

65901

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAN YÖRESİNDEKİ VOLKANİK TÜFÜN BETON
MUKAVEMETİNE ETKİSİ VE TAŞIYICI HAFİF BETON
AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Erdoğan ARICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ
1997

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAN YÖRESİNDEKİ VOLKANİK TÜFÜN BETON MUKAVEMETİNE ETKİSİ VE
TAŞIYICI HAFİF BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Erdoğan ARICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği İle Başarılı
/ Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

Danışman :

Jüri :

Jüri :

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**VAN YÖRESİNDEKİ VOLKANİK TÜFÜN BETON MUKAVEMETİNE ETKİSİ VE
TAŞIYICI HAFİF BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Erdinç ARICI

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

1997, Sayfa: 59

Bu çalışmada, Van yöresindeki tüfün beton agregası olarak kullanılabilirliği, basınç dayanımına etkisi ve taşıyıcı hafif betonda kullanılabilirliği konuları incelenmiştir.

Çalışmamızda önce volkanik tüfün beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve gerekli laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonunda volkanik tüfün beton agregası olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Beton mukavemetine etkisi incelenirken deneyler iki ayrı grup halinde yapılmıştır. İlk çalışmada karışımdaki agrega hacmi sabit tutulmuş ve tüf, karışımdaki agrega ile değişik oranlarda yer değiştirilerek deneylere tabii tutulmuştur. Sonuçta basınç dayanımında %10'luk artış sağlanmıştır.

II

Çalışmaların son aşamasında taşıyıcı hafif beton elde edebilmek için deneyler yapılmıştır. Deneylerde TS 802 ve TS 2511 kullanılmıştır ve her ikisinde de agrega hacmi sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda olumlu değerler elde edilmiştir. TS 802'ye göre yapılan karışım hesaplamasında agrega tuf ile değişik oranlarda yer değiştirilmiş ve sonuçta BS14-BS16 dayanım sınıfları arasında betonlar üretilmiştir. TS 2511'e göre yapılırken ise farklı numunelerde 0-4 ve 4-16 mm'lik tufün tamamı normal agrega ile yer değiştirilmiştir. Bunların sonucunda 4-16 mm'lik tuf normal agrega ile yer değiştirildiğinde oluşturulan karışımdan taşıyıcı hafif beton elde edilmiştir.

Bulunan sonuçlar tablolar ve şekiller halinde çalışmamızda sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER : Tuf, Taşıyıcı hafif beton.

III

SUMMARY

Masters Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE VOLCANIC TUFF IN VAN REGION AND OF ITS USABILITY AS LIGHTWEIGHT CONCRETE AGGREGATE

ERDİNÇ ARICI

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

1997, Page: 77

In this study, the usability of the tuff in Van region as concrete aggregate and its effects on the compression strength of concrete were investigated.

In our study, the use of volcanic tuff as concrete aggregate has been previously investigated and for this purpose, necessary laboratory experiments have been made. The experimental results showed that volcanic tuff would be used as a concrete aggregate.

In the investigation of the usability of the tuff as concrete aggregate was kept constant and the tuff was replaced with aggregate in various amounts. As a result, as increase of 10 percent was obtained in the second group, the tuff eliminated, with a sieve

IV

of 90 μm . This tuff was replaced with the concrete in the mixture in various amounts and the compression strength of the concrete prepared was measured. The compression strength of the concrete was understood to have increased about 15 percent.

In the last stage of the study, the experiments were done to obtain light concrete, according to TS 802 and TS 2511. The aggregate volume was kept constant. In the mixture calculations done according to TS 802, tuff was replaced with aggregate in various rates and as a result the concretes having strength groups between BS14-BS16 were obtained. In the experiments done TS 2511, the tuff 0-4 and 4-16 mm. were replaced with normal aggregate completely. Consequently, structural lightweight aggregate concrete was obtained from the tuff of 4-16 mm. replaced with normal aggregate.

The results obtained were presented as tables and graphics in the study.

KEY WORDS : Tuff, Structural Lightweight Aggregate Concrete

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesi, yönlendirilmesi ve tamamlanmasında benden her türlü yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL'a, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarından yararlanmamı sağlayan bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Ataman HAKSEVER'e, deneylerin yapılmasında yardımcı olan İnşaat Mühendisliği Bölümü teknisyeni Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e, ayrıca deneylerde kullandığımız volkanik tüfün temininde yardım eden Hazardağlı Otomotiv San. ve Tic. AŞ. den Sayın Levent HAZARDAĞLI'ya teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
SUMMARY.....	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Beton	3
2.1.1. Ağır beton	3
2.1.2. Normal beton	3
2.1.3. Hafif beton	3
2.2. Agregalar	3
2.2.1. Tabii agregalar	4
2.2.2. Suni agregalar	4
2.2.3. Özel agregalar	5
2.3. Beton Mukavemetine Agreganın Etkisi İle İlgili Çalışmalar	5
2.3.1. En büyük agrega boyutunun etkisi	5
2.3.2. Agrega mukavemetinin etkisi	7

VII

2.3.3. Agreganın şekil ve yüzey durumunun etkisi	7
2.3.4. Agreganın diğer özelliklerinin etkisi	8
2.4. Hafif Beton ve Agregalarının Tanımı ve Sınıflandırılması	9
2.5. Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları	12
2.6. Taşıyıcı Hafif Betonun Avantaj ve Dez Avantajları	12
2.6.1. Avantajları	13
2.6.2. Dezavantajları	13
2.7. Yarı Hafif Betonun Yararları	14
2.8. Hafif Agreganın Beton Davranışı Üzerindeki Etkisi	15
2.9. Tüfler Hakkında Genel Bilgi ve Tüflerin Türkiye’de Dağılımı	17
2.9.1. Tüflerin oluşumu	17
2.9.2. Tüflerin bazı genel özellikleri	17
2.9.3. Tüflerin kimyasal yapısı	18
2.9.4. Tüflerin hidrolik sertleşme nedenleri	19
2.9.5. Tüflerin arazideki özellikleri	19
2.9.6. Tüflerin çeşitleri ve gruplandırılması	21
2.9.7. Tüflerin Türkiye’de dağılımı	22
2.10. Hafif Agregalarda Aranılan Özellikler ve Deneyler	23
2.10.1. Birim ağırlık	23
2.10.2. Elek analizi sınır değerleri	25
2.10.2.1. Deneyin yapılışı	26
2.10.3. Organik maddeler	27
2.10.3.1. Standart referans rengin hazırlanması	28
2.10.3.1.1. % 3’lük sodyum hidroksit çözeltisi	28
2.10.3.1.2. % 10’luk metil alkol çözeltisi	28
2.10.3.1.3. % 2’lik tannik asit çözeltisi	28
2.10.3.1.4. Standart referans rengin oluşturulması	28
2.10.3.2. Deneyin yapılması	28

VIII

2.10.4. İnce madde oranı	29
2.10.4.1. Deneyin yapılması	30
2.10.5. Yanıcı madde miktarı	30
2.10.6. Sülfat miktarı	31
2.10.6.1. Deneyin yapılması	32
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
3.1. Deney Hazırlıkları ve Malzeme Seçimi	33
3.1.1. Agregası ile ilgili deneysel çalışmalar	33
3.1.2. Volkanik tufün beton mukavemetine etkisi ile ilgili deneysel hazırlıklar	33
3.1.2.1. Karışım hesaplamaları	34
3.1.3. Van yöresindeki volkanik tufün taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği ile ilgili deneysel hazırlıklar	37
3.1.3.1. Taşıyıcı hafif beton karışım hesaplamaları	37
3.1.3.1.1. TS 802'ye göre yapılan karışım hesaplamaları	37
3.1.3.1.2. TS 2511'ye göre yapılan karışım hesaplamaları	41
3.2. Deney Uygulamaları	46
4. DENEY SONUÇLARI	47
4.1. Tufün Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği İle İlgili Deney Sonuçları	47
4.1.1. Elek analizi deney sonuçları	47
4.1.2. Birim ağırlık deney sonuçları	48
4.1.3. Organik madde miktarı deney sonucu	49
4.1.4. İnce madde miktarı deney sonucu	49
4.1.5. Kızdırma kaybı deney sonucu	49

IX

4.1.6.	Sülfat miktarı deney sonucu	49
4.1.7.	Su emme yüzdeleri deney sonuçları	49
4.2.	Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi İle İlgili Deney Sonuçları	50
4.3.	Tüfün Taşıyıcı Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği İle İlgili Deney Sonuçları	51
4.3.1.	TS 802 esas alınarak üretilen numunelerden elde edilen deney sonuçları	51
4.3.2.	TS 2511 esas alınarak üretilen numunelerden elde edilen deney sonuçları	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER		54
KAYNAKLAR		55

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tüflerin Türkiye’de dağılımı haritası	24
Şekil 3.1. Maximum tane çapı 8 mm için granülometri eğrisi	34
Şekil 3.2. Maximum tane çapı 16 mm için granülometri eğrisi	38
Şekil 3.3. TS 2511’e göre yapılacak karışım hesaplaması için agrega granülometri eğrisi	42
Şekil 4.1. Volkanik tüf ilaveli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları	50
Şekil 4.2. Karışımındaki 0-4 mm’lik tüf oranlarının değişimine göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri	52
Şekil 4.3. Karışımındaki 4-16 mm’lik tüf oranlarının değişimine göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri	52
Şekil 4.4. TS 2511 esas alınarak oluşturulan karışımındaki tüf oranlarına göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri	53

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı yörelerdeki volkanik tüflerin kimyasal analiz sonuçları	18
Tablo 2.2. Hafif agregaların gevşek birim ağırlıkları	23
Tablo 2.3. Birim ağırlık tayini için gerekli deney numune miktarları	25
Tablo 2.4. Tane büyüklüğü dağılımı (granülometrik bileşim) için gerekli deney numune miktarları	26
Tablo 2.5. Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı	27
Tablo 2.6. Agregada ince madde oranı	29
Tablo 2.7. İnce madde oranı tayini için gerekli deney numune miktarları	29
Tablo 3.1. Maximum tane çapı 8 mm için agrega granülometrisi	34
Tablo 3.2. 1 m ³ beton için gerekli malzeme miktarları	35
Tablo 3.3. 1 m ³ beton için ince agrega miktarları	36
Tablo 3.4. 1 m ³ beton için iri agrega miktarları	36
Tablo 3.5. Maximum tane çapı 16 mm. için agrega granülometrisi	38
Tablo 3.6. 1 m ³ beton için gerekli malzeme miktarları	39
Tablo 3.7. Karışıma girecek ince agrega miktarları	39
Tablo 3.8. Karışıma girecek iri agrega miktarları	40
Tablo 3.9. Karışıma giren agrega yüzdelere göre betonun birim ağırlığı ..	40
Tablo 3.10. TS 2511'e göre yapılacak karışım hesaplaması için agrega granülometrisi	41
Tablo 3.11. TS 251'e göre karışıma girecek malzeme miktarları	44
Tablo 3.12. Karışıma giren 0-4 mm. lik tuf yerine normal agrega kullanılması durumunda malzeme miktarları	45
Tablo 3.13. Karışıma giren 4-16 mm'lik tuf yerine normal agrega kullanılması durumunda malzeme miktarları	45
Tablo 4.1. Deneylerde kullanılacak tufün elek analiz sonuçları	47
Tablo 4.2. Elek analiz sonuçlarının TS 1114'e göre değerleri	48

Tablo 4.3. 0-4 mm'lik tuf ilaveli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları	50
Tablo 4.4. Karışıma giren tuf oranları ve numunelerin 28 günlük basınç dayanımları	51
Tablo 4.5. Karışıma giren tuf oranları ve numunelerin 28 günlük basınç dayanımları	53



1. GİRİŞ

Bu araştırmada; Van Gölü yöresindeki tüflerden Ahlat Dağı'nın tüfü deneylerde kullanıldı. Bu yöredeki volkanik tüfün beton mukavemetine etkisi ve taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği konuları deneylerle incelenmiştir.

Bilindiği gibi normal agregalı beton inşaat mühendisliğinde her türlü konstrüksiyonda çok yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Normal beton iyi bir taşıyıcı eleman olmasına rağmen, birim ağırlığının büyük olması dolayısıyla yapıdaki ölü yük değerleri oldukça fazla boyutlara ulaşmaktadır. Bu da yapı elemanlarının boyutlarının büyümesine dolayısıyla yapı maliyetinin artmasına sebep olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için betonun taşıma kapasitesini azaltmadan veya belirli bir seviyede tutularak ve birim ağırlığı düşürülerek hafif beton imali yoluna gidilmiştir. Bu betonların imalinde doğal veya yapay hafif agregalar kullanılır.

Hafif agregalı betonların en önemli üretim sorunu su/çimento oranını denetim altında tutabilmektir. Agregaların su emmeleri çok yüksek olduğundan, az suyla üretilen veya özellikle önceden su emdirilmeyen agregalarla üretilen betonlarda agregalar betonun tüm suyunu emerek ağ şeklinde rötire çatlaklarının oluşmasına sebep olurlar. Bu olayı betonu su içinde saklayarak önlemek mümkün değildir (Akman,1987).

Hafif agregalar boşluklu ve zayıf mukavemetli olduklarından harç fazı betonun mukavemetini önemli ölçüde etkiler. Halbuki normal betonlarda yükü aktaran iri agregaların oluşturduğu iskelettir. Bu bakımdan taşıyıcı hafif agregalı betonlarda yüksek mukavemetli çimento kullanılır. Hafif agregalı betonların vibrasyonla yerleştirilmeleri de sorundur. Çünkü hafif agregalar yüzerek üst yüzeyde toplanabilirler. Bundan dolayı deney numunelerinde vibrasyon yerine şişleme tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, amaca uygun olarak volkanik tüfün betonda agrega olarak kullanılabilirliği, karışım içinde agrega ve ayrıca puzolanik katkı maddesi olarak kullanıldığında beton mukavemetine etkisi ve bu tüf ile taşıyıcı hafif beton imalatı konuları incelenmiştir.

Tüfün agrega olarak kullanılabilirliği incelenirken TS 1114'den faydalanıldı. TS 1114'deki deneyler yapılarak sınır değerlerle karşılaştırılması yapıldı. Bu değerlere göre uygun olup olmadığına karar verildi.

Agrega olarak kullanıldığında beton mukavemetine etkisi incelenirken TS 802'ye uygun karışım hesaplaması yapıldı. Bu hesaplama göre; ilk olarak ince agrega, ikinci olarak iri agrega normal agreganın hacimsel yüzdeleri (%5, %10, %15, %20, %25) şeklinde tüf ile yer değiştirildi. Her bir değer için numuneler hazırlandı, numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda beton mukavemetindeki değişimler belirlendi. Önceden örnek numune olarak hazırlanmış olan normal beton dayanımı ile karşılaştırılması yapıldı.

Taşıyıcı hafif beton elde edilmesi de iki şekilde yapıldı. Bunlar;

1. T.S. 802'ye uygun karışım hesaplaması yapıldı. Karışıma girecek olan agrega hacmi sabit tutuldu, iri ve ince agregaya belirli oranlarda tüf katılarak taşıyıcı hafif beton birim ağırlığına uygun karışımlar elde edildi ve dökülen numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda dayanım olarak taşıyıcı hafif beton sınıfına girenler belirlendi.

2. T.S. 2511'e uygun karışım hesaplaması yapıldı ve buna göre örnek numune döküldü. Karışıma girecek olan agrega hacmi sabit tutuldu ve karışıma giren ince agrega olarak kullanılan tüf normal kum ile yer değiştirildi, buna görede numune dökülerek deney sonuçları karşılaştırıldı.

2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Beton

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddesinin uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup zamanla çimentonun hidratasyonu nedeniyle katılaşp sertleşen bir yapı malzemesidir (TS 4834, 1986). Beton; karışıma giren malzeme, birim ağırlık ve dayanımlarına göre bir çok sınıfa ayrılır. Genel bir sınıflandırma olarak bunlar;

2.1.1. Ağır beton: Barit, magnetit, limonit ve demir gibi yüksek birim ağırlıklı agrega kullanılmasıyla elde edilen ve özellikle radyasyona karşı korunma amacıyla kullanılan betondur (TS 4834, 1986).

2.1.2. Normal beton: TS 706'ya uygun beton agregası ile yapılmış, birim ağırlığı 2400 kg/m^3 olan betondur (TS 4834, 1986).

2.1.3. Hafif beton: Hafif agrega ile yapılmış, birim ağırlığı 1440 kg/m^3 - 1850 kg/m^3 arasında olan betondur. Taşıyıcı hafif beton; Havada kurumuş halde birim ağırlığı 1900 kg/m^3 'den az olan ve en az BS 14 mukavemet sınıfındaki betondur (TS 4834, 1986).

2.2. Agregalar

Agrega, tabii, suni veya her iki cins mineral malzemenin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış veya kırılmamış tanelerin bir yığıdır (TS 4834, 1986).

Agregalar hacimsel olarak betonun yaklaşık olarak % 70 - 75'ini oluşturdıkları için çok önemlidirler. Agregalar kendi aralarında kaynaklarına, birim ağırlıklarına, tane şekil ve büyüklüklerine göre sınıflara ayrılırlar.

Agreganın temiz, sert, sağlam, dayanıklı taneciklerden meydana gelmesi, kimyasal maddelerden arı olması, kille sarılı bulunmaması lazımdır. Serbest toz veya ince tanecikler halindeki silt, kil, kömür, mika, tuzlar, organik maddeler agreganın kalitesini bozar. Yıkama sureti ile agrega bu maddelerin bir çoğundan temizlenebilir ise de bu halde de dikkatli olmak gerekir (Nilson ve Winter, 1991).

Beton yapımında kullanılan agregalar menşeleri, itibariyle;

1. Tabii agregalar
2. Suni agregalar
3. Özel agregalar olmak üzere üç grupta incelenir.

2.2.1. Tabii agregalar: Tabii kum ve çakıllardır. Nehir yataklarından, deniz ve göl kıyılarından, buzul yatakları vb. yerlerden elde edilirler. Elde edilen agrega olduğu gibi kullanılıyorsa buna “tuvenan”, elenip yıkandıktan sonra kullanılıyorsa “sınıflanmış” adını alır. Nehir, göl ve deniz kenarlarından elde edilen tabii agregalar, genellikle temiz ve az çok tane büyüklüklerine göre sınıflanmışlardır. Çoğu zaman oldukları gibi, yani tuvenan olarak kullanılırlar (Demir, 1992).

2.2.2. Suni agregalar: Kırma taşlar, yüksek fırın cürufı, kazan külleri, geliştirilmiş agregalar, pişmiş killeri vb. sayılabilir. Kırma taşlar taş ocaklarından çıkarılan kaya parçalarının konkasörle istenilen irilikte kırılmaları ile elde edilirler. Fabrika ve kalorifer kazanlarından çıkan küller, demir-çelik endüstrilerindeki yüksek fırınlardan çıkan cürufı, son zamanlarda geniş ölçüde kullanılmaya başlanmıştır (Demir, 1992).

2.2.3. Özel agregalar : Hafif, ağır, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, aşınmaya dayanıklı agregaları sayabiliriz. Örneğin perlit özel hafif agregadır.

Deneylerde kullandığımız tuf tabii hafif agregadır. Doğal ortamdan alındıktan sonra yalnızca gerekli olduğunda eleme işlemine tabii tutulur (Demir, 1992).

2.3. Beton Mukavemetine Agreganın Etkisi İle İlgili Çalışmalar

2.3.1. En büyük agrega boyutunun etkisi

Neville, yaptığı bir araştırmada Higgison ve arkadaşlarının deney sonuçlarına dayanarak normal betonda en büyük agrega boyutunun 38,1 mm'ye kadar olan değerlerinde yüksek dozajlı betonlar için mukavemette artmanın olduğunu, bu en büyük boyuttan sonraki artışla mukavemetin azaldığını, buna karşılık normal dozajlı betonlarda ise en büyük boyutun artması ile mukavemetin arttığı belirtilmektedir. Çalışmayı yapanlar 25 mm veya 40 mm'nin üstünde en büyük boyuta sahip agrega kullanılmasının özellikle ayrışmaya neden olması bakımından elverişli olmayacağını savunmaktadırlar. Walker ve Bloem deney sonuçlarına göre en büyük agrega boyutunun artmasıyla yüksek dozajlı betonlarda mukavemet azalmakta, düşük dozajlı betonlarda ise mukavemet artmaktadır. Buna karşılık aynı araştırmanın deneyleri en büyük agrega boyutunun artmasıyla rötrenin azaldığını göstermektedir. Vaquier ve arkadaşlarının deney sonuçlarına göre pomza taşı hafif agregası kullanılarak üretilen betonlarda en büyük agrega boyutunun küçülmesi ilk 14 günde rötreyi artırmakta, daha sonra rötrede bir değişiklik olmamaktadır. Ali ve Kesler en büyük agrega boyutunun artmasıyla betonda sünmenin azaldığını belirtmektedirler. Gilkey'in deney sonuçlarına göre ise aynı birleşim ve aynı çimento oranına sahip betonlarda iri agrega boyutunun artmasıyla basınç mukavemetinin ve gerilme-şekil değiştirme eğrisindeki eğimin azaldığı görülmektedir. Te'eni'nin verdiği sonuçlarda, en büyük agrega boyutunun artması normal agregalı betonların basınç

mukavemetini azalttığı göze çarpmaktadır. Sasse en büyük agrega boyutunun küçülmesiyle normal betonda basınç mukavemeti ile buna karşılık gelen şekil değiştirmenin artacağını belirtmektedir. Sasse'nin açıkladığı bu duruma karşılık, hafif agregalı betonlarda farklı agrega bölümlerinin özgül ağırlıklarının eşit olduğu sürece en büyük tane boyutunun fark edilir bir etkisinin gözükmeyeceğini ileri sürmektedir. Hughes ve Chapman, yaptıkları araştırmaya göre, genel olarak en büyük agrega boyutunun küçülmesiyle normal beton basınç mukavemeti ve buna karşılık gelen şekil değiştirmenin arttığı söylenebilir. Ancak incelenen aralığın 9.5 - 0.149 mm gibi dar bir aralıkta tutulduğu ve deney sonuçlarında da belirgin dağınıklar olduğu göze çarpmaktadır. Johnston'da normal betonda basınç mukavemeti ve yarıma çekme mukavemeti ile bunlara ilişkin şekil değiştirmelere en büyük agrega boyutu arttıkça hem basınç mukavemeti hemde yarıma-çekme mukavemeti azalmaktadır. Ayrıca bu mukavemet değerlerine karşılık gelen şekil değiştirmesinde en büyük boyutun artmasıyla azaldığı görülmektedir.

En büyük agrega boyutu ile ilgili çalışmaları gözden geçiren Dartsch, şu sonuçlara varmaktadır;

- Aynı su/çimento oranında en büyük agrega boyutunun artması ile basınç dayanımında küçük bir azalma oluşmakta
- Bu azalma, düşük su/çimento oranlarında ($< 0,50$) daha açık olarak ortaya çıkmaktadır.
- Uygulamadaki en büyük agrega boyutu 32 mm'nin altında, dozajı 200 ile 350 kg/m³, su/çimento oranı 0.50 ile 0.80 arasında olan betonlarda bu azalma küçüktür ve pratikte bir önemi yoktur. Harig, en büyük agrega boyutunun süreksiz ve sürekli granülometriye sahip sertleşmiş betonların özelliklerini etkilediğine işaret etmekte; genel olarak basınç mukavemeti ile çekme mukavemetleri, en büyük agrega boyutu 16 mm iken en yüksek değerine eriştiklerini belirtmektedir. Harig'in deney sonuçlarında max. tane çapı 16 mm'den küçük iken basınç mukavemetinin düşük, max. tane çapı 16 mm'den büyük iken mukavemetler boyuttaki artışla azalma göstermektedir. Manns'ın deney sonuçlarına göre en büyük agrega boyutunun artmasıyla elastisite modülü artmakta, basınç mukavemeti ise azalmaktadır (Taşdemir, 1982).

2.3.2. Agreganın mukavemetinin etkisi

Agreganın mukavemetinin bilinmesinin beton mukavemetinin saptanmasında önemi vardır. Diğer yandan hafif agreganın üretiminin denetlenebilmesi bakımından da mukavemetlerin bilinmesi yararlıdır.

Sell beton mukavemetini hafif agreganın mukavemetiyle tahmine çalışmış ve silikon-kauçuk devamlı fazı içinde agreganın tanelerine tek eksenli, iki eksenli ve üç eksenli basınç deneği uygulayarak agregaların bağıl mukavemetlerini belirlemiştir. Tapfers ve arkadaşları da benzer bir yöntemle içinde yağ bulunan bir kaba hafif agregaları yerleştirerek basınç uygulamışlar, böylece değişik agregaların mukavemetleri arasında karşılaştırma olanağı sağlamışlardır. Gübl hafif agreganın çekme mukavemetinin artmasıyla hafif beton mukavemetinin artacağını göstermiştir. Söz konusu araştırmalarında agreganın çekme mukavemetinin belirlenmesinde kullandığı deney tekniğini vermiş ve başka araştırmacıların bu doğrultudaki çalışmalarını özetlemiştir. Bununla beraber ACI 213'de ise hafif agreganın tanelerinin mukavemetinin, bunların kökenlerine ve tiplerine göre değişiklik gösterdiği, agreganın mukavemetinin belirlenmesi için niteliksel bir ölçünün olmadığı, betonun mukavemeti ile tane mukavemeti arasında net bir korelasyonun bulunmadığı belirtilmiştir. Schulz ise tane mukavemeti ile tane özgül ağırlığı arasında deney sonuçlarına dayanarak bağıntılar vermiştir (Taşdemir , 1982).

2.3.3. Agreganın şekil ve yüzey durumunun etkisi

Budnikov ve arkadaşları düzgün yüzeyli agregaların köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip olanlardan daha dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar en uygun biçimli tanelerin küp veya küreye yaklaşanlarının olduğunu, biçim faktörü (Agreganın en büyük

boyutu / En küçük boyut) 2.5'dan fazla olan agregaların ağırlıkça % 15 - 20'yi aşmaması ve ortalama biçim faktörünün ise 1.5 civarında bulunması gerektiğini önermişlerdir.

Czuryszkiewicz hafif betonların basınç mukavemetine hafif agreganın şeklinin önemli derecede etkisinin olduğunu, şekil bakımından uzun olan agregaların basınç mukavemetini azalttığını bildirmiştir.

Neville köşeli yapıdaki düzgün olmayan agregaların taze betonun işlenebilirliğini güçleştirdiğini, yüzeyi sırlı ve düzgün hafif agregaya içeren taze betonun iç sürtünmelerinin az olmasından dolayı işlenebilirlikte etkinin olumlu duruma dönüştürülebileceğini belirtmiştir (Taşdemir , 1982).

2.3.4. Agreganın diğer özelliklerinin etkisi

Kunz ve Wesche çeşitli hafif agregalarda özgül ağırlık, birim ağırlık ve birim hacim ağırlığı değerlerini değişik yöntemlerle bulup bunların karşılaştırmasını yapmışlar ve tane birim hacim ağırlığının boyuttaki artma ile azaldığını saptamışlardır. Bu azalma genişletilmiş şistte daha fazla, buna karşılık genişletilmiş kilde fark daha azdır ve hemen hemen sabittir.

Schulz'da tane özgül ağırlığı ile hafif agreganın dinamik elastik modülü arasında ilişki kurmuştur.

ACI 211'de, hafif agregaya betonun üretiminden önce bir ön emdirme uygulamakla, taşıma sırasında ufalanmanın azalacağı, agregadaki ayrışmanın önlenilebileceği ve beton kıvamının değişmeden kontrol edilebileceğinin önemi belirtilmiştir.

ACI 213'de, en büyük agreganın boyutunun; betonun işlenebilirliğini, iri agreganın / kum oranını, çimento dozajını, basınç mukavemetini ve rötresini etkileyebileceği kaydedilmiştir (Taşdemir, 1982).

Diğer taraftan yine birim ağırlıklarına göre bütün betonların sınıflandırılması şu şekilde yapılır;

1- Birim ağırlığı $400 - 1800 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar hafif betondur (TS 2823’de alt sınır 1000 kg/m^3 (B40) ve üst sınır 1300 kg/m^3 (B160) , DIN 1045’de ise hafif betonların birim ağırlığı $300 - 2000 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir).

2- Birim ağırlığı $1800 - 2000 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlar ne hafif ne de normal betonlardır. Bazı yayınlarda olduğu gibi bu aralıktaki betonlara yarı hafif beton adı verilebilir. Alman standartlarında çoğunlukla “hafif normal beton” diye geçen taşıyıcı yarı hafif betonların birim ağırlığı $2000 - 2100 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Bu değerler, yukarıda görüldüğü gibi DIN 1045’deki normal betonun alt sınırıdır.

3- Birim ağırlığı $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonlarda normal beton sınıfına girerler.

Taşıyıcı hafif beton üretiminde başvurulan yöntem hafif agrega ile birim ağırlığı istenen düzeyde tutmaktır (Taşdemir , 1982).

Bu malzemenin hafif olma sebebi; içinde fazla boşluk bulunmasından dolayıdır. Bunun için hafif betonların mukavemetinin büyük olması beklenmez. Ancak bazı önlemler alınarak ve bazı koşullar altında üretilen hafif betonların taşıyıcı malzeme olarak kullanılması kabul edilir.

Hafif betonların sahip oldukları üstünlüklerden dolayı bu malzemenin üretimi son senelerde çok artmış ve bu alanda önemli bir endüstri gelişmiştir.

Hafif betonlar; çimento, birim ağırlığı düşük hafif agrega ve normal agregadan meydana gelmektedir. Agregada karışımında hafif agrega miktarının artırılmasıyla daha hafif veya birim ağırlığı daha düşük olan betonlar elde edilmektedir.

Hafif beton üretiminde üç değişik yöntem vardır;

1. Normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu hafif agrega kullanılmaktadır. Bu tip hafif betonlar kullanılan hafif agrega cinsine göre adlandırılırlar. Genişletilmiş kil, şist gibi taşıyıcı betonlar ile perlit betonu, pomza taşı betonu gibi yalıtım veya orta mukavemetli betonlar örnek olarak verilebilir.

2. Betonda fiziksel veya kimyasal yolla geniş boşluklar oluşturmaktır. Bu boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleri ile elde etmek en yaygın yöntemlerden bazılarıdır. Bu tip betonlar gazbetonu, köpük betonu veya hava sürüklenmiş beton olarak adlandırılır.

3- Betonun ince agregasının çıkartılmasıyla betonda büyük boşluklar oluşturarak elde edilen betonlardır. İri agregalar birbirlerine 1-3 mm kalınlıkta çimento hamuruyla bağlıdır. Çimento dozajı yaklaşık $70 \text{ kg/m}^3 \sim 130 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Bu tip betonlar genellikle kumsuz betonlar olarak adlandırılır.

Tüm yöntemlerde beton yoğunluğundaki düşüşün nedeni meydana getirilen hava boşluklarıdır. Bu boşluklar agreganın içinde, harç içinde veya iri agregaların arasında olabilir ve bu boşlukların beton mukavemetini düşürecek bir gerçektir (Neville, 1993).

Hafif agregaların en önemli özellikleri, yüksek poroziteli ve düşük birim ağırlıklı olmalarıdır. Hafif agregalar ya doğal olarak bulunurlar ya da yapay yolla üretilirler.

Yapay agregalar kil, şist, arduvaz benzeri killi veya konsolide killi malzemelerinin pişirilerek genişletilmeleri veya yüksek fırın cürufunun, uçucu küllerin pişirilerek kırılmasıyla elde edilirler. Bunlar küresel, düzgün yüzeyli ve sırlanmış olan agregalardır. Cüruf agregalarının yüzeyleri ise pürüzlüdür.

Doğal agregalar, pomza taşı, volkanik cüruf ve volkanik tüf gibi agregalardır. Doğal agregalar sadece belirli bölgelerde bulundukları için büyük miktarlarda kullanım alanlarına sahip değildirler. Pomza taşı içlerinde en çok kullanım alanına sahiptir.

Pomza taşı açık renkli, köpük şeklinde volkanik camdan oluşmuştur. Kuru birim ağırlığı $500 \text{ ile } 900 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir. Pomza taşının ısı yalıtım özelliği yüksek buna karşın su emmesi ve rötresi fazladır (Neville, 1993).

Pomza taşı tarihte bilinen en eski hafif agregadır. M.Ö.100'de Romalılar tarafından tavanlarda, duvarlarda, banyolarda ve tapınaklarda kullanılmıştır. Ülkemizde pomza taşı Orta ve Doğu Anadolu bölgelerinde oldukça geniş rezervlere sahiptir.

Doğal hafif agregaların su emme kabiliyetinin fazla olmasından dolayı bu betonlarda agrega taneleri ile çimento hamuru arasında daha kuvvetli aderans vardır. Bundan başka ince agregaya emdirilmiş olan ve agrega tanesi boşluklarında yer alan su bir bakıma su deposu işlevini görür. Gerekli zaman çimento buralardan bir miktar su emerek hidratasyon olayını sürdürür (Taşdemir, 1982).

2.5. Taşıyıcı Hafif Betonun Uygulama Alanları

Taşıyıcı hafif beton, bir taraftan mukavemeti sayesinde taşıyıcı ödevi görmek, diğer taraftan uygun ısı yalıtımı sayesinde izolasyon vazifesi görmek suretiyle başka hiçbir malzeme ile yapılamayacak bir şekilde kullanılabilir. Böylece taşıyıcı hafif beton iki ayrı fonksiyonu aynı anda yerine getirmektedir. Ayrıca hafif beton görünen cephe betonlarındada kullanılmaya son derece uygundur. En ince kalıp detaylarını normal betondaki kadar iyi şekilde aksettirir. Kolay işlenmesi sayesinde güzel görünümlü yüzeyler elde edilebilir. Traş etmek yoluyla çeşitli görünümler ortaya konulabilir. Esmer renkli agrega ve açık renkli çimento veya bunun tersi kullanılarak güzel görünüm sağlanabilir. Kum püskürtmek suretiyle traş edilen yüzeyler donmaya dayanıklı olmakla beraber bu işlem hafif agrega tanelerini yerlerinden söktüğü için delikli bir yüzey oluşur. İşlenecek yüzeylerde hafif betonun traş edileceği kalınlık donatının konulacağı pas payına eklenmiş olmalıdır.

Hafif betonarme ve hafif ön gerilmeli beton Avrupa'da son yıllarda bir çok ilginç yapıda ve gittikçe artan bir biçimde uygulanmıştır. Bu uygulamaları en çok bünyesinde bulunduran ülkelerin başında Almanya gelmektedir. Buna örnek verecek olursak Wiesbaden'da inşa edilen Dickerhoff Köprüsü, Langerich'te Herrmanwes köprüsü, Frankfurt'taki beşinci hava terminali ve Münih'teki BMW idare binası sayılabilir.

Hafif betonarmenin daha çok okul idare binaları ve hal yapıları gibi yüksek binalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu yapılardaki uygulama hem yerinde dökme hemde prefabrik şeklinde olmaktadır. Hafif betonarmenin hafiflik, taşıyıcılık ve ısıya karşı izolasyon özelliklerinden ekonomik bir şekilde yararlanılmaktadır.

Gün geçtikçe ve hafif betonarme ile mühendislik yapıları inşa edildikçe hafif beton yapma tekniğinde gelişmektedir (Argunhan, 1984).

2.6. Taşıyıcı Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları

Bütün ürünlerde olduğu gibi hafif ve taşıyıcı hafif betonlarda da avantajlarının yanında dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar;

2.6.1. Avantajları

Hafif ve taşıyıcı hafif betonların avantajlı olma sebepleri ekonomik olmalarından dolayıdır. Avantajlarını sıralayacak olursak;

1- Birim hacim ağırlığındaki azalma nedeniyle beton kalıbında daha küçük basınç oluşur. Bunun sonucunda üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

2- Hafif betonla üretilen betonların birim ağırlıklarının düşük olması nedeniyle yapıdaki ölü yükler azalır. Böylece temeller ve diğer yapı elemanlarını daha küçük boyutlarda dizayn etmek mümkün olur.

3- Termik iletkenlik katsayısının düşük olması sonucu ısı yalıtımları yüksektir.

4- Ölü yüklerin azalması ve dolayısıyla hesap momentlerinin küçük çıkması sonucu daha az donatıya ihtiyaç gösterir. Özellikle deprem etkisinde, düşey yükle orantılı olarak oluşan yanal deprem kuvvetlerinin azalması taşıyıcı hafif betonun kullanılması ile sağlanır.

5- Kolay işlenebilme sayesinde en ince kalıp detaylarını bile aksettirebilir, güzel görünümlü yüzeyler ortaya konulabilir (Argunhan, 1984).

2.6.2. Dezavantajları

Hafif ve taşıyıcı hafif betonların ekonomikliğinden dolayı avantajlı olmalarına rağmen bunların yanında dezavantajları da vardır. Dezavantajları ise;

1- Boşluklu olmaları yani porozitenin büyük olması dolayısıyla mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle yüksek mukavemetli beton ve ön ve art gerilmeli beton uygulamalarında tercih edilen bir yapı malzemesi değildir.

2- Rutubete karşı yalıtım yapılması zorunluluğu vardır.

3- Aşınmaya karşı dayanıksızdır.

4- Özellikle depo gibi yapılarda yoğun olan faydalı yükün taşınması gerektiği için daha kalın döşemelere lüzum vardır.

5- Dış etkilere maruz donatılarda daha kalın bir beton örtü (pas payı) tabakasına ihtiyaç vardır.

6- Normal betona göre daha düşük bir kesme kuvvetine sahiptir.

7- Elastisite modülünün düşük olmasından dolayı hafif ve taşıyıcı hafif beton kirişlerde sehimler ve dönmeler daha büyüktür.

8- Tam olarak doğrulanmamasına rağmen, hafif betonların elastisite modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme bir dereceye kadar yüksektir. Sabit yük altında uzun süreli davranış özellikle kullanılan agreganın rijitliği ile ilgilidir. Agrega rijitliğinin azalması (hafif ve taşıyıcı hafif betonlarda olduğu gibi) sünmeyi artırması yanında sabit yükü uygularken oluşan ani şekil değiştirmeyide artırır. Bileşimleri aynı olan hafif betonun rötresi normal betona göre daha fazla olmasına karşılık rötre süresince çatlama meydana gelme olasılığı daha düşüktür (Argunhan, 1984).

2.7. Yarı Hafif Betonun Yararları

Yarı hafif betonların birim ağırlıkları $1900 - 2100 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştirilirse normal betona göre % 10 - % 15 gibi bir ağırlık azalması olur. Yarı hafif betonlarda bu orandaki ağırlık azalması elastiklik modülünde % 25 gibi bir düşmeye sebep olur. Hafif betonun ise normal betona göre ağırlığı %20 - % 40 ve elastiklik modülünde %50 kadar azdır.

Özellikle, son yıllarda Almanya'da kullanılması düşünülen bu betonlar için şu yararlar ileri sürülmektedir :

1- Düşük birim ağırlıkları nedeniyle büyük boyutlu prefabrike elemanlar için yüksek güçte yükleme ve kaldırma araçlarına daha az gerek duyulur.

2- Uzak yerlere taşımada ekonomi sağlar.

3- Zayıf zeminlerde temel problemlerini biraz daha kolaylaştırır.

4- Kuyu ve kazık masraflarını azaltır.

5- Elastiklik modülünün düşük olması, yapının rijitliğini ve dolayısıyla mesnet oturmaları durumunda momentlerin az olmasına neden olur ve bu durum donatıda azalmayı sağlar.

1900-2100 kg/m³ arası birim ağırlığa sahip yarı hafif betonların ısı iletkenlik katsayısı, normal betonun yaklaşık yarısı kadardır. Ayrıca yarı hafif betonların üretimi için ileri sürülen yararlarından biride, taze durumdaki yarı hafif betonun aynı durumdaki hafif betona göre daha az ayrışması ve yerleştirmenin daha az sorun yaratmasıdır.

Ancak elastiklik modülünün belirli bir alt sınırı da olmalıdır. Örneğin; DIN 4226 da normal beton elastiklik modülünün beton sınıfına göre alması gereken değeri belirlenmiştir. Hafif betonun elastiklik modülünün düşük olması nedeniyle $E_{\text{çelik}}/E_{\text{beton}}$ ($E_{\text{ç}}/E_{\text{b}}$) oranı büyüktür, bu bir anlamda taşıyıcı hafif betonların elastiklik modüllerinde sınırlandırılmasını gerektirir. Betonarme sistemlerin servis yükleri altındaki çökmelerin ve çatlak genişliklerinin sınırlandırılmasıyla dinamik yükler altında çelik gerilmelerinin sınırlandırılması tahkiklerinde ($E_{\text{ç}}/E_{\text{b}}$) oranı gereklidir. Alman standartlarında bu oran 10 olarak alınmaktadır (Öztütüncü, 1992).

2.8. Hafif Agregaların Betonun Davranışı Üzerindeki Etkisi

Eğer agreganın birim ağırlığı tane çapı ile değişmiyorsa DIN 1045'deki A-B sürekli veya U-C süreksiz granülometreleri arasındaki granülometri bölgeleri en yüksek beton mukavemetlerini vermektedir. Genellikle tane birim ağırlığı, maksimum tane çapı arttıkça azalmaktadır ve bu nedenle yukarıda belirtilen ideal granülometreler aynı zamanda en düşük birim ağırlığı verirler. Fakat en iyi mukavemetleri vermezler. Agreganın kaba

kısımının bir kısmı yerine ince agregaya kullanılacak olursa hem mukavemette hem de birim ağırlıkta artış elde edilir. Agreganın kaba kısmının bir bölümü yerine tabii kum ilave edilecek olursa sözü geçen artışlar daha büyük olur ve aynı zamanda malzeme masrafı azalmış olur. Ancak kullanılacak kum miktarının bir üst sınırı vardır. Bunun daha üzerine çıkılması birim ağırlığın çok fazla artmasına neden olur. Bu üst sınır her bir özel agregaya türü için deney ile tespit edilmelidir.

Diğer yandan agreganın mukavemetinin önceden bilinmesinin beton mukavemetinin saptanmasında önemi vardır. Normal betonda basınç mukavemetinin genellikle kaba agreganın mukavemetinden daha düşük olması nedeniyle nihai mukavemetin harç mukavemetine bağlı olmasına karşın, hafif betonda agreganın mukavemetinin ya harç mukavemetine eşit ya da onun daha altında olması nedeniyle beton mukavemeti agreganın mukavemeti tarafından tayin edilir. Bu yüzden hafif betonda her bir agregaya türü için belirli bir mukavemet sınırı söz konusu olur. Bir deneysel araştırma da, hafif agreganın çekme mukavemetinin artmasıyla hafif beton mukavemetinin artacağını göstermiştir.

ACI 213'de ise hafif agreganın tanelerinin mukavemetinin, bunların kökenlerine ve tiplerine göre değişiklik gösterdiği, agreganın mukavemetinin belirlenmesi için niteliksel bir ölçünün olmadığı, beton mukavemeti ile tane mukavemeti arasında net bir korelasyon bulunmadığı belirtilmiştir. Yine bir araştırma sonucunda, düzgün yüzeyli agregaların köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip olanlardan daha dayanıklı oldukları belirtilmiştir. Bu çalışmada en uygun biçimli tanelerin küp veya küreye yaklaşanlar olduğu ortaya çıkmıştır (Taşdemir, 1982).

ACI 211'de hafif agregaya beton üretiminden önce bir ön emdirme uygulamakla taşıma sırasında ufalanmanın azalacağı, agregadaki ayrışmanın önleneyeceği ve beton kıvamının değişmeden kontrol edilebileceği belirtilmiştir. ACI 213'de, en büyük agreganın boyutunun beton işlenebilirliğini, iri agreganın/kum oranını, çimento dozajını, basınç mukavemetini ve rötresini etkileyebileceği kaydedilmiştir.

Alman normlarında hafif agreganın maksimum tane çapı 25 mm ile sınırlandırılmıştır. Yüksek mukavemet elde etmek için 16 mm tane çapının geçilmemesi tavsiye edilmektedir (Argunhan, 1984).

2.9. Tüfler Hakkında Genel Bilgi ve Türkiye’de Dağılımı

2.9.1. Tüflerin oluşumu

Volkan bacalarından çıkan lavların oluşturduğu kayalar ve yine volkandan çıkan gazların dışında diğer bir volkanik malzeme çeşidi ise değişik büyüklükteki magma parçalarından oluşmuştur. Bu malzemelere “proklastik” malzemeler denilmektedir. Proklastik malzemeler büyük kütlelerden küle kadar değişik büyüklüklerde olmaktadır. Proklastik malzemenin volkan bacasından ayrıldığı andaki sıcaklığı ve soğuma hızı oluşan malzemenin büyüklüğü bakımından ana etkenlerdir. Yüksek bir sıcaklıkta iken aniden soğuyan malzemelerden ince taneler oluşmaktadır. Soğuma şekline ve içindeki gaz miktarına bağlı olarak oluşan tanelerin kendi bünyelerinde değişik oranlarda boşluklar meydana gelmektedir.

Başlangıçta tüf yataklarının volkanik malzemeleri taşıyan çamur akmaları ile meydana geldiği sanılıyordu. Daha sonraları ise tüflerin; çöken çok kızgın magma parçaları ve volkanik gazlardan meydana gelen bulutlardan oluştuğu öne sürülmüştür. Kısaca tüfü; ince ve ufak taneli volkanik maddelerden meydana gelen parçalar olarak tarif edebiliriz (Doruk, 1974).

2.9.2. Tüflerin bazı genel özellikleri

İçerisinde silis ve alüminyum bileşikleri bulunan tüfler çok gevşek yapılı ve kırılgandırlar. Tabiatta toz halinde kum ve çakılla karışık olarak bulundukları gibi sıkışmış kütleler halinde, çok gözenekli iri çakıl büyüklüğünde de olurlar. Bulundukları şekle göre çeşitli isimler alırlar. Kolayca aşınıp toz haline gelirler ve birim ağırlıklarının küçük olması sebebi ile bazen su yüzünde dahi yüzebilirler.

Genel bir kural olarak bir tuf ocağındaki malzemenin sertliği yüzeye doğru artmaktadır. Tufün priz yapma özelliği, içerisindeki ince tanelerin çokluğuna ve kimyasal yapısına bağlı olarak değişir (Doruk, 1974).

2.9.3. Tüflerin kimyasal yapısı

Ülkemizde olduğu gibi dünyanın çeşitli bölgelerinde de tüfler bulunmaktadır. Kimyasal yapı yönünden tüfler hemen hemen aynı maddelerden meydana gelmiştir. Ancak maddelerin tuf içerisinde bulunma oranları değişik olmaktadır. Tüfler ve diğer puzolanlar içerisinde genel olarak SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O ve H_2O bulunmaktadır. Bu maddeler içinde tüflerde en fazla rastlanılan SiO_2 dir. SiO_2 oranı % 46-80 arasında değişmektedir. CaO ve MgO oranları % 10'un altındadırlar. Alkali miktarı tüflerde oldukça yüksek olup % 8'in altına düşmemektedir (Doruk, 1974).

Tablo 2.1. Bazı yörelerdeki volkanik tüflerin kimyasal analiz sonuçları (Ören, 1996).

	Gölcük Yöresi	Nevşehir Yöresi	Van-Bitlis Yöresi (Ahlat Dağı)	Dünyanın 80 değişik Yöresinin Ortalaması
SiO_2	61.55	68.50	69.00	70.38
AlO_3	15.50	14.00	14.65	15.82
Fe_2O_3	6.05	3.00	2.50	1.50
CaO	2.24	1.50	1.10	1.56
MgO	2.40	1.40	0.53	0.48
Na_2O	3.30	3.25	3.50	3.70
K_2O	3.43	3.50	3.50	4.10
TiO_2	0.40	0.25	0.38	-
SO_3	0.94	0.002	0.40	-
Kızdırma Kaybı	1.40	3.90	4.63	3.62

2.9.4. Tüflerin hidrolik sertleşme nedenleri

Tüflerin hepsinde hidrolik sertleşme özelliği yoktur. Hidrolik sertleşme özelliği traşlı tüflerde vardır. Bir tuf deposundaki kül tabakasının zemin suyu ile binlerce seneden beri temas halinde olan en alt kısmını bugün inşaat tekniğinde ayrılmaz bir parçası olan tras teşkil etmektedir.

Tüflerde hidrolik sertleşme nedeni olarak değişik teoriler ileri sürülmüştür. İlk önceleri tüflerdeki hidrolik sertleşmenin nedenleri olarak; zeolitler ve sodalit gubu minerallerden dolayı olduğu kabul edilmiştir. Yalnız burada tüfteki camsı kısmın hidrolik sertleşmeye tesir ettiğini ancak sadece sodalitlerin reaksiyonda rol oynadıkları ileri sürülmektedir.

Harç ve betona ilave edilen tras hidrolik sertleşmeye etki etmez. Ancak tras boşluk azaltıcı bir rol oynadığından mukavemeti artırır. Mukavemetin sağlanması için bir kristalizasyon değişimi şarttır. Sodalit ve baz değişiminde ise böyle bir durum yoktur. Bundan dolayı zeolitlerin ve sodalit gubu minerallerin hidrolik sertleşmesinde esas unsur olarak kabul edilmeyebilir (Doruk, 1974).

2.9.5. Tüflerin araziideki özellikleri

Volkanizma, belli zamanlarda devam eden düzenli bir volkanik malzeme akımı ve hareketi olduğundan belirli bir püskürmeye ait olan volkanik malzeme depoları, kendi bünyelerinde fosil halinde tabakalar veya eski erozyon yüzeyleri ile sınırlanmış bulunabilir. Belirli bir süre için devam eden volkanizmada, volkanik tüflerin oluşumunu sağlayacak proklastik malzeme özellikle düşey planda değişik olarak sınırlanmış olabilir. Proklastik malzeme topoğrafik yüzeye lav şeklinde yayılan kıvamlı akıntılardan daha çok bir takım zor şartlar altında meydana gelen patlamaların eseridir. Proklastik malzemenin kül boyutunda olan kısmı volkanik tüfün oluşumunu sağlar. Kül boyutundaki malzeme

arasına her türlü mağmatik taş veya taş parçacıkları karışabilir. Bu mağmatik taş ve parçacıkların miktarı bazen çok fazla olur ve volkanik tuf “breş” şeklini alabilir.

Topoğrafik yüzeyde şekillenen tufte erozyon başlar. Erozyondan ötürü bir taraftan ileri derecede parçalanma sonucunda stnlar, peri bacaları ve rüzgar oyukları gibi karakteristik şekiller meydana gelir. Diğer taraftan erozyon sonucu oluşan tuf kökenli malzeme sedimantasyon havzalarına sürüklenerek oralarda birikir.

Püsküren külün hacmi ile, tufn yayıldığı alanın yüzey şekilleri volkanik tuf sahasının büyüklüğünü belirler. Araştırmalar tuf sahaslarının volkan merkezinden 100 km. kadar uzaklara yayıldığını göstermiş. Volkanik malzemenin gruplaşma gösterdiği sahalarda bir tuf deposunun değişik menşeli proklastik malzemeden meydana geldiği ve tuf depolarının kalınlığının püsküren proklastik malzemenin hacmine ve araziye bağlı olduğu görülmüştür. Az eğimli topografya üzerinde genel olarak ince, derin vadili bir topografya üzerinde ise kalın depolar yerleşmektedir. 3000 m. derinliğe kadar uzanabilen depolara rastlanmış. Tuf depolarında her zaman tabakalaşma olmaz. Ancak su altında oluşan tufte tabakalaşma açık olarak görülebilmektedir. Tabakalaşma sadece renk özelliğine göre değil mineralojik kompozisyona, dokuya, erozyon şekline göre tespit edilmektedir. Genel bir kural olarak tabakalaşma göstermemekle beraber tuf depolarının yüzeyi az eğimlidir ve çökme açıları çok kktr. Eski engebeler ve drenaj kanallarına doğru çökme açıları biraz fazlalaşır.

Bir çok tuf tabakasının yüzeyinde serleşmiş bir tabakaya rastlanır. Bu tabaka buharlaşma artığı olarak silisyumun birikmesi ile oluşmaktadır ve bu tabakanın dağılımı düzensizdir ve özellikle kaynaşmamış tüflerde farklı erozyonla rastlanır. Volkanik tufn ocak yeri belirlenirken bu tabakaya aldanılmamalı ve gerekli incelemeler yapıldıktan sonra volkanik tuf ocağının yeri kesin olarak belirlenmelidir (Doruk, 1974).

2.9.6. Tüflerin çeşitleri ve gruplandırılması

Proklastik malzemelerde büyüklüğü toz halinden blok haline kadar değişmektedir. Tüf depolarını oluşturan malzeme çakıl büyüklüğüne kadar olan malzemelerdir. Şüphesiz tüfün tabiatta bulunuş şekli daima taneler halinde ve tek boyutlu taneler halinde değildir.

Portland çimentosu veya kireç gibi hidrolik bir bağlayıcı ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcının özelliklerini artıran tüfe tras veya traşlı tüf adı verilmektedir. Traşlı tüfler; ince parçaları kızgın halde iken su veya su buharı vasıtası ile ani olarak soğumuş proklastik malzemelerdir. Ani soğuma nedeni ile bu çeşit tüflerde camsı kısımlar diğerlerinden fazladır. Bu tüfler ince olarak öğütüldüklerinde aktiviteleri artar, harç ve betonun işlenebilirliği artar, kireç veya çimento ile karıştırıldıklarında su ve hava tesiri ile çözülmez bileşikler meydana getirirler. Traşlı tüfler arazide genellikle yer altı su seviyesinin altındaki kısımlarda bulunurlar. Taneli veya bloklaşmış bir malzeme halinde de bulunabilirler.

Sığ deniz veya göl tabanlarında proklastik malzeme çökerken normal olarak araya volkanik olmayan diğer parçalar karışmaktadır. Böylece tüfit adı verilen ve tabakalaşma gösteren yeni taş yatakları oluşur. Bugün topoğrafik yüzeyde görülen tüfitler daha çok düşey doğrultudaki yer kabuğu hareketleri sonunda su yüzüne çıkmışlardır. Oluşum şeklinin doğal bir sonucu olarak tüfitlerin içinde değişik oranlarda kil, karbonat v.b. gibi elemanlar bulunmaktadır. Proklastik malzemenin doğal yoldan birbirine bağlanıp çimentolaşmasında bazen bu maddeler silisten daha önemli bir rol oynayabilir.

Ayrıca pomza taşı veya sünger taşı adında bir tüf çeşidi daha vardır. Pomza taşları mağmatik parçaların çok çabuk soğuması ile meydana gelirler. Erimiş kütlenin emdiği gazların ani soğuma ile kütleyi terk etmesi sonucunda bu tüfler süngerimsi bol boşluklu bir yapıya sahip olurlar. İçerilerindeki silikat miktarları çok fazladır ve yoğunlukları genellikle 1 kg/dm^3 'ten daha azdır (Doruk, 1974).

2.9.7. Türkiye’de tüflerin dağılımı

Türkiye’de tüflerin dağılım haritası Şekil 2.1.’de verilmiştir. Buna göre; Anadolu arazisi, jeolojinin üçüncü ve dördüncü zaman başlarında şiddetli bir volkanik faaliyete sahne olmuştur. Bu volkanik faaliyetten dolayı arazide toptan yükselmelerle birlikte derin ve sürekli kırılmalar meydana gelmiştir.

Kuzey Anadolu’da, özellikle Samsun-Çorum arasındaki dağ kitleleri içinde volkanik malzeme çok yaygındır. Bunlar daha çok anglomera - volkanik breş görüntüsünde, özellikle bazaltik veya andezitik lavlardan oluşmuşlardır.

Daha batıda başlayıp Orta Toroslar üzerinden geçen büyük tabaka Malatya yöresinde ikiye ayrılır. Bunlardan biri Bitlis - Hakkari doğrultusunda diğeri Tunceli - Ağrı yönünde uzanır. Bu tabakaların Güneydoğu ve Kuzey kenarlarında kısmen tahrip olmuş büyük volkan konileri yükselir. Nemrut, Süphan, Tendürek ve Ağrı volkanlar dizisi buradadır. Kabaca Kuzeydoğu - Güneybatı doğrultusunda olan bu diziliş, aynı yönde uzanan büyük bir fay hattı ile ilgili görülmüştür. Bu büyük volkan konilerinden başka fay hatları boyunca lav oluşumları yüksek yaylalar boyunca uzayıp giderler. Bu yeni volkan arazisinin bazı yerlerinde yöreler halinde bazı yerlerinde ise lavlarla sınırlı değişik kalınlıkta, ara tabakalar şeklinde tüf tabakalarına rastlanır.

Malatya - Bitlis - Hakkari doğrultusunda uzanan Doğu Toros yayının güney tarafında volkanların çıkarmış olduğu bazaltik lavlar Diyarbakır platformu üzerine uzanırlar. Pek az miktarda tüf kütlelerinin dışında Güneydoğu da Bölgesi volkanik arazi genellikle bazalt cinsinden volkanik taşlarla temsil edilir.

Toroslardan, Anadolu’nun tabanında kalan eski masif sahasına doğru olan geçiş bölgeleri üzerinde geniş bir volkanik arazi şeridi uzanır. Erciyes, Melendiz, Hasandağı ve Karacadağ ile bunların etrafında meydana gelmiş bulunan küçük volkanik koniler burada yer alır. Bu küçük konilerin pek çoğu tüf ve cüruftan oluşmuşlardır. Tüf bu arazide çok önemli bir yer tutar. Göreme, Kayseri, Ihlara, Afyon ve Isparta tüf alanları bu yörededir.

Batı Anadolu’da biri Kula yöresinde diğeri Aşağı Gediz Vadisinde olmak üzere iki volkanik saha vardır. Burada sekiz küçük koni ile 53 volkan merkezi tespit edilmiştir.

Ayrıca, aşağı Gediz Vadisi kesiminde İzmir - Bergama - Akhisar arasındaki bölgede Dumanlı Dağ Krateri içinde dışa doğru meyilli lav, tuf ve cürufklar ara tabakalı bir vaziyette bulunurlar. Foça - Eskifoça arasındaki Şaphane Dağı dışa doğru meyilli lav ve tuf tabakalarından oluşmuşlardır.

Marmara bölgesindeki volkanik bölgenin özellikle Kütahya, Balıkesir, Çanakkale hattı üzerinde ve bu hattın güneyinde önemli bir yer kaplar. Daha çok andezit ve andezit tüflerden oluşan zemin oldukça yüksek volkan şekillerinden ibarettir. Marmara bölgesinde bundan başka yukarıda adı geçen hat ile Marmara Denizi arsında en geniş kısım Biga - Lapseki arasına rastlayan bazı önemli volkanik tuf oluşumları ile Trakya da Enez'e ait olmak üzere bir volkanik tuf sahası mevcuttur (Doruk, 1974).

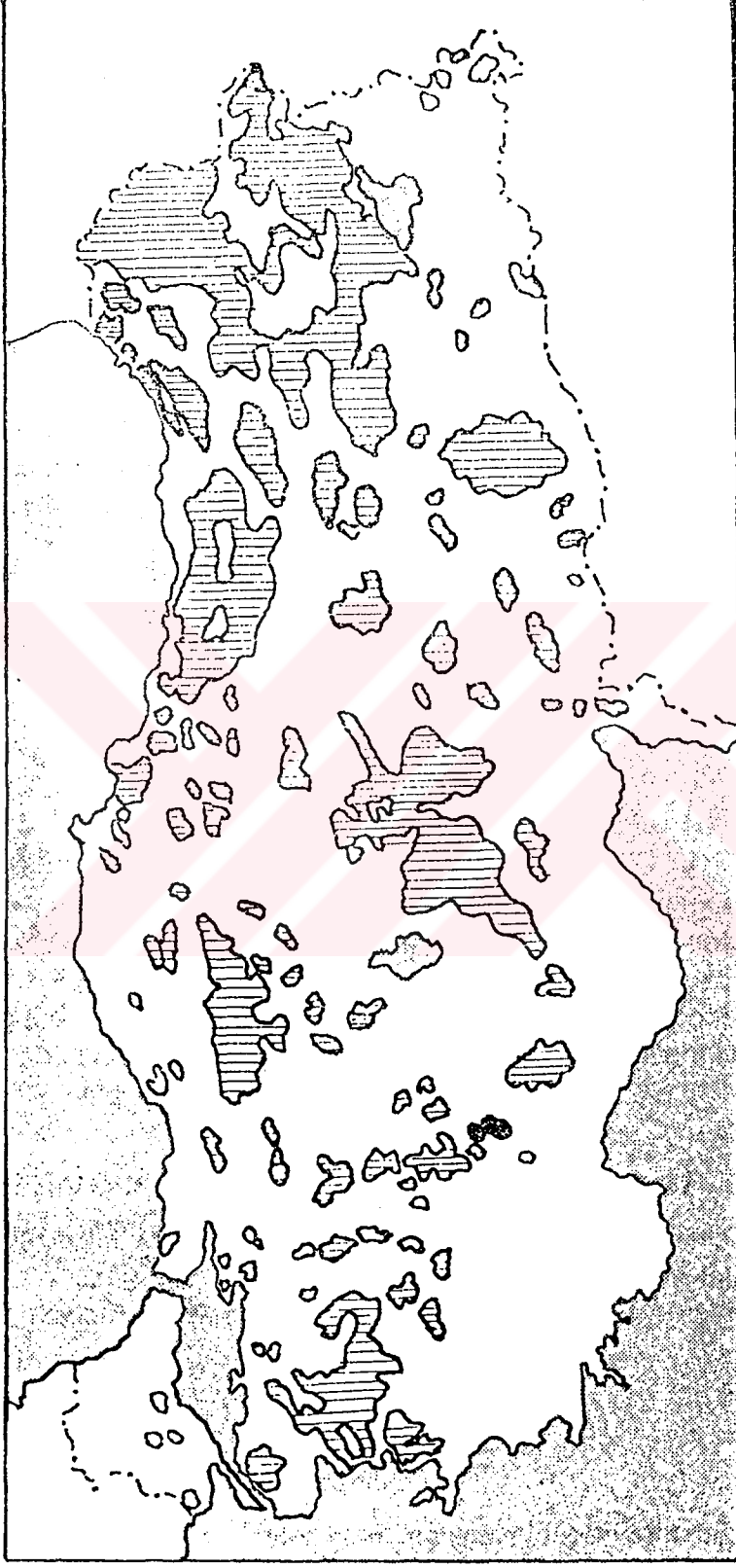
2.10. Hafif Agregalarda Aranılan Özellikler ve Deneyler

2.10.1. Birim ağırlık

Deneyde kullanılan hafif agregalar üzerinde TS 3529'da belirtilen "gevşek birim ağırlığın tayini" deneyi uygulandığında bulunacak sonuçlar Tablo 2.2.'deki sınır değerleri geçmemelidir (TS 1114, 1986).

Tablo 2.2. Hafif agregaların gevşek birim ağırlıkları (TS 1114. 1986).

Agrega Türü	Gevşek Birim Ağırlık kg/m ³
İnce agreg	1200
İri agreg	1000
Karışık agreg	1100



Şekil 2.1.1. Tüflerin Türkiye’de dağılımı haritası

Birim ağırlıkta homojenliği sağlamak için ard arda iki partiden, laboratuara gönderilen numunelerdeki birim ağırlık değerleri arasındaki fark % 10'dan çok olmamalıdır. Deneyde kullanılacak numune miktarı Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Birim ağırlık tayini için gerekli deney numunesi miktarları (TS 3529, 1980).

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Deney Numunesi Miktarı (kg)	5	5	5	5	5	5	5	25	25	50	50

TS 707'ye uygun olarak oluşturulmuş ve hava kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi alınır. Sıkışık birim ağırlık bulunacaksa; ölçü kabının ağırlığı belirlenir (W_1). Elimizdeki agrega ölçü kabına üç tabaka halinde doldurulur ve her tabaka 25 defa şişlenir. İlk tabaka şişlenirken ölçü kabının tabanına sert olarak vurmaktan kaçınılmalıdır. Üst tabakalar şişlenirken de şişin bir alttaki tabakanın ancak üst yüzeyine girecek kadar şişlenmelidir. En üst tabaka yerleştirildikten sonra üst tabaka düzeltilir ve kap ile birlikte tartılır (W_2). Aşağıdaki formülden faydalanılarak sıkışık birim ağırlık tayin edilir (TS 3529, 1980).

$$B_s = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

B_s = Sıkışık birim ağırlık.

W_2 = Sıkışık agrega ile dolu ölçü kabı ağırlığı.

V = Ölçü kabının iç hacmi.

W_1 = Ölçü kabı boş ağırlığı.

2.10.2. Elek analizi sınır değerleri

Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı TS 3530'da belirtildiği şekilde tayin edildiğinde Tablo 2.5'de gösterilen değerlere uygun olmalıdır (TS 1114, 1986).

Tablo 2.4. Tane büyüklüğü dağılımı (granülometrik birleşim) tayini İçin gerekli deney numunesi miktarları (TS 3530, 1980).

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Deney Numunesi Miktarı (kg)	0.5	0.5	0.5	0.5	2	2	8	10	20	20	20

2.10.2.1. Deneyin yapılması

Deneyde kullanılacak numune miktarı TS 707'ye uygun ve yaklaşık Tablo 2.4'de gösterilen deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilir, tartılarak ağırlığı saptanır, (ΣW). Deney numunesi elek takımının en üstündeki elekten doldurulur. Kapak kapatıldıktan sonra elek sarsma makinesi çalıştırılır, her eleği üzerinde kalan agregaların ağırlık azalmaları %1'den az oluncaya kadar sürdürülür. Eleme işlemi tamamlanınca her elek üzerinde kalan agrega düzgün bir şekilde ayrı ayrı tartılır, (W_k). Aşağıdaki formülden faydalanılarak yüzdeler hesaplanır.

$$mk_{kt} = \frac{W_k}{\Sigma W_k} \times 100(\%)$$

m_{kt} = Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın yığılımlı ağırlık yüzdesi.

W_k = Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın etüv kurusu yığılımlı ağırlığı (g).

ΣW_k = Etüv kurusu deney numunesinin ağırlığı (g).

Şayet istenirse, bu deney iri ve ince agrega için ayrı ayrı yapılarak gerekli değerler hesaplanır. Tane büyüklüğü dağılımı tayini TS 707'ye uygun olarak yaklaşık Tablo 2.4'de verilen miktarlarda verilen iki deney numunesine uygulanır. Yığılımlı ağırlık yüzdelerinde, deney sonuçları arasındaki fark iki veya daha küçük ise sonuçların ortalaması alınır. Yığılımlı ağırlık yüzdelerinin herhangi biri için bile olsa fark ikiden büyük ise deney

agreganın diğer bölümünden üretilen deney numunesine uygulanır. Bulunan sonuçların her göz açıklığı için en yakın olan iki tanesinin ortalaması yığılımlı ağırlık yüzdesi olarak alınır (TS 3530, 1980).

Tablo 2.5. Hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı (TS 1114, 1986),

Tane Sınıfları		Kare gözlü ve kare delikli eleklerden geçen %									
		TS 1227 kare gözlü elek göz açıklıkları					TS 1226 kare delikli elek delik açıklıkları				
		0.125	0.25	0.50	1	2	4	8	16	31.5	63
İnce Agregam	0 / 2	1)	1)	1)	1)	≥ 90	100				
	0 / 4	1)	1)	1)	1)		≥90	100	—	—	—
	2 / 4		≤ 5			≤15 ²⁾	≥90	100			
Karışık Agregam	0 / 8		1)					≥90	100		
	0 / 16	—	1)	—	—	—	—		≥90	100	
	0 / 32		1)							≥90	100
İri Agregam	4 / 8		≤ 5				≤15 ²⁾	≥90	100		
	4 / 16		≤ 5				≤15 ²⁾		≥90	100	
	8 / 16	—	≤ 5	—	—	—		≤15 ²⁾	≥90	100	
	16 / 32		≤ 5						≤15 ²⁾	≥90	100
1) Gerektiğinde sınırlanabilir.											
2) Kırma agregası için alt tane miktarı en çok %20 olabilir											

2.10.3. Organik maddeler

Hafif agregada humus ve benzeri organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zararlı olabilirler. Bu bakımdan TS 3673'de belirtilen deneyi uygulandığında; koyu sarı, kahverengi v.b. koyu renkler meydana gelmemelidir.

Standart referans renginden daha koyu renk elde edilmesi halinde bu renk bozukluğunun betona zararı olmayan maddelerden ileri geldiği saptanırsa agreganın kullanılabilir (TS 1114, 1986).

2.10.3.1. Standart referans rengin hazırlanması

2.10.3.1.1. % 3'lük sodyum hidroksit çözeltisi: 3 g sodyum hidroksit (NaOH), 100 ml ölçülü bir ölçü kabında damıtık su ile çözülür ve saf su ile 100 ml'ye tamamlanır.

2.10.3.1.2. % 10'luk metil alkol çözeltisi: 10 g saf alkol 100 ml Ölçülü bir ölçü kabında damıtık su ile çözülür ve damıtık su ile 100 ml' ye tamamlanır.

2.10.3.1.3. Tannik asit - alkol çözeltisi: 2 g tannik asit ($C_{14}H_{10}O_9$) 100 ml ölçülü bir ölçü kabına konur, 100 ml çizgisine kadar %10'luk alkol çözeltisi ilave edilir.

2.10.3.1.4. Standart referans renk: 2.5 ml tannik asit alkol çözeltisi 100 ml ölçülü bir ölçü kabına konduktan sonra %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi ile 100 ml'ye tamamlanır. Renksiz bir şişeye konarak ağzı kapatılır, iyice çalkalanır ve 24 saat bekletilir. 24 saatin sonunda karşılaştırma rengi olarak kullanılır. Rengi zamanla değiştiği için her deney için baştan hazırlanmalıdır (TS 1114, 1986).

2.10.3.2. Deneyin yapılması

Yarım litrelik renksiz standart bir ölçü kabının 1/3'üne kadar ince agreganın numunesi doldurulur. Doldurulan bu numunenin üzerine kabın 2/3 hacmi kadar %3'lük sodyum hidroksit çözeltisi katıldıktan sonra kabın ağzı kapatılarak çalkalanır ve 24 saat kendi haline bekletilir. 24 saat sonra çözeltinin rengi ile

standart referans renk karşılaştırılarak agrega içerisindeki organik madde miktarı hakkında karar verilir (TS 3673, 1982).

2.10.4. İnce madde oranı

Hafif agrega içindeki ince tane miktarı; TS 3527'de belirtilen deney uygulandığında bulunan sonuçlar Tablo 2.6'da verilenlere uygun olmalıdır (TS 1114, 1986).

Tablo 2.6. Agregada ince madde oranı (TS 1114, 1986).

Agrega Tane Sınıfı (mm)	İnce Tane Oranı (Ağırlıkça Max.) %
0 / 2, 0 / 4	5.0
0 / 8, 2 / 4	4.0
0 / 16, 0 / 32, 4 / 8, 4 / 16	3.0
8 / 16, 16 / 32	2.0

Tablo 2.7. İnce madde oranı tayini için gerekli deney numunesi miktarları

En Büyük Tane Büyüklüğü (mm)	0.25	0.50	1	2	4	8	16	31.5	63	90	125
Deney Numunesi Miktarı (kg)	1	1	1	1	1	2	5	5	5	5	5

2.10.4.1. Deneyin yapılışı

Deney iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan biri çökeltme metodu diğeri ise yıkama metodudur. Çökeltme metodu yaklaşık metoddur, gerçekçi değerler istenirse yıkama metodu uygulanır, bu metot iri agregalara uygulanır ancak gerektiğinde ince agregalara da uygulanabilir.

Miktarları Tablo 2.7.'de verilen agregadan TS 707'ye uygun olarak oluşturulmuş deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilir ve tartılır (W_1). Yeterli miktarda su ile birlikte çalkalama kabına konur. En az 12 saat su içinde bekletildikten sonra 0.063 mm'den ince tanelerin daha irilerden ayrılmasını sağlamak üzere 5 dakika süre ile kuvvetlice çalkalanır. 8 mm, 1 mm ve 0.033 mm göz açıklı elekler sıra ile dizilir ve çalkalanmış olan deney numunesi suyu ile birlikte en üsteki eleğin içerisine boşaltılır, kap yıkama suyu berrak hale gelinceye kadar yıkanır ve yıkama suyu eleklerden geçirilir.

Eleklerin her üçünün üzerinde kalan agregalar bir araya toplanır, etüv kurusu durumuna getirilir ve tartılır (W_2). Değerler aşağıda verilen formülde yerine yerleştirilir ve bulunan sonuçlar Tablo 2.6.'daki değerlerle karşılaştırılarak uygun olup olmadığına karar verilir (TS 3527, 1980).

$$m_y = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

Burada;

m_y = Yıkanabilen ince madde oranı (%)

W_1 = Numunenin deney öncesi etüv kurusu ağırlığı (g)

W_2 = Numunenin deney sonrası etüv kurusu ağırlığı (g)

2.10.5. Yanıcı madde miktarı

Deneyde 110 ± 5 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 24 saat süre ile kurutulmuş 1 kg hafif agreganın 2 mm'lik göz açıklıklı elek üzerinde kalıntı bırakmayacak şekilde havanda dövülmesi ile elde edilen numune kullanılır.

Malzemeden yaklaşık 5 g deney numunesi alınarak 1 mg hassasiyetle tartılır (A_1). Deney numunesi bir porselen kroze konur. 1000 ± 25 °C sıcaklıkta ki bir fırında 1 saat süre ile kızdırılır. Kroze fırından çıkarılır soğutulur ve yanmayan kısmın net ağırlığı bulunur (A_2).

Bulunan değerler formülde yerlerine yerleştirilerek kızdırma kaybı bulunur.

$$Z = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 (\%)$$

Bu bağıntıda;

Z = Kızdırma kaybı (%)

A_1 = Numunenin kızdırmadan önceki kütlesi (g)

A_2 = Numunenin kızdırmadan sonraki kütlesi (g)

Hafif agregalarda yanıcı madde miktarı agreganın kuru ağırlığının % 5'ini geçmemelidir (TS 1114, 1986).

2.10.6. Sülfat miktarı

Hafif agreganın içindeki sülfat tayini TS 3674'de açıklanan deney uygulandığında bulunacak sonuçlar, (SO_3) cinsinden yapıldığında bulunan değer, ağırlıkça %1.0'den çok olmamalıdır (TS 1114, 1986).

2.10.6.1. Deneyin yapılışı

Tane büyüklüğüne bağlı olmaksızın, yaklaşık 1 kg malzeme TS 706'ya uygun olarak alınır. Etüv kurusu durumuna getirildikten sonra tümü 2 mm göz açıklıklı tel elekten geçebilecek şekilde öğütülür. Bu malzemedan gelişi güzel olarak 100 g alınır ve 0.09 mm'lik elekten elenir ve yaklaşık 1 g 0.0001 g duyarlıkta tartılır (W_0). 250 ml'lik bir behere alınır, üzerine 10 ml derişik hidroklorik asit ilave edilir. 110 °C sıcaklıkta, asitin tümü buharlaşınca kadar ısıtılır. Bu işlem üç kez tekrarlanır, beher ocaktan indirildikten sonra iç yüzeyi yıkanarak 50 ml sıcak saf su ilave edilir ve süzgeç kağıdından süzülür. Bu işlemde 5 kez tekrarlanır. Bunun üzerine 5 damla hidroklorik asit ile asitlendirilir ve kaynama noktasına kadar ısıtılır. Daha sonra 100 g/l'lik 10 ml baryum klorür çözeltisi damla damla ve karıştırılarak ilave edilir. 90 °C ayarlı su banyosunda ısıtılarak çökme kolaylaştırılır. Su banyosunda en az 3 saat bekletilir, süzgeç kağıdından süzülür. 800 °C- 900 °C sıcaklıkta kızdırılır. Soğutulur 0.0001 g duyarlıkta tartılır ve ilk ağırlık ile arasındaki fark saptanır (W_1).

Bulunan değerler formülde yerlerine yerleştirilerek sülfat miktarı belirlenir.

$$s = \frac{0.3430 \times W_1}{W_0} \times 100 \quad (\%)$$

Burada;

S= Agreganın sülfat miktarı (SO_3 olarak %)

W_1 = Krozenin, deney bitimi ve deney başlangıcındaki ağırlığı arasındaki fark (g)

W_0 = Etüv kurusu durumuna getirilmiş ve öğütülmüş deney numunesinin 0.09mm göz açıklıklı elekten geçen yaklaşık 1 g'lık kısmının ağırlığı (g) (TS 3674, 1981).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Deney Hazırlıkları ve Malzeme Seçimi

3.1.1. Agregası ile ilgili deneysel çalışmalar

Deneylerde normal agregası olarak Palu agregası, hafif agregası olarak ise Ahlat Dağı'ndan getirilen volkanik tuf kullanıldı. Deneyde kullanılacak olan karışım hesaplamalarını yapmadan önce tufün ve Palu agregasının bazı özelliklerinin belirlenmesi için deneyler yapıldı.

3.1.2. Volkanik tufün beton mukavemeti üzerindeki etkisi ile ilgili deneysel hazırlıklar

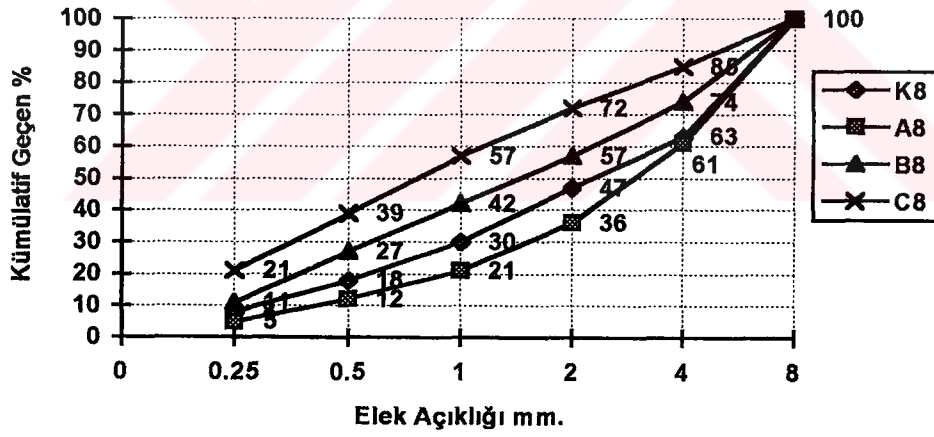
Volkanik tufün beton mukavemeti üzerindeki etkisi ile ilgili deneylerde max. tane çapı 8 mm olan agregalar kullanıldı.

İlk önce TS 802'den yararlanılarak karışım hesaplaması yapıldı. Buna göre numune hazırlandı. Daha sonra karışıma girecek olan tuf miktarının hesaplamasına geçildi. Hesaplamalarda agregası hacmi sabit tutuldu ve hacimsel oranlarda (%5, %10, %15, %20, %25) tuf normal agregası ile yer değiştirildi. Bu yer değiştirmede iri ve ince agregası ayrı ayrı numuneler üzerinde denenmiştir.

Deneylerde 10x10x10 cm'lik küp kalıplar kullanıldı. Bütün hesaplamalar buna göre yapıldı. Karışım hesaplamaları yapılırken özellikle su miktarının belirlenmesinde volkanik tufün su emme yüzdesi dikkate alınarak hesaplamalar yapıldı.

Tablo 3.1. Maksimum tane çapı 8 mm'lik agrega granülometrisi

Elek No	Kümülatif (%)		Her Elek Üstünde kalan (%)
	Geçen	Kalan	
8	100	0	0
4	63	37	37
2	47	53	16
1	30	70	17
0.5	18	82	12
0.25	8	92	10
Kap	-	100	8



Şekil 3.1. Maksimum tane çapı 8 mm için granülometri eğrisi

3.1.2.1. Beton karışım hesaplamaları

Karışım hesaplamalarındaki bazı değerler TS 802'deki tablolardan alınmıştır. Gerekli görüldüğünde bu değerlerden emin olmak için deneyler yapılmıştır. Ayrıca, karışım hesaplamalarında kullanılan malzemenin su emme miktarları dikkate alınarak karışım suyu miktarı belirlendi.

Karışım hesaplamaları 7 cm çökme değeri için yapıldı. Yapılan slamp deneği sonunda en uygun karışım suyu miktarı için 185 l'nin olduğu belirlendi.

Çimento; KPÇ 325 , γ_c : 3.05 kg/dm³ (kullanılan çimento Elazığ Çimento Fabrikasından alınmıştır.)

$$W/C = 0.53$$

$$185 / C = 0.53 \Rightarrow C = 185 / 0.53 \cong 350 \text{ kg}$$

$$C/\gamma_c = 350 / 3.05 = 115 \text{ dm}^3$$

$$\text{Agrega hacmi ; } W_a / \gamma_a = 1000 - (115 + 185 + 30) = 670 \text{ dm}^3$$

Tablo 3.2. 1 m³ beton için gerekli malzeme miktarları

Malzeme	Kütle (kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Hacim (dm ³)
Çimento	350	3.05	115
Su	185	1	185
Hava			30
Agrega			
0 - 4 (% 63)	1144	2.71	422
4 - 8 (% 37)	682	2.75	248

Tablo 3.3. 1 m³ beton için ince agrega miktarları

Hafif Agrega % si.	Hafif agrega miktarı ($\gamma_a = 1.107 \text{ kg/dm}^3$)		Normal agrega miktarı ($\gamma_a = 2.75 \text{ kg/dm}^3$)	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
0	-	-	422	1144
5	21.1	23.36	400.9	1086.44
10	42.2	46.72	379.8	1029.26
15	63.3	70.07	358.7	972.08
20	84.4	93.43	337.6	914.90
25	106	117.34	316	856.36

Tablo 3.4. 1 m³ beton için iri agrega miktarları

Hafif Agrega % si	Hafif Agrega Miktarı ($\gamma_a = 0.584 \text{ kg/dm}^3$)		Normal Agrega Miktarı ($\gamma_a = 2.75 \text{ kg/dm}^3$)	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
0	-	-	248	682
5	12.4	7.24	235.6	647.9
10	24.8	14.48	223.2	613.8
15	37.2	21.72	210.8	579.7
20	49.6	28.97	198.4	545.6
25	62	36.21	186	511.5

3.1.3. Van yöresindeki (Ahlat Dağı) volkanik tüfün taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği ile ilgili deneysel hazırlıklar

Bu deneylerde max. tane çapı 16 mm olan agregalar kullanıldı. TS 802 ve TS 2511'e uygun karışım hesaplaması yapıldı. Bu hesaplamalara göre numuneler döküldü ve 28 günlük basınç dayanımları belirlendi.

3.1.3.1. Taşıyıcı hafif beton karışım hesaplamaları

Karışım hesaplamaları yapılırken iki ayrı standarttan faydalanıldı. ilk önce TS 802 dikkate alınarak normal beton karışım hesabı yapıldı ve bu hesaplama göre belirlenen karışımın birim ağırlığı taşıyıcı hafif beton birim ağırlığına düşene kadar hem ince agregası hem de iri agregası hacimsel olarak değişik oranlarda tuf ile yer değiştirildi. Taşıyıcı hafif beton birim ağırlığını sağlayan karışımlar için numuneler hazırlandı ve deneylere tabii tutuldu.

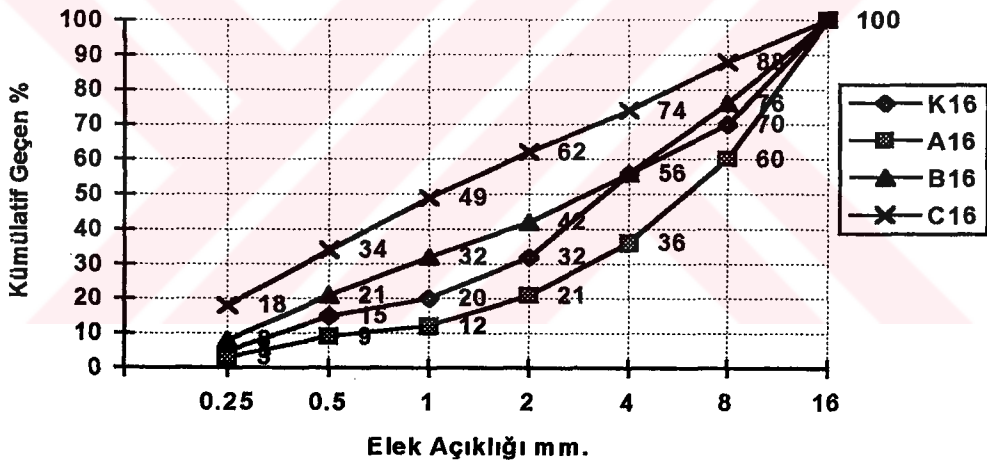
İkinci olarak TS 2511 dikkate alınarak taşıyıcı hafif beton karışım hesabı yapılarak numuneler döküldü. Ayrıca karışıma giren 0-4 mm ve 4-16 mm arasındaki tuf normal agregası ile hacimsel olarak yer değiştirildi ve ayrı ayrı numuneler döküldü. Bu numunelerin basınç dayanımları belirlenerek değişimler grafikler halinde incelendi.

3.1.3.1.1- TS 802'ye göre yapılan karışım hesaplamaları

Karışım hesaplamalarına başlamadan önce agreganın granülometrik değerleri belirlendi. Bu karışımda da Elazığ çimentosu kullanıldı.

Tablo 3.5. Maksimum tane çapı 16 mm'lik agrega granülometrisi

Elek No	Kümülatif (%)		Her Elek Üstünde kalan (%)
	Geçen	Kalan	
16	100	-	-
8	70	30	30
4	56	44	14
2	32	68	24
1	20	80	12
0.5	15	85	5
0.25	5	95	10
KAP	0	100	5



Şekil 3.2. Maksimum tane çapı 16 mm için agrega granülometri eğrisi

Karışım hesaplaması

Karışım suyu miktarı = 7 cm. çökme değeri için 195 l

Hava miktarı = % 3

Çimento : KPÇ 325 , $\gamma_c = 3.05 \text{ kg/dm}^3$

W/Ç = 0.53

$$195 / C = 0.53 \Rightarrow C = 195 / 0.53 \cong 368 \text{ kg}$$

$$C / \gamma_c = 368 / 3.05 = 121 \text{ dm}^3$$

Agrega hacmi ;

$$W_a / \gamma_a = 1000 - (121 + 195 + 30) = 654 \text{ dm}^3$$

Tablo 3.6. 1 m³ beton için karışım miktarları

Malzeme	Kütle (kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)	Hacim (dm ³)
Çimento	368	3.05	121
Su	195	1.00	195
Hava			30
Agrega			
0 - 4 (% 56)	992	2.71	366
4 - 16 (% 44)	792	2.75	288
Toplam	2362		1000

Tablo 3.7. Karışıma girecek ince agrega miktarları

Hacimsel olarak karışıma giren tüf yüzdesi	Hafif Agrega Miktarı $\gamma_a = 1.107 \text{ kg/dm}^3$		Normal Agrega Miktarları $\gamma_a = 2.71 \text{ kg/dm}^3$	
	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Ağırlık (kg)
50	183	203	183	496
60	220	244	146	396
70	256	284	110	298
80	293	324	73	198
90	329	365	37	100
100	366	405	-	-

Tablo3.8. Karışıma girecek iri agrega miktarları

Hafif Agrega % si	Hafif agrega miktarları $\gamma_a = 0.584 \text{ kg/dm}^3$		Normal agrega miktarları $\gamma_a = 2.75 \text{ kg/dm}^3$	
	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)
0	-	-	288	792
5	14	8	274	754
10	28	17	260	715
15	43	25	245	674
20	58	34	230	633
25	72	42	216	594
30	86	50	202	556
35	101	59	187	514
40	115	67	173	476
45	130	76	158	435

Yukarıda bulunan değerler yardımıyla normal agreganın değişik yüzdelerde tuf ile yer değiştirilmesi sonucu oluşturulan yeni karışımların birim ağırlıkları bulundu ve taşıyıcı hafif beton birim ağırlığına uygun olan karışımlar için numuneler hazırlandı. Belirlenen birim ağırlıklar Tablo 3.9.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Karışıma girecek tuf yüzdelerine göre betonların birim ağırlıkları

Hacimsel olarak karışıma giren tuf yüzdesi (iri-ince)	0 - 70	0 - 80	0 - 90	0 - 100
Betonun birim hacim ağırlığı (kg/dm^3)	1.937	1.877	1.820	1.760

Hacimsel olarak karışıma giren tuf yüzdesi (iri-ince)	5 - 70	5 - 80	5 - 90	5 - 100
Betonun birim hacim ağırlığı (kg/dm^3)	1.907	1.847	1.790	1.725

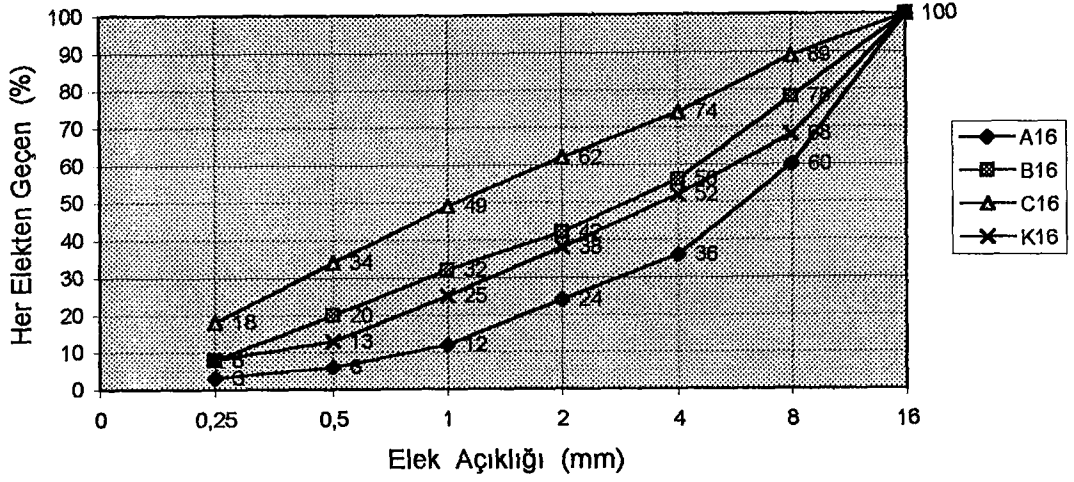
Hacimsel olarak karışıma giren tuf yüzdesi (iri-ince)	10 - 70	10 - 80	10 - 90	10- 100
Betonun birim hacim ağırlığı (kg/dm ³)	1.877	1.817	1.760	1.700

3.1.3.1.2. TS 2511'e göre yapılan karışım hesaplaması

1m³ beton için yaklaşık 1.150 m³ kuru gevşek agregaya gereklidir (TS 2511). Hesaplamayı yaparken bu dikkate alındı. Ayrıca karışım hesaplamasında gerekli olan özgül ağırlık faktörleri belirlendi, karışım hesaplaması 400 doza göre yapıldı.

Tablo 3.10. TS 2511'e göre yapılacak karışım hesaplaması için agreganın granülometrisi

Elek No	Kümülatif Geçen (%)	Kalan (%)	Her Elek Üstünde kalan (%)
16	100	-	-
8	68	32	32
4	52	48	16
2	38	62	14
1	25	75	13
0.5	13	87	12
0.25	8	92	5
KAP	0	100	8



Şekil.3.3. TS 2511'e göre yapılacak karışım hesaplaması için agrega granülometri eğrisi

Özgül ağırlık faktörü tayini (TS 3234):

Piknometre metodu ile belirli bir nem yüzdesindeki bims agregası özgül ağırlık faktörü aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$S_{gf} = \frac{B}{B+D-C} \quad \text{ince agrega için.}$$

$$S_{gf} = \frac{B}{B-C} \quad \text{iri agrega için.}$$

Burada;

S_{gf} = Bims agregası özgül ağırlık faktörü

B = Bims agregasının kullanıldığı nemlilikteki ağırlığı (g)

C = Piknometre, su ve bims agregasının toplam ağırlığı (g)

(İri agregada su içindeki ağırlık)

D = Piknometre ve 500 ml işaret yerine kadar su dolu ağırlık (g)

İnce agregada

$$B = 200 \text{ g}$$

$$C = 1410 \text{ g}$$

$$D = 1330 \text{ g}$$

İri agregada

$$B = 200 \text{ g}$$

$$C = 15.5 \text{ g}$$

İnce agregada için özgül ağırlık faktörü;

$$S_{gf} = \frac{200}{200 + 1330 - 1410}$$

$$S_{gf} = 1.67 \text{ kg/dm}^3$$

İri agregada için özgül ağırlık faktörü;

$$S_{gf} = \frac{200}{200 - 15.5}$$

$$S_{gf} = 1.08 \text{ kg/dm}^3$$

Karışım hesaplaması:

Agrega hesabı;

İri agregada:

$$1.150 \times 0.48 \times 546 = 301 \text{ kg}$$

$$301 / 1.08 = 279 \text{ dm}^3$$

İnce agregada:

$$1.150 \times 0.52 \times 714 = 427 \text{ kg}$$

$$427 / 1.67 = 256 \text{ dm}^3$$

Çimento hesabı ;

$$400 / 3.05 = 131 \text{ dm}^3$$

Su hacmi;

$$1000 - (131+256+279+30) = 304 \text{ dm}^3$$

Yapılan kıvam deneyi sonunda su miktarı 380 litreye çıkarılmıştır. Bu değere göre yapılan karışım hesaplaması sonucuna göre malzeme miktarları tabloda verilmiştir.

Tablo 3.11. TS 2511'e göre karışıma girecek malzeme miktarları

Malzeme	Kütle (kg)	Hacim (dm ³)
Çimento	372	122
Su	353	353
Hava		29
Agrega		
0-4 (% 52)	397	238
4-16 (% 48)	279	258
Toplam	1401	1000

Yukarıda yapılan karışım hesaplamasından hariç ayrıca karışıma giren 0-4 mm'lik ve 4-16 mm'lik tütün tamarı ayrı numunelerde normal agregası ile yer değiştirilerek karışım hesaplamaları yapıldı ve bu değerlere göre de numuneler döküldü. Yapılan karışım hesaplamaları Tablo 3.16. ve Tablo 3.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12. Karışıma giren 0-4 mm'lik tuf yerine normal kum kullanılması durumunda malzeme miktarları

Malzeme	Kütle (kg)	Hacim (dm ³)
Çimento	372	131
Su	306	306
Hava		31
Agrega		
0-4 (% 52)	691	255
4-16 (% 48)	299	277
Toplam	1668	1000

Tablo 3.13. Karışıma giren 4-16 mm'lik tuf yerine normal agrega kullanılması durumunda malzeme miktarları

Malzeme	Kütle (kg)	Hacim (dm ³)
Çimento	372	128
Su	320	320
Hava		31
Agrega		
0-4 (% 52)	418	250
4-16 (% 48)	745	271
Toplam	1855	1000

3.2. Deney Uygulamaları

Numuneler dökülmeden önce kalıplar yağlandı, karışım hesaplamalarına göre belirlenen malzeme miktarları alındı ve karışımı yapılarak kalıplara döküldü. Kalıplara döküldükten sonra 24 saat kalıp içinde bekletildi. Kalıptan çıkarılan numuneler 28 günü doldurana kadar kür ortamında bekletildi. 28 gün sonra numuneler teker teker basınç deneyine tabii tutuldu. Her değer için üç numune döküldüğünden bu üç numunenin basınç dayanımlarının ortalaması alınarak deney sonuçları belirlendi. Bu sonuçlar tablo ve grafik halinde gösterilmiştir.



4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Van Yöresindeki (Ahlat Dağı) Volkanik Tüfün Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği İle İlgili Deney Sonuçları

4.1.1. Elek analizi deneyi:

Tablo 4.1. Kullanılan tüfün elek analiz sonuçları

Elek Kare Delikli mm	Her Elek Üstünde Kalan g	Kümülatif (Yığılmış Ağırlık) g	Kümülatif %	
			Kalan	Geçen
1	2	3	0	100
63	0	0	0	100
31.5	0	0	0	100
16	236.70	236.70	12	88
8.0	217.40	454.1	23	77
4.0	480.90	935	47	53
2.0	294.50	1229.5	61	39
1.0	227.15	1456.65	73	27
0.5	318.45	1775.10	89	11
0.25	64.50	1839.60	92	8
0.125	110.30	1949.90	97	3
Kap	50.10	2000	100	0

Tablo 4.2. Deney sonuçlarının TS 1114'e göre değerleri

Tane Sınıfları		Kare gözlü ve kare delikli eleklerden geçen %									
		TS 1227 kare gözlü elek göz açıklıkları					TS 1226 kare delikli elek delik açıklıkları				
		0.125	0.25	0.50	1	2	4	8	16	31.5	63
İnce Agrega	0 / 2	8 ¹⁾	21 ¹⁾	28 ¹⁾	69 ¹⁾	96	100				
	0 / 4	6 ¹⁾	15 ¹⁾	21 ¹⁾	51 ¹⁾	74	100		—	—	—
	2 / 4		2			5 ²⁾	97	100			
Karışık Agrega	0 / 8		5 ¹⁾					97	100		
	0 / 16	—	3 ¹⁾	—	—	—	—		94	100	
	0 / 32		3 ¹⁾						100	100	
İri Agrega	4 / 8		2				7 ²⁾	95	100		
	4 / 16		2				7 ²⁾		98	100	
	8 / 16	—	2	—	—	—		12 ²⁾	97	100	
	16 / 32		3						14 ²⁾	100	100
1) Gerektiğinde sınırlanabilir.											
2) Kırma agregası için alt tane miktarı en çok %20 olabilir.											

Elek analizi sonuçlarından da görüldüğü gibi deneylerde kullanılacak tuf TS 1114'de istenilen sınırlar arasında kalmaktadır, bu açıdan uygundur.

4.1.2. Birim ağırlık

4.1.2.1. İnce malzeme:

Gevşek Birim Ağırlık: 714 kg/m³

Sıkı Birim Ağırlık: 1107 kg/m³

4.1.2.2. İri malzeme:

Gevşek Birim Ağırlık: 546 kg/m³

Sıkı Birim Ağırlık: 584 kg/m³

Yapılan birim ağırlık deneyi sonunda yukarıdaki değerler bulunmuştur. Bulunan değerler Tablo 2.2.'deki değerlerle kıyaslandığında sınır değerleri aşmadığından uygundur.

4.1.3. Organik madde miktarı

İçinde Sodyum hidroksit çözeltisi bulunan behere agrega konarak 24 saat bekletildi. 24 saat sonunda çözelti açık sarı bir renk aldı. Standart referans renk ile karşılaştırdığımızda rengi çok açıktı. Bu bize agrega içerisinde organik maddenin çok az olduğunu ve malzemenin bu yönden çok iyi olduğunu gösterir.

4.1.4. İnce madde oranı: İnce madde oranı tayininde yıkama metodu kullanıldı. Bu metot sonunda ince madde oranı %2 olarak belirlendi. TS 1114'de verilen değerlerle kıyaslandığında uygun olduğu görüldü. (TS 1114'de 0-16 ve 0-32 tane aralığı için ince madde oranı için sınır değer %3 olarak verilmiş.)

4.1.5. Kızdırma kaybı: TS 1114'de verilen deney metodunu kullandık. Bu deney sonucunda kızdırma kaybı % 3 olarak belirlenmiştir. Standartta bu değer %5 olarak verilmiştir. Sınırı aşmadığı için malzememiz bu açıdan da uygundur.

4.1.6. Sülfat miktarı: Sülfat miktarı TS 3674'de belirtilen deneyi uyguladık. Bu deney sonucunda % 0 olarak belirlendi. TS 1114'de sınır değer olarak % 1 verilmiştir. Agregadaki sülfat miktarı standarttaki değerden küçük olduğu için uygundur.

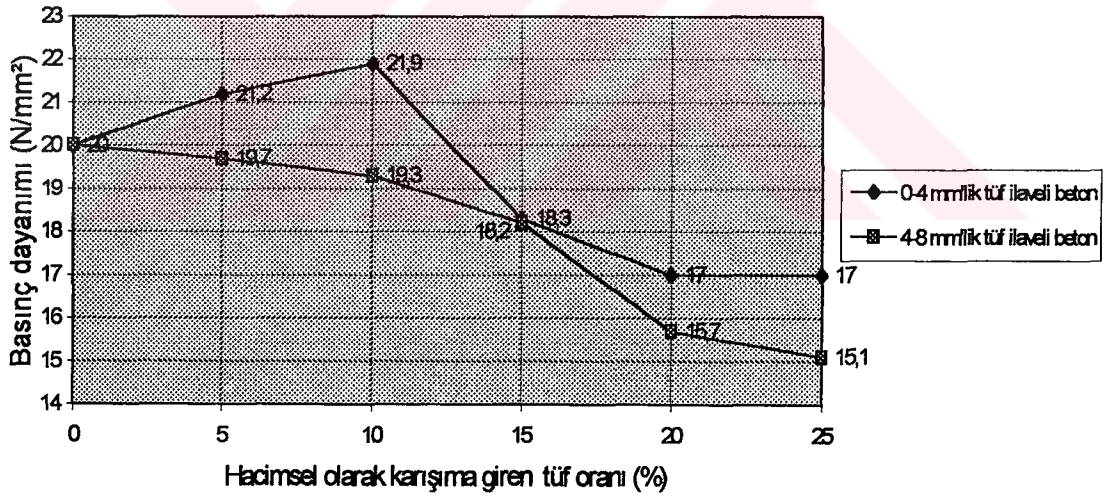
4.1.7. Su emme yüzde değeri: Su emme yüzdesi % 18 olarak belirlenmiştir.

4.2 - Volkanik Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi İçin Yapılan Deney Sonuçları:

Karışıma giren agreganın tamamı normal agregaya olan numune üzerinde yapılan deney sonunda basınç dayanımı 20 N/mm^2 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.3. Volkanik tüf ilaveli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları (N/mm^2)

Numune Adı	%5 katkı	% 10 katkı	% 15 katkı	% 20 katkı	% 25 katkı
0-4 mm'lik tüf ilaveli	21.2	21.9	18.3	17	17
4-8 mm'lik tüf ilaveli	19.7	19.3	18.2	15.7	15.1



Şekil 4.1. Volkanik tüf ilaveli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

Şekil 4.1.'den anlaşılacağı gibi ince agreganın tüf ile hacimsel olarak değişik yüzdelerde yer değiştirilmesi sonucunda optimum değer 21.9 N/mm^2 'ye kadar yükselmiştir. İri agreganın tüf ile yer değiştirilmesi sonucu herhangi bir artış elde edilememiştir

4.3. Tüfün Taşıyıcı Hafif Beton Agregası olarak Kullanılabilirliği İle İlgili Deney Sonuçları

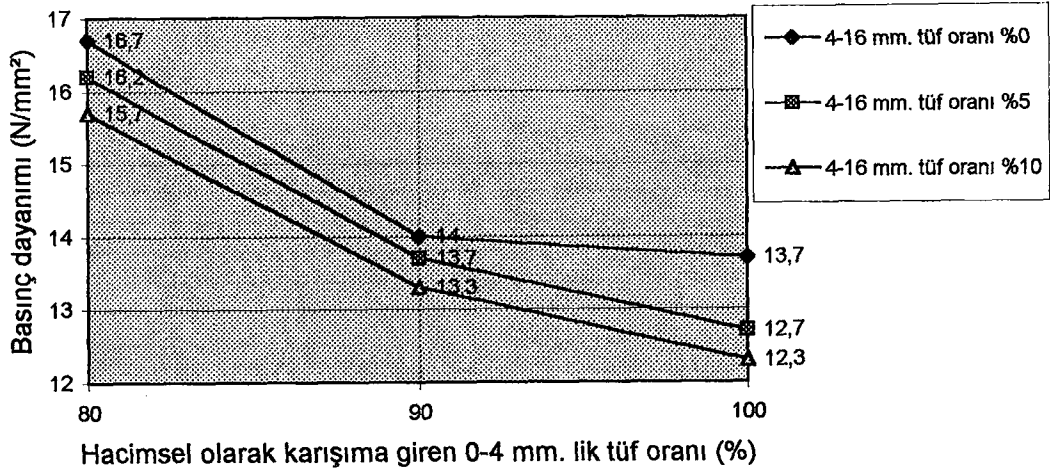
Bu kısımda da TS 802 ve TS 2511'e göre hazırlanan karışımlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre tablolar ve grafikler hazırlanmıştır. Burada TS 802 kullanılırken normal beton karışımı hesaplanmış ve bu karışımın birim ağırlığı tüf yardımı ile taşıyıcı hafif beton sınıfına getirilmiştir.

4.3.1. TS 802 esas alınarak yapılan karışımdan elde edilen deney sonuçları:

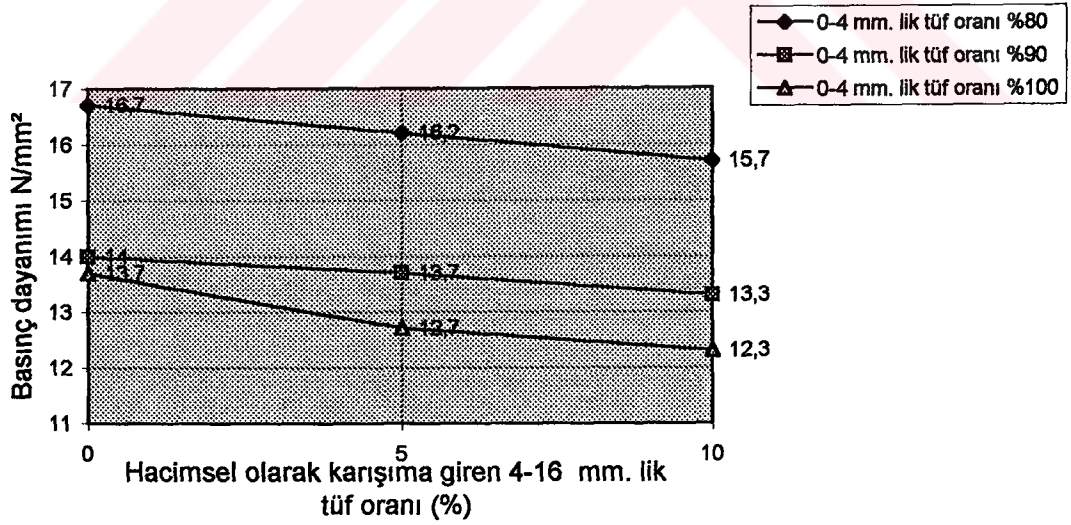
Deney numunelerinden elde edilen 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre gafiller çizildi. İlk önce hacimsel olarak karışıma giren 0-4 mm lik tüf yüzdeleri sabit tutuldu ve 4-16 mm lik tüf yüzdelerinin değişimine göre basınç eğrileri çizildi. İkinci olarak 4-16 mm lik tüf yüzdeleri sabit tutularak 0-4 mm lik tüfün hacimsel değişimine göre gafiller çizildi.

Tablo 4.4. Karışımına giren tüf oranları ve numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.

Hacimsel olarak karışıma giren tüf oranı (%)		Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Hacimsel olarak karışıma giren tüf oranı (%)		Basınç Dayanımı (N/mm ²)
İnce	İri		İnce	İri	
80	0	16.7	100	5	12.7
90	0	14	80	10	15.7
100	0	13.7	90	10	13.3
80	5	16.2	100	10	12.3
90	5	13.7			



Şekil 4.2. Karışımındaki 0-4 mm'lik tuf oranlarının değişimine göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri

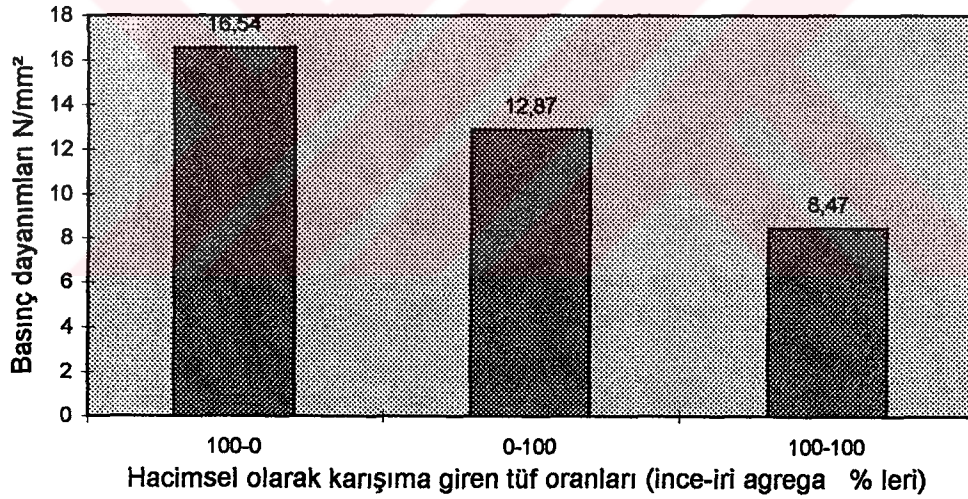


Şekil 4.3. Karışımındaki 4-16 mm'lik tuf oranlarının değişimine göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri

4.3.2. TS 2511 esas alınarak yapılan karışımlardan elde edilen deney sonuçları

Tablo 4.5. Karışımına giren tuf oranları ve numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.

Hacimsel olarak karışımdaki tuf oranı (%)		Basınç dayanımlar (N/mm ²)
İri (4-16 mm)	İnce (0-4 mm)	
100	100	8.47
100	0	12.87
0	100	16.54



Şekil 4.4. TS 2511 esas alınarak oluşturulan karışımdaki tuf oranlarına göre 28 günlük basınç dayanımı değerleri.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Van Gölü yöresinden (Ahlat Dağı) getirilen volkanik tüf TS 1114'de belirtilen deneylere tabii tutuldu. Bu deneyler sonucunda tüfün betonda agregası olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır. Şu an genelde briket imalinde kullanılan tüfün artık betonda da kullanılabileceği ve bunun sonucunda ekonomik kolaylıklar sağlayacağı açıktır.

Bu yöreden getirilen tüf, agregası olarak betonda kullandığımızda; normal agregası hacmi sabit tutuldu ve karışıma giren agregası hacimsel yüzdelere şeklinde (%5, %10, %15, %20, %25 gibi) tüf ile yer değiştirildi. Betonun basınç mukavemetindeki değişiklikler incelendi. Sonuçta 0.4 mm'lik agregasının %10'unu tüf, %90'ı normal agregası olarak karışıma girdiğinde basınç dayanımı 20 N/mm²'den 21.9 N/mm²'ye yükselmiştir. Bu değerlerden sonra düşmeler başlamıştır.

Taşıyıcı hafif beton karışım hesaplaması yapılırken TS 802 ve TS 2511'e göre iki değişik şekilde karışımlar hazırlanmıştır. TS 802 kullanılarak yapılan karışım hesaplamasında; Aynı karışım içinde ince agregası %80 oranında, iri agregası ise %0-%5-%10 oranlarında tüf ile yer değiştirilerek elde edilen karışımlarda BS 14 sınıfının üstüne çıkmıştır. Ayrıca İnce agregası %90, iri agregası ise %0 oranında tüf ile yer değiştirilerek dökülen numuneden ise BS 14 sınıfı beton elde edilmiştir.

TS 2511 ile yaptığımız deneyler bize bu yöresindeki volkanik tüf, yalnız başına kullanarak yeterli dayanıma sahip taşıyıcı hafif beton imal edilemeyeceğini göstermiştir. Fakat bu karışımda da İri agregasının tamamını normal agregası olarak kullandığımızda 16.54 N/mm²'lik basınç dayanımı elde edildi.

Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz; Van yöresindeki (Ahlat Dağı) volkanik tüf normal agregalı betonda 0-4 mm'lik agregası ile %10 oranında yer değiştirildiğinde betonun basınç dayanımında yaklaşık %10 oranında artış olur. Ayrıca aynı karışım içinde normal agregası ile birlikte belirli oranlarda kullanılırsa taşıyıcı hafif betonda elde edilebilir ki buda inşaat alanında olumlu sonuçlar sağlar. 0-4 mm'lik agregasının tamamı tüf, 4-16 mm'lik agregasının tamamı normal agregası kullanılarak hazırlanan karışım sonucu TS 802'den elde edilen sonuç 2511'e göre daha iyi olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

ACI Comittete 211, (1968). **Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete.** ACI Journal.

ACI Comittete 213, (1970). **Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete.** ACI Journal.

AKMAN, M. S., (1987). **Yapı Malzemeleri.** İTÜ. İnşaat Fakültesi.

ALİ, I., and KESLER, C.E., (1965). **Rheology of Concrete: A Revue of Research.** Bulletin 476, Universty of Illinois.

ARGUNHAN, E., (1984). **Pomza Taşı İle Üretilen Taşıyıcı Hafif Betonarme Elemanların Özelliklerine Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesinin Araştırılması.** İTÜ. İnşaat Fakültesi. Yüksek Lisans Tezi.

BUDNİKOV, P. P., ELİNZON, M. P. and YAKUB, T. A. , (1968), “ **The Structure Compositions and Some Properties of Lightweight Aggregates Used for Concrete in the USSR.** ”, Proseceedings of the First International Conges on Lightweight Concrete, Volume I, pp. 3-21.

CZURYSZKIEWICZ, A., (1973). **The Effect of Aggregate Shape Upon the Strength of Structural Lightweight Aggregate Concrete.** Magazine of Concrete Research.

DARTSCH, B., (1971). **Einfluß des Zuschlaggöß Korns auf die Zusammensetzung und die Drugfestigkeit des Betons**

DEMİR, H., (1982). **Betonarme Malzemesi.** İTÜ. İnşaat Fakültesi.

DIN 1045, (1978). **Yeni Alman Beton Şartnamesi. Betonarme Hesap Esasları ve Donatının Yerleştirilmesi.** Matbaa Teknisyenleri Basım Evi, İstanbul.

DIN 4226, (1971). **Beton Karışım Malzemeleri (kum, çakıl vb.)** fas. 1-3

DORUK, M., (1974). **Volkanik Tüflerin Karayolu Yapımında Kullanılması İle İlgili Bir Çalışma.** Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü.

GİLKEY, H. J., (1961). **Water-Cement Ratio Versus Strength-Another Look.** ACI Journal, Proceedings, Vol.57, No.10, pp.1287-1312.

GÜBL, P., (1979). **Die Zugfestigkeit von Leichtzuschlagen.** (The Tensile Strength of Lightweight Aggregates), Betonwerk+Fertigteil+Technik, Heft 10/1979, pp. 579-587.

GÜBL, P., (1979). **Mix Design of Lightweight Aggregate Concrete For Structural Lightweight Concrete.** The International Journal of Lightweight Concrete, Vol.1, No.2, 1979.

HARIG, S., (1977). **Ausfalkkörnungen Mit Unterschiedlichem, Größtkorn.** Beton 10/1977, pp. 387-390.

HUGHES, B. P. and CHAPMAN, G. P., (1966). **The Deformation of Concrete and Microconcrete in Compression and Tension with Particular Reference to Aggregate Size.** Magazine of Concrete Research : Vol. 18, No.54, March 1966, pp. 19-24.

JOHNSTON, C. D., (1970). **Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression.** Magazine of Concrete Research: Vol.22, No.70, pp. 5-16.

KUNZE, W., und WESCHE, K., (1973). **Vergleicht Verschiedener Verfahren zur Bestimmung der Kornohdichte von Leichtzuschlagen.** Betonwerk + Festigteil + Technik.

MANNS, W., **Influence of Elasticity of Cement Paste and Aggegate on the Elastic Behaviour of Concrete and Mortar** The Proceedings of the Southampton 1969 Civil Engineering Materials Conference. Part 1, pp. 667-680.

NEVILLE, A. M., (1993). **Properties of Concrete.** Pitmann Publishing, London.

NILSON, A.H., WINTER, G. (1991). **Design of Concrete Structures.** New York.

ÖREN, B. C., (1996). **Pomzanın Endüstriyel Hammedde Olarak Değerlendirebilirliği.** Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü.

ÖZTÜTÜNCÜ, G. H., (1992). **Ortalama Hafif Agrega Boyutunun Yarı Hafif Betonların Dona Dayanıklılığı Üzerindeki Etkileri.** Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.

POSTACIOĞLU, B., (1987). **Beton - Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton-Cilt 2.** Matbaa Teknisyenleri Basımevi. İSTANBUL.

SASSE, H. R., (1974). **The Calculation of the Concrete Strength from Technical Data of Componets Matrix and Aggegate.** Ibac mitteilujgen, pp. 112-120.

SELL, R., **Die Kornfestigkeit Künstlicher Zuschlagstoffe und ihr Einfluß auf die Betonfestigkeit,** Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 197.

SCHULZ, B., (1978). **“Entwurf Mittel und Hochfester Leichtbeton Mischungen.”,** Beton, 3/1978.

TAPFERS, R., PURINS, E. And HERRMANN, V. (1972). **Method for Determination of the Compressive Strenght by Hydrualic Pressure of Lighweigth Aggegate Ganüles.**

TAŞDEMİR, M. A. (1982). **Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları.** İTÜ. Doktora Tezi.

TE'ENİ, M., (1969). **Deformational Modes and Structural Parameters in Cemented Systems.** The Proceeding of the Southampton 1969 Civil Engineering Materials Conference, Part 1, pp. 621-652.

TS. 707, (1969). **Beton Agregaları (Kum-Çakıl) Numune Alma ve Deney Metodları** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112., ANKARA.

TS. 802, (1985). **Beton Karışım Hesap Esasları.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.

TS. 1114, (1986). **Hafif Agregalar (Beton İçin).** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.

TS. 2511, (1977). **Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.

TS. 3234, (1978). **Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.

TS. 3526, (1980). **Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.

TS. 3527, (1980). **Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.

- TS. 3529, (1980). **Beton Agregalarında Birim Ağırlık Tayini.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.
- TS. 3530, (1980). **Beton Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.
- TS. 3673, (1982). **Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.
- TS. 3674, (1981). **Beton Agregalarında Sülfat Miktarı Tayini Metodu.** Türk Standardları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.
- TS. 4834, (1986). **Beton İle İlgili Terimler.** Türk Standartları Enstitüsü, Necati Bey Caddesi, 112, ANKARA.
- VAQUIER, A., MORIN, D., THENOZ, B., (1974). **Les Mouvements D'eau Dans Les Betons De Granulats Legers et Leur Influence Sur Le Retrait et La Resistance a la Compression Simple de Ces Betons.** Revue des Materiaux de Construction, Septembre-Octobre.
- WALKER, S. And BLOEM, D. (1960). **Effects of Aggregate Size on Properties of Concrete.** ACI Journal, Proceedings, Vol. 57, No 3.