

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGREGALARIN AŞINMA DAYANIMLARININ FARKLI ŞARTLAR ALTINDA
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Esra TUĞRUL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :
Tezin Savunulduğu Tarih :

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ (Fırat Üni.)

Üye : Prof. Dr. Ali Sayıl ERDOĞAN (Bingöl Üni.)

Üye : Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN (Fırat Üni.)

Üye : Prof. Dr. Ragıp İNCE (Fırat Üni.)

ELAĞIĞ, 2015

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, bu tezi yöneten, hem ders hem de tez döneminde bilgisiyle, ilgisiyle ve emeğiyle ufkumu açan, akademik çalışmayı öğretip sevdiren, çalışmalarım esnasında karşılaştığım güçlüklerde hiç yalnız bırakmayan, kıymetli zamanını benimle paylaşan, sadece mesleki açıdan değil, insani yönüyle de her zaman örnek alacağım ve desteğinin hep benimle olacağına inandığım değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a öncelikle gönülden teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Bilgilerinden istifade ettiğim bölümümüzün Yapı Anabilim dalı değerli hocalarından Sayın Prof. Dr. Ragıp İNCE'ye desteğini ve ilgisini esirgemediği için saygı ile şükranlarımı sunarım.

Bölümümüzün Hidrolik Anabilim dalı değerli hocalarından Sayın Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU ve asistanı Arş. Gör. Mustafa TUNÇ'a yardımları ve ayırdığı vakit için sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında kullandığım agregalara ait SEM fotoğrafları için Fizik Bölümü değerli hocalarından Sayın Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU ve çalışma ekibine gösterdiği ilgi ve yardımlarından ötürü saygı ile teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin özellikle laboratuvar çalışmaları sırasında tecrübe ve bilgilerini benimle paylaşan, yardıma her ihtiyaç duyduğumda yanımda olan ve yardımına koşan Yapı Laboratuvarı teknisyeni Sayın Seyfettin ÇİÇEK'e emeklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde malzeme temini sağlayan Murat Beton, Birlik Beton, Harput Beton Santralleri, Elazığ Altınova Çimento Sanayi Ticaret A.Ş. yönetici ve çalışanlarına ayrı ayrı teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmamın tamamlanmasında bir şekilde emeği geçen herkese tezime yaptıkları katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, duaları ve destekleri ile yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Esra TUĞRUL

Elazığ-2015

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	X
KISALTMA LİSTESİ.....	XII
1.GİRİŞ.....	1
2. AŞINMA.....	3
2.1. Agregaların Aşınma Dayanımı	4
2.1.1. Agregada Darbe Dayanım Deneyi (TS 3694)	9
2.1.2. Los Angeles (Bilyeli Tambur) Deneyi (TS 3694)	10
2.1.3. Micro-Deval Deneyi (TS EN 1097-1)	13
2.1.4. Nordik Deneyi (TS EN 1097-9)	15
2.2. Betonun Aşınma Dayanımı	17
2.2.1. Böhme (Dorby Aygıtı) Deneyi (TS 699).....	19
2.2.2. Kum Aşındırma Kabini (ASTM C 418)	21
2.2.3. Kesici Döner Matkap (ASTM C 944)	21
2.2.4. Yatay Beton Yüzeylerin Aşınma Direnci (ASTM C 779)	22
2.2.5. Su Altı Aşınma Test Makinası (ASTM C 1138)	25
3.MALZEME VE METOT.....	27
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	27
3.1.1. Agregalar	27
3.1.1.1. Harput Kalker	27
3.1.1.2. Haroğlu Kalker	30
3.1.1.3. Alacakaya Vişne Mermer	32
3.1.2. Çimento	35
3.1.3. Karma Suyu	36
3.2. Yapılan Deneyler	36
3.2.3. Los Angeles (Bilyeli Tambur) Deneyi.....	37
3.2.4. Fraksiyon Katsayısı Hesabı	40
3.2.5. Beton Dökümü ile Numune Elde Edilmesi.....	41
3.3. Taze Beton Deneyleri	44

3.3.1. Çökme Deneyi	44
3.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri	45
3.4.1. Basınç Dayanımı Deneyi	45
3.4.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	46
4. DENEYSEL CALISMALAR	48
4.1. Los Angeles Deney Sonuçları	48
4.1.1. Harput Beton Los Angeles Deney Sonuçları	48
4.1.1.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçları	48
4.1.1.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları	50
4.1.2. Haroğlu Beton Los Angeles Deney Sonuçları	52
4.1.2.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçları	52
4.1.2.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları	54
4.1.3. Alacakaya Vişne Mermer Los Angeles Deney Sonuçları	55
4.1.3.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçları	55
4.1.3.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları	58
4.1.4. Kalker ve Mermer Agregalarının Los Angeles Deney Sonuçları	59
4.1.4.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları	62
4.1.5. Fraksiyon Katsayısı Deney Sonuçları	64
4.2. Taze Beton Deney Sonuçları	64
4.2.1. Çökme Deneyi Sonuçları	64
4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	65
4.3.1. Basınç Deneyi Sonuçları	65
4.3.2. Yarmada Çekme Deney Sonuçları	66
5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	67
5.1. Harput Kalker Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	67
5.1.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	67
5.1.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
5.2. Haroğlu Kalker Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
5.2.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
5.2.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	69
5.3. Alacakaya Vişne Mermer Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	70
5.3.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	70
5.3.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	71
5.4. Kalker ve Mermer Agregalarının Los Angeles Deney Sonuçlarının Birlikte Değerlendirilmesi	72
5.4.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	72
5.4.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	76

5.5. Fraksiyon Katsayısı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	78
5.6. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	81
5.6.1. Çökme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	81
5.7. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	82
5.7.1. Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	82
5.7.2. Yarmada Çekme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	83
5.8. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	84
6. SONUÇLAR.....	86
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ	93

ÖZET

Bu tez çalışmasında, agregaların aşınma direncinin farklı şartlar ile değişimi incelenmiştir. Bu amaçla Los Angeles aşınma deneyi kullanılmıştır. Agregası tipi, artan bilye sayısı, sabit bilye ağırlığı ve devir sayısı parametrelerinin aşınma direnci üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Kalker ve mermer gibi farklı agregalar üzerinde Los Angeles aşınma deneyi uygulanmıştır. İlk olarak bilye sayısının, farklı agregalarda aşınma direncine etkisini incelemek için 6-12-18-24-30 bilye ile Los Angeles aşınma deneyleri yapılmıştır. Daha sonra toplam bilye ağırlığı 5000 gr olarak sabit tutulmuş ve 12-48-96 bilye ile aşınma deneyleri tekrar yapılmıştır. Ayrıca, devir sayısı ve aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için hem birinci hem de ikinci grupta yapılan deneylerde standart olan 500 devir sayısına ilave olarak 1000, 1500 ve 2000 devir aşınma yapılmıştır. Daha sonra agrega aşınma direnci ile beton dayanımı arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için, çimento dozajı 300, 350 ve 400 kg olan beton numuneler üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde basınç ve yarma-çekme deneyleri yapılmıştır.

Giriş bölümünde bu çalışmanın amacı verilmiştir. İkinci bölümde ise aşınma ve aşınmayı yapan aletler anlatılmış olup, araştırmacıların agregaların aşınma dayanımı ile ilgili daha önce yaptığı çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde deneysel çalışma programından bahsedilmiştir. Deneyde kullanılacak malzemeler, bu malzemelerin özellikleri ve yapılan deneyler detaylıca açıklanmıştır. Dördüncü bölümde özellikle agregaların aşınma dayanımı ve bu agregalar ile üretilen betonlardan elde edilen numunelerin basınç ve yarmada çekme deneyine ait sonuçlar tablo ve grafiklerle açık bir şekilde verilmiştir. Beşinci bölümde bir önceki bölüme ait sonuçlar değerlendirilmiş ve bulunan sonuçlar yorumlanmıştır. Son olarak altıncı bölümde ise bu tez çalışmasına ait sonuçlar maddeler halinde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, agrega, aşınma, dayanım

SUMMARY

The Investigation of Abrasion Resistance of Aggregates Under Different Conditions

In this thesis study, the change with different terms of wear resistance of aggregates were investigated. For this purpose, Los Angeles abrasion test was used. The type of aggregate, number of ball which increased, the fixed weight of ball and the revolution number were examined the effect on the wear resistance parameters.

The Los Angeles abrasion test was applied on the different aggregates such as limestone and marble. Firstly, Los Angeles abrasion with 6-12-18-24-30 balls were made to investigate the effect of ball numbers over wear abrasion resistance. Secondly, wear tests with 12-48-96 balls being 5000 gr weight were made again. In addition, with the standard number of 500 rpm 1000, 1500 and 2000 revolution abrasion were made to examine the relationship between the number of revolutions and abrasion in the experiment carried out in both the first and second group. After, having the dosage of 300, 350 and 400 kg concrete samples were produced to examine the relationship between concrete strength and abrasion resistance of aggregate. Pressure and splitting tensile tests were conducted on these samples.

In the introduction, it has been given the purpose of this study. In the second part, the wear and wear making tools are described and it was reported to study of researchers about abrasion resistance of aggregates. In the third part, the experimental program was mentioned. The materials used in experiments, the properties of materials and the performed experiments are described in detail. In the fourth section, especially the abrasion resistance of aggregate and the pressure and splitting tensile test results of concrete samples produced with these aggregates are shown clearly in tables and graphs. In the fifth part, the results of the previous section were evaluated and interpreted. Finally, in chapter six, the results of this thesis was given as substances

Keywords: Concrete, aggregate, abrasion, Los Angeles, strength

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. LA (%) ile UCS (MPa) arasındaki ilişki [6]	5
Şekil 2.2. Los Angeles deney cihazı	5
Şekil 2.3. Cahit vd.'nin kullandığı Los Angeles deney aleti	7
Şekil 2.4. Micro-deval deneyine maruz kalan agregalar	8
Şekil 2.5. Agregada darbe dayanımı deney aleti	9
Şekil 2.6. Los Angeles aşınma aleti	11
Şekil 2.7. Micro-Deval deney aleti	14
Şekil 2.8. Nordik aleti	16
Şekil 2.9. Böhme (Dorry) aygıtı aşınma aleti	20
Şekil 2.10. Kum aşındırma kabini	21
Şekil 2.11. Kesici döner matkap	22
Şekil 2.12. Döner disk makinası	23
Şekil 2.13. Tekerlek aşınma makinası	24
Şekil 2.14. Bilye aşınma makinası	25
Şekil 2.15. Su altı aşınma test makinası	26
Şekil 3.1. Harput kalker agregalarının görünümü	27
Şekil 3.2. Harput kalker SEM görüntüleri	28
Şekil 3.3. TS 802'ye göre hazırlanan karışım agregasının granülometrisi	29
Şekil 3.4. Haroğlu kalker agregalarının görünüm	30
Şekil 3.5. Haroğlu kalker SEM görüntüleri	31
Şekil 3.6. TS 802'ye göre hazırlanan karışım agregasının granülometrisi	32
Şekil 3.7. Alacakaya vişne mermer agregalarının görünümü	33
Şekil 3.8. Alacakaya vişne mermer agregaları SEM görüntüleri	34
Şekil 3.9. TS 802'ye göre hazırlanan karışım agregasının granülometrisi	35
Şekil 3.10. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı	37
Şekil 3.11. Elazığ Çimento Fabrikası'ndan alınan temsili bilyeler	38
Şekil 3.12. Aşınma deneyinde kullanılacak iri ve orta agregaların elek analizi	38
Şekil 3.13. Los Angeles (Bilyeli Tambur) deney aleti	39
Şekil 3.14. 6, 12, 18, 24, 30, 48 ve 96 bilye ile Los Angeles	40
Şekil 3.15. Elek sarsma tablası	41

Şekil 3.16. Beton karıştırma mikseri	44
Şekil 3.17. Slump hunisi	45
Şekil 3.18. Basınç dayanımı test cihazı	46
Şekil 3.19. Yarmada çekme dayanımı test cihazı.....	47
Şekil 5.1. Harput kalker agregaları ile Los Angeles aşınma	67
Şekil 5.2. Harput kalker agregaları ile Los Angeles aşınma	68
Şekil 5.3. Haroğlu kalker agregaları ile Los Angeles aşınma	69
Şekil 5.4. Haroğlu kalker agregaları ile Los Angeles aşınma	70
Şekil 5.5. Alacakaya vişne mermer agregaları ile Los Angeles aşınma	71
Şekil 5.6. Alacakaya vişne mermer agregaları ile Los Angeles aşınma	72
Şekil 5.7. 6 bilye ile Los Angeles aşınma	73
Şekil 5.8. 12 bilye ile Los Angeles aşınma	73
Şekil 5.9. 18 bilye ile Los Angeles aşınma	74
Şekil 5.10. 24 bilye ile Los Angeles aşınma	75
Şekil 5.11. 30 bilye ile Los Angeles aşınma	76
Şekil 5.12. 12 bilye ile Los Angeles aşınma	76
Şekil 5.13. 48 bilye ile Los Angeles aşınma	77
Şekil 5.14. 96 bilye ile Los Angeles aşınma	78
Şekil 5.15. 500 devir aşınma yapan Harput kalker agregalarının fraksiyon katsayıları	78
Şekil 5.16. 500 devir aşınma yapan Birlik kalker agregalarının fraksiyon katsayıları	79
Şekil 5.17. 500 devir aşınma yapan Alacakaya vişne mermer agregalarının fraksiyon..... katsayıları	80
Şekil 5.18. Kalker ve mermer agregalarının fraksiyon katsayıları.....	81
Şekil 5.19. 15x15x15 cm ³ 'lük numunelerin (fc) basınç mukavemet değerleri	82
Şekil 5.20. 10x10x10 cm'lik numunelerin (fc) basınç mukavemet değerleri	83
Şekil 5.21. 15x15x15 cm'lik numunelerin (fc) yarmada çekme mukavemet değerleri	83
Şekil 5.22. 300 doz 500 devir için agrega dayanımı basınç dayanımı karşılaştırması	84
Şekil 5.23. 350 doz 500 devir için agrega dayanımı basınç dayanımı karşılaştırması	84
Şekil 5.24. 400 doz 500 devir için agrega dayanımı basınç dayanımı karşılaştırması.....	85

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. ADDI sınıflandırılması	10
Tablo 2.2. Aşınma direncinin bilyeli tambur ile tayini için gerekli deney numunesi tipleri... ve deney numunesi	12
Tablo 2.3. Deneyde kullanılacak bilye sayısı ve bilye ağırlıkları toplamı	13
Tablo 3.1. Agregada dane büyüklüğü dağılımı	29
Tablo 3.2. Agregada özgül ağırlık deneyleri	29
Tablo 3.3. Agregada birim ağırlıkları ve su emme değerleri	29
Tablo 3.4. Agregada dane büyüklüğü dağılımı	31
Tablo 3.5. Agregada özgül ağırlık deneyleri	31
Tablo 3.6. Agregada birim ağırlıkları ve su emme değerleri	32
Tablo 3.7. Agregada dane büyüklüğü dağılımı	34
Tablo 3.8. Agregada özgül ağırlık deneyleri	34
Tablo 3.9. Agregada birim ağırlıkları ve su emme değerleri	34
Tablo 3.10. Çimentonun fiziksel özellikleri	35
Tablo 3.11. Çimentonun kimyasal özellikleri	36
Tablo 3.12. Çimentonun basınç dayanımı	36
Tablo 3.13. Beton karışımı hazırlık tablosu	42
Tablo 3.14. Beton üretiminde kullanılacak agregada karışım oranları	43
Tablo 4.1. 6 bilye ile (2500 gr) Los Angeles deney sonuçları	49
Tablo 4.2. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları	49
Tablo 4.3. 18 bilye ile (7496 gr) Los Angeles deney sonuçları	49
Tablo 4.4. 24 bilye ile (9995 gr) Los Angeles deney sonuçları	50
Tablo 4.5. 30 bilye ile (12610 gr) Los Angeles deney sonuçları	50
Tablo 4.6. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları	51
Tablo 4.7. 48 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları	51
Tablo 4.8. 96 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları	51
Tablo 4.9. 6 bilye ile (2507 gr) Los Angeles deney sonuçları	52
Tablo 4.10. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları	53
Tablo 4.11. 18 bilye ile (7495 gr) Los Angeles deney sonuçları	53
Tablo 4.12. 24 bilye ile (10021 gr) Los Angeles deney sonuçları	53
Tablo 4.13. 30 bilye ile (12605 gr) Los Angeles deney sonuçları	54

Tablo 4.14. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları	54
Tablo 4.15. 48 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları	55
Tablo 4.16. 96 bilye ile (5000 gr) Los Angeles deney sonuçları	55
Tablo 4.17. 6 bilye ile (2507 gr) Los Angeles deney sonuçları	56
Tablo 4.18. 12 bilye ile (5006 gr) Los Angeles deney sonuçları	56
Tablo 4.19. 18 bilye ile (7495 gr) Los Angeles deney sonuçları	57
Tablo 4.20. 24 bilye ile (10017 gr) Los Angeles deney sonuçları	57
Tablo 4.21. 30 bilye ile (12594 gr) Los Angeles deney sonuçları	57
Tablo 4.22. 12 bilye ile (5006 gr) Los Angeles deney sonuçları	58
Tablo 4.23. 48 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları	58
Tablo 4.24. 96 bilye ile (5000 gr) Los Angeles deney sonuçları.....	59
Tablo 4.25. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (6 bilye ile)	60
Tablo 4.26. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (12 bilye ile)	60
Tablo 4.27. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (18 bilye ile)	61
Tablo 4.28. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (24 bilye ile)	61
Tablo 4.29. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (30 bilye ile)	62
Tablo 4.30. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (12 bilye ile)	62
Tablo 4.31. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (48 bilye ile)	63
Tablo 4.32. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (96 bilye ile)	64
Tablo 4.33. Artan bilye sayısı ile elde edilen fraksiyon katsayısı deney sonuçları	64
Tablo 4.34. Üretilen beton karışımların çökme deney sonuçları	65
Tablo 4.35. 15x15x15 cm ³ 'lük numunelerin ortalama f_c değerleri	65
Tablo 4.36. 10x10x10 cm ³ 'lük numunelerin ortalama f_c değerleri	66
Tablo 4.37. 15x15x15 cm ³ 'lük numunelerin ortalama f_c değerleri	66

KISALTMA LİSTESİ

- LA:** Los Angeles aşınma dayanımı
UCS: Tek eksenli basınç dayanımı
LAV: Los Angeles aşınma
AIV: Darbelenme aşınması
ADDI: Agregat darbe dayanım indeksi
UK: Uçucu kül
GYFC: Granüle yüksek fırın cürufu
SD: Silis dumanı
SEM: Taramalı elektron mikroskobu
P_{max}: Kırılma yükü
f_c: Basınç mukavemeti

1.GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddesinin uygun oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen başlangıçta plastik kıvamlı olup zamanla çimentonun hidrasyonu nedeniyle katılaşp sertleşen bir yapı malzemesidir [1].

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık % 75'ini oluşturan agregaların kalitesi betonun performansını büyük bir ölçüde etkilemektedir. Betonun iskeletini oluşturan agreganın özellikleri iyi ise, bu agregalar ile üretilen betonun kalitesi de yüksek olur.

Yapı betonlarında kullanılan agregaların mekanik özelliklerinin saptanması her zaman ve her tür beton için gerekli olmayabilir. Ancak, özel amaçlarla kullanılması gereken beton yapımında veya betonun aşınmaya maruz kalacağı yerlerde kullanılacak agreganın mekanik özelliklerinin tayini önem kazanmaktadır. Betonun yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda beton agregalarının aşınmaya dayanıklı olması istenir. [2]

Agrega dayanımı ve sertliğinin yanı sıra, özellikle beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda (yol ve yüzey betonları) agreganın aşınmaya dayanıklı olması beklenmektedir [3]. Türk standartlarına göre agreganın basınç dayanımı 9806.65 MPa'dan az ise veya agreganın aşınma dayanıklılığından kuşku duyuluyorsa, agreganın aşınma dayanıklılığı test edilmelidir [4].

Kalitesi yüksek bir beton elde edebilmek için aşınma dayanımı yüksek olan agregalar kullanılmalıdır. Son zamanlarda literatür çalışmalarına sıkça konu olan bu durum tezin araştırma konusunu oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında agregaların aşınma direncinin farklı şartlar ile değişimini incelemek için Los Angeles aşınma deneyi yapılmıştır. Agregası tipi, sabit bilye sayısı, sabit bilye ağırlığı ve devir sayısı değişim parametrelerini oluşturmaktadır. Her bir parametrenin aşınma direncine olan etkisini değerlendirebilmek için deneyde kullanılan kalker ve mermer agregaları ile aşınma deneyleri ayrı ayrı yapılmıştır. Öncelikle artan aşındırıcı bilye sayısının kullanılan agrega tipi ile olan etkisi araştırılmıştır. Bu agregaların aşınma direncini incelemek için 6-12-18-24-30 bilye ile Los Angeles aşınma yapılmıştır. Daha sonra ikinci değişim parametresi olan sabit tutulan bilye ağırlığının kalker ve mermer agregaları ile olan etkisi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla agregaların aşınma dayanımlarını hem birbiri ile hem de ilk değişim parametresi ile karşılaştırmak için 5000 gr sabit ağırlığı olan 12-48-96 bilye

ile aşınma deneyleri tekrar yapılmıştır. Ayrıca, devir sayısı ve aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için hem birinci hem de ikinci grupta yapılan deneylerde standart olan 500 devir sayısına ilave olarak 1000, 1500 ve 2000 devir aşınma yapılmıştır.

Son olarak bu agregalar kullanılarak dozajı farklı karışımlara sahip beton numuneler üretilmiştir. Agregaların aşınma direnci ile beton basınç dayanımı arasındaki önemli ilişki, yapılan deneylerle literatürünün karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkmıştır.

2. AŞINMA

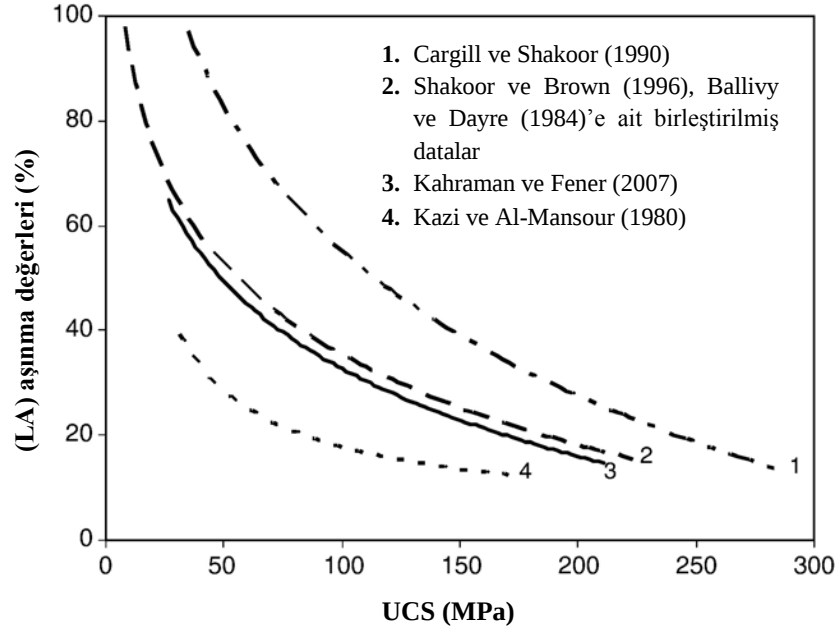
Yavaş hızda gerçekleşen, fiziksel ve mekanik bir olay olan ‐aşınma‐, birbirine temas eden ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerden sürtünme etkisiyle oluşan malzeme ve kütle kaybıdır. Aşınma, beş tip ana mekanizma ile tarif edilebilir. Bunlar adezif aşınma, abrazif aşınma, korozyon aşınması, erozyon aşınması ve yorulma aşınmasıdır. İki cismin sürtünmesi ile cismin yüzeyinde belirli tepe noktalarında gerilme yığılmaları oluşur. Gözle bakıldığında ayırt edilmeyen bu yığılmalar mikroskop ile fark edilir. Şekil değişimleri ve sıcaklık artışı sebebiyle sürtünen iki cisimden kesme dayanımı küçük olan bazı parçalar koparlar. Meydana gelen bu olay ‐adezif aşınma‐ adını alır. Sürtünmeye maruz kalan cisimlerden biri yumuşak diğeri sert ise, sert olan cisim yumuşak cismi çizer ve kazıyarak aşındırır. Bu ise ‐abrazif aşınma‐ olarak bilinir. Endüstri üretim teknolojisinde taşlama ve parlatma işlemleri abrazif aşınma ile yapılır. Parlaklık düzeyi yüksek ve sertleştirilmiş yüzeylerin abrazif aşınma oranı oldukça düşüktür. Metal malzemeler kırılma tokluğu belirli bir noktaya kadar abrazif aşınmayı azaltır. İki cisim arasında bulunan su ya da başka bir sıvı ile katı madde arasında kimyasal reaksiyonlar oluşabilir. Bu reaksiyonlar sonucunda oluşan maddeler cisimden ayrılır ve cisim aşınır. Bu tip aşınma ise ‐korozyon aşınması‐ olarak adlandırılır. Bir yüzeye hızla püskürtülen katı parçacıkların, sıvı veya gaz jetlerinin o yüzeyi aşındırarak kütle kaybetmesine yol açan olaya ‐erozyon aşınması‐ denir. Çöllerde rüzgâr ile savrulan kum tanecikleri araçları, yapıları ve makineleri aşındırır. Temas alanları küçük olan makine elemanlarının temas yüzeylerinde yüksek basınçlar meydana gelir ve yüzeyin hemen altında kayma gerilmeleri oluşur. Kayma gerilmelerinin maksimum olduğu noktada plastik deformasyonlar oluşur ve bu deformasyonlar zamanla yüzeye ilerleyerek yüzeyde çukurlar oluşturur. Bu olay ise ‐yorulma aşınması‐ olarak adlandırılır. Dişli çarklar, rulmanlı yataklar ve kam mekanizmaları gibi birbiriyle sürekli temas halindeki yüzeylerde sıkça görülür. Demiryolu rayları tekerleklerle temas ettiği yüzeylerde düşey ve yatay olarak aşınırlar. Bu aşınma ‐metal aşınması‐ olarak gerçekleşir. Raylardaki düşey ve yanal aşınma miktarı ile mukavemet azaldığı için yılda en az 1 kez kontrol edilmelidir. Beton, yol, hava meydanı, merdiven basamakları ve döşemeler aşınmaya maruz kalırlar. Bu yüzden bu alanlarda kullanılan ‐taş yapılı cisimlerin aşınması‐ büyük önem taşımaktadır. İnşaat Mühendisliği hem metal aşınmaları hem de taş yapılı cisimlerin aşınmasını uzun bir müddet incelemiş olup bu konuda yapılan araştırma çalışmaları devam etmektedir.

Beton yüzeyinde sürtünme ve çarpmaya neden olan aşınma karşısında beton yüzeyinin gösterdiği dirence “aşınma dayanıklılığı” denir. Aşınmaya karşı gösterilen direnç denilince, ilk olarak akla betonun % 70-75’ini oluşturan agregalar ve agregaların mekanik özellikleri gelmektedir. Elde edilecek karışımlarda kullanılan agregaların yüksek aşınma direncine sahip olması çok önemlidir. Bu yüzden ilgili bölümde agrega aşınma dayanımını belirlemek için yapılan deneyler ve literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Son zamanlarda, beton yüzeyinin aşınmaya karşı direnci de araştırmacıların çokça ilgisini çekmektedir. Bu sebeple betonun aşınma dayanımını belirlemek için kullanılan deneyler de kısaca açıklanmıştır.

2.1. Agregaların Aşınma Dayanımı

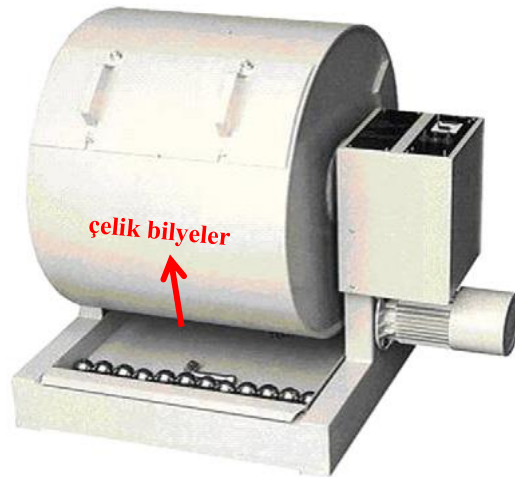
Betonun aşınma dayanıklılığı agrega aşınma dayanımı ile yakından ilgilidir. Betonda çimento miktarı agregaya kıyasla az olduğundan asıl aşınma etkisi agregaya gelir. Agregaların aşınma mukavemetleri özgül ağırlık, sertlik, boşluk oranı vb. özelliklerine bağlıdır. Cam yapılı agregalar, şistler, marnlı kalkerler, kaba mineralli taşlar aşınmaya karşı mukavemet göstermezler. Bu bakımdan beton üretiminde aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır. Bu amaçla Poitevin (1999), betonda kireçtaşı agregalarının kullanılabilirliği ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Los Angeles parçalanma dayanımının kireçtaşı agregalarının betonda kullanılabilirliğini belirlemede en önemli parametre olduğunu söylemiştir [5].

Kahraman ve Fener (2007)’de 35 farklı yerden alınan agregaların Los Angeles aşınma dayanımı (LA) ile tek eksenli basınç dayanımı (UCS) arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çoğunluğu bazalt andezit, granit, mermer, kireçtaşı ve traverten olan agregaların UCS değerleri 24 MPa – 210 MPa arasında değişirken, LA değerleri ise %10-%76 arasında değişmektedir. Mermer ve traverten agregaların LA aşınma değerleri düşük çıkarken, basınç dayanımları da aşınma ile paralel sonuçlar verip oldukça düşük çıkmıştır. Benzer şekilde yüksek LA değerine sahip andezit ve granit agregalarının basınç dayanımları da yüksek çıkmıştır. Şekil 2.1’de bu konu üzerinde çalışan diğer araştırmacıların elde ettiği eğri sonuçları ile kendi çalışmalarını kıyaslamışlardır [6].



Şekil 2.1. LA (%) ile UCS (MPa) arasındaki ilişki [6]

Daha sonra Uğur vd. (2010) kalker, traverten, kristal mermer ve andezit içeren agregaların aşınma direncini belirlemek için Los Angeles aşınma testi yapmışlardır (Şekil 2.2.). Andezit ve kalker agregaları mermer ve traverten agregalara göre daha yüksek aşınma direnci göstermişlerdir. 100 ve 500 devir sonunda en iyi değerler andezit agregalarında % 4.8 ve % 20.2 olarak görülürken, en düşük değerler traverten agregalarında % 10 ve % 40.9 olarak belirlenmiştir [7].



Şekil 2.2. Los Angeles deney cihazı

Türkiye genelinde dağınık bir yerleşim gösteren agregâ üretimine yönelik taş ocakları oldukça yaygın ve büyüktür. Bu ocaklarda üretilen agregaların özellikleri uzun yıllar araştırmacılar için konu olmuştur. Temizel (1998)'de Samsun ilinin Bafra ilçesine ait agregaların aşınma dayanımını belirlemek için yıllık üretimleri en fazla olan 3 farklı agregâ ocağından alınan agregaları incelemiştir [8]. Agregaları bilyeli tambur ile 100 ve 500 devir aşınmaya tabi tutmuştur. 100 devirde en yüksek kayıp % 4.6, 500 devirde ise en yüksek kayıp % 21.4 olarak elde etmiştir. 100 devir için % 10, 500 devir için % 50 olarak belirlenen TS 706 aşınma sınır değerlerine göre, incelenen agregâ örneklerinin aşınmaya karşı dayanıklı olduğunu belirtmiştir.

Yıldırım ve Yılmaz (2002)'de Sivas ilinin 27 km batısında olan Yıldız Irmağı üzerinde bulunan agregaların aşınma dayanımlarını incelemiştir. Alınan kaba agregalara 100 ve 500 devir Los Angeles aşınma dayanım testi yapmışlardır. 100 devir için ortalama % 6.63 ve 500 devir için ise ortalama % 25.71 kayıp elde etmişlerdir [9] .

Temiz vd. (2006) Kahramanmaraş doğal agregalarının özelliklerini belirlemek için aşınma deneyi yapmışlardır. Üç farklı ocaktan alınan agregalar üzerinde Los Angeles aşınma deneyini yapmışlardır. Aksu 1 ocağından alınan agregalar için 100 ve 500 devir sonunda % 3.3 ve % 15.7, Aksu 2 ocağı için, % 3.4 ve % 15.8 ve Erkenez ocağı için, % 4.2 ve % 19.3 değerlerini elde etmişlerdir [10].

Demir ve Önal (2007) Kırşehir-Kaman civarındaki farklı ocaklardan alınan granit agregalarının özelliklerini belirlemek için Los Angeles aşınma deneyi yapmışlardır. Granit agregalarının aşınma kaybı değerleri % 30 ile % 40 arasında değişiklik göstermiştir. En küçük aşınma kaybı değerini % 30.01 olarak belirlemişlerdir [11].

Yılmaz vd. (2011)'de daha önce yapılan çalışmalara benzer olarak Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) kırma eleme tesisinde üretilen kırmataşların aşınma dayanımlarının Beton Agregaları Standardı'na uygunluğunu araştırmışlardır. İri agregaların aşınma dayanımını belirlemek için Los Angeles (darbeli aşınma) testini kullanmışlardır. Elde edilen agregâ aşınma dayanımı değerleri düşük çıkmıştır, standartlarda verilen şartlara uygundur ve mekanik etkilere karşı dayanım yüksektir [12].

Aşınmanın büyük önem kazandığı bir başka yer ise beton yollardır. Beton kaplama yüzeyi kaygan bir hal alır ise agregalar aşınır. Bu yüzden beton yollarda kullanılacak agregaların aşınma direnci yüksek olmalıdır. Postacıoğlu (1987) ve Baradan (1991)'de yol ve hava alanlarında kullanılan betonların çarpma ve aşınma etkileri altında oldukları ve bu

yüzden bu alanların yapımında kullanılan iri agregaların aşınma direncinin yüksek olması gerektiğini söylemişlerdir [13 ve 14].

Akbulut, Çetin ve Gürer (2006)'da Afyonkarahisar yol üst kaplamalarında 2 farklı ocaktan alınan (A ve B) agregalar üzerinde Los Angeles aşınma (LAV) ve darbelenme aşınması (AIV) deneylerini yapmışlardır (Şekil 2.3). Los Angeles deneyi sonunda aşınma kayıpları A numunesi için % 15.2, B numunesi için % 27.3 bulunmuştur. Yol kaplamalarında kullanılabilecek max değer % 35 olduğu için sonuçlar uygundur. AIV deneyine göre darbe kayıpları A numunesi için % 4.7 ve B numunesi için % 14.59 çıkmıştır. Bu değerler üst yapı agregaları için %18 olarak belirlenen sınır değerlerden az olduğu için uygundur [15].



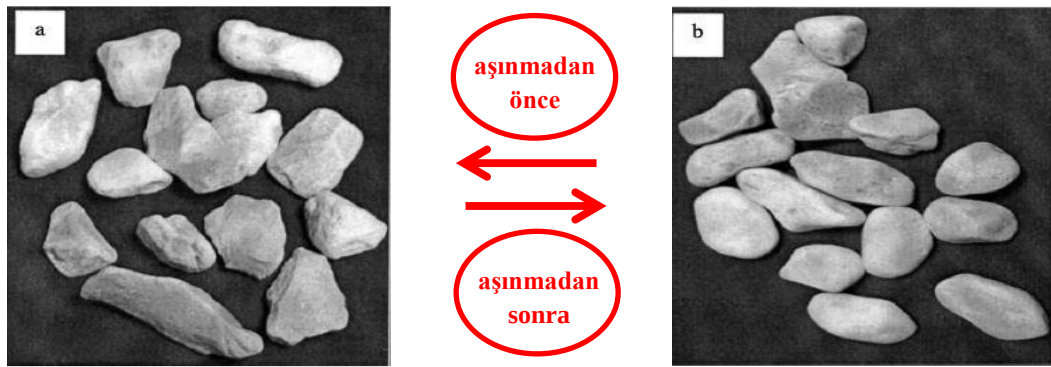
Şekil 2.3. Cahit vd.'nin kullandığı Los Angeles deney aleti

Daha sonra Turabi ve Okuyucu (2007)'de Balıkesir ili yol çalışmalarında kullanılan 3 farklı agreganın aşınma dayanımını ve Yollar Fenni Şartnamesine göre temel tabakasının uygunluğunu araştırmışlardır. 3 farklı taş ocağından alınan agregalara Los Angeles deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; aşınma kayıpları sırası ile % 27, % 15 ve % 23 olarak bulunmuştur. Yollar Fenni Şartnamesine göre müsaade edilen maksimum aşınma kaybı % 40'dır. Bulunan sonuçlar uygundur ve agregalar aşınmaya karşı yüksek direnç göstermiştir [16].

Betonun yüzeye yakın kısmında, iri agrega danelerinden daha çok ince agrega daneleri ve çimentonun oluşturduğu hamur fazı bulunur. Bu sebeple ince agrega danelerinin aşınmaya karşı direnç göstermesi oldukça önemlidir. Karpuz ve Akpınar (2009)'da yollarda kullanılan ince agrega türünün aşınma direncine etkisini incelemişlerdir. Kalker, bazalt ve kalker + bazalt içeren agregalar ile oluşturulan beton numunelere Böhme aşınma deneyi uygulamışlardır. Kalker agregalarının aşınma direnci % 33.1, bazalt agregaların aşınma

direnci % 21.3 ve hem kalker hem bazalt agregaların kullanılması ile aşınma direnci % 27.8 olarak bulunmuştur. Agregaların Los Angeles aşınma direnci yaklaşık % 35 artarsa betonun aşınma direnci de yaklaşık % 25 artmıştır [17].

Agregaların cilalanması mikro pürüzlülüğü azaltır, böylece yüzeydeki agregalar düzgün ve pürüzsüz bir hal alır. Agregaların cilalanması mikroskobik ölçekte meydana gelir ve cilalanmanın miktarını ölçmek oldukça zordur. Cilalanma miktarının ölçümü için BS 812’de yer alan İngiliz Portatif Sürtünme Deney Cihazı kullanılmaktadır [18]. Sert ve pürüzlü agregaların, (bazalt, granit, vb.) cilalanma değeri yüksektir. Çok sert olmayan ve pürüzlülüğü az olan agregaların (kalker gibi) ise cilalanma değeri düşüktür. Mahmoud ve Masad (2007)’de agrega yüzeylerinin cilalanması ile Micro-Deval testini kullanarak bu agregalara ait aşınma dirençlerini belirlemişlerdir [19] (Şekil 2.4). Çakıl, sertleşmiş kireçtaşı, yumuşak kireçtaşı, kaya, kuvarsit ve granit agregalarını kullanarak 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 180 dk. aşınma yapmışlardır. Daha sonra 2 ayrı seri oluşturarak bu agregalar ile tekrar aşınma deneyi yapmışlardır. İlk seride aynı agrega numunelerini kullanıp cilalamışlardır. İkinci seride ise farklı agrega numunelerini belirli bir süre cilalamışlardır. Deneylerden sonra 2 seri için de çok benzer sonuçlar elde ettiklerini söylemişlerdir. Kireçtaşı agregaları en çok aşınmaya maruz kalırken, çakıl agregaları en düşük aşınmayı göstermiştir. Kaya ve granit agregalarında ise kireçtaşı ve çakıl agregalarının arasına düşen benzer bir eğri görmüşlerdir.



Şekil 2.4. Micro-deval deneyine maruz kalan agregalar

TS 706’ya göre, agregaların basınç dayanımı 9806.65 MPa’dan az ise, agreganın aşınma dayanımından kuşku duyuluyor ise ve beton yapımında yapay agrega kullanılıyor ise agrega aşınma dayanımının deneyler ile belirlenmesi gerekir. İlgili bölümde, agrega darbe dayanım deneyi (TS 3694), Los Angeles (Bilyeli Tambur) deneyi (TS 3694), Böhme (Dorri Aygıtı)

Her serbest düşme arası zaman aralığı bir saniyeden fazla olmamalıdır. Tokmaklama işlemi bittikten sonra kabın içindekiler boşaltılır ve 2 mm göz açıklıklı elekten elenir. Elekten geçen (W_2) ve elek üzerinde kalan (W_3) malzemeler tartılır. Agregada darbe dayanım indeksi (ADDI); deney sonunda 2 mm göz açıklıklı elekten geçen malzemenin, agreganın başlangıçtaki ağırlığına bölünmesi ile bulunur ve en yakın tam sayıya yuvarlanarak hesaplanır. Tablo 2.1’de ADDI sınıflandırılması yapılmıştır.

$$a = \frac{W_1 - W - W_3}{W_1 - W} \times 100 \quad \text{veya} \quad a = \frac{W_2}{W_1 - W} \quad (2.1)$$

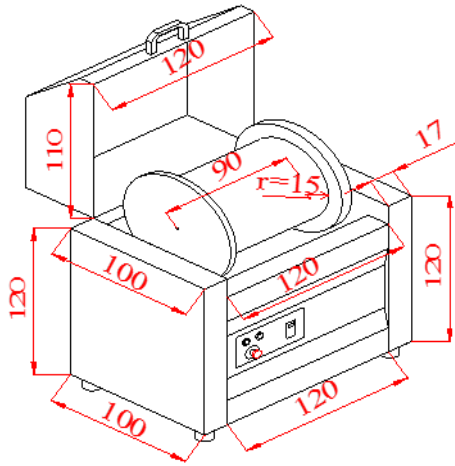
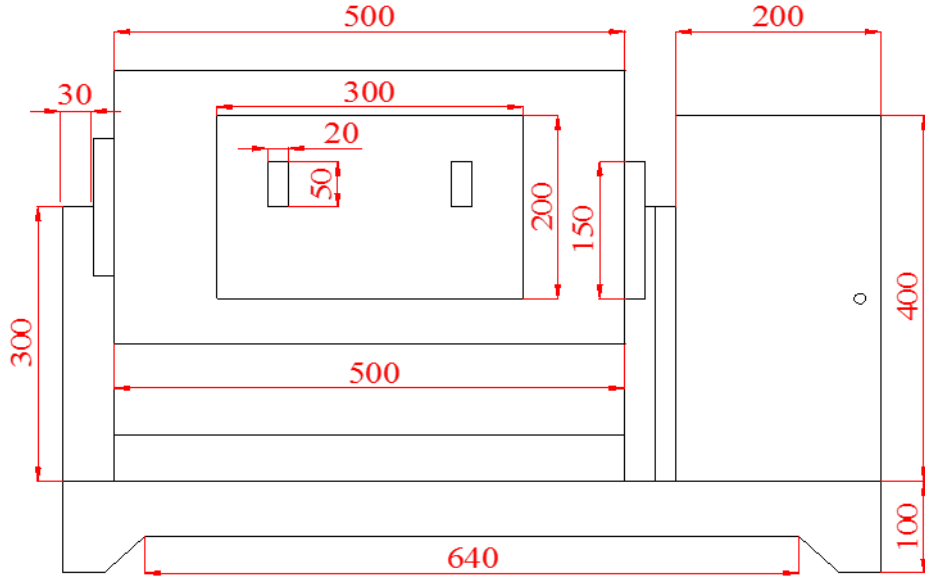
Burada; a = Aşınma oranı, W = Silindir biçimli kabın boş ağırlığı, W_1 = Silindir biçimli kabın etüv kurusu numune ile doldurulmuş haldeki ağırlığı, W_2 = 2 mm göz açıklıklı tel elekten geçen agreganın ağırlığı ve W_3 = 2 mm göz açıklıklı tel elek üzerinde kalan agreganın ağırlığını ifade etmektedir.

Tablo 2.1. ADDI sınıflandırılması

Agrega Darbe Dayanım Sınıflandırması	İndeks Değeri (%)
Çok yüksek	< 10
Yüksek	10-20
Orta yüksek (yol kaplamaları için)	20-30
Düşük (yol kaplamaları için uygun değil)	>35

2.1.2. Los Angeles (Bilyeli Tambur) Deneyi (TS 3694)

Yollarda kullanılan beton veya asfalt gibi kaplama malzemelerin iskeletini oluşturan çakıl veya kırmataş agregaların aşınma deneyleri için TS 3694’te yer alan Los Angeles deneyi uygulanır. Deney için Şekil 2.6’da görülen bir elektrik motoru, bir dönüş sayacı, önceden belirlenen dönüş sayısı sonunda elektrik motorunun çalışmasını durduran bir otomatik devre anahtarı ve iki ucu kapalı, içi boş çelik silindirden meydana gelmiş tambur adı verilen bir aşındırma aleti kullanılır. Tamburun iç çapı $70 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$, iç uzunluğu $50 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ olmalı ve uzunluğu yönündeki eksen etrafında yatay olarak dönecek şekilde yataklanmalı ve eksenin yataydan sapma miktarı $1/100$ ’ü geçmemelidir.



Şekil 2.6. Los Angeles aşınma aleti

Tane sınıflarına ayrıldığında en az Tablo 2.2’de gösterilen miktarlarda agregada numunesi TS 707’ye uygun olarak küçültülür ve yıkama işlemi bu tane sınıflarına göre yapılır. Her tane sınıfı etüv kurusu durumuna getirildikten sonra tabloda gösterilmiş olan miktarlar tartılır (W_1) ve bilyeli tambur içerisine bırakılır.

Tablo 2.2. Aşınma direncinin bilyeli tambur ile tayini için gerekli deney numunesi tipleri ve deney numunesi

Tane sınıfı (mm)	Deney numunesi tipi ve miktarı (gr)							Ağırlık toleransı (%)
	A	B	C	D	E	F	G	
90/63					2500			
63/45					2500			
45/31.5					5000			
30/22.4	1250							
22.4/16	1250					5000		± 2
16/11.2	1250					5000		
11.2/8	1250	2500					5000	
8/5.6		2500	2500				5000	
5.6/4			2500	5000				
4/2								
Toplam	5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000	

Numune tipine uygun bilye sayısı ve ağırlıkları toplamı Tablo 2.3 yardımı ile belirlenir ve tambur içine atılır. Tamburun yan yüzüne bırakılmış olan kapak toz kaçmayacak şekilde sıkıca kapatıldıktan sonra hızı dakikada 30-33 dönüş olacak şekilde 100 dönüş yaptırılır. Aygıt durdurulur ve deney numunesi dışarıya alınır. 1.4 mm'lik elekten elenir ve elek üstünde kalan agrega 1 gr duyarlıklı terazi ile tartılır (W_2). Elek üstünde kalan ve elekten geçen agregalar bilyeler ile birlikte tekrar tambura konulur. Bilyeler A, B, C, D tipi numunelerde ilk 10 dönüş ek olarak 400 dönüş, E, P, G tipi numunelerde ise ilk 100 dönüş ek olarak 900 dönüş daha yaptırılır. Aygıt durdurulur ve aşınmış deney numunesi dışarıya alınır. 1.4 mm'lik elekten elenir ve elek üzerinde kalan agrega tartılır (W_3).

Tablo 2.3. Deneyde kullanılacak bilye sayısı ve bilye ağırlıkları toplamı

Numune tipi	Bilye sayısı	Bilye ağırlıkları toplamı (gr)
A	12	5000 ± 26
B	11	4575 ± 25
C	8	3325 ± 20
D	E	2500 ± 15
E	12	5000 ± 25
P	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 26

Agreganın aşınma direnci, 100 ve 500 (veya 1000) devir sonunda 1.4 mm'lik elekten geçen kısmının, ilk numune ağırlığına oranı olarak aşağıdaki formüllerde verilmiştir ve onda bir hanesine yuvarlatılarak hesaplanır.

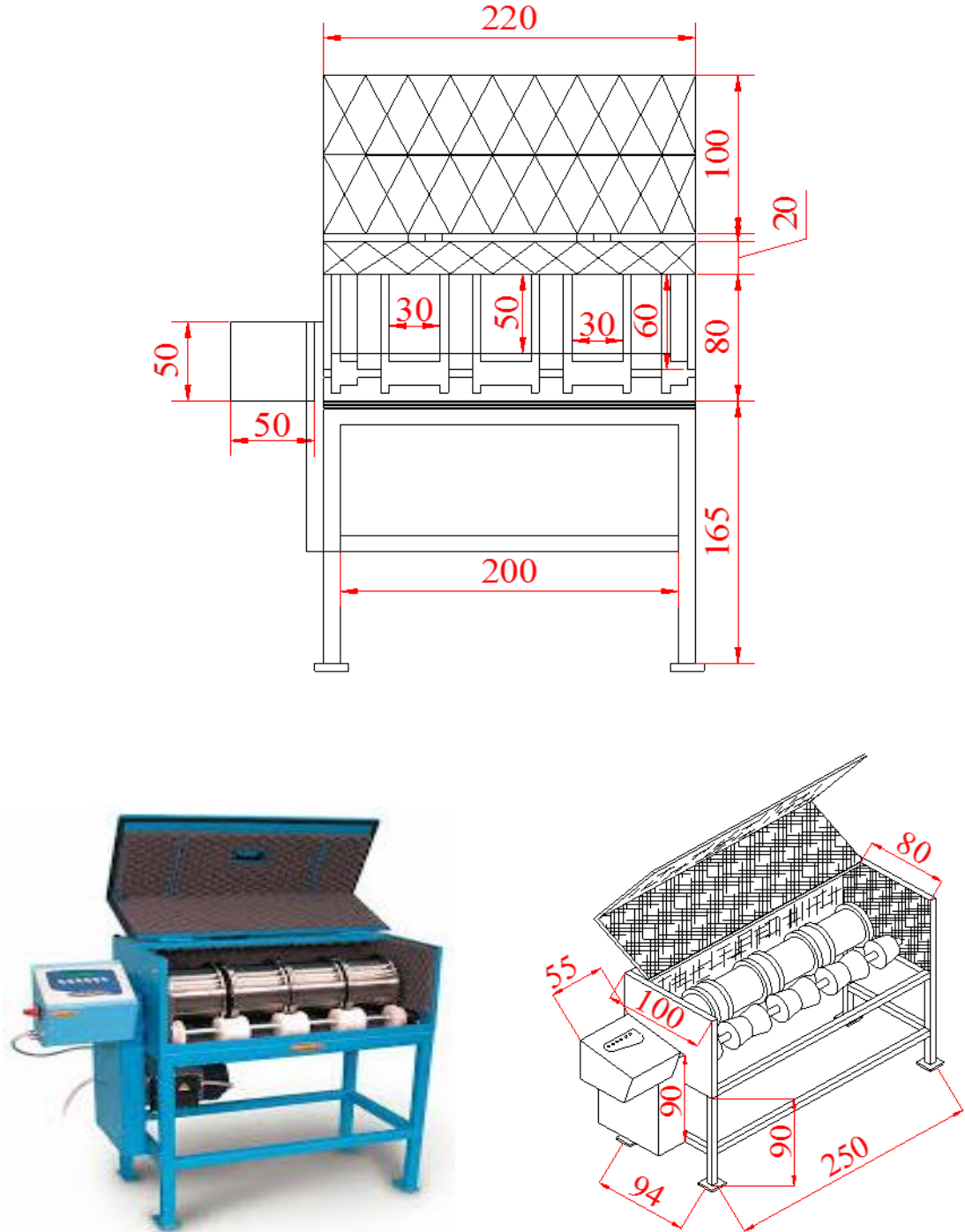
$$a_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{veya} \quad a_1 = \frac{W_1 - W_3}{W_1} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada; a_1 = 100 dönüş sonu aşınma oranı, a_2 = A, B, C, D tipi numunelerde 500 dönüş, E, P, G tipi numunelerde 1000 dönüş sonu aşınma oranı, W_1 = Numunenin deney öncesi etüv kuru ağırlığı (gr), W_2 = Numunenin 100 dönüş sonu aşınmayan kısmının ağırlığı (gr), ve W_3 = Numunenin 500 veya 1000 dönüş sonu aşınmayan kısmının ağırlığı (gr) ifade etmektedir.

2.1.3. Micro-Deval Deneyi (TS EN 1097-1)

Deneyde kullanılacak agrega kütlesi 10 mm ile 14 mm aralığındaki tane büyüklüğüne sahip ve en az 2 kg olmalıdır. Buna ilave olarak tanelerin % 30 - % 40'ı, 11.2 mm göz açıklıklı elekten geçmeli veya tanelerin % 60 - % 70'i 12.5 mm göz açıklıklı elekten geçmelidir. Bu amaçla laboratuvara getirilen numune 10 mm, 11.2 mm, 12.5 mm ve 14 mm göz açıklıklı eleklerden elenir ve her bir fraksiyon TS 3530 EN 933-1'e uygun olarak ayrı ayrı yıkanır ve etüvde 110 ± 5 °C'de sabit kütleye kadar kurutulur [24]. Oda sıcaklığında

kurumaya bırakılan fraksiyonlar bu şartlara uygun yeni bir laboratuvar numunesi elde etmek amacıyla karıştırılır ve bu numunenin miktarı TS EN 932-2'ye uygun olarak azaltılır [25]. Her biri 500 ± 2 gr olan deney numuneleri hazırlanır. Her bir deney numunesi ayrı bir tamburun içine yerleştirilir. Her bir tambura, (5000 ± 5) gr çelik bilye ve (2.5 ± 0.05) lt su ilave edilir. Kapağı kapatılan her bir tambur, iki adet mil üzerine yerleştirilir. Tamburlar, (100 ± 5) devir/dk hız ile (12000 ± 10) devir tamamlanıncaya kadar döndürülür (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Micro-Deval deney aleti

Deneyden sonra, oluşabilecek bir agrega kaybını önlemeye dikkat ederek, agrega ve çelik bilyeler bir kapta toplanır. Tüm malzeme ve yıkama suları, 8 mm göz açıklıklı koruyucu bir elek ile korunan 1.6 mm göz açıklıklı elek üzerine dökülür. Dökülen malzeme temiz su ile yıkanır. Agrega taneleri elle ve elek üzerindeki bilyeler mıknatıs kullanılarak agregadan ayıklanır. 8 mm ve 1.6 mm göz açıklıklı agrega taneleri bir tepsiye dökülür. Tepsi içindeki malzeme 110 ± 5 °C’de kurutulur. 1.6 mm göz açıklıklı elekte tutulan agreganın kütlesi TS 3530 EN 933-1’e uygun olarak yapılır ve en yakın grama yuvarlatılarak kaydedilir. Her bir deney numunesi için Mikro-Deval katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5} \quad (2.3)$$

Burada; M_{DE} = Mikro-Deval katsayısı, m = 1.6 mm göz açıklıklı elek üzerinde tutulan fraksiyon kütlesi (gr) ifade etmektedir.

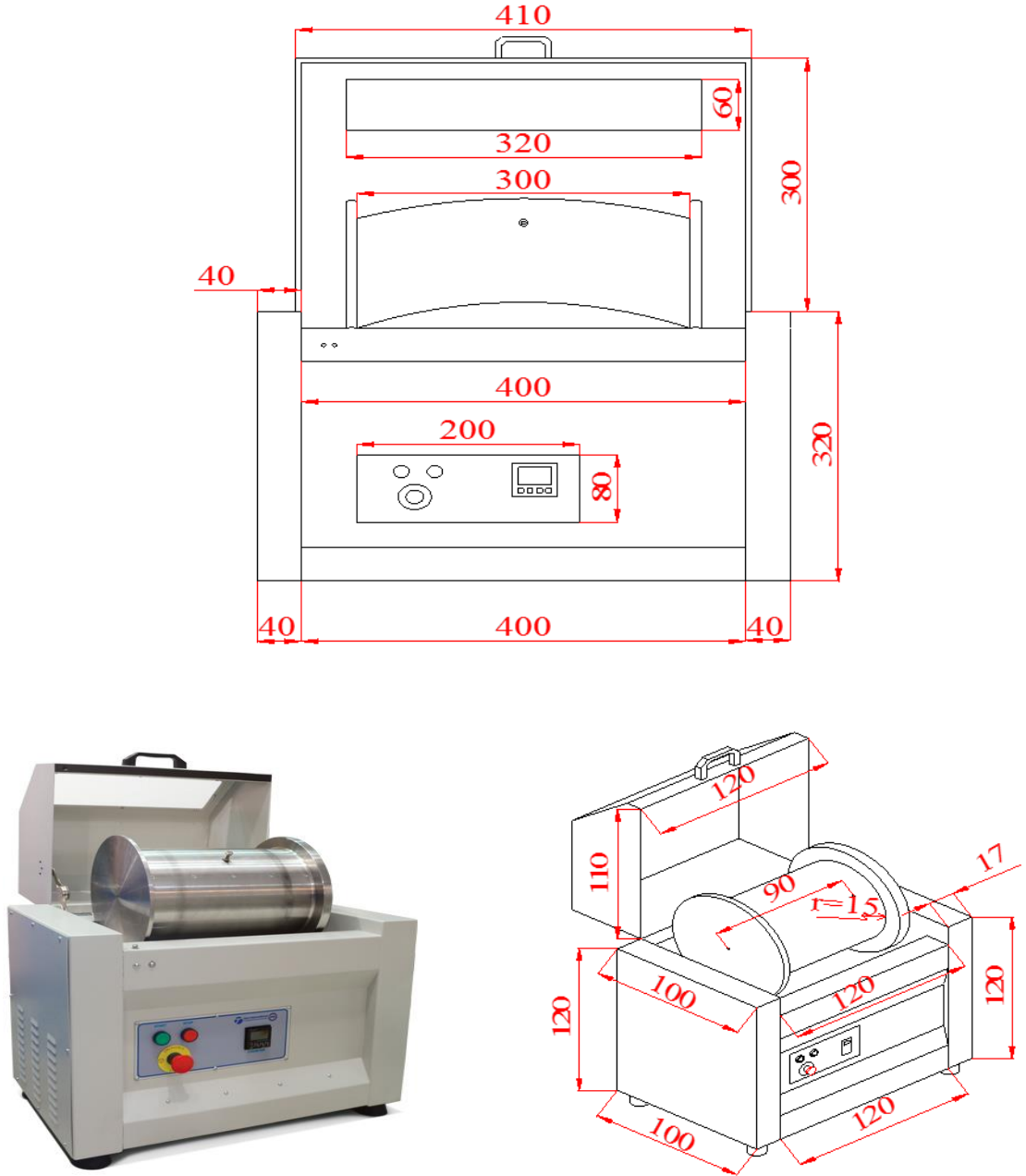
İki deney numunesinden elde edilen değerler kullanılarak, Mikro-Deval katsayısının ortalama değeri hesaplanır. Hesaplanan ortalama Mikro-Deval katsayısı değeri en yakın tamsayı olarak tespit edilir.

Rangaraju ve Edlinski (2008)’de Micro-Deval ve Los Angeles aşınma testlerini karşılaştırmışlardır. 23 farklı beton karışım numunesi ile çalışmışlardır. Aşınma testlerini yapmak için 3 farklı gradasyona sahip agrega kullanmışlardır. Agregalar ile yapılan deneyler sonucunda Los Angeles aşınma dirençleri ile Micro-Deval aşınma dirençleri arasında önemli bir ilişki bulamamışlardır [26].

2.1.4. Nordik Deneyi (TS EN 1097-9)

Deney 11.2 mm ile 16.0 mm tane büyüklüğü aralığındaki agregalara uygulanır. Laboratuvara gelen numunenin kütlesi eleme, yıkama, kuruma ve azaltma işlemlerinden sonra kullanılır. Deney numunesi tamburun içine bırakılır. (7000 ± 10) gr’lık bir şarj oluşturmak için tamburun içerisine yeterli miktarda çelik bilye ve 2.00 ± 0.01 lt su ilave

edilir. Tamburun kapağı kapatılır ve tambur, (90 ± 3) devir/dakika hız ile (5400 ± 10) devir yapıncaya kadar döndürülür (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Nordik aleti

Deneyden sonra olabilecek bir agrega kaybını önlemeye dikkat ederek, agrega ve çelik bilyeler bir tavada toplanır. Bir yıkama şişesi kullanılarak tamburun içi ve kapağı dikkatlice yıkanır ve yıkanan malzeme toplanır. Tüm malzeme yukarıdan aşağı göz açıklıkları 14.0 mm, 8.0 mm ve 2.0 mm olan bir elek seti üzerine boşaltılır. Boşaltılan malzeme temiz su ile

yıkanır. 14 mm, 8 mm ve 2 mm göz açıklıklı elek üzerinde kalan agrega taneleri bir tepsi içerisine boşaltılır. Tepsi ve içerisindeki malzeme etüvde 110 ± 5 °C’de kurutulur. Elek üzerinde kalan agregaların kütlesi TS 3530 EN 933-1’e uygun olarak belirlenir ve en yakın gram olarak kaydedilir. Nordik aşınma değeri (A_N) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$A_N = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2.4)$$

Burada, m_1 = Deney numunesinin ilk kuru kütlesi (gr), m_2 = Deneyden sonra 3 elek (14.0mm, 8.0 mm ve 2.0 mm) kalan üç fraksiyonun kuru kütleleri toplamı (gr) ifade etmektedir.

Nordik aşınma değeri en yakın ondalıkla verilir ve 2 kez tekrar edilir. Sonuçlar arasındaki fark, sonuçların ortalama değerinin % 7’sine eşit ve küçük ise kabul edilir.

2.2. Betonun Aşınma Dayanımı

Beton basınç dayanımı aşınma dayanıklılığını etkileyen en önemli faktördür. Çünkü dayanımı yüksek olan betonların aşınma direnci de yüksektir. Bu konu Kılıç vd. tarafından 2008’de incelenmiştir [27].

Günümüzde uçucu kül (UK), öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ve silis dumanı (SD) gibi puzolanların beton malzemesi olarak kullanımı sürekli artmaktadır. Hem çimento bileşeni olarak hem de betona doğrudan katılan bu malzemelerin çimento hamurundaki kireci bağlayarak dayanım ve dayanıklılığı arttırdığı bilinmektedir. Doğal mineral katkıları içeren uçucu kül, çelik ve polipropilen lif katkılı betonların aşınma dayanımları üzerindeki etkisi birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Naik, Singh ve Ramme (2002), Atiş (2003)’de, Siddique (2003), Horszczaruk (2005)’de Felekoğlu, Yardımcı ve Baradan (2006), Alyamaç ve İnce (2008), Vassou vd (2008)’de, Atiş vd. (2009), Can vd. (2009), Yetgin ve Çavdar (2011), Alyamaç vd. (2012), Rashad (2013), Gaedicke, Marines ve Miankodila (2014), Ramesh vd. (2014)). Alyamaç ve İnce (2008)’de çelik lif içeren karo mozaik döşeme kaplamalarda Böhme aşınma deneyi yapmışlardır. Aşınma

dayanımlarını hacim olarak hesaplamış olup, ortalama yüzey aşınma değerlerini $9.3 \pm 0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ olarak elde etmişlerdir [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 ve 41].

Doğal kaynakları dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişimi ile her geçen gün azalmaktadır. Bu tüketime dur demek geri dönüşüm ile mümkün olacaktır. İnşaat sektörü ham madde ihtiyacının en fazla ve dolayısıyla açığa çıkan atık miktarının en yüksek olduğu sektörlerden birisidir. Günümüzde çevreye bırakılan atıkların önemli bir bölümünü inşaat atıkları oluşturmaktadır. Bu atıkların beton üretiminde agrega olarak veya yerine kullanılması ile hem çevreye verdiği zarar hem de doğal agrega kaynaklarının tüketimi azalacaktır. Son zamanlarda araştırmacıların çalışmalarında atık kullanımı büyük bir ilgi görmüştür. (Siddique ve Singh (2012), Tripathi, Misra ve Chaudhary (2013), Saikia ve Brito (2014), Thomas vd. (2014), Alyamaç ve Aydın (2015)). Alyamaç ve Aydın (2015)'de yaptıkları çalışma ile mermer tozu içeren ince agregaların aşınma dirençlerini incelemişlerdir [42, 43, 44, 45, 46]. Mermer tozu kum ile hacimce % 10, 20, 30, 40, 50 ve 90 yer değiştirmiştir. 28 günlük numunelere Böhme yüzey aşınma testi yapmışlardır. % 40'a kadar mermer tozu içeren betonlar aşınmaya karşı az da olsa direnç kazanmışlardır. Aşınma direnci ile betonun dayanım özelliklerini belirleyen basınç ve yarmada çekme dayanımları ile benzer bir ilişki yakalamışlardır. % 40 mermer tozu içeren beton karışımlar ile optimum sonuç elde etmişlerdir.

Taze betonda yüzeye çıkma eğiliminde olan su aşınmaya karşı dayanımı düşürür. Betonun terlemesi bitmeden yapılan yüzey bitirme işlemi ile beton yüzeyinde su/çimento oranı yüksek bir tabaka oluşur. Vezina vd (1991)'de bu konuda çalışmıştır [47].

İstenilen özelliklerde bir beton elde edebilmek için betonun yerine yerleştirilmesi, yüzeyinin perdahlanması işlemlerinden sonra kür işlemi önem kazanmaktadır. Erdoğan'a göre, beton için önemli faktörlerden biri olan kür süresi en az 1 hafta eğer mümkünse 2 hafta uygulanmalıdır [48]. Tekmen (2006)'da artan kür süresi ile betonun dayanım özelliklerinde iyileşme olduğunu söylemiştir [49].

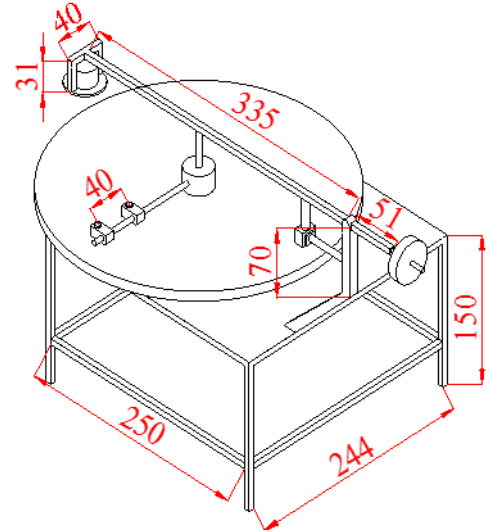
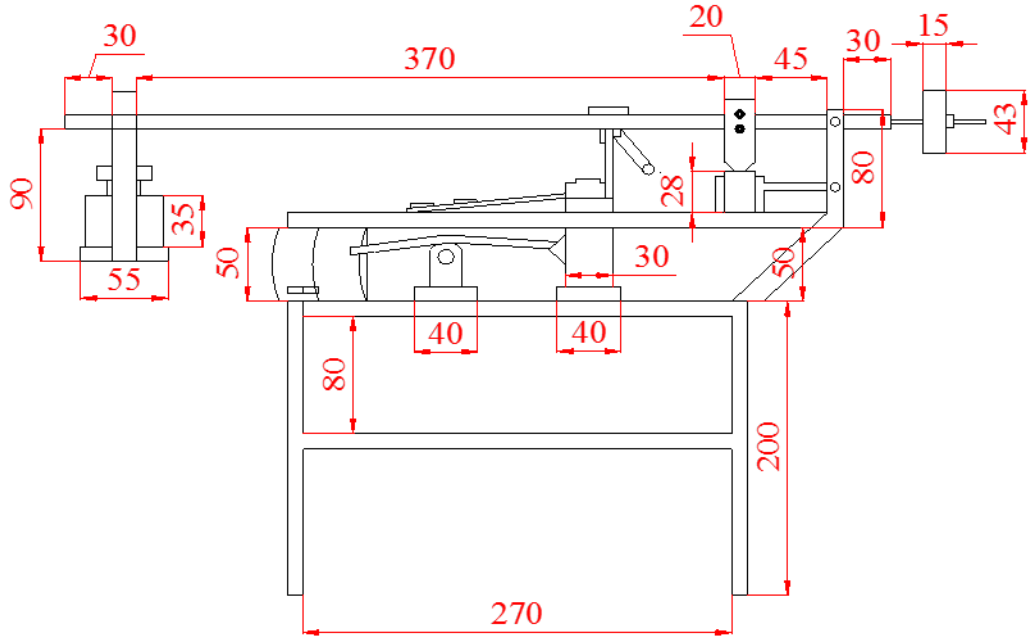
Yerine yerleştirilen taze beton yüzey düzeltilmesi işlemine ihtiyaç duyar. Bu işlem çelik malalar ile uygun bir şekilde iki veya daha çok kez yüzeyi düzleyerek hızlı bir şekilde yapılmalıdır. Bu işleme betondaki terlemenin ortadan kalkması için beton yerleştirildikten 2-3 saat sonra başlamak tavsiye edilmektedir. Çünkü yüzey düzeltme işlemi ile betonun yüzeyindeki gözenekler kapanır. Bu durumda betonun üst kısmına çıkan su yüzeyin hemen

altında kalır, zayıf bir beton oluşur ve aşınma dayanımı düşer. Beixing, Guoju ve Mingkai (2011)'de bu konudaki çalışmalarını sunmuşlardır. [50].

Yol üst yapısında kaplama olarak kullanılan beton, su akışına maruz kalan köprü ayakları ve barajlarda oluşacak sürtünmelerden dolayı aşınmaya maruz kalır. Betonun aşınma direnci; beton dayanım karakteristiklerine, betonun içyapısına, beton yüzeyinin yapım şekline ve kullanılan deney metoduna bağlı olarak değişmektedir. İlgili bölümde betonun aşınma direncini belirlemek için Böhme (Dorry Aygıtı) Deneyi (TS 699) kum aşındırma kabini (ASTM C 418), kesici döner matkap (ASTM C 944), yatay beton yüzeylerin aşınma direnci (ASTM C 779), su altı aşınma test makinası (ASTM C 1138) deneylerinin nasıl yapıldığı anlatılmıştır [51, 52, 53, 54, 55].

2.2.1. Böhme (Dorry Aygıtı) Deneyi (TS 699)

Bu tür malzemelerin deneyi, bir düşey eksen etrafında ve yatay düzlem içinde dönen 60 cm çaplı madensel bir tabladan oluşan Böhme (Dorry) aygıtı ile yapılır. Aşınma dayanımlarını belirleyebilmek için TS 699'a uygun olarak 71 ± 1.5 mm ebatlarında kare plakalar veya küp numuneler hazırlanır. Numuneler temas yüzü normal şartlar altında gerekli görülen her 4 dönüşlük ön aşındırmadan sonra, genellikle 110 ± 5 °C de kurutulup tartıldıktan sonra Böhme yüzey aşındırma cihazında yüzey aşındırma deneyine tabi tutulur (Şekil 2.9.). Deneylerde 20 gr zımpara tozu sürtünme şeridinin üzerine serpilir ve temas yüzü şeride gelecek şekilde numune tutucuya yerleştirilen numune eksenel olarak 294 ± 3 N yük ile yüklenir. Disk şerit üzerindeki aşındırıcı numune genişliğinin belirlediği alan üzerinde eşit olarak dağılı kalmasına özen gösterilerek hareket ettirilir. Numuneye her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanır. Her çevrimden sonra disk ve temas yüzü temizlenir, numune sırası ile 90 ° döndürülür ve şeride yeni aşındırıcı bırakılır.



Şekil 2.9. Böhme (Dorry) aygıtı aşınma aleti

Deney sonunda aşınma numunenin hacmindeki azalma ΔV olarak aşağıda verilen eşitlikten hesaplanır.

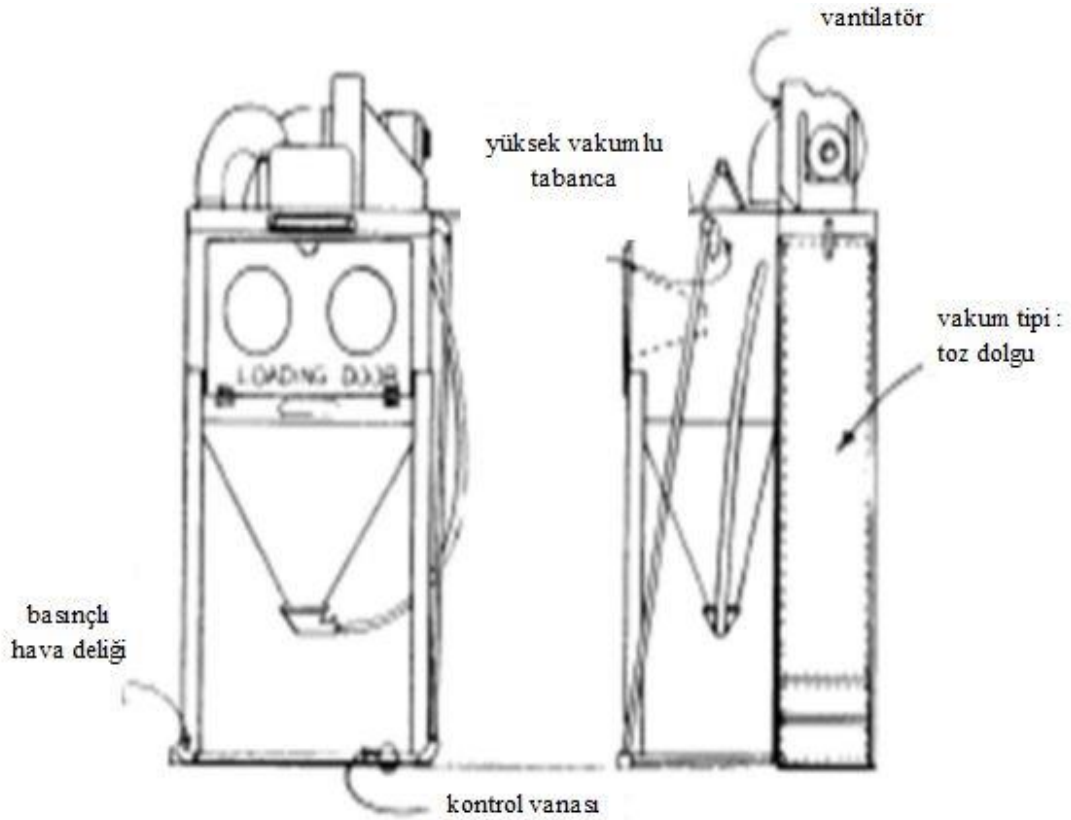
$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_r} \quad (2.5)$$

Burada, $\Delta V = 16$ çevrimden sonra hacim kaybı (mm^3), $\Delta m = 16$ çevrimden sonra kütle kaybı (gr), ρ_r = Numunenin yoğunluğu, çok katlı numunelerde aşınmaya maruz tabakanın yoğunluğu (mm^3) ifade etmektedir.

ASTM standartlarına göre bu kayıp yüzdesinin beton agregasında 100 devir için % 10'u, 500 devir için % 50'yi ve yol agregası için de 500 devirde % 30'u geçmemesi istenir.

2.2.2. Kum Aşındırma Kabini (ASTM C 418)

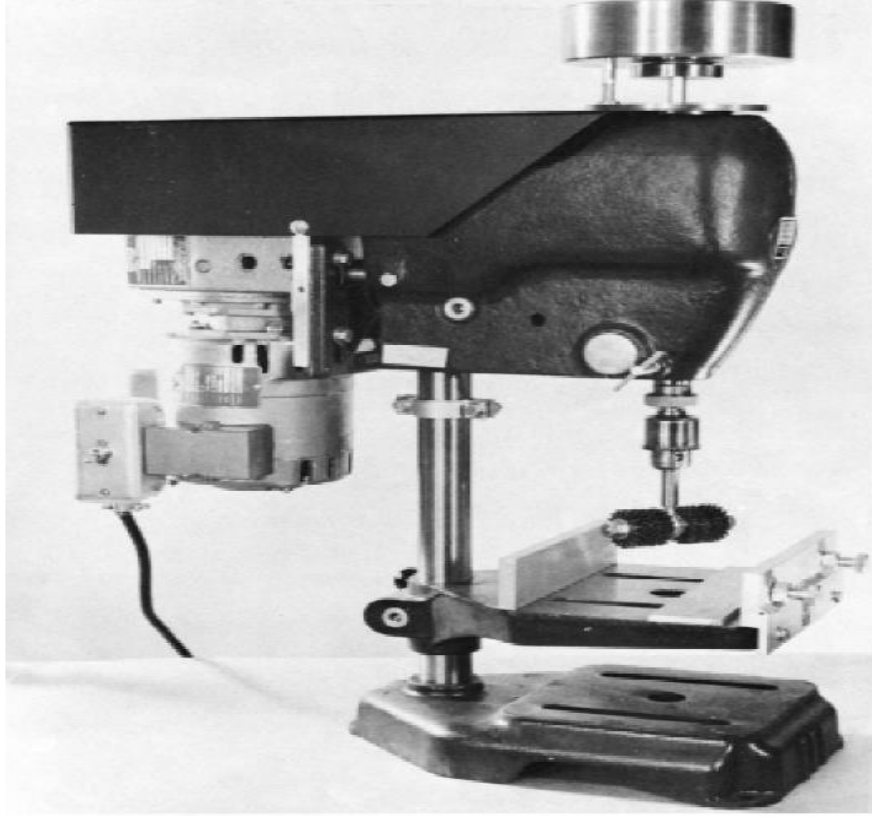
Bu test yöntemi ile kumlama sayesinde aşınma oluşur. Beton yüzeyine uygulanan yük ile aşındırıcılar betonun yüzeyindeki parçacıkları koparır. Aşınma şiddeti araştırmacının isteğine göre basınç ve kumlama ile değişebilir. Kabin yüksek hızlı hava jeti ve enjektör tipi patlama tabancası içermektedir (Şekil 2.10.). Sistem kumun derecesi, hava basıncı, aşındırıcı yük, yüzey ağız ve mesafe oranı gibi ayar parametrelerine sahiptir.



Şekil 2.10. Kum aşındırma kabini

2.2.3. Kesici Döner Matkap (ASTM C 944)

Beton ya da fabrikasyon örneklerine ait beton çekirdeklerinin ve kesilmiş kiriş numunelerinin aşınma dayanımı ile ilgili bir test metodudur. Test cihazı 98 N basınç uygulayarak dönen bir kesici ile yüzeye aşınma yapar (Şekil 2.11.).



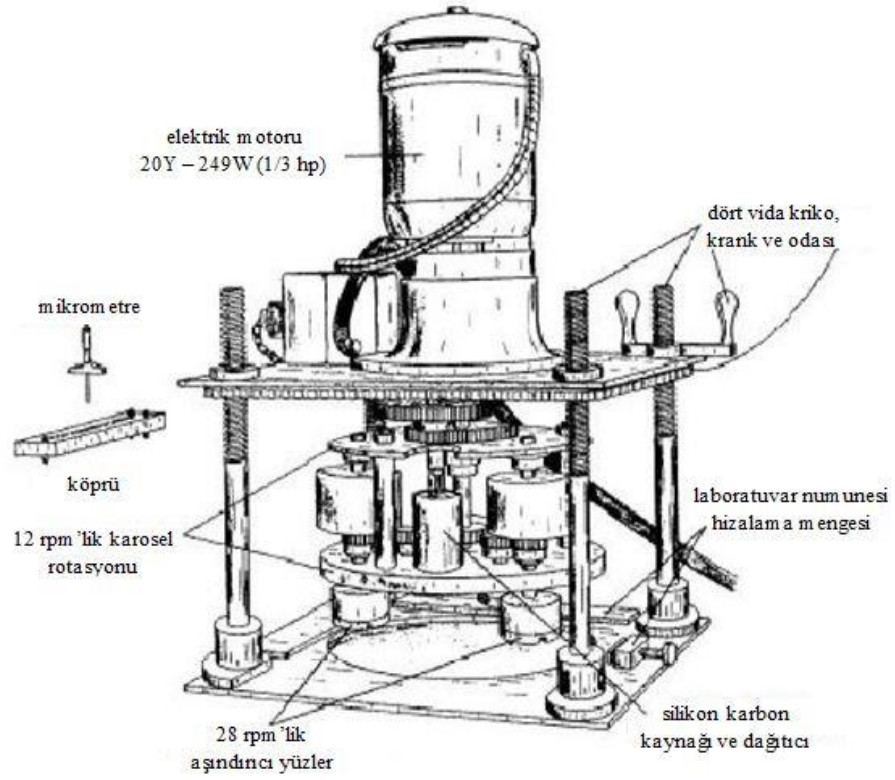
Şekil 2.11. Kesici döner matkap

2.2.4. Yatay Beton Yüzeylerin Aşınma Direnci (ASTM C 779)

Hem laboratuvar hem de sahadaki numunelere ait yatay beton yüzeylerin aşınma metodu ile ilgili 3 tip ASTM standardı bulunmaktadır. Bu standartlar, döner disk aşınma makinası, tekerlek aşınma makinası ve bilye aşınma makinası olarak adlandırılmıştır.

- **Döner Disk Aşınma Test Makinası**

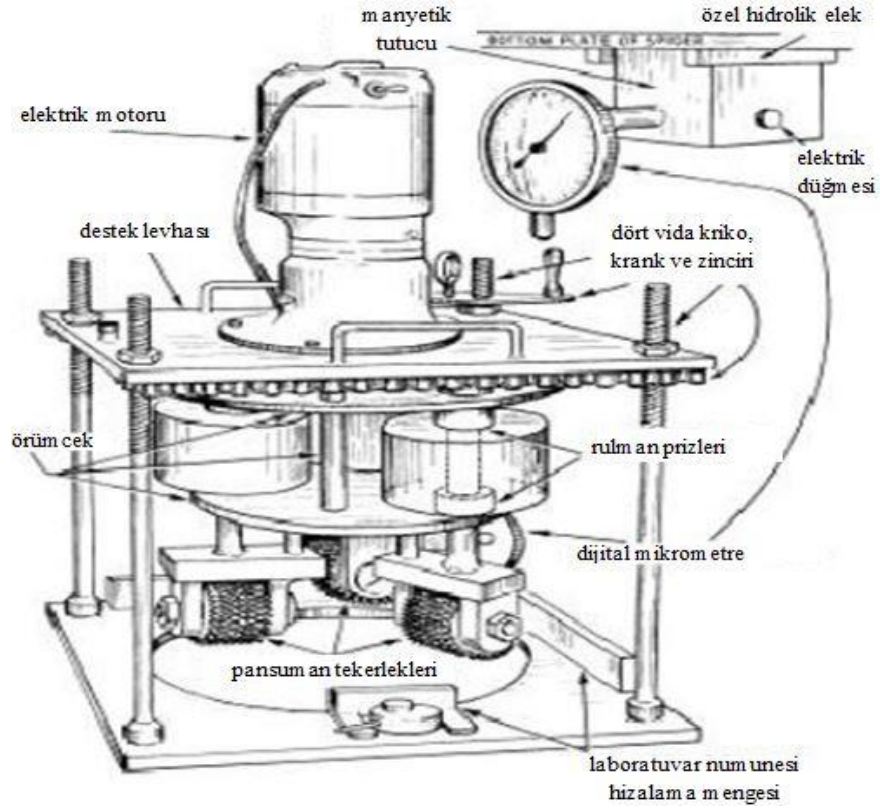
Çelik disklerin aşındırıcı kumlar ile sürtünmesi ve kayması sonucunda beton yüzeyi aşınmaya maruz kalır. Aşınma olayı genellikle deney başladıktan 30 dakika sonra başlar ama en az 60 dakika sürmesi tavsiye edilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Döner disk makinası

- **Tekerlek Aşınma Test Makinası**

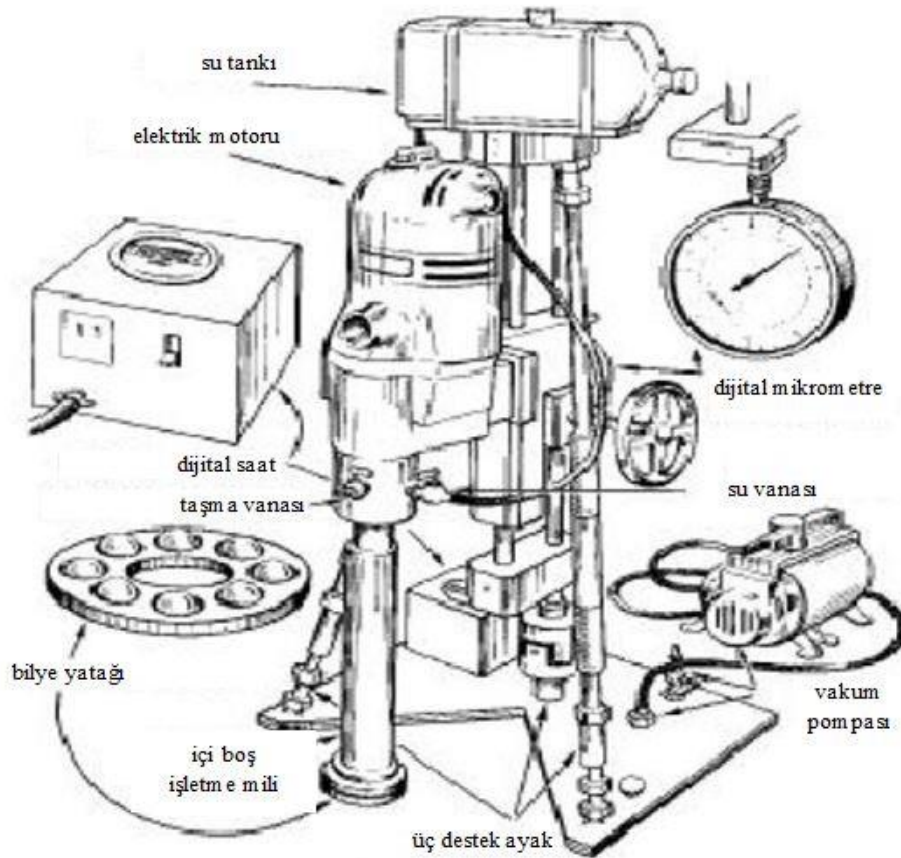
Tekerlek aşınma makinası döner disk makinasına oldukça benzerdir. Ama bu makinada aşınma olayı için hiçbir aşındırıcı malzeme kullanılmaz. Bir mikrometre yardımı ile ilk ve orta ölçümler alınır (Şekil 2.13.). Tekerlek aşınma makinası ile, döner disk makinasına kıyasla aynı test süresi içinde 2 kat daha fazla aşınma derinliği oluşur.



Şekil 2.13. Tekerlek aşınma makinası

- **Bilye Aşınma Test Makinası**

Islak beton test yüzeyi üzerinde, 8 bilye kullanılarak 1000 rpm'lik bir hız ile döner. Gevşek partikülleri temizlemek için su kullanılır. Bilyelerin beton yüzeyindeki kum ve taş parçalarına temas etmeleri sonucunda sürtünme oluşur (Şekil 2.14.). Her 50 saniyede bir mikrometre ile ölçüm alınır. Toplam 1200 saniye ya da aşınma derinliği 3 mm oluncaya kadar okuma yapılır.



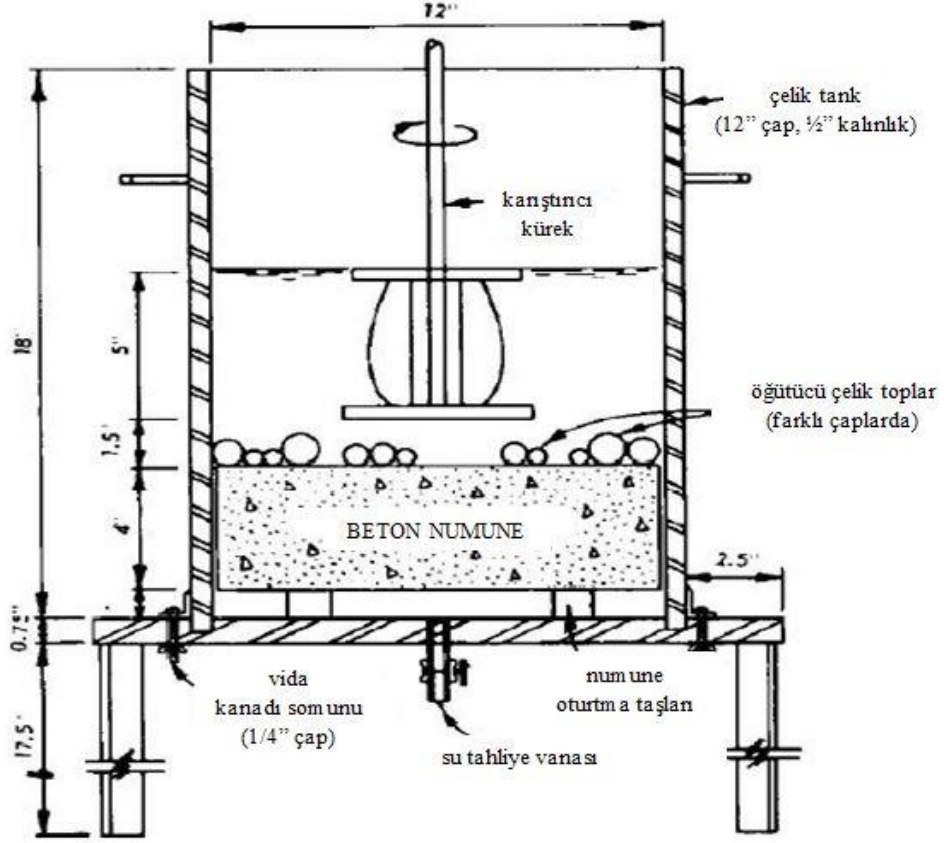
Şekil 2.14. Bilye aşınma makinası

Dong vd. (2013)'de Portland çimentolu geçirimli betonlar üzerinde aşınma dayanım testi yapmışlardır. Cantabro testi (çelik bilyeler olmadan Los Angeles deney aleti kullanılmıştır), çivili lastik tekerleklerden kaynaklanan Nordik deneyini (TS EN 1097-9) ve kesici döner matkap (ASTM C 944) deneylerini yapmışlardır. Numunelerde en yüksek ağırlık kaybını Cantabro testi ile en düşük ağırlık kaybını ise kesici döner matkap ile elde etmişlerdir. Yapılan bu 3 test arasında, optimum sonuçlar çivili lastik tekerlek testi ile elde edilmiştir [56].

2.2.5. Su Altı Aşınma Test Makinası (ASTM C 1138)

Havza, savak gibi hidrolik yapılar su parçacıklarının hareketi ile aşınmaya maruz kalırlar. 1981 yılında Liu tarafından geliştirilen betonların aşınma direncinin su altı yöntemiyle bulunması ASTM test standartlarından biri olmuştur. Cihaz temel olarak bir delme pres, silindirik çelik kaplar ve değişik boyutlara sahip 70 öğütücü top içerir. Şekil

2.15’de test düzeneğinin enine kesiti görülmektedir. 1200 rpm’lik bir delme presi karıştırma kürekleri ile birlikte kap içindeki suya uygulanır. Beton numune yüzeyi üzerinde hareket eden su aşınma oluşturur. Deneyin toplam süresi 72 saat olmak üzere 12 saatte bir 6 seferde yapılır.



Şekil 2.15. Su altı aşınma test makinası

3.MALZEME VE METOT

İlgili bölümde, bu çalışmayı oluşturan agregaların aşınma dayanımlarını farklı şartlar altında incelemek ve bu agregalar ile beton dökmek için kullanılan malzemeler, yapılan deneyler ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar hakkında bilgi verilmiştir.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Agregalar

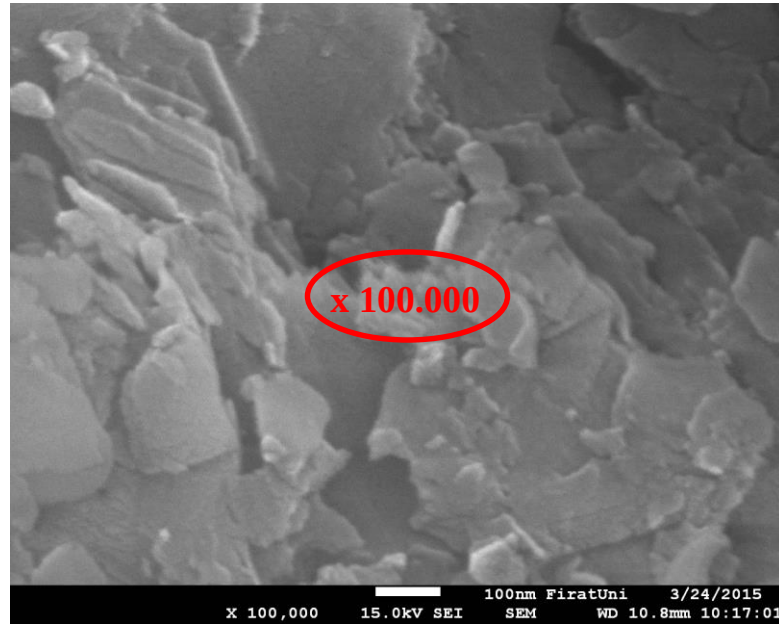
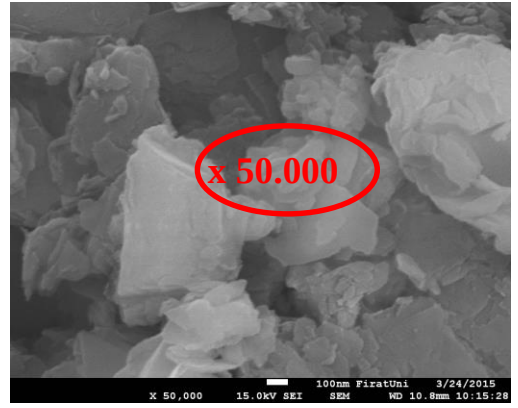
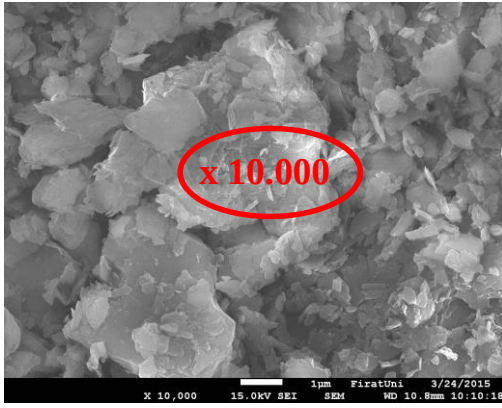
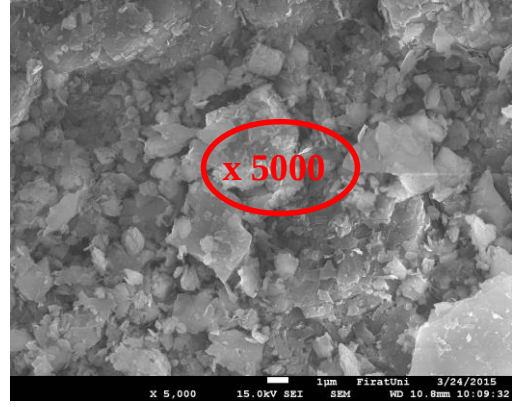
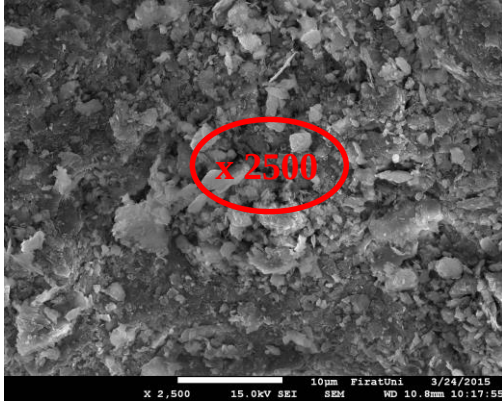
Deneyisel çalışmalarda 2 farklı tür agrega kullanılmıştır. Yapılan deneylerde agrega cinsinin etkisi araştırıldığı için her bir agrega ile ilgili bilgi ona ait başlık altında açıklanmıştır.

3.1.1.1. Harput Kalker

Elazığ ili Harput yöresinde çıkarılan özel bir hazır beton firmasına ait agregalar kullanılmıştır (Şekil 3.1) ve bu agregalara ait SEM fotoğrafları ise Şekil 3.2’de verilmiştir. En büyük dane çapı (d_{max}) 31.5 mm olan agrega karışımlarına ait granülometri deneyi sonuçları Tablo 3.1’de, özgül ağırlıklar Tablo 3.2’de ve birim ağırlıklar ile birlikte su emme değerleri de Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Harput kalker agregalarının görünüm



Şekil 3.2. Harput kalker SEM görüntüleri

Tablo 3.1. Agrega dane büyüklüğü dağılımı

	Elekten geçen yüzde (%)									
Elek çapı (mm)	31.5	16.0	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0.25	0.125	0.063
Harput kalker	100	95.6	63.6	46.1	29.2	18.5	12.5	7.8	1.3	1.0

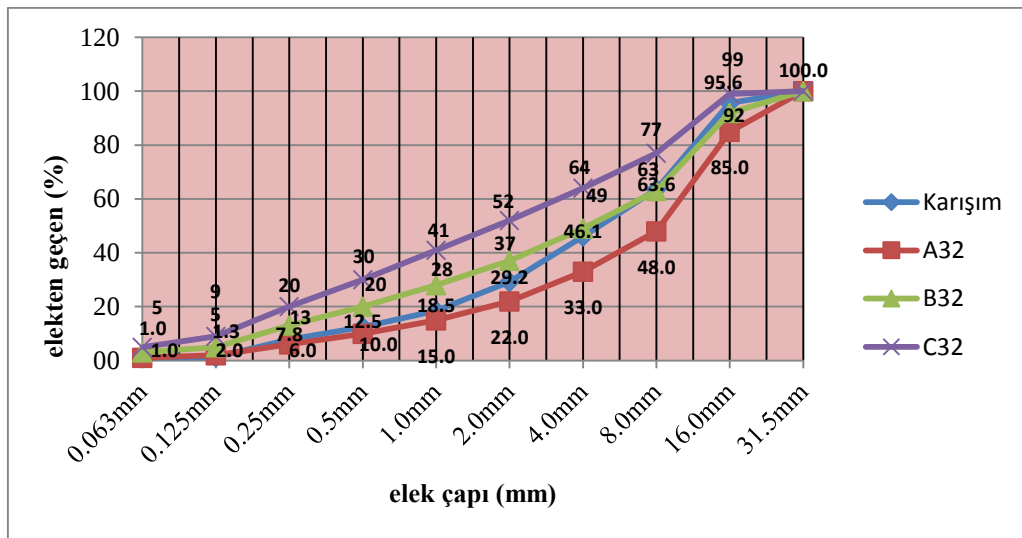
Tablo 3.2. Agrega özgül ağırlık deneyleri

Harput kalker	Kuru özgül ağırlıklar			Doygun kuru yüzey özgül ağırlıklar			Görünen özgül ağırlıklar		
	(S_k^{iri})	(S_k^{orta})	(S_k^{ince})	(S_{dyk}^{iri})	(S_{dyk}^{orta})	(S_{dyk}^{ince})	(S_g^{iri})	(S_g^{orta})	(S_g^{ince})
	2.79	2.78	2.76	2.85	2.86	2.79	2.87	2.87	2.83

Tablo 3.3. Agrega birim ağırlıkları ve su emme değerleri

Harput kalker	Sıkışık birim ağırlıklar			Gevşek birim ağırlıklar			Su emme oranı (%)		
	B_s^{iri}	B_s^{orta}	B_s^{ince}	B_g^{iri}	B_g^{orta}	B_g^{ince}	(S_a^{iri})	(S_a^{orta})	(S_a^{ince})
	1.87	1.83	1.85	1.69	1.64	1.75	0.7	0.8	1.4

TS 802'ye göre beton karışım tasarımı hesabında kullanılacak agreganın granülometri eğrisi Şekil 3.3'de verilmiştir. A-B bölgesine düşen karışımın eğri grafiği ile (16.0^{mm} ve 0.125^{mm} hariç) en iyi kompasite sağlanmıştır.

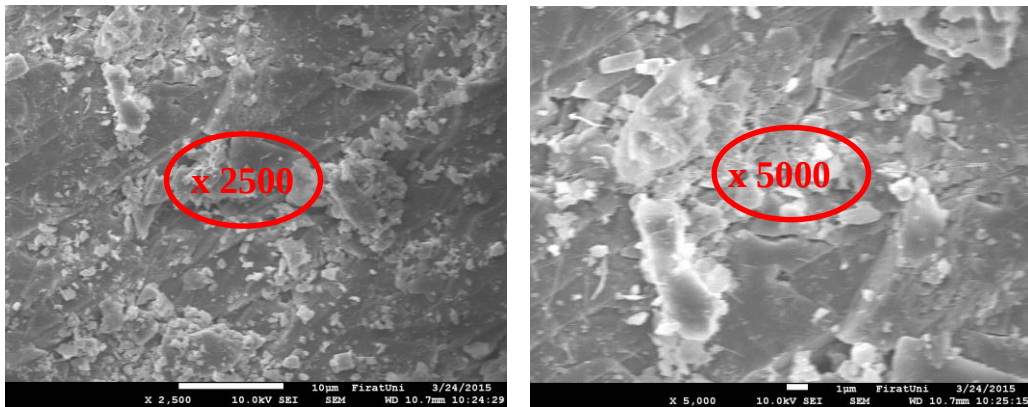
**Şekil 3.3.** TS 802'ye göre hazırlanan karışım agregasının granülometrisi

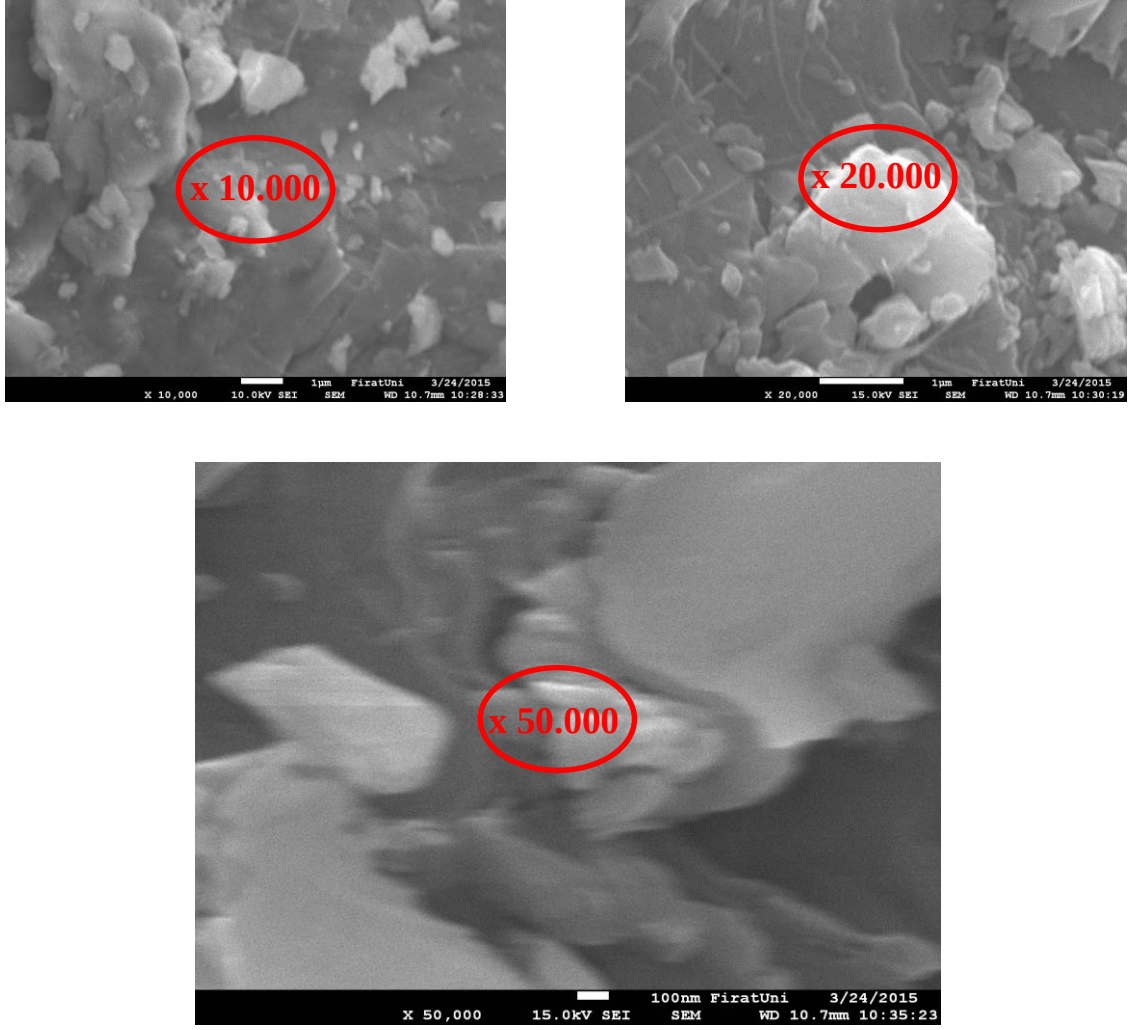
3.1.1.2. Haroğlu Kalker

Elazığ ili Baskil İlçesi yolunda bulunan özel bir hazır beton firmasına ait agregalar kullanılmış (Şekil 3.4) ve bu agregalara ait SEM fotoğrafları Şekil 3.5’de verilmiştir. En büyük dane çapı (d_{max}) 31.5 mm olan agrega karışımlarına ait granülometri deneyi sonuçları Tablo 3.4’de, özgül ağırlıklar Tablo 3.5’de ve birim ağırlıklar ile birlikte su emme değerleri de Tablo 3.6’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Haroğlu kalker agregalarının görünüm





Şekil 3.5. Haroğlu kalker SEM görüntüleri

Tablo 3.4. Agrega dane büyüklüğü dağılımı

Eleğ. çapı (mm)	Elekten geçen yüzde (%)									
	31.5	16.0	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0.25	0.125	0.063
Haroğlu kalker	100	85.4	61.3	44.4	32.0	21.9	14.5	9.6	3.4	1.1

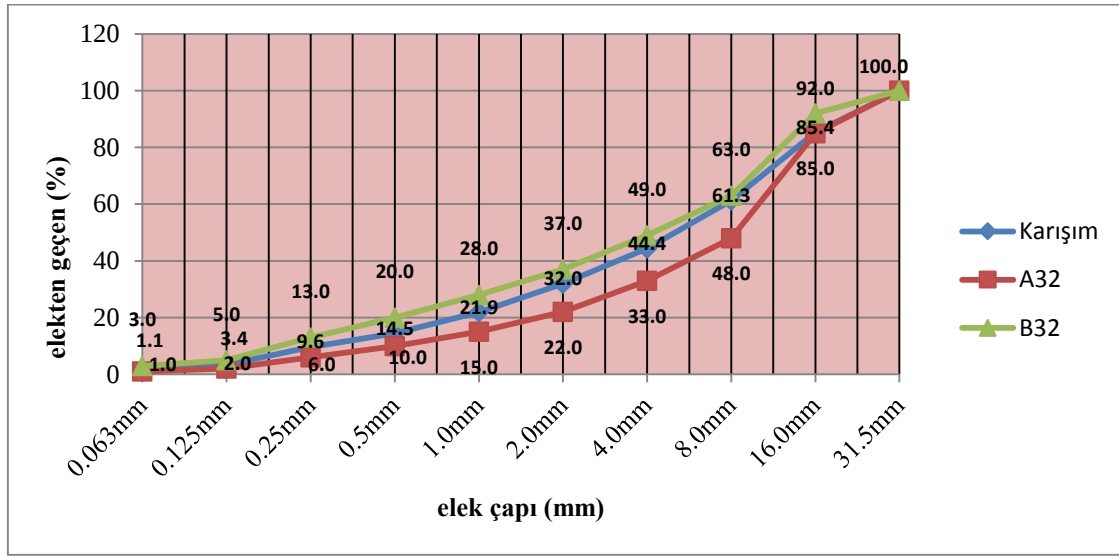
Tablo 3.5. Agrega özgül ağırlık deneyleri

Haroğlu kalker	Kuru özgül ağırlıklar			Doygun kuru yüzey özgül ağırlıklar			Görünen özgül ağırlıklar		
	(S_k^{iri})	(S_k^{orta})	(S_k^{ince})	(S_{dyk}^{iri})	(S_{dyk}^{orta})	(S_{dyk}^{ince})	(S_g^{iri})	(S_g^{orta})	(S_g^{ince})
	2.63	2.62	2.59	2.66	2.69	2.64	2.70	2.70	2.68

Tablo 3.6. Agrega birim ağırlıkları ve su emme değerleri

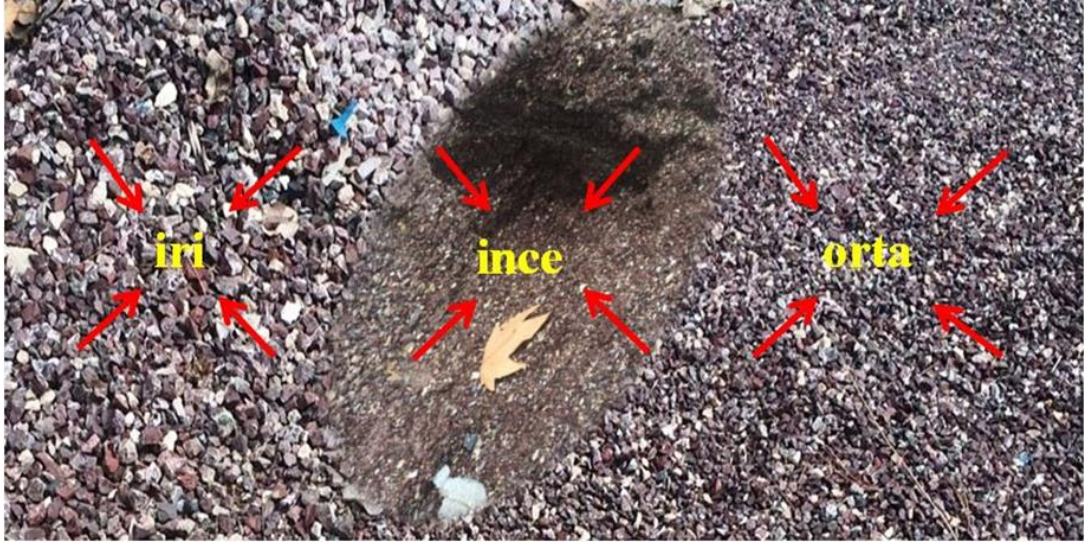
Haroğlu kalker	Sıkışık birim ağırlıklar			Gevşek birim ağırlıklar			Su emme oranı (%)		
	B_s^{iri}	B_s^{orta}	B_s^{ince}	B_g^{iri}	B_g^{orta}	B_g^{ince}	(S_a^{iri})	(S_a^{orta})	(S_a^{ince})
	1.72	1.72	1.88	1.55	1.60	1.81	0.9	1.0	1.7

TS 802'ye göre beton karışım tasarımı hesabında kullanılacak agrega karışımının granülometri eğrisi Şekil 3.6'de gösterilmiştir. A-B bölgesine düşen karışımın eğri grafiği ile maksimum kompasite sağlanmıştır.

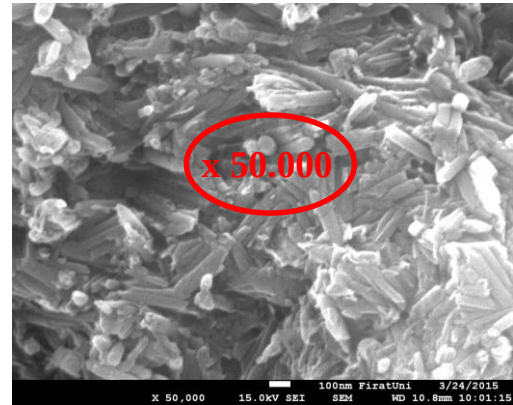
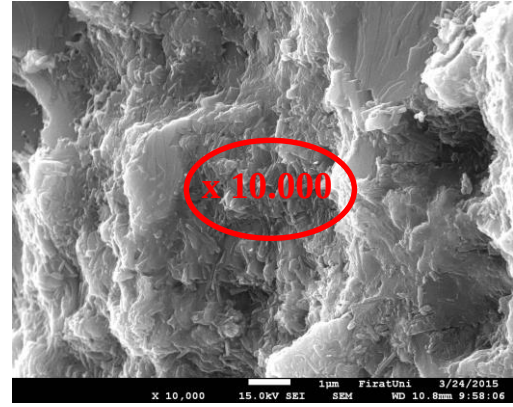
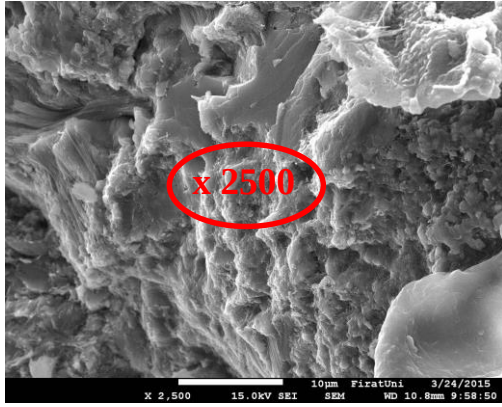
**Şekil 3.6.** TS 802'ye göre hazırlanan karışım agregasının granülometrisi

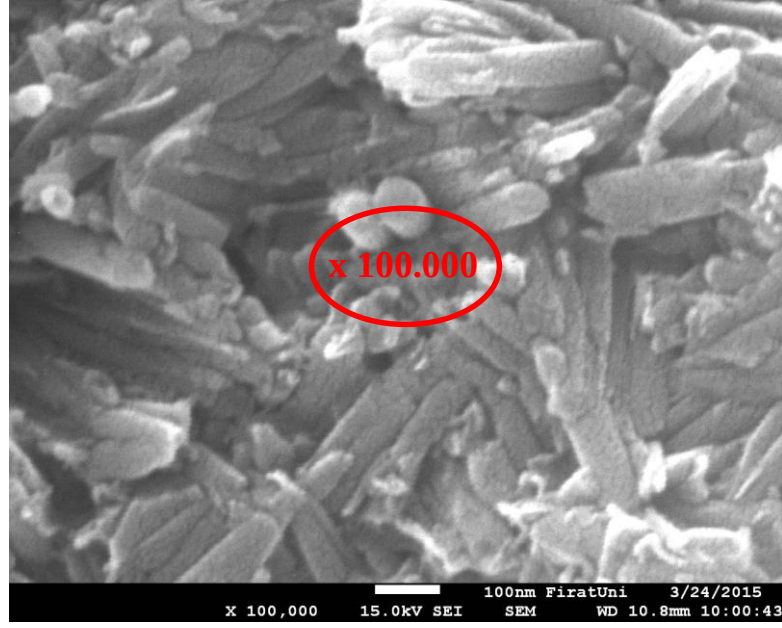
3.1.1.3. Alacakaya Vişne Mermer

Elazığ ili Alacakaya mermer ocaklarından alınan vişne mermer agregaları kullanılmıştır (Şekil 3.7) ve bu agregalara ait SEM fotoğrafları ise Şekil 3.8'de verilmiştir. En büyük dane çapı (d_{max}) 31.5 mm olan agrega karışımlarına ait granülometri deneyi sonuçları Tablo 3.7'de, özgül ağırlıklar Tablo 3.8'de ve birim ağırlıklar ile birlikte su emme değerleri ise Tablo 3.9'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Alacakaya vişne mermer agregalarının görünümü





Şekil 3.8. Alacakaya vişne mermer agregaları SEM görüntüleri

Tablo 3.7. Agregada dane büyüklüğü dağılımı

Elek çapı (mm)	Elekten geçen yüzde (%)									
	31.5	16.0	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0.25	0.125	0.063
Alacakaya vişne mermer	100	75.6	57.1	49.0	31.1	18.6	11.5	7.2	2.9	0.9

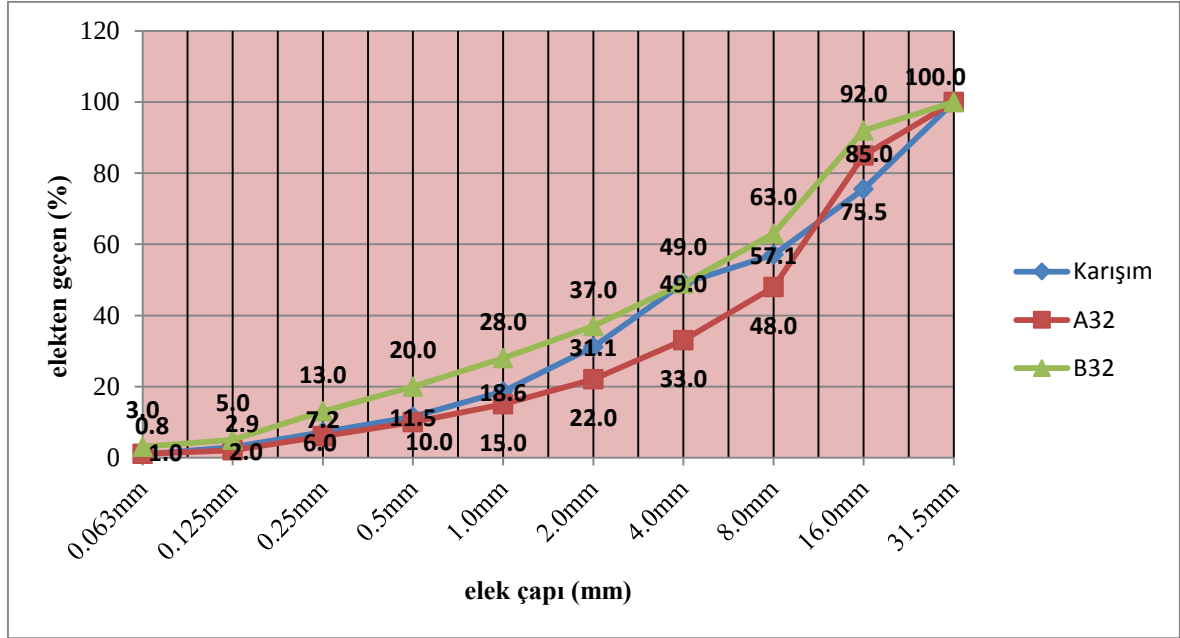
Tablo 3.8. Agregada özgül ağırlık deneyleri

Alacakaya vişne mermer	Kuru özgül ağırlıklar			Doygun kuru yüzey özgül ağırlıklar			Görünen özgül ağırlıklar		
	(S_k^{iri})	(S_k^{orta})	(S_k^{ince})	(S_{dyk}^{iri})	(S_{dyk}^{orta})	(S_{dyk}^{ince})	(S_g^{iri})	(S_g^{orta})	(S_g^{ince})
	2.6	2.59	2.58	2.32	2.64	2.63	2.71	2.70	2.64

Tablo 3.9. Agregada birim ağırlıkları ve su emme değerleri

Alacakaya vişne mermer	Sıkışık birim ağırlıklar			Gevşek birim ağırlıklar			Su emme oranı (%)		
	B_s^{iri}	B_s^{orta}	B_s^{ince}	B_g^{iri}	B_g^{orta}	B_g^{ince}	(S_a^{iri})	(S_a^{orta})	(S_a^{ince})
	1.62	1.68	1.63	1.53	1.55	1.46	1.0	1.1	1.8

TS 802'ye göre beton karışım tasarımı hesabında kullanılacak agrega karışımının granülometri eğrisi Şekil 3.9'de gösterilmiştir. A-B bölgesine düşen karışımın eğri grafiği ile (16.0^{mm} ve 0.063^{mm} hariç) maksimum kompasite sağlanmıştır.



Şekil 3.9. TS 802'ye göre hazırlanan karışım agregasının granülometrisi

3.1.2. Çimento

Deneyisel çalışmalarda Elazığ Çimento Fabrikasında üretilmiş CEM I 42.5 N Portland çimentosu kullanılmış ve bu çimento türüne ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 3.10, Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 3.10. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler		Deney sonuçları	Standart: TS EN 197-1	
			min	max
Özgül ağırlık	gr/cm ³	3.03	-	-
Priz başlangıcı	dk	155	1	-
Priz sonu	dk	210	-	10
İncelik	cm ² /gr	3490	-	-

Tablo 3.11. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşim		Kütlece yüzde	Standart: TS EN 197-1	
			min	max
SiO ₂	%	21.12	25	-
Al ₂ O ₃	%	5.62	-	-
Fe ₂ O ₃	%	3.24	-	-
CaO	%	62.94	10	-
Cl ⁻	%	0.0044	-	0.1
Çözünmeyen kalıntı	%	0.64	-	1.5
Kızdırma kaybı	%	3.52	-	5

Tablo 3.12. Çimentonun basınç dayanımı

Basınç dayanımı (N/mm ²)	Standart: TS EN 197-1
2 gün	25.8
7 gün	38.1
28 gün	49.1

3.1.3. Karma Suyu

Yapılan deneysel çalışmalarda beton karışım suyu olarak TS EN 1008'e uygun Elazığ ili şehir şebekesinden alınan içme suyu kullanılmıştır [57].

3.2. Yapılan Deneyler

Bu tez çalışması Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı

3.2.3. Los Angeles (Bilyeli Tambur) Deneyi

Bir önceki bölümde ayrıntılı olarak anlatılan kalker ve mermer agregalarının aşınma dayanımlarını belirlemek için TS EN 1097-2 veya ASTM C 131 standardı göz önünde bulundurularak Los Angeles aşınma deneyi yapılmıştır. İlk olarak bilye sayısının aşınma üzerindeki etkisini incelemek için önce 6, 12, 18, 24, 30 bilye ile (500, 1000, 1500 ve 2000 devir) aşınma yapılmış, bir sonraki aşamada kullanılan bilye ağırlıkları sabit tutularak bilye çaplarının aşınma direncine etkisini belirlemek için 12, 48, 96 bilye ile (500, 1000, 1500 ve 2000 devir) Los Angeles aşınma yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Elazığ Çimento Fabrikası'ndan alınan temsili bilyeler

Deney için TS 706'da verilen standarda uygun 16^{mm} - 8^{mm} göz açıklıklı elekler arasında kalan iri malzemeden 2500 gr. ve 8^{mm} - 4^{mm} göz açıklıklı elekler arasında kalan orta malzemeden 2500 gr olmak üzere toplam 5000 gr numune (Şekil 3.12) yıkanarak 110 ± 5 °C sıcaklığa sahip etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tartılmıştır (W_1).



Şekil 3.12. Aşınma deneyinde kullanılacak iri ve orta agregaların elek analizi

Sabit bir hız ile dakikada 31-33 devir yapan tambura bilyeler ve etüv kurusu haline getirilmiş numuneler bırakılıp kapak kapatılmış ve 500 devir yaptırılmıştır (Şekil 3.13). 500 devir bitiminde duran aletin içindeki agregalar ve bilyeler tepsiye dökülür, numune kaybı olmamasına özen gösterilerek bilyeler numuneden temizlenir, deney numuneleri 1.4 mm göz açıklıklı elekte elenerek elek üstünde kalan numune tartılır (W_2) ve son olarak TS EN 1097-2'ye uygun olarak Los Angeles aşınma oranı eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanır.

$$LA(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots(3.1)$$



Şekil 3.13. Los Angeles (Bilyeli Tambur) deney aleti

Tartım işleminden sonra bilyeler ile birlikte tekrar tambura bırakılan agregaya 500 devir daha yaptırılır. Böylece agregalar toplamda 1000 devir aşınmaya maruz kalmış olur. Bu işleminden sonra 1000 devire ait LA (%)’si tekrar hesaplanır. Benzer şekilde tambura dökülen agrega numunesinin 1500 ve 2000 devir sonunda, LA (%)’si ayrı ayrı bulunur. Anlatılan bu deney işlemi 6, 12, 18, 24, 30, 48 ve 96 bilye kullanılarak yapılmış (Şekil 3.14). ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

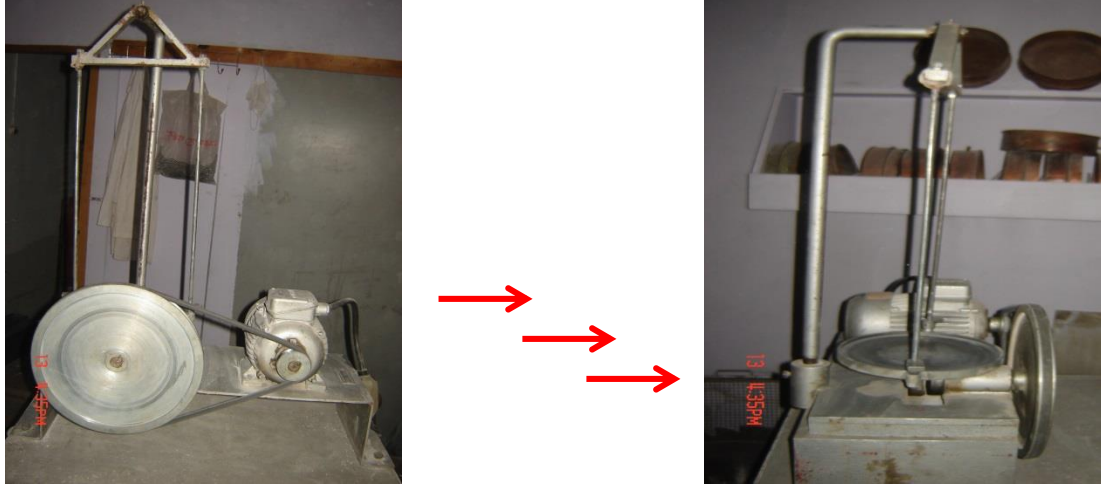


Şekil 3.14. 6, 12, 18, 24, 30, 48 ve 96 bilye ile Los Angeles

3.2.4. Fraksiyon Katsayısı Hesabı

Tez çalışmasına ait kalker ve mermer agregalarının özelliklerini belirlemek için kullanılan TS 3530 EN 933-1 standardında yer alan fraksiyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu amaçla kalker ve mermer agregalarına ait fraksiyon katsayılarının bilye sayısı ile ilişkisi incelenmiştir. Her bir agrega numunesine 6, 12, 18, 24, 30, 48 ve 96 bilye ile 500 devir Los Angeles aşınma yapıldıktan sonra, aşınan agregalar 1.4 mm göz açıklıklı elekte elenerek elek altında kalan ince malzemeden temsili olarak 300 gr alınıp tartılmıştır (M_1). Daha sonra bu malzeme 0.063^{mm} göz açıklıklı elek üzerine dökülmüş ve sarsma tablasına yerleştirilip üzeri

kapakla kapatılmıştır (Şekil 3.15.). Sarsma işlemi bittikten sonra, 0.063^{mm} göz açıklıklı elek üzerinde kalan malzeme (M₂) ve tavada kalan malzeme (P) tartılıp, kaydedilmiştir.



Şekil 3.15. Elek sarsma tablası

TS 3530 EN 933-1'e uygun olarak fraksiyon katsayısı eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanır.

$$\% f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

Burada; M₁ = Deney kısmının kuru kütlesi (kg), M₂ = 63 mikrometre göz açıklıklı elek üzerinde kalan malzemenin kuru kütlesi (kg), P = Tavadaki malzeme kütlesi (kg) ifade etmektedir.

3.2.5. Beton Dökümü ile Numune Elde Edilmesi

Yapılan tez çalışmasında beton numunelerinin büyük çoğunluğunu oluşturan Harput kalker, Haroğlu kalker ve Alacakaya vişne mermer olmak üzere her bir agrega türü ayrı ayrı kullanılmış olup agrega karışımı yapılmamıştır. 300, 350 ve 400 doz olmak üzere 3 farklı çimento dozajına sahip kalker ve mermer agregaları içeren her seride 27, toplamda 81 adet beton numunesi dökülmüştür. Karışıma giren agregalar doygun kuru yüzey olarak kullanılmış ve taze beton özelliğini belirlemek için çökme deneyi yapılmıştır. Her bir seri için basınç ve yarma dayanımları için 6 adet 150x150x150 mm numune dökülmüştür. Buna ilave olarak 3 adet 100x100x100 mm'lik numunelerin basınç dayanımları belirlenmiştir.

Beton karışımını oluşturan agregalara ait granülometri bileşimi ve gerekli fiziksel özellikler Tablo 3.13’de, gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra beton karışımını oluşturan malzeme, çimento ve su miktarları da Tablo 3.14’de verilmiştir.

Tablo 3.13. Beton karışımı hazırlık tablosu

	Granülometri oranı (%)	Yoğunluk (S_k)	Su emme (S_a)	(S_ς)	w/c	($D_{\max}$)
HARPUT KALKER						
iri malzeme	0.3	2.79	0.007	3.05	0.55	31.5
orta malzeme	0.25	2.78	0.008			
ince malzeme	0.45	2.76	0.014			
HAROĞLU KALKER						
iri malzeme	0.3	2.63	0.009	3.05	0.55	31.5
orta malzeme	0.35	2.62	0.01			
ince malzeme	0.45	2.59	0.017			
ALACAKAYA VIŞNE MERMER						
iri malzeme	0.25	2.6	0.01	3.05	0.55	31.5
orta malzeme	0.2	2.59	0.011			
ince malzeme	0.55	2.58	0.018			

Tablo 3.14. Beton üretiminde kullanılacak agrega karışım oranları

HARPUT KALKER			
	Ç=300 doz	Ç=350 doz	Ç=400 doz
	1 m ³ için	1 m ³ için	1 m ³ için
çimento	300	350	400
su	185.9	212.2	238.4
iri mlz.	603.9	567.5	531.0
orta mlz.	501.0	470.7	440.5
ince mlz.	899.9	836.1	782.3
Toplam	2480.7	2436.4	2392.2
HAROĞLU KALKER			
	Ç=300 doz	Ç=350 doz	Ç=400 doz
	1 m ³ için	1 m ³ için	1 m ³ için
çimento	300	350	400
su	189.3	215.3	241.4
iri mlz.	568.2	533.8	499.5
orta mlz.	471.2	442.7	414.3
ince mlz.	832.5	782.2	731.9
Toplam	2361.2	2324.1	2287.1
ALACAKAYA VİŞNE MERMER			
	Ç=300 doz	Ç=350 doz	Ç=400 doz
	1 m ³ için	1 m ³ için	1 m ³ için
çimento	300	350	400
su	192.4	218.3	244.1
iri mlz.	467.6	439.3	411.1
orta mlz.	372.3	349.8	327.3
ince mlz.	1012.5	951.4	890.2
Toplam	2344.8	2308.8	2272.7

Agrega karışım oranları verilen beton numunleri elde etmek için düşey eksenli, kendi eksenli etrafında ortalama 1,5 devir/saniye hız ile dönen karıştırma mikseri kullanılmıştır. Önce çimento ve agrega miksere katılmış ve yaklaşık 1 dk boyunca kuru halde karıştırılmış, sonrasında kullanılacak suyun yarısı eklenip 1 dk süre ile karıştırılmaya devam edilmiş ve

son olarak yeterli homojenliğin sağlanması ile mikser durdurulmuştur (Şekil 3.16). Bu işlemlerin sonucunda elde edilen beton karışımı çökme deneyi yapmak için hazırdır. Böylece karışıma ait taze beton özelliği belirlenmiş ve akabinde sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 3.16. Beton karıştırma mikseri

3.3. Taze Beton Deneyleri

3.3.1. Çökme Deneyi

Elde edilen karışıma ait taze beton özelliğini belirlemek için TS EN 12350-2 standardına uygun alt çapı 200 mm, üst çapı 100 mm ve yüksekliği 300 mm olan kesik çökme hunisi kullanılmıştır (Şekil 3.17). Huniye 3 aşamada doldurulan beton karışımın, her tabakası 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Üst yüzeyi mala ile düzlenip, taban yüzeyine dökülen betonlar temizlendikten sonra huni yukarıya doğru sabit bir hızla çekilmiştir. Huni üst yüzey seviyesi ile çöken beton kütesine ait en yüksek nokta arasındaki mesafe çökme mesafesi (S) olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.17. Slump hunisi

3.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.4.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Sıcaklığı 23 ± 2 °C olan kür havuzuna bırakılan numuneler 28. günün sonunda havuzdan çıkarılmıştır. Yüzeyi kuruyan 100x100x100 mm ve 150x150x150 mm boyutlarındaki her seride 18 toplamda 54 adet küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3 standardına uygun basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Elde edilen beton numunelerinin kırımı için sabit yükleme hızı ile aynı basınç dayanım aleti kullanılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Basınç dayanımı test cihazı

TS EN 12390-3 standardına uygun olarak, $P(kN)$ kırılma yükleri ile yükün kesit alanına bölünmesi sonucu elde edilen $\sigma(N/mm^2)$ basınç dayanımları eşitlik 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.3)$$

Burada; σ = Basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi, MPa), P = Numunenin kırılmasına yol açan maksimum yük miktarı (N), A = Numunenin yük uygulama yönüne dik kesit alanı (mm^2)'yi ifade etmektedir.

3.4.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyine benzer olarak 28. günün sonunda kürden çıkarılan $150 \times 150 \times 150$ mm boyutlarındaki her seride 9 toplamda 27 adet küp numuneler üzerinde yarmada çekme dayanımı deneyi yapılmıştır. TS EN 12390-6 standardına göre numunenin yan yüzünün alt ve üst kısımlarına 25 mm eninde ve yaklaşık 3 mm kalınlığında kontraplak çitalar yerleştirilmiştir. Deney presi ile uygulanan basınç yükü numune kırılincaya kadar sürmekte ve kırılma yükü (P) ölçülmektedir. Bu yükleme ile küp numuneler ortadan ikiye ayrılmaktadır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Yarmada çekme dayanımı test cihazı

TS EN 12390-6 standardına uygun olarak, $P(kN)$ kırılma yükleri ile elde edilen $\sigma (N / mm^2)$ yarmada çekme dayanımları eşitlik 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{\pi * D * L} \dots\dots\dots(3.4)$$

Burada; σ = Yarmada çekme dayanımı (MPa), P = Kırılmaya neden olan basınç yükü (N), D = Küp numunenin çapı (mm) ve L = Küp numunenin boyu (mm)'yi ifade etmektedir.

4. DENEYSEL CALISMALAR

4.1. Los Angeles Deney Sonuçları

Kalker ve mermer agregaları üzerinde TS EN 1097-2'ye göre Los Angeles (Bilyeli Tambur) aşınma deneyi yapılmıştır. Harput kalker, Haroğlu kalker, Alacakaya vişne mermer ve bu agregaların birbirleri ile karşılaştırmalı sonuçları ilgili alt başlıklarda verilmiştir.

4.1.1. Harput Beton Los Angeles Deney Sonuçları

Harput Beton kalker agregaları ile yapılan aşınma deneyinde bilye sayısı sabit artırılarak elde edilen sonuçlar bir grupta toplanırken, yapılan deneylerde bilye ağırlıkları sabit tutularak elde edilen sonuçlar ise diğer bir grubu oluşturmuş ve bu sonuçlar ilgili alt başlıklarda verilmiştir.

4.1.1.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Ağırlığı ve çapı sabit olan bilyeler deneylerde 6'şar adet arttırılmıştır (6-12-18-24-30). Artan bilye sayısı ve devir sayısı ile birlikte aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için her bir devire ait Los Angeles aşınma tekrar yapılmıştır ve deney sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir. 6 bilye kullanılarak 500, 1000, 1500 ve 2000 devir için yapılan aşınma deneyi ile hesaplanan $LA(\%)$ 'si, fraksiyon katsayısı ve 0.063^{mm} elekten geçen % miktar Tablo 4.1'de verilmiştir. Sırası ile 12 bilye kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.2'de, 18 bilye için Tablo 4.3'de, 24 bilye için Tablo 4.4'de ve son olarak 30 bilye için Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.1. 6 bilye ile (2500 gr) Los Angeles deney sonuçları

2500 gr (6 bilye) ile Los Angeles (2492 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	7.1	101	58.7
5000	1000	13.6		
5000	1500	20.6		
5000	2000	27.9		

Tablo 4.2. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (12 bilye) ile Los Angeles (5008 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	11.5	99	50.6
5000	1000	24.1		
5000	1500	36.4		
5000	2000	47.0		

Tablo 4.3. 18 bilye ile (7496 gr) Los Angeles deney sonuçları

7500 gr (18 bilye) ile Los Angeles (7496 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	16.1	92	45.3
5000	1000	33.6		
5000	1500	48.8		
5000	2000	60.6		

Tablo 4.4. 24 bilye ile (9995 gr) Los Angeles deney sonuçları

10000 gr (24 bilye) ile Los Angeles (9995 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	21.5	94	42.2
5000	1000	43.8		
5000	1500	60.8		
5000	2000	72.6		

Tablo 4.5. 30 bilye ile (12610 gr) Los Angeles deney sonuçları

12500 gr (30 bilye) ile Los Angeles (12610 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	29.6	106	45.6
5000	1000	58.9		
5000	1500	79.4		
5000	2000	90.7		

4.1.1.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Los Angeles aşınma deneyi üzerinde sabit tutulan bilye ağırlığının aşınma ile olan etkisini incelemek için 5000 gr sabit bilye ağırlığına sahip 12, 48 ve 96 bilye kullanılmıştır. 1. gruptaki çalışmaya paralel olarak devir sayısı ile birlikte aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için her bir devire ait Los Angeles aşınma tekrar yapılmış ve deney sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir. 12 bilye kullanılarak 500, 1000, 1500 ve 2000 devir için yapılan aşınma deneyi ile hesaplanan $LA(\%)$ 'si, fraksiyon katsayısı ve 0.063^{mm} elekten geçen % miktar Tablo 4.6'de, 48 bilye kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.7'de ve son olarak 96 bilye için Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.6. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (12 bilye) ile Los Angeles (5008 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	11.5	99	50.6
5000	1000	24.1		
5000	1500	36.4		
5000	2000	47.0		

Tablo 4.7. 48 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (48 bilye) ile Los Angeles (4999 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	9.9	136	70.6
5000	1000	20.1		
5000	1500	30.3		
5000	2000	39.2		

Tablo 4.8. 96 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (96 bilye) ile Los Angeles (5000 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	6.2	159	94.1
5000	1000	12.1		
5000	1500	17.8		
5000	2000	22.8		

4.1.2. Haroğlu Beton Los Angeles Deney Sonuçları

Haroğlu Beton kalker agregaları ile yapılan aşınma deneyinde bilye sayısı sabit artırılarak elde edilen sonuçlar bir grupta toplanırken, yapılan deneylerde bilye ağırlıkları sabit tutularak elde edilen sonuçlar ise diğer bir grubu oluşturmuş ve bu sonuçlar ilgili alt başlıklarda verilmiştir.

4.1.2.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Ağırlığı ve çapı sabit olan bilyeler deneylerde 6'şar adet arttırılmıştır (6-12-18-24-30). Artan bilye sayısı ve devir sayısı ile birlikte aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için her bir devire ait Los Angeles aşınma tekrar yapılmış ve deney sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir. 6 bilye kullanılarak 500, 1000, 1500 ve 2000 devir için yapılan aşınma deneyi ile hesaplanan $LA(\%)$ 'si, fraksiyon katsayısı ve 0.063^{mm} elekten geçen % miktar Tablo 4.9'da, 12 bilye kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.10'da, 18 bilye için Tablo 4.11'de, 24 bilye için Tablo 4.12'de ve son olarak 30 bilye için Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.9. 6 bilye ile (2507 gr) Los Angeles deney sonuçları

2500 gr (6 bilye) ile Los Angeles (2507 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	28.5	167	71.2
5000	1000	49.7		
5000	1500	67.2		
5000	2000	81.3		

Tablo 4.10. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (12 bilye) ile Los Angeles (5008 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	46.2	153	52.8
5000	1000	75.5		
5000	1500	92.3		
5000	2000	98.5		

Tablo 4.11. 18 bilye ile (7495 gr) Los Angeles deney sonuçları

7500 gr (18 bilye) ile Los Angeles (7495 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	60.2	156	47.8
5000	1000	90.9		
5000	1500	99.0		
5000	2000	99.5		

Tablo 4.12. 24 bilye ile (10021 gr) Los Angeles deney sonuçları

10000 gr (24 bilye) ile Los Angeles (10021 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	71.9	139	49.6
5000	1000	97.6		
5000	1500	99.6		
5000	2000	99.5		

Tablo 4.13. 30 bilye ile (12605 gr) Los Angeles deney sonuçları

12500 gr (30 bilye) ile Los Angeles (12605 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	82.7	142	50.9
5000	1000	99.4		
5000	1500	99.7		
5000	2000	99.6		

4.1.2.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Los Angeles aşınma deneyi üzerinde sabit tutulan bilye ağırlığının aşınma ile olan etkisini incelemek için 5000 gr sabit bilye ağırlığına sahip 12, 48 ve 96 bilye kullanılmıştır. 1. gruptaki çalışmaya paralel olarak devir sayısı ile birlikte aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için her bir devire ait Los Angeles aşınma tekrar yapılmış ve deney sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir. 12 bilye kullanılarak 500, 1000, 1500 ve 2000 devir için yapılan aşınma deneyi ile hesaplanan $LA(\%)$ 'si, fraksiyon katsayısı ve 0.063^{mm} elekten geçen % miktar Tablo 4.14'de, 48 bilye kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.15'de ve son olarak 96 bilye için Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.14. 12 bilye ile (5008 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (12 bilye) ile Los Angeles (5008 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	46.2	153	52.8
5000	1000	75.5		
5000	1500	92.3		
5000	2000	98.5		

Tablo 4.15. 48 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (48 bilye) ile Los Angeles (4999 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	40.3	99	66.9
5000	1000	63.9		
5000	1500	75.6		
5000	2000	81.2		

Tablo 4.16. 96 bilye ile (5000 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (96 bilye) ile Los Angeles (5000 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	33.2	167	74.2
5000	1000	54.0		
5000	1500	64.1		
5000	2000	69.3		

4.1.3. Alacakaya Vişne Mermer Los Angeles Deney Sonuçları

Alacakaya vişne mermer agregaları ile yapılan aşınma deneyinde bilye sayısı artırılarak elde edilen sonuçlar bir grupta toplanırken, yapılan deneylerde bilye ağırlıkları sabit tutularak elde edilen sonuçlar ise diğer bir grubu oluşturmuştur ve bu sonuçlar ilgili alt başlıklarda verilmiştir.

4.1.3.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Ağırlığı ve çapı sabit olan bilyeler deneylerde 6'şar adet arttırılmıştır (6-12-18-24-30). Artan bilye sayısı ve devir sayısı ile birlikte aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için her bir devire ait Los Angeles aşınma tekrar yapılmış ve deney sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir. 6

bilye kullanılarak 500, 1000, 1500 ve 2000 devir için yapılan aşınma deneyi ile hesaplanan $LA(\%)$ 'si, fraksiyon katsayısı ve 0.063^{mm} elekten geçen % miktar Tablo 4.17'de, 12 bilye kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.18'de, 18 bilye için Tablo 4.19'da, 24 bilye için Tablo 4.20'de ve son olarak 30 bilye için Tablo 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4.17. 6 bilye ile (2507 gr) Los Angeles deney sonuçları

2500 gr (6 bilye) ile Los Angeles (2507 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	21.2	115	52.6
5000	1000	38.0		
5000	1500	51.4		
5000	2000	62.2		

Tablo 4.18. 12 bilye ile (5006 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (12 bilye) ile Los Angeles (5006 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	32.5	100	43.1
5000	1000	56.7		
5000	1500	73.9		
5000	2000	84.7		

Tablo 4.19. 18 bilye ile (7495 gr) Los Angeles deney sonuçları

7500 gr (18 bilye) ile Los Angeles (7495 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	43.8	78	37.8
5000	1000	72.2		
5000	1500	88.7		
5000	2000	97.2		

Tablo 4.20. 24 bilye ile (10017 gr) Los Angeles deney sonuçları

10000 gr (24 bilye) ile Los Angeles (10017 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	53.7	98	40.0
5000	1000	82.8		
5000	1500	96.2		
5000	2000	99.1		

Tablo 4.21. 30 bilye ile (12594 gr) Los Angeles deney sonuçları

12500 gr (30 bilye) ile Los Angeles (12594 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	61.1	108	39.5
5000	1000	90.4		
5000	1500	98.8		
5000	2000	99.6		

4.1.3.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Los Angeles aşınma deneyi üzerinde sabit tutulan bilye ağırlığının aşınma ile olan etkisini incelemek için 5000 gr sabit bilye ağırlığına sahip 12, 48 ve 96 adet bilye kullanılmıştır. 1. gruptaki çalışmaya paralel olarak devir sayısı ile birlikte aşınma arasındaki ilişkiyi incelemek için her bir devire ait Los Angeles aşınma tekrar yapılmış ve deney sonuçları ayrı ayrı incelenmiştir. 12 bilye kullanılarak 500, 1000, 1500 ve 2000 devir için yapılan aşınma deneyi ile hesaplanan $LA(\%)$ 'si, fraksiyon katsayısı ve 0.063^{mm} elekten geçen % miktar Tablo 4.22'de, 48 bilye kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.23'de ve son olarak 96 bilye için Tablo 4.24'de verilmiştir.

Tablo 4.22. 12 bilye ile (5006 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (12 bilye) ile Los Angeles (5006 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	32.5	100	43.1
5000	1000	56.7		
5000	1500	73.9		
5000	2000	84.7		

Tablo 4.23. 48 bilye ile (4999 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (48 bilye) ile Los Angeles (4999 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	27.1	108	46.4
5000	1000	47.9		
5000	1500	61.7		
5000	2000	70.6		

Tablo 4.24. 96 bilye ile (5000 gr) Los Angeles deney sonuçları

5000 gr (96 bilye) ile Los Angeles (5000 gr)				
Toplam Malzeme (gr)	Devir Sayısı	LA (%)	0.063 ^{mm} elek altında kalan miktar (P)	Fraksiyon katsayısı (% f)
5000	500	22.9	129	54.1
5000	1000	40.3		
5000	1500	53.2		
5000	2000	59.6		

4.1.4. Kalker ve Mermer Agregalarının Los Angeles Deney Sonuçları

Bir önceki bölümde ayrı ayrı verilen agregaların aşınma dayanımlarının bilye sayısı ile değişimleri bu başlıkta birlikte incelemiştir. Artan bilye sayısı ve sabit tutulan bilye ağırlığının kalker ve mermer agregaları ile elde edilen sonuçlarını bir bütün olarak değerlendirmek için üstteki alt başlıklara benzer olarak, bilye sayısı artırılarak elde edilen sonuçlar bir grupta toplanırken, yapılan deneylerde bilye ağırlıkları sabit tutularak elde edilen sonuçlar ise diğer bir grubu oluşturmuştur ve bu sonuçlar ilgili alt başlıklarda verilmiştir.

4.1.4.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Kalker ve mermer agregalarına ait ayrı ayrı verilen sonuçların bu bölümde daha iyi anlaşılması için tablolar bir arada verilmiştir. 6 bilye kullanılarak (aynı ağırlığa ve aynı çapa sahip) elde edilen sonuçlar Tablo 4.25’de birleştirilmiştir. Artan devir sayısı ile birlikte agregaların $LA(\%)$ ’si % 7 ile % 82 arasında değişmektedir. Tabloya göre en iyi sonuç Harput kalker agregaları ile elde edilirken, en düşük sonuçlar Haroğlu kalker agregalarında görülmüştür. Alacakaya vişne mermerlerin aşınma direnci ise kalker agregalarının arasında kalmıştır.

Tablo 4.25. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (6 bilye ile)

6 bilye ile LA (%)			
Devir sayısı	Harput kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	7.1	28.5	21.2
1000	13.6	49.7	38.0
1500	20.6	67.2	51.4
2000	27.9	81.3	62.2

Agregaların aşınma direncinin standartlara olan uygunluğu 12 bilye ile 500 devir aşınma sonrasında değerlendirilir. Tablo 4.26'ya göre, artan devir sayısı ile birlikte agregaların $LA(\%)$ 'si % 11 ile % 99 arasında değişmektedir. 500 devir sonra Harput kalker agregalarının $LA(\%)$ 'si 11.5 olarak, Alacakaya vişne mermer agregalarında ise bu değer 32.5 olarak hesaplanmıştır. Tabloya göre mermer agregalarının aşınma direnci Harput kalker agregalarına göre düşük, Haroğlu kalker agregalarına göre yüksektir. % 46.2 ile en düşük $LA(\%)$ 'sine sahip olan Haroğlu kalker agregaları vişne mermerlere göre % 42 daha az direnç göstermiştir.

Tablo 4.26. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (12 bilye ile)

12 bilye ile LA (%)			
Devir sayısı	Harput kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	11.5	46.2	32.5
1000	24.1	75.5	56.7
1500	36.4	92.3	73.9
2000	47.0	98.5	84.7

Daha sonra bilye sayısı 6 bilye daha artırılarak 18 bilye ile yapılan aşınma deneyine ait agregaların $LA(\%)$ 'si Tablo 4.27'de verilmiştir. Artan devir sayısı ile birlikte agregaların $LA(\%)$ 'si % 16 ile % 100 arasında değişmektedir. İlk 500 devirden sonra bir 500 devir daha yapan agregaların aşınma direnci, Harput kalker agregalarında 2 katından biraz fazla, Haroğlu kalker agregalarında % 51 ve Alacakaya vişne mermerlerde ise % 65 azalmıştır.

Buna göre bir kez aşınan agregaların (500 devir) ikinci kez aşınması sonucunda (1000 devir) düşen aşınma direncinde en yüksek yüzde Harput kalker agregalarına aittir. 1000 devir aşınma yapan kalker ve mermer agregalarının $LA(\%)$ 'lerini incelersek % 33.1 ile en yüksek direnç gösteren Harput kalkerler, artan devir sayısı ile kendi içlerinde en düşük aşınma dayanımına sahiptir.

Tablo 4.27. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (18 bilye ile)

18 bilye ile LA (%)			
Devir sayısı	Harput kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	16.1	60.2	43.8
1000	33.6	90.9	72.2
1500	48.8	99.0	88.7
2000	60.6	99.5	97.2

24 bilye ile yapılan aşınma deney sonuçları Tablo 4.28 de verilmiştir. Artan devir sayısı ile birlikte agregaların $LA(\%)$ 'si % 22 ile % 100 arasında değişmektedir. Artan bilye sayısı ve artan devir sayısının agregaların $LA(\%)$ 'sini düşürdüğü görülmektedir. 1000-1500 ve 2000 devir aşınma yapan Haroğlu kalker agregalarının $LA(\%)$ 'lerinin birbirine çok yakın olduğu dikkat çekmektedir. 1000 ve 1500 devir aşınma yapan agregalar için, Harput kalker agregalarının $LA(\%)$ 'si % 39 azalırken, Alacakaya vişne mermerlerde %16 düşme görülmüştür.

Tablo 4.28. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (24 bilye ile)

24 bilye ile LA (%)			
Devir sayısı	Harput kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	21.5	71.9	53.7
1000	43.8	97.6	82.8
1500	60.8	99.6	96.2
2000	72.6	99.5	99.1

Ve son olarak 6 bilye daha arttırılıp toplam 30 bilye ile yapılan aşınma deney sonuçları ile hesaplanan agregalara ait $LA(\%)$ 'leri Tablo 4.29'da verilmiştir. Artan devir sayısı ile birlikte agregaların $LA(\%)$ 'si % 29 ile % 100 arasında değişmektedir. Agregaların aşınma dirençleri oldukça düşmüştür. 2000 devir aşınma yapan Haroğlu kalker ve Alacakaya vişne mermerlerin $LA(\%)$ 'leri aynı çıkmıştır. Tabloya göre 1500 ve 2000 devir aşınma yapan Harput kalker agregalarının $LA(\%)$ 'si % 14 azalmıştır.

Tablo 4.29. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (30 bilye ile)

30 bilye ile $LA(\%)$			
Devir sayısı	Harput kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	29.6	82.7	61.1
1000	58.9	99.4	90.4
1500	79.4	99.7	98.8
2000	90.7	99.6	99.6

4.1.4.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçları

Bir önceki bölümde kalker ve mermer agregalarına ait ayrı ayrı verilen sonuçlar bu bölümde birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmanın 2. grubunu oluşturan sabit bilye ağırlığının agregaların aşınma dayanımına olan etkisi birlikte incelenmiştir. 12, 48 ve 96 bilye (ağırlığı 5000 gr) kullanılarak yapılan aşınma deneyine ait sonuçlar sırasıyla aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Tablo 4.30'da 12 bilye kullanılarak yapılan aşınma deneyi sonucunda artan devir sayısı ile hesaplanan agregaların $LA(\%)$ 'si verilmiştir.

Tablo 4.30. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (12 bilye ile)

12 bilye ile $LA(\%)$			
Devir sayısı	Harput kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	11.5	46.2	32.5
1000	24.1	75.5	56.7
1500	36.4	92.3	73.9
2000	47.0	98.5	84.7

Tablo 4.31’de bilye ağırlığı sabit tutulmuş olup çapı daha küçük olan 48 bilye ile aşınma deneyi yapılmıştır. Küçülen bilye çapları agregaların aşınma direncini arttırırken, artan devir sayısı ile birlikte agregaların aşınma dayanımları azalmıştır. Yapılan deneyler sonucunda agregaların $LA(\%)$ ’si % 9 ile % 82 arasında değişmektedir. 500 ve 1000 devir aşınma yapan agregalar için; Harput kalker agregalarının $LA(\%)$ ’si 2 katından biraz fazla, Haroğlu kalkerlerinin $LA(\%)$ ’si % 59, Alacakaya vişne mermerlerin % 77 azalmıştır. Bu sonuçlara göre en büyük azalma Harput kalker agregalarında, en küçük azalma ise Haroğlu kalkerlerinde görülmüştür. 1500 ve 2000 devirlik aşınmadan sonra beklenildiği gibi agregaların aşınmaya olan direnci azalmıştır.

Tablo 4.31. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (48 bilye ile)

48 bilye ile LA (%)			
Devir sayısı	Harput kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	9.9	40.3	27.1
1000	20.1	63.9	47.9
1500	30.3	75.6	61.7
2000	39.2	81.2	70.6

Bir önceki tablodan elde edilen sonuçlar ile daha küçük çapta bilye kullanılırsa aşınma dayanımı daha yüksek agrega elde edileceği düşünülmüştür. Bu amaçla 96 bilye ile yapılan aşınma deney sonuçları Tablo 4.32’de verildi. Sonuçlar beklenildiği gibi, küçülen bilye çapları ile aşınma direnci daha yüksek olan agregalar elde edilmiştir. Artan devir sayısı ile birlikte agregaların $LA(\%)$ ’si % 6 ile % 70 arasında değişmektedir. 500 ve 1000 devir aşınma yapan agregalar için, Harput kalker agregalarının $LA(\%)$ ’si yaklaşık 2 kat, Haroğlu kalkerlerinin $LA(\%)$ ’si % 63, Alacakaya vişne mermerlerin % 76 azalmıştır. Bu sonuçlara göre en yüksek azalma Harput kalker agregalarında, en küçük azalma ise Haroğlu kalkerlerinde görülmüştür. 1500 ve 2000 devir aşınmadan sonra beklenildiği gibi agregaların aşınmaya olan direnci azalmıştır.

Tablo 4.32. Kalker ve mermer agregaları Los Angeles deney sonuçları (96 bilye ile)

96 bilye ile LA (%)			
Devir sayısı	Harpur kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
500	6.2	33.2	22.9
1000	12.1	54.0	40.3
1500	17.8	64.1	53.2
2000	22.8	69.3	59.6

4.1.5. Fraksiyon Katsayısı Deney Sonuçları

Agregaların özelliklerini belirlemek için TS 3530 EN 933-1 standardında yer alan fraksiyon katsayıları hesaplanmıştır. Tablo 4.33’de 500 devir aşınma yaptırılan kalker ve mermer agregalarına ait fraksiyon katsayıları verilmiştir.

Tablo 4.33. Artan bilye sayısı ile elde edilen fraksiyon katsayısı deney sonuçları

	Harpur Beton	Haroğlu Beton	Alacakaya Vişne Mermer
6 bilye	58.7	71.2	52.6
12 bilye	50.6	52.8	43.1
18 bilye	45.3	47.8	37.8
24 bilye	42.2	49.6	40.0
30 bilye	45.6	50.9	39.5
48 bilye	70.6	66.9	46.4
96 bilye	94.1	74.2	54.1

4.2. Taze Beton Deney Sonuçları

4.2.1. Çökme Deneyi Sonuçları

Karışımların taze beton özelliğini belirlemek için TS EN 12350-2’ye göre çökme deneyi yapılmıştır. Tablo 4.34’de Ç=300, Ç=350 ve Ç=400 doz olmak üzere 3 farklı dozajda kalker ve mermer agregalar ile üretilen betonların çökme deney sonuçları verildi.

Tablo 4.34. Üretilen beton karışımların çökme deney sonuçları

Çimento	300 doz	350 doz	400 doz
Çökme (slump) değerleri (cm)			
Harpur Kalker	0	2	15
Haroğlu Kalker	2	9	19
Alacakaya vişne mermer	0	2	6

4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.3.1. Basınç Deneyi Sonuçları

28 gün sonra kür havuzundan çıkarılan 100x100x100 mm ve 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3'e uygun olarak basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Bu numunelere ait basınç mukavemet değerleri (f_c) hesaplanmıştır.

15x15x15 cm³'lük beton numunelerin basınç deneyi sonucunda 3 adet (f_c) basınç mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Bu numunelere ait ortalama değerleri bulmak için elde edilen (f_c) değerleri toplanmış ve 3'e bölünerek elde edilen sonuçlar Tablo 4.35'de verilmiştir.

Tablo 4.35. 15x15x15 cm³'lük numunelerin ortalama f_c değerleri

Dozaj (kg/m ³)	Basınç numuneleri (15x15x15 cm ³)		
	f_c (MPa)		
	Harpur kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
300	40.0	31.2	26.9
350	41.4	35.1	28.9
400	42.3	37.6	33.0

Daha sonra bu işlem 10x10x10 cm³'lük beton numuneler için de yapılmıştır. Bu numunelere ait ortalama (f_c) basınç mukavemet değerleri Tablo 4.36'de verilmiştir.

Tablo 4.36. 10x10x10 cm³'lük numunelerin ortalama f_c değerleri

Dozaj (kg/m ³)	Basınç numuneleri (10x10x10 cm ³)		
	f_c (MPa)		
	Harpur kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
300	42.6	36.3	33.7
350	44.2	37.7	35.5
400	45.0	38.5	36.4

4.3.2. Yarmada Çekme Deney Sonuçları

28 gün sonra kür havuzundan çıkarılan 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde TS EN 12390-6'ya uygun olarak yarmada çekme deneyi yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda hesaplanan 3 adet (f_c) basınç mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Bu numunelere ait ortalama değerleri bulmak için elde edilen (f_c) değerleri toplanmış ve 3'e bölünerek elde edilen sonuçlar Tablo 4.37'de verilmiştir.

Tablo 4.37. 15x15x15 cm³'lük numunelerin ortalama f_c değerleri

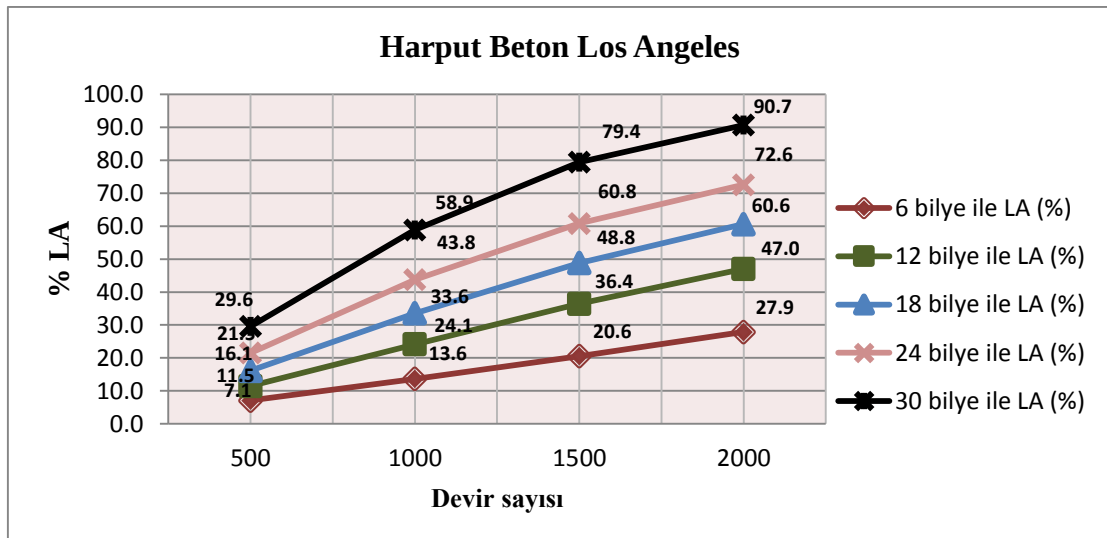
Dozaj (kg/m ³)	Yarmada çekme numuneleri (15x15x15 cm ³)		
	f_c (MPa)		
	Harpur kalker	Haroğlu kalker	Alacakaya vişne mermer
300	3.72	3.14	2.85
350	3.74	3.15	2.87
400	3.75	3.18	2.97

5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Harput Kalker Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.1.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

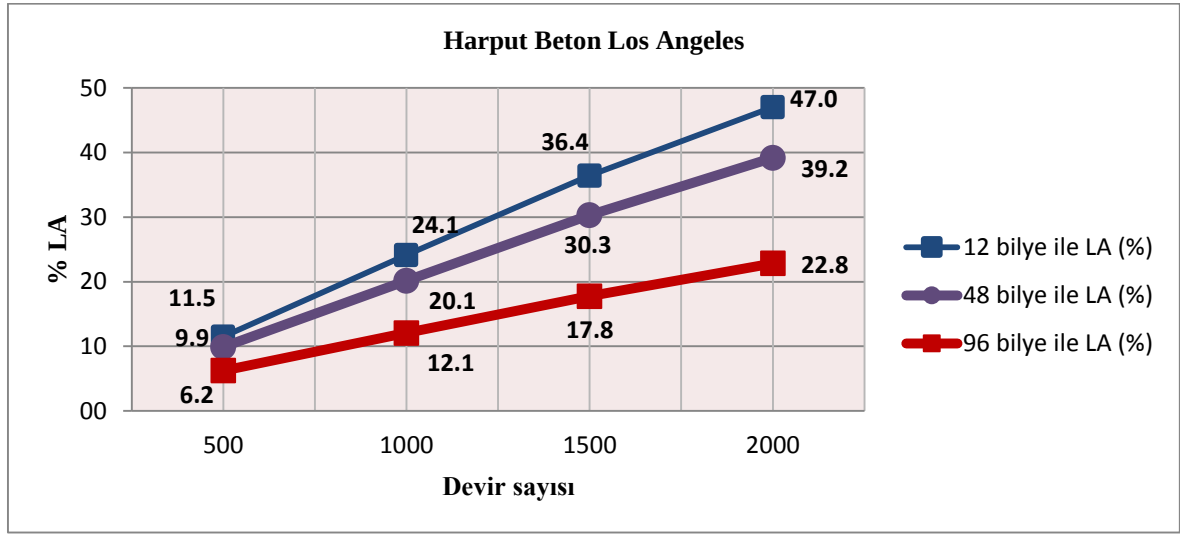
Yapılan aşınma deneyleri sonucunda Harput kalker agregalarına ait bilye sayısı ile $LA(\%)$ arasındaki ilişki Şekil 5.1’de verildi. 6-12-18-24-30 bilye ile yapılan aşınma deneyi ile elde edilen sonuçlara göre agregaların aşınma direnci azalmış ve $LA(\%)$ ’si artmıştır. En yüksek aşınma direnci 6 bilye ile % 7.1 olarak hesaplanırken, en düşük $LA(\%)$ ’si 30 bilye ile % 90.7 olarak hesaplandı. TS EN 1097-2’ye göre standart aşınma dayanımı deneyi 12 bilye ve 500 devir için hesaplanır. Hesaplanan bu değer TS 706 aşınma sınır değerlerine göre maksimum 100 devir için % 10, 500 devir için % 50 olarak belirlendi. Harput kalker agregalarının % 11.5 gibi oldukça yüksek bir dayanıma sahip olduğu söylenebilir. 18 bilye ile yapılan aşınma deneyinde; 500 devir için % 11.5, 1000 devir için % 33.6, 1500 devir için % 48.8, 2000 devir için % 60.6 LA değerleri elde edilmiştir. 18 - 24 bilye kullanılarak yapılan bu deneyde agregaların aşınma direnci; 500 devir için % 40, 1000 devir için % 30, 1500 devir için %25 ve 2000 devir için % 20 azalmıştır. Son olarak toplam bilye ağırlığının oldukça yüksek olduğu 30 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucu 29.6 olarak hesaplanan $LA(\%)$ değeri de standarda uymaktadır.



Şekil 5.1. Harput kalker agregaları ile Los Angeles aşınma

5.1.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Harput kalker agregalarının $LA(\%)$ 'sinin 5000 gr sabit ağırlığa sahip olan bu bilyeler ile arasındaki ilişkiyi incelemek için çizilen grafik Şekil 5.2'de verildi. Bu şekle göre küçülen bilye çapları ile artan bilye sayısı agregaların aşınma direncini arttırmıştır. Sabit ağırlığa sahip bilyeler arasında en yüksek aşınma direnci 96 bilye ile % 6.2, en düşük LA değeri 12 bilye ile % 47 olarak hesaplanmıştır. 12- 48 bilye ile yapılan deneylerde agregaların aşınma direnci, 500 devir için % 17, 1000, 1500 ve 2000 devir için % 20 artmıştır. 48 bilye kullanılarak yapılan aşınma deneyinde; 500 devir için % 9.9, 1000 devir için % 20.1, 1500 devir için % 30.3 ve 2000 devir için % 39.2 LA değerleri elde edilmiştir. Son olarak 96 bilye ile yapılan aşınma deneylerinde, aşınma dayanımı en yüksek olan agregalar elde edildi. Ayrıca, 96 bilye ile 2000 devir aşınma yapan agreganın 22,8 olan $LA(\%)$ 'sinin, 12 bilye ile 1000 devir aşınma yapan agreganın 24.1'lik $LA(\%)$ 'sine çok yakın olduğu görülmektedir.



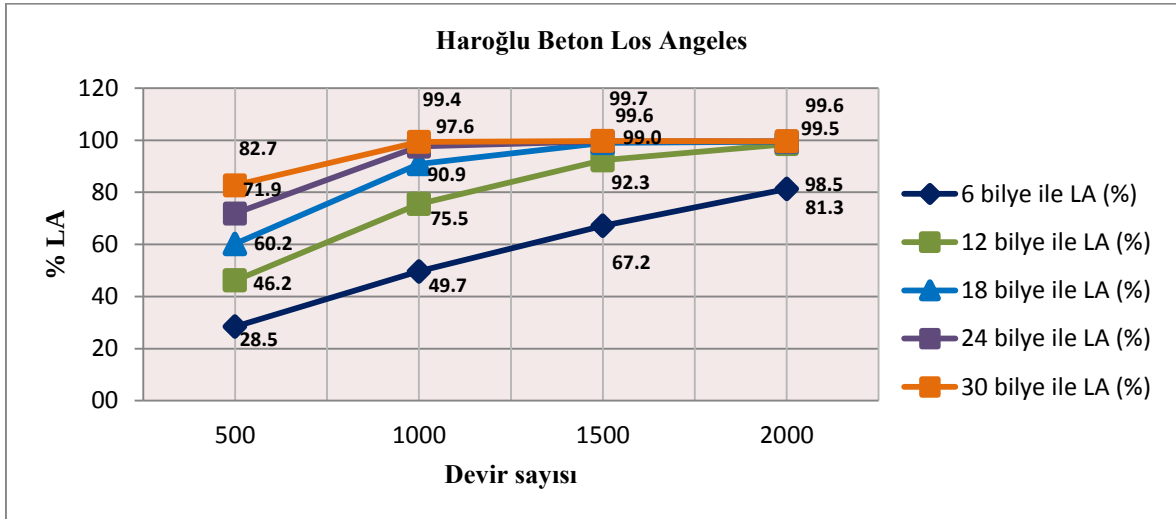
Şekil 5.2. Harput kalker agregaları ile Los Angeles aşınma

5.2. Haroğlu Kalker Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan aşınma deneyleri sonucunda Haroğlu kalker agregalarına ait bilye sayısı ile $LA(\%)$ arasındaki ilişki Şekil 5.3'de verildi. Bilye sayısı arttıkça agregaların aşınma direnci azalırken $LA(\%)$ 'si artmıştır. En yüksek aşınma direnci 6 bilye ile % 28.5 olarak

hesaplanırken, en düşük $LA(\%)$ 'si 12 bilye ile % 98.5 olarak bulundu. 12 bilye ile 500 devir aşınma yapan Haroğlu kalker agregalarının % 46.2 olarak hesaplanan $LA(\%)$ 'si, TS 706'ya göre sınır değeri % 50 olan bu değere oldukça yakın olduğu görülmektedir. 18 bilye ile yapılan aşınma deneyinde; 500 devir için % 60.2, 1000 devir için % 90.9, 1500 devir için % 99.0, 2000 devir için % 99.5 LA değerleri elde edilmiştir. 18 - 24 bilye kullanılarak yapılan bu deneyde agregaların aşınma direnci; 500 devir için % 19, 1000 devir için % 20 azalmıştır. Son olarak toplam bilye ağırlığının oldukça yüksek olduğu 30 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucu 82.7 olarak hesaplanan $LA(\%)$ değeri standardın oldukça üzerindedir. Ayrıca bu agregalarda 18-24-30 bilye ile yapılan deneylerde 1000 devir ve sonrasındaki değerlerin hemen hemen aynı olduğu göze çarpmaktadır.

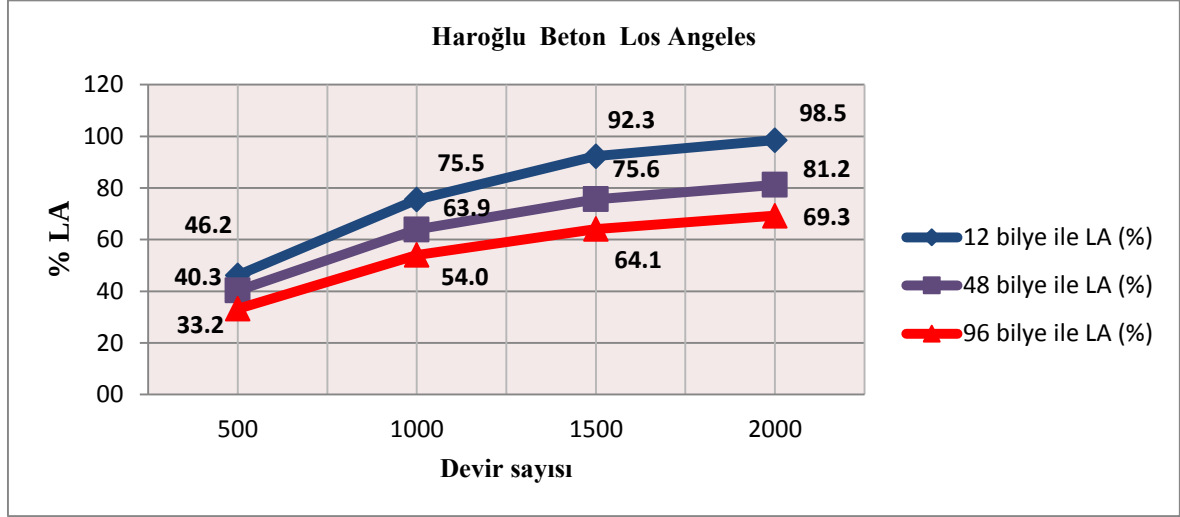


Şekil 5.3. Haroğlu kalker agregaları ile Los Angeles aşınma

5.2.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Haroğlu kalker agregalarının $LA(\%)$ 'sinin sabit bilye ağırlığı ile olan ilişkisi Şekil 5.4'de verildi. Harput kalker agregalarına benzer olarak, küçülen bilye çapları ile artan bilye sayısı agregaların aşınma direncini arttırmıştır. 5000 gr sabit ağırlığı olan bilyeler arasında en yüksek aşınma direnci 96 bilye ile % 33.2, en düşük dayanım 12 bilye ile 98.5 olarak hesaplandı. Ayrıca 12 bilye ile 2000 devir aşınma yapan agregaların aşınmaya karşı direncinin olmadığı görülmektedir. 12- 48 bilye ile yapılan deneylerde agregaların aşınma direnci, 500 devir için % 15, 1000 devir için % 18, 1500 devir için % 22 ve 2000 devir için % 21 artmıştır. 48 bilye kullanılarak yapılan aşınma deneyinde; 500 devir için % 40.3, 1000

devir için % 63.9, 1500 devir için % 75.6 ve 2000 devir için % 81.2 LA değerleri elde edilmiştir. 96 bilye ile yapılan deneylerde aşınma dayanımı en yüksek olan agregalar elde edilmiştir. Ayrıca, 96 bilye ile 1500 devir aşınma yapan agreganın 64.1 olan $LA(\%)$ 'sinin, 48 bilye ile 1000 devir aşınma yapan agreganın 63.9'luk $LA(\%)$ 'sine çok yakın olduğu görülmektedir.

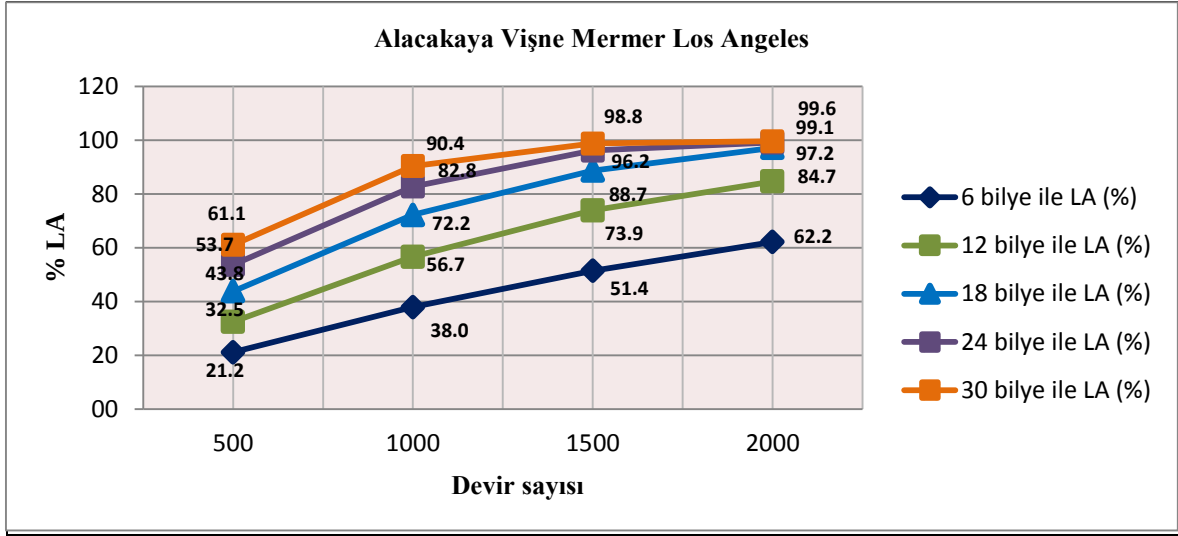


Şekil 5.4. Haroğlu kalker agregaları ile Los Angeles aşınma

5.3. Alacakaya Vişne Mermer Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.3.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

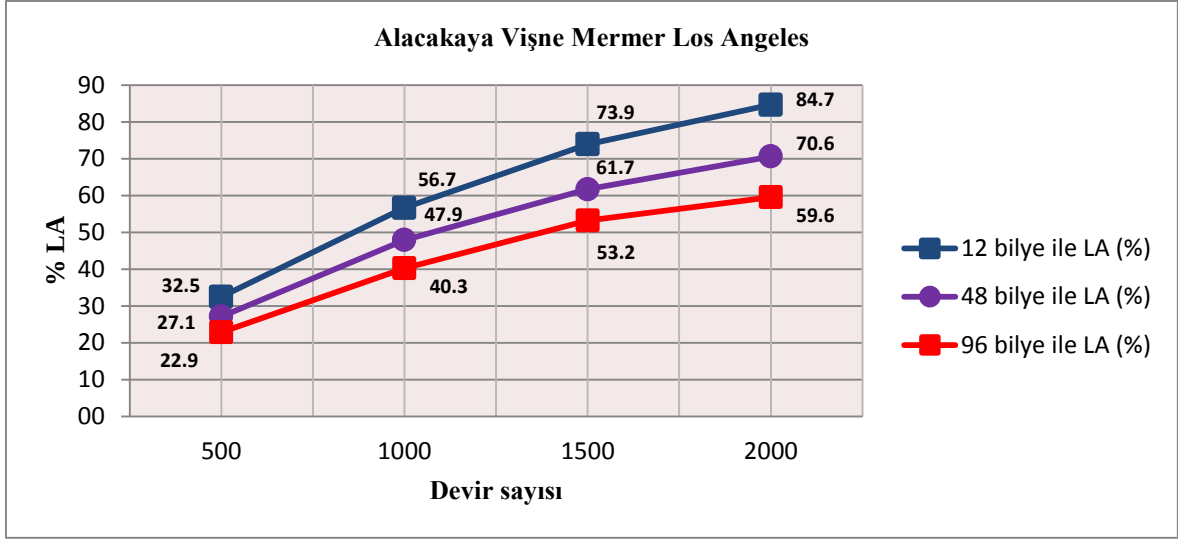
Yapılan aşınma deneyleri sonucunda Alacakaya vişne mermer agregalarına ait bilye sayısı ile $LA(\%)$ arasındaki ilişki Şekil 5.5'de verildi. Bilye sayısı arttıkça agregaların aşınma direnci azalırken $LA(\%)$ 'si artmıştır. En yüksek aşınma direnci 6 bilye ile % 21.2, en düşük $LA(\%)$ 'si 30 bilye ile % 99.6 olarak hesaplandı. 12 bilye ile 500 devir aşınma yapan Alacakaya vişne mermer agregalarının aşınma direnci % 32.5 olarak hesaplanmış ve bu değer TS 706'ya göre uygunluk (maksimum % 50) göstermektedir. 18 bilye ile yapılan aşınma deneyinde; 500 devir için % 43.8, 1000 devir için % 72.2, 1500 devir için % 88.7, 2000 devir için % 97.2 LA değerleri elde edilmiştir. 30 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda hesaplanan LA değerlerinin çoğu % 90'ın üzerindedir. Ayrıca, 18 ve daha fazla bilye ile 1500 ve 2000 devir yapan agregalarda aşınma direnci yok denecek kadar azdır.



Şekil 5.5. Alacakaya vişne mermer agregaları ile Los Angeles aşınma

5.3.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Alacakaya vişne mermer agregalarının $LA(\%)$ 'sinin sabit bilye ağırlığı ile olan ilişkisi Şekil 5.6'de verildi. Harput ve Haroğlu kalker agregalarına benzer olarak, küçülen bilye çapları ile artan bilye sayısı agregaların aşınma direncini arttırmıştır. 5000 gr sabit ağırlığı olan bilyeler arasında en yüksek aşınma direnci 96 bilye ile % 22.9, en düşük LA değeri 12 bilye ile % 84.7 olarak hesaplanmıştır. 12 bilye ile 500 devir aşınma yapan agregaların aşınmaya olan direncinin % 32.5'lik bir değer ile standartlara uygun olduğu görülmektedir. 12- 48 bilye ile yapılan deneylerde agregaların aşınma direnci, 500 - 1000 devir için % 18 ve 1500 -2000 devir için % 20 artmıştır. 48 bilye kullanılarak yapılan aşınma deneyinde; 500 devir için % 27.1, 1000 devir için % 47.9, 1500 devir için % 61.7 ve 2000 devir için % 70.6 LA değerleri elde edilmiştir. Son olarak 96 bilye ile yapılan aşınma deneyleri ile aşınma dayanımı en yüksek olan agregalar elde edilmiştir ve ayrıca, 96 bilye ile 2000 devir aşınma yapan agreganın 59,6 olan $LA(\%)$ 'sinin, 12 bilye ile 1000 devir aşınma yapan agreganın 56.7'lik $LA(\%)$ 'sine çok yakın olduğu görülmektedir.

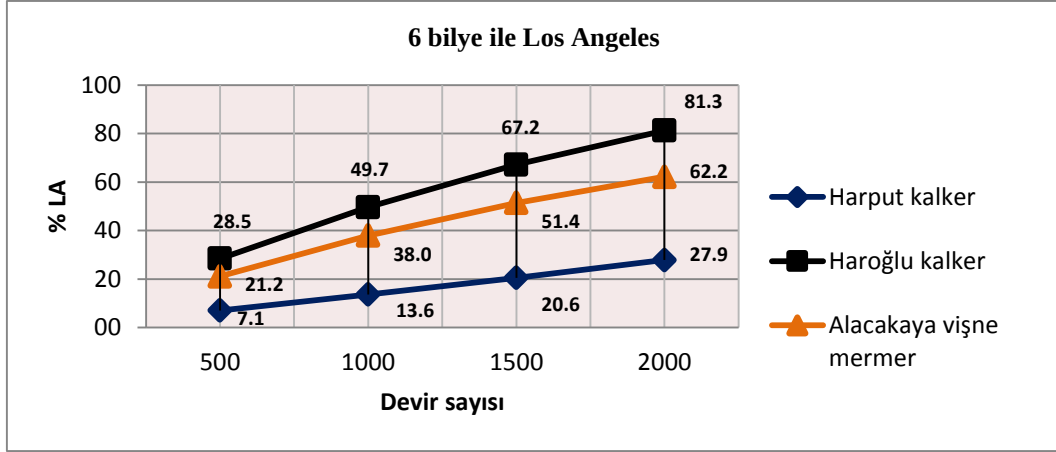


Şekil 5.6. Alacakaya vişne mermer agregaları ile Los Angeles aşınma

5.4. Kalker ve Mermer Agregalarının Los Angeles Deney Sonuçlarının Birlikte Değerlendirilmesi

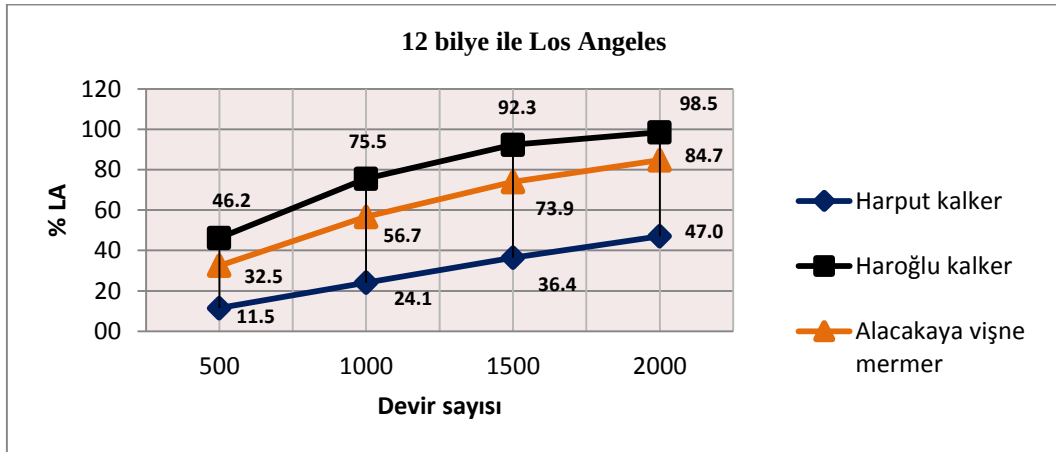
5.4.1. Sabit Bilye Sayısı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir önceki bölümde ayrı ayrı verilen agregaların aşınma dayanımlarının bilye sayısı ile değişimleri bu bölümde birlikte incelemiştir (6-12-18-24-30 bilye ile). Şekil 5.7’de bu çalışmada kullanılan agregaların 6 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ve devir sayısı arasındaki ilişki verilmiştir. Artan devir sayısı ile hem kalker hem de mermer agregalarının $LA(\%)$ ‘si azalmıştır. Agregaların 500 devir için hesaplanan LA değerleri standartlara uymaktadır. 1000 devir için; Harput kalker agregalarının LA değeri % 13.6 ,Alacakaya vişne mermerlerin % 38 ve Haroğlu kalkerlerin %49.7 olarak hesaplanmıştır. 1500 devir için; vişne mermerlerin LA değeri Haroğlu kalkerlerden % 31 daha yüksektir. Son olarak 2000 devir aşınma yapan kalker agregaları için, Harput agregaları Haroğlu’na göre yaklaşık 3 kat daha yüksek bir LA değerine sahiptir.



Şekil 5.7. 6 bilye ile Los Angeles aşınma

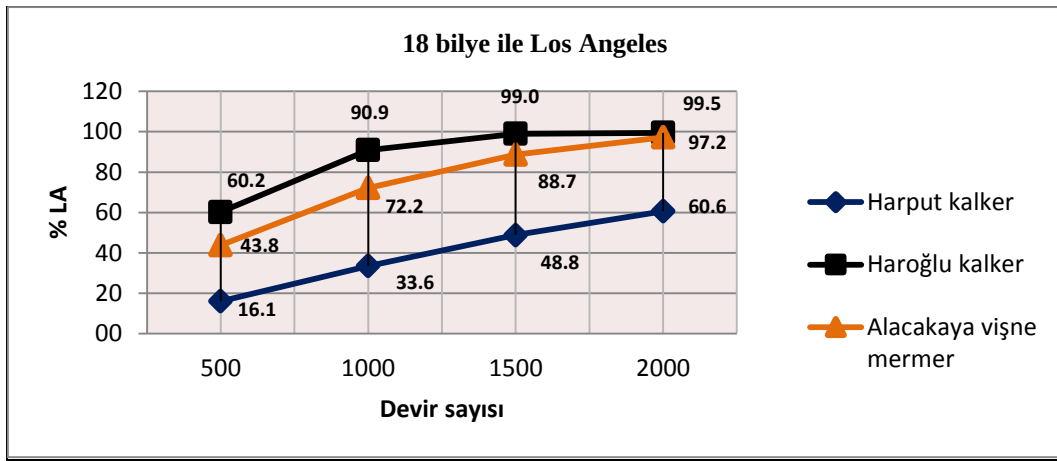
Şekil 5.8’de 12 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ve devir sayısı arasındaki ilişki verilmiştir. Artan bilye sayısı kalker ve mermer agregalarının aşınmaya olan direncini düşürmüştür. Agregaların 500 devir aşınma sonrasında kalker ve vişne mermerlerin $LA(\%)$ ’si standartlarda %50 olarak verilen max değerinin altında olduğu saptandı. 1000 devir için; Harput kalker agregalarının LA değeri % 24.1, Alacakaya vişne mermerlerin % 56.7 ve Haroğlu kalkerlerinin % 75.5 olarak hesaplandı. 1500 devir için; vişne mermerlerin LA değeri Haroğlu kalkerlerden % 25 daha yüksektir. Son olarak 2000 devir aşınma için, Harput kalkerlerinin Haroğlu’na göre 2 katından biraz fazla LA değerine sahip olduğu görüldü.



Şekil 5.8. 12 bilye ile Los Angeles aşınma

Şekil 5.9’da 18 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ve devir sayısı arasındaki ilişki verildi. Artan bilye sayısı ile agregaların aşınmaya olan direnci azalmıştır.

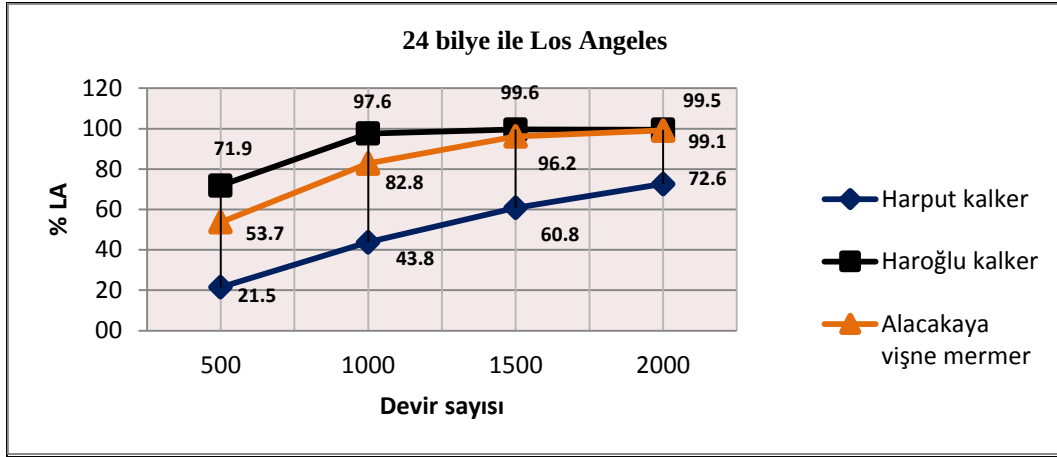
Devir sayısı arttıkça Haroğlu kalker agregalarının $LA(\%)$ 'sindeki değişim, Harput kalker ve Alacakaya vişne mermer agregalarının $LA(\%)$ 'sindeki değişime göre daha azdır. 500 devir aşınma sonrasında Harput kalker ve vişne mermerlerin $LA(\%)$ 'si standartlarda % 50 olarak verilen max değer in altında iken, Haroğlu kalkerlerin $LA(\%)$ 'si standardın üzerindedir. 1000 devir için; Harput kalker agregalarının LA değeri % 33.6, Alacakaya vişne mermerlerin % 72.2 ve Haroğlu kalkerlerin % 90.9 olarak hesaplandı. 1500 devir için; vişne mermerlerin LA değeri Haroğlu kalkerlerden % 12 daha yüksektir. Son olarak 2000 devir aşınma için, Harput kalkerlerinin Haroğlu'na göre % 64 daha yüksek bir LA değerine sahiptir.



Şekil 5.9. 18 bilye ile Los Angeles aşınma

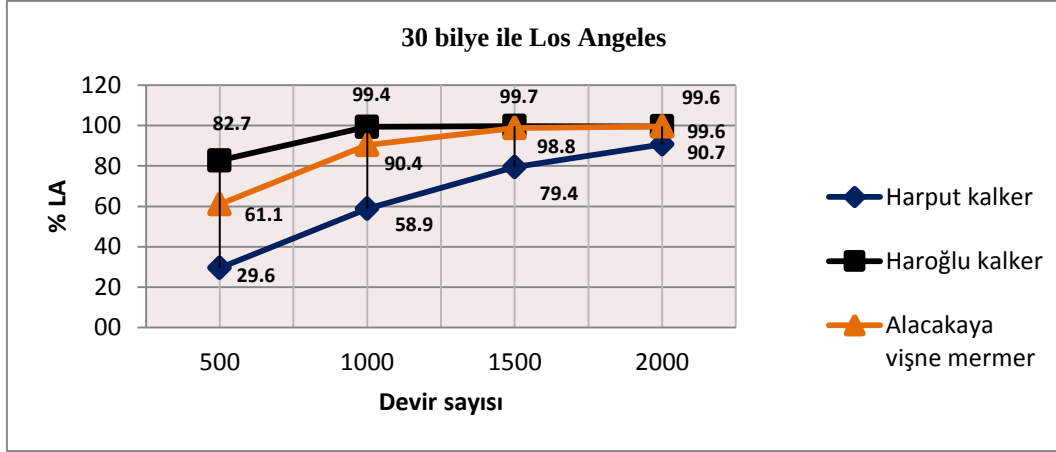
Şekil 5.10'da 24 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ve devir sayısı arasındaki ilişki verildi. Artan bilye sayısı ile agregaların aşınmaya olan direnci oldukça azalmıştır. 500 devir aşınma sonrasında Harput kalkerin $LA(\%)$ 'si standartlarda % 50 olarak verilen max değer in altında iken, Haroğlu kalker ve vişne mermerlerin $LA(\%)$ 'si standardın üzerindedir. 1000 devirde LA değerleri sırası ile, Harput kalker agregaları için % 43.8, Alacakaya vişne mermerleri için % 82.8 ve Haroğlu kalkerleri içinde % 97.6 olarak hesaplandı. 1500 devir için; Haroğlu kalker ve vişne mermerlerin LA değeri birbirine oldukça yakındır. Son olarak 2000 devirlik aşınmada, Harput kalkerin Haroğlu'na göre % 37 daha yüksek bir LA değerine sahip olduğu ve ayrıca Haroğlu kalker agregalarının aşınma direncine dayanım göstermediği dolayısı ile elde edilen sonuçların sağlıklı olmadığı görülmektedir. Benzer şekilde 1500 ve 2000 devir aşınmadan sonra Alacakaya vişne mermer

agregaları da Haroğlu kalkerleri ile benzer sonuçlar göstermiş ve bu agregaların aşınmaya direnci yok denecek kadar az olduğu saptanmıştır.



Şekil 5.10. 24 bilye ile Los Angeles aşınma

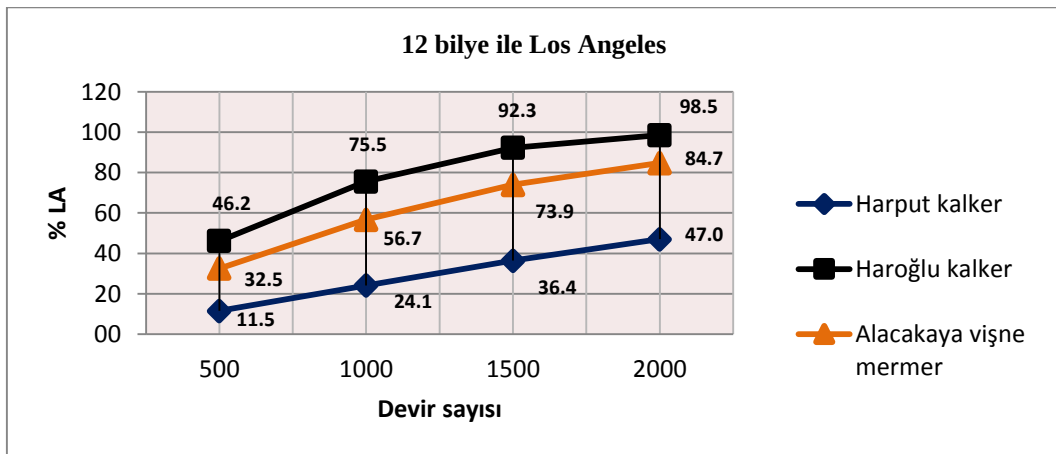
Şekil 5.11’de 30 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ve devir sayısı arasındaki ilişki verildi. Kullanılan bilye sayısı ve tamburdaki toplam bilye ağırlığı mümkün olduğunca artırılıp agregaların $LA(\%)$ ‘si bu şekilde karşılaştırıldı. 500 devir aşınmadan sonra Harput kalker agregalarının $LA(\%)$ ‘sinin 30 bilye kullanılsa dahi standartlarda yer alan maksimum değerin altında (12 bilye - 500 devir için max %50) olduğu görüldü. Haroğlu kalker ve vişne mermerlerin $LA(\%)$ ‘si ise standardın üzerindedir. 1000 devir için; Harput kalker agregalarının LA değeri % 58.9, Alacakaya vişne mermerlerin % 90.4 ve Haroğlu kalkerlerin % 99.4 olarak hesaplandı. Ayrıca, Alacakaya vişne mermer agregalarında 1000 devir ve sonrası için hesaplanan LA değeri % 90’ının üzerinde bulundu. 1500 devir için; Haroğlu kalker ve vişne mermerlerin LA değeri birbirine yakındır. Son olarak 2000 devirlik aşınma için, Harput kalkerin Haroğlu’na göre % 10 daha yüksek bir LA değerine sahip olduğu görüldü. Bilye sayısının arttığı ve toplam bilye ağırlığının oldukça fazla olduğu göz önüne alındığında Harput kalker agregalarının kullanılması ile elde edilen sonuçlar oldukça memnun edicidir.



Şekil 5.11. 30 bilye ile Los Angeles aşınma

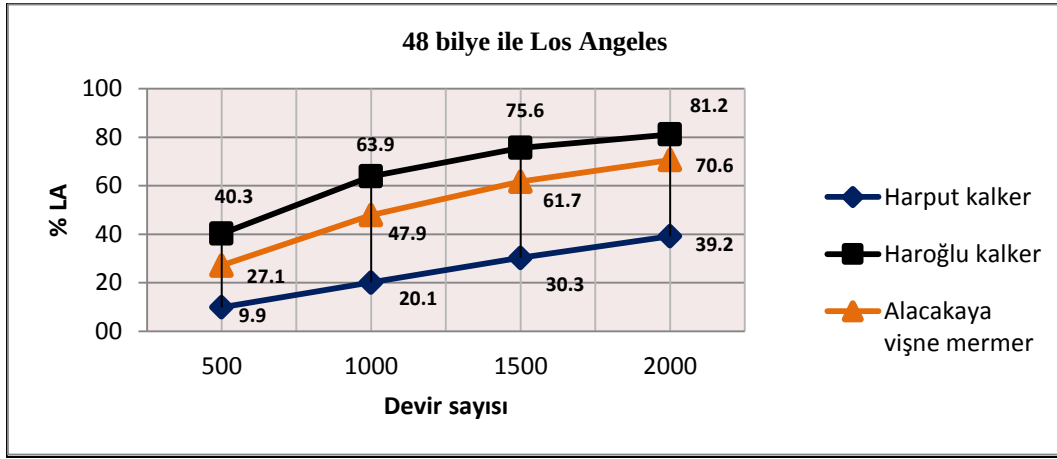
5.4.2. Sabit Bilye Ağırlığı ile Los Angeles Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir önceki bölümde ayrı ayrı verilen 5000 gr ağırlığa sahip olan bilyeler ile (12-48-96) agregaların aşınma dayanımlarının değişimleri bu bölümde birlikte incelendi. Küçülen bilye çapları ile kalker ve mermer agregalarının $LA(\%)$ 'si karşılaştırıldı. Şekil 5.12'de 12 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ve devir sayısı arasındaki ilişki verilmiştir. 500 devir aşınma sonrasında agregaların $LA(\%)$ 'si standartlarda % 50 olarak verilen maksimum değer altında çıkmıştır. 1000 devir için; Harput kalker agregalarının LA değeri % 24.1, Alacakaya vişne mermerlerin % 56.7 ve Haroğlu kalkerlerin % 75.5 olarak hesaplandı. 1500 devir için; Haroğlu kalker agregalarının LA değeri yok denecek kadar az olduğu ve son olarak 2000 devir aşınma için, Harput kalkerlerin Haroğlu'na göre 2 katından biraz daha yüksek bir aşınma direncine sahip olduğu görüldü.



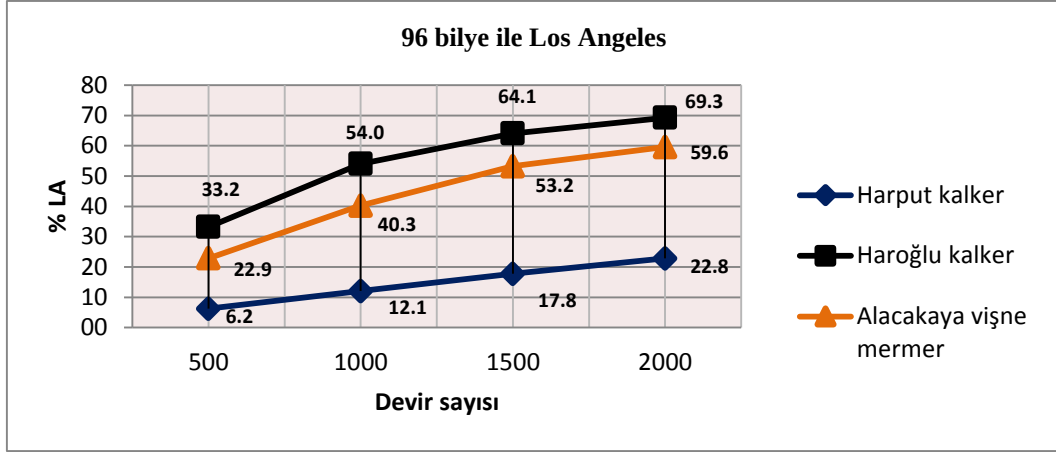
Şekil 5.12. 12 bilye ile Los Angeles aşınma

Şekil 5.13’de 48 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ’si ve devir sayısı arasındaki ilişki verilmiştir. Azalan bilye çapları ve artan bilye sayısı kalker ve mermer agregalarının aşınma direncini arttırmıştır. Bu parametre ile aşınma dayanımı yüksek agregalar elde edilerek istenen sonuca ulaşılmıştır. 500 devir aşınma sonrasında agregaların $LA(\%)$ ’si bir önceki grafiğe göre daha düşük çıkmıştır. 1000 devir için; Harput kalker agregalarının LA değeri % 20.1, Alacakaya vişne mermerlerin % 47.9 ve Haroğlu kalkerlerin % 63.9 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’ e göre, 1500 devir için; Haroğlu kalker agregalarının LA değeri % 22 azalmış ve son olarak 2000 devirlik aşınma için, Harput kalkerin Haroğlu’na göre 2 katından biraz daha yüksek bir aşınma direncine sahip olduğu saptanmıştır.



Şekil 5.13. 48 bilye ile Los Angeles aşınma

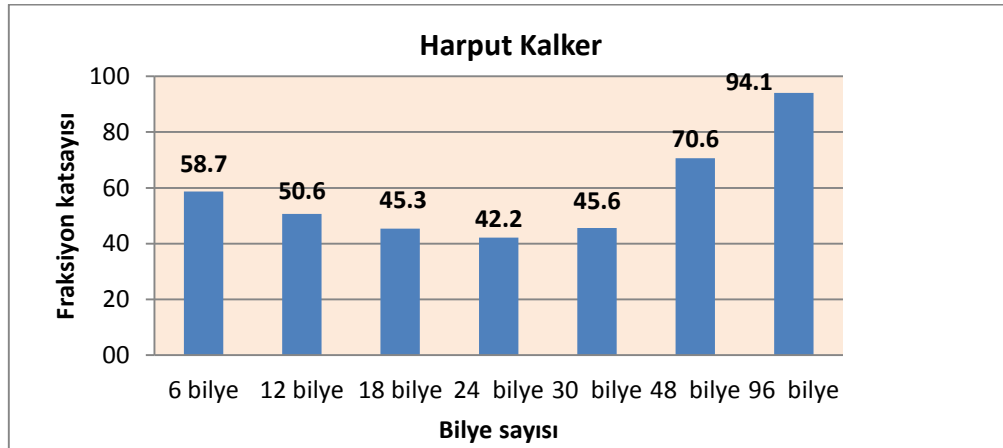
Şekil 5.14’de ise 96 bilye ile yapılan aşınma deneyi sonucunda $LA(\%)$ ’si ve devir sayısı arasındaki ilişki verilmiştir. Bir önceki durum değerlendirilince, daha küçük bilye çapları ile aynı ağırlık sağlanabilirse, daha yüksek aşınma dayanımına sahip agrega elde edileceği düşünüldü. Şekil 5.11 ve Şekil 5.13’ e göre, 500 devir için Harput kalkerin LA değeri % 85, Alacakaya vişnelerin % 42, Haroğlu kalkerlerin % 39 azalmıştır. Bu neticeler ışığında istenilen sonuca ulaşılmıştır. 1000 devir için; Harput kalker agregalarının LA değeri % 12.1, Alacakaya vişne mermerlerin % 40.3 ve Haroğlu kalkerlerin % 54.0 olarak hesaplandı. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’ e göre, 1500 devir için; Haroğlu kalker agregalarının LA değeri % 18 azalmış ve son olarak 2000 devirlik aşınma için, Harput kalkerin Haroğlu’na göre yaklaşık 3 kat yüksek bir aşınma direncine sahip olduğu görüldü.



Şekil 5.14. 96 bilye ile Los Angeles aşınma

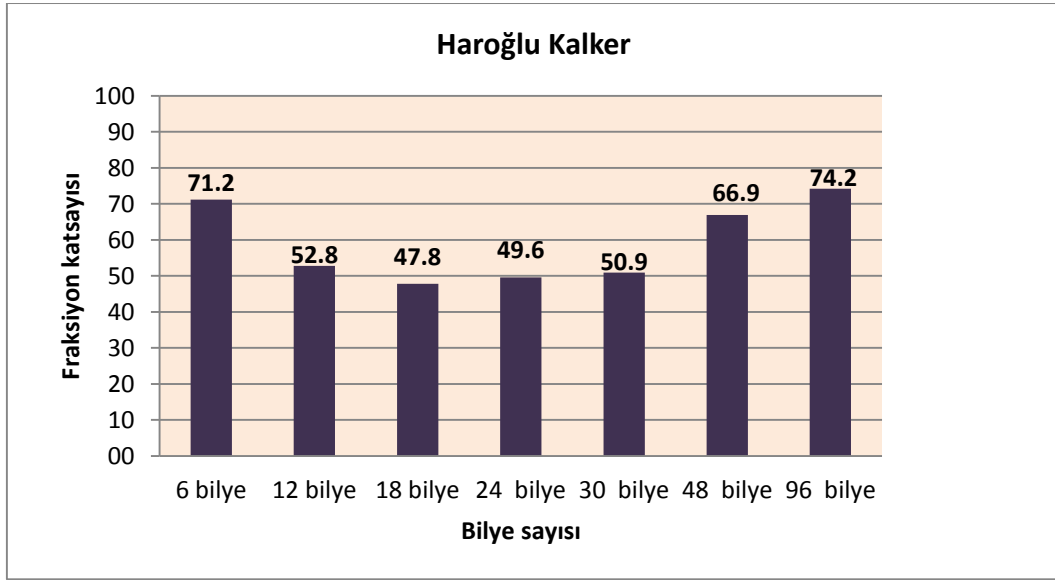
5.5. Fraksiyon Katsayısı Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir önceki bölümde tablo olarak verilen sonuçların her bir agrega türüne ait grafikleri bu başlıkta verildi. 500 devir aşınma yaptırılan kalker ve mermer agregalarına ait fraksiyon katsayıları ilgili tablolarda ayrı ayrı gösterildi. Şekil 5.15’de Harput kalker agregalarına ait 6-12-18-24-30-48-96 bilye aşınmadan sonra hesaplanan fraksiyon katsayıları verilmiştir. Artan bilye sayısı ile birlikte agregaların fraksiyon katsayıları % 42 ile % 95 arasında değişmektedir. 6 bilye aşınmadan sonra bu katsayı % 58.7, 12 bilye aşınmadan sonra % 50.6 olarak hesaplandı. 12-18 bilye aşınma için, bu değer % 12 azaldığı saptandı. 24 bilye ile en düşük fraksiyon katsayısı 42.2 olduğu ve 30 bilye ile elde edilen değer 24 bilye ile elde edilen değere çok yakın olduğu görülmektedir. 30 – 48 bilye için, bu değer % 55 artmıştır. Son olarak en yüksek katsayı 96 bilye kullanılması ile elde edilmiştir.



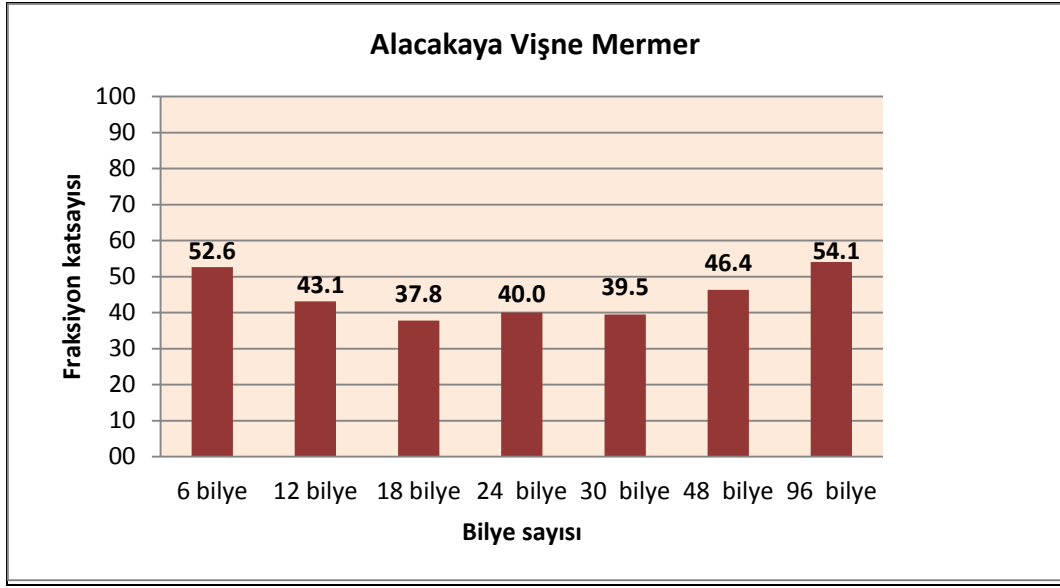
Şekil 5.15. 500 devir aşınma yapan Harput kalker agregalarının fraksiyon katsayıları

Şekil 5.16’da Haroğlu kalker agregalarına ait 500 devir aşınmadan sonra hesaplanan fraksiyon katsayıları verildi. Artan bilye sayısı ile birlikte agregaların fraksiyon katsayıları % 47 - % 75 arasında değişmektedir. 6 bilye aşınmadan sonra % 71.2, 12 bilye aşınmadan sonra % 52.8 olarak hesaplandı. 12-18 bilyenin kullanıldığı aşınma için, bu değer % 10 azalmıştır. 18 bilye ile yapılan deneyde en düşük fraksiyon katsayısı bulundu. 24 bilye ile elde edilen değer 18 bilye ile elde edilen değere çok yakın olduğu görüldü. 30 – 48 bilye için, bu değer % 31 arttığı saptandı. Son olarak en yüksek katsayı 96 bilye kullanılması ile elde edilmiş ve ayrıca 6 bilye ve 96 bilye aşınma yapan agregaların fraksiyon katsayıları (71.2-74.2) birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.



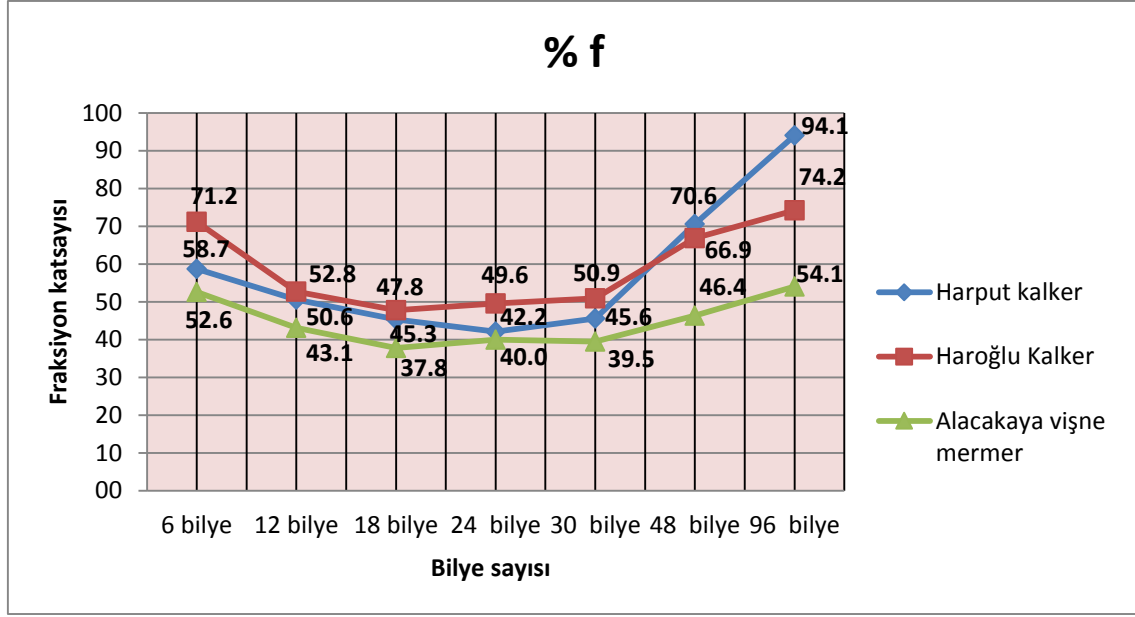
Şekil 5.16. 500 devir aşınma yapan Birlik kalker agregalarının fraksiyon katsayıları

Artan bilye sayısı ile mermer agregalarının fraksiyon katsayılarını birlikte değerlendirmek ve aralarındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için Şekil 5.17’de verilen grafik çizildi. Vişne mermer agregalarının fraksiyon katsayısı değerlerinin pek değişmediği ve yüksek değerlerin de %60’ı aşmadığı görülmektedir. Artan bilye sayısı ile birlikte agregaların fraksiyon katsayıları % 37 ile % 55 arasında değişmektedir. 6 bilye kullanılarak yapılan aşınmadan sonra % 52.6, 12 bilye aşınmadan sonra % 43.1 olarak hesaplanmıştır. 12-18 bilye aşınma için, bu değer % 14 azaldığı, 18 bilye ile yapılan deneyde en düşük fraksiyon katsayısı saptanmıştır. 24 bilye ile elde edilen değer, 18 bilye ile elde edilen değerden biraz daha yüksek çıkmıştır. 30 – 48 bilye için ise, bu değer % 17 artmıştır. Son olarak en yüksek katsayı 96 bilye kullanılması ile elde edilmiştir. Ayrıca 6 bilye ve 96 bilye aşınma yapan agregaların fraksiyon katsayıları (52.6 – 54.1) birbirine yakın çıkmıştır.



Şekil 5.17. 500 devir aşınma yapan Palu vişne mermer agregalarının fraksiyon katsayıları

Kalker ve mermer agregalarının fraksiyon katsayılarını bir bütün olarak incelemek için Şekil 5.18’de verilen grafik çizildi. Artan bilye sayısı ile birlikte agregaların fraksiyon katsayıları % 40 ile % 94.1 arasında değişmektedir. 6 bilye ile yapılan aşınmadan sonra Alacakaya vişnelerde en düşük fraksiyon katsayısı (52.6) görülmüştür. Harput kalkerlere ait bu katsayı vişne mermerlerden % 12, Haroğlu kalkerlerin katsayısı ise % 35 daha yüksek çıkmıştır. 12 bilye için; kalker agregalarının fraksiyon katsayısı % 50’nin üzerinde iken, vişne mermerlerin fraksiyon katsayısı % 50’in altında çıkmıştır. 18 bilye için; her bir agrega türüne ait en düşük değerler görülmüştür. 24 bilye için, hem kalker hem de mermer agregalarının fraksiyon katsayısı % 40 ile % 50 arasında çıkmıştır. 24 – 30 bilye için bu değerler Harput kalkerlerinde % 8, Haroğlu kalkerlerinde % 3 artarken, , Alacakaya vişnelerde hemen hemen aynı çıkmıştır. 48 bilye kullanılarak yapılan aşınma sonucunda tüm agregaların fraksiyon katsayıları oldukça artmıştır. Son olarak 96 bilye kullanılması ile, her bir agrega kendi içerisinde en yüksek fraksiyon katsayısı değerine ulaşmıştır. 54.1, 74.2 ve 94.1 olarak hesaplanan bu değerler içinden Harput agregalarına ait katsayı (94.1) bir hayli yüksektir. Ayrıca, bilye sayısı ile fraksiyon katsayılarının değişim eğrisi Haroğlu kalker ile Alacakaya vişne mermer agregalarında birbirine yakın olup, bu eğrideki değişim Harput kalker agregalarında daha belirgin görülmektedir.



Şekil 5.18. Kalker ve mermer agregalarının fraksiyon katsayıları

5.6. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

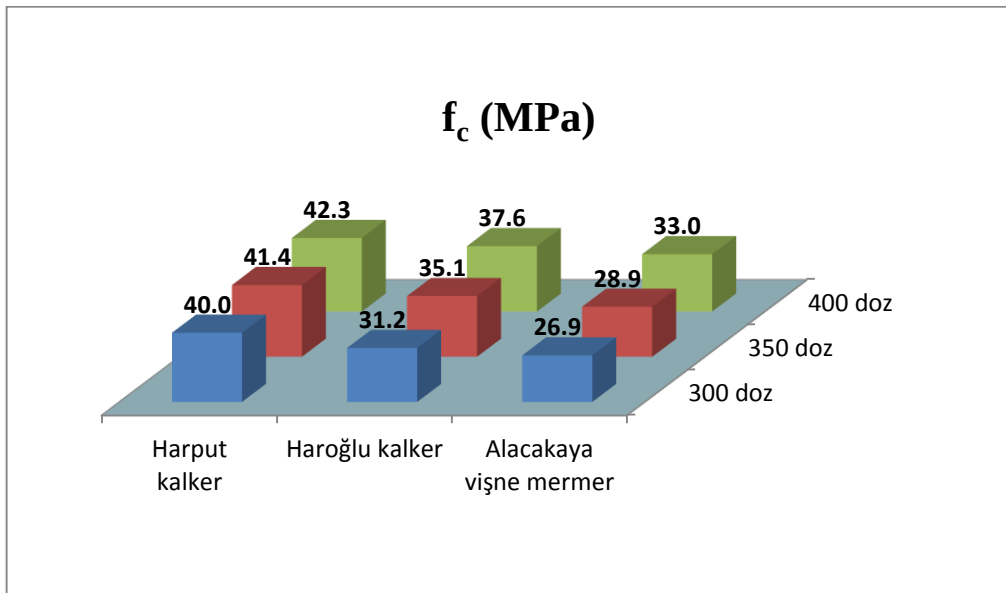
5.6.1. Çökme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Beton karışımların çökme-kıvam değerleri dozaj arttıkça yükselmiştir. Alacakaya vişne mermer agregaları ile üretilen betonlarda $\zeta = 300 \text{ kg/m}^3$ için çökme olmazken, $\zeta = 350 \text{ kg/m}^3$ için 2 cm ve $\zeta = 400 \text{ kg/m}^3$ için 6 cm olmak üzere en düşük kıvam değerleri görülmüştür. Harput kalker agregaları ile üretilen betonlarda $\zeta = 300 \text{ kg/m}^3$ ve $\zeta = 350 \text{ kg/m}^3$ için Alacakaya vişne mermer agregaları ile aynı çökme değerleri elde edilirken $\zeta = 400 \text{ kg/m}^3$ için 15 cm çökme değeri ölçülmüştür. Haroğlu kalker agregaları ile üretilen betonların çökme değeri 2-19 cm arasında değişiklik göstermiş olup her bir dozaj için (300, 350 ve 400 doz) en yüksek çökme değerleri bu agregalar kullanılarak üretilen betonlara aittir.

5.7. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

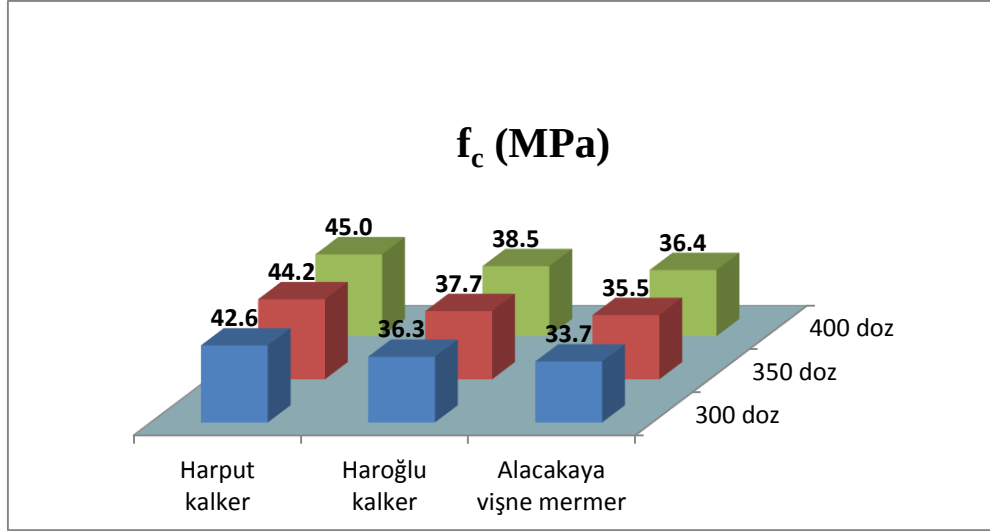
5.7.1. Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

15x15x15 cm³'lik numunelerin ortalama (f_c) basınç dayanım değerleri ile kalker ve mermer agregaları arasındaki ilişkiyi daha iyi inceleyebilmek için Şekil 5.19'da verilen grafik çizilmiştir. 300 dozaj için, Harput kalker agregalarının (f_c)'si 40.0 MPa, Haroğlu kalkerlerin 31.2 MPa, Alacakaya vişnelerin 26.9 MPa olarak hesaplanmıştır. 300-350 dozaj için, Harput'un basınç mukavemeti % 4, Haroğlu'nun % 13 ve Alacakaya'nın ise % 7 artmıştır. Son olarak 400 dozaj için, en yüksek basınç mukavemeti (42.3 MPa) Harput'da, en düşük basınç mukavemeti (33.0 MPa) Alacakaya'da görülürken, Haroğlu'nun basınç mukavemeti (37.6 MPa) bu iki agrega dayanımının arasında kalmıştır.



Şekil 5.19. 15x15x15 cm³'lük numunelerin (f_c) basınç mukavemet değerleri

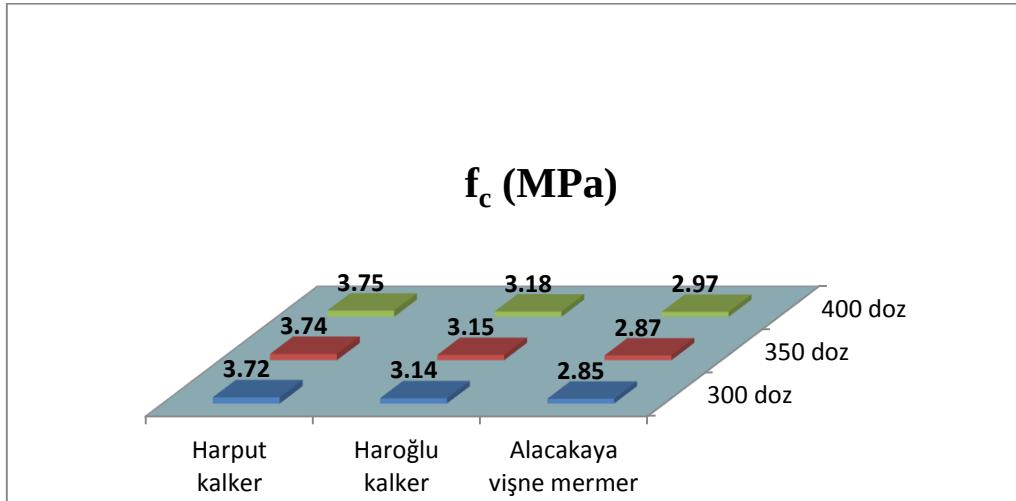
10x10x10 cm³'lük numunelerin ortalama (f_c) basınç mukavemet değerleri ile kalker ve mermer agregaları arasındaki ilişkiyi daha iyi inceleyebilmek için Şekil 5.20'de verilen grafik çizilmiştir. 300 dozaj için, Harput kalker agregalarının (f_c)'si 42.6 MPa, Haroğlu kalkerlerin 36.3 MPa, Alacakaya vişnelerin 33.7 MPa olarak hesaplanmıştır. 300-350 dozaj için, Harput'un ve Haroğlu'nun basınç mukavemeti % 4 Alacakaya'nın ise % 5 artmıştır. Son olarak 400 dozaj için, en yüksek basınç mukavemeti (45.0 MPa) Harput'da, en düşük basınç mukavemeti (36.4 MPa) Alacakaya'da görülürken, Haroğlu'nun basınç mukavemeti (38.5 MPa) bu iki agrega değerinin arasında kalmaktadır.



Şekil 5.20. 10x10x10 cm'lik numunelerin (f_c) basınç mukavemet değerleri

5.7.2. Yarmada Çekme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

10x10x10 cm³'lük numunelerin ortalama (f_c) yarmada çekme mukavemet değerleri ile kalker ve mermer agregaları arasındaki ilişkiyi daha iyi inceleyebilmek için Şekil 5.21'de verilen grafik çizilmiştir. 300 dozaj için, Harput kalker agregalarının (f_c)'si 3.72 MPa, Haroğlu kalkerlerin 3.14 MPa, Alacakaya vişnelerin 2.85 MPa olarak hesaplanmıştır. 300-350 dozaj için, Harput'un yarmada çekme dayanımı % 54, Haroğlu'nun % 32 ve Alacakaya'nın ise % 70 artmıştır. Son olarak 400 dozaj için, en yüksek dayanım (3.75 MPa) Harput'da, en düşük basınç mukavemeti (2.97 MPa) Alacakaya'da görülürken, Haroğlu'nun dayanım değeri (3.18 MPa) bu iki agrega değerinin arasında kalmaktadır.

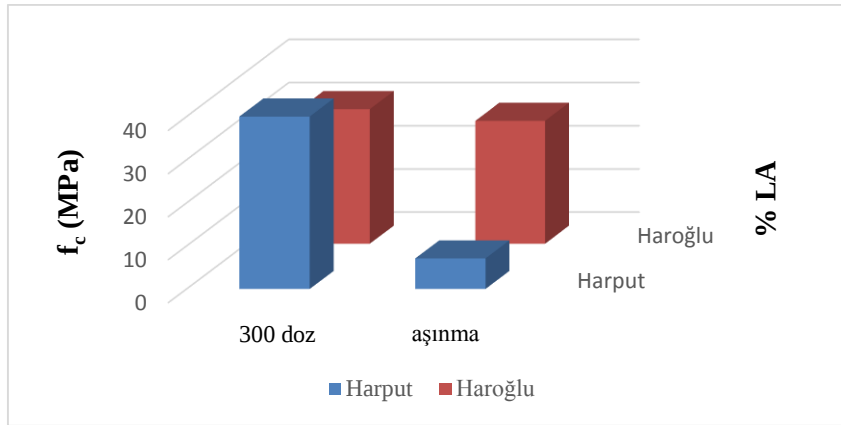


Şekil 5.21. 15x15x15 cm'lik numunelerin (f_c) yarmada çekme mukavemet değerleri

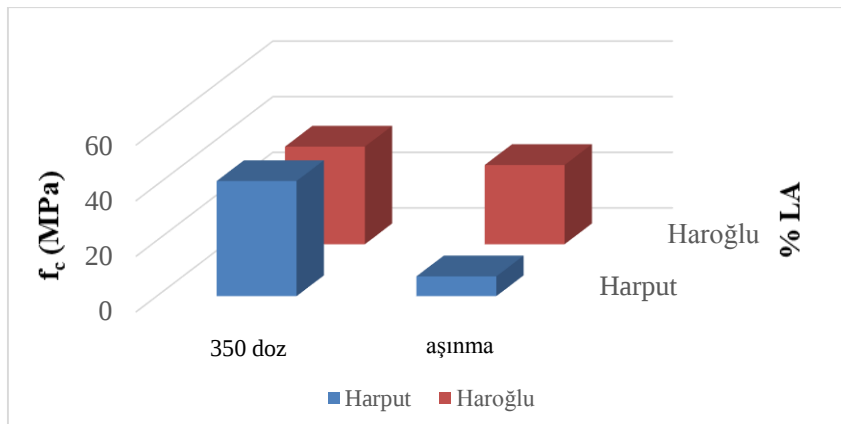
5.8. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Agregaların aşınma dayanımı ile beton basınç dayanımı arasında sıkı bir ilişki mevcuttur. Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri bu ilişkiyi agrega aşınma dayanımı penceresinden değerlendirebilmektir. Genellikle standartlarda agrega aşınma dayanımı belirlenirken, Los Angeles aşınma deneyi kullanıldığından, demir bilye sayısı ve bilye ağırlıkları sabittir. Bu çalışma, bu sabit değerlerin agreganın aşınma dayanımını belirlemede yeterlilik durumunu araştırmaktadır.

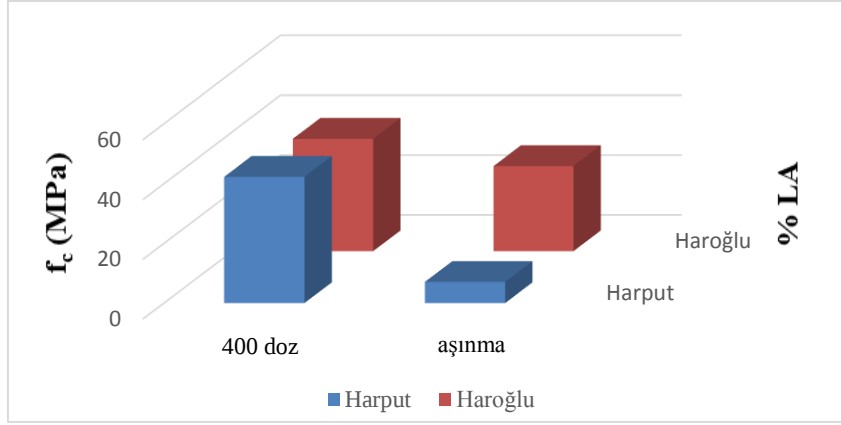
Sekil 5.22, 5.23, 5.24’de görüldüğü gibi agrega dayanımı değişince, karışım oranları aynı olan betonun basınç dayanımı da değişmiştir. Agrega aşınması düşük olan yani Los Angeles aşınma değeri düşük olan agrega ile üretilen betonun basınç dayanımı daha yüksek olmuştur. Aynı durum diğer seriler içinde gözlemlenmiştir.



Şekil 5.22. 300 doz 500 devir için agrega dayanımı basınç dayanımı karşılaştırması



Şekil 5.23. 350 doz 500 devir için agrega dayanımı basınç dayanımı karşılaştırması



Şekil 5.24. 400 doz 500 devir için agrega dayanımı basınç dayanımı karşılaştırması

6. SONUÇLAR

Agregaların aşınma dayanımlarının tespiti teknolojik özellikler kullanılarak yapılmakla birlikte ulusal/uluslararası literatürde farklı deney şartları kullanılarak deneylerin yapıldığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında ise Elazığ yöresine ait agregalar incelenerek literatüre bir katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Agregaların aşınma dayanımlarını farklı şartlar altında incelemek ve bu agregaların aşınma ile basınç dayanımları arasındaki yakınlığı belirlemek için, kalker ve mermer agregalarına 6, 12, 18, 24, 30, 48 ve 96 bilye ile sırasıyla 500, 1000, 1500 ve 2000 devir Los Angeles aşınma yapılan ve bu agregalar kullanılarak $\bar{C} = 300, 350$ ve 400 doz olan beton karışımları oluşturulan, beton numuneleri dökülen ve ilgili numuneler üzerinde basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılan bu tez çalışmasından, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sabit tutulan bilye sayısı arttıkça (6-12-18-24-30 bilye) agregaların aşınmaya olan direnci düşmüş ve LA değerleri artmıştır. Artan bilye sayısı agrega aşınma dayanımını düşürmüştür.
- Sabit tutulan bilye ağırlığı ile (12-48-96 bilye) yapılan aşınma deneyleri için, agregaların aşınma dayanımı artmıştır ve LA değerleri azalmıştır. Aynı ağırlığa sahip daha küçük çapta kullanılan bilyeler beklenen olumlu etkiyi yapmış ve agregaların aşınma direnci artmıştır.
- Artan devir sayısı ile (500-1000-1500-2000 devir) hem 1. gruptaki agregaların hem de 2. gruptaki agregaların aşınmaya olan dayanımları azalmıştır. Artan devir sayısı agrega aşınma direncini düşürmüştür.
- Kalker ve mermer agregalarının birlikte değerlendirilmesi ile en yüksek aşınma direnci Harput kalker, en düşük aşınma direnci Haroğlu kalker agregalarında görülürken, Alacakaya vişne mermerlerin aşınma direnci ise kalker agregalarının arasında kalmıştır.
- Agregaların fraksiyon katsayıları % 40 - % 94.1 arasında değişmektedir. Bu katsayılara ait ilgili sonuçlar deneysel çalışmaların değerlendirilmesinde detaylıca verilmiştir. Ayrıca bilye sayısı ile fraksiyon katsayılarının değişim eğrisi Haroğlu kalker ile Alacakaya vişne mermer agregalarında birbirine yakın olup, bu eğrideki değişim Harput kalker agregalarında daha belirgin görülmektedir.

- Taze beton deney sonuçları için; beton karışımların çökme-kıvam değerleri dozaj arttıkça artmıştır
- Sertleşmiş beton özelliklerinden basınç deney sonuçları için; 15x15x15 cm³'lük numunelerde dozaj arttıkça (300-350 ve 400 doz) Harput kalkerlerin basınç mukavemetleri birbirine yakın çıkmıştır. Haroğlu kalker ve Alacakaya vişne mermerlerin basınç dayanımları ise artmıştır. Her dozaja ait en yüksek basınç mukavemetleri Harput kalkerlerde görülmüştür.
- 10x10x10 cm³'lük numuneler için yapılan basınç deneylerinde ise, kalker agregalarında en yüksek basınç dayanımı 300 dozda görülürken, 350-400 dozdaki dayanımları eşit çıkmıştır. Alacakaya vişnelerde 300'den 350 doza geçerken basınç dayanımları artmış, 400 dozda ise bu dayanım düşmüştür. Son olarak Alacakaya vişnelerde ise en yüksek değer 350 doz ile elde edilmiştir.
- Sertleşmiş beton özelliklerinden bir diğeri olan yarmada çekme deney sonuçları için; 15x15x15 cm³'lük numunelerde dozaj arttıkça (300-350 ve 400 doz) basınç mukavemet değerleri birbirine yakın çıkmıştır.
- Agreganın aşınma dayanımı, betonun aşınma dayanımı üzerinde etkilidir. Tanbur devir sayısı ile aşınma dayanımı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Dolayısıyla tek bir devir aşınmadaki sonuçlar agreganın dayanımını tahmin etmede yeterli olmaktadır.
- Beton için aşınma özelliğinin belirlenmesinde büyük çaplı bilyelerin küçük çaplı bilyelerden daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Büyük çaplı bilyelerle yapılan deneylerde agrega aşınma dayanımı sayısal olarak daha net ifade edilmektedir. Küçük çaplı bilyelerle yapılan deneylerde tanbur devir sayısı arttıkça aşınma değişimi % 30'lar civarında olurken, bu değişim büyük çaplı bilyelerde % 50'lerden daha fazla olmaktadır.

Sonuç olarak, agrega aşınma dayanımının, betonun basınç dayanımı üzerinde % 25 civarında çok büyük ve önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle, gerek araştırma gerekse uygulama amaçlı üretilecek betonların agrega dayanımlarının hassasiyetle belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca bilye sayısı ve çapı sabit kalmak üzere tanbur devir sayısı ile aşınma değeri arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Düşük devir sayıları da aşınma değerini doğru tanımlamaktadır. Dolayısıyla tanbur devir sayısı 500 devirin altında olabilir. Böylece deneylerin daha hızlı, zaman, enerji ve iş gücü bakımından daha ekonomik olacağı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **TS 4834**, 1986. Beton ile ilgili terimler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [2] **Yazıcı H.**, Özel Betonlar, *Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Notu*, İzmir.
- [3] **Neville, A.M.**, (1981). Properties of Concrete, Longman Scientific and Technical, Third Edition,
- [4] **TS 706**, 1980. Beton agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [5] **Poitevin, P.**, (1999). Limestone aggregate concrete, usefulness and durability, *Cement and Concrete Composites*, 21, 89-97.
- [6] **Kahraman, S. and Fener, M.**, 2007. Predicting the Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from the uniaxial compressive strength, *Materials Letters*, 61, 4861-4865.
- [7] **Uğur, I., Demirdağ, S. and Yavuz, H.**, 2010. Effect of rock properties on the Los Angeles abrasion and impact test characteristics of the aggregate, *Materials Characterization*, 61, 90-96.
- [8] **Temizel, K.E.**, 1998. Samsun ili Bafra ilçesi Kızılırmak havzasındaki doğal agrega ocaklarından alınan agregaların ve bu agregalardan üretilen betonun bazı özelliklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- [9] **Yıldırım, M. ve Yılmaz, I.**, 2002. Yıldız ırmağı çökellerinin beton agregası olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(2), 181-192.
- [10] **Temiz, H., Binici, H., Bodur, M.N. ve Kara, O.**, 2006. Kahramanmaraş doğal agregalarının mühendislik özellikleri, *KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2).
- [11] **Demir, İ. ve Önal, M.**, 2007. Kırşehir-Kaman yöresi granit agregalarının mühendislik özellikleri, 10, 277-285.
- [12] **Yılmaz, F., Koltka, S. ve Sabah, E.**, 2011. Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) kireçtaşlarının beton agregaları standardına uygunluğunun araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1-12.
- [13] **Postacıoğlu, B.**, (1987). Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Teknik Kitaplar Yayınevi, Cilt 2, 4004 s, İstanbul.
- [14] **Baradan, B.**, (1991). Yapı malzemesi II (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No:207, s.204, İzmir

- [15] **Akbulut, H., Çetin, S. ve Gürer, C.**, 2006. Afyonkarahisar Bölgesi'nden elde edilen bir volkanik agreganın aşınma özelliklerinin belirlenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1, 37-42.f2002
- [16] **Turabi, A. ve Okucu, A.**, 2007. Balıkesir ili yol çalışmalarında kullanılan agregaların özellikleri ve şartnameye uygunluğu, *BAÜ FBE Dergisi*, 9(1), 45-51.
- [17] **Karpuz, O. ve Akpınar, M.V.**, 2009. İnce agrega türünün kaplama betonun aşınma direncine etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), 1-8
- [18] **BS 812**, 1989. "Method for the determination of polished stone value", *British Standards Institution*, London, England.
- [19] **Mahmoud, E. and Masad, E.**, 2007. Experimental methods for the evaluation of aggregate resistance to polishing, abrasion and breakage, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 19, 977-985.
- [20] **TS 3694**, 1981. Beton agregalarında aşınmaya dayanıklılık aşınma oranı tayini metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [21] **TS EN 1097-1**, 2001. Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro-Deval), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [22] **TS EN 1097-9**, 2001. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Bölüm 9: Çivili lastiklerden kaynaklanan aşınmaya karşı direncin tayini, Nordik deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [23] **TS 707**, 1980. Beton agregalarından numune alma ve deney numunesi hazırlama yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [24] **TS 3530 EN 933-1**, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler: Eleme Metodu ile Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [25] **TS EN 932-2**, 1999. Agregaların genel özellikleri için deneyler, Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [26] **Rangaraju, P.R. and Edlinski, J.**, 2008. Comparative evaluation of Micro-deval abrasion test with other toughness/abrasion resistance and soundness tests, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 20, 343-351.
- [27] **Kılıç, A., Atiş, C.D., Teymen, A., Karahan, O., Özcan, F., Bilim, C. Özdemir, M.**, 2008. The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete, *Cement & Concrete Composites*, 30, 290-296.

- [28] **Naik, T.R., Singh, S.S. and Ramme, B.W.**, 2002. Effect of source of fly ash on abrasion resistance of concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 14, 417-426.
- [29] **Atiş, C.D.**, 2003. Abrasion-porosity-strength model for fly ash concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 15, 408-410.
- [30] **Siddique, R.**, 2003. Effect of fine aggregate replacement with Class F fly ash on the abrasion resistance of concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 1877-1881.
- [31] **Horszczaruk, E.**, 2005. Abrasion resistance of high-strength concrete in hydraulic structures, *Wear*, 259, 62-69.
- [32] **Felekoğlu, B., Yardımcı, M.Y. ve Baradan, B.**, 2006. Uçucu kül ve taş tozunun kendiliğinden yerleşen betonda aşınma direncine etkileri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19, 1.
- [33] **Alyamaç, K.E. ve İnce, R.**, 2008. Çelik lifli karo mozaik döşeme kaplama plakalarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *BAÜ FBE Dergisi*, 1, 31-45.
- [34] **Vassou, V.C., Short, N.R. and Kettle, R.J.**, 2008. Microstructural investigations into the abrasion resistance of fiber-reinforced concrete floors, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 20, 157-168.
- [35] **Atis, C.D., Karahan, O., Ari, K., Sola, Ö.S. and Bilim, C.**, 2009. Relation between strength properties (flexural and compressive) and abrasion resistance of fiber (steel and polypropylene)-reinforced fly ash concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 21, 402-408
- [36] **Can, Ö., Durmuş, G., Subaşı, S., Yıldız, K. ve Arslan, M.**, 2009. Lif katkılı betonların aşınma direnci üzerindeki etkileri, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs.
- [37] **Yetgin, Ş. Ve Çavdar, A.**, 2011. Abrasion resistance of cement mortar with different puzzolanic compositions and matrices, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 23, 138-145.
- [38] **Açıkgenç, M., Arazsu, U. ve Alyamaç, K.E.**, 2012. Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri, *SDU Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4,(3), 41-54.
- [39] **Rashad, A.M.**, 2013. A preliminary study on the effect of fine aggregate replacement with metakaolin on strength and abrasion resistance of concrete, *Construction and Building Materials*, 44, 487-495.

- [40] **Gaedicke, C., Marines, A. and Miankodila, F.**, 2014. Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 68, 701-708.
- [41] **Ramesh Kumar, G.B. and Sharma, U.K.**, 2014. Abrasion resistance of concrete containing marginal aggregates, *Construction and Building Materials*, 66, 712-722.
- [42] **Singh, G. and Siddique, R.**, 2012. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS), *Construction and Building Materials*, 28, 421-426.
- [43] **Tripathi, B., Misra, A. And Chaudhary, S.**, 2013. Strength and abrasion characteristics of ISF slag concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 25, 1611-1618.
- [44] **Saikia, N. and Brito, J.**, 2014. Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing ahredded PET bottle Waste as a partial substitution of natural aggregate, *Construction and Building Materials*, 52, 236-244.
- [45] **Thomas, B.S., Gupta, C.R., Kalla, P. and Cseteneyi, L.**, 2014. Strength, abrasion, and permeation characteristics of cement concrete containing discarded rubber fine aggregates, *Construction and Building Materials*, 59, 204-212.
- [46] **Alyamac, E.A. and Aydın, A.B.**, 2015. Concrete properties containing fine aggregate marble powder, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1-9.
- [47] **Laplanche, P., Aitcin, P.C. and Vezina, D.**, 1991. Abrasion resistance of concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 3, 19-28.
- [48] **Erdoğan, Y.T.**, Beton, *ODTÜ Yayıncılık*,
- [49] **Tekmen, T.**, 2006. Kireçtaşlarından üretilen kilitli beton parke bloklarının mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [50] **Beixing, Li., Guoju, Ke. and Mingkai, Z.**, 2011. Influence of manufactured sand characteristics on strength and abrasion resistance of pavement cement concrete, *Construction and Building Materials*, 25, 3849-3853.
- [51] **TS 699**, 1987. Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [52] **ASTM C 418**, 2005. Standard test method for abrasion resistance of concrete by sandblasting, *ASTM International*, West Conshohocken.
- [53] **ASTM C 944**, 2012. Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method, *ASTM International*, West Conshohocken.

- [54] **ASTM C 799**, (2012). Standard test method for abrasion resistance of horizontal concrete surface, *ASTM International*, West Conshohocken.
- [55] **ASTM C 1138**, (1997). Standard test method for abrasion resistance of concrete (Underwater method), *ASTM International*, West Conshohocken.
- [56] **Dong, Q., Wu, H., Huang, B., Shu, X. And Wang, K.**, 2013. Investigation into laboratory abrasion test methods for pervious concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* © ASCE, 25, 886-892.
- [57] **TS EN 1008**, 2003. Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Esra TUĞRUL, 1990 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Namık Kemal İlköğretim Okulu'nda tamamlamış olan yazar, 2004-2008 yılları arasında Elazığ Merkez Anadolu Lisesi'nde eğitimine devam etmiştir. 2008 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında fakülte ikincisi olarak bitirmiştir. Mezun olduktan 1 ay sonra Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na ÖYP Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. 2012-2013 yılları arasında yaklaşık 1 yıl ODTÜ'de yabancı dil eğitimi almıştır. 2013 yılı güz döneminde ise yüksek lisans eğitimine başlamış olup devam etmektedir.