretiminde yoğurma suyu olarak kullanılabilir (Ekmekyapar ve Örüng 1993). Beton karma suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme ve kullanma suyu kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Hafif agregaların özelliklerinin belirlenmesi ve bu agregalarla üretilen farklı beton blok karışımlarına ilişkin seçeneklerin hazırlanmasındaki ilkelerle, karışım oranlarının hesaplanması, taze ve sertleşmiş beton blok özelliklerinin saptanması, üretim işlemlerinde uygulanan yöntemler bu bölümde açıklanmıştır.

Bazı agrega deneyleri ile taze ve sertleşmiş beton blok deneyleri Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Yapı Malzemesi ve Mukavemet Laboratuvarında, agreganın bazı deneyleri ise Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.1. Agrega Deneylerinde Uygulanan Yöntemler

Her bir agrega deneyi için yeterli olabilecek miktardaki agrega örneği Anonymous (1986a)'da belirtilen ölçütlere göre alınmıştır. Yapılacak deneyler ilgili standarda uygun olarak üçer kez yinelenmiş ve bulunan sonuçların aritmetik ortalaması alınarak agregaların fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Araştırmada kullanılan hafif agregalar üzerinde Anonymous (1986a)'da belirtilen tane büyüklüğü dağılımı, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme oranı, organik madde, ince madde, sülfat gibi maddelerin belirlenmesi deneyleri; kum üzerinde ise granülometrik bileşim, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme oranı, organik madde, ince madde ve sülfat miktarının belirlenmesi deneyleri yapılmıştır. Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı Anonymous (1980a)'a göre belirlenmiştir. Agregaların gevşek birim hacim ağırlıkları (Anonymous 1980b), zararlı oranda organik madde (Anonymous 1982), ince ve iri agregalarda ince madde oranı (Anonymous 1980c), sülfat miktarı (Anonymous 1981a), özgül ağırlık ve su emme oranı da Anonymous (1980d), Anonymous (1998d) ve Anonymous (1998e)'a göre saptanmıştır.

3.2.2. Hafif Agregaların Ocaktan Alınışı

Hafif agregaların ocaktan alınmasında, gerekli özen gösterilmiş ve ocağın tümünü temsil edecek şekilde çeşitli noktalarından Anonymous (1986a)'a göre yeteri kadar örnek kürekle alınarak, torbalanmış ve laboratuvara getirilerek harmanlanmıştır.

Anonymous (1986a) ve Anonymous (1998f)'da belirtildiği şekilde laboratuvarında harmanlanmış agrega bölgeçlenme ile bölünüp azaltılarak agrega ve beton deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır (Şekil 3.4). Bölgeçle işlem yapılırken Anonymous (1986a)'da öngörüldüğü gibi agrega yüzeylerinin kuru olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deney örneklerinin elde edilmesinde kullanılan bölgeç

3.2.3. Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler

3.2.3.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı

Hafif agreganın tane büyüklüğü dağılımı Anonymous (1980a)'da belirtildiği şekilde belirlenmiştir. Deneylerde Anonymous (1985a)'a uygun toplama kabı, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, göz açıklıklı kare gözlü tel elekler ile Anonymous (1985b)'a uygun 4 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklıklı, kare delikli tel elekler kullanılmıştır. Tüf ve normal kumun ise 4 mm'lik elek üstü alınmayıp sadece ince kısmı kullanılmıştır (Anonymous 1978).

3.2.3.2. Birim Hacim Ağırlık

Hafif agregaların gevşek birim hacim ağırlığı Anonymous (1980b)'da belirtildiği şekilde yapılmıştır.

Şişleme sırasında tanelerin kırılma olasılığının yüksek olmasından dolayı hafif agregalar üzerinde sıkışık birim ağırlık deneyi yapılmamıştır. Kum için de hafif agregalar için yapılan deneyler uygulanmıştır.

Fırın kurusu durumuna getirilen hafif agreg, tüf ve normal kum örnekleri ayrı ayrı, önceden ağırlığı belirlenen (W_a) ölçü kabına kürekle doldurulmuştur. Küreğin, ölçü kabı üst yüzeyinden 5 cm den daha yukarı kaldırılmamasına, agregaların sıkışmamasına ve ayrışmamasına özen gösterilmiştir. Fazla agreg elle sıyrılarak ölçü kabı üst yüzeyi bir mastarla düzeltilmiştir. Ölçü kabı, içindeki agreg ile birlikte ağırlığı (W_b) saptanmıştır. Agreganın net ağırlığı ($W_b - W_a$), ölçü kabı hacmine (V) bölünerek agreganın gevşek birim hacim ağırlığı (B_g) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Anonymous 1980b).

$$B_g = [(W_b - W_a) / V]$$

Eşitlikte;

- B_g : Agreganın gevşek birim hacim ağırlığı (kg/m^3),
- W_a : Ölçü kabı boş ağırlığı (g),
- W_b : Gevşek agreg ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g),
- V : Ölçü kabının iç hacmi (dm^3)'dir.

3.2.3.3. Zararlı Maddeler

3.2.3.3.1. Organik Madde

Organik maddenin belirlenmesi her iki hafif agrega ve kum örneklerinde Anonymous (1982)'da belirtildiği şekilde yapılmıştır. Deney örneği 8 mm göz açıklı, kare gözlü tel elekten elenmiş ve elekten geçen kısmın içinden gelişi güzel alınan agrega, ölçü silindirisinin 130 ml işaret çizgisine kadar doldurulmuştur. Üzerine 200 ml işaret çizgisine ulaşınca kadar %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi eklenerek iyice karıştırılmıştır. 24 saat bekletildikten sonra örnekler üzerindeki sıvının aldığı renge göre agregada zararlı oranda organik madde bulunup bulunmadığı belirlenmiştir (Anonymous 1982).

3.2.3.3.2. İnce Madde

Agreganın içinde bulunan ve tane büyüklüğü 0.063 mm'den küçük olan ince maddelerin oranı, hafif agregaların hem ince (0/4) hem de iri kısmı için yıkama yöntemi ile tayin edilmiştir (Anonymous 1980c). Fırın kuru durumuna getirilen örnek tartılarak kuru ağırlığı (W_{k1}) saptandıktan sonra çalkalama kabına konmuş ve üzeri örtülecek derinlikte su ile doldurulmuştur. 15 saat suda bekletildikten sonra 0.063 mm'den ince tanelerin daha irilerinden ayrılmasını sağlamak amacıyla 5 dakika süre ile çalkalanmıştır. Bu işlemden sonra örnek, suyu ile birlikte sırasıyla dizilmiş olan 8 mm, 1 mm ve 0.063 mm göz açıklıklı eleklerin içine boşaltılmış ve yıkanmıştır. Eleklerin her üçünün üzerinde kalan agregalar bir araya toplanmış ve fırın kuru durumuna getirilerek ağırlığı (W_{k2}) saptanmıştır. Yıkanabilen ince madde oranı (M_y) aşağıdaki eşitlikle saptanmıştır (Anonymous 1980c).

$$M_y = [(W_{k1} - W_{k2}) / W_{k1}] \times 100$$

Eşitlikte;

M_y : Yıkanabilir ince madde oranı (%),

W_{k1} : Örneğin deney öncesi fırın kuru ağırlığı (g),

W_{k2} : Örneğin deney sonrası fırın kuru ağırlığı (g)'dır.

Tüf ve normal kumun iri kısmı içindeki ince madde oranı yukarıda açıklanan yıkama yöntemi ile belirlenmiş, ince kısmı için ise çöktürme yöntemi uygulanmıştır (Anonymous 1980c). Tüf ve normal kum örneği fırın kurusu durumuna getirilerek tartılmıştır (W_k). Yeterli miktarda su ile ölçü silindirinin içine konmuş ve 20 dakikalık aralarla üç kez 1-2 dakikalık süre ile çalkalanmıştır. 24 saat dinlendirildikten sonra çıplak gözle bakıldığında ölçü silindirinde ince kum olarak ayırt edilen malzemenin üstüne çökelen ince madde yüksekliği (h) ölçülmüş ve çökelen ince madde oranı (M_{24})'da aşağıdaki eşitlik ile belirlenmiştir (Anonymous 1980c).

$$M_{24} = [(0.9 \times A \times h) / W_k] \times 100$$

Eşitlikte;

- M_{24} : 24 saat dinlendirme sonunda çökelen ince madde oranı (%),
- h : 24 saat dinlendirme sonunda ölçü silindirinde çökelen ince madde yüksekliği (cm),
- A : Ölçü silindiri kesit alanı (cm^2),
- W_k : Örneğin fırın kuru ağırlığı (g).

3.2.3.3.3. Sülfat Miktarı

Hafif agrega, tüf ve normal kumda sülfat miktarının belirlenmesi Anonymous (1981a)'da verilen deneye uygun olarak yapılmıştır. Deney örneği etüv kurusu durumuna getirildikten sonra tümü 2 mm göz açıklıklı elekten geçebilecek şekle gelinceye kadar öğütülmüştür. Elekten geçen malzemeden 100 g kadar alınarak 0.09 mm göz açıklıklı elekten elenmiştir. Elek altında biriken ve çok ince olan bu malzemeden yaklaşık 1 g alınarak tartılmıştır (W_0). Tartılan örnek 250 ml'lik behere alınarak üzerine 10 ml derişik hidroklorik asit eklenmiş; çeker ocak içerisinde ısıtıcı üzerine konarak yaklaşık 110°C sıcaklıkta asidin tümü buharlaşınca kadar ısıtılmıştır. İşlem, behere yeniden 10 ml derişik hidroklorik asit eklenerek yinelenmiştir.

Eklenen asitin tümü ikinci ısıtma işleminin sonunda buharlaştırıldığında üçüncü kez 10 ml hidroklorik asit eklenip 5 dakika ısıtılmıştır. Beher ocaktan indirildikten sonra 50 ml sıcak saf su eklenerek iki kat beyaz bant süzgeç kağıdından süzölmüştür. Süzgeç kağıdı

üzerinde kalmış olan çökelti saf su ile 5 kez yıkandıktan sonra süzüntü 400 ml'lik behere alınmış ve üzerine 5 damla hidroklorik asit eklenerek kaynama noktasına kadar ısıtılmıştır. Daha sonra damla damla 100 g/l'lik 10 ml baryum klorür (BaCl_2) çözeltisi eklenerek tüm sülfatın baryum sülfat (BaSO_4) şeklinde çöktürülmesi sağlanmıştır. Süzüntü içindeki çökelekle birlikte mavi bant süzgeç kağıdından süzdürülmüştür. Süzgeç kağıdı üzerinde kalan baryum sülfat çökeleği sıcak saf su ile iyice yıkandıktan sonra süzgeç kağıdı ile birlikte, ağırlığı önceden belirlenen platin kroze konulmuştur. 900°C 'de kızdırılmış ve soğutulduktan sonra tartılarak ilk ağırlık ile arasındaki fark (W_f) bulunmuş olup agreganın sülfat miktarı (S) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Anonymous 1981a).

$$S = [(0.3430 \times W_f) / W_o] \times 100$$

Eşitlikte;

- S : Agreganın sülfat miktarı (%),
 W_f : Örneğin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkları arasındaki fark (g),
 W_o : Fırın kuru duruma getirilmiş ve öğütülmüş deney örneğinin 0.09 mm göz açıklıklı elekten geçen yaklaşık 1 g lık kısmının ağırlığı (g)'dir.

3.2.3.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme

Agregaların kuru özgül ağırlığı, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı ve görünen özgül ağırlığı ince ve iri agregalarda Anonymous (1980d), Anonymous (1998d) ve Anonymous (1998e)'da belirtildiği şekilde ayrı ayrı deneyler yapılarak belirlenmiştir.

İnce agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranının belirlenmesi için deney örneği su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra suyu süzülerek akıtılmış ve bir tava içerisine konarak tablalı ısıtıcı üzerinde kurutulmuştur. Doymun kuru yüzey hali, ince agreganın koyu renkten açık renge değişmeye başladığı anın hemen sonrasındır. Örneğin doymun kuru yüzey durumuna gelip gelmediğini saptamak için kesme yöntemi uygulanmıştır (Anonymous 1980d).

Doymun kuru yüzey duruma getirilmek istenen örnekten yaklaşık yarım küre biçiminde bir yığın yapılmış, bu yığın, mala ile düşey olarak ikiye bölündüğünde ortaya çıkan yüzeyin

kendini tutamayıp bıraktığı an saptanarak örneğin doymun kuru yüzey konuma ulaştığına karar verilmiştir. Örnek doymun kuru yüzey konuma getirildikten sonra tartılarak doymun kuru yüzey ağırlığı (W_2) belirlenmiştir . Daha sonra etüv kurusu durumuna getirilmiş ve oda sıcaklığına kadar soğutularak örneğin kuru ağırlığı (W_1) saptanmıştır . Etüv kurusu durumundaki örnek ölçü kabına konduktan sonra ölçü kabı yaklaşık 20°C'deki su ile yarıya kadar doldurulmuştur. Ölçü kabına hafif hafif vurularak hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Bir saat beklendikten sonra yaklaşık 20°C'deki su ile 1000 ml işaret çizgisine kadar doldurulmuş ve tartılmıştır (W_3). İnce agreganın görünen özgül ağırlığı (γ_g), ince agreganın kuru özgül ağırlığı (γ_k), ince agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı (γ_d) ve su emme oranı (m) aşağıdaki eşitliklerle belirlenmiştir (Anonymous 1980d, Anonymous 1998d, Anonymous 1998e).

$$\gamma_g = (W_1)/(W_1+W_4-W_3)$$

$$\gamma_k = (W_1)/(W_2+W_4-W_3)$$

$$\gamma_d = (W_2)/(W_2+W_4-W_3)$$

$$m = [(W_2-W_1)/W_1] \times 100$$

Eşitliklerde;

γ_g : İnce agreganın görünen özgül ağırlığı,

γ_k : İnce agreganın kuru özgül ağırlığı,

γ_d : İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı,

m : İnce agreganın su emme oranı (%),

W_1 : İnce agreganın fırın kuru ağırlığı (g),

W_2 : İnce agreganın doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g),

W_3 : Ölçü kabı, su ve ince agreganın toplam ağırlığı (g),

W_4 : 1000 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)'dır.

İri agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranının belirlenmesi için deney örneği, içinde yaklaşık 20°C sıcaklığında su bulunan bir kap içine konularak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra çıkarılarak suyu süzölmüş ve tanelerin üzerinde gözle görölebilen su tabakası kalmayıncaya kadar taneler teker teker kurulanmıştır. Kurulama işlemi biter bitmez örnek tartılarak doymun kuru yüzey ağırlığı (W_{2i}) bulunmuştur . Doymun kuru yüzey halindeki örnek tartıldıktan sonra kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine daldırılmıştır. Su yüzeyine çıkarılmadan kovanın içinde 10 kez indirilip kaldırılarak

taneler arasında kalabilecek havanın dışarı çıkması sağlanmıştır. Tel sepet özel bir düzenekle teraziye bağlanarak doymuş malzemenin sudaki ağırlığı (W_{3i}) bulunmuştur. Örnek sudan çıkarılarak fırın kuru durumuna getirilmiş ve oda sıcaklığına kadar soğutulmuş kuru ağırlığı (W_{1i}) belirlenmiştir. İri agreganın görünen özgül ağırlığı (γ_{gi}), iri agreganın kuru özgül ağırlığı (γ_{ki}), iri agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı (γ_{di}) ve su emme oranı (m_i) aşağıdaki eşitliklerle saptanmıştır (Anonymous 1980d, Anonymous 1998d, Anonymous 1998e).

$$\gamma_{gi} = (W_{1i}) / (W_{1i} - W_{3i})$$

$$\gamma_{ki} = (W_{1i}) / (W_{2i} - W_{3i})$$

$$\gamma_{di} = (W_{2i}) / (W_{2i} - W_{3i})$$

$$m_i = [(W_{2i} - W_{1i}) / W_{1i}] \times 100$$

Eşitliklerde;

γ_{gi} : İri agreganın görünen özgül ağırlığı,

γ_{ki} : İri agreganın kuru özgül ağırlığı,

γ_{di} : İri agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı,

m_i : İri agreganın su emme oranı (%),

W_{1i} : İri agreganın fırın kuru ağırlığı (g),

W_{2i} : İri agreganın doymuş kuru yüzey durumunda havadaki ağırlığı (g),

W_{3i} : İri agreganın sudaki ağırlığı (g)'dir.

Hafif agregalar için beton karışım hesaplarında kullanılan özgül ağırlık faktörü tayini deneyi, agreganın beton karışımında kullanıldığı andaki nem durumuna göre, 0/4, 4/8, 8/16 ve 4/16 tane sınıfları için ayrı ayrı olmak üzere, Anonymous (1978) ve Anonymous (1991)'a göre piknometre yöntemi ile yapılmıştır. Piknometre olarak 1000 ml'lik cam mezur kullanılmış olup 10 dakikalık su emme süresi esas alınmıştır.

3.3. Beton Seçeneklerinin Saptanması

Belirtilen yöntemlerle özellikleri saptanan agregalar ile çok çeşitli hafif betonlar yapılabileceği düşünüldükçe, çeşitli seçenekler üzerinde durulmuştur. Bu agregalardan bims beton duvar bloklarının üretilmesi şeklinde yararlanılabileceği ve özellikle tarımsal

yapılarda da kullanılabileceği göz önünde tutularak, denemelerde uygulanacak beton seçenekleri saptanmıştır.

Beton yapımında malzemenin özelliklerine bağlı olarak ekonomik olabilecek bir biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla olanaklar ölçüsünde mekanik işlemlerden kaçınılmış, agregaların doğal durumu ile en az işlem yapılarak uygun beton blok üretimi koşullarının bulunması temel ilke olarak göz önüne alınmıştır.

Bimsbeton blokların yapımında kullanılacak karışık agregada için en büyük tane boyutu, Anonymous (1978), Anonymous (1986a) ve Anonymous (1998a)'da belirtilen değerlere uygun olarak 16 mm kabul edilmiştir. Bu boyutun seçilmesinde; Kocataşkın (1967) ve Özden (1975)'e göre betonlarda 1 mm ile 16 mm arasındaki tane dağılımının, beton basınç dayanımını artırıcı özelliğe sahip olduğu ve daha sıkı beton hacim ağırlığı verdiği göz önüne alınmıştır (Tekinsoy 1984). En büyük tane boyutu arttıkça gerekli çimento miktarının azaltılabilmesi (Anonymous 1968) gibi etkenler de göz önünde bulundurulmuştur. Agregada en büyük tane boyutu değişiminin, beton özelliklerine etkisi bilindiğinden aynı agregada ile üretilen farklı betonların özelliklerine ilişkin değerlerin karşılaştırılabilmesi için agregada en büyük tane boyutu olarak, tüm beton karışımlarında 16 mm alınmıştır.

Agregada granülometrisi; beton dayanımları bakımından büyük önem taşıyan bir etken olduğundan, agregaların farklı granülometri seçenekleri ile beton yapılması kararlaştırılarak, agregaların granülometri eğrilerinin incelenmesinden sonra iki farklı seçenek üzerinde durulmuştur.

Bu seçeneklerden birincisi, agregaların doğal durumundaki granülometrisini içermektedir. Doğal durumundaki granülometri eğrisi, piyasada üretilen beton blokların granülometrisine benzer şekilde %83 hacim pomza, %17 hacim kum katılarak elde edilmiştir. Burada amaç, üretilen beton bloklarla piyasada üretilen beton blokların özelliklerinin karşılaştırılmasıdır.

Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler hafif agregalarına kum katılarak elde edilen doğal granülometri bileşimi, Anonymous (1978) ve Anonymous (1998a) standartlarına

öngörülen granülometri değerleriyle karşılaştırılmış ve Van-Erciş hafif agregasına kum katılarak oluşturulan doğal granülometri eğrisinin standartlarda öngörülen sınır değerler arasına düşmediği görülmüştür.

İkinci seçenekte ise Anonymous (1978) ve Anonymous (1998a) standartlarında öngörülen granülometri sınır eğrilerinin arasında olacak şekilde tane dağılımı ayarlanmıştır. Agregada granülometrisini standart sınır eğriler arasına düşürmek amacıyla, tüm tane boyutlarına göre her aralıkta ayarlama yapılması yerine iri ve ince malzemenin durumu göz önünde tutularak belirli aralıklarda, kolay ve uygulamaya yönelik bir ayarlama yapılması düşünülmüştür. Bu konuda yapılan ön deneyler ve hesaplamalar sonucunda, hafif agregada 4 ve 8 mm'lik eleklerden elenerek; 0/4, 4/8 ve 8/16 tane gruplarına ayrılmıştır. Bu tane gruplarından belirtilen granülometri için belirli oranlarda (0/4 tane grubu için 2 hacim , 4/8 tane grubu için 1.5 hacim ve 8/16 tane grubu için 1.5 hacim) alınıp 1 hacim de kum katılarak ayarlanmış ve beton üretimi için yeterli miktarlar alınarak karışım oluşturulmuştur. Doğal agregaya iki kez eleme işlemi uygulanması ve elek boyutu nedeniyle eleme işleminin uygulamaya yönelik işlemlerde kolaylıkla yapılabilmesi amacı da göz önünde tutulmuştur.

Yukarıda açıklandığı gibi agreganın doğal ve ayarlanmış granülometri bileşimlerini ayrı ayrı içeren iki grup hafif beton blok üretimine karar verilmiştir.

Doğal ve ayarlanmış granülometri bileşimini içeren deneme betonlarının üretiminde uygulanan çökme miktarları ile çimento dozajları aşağıda belirtildiği şekilde saptanmıştır.

Laboratuvarda yapılan ön denemelerde beton blokların briket makinasından sağlam çıkması için taze betonun katı kıvamlı ve buna bağlı olarak ta çökme değerinin sıfır olması gerektiği saptanmıştır. Nitekim Karausa and Tadros (1994), beton bloklar sıkıştırıldıktan hemen sonra kalıptan çıkarıldıkları için beton karışımlarının çökme değerlerinin sıfır olması gerektiğini ve aynı zamanda betonların çoğunlukla daha düşük su/çimento oranında yüksek dayanıma ulaştığını belirtmişlerdir. Ayrıca bir beton blok betonu karışımı için su miktarı, çimento malzemesinin hidratasyonunu sağlamak için saptanırken, diğer betonlarda, işlenebilirlik ve çökme değeri gerekli suyun miktarını belirlemede kontrol faktörü olduğunu da bildirmişlerdir.

Çimento dozajı betonun önemli özelliklerini oluşturan ve ekonomisini büyük çapta etkileyen bir değişkendir. Bu bakımdan farklı çimento dozajlarına göre de seçeneklerin hazırlanması öngörülmüş, değişik çimento dozajlarının ve değişim aralıklarının saptanmasında, hafif agregalarla üretilecek beton dayanımlarına ilişkin alt sınır ölçüt olarak alınmış, değişim aralığı, dozaj-dayanım ilişkisini belirleyebilecek biçimde seçilmiştir. Dayanım düzeylerinin belirlenmesinde tarımsal yapıların durumları da göz önünde bulundurulmuştur.

Donatısız, özellikle yalıtım betonları için gerekli çimento dozajı $90-200 \text{ kg/m}^3$ ve yapı betonlarında ise bu değer $300-500 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir (Turgutalp 1978). Bims agregalarının özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle bimsbetonda belirli bir dayanımı elde etmek için gereken çimento dozajı bimsbeton türlerine göre $150-450 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir (Anonymous 1978).

Araştırma hafif beton blokların, özellikle tarımsal yapılardaki değişik kullanım amaçları da göz önünde tutularak çimento miktarları 150, 200, 250 ve 300 kg/m^3 olarak seçilmiştir.

Araştırmaya konu olan beton karışımlarında, granülometrileri farklı iki hafif agrega ve bunlara ayrı ayrı katılan iki farklı kum kullanılması öngörüldüğünden, belirtilen dozaj dizisinin doğal ve ayarlanmış granülometrideki, çökme değeri sıfır olan beton karışımlarına uygulanarak, taze ve sertleşmiş bimsbeton blok özelliklerinin karşılaştırılabilmesi ve uygun özellikteki karışım oranlarının saptanması bakımından yeterli görülmüştür.

3.3.1. Karışım Oranlarının Saptanması

Bimsbeton karışım hesabı; çimento, bims agregası, su ve gerektiğinde katkı maddeleriyle plastik ve sertleşmiş halde bimsbetonda aranan özellikleri bir arada sağlayan ekonomik karışımı belirlemek için yapılan hesaptır. Bimsbetonda iri agrega olarak kullanılan malzeme bims iri agregasıdır. İnce agrega ise tamamen bims kumu veya bims kumu ile normal kum karışımı ya da tamamen normal kum olabilir (Anonymous 1978).

Hafif beton karışımlarında su-çimento arasındaki ilişki agrega miktarının ve agrega nem durumunun bir işlevidir. Toplam su-çimento oranına göre belirli bir agrega ve çimento oranı için; dayanım ve su-çimento oranı arasında kesin ve düzenli ilişkiler bulunmadığından farklı dayanımlar elde edilebilmektedir (Turgutalp 1978). Çoğunlukla hafif agregalı betonların net su/çimento oranı, karışım hesabına temel olabilecek yeterli doğrulukta saptanamadığından hafif agregalı beton karışımları önerilen koşuldaki kıvamda, çimento dozuna göre bir seri deney karışımı yapılarak hesaplanmalıdır (Anonymous 1977a). Bu bakımdan araştırmada üretimi planlanan bimsbeton blokların karışım oranlarının saptanmasında ve karışımların ayarlanmasında Anonymous (1978)'da öngörülen genel kurallar göz önünde tutularak, Anonymous (1991)'da hafif betonlar için özel olarak geliştirilmiş yöntemler izlenmiş, agregaların piknometre yöntemine göre saptanan özgül ağırlık faktörleri kullanılmıştır.

Genellikle beton blok karışımlarının hesaplanmasında ağırlık ve hacimsel yöntemler kullanılır. Bu iki yöntemden daha hassas olanı ağırlık yöntemi olmasına karşın, hacimsel yöntemin basitliğinden dolayı bugün çoğu beton blok üreticileri tarafından kullanılmaktadır (Karausa and Tadros 1994).

Bims agregalar fazla gözenekli ve çok miktarda su emdiğinden, bu özellikler değişik yerlerden alınan bimslerde de farklı olarak görüldüğünden bimsbetonda gerekli suyun saptanması için deneme karışımı yapılır. Seçilen kıvama göre 1 m³ beton için gerekli su miktarı 200-300 kg arasında değişir (Anonymous 1978). Bu çalışmada beton blokların üretiminde, briket makinasından blokların sağlam çıkmaları için gerekli su miktarı, belirtilen aralıkta tahmini alınarak deneme karışımları yapılmış, sonra artırılan veya eksiltülen su oranlarına göre karışımlar yeniden hesaplanmıştır.

Deneme karışımlarıyla belirlenen su miktarlarına, çimento hacmi eklenmiş ve 1000 dm³'den çıkarılarak toplam agreganın mutlak hacmi bulunmuştur (Anonymous 1978). Böylece elde edilen agrega hacmi; iri, ince hafif agrega ve kum hacimleri olarak ayrı ayrı saptanmıştır. Suyun kapladığı hacim ise karışıma konulan su miktarı esasına göre hesaplanmıştır. Ayrıca karışıma giren agregaların ağırlıklarının bulunması ise, hafif agrega hacimlerinin özgül ağırlık faktörleriyle, kumun hacmi ise doymun kuru yüzey özgül ağırlık ve nem yüzdeleriyle çarpılmasıyla saptanmıştır.

Agrega tane sınıflarının oranlarının belirlenmesinde beton seçeneklerinin saptanması bölümünde açıklanan doğal ve ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmıştır. Bu ayarlama sonucu Van-Erciş agregasına tüf kumu katılarak elde edilen doğal granülometrilili agregada iri agrega oranı %17, ince agrega oranı %83 (%31'i tüf kumu ve %52'si ince agrega) ; aynı agregaya normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili agregada ise iri agrega oranı %16, ince agrega oranı %84 (%36'sı normal kum ve %48'i ince agrega) olarak saptanmıştır. Erzurum-Pasinler agregasının tüf kumu karışımı doğal granülometrilili agregada iri agrega oranı %36, ince agrega oranı %64 (%30'u tüf kumu ve %34'ü ince agrega); normal kum karışımı doğal granülometrilili agregasında ise iri agrega oranı %34, ince agrega oranı %66 (% 34'ü normal kum ve %32'si ince agrega)'dır. Van-Erciş hafif agregasına tüf kumu katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili agregada iri agrega oranı %33 (%16'sı 8-16 mm ve %17'si 4-8 mm), ince agrega oranı %67 (%35'i tüf kumu ve %32'si ince agrega); normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrilili agregada ise iri agrega oranı %31 (%15'i 8-16 mm ve %16'sı 4-8 mm), ince agrega oranı da % 69 (%39'u normal kum ve %30'u ince agrega)'dur. Ayrıca Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf kumu katılarak belirlenen ayarlanmış granülometrilili agregada da iri agrega oranı %36 (%17'si 8-16 mm ve %19'u 4-8 mm), ince agrega oranı %64 (%33'ü tüf kumu ve %31'i ince agrega); normal kum karışımı ayarlanmış granülometrisinde de iri agrega oranı %34 (%16'sı 8-16 mm ve %18'i 4-8 mm), ince agrega oranı %66 (%37'si normal kum ve %29'u ince agrega) bulunmuştur.

Araştırmada iki farklı ocaktan alınan doğal hafif agregası ve bunlara ayrı ayrı katılan iki farklı kum, doğal ve ayarlanmış iki farklı granülometri ve dört farklı çimento dozajı ile beton blok üretimi öngörüldüğünden, daha önce açıklanan yöntemlerle farklı karışımlar için hesaplanan malzeme miktarları, Anonymous (1978)'a göre hem hacim hem de ağırlık olarak bulunmuştur.

Betonların üretilmesinde hesap sonucuna göre hazırlanan deneme karışımları üzerinde gerekli ayarlamalar yapılarak asıl karışımlar elde edilmiştir.

Üretilen beton karışımlarının hesaplamalarına örnek oluşturacak şekilde Van-Erciş hafif agregası ve tüf kumu karışımı ile 150 kg/m^3 dozajlı doğal granülometrilili beton karışım hesabı aşağıda verilmiştir:

Van-Erciş hafif agregası doğal granülometrisinde özgül ağırlık faktörü piknometre yöntemine göre iri agregası (4 nolu elek üstü) için 0.95, ince agregası (4 nolu elek altı) için 1.33; nem miktarları iri agregası için %15.6, ince agregası için %12.06; doğal granülometrilili tuf kumu karışımı Van-Erciş agregasının fırın-kuru ağırlık esasına göre iri agregası oranı %17, ince agregası oranı %83 (%31'i tuf kumu ve %52'si ince agregası) olarak saptanmıştır. Karışıma katılan Pasinler tuf kumunun doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı 2.19, nem miktarı ise %1.06'dır. Çimento özgül ağırlığı da 3.02 g/cm³'tür.

Su miktarı Anonymous (1978)'dan hareketle 260 kg alınmıştır. Su miktarının 1/3'ü karışımdan önce hafif agregayı ıslatmak için kullanılmıştır.

Buna göre 150 kg/m³ dozajlı Van-Erciş hafif agregası ile doğal granülometrilili 1 m³ beton bileşenleri aşağıdaki gibidir.

Çimento Hacmi	:	150/3.02.....=	49.7 dm ³
Su	:	=	260 dm ³
Agregası Hacmi	:	1000-(49.7+260).....=	690.3 dm ³

Agregaların mutlak hacim oranları:

İri pomzanın (4/16) : %26

İnce Pomzanın (0/4) : %56

Tuf kumunun (0/4) : %18

Agregaların kapladığı etkili hacim (1 m³ için):

İri pomza (4/16) : 690.3x0.26 = 179.48 dm³

İnce Pomza (0/4) : 690.3x0.56 = 386.57 dm³

Tuf kumu (0/4) : 690.3x0.18 = 124.25 dm³

Agregaların ağırlık olarak miktarları:

İri pomza (4/16) : 179.48x0.95 = 170.05 kg

İnce Pomza (0/4) : 386.57x1.33 = 514.14 kg

Tuf kumu (0/4) : 124.25x2.19x1.0106 = 274.99 kg

Elde edilen karışımda istenen kıvamı sağlamak için 20 dm³'lük karışımdan 440 ml su eksiltiştir. Hesaplamalar yeniden düzenlenerek 1 m³'lük beton karışımı için gerekli malzeme miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Dozajı 150 kg/m³ olan doğal granülometrilili Van-Erciş hafif agregası ile üretilen 1 m³ beton karışımına giren malzeme miktarları

Bileşenler	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento	49.70	150.00
Su	238.00	238.00
İri Pomza (4/16)	179.48	170.05
İnce Pomza (0/4)	386.57	514.14
Tüf Kumu (0/4)	124.25	274.99
Toplam	978.00	1347.18

1 m³ beton karışımına giren bileşenlerin miktarlarının saptanması için bulunan bu değerler 1000/978 ile çarpılarak ayarlanmış miktarlar belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. Bir m³ beton karışımına giren ayarlanmış malzeme miktarları

Bileşenler	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
Çimento	50.80	153.40
Su	243.40	243.40
İri Pomza (4/16)	183.50	173.90
İnce Pomza (0/4)	395.30	525.70
Tüf Kumu (0/4)	127.00	281.10
Toplam	1000.00	1377.50

Van-Erciş hafif agregasının ayarlanmış granülometrisinde özgül ağırlık faktörleri ile tüf kumunun doygun kuru yüzey özgül ağırlığı;

0/4 tane sınıfı için: 1.33

4/8 tane sınıfı için: 0.97

8/16 tane sınıfı için: 0.86

0/4 tane sınıfı tüf kumu için: 2.19

Nem miktarları:

0/4 tane sınıfı için: 12.06

4/8 tane sınıfı için: 15.4

8/16 tane sınıfı için: 15.8

0/4 tane sınıfı tuf kumu için: 1.06

Su miktarı ise Anonymous (1978)'a göre 240 kg alınmıştır.

Buna göre 150 kg/m^3 dozajlı Van-Erciş hafif agregası ile ayarlanmış granülometrilik 1 m^3 'deki beton bileşenleri:

Çimento Hacmi	:	$150/3.02 \dots \dots \dots = 49.7 \text{ dm}^3$
Su	:	$\dots \dots \dots = 240 \text{ dm}^3$
Agrega Hacmi	:	$1000 - (49.7 + 240) \dots \dots \dots = 710.3 \text{ dm}^3$

Agregaların mutlak hacim oranları:

0/4 tane sınıfı için: %32

4/8 tane sınıfı için: %24

8/16 tane sınıfı için: %25

0/4 tane sınıfı tuf kumu için: %19

Agregaların kapladığı etkili hacim (1 m^3 için):

0/4 tane sınıfı için: $710.3 \times 0.32 = 227.30 \text{ dm}^3$

4/8 tane sınıfı için: $710.3 \times 0.24 = 170.46 \text{ dm}^3$

8/16 tane sınıfı için: $710.3 \times 0.25 = 177.58 \text{ dm}^3$

0/4 tane sınıfı tuf kumu için: $710.3 \times 0.19 = 134.96 \text{ dm}^3$

Agregaların ağırlık olarak miktarları:

0/4 tane sınıfı için: $227.30 \times 1.33 = 302.31 \text{ kg}$

4/8 tane sınıfı için: $170.47 \times 0.97 = 165.36 \text{ kg}$

8/16 tane sınıfı için: $177.58 \times 0.86 = 152.72 \text{ kg}$

0/4 tane sınıfı tuf kumu için: $134.96 \times 2.19 \times 1.0106 = 298.64 \text{ kg}$

Bu değerlere göre beton karışımları hazırlanmıştır. Elde edilen karışımlarda istenen kıvamı sağlamak için 20 dm^3 'lük karışımdan 100 ml su eksiltiştir. Hesaplamalar yeniden düzenlenerek 1 m^3 'lük beton karışımı için gerekli malzeme miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Dozajı 150 kg/m^3 olan ayarlanmış granülometrilili Van-Erciş hafif agregası ile üretilen 1 m^3 beton karışımına giren malzeme miktarları

Bileşenler	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)
Çimento	49.70	150.00
Su	235.00	235.00
0/4	227.30	302.31
4/8	170.46	165.35
8/16	177.58	152.72
0/4 tuf kumu	134.96	298.64
Toplam	995.00	1304.02

1 m^3 beton karışımına giren bileşenlerin miktarlarının saptanması için bulunan bu değerler $1000/995$ ile çarpılarak ayarlanmış miktarlar belirlenmiştir.

Çizelge 3.8. Bir m^3 beton karışımına giren ayarlanmış malzeme miktarları

Bileşenler	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)
Çimento	49.96	150.88
Su	236.18	236.18
0/4	228.43	303.82
4/8	171.33	166.19
8/16	178.47	153.48
0/4 tuf kumu	135.63	300.19
Toplam	1000.00	1310.74

Erzurum ilindeki beton blok üreticilerinden en çok üretim yapan A, B, C diye adlandırılan atölyelerdeki beton blok üretimi, yukarıda belirtilen agregalarla ve değişik karışım oranlarına göre elektrikle çalışan briket makinasında yapılmaktadır. Seçilen atölyelerden alınan örneklere ilişkin karışım oranlarının yaklaşık olarak; 1 torba (50 kg) çimento için A atölyesinde 0.40 m^3 agrega (1/4 oranında normal agrega, 3/4 oranında Van-Erciş hafif agregası), 40 litre su; B atölyesinde 0.40 m^3 agrega (1/6 oranında tuf agrega, 5/6 oranında Erzurum-Pasinler agregası), 45 litre su; C atölyesinde ise 0.40 m^3 agrega (1/6 oranında tuf agrega, 5/6 oranında Van-Erciş agregası), 45 litre sudan oluştuğu belirlenmiştir.

3.4. Taze Beton Deneylerinde Uygalanan Yöntemler

3.4.1. Karışımların Üretilmesi

Denemede kullanılacak taze betonların yapımı için gerekli malzeme herbir örneğe yeterli olabilecek şekilde %10 fazlasıyla düşünülerek tartılıp ayrı ayrı yığılanmıştır. Doğal granülometriye sahip iri ve ince agrega (kum+ince hafif agrega) ayrı ayrı tartılmış; ayarlanmış granülometri de ise 4/8, 8/16 tane grupları için iri agrega ve 0/4 tane grubu için ince agrega (kum+ince hafif agrega) yeterli miktarlarda tartılarak karışım oluşturulmuştur.

Taze betonların karıştırılması beton zemin üzerinde elle yapılmış, karıştırılan yığın hacimleri 9 beton blok'u dolduracak şekilde ayarlanmıştır. Yığınlar için hesaplanan karışım suyunun önce 1/3'ü ile hafif agrega yaklaşık 1 dakika karıştırıldıktan sonra kum eklenerek karıştırma işlemi sürdürülmüş, daha sonra çimento ve arta kalan su eklenerek işleme karışımın kıvamı aynılık kazanıncaya kadar devam edilmiştir (Anonymous 1978).

3.4.2. Üretilen Beton Blokların Taze Birim Hacim Ağırlığı

Taze betonun teorik ve gerçek birim hacim ağırlığı Alkan (1972)'da verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Laboratuvarda hazırlanan taze beton, elektrikle çalışan vibratörlü briket-makinasında kalıplandıktan hemen sonra tartılmış ve kalıp ağırlığı

düşüldükten sonra beton blok betonunun ağırlığı (W_t) belirlenmiştir (Şekil 3.5). Bu değęer beton blokun dolu kısmının hacmine (V_d) bölünerek taze beton blok betonunun birim hacim ağırlığı (B) aşağıdaki eşitlikle saptanmıştır.

$$B = (W_t/V_d)$$

Eşitlikte;

- B : Taze beton blok betonunun birim hacim ağırlığı (kg/m^3),
 W_t : Örneğin net ağırlığı (kg),
 V_d : Örneğin dolu kısmının hacmi (m^3)'dir.



Şekil 3. 5. Taze beton blok betonunun birim hacim ağırlık deneyi

3.4.3. Beton Blokların Kürü

Beton bloklar laboratuvar koşullarında 24 saat bekletildikten sonra sulanarak üzerleri plastik örtü ile örtülmüş (Khalaf 1996) ve $23\pm 1^\circ\text{C}$ 'de %95 bağıl nemde bir hafta

tutulmuştur. Daha sonra Anonymous (1998a)'da belirtildiği gibi örnekler üzerinde deneylerin yapılacağı süreye kadar $\%50 \pm 5$ bağıl nemde tutulmuştur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Beton blok örneklerin kür edilmesi

3.5. Sertleşmiş Beton Blok Deneylerinde Uygulanan Yöntemler

Sertleşmiş beton örneklerinde 28 günlük birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, donma-çözülme sonrası basınç dayanımı, ısı iletkenliği, su emme, şekil ve gönyeden sapma, boyut ve tolerans deneyleri yapılmıştır.

3.5.1. Birim Hacim Ağırlık

Beton blok örneklerin 28 günlük birim hacim ağırlığı Anonymous (1988)'a göre belirlenmiştir. Beton blok örnekler etüve konularak $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de değişmez ağırlığa kadar kurutulup ağırlıkları (W) belirlenmiş ve boşluklar düşülmeden toplam hacmine (V_t)

bölünerek 28 günlük kuru birim hacim ağırlıkları (Δ) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Anonymous 1988).

$$\Delta = (W/V_t)$$

Eşitlikte;

- Δ : Sertleşmiş beton blokların birim hacim ağırlığı (kg/m^3),
 W : Beton blokun fırın kuru ağırlığı (kg),
 V_t : Beton blokun toplam hacmi (m^3)'dir.

3.5.2. Örneklerin Başlıklanması

Beton blokların 28 günlük basınç dayanımlarını hesaplamak için yalnızca üst yüzeyleri 1/1 çimento ve kum karışımından hazırlanan harçla başlıklanmıştır. Alt yüzeyleri ise sadece çimento harcıyla pürüzlülüğü gidermek için düzeltilmiştir (Anonymous 1988). Şekil 3.7'de çimento ve kum harcıyla başlıklanmış örnekler görülmektedir.



Şekil 3.7. Beton blokların başlıklanması

3.5.3. Basınç Dayanımı

28 günlük örnekler ağırlıkça yaklaşık %5-15 nem oranına erişinceye kadar 60°C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş ve göstergesinin en küçük bölümü 200 kg olan 100 tonluk pres kullanılarak basınç dayanımları belirlenmiştir (Anonymous 1988). Söz konusu basınç dayanımı ölçüm cihazı (Şekil 3.8)'de verilmiştir. Örnekler dikdörtgen prizması şeklinde olup üst yüzeyi 18.5x38.8 cm boyutlarındadır. Basınç dayanım değerleri (σ_b), Anonymous (1988) ve Somayaji (1995)'de belirtildiği şekilde uygulanan kuvvetin (P_{max}) toplam yüzey alanına (F) bölünerek aşağıdaki eşitlikle saptanmıştır.

$$\sigma_b = P_{max}/F$$

Eşitlikte;

σ_b : Örneğin basınç dayanımı (kgf/cm²),

P_{max} : Kırılma anındaki kuvvet (kgf),

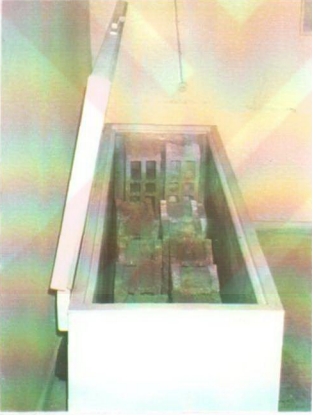
F : Basınç uygulanan yüzey alanı (cm²)'dir.



Şekil 3.8. Örneklerin basınç dayanımının ölçülmesi

3.5.4. Donma-Çözülme Dayanıklılığı

Malzemelerin fiziksel hava koşullarına karşı dayanıklı olması diğer özellikleri yanında aranan en önemli özelliklerinden biridir. Özellikle malzemenin kullanıldığı bölgede gece ve gündüz, yaz ve kış sıcaklık farkları fazla ise ve şiddetli kışlar uzun sürüyorsa malzemenin bu özelliğinin önemi daha da artmış olur. 28 gün kür koşullarında tutulan örnekler Anonymous (1988)'da açıklandığı gibi 4 saat $-15\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de derin dondurucuda dondurulduktan sonra 4 saat $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de suda çözündürülerek 25 defa yinelenen uygulamadan sonra basınç dayanımları belirlenmiştir (Şekil 3.9).



a- Örneklerin soğutucuda dondurulması



b- Örneklerin su tankında çözülmesi

Şekil 3.9. Donma-çözülme deneyi

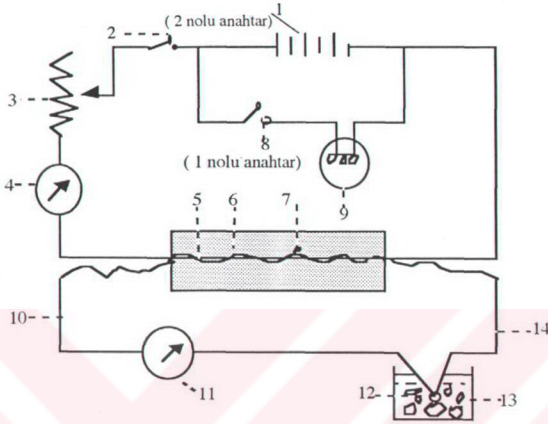
3.5.5. Isı İletkenliği

Yapı malzemelerinin ısı iletkenliği; malzemenin gözeneklilik derecesine, gözeneklerin büyüklük ve dağılımı durumuna, malzemenin türüne, yapısına, malzeme içindeki nem miktarına ve birim hacim ağırlığına bağlı olarak değişir (Urhan 1993, Yağanoğlu 1994).

Hazırlanan beton blok örneklerin ısı iletkenliklerinin belirlenmesinde geçici rejim yöntemlerinden "Sıcak Tel Yöntemi" kullanılmıştır. Bu yöntem yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarının güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için uygun ve uygulaması kolay yöntemdir. Isı iletkenliği ölçülecek malzemenin yapısının homojen olmaması, yöntemin uygulanması açısından bir engel oluşturmaz (Kakaç 1982, Lobo and Cohen 1990). Diğer yöntemlere göre yeğlenen bu yöntemin en önemli üstünlüğü, ölçüm süresinin kısa olması ve ölçüm sırasında malzemenin nem içeriğinde bir değişiklik oluşturmada gerçek ısı iletkenliğinin ölçülebilmesidir (Yağanoğlu 1994).

Geçici rejim yönteminin öngördüğü deney düzeneği Göğüş (1969), Kakaç (1982), Yağanoğlu (1994) ve Anonymous (1987)'da verilen ilkeler doğrultusunda hazırlanmıştır. Isı iletkenliği ölçüm sisteminin şematik görünüşü Şekil 3.10'da verilmiştir.

Beton blok örneklerinin ısı iletkenliğini ölçmek için kurulan düzeneğin görünüşü Şekil 3.11'de verilmektedir. Geçici rejim yöntemiyle ısı iletkenliği ölçülecek 35x17x2.5 cm boyutunda iki örnek arasına 0.1-0.2 mm çapında, yaklaşık 40 cm uzunluğunda, bir metresinin direnci 34.66 Ω olan krom-nikel tel yerleştirilmiştir. Örneklerin 35x17 cm büyüklüğündeki birer yüzleri oldukça düzgün yapılarak ısıtma teli bu iki yüzün arasına yerleştirilmiştir. Isıtma telindeki sıcaklığı belirlemek için 0.25 mm çapında bakır-constant termocift tel kullanılmıştır. Termocift telden, sıcak uç denilen bir lehim yeri malzeme içindeki ısıtma teline dokunmaktadır. Soğuk uç denilen diğer lehim yeri ise buz-su karışımının içinde yüzeyden 10 cm derinlikte tutulmuştur. Devreye milivoltmetre bağlanarak ısıtma telinin sıcaklığındaki değişim belirlenmiştir. Isıtma telinin sıcaklığındaki değişimin doğru bir şekilde saptanması için termocift kablo tel kalibre edilmiştir. Ölçme için önce 2. anahtar yardımıyla (Şekil 3.10) lamba yakılarak, 30 saniye kadar sonra 1. anahtar yardımıyla ısıtma devresi kapanmış ve deney sırasında kapalı tutulmuştur. Anahtarın kapatıldığı andan itibaren belirli sürelerde termocift kablodaki gerilim okunmuş ve sıcaklıklar belirlenmiştir. Ayrıca ısıtma telindeki akım şiddeti de ölçülmüştür.



- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1. 12 V DC güç kaynağı | 2. Anahtar |
| 3. Reosta | 4. Ampermetre |
| 5. Direnç teli | 6. Isı yalıtım malzeme örneği |
| 7. Termocift eleman (sıcak nokta) | 8. Anahtar |
| 9. Ampul | 10. Termocift eleman bakır tel |
| 11. Milivoltmetre | 12. Termocift eleman (soğuk nokta) |
| 13. Su-buz karışımı | 14. Termocift eleman konstant tel |

Şekil 3.10. Isı iletkenlik ölçüm sistemi

Termociftte oluşan gerilim yardımıyla hesaplanan sıcaklıklar, zaman eksenli logaritmik olan bir diyagram üzerine taşınmıştır. Doğrusal olarak elde edilen eğriden seçilen iki farklı zamanın (t_1, t_2) karşılığı olan sıcaklıklar (T_1, T_2) okunmuş ve malzemenin ısı iletkenlik katsayıları (λ) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Yağanoğlu 1994, Göğüs 1969).

$$\lambda = \frac{I^2 R \ln(t_1/t_2)}{4\pi(T_2 - T_1)}$$

Eşitlikte;

- λ : Malzemenin ısı iletkenlik katsayısı ($W/m^\circ C$),
 I : Isıtma telinden geçen akım (A),
 R : Birim uzunluktaki ısıtma telinin direnci (Ω/m),
 t_1, t_2 : Isıtma teline akım verilmesinden sonra herhangi iki zaman aralığı (s),
 T_1, T_2 : Seçilen iki zaman aralığına karşılık gelen ısıtma telindeki sıcaklıklar ($^\circ C$)'ı göstermektedir.



Şekil 3.11. Isı iletkenlik ölçüm cihazı

3.5.6. Su Emme

Beton blok örnekler etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlığı (W) saptanmıştır. Daha sonra bu örnekler 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra çıkarılarak yüzeyleri kurulandıktan sonra tekrar tartılmıştır (W_n). Beton blok örneklerin su emme oranları (S_e) aşağıdaki eşitlikle bulunmuştur (Anonymous 1981b, Somayaji 1995).

$$S_e = [(W_n - W)/W] \times 100$$

Eşitlikte;

S_e : Beton blokların su emme oranı (%),

W_n : 24 saat su içerisinde bekletilen örnekler sudan çıkarılarak yüzeyleri kurulandıktan sonraki ağırlığı (kg),

W : Beton blokların fırın kuru ağırlığı (kg)'dır.

3.5.7. Şekil ve Gönyeden Sapma

Anonymous (1986b)'da öngörüldüğü şekilde beton bloklar önce genel görünüşlerin dikdörtgenler prizması şeklinde olup olmadığına, köşe ve ayrıtlarının keskin ve düzgünlüğüne, çatlak, yarık ve döküntü bulunup bulunmadığına bakılmıştır. Köşe ve kenarların kolları yeter uzunlukta olan bir çelik gönye yardımı ile dik açıdan sapma miktarları ölçülmüştür.

3.5.8. Boyut ve Toleranslar

Anonymous (1986b)'da belirtildiği şekilde örneklerin uzunluk ve genişlikleri, katlanmaz çelik metre yardımıyla en az iki ayrı yerinden 1 mm duyarlılıkla ölçülerek boyutları saptanmıştır.

3.5.9. Verilere Uygulanan İstatistiksel Yöntemler

Deneylerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, özellikler arasındaki ilişkilerin saptanması için varyans analizlerinin yapılmasında Sezgin (1980), Köksal (1985), Yıldız ve Bircan (1991a), Yıldız ve Bircan (1991b)'da verilen istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, farklı ocaklardan sağlanan hafif agregası ve bunlara katılan tuf ve normal kum'a ilişkin deneylerle saptanan bulgularla, farklı granülometrilili ve değişik dozajlarda üretilen hafif beton blok örneklerinin birim hacim ağırlık, 28 günlük basınç dayanımı, donma-çözülme dayanıklılığı, ısı iletkenliği, su emme, şekil ve gönyeden sapma, boyut ve toleranslar gibi önemli özelliklerine ilişkin sonuçlar verilmiş ve hafif agregası ocaklarının çalışmaya konu olan beton blokların özellikleri üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Ayrıca piyasada üretilen beton blok örneklerinin de önemli özellikleri saptanıp araştırma konusu olan beton bloklarla karşılaştırılması yapılmıştır.

4.1. Agregası Özellikleri

Agregası ocağından yöntem kısmında öngörüldüğü biçimde alınan malzeme konsolide olmadığından gevşek yapıdaki taneler dağılarak doğal durumda bir derecelenme oluşmakta, kırma ve ufalama gibi işlemlere gerek göstermeden karışık agregası özelliğini kazanmaktadır. Bu agregalara ilişkin saptanan çeşitli özellikler ile hafif beton blok üretimine yönelik irdelemeler aşağıda yapılmıştır.

4.1.1. Elek Analizi ve Granülometri Bileşimi

Hafif agregası ve kumun, fırın-kuru örnekleri üzerinde Anonymous (1985a) ve Anonymous (1985b)'a uygun kare gözlü elek takımı ile yapılan elek analizi sonucu elde edilen değerlere göre granülometri eğrileri çizilmiştir. Buna göre Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler hafif agregaların doğal durumları için elde edilen elek analizi değerleri Çizelge 4.1'de, granülometri eğrileri ise standart eğrilerle (Anonymous 1998a) birlikte Şekil 4.1'de verilmiştir. Normal ve tuf kumunun elek analizi sonuçları Çizelge 4.2'de, granülometri eğrileri ise Postacıoğlu (1975a)'nın kum için verdiği eğrilerle birlikte Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Hafif agregalara normal ve tuf kumunun ayrı ayrı karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri Çizelge 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da, doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri de Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Ayrıca

piyasadaki beton blok üreticilerinin kullandıkları agregaların elek analizi sonuçları Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9'da, tuf ve normal kumun granülometri eğrileri Anonymous (1980e)'a göre Şekil 4.7 ve karışımların granülometri eğrileri ise Şekil 4.8'de verilmiştir.

Anonymous (1998a)'da maksimum tane boyutu için önerilen beton bloklara ilişkin eğriler incelendiğinde, denemede kullanılan Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler agregalarının bulunan doğal granülometri eğrilerinin standartta verilen eğrilerin arasına düşmediği görülmüştür. Hafif agregaların doğal durumlarına, piyasada üretilen beton blokların granülometrisine benzer şekilde 1/6 hacim oranında tuf ve normal kum ayrı ayrı katılarak oluşturulan doğal granülometri eğrileri incelendiğinde ise Van-Erciş hafif agregası ile elde edilen doğal granülometri eğrisi 4-16 mm tane boyutları arasında her iki kum çeşidinde de standart eğrilerin dışına çıkmıştır. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometri eğrisi ise standartta verilen eğriler arasında kaldığı görülmüştür. Van-Erciş hafif agregası için söz konusu standart eğrilerin arasına düşecek şekilde yapılan ayarlanmış granülometri işlemi, Erzurum-Pasinler için de yapıp ikinci bir seçenek olarak kullanılmıştır.

Van-Erciş hafif agregasına tuf kumu katılarak elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrideki incelik modülü değerleri sırasıyla 3.07 ve 3.53, normal kum katılarak elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrideki incelik modülü değerleri ise sırasıyla 3.03 ve 3.44'dür. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf kumu katılarak elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrideki incelik modülü değerleri sırasıyla 3.44 ve 3.49, normal kum katılarak elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrideki incelik modülü değerleri ise sırasıyla 3.37 ve 3.43 olarak saptanmıştır. Piyasadaki A, B ve C atölyelerinin kullandıkları agrega karışımlarının incelik modülü değerleri sırasıyla 2.97, 3.50 ve 3.15 olarak belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan agregaların en büyük tane boyutu 16 mm'dir. Anonymous (1986a)'a göre 16 mm ile 4 mm tane sınıfları arası iri, 4 mm'nin altındaki agrega ince olarak seçilmiştir. Araştırmada kullanılan Van-Erciş agregasına tuf kumu katılarak elde edilen doğal granülometrilili agregada iri agrega oranı %17, ince agrega oranı %83 (%31'i tuf kumu ve %52'si ince agrega); aynı agregaya normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili agregada ise iri agrega oranı %16, ince agrega oranı %84 (%36'sı normal

kum ve %48'i ince agrega) olarak saptanmıştır. Erzurum-Pasinler agregasının tuf kumu karışimli doğal granülometrilili agregada iri agrega oranı %36, ince agrega oranı %64 (%30'u tuf kumu ve %34'ü ince agrega); normal kum karışimli doğal granülometrilili agregasında ise iri agrega oranı %34, ince agrega oranı %66 (% 34'ü normal kum ve %32'si ince agrega)'dır. Van-Erciş hafif agregasına tuf kumu katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili agregada iri agrega oranı %33 (%16'sı 8-16 mm ve %17'si 4-8 mm), ince agrega oranı %67 (%35'i tuf kumu ve %32'si ince agrega); normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrilili agregada ise iri agrega oranı %31 (%15'i 8-16 mm ve %16'sı 4-8 mm), ince agrega oranı da %69 (%39'u normal kum ve %30'u ince agrega)'dur. Ayrıca Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf kumu katılarak belirlenen ayarlanmış granülometrilili agregada da iri agrega oranı %36 (%17'si 8-16 mm ve %19'u 4-8 mm), ince agrega oranı %64 (%33'ü tuf kumu ve %31'i ince agrega); normal kum karışimli ayarlanmış granülometrisinde de iri agrega oranı %34 (%16'sı 8-16 mm ve %18'i 4-8 mm), ince agrega oranı %66 (%37'si normal kum ve %29'u ince agrega). bulunmuştur.

Piyasadaki A, B ve C atölyeleri tarafından kullanılan doğal granülometrilili agregalarda A atölyesi için iri agrega oranı %18 (%13 hafif agrega ve %5 normal iri kum), ince agrega oranı %82 (%38 hafif agrega ve % 44 normal kum); B atölyesi için iri agrega oranı %38 (%36 hafif agrega ve %2 iri tuf kumu), ince agrega oranı %62 (%33 hafif agrega ve %29 tuf kumu); C atölyesi için ise iri agrega oranı %20 (%17 hafif agrega ve %3 iri tuf kumu), ince agrega oranıda %80 (%51 hafif agrega ve % 29 tuf kumu) olarak saptanmıştır.

Genellikle beton üretiminde kullanılan agrega granülometrisinin standart granülometri eğrisine uyması istenir. Ancak bu şekildeki bir ayarlama her tane grubu için eleklerden malzemenin elenmesini gerektirdiğinden uygulamaya yönelik bir ayarlama değildir. Uygulamaya yönelik ve ekonomik koşullar göz önüne alındığında, ideal granülometri eğrisi yerine sınır eğrileri arasında olacak şekilde kullanılması üretilecek beton blokların ekonomisi yönünden de olumlu olacaktır. Ekmekyapar ve Örüng (1993)'e göre ister doğadan sağlanan doğal karışık agrega olsun, isterse ince ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış agregaların belirli oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanan karışık agrega olsun, beton karışımında kullanılacak agrega granülometrisinin ideal granülometri

Çizelge 4.2. Erzurum-Horasan normal kumu ve Erzurum-Pasinler tüf kumunun elek analizi değerleri

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan miktar (g)		Yığılı toplam (g)		%Kalan		%Geçen	
	Erzurum-Horasan	Erzurum-Pasinler	Erzurum-Horasan	Erzurum-Pasinler	Erzurum-Horasan	Erzurum-Pasinler	Erzurum-Horasan	Erzurum-Pasinler
4	0	0	0	0	0	0	100	100
2	320	432	320	432	11	19	89	81
1	388	372	708	804	25	35	75	65
0.50	1032	176	1740	980	62	43	38	57
0.25	920	864	2660	1844	94	81	6	19
Elek altı	168	436	2828	2280	100	100	0	0

Erzurum-Horasan normal kumu için incelik modülü: 1.92

Erzurum-Pasinler tuf kumu için incelik modülü: 1.78

Çizelge 4.3. Van-Erciş hafif agregası ve tuf kumu karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan miktar (g)		Yığışsımlı toplam (g)		%Kalan		%Geçen	
	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış
16	7	10	7	10	0	0	100	100
8	150	508	157	518	4	16	96	84
4	453	576	610	1094	17	33	83	67
2	1214	844	1824	1938	50	59	50	41
1	653	474	2477	2412	68	73	32	27
0.50	303	190	2780	2602	77	79	23	21
0.25	502	462	3282	3064	91	93	9	7
Elek altı	336	228	3618	3292	100	100	0	0

Doğal agreganın incelik modülü: 3.07

Ayarlanmış agreganın incelik modülü: 3.53

Çizelge 4.4. Erzurum-Pasinler hafif agregası ve tuf kumu karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan miktar (g)		Yığılımlı toplam (g)		%Kalan		%Geçen	
	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış
16	10	11	10	11	0	0	100	100
8	780	613	790	624	20	17	80	83
4	620	690	1410	1314	36	36	64	64
2	831	836	2241	2150	58	60	42	40
1	436	396	2677	2546	69	71	31	29
0.50	208	173	2885	2719	74	75	26	25
0.25	517	512	3402	3231	87	90	13	10
Elek altı	493	378	3895	3609	100	100	0	0

Doğal agreganın incelik modülü: 3.44

Ayarlanmış agreganın incelik modülü: 3.49

Çizelge 4.5. Van-Erciş hafif agregası ve normal kum karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan miktar (g)		Yığılımlı toplam (g)		%Kalan		%Geçen	
	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış
16	7	8	7	8	0	0	100	100
8	152	510	159	518	4	15	96	85
4	451	576	610	1094	16	31	84	69
2	1148	784	1758	1878	45	53	55	47
1	661	478	2419	2356	62	66	38	34
0.50	731	608	3150	2964	81	83	19	17
0.25	530	470	3680	3428	95	96	5	4
Elek altı	202	134	3882	3568	100	100	0	0

Doğal agreganın incelik modülü: 3.03

Ayarlanmış agreganın incelik modülü: 3.44

Çizelge 4.6. Erzurum-Pasinler hafif agregası ve normal kum karışımı ile elde edilen doğal ve ayarlanmış elek analizi değerleri

Elek göz açıklığı (mm)	Elek üstünde kalan miktar (g)		Yığılımlı toplam (g)		%Kalan		%Geçen	
	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış	Doğal	Ayarlanmış
16	9	10	9	10	0	0	100	100
8	780	614	789	624	19	16	81	84
4	621	690	1410	1314	34	34	66	66
2	765	770	2175	2084	52	54	48	46
1	444	404	2619	2488	63	64	37	35
0.50	641	596	3260	3084	78	80	22	20
0.25	545	550	3805	3634	91	94	9	6
Elek altı	364	214	4169	3848	100	100	0	0
Doğal agreganın incelik modülü: 3.37								
Ayarlanmış agreganın incelik modülü: 3.43								

Çizelge 4.7. A atölyesi tarafından kullanılan agreganın elek analizi

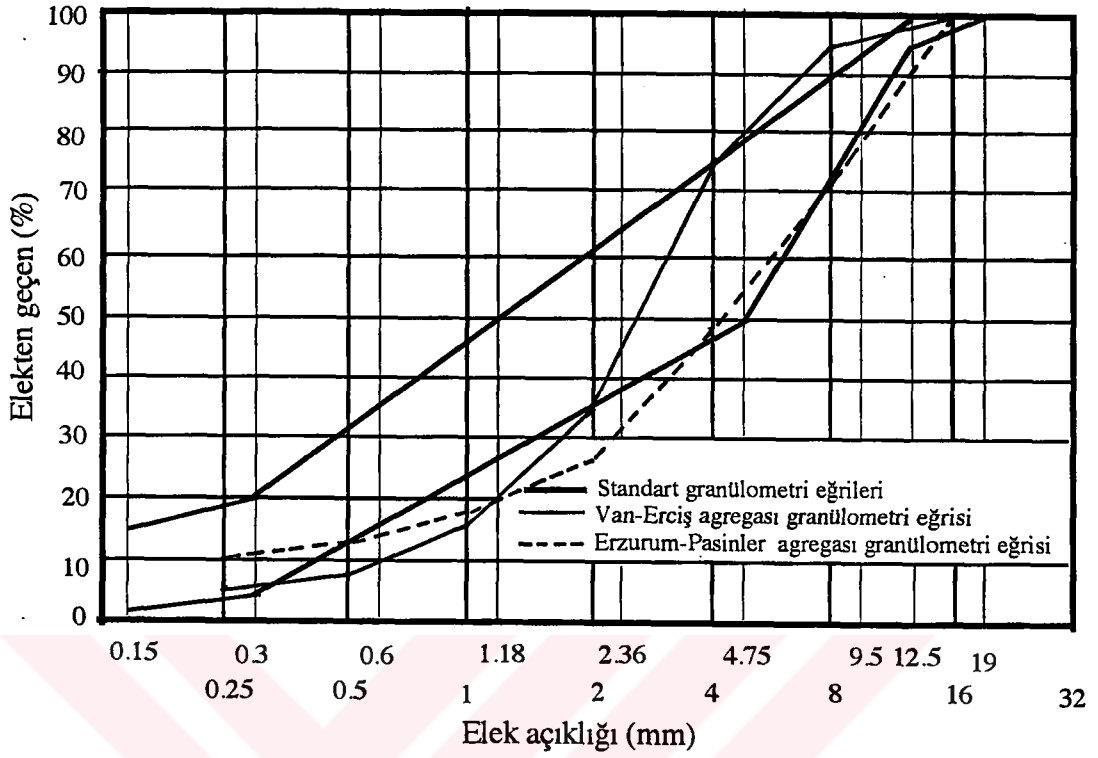
Elek göz açıklığı (mm)	Van-Erciş hafif agregası		Normal kum		Karışım(1/4 normal kum)	
	Yığılımlı ağırlık		Yığılımlı ağırlık		Yığılımlı ağırlık	
	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)
16	0	100	-	-	0	100
8	6	94	0	0	3	97
4	25	75	10	90	18	82
2	65	35	20	80	43	57
1	84	16	33	57	59	41
0.50	92	8	66	34	79	21
0.25	95	5	95	5	95	5
Elek altı	100	0	100	0	100	0
İnc.mod.	3.67		2.24		2.97	

Çizelge 4.8. B atölyesi tarafından kullanılan agreganın elek analizi

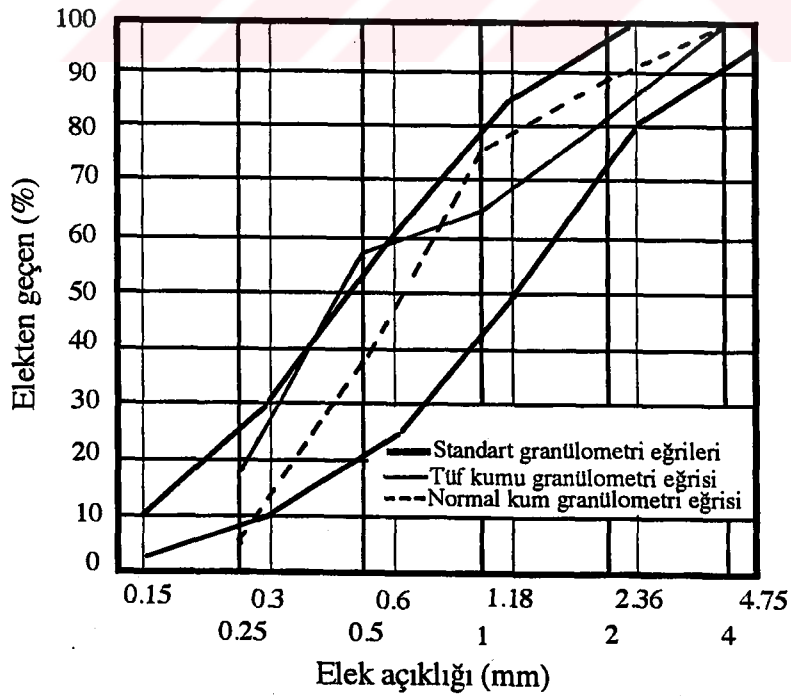
Elek göz açıklığı (mm)	Erzurum-Pasinler hafif agregası		Tüf kumu		Karışım(1/6 tüf kumu)	
	Yığılımlı ağırlık		Yığılımlı ağırlık		Yığılımlı ağırlık	
	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)
16	0	100	-	-	0	100
8	29	71	0	100	20	80
4	51	49	8	92	38	62
2	73	27	25	75	59	41
1	82	18	40	60	70	30
0.50	87	13	47	53	75	25
0.25	90	10	82	18	88	12
Elek altı	100	0	100	0	100	0
İnc.mod.	4.12	0	2.02		3.50	

Çizelge 4.9. C atölyesi tarafından kullanılan agreganın elek analizi

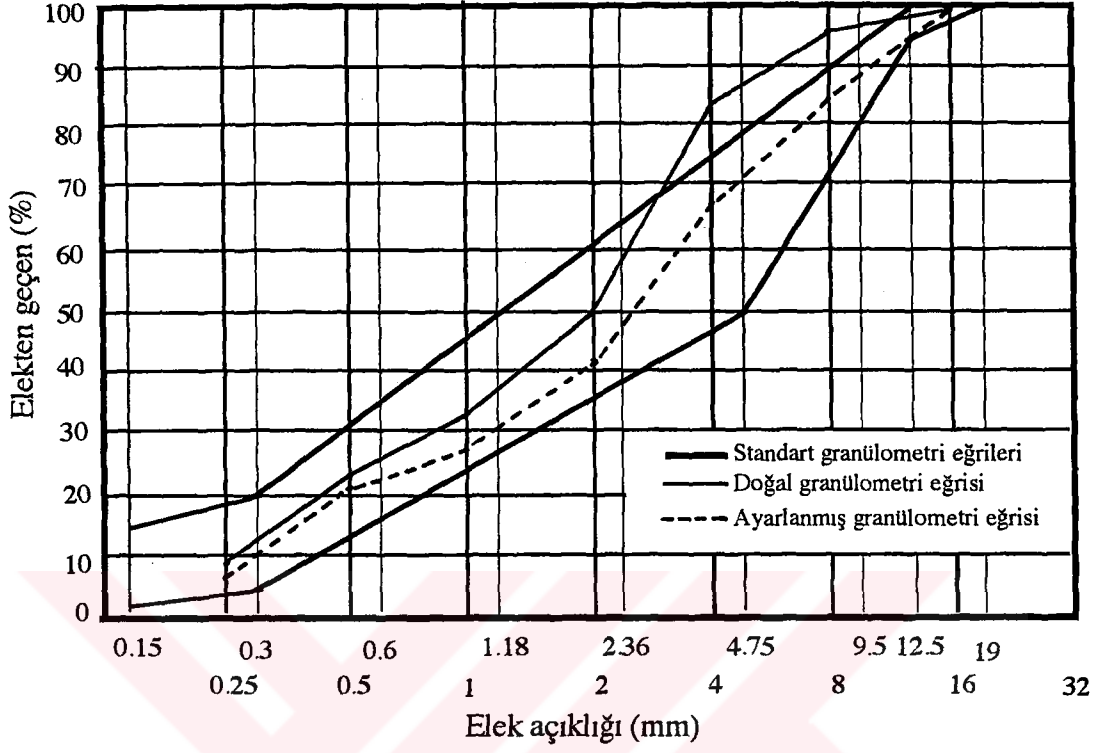
Elek göz açıklığı (mm)	Van-Erciş hafif agregası		Tüf kumu		Karışım(1/6 tüf kumu)	
	Yığılımlı ağırlık		Yığılımlı ağırlık		Yığılımlı ağırlık	
	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)	Elekte kalan (%)	Elekten geçen (%)
16	0	100	-	-	0	100
8	6	94	0	100	4	96
4	25	75	8	92	20	80
2	65	35	25	75	52	48
1	84	16	40	60	70	30
0.50	92	8	47	53	78	22
0.25	95	5	82	18	91	9
Elek altı	100	0	100	0	100	0
İnc.mod.	3.67		2.02		3.15	



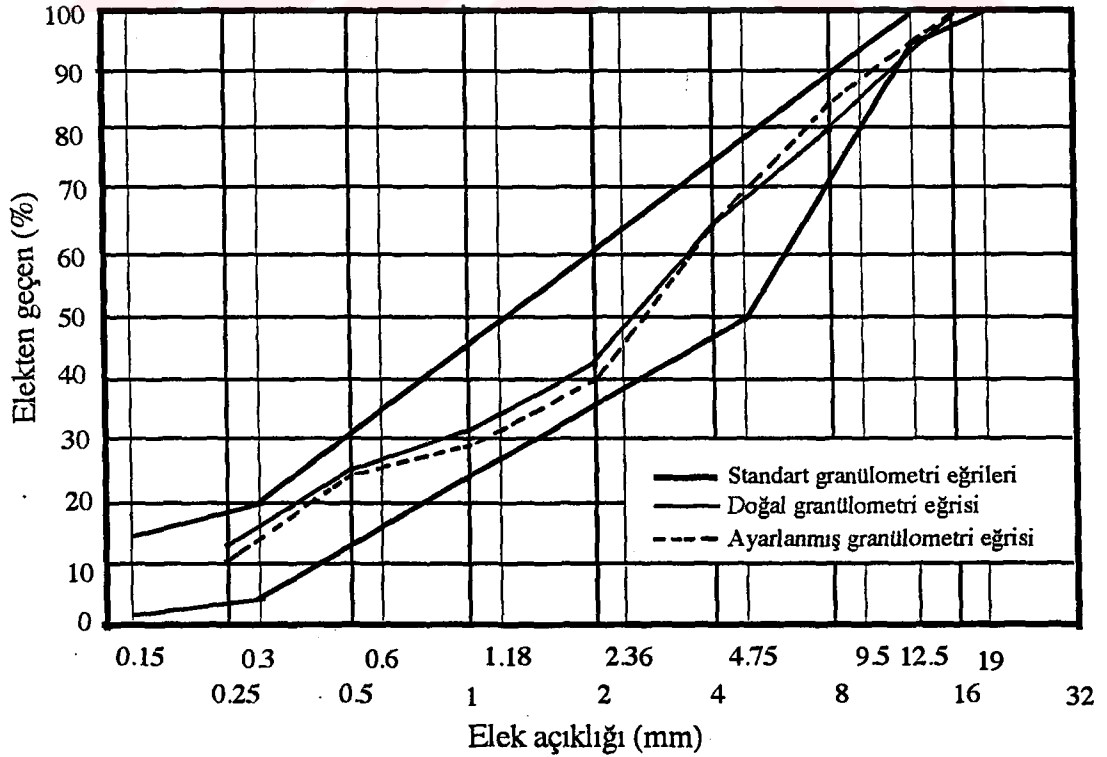
Şekil 4.1. Van-Erciș ve Erzurum-Pasinler hafif agregalarının granulometri eğrileri



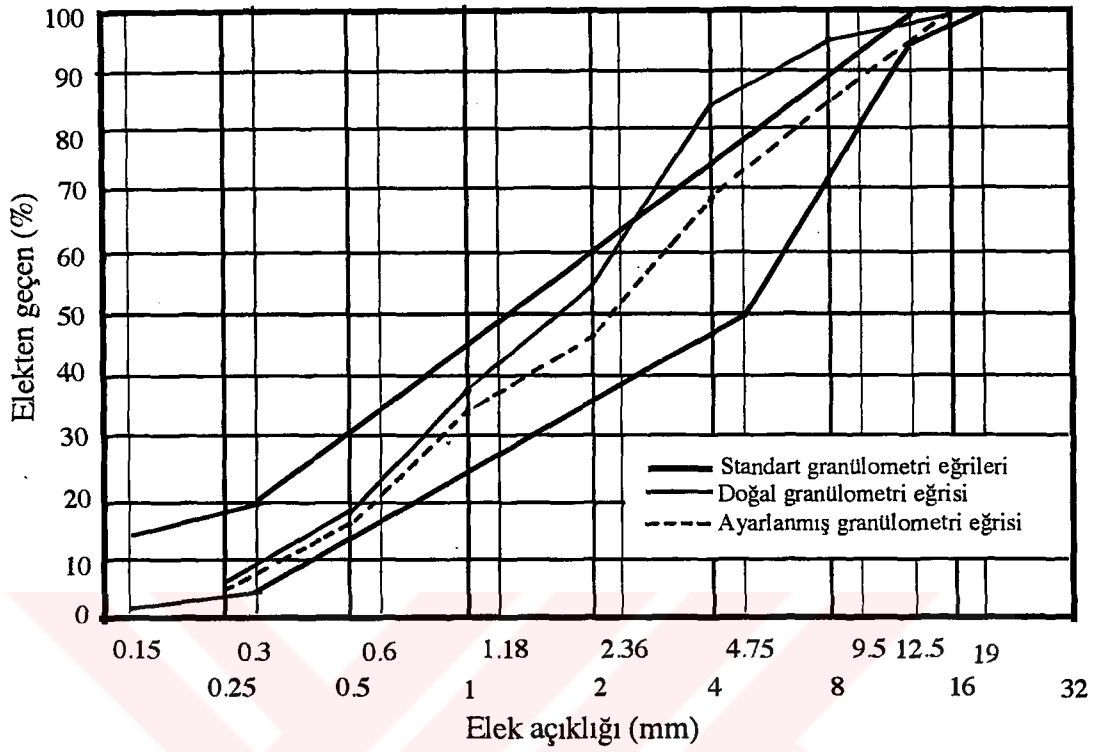
Şekil 4.2. Erzurum-Pasinler tüf kumu ve Erzurum-Horasan normal kumunun granulometri eğrileri



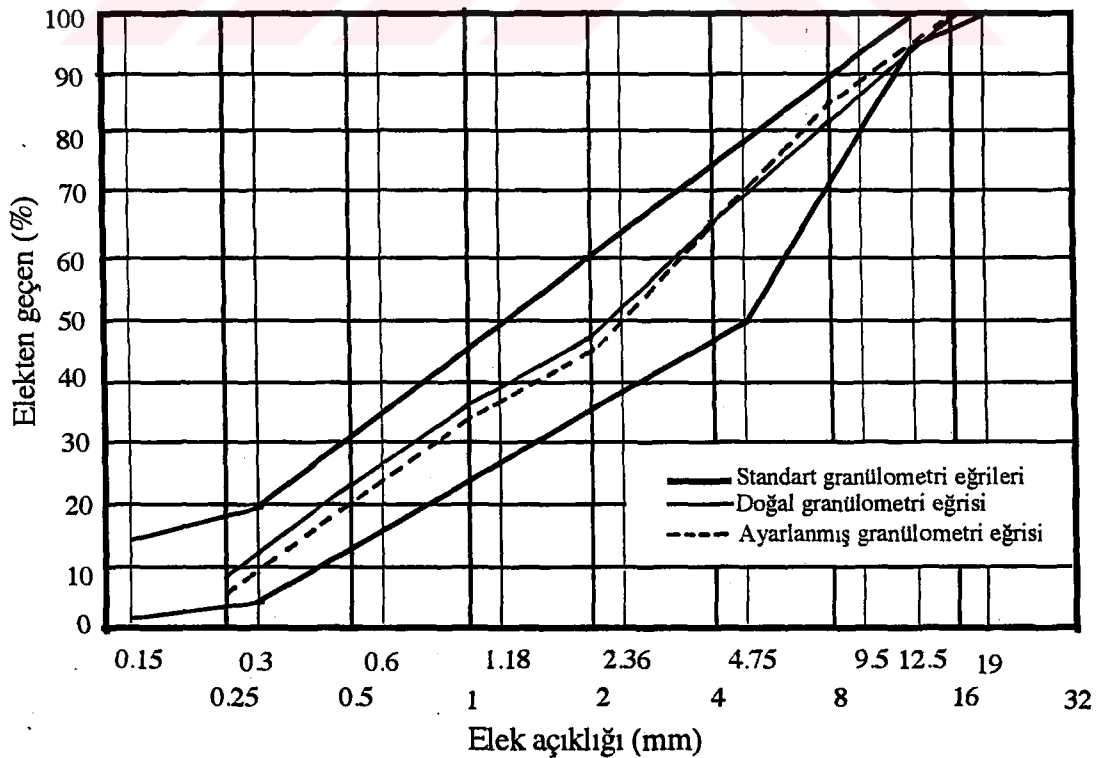
Şekil 4.3. Tüf kumu karışımı Van-Erciş hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri



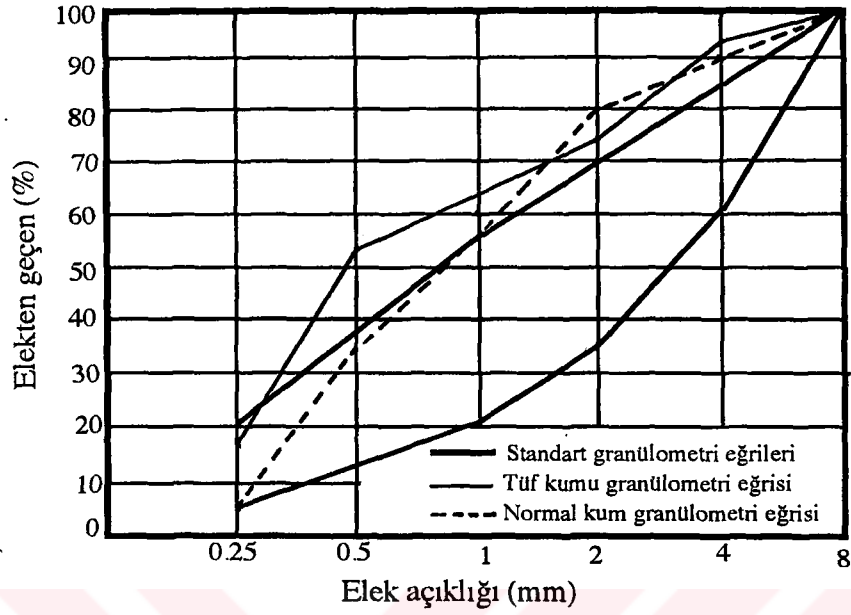
Şekil 4.4. Tüf kumu karışımı Erzurum-Pasinler hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri



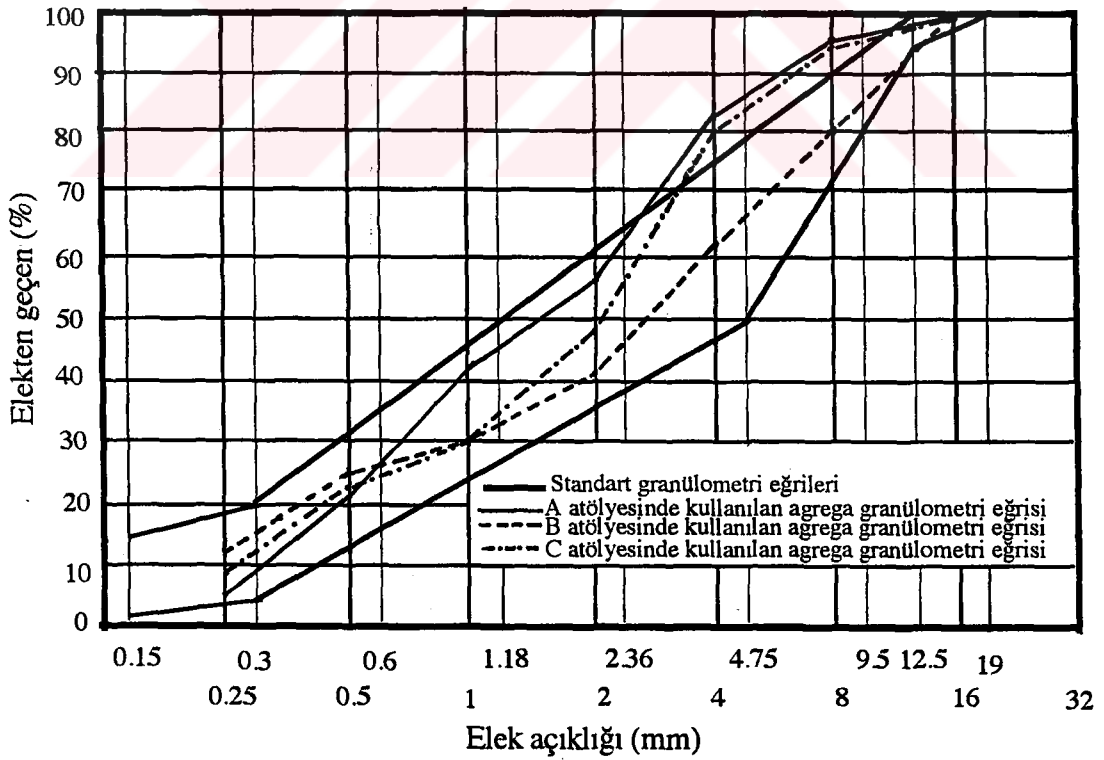
Şekil 4.5. Normal kum karışımı Van-Erciş hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri



Şekil 4.6. Normal kum karışımı Erzurum-Pasinler hafif agregasının doğal ve ayarlanmış granülometri eğrileri



Şekil 4.7. Atölyelerde kullanılan tuf ve normal kuma ait granülometri eğrileri



Şekil 4.8. A, B ve C atölyelerince kullanılan hafif agregalara tuf ve normal kum karışımı ile elde edilen granülometri eğrileri

4.1.2. Gevşek Birim Hacim Ağırlık

Anonymous (1980b)'da belirtildiği şekilde hafif agregaların gevşek birim hacim ağırlığı saptanmıştır. Sıkışık birim hacim ağırlık deneyi ise şişleme nedeni ile agrega tanelerinin kırılma olasılığının yüksek olmasından dolayı yapılmamıştır. Normal ve tuf kumu için de gevşek birim hacim ağırlığı aynı yöntemle yapılmıştır. Araştırma materyalini oluşturan doğal hafif agreganın iri, ince ve karışık durumdaki fırın-kuru gevşek birim hacim ağırlıkları sırasıyla, Van-Erciş için 398 kg/m^3 , 575 kg/m^3 , 538 kg/m^3 ve Erzurum-Pasinler için ise 480 kg/m^3 , 590 kg/m^3 ve 572 kg/m^3 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10). Anonymous (1986a)'da öngörülen fırın-kuru gevşek birim hacim ağırlıklar iri, ince ve karışık agregada sırasıyla en fazla 1000 kg/m^3 , 1200 kg/m^3 ve 1100 kg/m^3 'tür. Anonymous (1978)'da bims agregasının öngörülen fırın-kuru gevşek birim hacim ağırlıkları iri, ince ve karışık agregada sırasıyla en fazla 500 kg/m^3 , 700 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 olması gerektiği belirtilmiştir. Anonymous (1998a) ve Anonymous (1998b)'da ise; yapı betonu duvar birimleri ve yalıtım betonlarında kullanılacak iri, ince ve karışık hafif agregalar için fırın-kuru gevşek birim hacim ağırlıklarının sırası ile, en fazla 880 kg/m^3 , 1120 kg/m^3 ve 1040 kg/m^3 olması gerektiği belirtilmektedir. Elde edilen sonuçlar her dört standartta belirtilen maksimum değerlerin altında olduğundan, bu agregalar hafif beton yapımına uygunluk göstermektedir. İnce normal ve tuf kumu için bulunan değerler ise sırasıyla 1485 kg/m^3 ve 1215 kg/m^3 'dür (Çizelge 4.10). Piyasadaki beton blok üreticileri tarafından kullanılan hafif agregaların birim hacim ağırlıkları, deneme konusu olan agregaların aynısı olduğundan ayrıca birim hacim ağırlık değerleri verilmemiştir. Ancak piyasadaki üreticiler tuf ve normal kumun iri ve incisini birlikte kullandıklarından iri kısımlarının birim hacim ağırlıkları da normal ve tuf kumu için sırasıyla 1489 , 988 kg/m^3 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10). Uluata (1981)'ya göre normal betonlarda kullanılacak agreganın gevşek birim hacim ağırlığı genellikle $1200\text{-}1600 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiğini belirtmektedir. Normal kum için bulunan gevşek birim hacim ağırlık değerleri literatürde verilen değerlere uygunluk göstermektedir. Hafif agregalar için Anonymous (1986a)'da öngörülen fırın-kuru gevşek birim hacim ağırlıkları iri ve ince agrega için sırasıyla 1000 kg/m^3 , 1200 kg/m^3 olarak verildiğinden, tuf kumu için elde edilen değerler ise literatürde verilenlere yaklaşık uygunluk göstermektedir.

Çizelge 4.10. Hafif agregalar, normal ve tuf kumu için gevşek birim hacim ağırlık değerleri

Agrega ocakları	Agrega granülometrisi	Tane sınıfları	Ölçü kabı boş ağırlığı (W_a) (kg)	Ölçü kabı hacmi (V) (m^3)	Kap+örnek ağırlığı (W_b) (kg)	Agreganın net ağırlığı (W_b-W_a) (kg)	Gevşek birim hacim ağırlık (B_g) (kg/m^3)
Van-Erciş	Doğal	İri (4/16)	5.980	0.00279	7.090	1.110	398
		İnce (0/4)	5.980	0.00279	7.584	1.604	575
		Karışık	5.980	0.00279	7.480	1.500	538
	Ayarlanmış	8/16	5.980	0.00279	7.037	1.057	379
		4/8	5.980	0.00279	7.141	1.161	416
		0/4	5.980	0.00279	7.584	1.604	575
Erzurum-Pasinler	Doğal	İri (4/16)	5.980	0.00279	7.319	1.339	480
		İnce (0/4)	5.980	0.00279	7.626	1.646	590
		Karışık	5.980	0.00279	7.576	1.596	572
	Ayarlanmış	8/16	5.980	0.00279	7.214	1.234	437
		4/8	5.980	0.00279	7.333	1.353	485
		0/4	5.980	0.00279	7.626	1.646	590
Normal kum		İri (4/8)	5.980	0.00279	10.134	4.154	1489
		İnce (0/4)	5.980	0.00279	10.123	4.143	1485
Tuf kumu		İri (4/8)	5.980	0.00279	8.736	2.756	988
		İnce (0/4)	5.980	0.00279	9.370	3.390	1215

Sünger taşı ve volkan tüfü karışımından oluşan agreganın birim ağırlıklarının, 400-960 kg/m^3 arasında (Turgutalp 1978) olduğu belirtildiğinden, araştırma sonucunda bulunan değerlerde buna uygunluk göstermektedir. Araştırma konusu olan agregaya ile Akman ve Taşdemir (1977)'de de belirtildiği gibi kısmen yalıtım betonu ve çoğunlukla orta derecede dayanımlı beton yapımı olanağı bulunmaktadır. Elde edilen verilere göre, deneme konusu olan hafif agregalar ile duvar birimleri (dolu blok, briket ve daha büyük prefabrik elemanlar) betonlarının yapımı olanaklı olduğu söylenebilir.

4.1.3. Zararlı Maddeler

Araştırmada kullanılan hafif agregaya ve kumlarda organik maddenin belirlenmesi Anonymous (1982)'a göre yapılmış ve deney sonucu standart ölçüt (referans) renkle karşılaştırıldığında su renginde bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla hafif agregaya ve kumların organik madde içeriği yönünden uygun olduğu saptanmıştır.

Anonymous (1980c)'a göre saptanan ince maddenin ağırlık olarak oranı, Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler hafif agregalarının iri kısmında sırasıyla %2.1 ve %2.3, ince agregalarda ise sırasıyla %3.5 ve %3.8 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11). Yıkanabilir ince madde oranı, iri ve ince agrega için Anonymous (1986a)'da sırası ile verilen maksimum limiti olan %3 ve %5 değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Piyasadaki beton blok atölyelerince normal ve tuf kumunun iri ve incesi birlikte kullanıldığından ince madde oranları ayrı ayrı belirlenmiştir. Normal ve tuf kumunun yıkanabilir ince madde oranı iri kumda sırasıyla %1.1 ve %2.9, ince kumda ise sırasıyla %1.5 ve %3.5 olup (Çizelge 4.12), bu değerler normal iri ve ince agrega için Anonymous (1980c)'da sırasıyla %0.5-2 ve %3-4 olarak verilen maksimum limit değerlerinin altında ve tuf agregası için ise Anonymous (1986a)'da maksimum limit %3-%5 olarak verilen değerlerin altında olduğu görülmektedir.

Sülfat miktarının belirlenmesi Anonymous (1981a)'a göre yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Van-Erciş için %0.146, Erzurum-Pasinler için %0.086 ve tuf kumu için %0.64 olup (Çizelge 4.13), bulunan bu değerlerin Anonymous (1986a) standardında verilen %1 limitinin altında olduğu belirlenmiştir. Normal kumda ise sülfata rastlanmamıştır.

Çizelge 4.11. Hafif agregalar için ince madde oranı değerleri

Agrega ocakları	Agrega özelliği	
	Yıkanabilen ince madde oranı (%)	
	İnce agrega	İri agrega
Van-Erciş	3.5	2.1
Erzurum-Pasinler	3.8	2.3

Çizelge 4.12. Normal ve tuf agregası için ince madde oranı değerleri

Agrega ocakları	Agrega özelliği	
	Yıkanabilen ince madde oranı (%)	
	İnce kum	İri kum
Normal kum	1.5	1.1
Tuf kumu	3.5	2.9

Çizelge 4.13. Hafif agregalarda sülfat miktarı değerleri

Agrega ocakları	0.09 mm elekten geçen numune ağırlığı (W_0)(g)	Krozenin ağırlığındaki artma (W_1)(g)	Agreganın sülfat miktarı (%)
Van-Erciş	1.0064	0.0043	0.146
Erzurum-Pasinler	1.000	0.00250	0.086
Tüf kumu	1.0056	0.01876	0.64

4.1.4. Özgül Ağırlık ve Su Emme

Anonymous (1980d)'da belirtildiği şekilde hem hafif agregada hemde normal ve tüf kumu için yapılan kuru özgül ağırlık (γ_k), doymun kuru yüzey özgül ağırlık (γ_d) ve görünen özgül ağırlık (γ_g) değerleri belirlenmiştir. Hafif ince agregaların, kuru özgül ağırlıkları Van-Erciş için 0.95 ve Erzurum-Pasinler için 0.80 , doymun kuru yüzey ağırlıkları sırasıyla 1.27 ve 1.06, görünen özgül ağırlıklarının ise sırasıyla 1.40 ve 1.08 olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.14). Normal ve tüf kumunun kuru özgül ağırlıkları sırasıyla 2.38 ve 2.06, doymun kuru yüzey ağırlıkları sırasıyla 2.46 ve 2.19 görünen özgül ağırlıklarının ise sırasıyla 2.60 ve 2.37 olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Agregalar için özgül ağırlık ve su emme değerleri

Agrega ocakları	Özgül ağırlık değerleri						Su emme oranı (%)	
	Kuru özgül ağırlık (γ _k)		Doygun kuru-yüzey özgül ağırlık (γ _d)		Görünen özgül ağırlık (γ _g)			
	Ince agrega	İri agrega	Ince agrega	İri agrega	Ince agrega	İri agrega	Ince agrega	İri agrega
Van-Erciş	0.95	0.76	1.27	1.05	1.40	1.14	28	41
Erzurum-Pasinler	0.80	0.86	1.06	1.12	1.08	1.13	44	36
Normal kum	2.38	2.45	2.46	2.53	2.60	2.67	3.66	3.34
Tüf kumu	2.06	1.59	2.19	1.84	2.37	2.12	5.71	15.57

İri ve ince hafif agregaların ilk nem durumu ve su emme sürelerine göre özgül ağırlık faktörü büyük değişiklikler göstermektedir. Bu bakımdan doymuş, yüzey-kuru esasa göre hafif agregaların özellikle ince tanelerin özgül ağırlık faktörü doğrulukla saptanamamakta (Hanson 1968), beton karışımlarında bu durum büyük güçlükler ortaya çıkarmaktadır (Turgutalp 1978). Bu sakıncaları gidermek için hafif beton karışımlarının su-çimento oranı esasına göre hazırlanması yerine, karışım suyunun doğrulukla saptanabilmesini sağlayan, agreganın nem durumu ve suda kalma sürelerine göre değişen bir faktör olan özgül ağırlık faktörlerinin bulunması ve karışım oranlarının buna göre yapılması gerekmektedir. Agreganın piknometre ile bulunan özgül ağırlık faktörleri beton karışım hesaplarında doğrulukla kullanılabilen bir ölçüt olmaktadır (Anonymous 1972). Araştırmada elde edilen beton blokların karışım hesaplarında, hafif agregaların karışıma katıldığı andaki 10 dakikalık piknometre özgül ağırlık faktörleri kullanılmıştır (Anonymous 1991).

Hafif agreganın özgül ağırlık faktörü değerleri; 0/4, 4/8, 8/16, 4/16 tane sınıfları için Van-Erciş hafif agregasında sırasıyla 1.33, 0.97, 0.86 ve 0.95; Erzurum-Pasinler agregasında ise 1.38, 1.17, 1.12, 1.14 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Hafif agregalar için özgül ağırlık faktörü değerleri

Tane sınıfları	Agrega ocakları	
	Van-Erciş	Erzurum-Pasinler
0/4	1.33	1.38
4/8	0.97	1.17
8/16	0.86	1.12
4/16	0.95	1.14

Çizelge 4.15 incelendiğinde ince agreganın özgül ağırlık faktörü değerlerinin, iri agregalardan fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç Teychenne (1968)'nin saptamış olduğu hafif agregada ince tane özgül ağırlık faktörünün iri tane özgül ağırlık faktöründen daha fazla olabileceği sonucunu doğrulamaktadır.

İnce ve iri hafif agregaların su emme değerleri; Van-Erciş agregasında sırasıyla %28 ve %41, Erzurum-Pasinler agregasında ise % 44 ve %36 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14). Normal ve tuf kumunda ise ince ve iri kısımlarının su emme değerleri sırasıyla, normal kumda %3.7 ve %3.4, tuf kumunda ise %5.7 ve %15.6'dır (Çizelge 4.14). Anonymous (1978)'da ince ve iri hafif agregaların su emmelerinin sırası ile %20 ve %30 dolayında olduğu belirtilmektedir. Hafif agregalar için bulunan değerler standartlarda verilen değerlerin genelde üzerinde çıkmıştır. Agreganın su emmesi boşluk oranı ile orantılıdır. Bu da hafif agrega için bir sakıncadır.

Sonuç olarak, bu çalışmaya konu olan hafif agregaların fazla su emmesinin sakıncalı yönleri olmakla birlikte, genel özellikleri standartların önerdiği limitler içinde kaldığı ve hafif beton blok yapımında kullanılabileceği söylenebilir.

4.2. Beton Özellikleri

Bu bölümde araştırmaya konu olan hafif agrega ile farklı dört çimento dozajıyla üretilen taze beton blok örneklerin birim hacim ağırlığı ile sertleşmiş beton blok örneklerinin birim hacim ağırlık, 28 günlük basınç dayanımları, donma-çözülme dayanıklılığı, ısı iletkenliği, su emme, şekil ve gönyeden sapma, boyut ve toleranslar gibi fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin değerler verilmiştir.

Betonla ilgili değerlendirmeler yapılırken grafikler EXCEL ve STATISTICA programlarında çizilmiş, deneysel verilerin istatistiksel hesapları ise SPSS programında yapılmıştır.

4.2.1 Birim Hacim Ağırlık

Denemelerde kullanılan farklı granülometrilili, benzer dozajlı hafif betonların teorik ve gerçek taze birim hacim ağırlıkları arasında düşük dozajlarda önemli farklılıklar bulunmuş, teorik birim hacim ağırlıklar $1311-1554 \text{ kg/m}^3$, gerçek taze birim hacim ağırlıkları da $1154-1450 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmiştir (Çizelge 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23). Taze betonun gerçek birim hacim ağırlığıyla teorik birim hacim ağırlık arasındaki fark, düşük dozajlarda daha fazla görülmüştür. Bunun nedeni betonun katı kıvamda olması, çimento dozajının yetersizliği ve briket makinasının sıkıştırma oranının da sabit olması nedeniyle boşlukların yeterince doldurulmadığından ileri geldiği söylenebilir. İhtiyaroğlu (1974)'na göre katı kıvamda yapılan beton bloklarda, karışımlar optimum agrega gradasyonlarıyla yapılsalar dahi, agrega taneleri arasında fazla boşluklar kalır. Genel olarak katı kıvamdaki karışımların sıkıştırılmaları çok zor olduğu gibi yine de bloklarda fazla boşlukların önlenmesine engel olunamaz.

Sertleşmiş beton blokların 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlıkları; Van-Erciş agregasının doğal granülometrisi ile 150, 200, 250 ve 300 kg/m^3 dozajlı tuf kumu karışimli olanlarda sırasıyla 586, 617, 667 ve 731 kg/m^3 ; normal kum karışimli olanlarda ise aynı dozaj sırasıyla 594, 654, 687 ve 751 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Erzurum-Pasinler agregasının doğal granülometrisiyle 150, 200, 250 ve 300 kg/m^3 dozajlı tuf kumu karışimli beton blokların birim hacim ağırlıkları sırasıyla 630, 685, 715 ve 735 kg/m^3 ; normal kum karışimli olanlarda da 663, 700, 728 ve 747 kg/m^3 'dür. Van-Erciş agregasının tuf kumu karışimli ayarlanmış granülometrisiyle elde edilen beton blokların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 575, 600, 641 ve 689 kg/m^3 ; normal kum karışimli olanlarda ise 581, 645, 681 ve 712 kg/m^3 ; Erzurum-Pasinler agregasının tuf kumu karışimli ayarlanmış granülometrisinde de 624, 683, 710 ve 725 kg/m^3 ; normal kum karışimlilerde da 660, 695, 719 ve 743 kg/m^3 olarak saptanmıştır (Çizelge 4.24).

Piyasada en fazla üretim yapan A, B ve C atölyelerinden alınan sertleşmiş beton blokların birim hacim ağırlık değerleri de sırasıyla 650, 552 ve 566 kg/m^3 olarak saptanmıştır (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.16. Doğal granülometrilili hafif agregalarla üretilen 150 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Erciş hafif agregası				Erzurum-Pasinler hafif agregası			
	Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	50.8	153.4	51	154.02	49	147.98	49	147.98
Su	243.4	243.4	235	235	261	261	253	253
Tane sınıfı								
İri ag.(4/16)	183.51	174.33	185.64	176.36	310.50	353.97	314.10	358.07
İnce ag.(0/4)	395.25	525.68	385.56	512.79	248.40	342.79	244.30	337.13
Kum (0/4)	127.04	281.17	142.80	359.47	131.10	290.15	139.60	351.42
Özgül ağırlık faktörü								
Tane sınıfı								
İri agrega	0.95		0.95		1.14		1.14	
İnce agrega	1.33		1.33		1.38		1.38	
Kum	2.19		2.46		2.19		2.46	
Doygun kuru y.öz.ağ.								
Tane sınıfı								
İri agrega	15.6		15.6		5.89		5.89	
İnce agrega	12.06		12.06		7.44		7.44	
Kum	1.06		2.33		1.06		2.33	
Nem içeriği(%)								
Taze beton teorik birim hacim ağ. (kg/m ³)	1378		1438		1396		1448	
Taze beton gerçek birim hacim ağ. (kg/m ³)	1160		1203		1275		1300	

Çizelge 4.17. Doğal granülometreli hafif agregalarla üretilen 200 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Erciş hafif agregası				Erzurum-Pasinler hafif agregası			
	Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	68	205.36	67	202.34	66	199.32	66	199.32
Su	233	233	228	228	253	253	248	248
Tane sınıfı								
İri ag.(4/16)	181.74	172.65	183.30	174.14	306.45	349.35	308.70	351.92
İnce ag.(0/4)	391.44	520.62	380.70	506.33	245.16	338.32	240.10	331.34
Kum (0/4)	125.82	278.47	141.00	354.94	129.39	286.37	137.20	345.38
Özgül ağırlık faktörü								
Tane sınıfı								
İri agrega	0.95	0.95			1.14	1.14		1.14
İnce agrega	1.33	1.33			1.38	1.38		1.38
Kum	2.19	2.19			2.19	2.19		2.46
Doygun kuru y.öz.ağ.								
Tane sınıfı								
İri agrega	15.6	15.6	15.6	15.6	5.89	5.89		5.89
İnce agrega	12.06	12.06	12.06	12.06	7.44	7.44		7.44
Kum	1.06	1.06	2.33	2.33	1.06	1.06		2.33
Taze beton teorik birim hacim ağ. (kg/m ³)	1410	1410	1466	1466	1426	1426	1476	1476
Taze beton gerçek birim hacim ağ. (kg/m ³)	1225	1225	1309	1309	1323	1323	1352	1352

Çizelge 4.18. Doğal granülometrilili hafif agregalarla üretilen 250 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Erciş hafif agregası				Erzurum-Pasinler hafif agregası			
	Erzurum-Pasinler Tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	84	253.68	84	253.68	83.40	251.87	82.78	250
Su	228	228	221	221	245	245	240	240
Tane sınıfı	İri ag.(4/16)	169.94	180.70	171.67	302.22	344.53	304.75	347.41
	İnce ag.(0/4)	512.42	375.30	499.15	241.78	333.65	237.02	327.10
	Kum (0/4)	123.84	139.00	349.91	127.60	282.41	135.44	340.96
Özgül ağırlık faktörü	Tane sınıfı	0.95	0.95	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
	İri agreg	1.33	1.33	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
	İnce agreg	2.19	2.46	2.46	2.19	2.19	2.46	2.46
Doygun kuru y.öz.ağ.	Kum	15.6	15.6	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89
Nem içeriği(%)	İri agreg	12.06	12.06	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44
	İnce agreg	1.06	2.33	1.06	1.06	1.06	2.33	2.33
	Kum	1438	1495	1457	1457	1457	1505	1505
Taze beton teorik birim hacim ağ. (kg/m ³)		1315	1385	1345	1345	1345	1398	1398
Taze beton gerçek birim hacim ağ. (kg/m ³)								

Çizelge 4.19. Doğal granülometrilili hafif agregalarla üretilen 300 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Erciş hafif agregası				Erzurum-Pasinler hafif agregası			
	Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	100	302	100	302	100	302	99	298.98
Su	221	221	212	212	241	241	234	234
Tane sınıfı	İri ag.(4/16)	176.54	178.88	169.94	296.55	338.07	300.15	342.17
	İnce ag.(0/4)	380.24	371.52	494.12	237.24	327.39	233.45	322.16
	Kum (0/4)	122.22	137.60	346.38	125.21	277.12	133.40	335.81
Özgül ağırlık faktörü	Tane sınıfı							
	İri agreg	0.95	0.95		1.14		1.14	
	İnce agreg	1.33	1.33		1.38		1.38	
Doygun kuru y.öz.ağ.	Kum	2.19	2.46		2.19		2.46	
Nem içeriği(%)	Tane sınıfı							
	İri agreg	15.6	15.6		5.89		5.89	
	İnce agreg	12.06	12.06		7.44		7.44	
	Kum	1.06	2.33		1.06		2.33	
Taze beton teorik birim hacim ağ. (kg/m ³)		1467	1524		1486		1533	
Taze beton gerçek birim hacim ağ. (kg/m ³)		1395	1450		1405		1440	

Çizelge 4.20. Ayarlanmış granülometrilili hafif agregalarla üretilen 150 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Ercis hafif agregası				Erzurum-Pasinler hafif agregası			
	Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	49.96	150.88	50.25	151.76	49.40	149.19	49.42	149.25
Su	236.18	236.18	226.49	226.49	254.50	254.50	244.53	244.53
Tane sınıfı	(8/16)	178.47	180.82	155.50	153.14	171.52	155.33	173.97
	(4/8)	171.33	173.58	168.37	167.07	195.47	162.39	189.99
	(0/4)	228.43	303.82	298.20	229.71	317.00	232.10	321.54
	Kum (0/4)	135.63	300.19	364.14	146.18	323.53	155.33	391.02
Özgül ağırlık faktörü	Tane sınıfı							
	(8/16)	0.86	0.86		1.12		1.12	
	(4/8)	0.97	0.97		1.17		1.17	
	(0/4)	1.33	1.33		1.38		1.38	
Doygun kuru y.öz.ağ.	Kum(0/4)	2.19	2.46		2.19		2.46	
Nem içeriği(%)	Tane sınıfı							
	(8/16)	15.8	15.8		6.3		6.3	
	(4/8)	15.4	15.4		5.4		5.4	
	(0/4)	12.06	12.06		7.44		7.44	
	Kum(0/4)	1.06	2.33		1.06		2.33	
Taze beton teorik birim hacim ağ. (kg/m ³)		1311	1364		1411		1470	
Taze beton gerçek birim hacim ağ. (kg/m ³)		1154	1178		1270		1290	

Çizelge 4.21. Ayarlanmış granülometritli hafif agregalarla üretilen 200 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Erciş hafif agregası				Erzurum-Pasinler hafif agregası			
	Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	66.90	202.04	67.03	202.43	66.7	201.43	66.36	200.41
Su	227.27	227.27	220.65	220.65	244.70	244.70	238.48	238.48
Tane sınıfı	(8/16)	176.46	178.08	153.15	151.49	169.67	152.92	171.29
	(4/8)	169.40	170.96	165.83	165.26	193.36	159.88	187.07
	(0/4)	225.87	220.82	293.69	227.24	313.59	229.40	316.58
	Kum (0/4)	134.10	142.46	358.63	144.61	320.04	152.92	384.99
Özgül ağırlık faktörü	Tane sınıfı							
	(8/16)	0.86	0.86		1.12	1.12	1.12	1.12
	(4/8)	0.97	0.97		1.17	1.17	1.17	1.17
	(0/4)	1.33	1.33		1.38	1.38	1.38	1.38
Doygun kuru y.öz. ağırlığı	Kum(0/4)	2.19	2.46		2.19	2.19	2.46	2.46
Nem içeriği(%)	Tane sınıfı							
	(8/16)	15.8	15.8		6.3	6.3	6.3	6.3
	(4/8)	15.4	15.4		5.4	5.4	5.4	5.4
	(0/4)	12.06	12.06		7.44	7.44	7.44	7.44
	Kum(0/4)	1.06	2.33		1.06	1.06	2.33	2.33
Taze beton teorik birim hacim ağırlığı (kg/m ³)		1343		1394		1443		1499
Taze beton gerçek birim hacim ağırlığı (kg/m ³)		1189		1254		1315		1341

Çizelge 4.22. Ayrılanmış granülometreli hafif agregalarla üretilen 250 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Erciş Hafif Agregası				Erzurum-Pasinler Hafif Agregası			
	Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	84.04	253.80	83.62	252.53	83.03	250.75	83.45	252.02
Su	218.27	218.27	212.12	212.12	237.72	237.72	233.87	233.87
Tane sınıfı	(8/16)	174.42	176.06	151.42	149.45	167.37	150.19	168.21
	(4/8)	167.45	169.03	163.95	163.03	190.73	157.02	183.71
	(0/4)	223.26	218.32	290.37	224.15	309.33	225.28	310.89
	Kum (0/4)	132.56	140.85	354.57	142.65	315.70	150.19	378.07
Özgül ağırlık faktörü	Tane sınıfı							
	(8/16)	0.86	0.86	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
	(4/8)	0.97	0.97	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	(0/4)	1.33	1.33	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
Doygun kuru y.öz.ağ.	Kum(0/4)	2.19	2.46	2.19	2.19	2.19	2.46	2.46
Nem içeriği(%)	Tane sınıfı							
	(8/16)	15.8	15.8	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
	(4/8)	15.4	15.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
	(0/4)	12.06	12.06	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44
	Kum(0/4)	1.06	2.33	1.06	1.06	1.06	2.33	2.33
Taze beton teorik birim hacim ağ. (kg/m ³)		1375	1425	1472	1472	1472	1527	1527
Taze beton gerçek birim hacim ağ. (kg/m ³)		1298	1348	1336	1336	1336	1383	1383

Çizelge 4.23. Ayrılanmış granülometreli hafif agregalarla üretilen 300 kg/m³ dozajlı betonlar için karışım oranları ve taze beton birim hacim ağırlık değerleri

	Van-Erciş Hafif Agregası				Erzurum-Pasinler Hafif Agregası			
	Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı		Erzurum-Pasinler tüf kumu karışımı		Erzurum-Horasan normal kumu karışımı	
	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)	Ağırlık (kg)
Gerçek çimento dozajı	100.54	303.63	100.34	303.03	100.35	303.06	99.74	301.21
Su	210.53	210.53	202.02	202.02	232.32	232.32	226.91	226.91
Tane sınıfı	(8/16)	148.12	174.41	149.99	146.81	164.43	148.13	165.91
	(4/8)	160.38	167.43	162.41	160.16	187.39	154.88	181.20
	(0/4)	293.21	216.27	287.64	220.22	303.90	222.21	306.64
	Kum (0/4)	289.70	139.53	351.24	140.14	310.16	148.13	372.91
Özgül ağırlık faktörü	Tane sınıfı							
	(8/16)	0.86	0.86	0.86	1.12	1.12	1.12	1.12
	(4/8)	0.97	0.97	0.97	1.17	1.17	1.17	1.17
	(0/4)	1.33	1.33	1.33	1.38	1.38	1.38	1.38
Doygun kuru y.öz.ağ.	Kum(0/4)	2.19	2.46	2.46	2.19	2.46	2.46	2.46
Nem içeriği(%)	Tane sınıfı							
	(8/16)	15.8	15.8	15.8	6.3	6.3	6.3	6.3
	(4/8)	15.4	15.4	15.4	5.4	5.4	5.4	5.4
	(0/4)	12.06	12.06	12.06	7.44	7.44	7.44	7.44
	Kum(0/4)	1.06	2.33	2.33	1.06	2.33	2.33	2.33
Taze beton teorik birim hacim ağı. (kg/m ³)	1406		1456		1501		1554	
Taze beton gerçek birim hacim ağı. (kg/m ³)	1347		1420		1389		1432	

Çizelge 4.24. Farklı ocaklardan elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrilili beton blokların fırın-kuru 28 günlük birim hacim ağırlıkları

Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Karışıma giren kum çeşitleri	Van-Erciş	Erzurum-Pasinler
			Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)
150	Doğal	Tüf kumu	586	630
		Normal kum	594	663
	Ayarlanmış	Tüf kumu	575	624
		Normal kum	581	660
200	Doğal	Tüf kumu	617	685
		Normal kum	654	700
	Ayarlanmış	Tüf kumu	600	683
		Normal kum	645	695
250	Doğal	Tüf kumu	667	715
		Normal kum	687	728
	Ayarlanmış	Tüf kumu	641	710
		Normal kum	681	719
300	Doğal	Tüf kumu	731	735
		Normal kum	751	747
	Ayarlanmış	Tüf kumu	689	725
		Normal kum	712	743

Çizelge 4.25. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların fırın-kuru 28 günlük birim hacim ağırlıkları

Atölyeler	Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)
A	150	Doğal	650
B	150	Doğal	552
C	150	Doğal	566

Çizelge 4.24'den de görüldüğü gibi hafif beton blokların birim hacim ağırlıklarının her iki grup granülometri bileşiminde de çimento dozajındaki artışla artmaktadır. Ayrıca karışıma katılan normal kumun da tüf kumuna göre beton blokların birim hacim ağırlıklarını artırdığı gözlenmiştir.

Bims agregası ile üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlıkları Anonymous (1986b)'a göre 600-1000 kg/m³ arasında olması gerektiği belirtilmektedir. Anonymous (1988)'a göre ise doğal veya yapay agregalarla (hafif ve normal) üretilen duvar yapımında

kullanılan beton blok ve briketlerin birim hacim ağırlıkları 500-2200 kg/m³ arasında olabileceği belirtilmiştir.

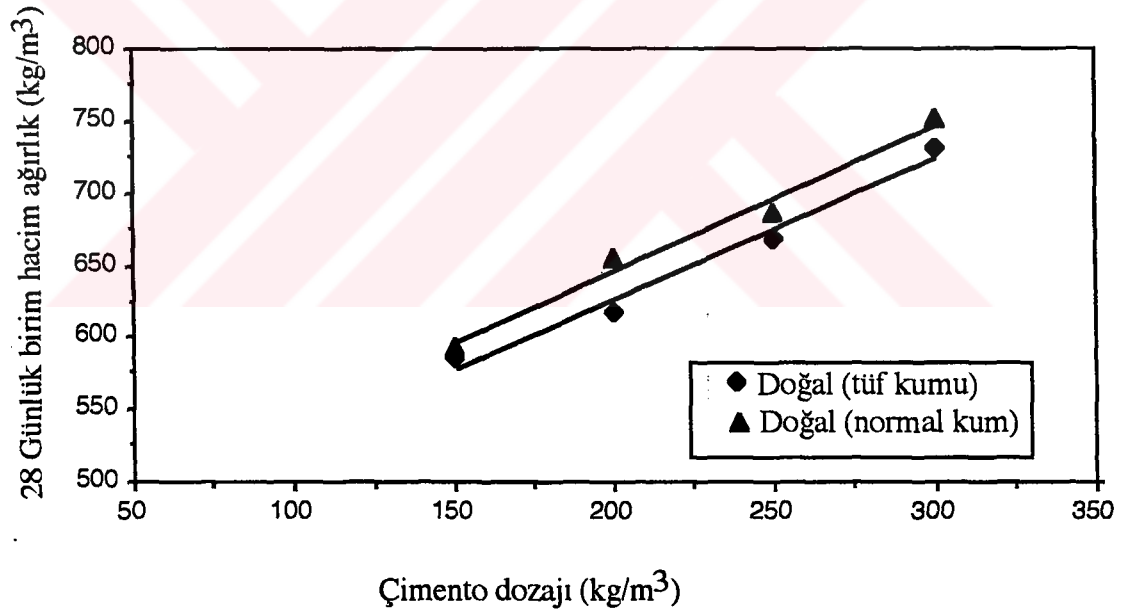
Araştırmada üretilen boşluklu beton blokların fırın-kuru birim hacim ağırlıkları değişen dozajlara bağlı olarak 575-751 kg/m³ arasında değerler almıştır (Çizelge 4.24). Bu değerler boşluklu hafif beton blokların fırın-kuru birim hacim ağırlıkları için öngörülen üst sınırın çok altındadır.

Araştırmadan elde edilen boşluklu hafif beton blokların fırın-kuru birim hacim ağırlıkları ocaklar arasında kıyaslandığında Van-Erciş hafif agregasının 575-751 kg/m³ ve Erzurum-Pasinler hafif agregasının da 624-747 kg/m³ arasında değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre Van-Erciş yöresi hafif agregasıyla üretilen blokların 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlıklarının Erzurum-Pasinler hafif agregası ile üretilen blokların birim hacim ağırlıklarından düşük dozajlarda daha az değerler aldığı, yüksek dozajlarda ise bu değerlerde fazla fark görülmediği saptanmıştır. Bu ise hafif agregaların birim hacim ağırlıklarının farklılığı ve aynı zamanda agrega tanelerinin yüzey şekillerinin de değişik olmasından ileri geldiği söylenebilir. Sükan (1966)'a göre hafif betonların birim hacim ağırlıkları, agregaların birim hacim ağırlığı, betonun sıkılığı ve boşluk yüzdesine göre değişir. Ayrıca agrega içerisinde kusurlu tanelerin fazla miktarda bulunması betonun sıkılığını önemli derecede azaltır (Postacıoğlu 1987).

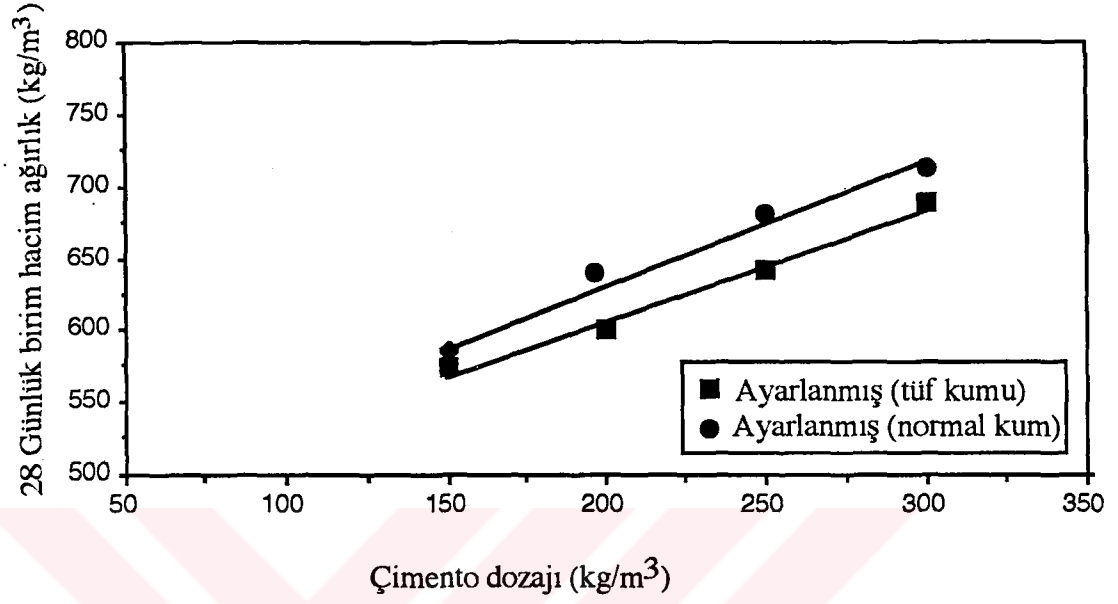
A, B ve C atölyelerince üretilen beton blokların birim hacim ağırlıkları ile araştırma konusu olan beton blokların birim hacim ağırlıkları karşılaştırıldığında, aynı dozaj düzeyinde tuf kumu karışimli piyasada üretilen beton blokların birim hacim ağırlıkları daha düşüktür. Beton blokların birim hacim ağırlıklarının düşük olmasının nedeni sıkıştırmanın yeterli yapılmadığını göstermektedir. Piyasada üretilen normal kum karışimli beton blokların birim hacim ağırlıkları, araştırma konusu olan beton blokların birim hacim ağırlıklarından biraz fazla olmasının nedeni ise üreticilerin normal kumu fazla katmalarından kaynaklanmaktadır.

Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'da, Erzurum-Pasinler agregasına tuf ve

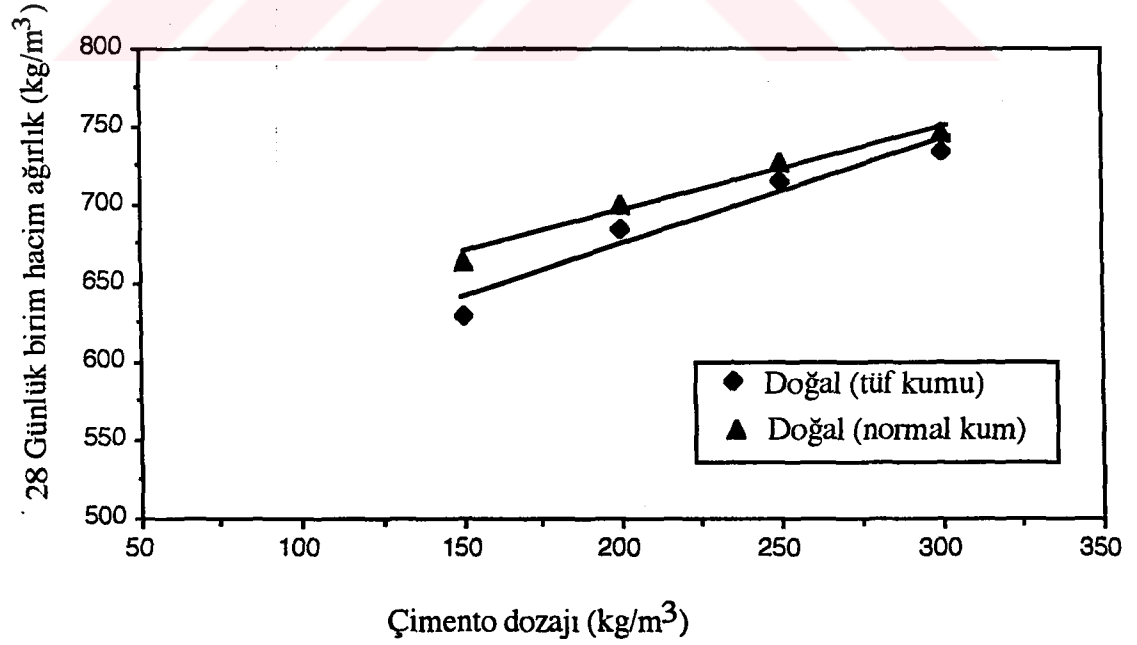
normal kum katılarak elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki ise sırasıyla Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir. Bu ilişkiyi saptamak amacıyla yapılan regresyon ve korelasyon hesaplarının sonuçları ise Çizelge 4. 26'de görülmektedir. Çizelgede doğal ve ayarlanmış agrega granülometrisini içeren beton blokların birim hacim ağırlıkları ile çimento miktarları arasındaki ilişkiyi belirleyen regresyon denklemleri, bunlarla ilgili korelasyon katsayısı (r), regresyon ve korelasyon katsayıları için hesaplanan t değerleri de bulunmaktadır. Hesaplanan regresyon denklemlerinde deneyle saptanan sınır değerler içerisinde beton blokların birim hacim ağırlıklarının (Y), çimento miktarının (X) doğrusal bir işlevi olduğu varsayılmıştır.



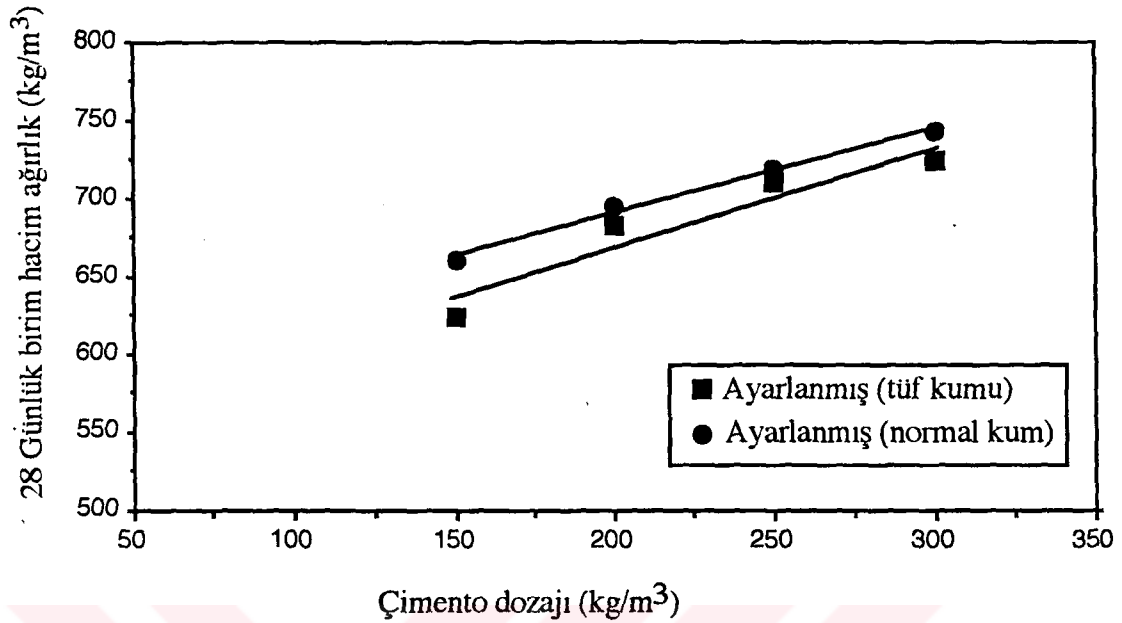
Şekil 4.9. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.10. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.11. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.12. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişki

Çizelge 4.26. Beton blokların 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlıkları (Y) ile çimento miktarı (X) arasındaki ilişki

Kullanılan agregalar	Agrega granülometrisi	Karışım giren kum çeşitleri	Regresyon denklemleri	Korelasyon katsayısı (r)	Korelasyon katsayısı için hesaplanan (t)
Van-Erciş	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.970x + 432$	0.989*	9.274
		Normal kum	$y = 1.012x + 444$	0.993**	12.145
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.766x + 454$	0.991**	10.374
		Normal kum	$y = 0.858x + 462$	0.984*	7.849
Erzurum-Pasinler	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.690x + 536$	0.974*	6.123
		Normal kum	$y = 0.56x + 584$	0.990*	9.838
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.66x + 537$	0.957*	4.648
		Normal kum	$y = 0.546x + 581$	0.995**	14.529

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Çizelge 4.26'da verilen regresyon denklemlerine ilişkin regresyon ve korelasyon katsayıları Van-Erciş doğal tüf kumu, ayarlanmış normal kum, Erzurum-Pasinler doğal

tüf ve normal kum, ayarlanmış tüf kumu granülometri bileşimleri için ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli, Van-Erciş doğal normal kum ve ayarlanmış tüf kumu, Erzurum-Pasinler ayarlanmış normal kum granülometri bileşimleri için de ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmüştür. Bu duruma göre beton blokların birim hacim ağırlıkları ile çimento miktarları arasında belirtilen sınırlar içerisinde kesin, pozitif ve doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır.

Agregaların ocak, kum çeşidi, doğal ve ayarlanmış granülometrilere ve çimento dozajlarının beton blokların 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlıklarına olan etkilerinin saptanması amacıyla yapılan varyans analizi Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Agreg acağı, granülometri, kum çeşidi ve dozajın beton blok birim hacim ağırlığına olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri
Ocak	1	52080.167	775.628**
Granülometri	1	3800.167	56.596**
Kum çeşidi	1	11704.167	174.31**
Dozaj	3	57467.028	855.854**
Ocak x granülometri	1	1441.50	21.468**
Ocak x kum çeşidi	1	216.00	3.217
Granülometri x kum çeşidi	1	66.667	0.993
Ocak x granülometri x kum çeşidi	1	96.00	1.43
Ocak x dozaj	3	2606.806	38.823**
Granülometri x dozaj	3	338.306	5.038**
Ocak x granülometri x dozaj	3	219.694	3.272*
Kum çeşidi x dozaj	3	79.528	1.184
Ocak x kum çeşidi x dozaj	3	827.861	12.329**
Granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	6.25	0.093
Ocak x granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	91.194	1.358
Hata	64	67.146	
Toplam	95		

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Varyans analiz çizelgesi incelendiğinde; farklı agrega ocakları, granülometrilere, kum çeşidi ve çimento dozajının birim hacim ağırlığa olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmektedir. Ocak, granülometri, kum çeşidi ve çimento dozajının kendi aralarındaki ikili etkileşimlerinin birim hacim ağırlığa olan etkileri incelendiğinde de ocak-granülometri, ocak-dozaj ve granülometri-dozaj için ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu, ocak-kum çeşidi, granülometri-kum çeşidi, kum çeşidi-dozaj'ın önemsiz olduğu görülmüştür. Üçlü etkileşimleri incelendiğinde ise ocak-kum çeşidi-dozajın ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) birim hacim ağırlığa etkisinin çok önemli olduğu ve ocak-granülometri-dozajın ise ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli olduğu, diğerlerinin de önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Ocak, granülometri, kum çeşidi ve çimento dozajının dördü bir arada düşünüldüğünde ise birim hacim ağırlığa etkisinin önemsiz olduğu bulunmuştur.

Tarımsal yapılarda genellikle taşıyıcı elemanlarda kullanılan taş, kerpiç ve tuğla gibi malzemelerin birim ağırlıkları üretilen hafif beton blokların birim ağırlıkları ile karşılaştırılırsa, deneme konusu olan beton blokların $575-751 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen birim hacim ağırlıklarının $2600-2800 \text{ kg/m}^3$ arasında değişebilen taşın birim hacim ağırlığından önemli derecede az olduğu görülür (Alkan 1972). Aynı beton blokların, en az 1400 kg/m^3 birim ağırlığa sahip olması gereken ve uygulamada $1600-2500 \text{ kg/m}^3$ arasında üretilen harman tuğlalarının (Anonymous 1976) birim hacim ağırlıklarından da daha hafiftir. Saman katkılı kerpiç birim hacim ağırlıklarının genel olarak $1100-1600 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiği belirtilmektedir (Alkan 1972). Bu değerler üretilen hafif beton blokların birim hacim ağırlıklarından daha hafif değildir. Anonymous (1971)'da çimentolu kerpiç bloklar için birim hacim ağırlıkların $1700-1950 \text{ kg/m}^3$ arasında olması öngörüldüğünden, üretilen hafif beton blokların birim hacim ağırlıklarının bu çeşit duvar yapı malzemelerinden önemli derecede düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

Üretilen hafif beton blokların tarımsal yapılarda çeşitli duvar elamanlarında kullanılmasıyla, yukarıda açıklandığı gibi birim hacim ağırlık bakımından diğer yapı malzemelerine oranla daha düşük birim ağırlık oluşturacağı ve bu yükün kerpiç malzemenin öz ağırlığından daha düşük değerler gösterdiği sonucuna varılır. Bu malzemenin hafifliği yanında, ısı iletkenliği ve donma-çözülmeden etkilenmemesi gibi

üstün özellikleri de göz önüne alınırsa, diğer malzemeye oranla tarımsal yapılarda kullanılmasının daha önemli yararlar sağlayabileceğini kanıtlamaktadır.

Yapıların kütleleri ve dinamik etmenler yüzünden deprem kuvvetleri, yapı statik yüklerinin iki veya üç katı fazla yüke eşdeğer bir kuvvetle etki edebilirler (Tekinsoy 1984). Bu nedenle depreme dayanıklı yapıların başlıca özelliği hafif, elastik basınca dayanımlı malzemeler ile yapılmış olmalarıdır. Hafif beton blokların tarımsal yapılarda taşıyıcı ve bölme duvalarda kullanılmasıyla birim hacim ağırlığının deprem konusunda sağlayacağı olumlu etkiye ek olarak yeterli dayanım ve uygun yapı sisteminin elde edilmesiyle de deprem etkisinin büyük oranda azaltılması söz konusu olmaktadır. Bu durum, araştırmada kullanılan agrega ocaklarının bulunduğu ve büyük kısmı birinci sınıf deprem bölgesine giren Doğu Anadolu Bölgesi'nde (Erzurumlu 1973) tarımsal yapıların yanında diğer yapılar için de özel önem taşımaktadır.

4.2.2. Basınç Dayanımı

Araştırmaya konu olan hafif boşluklu beton blok örneklerinin basınç dayanımları Çizelge 4.28'de gösterilmiştir. Van-Erciş yöresi doğal granülometrilik agrega ile üretilen hafif beton blokların 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımlı olanlarda basınç dayanım değerleri sırasıyla 12.5, 15.9, 21.9 ve 26.3 kgf/cm²; normal kum karışımlı olanlarda aynı dozaj sırasına göre basınç dayanım değerleri ise 12.1, 15.4, 20.9 ve 25.5 kgf/cm²'dir. Erzurum-Pasinler yöresi doğal granülometrilik agrega ile üretilen hafif beton blokların 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımlı olanlarda basınç dayanım değerleri sırasıyla 12.6, 15.7, 20.7 ve 24.1 kgf/cm²; normal kum karışımlı olanlarda ise aynı dozaj sırasına göre 12.3, 15.4, 20.5 ve 23.4 kgf/cm² olarak bulunmuştur. Van-Erciş agregasının ayarlanmış granülometrisi ile tuf kumu karışımlı beton blokların 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ dozajlarındaki basınç dayanım değerleri sırasıyla 12.4, 15.7, 21.4 ve 25.6 kgf/cm²; normal kum karışımlı olanlarda ise aynı dozaj sırasına göre 12.0, 15.3, 20.8 ve 25.4 kgf/cm² olarak belirlenmiştir. Erzurum-Pasinler agregasının ayarlanmış granülometrisi ile tuf kumu karışımlı beton blokların aynı dozaj düzeylerindeki basınç dayanım değerleri sırasıyla 12.3, 15.5, 19.7 ve 23.8 kgf/cm²; normal kum karışımlı olanlarda ise aynı dozajlarda sırasıyla 12.0, 15.2, 19.6 ve 23.2

kgf/cm² olarak saptanmıştır (Çizelge 4.28). Piyasadaki A, B ve C atölyelerinden alınan beton blok betonlarının basınç dayanım değerleri de sırasıyla 11.0, 9.0 ve 9.6 kgf/cm² olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.28. Hafif beton blokların 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerleri

Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Karışıma giren kum çeşitleri	Van-Erciş		Erzurum-Pasinler	
			Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Basınç dayanımı (kgf/cm ²)
150	Doğal	Tüf kumu	586	12.5	630	12.6
		Normal kum	594	12.1	663	12.3
	Ayarlanmış	Tüf kumu	575	12.4	624	12.3
		Normal kum	581	12.0	660	12.0
200	Doğal	Tüf kumu	617	15.9	685	15.7
		Normal kum	654	15.4	700	15.4
	Ayarlanmış	Tüf kumu	600	15.7	683	15.5
		Normal kum	645	15.3	695	15.2
250	Doğal	Tüf kumu	667	21.9	715	20.7
		Normal kum	687	20.9	728	20.5
	Ayarlanmış	Tüf kumu	641	21.4	710	19.7
		Normal kum	681	20.8	719	19.6
300	Doğal	Tüf kumu	731	26.3	735	24.1
		Normal kum	751	25.5	747	23.4
	Ayarlanmış	Tüf kumu	689	25.6	725	23.8
		Normal kum	712	25.4	743	23.2

Çizelge 4.29. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların fırın-kuru 28 günlük birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerleri

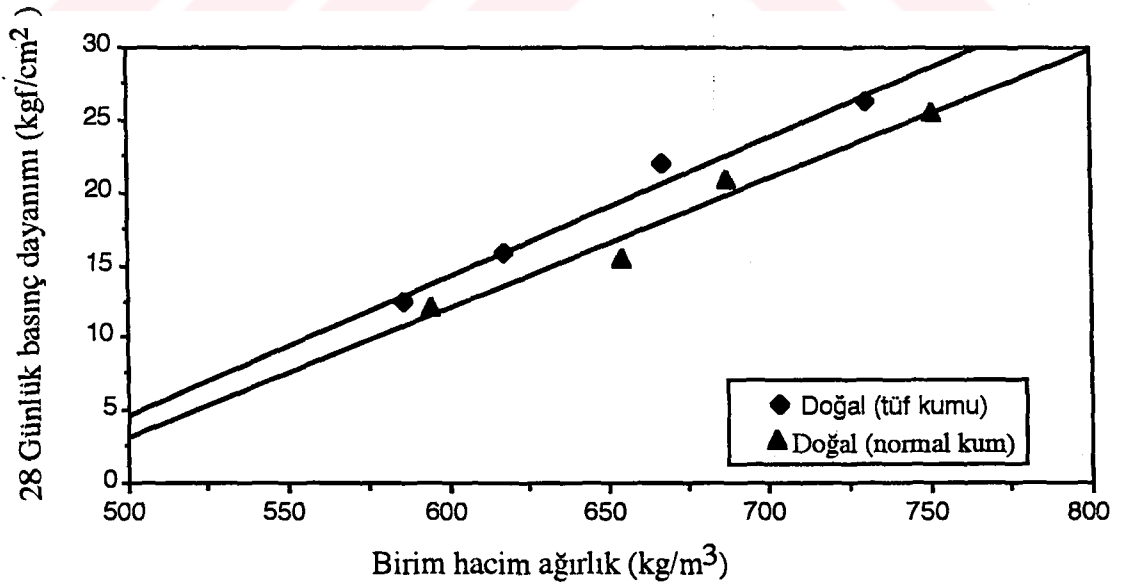
Atölyeler	Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Basınç dayanımı (kgf/cm ²)
A	150	Doğal	650	11
B	150	Doğal	552	9.0
C	150	Doğal	566	9.6

Araştırmada kullanılan doğal granülometriye sahip hafif agregalar ile yapılan beton blokların basınç dayanım değerleri 12.1 kgf/cm² ile 26.3 kgf/cm², ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalar ile yapılan beton bloklarda ise 12.0 kgf/cm² ile 25.6

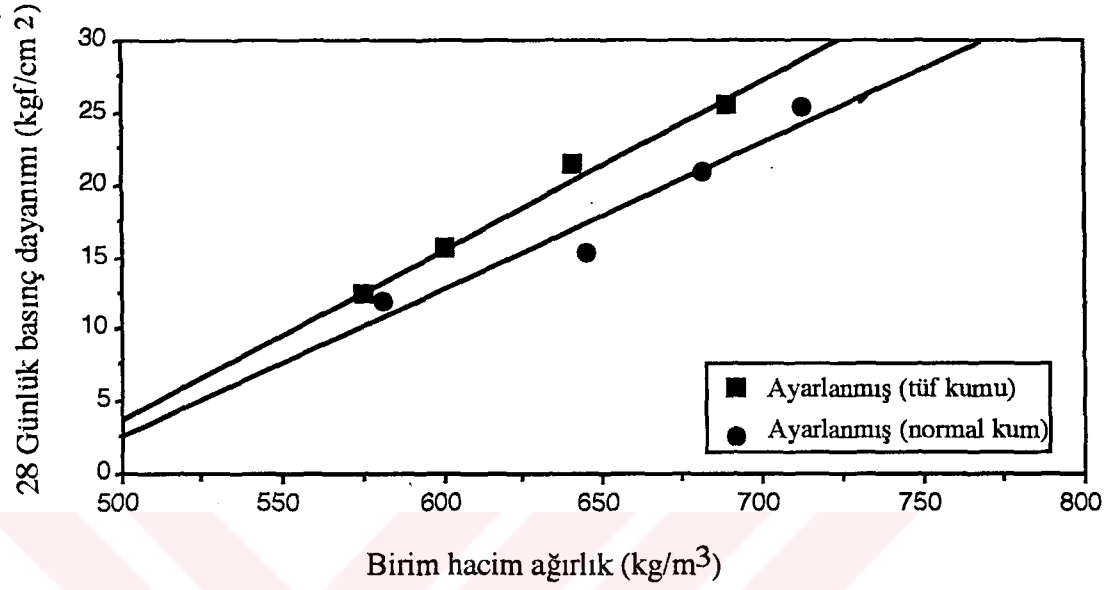
kgf/cm² arasında değişmektedir. Çizelge 4.28'den de görüldüğü gibi aynı agrega ocağı ve çimento dozajı için doğal ve ayarlanmış granülometriye sahip hafif agregalar ile üretilen beton blokların basınç dayanımları arasında önemli farklılık olmamakla birlikte, granülometrisi ayarlanmış olanların basınç dayanım değerleri çok az miktarda düşmüştür. Bu da ayarlanmış granülometrinin doğal granülometriye göre iri agrega oranının fazlalığının beton blokun birim hacim ağırlığını azaltmasından ileri geldiği söylenebilir.

Piyasada üretilen beton blokların basınç dayanımları ise 9-11 kgf/cm² arasında olduğu saptanmıştır. Araştırma konusu olan beton blokların aynı dozaj düzeyinde basınç dayanımlarının piyasada üretilenlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise piyasada üretilen beton blokların yeterince sıkıştırılmaması ve uygun kür koşulların da tutulmamasından ileri geldiği söylenebilir.

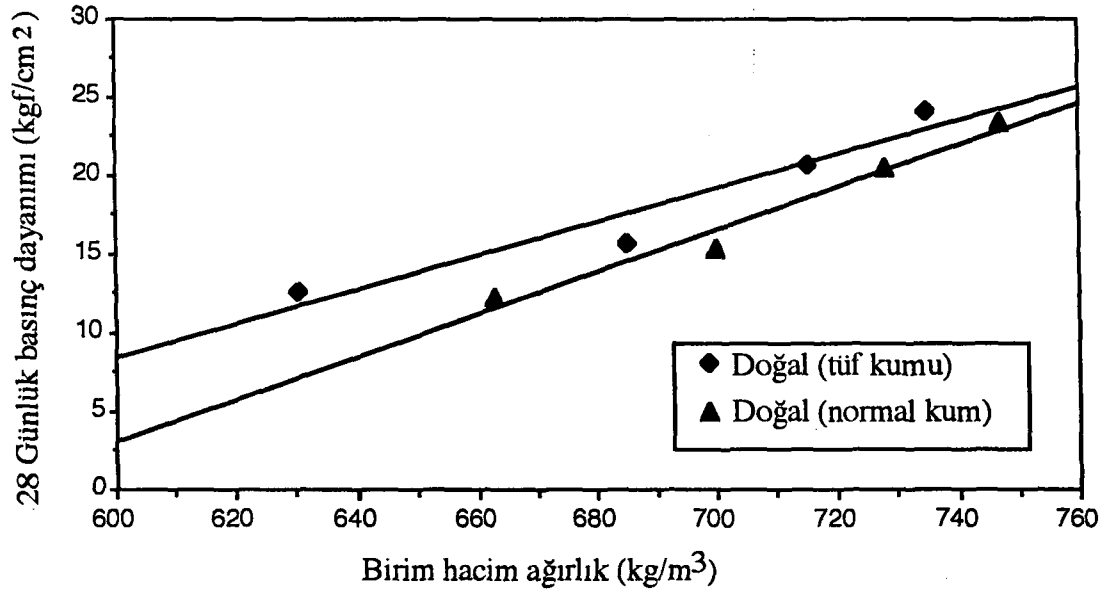
Bu çalışmada elde edilen beton blokların basınç dayanımları ve çimento dozajları ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişkiler Şekil 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20'de verilmiştir.



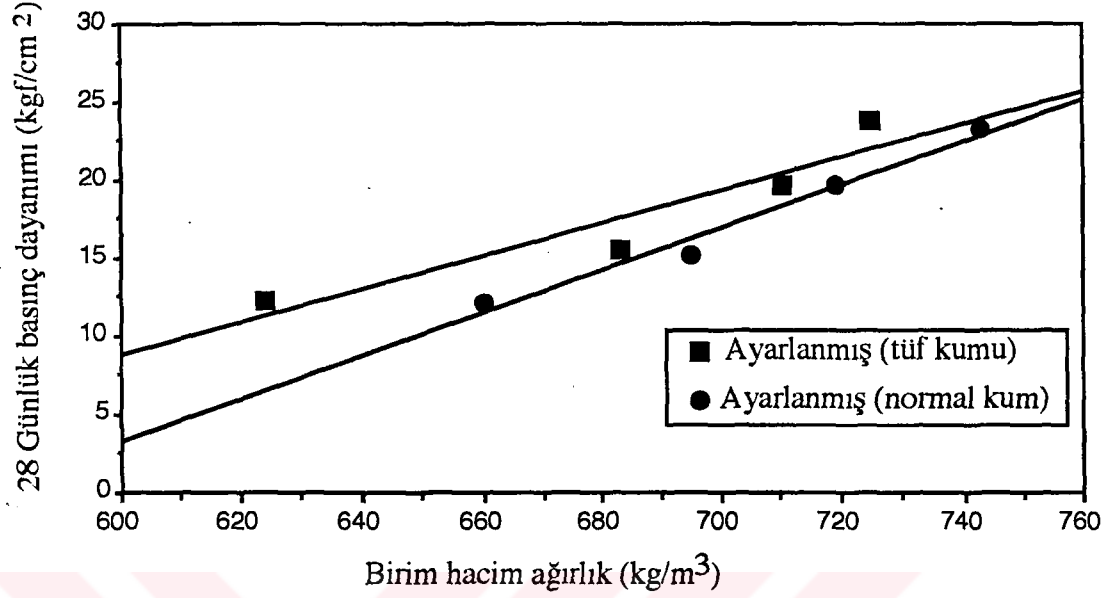
Şekil 4.13. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



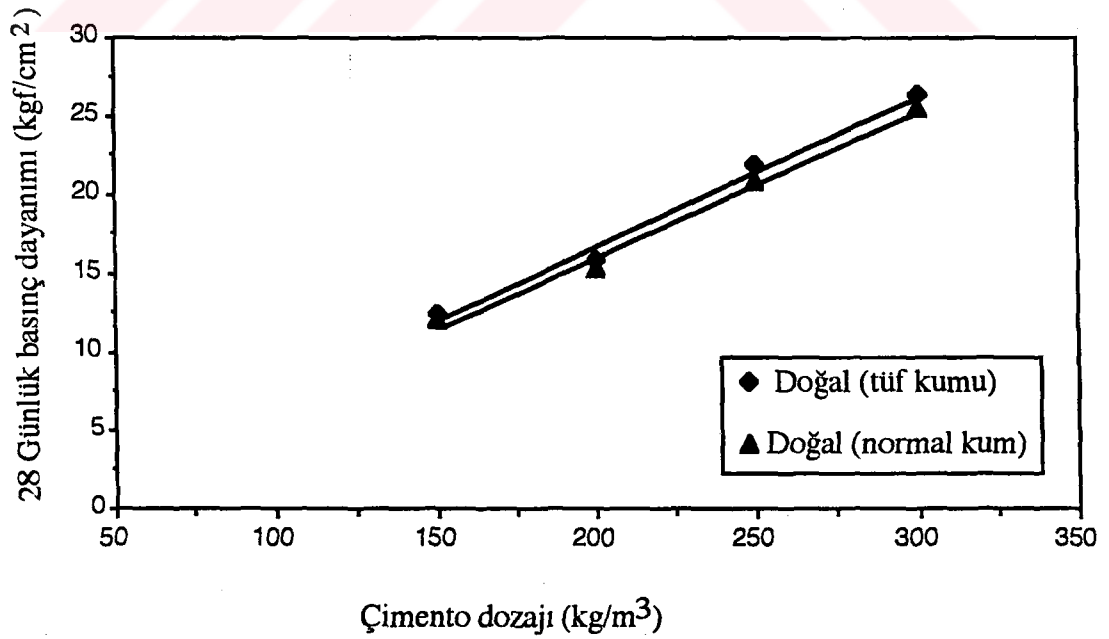
Şekil 4.14. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



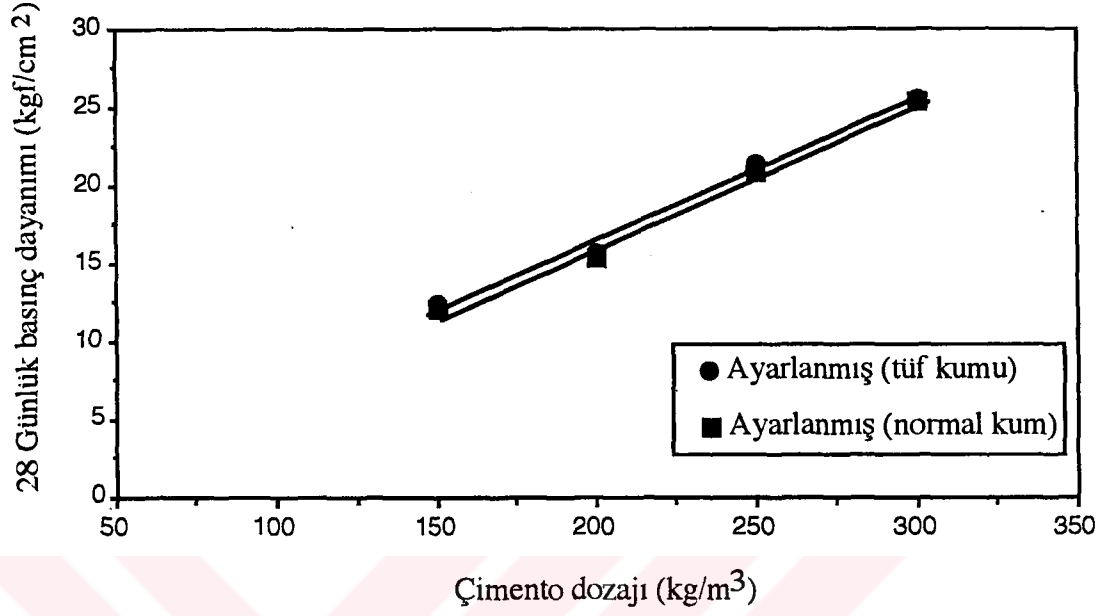
Şekil 4.15. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



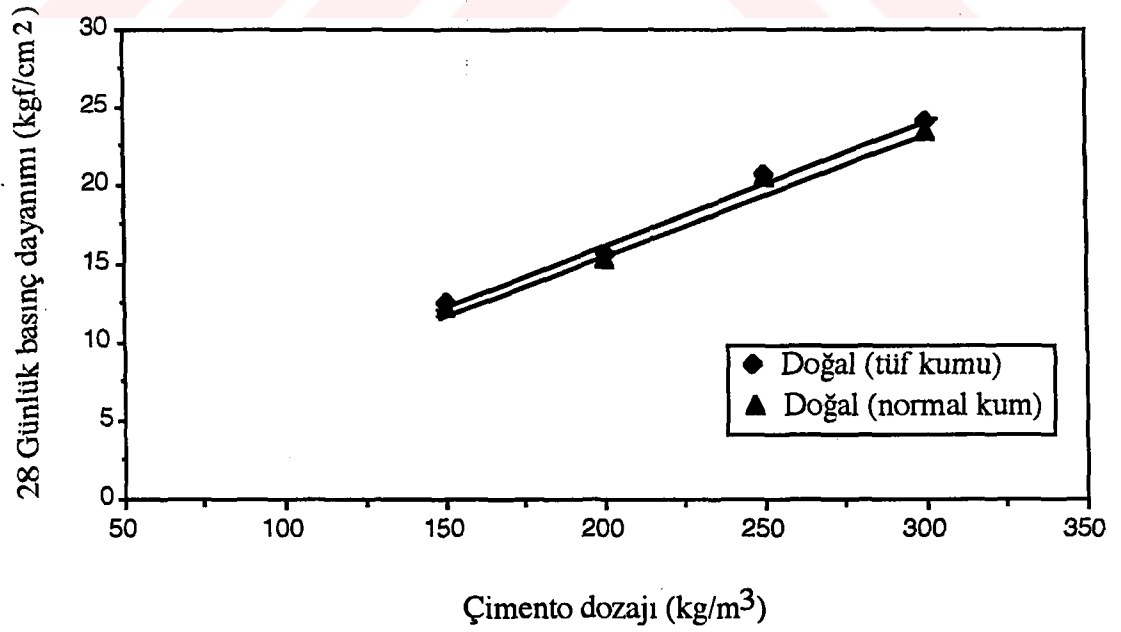
Şekil 4.16. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



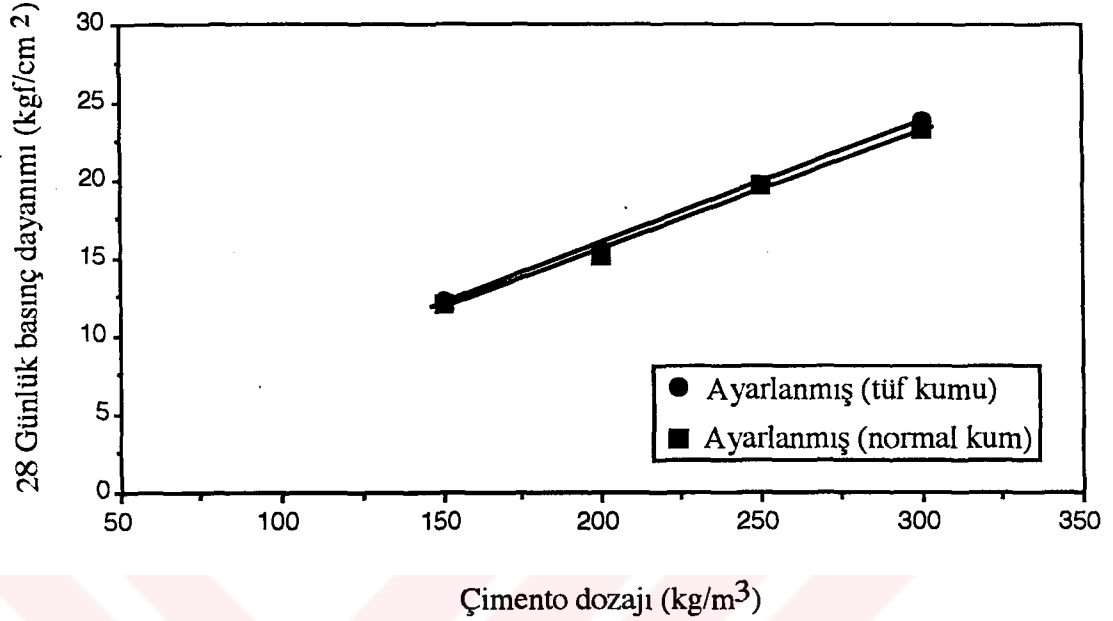
Şekil 4.17. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.18. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.19. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.20. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak elde edilen ayarlanmış granülometrisiyle üretilen boşluklu beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ve çimento dozajı arasındaki ilişki

Doğal ve ayarlanmış agrega granülometrisini içeren beton blokların 28 günlük basınç dayanımları ile ayrı ayrı birim hacim ağırlık ve çimento dozajı arasındaki ilişkiyi belirleyen regresyon denklemleri, bunlarla ilgili korelasyon katsayısı (r), regresyon ve korelasyon katsayıları için hesaplanan t değerleri Çizelge 4.30 ve 4.31'de görülmektedir. Hesaplanan regresyon denklemlerinde deneysel değerleri içeren sınırlar içerisinde beton blokların basınç dayanımları (Y), birim hacim ağırlık ve çimento dozajının (X) doğrusal bir işlevi olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 4.30. Beton blokların basınç dayanımı (Y) ve birim hacim ağırlıkları (X) arasındaki ilişki

Kullanılan agregalar	Agrega granülometrisi	Karışıma giren kum çeşitleri	Regresyon denklemi	Korelasyon katsayısı (r)	Korelasyon katsayısı için hesaplanan (t)
Van-Erciş	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.096x - 43.46$	0.992**	10.833
		Normal kum	$y = 0.089x - 41.20$	0.982*	7.442
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.117x - 54.53$	0.994**	12.958
		Normal kum	$y = 0.102x - 48.20$	0.996*	5.255
Erzurum-Pasinler	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.108x - 56.28$	0.963*	5.048
		Normal kum	$y = 0.135x - 77.59$	0.986*	8.225
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.105x - 54.49$	0.939	3.847
		Normal kum	$y = 0.137x - 79.17$	0.989*	9.550

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Çizelge 4.31. Beton blokların basınç dayanımı (Y) ve çimento dozajı (X) arasındaki ilişki

Kullanılan agregalar	Agrega granülometrisi	Karışıma giren kum çeşitleri	Regresyon denklemi	Korelasyon katsayısı (r)	Korelasyon katsayısı için hesaplanan (t)
Van-Erciş	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.095x - 2.18$	0.995**	14.088
		Normal kum	$y = 0.081x - 2.09$	0.996**	15.208
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.091x - 1.61$	0.995**	14.598
		Normal kum	$y = 0.091x - 2.19$	0.996**	15.208
Erzurum-Pasinler	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.079x + 0.50$	0.996**	15.675
		Normal kum	$y = 0.077x + 0.62$	0.994**	12.857
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.077x + 0.41$	0.998**	23.863
		Normal kum	$y = 0.076x + 0.40$	0.998**	24.579

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

Çizelge 4.30'da verilen regresyon denklemlerine ilişkin regresyon katsayıları ve korelasyon katsayıları Van-Erciş doğal ve ayarlanmış tüf kumu granülometri bileşimleri için ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu, doğal ve ayarlanmış normal kum granülometri bileşimleri için ise ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli; Erzurum-Pasinler doğal ve ayarlanmış normal kum, doğal tüf kumu granülometri bileşimleri için ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli olduğu ve ayarlanmış tüf kumu granülometri bileşimi için ise önemsiz olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla beton blokların basınç dayanımı ile birim hacim ağırlık arasında Erzurum-Pasinler ayarlanmış tüf kumu karışımı hariç kesin pozitif ve doğrusal bir ilişki bulunduğu söylenebilir.

Çizelge 4.31'de verilen regresyon denklemlerine ilişkin regresyon katsayıları ve korelasyon katsayıları doğal ve ayarlanmış granülometri bileşimleri için sırasıyla ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla beton blokların basınç dayanımı ile çimento dozajı arasında kesin pozitif ve doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

Agregaların alındığı ocaklar, granülometri ve çimento dozajının üretilen beton blokların 28 günlük basınç dayanımına olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4. 32. Agreg acağı, granülometri, kum çeşidi ve dozajın 28 günlük basınç dayanımına olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri
Ocak	1	16.286	15.417**
Granülometri	1	2.64	2.499
Kum çeşidi	1	4.762	4.508*
Dozaj	3	721.122	682.668**
Ocak x granülometri	1	0.202	0.191
Ocak x kum çeşidi	1	0.186	0.176
Granülometri x kum çeşidi	1	0.184	0.174
Ocak x granülometri x kum çeşidi	1	0.06	0.057
Ocak x dozaj	3	5.855	5.541**
Granülometri x dozaj	3	0.245	0.232
Ocak x granülometri x dozaj	3	0.177	0.168
Kum çeşidi x dozaj	3	0.061	0.058
Ocak x kum çeşidi x dozaj	3	0.161	0.152
Granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.048	0.045
Ocak x granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.016	0.015
Hata	64	1.056	
Toplam	95		

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Çizelge 4.32 incelendiğinde araştırmaya konu olan agreg acağı ve çimento dozajının 28 günlük basınç dayanımlarına olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli, granülometrinin ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli olduğu ve kum çeşidinin ise önemsiz olduğu görülmektedir. Ocak, granülometri, kum çeşidi ve çimento dozajının kendi arasındaki ikili, üçlü ve dördü etkileşimleri tek tek incelendiğinde de bunların basınç dayanımına olan etkilerinin ocak-dozaj için ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu, diğerlerinin ise önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Hafif betonların agrega çeşidi ve üretim yöntemine bağlı olarak basınç dayanımları 35-420 kgf/cm² arasında ve birim hacim ağırlıkları da 300-1500 kg/m³ arasında değişim gösterebilmektedir (Neville 1973). Boşluklu bims beton blokların basınç dayanımları 20-40 kgf/cm² arasında ve birim hacim ağırlıkları da 600-1000 kg/m³ arasında değişmektedir (Anonymous 1986b).

Altınapa bims agregasıyla elde edilen 200-350 kg/m³ çimento dozajlı dolu briketlerin yaklaşık 20-81 kgf/cm² arasında değişen basınç dayanımları bulunmuştur (Ağırdır 1989). Doğu Beyazıt bims agregasıyla üretilen 200 kg/m³ dozajlı ve birim hacim ağırlığı 571 kg/m³ olan boşluklu beton blokun basınç dayanımı 17.6 kgf/cm² elde edilmiştir (Yaşar ve Pehlevan 1997). Niğde yöresinden elde edilen bims agregasıyla 100-350 kg/m³ çimento dozajlı üretilen boşluklu briketlerin yaklaşık 5-17 kgf/cm² arasında değişen basınç dayanımları saptanmıştır (Erciyes 1963). Çeltik kavuzlu hafif beton briketlerle ilgili yapılan bir çalışmada ise 200-350 kg/m³ çimento dozajlı üretilen dolu briketlerin basınç dayanımları yaklaşık 10-61 kgf/cm² arasında olduğu belirlenmiştir (Tekinsoy 1984). Ayrıca Van-Erciş, Erzurum-Pasinler ve Kars-Sarıkamış hafif agregalarıyla yapılan bir çalışmada, betonların kuru birim hacim ağırlıklarının 1015-1571 kg/m³ arasında olduğu ve basınç dayanım değerlerinin ise 25.5-136 kgf/cm² arasında değiştiği vurgulanmaktadır (Kocaman 2000).

Bu çalışmaya konu olan değişik özelliklerdeki hafif beton blokların basınç dayanımları benzer çalışmalarda elde edilen basınç dayanımları ile uygunluk göstermektedir. Anonymous (1986b)'da boşluklu hafif beton blokların minimum basınç dayanımlarının 20 kgf/cm² olması öngörüldüğünden bu amaç için araştırma materyali ile üretilen hafif beton blokların 250 kg/m³ dozajda bu dayanıma ulaştığı deneysel olarak görülmüştür. Bu nedenle Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler agregalarının doğal ve ayarlanmış granülometreleri ile üretilen beton blokların 250 kg/m³ dozajda 20 kgf/cm² basınç dayanımına ulaşıldığından, üretilecek beton bloklarda bu dozaj düzeyinin altına düşmemesi gerektiği belirlenmiştir.

Farklı granülometri bileşimleri arasında benzer dozaj düzeylerinde istatistiksel olarak önemli farklar saptanmamış olduğundan, uygulama amacı göz önünde tutulduğunda, elde edilen basınç dayanımları, farklı granülometri bileşimleri için önemli derecede ayrılık

göstermemektedir. Araştırma materyalini oluşturan agrega ile doğal durumda beton blok üretimi, betonun en belirgin olan basınç dayanımı bakımından uygundur. Ancak yeterli çimento dozajlarının uygulama amacına göre seçilmesi göz önünde bulundurulmalıdır. Ayarlanmış agrega granülometrisini içeren beton bloklar, benzer dozaj düzeylerine sahip doğal granülometrilik bloklar ile basınç dayanımları bakımından karşılaştırılırsa, ayarlanmış granülometrilik bloklarda iri agregadan dolayı az da olsa basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu bakımdan agrega granülometrisinde tam bir ayarlama yapılması işleminde ortaya çıkan güçlükler ve bunun beton blok ekonomisini olumsuz yönde etkileyeceği düşünülürse, granülometrinin tam ayarlamasının beton blok basınç dayanımında sağlayacağı artış bakımından gereksiz görünmektedir.

Tarımsal yapılar genellikle tek katlı olduğundan, taşıyıcı elemanlarında çok katlı yapılara oranla daha az dayanıma gerek duyulur. Bu bakımdan doğal granülometrilik agrega ile üretilen beton blokların en az 250 kg/m^3 dozajlı olması gerekir. Ancak taşıyıcı olmayan duvarlar ve bölme duvarları için ısı yalıtımı bakımından sağlayacağı üstünlükler de göz önünde tutulursa 200 kg/m^3 'e kadar azalan dozajlı beton bloklar kullanılabilir. Özellikle çevre koşullarının kontrolünün önemli olduğu hayvan barınaklarında, depolama yapılarında ve konutlarda hafif beton blokların kullanılması önemli yararlar sağlayabilir.

Tarımsal yapıların büyük bir kısmında kullanılan taş duvarların, köy koşullarında çoğu kez çamur harcı ile örüldüğü (Şişman 1981), çimento ve çimento katkılı kireç harcı kullanılması durumunda da taş duvarların genellikle tekniğine uygun olarak yapılmadığı ve çoğunlukla yapıya uygun kullanılmadığı bilinmektedir (Ekmekyapar 1975). Bu koşullar altında taş malzeme ile yeterli dayanım elde edilse de yapı ağırlığının gereksiz artışı ve duvarların fazla kalın örülmesi ile bu malzemenin sağlanması ve taşınmasında ortaya çıkan güçlükler, tarımsal yapılar için, temel duvarlar dışında özellikle deprem bölgeleri için uygun bir malzeme olmadığını göstermektedir. Kerpice deprem bölgelerindeki yapılarda kullanılmasının uygun olmadığı da (Turgutalp 1978) göz önünde tutulursa, hafif beton blokların birinci derece deprem bölgesine giren Doğu Anadolu Bölgesi tarımsal yapılarında kullanılmasının taş ve kerpice oranla çok daha uygun olabileceği söylenebilir.

Köy yapılarında kullanılan kerpiç, toprak özellikleri, katkı malzemesi ve yapım tekniği çok değişebildiğinden her yerde nitelik bakımından aynılık göstermemekte, bazı üstünlüklerine karşın özellikle basınç dayanımı bakımından yeterliliği sağlamak için taşıyıcı duvarlar çok kalın yapılmaktadır (Turgutalp 1978). Bazı stabilizan maddeler katılarak iyi özelliklere sahip kerpiç üretimi olanakları bulunmakta ise de (Alkan 1969) basınç dayanımlarının istenilen düzeylerde olmaması ve üretimlerinde de çimento, kireç ve bitüm gibi malzeme ile birlikte özel toprak çeşitlerine gerek duyulması, hafif beton bloklar kadar iyi bir malzeme olamayacağını kanıtlamaktadır. Bu bakımlardan özellikle hafif agrega ocaklarına yakın kırsal yerleşimlerde hafif beton blokların kullanılması, kerpice oranla daha fazla üstünlükler sağlayabileceği gibi yapıların daha ekonomik olmasını da etkileyebilecektir.

4.2.3. Donma-Çözülme Dayanıklılığı

Araştırma konusu olan doğal ve ayarlanmış granülometrilili beton blok örnekler ile piyasada üretilen beton blok örneklerin, basınç dayanımı için hazırlanan örneklerde olduğu gibi 28 günlük küründen sonra 25 kez donma-çözülme etkisinde bırakılmaları ile elde edilen basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.33 ve 4.34 'de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Farklı agrega ocaklarından elde edilen doğal ve ayarlanmış granülometrilili agregalarla üretilen beton blokların donma-çözülme sonrası basınç dayanım değerleri

Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Karışıma giren kum çeşitleri	Van-Erciş	Erzurum-Pasinler
			Basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Basınç dayanımı(kgf/cm ²)
150	Doğal	Tüf kumu	13.4	13.4
		Normal kum	12.9	13.0
	Ayarlanmış	Tüf kumu	13.2	13.1
		Normal kum	12.7	12.7
200	Doğal	Tüf kumu	17.0	16.6
		Normal kum	16.3	16.2
	Ayarlanmış	Tüf kumu	16.8	16.4
		Normal kum	16.2	16.1
250	Doğal	Tüf kumu	24.7	23.4
		Normal kum	23.6	23.0
	Ayarlanmış	Tüf kumu	24.1	22.5
		Normal kum	23.2	22.1
300	Doğal	Tüf kumu	29.6	26.3
		Normal kum	28.7	25.7
	Ayarlanmış	Tüf kumu	29.3	25.9
		Normal kum	28.5	25.4

Çizelge 4.34. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların donma-çözülme sonrası basınç dayanım değerleri

Atölyeler	Çimento Dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Basınç Dayanımı (kgf/m ³)
A	150	Doğal	11.2
B	150	Doğal	9.9
C	150	Doğal	9.5

Betonların farklı agrega ocakları ve granülometrilere göre donma-çözülme sonundaki basınç dayanım değerleri, Van-Erciş agregasının doğal granülometrisi kullanılarak yapılan 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımlı beton bloklarda sırasıyla 13.4, 17.0, 24.7 ve 29.6 kgf/cm²; normal kum karışımllılarda ise aynı dozaj sırasına göre 12.9, 16.3, 23.6 ve 28.7 kgf/cm²'lik basınç dayanım değerleri bulunmuştur. Erzurum-Pasinler agregasının doğal granülometrisi kullanılarak 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımllı üretilen beton bloklarda da sırasıyla 13.4, 16.6, 23.4 ve 26.3 kgf/cm²; normal kum karışımllılarda ise aynı dozaj sırasıyla 13.0, 16.2, 23.0 ve 25.7 kgf/cm² lik basınç dayanım değerleri saptanmıştır (Çizelge 4.33).

Van-Erciş yöresi granülometrisi avarlanmış agrega kullanılarak yapılan 150, 200, 250 ve

değişik çimento dozajlarına ilişkin basınç dayanımları ile benzer dozajlar arasındaki dayanım farkları hesaplanarak Çizelge 4.35 ve 4.36 verilmiştir. Donma-çözülme etkisinden sonra farklı granülometri bileşimli beton bloklardan elde edilen basınç dayanımı değerleri ile bunların çimento dozajları arasındaki ilişki ise Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24'de gösterilmiştir.

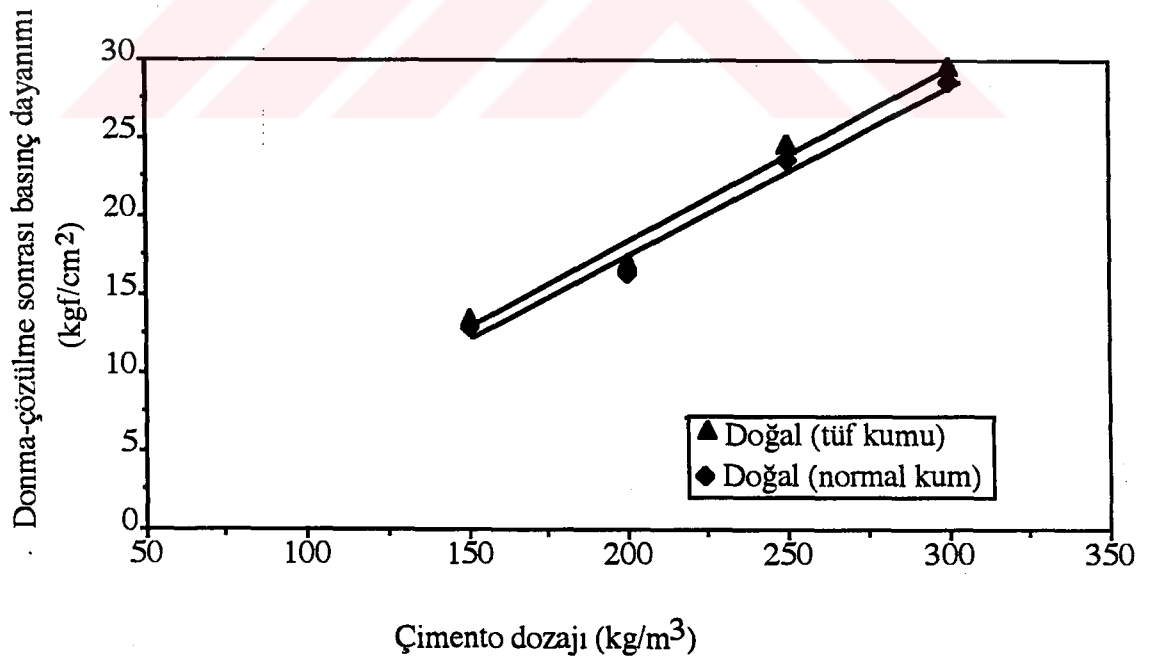
Çizelge 4.35. Donma-çözülme etkisinde bırakılmayan ve bırakılan beton blokların basınç dayanım değerleri (kgf/cm²)

Kullanılan agregalar	Agrega Granülometrisi	Çimento dozajı (kg/m ³)	Karışıma giren kum çeşitleri	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Donma-çözülme sonrası basınç dayanımı (kgf/cm ²)	Fark (kgf/cm ²)
Van-Erciş	Doğal	150	Tüf kumu	12.5	13.4	0.9
			Nor. kum	12.1	12.9	0.8
		200	Tüf kumu	15.9	17.0	1.1
			Nor. kum	15.4	16.3	0.9
	Ayarlanmış	250	Tüf kumu	21.9	24.7	2.8
			Nor. kum	20.9	23.6	2.7
		300	Tüf kumu	26.3	29.6	3.3
			Nor. kum	25.5	28.7	3.2
Erzurum-Pasinler	Doğal	150	Tüf kumu	12.4	13.2	0.8
			Nor. kum	12.0	12.7	0.7
		200	Tüf kumu	15.7	16.8	1.1
			Nor. kum	15.3	16.2	0.9
	Ayarlanmış	250	Tüf kumu	21.4	24.1	2.7
			Nor. kum	20.8	23.2	2.4
		300	Tüf kumu	25.6	29.3	3.7
			Nor. kum	25.4	28.5	3.1
	Doğal	150	Tüf kumu	12.6	13.4	0.8
			Nor. kum	12.3	13.0	0.7
		200	Tüf kumu	15.7	16.6	1.1
			Nor. kum	15.4	16.2	0.8
	Ayarlanmış	250	Tüf kumu	20.7	23.4	2.7
			Nor. kum	20.5	23.0	2.5
		300	Tüf kumu	24.1	26.3	2.2
			Nor. kum	23.4	25.7	2.3
	Doğal	150	Tüf kumu	12.3	13.1	0.8
			Nor. kum	12.0	12.7	0.7
		200	Tüf kumu	15.5	16.4	0.9
			Nor. kum	15.2	16.1	0.9
	Ayarlanmış	250	Tüf kumu	19.7	22.5	2.8
			Nor. kum	19.6	22.1	2.5
		300	Tüf kumu	23.8	25.9	2.1
			Nor. kum	23.2	25.4	2.2

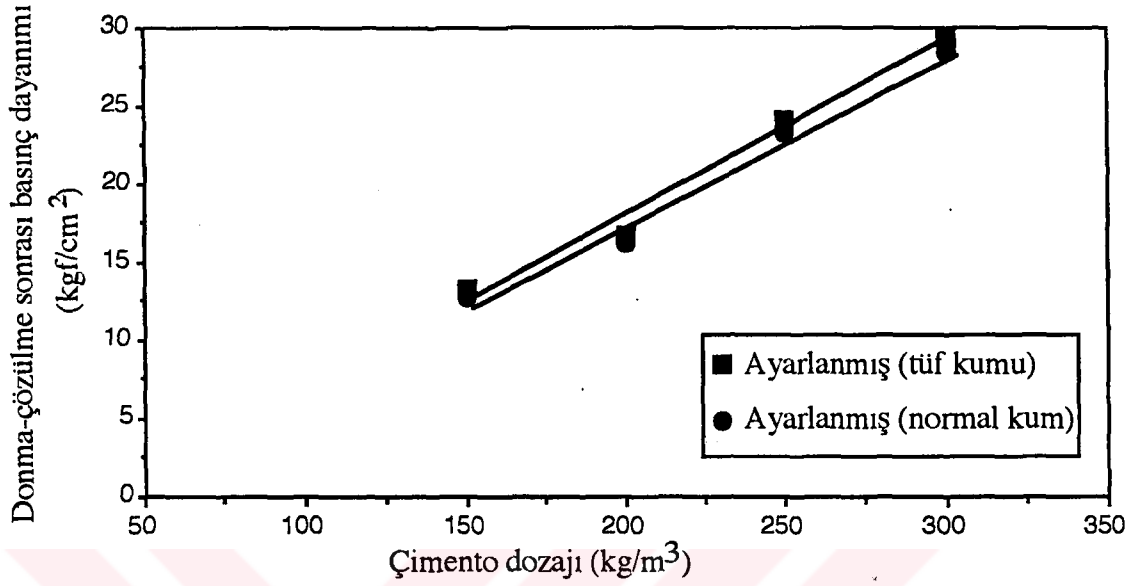
Çizelge 4.36. Donma-çözülme etkisinde bırakılmayan ve bırakılan A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blokların basınç dayanım değerleri (kgf/cm^2)

Atölyeler	Çimento dozajı (kg/m^3)	Granülometri	28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	Donma-çözülme sonrası basınç dayanımı (kgf/cm^2)	Fark (kgf/cm^2)
A	150	Doğal	11.0	11.2	0.2
B	150	Doğal	9.5	9.9	0.4
C	150	Doğal	9.0	9.5	0.5

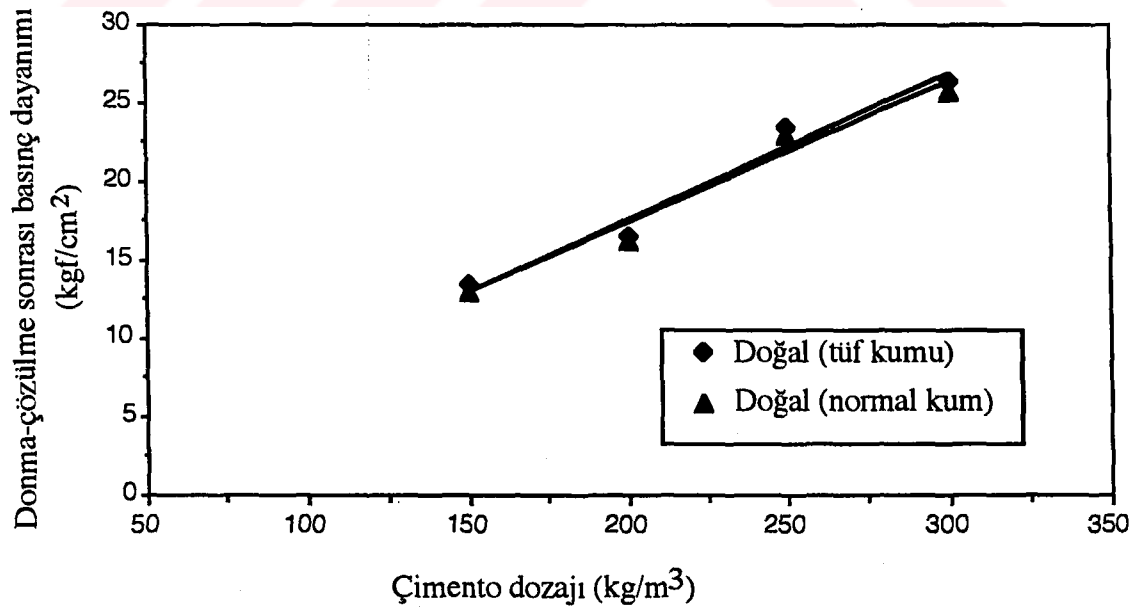
Denemede hafif beton blokların donma-çözülme sonundaki basınç dayanımları ile çimento dozajı arasındaki ilişkiyi belirleyen regresyon denklemleri, bunlarla ilgili korelasyon katsayısı (r), regresyon ve korelasyon katsayıları için hesaplanan t değerleri Çizelge 4.37'de verilmiştir. Hesaplanan regresyon denklemlerinde deneysel değerleri kapsayan sınırlar içerisinde beton blokların donma-çözülme sonundaki basınç dayanımlarının (Y), çimento dozajının (X) donma-çözülme etkisinde bırakılmayan örneklerde olduğu gibi, doğrusal bir işlevi olduğu varsayılmıştır.



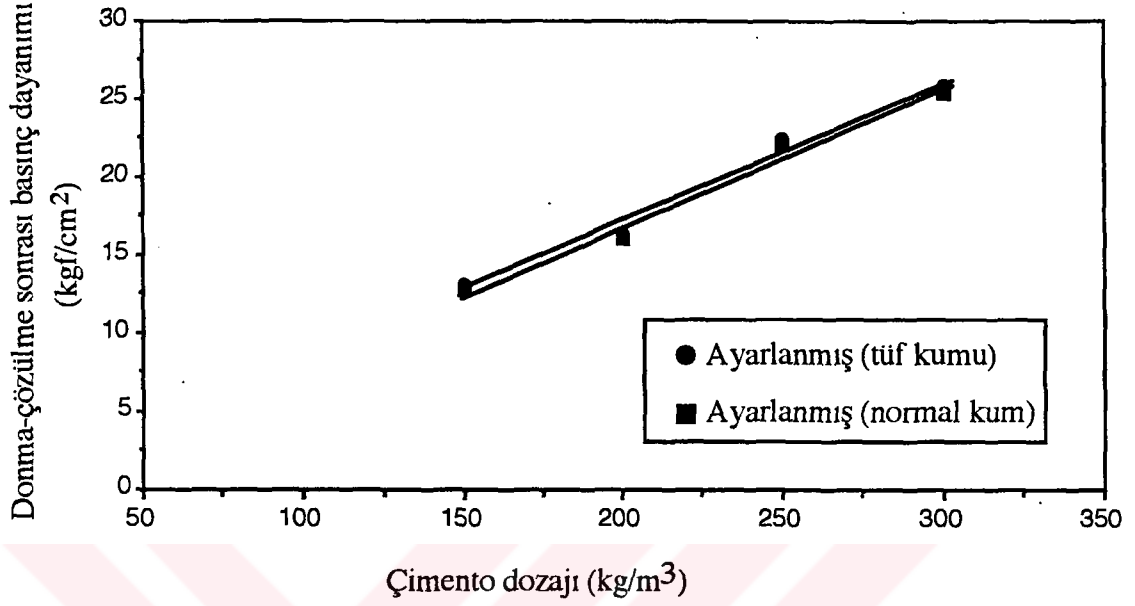
Şekil 4.21. Granülometrisi doğal Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4.22. Granülometrisi ayarlanmış Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4.23. Granülometrisi doğal Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4.24. Granülometrisi ayarlanmış Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak üretilen donma-çözülme etkisinde kalmış boşluklu beton blokların çimento dozajı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki

Çizelge 4.37. Beton blokların basınç dayanımı (Y) ve çimento dozajı (X) arasındaki ilişki

Kullanılan agregalar	Agrega granülometrisi	Karışma giren kum çeşitleri	Regresyon denklemi	Korelasyon katsayısı (r)	Korelasyon katsayısı için hesaplanan (t)
Van-Erciş	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.113x - 4.16$	0.991**	10.634
		Normal kum	$y = 0.109x - 4.24$	0.991**	10.763
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.111x - 4.17$	0.993**	11.538
		Normal kum	$y = 0.109x - 4.33$	0.993**	11.700
Erzurum-Pasinler	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.091x - 0.55$	0.982*	8.545
		Normal kum	$y = 0.090x - 0.73$	0.985*	8.161
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.089x - 0.55$	0.992**	11.433
		Normal kum	$y = 0.088x - 0.77$	0.983**	11.752

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Çizelge 4.35 incelendiğinde, donma-çözülme etkisinde bırakılan hafif beton blokların basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Beton blokların granülometri bileşimlerine göre donma çözülme sonundaki basınç dayanımı değerlerindeki artış doğal granülometrilili

beton bloklarda 150 kg/m^3 dozaj düzeyinde $0.7-0.9 \text{ kgf/cm}^2$ arasında iken bu değer 300 kg/m^3 dozajlı beton bloklarda ise $2.2-3.3 \text{ kgf/cm}^2$ arasında; ayarlanmış granülometrilili 150 kg/m^3 dozajlı beton bloklarda $0.7-0.8 \text{ kgf/cm}^2$ arasında ve 300 kg/m^3 dozajda $2.1-3.7 \text{ kgf/cm}^2$ arasında bulunmuştur. Hafif beton blokların donma-çözülme sonrasındaki basınç dayanımları arasındaki artış, çimento dozajının yükselişi ile doğrusallık göstermektedir.

Piyasada üretilen beton blokların donma-çözülme sonunda A, B ve C atölyelerince üretilen beton blokların basınç dayanımı değerlerindeki artış sırasıyla 0.2, 0.4 ve 0.5 kgf/cm^2 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.37'de verilen regresyon denklemlerine ilişkin regresyon katsayıları ve korelasyon katsayıları, Van-Erciş doğal ve ayarlanmış tuf ve normal kum karışımli granülometri bileşimleri için ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu; Erzurum-Pasinler ayarlanmış tuf ve normal kum karışımli granülometri bileşimleri için de ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli ve doğal tuf ve normal kum karışımli granülometri bileşimleri için ise ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli olduğu görülmüştür. Bu durum donma-çözülme sonunda elde edilen beton blokların basınç dayanımları ile çimento dozajları arasında kesin pozitif doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu kanıtlamaktadır.

Farklı agrega ocakları, doğal ve ayarlanmış granülometrilili ve çimento dozajlarının betonların donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarına olan etkilerinin saptanması için yapılan varyans analizi Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Agreg a o ağı, granölometri, kum çeşidi ve dozajın donma-çözölme sonrası basınç dayanımına olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri
Ocak	1	32.667	44.398**
Granölometri	1	3.176	4.316*
Kum çeşidi	1	8.568	11.645**
Dozaj	3	1023.022	1390.421**
Ocak x granölometri	1	0.202	0.274
Ocak x kum çeşidi	1	0.644	0.875
Granölometri x kum çeşidi	1	0.0028	0.0038
Ocak x granölometri x kum çeşidi	1	0.078	0.106
Ocak x dozaj	3	12.497	16.985**
Granölometri x dozaj	3	0.306	0.415
Ocak x granölometri x dozaj	3	0.047	0.064
Kum çeşidi x dozaj	3	0.119	0.162
Ocak x kum çeşidi x dozaj	3	0.079	0.107
Granölometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.013	0.018
Ocak x granölometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.01	0.013
Hata	64	0.736	
Toplam	95		

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Varyans analiz sonuçlarına bakıldığında araştırmada kullanılan her bir agrega o ağı, kum çeşidi ve çimento dozajlarının beton blokların donma-çözölme sonrası basınç dayanımlarına olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu ve granölometrinin ise ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Ocak, granölometri, kum çeşidi ve çimento dozajının kendi arasındaki ikili etkileşimlerinin donma-çözölme sonrası basınç dayanımına olan etkileri incelendiğinde de ocak-granölometri, ocak-kum çeşidi, granölometri-kum çeşidi, granölometri-dozaj ve kum çeşidi-dozaj'ın önemsiz olduğu, ancak ocak-dozaj'ın ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu; üçlü ve dörtlü etkileşimleri incelendiğinde ise beton blokların donma-çözölme sonrası basınç dayanımlarına olan etkilerinin önemsiz olduğu sonucuna varılmışdır.

Pfeifer (1967), hafif betonların donma-çözülme konusunda dokuz hafif agrega çeşidi üzerinde yaptığı araştırmada, 210 kgf/cm^2 basınç dayanımlı bazı hafif agrega betonlarının, donma-çözülme etkisi bakımından 315 kgf/cm^2 dayanımlı farklı hafif agrega betonlarından önemli derecede fazla sağlamlık gösterdiğini belirtmiştir. Buna ek olarak yurdumuzun çeşitli bölgelerindeki tuf agregaları ile yapılan hafif betonların hepsinde de donma-çözülme sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerlerinin, aynı betonların 28 günlük basınç dayanımı değerlerinden önemli derecelerde fazla olduğu bildirilmektedir (Sükan 1966). Hafif betonlara ilişkin olarak yapılan bir araştırmada 25 kez donma-çözülme etkisinde bırakılan tuf betonlarının, 28 günlük basınç dayanımlarının arttığı belirtilmektedir (İhtiyaroğlu 1974). Turgutalp (1978), Sarıkamış yöresi doğal hafif agregasıyla üretilen betonların tarımsal yapılarda kullanılma olanakları üzerine yaptığı çalışmada doğal, ayarlanmış ve kısmen ayarlanmış beton örneklerinin 28 günlük külden sonra, 50 kez donma-çözülme etkisi sonucunda basınç dayanımlarının 100 kg/m^3 dozajlı betonlarda 13 kgf/cm^2 dolayında arttığı ve 500 kg/m^3 dozaj düzeyinde ise bu artışın $25\text{-}50 \text{ kgf/cm}^2$ arasında olduğunu vurgulanmaktadır.

Pomza agregasının, değişik oranlarda normal agregaya karıştırılmasıyla farklı çimento dozajlarında üretilen betonların donma-çözülme dayanıklılığına etkileri üzerine yapılan araştırmada, pomza agregasının normal agregaya göre betonun birim hacim ağırlığının azaldığı ve donma-çözülmeye karşı daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir (Türkmen et al. 2001).

Bowser (et al. 1996), hafif agregalı beton blokların donma-çözülme dayanıklılığı ile ilgili yaptıkları araştırmada, donma-çözülme dayanıklılığının çimento miktarındaki artışla iyileştiği ve aynı zamanda birim hacim ağırlığındaki artışla da aynı iyileşmeyi gösterdiğini belirtmişlerdir.

Araştırma materyalini oluşturan hafif agregalarla üretilen beton blokların donma-çözülme sonrası basınç dayanımlarındaki artış yukarıda belirtilen literatürlere uygunluk göstermektedir. Bu durum agreganın özel kimyasal yapısı ve beton blokların (donma-çözülme deneyi sırasında) suya doygun olmayan çok sayıda gözeneğe sahip olmasından dolayı, zarar görmeden buzun genişlemesine izin vermesinden ileri geldiği düşünülebilir.

Üretilen hafif beton blokların donma-çözülme etkisinde kalmasıyla, basınç dayanımlarının, 28 günlük benzer beton blok basınç dayanımlarının altına hiçbir şekilde düşmediği ve bu beton blokların donma-çözölmeye karşı daha dayanıklı olduğu söylenebilir.

Normal beton yapı elamanlarında donma-çözölmenin olumsuz etkiler yarattığı Doğu Anadolu bölgesinde, araştırmada kullanılan hafif agregalar gibi benzer özellikteki agregaların saptanarak uygulamalarda bu üstünlükten yararlanılması önerilebilir. Tarımsal yapılarda donma-çözölme etkisiyle kısa sürede özelliklerini yitiren yapı elemanlarının yerine araştırmada üretilen beton bloklara benzer hafif malzemenin kullanılması uygun olabilir.

4.2.4. Isı İletkenliği

Araştırma malzemesini oluşturan hafif beton bloklardan kesilerek elde edilen örneklerin ısı iletkenlik katsayıları; geçici rejim yöntemiyle ölçüm yapan bir aygıtla belirlenmiş ve 0.135-0.192 kcal/mh°C arasında saptanmıştır (Çizelge 4.39). Isı iletkenlik katsayıları ölçüldüğü anda örnekler fırın-kuru durumdadır.

Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler doğal hafif agregasıyla elde edilen beton blok örneklerinin ısı iletkenlik katsayıları 150 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımı olanlarda ortalama sırasıyla 0.139, 0.148 kcal/mh°C, normal kum karışımı olanlarda sırasıyla 0.148, 0.157 kcal/mh°C; 200 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımı olanlarda sırasıyla 0.152, 0.163 kcal/mh°C, normal kum karışımı olanlarda sırasıyla 0.163 ve 0.172 kcal/mh°C; 250 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımı olanlarda sırasıyla 0.163, 0.172 kcal/mh°C, normal kum karışımı olanlarda sırasıyla 0.168 ve 0.179 kcal/mh°C; 300 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımı olanlarda sırasıyla 0.174, 0.186 kcal/mh°C, normal kum karışımı olanlarda ise sırasıyla 0.183, 0.192 kcal/mh°C olarak saptanmıştır. Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler ayarlanmış granülometril hafif agregasıyla üretilen beton blok örneklerin sırasıyla ısı iletkenlik katsayıları 150 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımı olanlarda ortalama 0.135, 0.147 kcal/mh°C, normal kum karışımı olanlarda sırasıyla 0.145, 0.155 kcal/mh°C; 200 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımı olanlarda sırasıyla 0.147, 0.161 kcal/mh°C, normal kum

karışımli olanlarda sırasıyla 0.155 ve 0.170 kcal/mh°C; 250 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımli olanlarda sırasıyla 0.158, 0.171 kcal/mh°C, normal kum karışımli olanlarda sırasıyla 0.165 ve 0.178 kcal/mh°C; 300 kg/m³ dozajlı tuf kumu karışımli olanlarda sırasıyla 0.169, 0.183 kcal/mh°C, normal kum karışımli olanlarda sırasıyla 0.176 ve 0.189 kcal/mh°C olarak bulunmuştur (Çizelge 4.39).

Piyasadaki A, B ve C atölyelerinden alınan beton blok örneklerinin ısı iletkenlik değeri de sırasıyla 0.165, 0.135 ve 0.140 kcal/mh°C olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.40).

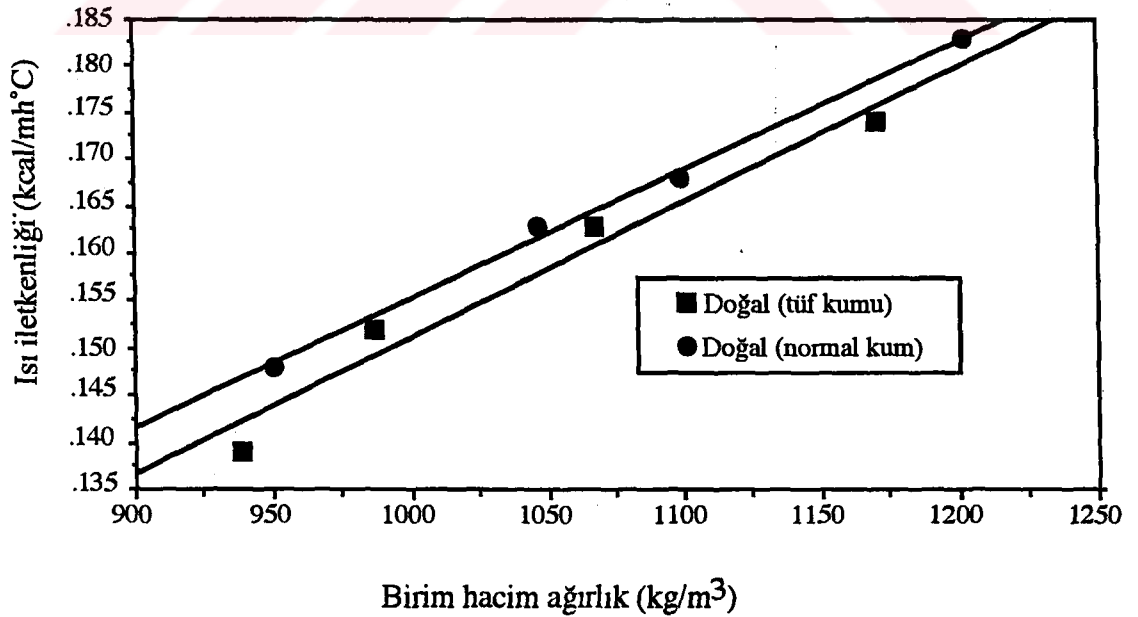
Çizelge 4.39. Hafif beton blok örneklerinin 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlık değeri (kg/m³) ve ısı iletkenlik katsayıları (kcal/mh°C)

Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Karışım giren kum çeşitleri	Van-Erciş		Erzurum-Pasinler	
			Birim hacim ağırlık	Isı iletkenliği	Birim hacim ağırlık	Isı iletkenliği
150	Doğal	Tuf kumu	938	0.139	1011	0.148
		Nor. kum	950	0.148	1064	0.157
	Ayarlanmış	Tuf kumu	920	0.135	1002	0.147
		Nor. kum	930	0.145	1059	0.155
200	Doğal	Tuf kumu	987	0.152	1096	0.163
		Nor. kum	1046	0.163	1120	0.172
	Ayarlanmış	Tuf kumu	960	0.147	1093	0.161
		Nor. kum	1032	0.155	1112	0.170
250	Doğal	Tuf kumu	1067	0.163	1148	0.172
		Nor. kum	1099	0.168	1167	0.179
	Ayarlanmış	Tuf kumu	1026	0.158	1140	0.171
		Nor. kum	1090	0.165	1154	0.178
300	Doğal	Tuf kumu	1170	0.174	1180	0.186
		Nor. kum	1202	0.183	1195	0.192
	Ayarlanmış	Tuf kumu	1102	0.169	1164	0.183
		Nor. kum	1139	0.176	1189	0.189

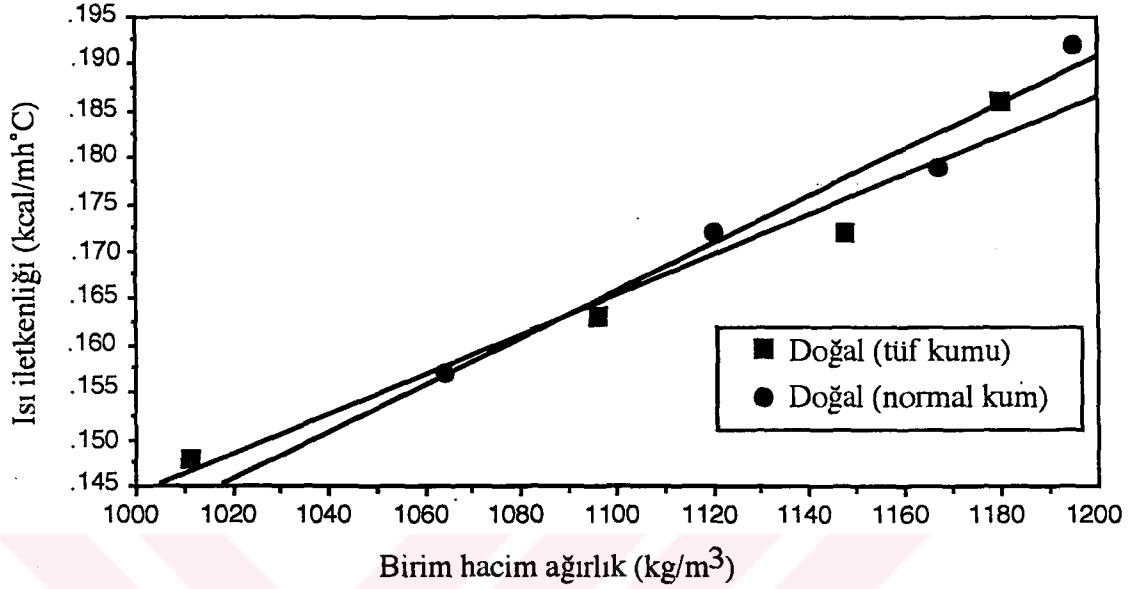
Çizelge 4.40. A, B ve C atölyeleri tarafından üretilen beton blok örneklerinin 28 günlük fırın-kuru birim hacim ağırlık değeri (kg/m³) ve ısı iletkenlik katsayıları (kcal/mh°C)

Atölyeler	Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Isı iletkenliği
A	150	Doğal	1156	0.165
B	150	Doğal	969	0.135
C	150	Doğal	971	0.140

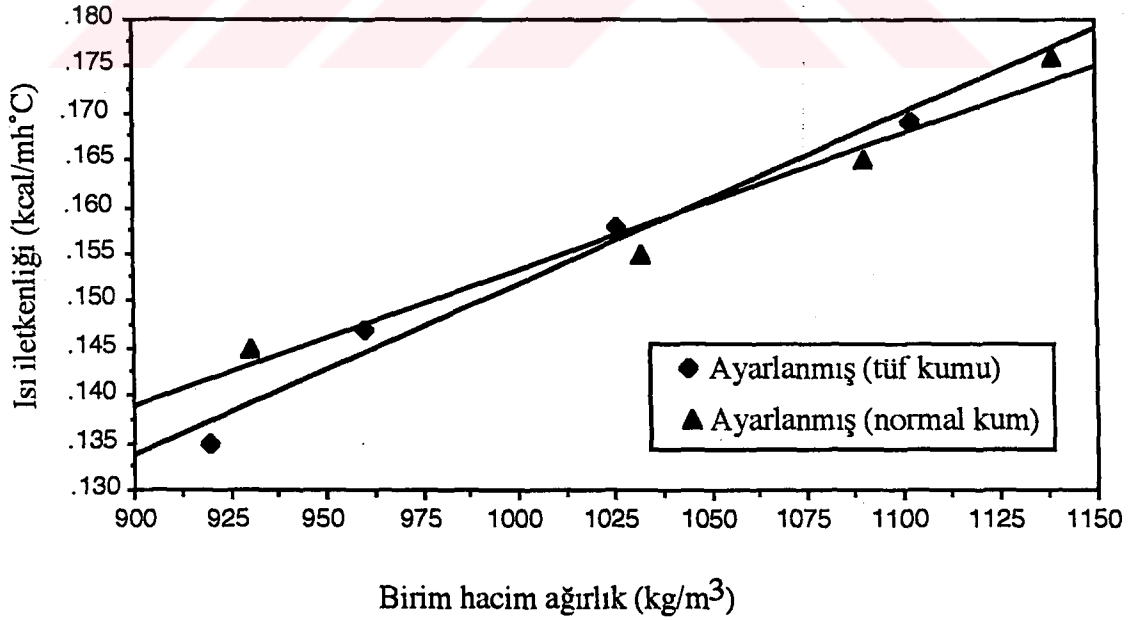
Farklı ocaklardan sağlanan hafif agregalar ve kum çeşitlerine göre doğal ve ayarlanmış durumuyla değişik dozajlarda üretilen beton bloklar, özelliklerine bağlı olarak ısı iletkenliklerinde değişiklik göstermiştir. Isı iletkenliğinin birim hacim ağırlığa bağlı olarak değiştiği bilindiğinden, elde edilen beton blok örneklerinin özelliklerine göre birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlikleri de Çizelge 4.39'da görülmektedir. Üretilen beton blok örneklerinin ısı iletkenlik katsayılarının birim hacim ağırlık ve çimento dozajlarıyla değişimi ise Şekil 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 ve 4.32'de gösterilmiştir. Bu ilişkiyi saptamak amacıyla yapılan regresyon ve korelasyon hesaplarının sonuçları ise Çizelge 4.41 ve 4.42'de görülmektedir. Çizelgelerde doğal ve ayarlanmış agrega granülometrilerini içeren beton blok örneklerinin birim hacim ağırlıkları ve çimento dozajının ayrı ayrı ısı iletkenlikleriyle arasındaki ilişkiyi belirleyen regresyon denklemleri, bunlarla ilgili korelasyon katsayısı (r), regresyon ve korelasyon katsayıları için hesaplanan t değerleri de bulunmaktadır. Hesaplanan regresyon denklemlerinde beton blok örneklerinin birim hacim ağırlıkları ve çimento dozajının (X), ısı iletkenliğinin (Y) doğrusal bir işlevi olduğu varsayılmıştır.



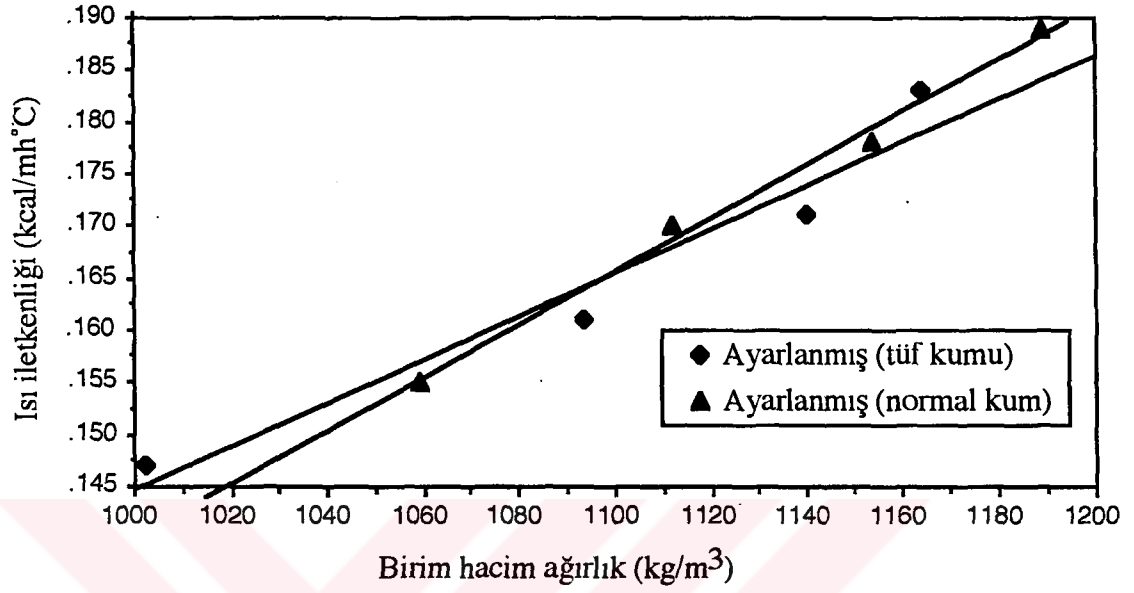
Şekil 4.25. Van-Erciş hafif agregasına tuf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometreli beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



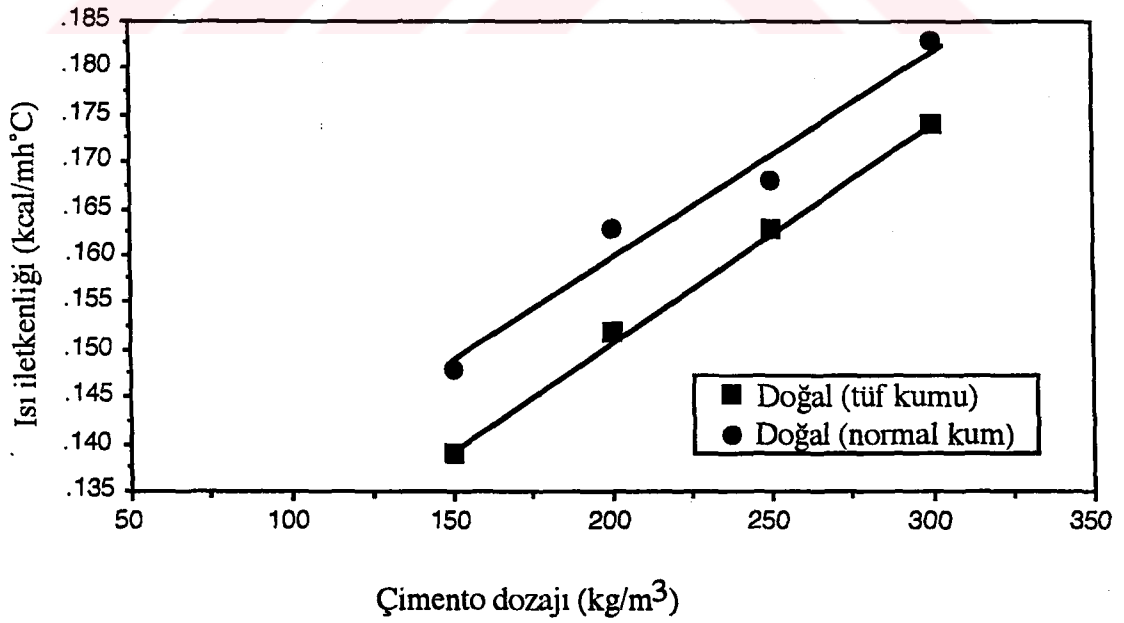
Şekil 4.26. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



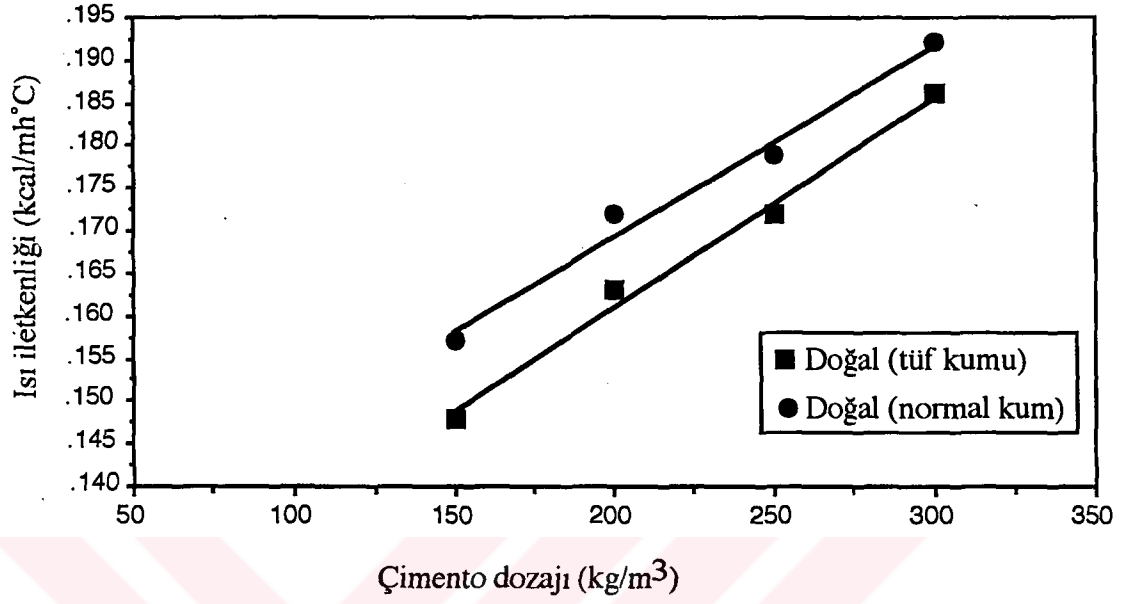
Şekil 4.27. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



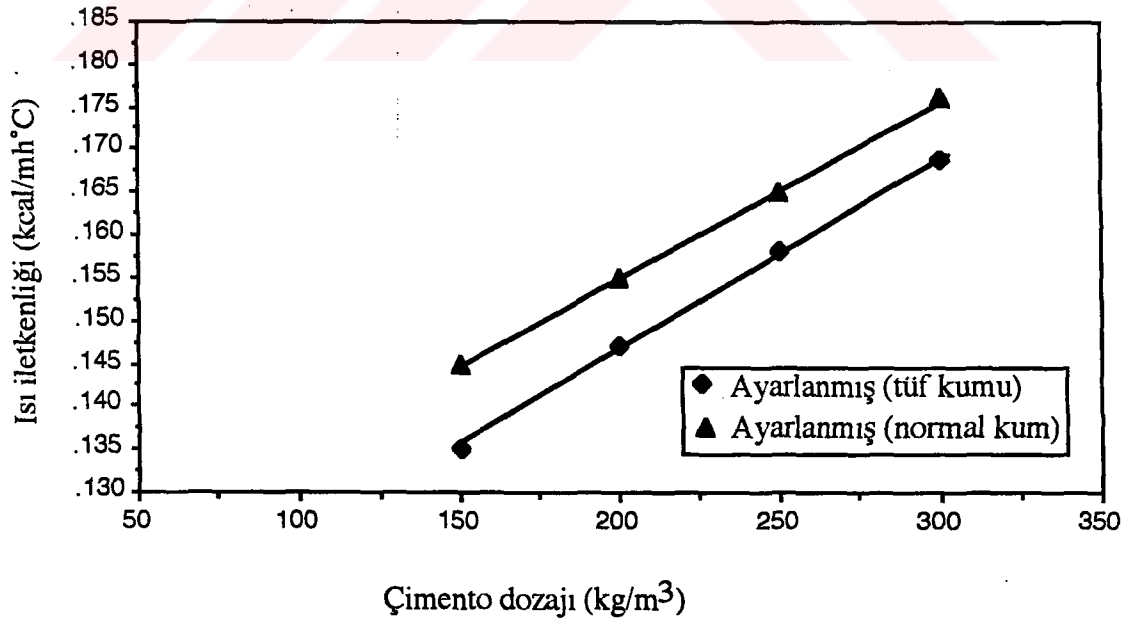
Şekil 4.28. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki



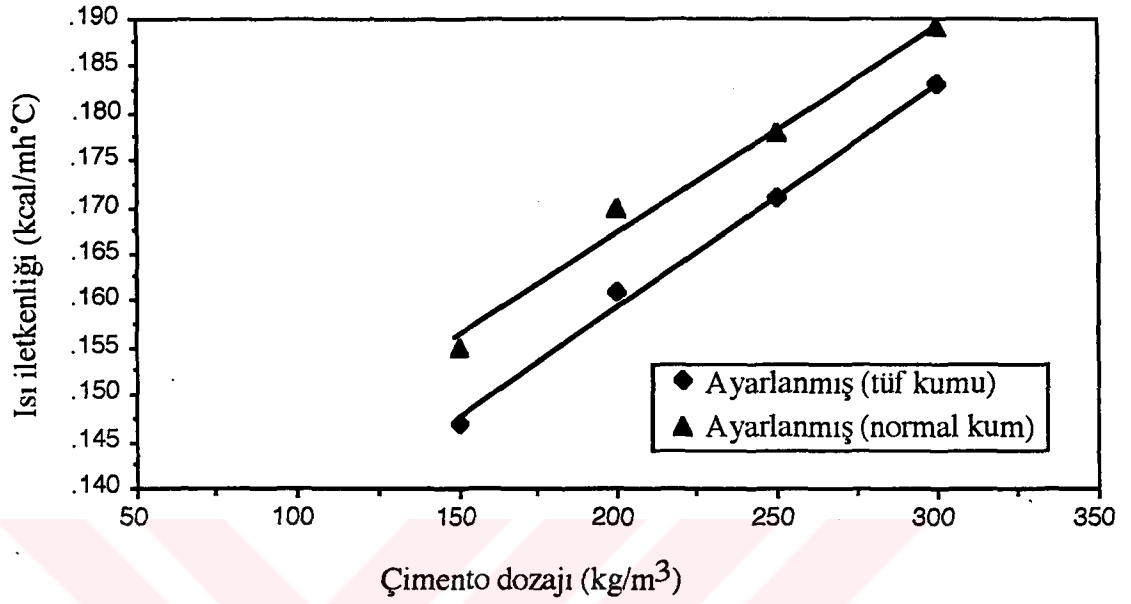
Şekil 4.29. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.30. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.31. Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.32. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan ayarlanmış granülometrilili beton blok örneklerinin ısı iletkenliği ile çimento dozajı arasındaki ilişki

Çizelge 4.41. Beton blok örneklerinin ısı iletkenlikleri (Y) ile birim hacim ağırlıkları (X) arasındaki ilişki

Kullanılan agregalar	Agrega granülometrisi	Karışıma giren kum çeşitleri	Regresyon denklemi	Korelasyon katsayısı (r)	Korelasyon katsayısı için hesaplanan (t)
Van-Erciş	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.00015x + 0.006$	0.981*	7.167
		Normal kum	$y = 0.00014x + 0.018$	0.998**	20.716
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.00018x - 0.029$	0.988*	9.080
		Normal kum	$y = 0.00015x + 0.008$	0.981*	7.08
Erzurum-Pasinler	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.00021x - 0.067$	0.980*	6.918
		Normal kum	$y = 0.00025x - 0.109$	0.984*	7.849
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.00021x - 0.063$	0.972*	5.874
		Normal kum	$y = 0.00026x - 0.114$	0.997**	17.21

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Çizelge 4.42. Beton blok örneklerinin ısı iletkenlikleri (Y) ile çimento dozajı (X) arasındaki ilişki

Kullanılan agregalar	Agrega granülometrisi	Karışıma giren kum çeşitleri	Regresyon denklemi	Korelasyon katsayısı (r)	Korelasyon katsayısı için hesaplanan (t)
Van-Erciş	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.00023x + 0.105$	0.999**	33.486
		Normal kum	$y = 0.00022x + 0.116$	0.984*	7.778
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.00023x + 0.101$	1.000**	65.242
		Normal kum	$y = 0.0002x + 0.114$	1.000**	59.467
Erzurum-Pasinler	Doğal	Tüf kumu	$y = 0.00025x + 0.112$	0.996**	15.497
		Normal kum	$y = 0.00022x + 0.125$	0.991**	10.777
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = 0.00024x + 0.112$	0.998**	22.300
		Normal kum	$y = 0.00022x + 0.123$	0.993**	11.595

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

* $p < 0.05$ olasılık düzeyinde önemli

Çizelge 4.41'de verilen regresyon denklemlerine ilişkin regresyon ve korelasyon katsayıları Van-Erciş doğal tüf kumu, ayarlanmış tüf ve normal kum, Erzurum-Pasinler doğal tüf ve normal kum, ayarlanmış tüf kumu granülometri bileşimleri için ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli, Van-Erciş doğal normal kum, Erzurum-Pasinler ayarlanmış normal kum granülometri bileşimleri için de ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmüştür. Bu duruma göre beton blok örneklerinin birim hacim ağırlıkları ile ısı iletkenlikleri arasında belirtilen sınırlar içerisinde kesin pozitif ve doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.42'de verilen regresyon denklemlerine ilişkin regresyon ve korelasyon katsayıları Van-Erciş doğal normal kumu ($p < 0.05$ olasılık düzeyinde) önemli, diğerleri ise ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmüştür. Bu duruma göre beton blok örneklerinin ısı iletkenlikleri ile çimento dozajları arasında belirtilen sınırlar içerisinde kesin pozitif ve doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür.

Deneme konusu olan agregalar, granülometri bileşimi, kum çeşidi ve çimento dozajı ile ısı iletkenliği arasındaki ilişkilerin varyans analizi yapılarak (Çizelge 4.43) sonuçlar irdelenmiştir.

Çizelge 4.43. Agreg aocağı, granülometri, kum çeşidi ve dozajın ısı iletkenliğine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri
Ocak	1	0.0031	497.529**
Granülometri	1	0.000298	47.841**
Kum çeşidi	1	0.00145	233.047**
Dozaj	3	0.0051	818.856**
Ocak x granülometri	1	0.000062	9.931**
Ocak x kum çeşidi	1	0.00000026	0.042
Granülometri x kum çeşidi	1	0.00000001	0.0017
Ocak x granülometri x kum çeşidi	1	0.00000026	0.042
Ocak x dozaj	3	0.0000058	0.926
Granülometri x dozaj	3	0.0000042	0.676
Ocak x granülometri x dozaj	3	0.0000019	0.288
Kum çeşidi x dozaj	3	0.000015	2.432
Ocak x kum çeşidi x dozaj	3	0.0000031	0.502
Granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.0000040	0.649
Ocak x granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.0000045	0.725
Hata	64	0.0000062	
Toplam	95		

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

Varyans analiz çizelgesi incelendiğinde; farklı agreg aocaklarının, granülometri, kum çeşidi ve çimento dozajının beton blok örneklerinin ısı iletkenliğine olan etkilerinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmektedir. Ocak, granülometri, kum çeşidi ve çimento dozajının kendi arasındaki ikili, üçlü ve dördü etkileşimlerinin ısı iletkenliklerine olan etkileri tek tek incelendiğinde de ocak-granülometrinin ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli, diğerlerinin ise önemsiz olduğu ortaya çıkmıştır.

Üretilen beton blok örnekleri dozajlarına göre değerlendirildiğinde; dozaj artışıyla ısı iletkenlik değerlerinde de artış olduğu belirlenmiştir. Van-Erciş hafif agregası ve tuf kumu karışımı kullanılarak elde edilen beton blok örnekleri 0.135-0.174 kcal/mh°C'lik en düşük ısı iletkenlik değerlerini göstermiştir. Van-Erciş hafif agregası ve normal kum karışımı kullanılarak elde edilen beton blok örneklerinde de 0.145-0.183 kcal/mh°C'lik ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Erzurum-Pasinler yöresi hafif agregasına ayrı ayrı tuf ve normal kum katılarak üretilen beton blok örneklerinde ise sırasıyla 0.148-0.186 ve 0.157-0.192 kcal/mh°C'lik ısı iletkenlik değerleri bulunmuştur.

Pomza ile üretilen ve kuru birim ağırlıkları $720-1280 \text{ kg/m}^3$ arasında bulunan betonların ısı iletkenlik katsayılarının $0.12-0.31 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ olarak değiştiği belirtilmektedir (Anonymous 1973b). Erciyes (1963), fırın-kuru birim ağırlıkları $940-1340 \text{ kg/m}^3$ arasında olan bims agregası ile yapılan hafif beton blokların ısı iletkenliklerinin $0.2344-0.5283 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değiştiğini vurgulamaktadır. Turgutalp (1978), 200 kg/m^3 dozajlı ve kuru birim ağırlığı 1300 kg/m^3 olan doğal granülometrilili hafif betonların ısı iletkenlik katsayısının $0.33 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ olduğunu belirtmektedir. Kars (1994), örnekleme yoluyla seçilen Türkiye briketlerinin kuru birim ağırlıkları $626-1915 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiği ve ısı iletkenliklerinin ise $0.15-0.42 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ olduğunu bildirmektedir. Altınapa bims agregası ile üretilen ve kuru birim ağırlıkları $1060-1470 \text{ kg/m}^3$ arasında olan briketlerin ısı iletkenliklerinin $0.143-0.197 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değerler aldığı belirtilmektedir (Ağırdır 1989).

Hafif betonun ısı iletkenliklerine silis dumanı ve uçucu külün etkilerinin incelendiği araştırmada, en yüksek ısı iletkenlik değeri pomza agregalarıyla üretilen betonda 0.3178 W/mK , en düşük ısı iletkenlik değeri ise %70 çimento, %30 uçucu kül ve perlit agregasıyla üretilen betonda 0.1471 W/mK olarak bulunmuştur. aynı zamanda silis dumanı ve uçucu külün betonun ısı iletkenlik değerlerini azalttığı da belirtilmiştir (Demirboğa et al. 2000).

Araştırma materyali beton blok örneklerinin birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak, ısı iletkenlik değerlerinin değişimi benzer araştırma sonuçlarına (Anonymous 1973b, Ağırdır 1989 ve Kars 1994) yakınlık göstermektedir.

Üretilen hafif beton blok örneklerinin $0.135-0.192 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ arasında değişen ısı iletkenlik değerleri, tarımsal yapılarda başlıca yapı malzemesi olarak kullanılan taş, tuğla, normal briket, kerpiç ve ahşapın ısı iletkenlik değerleriyle karşılaştırılırsa; taşın ($2-3 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) yaklaşık $1/10$ 'u, sıvasız ve sıvalı tuğlanın ($0.69-0.75 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) yaklaşık $1/4$ 'ü, boşluklu normal beton briketin ($0.60 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) yaklaşık $1/3$ 'ü, ahşabın ($0.20 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) $1/1$ 'i, kerpicingin ($0.60-0.80 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) yaklaşık $1/4$ 'ü ve sıvasız delikli tuğlanın ($0.40 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$) ise $1/2$ 'sine yakın değerler aldığı görülmektedir (Kafescioğlu ve Sunguroğlu 1970, Alkan 1973, Postacioğlu 1975b). Araştırma materyalini oluşturan hafif beton blokların ısı yalıtımı bakımından yapı malzemelerinin çoğundan üstün bir

özelliğe sahip olduğu anlaşılabılır. Benzer ısı iletkenliğine sahip, tarımsal yapılarda kullanılan malzemenin çoğuna oranla özellikle basınç dayanımının yeterli olması ve diğer üstünlükleri nedeniyle daha iyi durumdadır. Bu bakımdan tarımsal yapılarda kullanılmasının daha uygun olabileceği ve daha fazla yarar sağlayacağı söylenebilir.

Araştırmadan elde edilen bir diğer sonuç da, hafif agregalar kullanılarak üretilen beton blokların ısı iletkenlik değerlerinin standartlarda verilen değerlerden daha düşük olduğudur. Bu özelliği ile beton blok, düşey konstrüksiyonların oluşturulmasında kullanılan tuğla ve benzeri yapı bileşenlerinden daha ısı yalıtımlıdır. Isı yalıtımlı olması ve dayanıklılığı ile geleneksel bir sistem olan yığma yapılarda özellikle tercih edilmelidir.

Doğu Anadolu kırsal yerleşimlerinde yakıt önemli bir sorun olduğundan (Şişman 1971), çeşitli yapılarda ısı iletkenliği düşük malzeme kullanılması ile yakıttan sağlanabilecek artım küçümsenmemelidir (Kanca 1977). Konut dahil sıcaklık kontrolünün zorunlu olduğu ve ısı kaybının önlenmesi gerektiği hayvan barınakları ve depo yapılarında boşluklu beton blokların diğer yapı malzemelerine göre daha düşük ısı iletkenliğine sahip hafif betonla yapılması durumunda ısı yalıtım özelliği iyileştirilebilir. Enerji tasarrufu ve yapı maliyeti açısından ülke ekonomisine yarar sağlayacağı unutulmamalıdır.

4.2.5. Su Emme

Sertleşmiş beton bloklar üzerinde yapılan su emme değerlerinin ağırlıkça %18.6 ile %27.6 arasında değiştiği Çizelge 4.44'de ve piyasada üretilen beton blokların su emme değerleri ise Çizelge 4.45'de görülmektedir. Hafif beton blokların su emme değerlerinin yüksek olmasına neden olarak, karışımlarda kullanılan agregaların su emme oranlarının fazla olmasından ileri gelmektedir.

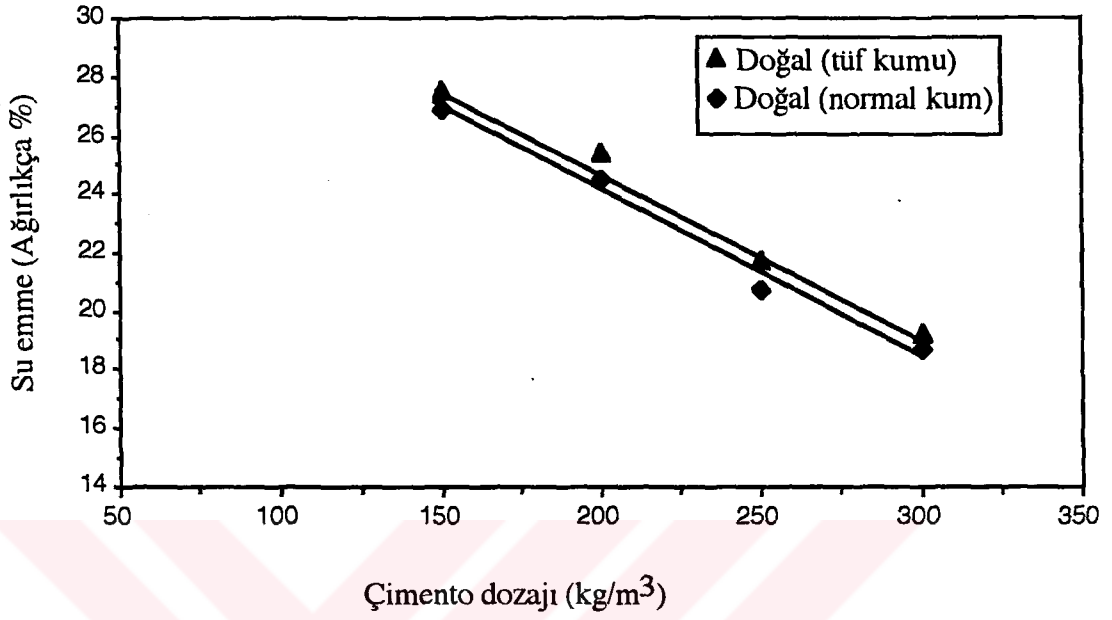
Çizelge 4.44. Beton blokların su emme değerleri (%)

Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Karışma giren kum çeşitleri	Van-Erciş	Erzurum-Pasinler
			Su emme (ağırlıkça %)	Su emme (ağırlıkça %)
150	Doğal	Tüf kumu	27.5	27.6
		Normal kum	26.9	27.0
	Ayarlanmış	Tüf kumu	28.2	27.6
		Normal kum	27.0	26.9
200	Doğal	Tüf kumu	25.4	25.7
		Normal kum	24.5	24.6
	Ayarlanmış	Tüf kumu	25.6	25.6
		Normal kum	24.6	24.6
250	Doğal	Tüf kumu	21.7	22.2
		Normal kum	20.7	21.3
	Ayarlanmış	Tüf kumu	22.0	22.5
		Normal kum	20.8	20.9
300	Doğal	Tüf kumu	19.2	19.5
		Normal kum	18.7	18.7
	Ayarlanmış	Tüf kumu	19.5	19.4
		Normal kum	18.7	18.6

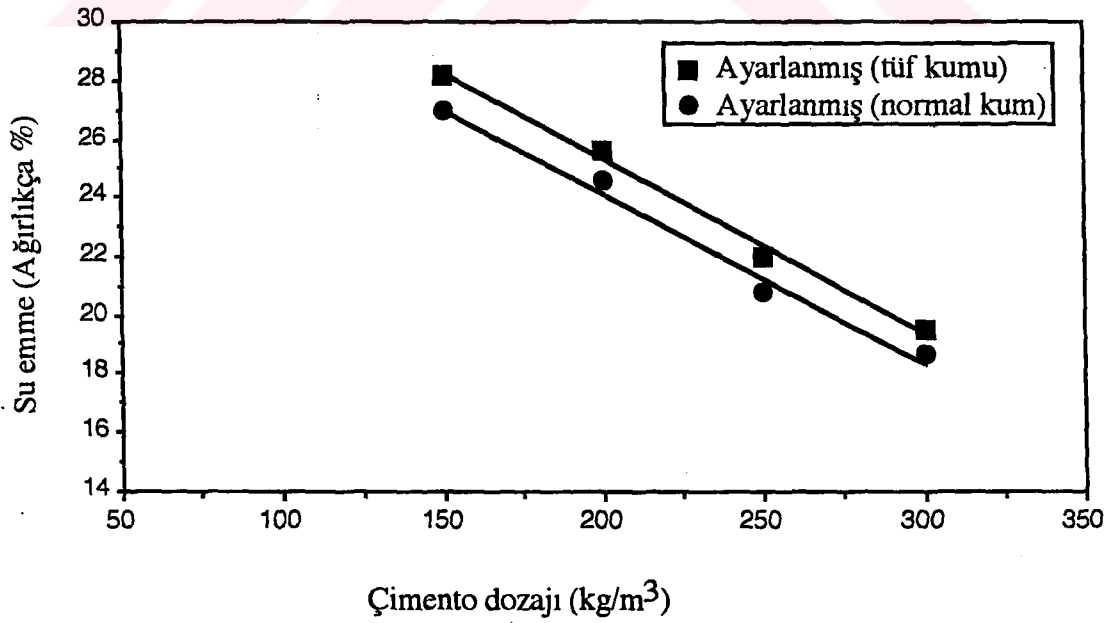
Çizelge 4.45. A, B ve C atölyelerince üretilen beton blokların su emme değerleri (%)

Atölyeler	Çimento dozajı (kg/m ³)	Granülometri	Su emme (ağırlıkça %)
A	150	Doğal	20
B	150	Doğal	28
C	150	Doğal	29

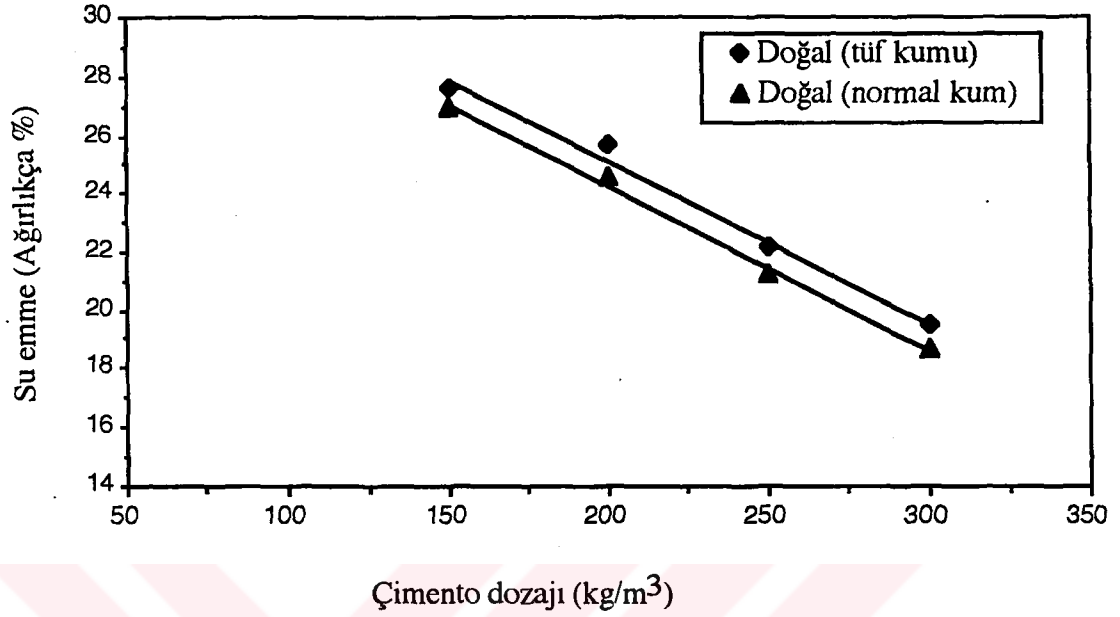
Farklı agrega, granülometri ve dozajlarda üretilen beton blokların özelliklerine bağlı olarak su emme değerlerinin değişimi Şekil 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36'da gösterilmiştir.



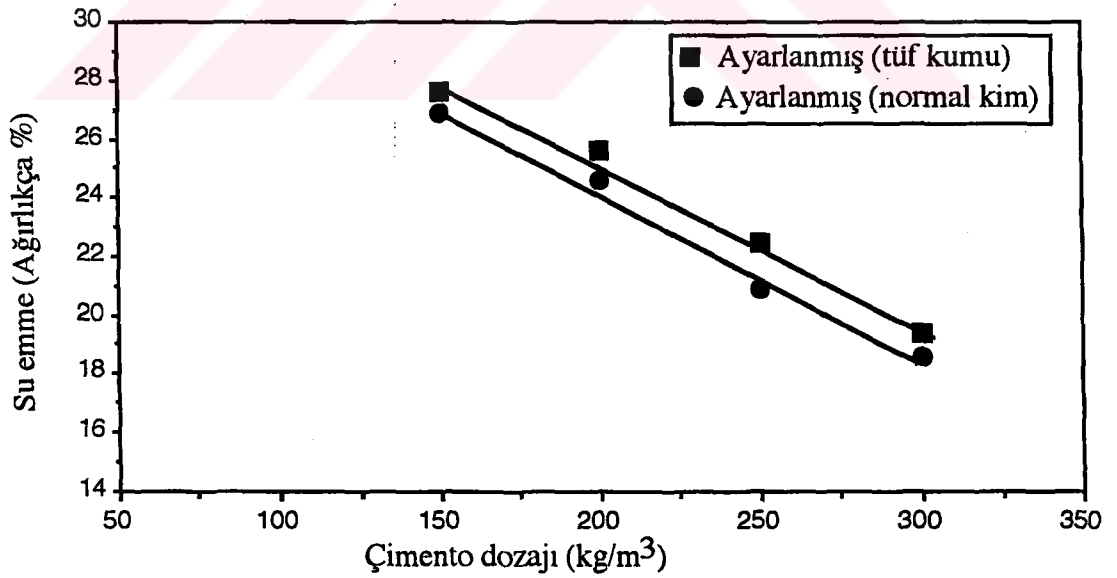
Şekil 4.33. Doğal granülometril Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.34. Ayarlanmış granülometril Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.35. Doğal granülometrilili Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki



Şekil 4.36. Ayarlanmış granülometrilili Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak üretilen boşluklu beton blokların su emme değerleri ve çimento dozajı arasındaki ilişki

Üretilen hafif beton blokların su emme değerleri ile çimento dozajı arasındaki ilişkiyi belirleyen regresyon denklemleri, bunlarla ilgili korelasyon katsayısı (r), regresyon ve

korelasyon katsayıları için hesaplanan t değerleri Çizelge 4.46'da verilmiştir. Hesaplanan regresyon denklemlerinde deneysel değerleri kapsayan sınırlar içerisinde beton blokların su emme değerlerinin (Y), çimento dozajının (X) doğrusal bir işlevi olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 4.46. Beton blokların su emme değerleri (Y) ve çimento dozajı (X) arasındaki ilişki

Kullanılan Agregalar	Agrega Granülometrisi	Karışım Çeşitleri	Regresyon Denklemi	Korelasyon Katsayısı (r)	Korelasyon Katsayısı İçin Hesaplanan (t)
Van-Erciş	Doğal	Tüf kumu	$y = -0.057x + 36.32$	0.995**	13.76
		Normal kum	$y = -0.057x + 35.48$	0.993**	12.09
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = -0.059x + 37.19$	0.997**	19.889
		Normal kum	$y = -0.057x + 35.68$	0.994**	12.797
Erzurum-Pasinler	Doğal	Tüf kumu	$y = -0.056x + 36.26$	0.994**	13.134
		Normal kum	$y = -0.056x + 35.59$	0.998**	24.005
	Ayarlanmış	Tüf kumu	$y = -0.055x + 36.24$	0.995**	14.539
		Normal kum	$y = -0.057x + 35.62$	0.995**	14.445

**p< 0.01 olasılık düzeyinde çok önemli

Çizelge 4.46'da verilen regresyon denklemlerine ilişkin regresyon katsayıları ve korelasyon katsayıları, Van-Erciş ve Erzurum-Pasinler doğal ve ayarlanmış tüf ve normal kum karışimli granülometri bileşimleri için (p< 0.01 olasılık düzeyinde) çok önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle beton blokların su emmesi ile çimento dozajları arasında kesin negatif doğrusal bir ilişkinin bulunduğu söylenebilir.

Üretilen beton blokların çimento dozajındaki artışla su emme değerleri arasında ters orantı olduğu gözlenmiştir. Çimento dozajı arttıkça su emme değerleri düşmüştür.

Farklı agrega ocaklardan alınan doğal ve ayarlanmış granülometrilere sahip agregalarla üretilen beton blokların değişik dozajlarda su emme değerlerinin değişiminin saptanması için yapılan varyans analizi Çizelge 4.47'de verilmiştir.

Çizelge 4.47. Agrega ocağı, granülometri, kum çeşidi ve dozajın beton blokların su emme değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri
Ocak	1	0.503	0.943
Granülometri	1	0.447	0.839
Kum çeşidi	1	18.265	34.281**
Dozaj	3	325.744	611.376**
Ocak x granülometri	1	0.199	0.373
Ocak x kum çeşidi	1	0.00164	0.0031
Granülometri x kum çeşidi	1	0.164	0.308
Ocak x granülometri x kum çeşidi	1	0.092	0.173
Ocak x dozaj	3	0.470	0.883
Granülometri x dozaj	3	0.035	0.066
Ocak x granülometri x dozaj	3	0.063	0.119
Kum çeşidi x dozaj	3	0.108	0.202
Ocak x kum çeşidi x dozaj	3	0.054	0.101
Granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.028	0.053
Ocak x granülometri x kum çeşidi x dozaj	3	0.0084	0.016
Hata	64	0.533	
Toplam	95		

** $p < 0.01$ olasılık düzeyinde çok önemli

Varyans analiz sonucuna göre araştırmada kullanılan agreg a ocakları ve granülometril erinin beton blokların su emme değ erine olan etk ilerinin ön emsiz oldu ğ u, kum çeş idi ve dozajın ise ($p < 0.01$ olasılık düzeyinde) çok önemli oldu ğ u görü lmektedir. İ kili, üç lü ve dör t lü etkileş imleri incelendi ğ inde de beton blokların su emmeye olan etk ilerinin ön emsiz oldu ğ u sonucuna varıl mış tır.

Hafif betonların su emmesi normal betonlardan daha fazladır. Bazı hafif betonlar normal betonlardan iki kat daha fazla su emmeye sahip olmasıyla birlikte yüksek su emme betonun yüksek geçirgenliğ ine sahip olmasını gerektirmemektedir (Turgutalp 1978). Lewis (1966) betonun su emme değ erlerini, di ğ er yapı malzemelerinin su emme değ erleri ile geçerli bir karşı laş tırma yapabilmek için, su emme değ erlerinin hesaplanmasında ağı rlık yü zdeleri yerine hacim yü zdel erinin kullanılmasının daha uygun olaca ğ ını, betonun su emmesi ile önemli hi ğ bir özelli ğ i arasında kesin iliş kiler olmadı ğ ından, bir sınırlama

yapılamadığını fakat çevre koşulları etkisindeki beton duvar birimleri için sınırlamalar bulunduğunu belirtmektedir.

Hafif betonların su emmeleri ile ilgili yeterince araştırma bulunmamaktadır. Standartlarda da hafif betonların su emmeleri ile ilgili sınır değerler verilmemektedir. Hafif beton blok elemanlarının üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada, pomza ile üretilen hafif blok elemanın su emme değeri %20-30, perlitle yapılan beton bloklarda %20-35, y tongda %25-35, alçılı bloklarda %35 ve kil ürünleri ile yapılanlarda ise %20 değerleri saptanmıştır (Ünal vd 1997).

Araştırma konusu olan ve piyasadan alınan beton blokların su emme değerleri, yukarıda literatürde verilen su emme değerlerine uygunluk göstermektedir. Hafif blok elemanlarının gözeneklerine giren su malzemenin mekanik ve ısı özelliklerini olumsuz olarak etkilediğinden, blok elemanlarının hiç su emmemesi veya çok az su emmesi arzu edilmektedir.

4.2.6. Şekil ve Gönyeden Sapma

Üretilen ve piyasadan alınan hafif beton bloklar sertleştikten sonra şekil ve gönyeden sapma ile ilgili yapılan ölçümler ve gözlemler sırasında, örneklerde herhangi bir düzensizlik görülmemiştir.

4.2.7. Boyut ve Toleranslar

Üretilen ve piyasadan alınan hafif beton blokların Anonymous (1986b)'da belirtildiği şekilde uzunluk, yükseklik ve genişlikleri katlanmaz çelik metre yardımıyla en az iki ayrı yerinden 1 mm duyarlılıkla ölçülmüştür. Ölçümlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.48'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.48. Üretilen ve piyasadan alınan beton blokların boyutları ve standart ölçüler

Boyutlar (mm)	Standart boyut ve toleranslar	Araştırma konusu olan beton bloklar	Piyasadan alınan beton bloklar		
			A	B	C
Genişlik	190±3	185	192	180	182
Uzunluk	390±3	388	387	383	385
Yükseklik	185±4	182	185	182	175

Çizelge 4.48 incelendiğinde, üretilen beton blokların uzunluk ve yükseklikleri standartta verilen ölçülerin içinde kaldığı buna karşın genişlikte çok az bir farkın görüldüğü saptanmıştır. Piyasadan sağlanan beton bloklardan A atölyesinin ürettiklerinde standartta verilen ölçülere uygunluk gösterdiği, B atölyesinin ürettiği beton blokların sadece yüksekliği standartta verilen değerlere uygun olduğu ve C atölyesinde üretilen beton blokların boyutlarının ise standartta verilenlere uygun olmadığı gözlenmiştir.

5. SONUÇ

Hafif agregata ve bunlarla üretilen beton blokların çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili gerçekleştirilmiş deneysel çalışmaların tümünden çıkartılabilecek sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- Araştırma materyali olarak kullanılan doğal hafif agregata, karışık granülometri bileşimi bakımından standartlarda hafif beton blok üretimi için öngörülen sınır eğrilerine tam bir uygunluk göstermemektedir. Piyasada üretilen beton blokların granülometrisine benzer şekilde yapılan ayarlama sonucu, Van-Erciş hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak oluşturulan doğal granülometri eğrisi de standartta öngörülen sınır eğrilerine uygunluk göstermemiştir. Erzurum-Pasinler hafif agregasına tüf ve normal kum katılarak elde edilen doğal granülometri eğrisi ise, standartta verilen sınır eğrilerinin arasında kalmıştır. Tane dağılımı bakımından uygun görünmeyen Van-Erciş doğal granülometri eğrisinin üretilen beton bloklara etkisi benzer dozaj düzeylerinde, granülometrisi ayarlanmış agregalarla üretilen beton bloklarla karşılaştırıldığında, beton blokların özellikleri yönünden olumsuz olarak nitelendirilebilecek önemli farklar ortaya çıkmamıştır. Dolayısıyla agregaların doğal durumda kullanılmasıyla, diğerine oranla daha ekonomik olabilen uygun özelliklere sahip beton bloklar üretilir.
- Değişik ocaklardan sağlanan agregalar beton blok için zararlı olabilecek yabancı madde bakımından iyi durumda olduğundan, herhangi bir iyileştirme işlemine de gerek göstermemektedir. Bu durumun da beton blokların ekonomisi üzerinde olumlu etkilere sahip olabileceği söylenebilir.
- Betonların karışım oranlarının saptanmasında agregadan alınacak iri ve ince örneklerin karıştırma sırasındaki nemlerinin bilinmesi, buna uygun özgül ağırlık faktörlerinin kullanılması ve karışımın su miktarının buna göre hesaplanması gerekir. Ancak beton üretimi sırasındaki agregata yığınının depolama koşullarına göre değişebilecek nem durumunun aynılığının göz önünde bulundurulması da önemlidir.

- Hafif agregaların boşluklu yapısı nedeniyle su emmelerinin çok yüksek olduğu göz önünde bulundurularak karışıma çimento konulmadan önce hafif agreganın, karışım suyunun 1/3'ü ile bir iki dakika karıştırılması ve sonra çimento eklenerek karıştırmanın üç dört dakika daha sürdürülmesi uygundur. Böylece agrega boşlukları önce su ile doldurularak, bu boşluklara girme olasılığı bulunan ve beton blokların birim hacim ağırlığını greksiz yere artırarak, dayanımına etkisi olmayan fazla çimento harcanmasının önlenmesi olanağı vardır. Agreganın karıştırma sırasındaki nem durumunun saptanması koşuluyla 24 saat öncesinden ıslatılması yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı yararlı sonuçlar verebilir.

- Belirli bir dayanımın sağlanmasını gerektiren özel uygulamalarda, deneme karışımlarının yapılarak, yeterli işlenebilirlik için su oranının doğrulukla saptanması ve ayarlamaların yapılması gerekir. Su oranının fazlalığı veya azlığı özellikle hafif betonlarda çok olumsuz etkilere sahiptir. Karışımdaki fazla su önemli derecede ayrılmaya neden olduğundan, beton niteliğini bozmaktadır. En uygun karışım suyu oranının uygulanması ile birlikte betonun kalıplara dökme işleminde kısa sürede bitirilmesi ve taze betonun sarsıntı etkisinde bırakılmaması da olumlu etkilere sahiptir.

- Agregada birim hacim ağırlıkları, belirli koşullar sağlanarak her çeşit hafif beton yapımına uygunluk göstermekte ise de bunun daha çok orta derece dayanımlı beton üretimi için elverişli olduğu söylenebilir. Hafif agregada birim hacim ağırlıklarına bağlı olarak beton blokların birim hacim ağırlıklarının da düşük olması yapı özağırlığını azaltacaktır.

- Üretilen hafif beton blokların birim hacim ağırlıkları $575-751 \text{ kg/m}^3$, piyasadan deneme için alınan beton blokların ise $552-650 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Beton blokların aynı dozaj düzeyinde normal kum karışımı olanların tuf kumu karışımı olanlara göre birim hacim ağırlıklarının daha fazla olduğu görülmüştür.

- Araştırma konusu olan beton blokların basınç dayanımları $12.1-26.3 \text{ kgf/cm}^2$, piyasada üretilen beton blokların ise $9-11 \text{ kgf/cm}^2$ arasında saptanmıştır. Standartta verilen minimum basınç dayanımının (20 kgf/cm^2) olması gerektiğinden, üretilen beton blokların 250 kg/m^3 dozaj düzeyinde standartta verilen minimum basınç dayanım değerine ulaştığı gözlenmiştir. Bu nedenle tarımsal yapılarda kullanılacak beton blokların en az 250 kg/m^3

dozaj düzeyinde üretilmeleri gerekmektedir. Özellikle yalıtım amaçlı dolgu malzemesi olarak kullanılan yerlerde ise daha düşük dozajlı beton blokların kullanılması olanağı vardır.

- Araştırmadan elde edilen beton blok betonlarının ısı iletkenliği 0.135-0.192 kcal/mh°C, piyasada üretilen beton blokların ise 0.135-0.160 kcal/mh°C olduğundan, yeterli dayanımın sağlanması koşuluyla tarımsal yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarlarda kullanılmasıyla bazı yapı malzemelerine oranla daha iyi ısı yalıtımı elde edilebilir.
- Hafif beton blokların donma-çözülme sonrası basınç dayanımları 12.9-29.6 kgf/cm², piyasadan üretilen beton bloklarda ise 9.5-11.2 kgf/cm² arasında saptanmıştır. Donma-çözülme sonrası dayanıklılığı bakımından yeterlilik göstermesi ve hatta donma-çözülme etkisiyle basınç dayanımında artış sağlaması, donma-çözülmenin sık ve şiddetli olduğu yörelerde başarıyla kullanılabileceğini kanıtlamaktadır. Hafif beton blokların boşluk yapısının ve agreganın özel durumunun bu konuda olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Bu nedenle üretilen hafif beton blokların donma-çözülme dayanıklılığını arttırmak amacıyla hava katkısı kullanılması gereksizdir. Hafif beton blokların donma-çözülme karşı dayanıklılık göstermesi nedeniyle, donma-çözülme etkisinde kalan tarımsal yapıların çoğunda kullanılmasıyla yararlar sağlayabilir.
- Üretilen beton blokların su emme değerlerinin ağırlıkça %18.6 ile %27.6, piyasadan üretilen beton bloklarda ise ağırlıkça %20 ile %29 arasında değiştiği belirlenmiştir. Hafif beton blokların nem geçirgenlikleri yüksek olduğundan, su geçirmesi istenmeyen yapılarda sıvasız olarak kullanılması uygun değildir. Yapılacak duvarların neme karşı sıva ve benzeri malzeme ile kaplanarak korunması gerekir. Bu durum özellikle dış duvar yüzeylerinde önem taşır.
- Üretilen beton blokların testere ile kolayca kesilebilmesi ve çivilenebilmesi ile ateşe dayanıklılığı da kullanımında üstün özelliklerini oluşturur. Bu bakımdan çeşitli tarımsal yapılarda bu özellikler yararlar sağlayabilir.
- Kırsal kesimde hafif beton blokların kullanılmasıyla, yapım işleminin daha kısa sürede bitirilebilmesi ve hafif elemanlarla yapım tekniğinin uygulanmasında kolaylık ve işgücünden artım sağlaması gibi olanaklar bulunmaktadır. Bu durum genellikle yapım

mevsiminin, tarımsal üretime ilişkin çalışmaların yoğun olduğu zamanla çakışması bakımından da önem taşımaktadır. Nitekim yapı işçiliğinden sağlanacak artımın, tarımsal üretim alanında değerlendirilmesi ile çoğunlukla bu mevsimde sıkıntısı çekilen işçilik sorununun çözümüne katkıda bulunulacağı da bir gerçektir.

- Doğu Anadolu Bölgesi'nde elverişli yapım mevsiminin kısalığı göz önünde tutulursa, çoğu zaman bazı tarımsal yapıların kısa sürede bitirilmesi de büyük önem taşımaktadır. Ayrıca birinci sınıf deprem bölgesi olan bölgede hafif beton blokların kullanılması ile dayanıklı ve hafif yapıların oluşturulmasına olanak vermektedir.
- Kırsal yerleşimlere yakın hafif agrega ocaklarının hafif beton blok yapımında değerlendirilmesi ile tarımsal yapılarda kullanılmasının sağlanması olanaklarının bulunması ve bu konudaki girişimlerin artırılarak uygulamalara geçilmesiyle, kentsel yapılar yanında; gerek yapı tekniği ve malzeme niteliği, gerek görünüş bakımından büyük farklılıkların bulunduğu, kırsal kesimdeki yapılar da görünüş, nitelik ve aynılık bakımından üstün özelliklere sahip olabilecektir.
- Yurdumuzun çeşitli bölgelerinde yaygın olarak bulunan ve kolayca sağlanabilen doğal hafif agregaların özelliklerinin incelenerek, bunlarla tekniğine uygun olarak hafif beton blok üretilmesi ve uygulama alanlarının genişletilmesiyle bugün kentsel ve özellikle kırsal kesimin yapılarında kullanılmakta olan malzemenin çoğuna oranla üstün niteliklere sahip, ekonomik olabilen bir yapı malzemesi elde etme olanakları vardır.
- Değerli doğal kaynaklarımız arasında sayılabilecek ve ekonomimize önemli katkısı olabilecek doğal hafif agregaların özellikle hafif beton ve beton blok üretiminde kullanılmasını hızlandıracak girişimlerin yapılması, araştırmaların genişletilmesi ve uygulama alanlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Açikel, H., 1995. Karapınar Volkanik Agregasından (TS 4047'Ye Uygun) Hazır Döşeme ve Çatı Plakları İmalı (Yayınlanmamış Doktora Tezi) Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ağırdır, M.L., 1989. Altınape Bims Agregasından TS 3234'E Uygun Hafif Beton Briket İmalı (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi) Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Akman, M.S. ve Taşdemir, M.A., 1977. Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu. 1. Ulusal Perlit Kongresi Bildirileri, s. 40-80, MTA, Ankara.
- Akman, M.S., 1962. Hafif Betonlar. Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Haziran 1962 : 30-35.
- Akman, M.S., 1990. Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayını (İkinci Baskı), İstanbul.
- Aksoy, İ.G., 1992. Determination of Thermal Conductivity and Diffusivity of Materials by Transient Measurement Techniques. A Master's Thesis in Mechanical Engineering University of Gaziantep, (Published).
- Alkan, Z., 1969. Bazı Stabilizan Maddelerin Dükme Kerpiç ve Prese Kerpicingin Önemli Mekanik Özelliklerine Etkisi Üzerinde Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zirai Araştırma Enstitüsü, Araştırma Bülteni No.42, Erzurum.
- Alkan, Z., 1972. Zirai İnşaat. Atatürk Üniversitesi Yayınları No. 252/A, Erzurum.
- Alkan, Z., 1973. Ahır Planlamasının Teknik Esasları. Atatürk Üniversitesi Yayınları No. 253, Erzurum.
- Amil, A., 1989. Erzurum İlinin Bazı Ova Köylerindeki Konutlar Üzerinde Bir Araştırma. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Anonymous, 1968. Design and Control of Concrete Mixtures, Portland Cement Association (PCA), General Information, Engineering Bulletin, Skokie.
- Anonymous, 1970. Lightweight Aggregate Concrete, Building Research Station (BRS) Digest : 123, Garston.
- Anonymous, 1971. Çimentolu Kerpiç Bloklar (TS 537), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Anonymous, 1972. Structural Lightweight Concrete Portland Cement Association (PCA), Concrete Information, Revised Chapter 13, Design and Control of Concrete Mixtures, Skokie.
- Anonymous, 1973a. Methods of Sampling and Testing of Lightweight Aggregates for Concrete (BS 3681), British Standards Institution .
- Anonymous, 1973b. Manufacture and Application of Lightweight-Aggregate Concrete, Overseas Division Building Research Station (BRS), Overseas Building Note, No.152, Garston.
- Anonymous, 1976. Harman Tuğlaları (TS 704), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1977a. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları (TS 2511), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1977b. Milletlerarası Birimler Sistemi, Mekanik Büyüklükleri ve Birimleri (TS 296), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1977c. Isı İletkenliği ve Isı Geçirgenlik Direncinin Yapıda Kullanılması İçin Hesap Değerlerinin Bulunması (TS 415), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1978. Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodları (TS 3234), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1979. Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete (ACI), 213 R-79, Concrete International, 2, 33-62.
- Anonymous, 1980a. Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini (TS 3530), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Anonymous, 1980b. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini (TS 3529), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980c. Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini (TS 3527), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980d. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini (TS 3526), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980e. Beton Agregaları (TS 706), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1981a. Beton Agregalarında Sülfat Miktarı Tayin Metodu (TS 3674), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1981b. Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık Su emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu (TS 3624), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Anonymous, 1982, Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu (TS 3673), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1985a. Deney Elekleri-Tel Kafesli Kare Göz Açıklıklı (TS 1227). Türk Standartları Enstitüsü Ankara.
- Anonymous, 1985b. Deney Elekleri-Metal Levhalı Yuvarlak veya Kare Delikli (TS 1226), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1986a. Hafif Agregalar-Beton İçin (TS 1114), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1986b. Bimsbetondan Mamul Yapı Elamanları (TS 2823), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1986c. Beton İle İlgili Terimler (TS 4834), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1987. Seramik Malzemeler-Isı İletkenliği Kızgın Tel Metodu ile Tayini (TS 4360), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1988. Duvarlar İçin Beton Bloklar ve Briketler (TS 406), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1989. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (TS 825), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1991. ACI Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-91), Detroit, Michigan.
- Anonymous, 1992. Yapı-Endüstri Hammaddeleri: VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı Ö.İ.K. Raporu. D.P.T. yayını, D.P.T.: 2309-Ö.İ.K.: 414, s 71-108.
- Anonymous, 1998a. Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. Masonry Units. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 331-98, 04.02, 197-199.
- Anonymous, 1998b. Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 332-87, 04.02, 200-202.
- Anonymous, 1998c. Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 330-97, 04.02, 193-196.
- Anonymous, 1998d. Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 127-88, 04.02, 64-68.

- Anonymous, 1998e. Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 128-97, 04.02, 69-73.
- Anonymous, 1998f. Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. Annual Books of ASTM Standards Designation, C 702-93, 04.02, 355-358.
- Ashworth, T. and Ashworth, E., 1991. Insulation Metarials: Testing and Applications. Vol.2 ASTM STP 1116 R.S. Graves and D.C., Wysocki (eds.), p.415-429, American Society for Testing and Materials, Philadephia.
- Balaban, A. ve Şen, E., 1979. Tarımsal İnşaat. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No.679, Ankara.
- Balaban, A. ve Şen, E., 1988. Tarımsal Yapılar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No.1083, Ankara.
- Baradan, B., 1991. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayını, İzmir.
- Barnbrook, G., Dore, E., Jeffery, A. H., Keen, R., Parkinson, J. D., Sawtell, D. L., Shacklock, B. W. and Spratt, B. H., 1975. Concrete Practice, Cement and Concrete Association, Wexham Springs.
- Bizden, A., 1976. Hafif Agrega İle Yapılan Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesabı Metodlarının Analizi. O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Ankara.
- Bloem, D.L. and Gaynor, R.D., 1963. Effects of Aggregate Properties on Strength of Concrete, ACI Journal, Vol.60, No.10: 1429-1455.
- Bowser, J.D., Karause, G.L. and Tadros, M.K., 1996. Freeze-Thaw Durability of High-Performance Concrete Masonry Units, ACI Materials Journal, V.93, No. 4, p. 386-394.
- Brink, R.H. and Timms, A.G., 1966. Weight, Density, Absorption and Surface Moisture, ASTM, Concrete and Concrete-Making Materials, p. 432-441.
- Carlson, C.C, 1956. Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units, ACI Journal, Vol.53: 491-508.
- Cimilli, T., 1986. Yapı Malzemesi. Karadeniz Üniversitesi Mühendislik Mimarlık-Mimarlık Fakültesi, s.137-157, Trabzon.
- Çankıran, O., 1997. Pomza Agregalı Hafif Betonun Mekanik Özellikleri ve Kimyasal Katkılarla Dayanımının Artırılması (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Çevikbaş, A. ve İlgün, F., 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, s.13-19, Isparta.
- Davraz, M. ve Gündüz, L., 1997. Isparta Yöresi Pomza Taşının Hafif Yapı Elamanı Olarak Değerlendirilmesi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, s.61-70, Isparta.
- Demirboğa, R., Gül, R., Uysal, H. and Düzgün, O.A., 2000. The Effects of Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. Second International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete, p.483-491.
- Demirboğa, R., Örüng, İ. and Gül, R., 2001. Effects of Expanded Perlite Aggregate and Mineral Admixtures on The Compressive Strength of Low-Density Concretes. Cement and Concrete Research an International Journal, 31, 1-6.
- Dhir, R. K., Munday, J.G.L. and Cheng, H.T., 1989. Lightweight Concrete Strenght and Deformation. Construction weekly, 12 July, 14-17.
- Durmuş, A. ve AYTEKİN, M., 1986. Betonarme İnşaat hafif Betonlar. TMMOB Haber Bülteni, (8), 12-15, İzmir.
- Durmuş, A., Aslaner, M., Hüsem, M. ve Kolaylı, H., 1996. Karadeniz Bölgesi Hafif Agregata Yataklarının Belirlenmesi ve Bunlarla Yekpare ve Prefabrike Beton Yapılarda Kullanılabilirlik ve Yararlarının Araştırılması. Araştırma Projesi Raporu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Proje No: 91.112.001.5, Trabzon.
- Ekmekyapar, T., 1975. Elazığ İli Ziraat İşletmelerinde Binaların Durumu, Özellikleri, Yeterlilikleri ve Geliştirme İmkânları Üzerinde Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Yayınları, No. 402, Erzurum.
- Ekmekyapar, T. ve Örüng, İ., 1993. İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, No.145, Erzurum.
- Erciyes, Y., 1963. Bims ve Bims Betonu Üzerinde Araştırmalar. İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları No. 5-17, Ankara.
- Erzurumlu, K., 1973. Mühendislik Jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, Sayı: 966, İstanbul.
- Gorshkov, A.M., 1968. Lightweight Aggregates and Fresh Concrete in Relation to Site and Factory Operations. The First International Congress on Lightweight Concrete, Vol. 2; Discussion : 3-4.
- Göğüş, Y., 1969. Isı İletkenlik ve Yayınlam Katsayılarının Kolaylıkla Ölçülmesi. Mühendis ve Makina, 12(143): 399-401.

- Grazzini, G. and Balocco, C., 1995. Determination of Thermal Parameters of Poor Conductors by Transient Techniques. *International Journal of Energy Research*, 19, (1), 37-44.
- Gül, R., Gençten, O., 1993. Elazığ Ferrkrom İşletmesi Granüla Cürufunun Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, 291-301, Ankara.
- Gül, R., Gençten, O., 1994. Hafif Agregalı Betonun Kullanılabilirliği. *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı: 82, Sayfa : 31-335, Ankara.
- Gül, R., Şahin, R. ve Demirboğa, R., 1997a. Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması. *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı*, 3, 903-912, Ankara.
- Gül, R., Uysal, H. ve Demirboğa, R., 1997b. Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Isı Geçirgenliğinin Araştırılması. *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı*, 2, 553-562, Ankara.
- Gül, R., Türkmen, İ., 1998. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. *DSİ, Beton-Çimento ve Boya Semineri*, Ankara.
- Hanson, J.A., 1968. American Practice in Proportioning Lighthweight-Aggregate Concrete, *Proceedings of the The First International Congress on Lightweight Concrete*, Vol. 1.1; Papers : 39-54.
- Hüsem, M., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi (Doktora Tezi), *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- İhtiyaroğlu, E., 1974. Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerine Araştırmalar, *İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları*, No. 5-76, Ankara.
- İlhan, S., Nurbaş, M., Ekmekci, S. ve Özdağ, H., 1997. Pomzanın Biyoteknolojide Adsorbant Olarak Kullanımı. *I. Isparta Pomza Sempozyumu*, s.39-46, Isparta.
- Kafescioğlu, R. ve Sunguroğlu, İ., 1970. Yapıda Isı ve Rutubetle İlgili Problemler, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları*, İstanbul.
- Kakaç, S., 1982. Isı Transferine Giriş. *O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayın No. 52*, Ankara.

- Kan, A., 1999. Pasinler-Esendere Volkanik Tuf Kumunun Harç Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kanca, A. C., 1977. İnsan Sağlığı ve Az yakıtle Isınabilmek İçin Yapılarda Uygulanacak Yeni Buluş ve Esaslar, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Bilgi Profili, No. 61, Ankara.
- Karagüler, M.E., 1988. Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karause, G.L., and Tadros, M.K., 1994. Lightweight High-Performance Concrete Masonry-Block Mix Design. ACI Materials Journal, V.91, No.5 : 495-501.
- Kars, F., 1994. Türkiye Briketlerinin Isıl Davranışları (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaytancı, A., Şahin, O. ve Kartal, G., 1996. Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri. DPT VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Raporu, Ankara.
- Khalaf, F.M., 1996. Factors Influencing Compressive Strength of Concrete Masonry Prisms, Magazine of Concrete Research, V. 48, No.175, p.95-101.
- Kılıç, R. ve Şimşek, O., 1991. Madenşehir (Karaman) Doğusundaki Pomza Taşı İle Üretilen Hafif Beton Dayanımına Uçucu Kül Oranın Etkisinin İncelenmesi. Doğa TÜ. Mühendislik ve Çevre Dergisi Cilt: 15, Sayı 3.
- Klieger, P. and Joseph, F.L., 1994. Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials. ASTM, STP 169 C, p 523-525.
- Kocaman B., 2000. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Doğal Hafif ve Normal Agregalarla Üretilen Betonların Fiziksel, Mekanik ve Isı İletkenlik Özelliklerinin Belirlenmesi İle Tarımsal Yapılarda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Köksal, B.A., 1985. İstatistik Analiz Metodları. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Lewis, 1966. Lightweight Concrete and Aggregates, ASTM Special Technical Publication, No. 169-A: 359-375.
- Lobo, H. and Cohen, C., 1990. Measurement of Thermal Conductivity of Polymer Melts by the Line Source Method, Polymer Engineering and Science, 30 (2), 65.
- Loudon, A.G., and Stacy, E.F., 1966. The Thermal and Acoustic Properties of Lightweight Concretes, Structural Concrete, Vol.3, No. 2: 58-95.

- Marabito, P., 1989. High Temperatures-High Pressures, 21, 51 Fu, X., and Chug, D. D.L., (Ed.), Cement and Concrete Research, 27(12), 1799-1804.
- Mihul, A., 1968, The Thickness of the Cuating of Cement Paste Which Adheres to Particles of Expanded-Clay Aggregate, Proceedings of the The First International Congress on Lightweight Concrete, Vol. 2; Discussion : 33-36.
- Nelson, G.H., and Frei, O.C., 1958. Lightweight Structural Concrete Proportioning and Control, ACI Journal, Procedings, V.54 : 605-622.
- Nesbit, J.K., 1966. Structural Lightweight - Aggregate Concrete, Concrete Publications Limited, London.
- Neville, A. M., 1973. Properties of Concrete, John Wiley and Sons, New York.
- Neville, A. M., 1995. Properties of Concrete. Third Edition, Signapore.
- Oğuz, C. ve Türker, F., 1997. Pomza Betonda Fiziksel Ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler. I. Isparta Pomza Sempozyumu, s.81-87, Isparta.
- Örüng, İ., M. Okuroğlu , A.V. Yağanoğlu, S. Şahin, 1997. Erzurum'da Üretilen Harman Tuğlasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üni. Zir. Fak. Der., 28 (4), 576-583., Erzurum
- Özçelik, N., 1975. İnşaat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, No. 211, İstanbul.
- Özdeniz, M.B., Pehlevan, A., Yaşar, Y., Yılmazer, S., Yılmazer, C., Yılmaz, M., Kan, Ü. ve Kars, F., 1993. Küçük İşletmelerde Üretilen Briketlerin Higro-Termal Özelliklerinin Saptanması ve İyileştirilmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: INTAG 605, Trabzon.
- Pfeifer, D.W., 1967. Sand Replacement in Structural Lightweight Concrete - Freezing and Thawing Tests, ACI Journal, Vol. 64, No.11 : 735-743.
- Postacıoğlu, B., 1975 a. Yapı Malzemesi Dersleri. İstanbul Teknik Üniversite İnşaat Fakültesi Yayını (ikinci baskı), İstanbul.
- Postacıoğlu, B., 1975 b. Yapı Malzemesi Problemleri. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Postacıoğlu, B., 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri. İ.T.Ü.Matbaası, Gümüşbuğu, No.1176, İstanbul.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton (Cilt 2). Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Price, W.H., and Cordon, W.A., 1949, Test of Lightweight-Aggaregate Concrete Designed for Monolithic Construction, ACI Journal, Proceedings, Vol.45, No.8 : 581-600.

- Rudnai, G., 1963. Lightweight Concrete, Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest.
- Russel, P., 1976. The Curing of Concrete, Cement and Concrete Association, London.
- Ryan, W.G., 1968. The Production and Properties of Structural Lightweight Concrete in Australia, Proceedings of the First International Congress on Lightweight Concrete, Vol. 1; p:17-21.
- Sen Gupta, K., Das, R. and Banerjee, G., 1992. Measurement of Thermal Conductivity of Refractory Bricks by the Nonsteady State Hot- Wire Method Using Differential Platinum Resistance Thermometry. Journal of Testing and Evaluation, 20, (6), 454-459.
- Sezgin, F., 1980. İstatistik Ders Notları, Erzurum.
- Shacklock, B. W., 1974. Concrete Constituents and Mix Proportions, Cement and Concrete Association, London.
- Short, A. and William, K., 1978. Lightweight Concrete. Applied Science Publishers LTD, London (3 rd ed.).
- Somayaji, S., 1995. Civil Engineering Materials, Prentice Hall, Englewood, Cliffs New Jersey, p.154-157.
- Spratt, B.H., 1975. An Introduction to Lightweight Concrete, Cement and Concrete Association, Wexham Springs.
- Sükan, T., 1966. Doğal Hafif Agregalarla Hafif Beton Araştırılması. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Rapor No. Mlz-370, Ankara.
- Şatona, O.A., 1994. Structural Lightweight Concrete Produced With Provide and Leçelik Aggregates. Master of Science in Civil Eng. METU, Ankara.
- Şişman, N., 1971. Erzurum İli'nde Ziraat İşletmelerinin Bina Durumları, İşletme Binalarının Özellikleri, Yeterlilikleri ve Islah İmkânları Üzerinde Araştırmalar, Atatürk Üniversitesi Yayınları, No. 122, Erzurum.
- Şişman, N., 1981. Doğu Anadolu Bölgesinde Tarımsal İnşaatla İlgili Sorunlar ve Çözüm Olanakları. Kültürteknik Semineri, s.9-18, Erzurum.
- Tekinsoy, M.A., 1984. Çukurova Yöresinde Çeltik Kavuzlu Hafif Beton Briketlerin Yapımı ve Tarımsal Yapılarda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma (Doçentlik Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Tekinsoy, M.A., Çevik, B., 1983. Çukurova Bölgesinde Kullanılan Hafif Beton Briketlerin Mekanik, Fiziksel ve Kalite Özellikleri Arasındaki Fonksiyonel İlişkiler. Doğa Bilim Dergisi. Tarım ve Ormancılık , 7, 219-227.
- Teychenne, D.C., 1967. Structural Concrete Made With Lightweight Agregates. Concrete Journal, Vol.1, No.4 : 111-122.
- Teychenne, D.C., 1968. Lightweight Aggregates and Fresh Concrete in Relation to Site and Factory Operations. The First International Congress on Lightweight Concrete Vol.2; Discussion : 5-8.
- Timms, A.G., 1964. Lightweight Aggregate Concrete , Modern Concrete, Vol.27, No.11: 27-31.
- Topçu, İ.B., 1997. Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags, Cem. Concr. Res. 27(1), 15-21.
- Turgutalp, E.Ü., 1978. Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma (Doçentlik Tezi), Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Turgutalp, E. Ü. ve Örüng, İ., 1992. Doğal Hafif Betonların Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Bazı Özellikleri Özerine Bir Araştırma, Ziraat Fakültesi Dergisi, 23 (2), 72-88, Erzurum.
- Türkmen, İ., Demirboğa, R. and Gül, R., 2001. The Effects of Different Cement Dosages, Slups and Pumice Aggregate Ratios on the Freezing and Thawing of Concrete. Graduate School of Science Technology Kumamoto University Kurokami 2-39-1, JAPAN.
- Uluata, A.R., 1981. Beton Malzemeleri ve Beton, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi (Teksir), Erzurum.
- Urhan, S., 1993. Hafif ve Çok Hafif Betonların Karekteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, (369), 34-40.
- Uysal, H., 1996. Hafif Agregalardan Üretilen Betonun Isı Geçirgenliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ünal, O., Çankıran, O. ve Sancak, E., 1997. Hafif Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri. I. Isparta Pomza Sempozyumu, s.89-96, Isparta.
- Ünal, O., 1986. Perlitli Beton Bloklarda Dayanım Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi), A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Wills, M.H., 1974. Lightweight Aggregate Particle Shape Effect on Structural Concrete, ACI Journal, Vol.71: 134-142.
- Yağanoğlu, A.V., 1994. Tarımsal Yapılarda Kullanılan Bazı Isı Yalıtım Malzemelerinin Isı İletkenliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üni. Zir. Fak. Der., 25 (3): 291-310.
- Yaşar, Y. ve Pehlevan, A., 1997. Hıgro-Termik Koşullar Açısından Bimsbeton Bloklı Dış Duvar Konstrüksiyonları ve Havalandırılmalı Yeni Bir Bimsbeton Blok. I. Isparta Pomza Sempozyumu, s.71-80, Isparta.
- Yıldız, N. ve Bircan, H., 1991a. Uygulamalı İstatistik. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 2, Erzurum.
- Yıldız, N. ve Bircan, H., 1991b. Araştırma ve Deneme Metodları. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 697, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 305, Erzurum.