

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Mustafa ŞAHİN**

**HAZİRAN 2018  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**İnş. Müh. Mustafa ŞAHİN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**  
**"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 / 05 / 2018**

**Tezin Savunma Tarihi : 27 / 06 / 2018**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Şirin KURBETCİ**

**Trabzon 2018**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Mustafa ŞAHİN tarafından hazırlanan**

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 05 / 06 / 2018 gün ve 1756 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU**

.....

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şirin KURBETCİ**

.....

**Üye : Doç. Dr. İlker USTABAŞ**

.....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmada geri dönüştürülmüş agregaların harç üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir.

Saygıdeğer danışmanım, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şirin KURBETCİ, tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için gerekli cihaz ve malzemelerin temininde, çalışmanın yürütülmesinde ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olmuştur. Her zaman değerli vaktini ayıran kendisine sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmanın önemli anlarında bilgileriyle çalışmaya ışık tutan ve değerli zamanını benimle paylaşmaktan çekinmeyen Sayın Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU'ya teşekkür ederim. Yardımlarından, ilgi ve alakasından dolayı Arş. Gör. Memduh NAS'a, teşekkür ederim.

Çimento ve agrega teminindeki yardımlarından dolayı Aşkale Çimento San. T.A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, beni her koşulda destekleyen annem Ayşe Nur ŞAHİN'e, babam Mehmet ŞAHİN'e ve sevgili eşime teşekkür ederim.

Mustafa ŞAHİN

Trabzon 2018

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Geri dönüştürülmüş agregaların harç üretiminde kullanılabilirliğinin incelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şirin KURBETCİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 29/05/2018

Mustafa ŞAHİN

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Beton .....	2
1.2.1 Beton Oluşturan Malzemeler .....	3
1.2.1.1. Agrega .....	3
1.2.1.2. Çimento .....	4
1.2.1.3. Su.....	5
1.2.1.4. Puzolanik Malzemeler.....	5
1.2.1.4.1. Doğal Puzolanlar .....	5
1.2.1.4.2. Yapay Puzolanlar.....	5
1.2.1.4.2.1. Uçucu Kül.....	5
1.2.1.4.2.2. Yüksek Fırın Cürufu.....	6
1.2.1.4.2.3. Silis Dumanı .....	7
1.3. Harç .....	7
1.4. Geri Dönüşüm ve Yapısal Atıklar .....	9
1.4.1. Dünyada Geri Dönüşümün Tarihçesi .....	9
1.4.2. Dünyadaki Yapısal Atıklar .....	10
1.4.3. Yapı Malzemelerinin Geri Kazanım Potansiyeli.....	11
1.5. Geri Dönüştürülmüş Agreganın Yapısı.....	13
1.6. Literatür Taraması .....	14

2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	18
2.1.	Çalışmanın Amacı .....	18
2.2.	Deney Programı .....	18
2.3.	Deneyde Kullanılan Malzemeler .....	18
2.3.1.	Çimento .....	18
2.3.2.	Uçucu Kül .....	19
2.3.3.	Agrega .....	20
2.3.3.1.	Normal Agrega .....	20
2.3.3.2.	Geri Dönüştürülmüş Agrega .....	20
2.3.3.3.	Agrega Granülometrisi .....	22
2.4.	Yapılan Deneyler .....	23
2.4.1.	Karışım Oranları .....	23
2.4.2.	Harç Üretimi .....	23
2.4.3.	Yayıma Tablası Deneyi .....	24
2.4.4.	Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri .....	25
2.4.5.	Kılcal Su Emme Deneyi .....	25
2.4.6.	Aşınma (Böhme) Deneyi .....	27
2.4.7.	Su Emme Deneyi .....	27
2.4.8.	Kuruma Büzülmesi (Rötire) Deneyi .....	28
3.	BULGULAR .....	30
3.1.	Yayıma Çapı ve Birim Ağırlık Deneyleri .....	30
3.2.	Mekanik Özellikler .....	30
3.3.	Kılcallık Deneyi .....	31
3.4.	Böhme (Aşınma) Deneyi .....	32
3.5.	Su Emme Deneyi .....	32
3.6.	Kuruma Büzülmesi (Rötire) Deneyi .....	33
4.	İRDELEME .....	34
4.1.	Yayıma Tablası Deneyi .....	34
4.2.	Birim Ağırlık .....	35
4.3.	Basınç ve Eğilme Dayanımı .....	35
4.4.	Kılcal Su Emme Deneyi(Kılcallık Katsayıları) .....	39
4.5.	Su Emme Deneyi .....	40
4.6.	Aşınma (Böhme) Deneyi .....	40

4.7.	Kuruma Buzulmesi (Rötre) Deneyi .....	41
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	44
6.	KAYNAKLAR .....	45
7.	EKLER .....	49
8.	ÖZGEÇMİŞ .....	72





Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GERİ KAZANILMIŞ AGREGALARIN HARÇ ÜRETİMİNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Dr. Öğr.Üyesi Şirin KURBETCİ  
2018, 48 Sayfa , 25 Sayfa Ek

Beton günümüzün en yaygın kullanılan yapı malzemesidir ve kullanımı gittikçe artmaktadır. Beton üretiminin artması tüketilen agrega miktarının da hızla artmasına sebep olmakta, bu da ekonomik biçimde kullanılabilir agrega rezervlerinin tükenmesine yol açmaktadır. Gerek dünyada gerekse ülkemizde gittikçe artan agrega ihtiyacının temininde sıkıntılar oluşacağı açıktır. Özellikle beton üretiminin yüksek olduğu bölgelerde agrega temini için yeni çözümler üretilmesi gerekmektedir. Beton ve harç üretiminde geri dönüştürülmüş agrega kullanımı doğal hammadde kullanımını azaltıp ve çevresel açıdan atıkları azaltmak için iyi bir çözüm olabilir.

Geri dönüştürülmüş agreganın harç üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada doğal agrega yerine %0, %25, %50 ve %100 oranında geri dönüştürülmüş agrega (GDA) ikame edilerek harç karışımları üretilmiştir. Ayrıca çimento yerine %20 ve %40 oranında uçucu kül ikamesinin harç performansına etkisi incelenmiştir. Üretilen harçlar üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, kuruma büzülmesi, aşınma dayanıklılığı, su emme ve kılcal su emme özellikleri incelenmiştir. GDA kullanım oranının artması harçların basınç ve eğilme dayanımlarını azaltmıştır. Harçların kılcallık katsayıları, su emmeleri ve kuruma büzülmeleri GDA kullanım oranının artmasıyla artmış, uçucu kül kullanımında ise bu artış oranları daha düşük olmuştur. GDA kullanım oranının artması aşınma dayanımlarını iyileştirmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Harç, geri dönüşüm, geri dönüştürülmüş agrega, basınç dayanımı, kılcallık katsayısı, kuruma büzülmesi, aşınma dayanımı

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION ON THE UTILIZATION OF RECYCLED AGGREGATES IN  
MORTAR PRODUCTION

Mustafa ŞAHİN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Şirin KURBETCİ  
2018, 48 Pages, 25 Pages Appendix

Concrete is the most widely used structural material of today and its use is increasing. The increase in concrete production causes the amount of consumed aggregate to increase rapidly, which leads to the depletion of economically available aggregate reserves. Whether it is in the world or in our country, it is clear that there will be difficulties in providing the increasing aggregate needs. Especially in areas where concrete production is high, new solutions for aggregate production are required. The use of recycled aggregate in the production of concrete and mortar can be a good solution to reduce the use of natural raw materials and to reduce waste from the environment.

In this study investigating the use of recycled aggregate in mortar production, mortar mixtures were produced by substituting 0%, 25%, 50% and 100% recycled aggregate (RA) instead of natural aggregate. The effect of 20% and 40% fly ash substitutes on cement mortar performance was also investigated. Compressive and bending strength, drying shrinkage, abrasion resistance, water absorption and capillary water absorption properties were investigated on the produced mortars. The increase in the use of RA reduced the compressive and bending strength of mortars. The capillary coefficients of the mortars, water absorption and drying shrinkage increased with increasing use of RA, while use of fly ash had a lower rate of increase. The increased use of RA improved abrasion resistance.

**Key Words:** Mortar, Recycling, Recycled aggregate, Compressive strength, Sorptivity coefficient, Drying shrinkage, Abrasion resistance

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.GDA kullanılan betonda ara yüzey bölgeleri.....	13
Şekil 2. GDA'ların temin edildiği KTÜ Ulaştırma Laboratuvarının ilk ve son hali.....	21
Şekil 3. Beton santrali konkasöründe beton parçalarının öğütülmesi .....	21
Şekil 4.Agregaların granülometri eğrisi ve sınır eğrileri.....	22
Şekil 5. Harçların kalıplara yerleştirilmesi.....	24
Şekil 6. Kür havuzu .....	24
Şekil 7. Yayılma Çapı Ölçümü.....	24
Şekil 8. Besmak Marka 20 Tonluk Çimento Presi .....	25
Şekil 9. Geniar marka etüv .....	26
Şekil 10. Kılcal su emme deneyi görüntüsü .....	26
Şekil 11. Aşınma deney düzeneği.....	27
Şekil 12. Su Emme Deney Düzeneği.....	28
Şekil 13. Rötire Deney Numuneleri Ve Rötire Deneyi Yapılışı.....	29
Şekil 14. Taze durumdaki harçların yayılma çapları.....	34
Şekil 15. Taze durumdaki harçların birim ağırlıkları .....	35
Şekil 16. 7 günlük basınç dayanımları .....	36
Şekil 17. 28 günlük basınç dayanımları .....	37
Şekil 18. 7 günlük eğilme dayanımı .....	38
Şekil 19. 28 günlük eğilme dayanımları.....	38
Şekil 20. Kılcallık Katsayıları .....	39
Şekil 21. Su emme yüzdeleri .....	40
Şekil 22. Numunelerin aşınma deneyi sonrası hacimsel kayıp değişimleri .....	41
Şekil 23. %0 Uçucu kül ikameli harçların kuruma büzölmeleri.....	42
Şekil 24. %20 Uçucu kül ikameli harçların kuruma büzölmeleri.....	43
Şekil 25. %40 Uçucu kül ikameli harçların kuruma büzölmeleri.....	43
Ek Şekil 1. GDA %0, UK %0 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	49
Ek Şekil 2. GDA %0, UK %0 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	49

Ek Şekil 3. GDA %0, UK %0 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	50
Ek Şekil 4. GDA %25, UK %0 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	50
Ek Şekil 5. GDA %25, UK %0 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	51
Ek Şekil 6. GDA %25, UK %0 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	51
Ek Şekil 7. GDA %50, UK %0 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	52
Ek Şekil 8. GDA %50, UK %0 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	52
Ek Şekil 9. GDA %50, UK %0 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	53
Ek Şekil 10. GDA %75, UK %0 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	53
Ek Şekil 11. GDA %75, UK %0 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	54
Ek Şekil 12. GDA %75, UK %0 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	54
Ek Şekil 13. GDA %100, UK %0 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	55
Ek Şekil 14. GDA %100, UK %0 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	55
Ek Şekil 15. GDA %100, UK %0 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	56
Ek Şekil 16. GDA %0, UK %20 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	56
Ek Şekil 17. GDA %0, UK %20 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	57
Ek Şekil 18. GDA %0, UK %20 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	57
Ek Şekil 19. GDA %25, UK %20 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiğ .....	58
Ek Şekil 20. GDA %25, UK %20 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	58
Ek Şekil 21. GDA %25, UK %20 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	59
Ek Şekil 22. GDA %50, UK %20 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	59
Ek Şekil 23. GDA %50, UK %20 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	60
Ek Şekil 24. GDA %50, UK %20 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	60
Ek Şekil 25. GDA %75, UK %20 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	61
Ek Şekil 26. GDA %75, UK %20 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiğ .....	61
Ek Şekil 27. GDA %75, UK %20 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	62
Ek Şekil 28. GDA %100, UK %20 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	62
Ek Şekil 29. GDA %100, UK %20 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	63
Ek Şekil 30. GDA %100, UK %20 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	63

Ek Şekil 31. GDA %0, UK %40 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	64
Ek Şekil 32. GDA %0, UK %40 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	64
Ek Şekil 33. GDA %0, UK %40 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	65
Ek Şekil 34. GDA %25, UK %40 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	65
Ek Şekil 35. GDA %25, UK %40 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	66
Ek Şekil 36. GDA %25, UK %40 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	66
Ek Şekil 37. GDA %50, UK %40 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	67
Ek Şekil 38. GDA %50, UK %40 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	67
Ek Şekil 39. GDA %50, UK %40 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	68
Ek Şekil 40. GDA %75, UK %40 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	68
Ek Şekil 41. GDA %75, UK %40 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	69
Ek Şekil 42. GDA %75, UK %40 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	69
Ek Şekil 43. GDA %100, UK %40 olan 1.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	70
Ek Şekil 44. GDA %100, UK %40 olan 2.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	70
Ek Şekil 45. GDA %100, UK %40 olan 3.karışımın $(Q/A) - (t^{0.5})$ grafiği .....	71

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Kullanım alanı ve karışım içeriğine göre harç türleri .....	8
Tablo 2. Harçlarda minimum basınç dayanımları .....	8
Tablo 3. Harçların hacimce karışım oranları .....	9
Tablo 4. Yapı malzemelerinin geri dönüşüm aşaması ve kullanım yerleri .....	12
Tablo 5. Deneylerde kullanılan çimentonu fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	19
Tablo 6 : Harç karışımında kullanılan uçucu küle ait analiz raporu.....	20
Tablo 7. Agregaların fiziksel özellikleri.....	21
Tablo 8. Karışımın granülometrisi ve ASTM C33'e göre sınır eğrileri .....	22
Tablo 9. Harç karışım oranları.....	23
Tablo 10. Yayılma çapları .....	30
Tablo 11: Harçların basınç ve eğilme dayanımları.....	31
Tablo 12 Kılcallık katsayısı değerleri.....	31
Tablo 13. Aşınma Kayıpları .....	32
Tablo 14. Su emme değerleri.....	32
Tablo 15. Kuruma büzülmesi değerleri .....	33

## SEMBOLLER D Z N

ASTM	:American Society for Testing and Materials
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:Alüminyum Oksit
Cl	:Klor
CaO	:Kalsiyum Oksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:Demir Oksit
MgO	:Magnezyum Oksit
Na <sub>2</sub> O	:Potasyum
PVC	:Poli Vinil Klorür
YFC	:Yüksek F,r,n Cürufu
SiO <sub>2</sub>	:Silisyum di oksit
SiO	:Silis Oksit
GDA	:Geri Dönü türülmü Agrega
TS	:Türk Standartlar,
D <sub>v</sub>	:Hacimsel kay,p
D <sub>m</sub>	:16 periyot sonrası, kütle kayb,
R	:Örnek Birim hacim a ,rl, ,
DKY	:Doygun kuru yüzey harç a ,rl, ,
EK	:Etüv kurusu harç a ,rl, ,

## 1.GENEL BİLGİLER

### 1.1.Giriş

Beton günümüzün en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Günümüzde dünyada tahminen 10 milyar m<sup>3</sup> hazır beton üretilmektedir. Avrupa Hazır Beton Birliği ERMCO 2016 yılı verilerine göre tüm AB üyesi ülkelerin yıllık beton üretimi 226,2 milyon m<sup>3</sup>, sadece Türkiye de üretilen beton ise 109 milyon m<sup>3</sup> tür. Bu miktarda betonun üretilmesi için dünyada gerekli olan agrega miktarı yaklaşık 7 milyar m<sup>3</sup> tür. Ülkemiz için ise bu değer yaklaşık 76 milyon m<sup>3</sup> tür [1]. Kentleşme ve dolayısıyla betonlaşma hızına bakıldığında bu miktarların yıllar içinde artacağı da açıktır.

Her yıl tüketilen agrega miktarının hızla artması, ekonomik biçimde kullanılabilir agrega rezervlerinin de tükenmesine neden olmaktadır. Gerek dünyada gerekse ülkemizde gittikçe artan agrega ihtiyacının temininde sıkıntılar oluşacağı açıktır. Özellikle beton üretiminin yüksek olduğu bölgelerde agrega temini için yeni çözümler üretilmesi gerekmektedir [2].

Özellikle ülkemizde son yıllarda hem depremler, hem de kentlerin sosyal, ekonomik ve fiziksel sorunları sonucu büyük alanlarda kentsel dönüşüm uygulamalarının yapılması gereksinimi doğmuştur. Bu uygulamalar nedeniyle yıkılan binalardan ortaya çıkan atık betonların beton endüstrisinde iri ve ince agrega olarak kullanılması önem kazanmaktadır.

Diğer yandan ise, yıkılan binalardan ortaya çıkan atık betonlar atıldıkları yerlerde hem alan kaybına hem de çevre kirliliğine yola açmaktadırlar. Bu betonların beton agregası olarak değerlendirilmesi çevrenin korunması bakımından da çok değerlidir. Zira doğal hayatı korumak için yapılan çalışmalar içinde doğal kaynakların kullanımını azaltacak geri dönüşüm çalışmaları son derece önemlidir. Geri kazanımla elde edilen yapı malzemeleri kullanılan yapıda ekolojik fayda sağlamanın yanı sıra ekonomik fayda da sağlayarak çevresel ve yapısal süreklilikte devamlılığı sağlamaktadır [3].



## 1.2.Beton

Eski çağlardan beri insanlar kalsiyum kökenli maddelerin bağlayıcılık özelliklerinden faydalanmaktadır. 1824 yılında üretilen Portland tipli çimento betonarme yapılarda ilk olarak 1857 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Beton, çok önemli bir yapı malzemesidir ve günümüzde betonsuz yapı yok denecek kadar azdır. Milattan önceki yıllardan beri insanlar temel ihtiyaçlarından biri olan barınmayı karşılayabilmek için taşları kullanmıştır. Çağımızda ise kolay şekil alması, çevresel etkilere ve aşınmalara direnç göstermesinden dolayı yapı elemanlarında genellikle beton kullanılmaktadır. Su, agrega, çimento ve gerekli durumlarda kimyasal ve mineral katkıların homojen olarak birbirleriyle karıştırılması ile elde edilen; başlangıç durumda şekil alabilir durumda (plastik kıvam) olan, çimento hidratasyon reaksiyonları tamamlandıkça katılaştıran ürün beton olarak tanımlanır.

Serleşmiş durumdaki betondan istenen özelliklerin sağlanabilmesi için taze haldeki betonun aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekir:

- Beton oluşturmak için hazırlanan malzemeler, beton içinde eşit bir dağılım göstererek kolay karılabilen yapıda olmalıdır.
- Taze betonun taşınması kolay olmalıdır.
- Kalıba yerleştirilecek olan taze betonun bütünlüğü bozulmadan, kalıbın her noktasına ulaşabilecek ve kolay yerleşebilir yapıda olmalıdır.
- Kalıba yerleşen beton kolay sıkıştırılabilir yapıda olmalıdır.
- Beton kalıba yerleştirilip sıkıştırıldıktan sonra, taze beton içinde bulunan su, hidratasyon reaksiyonlarının devam edebilmesi açısından, olabildikçe dışarı çıkmadan beton içinde kalmalı ve beton yüzeyine çıkıp kaybolmamalıdır. Yani terlemesi az olmalıdır.
- Yerine yerleştirilen taze beton yüzeyi rahat bir şekilde düzeltilebilmelidir.
- Taze betonun priz başlangıç süresi, kullanılacak olan alana uygun sürede olmalıdır [4].

## **1.2.1. Betonun Oluşturduğu Malzemeler**

### **1.2.1.1. Agregalar**

Beton yapısının yaklaşık olarak %70-75'lik kısmını agregalar oluşturmaktadır. Agregalar; sanayi, konut, her çeşit bina inşaatı ve yol, su yapısı, köprü gibi geniş bir yelpazeye sahip inşaat sektörünün en fazla önem arz eden hammaddesidir.

Su ve agregalar dünya üzerinde kişi başına tüketimin en fazla olduğu malzemelerdir. Maden üretimleri arasında agregalar %58'lik oranla ilk sırada bulunmaktadır. Üretim olarak dünyada, petrol, doğalgaz ve kömür 92 milyar € luk pazar payı ile ilk üçte bulunurken agregalar 24 milyar € luk pazar payı ile altın sektörünü geride bırakarak ilk dörtte yer almaktadır. Ülkemizde kişi başına ortalama agregalar kullanımı 4 ton iken bu rakam Avrupa'da 7 ton civarındadır [5].

Agregalar, çeşitli boyutlardaki mineral kökenli sert tanelerden oluşur. Beton agregası ise beton ve harç yapmak için kullanılan genelde boyut olarak 31,5 mm aşmayan kırılarak veya kırılmadan elde edilen bir malzemedir. Doğal kum, kırma kum, çakıl, yüksek fırın cürufu, kil ve perlit beton agregalarına örnek verilebilir.

Bağlayıcı madde sadece kum ile beraber kullanıldığında harç oluşur. Buna ince ve iri agregalar dahil edilirse beton elde edilmiş olur. Bir betonun %70-75'lik kısmını agregalar oluşturduğu için agregalar beton özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir. Kullanılan agreganın dayanıklılığı, mineral yapısı, yüzeyinin pürüzlü olması, gözenekli oluşu, maksimum tane boyutu, temizlik oranı gibi birden fazla özellikler betonun kalitesini etkilemektedir.

Agregalar doğal olarak, yapay olarak veya geri kazanılarak elde edilebilir. Doğal agregalar; mekanik olarak işlem görmüş mineral bakımından zengin hammaddelerden elde edilir. Yapay agregalar; ısı ve diğer işlemler gördükten sonra elde edilen malzemedir. Geri kazanılmış agregalar ise yapılarda kullanılan maddelerin kırılma işleminden geçip istenilen boyutlara getirilmesi ile elde edilen malzemedir.

Agregalar, betonda çimento hamurunun zaman içinde gösterebileceği hacim değişikliğini azaltır, sert ve yüksek dayanımlı oldukları için betonun dayanım ve

dayanıklılığını arttırlar. Özellikle yüksek dayanımlı betonlarda agrega dayanımının beton dayanımına etkisi etkilidir. Beton üretiminde kullanılan agregaların özellikleri, betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler [6].

Agrega killi, siltli ve organik maddeli olmamalıdır. Agregaya yüzeyinde olabilecek bu malzemeler, çimento yüzeyi ile agrega arasında oluşacak aderansı engelleyip dayanıma karşı olumsuz etki gösterirler. Ayrıca bu malzemeler beton/harç karışımının su ihtiyacını artırarak dayanımın azalmasına etki ederler. Organik maddeler çimento hidrasyon reaksiyonu üzerinde olumsuz etki yaparak çimentonun agrega ile etkileşime girmesini engeller [7].

#### **1.2.1.2. Çimento**

Çimento, insanlar tarafından geçmişten günümüze kadar en fazla kullanılan yapı malzemesinden biridir. Çimento, su ile hidrasyon reaksiyonları oluşturarak karışımın sertleşmesini ve zamanla dayanım kazanmasını sağlayan hidrolik bir bağlayıcıdır [7]. Çimentonun hammaddesi kalker ve kildir. Kalker, marn ve kil hammaddeleri kırıcılarda 25x25 mm boyutuna kadar kırılır. Bu maddelerin değirmenlerde öğütülmesi sonucunda farin oluşur. Kireç ve silisten oluşan farin 30°C den 1000°C'e kadar ısıtılması sonucunda %90 oranda kalsine (yakılarak toz haline getirme) hale gelir. Fırında pişen farinin hammaddeleri içinde bulunduran oksitler önce serbest kalır, daha sonra da yüksek sıcaklıklarda yeni bileşikler oluşturur. Döner fırına gelen farin 1500°C pişirilip bilyeli değirmenlerde tanecikli hale gelir. Oluşan yeni ürüne klinker denir. Yaklaşık 1300°C gibi yüksek bir sıcaklıkta fırından ayrılan klinker 1000°C kadar sıcaklığı düşürülür.

Çimento üretim aşamasında klinker bir ara ürün olarak kabul edilir. Klinker ile beraber belirli oranda kalsiyum sülfatın öğütülmesi sonucunda çimento elde edilmiş olur. Çimento, üretim aşamalarına göre sınıflara ayrılır. Bu sınıflar;

- CEM I Portland çimentosu
- CEM II Portland-kompoze çimento
- CEM III Yüksek fırın cürufu çimento
- CEM IV Puzolanlı çimento
- CEM V Kompoze çimento

şeklindedir.

### **1.2.1.3. Su**

Beton karma suyunun iki temel görevi vardır. Bunlardan biri hidrasyon reaksiyonlarını başlatmak ve reaksiyonları sürdürmektir. Suyun betondaki işlevlerinden diğeri ise işlenebilirliği sağlamaktır. Kullanılan suyun miktarı betonun dayanım ve dayanıklılığını etkiler. Kullanılan suyun kalitesi ise beton özelliklerini etkiler. Suyun berrak olması, içilebilir, temiz ve kokusuz olması gerekir. Şehir şebeke suyu dışındaki kaynaklardan elde edilen suların fiziksel ve kimyasal yönden uygunluğunun deneylerle saptanması gerekir. Beton üretiminde kullanılacak suyun içinde fazla miktarda kil, silt, organik madde, asit, klor, sülfat, yağ, yosun, ve endüstri atıkları gibi maddeler bulunmamalıdır.

### **1.2.1.4. Puzolanik Malzemeler**

Tek başına bağlayıcılık özelliği olmayıp, ince öğütülmüş halde kalsiyum hidroksitle reaksiyona giren ve bağlayıcılık özelliği oluşturan silisli ve alüminli malzemelere puzolanik malzemeler denir. Puzolanlar doğal kökenli olabildikleri gibi bir endüstriyel yan ürün de olabilirler veya bir ısıtma işlem uygulaması sonucu elde edilebilirler.

Bir puzolanın kireç ve suyla ne derecede reaksiyona girebileceği ve derece bağlayıcılık sağlayabileceği puzolanik aktivite olarak tanımlanır. Puzolanik aktivitenin göstergesi olan “puzolanik aktivite indeksi” nin belli bir değerden küçük olmaması gerekir.

#### **1.2.1.4.1. Doğal Puzolanlar**

Doğal puzolanlar; volkanik küller, volkanik tüfler, traslar, taş unu gibi maddelerdir. Puzolanlar, kimyasal olarak  $\text{SiO}_2$  ve az miktarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeren maddelerdir. Puzolanik maddeler öğütülerek veya öğütülmeden doğal olarak da kullanılabilirler [8].

#### **1.2.1.4.2. Yapay Puzolanlar**

##### **1.2.1.4.2.1. Uçucu Kül**

Toz linyit kömürünün yanması sonucu ortaya çıkan baca gazları vasıtasıyla sürüklenen kül parçacıkları termik santrallerinde bulunan önemli bir atık malzemedir. Bu

atıkları tutmak için elektrostatik yöntemiyle elektro filtreler kullanılır ve baca gazı ile beraber atmosfere çıkmaları engellenir.

Uçucu kül tanecikleri genelde küresel olup çapı 1-200 mikron arasındadır. Uçucu külde en fazla  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  ve  $Al_2O_3$  bulunur. Ayrıca bir miktar da  $Na_2O$ ,  $CaO$  ve  $MgO$ 'de bulunmaktadır. Amorf yapıda bulunan uçucu kül tanelerinin boyutları 1 – 150  $\mu m$  arasındadır. Yoğunlukları 2,1 ile 2,7  $gr/cm^3$  arasında değişkenlik göstermektedir.

Uçucu kül taze betonun işlenebilirliğini artırır. Ayrıca sertleşmiş betonda sülfat etkisine karşı daha dirençli olurken su geçirimsizliğini de azaltarak betona olumlu etkiler sağlar. Beton hidrasyon ısısını ve terlemeyi azaltarak betonun ilk dayanımlarını düşürür. Dolayısıyla uçucu kül kullanılan üretimlerde beton, uçucu kül kullanılmayana göre daha fazla kür edilmelidir. ASTM C618 standardı uçucu külleri F ve C sınıfı olarak tanımlamaktadır [9].

Buna göre:

F sınıfı :  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq \%70$

C sınıfı :  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq \%50$

Uçucu küller için ayrıca kireç ve  $SO_3$  miktarına göre de bir sınıflandırma yapılmaktadır. Buna göre  $CaO$  miktarı  $\%10$  un üzerinde ise yüksek kireçli, olarak isimlendirilirler. Bunlar puzolanik özellik yanında kendi başına da bağlayıcı özellik gösterebilirler [10].

#### **1.2.1.4.2.2. Yüksek Fırın Cürufu**

Demir çelik endüstrilerinde bulunan yüksek fırınlarda demir üretimi sırasında ortaya çıkan yan ürün olan yüksek fırın cürufu (YFC) hızlı bir şekilde soğuması ile granül (tanecikli) hal alır. Tanecikli hale dönüşen YFC öğütülerek hem çimentoya hem de betona katılarak üretim hammaddesi olarak kullanılır. Amorf yapıda olan YFC yapısında en fazla  $CaO$ ,  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  bulundurur.  $\%30-40$  oranında bulunan  $CaO$ 'in varlığı nedeniyle ince öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kendiliğinden de bağlayıcılık sağlayabilir.

YFC ile üretilen beton çevresel etkilere karşı daha fazla direnç gösterir. Taze betonun işlenebilirliğini iyileştirir, terlemeyi azaltır, hidrasyon ısısını azaltır, sertleşmiş betonun

su geçirimsizliğini azaltır, sülfat dayanıklılığını artırır. YFC ile üretilen betonların erken dayanımları daha düşük olup nihai dayanımları Portland çimentosuna göre daha fazla olmaktadır.

#### **1.2.1.4.2.3. Silis Dumanı**

Ferrosilisyum ve silisyum üretim aşamalarında, elektrik ark fırınında ortalama 2000°C sıcaklıkta, yüksek saflıkta bulunan kuvarsit mineralinin kömür vasıtasıyla indirilmesiyle elde edilen puzolanik ürüne silis dumanı denilmektedir. Oluşan SiO gazı fırının üst tarafında okside olur ve hızlı bir şekilde soğuyup amorf yapıda silis oluşturur. Silis dumanı birleşiminin çoğunluğunu amorf yapıdaki silis taneleri oluşturur. Özel filtreler vasıtasıyla tutularak toplanan silis dumanı taneleri küresel olup çapları 0,1 µm dur.

Silis dumanı içinde fazla miktarda amorf silis bulundurması, çimento ve uçucu külden daha ince yapıda olması sebebiyle çok fazla aktif bir puzolanik maddedir [11]. Beton üretimi için uygun bir malzeme olan silis dumanının özgül ağırlığı ortalama olarak 2,25 g/cm<sup>3</sup> civarındadır.

Kristalize olmayan amorf silis, silis dumanın ana bileşenidir. Silis dumanının SiO<sub>2</sub> miktarı %85'den fazladır ve genellikle beton içerisinde katkı olarak kullanılır. İkincil ana bileşeni ise yanmamış karbondur. Silis dumanın bileşiminde %1-2 civarında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %1'den az da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, MgO, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O gibi oksitler bulunur [12].

Silis dumanı betonda yüksek basınç dayanımı elde etmeyi sağlar, taze betonda terleme ve ayrışmayı azaltır, sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltır ve sülfatlara karşı dayanımını artırır.

### **1.3. Harç**

Çimento veya kireçten oluşan bir bağlayıcıya kum ve su katılması sonucu elde edilen plastik kıvamdaki yapı malzemesine harç denir. Harç kullanım yerine göre yatay ve düşey durumda iken üzerine gelen kuvvetleri aktarabilen bir yapıda olmalıdır. Harcın su ve rutubete karşı dayanıklı olması, boşluksuz yapıda olması, iyi bir şekilde yapışması ve istenilen düzeyde mukavemetli olması gerekmektedir [13]. Ayrıca harç binalarda yapılan tüm duvarları koruyan bir malzeme olarak da tanımlanabilir. Çoğu durumda çevresel etkiye maruz kalan duvarlarda kullanılan harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin de

istenilen seviyede olması gerekmektedir [14]. Harçlar, karışım içeriği ve uygulama alanına göre Tablo 1’de sıralanmıştır [15].

Tablo 1. Kullanım alanı ve karışım içeriğine göre harç türleri

Bağlayıcı Türü	Karışım İçeriği	Kullanım Alanı
Çimento Harcı	0-4 mm Kum+Çimento+Su	Dış Duvarların Örümü
Kireç Harcı	Kum+Sönmüş Kireç+su	İç Bölme Duvarlar ve Rutubetsiz Bölgeler
Alçı Harcı	Su+Alçı	Dekorasyon
Lifli Harç	Lif +Çimento+ Tercihe Göre Kireç	Tamir Harcı
Horasan Harcı	Tuğla Kırıntısı + Kireç	Tarihi Yapı Restorasyonu

Tablo 2’de harçların minimum basınç dayanımları, Tablo 3 de ise harçların hacimce karışım oranları verilmiştir [16].

Tablo 2. Harçlarda minimum basınç dayanımları [16]

Harç Sınıfı	Kg/cm <sup>2</sup>
A	150
B	110
C	50
D	20
E	5

Tablo 3. Harçların hacimce karışım oranları [16].

Harç Sınıfı	Tip No	Kum	Çimento	Harç Çimentosu	Kireç Hamuru	Toz Kireç
		1,3 t/m <sup>3</sup>	1,2 t/m <sup>3</sup>	1,0 t/m <sup>3</sup>	1,3 t/m <sup>3</sup>	0,6 t/m <sup>3</sup>
A	-	3	1	-	-	-
B	1	4	1	-	-	-
	2	4	1	1/2	-	-
	3	4	1	-	-	1/2
	4	4	1	-	-	-
C	1	7-9	1	2	-	-
	2	5	1	-	-	-
	3	5	1	-	1	-
D	1	6-8	1	-	2	-
	2	6-8	1	-	-	3
	3	2-3	-	1	-	-
E	-	3	-	-	1	-

#### 1.4. Geri Dönüşüm ve Yapısal Atıklar

Geri dönüşüm; tekrardan değerlendirilme fırsatı olan atıkların üretim prosedürüne dahil edilerek, orijinal amaçlı ya da diğer amaçlar için tekrar işlenmesidir. Geri kazanım ise tekrardan kullanabilme ve geri dönüşüm kavramlarını içinde bulunduran, atığın özelliğinden yararlanarak atığın içinde bulunan bileşenlerinin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntem kullanılarak yararlı başka bir ürüne veya enerjiye çevrilmesidir.

İnsanoğlu doğal kaynakları kullandıkça atık oluşacak ve oluşan bu atıklar çevre kirliliğine neden olduğu gibi kullanılan doğal kaynakların da bir gün sonunun gelecektir. Doğal kaynakların tükeneceği göz önüne alındığında, çevreyi de korumak adına geri dönüşüm ve geri kazanıma önem verilmesi gerekmektedir.

##### 1.4.1. Dünyada Geri Dönüşüm Tarihçesi

Eski çağlardan beri geri kazanım ile yapı malzemelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Romalılar yığma yapıları onarıırken ortaya çıkan kiremit parçacıklarını tekrardan kullanmıştır. Milattan sonra 62 yılında oluşan Pompei depreminde oluşan yapı malzemesi atıklarının tekrardan kullanıldığı bilinmektedir [17].

Dünya üzerindeki ilk geri dönüşüm işlemi Japonlar 1031 yılında atık halde olan kâğıdı hamur hale getirmek için yapmıştır. Amerika'da ise 1690 yılında geri dönüştürülen kâğıttan hamur yapma imalatı başlamıştır. 1776'da yine Amerikalılar metal atıkları geri



dönüşüme tabi tutmuş ve 1907 yılında da atık alüminyumunu geri dönüştürüp kullanmaya başlamışlardır [18].

Geri dönüştürülmüş agreganın (GDA) portland çimentosu ile birlikte kullanılıp beton üretilmesi ilk olarak 1860 yılında Almanya’da olmuştur. İkinci dünya savaşı sonrasında oluşan enkazların ve inşaat atıklarının üretimde tekrar kullanılması fikri ilk olarak Almanya’da ortaya çıkmıştır. Bu savaş sonrasında yaklaşık 500 milyon m<sup>3</sup> enkaz olduğu bilinmektedir. Oluşan bu denli enkaz atığının yaklaşık %2’si Almanya’da bulunan tesiste geri dönüştürülerek beton agregası olarak konut inşaatında kullanılmıştır [19].

#### **1.4.2. Dünyadaki Yapısal Atıklar**

İnşaat uygulamalarıyla oluşan beton, ahşap, seramik, PVC, plastik, cam ve metalden oluşan yapı malzemeleri ve bileşenlerine yapısal atık denilebilir. Çağımızın en büyük çevre sorunu olan atık malzeme üretiminde, inşaat sektörü başlarda yer almaktadır. İnşaat uygulamalarında oluşan atıklar tekrardan kullanılabilceği gibi kullanıma uygun olmayan atıklar ise gelişen geri dönüşüm yöntemleriyle diğer yan ürünlerin hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Geri kazanılan bu malzemeleri ekolojiye değer katmanın yanı sıra ekonomik olarak da yarar sağlayıp doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

20. yüzyıldan sonra dünyada çok miktarda inşaat atıkları ortaya çıkmıştır. Gelişmiş ülkeler 1970’li yıllardan sonra çevre mevzuatları çıkarmış ve bu mevzuatlar çerçevesinde atıklar çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi için önlem alınmıştır. 1990’lardan sonra da atıkların geri kazanma işi daha da hızlanmıştır.

2003 yılı verileri doğrultusunda dünya üzerinde yaklaşık olarak yılda 170 milyon ton yapısal atık oluşmaktadır. Bu atıkların çoğunluğunun depolama alanlarına döküldüğü belirtilmektedir. Avrupa ülkelerinde yapısal atıklar 1980’li yıllardan sonra tekrar kullanılmaya başlanılmıştır. 2011 yılında hazırlanan Avrupa yapısal atık yönetimi raporu sonucunda, yapısal atıkların tekrar kullanılmasında en başarılı ülkeler arasında %98’lik oranla Hollanda ve %94 ile de Danimarka bulunmaktadır. Bu ülkeler oluşturdukları kendi kuralları ve yönetmelikleriyle çıkan yapısal atıklardan yüksek oranda geri kazanım ve yeniden kullanım sağlamaktadır. Hollanda ve Danimarka’yı sırasıyla %92 atık kullanımıyla Estonya, %86 ile Almanya, %80 ile İrlanda ve %75 ile de İngiltere izlemektedir.

Ülkemizde Avrupa Birliği'ne üyelik hazırlıkları çerçevesinde geri dönüşüm ile alakalı çevre mevzuatında düzeltmeler yapılmıştır. Bu düzeltmelerin yeni olması geri dönüşüme yönelik çalışmaları istenilen seviyeye ulaştıramamıştır. Türkiye'de en bilindik geri dönüşüm "sahada ayıklama" yöntemidir. İnşaat atıklarının depo alanlarına taşınması, depolanması geri dönüşüm maliyetine oranla daha pahalı olduğundan geri dönüşüm ülkemizde pek yaygın değildir [3].

#### **1.4.3. Yapı Malzemelerinin Geri Kazanım Potansiyeli**

Yapının çevreye etkisinin en az düzeyde olması için yapım üretim aşamalarının dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Yapı malzemelerinin %10'u yapıdaki çevreye etki eden malzemeleri bünyesinde bulundurur. Bu nedenle yapı malzemesi seçerken dikkatli davranılmalıdır. Seçilen yapı malzemeleri tekrar kullanılabilir veya geri dönüştürülebilen türde olursa bu malzemelerin çevreye olan atık etkileri azaltılabilir ve inşaat sektörü ile çevreye atılan yapısal atıkların doğayı ve su kaynaklarını kirletilmesinin önüne geçilmiş olunabilir.

Yapıların üretim faaliyetleri ve daha sonra bu yapıların yıkımı, onarım ve yenilemesi sonucu ortaya çıkan atıkların geri kazanma potansiyeli çok yüksektir. Tablo 4'de yapı malzemeleri birleşenlerinin geri dönüşüm işlemleri ve kullanım yerleri gösterilmiştir [3].

Tablo 4. Yapı malzemelerinin geri dönüşüm aşaması ve kullanım yerleri

Yapı Malzemeleri ve Yapı Bileşeni	Geri Dönüşüm Aşaması	Geri Dönüştürülen Ürün
Beton	Kırma, küçük parçalara ayırma.	Geri dönüştürülmüş agrega (kırmataş). Dolgu malzemesi. Düşük dayanımlı beton bileşiminde agrega (grobeton). Yol yapılarında kullanılan alt yapı malzemesi.
Tuğla ve kiremit	Kırma, küçük parçalara ayırma. Yanma sonucu uçucu küle çevrilme.	Dolgu malzemesi. Kiremit ve Tuğla üretim için hammadde olarak kullanma.
Mermer	Kırma. Toz haline getirme.	Agrega. Dolgu malzemesi. Zemin iyileştirmelerinde kullanılacak dolgu malzemesi.
Metaller	Doğrudan kullanım. Eritme.	Metal üretimi.
Karton ve kağıt	Temizleme.	Geri dönüşüm ile kağıt üretimi.
PVC içerikli malzemeler	Yıkayıp kurutma. Eriterek hammadde oluşturma. Küçük parçalara ayırma. Toz durumuna getirerek tekrar kullanma	Panel yapımı. Plastik. Agrega. Sentetik toprak oluşturma.
Cam	Tekrar kullanım. İkinci sınıf cam üretilmesi. Eriterek Kullanma. Öğütüp Kullanma.	Yalıtım malzemesi (cam Yünü). Yansıtıcı boya maddesi üretiminde. Yeniden kullanılacak cam.
Seramik	Kırma. Öğüterek Küçük parçalara Ayırma	Cam ile beraber tezgah üretimi. Beton üretim aşamasında katkı malzemesi.
Ahşap	Tekrar Kullanılma. Kesip yeni boyuta ulaştırma. Tekrar Şekil Verme. Yakma malzemesi olarak kullanma.	Tekrar ahşap olarak kullanma. Mobilya ekipmanı. Mutfak ekipmanı. Kağıt hammaddesi.
Yalıtım malzemeleri	Yıkama, kurutma, öğütme ve ezme yakma	Yeniden üretilecek yalıtım malzemesi. Asfalt yapımı.
Kapı, pencere ve mutfak ekipmanları	Doğrudan kullanma, temizleyip istenilen boyuta ulaştırma	Tekrardan kullanma.

### 1.5. Geri Dönüştürülmüş Agreganın Yapısı

Normal agregaya ile üretilen betonun kırılması ile elde edilen geri dönüştürülmüş agregalar normal agregalardan farklı özellikler taşırlar. Geri dönüştürülmüş agreganın yapısı üç farklı şekilde olabilir; eski betonunun içindeki normal agregaya parçacıkları, yüzeyine çimento harcı yapışmış normal agregalar ve sadece harç parçacıkları. Bu nedenle yoğunluğu normal agregaya kıyasla düşük, porozitesi yüksek, su emmesi fazladır. Normal agregaya tanecikleri ile harç tabakası arasındaki bağın kuvveti ve eski betonun kalitesi geri dönüştürülmüş agregaya ile üretilen betonun kalitesi üzerinde son derece etkilidir [20].

Şekil 1.de görüldüğü gibi GDA kullanılan betonda 3 farklı ara yüzey bölgesi vardır:

- i) GDA'daki eski ara yüzey bölgesi,
- ii) Eski ve yeni çimento hamuru arasındaki ara yüzey bölgesi,
- iii) GDA'daki agregaya ve yeni çimento hamuru arasındaki ara yüzey bölgesi.

GDA'lı betonun dayanımı bu üç ara yüzey bölgesindeki bağ kuvvetine bağlı olduğu gibi hem yeni hamurun ve hem de GDA'nın elde edildiği eski betonun dayanımına da bağlıdır. GDA tanelerinin içerdiği çimento hamuru fazı da tanelerin dayanımı düşürür. Bunların yanında, kırma işlemi sırasında oluşan mikro çatlaklar da GDA'lı betonların normal agregalı betonlara oranla düşük dayanım göstermesi üzerinde etkilidir [21].



Şekil 1. GDA kullanılan betonda ara yüzey bölgeleri [22].

## 1.6. Literatür Taraması

Harçlar betonla kıyaslandığında daha az önemli malzemeler olduğu için literatüre bakıldığında geri dönüştürülmüş agrega ile ilgili yapılan çalışmaların fazla sayıda olmadığı görülmektedir. Fakat son zamanlarda konuya olan ilginin arttığı söylenebilir. Bunun nedeni harçlardan üstün mekanik özellikler beklenmemesi nedeniyle çok miktarda geri dönüşümlü agrega kullanımına uygun olabilmeleridir [23].

Neno ve arkadaşları, geri dönüşümlü agrega kaynağının ve dolayısıyla kalitesinin harç özellikleri üzerinde çok etkili olduğunu, bu nedenle farklı çalışmalardan farklı sonuçların elde edilebileceğini, ayrıca geri dönüşüm agregasının yüksek porozitesi nedeniyle bu agreganın kullanıldığı harçların daha az işlenebilir olacaklarını vurguladılar [24]. Aynı şekilde Hanzic ve arkadaşları da GDA'lı harçların akıcılığının %15 daha az olduğunu, birim hacimdeki GDA'nın yüzey alanının ve porozitesinin daha fazla olmasının buna neden olduğunu belirttiler [25].

Baraga ve arkadaşları, çok ince (<0.150 mm) boyuttaki geri dönüştürülmüş agregayı harç üretiminde kullandı. %15 e kadar olan ikamelerde basınç ve eğilme dayanımlarının arttığını, su emmelerin azaldığını söyledi [26].

Vegas ve arkadaşları, GDA'ların harcın ince agregasıyla ikameli kullanımını araştırmıştır. GDA'ların %25 oranına kadar ince agregayla ikameli olarak kullanımının harçların mekanik özelliklerini, işlenebilirliğini ve rötresini olumsuz şekilde etkilemeden ve kimyasal akışkanlaştırıcı katkı maddesi katılmadan kullanılabilirdiğini rapor etmişlerdir [27].

Jimenez ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ince öğütülmüş seramik agrega atığını harca farklı oranlarda katarak ürettikleri duvar harcının taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini incelemiştir. Seramik agregasının doğal agregayla hacimce ikame oranları %0, %5, %10, %20 ve %40'tır. Çimento/agrega hacimce oranı 1/7'dir. Karışımların su miktarları, yayılma çapı  $175 \pm 10$ mm olacak şekilde belirlenmiştir. Geri dönüştürülmüş ince agregaların su emme özellikleri daha fazla olduğu için GDA ikame oranı arttıkça harca katılması gereken karma suyu miktarının da arttığı söylenmiştir. Tüm karışımlarda  $0.8 \text{ cm}^3$  sabit hacimde akışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir. Sertleşmiş harçların üzerinde kuru birim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımı, boyutsal stabilite (rötre), yapışma dayanımı,

kapiler su emme ve su buharı geçirimsizliği araştırılmıştır. Sonuç olarak artan GDA ikame oranıyla taze harcın birim ağırlığının ve işlenebilirliğinin azaldığı belirtilmiştir. Harçların basınç ve eğilme dayanımlarının da aynı şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Harcın kapiler su geçirgenliğinin GDA'nın %10'a kadar ikamesiyle bir miktar azaldığı, %20 ye kadar ise arttığı belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda doğal kumun %40'a kadar ince GDA ile ikamesinin düşük dayanımlı harçların taze ve sertleşmiş özelliklerini belirgin bir şekilde etkilemediği rapor edilmiştir [28].

Samiei ve arkadaşları, GDA'nın çimento ve çimento-kireç harçları üzerindeki etkisini araştırdılar. Çimento harçlarının, kireçli harçlara nazaran daha iyi mekanik özellikler verdiğini, çimento harçlarında GDA ikamesi arttıkça dayanımların düştüğünü fakat çimento-kireçli harçlarda GDA'nın %60'a kadar ikamesiyle mekanik özelliklerin iyileştiğini belirttiler. Araştırmacılar, bunun kirecin hidolikliğinin ve GDA'nın ince kısmının oluşturduğu filler etkisinin yarattığı sinerjik etki nedeniyle olduğunu söylediler [23].

Corinaldesi ve Moriconi (2009), geri dönüştürülmüş tuğla ve tesislerde geri dönüştürülmüş agregalar ve CEM II çimento kullanılarak üretilen çimento harçlarının mekanik ve reolojik özelliklerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada her bir agrega tipi de %100 ikame edilerek kullanıldığında geleneksel harca göre daha zayıf mekanik özellikler elde edilmesine rağmen daha yüksek harç-tuğla aderans dayanımı elde edildiğini belirtmişlerdir [29].

Corinaldesi (2012), kuvars kumunun geri dönüştürülmüş klinker tuğlayla ikame edilmesiyle üretilen çimento ve hidrolik kireç harçları incelemiştir. Klinker tuğlalar, harcın içinde hiçbir kimyasal katkı katılmaksızın hem suya doygun hem de kuru şekilde kullanılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak ince öğütülmüş klinker tuğla agregaları, iri şekilde kırılmış klinker tuğla agregalarına göre daha zayıf mekanik özellikler sağlamıştır. Bunun sebebinin ince agreganın daha köşeli olmasıdır. Fakat, ince kırılmış tuğla agregasının harç-tuğla yapışma dayanımı açısından en iyi sonucu verdiği belirtilmiştir. Harçların kılcal su emme özellikleri incelendiğinde ise en az kapilarite katsayısına doğal kumla üretilen harçların sahip olduğu, geri dönüştürülmüş tuğla agregası içeren harçlar karşılaştırıldığında ise ince öğütülen harçların kılcallık katsayılarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir [30].

Martínez ve arkadaşları (2013), doğal kum ve üç farklı geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak üretilen harçların özelliklerini karşılaştırmıştır. Kullanılan bu 3 farklı tip agregalar, beton, seramik ve duvar atığı agregalarıdır. Üretilen harçlarda çimento-agrega oranları 1/6 olarak seçilmiş ve doğal kum geri dönüştürülmüş agregalarla %100 oranına kadar ikame edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre GDA'nın tipine ve ikame oranından bağımsız olarak basınç dayanımlarının orijinal harca göre düşük olduğu belirlenmiştir. Kullanılan GDA tipine göre harcın yapışma ve eğilme dayanımının arttığı belirtilmiştir. Tüm su/çimento oranları için ince öğütülmüş GDA kullanılarak üretilen harçların su emme, porozite, kılcal su emme ve rötre özelliklerinin geleneksel duvar harcından daha yüksek olduğu belirtilmiştir [31].

Fernandez ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada ürettikleri duvar harçlarının ince agregasının bir kısmının GDA ile ikameli üretimini araştırmıştır. GDA olarak seramik duvar harcı atığı ve geri dönüştürülmüş duvar harcı agregası kullanılmıştır. Duvar atığı 0-40 mm ile 0-8 mm olarak iki farklı incelikte kırılıp öğütülmüştür. GDA'lar, doğal agrega ile hacimce %0, %25, %50, %75 ve %100 olarak kullanılmıştır. Üretilen harçların işlenebilirliğini artırmak için kimyasal akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre %50 GDA ikame oranıyla iç mekânda kullanılabilen çimento harçlarının üretilebildiği rapor edilmiştir [32].

Lee, çeneli ve darbeli kırıcı ile kırılarak elde edilmiş iki farklı GDA üretmiş ve bu agregaları doğal ince agrega ile farklı oranlarda ikame ederek harçlar üretmiştir. Kullanılan agregaların özgül ağırlıkları 2,39 ve 2,28; su emmeleri ise %6,59 ve %10,35'tir. Bu çalışma sonucuna göre doğal ince agreganın tamamı çeneli kırıcıda öğütülerek elde edilen GDA ile ikame edildiğinde darbeli kırıcı ile üretilen harçlara göre daha yüksek yoğunluk ve basınç dayanımı elde edilmiştir. Ayrıca ince öğütülmüş geri dönüştürülmüş agreganın su emme değerinin harcın özelliklerini özellikle yüksek ikame oranlarında etkilediği belirtilmiştir. Artan GDA ikame oranıyla, harçların 28 günlük dayanım ve geçirimsizlik özellikleri iyileşirken, magnezyum sülfat çözeltilisinde bekletilen numunelerde GDA'nın düşük ikame oranlarında olumlu sonuç verdiğini belirtilmiştir. Yapılan genleşme testi sonuçlarına göre, %50'den daha fazla GDA kullanımı magnezyum sülfat saldırısına karşı iyi etki etmiştir. Fakat, %100 GDA ikame oranı için magnezyum sülfata karşı direncin aynı şekilde iyi olmadığı görülmüştür [33].

Sim ve Park, özgül ağırlığı 2,28 ve su emmesi %6,45 olan ince öğütülmüş GDA'ları doğal agrega ile ikameli kullanarak ürettiği harçların performansını incelemiştir. Çalışma sonucunda GDA ikame oranı arttıkça harçların basınç dayanımının azaldığını görmüştür. %100 GDA ikamesiyle harçların 28 günlük dayanımları yaklaşık %33 düşmüştür. %60'tan daha fazla ikame seviyelerinde dayanım kayıpları daha belirgin olmuştur. Kür koşulu ve uçucu kül kullanımından bağımsız olarak, GDA içeren harçların 28 günlük dayanımları referans harcından daha yüksek olmuştur. Yapı elemanları uygulamaları göz önüne alındığında, GDA içeren betonun klor iyon geçirimi ve klora dayanıklılığı bakımından yeterli dayanıklılıkta olduğu rapor edilmiştir. Uçucu kül kullanıldığında, %30 ve daha altı GDA ikamesinde karbonasyon derinliği artmıştır [34].

Ledesma ve arkadaşları duvar harcının geri dönüştürülmesiyle elde edilen kumun yeni duvar harcı üretiminde GDA olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada çimento olarak CEM-II kullanılmış ve Çimento/agregan hacimce oranı 1/5 olarak seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda birim ağırlığı daha düşük olan GDA'nın ikame oranı arttığında taze ve sertleşmiş harcın birim ağırlığının azaldığı belirlenmiştir. Harçların ortalama işlenebilirliği %25'in altındaki GDA ikame oranları için belirgin bir şekilde değişiklik göstermemiştir. Harçların basınç ve eğilme dayanımları GDA ikame oranı arttıkça azalmıştır. 28 gün kür gören ve GDA ikame oranı %50'nin üzerinde olan harçların basınç dayanımları 10 MPa'nın üzerinde olmuştur. GDA ikame oranı arttıkça harçların su emme değerlerinin artmasından dolayı yüksek miktarda GDA ikamesinin dış yapıda kullanılacak harçlar için olumsuz bir özellik olduğu savunulmuştur. Harçların kuruma büzülmesi, GDA miktarı arttıkça lineer bir şekilde artmıştır. %75'in altındaki GDA ikame oranı için harçların yapışma dayanımında belirgin bir farklılık görülmemiştir. Harcın yapışma dayanımı genel olarak ikame oranı arttıkça azalmıştır. %25'in altında GDA kullanımı, harçların ortalama kılcal su emme özellikleri üzerinde belirgin bir etki yapmamıştır. Artan GDA ikame oranlarında harçların kapiler su emme özellikleri artmıştır [35].



## **2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **2.1.Çalışmanın Amacı**

Doğal kaynakların gittikçe azaldığı ve atıkların önemli bir çevresel sorun oluşturduğu günümüzde geri dönüşüm kavramı gittikçe önem kazanmaktadır. Özellikle ekonomik olarak kullanılabilen agrega kaynaklarının gittikçe artan tüketimi karşılayamayacak olması yakın gelecek için önemli bir sorundur. Bu aynı zamanda doğal kaynakların tükenmesi anlamında da istenmeyen bir durumdur. Bu sorunun çözümü olarak artan yapılaşma durdurulmasa da en azından kullanılan malzemelerin bir kısmının geri dönüşümlü olması sağlanabilir.

Ülkemizde 2016 yılı tuğla üretim verilerinden yararlanarak yapılan hesap sonucu yıllık harç tüketiminin yaklaşık 3.000.000 m<sup>3</sup> düzeyinde olduğu hesaplanmıştır [36]. Dolayısıyla GDA kullanımının harç üretimi için de önemli olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı geri dönüştürülmüş agrega kullanımının harçların bazı özellikleri üzerindeki etkisini incelemektir. Atık betonun öğütülmesi ile elde edilen geri dönüştürülmüş kumun harç üretiminde kullanılan normal kum ile farklı oranlarda yer değiştirilmesi ile üretilen harçların taze ve sertleşmiş haldeki bazı özellikleri araştırılmıştır.

### **2.2. Deney Programı**

Deneylerde normal agrega ile ikame edilerek %0, %25, %50, %75, %100 oranında geri dönüştürülmüş agrega kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak Portland çimentosu ve %0, %20 ve %40 oranlarında çimento ile ikame edilerek uçucu kül kullanılmıştır. Toplam 15 üretim yapılmıştır. Her üretimde 5 litre harç üretilmiştir. Mekanik özellikleri belirlemek için 6 adet 40x40x160 mm prizma, su emme ve kılcallık deneyleri için 6 adet 50x50x50 mm küp, aşınma deneyi için 3 adet 71x71x71 mm küp, rötre deneyi için 3 adet 25x25x285 mm prizma numuneleri hazırlanmıştır.

### **2.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler**

#### **2.3.1. Çimento**

Bu çalışmada Aşkale Çimento Gümüşhane Çimento Fabrikası'ndan alınan CEM I 42.5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Deneyleerde kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

KİMYASAL ANALİZ	Standartlar	Sonuçlar (%)	FİZİKSEL ANALİZ	Standartlar	Sonuçlar (%)	
Toplam SiO <sub>2</sub>		18,79	32 mikron elekta kalıntı (%)		9,2	
Çözünmeyen Kalıntı	max 5,0	0,26	Özgöl Yüzey (Blaine)		3954	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4,99	Özgöl Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )		3,07	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,74	Priz Süresi (Vikat) (dakika)	Başlangıç	125	
CaO		62,19		Bitiş	170	
MgO		1,74	Su İhtiyacı (%)		29,2	
SO <sub>3</sub>	max 4,0	2,70	Hacim Genleşmesi (mm)	max 10	1	
Kızdırma Kaybı	max 5,0	3,22	Basınç Dayanımı (MPa)	Gün	Standardlar	
Na <sub>2</sub> O		0,32		2	min 20,0	27,6
K <sub>2</sub> O		1,03		28	Min 42,5 max 62,5	54,8
Cl <sup>-</sup>	max 0,1	0,0106				
Toplam Katkı		3,93				

### 2.3.2. Uçucu Kül

Deneyleerde kullanılan uçucu kül, Biga'da bulunan İçdaş Termik Santralinden temin edilmiştir. Uçucu külün özellikleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Harç karışımında kullanılan uçucu küle ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Analiz Cinsi	(TS 450-1) Limit Değerler		Kül Numunesi
İncelik 45 µm	Kategori N	Max 40%	21,0
	Kategori S	Max 12%	
Kızdırma Kaybı	Kategori A	5%	3,46
	Kategori B	7%	
	Kategori C	9%	
SiO <sub>2</sub>	(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Min 70%		45,38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			30,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			6,18
CaO			7,48
MgO	Max 4%		1,81
SO <sub>3</sub>	Max 3%		0,11
Na <sub>2</sub> O			0,42
K <sub>2</sub> O			0,47
Cl <sup>-</sup>	Max 0,1%		0,032
Toplam Alkali (eşd.Na <sub>2</sub> O)	Na <sub>2</sub> O+(0,658*K <sub>2</sub> O), Max 5%		0,73
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )			2,31
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)			3380

### 2.3.3. Agrega

#### 2.3.3.1. Normal Agrega

Hazırlanan harç numunelerinde kullanılan normal agregaya Gümüşhane’de bulunan Arazlar kırma eleme tesisinden temin edilen kalker kökenli kırma kumdur. Kırma kumun özellikleri Tablo 7’de verilmiştir.

#### 2.3.3.2. Geri Dönüştürülmüş Agrega

Karışımlarda Karadeniz Teknik Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarında bulunan beton yolun kırılmasıyla elde edilen beton parçaları konkasör tesisinde öğütülerek geri dönüştürülmüş agregaya haline getirilmiştir. Geri dönüştürülmüş agregaların temin edildiği hızlandırılmış yol testi laboratuvarının fotoğrafları Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilmiştir. Beton yoldan alınan karotların ortalama dayanımı 39,2 MPa’dır. GDA’nın fiziksel özellikleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Agregaların fiziksel özellikleri

Deney adı	Normal Agregası	GDA
Los Angeles Metodu ile Parçalanma Direnci (%)	28,63	24
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,7	2,42
Su Emme Oranı (%)	0,57	8,9
Doğal Nem (%)	0,16	4,5



Şekil 2. GDA'ların temin edildiği KTÜ Ulaştırma Laboratuvarının ilk ve son hali



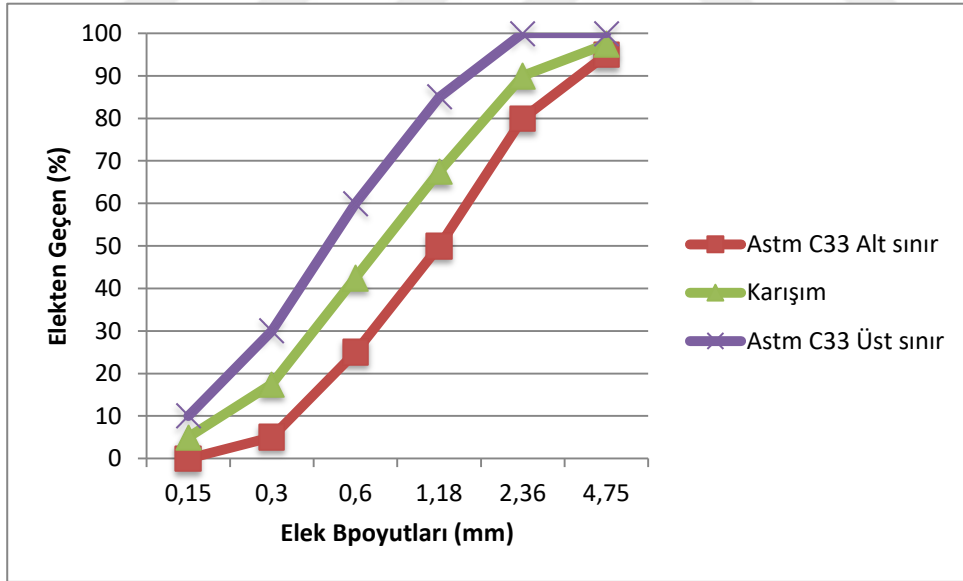
Şekil 3. Beton santrali konkasöründe beton parçalarının öğütülmesi

### 2.3.3.3. Agrega Granülometrisi

Deneysel sırasında hem normal agrega hem de geri dönüştürülmüş agrega aşağıdaki tabloda verilen eleklerden elenerek gruplara ayrılmıştır. ASTM C33’de ince agregalar için verilen granülometri sınır eğrileri arasında kalacak şekilde bir karışım granülometrisi belirlenmiş ve elenerek sınıflandırılmış agregalar bu granülometriyi sağlayacak şekilde karıştırılmışlardır. Tablo 8’de ASTM C33’e göre ince agrega sınır eğrileri ve belirlenen karışım granülometrisi verilmiş, Şekil 4’de ise granülometri eğrisi çizilmiştir.

Tablo 8. Karışımın granülometrisi ve ASTM C33’e göre sınır eğrileri

Elek Boyutları (mm)		0,15	0,3	0,6	1,18	2,36	4,75
Elekten Geçen (%)	Alt sınır	0	5	25	50	80	95
	Karışım	5	17,5	42,5	67,5	90	97,5
	Üst sınır	10	30	60	85	100	100



Şekil 4. Agregaların granülometri eğrisi ve sınır eğrileri

## 2.4. Yapılan Deneyler

### 2.4.1. Karışım Oranları

Harç karışımlarında su:çimento:agrega miktarları, standart çimento harcı üretiminde kullanılan miktarlar olan 225:450:1350 olarak kullanılmıştır. Agregalar miktarları belirlenirken doyma suları agregalar miktarlarından düşülecek şekilde hesap yapılmış ve doyma suları da karışıma eklenmiştir. Tablo 9’da harç karışım oranları verilmiştir.

Tablo 9. Harç karışım oranları

Numune Kodu	Çimento (gr)	Uçucu Kül (gr)	Su (gr)	NA (gr)	GDA (gr)
GDA0UK0	450	0	225	1350	0
GDA25UK0				1012,5	303,6
GDA50UK0				675,1	607,3
GDA75UK0				337,5	910,7
GDA100UK0				0	1214,4
GDA0UK20	360	90	225	1322,2	0
GDA25UK20				991,8	297,5
GDA50UK20				661,1	594,7
GDA75UK20				330,6	892,2
GDA100UK20				0	1189,5
GDA0UK40	270	180	225	1294,5	0
GDA25UK40				970,8	291,1
GDA50UK40				647,2	582,3
GDA75UK40				323,6	873,4
GDA100UK40				0	1164,5

### 2.4.2 Harç Üretimi

Üretim yapılırken karışım kabına ilk önce su konulup devamında bağlayıcı malzeme ilave edilerek 20-30 sn karıştırılıp şerbet elde edilmiştir. Daha sonra agregalar ilave edilerek yaklaşık 2-3 dk. homojenlik sağlanıncaya kadar karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi için el matkabı kullanılmıştır. Üretilen taze harçlar üzerinde yayılma çapı deneyi yapılmıştır. Harçlar kalıplara yerleştirilmiş ve üzerleri cam plakalar ile kapatılmıştır. Üretimden 24 saat sonra kalıplar sökülmüş ve numuneler 20°C sıcaklıktaki kür havuzuna konulmuştur. Şekil 5’te harçların üretiminden fotoğraflar, Şekil 6’da ise kür havuzu görülmektedir.



Şekil 5. Harçların kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 6. Kür havuzu

### 2.4.3. Yayılma Tablası Deneyi

Yayılma tablası deneyi TS EN 1015-3 standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir [37]. Deneyde yayılma konisi tablanın üzerine yerleştirilmiş ve taze durumdaki harçla 2 aşamada 10 kez tokmaklayarak sıkıştırılarak doldurulmuştur. Üzeri düzeltildikten sonra koni çıkarılmış ve yayılma tablası saniyede bir kez olacak şekilde 15 düşüm yapılmıştır. Yayılan harcın çapı kumpas ile ölçülmüştür. Şekil 7 de yayılma çapı ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 7. Yayılma Çapı Ölçümü

#### 2.4.4. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyleri

Kür havuzunda 7 ve 28 gün bekleyen 4x4x16 cm'lik prizma numunelerine üç nokta eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır. Deneyde Besmak Marka 20 tonluk pres kullanılmıştır. Eğilme deneyinden elde edilen ikiye bölünmüş numuneler üzerine basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Şekil 8 de eğilme ve basınç deneyinde kullanılan pres gösterilmiştir.



Şekil 8. Besmak Marka 20 Tonluk Çimento Presi

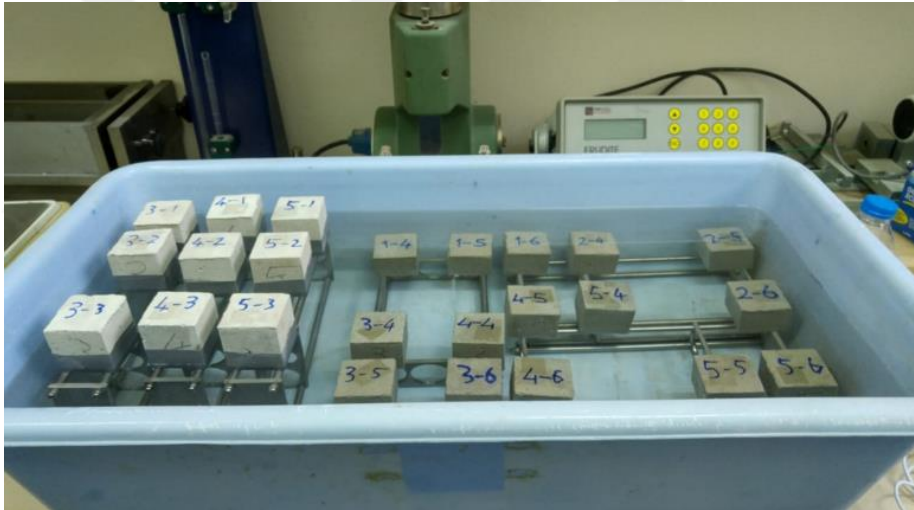
#### 2.4.5. Kılcal Su Emme Deneyi

Kür havuzundan çıkartılan 50x50x50 mm'lik küp numunelerine su emme deneyi yapılmadan önce etüvde 70°C sıcaklıkta 48 saat ön kurutma yapılmıştır. Şekil 8'de kurutma işlemi yapılan etüv gösterilmiştir. Kuruma işlemi bittikten sonra numuneler 20°C'deki klimatize odada soğuduktan sonra hassas terazide tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru ağırlıkları belirlenen numunelerin yan kısımlarının su emmesini engellemek için su geçirimsiz bant ile sarılmış ve plastik küvet içerisine numunelerin tabanı su ile temas edecek şekilde suya konulmuştur. Daha sonra 0, 5, 10, 20, 30, 45, 60 ve 120. dakikalarda numuneler hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 9'da gösterilmiştir.





Şekil 9. Geniar marka etüv



Şekil 10. Kılcal su emme deneyi görüntüsü

TS EN 771-11 standardına göre, yapılan tartımlar sonrasında yatay eksene deney süresince tartım yapılan zamanların karekökü, düşey eksene de emilen su miktarının numunenin suya değen kesit alanına bölümü işaretlenerek grafik çizilip, grafikte oluşan eğrinin eğimi kılcallık katsayısı olarak belirlenmiştir [38].

#### 2.4.6. Aşınma (Böhme) Deneyi

Aşınmaların belirlenmesi için Böhme deneyi uygulanmıştır. Deneylerde 71x71x71 cm'lik üç adet küp numune kullanılmıştır. Bu deneyde numuneler, havada ve suda tartılarak birim hacim ağırlıkları hesaplandıktan sonra deneye tabi tutulmuştur. Etüvde 70°C de 48 saat kuruyan numuneler, 20°C deki klimatize odada soğutulmuştur. Deney düzeneğine yerleştirilen her bir numune zımpara tozu ile birlikte 22 tur çevrilmiş ve aşınmaya maruz bırakılmıştır. Her 22 tur sonunda deney disk yüzeyi temizlenip numune 90° döndürüldükten sonra tekrar 20 gr zımpara tozu disk üzerine dökülüp tekrar deney başlatılmıştır. Bu işlem aynı numune üzerine 16 defa tekrarlanarak numune aşınmaya maruz bırakılmıştır. Deney sonrasında numunenin aşınması aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır. Deneyde kullanılan Böhme aşınma cihazı Şekil 11'de gösterilmiştir.

$$D_v = D_m / \delta_R$$

Burada;

$$D_v = \text{Hacimsel kayıp (cm}^3 / 50\text{cm}^2)$$

$$D_m = 16 \text{ periyot sonrası kütle kaybı (gr)}$$

$$\delta_R = \text{Örnek birim hacim ağırlığı (gr/cm}^3)$$



Şekil 11. Aşınma deney düzeneği

#### 2.4.7. Su Emme Deneyi

Harçlar üzerinde su emme deneyi ASTM C642-06 standardına göre yapılmıştır. Bu standarda göre, harçlar kür havuzundan çıkarıldıktan sonra etüvde 105°C'de 24 saat kurutularak kuru ağırlığı belirlenmiştir. Kurutulan bu numuneler 48 saat suyun içinde

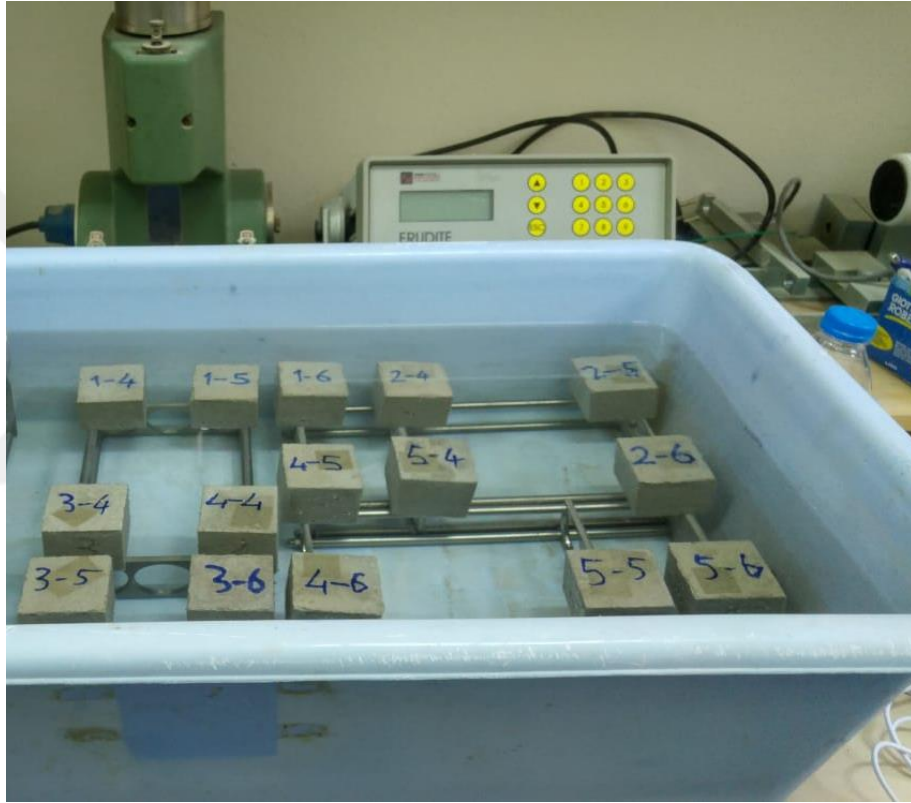
bekletildikten sonra doygun yüzey (DKY) haline getirilerek ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıkça su emme yüzdeleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Su emme deney düzeneği Şekil 12’de gösterilmiştir.

$$\text{Ağırlıkça Su Emme (\%)} = ((\text{DKY} - \text{EK}) / \text{EK}) * 100$$

Burada;

DKY = Doygun kuru yüzey harç ağırlığı (gr)

EK = Etüv kurusu harç ağırlığı (gr)



Şekil 12. Su Emme Deney Düzeneği

#### 2.4.8. Kuruma Büzülmesi (Rötire) Deneyi

Harçların kuruma büzülmesi rötresi ASTM C1148’ göre belirlenmiştir. Bu standarda göre, her iki ucunda boy değişimi ölçümü yapmayı sağlayan pimleri bulunan 25x25x285 mm’lik numuneler kullanılmıştır. Kuruma büzülmesi numuneleri laboratuvar ortamında 1 gün kalıplarda bekletildikten sonra 2 gün standart kür havuzunda bekletilmiştir. 3. günün sonunda numuneler havuzdan çıkartılıp 20 °C sıcaklık ve %50 bağıl neme sahip odada muhafaza edilmiştir. Boy değişim ölçümleri üretim tarihinden sonraki 3, 7, 14 ve 28.

günlerde gerçekleştirilmiştir. Şekil 13’de kuruma büzülmesi ölçümlerinde kullanılan numuneler ve deneyin yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 13. Rötire deney numuneleri ve rötire deneyi yapılışı



### 3. BULGULAR

#### 3.1. Yayılma ve Birim Ağırlık Deneyleri

Üretilen harç karışımına yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Ölçülen yayılma çapları ve birim ağırlıkları Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Yayılma çapları

Numune Kodu	Yayılma Çapı (cm)	Birim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
GDA0UK0	15.8	2.29
GDA25UK0	13.8	2.22
GDA50UK0	13.4	2.19
GDA75UK0	13	2.14
GDA100UK0	12.1	2.08
GDA0UK20	13.2	2.25
GDA25UK20	12.6	2.19
GDA50UK20	12.5	2.12
GDA75UK20	12	2.08
GDA100UK20	12	2.07
GDA0UK40	13.2	2.20
GDA25UK40	12.5	2.17
GDA50UK40	12.5	2.11
GDA75UK40	12.5	2.06
GDA100UK40	12	2.03

#### 3.2. Mekanik Özellikler

Üretilen harçların 7 ve 28 günlük ortalama basınç ve eğilme dayanımları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Harçların basınç ve eğilme dayanımları

Numune Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)	
	7 Gün	28 Gün	7 Gün	28 Gün
GDA0UK0	46.70	55.02	8.94	9.12
GDA25UK0	45.13	52.28	7.95	7.73
GDA50UK0	44.44	49.25	6.28	7.46
GDA75UK0	40.31	49.25	7.23	6.36
GDA100UK0	39.66	45.80	6.38	5.04
GDA0UK20	38.20	49.89	6.80	8.76
GDA25UK20	35.59	47.83	8.09	7.61
GDA50UK20	33.89	43.39	6.84	6.87
GDA75UK20	31.08	44.50	6.30	5.65
GDA100UK20	30.06	42.19	4.41	5.05
GDA0UK40	27.56	41.54	5.26	5.86
GDA25UK40	25.66	39.05	3.49	5.78
GDA50UK40	23.52	37.16	4.95	3.98
GDA75UK40	21.23	35.53	4.52	3.36
GDA100UK40	19.63	35.04	3.38	4.59

### 3.3. Kılcallık Deneyi

Üretilen harçlar üzerinde 28 gün sonunda yapılan kılcallık deneyi sonunda elde edilen kılcallık katsayıları Tablo 12 de verilmiştir.

Tablo 12. Kılcallık katsayısı değerleri

Numune Kodu	Kılcallık Katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{sn} \times 10^{-6}$ )
GDA0UK0	2.846
GDA25UK0	5.241
GDA50UK0	5.643
GDA75UK0	6.846
GDA100UK0	8.766
GDA0UK20	2.041
GDA25UK20	2.191
GDA50UK20	2.963
GDA75UK20	4.630
GDA100UK20	7.491
GDA0UK40	2.295
GDA25UK40	2.041
GDA50UK40	2.674
GDA75UK40	4.056
GDA100UK40	4.930

### 3.4. Aşınma (Böhme) Deneyi

Üretilen harçlar üzerinde 28 gün sonunda yapılan Böhme aşınma deneyi sonunda elde edilen hacimsel aşınma kaybı değerleri Tablo 13 de verilmiştir.

Tablo 13. Aşınma Kayıpları

Numune Kodu	Aşınma Kaybı (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )
GDA0UK0	3.75
GDA25UK0	3.41
GDA50UK0	3.19
GDA75UK0	2.90
GDA100UK0	2.89
GDA0UK20	4.45
GDA25UK20	3.49
GDA50UK20	3.54
GDA75UK20	3.21
GDA100UK20	2.89
GDA0UK40	4.07
GDA25UK40	3.59
GDA50UK40	3.58
GDA75UK40	3.55
GDA100UK40	3.31

### 3.5. Su Emme Deneyi

Üretilen harçlar üzerinde 28 gün sonunda yapılan su emme deneyi sonunda elde edilen ağırlıkça su emme değerleri Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. Su emme değerleri

Numune Kodu	Su Emme (%)
GDA0UK0	4.05
GDA25UK0	4.91
GDA50UK0	7.18
GDA75UK0	8.32
GDA100UK0	9.66
GDA0UK20	5.20
GDA25UK20	5.56
GDA50UK20	6.33
GDA75UK20	6.73
GDA100UK20	9.38
GDA0UK40	4.70
GDA25UK40	5.41
GDA50UK40	6.18
GDA75UK40	6.26
GDA100UK40	11.44

### 3.6.Kuruma Büzülmesi (Rötre) Deneyi

Üretilen harç numuneleri üzerinde 3, 7, 14, 21 ve 28. günlerde ölçülen kısalma değerlerinden yararlanılarak hesaplanan kuruma büzülmesi değerleri Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. Kuruma büzülmesi değerleri

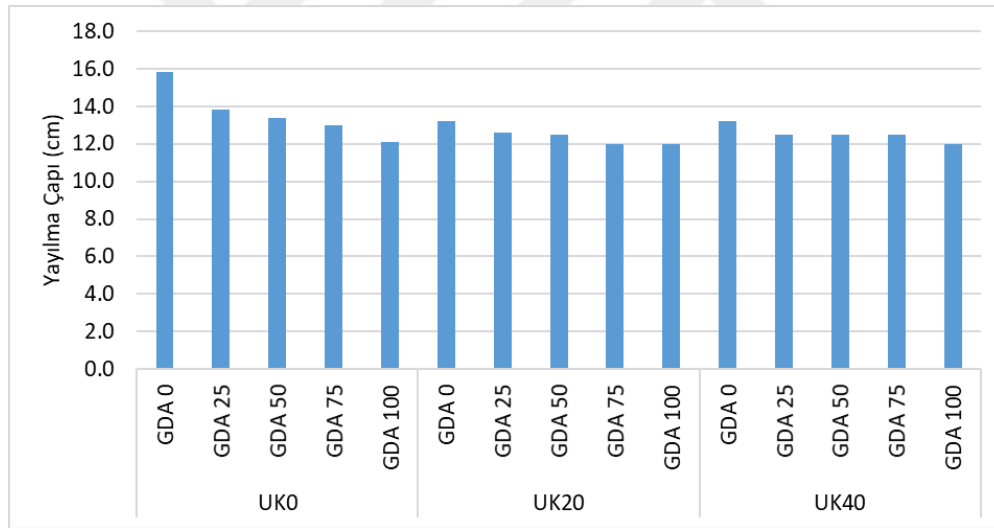
Numune Kodu	Kuruma Büzülmesi ( $\times 10^{-6}$ )			
	7 Gün	14 Gün	21 Gün	28 Gün
GDA0UK0	160.00	502.67	622.67	684.00
GDA25UK0	114.67	645.33	829.33	893.33
GDA50UK0	361.33	844.00	874.67	993.33
GDA75UK0	706.00	1136.00	1276.00	1346.00
GDA100UK0	605.33	1286.67	1470.67	1588.00
GDA0UK20	297.33	530.67	634.67	621.33
GDA25UK20	393.33	668.00	785.33	806.67
GDA50UK20	634.00	1040.00	1202.00	1234.00
GDA75UK20	644.00	908.00	1008.00	1020.00
GDA100UK20	536.00	1002.67	1362.67	1448.00
GDA0UK40	248.00	430.67	466.67	460.00
GDA25UK40	292.00	648.00	708.00	686.00
GDA50UK40	302.67	764.00	868.00	857.33
GDA75UK40	290.67	826.67	1026.67	1088.00
GDA100UK40	362.67	1117.33	1348.00	1400.00



## 4.İRDELEME

### 4.1. Yayılma Tablası Deneyi

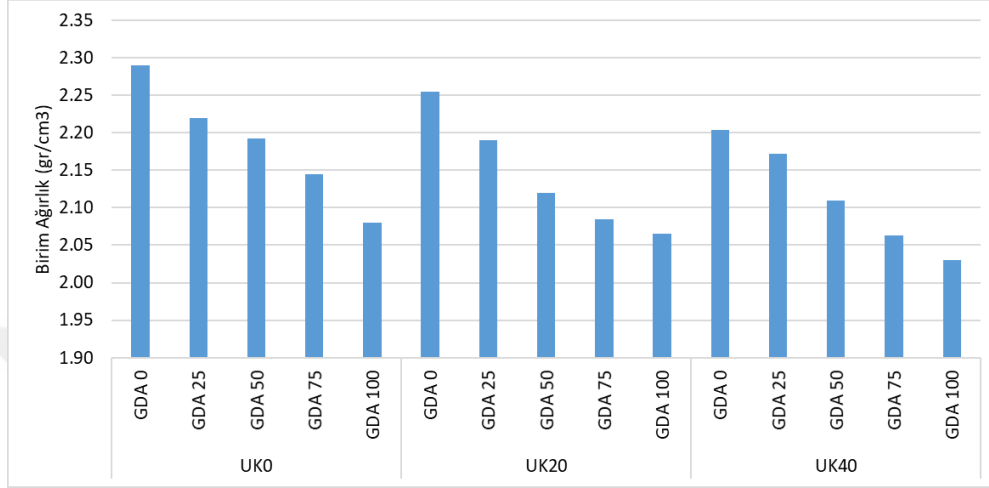
Üretilen harç numuneleri taze haldeyken yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Ölçülen yayılma çaplarının GDA miktarı ve uçucu kül ikame oranına bağlı olarak değişimi Şekil 14’de gösterilmiştir. Uçucu kül içermeyen harçlarda GDA miktarı arttıkça yayılma çaplarının azaldığı gözlemlenmiştir. Benzer durum, GDA kullanılarak gerçekleştirilen önceki çalışmalarda da mevcuttur [39, 40, 41]. GDA’nın işlenebilirliği azaltıcı etkisinin nedeni, normal agregaya oranla daha pürüzlü bir yüzey dokusuna sahip ve daha köşeli oluşunun parçacıklar arasındaki sürtünmeyi artırıcı etkisi nedeniyle. Uçucu kül içeren harçlarda ise yayılma çapları, uçucu kül içermeyenlerden daha düşük olmuş, GDA miktarının artmasıyla yayılma çaplarında az miktar düşüklük gözlemlenmiştir.



Şekil 14. Taze durumdaki harçların yayılma çapları

## 4.2. Birim Ağırlık

Üretilen harç numunelerin taze birim ağırlık değeri Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15. Taze durumdaki harçların birim ağırlıkları

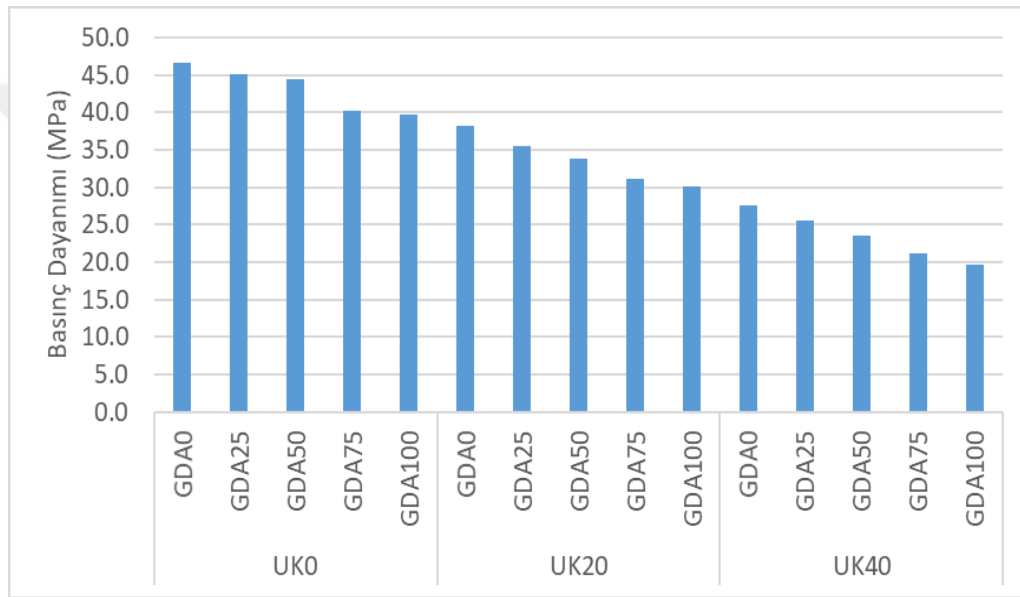
GDA ikame oranının artmasıyla harçların birim ağırlıkları belirgin bir biçimde azalmıştır. Birim ağırlık değerleri GDA kullanılmayan harçta  $2,29 \text{ gr/cm}^3$  iken %100 GDA kullanılan harçta  $2,08 \text{ gr/cm}^3$ 'e inmiştir. GDA'nın özgül ağırlığının düşük olması nedeniyle bu beklenen bir sonuçtur. Benzer bulgular Khatip vd, Pereira vd. ve Sim vd. tarafından yapılan çalışmalarda da bulunmuştur [34, 41 , 42].

Uçucu kül kullanılan harçlarda da aynı eğilim mevcuttur. Uçucu kül kullanım oranının artmasıyla birim ağırlıklar daha da azalmıştır. Örneğin %40 oranında uçucu kül ikame edilen harçlarda GDA kullanılmaması durumunda birim ağırlık  $2,20 \text{ gr/cm}^3$  iken %100 GDA kullanılması durumunda  $2,03 \text{ gr/cm}^3$ 'e inmiştir. Bunun sebebi, uçucu külün çimentodan daha düşük olan özgül ağırlığıdır.

## 4.3. Basınç ve Eğilme Dayanımı

Şekil 16 ve Şekil 17’ de üretilen harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının GDA ve UK ikame oranlarına bağlı olarak değişimi görülmektedir.

7 günlük dayanımlar hem GDA ikame oranı hem de uçucu kül ikame oranı arttıkça düzenli bir biçimde azalmıştır. Uçucu kül kullanılmayan harçlarda GDA'sız harcın dayanımı 46,70 MPa iken %100 oranında GDA kullanılması durumunda 39.66 MPa'a inmiştir. Yani dayanım, %15 oranında azalmıştır. Uçucu kül kullanılması durumunda ise dayanım düzeyleri daha azalmıştır. %20 uçucu kül kullanılması durumunda GDA'sız ve %100 GDA'lı harçların dayanımları arasındaki oran %21, %40 uçucu kül kullanılması durumunda ise aynı oran %29 olmuştur. Yani uçucu küllü harçlarda GDA kullanılması durumundaki dayanım kaybı daha da artmıştır.



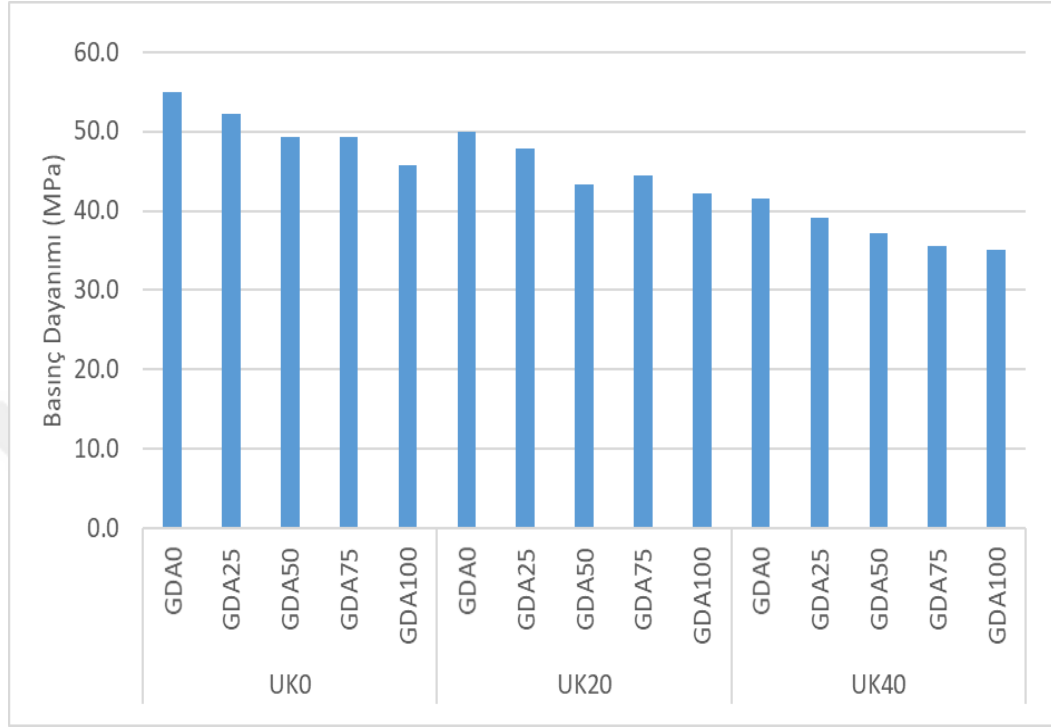
Şekil 16. 7 günlük basınç dayanımları

28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında da 7 günlük dayanımlarda olduğu gibi hem GDA hem de uçucu kül ikame oranının artmasıyla dayanımların azaldığı görülmektedir. GDA ve uçucu kül kullanılmayan harçta 28 günlük basınç dayanımı 55.02 MPa olmuştur. %100 GDA kullanılması durumunda ise dayanım %15 azalarak 45.8 MPa'a inmiştir. Benzer sonuçlar literatürdeki bazı çalışmalarda da gözlenmiştir [34, 41, 43].

Basınç dayanımlarındaki bu düşüşün nedeni GDA'nın içerdiği eski harcın varlığıdır. Çünkü bu kısmın porozitesi yüksektir dolayısıyla dayanımı düşüktür. Ayrıca GDA, kırılma işlemi sırasında oluşan tozları ve bazı yabancı maddeleri içerebilmesi de dayanımı azaltıcı nedenler arasında sayılabilir.

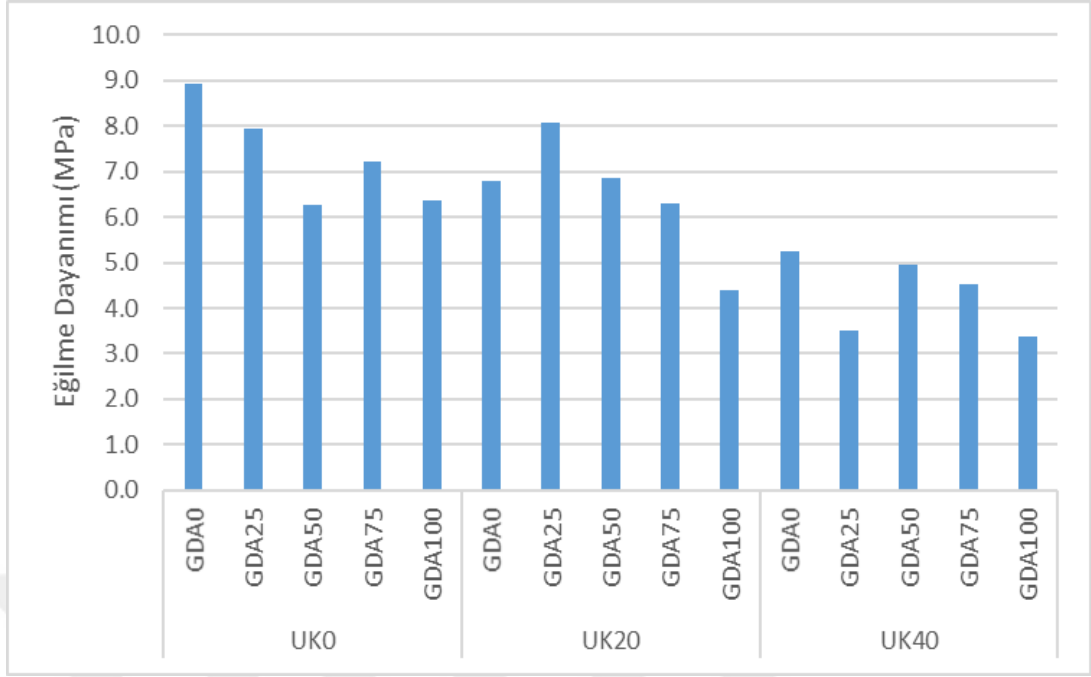
%20 ve %40 uçucu kül kullanılan harçlarda da dayanım düşüşü benzer şekilde gerçekleşmiştir. %20 uçucu kül kullanılan harçlarda GDA'sız ve %100 GDA'lı harçların

dayanımları arasındaki oran %15 olurken aynı oran %40 uçucu küllü harçlarda %16 olmuştur.

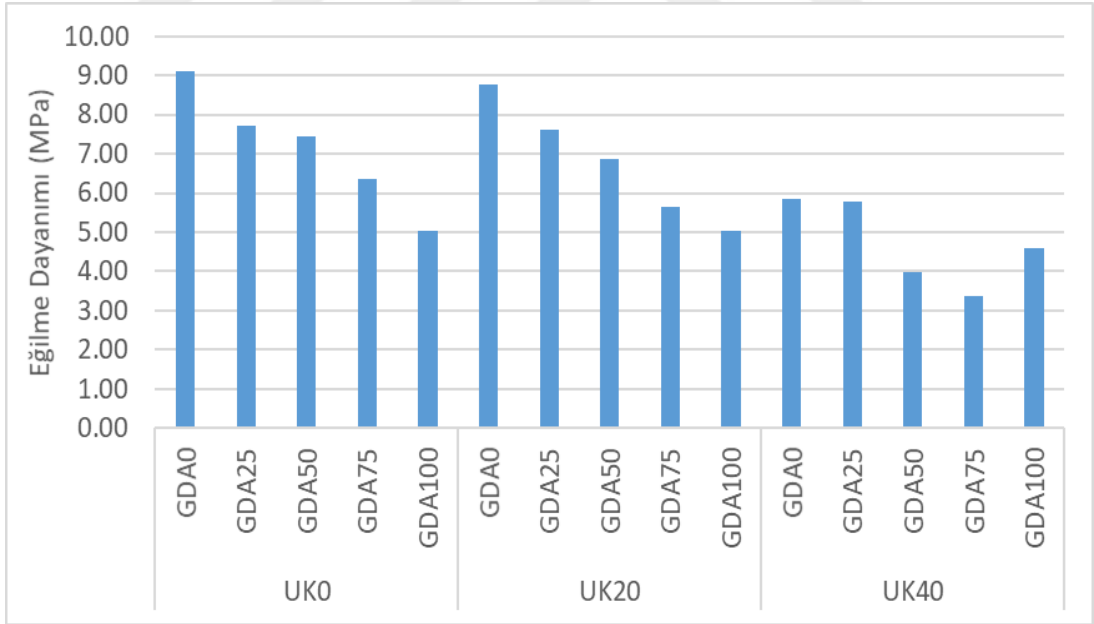


Şekil 17. 28 günlük basınç dayanımları

Şekil 18 ve Şekil 19 de ise harçların GDA ve uçucu kül ikame oranına bağlı olarak 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları görülmektedir. Her iki yaşta da GDA oranı ve uçucu kül ikame oranı arttıkça eğilme dayanımları azalmıştır. 7 günlük dayanımlarda görülen düzensiz değişimlerin nedeni literatürde eğilme dayanımının agrega-harç arayüzey bölgesine fazla duyarlı olduğu, GDA'lı harçlarda ise eski harcın varlığı nedeniyle yüzey pürüzlülüğündeki değişkenliğin arayüzey bölgesini olumsuz etkilemesi şeklinde açıklanmıştır [34].



Şekil 18. 7 günlük eğilme dayanımı



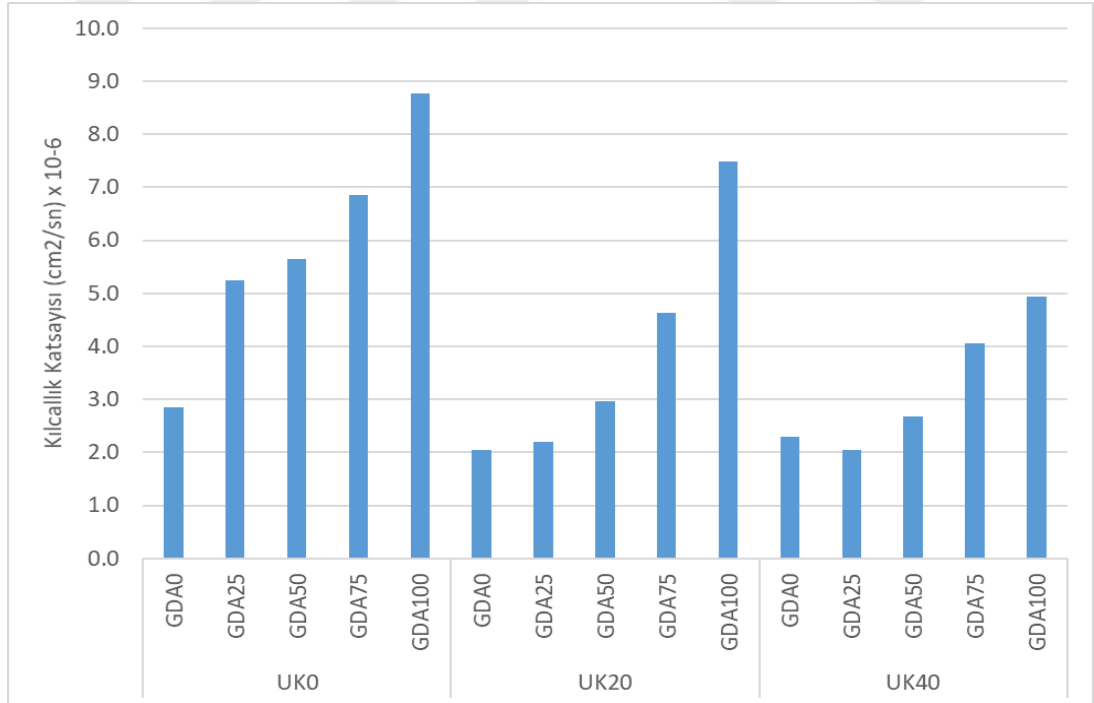
Şekil 19. 28 günlük eğilme dayanımları

#### 4.4. Kılcal Su Emme Deneyi (Kılcallık Katsayıları)

28 günlük 5x5x5 cm<sup>3</sup> boyutlu küpler üzerinde TS EN 722-11'e göre yapılan kılcal su emme deneyinden elde edilen kılcallık katsayıları GDA ve uçucu kül ikame oranına bağlı olarak Şekil 20'de verilmiştir. Kılcallık katsayılarının belirlenmesinde kullanılan grafikler Ek 1'de verilmiştir.

GDA içermeyen harçların kılcallık katsayıları incelendiğinde GDA ikame oranı arttıkça kılcallık katsayılarının arttığı görülmektedir. GDA içermeyen harçta kılcallık katsayısı  $2.85 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/sn iken %100 GDA içeren harçlarda 8.77'ye çıkmıştır. Yani kılcallık katsayısı yaklaşık 3 kat artmıştır. Bu durum, literatürle de uyumludur [44, 42, 45].

Kılcallık katsayısındaki bu artışın nedeni GDA tanelerinin üzerinde bulunan eski harçlar nedeniyle su emmelerinin yüksek oluşudur. Uçucu kül kullanımı kılcallık katsayılarında azalmaya neden olmuştur. Fakat bu harçlarda da GDA oranı arttıkça kılcallık katsayısı artmıştır. Uçucu külün kılcallık katsayısını azaltmasının nedeni puzolanik etkisi nedeniyle.

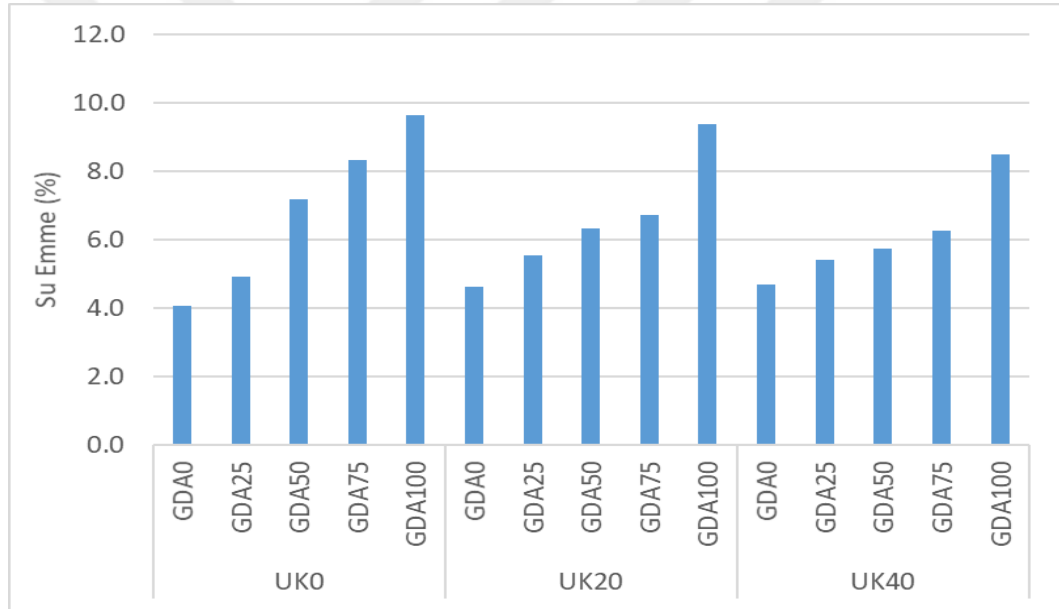


Şekil 20. Kılcallık Katsayıları

#### 4.5. Su Emme Deneyi

Harçlar üzerinde yapılan su emme deneyinden elde edilen su emme yüzdeleri GDA ve uçucu kül ikame oranına bağlı olarak Şekil 21’de verilmiştir.

Beklendiği gibi GDA oranı arttıkça harçların su emme yüzdeleri de artmıştır. Bu artış uçucu kül kullanılmayan harçlarda, %0 ve %100 GDA kullanılan harçlar arasında %60 düzeyinde olmuştur. Benzer eğilimler literatürde bazı çalışmalarda da görülmüştür [40, 41, 46]. Uçucu kül ikame edilen harçlarda %0 ve %25 GDA ikame oranlarında su emme yüzdelerinde çok az da olsa bir artış görülmesine rağmen daha yüksek GDA kullanım oranlarında su emmeler belirgin şekilde azalmıştır. Bhikshama vd. yaptıkları çalışmada da uçucu külün su emmeyi azalttığını belirtmişlerdir [47].

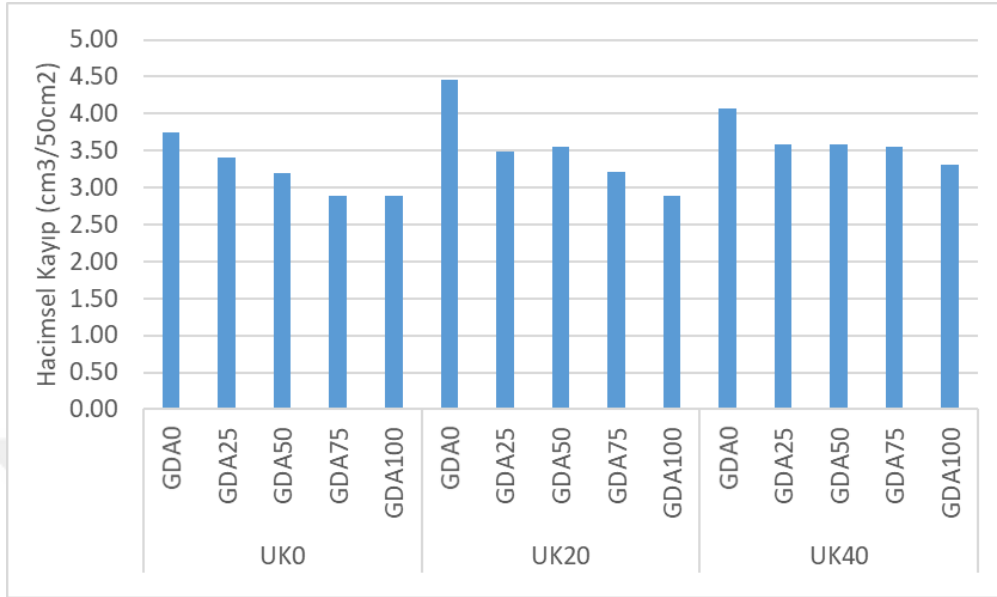


Şekil 21. Su emme yüzdeleri

#### 4.6. Aşınma (Böhme) Deneyi

Numunelerin aşınma (böhme) deneyleri sonrası hacimsel kayıp değerleri Şekil 22’de verilmiştir. Uçucu kül kullanılmayan ve kullanılan tüm harçlarda GDA ikame oranı arttıkça aşınma kaybının azaldığı görülmektedir. Yani GDA kullanımını aşınma direncini arttırmıştır. Benzer sonuç literatürde de mevcuttur. , Fonseca vd. ve Correira vd. yaptıkları çalışmalarda GDA kullanım oranı arttığında aşınma direncinin de arttığını gözlemlemişlerdir. [48, 49]. Bu durumu GDA agregalarının yüksek poroziteleri nedeniyle

çimento hamuruyla daha iyi bir bağ oluşturmasına ve bu nedenle aşınma testinde daha az kayıp oluşmasına bağlamışlardır [49].

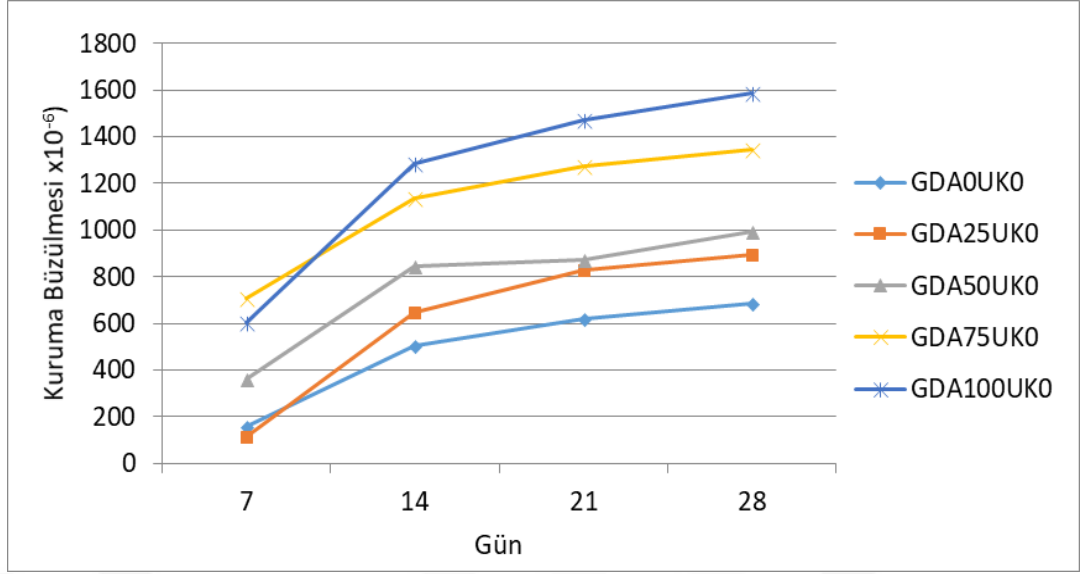


Şekil 22. Numunelerin aşınma deneyi sonrası hacimsel kayıp değişimleri

#### 4.7.Kuruma büzülmesi (Rötire) Deneyi

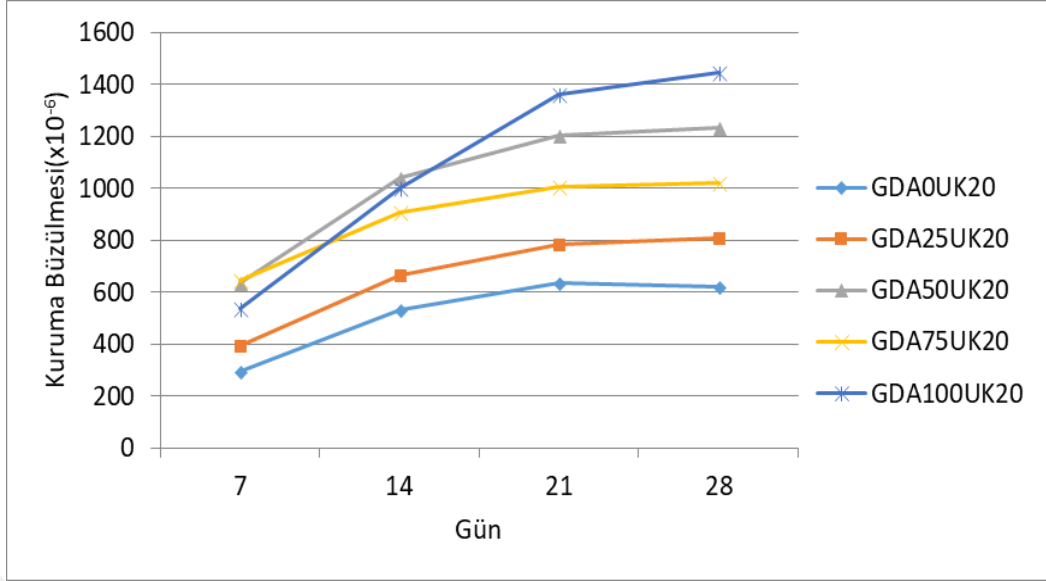
Uçucu kül kullanılmayan harçlara ait kuruma büzülmesi değerleri GDA ikame oranlarına bağlı olarak Şekil 23’de verilmiştir. GDA ikame oranı arttıkça harçların kuruma büzülmeleri de artmıştır. Tavakoli ve Soroushian GDA’nın kuruma büzülmesini arttırmasının nedenini, mevcut harca ilaveten GDA’ların üzerinde de harç bulunmasına yani hem eski hem de yeni harcın varlığı nedeniyle ortamda çok fazla harç olmasına bağlamışlardır [50].



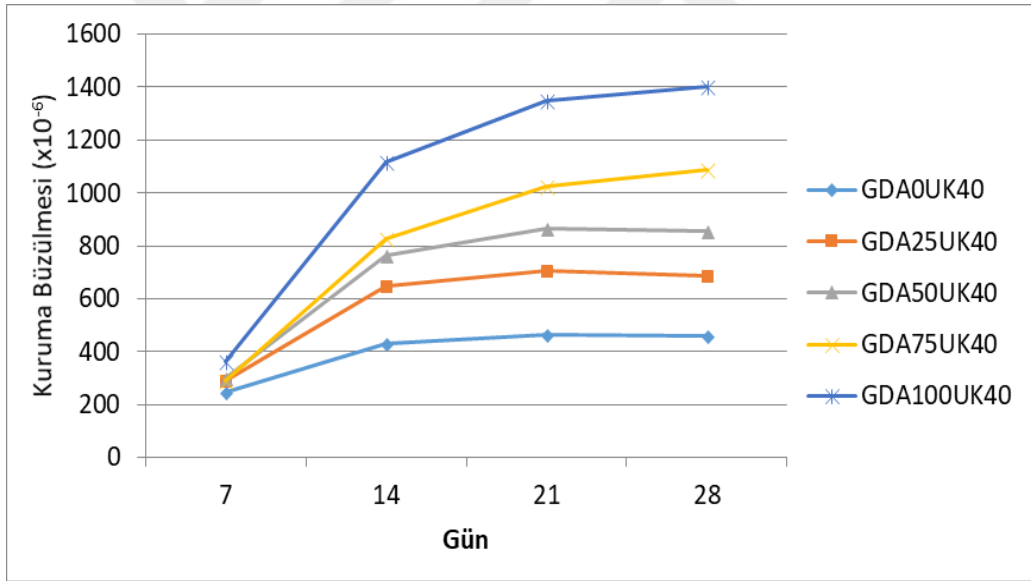


Şekil 23. %0 Uçucu kül ikameli harçların kuruma büzülmeleri

Şekil 24 ve Şekil 25’de %20 ve %40 uçucu kül ikameli harçların GDA ikame oranına bağlı olarak kuruma büzülmelerini göstermektedir. Uçucu külsüz harçlarla kıyaslandıklarında, uçucu kül kullanımının kuruma büzülmesini belirgin bir şekilde azalttığı görülmektedir. Kou ve arkadaşları %0,%25 ve %35 oranında uçucu kül kullandıkları GDA’lı betonlar üzerinde 112 güne kadar kuruma büzülmesi ölçümü yapmışlar ve uçucu kül kullanımının kuruma büzülmesini azalttığını belirtmişlerdir. Atiş ve arkadaşları ise yüksek kalsiyumlu uçucu küllü harçların dayanım ve kuruma büzülmesi özelliklerini inceledikleri çalışmalarında uçucu külün kuruma büzülmesini azaltıcı etkisini, külün yapısındaki serbest kireç ve MgO’nun varlığına bağlamışlardır. Yani uçucu külde genişmeye sebep olacak bu unsurların çimentonun büzülmesini azalttığını söylemişler ve bunu uçucu külün “seyreltici etkisi” olarak isimlendirmişlerdir.



Şekil 24. %20 Uçucu kül ikameli harçların kuruma büzülmeleri



Şekil 25. %40 Uçucu kül ikameli harçların kuruma büzülmeleri

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı geri dönüştürülmüş agrega kullanımının harçların bazı özellikleri üzerindeki etkisini incelemektir. Atık betonun öğütülmesi ile elde edilen geri dönüştürülmüş kumun harç üretiminde kullanılan normal kum ile farklı oranlarda yer değiştirilmesi ile üretilen harçların taze ve sertleşmiş haldeki bazı özellikleri araştırılmıştır. Normal agrega yerine %0, %25, %50 ve %100 oranında geri dönüştürülmüş agrega(GDA) ikame edilerek harç karışımları üretilmiştir. Ayrıca çimento yerine %20 ve %40 oranında uçucu kül ikame edilerek harç performansına etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1. Uçucu kül kullanılmayan harçlarda GDA ikame oranının artması harçların yayılma çaplarının azalmasına sebep olmuştur. Uçucu kül kullanılan harçlarda ise işlenebilirlikler azalmış, GDA kullanım oranının artması yayılma çaplarını uçucu kül kullanılmayan harçlardaki kadar belirgin bir şekilde etkilememiştir.
2. GDA ikame oranının artmasıyla harçların birim ağırlıkları belirgin bir biçimde azalmıştır. Uçucu kül kullanım oranının artmasıyla birim ağırlıklardaki azalma daha da belirgin olmuştur.
3. GDA ve uçucu kül ikame oranı arttıkça hem 7, hem de 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları azalmıştır. Uçucu kül kullanılmayan ve kullanılan tüm harçlarda %100 GDA kullanımı harç dayanımlarını GDA'sız harçlara göre yaklaşık olarak %16 oranında azalmıştır.
4. Uçucu kül kullanılmayan harçlarda GDA ikame oranı arttıkça kılcallık katsayılarının arttığı görülmektedir. Uçucu kül kullanımı kılcallık katsayılarında azalmaya neden olmuştur. Fakat bu harçlarda da GDA oranı arttıkça kılcallık katsayısı artmıştır.
5. Uçucu kül kullanılmayan harçlarda GDA oranı arttıkça harçların su emme yüzdeleri %60 düzeyine kadar artmıştır. Uçucu kül kullanımı ise özellikle yüksek oranda GDA içeren su emme yüzdelerini bir miktar azaltmıştır.
6. Uçucu kül kullanılmayan ve kullanılan tüm harçlarda GDA ikame oranı arttıkça aşınma kaybı azalmıştır. Yani GDA kullanımı aşınma direncini arttırmıştır.
7. GDA ikame oranı arttıkça harçların kuruma büzülmeleri de artmıştır. Uçucu külsüz harçlarla kıyaslandıklarında, uçucu kül kullanımının kuruma büzülmesini belirgin bir şekilde azalttığı belirlenmiştir.
8. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında bundan sonra yapılacak çalışmalarda farklı çimentolar, farklı mineral katkıları ve kireç kullanımının GDA'lı harçların performansı üzerindeki etkisi araştırılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

1. URL-1, <http://www.thbb.org/sector/dunyada-sektor/>. 1 Mayıs 2018.
2. Tu, T-Y., Chen Y-Y. ve Hwang, C-L., Properties of HPC with recycled aggregates , Cement and Concrete Research, 36, 5(2006) 943-950.
3. İpekçi, C.A., Coşkun, N. ve Karadayı, T.T., İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi, Türk Bilim Araştırma Vakfı, 10, 2 (2017) 43-50.
4. Erdoğan, T.Y., 2013. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
5. Agregatör Raporu, Agregatör Üreticileri Birliği Teknik Komite, (2006), İstanbul.
6. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., 2012. Beton, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
7. TS EN 197-1 (2002). Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
8. TS 25 (2008). Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.s
9. ASTM C618-17a, 2017. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, Annual Book of ASTM Standarts.
10. Erdoğan Y.T., 1997. Admixtures for Concrete, Middle East Tech, University press. Ankara.
11. Ekinci, C.E. ve Yeginobalı, M.A., The Striking Strength Of Silica Fume Added Concretes, 4. Beton Kongresi, Ekim 1996, İstanbul, Bildiriler Kitabı.
12. Akçaözöülu, K., Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı ve Birim Kısılma Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.
13. Şimşek, O., Yapı Malzemeleri II, Seçkin Yayınevi, Ankara, 2013.
14. Güneş, S., Aykan, G., Şendoğan, M. Ve Gerin, E., Hazır yaş sıvanın (harçlarının) üretimi, kalite kontrolü ve deneysel çalışması, Hazır Beton Kongresi ve Uluslararası Beton ve Agregatör Teknolojileri ve Ekipmanları Fuarı, İstanbul, 2010, 291-301.
15. TS EN 998-2., 2006. Kâgir harcı - özellikler - Bölüm 2: Kâgir harcı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

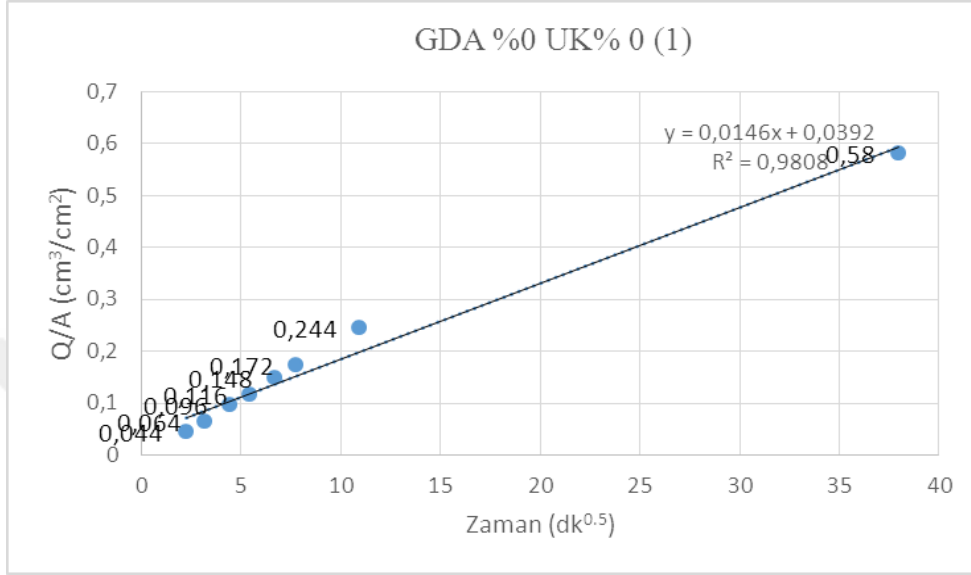
16. Döndüren, M.S., Bağlayıcı özelliği artırılan duvar ve sıva harcının düzlem dışı yüklenen tuğla duvarların mekaniksel davranışına etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008.
17. Tüfekçi, M. M., Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
18. Wilson, P., 1997. The History of Recycling. California Resources Agency, Department of Conservation.
19. Khalaf, F. M. ve Devenny, A.S., 2004. Recycling of Demolished Masonry Rubble as Coarse Aggregate in Concrete: Review, J. Mater. Civ. Eng., 16, 4, (2004) 331-340.
20. Otsuki, N., M. ASCE, M., Shin-ichi Miyazato, ve Yodsudjai, W., Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete, J. Mater. Civ. Eng., 15, 5, (2003) 443-451.
21. Lee, Thang, Saout, G.L., Garcia-Diaz, E., Betrancourt D. ve Rémond, S., Hardened behavior of mortar based on recycled aggregate: Influence of saturation state at macro- and microscopic scales, Construction and Building Materials, 141, (2017) 479–490.
22. Tam, W.Y.V., Gao, X.F., Tam, C.M., Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, Cement and Concrete Research, 35, 6, (2005) 1195-1203.
23. Samiei, R.R., Daniotti, B., Pelosato, R. ve Zotelli, G., Properties of cement–lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates, Construction and Building Materials, 84, 2015, 84–94.
24. Neno, C, de Brito, J. ve Veiga, R., Using fine recycled concrete aggregate for mortar production, Mater. Res., 17, 1 (2014). 168-177.
25. Hanžič, H., Mautinger, A., Jurič, B. ve Oliveira, P., Water retention capability of mortars made of recycled aggregate. In: Proceedings of the SB08 World Sustainable Building Conference, 2008, Melbourne, 615-621.
26. Braga, M., De Brito, J. ve Veiga, R., Incorporation of fine concrete aggregates in mortars, Constr. Build. Mater., 36, 2012, 960-8.

27. Vegas, I., Azkarate, I., Juarrero, A. ve Frias, M., Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates, *Mater. Constr.* 59 (295), 2009, 5-18.
28. Jimenez, J.R., Ayuso, J., Lopez, M., Fernandez, J.M., De Brito, J., Use of fine recycled aggregates from a ceramic waste in masonry mortar manufacturing, *Constr. Build. Mater.*, 40, 2013, 679-690.
29. Corinaldesi, V., Moriconi, G., Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. *Constr. Build. Mater.* 23, 2009, 289-294.
30. Corinaldesi, V., Environmentally-friendly bedding mortars for repair of historical buildings. *Constr. Build. Mater.*, 35, 2012, 778-784.
31. Martínez, I., Etxeberria, M., Pavon, E. ve Díaz, N., A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Constr. Build. Mater.*, 49, 2013, 384-392.
32. Fernandez, E., Jimenez, J.R., Ayuso, J., Fernandez, J.M ve de Brito, J., Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production - part-I: ceramic masonry waste. *J. Clean. Prod.*, 87, 2015, 692-706.
33. Lee, S.T., Influence of recycled fine aggregates on the resistance of mortars to magnesium sulfate attack, *Waste Manag.*, 29, 2009, 2385–2391.
34. Sim, J. ve Park, C, Compressive strength and resistance to chloride ion penetration and carbonation of recycled aggregate concrete with varying amount of fly ash and fine recycled aggregate, *Waste Manag.*, 31, 2011, 2352–2360.
35. Ledesma, E.F., Jiménez, J.R., Ayuso, J., Fernández, J.M. ve de Brito, J., Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production—Part-I: Ceramic masonry waste, *J. Clean. Prod.*, 87, 2015, 692–706.
36. Türk Yapı Sektörü Raporu, 2016, 221.
37. TS EN 1015-3, Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayımla tablası ile), T.S.E., Ankara, 2000.
38. TS EN 771-1+A1, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler, T.S.E., Ankara, 2016.

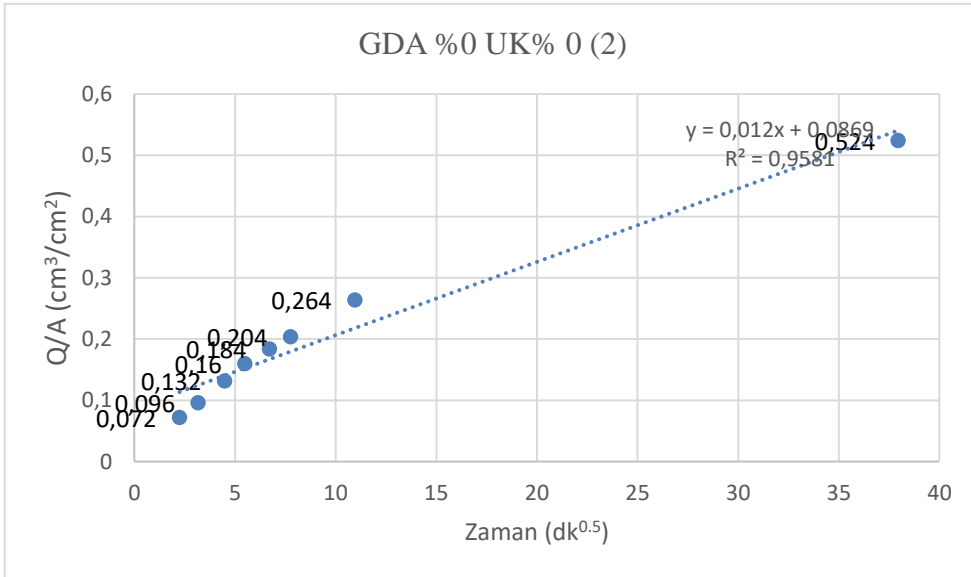
39. Fan, C-C., Huang, R., Hwang, H., ve Chao, S\_J., The Effects of Different Fine Recycled Concrete Aggregates on the Properties of Mortar, *Materials* 8(2015) 2658-2672
40. Fan, C-C., Huang, R., Hwang, H. ve Chao,S-J., Properties of concrete incorporating fine recycled aggregates from crushed concrete wastes, *Construction and Building Materials* 112 (2016) 708–715.
41. Khatib, J.M., Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate, *Cem. Concr. Res.* 35, 4 (2005) 763–769
42. Pereira,P., Evangelista, L. ve Brito, J. De., The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Constr. Build. Mater.* 28,1 (2012) 722–729.
43. Kou, S.C., Poon, C.S. ve Chan,D., Influence of Fly Ash as Cement Replacement on the Properties of Recycled Aggregate Concrete, *J. Mater. Civ. Eng.*, 19,9( 2007) 709-717.
44. Zong, L., Fei,Z. ve Zhang,S., Permeability of recycled aggregate concrete containing fly ash and clay brick waste, *Journal of Cleaner Production*, 70(2014) 175-182.
45. Olorunsogo, F.T. ve Padayachee,N., Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes, *Cement and Concrete Research*, 32, 2(2002) 179-185
46. Evangelista,L. ve Brito, J.de., Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 32,1,( 2010)9-14.
47. Bhikshma, V., Divya K. ve Osmania, Study On the Permeability of the Recycled Aggregate Concrete Using Fly Ash, 37th Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, 2012, Singapore
48. Fonseca N., Brito, J. de ve Evangelista, L., The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste, *Cement & Concrete Composites*, 33 (2011) 637–643.
49. Correira, J.R., Brito, J. de ve Pereira, A.S., Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates, *Materials and Structures*, 39(2006)169–177.
50. Tavakoli, M., and Soroushian, P. Drying shrinkage behavior of recycled aggregate concrete, *Concr. Int.*, 18, 11 (1996) 58–61.

## 7. EKLER

Ek 1. Üretilen harçların kılcalık katsayılarının hesaplanması ( $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafikleri)

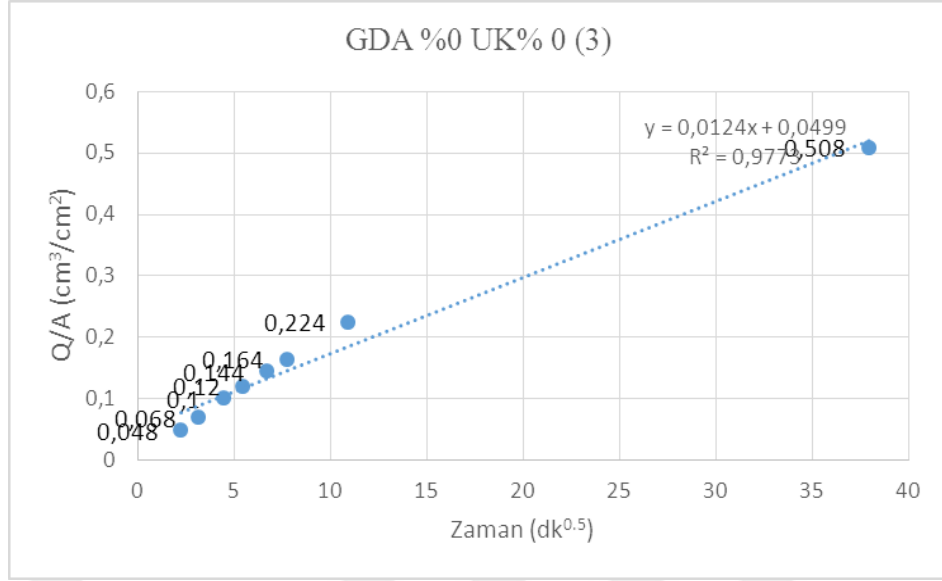


Ek Şekil 1. GDA %0, UK %0 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

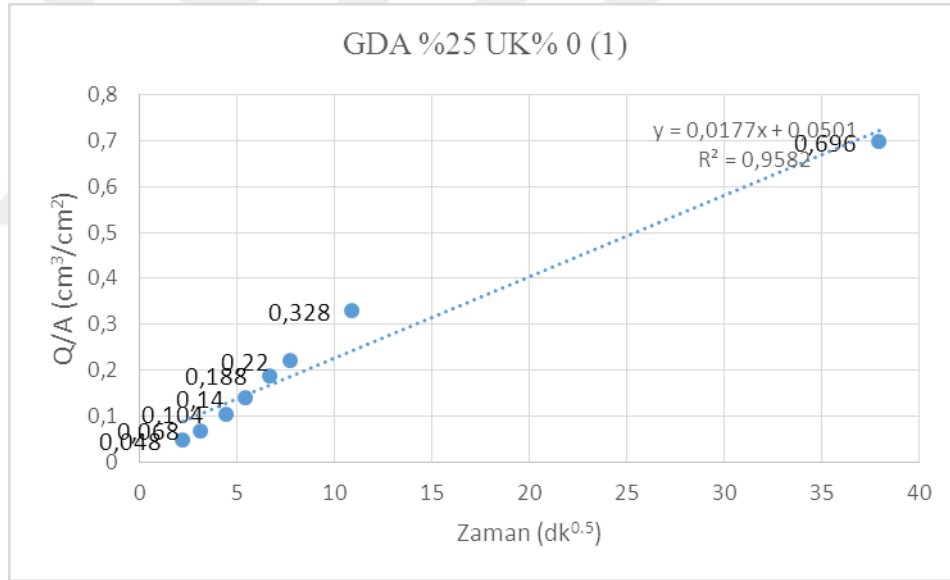


Ek Şekil 2. GDA %0, UK %0 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

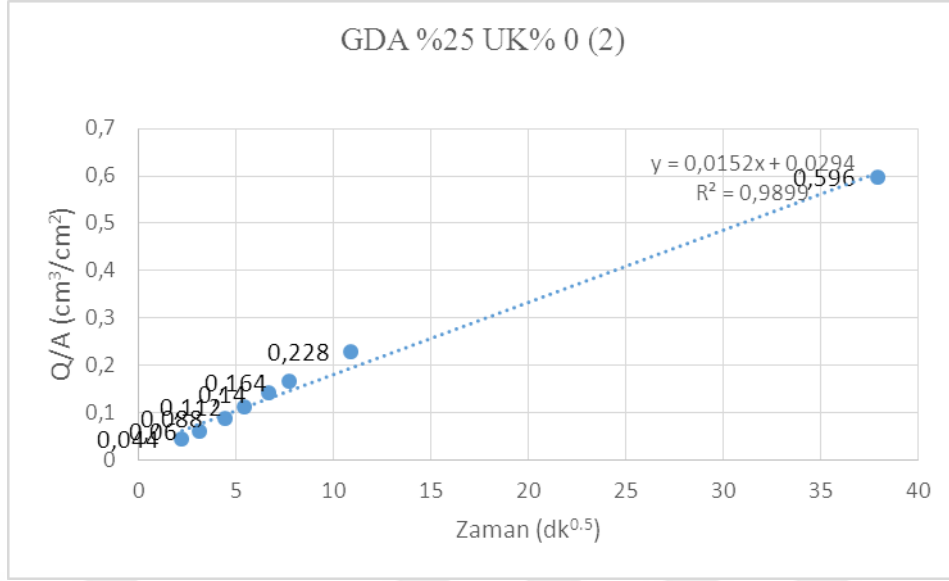




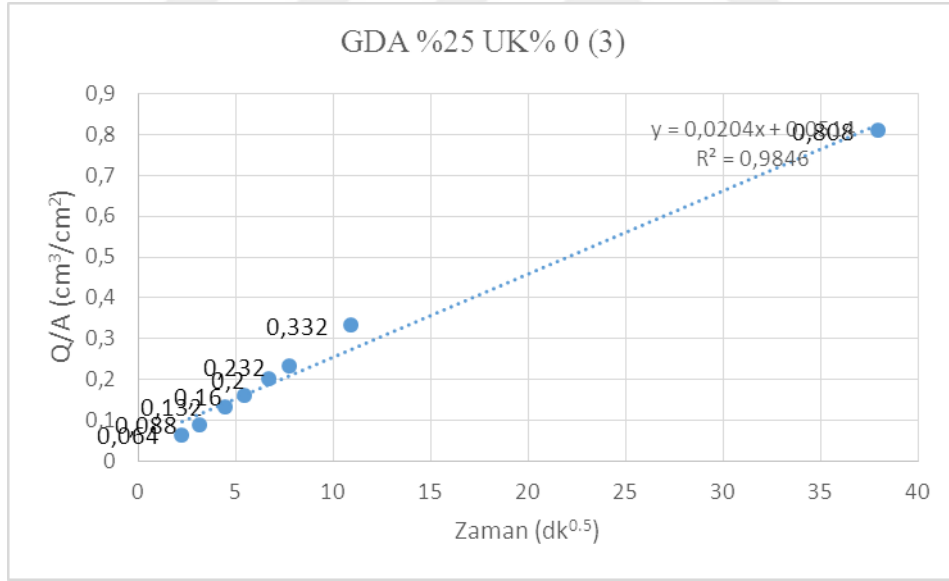
Ek Şekil 3. GDA %0, UK %0 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



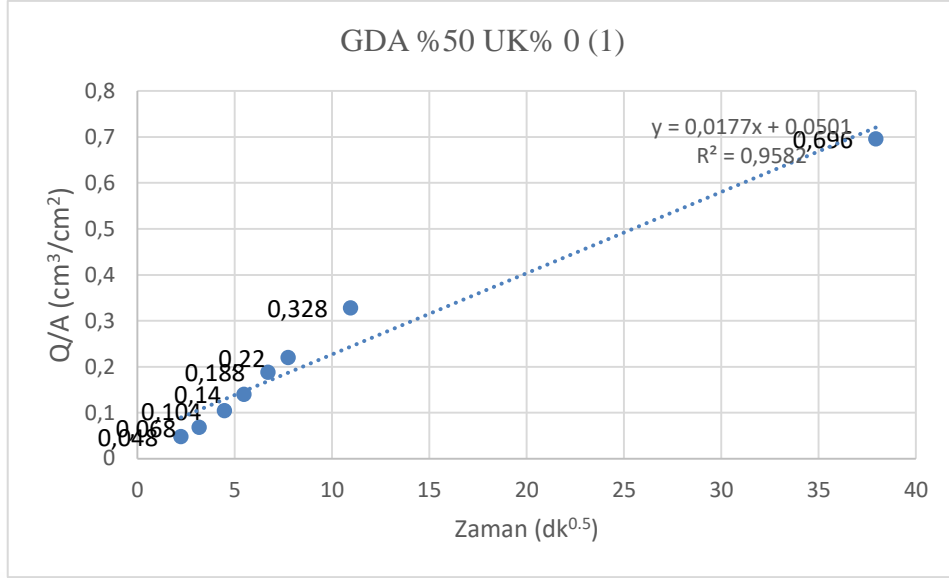
Ek Şekil 4. GDA %25, UK %0 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



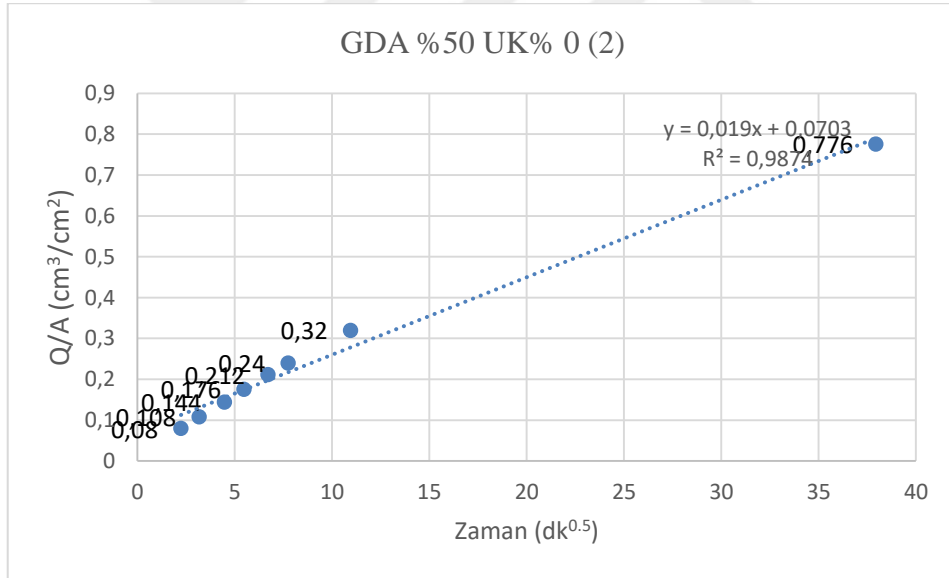
Ek Şekil 5. GDA %25, UK %0 olan 2.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



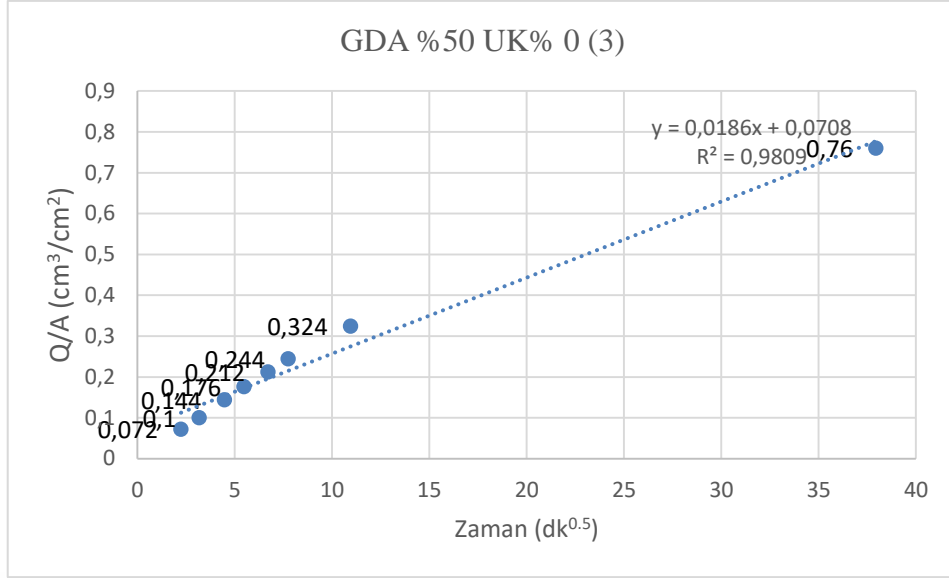
Ek Şekil 6. GDA %25, UK %0 olan 3.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



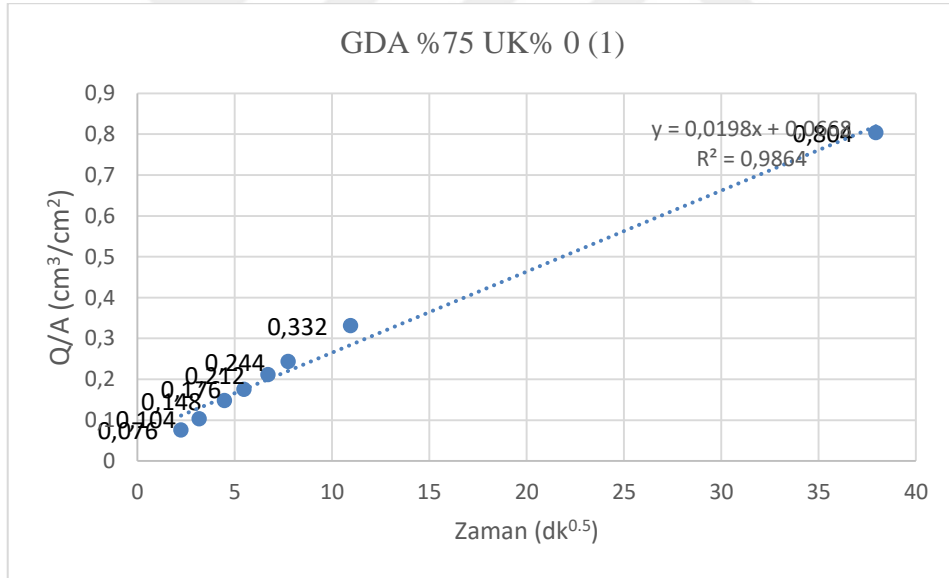
Ek Şekil 7. GDA %50, UK %0 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



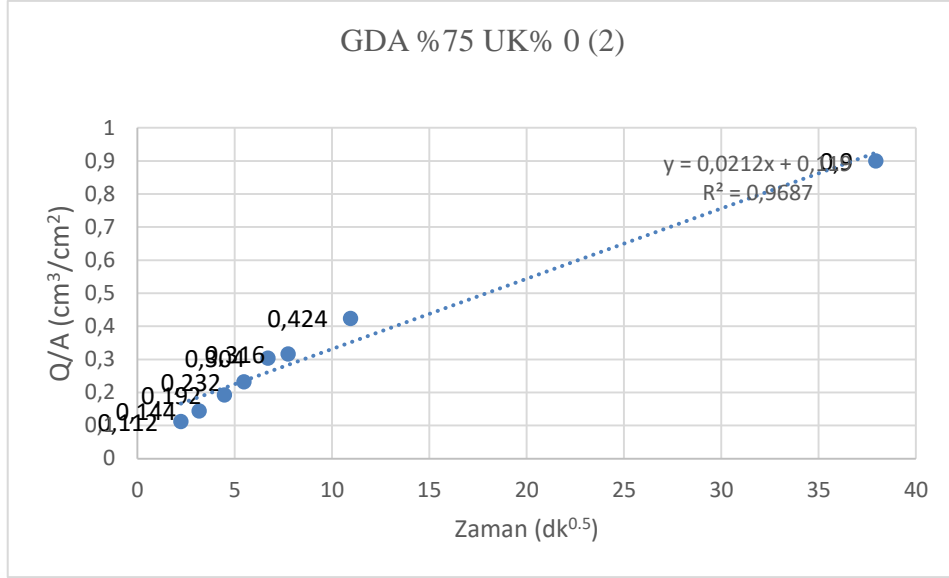
Ek Şekil 8. GDA %50, UK %0 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



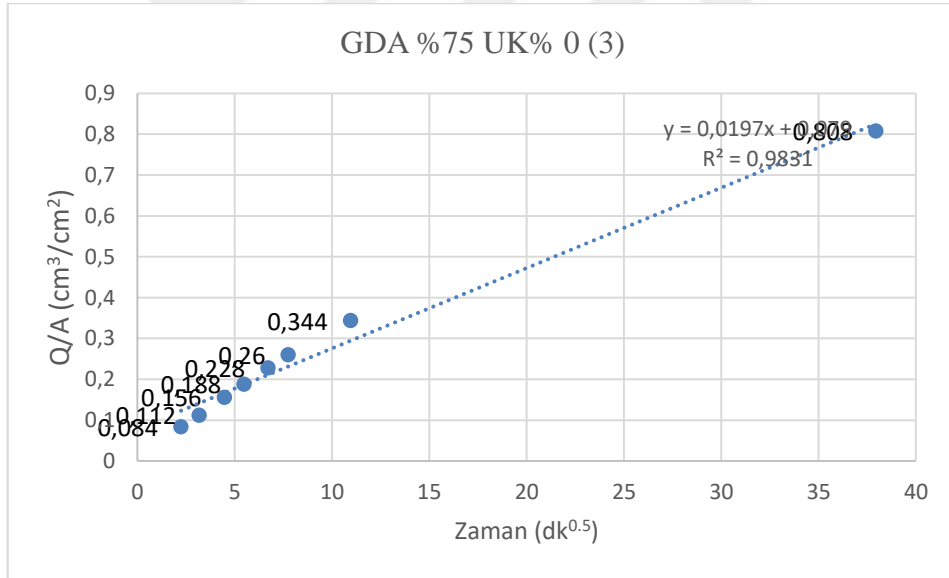
Ek Şekil 9. GDA %50, UK %0 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



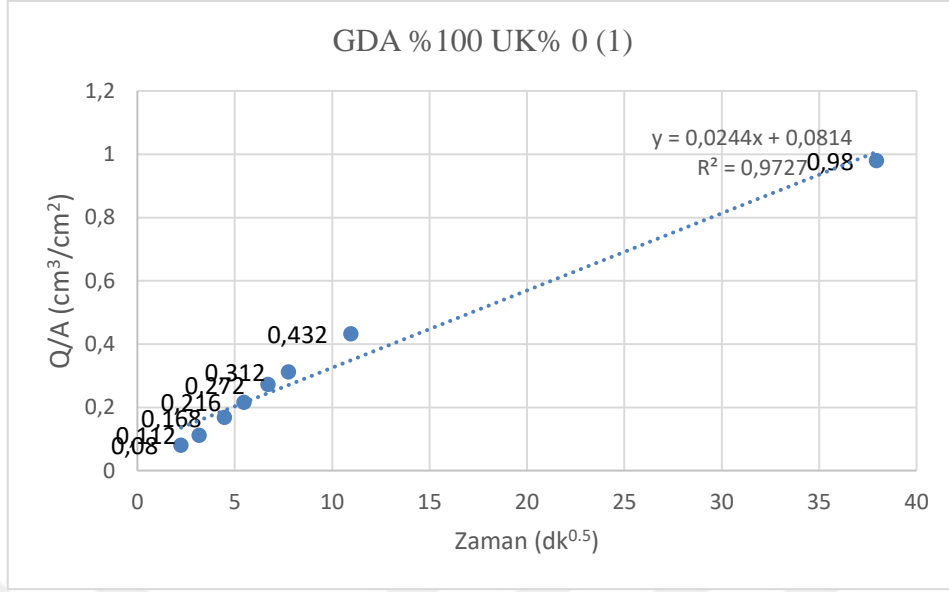
Ek Şekil 10. GDA %75, UK %0 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



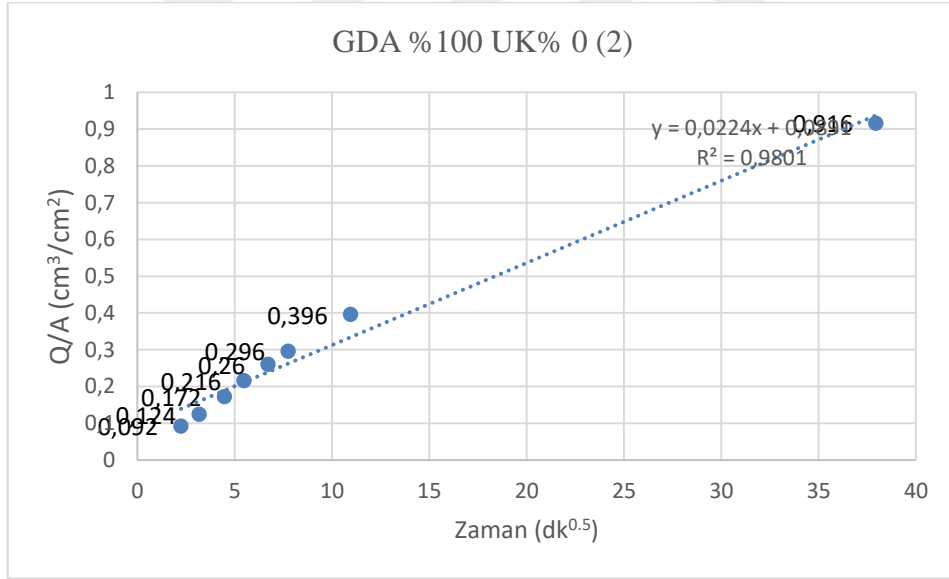
Ek Şekil 11. GDA %75, UK %0 olan 2.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



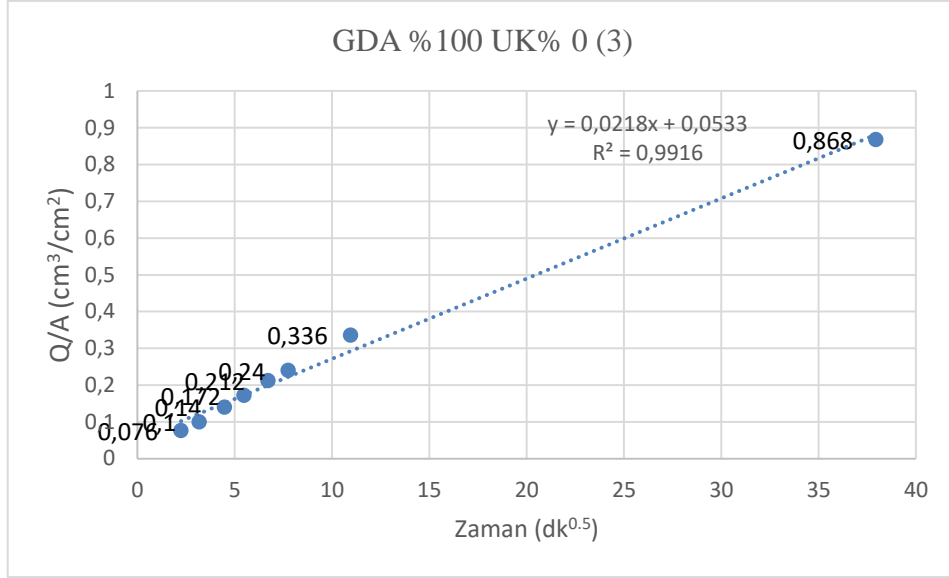
Ek Şekil 12. GDA %75, UK %0 olan 3.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



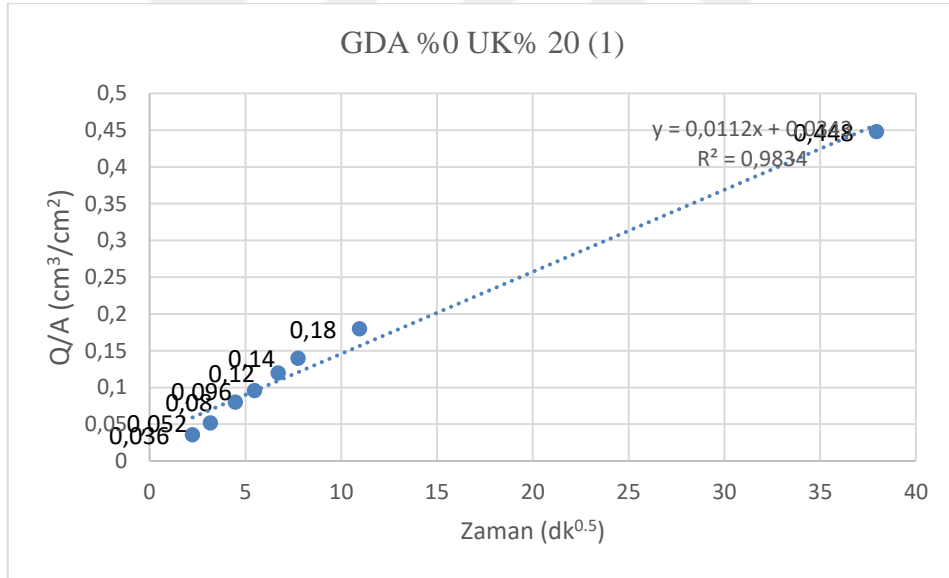
Ek Şekil 13. GDA %100, UK %0 olan 1.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



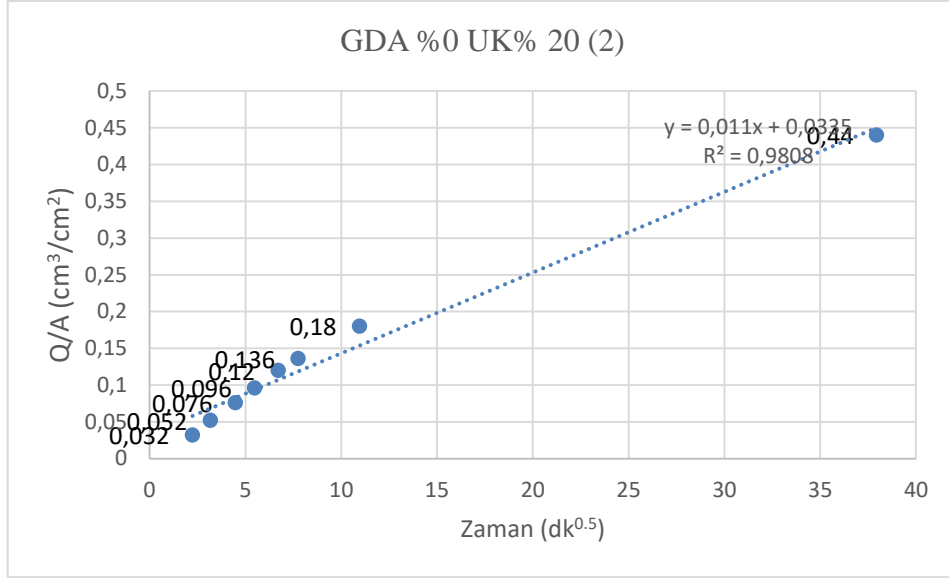
Ek Şekil 14. GDA %100, UK %0 olan 2.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



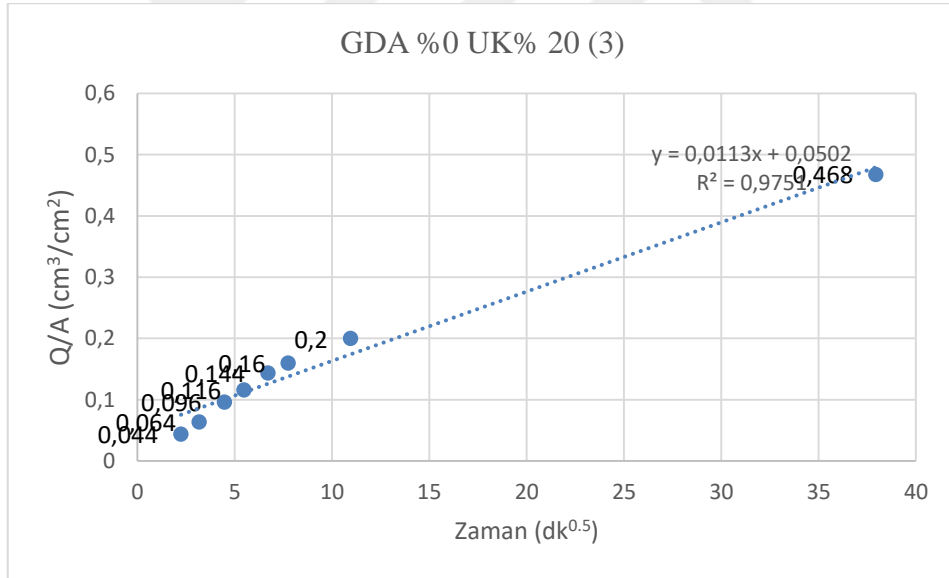
Ek Şekil 15. GDA %100, UK %0 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



Ek Şekil 16. GDA %0, UK %20 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

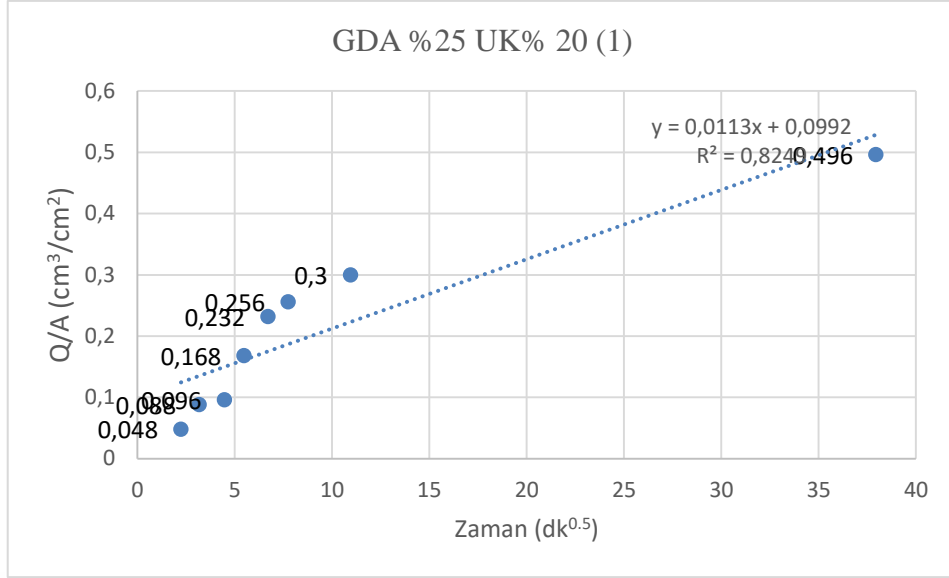


Ek Şekil 17. GDA %0, UK %20 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

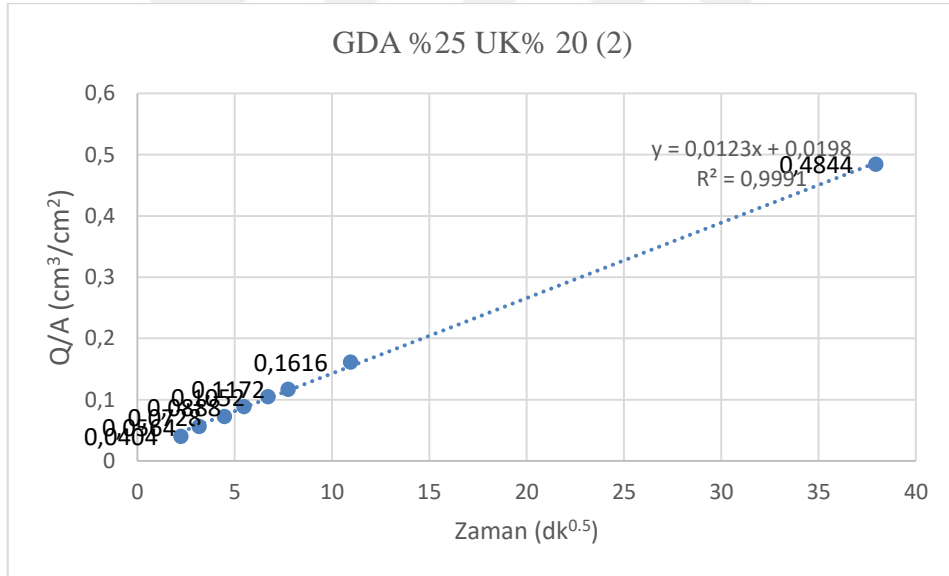


Ek Şekil 18. GDA %0, UK %20 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

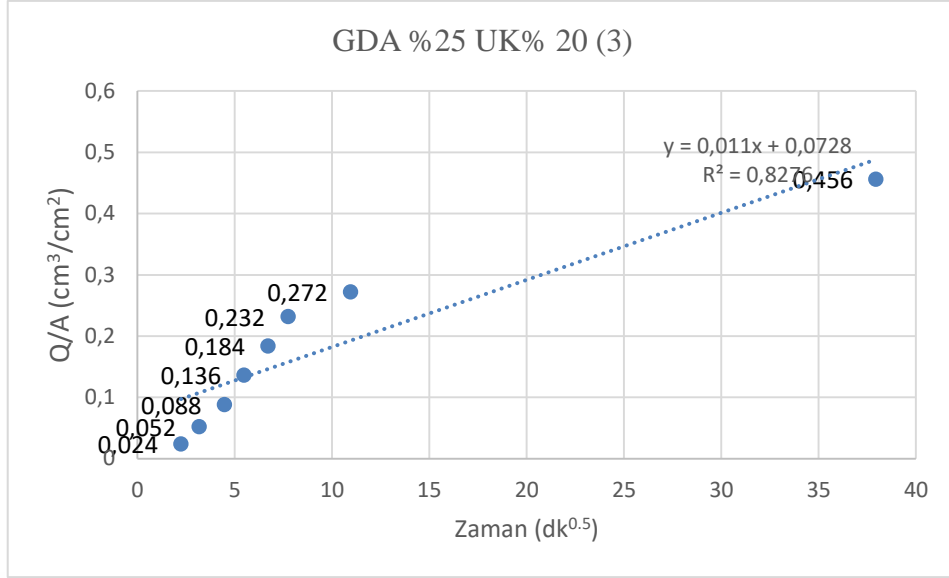




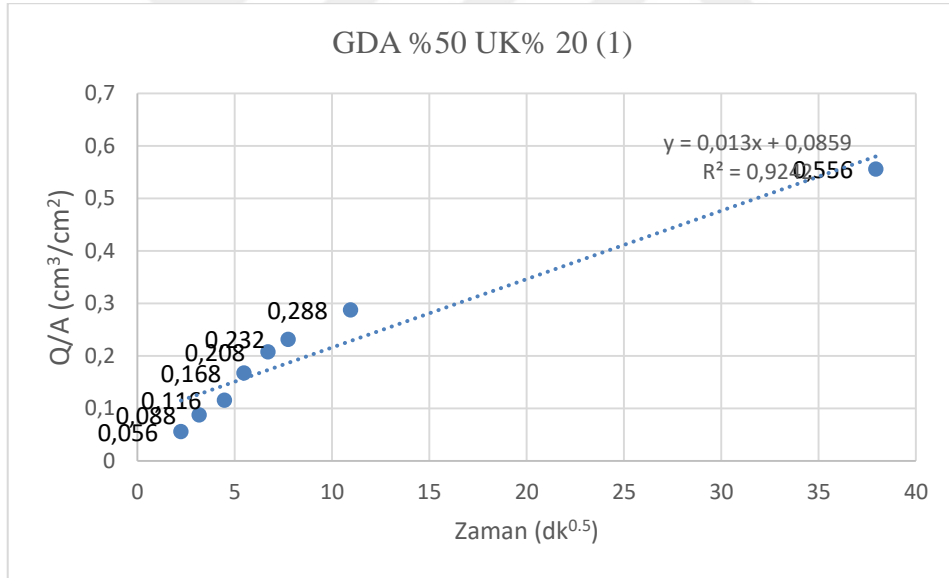
Ek Şekil 19. GDA %25, UK %20 olan 1.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



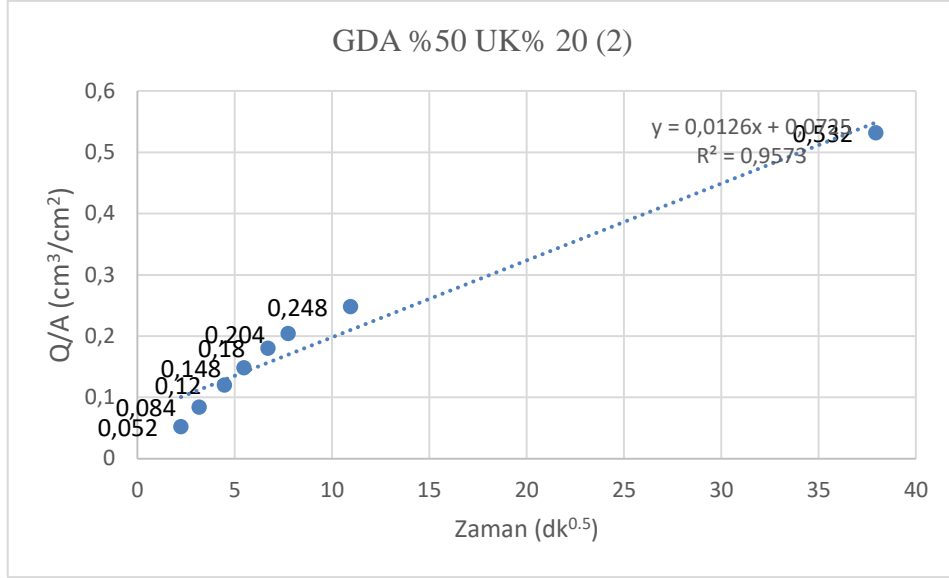
Ek Şekil 20. GDA %25, UK %20 olan 2.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



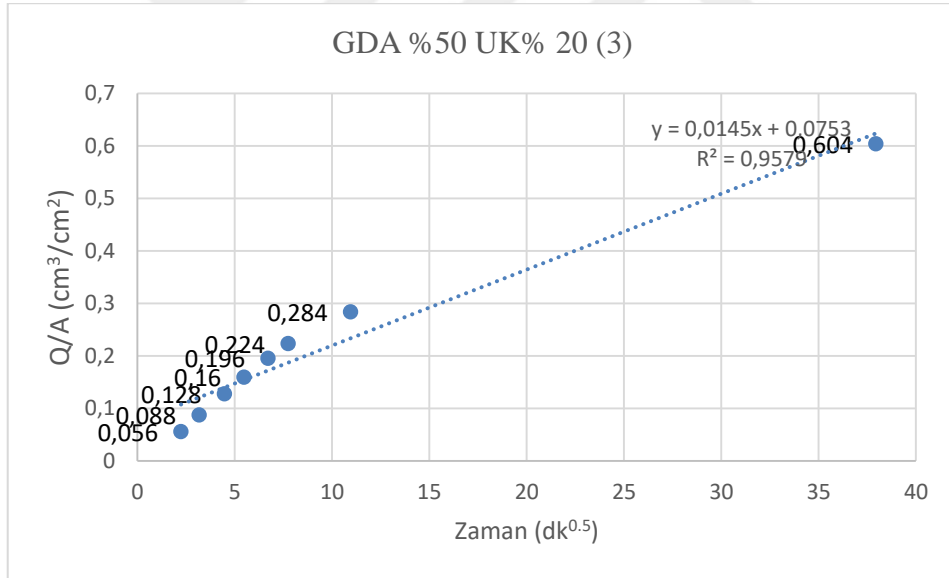
Ek Şekil 21. GDA %25, UK %20 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



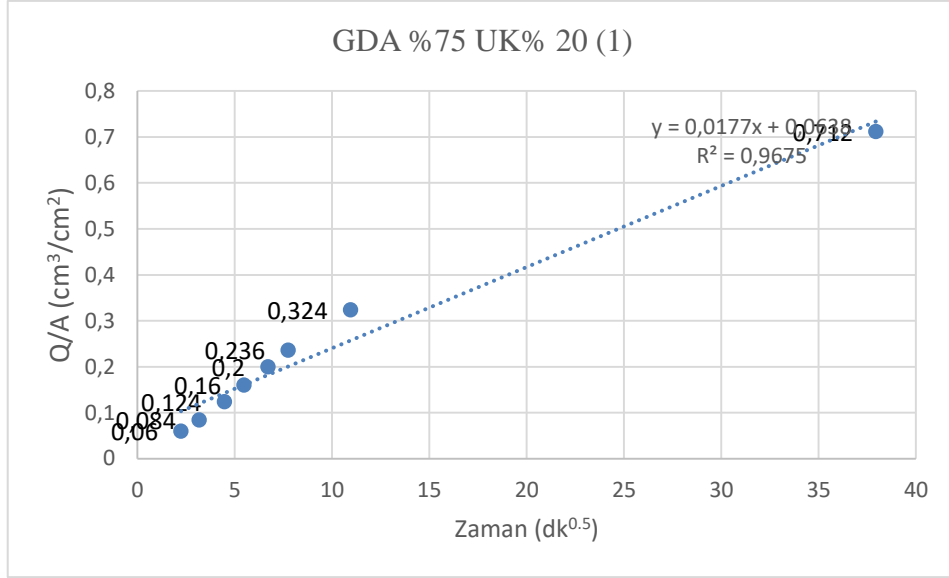
Ek Şekil 22. GDA %50, UK %20 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



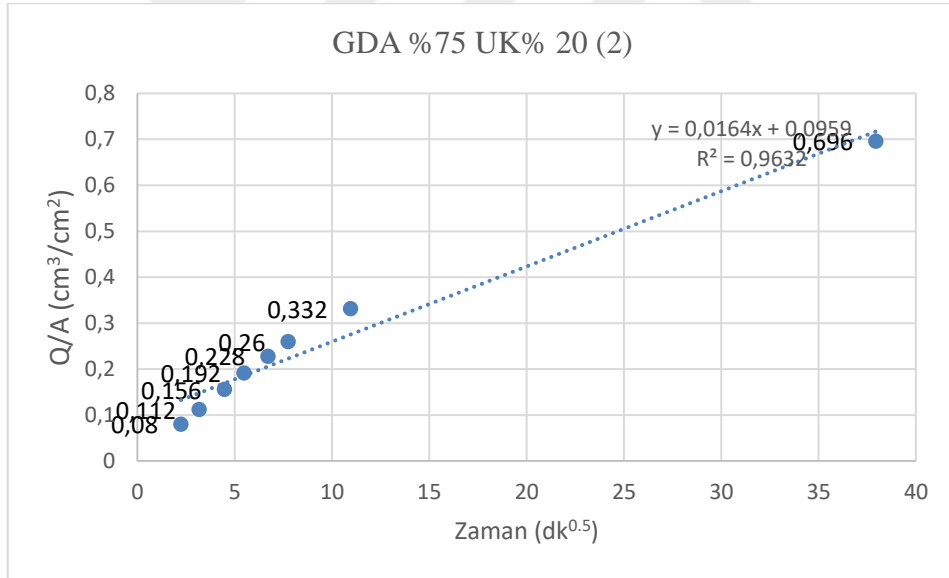
Ek Şekil 23. GDA %50, UK %20 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



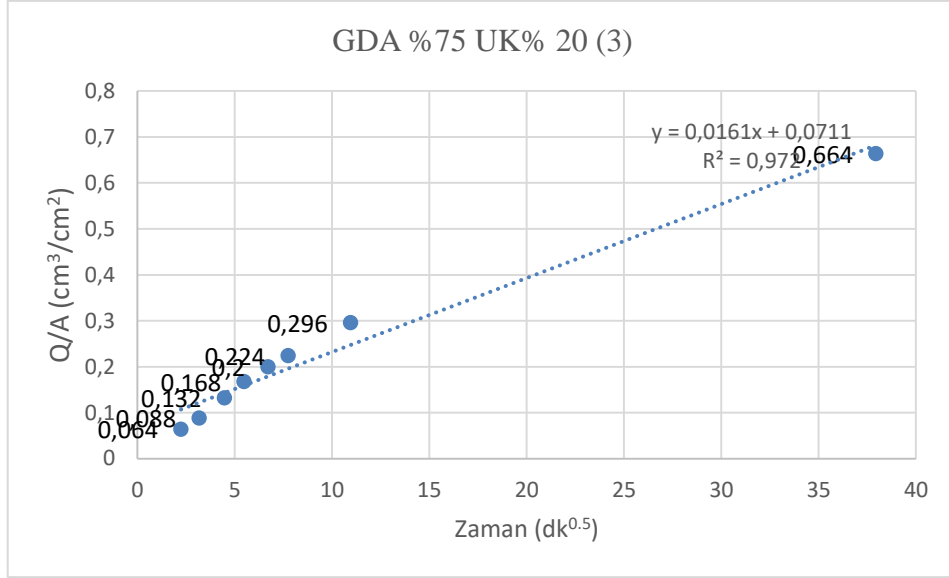
Ek Şekil 24. GDA %50, UK %20 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



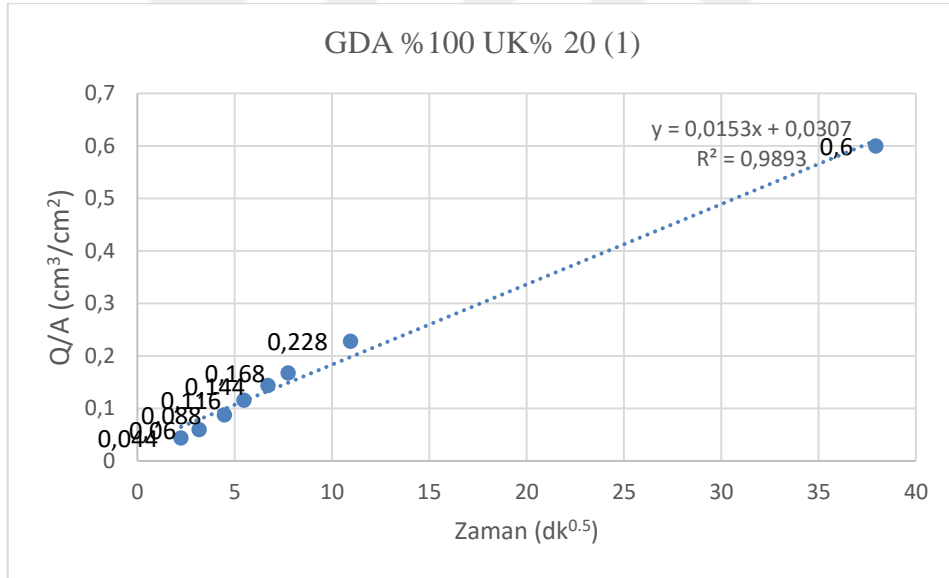
Ek Şekil 25. GDA %75, UK %20 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



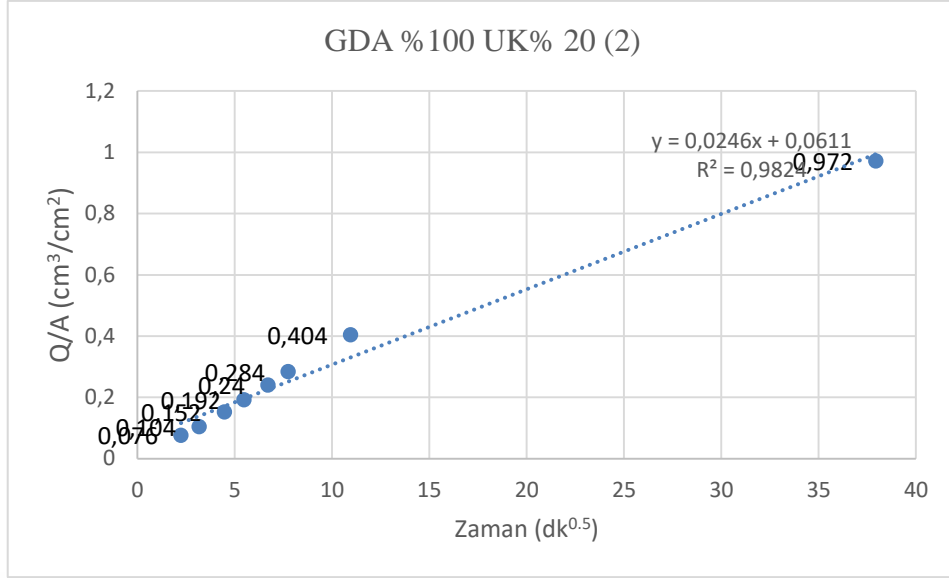
Ek Şekil 26. GDA %75, UK %20 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



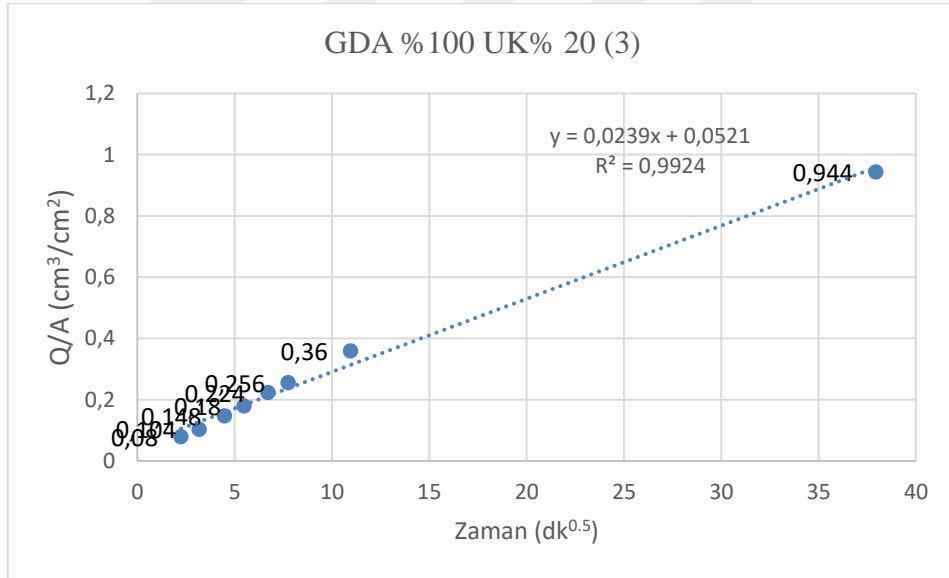
Ek Şekil 27. GDA %75, UK %20 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



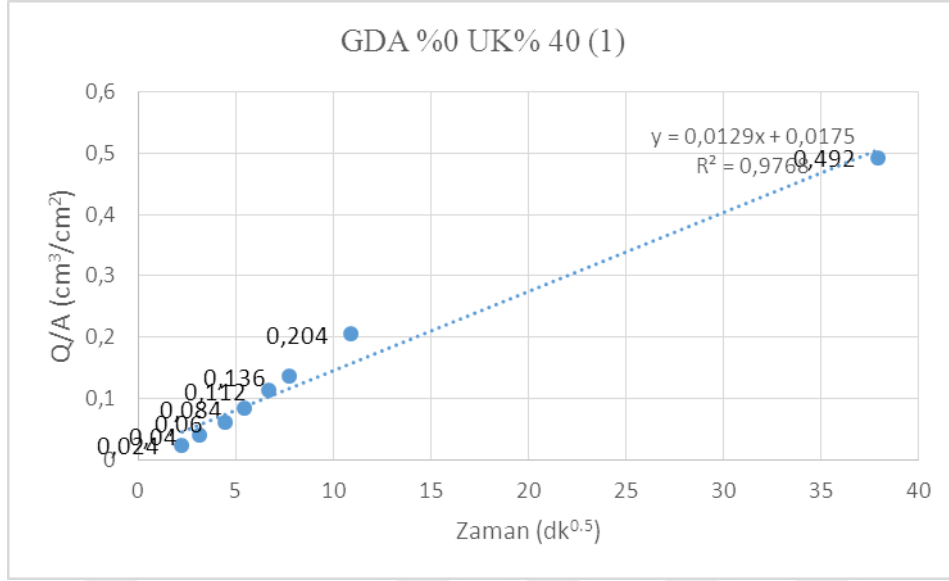
Ek Şekil 28. GDA %100, UK %20 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



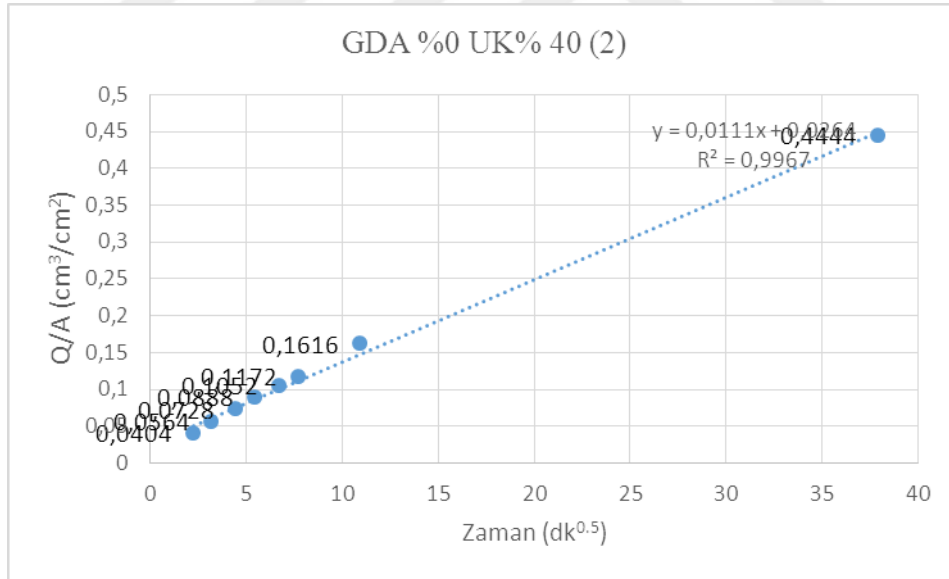
Ek Şekil 29. GDA %100, UK %20 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



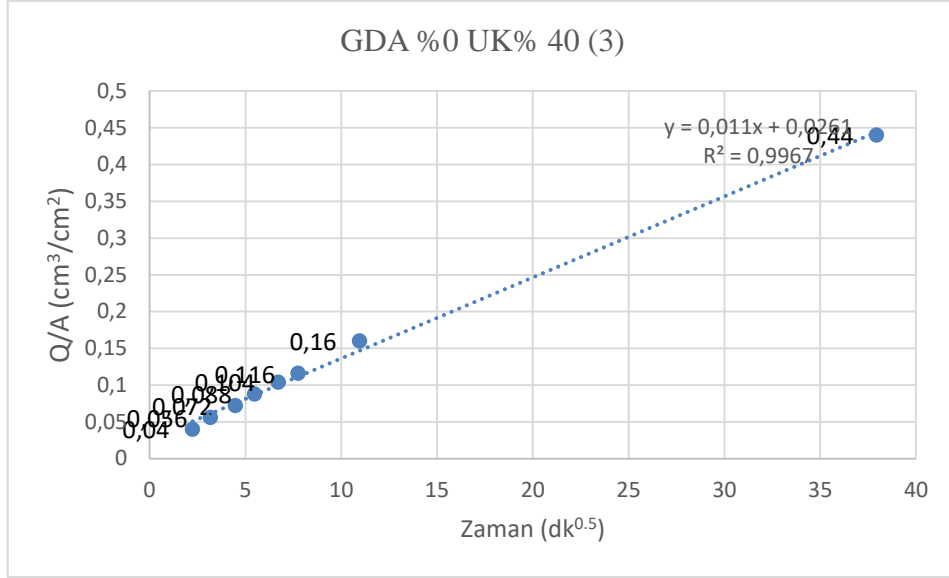
Ek Şekil 30. GDA %100, UK %20 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



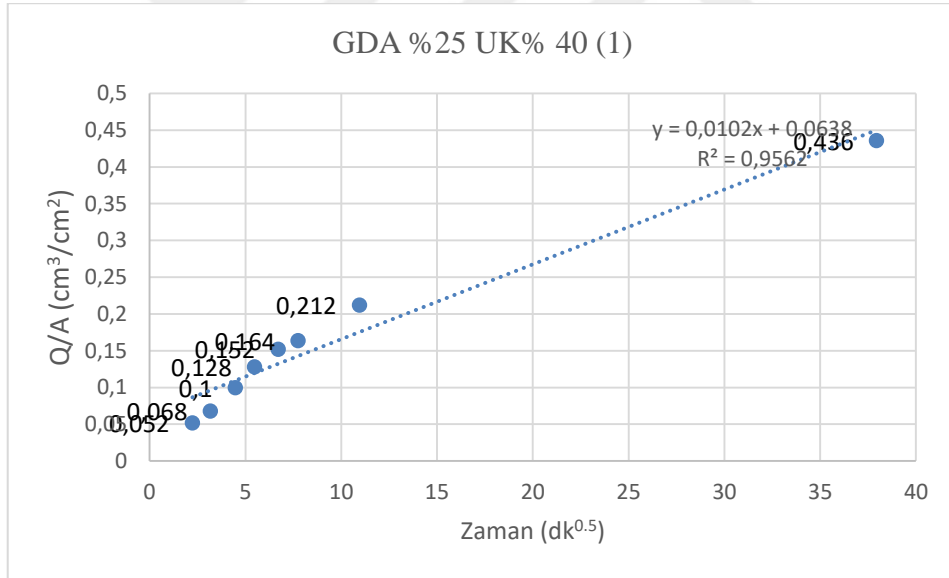
Ek Şekil 31. GDA %0, UK %40 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



Ek Şekil 32. GDA %0, UK %40 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

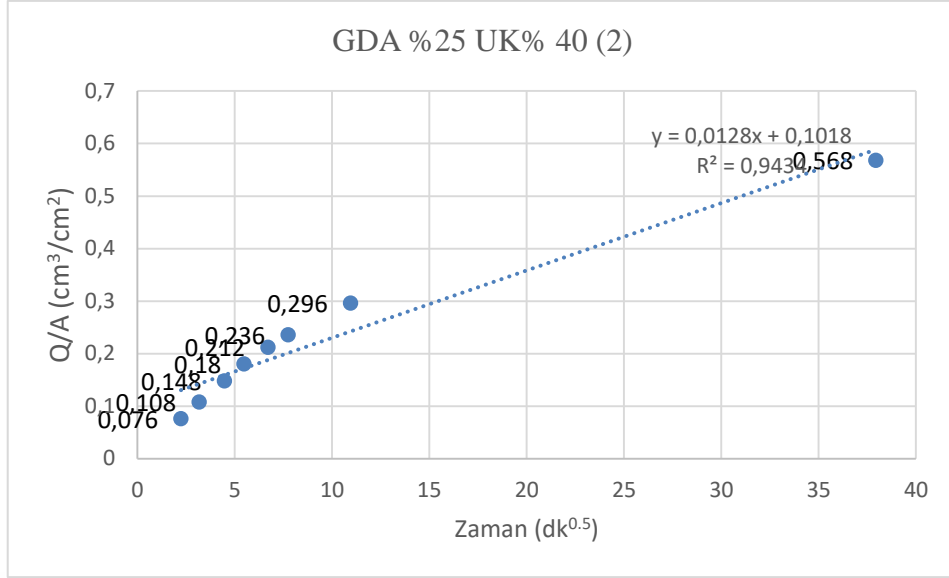


Ek Şekil 33. GDA %0, UK %40 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

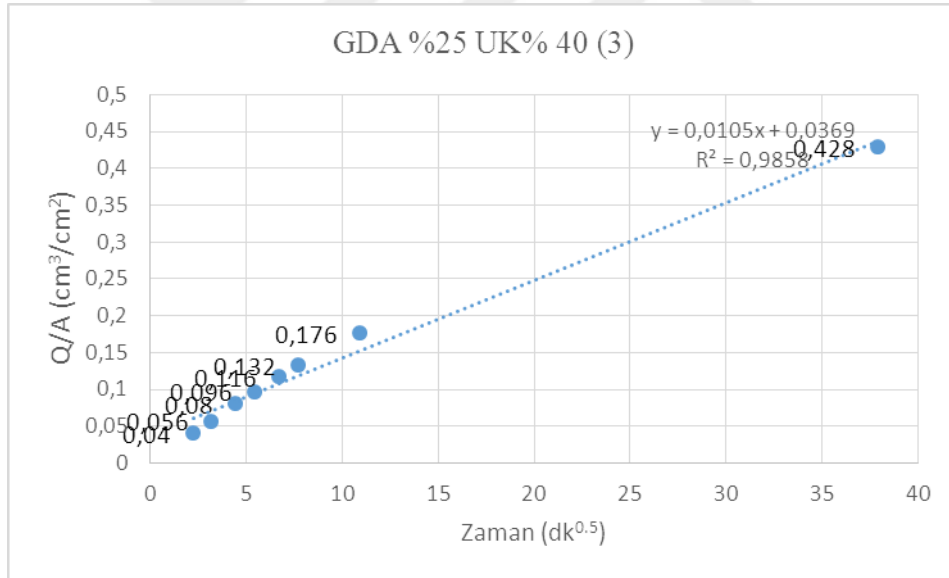


Ek Şekil 34. GDA %25, UK %40 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

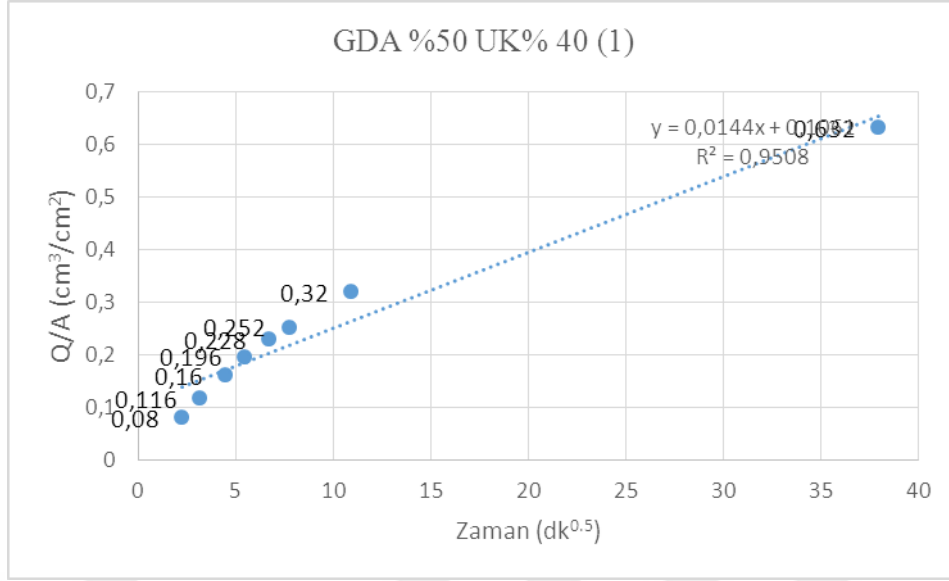




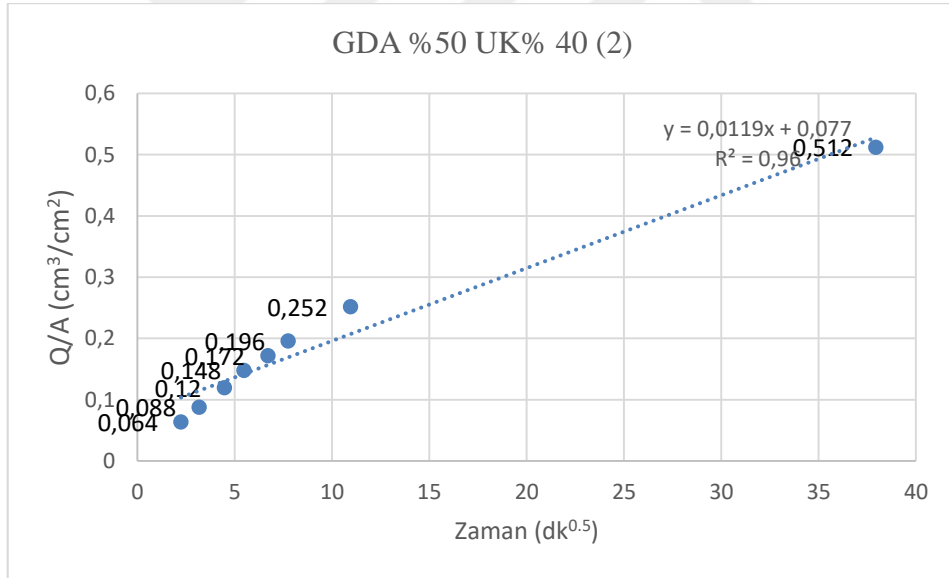
Ek Şekil 35. GDA %25, UK %40 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



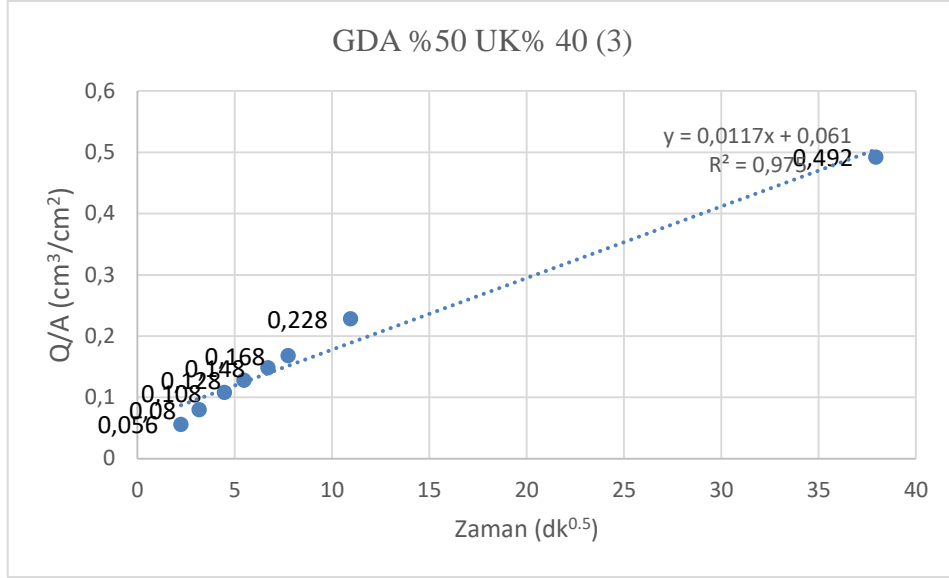
Ek Şekil 36. GDA %25, UK %40 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



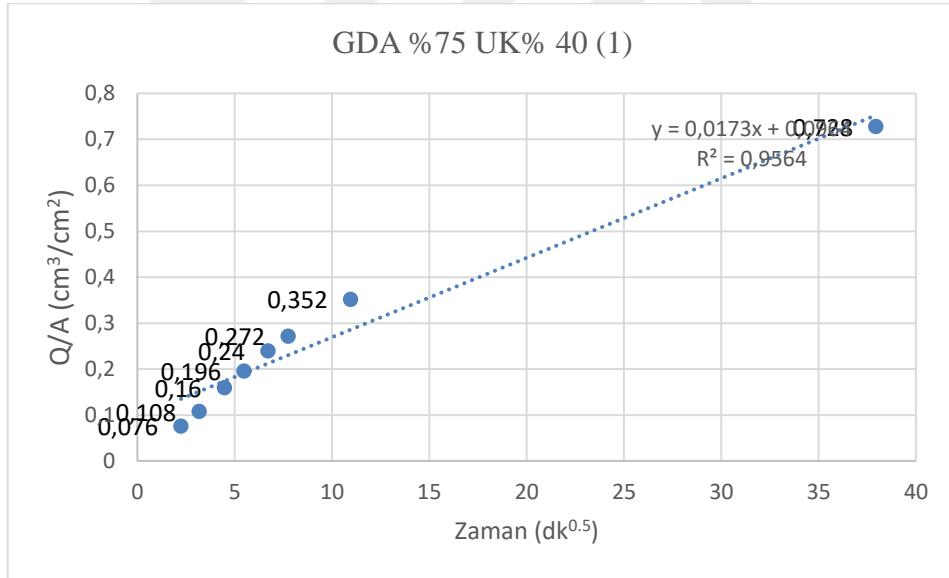
Ek Şekil 37. GDA %50, UK %40 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



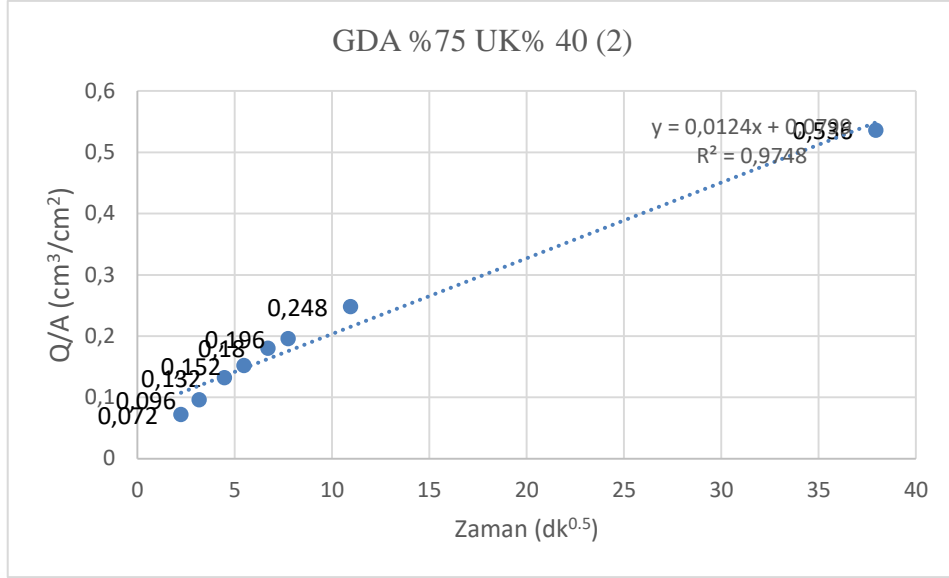
Ek Şekil 38. GDA %50, UK %40 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



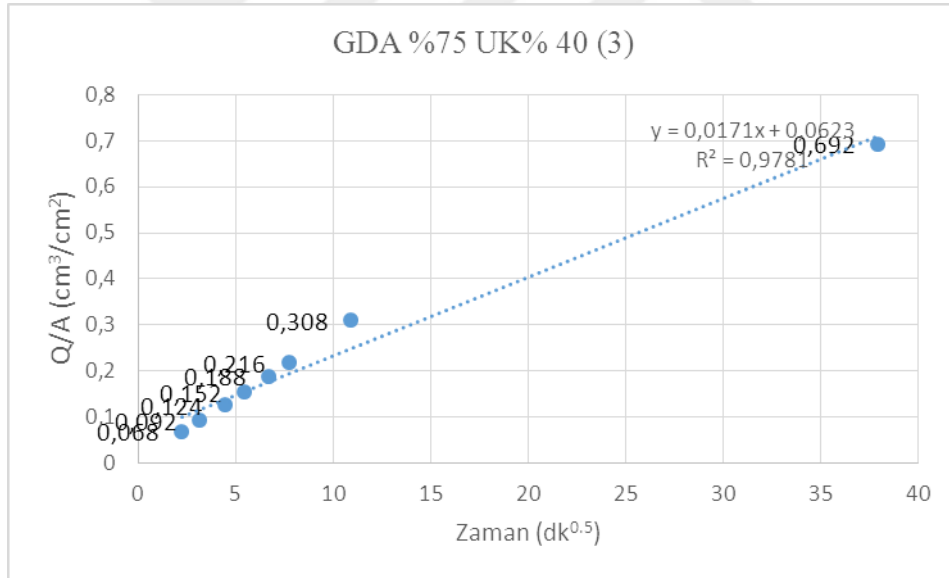
Ek Şekil 39. GDA %50, UK %40 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



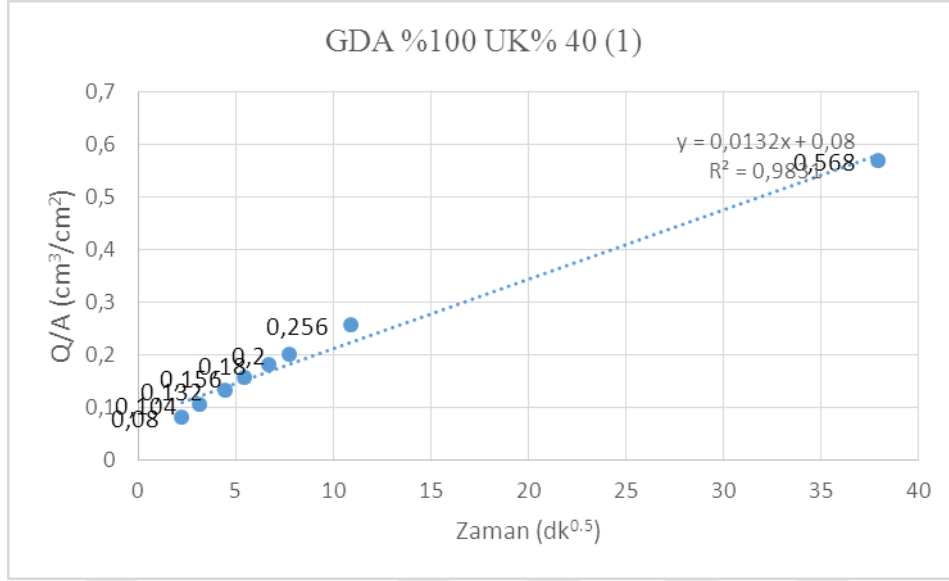
Ek Şekil 40. GDA %75, UK %40 olan 1.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



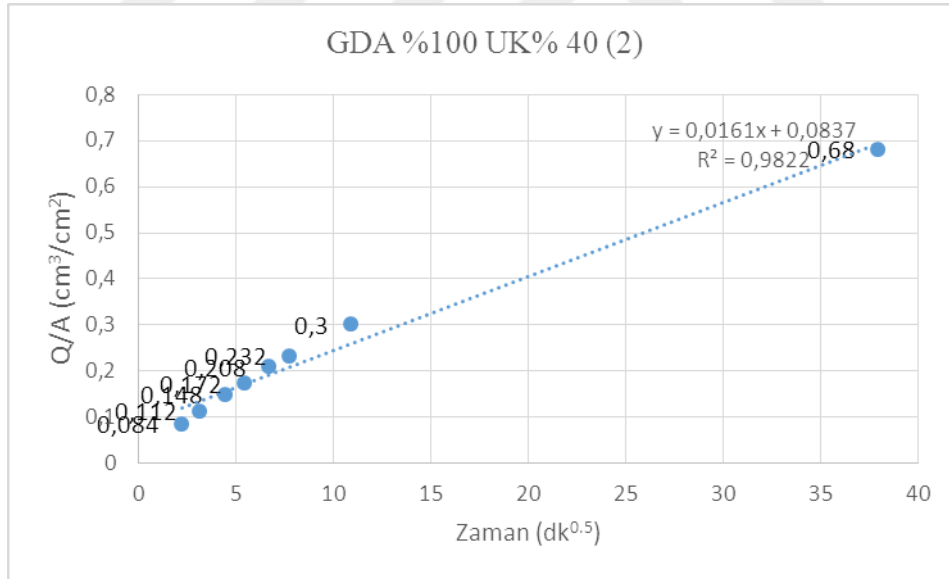
Ek Şekil 41. GDA %75, UK %40 olan 2.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



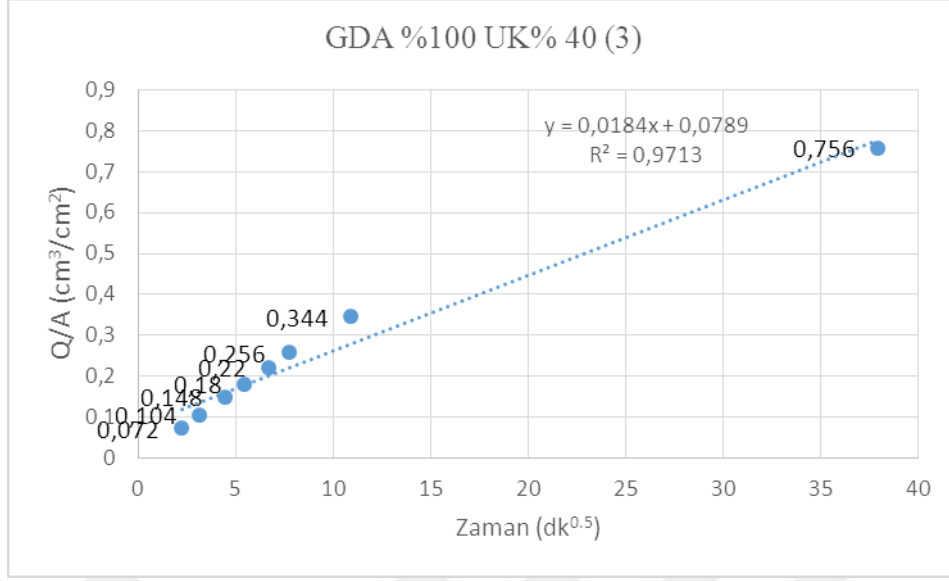
Ek Şekil 42. GDA %75, UK %40 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği



Ek Şekil 43. GDA %100, UK %40 olan 1.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



Ek Şekil 44. GDA %100, UK %40 olan 2.karışımın (Q/A) – (t<sup>0.5</sup>) grafiği



Ek Şekil 45. GDA %100, UK %40 olan 3.karışımın  $(Q/A) - (t^{0.5})$  grafiği

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ŞAHİN, 08.06.1988'de Erzurum'da doğdu. İlköğrenimi Kültür Kurumu İlköğretim okulunda, ortaöğrenimi Ziya Gökalp Lisesinde tamamladı. 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği ve İnşaat Mühendisliği bölümlerinden mezun oldu. 2012 yılında özel bir firmada şantiye şefi olarak 8 ay çalıştı. 2013 yılı Haziran ayından beri Aşkale Çimento San T.A.Ş de Karadeniz Bölgesi Hazır Betonlar Kalite Kontrol Şefi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babası olup orta seviyede İngilizce bilmektedir.

