

**T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANTİK YAPILARDA KULLANILAN TUĞLA MALZEMELERİN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI**

Serhat SÖMER

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Kemal T. YÜCEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2014**

© 2014 [Serhat SÖMER]

TEZ ONAYI

Serhat SÖMER tarafından hazırlanan “Antik Yapılarda Kullanılan Tuğla Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Saptanması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Kemal T. YÜCEL

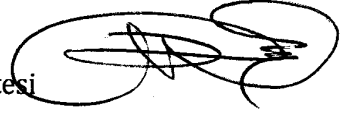
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof.Dr. Fuat DEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Osman ÜNAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi



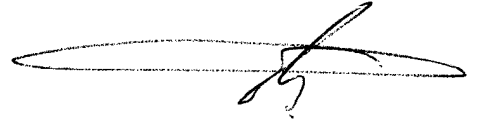
Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ahmet ŞAHİNER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Serhat SÖMER

A handwritten signature in black ink, consisting of a long horizontal oval shape with a stylized 'S' and 'M' inside, followed by a small vertical stroke.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ANADOLU KRONOLOJİSİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Tuğlalar.....	3
2.3. Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç	8
2.4. Tarihi Yapılarda Kullanılan Taş.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Materyal	17
3.1.1. Tuğla	17
3.1.2. Harç.....	18
3.1.3. Doğal taş.....	22
3.1.4. Harabeler ve antik kentler	24
3.1.4.1. Adada antik kenti	24
3.1.4.1.1. Akropol ve Helenistik kuleler.....	24
3.1.4.1.2. Tiyatro	26
3.1.4.1.3. Bizans bazilikası	26
3.1.4.2. Zorzilla harabesi	27
3.1.4.3. Sığırlık harabeleri.....	28
3.1.4.4. Yalvaç antik kenti	29
3.1.4.4.1. Anıtsal çeşme.....	29
3.1.4.4.2. Augustus tapınağı	30
3.1.4.4.3. Hamam	32
3.1.4.4.4. Merkezi kilise.....	35
3.1.4.5. Kremna antik kenti.....	35
3.1.4.5.1. Forum	36
3.1.4.5.2. Hamam	37
3.1.4.6. İncirlihan harabesi.....	38
3.2. Yöntem.....	40
3.2.1. Fiziksel Analiz	40
3.2.2.1. Birim ağırlık ve su emme	40
3.2.2.2. Özgül ağırlık deneyi.....	42
3.2.2.3. Görünen porozite (zahiri porozite).....	43
3.2.2.3.1. Taşın hacimce su emme oranından hesaplanması.....	43
3.2.2.3.2. Taşın hacim kütle ve kütlece su emme oranından hesaplanması	43
3.2.2.4. Doluluk oranı kompasite deneyi	44
3.2.2.5. Porozite (gözeneklilik derecesi) deneyi.....	44
3.2.2.6. Doyma derecesi.....	45
3.2.2.7. Kılcal su emme	45

3.2.3. Mekanik analiz.....	47
3.2.3.1. Basınç deneyi.....	47
3.2.3.2. Nokta yükleme deneyi.....	49
3.2.3.3. Eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	50
3.2.4. Tahribatsız analiz.....	51
3.2.4.1. Schmidt Çekici.....	51
3.2.4.2. Ultrases titreşim hızı.....	53
3.2.4.2.1. Ultrases hız yöntemi ile dinamik elastisite modülünün belirlenmesi.....	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	55
4.1. Taş Tuğla Harç Numuneleri Kimyasal ve Minorolojik Özellikleri.....	57
4.1.1. Tuğla numunelerin mineralojik ve kimyasal analizi.....	58
4.1.2. Taş numuneleri üzerinde yapılan minerojik ve kimyasal analizler.....	60
4.1.3. Harç numuneleri üzerinde yapılan minerojik ve kimyasal analizler.....	61
4.2. Tuğla, Taş ve Harç Örneklerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin incelenmesi.....	63
4.2.1 Tuğla taş ve harç örneklerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi.....	63
4.2.1.1 Tuğla örneklerinin fiziksel özelliklerinin incelenmesi.....	63
4.2.1.2. Taş örneklerinin fiziksel özelliklerinin incelenmesi.....	67
4.2.1.3. Harç örneklerinin fiziksel özelliklerinin incelenmesi.....	69
4.2.1.4. Tuğla, taş ve harç numunelerinin (determinasyon) katsayıları ve excel grafikleri.....	71
4.2.2 Tuğla taş ve harç örneklerin mekanik özelliklerinin incelenmesi.....	81
4.2.2.1 Tuğla örneklerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi.....	81
4.2.2.2 Taş örneklerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi.....	84
4.2.2.3 Harç örneklerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi.....	86
4.2.2.4 Tuğla, taş ve harç örneklerinin excel grafikleri ve katsayıları...88	
4.2.3 Tuğla taş ve harç örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi.....	93
4.3. Tuğla, Taş ve Harç Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Deney sonuçlarının Weka Modellemesi.....	106
4.3.1 Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin Weka modellemesi.....	107
4.3.2 Taş Numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin weka modellemesi.....	121
4.3.3 Harç Numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin Weka modellemesi.....	124
4.4. Weka Sonuçlarıyla(Model) Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	127
5. SONUÇ.....	141
KAYNAKLAR.....	145
EKLER.....	152
Ek A. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nden alınan izin yazısı.....	153
Ek B1. Tuğla Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellik Grafikleri.....	154
Ek B3. Harç Numunelerin Fiziksel ve mekanik Özellik Grafiği.....	192
ÖZGEÇMİŞ.....	203

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANTİK YAPILARDA KULLANILAN TUĞLA MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI

Serhat SÖMER

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL

Tarihi yapı malzemeleri üzerine yapılan bu çalışma, geçmiş dönemlerde Anadolu'da Burdur ve Isparta illeri içerisinde yer alan Kremna, İncirlihan Kervansarayı, Adada, Sığırlık Harabesi, Zorzila ve Psidia Antiokya gibi ören yerlerinde kullanılmış taş, tuğla ve harç (bağlayıcı ve agrega) gibi yapı malzemelerinin deneysel çalışmalarını içermektedir. Zaman periyodu olarak bu ören yerlerindeki tarihi yapılar; Helenistik, Roma, Bizans ve Selçuklu periyotlarının, bir ya da birkaç dönemini bir arada kapsamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar saha ve laboratuvar alanı olarak iki bölümden oluşmuştur. İlk olarak sahada, tahribatsız deney yöntemleri (Schmidt çekici, ultrases titreşim hızı) uygulanmıştır. Diğer aşamada, laboratuvar ortamında bu tarihi yerlerdeki yapılardan alınan yapı malzemeleri (taş, tuğla, harç) üzerinde fiziksel (Birim Hacim Ağırlık, kütlece Ağırlıkça su emme, Hacimce su emme, Özgül ağırlık, Kompasite, Porozite, Doyma derecesi ve Kılcal su emme) ve mekanik deneyler (basınç dayanımı, eğilme dayanımı, noktasal yük indeksi, poisson oranı, Schmidt çekici, ultrasese hızı, dinamik elastisite modülü, elastisite modülü) uygulanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler; numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri gibi karakteristik özelliklerin ortaya çıkmasını olanak sağlamıştır. Bu tez çalışmasında weka (model) denklemleri oluşturularak birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımının birbirleri ve deney değerleri arasındaki ilişkiler uygun olarak belirlenmiştir. Bu karakteristik özellikler; geçmiş zamanlardaki inşaatçıların tarihi yapılarda kullandıkları taş, tuğla ve harç malzemelerinin kronolojik tarih sırasına göre imatları, kullanılan yapı malzemelerinin birleşenleri ve inşaat teknikleri hakkında bilgi sahibi olmamıza olanak sağlamıştır. Böylece tarihsel kavimlerin teknolojik davranışları ve üretim teknikleri hakkında da bilgiler elde edilmiştir. Çıkarılan bu sonuçlar ileriki aşamalarda tarihi yapıların güçlendirilmesi açısından uygulanacak yenileme ve iyileştirme konularına ışık tutabilecektir. Sonuç olarak tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin incelenmesi, bize geçmiş, günümüz ve gelecek arasında köprü kurarak, tarihi yapıların günümüze kadar ayakta kalmasının teknik ve detayını ortaya çıkarmada önemli katkılar sağlayabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Tuğla, Antik Yapılar, Fiziksel Özellik, Mekanik Özellik, SEM/EDX, XRD, XRF, Schmidt Çekici, Ultrases Titreşim Hızı, Restorasyon, Rehabilitasyon.

2014, 203 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BRICK MATERIALS USED IN ANCIENT STRUCTURE

Serhat SÖMER

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Kemal Tuşat YÜCEL

This study, conducted on historical building materials, comprises experimental studies on building materials such as stones, bricks and mortar (binder and aggregate) used in ruins such as Cremna, İncirlihan Caravanserai, Adada, Sığırlık Ruin, Zorzila and Pisidia Antiochia located within the provinces of Burdur and Isparta in Anatolia in previous periods. In terms of the period of time, these historical buildings in the ruins comprises a combination of one or more periods of Hellenistic, Roman, Byzantine and Seljuk periods. The experimental studies has been conducted in two parts as on-site and in vitro. Initially, non-destructive test methods (Schmidt hammer, ultrasonic pulse velocity) was used on-site. In the following stage, physical (Weight per Unit of Volume, Water Absorption by weight and mass, Water Absorption by Volume, Specific Gravity, Compactness, Porosity, Degree of Saturation and Capillary Water Absorption) and mechanical (compressive strength, flexural strength, point charge index, Poisson's ratio, Schmidt hammer, ultrasonic velocity, dynamic modulus of elasticity modulus of elasticity) tests were applied in vitro on the building materials (stones, bricks, mortar) taken from the structures in this historical places. The data obtained from these experiments has enabled the emergence of the characteristics such as physical and mechanical properties of the samples. In this thesis study, the relationships between the experimental values of unit weight, specific gravity, compressive strength and flexural strength as well as the relationship between each other were appropriately defined by creating WEKA (modal) equations. These characteristics has enabled us to have information about the production of stones, bricks and mortar materials used by ancient builders in historical buildings in chronological order, the components of the building materials used as well as the construction techniques. Thus, we have also obtained information about the technological behavior and production techniques of the historical tribes. These results obtained will be able to offer an insight into renovation and improvement issues to be applied in terms of strengthening the historic structures in following stages. Consequently, in addition to laying a bridge for us between past, present and future, examination of the materials used in historical buildings will make significant contributions to provide us with the techniques and details of how historical buildings have survived until today.

Keywords: Bricks, Ancient Structures, Physical Property, Mechanical Property, SEM/EDX, XRD, XRF, Schmidt Hammer, Ultrasonic Pulse Velocity, Restoration, Renovation.

2014, 203 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırmamda bilgi ve tecrübesiyle yanımda olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Funda SÖMER'e ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sevgi ve saygıyla sunarım.

Serhat SÖMER
ISPARTA, 2014

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Adada - helenistik kule	25
Şekil 3.2. Adada-helenistik kemer	25
Şekil 3.3. Adada - tiyatro (T33 tuğla numunesinin alındığı yer)	26
Şekil 3.4. Adada - Bizans bazilikası	27
Şekil 3.5. Zorzila - Roma hamamı	27
Şekil 3.6. Sığırlık harabesi - kale I	28
Şekil 3.7. Sığırlık harabesi - kale II (T44 tuğla numunesinin alındığı yer)	28
Şekil 3.8. Antiokya - anıtsal çeşme	30
Şekil 3.9. Antiokya - 1924 kazısında mimar Woodbridge tarafından çizilen Augusteum, imparatorlar tapınağı rekonstrüksiyon	31
Şekil 3.10. Antiokya - Augustus tapınağı	32
Şekil 3.11. Antiokya - hamamın dıştan görünüşü	33
Şekil 3.12. Antiokya - hamamın içten görünüşü	33
Şekil 3.13. Antiokya - 1924 kazısında mimar Woodbridge tarafından çizilen merkezi kilise'nin planı	34
Şekil 3.14. Antiokya - merkezi kilise	34
Şekil 3.15. Kremna - Forum (S37 taş numunesinin alındığı yer)	36
Şekil 3.16. Kremna - hamamın batı tarafından görünüşü	37
Şekil 3.17. Kremna - hamamın doğu tarafından görünüşü (T24 tuğla numunelerinin alındığı yer)	38
Şekil 3.18. İncirlihan kervan sarayı'nın girişindeki kitabeli giriş kapısı	39
Şekil 3.19. İncirlihan kervan sarayı'nın iç görünüşü	39
Şekil 3.20. Numunelerin kılcal su emme olayı	46
Şekil 3.21. Tuğla numunesi basınç deney deney düzeneği	49
Şekil 3.22. Eğilmede çekme dayanımı deneyi	51
Şekil 3.23. Schmidt çekici ölçüm deneyi	53
Şekil 3.24. Ultrases ölçüm cihazı	54
Şema 1. Kalsiyumca zengin killer yakıldığında oluşan tepkime ürünü	58
Şekil 4.1. Tuğla numunelerin ağırlıkça su emme (%) ve porozite(%) değişim grafiği	64
Şekil 4.2. Tuğla numunelerin hacimce su emme (%) ve kompasite (%) değişim grafiği	65
Şekil 4.3. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değişim grafiği	66
Şekil 4.4. Tuğla numunelerin doyma derecesi (%)değişim grafiği	67
Şekil 4.5. Taş numunelerin hacimce su emme % ve ağırlıkça su emme % değişim grafiği	68
Şekil 4.6. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m ³ ve birim hacim ağırlık kg/m ³ değişim grafiği	69
Şekil 4.7. Harç numunelerin hacimce su emme (%) ve ağırlıkça su emme (%) değişim grafiği	70
Şekil 4.8. Harç numunelerin özgül ağırlık kg/m ³ ve birim hacim ağırlık kg/m ³ değişim grafiği	71
Şekil 4.9. Tuğla numunelerin birim hacim kg/m ³ ağırlık ve ağırlıkça su emme %grafiği	71

Şekil 4.10. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık kg/m^3 ve özgül ağırlık kg/m^3 grafiği	72
Şekil 4.11. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık kg/m^3 ve porozite % grafiği	73
Şekil 4.12. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık % ve hacimce su emme % grafiği	73
Şekil 4.13. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve ağırlıkça su emme % grafiği	74
Şekil 4.14. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve porozite % grafiği	74
Şekil 4.15. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve doyma derecesi % grafiği	75
Şekil 4.16. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve hacimce su emme % grafiği	76
Şekil 4.17. Tuğla numunelerin ağırlıkça su emme % ve porozite % grafiği	76
Şekil 4.18. Taş numunelerin hacimce su emme % ve ağırlıkça su emme % grafiği	77
Şekil 4.19. Taş numunelerin birim hacim ağırlık kg/m^3 ve ağırlıkça su emme % grafiği	78
Şekil 4.20. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve ağırlıkça su emme % grafiği	78
Şekil 4.21. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve birim hacim ağırlık kg/m^3 grafiği	79
Şekil 4.22. Harç numunelerin hacimce su emme % ve ağırlıkça su emme % grafiği	80
Şekil 4.23. Harç numunelerin birim hacim ağırlık kg/m^3 ve hacimce su emme % grafiği	80
Şekil 4.24. Harç numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve hacimce su emme % grafiği	81
Şekil 4.25. Tuğla numunelerin basınç dayanımı N/mm^2 ve eğilme dayanımı N/mm^2 ölçüm grafiği ve TSE- EN 771-1 değerleri	82
Şekil 4.26. Tuğla numunelerin schmidt çekici ve poisson oranı grafiği	83
Şekil 4.27. Tuğla numunelerin elastik modül N/mm^2 ve ultrases hızı m/s ölçüm grafiği	84
Şekil 4.28. Taş numunelerin schmidt çekici ve basınç dayanımı N/mm^2 değeri grafiği	85
Şekil 4.29. Taş numunelerin ultrases hızı m/s ve dinamik elastisite N/mm^2 değişim grafiği	86
Şekil 4.30. Harç numunelerin ultrases hızı m/s ve dinamik elastisite N/mm^2 değişim grafiği	87
Şekil 4.31. Harç numunelerin noktasal dayanım indeksi N/mm^2 grafiği	88
Şekil 4.32. Tuğla numunelerin schmidt çekici basınç dayanımı N/mm^2 grafiği	88
Şekil 4.33. Tuğla numunelerin eğilme N/mm^2 dayanımı basınç dayanımı N/mm^2 grafiği	89
Şekil 4.34. Tuğla numunelerin ultrases hızı m/s , schmidt çekici grafiği	89
Şekil 4.35. Tuğla numunelerin poisson oranı, basınç dayanım N/mm^2 grafiği ...	90
Şekil 4.36. Taş numunelerin dinamik elastisite N/mm^2 , Schmidt grafiği	90
Şekil 4.37. Harç numunelerin dinamik elastisite N/mm^2 ultrases hızı m/s grafiği	91

Şekil 4.38. Harç numunelerin noktasal dayanım indeksi N/mm^2 , ultrases hızı m/s grafiği.....	92
Şekil 4.39. Harç numunelerin noktasal dayanım indeksi N/mm^2 , dinamik elastisite N/mm^2 grafiği.....	92
Şekil 4.40. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık kg/m^3 ve schmidt grafiği.....	93
Şekil 4.41. Tuğla numunelerin birim Hacim ağırlık kg/m^3 ve elastik modül N/mm^2 grafiği.....	94
Şekil 4.42. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve schmidt grafiği	94
Şekil 4.43. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve ultrases hızı m/s grafiği	95
Şekil 4.44. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve elastik modül N/mm^2 grafiği	96
Şekil 4.45. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve basınç dayanımı N/mm^2 grafiği	96
Şekil 4.46. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve poisson oranı grafiği	97
Şekil 4.47. Tuğla numunelerin ağırlıkça su emme % ve elastik modül N/mm^2 grafiği	98
Şekil 4.48. Tuğla numunelerin kompasite % ve elastik modül N/mm^2 grafiği....	98
Şekil 4.49. Tuğla numunelerin porozite % schmidt çekici grafiği	99
Şekil 4.50. Tuğla numunelerin porozite % elastik müdül N/mm^2 grafiği	99
Şekil 4.51. Tuğla numunelerin schmidt çekici hacimce su emme % grafiği	100
Şekil 4.52. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 schmidt çekici grafiği.....	102
Şekil 4.53. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 basınç dayanım N/mm^2 grafiği	103
Şekil 4.54. Harç numunelerin ultrases hızı m/s ve hacimce su emme % grafiği	104
Şekil 4.55. Harç numunelerin dinamik elastisite N/mm^3 ve hacimce su emme % grafiği	104
Şekil 4.56. Harç numunelerin basınç dayanımı N/mm^3 ve ağırlıkça su emme % grafiği	105
Şekil 4.57. Harç numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ultrases hızı m/s grafiği	105
Şekil 4.58. Harç numunelerin dinamik elastisite N/mm^2 ve ağırlıkça su emme % grafiği	106
Şekil 4.59. Tuğla numunelerin özgül ağırlık ve weka modeli Least MedSq metoduyla elde edilen sonuç grafiği	128
Şekil 4.60. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık ve weka modeli pace regression metoduyla elde edilen sonuç grafiği.....	129
Şekil 4.61. Tuğla numunelerin eğilme dayanımı ve weka modeli M5P metoduyla elde edilen sonuç grafiği	130
Şekil 4.62. Tuğla numunelerin basınç dayanımı ve weka modeli linear regressio metoduyla elde edilen sonuç grafiği	132
Şekil 4.63. Taş numunelerin özgül ağırlık ve weka modeli least medSq metoduyla elde edilen sonuç grafiği	134
Şekil 4.64. Taş numunelerin birim hacim ağırlık ve weka modeli linear regresyon metoduyla elde edilen sonuç grafiği.....	135
Şekil 4.65. Taş numunelerin basınç dayanımı ve weka modeli MP5 metoduyla elde edilen sonuç grafiği	136
Şekil 4.66. Harç numunelerin birim hacim ağırlık ve weka modeli M5P metoduyla elde edilen sonuç grafiği	138

Şekil 4.67. Harç numunelerin özgül ağırlık ve weka modeli lineer regresyon metoduyla elde edilen sonuç grafiği.....	139
--	-----

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri	4
Çizelge 4.1. Tuğla numunelerin kronolojik tarih ve bölgesel sırasına göre imalatları	55
Çizelge 4.2. Taş numunelerin kronolojik tarih sırasına göre imalatları	56
Çizelge 4.3. Harç numunelerin kronolojik tarih sırasına göre imalatları	57
Çizelge 4.4. Tuğla numunelerin XRD analiz sonuçları	59
Çizelge 4.5. Tuğla numunelerin kimyasal analiz sonuçları (XRF)	59
Çizelge 4.6. Taş numunelerin XRD analiz sonuçları	60
Çizelge 4.7. Taş numunelerin kimyasal analiz sonuçları (XRF)	60
Çizelge 4.8. Harç numunelerin XRD analiz sonuçları	61
Çizelge 4.9. Harç numunelerin kimyasal analiz sonuçları (XRF)	62
Çizelge 4.10. Tuğla numunelerin fiziksel ve mekanik regresyon (R^2) katsayıları	101
Çizelge 4.11. Taş numunelerin fiziksel ve mekanik regresyon(R^2) katsayıları	103
Çizelge 4.12. Harç numunelerin fiziksel ve mekanik regresyon(R^2) katsayıları	106
Çizelge 4.13. Tuğla numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi	107
Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi	112
Çizelge 4.15. Taş numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi	121
Çizelge 4.16. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	124
Çizelge 4.17. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	128
Çizelge 4.18. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	129
Çizelge 4.19. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	130
Çizelge 4.20. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	131
Çizelge 4.21. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	132
Çizelge 4.22. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	133
Çizelge 4.23. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	135
Çizelge 4.24. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	136
Çizelge 4.25. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	137
Çizelge 4.26. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	137
Çizelge 4.27. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi	139

Çizelge 4.28. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi.....	140
Çizelge 5.1. Weka model değerlerinin regresyon katsayıları.....	142
Çizelge 5.2. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi.....	143
Çizelge 5.3. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi.....	144

ANADOLU KRONOLOJİSİ

Palaeolitik Çağ	> 8000
Neolitik Çağ	M.Ö.8000-5500
Kalkolitik Çağ	M.Ö.5500-3000
Erken Bronz Çağı	M.Ö. 3000-2000
Orta-Geç Bronz Çağları	M.Ö. 2000-1200
Yeni Hitit Krallıkları	M.Ö.1200-700
Urartu Krallığı	M.Ö. 900-600
Frig Krallığı	M.Ö.700-550
Lidya Krallığı	M.Ö.700-550
Pers Satraplıkları	M.Ö.546-330
Helenistik Çağ	M.Ö. 330-30
Roma Çağı	M.Ö. 30 -İ.S.330
Erken Hıristiyanlık/Bizans	M.S. 330-1453
Selçuklu İmparatorluğu	1071-1300
Osmanlı İmparatorluğu	1299-1923

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	Kılcallık katsayısı
C _c	Numunenin basınç mukavemeti (N/mm ²)
DD	Doyma derecesi (%)
Δ _h	Numunenin birim ağırlığı (kg/m ³)
δ	Numunenin özgül ağırlığı (kg/cm ³)
E _d	Dinamik elastisite modülü (N/mm ²)
G _{dh}	Doymun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (gr)
G _{ds}	Doymun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi (gr)
G _k	Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr)
G _p	Piknometre kütlesi (gram)
G _{pn}	Piknometre + deney numunesi kütlesi (gram)
G _{pns}	Piknometre + deney numunesi + su kütlesi (gram)
G _{ps}	Su ile dolu piknometre kütlesi (gram)
HI	Hidrolik indeks
k	Numunenin doluluk oranı (%)
K	18000 – 23000 aralığında değişen bir katsayı
m _i	Numunenin kuru kütlesi
m _d	Belirtilen zamanda numunenin doymun kütlesi
P	Numunenin porozitesi (%)
P _g	Numunenin görünen porozitesi (%)
R	Korelasyon katsayısı
R _s	Geri Sıçrama değeri ölçüsü
SEM	Elektron tarama mikroskobu
S _k	Numunenin kütleye su emme oranı (%)
S _h	Numunenin hacimce su emme oranı (%)
V	Ultrases titreşim hızı (km/sn)
W	Numunenin en yüksek kırılma değeri (N)
XRD	X-Ray difraksiyon
XRF	X-Ray flüoresan
BHA	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)
ÖA	Özgöl ağırlık(kg/m ³)
ASE	Ağırlıkca su emme %
HSE	Hacimce su emme %
P	Porozite %
K	Kompasite%
DD	Doyma derecesi%
U	Ultrases hızı m/s
S	Schmidt çekici
BD	Basınç dayanımı (N/mm ²)
ED	Eğilme dayanımı (N/mm ²)
Is ₍₅₀₎	Noktasal yük indeksi (N/mm ²)
DE	Dinamik elastisite (N/mm ²)
EM	Elastik modül (N/mm ²)

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Burdur ve Isparta illeri içerisinde yer alan kültür mirasımız olarak bilinen ve günümüze kadar ayakta kalmayı başarmış, yapının bulunduğu zemin özellikleri, hatalı yapı malzemelerinin kullanımı, yapı tasarımındaki hatalar gibi iç nedenlerden ve/veya yangın, deprem, savaş gibi dış nedenlerden ötürü bozulmaya uğramış yapılar incelenmiştir. Tarihi yapıların korunması, onarımı ve güçlendirilmesi, evrensel nitelikteki kültür mirasının korunması bakımından önemlidir (Yüzer vd., 2011).

Tarihimizin bir parçası olan ve deneysel çalışmalarımızın numune kaynağı olan ören yerlerimizin (Kremna, İncirlihan Kervansarayı, Adada, Sığırlık Harabesi, Zorzila ve Psidia Antiokya) yapımında yapı malzemesi olarak kullanılmış taş, tuğla ve harç (bağlayıcı ve agrega) gibi yapı malzemelerinin deneysel verilerini içermektedir. Kronolojik olarak ören yerlerindeki tarihi yapılar; Helenistik, Roma, Bizans ve Selçuklu periyotlarının, bir ya da birkaç dönemini bir arada kapsamaktadır.

Deneysel çalışmamız saha ve laboratuvar alanlarına göre iki aşamada gerçekleşmiştir. İlk olarak sahada, tahribatsız deney yöntemleri (Schmidt çekici, ultrases titreşim hızı) uygulanmıştır. Diğer aşamada, laboratuvar ortamında gerçekleşmiştir. Bu tarihi yerlerdeki yapılardan alınan yapı malzemeleri (taş, tuğla, harç) üzerinde fiziksel (Birim Hacim Ağırlık, kütlece su emme, hacimce su emme, özgül ağırlık, kompasite, porozite, doyma derecesi ve kılcal su emme) ve mekanik deneyler (basınç dayanımı, eğilme dayanımı, poisson oranı, nokta yükleme deneyi) uygulanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler; numunelerin fiziksel özellikleri, mukavemetleri, kalitesi, sınıflanması, morfolojisi, mineralojik bileşenleri, yakma sıcaklıkları gibi karakteristik özelliklerin ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Bu karakteristik özellikler; geçmiş zamanlardaki inşaatçıların tarihi yapılarda kullandıkları taş, tuğla ve harç malzemelerinin kronolojik tarih sırasına göre imalatları, kullanılan yapı malzemelerinin bileşenleri ve inşaat teknikleri hakkında bilgi sahibi olmamıza olanak sağlamaktadır. Böylece tarihsel kavimlerin teknolojik davranışları ve

Üretim teknikleri hakkında da bilgiler elde edilmektedir. Elde edilen aşamalarda tarihi yapıların güçlendirilmesi açısından uygulanacak yenileme ve iyileştirme konularına ışık tutabilecektir. Bu alışmalar bilimsel ilkeler ışığında yapıların estetik ve tarihi değerlerini korumaya yönelik, yapının sistemine ve özgün malzemelerine en az müdahale ile olmalıdır.

Sonuç olarak tarihi yapılarda kullanılan malzemelerin incelenmesi, bize geçmiş, günümüz ve gelecek arasında köprü kurarak, tarihi yapıların günümüze kadar ayakta kalmasının nedenlerini ortaya çıkarmada önemli ölçüde bilgi sağlayabilecektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

Tarihi yapı malzemeleri yapıldığı dönem, işçilik yöntemleri, yapımı için kullanılan teknikler bakımından geçmişin aynası niteliğindedir. Geçmişten günümüze ışık tutan ve kültür mirasımız olan bu tarihi yapıları korumak ve doğru şekilde restore etmek bu yapılar için hayati önem taşımaktadır.

Tarihi yapı sistemini oluşturan temeldeki ana yapı malzemeleri olan taş, tuğla ve bunları birbirine bağlayan harçtır. Tarihi yapıların ve kullanılan yapı malzemelerinin incelenmesine yönelik çalışmalar ve bu yapıların inşa edildikleri dönemlerin yapım teknolojileri hakkında önemli bilgiler edinilmesine olanak sağlamaktadır. Tarihi miras niteliği taşıyan yapıların onarımında alınacak kararlar ve yapılacak olan müdahalelere çok dikkatli bir çalışma metodu geliştirip bu yapının karakteristik özelliklerin (numunelerin dayanımı, sınıflanması, morfolojisi, mineralojik bileşenleri, fiziksel özellikleri ve mukavemet özellikleri) belirlenmesi sonucunda yapıya özel işlemlerle yenileme ve tadilat çalışmasına başlanmalıdır. İlk olarak yapının ayrıntılı belgeleme ve teşhis çalışmaları yapılmalıdır. Yapının yapıldığı dönem yapıda kullanılan malzeme cinsi belirlenmelidir. Bu çalışmalar, yapının tarihini ve özgün yapım tekniklerini, malzeme özelliklerinin ve hasar durumunun tespitini ve onarım tekniklerini kapsamalıdır. Bu bilgiler ışığında uygun malzeme ve teknik kullanılarak yapılacak olan onarım planının oluşturulması gerekir. Tarihi yapıların onarımında özgün malzemenin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine uygun malzeme ve yapım tekniği kullanılmalıdır.

2.1. Tarihi Yapılarda Kullanılan Tuğlalar

Tuğlanın hammaddesinde kil (kaolin, illit, vs), kuvars, feldspat az miktarda demir ve magnezyum bulunmaktadır. Su ile yoğrulan bu karışım 600–900°C ısıtılırsa kil minerallerin mevcut yapıları bozulmakta ve amorf alümine silikatlar oluşmaktadır. Kil mineralleri bünye özelliklerine göre farklı puzolonik sıcaklık özelliğine sahiptirler. Kaolin, kalsiyum, illit, feldspat mineralleri de ısıtılınca sıcaklık derecelerine göre amorf yapıya kavuşmaktadırlar.

Tuğla numuneleri yakma sıcaklıklarına göre 900°C'nin üzerinde, 900°C'nin altında, 850°C'nin üzerinde ve 850°C'nin altında olmak üzere dört ana sınıflamada değerlendirilmiştir. Ortamda gehlenit, kuvars, diopsit ve anortit minerallerinin bulunması, pişirme işlemi sırasında ulaşılan sıcaklığın bir göstergesidir (Duminuco vd., 1998).

Tuğlaların puzolanik özellikte olması için pişirme sıcaklığı 700–900°C arasında olmalı, bünyelerinde puzolanik özellik sağlayacak miktarda kil mineralleri olmalıdır. Her tuğla puzolan özelliğe sahip değildir. Yeni tekniklerle üretilen veya geleneksel ocaklarda pişirilen tuğlaların mutlaka puzolanik özellikte olup olmadığı kontrol edilmeli, puzolan özelliğe sahip olmayan tuğlalar tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılmamalıdır. Puzolanik olmayan tuğlaların yapıları dayanıklı değildir Eski yapı yıkıntılarından çıkartılan yapay taşlar, deneylerle puzolan yapıda iseler onarım veya güçlendirmede kullanılabilir (Bayraktar, 2006).

Piştirilmiş kilden üretilen tuğlayı oluşturan malzemeler genellikle dere yataklarında yüzeysel olarak biriken kum taşlarının kalıntılarından elde edilirdi. Pişmiş kilden üretilen tuğlalar, görünümleri ve işlevlerine göre sınıflandırılır; fırınlarda yüksek ısı altında pişirilir, fırın teknolojisinin bulunmadığı yerlerde ise güneş ısısından yararlanılarak üretildiği bilinmektedir. Tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzeni; tuğlanın dayanımını belirler. Tuğlaların basınç dayanımı, malzeme özelliklerine bağlı olarak 10 MPa 'dan 30 MPa'a kadar değişir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanıma sahip olabilir. Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u, kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'u kadardır (Ünay, 2002).

Çizelge 2.1. Tuğlaların ortalama mekanik özellikleri (Ünay, 2002)

Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
10-30	2.7 - 5	10-20	150-300

Tuğlanın kerpiçten ısıl işlemler görerek yapı malzemesine dönüşümü ilk olarak protohistorik (M.Ö. 2500-1750) toplumların zamanlarına rastlamaktadır. Çok gelişmiş bir protohistorik uygarlık düzeyindeki Sümerler, pişmiş kili yani tuğlayı üretebilmişlerdir. Babil'deki 90 metre yüksekliğinde Etemenoki Ziggurat kulesinin içinin kerpiç dışının 15 metre kalınlığında pişmiş tuğla ile yapıldığı ifade edilmektedir (Akman, 1997).

M.Ö. 6 yüzyıl'da Sümer şehirlerinde ve Babylon'da, duvar ve tonozların pişmiş tuğla kullanılarak yapıldığı gözlemlenmiştir. O dönemde tuğla, Yunanlılarca tanınan bir malzeme değildir. Ancak ateş tuğlası M.Ö. 3 yüzyıl'ın ortalarında yapı malzemesi gibi kullanılmaya başlanmıştır. Aynı dönemde Partihan'lar, çamur tuğlası daha yaygın olmasına rağmen yapılarını ateş tuğlası kullanarak yapmışlardır (Dodge, 1987).

Dodge (1987), Yunan, Roma ve Asya'daki yapılarda kullanılan tuğlaların kalınlıklarını, tuğlalar arasındaki derz kalınlıklarını, tuğlaların hangi yüzyıllara ait olduklarını ve nerelerde kullanıldığını belirtmiştir.

Ateş tuğlası M.S. 3. yüzyıl ortalarında zeminlerde ve tonozlarda kullanılmıştır. İnce tuğlalar tonozlarda, kalın tuğlalar ise zemin kaplamalarında daha yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir (Gülmez, 2005).

Farklı sıcaklıklarda yakılan killerin mikro yapısal ve mikro kimyasal özelliklerini; XRD, XRF ve SEM/EDX cihazlarını kullanarak ölçmüşlerdir. Elde edilen verilerden, tuğlaların yakma sıcaklıkları hakkında teknolojik bilgiler elde edilebileceğini ifade etmişlerdir (Riccardi vd., 1999).

Tarihi yapıların restorasyonunda kullanılan harç ve tuğlaların mineralojik özelliklerinin belirlenmesinin, duvarların deformasyonu ve dayanımları bakımından önemli olduğunu belirtmişlerdir (Karaveziroğlu vd., 1997).

Eski Roma döneminde 31 x 31 x 5 cm boyutlarında tuğla kullanılmıştır (Radivojevic ve Dervissis 2001).

Duminuco vd., (1998), tuğlaları yakma sıcaklıklarına göre incelemişlerdir. Tuğlaların yakma sıcaklıklarından; tarihsel kavimlerin teknolojik davranışları ve üretim teknikleriyle ilgili bilgiler ortaya çıkarabileceğini belirtmişlerdir. Tuğlaları yakma sıcaklıklarına göre dört ana sınıfa göre değerlendirmişler ve ortamda gehlenit, kuvars, diopsit ve anortit minerallerinin bulunmasını, pişirme esnasında ulaşılan sıcaklığın bir göstergesi olduğunu belirtmişlerdir.

Aköz vd. (2001), Dolmabahçe sarayından aldıkları harç ve tuğla numuneler üzerinde birim ağırlık, özgül ağırlık, hacimce su emme, ağırlıkça su emme ve doyma derecesi gibi fiziksel özellikleri belirlemişlerdir. Harçlar ve tuğlaların mekanik özelliklerini de incelemişlerdir. Tuğlaların basınç dayanımının 6.13 MPa ve elastisite modülünün 428 MPa, harçların basınç dayanımının 1.54 MPa ve elastisite modülünün 51 MPa olduğunu ölçmüşlerdir.

Restorasyon için uygun tuğla malzemelerin seçimi için optik analiz, su emme, porozite, birim hacim kütle ve mekanik analizlerin yapılması gerektiğini ifade etmişler ve yaptıkları çalışmalar sonucunda da tarihi yapılardaki tuğlaların birim hacim kütlelerinin 1.67 - 1.85 gr/cm³ arasında ve su emme değerinin %16 - 18 arasında değiştiğini ölçmüşlerdir (Radivojevic ve Dervissis, 2001).

Bonora vd. (2001), İtalya'nın Faenza bölgesindeki 16. yüzyıl yapısından aldıkları 25 tuğla ve 11 harç numunesi üzerinde XRD ve XRF analizleri uygulamışlardır. XRD analizini, tuğla ve harç numunelerinde bulunan ana kristalize kısımları ortaya çıkarmak için ve XRF analizini, tuğlaların kimyasal bileşenlerini ortaya çıkarmak için yapmışlardır. Mineralojik ve petrografik özellikler için ise optik mikroskop altında ince kesit analizlerini gözlemlemişlerdir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda, tuğlaların kimyasal bileşen değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu yani çok homojen olduğunu görmüşlerdir. Tuğla numunelerinin XRD analizleri sonucunda; kuvars ve kalsitin ana bileşen olduğunu, plajiolaz ve mika minerallerinin çoğunlukla var olduğunu ve dolomit ve piroksen minerallerinin eser miktarda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Cardiano vd. (2004), tarihi yapıdan aldıkları tuğla numuneleri üzerinde kimyasal ve mineralojik analizler yapmışlar ve kimyasal analizler sonucunda, Bizans dönemi tuğlalarının kalkerli killerden üretildiğini gözlemlemişlerdir.

Tuğla numunelerin çok fazla sayıda olması durumunda, CaO miktarına göre sınıflandırılarak numunelerin azaltılabileceğini ve bu sınıflamanın SiO₂ ve Fe₂O₃ elementlerince desteklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Alınan numunelerde SiO₂/Al₂O₃ oranının 3-3.4 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Lopez-Arce vd. (2003), İspanya'nın Toledo kentindeki Roma dönemine ait tarihi yapılardan aldıkları tuğla numuneleriyle; SEM/EDX, XRD ve optik mikroskop analizlerini yapmışlardır. Ayrıca su emme, porozite ve basınç dayanım değerlerini de ölçmüşlerdir. Tuğlalarının basınç dayanımları 21.1-44.0 MPa olarak ölçülmüş ve bu, tuğlaların (3.-4. yüzyıl) üstün mekanik özelliklere sahip olduklarını göstermektedir. Tuğlaların su emme oranları % 19-22, birim hacim kütleleri 1.5-1.6 gr/cm³, toplam porozite oranları ise % 32.5-43 değerlerinde ölçülmüştür.

Radivojevic (2005), yapmış olduğu çalışmasında 4. ve 6. yüzyıl tuğlalarının elastik modülünü 12.4 ile 5.9 MPa, basınç dayanımını 18.5 ile 10.0 MPa ve eğilme dayanımını da 7.6 ile 2.9 MPa olarak ölçmüştür. Tuğlaların porozite oranları % 19.4 ve 18.1, birim hacim kütleleri ise 1.78 ile 1,3 gr/cm³ şeklinde saptanmıştır.

Böke vd. (2006), 14.-15. yüzyıl dönemi Osmanlı tuğlalarının birim hacim kütlelerini 1.7-1.8 gr/cm³ ve porozite oranlarını ise % 33-37 arasında elde etmişlerdir.

Kurugöl ve Tekin (2010), Anadolu'da Bizans dönemi tarihi yapılarda kullanılan tuğlaların ultrases geçiş sürelerini ölçerek, buradan ultrases hızları ile dinamik elastik modüllerini belirlemişlerdir. Tüm numunelerin ultrases hızları ortalamaları 2.53 ile 3.52 km/sn arasında değiştiğini, ultrases hızları yüksek olan numunelerin mekanik dayanımlarının da yüksek, fiziksel özellikler

bakımından ise daha düşük porozite ve su emme oranlarına sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Mekanik değerleri ile ultrases hızları arasındaki ilişkiler doğrusal regresyonla değerlendirmişlerdir.

Kurugöl (2010), tarihi Kütahya Kalesi tuğlalarının 1.34-1.51 gr/cm³ arasında değişen birim hacim kütlelerine, % 35.9 - 45.5 arasında porozite oranlarına ve 9.9 - 13.7 MPa arasında değişen basınç dayanımlarına sahip oldukları ve puzolanik özellikler taşıdıklarını tespit etmiştir. Ultrases hızları 2.5 – 2.8 km/sn, dinamik elastik modülleri ise 8.6-11.4.10³ MPa arasında değişmektedir.

2.3. Tarihi Yapılarda Kullanılan Harç

Tarihsel süreçte yapı malzemesi olarak kullanılan harç, bağlayıcı malzeme olarak yapı üzerinde işlev görmüştür. Bağlayıcı malzeme ve suyun karışımı ile zamanla sertleşen malzeme özelliği göstermektedir.

Harçların kullanım amacı, duvar yapımında malzemeler arasındaki tüm boşlukları doldurma kapasiteleri ve taş veya tuğlaya uygulandıklarında sertleşme ve kuvvetli adhezyon özellikleri nedeniyle kullanılırlar. Bünyelerine giren bağlayıcı malzeme çeşidine göre; kil harcı, alçı harcı, çimento harcı, kireç harcı ve melez harç olarak adlandırılırken, yapıdaki kullanım yerlerine göre duvar örgü harçları, sıva harçları, şap-şerbet ve badana olarak sınıflandırılırlar. Duvar örgü harçları; kâgir elemanları birleştirmek ve yatay yükleri almak amacıyla hazırlanan harçlardır. Sıva harçları ise duvar ve tavan yüzeylerini estetik açıdan düzgünleştirmek ve teknik açıdan korumak amacıyla uygulanan sürekli kaplamalardır (Mavi, 2000; Kozlu, 2010).

Topraktan elde edilen tuğlanın ve kerpicingin, yapı malzemesi olarak kullanılması harcın doğmasına neden olmuştur. Tarihte ilk olarak çamur kullanılmıştır. Çamurun ardından, Romalılarla birlikte, kireç harcı kullanılmaya başlanmıştır. Kireç harcından sonra, kum kireç karışımının içine pişmiş kil veya puzolan denilen volkanik tüfün karıştırılması ile su karşısında sertleşen bir bağlayıcı elde edilmiştir. Tarihi yığma-kargir yapılarda özellikle, Roma, Bizans, Selçuklu

ve Osmanlı mimarisinde ise horasan harcı adı verilen bağlayıcı kullanılmıştır (Kuban, 1998).

Kireç kullanılarak elde edilen harç ve sıvalar, Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden, çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede, yapıların inşalarında kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak kireç, dolgu malzemesi olarak da agregaların karıştırılmasıyla kireç harcı ve sıvaları elde edilir. Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın özelliklerini geliştirmek amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı da bilinmektedir (Böke vd., 2004).

Tarihi yapılarda harç ve sıvaların dayanımlarını artırmak için bağlayıcı ve agreganın dışında puzolanik özellikte katkı maddelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Roma ve bazı Akdeniz ülkelerinde kireçle birlikte kullanılan puzolanik katkı maddeleri kolay bulunamadığı ve ekonomik olmadığı gerekçesiyle, birçok ülkede doğal puzolan yerine yapay puzolanlar kullanılmıştır (Akbulut-Ekşi, 2006).

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren marn denilen killi kirecin 1000-1200°C gibi kirece göre daha yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile su kireci elde edilmiş, daha sonraki yıllarda kil ve kalker belirli oranlarda karıştırılarak yaklaşık 1500°C pişirilmiş, çok ince öğütülmüş ve bugünkü anlamda çimento elde edilmiştir (Postacioğlu, 1986; Akman, 1990).

Baronio vd. (1997), Roma ve Bizans dönemi yapılarda kullanılan kalın harçların içeriğindeki çakıl ve tuğla tozunun rollerini araştırmışlardır. Hidrate kireç harçlarında, ezik tuğla parçacıklı malzemelerin kullanıldığını ifade etmişlerdir. Roma ve Bizans çağlarında yapılmış yapıların derz kalınlıklarının tuğla kalınlıklarına oranı, 1'in üzerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Derz araları kalın harçlı olarak yapılmış yapıların, mukavemetlerin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ezik tuğla kireç harçlarda, bağlayıcılar ve ezik tuğla parçacıkları arasında yer alan puzolanik tepkimelerin yalnız mikroskobik analizlerle görülebileceğini ifade etmişlerdir. Ezik tuğla kireç harçlarında; ince kesit ve SEM analizleri uygulamışlardır. Harç numuneler üzerinde yaptıkları araştırmalar

sonucu, bağlayıcı ve tuğla parçacıkları arasındaki yapışmanın genellikle çok iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Harç numuneyi oluşturan bağlayıcıların ve agregaların yapılarında çatlaklar ve boşluklar bulunduğunu belirtmişlerdir. Bağlayıcılar ve tuğla parçacıkları arasındaki tepkime biçiminin daha iyi anlaşılabilmesi için, SEM analizi uygulamışlardır.

Güleç ve Tulun (1997), Anadolu'da Roma, Bizans ve Osmanlı periyotlarından aldıkları harç ve sıva numuneleri üzerinde; görsel analiz, porozite, ince kesit ve XRD analizleri uygulamışlardır. XRD analiz sonucunda, numunelerde kalsit ve kuvars çoğunlukla bulunduğunu ve plajiolaz ve feldspat minerallerinin ise az miktarlarda var olduğunu gözlemlemişlerdir. Üzerinde araştırma yaptıkları Roma hamamının, ezik tuğla kireç harcıyla yapıldığını belirtmişlerdir. Harç numunelerinin içerisinde bulunan agregaların, çoğunlukla karbonat ve silikat kökenli minerallerden oluştuğunu da ifade etmişlerdir.

Karaveziroglou vd. (1997), tarihi yapıların restorasyonu sırasında kullanılan harç ve tuğla malzemelerin mineralojik özelliklerinin belirlenmesi, duvarların deformasyonu ve mukavemeti açısından önem arz ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca tuğla duvarların derz kalınlıklarının, bu parametreler üzerindeki etkilerinden bahsetmişlerdir.

Moropoulou vd. (1997), tarihi harçların komposit malzemeler olduğunu ifade etmişlerdir. Harca ilave edilen ezik tuğla ve puzolanik katkılar, yapışma ve işlenebilirliği artırmıştır. Harçların yapışma özelliği; yapım tekniğine (derz kalınlığı, karbonatlaşma yüzeyi), üretim teknolojisine (karışım oranı, bağlayıcı ile agreganın granülometrik dağılımı) ve kirecin teknolojisine (yakma sıcaklığı, söndürme zamanı, su oranı vs.) bağlıdır. XRD analiz sonucunda, kalsit ve kuvarsın ana bileşen olduğunu gözlemlemişlerdir. Çoğunlukla harç numunelerde magnezyumca zengin dolomit ve klorit minerallerinin bulunduğunu da ifade etmişlerdir.

Papayanni (1997), Thessaloniki'de 15. ve 16. yy. da inşa edilen anıtlarından aldığı harç numuneler üzerinde XRD analizi tatbik etmiştir. Tonozlarda ince

tuğlalar kullanıldığını ve zeminlerdeyse kalın tuğlalar (genişliği 6 cm ve üzeri) kullanıldığını belirtmiştir.

Papayanni ve Hatzitrifonos (1997), Thessaloniki'deki Pazar hamamının restorasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Restorasyon içine başlamadan önce tarihi yapıların mimari morfolojisi, yapısal sistemi ve patolojisinin yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Viaene vd. (1997), Sagalassos antik kentinde kullanılan harçların ince kesit analizlerini incelemişlerdir. İnce kesit hazırlanırken boşluklu ve gözenekli olan numuneleri önce bir reçineyle vakum altında emdirmişlerdir. Daha sonra ince kesiti hazırlanan numuneleri optik mikroskopta gözlemlemişlerdir. İnce kesitin belirlenmesi, numunelerin mineralojik özellikleri hakkında veriler ortaya çıkarmaktadır. Sagalassos'ta kullanılan harçlarda, üç tip agrega gözlemlemişlerdir. Bunlar; kireçtaşı, chamotte (ezik tuğla) ve volkanik kayaç kırıntılarıdır. Kireçtaşına, Yunan ve Roma mimarisi yapılarda rastlamışlardır. Ezik seramikli harçlarda, hematit ve opal minerallerini gözlemlemişlerdir. Chamotte katkısının bulunduğu harçlar, genellikle su ve neme karşı yalıtım istenen yerlerde ve su yapılarında (su kemerleri, su hazneleri, hamam yapısı) kullanıldığını ifade etmişlerdir. Volkanik kayaç kırıntısı yine kireçtaşı gibi Yunan ve Roma mimarisi yapılarda kullanılmıştır. Volkanik kayaç kırıntısını iki tipte gözlemlemişlerdir. Bunlar pomza ve lav parçacıklarıdır. Bu katkılarla üretilen harçlar hidrolik özelliklere sahip olduğu halde suyla temas halindeki yerlerde chamotte katkısı kullanılmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Riccardi vd. (1998), Pavia'nın merkezindeki üç farklı yapıdan aldıkları (bu yapıların inşa ediliş tarihleri 4 -6. yy., 9-10. yy. ve 16. yy.) tarihi harçlar üzerinde; mikroskobik ve XRD analizleri uygulamışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda; Roma dönemi harçlarda %70 oranında kalsiyum bulunduğunu, Ortaçağ ve Rönesans dönemlerinde ise kalsiyum miktarının %80 – %90 civarına çıktığını ifade etmişlerdir. Biotit ve muskovit türü mikaların Roma dönemi örneklerinde çoğunlukla bulunduğunu ve Ortaçağ rneklerindeyse nadir miktarlarda var olduğunu gözlemlemişlerdir. Rönesans

dönemine gelindiğinde yine bol miktarlarda biotit ve muskovit türü mikaların var olduğunu tespit etmişlerdir. Roma ve Ortaçağ numunelerinin bağlayıcı fazlarında kalsit heterojen bir dağılım gösterirken Rönesans çağında homojen bir görünüm sergilemiştir. Roma ve Ortaçağ numunelerinde kalsit, kuvars ve feldspatı ana mineraller olarak gözlemlemişlerdir. XRD patenti incelendiğinde, Roma dönemi harçlarda kalsitin varlığına rastlanırken Rönesans çağı harçlarında kalsit olmadığı ancak dolomit ve jips minerallerinin var olduğunu gözlemlemişlerdir. Ortaçağ harçlarının, Roma çağı harçlarına göre daha sert ve kompakt olduğunu ifade etmişlerdir. Rönesans dönemi harçlarda, jips'in varlığı daha zayıf bileşenler kullanıldığının belirtisiyken dolomitin varlığı çeşitli ham malzemelerin kullanıldığının bir göstergesidir.

Callebaut vd. (2000), Sagalassos antik kentindeki harçlarda kullanılan agregaları üç tipte incelemişlerdir. Bunlar; kireçtaşı, ezik seramikler (chamotte) ve volkanik kayaç kırıntılarıdır. Kireç harçlarında kullanılan ham malzemeleri ortaya çıkarmak için mineralojik ve petrografik analizleri tatbik etmişlerdir. Chamotte katkısında; feldspat, kuvars, mika, hematit, piroksen ve amfibol mineralleri bulunduğunu ifade etmişlerdir. Volkanik kayaç kırıntılarını; tuf, lav, pomza ve kum taşından oluştuğunu belirtmişlerdir. Biotit ve ojit minerallerinin genellikle pomza parçacıklarında bulunduğunu ve lav parçacıklarındaysa plajiolaz ve alkali feldspatlarının var olabileceğini ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada tüflerin kızdırma kaybı miktarının lavlarınkinden yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Tüflerin kızdırma kaybının yüksek olmasını, cam matriksinden gaz çıkışı ve biotit, hornblend hidratasyonuna bağlamışlardır.

Franzini vd. (2000), Pisa'dan aldıkları tarihi harçlar üzerinde SEM ve XRD analizleri uygulamışlardır. Buna ilaveten özgül ağırlık, Birim Hacim Ağırlık ve su emme gibi fiziksel deneyleri de yapmışlardır. Özgül ağırlık değerinin 2.52 – 2.69 gr/cm³ arasında olduğunu, birim hacim ağırlık değerinin 1.09 – 1.70 gr/cm³ arasında olduğunu ve su emme değerininse % 32.6 – %51.5 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. XRD analiz sonucunda, harçların bağlayıcı kısımlarının kristalize kuvarslardan oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Aköz vd. (2001), Dolmabahçe sarayından aldıkları harç ve tuğla numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, hacimce su emme, ağırlıkça su emme ve doyma derecesi gibi fiziksel özellikleri, Arşimet Prensibine göre belirlemişlerdir. Çalışmaları en az üçer kez tekrarlamışlar ve sonuçların ortalamalarını vermişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda harçlar ve tuğlaların mekanik özelliklerini de incelemişlerdir. Tuğla malzemenin basınç mukavemetini 6.13 MPa ve elastisite modülünü 428 MPa olduğunu ölçerlerken harçların basınç mukavemetini 1.54 MPa ve elastisite modülünü 51 MPa olduğunu ölçmüşlerdir.

Moropoulou vd. (2003), tarihi harçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi harçların üretimi sırasında yararlı bilgiler verebileceğini ve bu bilgilerin restorasyon sırasında önemli olduğunu belirtmişlerdir. Tüm harçları dört sınıfta incelemişlerdir. Bunlar; tipik kireç harcı, ezik tuğla kireç harcı, cementitious harcı ve portland çimentolu harçtır. Tipik kireç harcı, kalsit (%80) ve kuvarstan oluşan karışımı içermektedir. Bağlayıcı malzeme ince kristalize kalsittir. Ezik tuğla - kireç harcının, ince tuğla parçacıkları ile bağlayıcı malzemelerden oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu teknolojinin erken Bizans periyodundan Osmanlı periyoduna kadar uzandığını ve mükemmel puzolanik özellik gösterdiğini belirtmişlerdir. Cementitious harçları, Vitruv'un bahsettiği opus caementicium diye bilinen harç olduğunu ve bu harcın; kum, kireç, puzolan (volkanik toprak) ve çakılın bir karışımından oluştuğunu ifade etmişlerdir. Portland çimentosu ile üretilen harcın, günümüz teknolojisinde kullanılan harç tipi olduğunu da belirtmişlerdir.

Elsen vd. (2004), Belçika'da bulunan bir katedral'den alınan harç numuneler üzerinde mikroskopik belirlemeleri (agregaların rengi, tipi gibi) ve kimyasal analizleri tatbik etmişlerdir. Optik mikroskop, numunelerin yapısı ve boşlukları hakkında bilgiler vermektedir. Ayrıca ince kesitler hazırlanırken zayıf ve dağılan yapılara sahip numuneleri, düşük bir viskozite ile vakum altında emdirmeye işlemine tabii tutmuşlardır. Elde edilen veriler, bu katedral'de kullanılan harç numunelerinin bileşenleri hakkında yararlı bilgiler verebileceğini belirtmişlerdir. Kimyasal analiz sonucu elde edilen elementlerin

konsantrasyonu, harç numunelerin hidrolik dereceleri hakkında bilgiler ortaya çıkardığını ifade etmişlerdir.

Moropoulou vd. (2004), bağlayıcı malzemelerin Roma çağından itibaren tarihsel gelişimlerini incelemişlerdir. Harçları üç ana sınıfta değerlendirmişlerdir. Bunlar; kireç harçları, hidrolik kireç harçları ve puzolanik kireç harçlarıdır. Yaptıkları çalışmalar sırasında en çok kireç harçlarına rastlamışlardır. Hidrolik kireç harcı, marley kireç taşının düşük sıcaklıkta yakılması ile oluştuğunu ifade etmişlerdir. Puzolanik harçların, su ve neme karşı mukavemet istenen yerlerde kullanıldığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen verilerin, restorasyon sırasında uygun malzemenin seçimi için önemli olacağını da belirtmişlerdir.

2.4. Tarihi Yapılarda Kullanılan Taş

Viaene vd. (1993), Sagalassos antik kentinde kullanılan kireçtaşlarının, petrografik ve fiziksel analizleri incelemişlerdir. Fiziksel analizler sonucunda, kireçtaşlarının özgül ağırlık değerinin $2.68 - 2.71 \text{ gr/cm}^3$ arasında olduğunu ve porozite değerininse %1'den az olduğunu gözlemlemişlerdir. Petrografik incelemelerde ise, Helenistik ve Roma mimarisi yapılarda kireçtaşlarının kullanıldığını belirtmişlerdir.

Vandaele ve Waelkens (1995), Sagalassos antik kentindeki taş yapılarda N tipi bir schmidt çekici kullanarak yüzey sıklık değerlerini belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda, granitli kayaçların geri sıçrama ölçüsünün 55 ve üzeri bir değer olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca İsrail'de chalk adı verilen kayaçta ise bu değer, 10 - 20 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Yüzey sıklık değerinin, nem miktarına ve kayaçların yoğunluğuna bağlı olduğunu da belirtmişlerdir. Yaloon ve Singer (1977)'in, taş numunelerin basınç mukavemetlerini ve geri sıçrama ölçülerini bir formülde birleştirdiklerini belirtmişler ve bu formülü kullanarak geri sıçrama ölçüsüyle, taşların mukavemetlerini hesaplamışlardır.

Almesberger vd. (1997), Dubrovnik şehrindeki tarihi yapılardan aldıkları taş ve harç malzemeler üzerinde ultrases titreşim hızı ve basınç mukavemet

deneylerini uygulamışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, taş numunelerin ultrases titreşim hızı değerinin 4150 - 5390 m/s arasında olduğunu ve basınç mukavemet değerinin ise 415 - 795 kgf/cm² arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Calcaterra vd. (2000), İtalya'daki Naples antik kentinden aldıkları taş numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik analizleri yapmışlardır. Özgül ağırlık değerini, He - piknometresiyle ($\pm$ % 0.1 - 0.2 hassasiyetlikte) belirlemişlerdir. Bu analiz yapılırken, bir numuneyi en az üç kez ölçmüşler ve ortalama değeri kabul etmişlerdir. Ultrases titreşim hızı deneyi için, 24 KHz'lik transducerlı bir pundit marka cihaz kullanmışlardır. Bu cihaz, $\pm$ 0.1 μ s'lik bir hassasiyetliğe sahiptir. Ölçüm yapılacak yüzeye transducerları koymadan önce, yüzeye ince bir katman halinde jel sürülmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Amaç, taş yüzeylerindeki pürüzleri gidererek düzgün yüzeyler elde etmektir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda birim hacim ağırlık değerini 2.568 - 2.574 gr/cm³ arasında değiştiğini, porozite değerinin %27.8 - %43.3 arasında değiştiğini, ultrases titreşim hızı değerinin 2707 m/s olduğunu ve basınç mukavemet değerinin ise 6.3 - 25.91 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Kırca vd. (2001), Konya'da bulunan Sahipata Hanikah'taki yapı malzemelerinin mekanik özelliklerini (basınç mukavemeti, elastisite modülü) belirlemeye çalışmışlardır. Bu yapı, Selçuklular zamanında inşa edilmiştir. N tipi bir schmidt çekici kullanılarak, geri sıçrama değerini belirlemişlerdir. Taş duvarın belirlenen her bir noktasından, 6 geri sıçrama değeri ölçmüşlerdir. Ultrases titreşim hızı metodunu da taş duvarlarda uygulamışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda; taş numunelerin su emme değerinin %4.59 - %4.84 arasında olduğunu ve tuğla numunelerinde ise bu değerin %13.52 - %23.05 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Kesme taşlarda elastisite modülü değerinin 17.8 - 23.5 MPa arasında olduğunu ve basınç mukavemet değerininse 18.4 - 25.8 MPa arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Tuğlalarda ise basınç mukavemet değerinin 10.1-18.7 MPa arasında olduğunu ve eğilme mukavemet değerinin ise 3.0 - 4.7 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Degryse vd. (2003), Sagalassos antik kentindeki yapılarda kullanılan taşları sınıflamışlardır. Bu sınıflamayı, makroskobik ve petrografik belirlemeleri göz

önünde tutarak yapmışlardır. Bu antik kentteki yapı taşlarının 14 litolojik tipte olduğunu belirtmişlerdir.

Zamudio - Zamudio vd. (2003), Meksika'da Veracruz şehrindeki 16. ve 18. yy. yapılarında kullanılan yapı malzemelerini incelemişlerdir. Yapı malzemelerinden birisi olan 'mucara' adındaki taş tipinde; SEM, XRD ve XRF analizleri tatbik etmişlerdir. XRD analiz sonucunda, aragonit mineralini ana bileşen olarak gözlemlemişlerdir. Ayrıca yoğunluk ve porozite gibi fiziksel özellikleri de incelemişlerdir. Harçlar üzerinde de bu analizleri uygulamışlardır.

Eren ve Bahali (2005), Kıbrıs'taki tarihi yapılarda kullanılan doğal taşları incelemişlerdir. Kullanılan doğal taşları, Meluşa ve Karpaz taşı olmak üzere iki sınıflama da değerlendirmişlerdir. Meluşa taşının Kırıkkale de bulunduğunu, mikritik kireç taşı özelliği gösterdiğini ve bu taşın porozite değerinin %20 - %25 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Karpaz taşının ise Yenierenköy kasabasında olduğunu ve bu taşın kireçtaşının bir çeşidi olan kalkerli taş olduğunu ifade etmişlerdir. Karpaz taşında aragonit mineraline rastladıklarını ve bu kayaca da oolitik kireç taşı denilebileceğini belirtmişlerdir. Bu taşlarda; su emme, özgül ağırlık, Birim Hacim Ağırlık, porozite ve basınç mukavemet deneylerini TS 699'a göre ve eğilme deneyini ise ASTM C 348'e göre ölçmüşlerdir. Böylece iki taş türünden elde edilen fiziksel ve mekanik deney verilerini, kıyaslama yapmışlardır.

Dodge (1987), Yunan, Roma ve Asya'daki yapılarda kullanılan tuğlaların kalınlıklarını, tuğlalar arasındaki derz kalınlıklarını ve tuğlaların hangi yüzyıllarda nerelerde kullanıldığı belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Burdur ve Isparta bölgesindeki Kremna, İncirlihan Kervansarayı, Adada, Sığırlık Harabesi, Zorzila ve Psidia Antiokya antik kentler ve harabelerdeki tarihi yapılarda kullanmış olan, tuğla, doğal taş ve harç malzemeler incelenmiştir. Ayrıca bu bölgelerdeki harabeler ve antik kentler hakkında da bilgiler verilmektedir.

3.1. Materyal

3.1.1. Tuğla

İnsanlar kilin niteliklerini paleolitik çağdan itibaren keşfetmiş ve kili çeşitli işler için kullanmışlardır. Dallardan yapılan örgü şeklindeki yapılarda da bazen kili samanla karıştırıp duvarları sıvamak için kullanmaktaydılar (Özdoğan, 1996). Bazı topluluklar göçtükleri yörelerde doğal yapıda kullanacağı taşların bulunmaması, insanları yapay taş üretimine mecbur bırakmış ve ilk yapay taş olan kerpiç icat edilmiştir (Akman, 2003). Kilin dönüşümü olan kerpiç Neolitik çağın farklı periyotlarında yer alan inşalarda blok şeklinde kullanılmıştır. Âşıklı, Çayönü, Çatalhöyük gibi Anadolu'daki ve Jericho'daki kazılarda duvar birleşenlerinin, kolonların ve zeminlerin yapımında kerpicingin kullanıldığı ortaya çıkmıştır (Akman, 1997). Çayönü'nde uzunluğu 1 m'yi geçen kerpiç tuğla örneklerine bile rastlanmıştır (Özdoğan, 1996). Kerpiç farklı ham malzemeler ile karıştırılıp, uygulanmıştır. 2300 yıl önce Mısır'da kerpicingin üretim endüstrisi de geliştirilmiş ve kerpice saman ilave edilmesi rötreyi kısaltmıştır. Kerpiç, tarih öncesi çağda ve tarih çağının başlangıcında bile yapının temel bir malzemesi olduğu görülmektedir (Akman, 1997).

Ateş tuğlası MÖ 3 yy.'ın ortalarında bir yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu yıllarda Partihan'lar, çamur tuğlasının daha yaygın olmasına rağmen yapıları ateş tuğlası kullanarak yapmışlardır, çünkü düşük maliyet ve üretimin kolaylığıdır (Dodge, 1987). Roma çağında kullanılan tuğlanın formatı 31 x 31 x 5 cm'tir (Radivojevic ve Dervissis, 2001). Ateş tuğlası MS 3. yy. ortalarında kullanılmaya başlanmıştır. İnce tuğlalar tonozlarda, kalın tuğlalar ise zemin kaplamalarında daha yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir.

Gelişmiş bir protohistorik uygarlık düzeyindeki Sümerler, pişmiş kili yani tuğlayı üretebilmişlerdir. Babil'deki 90 m yüksekliğinde Etemenoki ziggurat kulesinin içinin kerpiç dışının 15 m kalınlığında pişmiş tuğla ile yapıldığı ifade edilmektedir (Akman, 1997). MÖ. 6 yy.'da Sümer şehirlerinde ve Babylon da, duvarlar ve tonozlar pişmiş tuğla kullanılarak yapılmıştır (Dodge, 1987). Kerpicing tuğlaya dönüşümü, protohistorik (MÖ. 2500-1750) toplumların zamanlarına rastlamaktadır (Akman, 1997).

3.1.2. Harç

Kerpiç ve tuğla duvarların doğal taşın ilk bağlayıcı harcı çamurdur. Çamur başlı başına bir bağlayıcılık özelliği olmadığından dolayı bağlayıcı olarak nitelemek elbette doğru değildir. (Akman, 2003). Prehistorik devirde çamurun olumsuz etkilerinden dolayı yapılarda Paris sıvası (alçı) kullanılmıştır. Bu malzeme bugün kireç ve bitümün eş değeridir. Eski zamanlarda, bu malzemeler dekoratif amaçlar için kullanılmıştır. Çatalhöyük'te yapılan kazılarda 1 x 1 x 0.5 m ölçüsünde bir küp kalıntı bulunmuştur. Bulunan bu küp kalıntıda Paris sıvasının kalıp tahtası içine konularak kalıplandığı ve duvar sıvası olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir (Akman, 1997). Ancak yapılarda bağlayıcı malzeme uygulamaları kısır kalmıştır. En büyük sorun yüksek sıcaklıkların elde edilmesi olmuştur. Havada yakılan ateşlerle 400 - 800 °C'nin üstüne çıkmak olanaksızdı. Bu nedenle alçıtaşından alçı elde etmek nispeten kolaydı, çünkü alçının elde edilmesi için gerekli olan sıcaklık 190 °C'dir (Finch, 1954). Alçıdan oluşan harçlar, kare taş blokların derzleri aralarında kullanılmıştır ve en iyi örnekleri, Sakara ve Keops Piramitleridir (Davey, 1961; Akman, 2003; Moropoulou vd., 2004). Bu bulgular Neolitik ve Kalkolitik çağlardaki bazı kavimlerin alçıyı bildiklerini kanıtlamaktadır (Akman, 2003). Alçıtaşı 600 °C üzerinde yakıldığı zaman elde edilen anhidritin bağlayıcı özelliği yüksek ve dış etkenlere karşı dayanıklıdır (Straub, 1964). Anhidrit alçı günümüzden 3400 yıl önce Karnak Tapınağında ve Girit'te inşa edilen Knossos sarayında başarıyla kullanılmış ve yapı günümüze kadar ayakta kalmıştır (Akman, 1997).

Ulusal ve uluslararası literatürlerin çoğunda ilk bağlayıcı malzeme olarak nitelendirilen kirecin, tarihsel gelişimi ilginçtir. Kalker kayalarından oluşan mağaralarda yaşayan paleolitik devir insanları mağaralarda ateş yakarak muhtemelen kireci elde edebilmişlerdir, ancak kalsiyum karbonatın kirece dönüşmesi için gereken 900 °C'yi elde edemedikleri için bu düşük nitelikli kireçten yararlanmaları olanaksızdır. Neolitik ve kalkolitik çağlarda kireç, beyaz badana malzemesi olmaktan ileri gidememiştir. Kirecin endüstriyel üretimi günümüzden 600 yıl önce, düşey fırınların gelişmesi ile mümkün olabilmektedir.

Dünya uygarlık tarihinde çimento ve betonun mucitleri Romalılar ve kısmen Yunanlılar kabul edilir (Akman, 2003). Romalılar kirecin içerisine Vezüv yakınındaki Puzoli toprağını katarak bir tür hidrolik bağlayıcı üretmişler, bu bağlayıcıya puzolanik çimento adını vermişlerdir. Bu çimento adını volkanik tüfün ilk bulunduğu Vezüv yakınında Puzoli köyünden almıştır. Daha sonra ürettikleri bu çimentoya kum - çakıl (silis, karbonat veya dolomit) ilave ederek betonu üretmişlerdir. Üretilen bu hidrolik özellikteki beton harcı; işlenebilirlik, dayanıklılık ve durabiliteyi arttırmıştır (Morgan, 1960; Neville, 1995; Moropoulou, vd., 1997; Viaene vd., 1997; Baer vd., 1998; Callebaut vd., 2000; Kretschmer, 2000; Moropoulou vd., 2000; Moropoulou vd., 2003). Hidrolik özellikleri daha da artırmak için ezik kile dayalı seramikten oluşan “chamotte” ilave etmişlerdir. Chamotte çoğunlukla kayaçlardan çıkarılan killerden elde edilmiştir (Viaene vd., 1997; Callebaut vd., 2000). Bu elde edilen hidrolik özellikteki harç, su taşıyıcı yapılarda kullanılmıştır. Bu harç, erken Helenistik çağdan erken Bizans dönemine kadar yapılarda kullanılmaktadır (Degryse vd., 2002). Daha önce Yunanlılar aynı işi kireç ve Thera toprağı (Santorine toprağı) ile gerçekleştirmişlerdir. Örneğin MÖ 2. yy. sırasında Delos adasındaki tarihi yapılarda puzolanik özellikli harçların kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Olay puzolanik reaksiyon sayesinde çimentonun ana taşıyıcıları olan aktif silis ve alüminyum elde edebilmek ve böylece suda çözülmeyen daha yüksek bir bağlayıcı üretmektir (Akman, 2003; Moropoulou, 2004). Yunanlılardan önce pişirilmiş kilin (tuğla parçacığının) kirece katılması ile puzolanik özellikli bağlayıcılar elde edilmiştir. Örneğin günümüzden 8900 yıl önce İsrail Yifta-El de bu tip kireç harcı kullanılmış, 4 - 8 cm kalınlığında 65 m²'lik bir döşemenin

yaklaşık 1.6 ton geldiği ölçülmüştür. Maksimum dane boyutu 10 mm olan iyi cins agrega, katmanlar halinde dökülen zemin betonunda kullanılmıştır. Döşemenin bazı yerlerinde ölçülen basınç dayanımının 45 MPa gibi yüksek bir değer olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler o günün koşullarında düşünülürse önemli rakamlardır (Akman, 1997; Baradan, 1998). Yine günümüzden 2300 yıl önce Java'nın güneyindeki Bali Adası'nda inşa edilen duvarlarda, kireç harçlarının içerisine volkanik tüf eklenip kullanıldığı gözlemlenmiştir (Akman, 1997). Romalılar kireç - puzolan karışımlı harçların, sade kireç harçlarına üstünlüğünü anlayıp büyük ölçüde kullanmaya başlamışlardır. Roma çimentosu (opus - caementicum veya cementitious) adı da verilen bu harç, Ortadoğu ve Avrupa'da yaygın olarak kullanmıştır (Malinowski, 1981; Baradan, 1998; Moropoulou vd., 2000; Callebaut vd., 2001; Moropoulou vd., 2004).

Romalılar betonlarına kimyasal katkılar (hayvansal yağlar, süt ve kan) ilave ettikleri de bilinmektedir. Bu katkı maddeleri harcın, reolojisini ve mekanik özellikleri artırmaktadır. İşlenebilirliği en fazla artıran kan, hemoglobin sayesinde hava da sürüklüyor ve betonun dona dayanıklılığını artırıyordu (Akman, 2003; Moropoulou vd., 2004).

Romalılar duvar inşa ederlerken belirli bir yüksekliğe kadar yüzey kaplaması yapmışlar ardından dolgu malzemesini aynı noktaya kadar doldurmuşlar ve en sonunda da kireçli harç eklemişlerdir. Bu işlem duvar istenilen yüksekliğe erişinceye kadar devam ettirilmiştir. Yüzey kaplaması inşaat süresince ve harç koyulurken oldukça önemli olmaktadır. Duvarın asıl sağlamlığını sağlayan, dolgu malzemesi ile kireçli harcın birleşimidir. (Thorpe, 2002). Vitruvius (1990) ve Adam (1994)'a göre yüzey kaplamaları 3 kısımdan oluşmaktadır: Opus Incertum (küçük, düzensizce yerleştirilmiş taşlardan oluşan yüzey kaplaması), Opus Reticulatum (ağ gibi çapraz desenli taş örgü olup MÖ 2. yy. sonlarına doğru Opus Incertum yerini almıştır) ve Opus Testaceum (yatay sıralar halinde pişirilmiş tuğla kaplaması) duvardaki yüzey kaplamalarıdır.

Roma imparatorluğunun son zamanlarına gelindiğinde yatay derz kalınlığı 60 - 70 mm ve üzeri olduğu zaman, yük taşıyıcı duvarların derzlerinde ezik tuğlalar

daha sıklıkla kullanılmıştır. 70 mm kalınlıklı Ayasofya Camisi'nin yük taşıyıcı duvarlarında ezik tuğla parçacıkları kullanılmış ve bu malzemenin kullanımı Bizans döneminde de devam etmiştir. Ezik tuğlaların kullanımı İmparatorluk Periyodu sırasında son bulmuş ve Orta çağda çok az kullanılmıştır (Moropoulou vd., 2004).

Türkiye ve Yunanistan gibi bazı ülkelerde "horasan " diye bilinen harç; hidrate kireç, su, uçucu kül ve yanmış tuğla tozunun karıştırılıp, üretilmesiyle elde edilen bir malzemedir. Bazı kaynaklar ise keçi kılı, bazı fiberler gibi saman, kül ve yumurta akının katılmasıyla oluştuğunu iddia etmişlerdir Harç içerisine değişik tip lifler (keçi kılı, palmiye lifi, saman vb.) %3 oranda katıldığı görülmektedir (Baradan, 1998). Şuan kaynaklar su, uçucu kül, hidrate kireç ve yanmış tuğla tozu katılıp karışımın geliştirilmesiyle, horasan diye bilinen tarihi bağlayıcının oluştuğunu ifade etmektedirler (Değirmenci ve Baradan, 2001). Bu birleşim oldukça uzun bir tarihe sahip Osmanlılar, Selçuklular ve Bizanslılar tarafından kullanılmıştır (Akman, 1986). Horasan harcına Assur yapılarda, Gize piramitlerinde ve Rodos'daki protohistorik yapılarda rastlanmıştır (Akman, 1997).

Rönesans çağına gelindiğinde ham malzemelerin seçimi ve üretimi, Vitruvius'tan öğrenildiği gibidir. Bu çağda beyaz kireç, ırmak çakıllarının kalkerlerinden elde edilmiştir (Moropoulou vd., 2004). Orta çağ sıralarında ise bağlayıcı malzemenin gelişmesi yönünden karanlık bir çağ olmuştur. İnşaat sektörü 18. yy.'da yeniden canlanmaya başlamıştır.

18. yy. sonu ve 19. yy. başlarında harçlar için kullanılan, bağlayıcı tipinde büyük bir değişiklik gözlemlenmiştir. Hava sürükleyici kireç en popüler malzeme olarak yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Smeaton, kireçtaşının ve kilin yakılmasıyla elde edilen ürünün hidrolik özelliğini 1756'da keşfetmiş ve Vicat 1812'de bu harcın hidrolik özellikte olduğunu ispatlamıştır. J. Aspin, 1824 de kil ve kireç karışımını fırında pişirerek su kirecinden daha üstün niteliklere sahip bir bağlayıcı elde etmiştir. 1835'de bu çalışmaları izleyen Isaac Charles Johnson kil ve kireç karışımının pişirme sıcaklıklarını artırarak bugünkü çimentoyu

üretmiş, bu çimento yapılar da Portland çimentosu adı altında kullanılmaya başlanmıştır. 19. yy. sırasında çoğunlukla doğal hidrolik kireç kullanılır ve bu Portland çimentosunun habercisi olmuştur. Doğal hidrolik kireç ve çimentonun üretimindeki ana fark yakma sıcaklıklarıdır (Callebaut vd., 2001; Postacıoğlu, 1986). Bu şekilde bağlayıcı malzeme gelişerek, günümüze kadar gelmiştir.

3.1.3. Doğal taş

Paleolitik çağda aletler yapmak için kullanılan doğal taş, bu çağda bir yapı malzemesi değildir (Akman, 1997). Doğadaki tüm canlılar gibi insanlar da dışarıdan gelebilecek tehlikelere karşı bir yere sığınarak, savunma ihtiyacı duymuşlardır (Akurgal, 1998).

İnsanoğlunun ilk sığınakları, mağaralardır. Bu çağda yaşayan insanlar; Anadolu'da Karain, Beldibi ve Belbaşı gibi mağaralarda yaşamışlardır (Naumann, 1991). Mağaralar terk edildikten sonra başlayan barınak inşası, taşı bir yapı malzemesi durumuna getirmiştir (Akman, 2003). Bu çağdaki barınma biçimi; deri, saz, dal, çamur gibi hafif malzeme ile örtülen ve kolaylıkla kurulup aynı kolaylıkla terk edilen genellikle yuvarlak yapılı barınaklardır (Acar, 1996).

Mezolitik ve Neolitik çağlarda önceleri toplama taşlardan yararlanmışlar, bunları çamurla bağlayarak duvarları örmüşlerdir. Daha sonraları bu taşları şekillendirmişler, böylece düzgün ve estetik duvarlar inşa etmişlerdir. Neolitik çağda, doğal taş zamanın yapı malzemesidir. Bu çağda yapılar taştan inşa edilmiştir (duvarlar, su hazneleri, donanım yapıları gibi) (Akman, 2003).

Günümüzden 9000 yıl öncesine dayanan Çayönü kazılarında, taş duvarlar bulunmuştur (Akman, 1997). Bu duvarlar yaklaşık 1.50 - 1.80 m yüksekliğinde büyük tuf / kalker taşlarından yapılmış, örgüde yer yer kerpiç kullanılmıştır (Esin, 1996). Mısır medeniyetindeki piramitlere gelindiğinde yapı taşları konusunda en dikkat çeken hususlardan birisi, 2 - 2.5 ton ağırlığındaki taşların o yüksekliğe 20 günlük zaman dilimi içerisinde nasıl taşındıkları ve harca gereksinim duyulmayacak oranda düzgün yüzeyli hazırlandıkları pek çözülmuş değildir. Davidovitz (1987)'e göre, piramitlerde kullanılan kalker taş bloklar

taşınmamış, yerinde kalıplara dökülerek üretilmiştir. Yani bunlar betondur ve günümüz betonundan farklıdır. Çünkü günümüz harç teknolojisi ile tamir edilen piramitler, 15-20 yıl içerisinde hasara uğradıkları halde eski beton bloklar 4000 yıldır Mısır'ın değişken sert iklimine dayanmışlardır. Kırılmış kalker taşları, Nil'in toprağı (içinde boksit gibi alüminli bileşenler bulunan) ve mumyalarda kullandıkları natron (sodyum karbonat) karıştırılarak bu betonlar üretilmiş ve kuvvetle sıkıştırılmış, bölgenin sıcak etkisiyle 4 saat gibi kısa bir sürede sertleşmiştir. Davitovitz bu betona, geopolimer betonu adını vermiştir.

Sonra historik bir topluluk olan ve günümüzden 2600 – 2800 yıl önce varlıklarını sürdüren Urartular, inşaat mühendisliği ve doğal taş ustalığı alanında çok başarılı eserler ortaya çıkarmışlardır. Mühendis ve mimar olan Kral Menua'nın hala kullanılan 51 km uzunluğundaki taş Şamran Kanalı, Ered Dağı arkasındaki taştan oyma Keşiş Göleti, Van Gölü kıyısındaki Sarduri Dalgakıranı muhteşem eserlerdir (Akman, 2003). Bunlardan birisi olan Sarduri Dalgakıranı 3 x 1 x 1.2 m ölçüsündeki Kalker taşlarından inşa edilmiş olup Edremit'ten taşınmıştır. Yine Çavuştepe (Gürpınar) kalesinin taş duvarları Urartular tarafından 5m yüksekliğinde inşa edilmiştir. Bu taş duvarın derz kısımlarında harç yoktur. Stabilite, taşların ağırlığı ile sağlanmıştır (Akman, 1997).

Arkaik ve helenistik çağlarda yapılar inşa edilirken, tonlarca ağırlıktaki kireçtaşı monoblokları kullanılmıştır. Daha sonra bu monobloklar yerini 300-500 kg'ı geçmeyen daha hafif ve daha küçük yapı taşlarına ve hatta Roma'da yaygınlaşmaya başlayan tuğla malzemeye bırakmıştır. Terk edilen boyutların oldukça büyük olduğu görülmektedir. Örneğin 2400 yaşındaki Efes Artemis Tapınağında kullanılan arşitrav bloklarının her biri ortalama 24 ton ağırlıktadır ve bu ağırlık 20 m yüksekliğe kaldırılmıştır: İnanılır ki karanlık bir Efes gecesinde gelen Tanrıça Artemis dev mermer blokları sütunların üstüne yerleştirmiştir. Bu anlatım insanüstü güçlere dayandırılan akıl almaz yapıyla, Tapınağı yüceltip gizemleştirmektedir. Ancak gerçek bu değildir. Gerçek ayaklara monte edilmiş makaralar çevresinde yukarıya kolaylıkla tırmandırılabilen halatlardır (Viaene vd., 1993; Çevik, 1995). Bu makaralı halatlara; helenistik çağ'da 'machinae tractores' denilmekteydi. Bu makine, her

ağırlıktaki malzemeyi kaldırmaya uygun olacak şekilde tasarlanıp üretilmişti (Morgan, 1960). Bu çağlardan itibaren kireçtaşları yerini pişmiş kilden yapılan malzemelere bırakmıştır.

3.1.4. Harabeler ve antik kentler

Bu çalışma, Isparta ve Burdur illerinde yer alan; Adada antik kenti (Akropol ve Helenistik kuleler, tiyatro ve Bizans bazilikası), Sığırlık harabeleri (kale I ve kale II), Zorzila harabesi (hamam), Pisidia Antiokya antik kenti (anıtsal çeşme, Augustus tapınağı, hamam, merkezi kilise), Kremna antik kenti (forum ve hamam) ve İncirlihan harabesi (Kervansaray) yapılarını kapsamaktadır.

3.1.4.1. Adada antik kenti

Pisidia Bölgesi'nin antik kentlerinden biri olan Adada, Isparta ili, Sütçüler ilçesine bağlı Sağrak köyü yakınındadır. Isparta'nın ve Kovada Gölü'nün güneydoğusunda yer alan kente, Eğridir'den sonra Sütçüler'e uzanan asfalt yoldan 50 km gidilerek ulaşılabilir (http://www.kultur.gov.tr/portal/arkeoloji_en.asp?belgeno=5963).

Adada'nın adı, Hristiyanlığın bölgede yayılmasına paralel olarak Aziz Paul'un adına dayanarak Pavlu olarak anılmıştır (<http://www.newadvent.org/cathen/11567b.htm>). Burası bölge halkınca Karabavlu yaylası olarak anılmaktadır. Adada'nın adı MÖ 1. yy. yazarlarından Artemidoros tarafından verilmiştir (Büyükkolancı, 1998; <http://fef.sdu.edu.tr/~yazisler/adada.htm>).

3.1.4.1.1. Akropol ve helenistik kuleler

Kent düzlüğü ile vadi arasındaki bölümde yer alan ve kayalık bir yapıya sahip olan küçük akropol hem vadiyi hem de helenistik dönemde kent merkezini oluşturan Aktepe yamaçlarına, kuzeyden gelebilecek tehlikeye karşı korumak amacıyla inşa edilmiş olmalıdır. Kent düzlüğünden yaklaşık olarak 10 m yükseklikteki akropol çevresinde tabii kayalar üzerine inşa edilen sur duvarları ve kuleler vardır. Bu tip sur duvarları ve kuleler geç helenistik dönemle (MÖ. 2

yüzyıl) tarihlenmektedir. Kentte ilk kuruluş dönemine ait savunma amaçlı yapılar olarak akropol, kuleler ve bunların güney batısında yer alan sur duvarları sayılabilir (Büyükkolancı, 1998). Yapıda kullanılan taş ve harç numuneler; helenistik dönem malzemeleridir.



Şekil 3.1. Adada - helenistik kule



Şekil 3.2. Adada-helenistik kemer

3.1.4.1.2. Tiyatro

Oturma basamakları diğer yapılarda olduğu gibi mermere benzer kireçtaşlarından yapılmıştır. Bunlardan güneyde sekiz, kuzeyde altı sıra görülmektedir. Tiyatronun kapasitesi yaklaşık olarak 3000 kişiliktir (Büyükkolancı, 1998). Tiyatro, bir Roma dönemi yapısıdır. Bu tiyatro yapısından (Şekil 3.3.), sadece T33 tuğla numunesi alınmıştır.

3.1.4.1.3. Bizans bazilikası

MS 5. – 6. yy.'da Hristiyanlığın bölgede yayılmasına paralel olarak Adada, bir Bizans kenti durumuna gelmiştir. Araştırmalara göre vadinin batı kısmındaki bu kilise, kentin en büyük kilisesidir. Kilise burada eskiden var olan bir yapının teras duvarları ve iç duvarlarından yararlanılarak inşa edilmiştir. Bu yapı moloz taş ile harcın birlikte kullanılmasıyla inşa edilmiştir. Bu yapı, 16.00 x 11.00 m boyutlarındadır. Sağlam kalabilmiş duvarının alt kısmında devşirme kireçtaşı blokları üst kısmında moloz taşlar kullanılmıştır (Büyükkolancı,1998).



Şekil 3.3. Adada - tiyatro (T33 tuğla numunesinin alındığı yer)



Şekil 3.4. Adada - Bizans bazilikası

3.1.4.2. Zorzila harabesi

Isparta ili, Sütçüler - Kasımlar yolu üzerindedir. Dağ yamacında yer alan kalıntılarda birkaç yüksek duvar bulunmaktadır. Roma dönemi kalıntıları mevcut olup, şehir hakkında pek bilgi yoktur (<http://www.smyo.net/ortasayfalar/sutculer.asp>). Duvar genişlikleri 110 cm ve 250 cm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Zorzila - Roma hamamı

3.1.4.3. Sığırlık harabeleri

Isparta ili Sığırlık-Çandır üçgeni, Sülüklü göl mevkiinde bir vadi içinde bazı bina temelleri ve sur kalıntıları yer almaktadır. Tepede ise bir kale kalıntısı vardır. Sığırlık köyü içinde de halen sağlam durumda Bizans döneminde yapılan bir kale mevcuttur. Sığırlık - Çandır yolu üzerinde bir başka kale kalıntısına da rastlanmıştır. Bu iki kale birbirini görmektedir. Gözetleme kulesi olarak kullanılmıştır (Oğuztüzün,1996; <http://www.isparta.8k.com/sutculer.htm>).



Şekil 3.6. Sığırlık harabesi - kale I



Şekil 3.7. Sığırlık harabesi - kale II (T44 tuğla numunesinin alındığı yer)

3.1.4.4. Yalvaç antik kenti

Antiokya, Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgelerinin kesiştiği Göller Yöresi'nde, Isparta iline bağlı Yalvaç ilçesinin yaklaşık 1 km kuzeyinde ve Sultan Dağlarında kurulmuş olan bir Pisidia kentidir (Demirer, 2002; Taşlıalan, 1997). Kentin çevresi çoğu gri renkli, yerel kireçtaşıdan yapılmış düzgün geç dönem devşirme bloklarıyla çevrilmiş durumdadır. Erken dönemlerin daha düzgün sıralı ve masif bloklu duvar örgüsü de, surların içinde farklı malzemeli ya da harçlı Bizans - erken Hristiyanlık duvarcılığından ayrılmaktadır. Antiokya, MÖ 280 yılında Selevkos krallarından Antiyohos I. Soter tarafından inşa ettirilmiştir (Anonim, 1983). Ancak bölgede yapılan araştırmalar, yerleşime uygun olan bölgenin geç neolitik dönemden (MÖ 6000) bu yana sürekli iskan edilmiş olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla izleri bugüne dek ulaşan Antiokya'nın kuruluşu MÖ 275 yılına işaret etmektedir.

3.1.4.4.1. Anıtsal çeşme

Anıtsal çeşmenin bugün sadece alt yapısı in-situ olarak durmakta, üst yapı tamamen yıkılmış durumdadır (Taşlıalan, 1999). Yaklaşık 2 m genişliğinde ve 0.80 m yüksekliğinde bir kanalın sonunda küçük bir şelale gibi durmakta olan bu su yapısı, kapıyı geçince girilen geniş avlu ortasında bulunmaktadır. Geniş bir "U" şeklinde planlanmış yapı yerel gri renkte kireçtaşıdan yapılmış, su kemerlerinden aktarılan suyu depolayıp düzenleyerek şehrin önemli bir bölümüne dağıtmak için yapılmıştır. Alt yapıda kullanılan kesme blok taşlar 0.90 m yüksekliğinde, 0.60 m kalınlığında ve 1.30 x 2.80 m arasında uzunluğa sahiptir. Yapı, 27 x 3 m boyutlarında, suyu toplayan bir rezervuar, 9 m yüksekliğinde süslü bir cephe ve önündeki 27 x 7 m boyutlarında, 1.5 m derinliğindeki havuz kısımlarından oluşmaktadır (Demirer, 2002). Bu havuzların zemin kaplamalarında 31 x 31 x 4.5 cm'lik tuğlalar kullanılmıştır (Taşlıalan, 1999). Bugün dahi belirli bir şekilde temel kalıntıları seçilebilmektedir. Nymphaeum, MS 1. yy. sonlarında inşa edilmiş olabilir (http://www.kultur.gov.tr/portal/arkeoloji_en.asp?belgeno=669).



Şekil 3.8. Antiokya - anıtsal çeşme

3.1.4.4.2. Augustus tapınağı

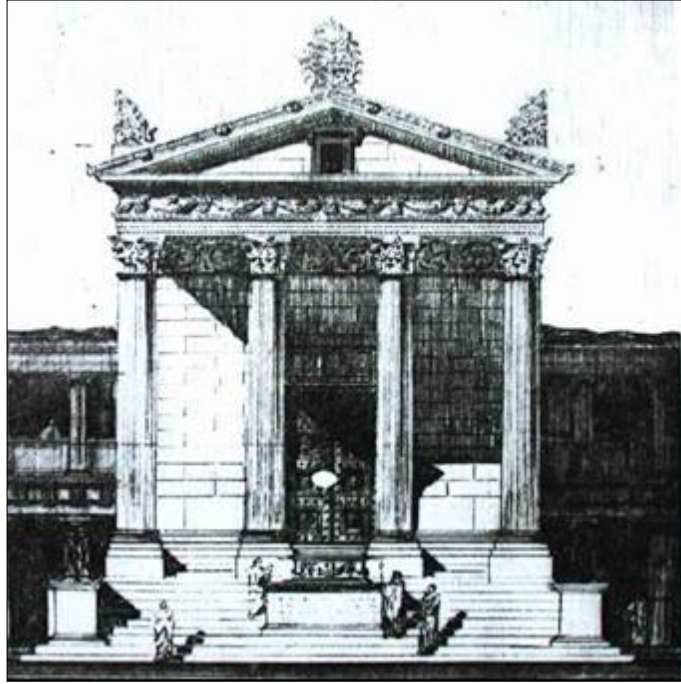
Şehrin en yüksek noktasında kayaların azimle oyulmasıyla elde edilen düzlükte kurulu olan tapınak, cephe mimarisiyle ziyaretçiyi ilk anda hayrete düşürecek bir zenginliğe sahip olarak inşa edilmiştir. Büyük bir olasılıkla MS 1. yy. ortalarına ait olduğu kanısını uyandırmaktadır.

Kutsal alan içindeki tapınağın yapımına olasılıkla imparatorun sağlığında başlanmış, ölümünden sonra da adına adanmıştır. Görünen yapı, girişini sağlayan Propylon'la çağdaştır, ancak kayalığın daha erken dönemlerde başka bir kült için yapılmış olabileceğine dair boğa başları gibi izler de bulunmaktadır. Kökleri çok daha eskiye giden ve bölgede hâkimiyeti bilinen Ana tanrıça Kybele ve Ay Tanrısı Men inanışları için oyularak düzleştirilmiş kayalık, Roma'nın hakimiyetiyle İmparator tapınağına dönüştürülmüş olmalıdır.

Tapınağın bulunduğu kutsal alan ana kayada düzleştirilirken, merkez aksta bulunan tapınağın podyumu için 2.5 m yüksekliğinde, 14 x 28 m boyutlarında ana kaya bloğu bırakılmıştır. Podyumun içi de, kült odası için oyulmuştur.

Yaklaşık 100 x 85 m ölçülerindeki kutsal alanda, tapınağın arka kısmında yarım daire şeklinde bir portiko (sütunlu galeri) bulunmaktadır. Portikonun sonlandığı köşelerde de, kuzey ve güney kenarlarda uzanan stoalar başlamaktadır.

Kutsal alanı çevreleyen sütunlu portiko ve stoalar organik olarak birbirine bağlıdır ve kayaya oyularak kazanılan alanda, eksik bölümler yerel malzemeyle tamamlanarak inşa edilmişlerdir. Kayanın, kesildikten sonra bugün göremediğimiz çok sert bir sıva ile (stuko) kaplanmış olduğu 1924 kazısı kayıtlarından anlaşılmaktadır. Duvarlarda görülen düzenli dörtgen delikler, ikinci katı taşıyan ahşap hatılların geçme yerleridir. Düzensiz olan daha küçük delikler ise, yapım aşamasında iskelelerin kurulduğu ve daha sonra sıvayla kapatılan delikler olmalıdır.



Şekil 3.9. Antiokya - 1924 kazısında mimar Woodbridge tarafından çizilen Augusteum, imparatorlar tapınağı rekonstrüksiyon (Demirer, 2002)



Şekil 3.10. Antiokya - Augustus tapınağı

3.1.4.4.3. Hamam

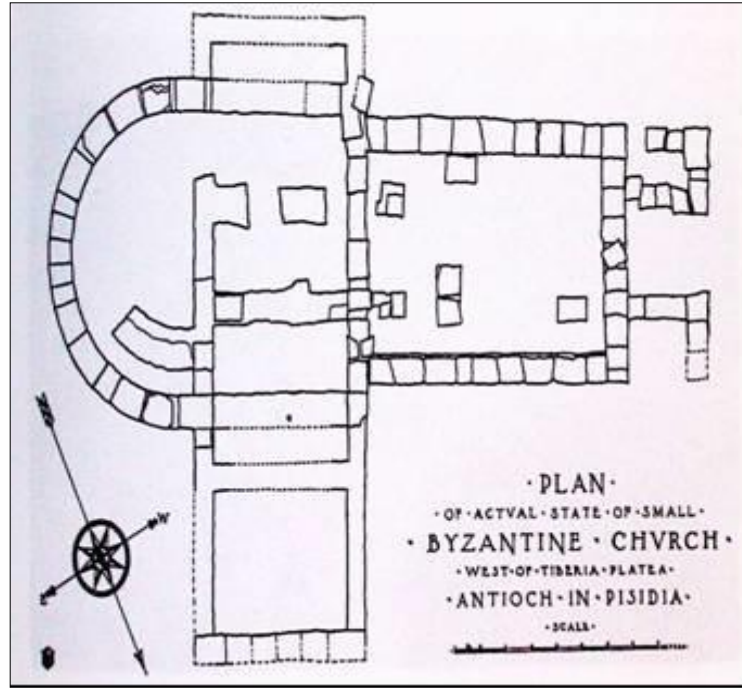
İri ve sağlam yapısıyla, benzerleri içinde 80 x 55 m boyutlarındaki Pisidia şehri Sagalassos'un hamamıyla karşılaştırabileceğimiz yapı, su sistemi ve çeşme gibi, MS 1. yy. ilk yarısı ile tarihlenmektedir (Şekil 3.11) (Demirer, 2002). Roma Hamamı, hamam ve palaestra olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Palaestra, kapalı hamam kısmının doğusunda yer almakta olup 37 x 29 m² alana sahiptir. Hamam kısmı ise doğu-batı doğrultusunda 69 m uzunlukta olup genişliği de 54 m'dir. Çağın diğer hamamlarında olduğu gibi, yapı moloz taş ve harçla inşa edilmiştir. Hamam bölümünde tonozların üzeri de, yaklaşık olarak 30 cm kalınlığında moloz ile kaplıdır (Kaya vd., 1997).



Şekil 3.11. Antiokya - hamamın dıştan görünüşü



Şekil 3.12. Antiokya - hamamın içten görünüşü



Şekil 3.13. Antiokya - 1924 kazısında mimar Woodbridge tarafından çizilen merkezi kilise'nin planı (Demirer, 2002)



Şekil 3.14. Antiokya - merkezi kilise

3.1.4.4.4. Merkezi kilise

Tiberius Alanı'nın tam karşısında apsisiyle dikkat çeken yapı topografik konumundan dolayı araştırmacılar tarafından "Merkezi Kilise" olarak adlandırılmıştır. Kazı direktörü Robinson, 5 Temmuz 1924 günü günlüğüne "transept duvarları temizlendikten sonra, kilisenin Latin haçı şeklindeki planını almayı başardık" yazmış, Woodbridge de o günkü verilerle kilisenin basit bir planını çizmiştir (Şekil 3.13). Yapı, plan ve malzeme yönünden MS 5. yy. yapılmış olabilir (Demirer, 2002). Bu yapıdan (Şekil 3.14.), T9 tuğla ve M34 harç numuneleri alınmıştır.

3.1.4.5. Kremna antik kenti

Kremna, Antik Pisidia kentlerinden biridir (Mitchell, 1988). Kremna, Burdur ili Bucak ilçesine dahil Çamlık köyünün yakınındadır. Çamlık köyü Bucak'a 15 km mesafededir. Kentin antik adı Yunanca da 'uçurum' anlamına gelmekte ve bu ad kentin topografik yapısına uygundur (İnan 1970). MÖ 6. yy. da şehir Lidyalıların, MÖ 546'da Perslerin, MÖ 333'te Büyük İskender'in burayı alması ile Makedonya hâkimiyetine girmiştir. Daha sonra da sırasıyla Antigonas'ın yönetimine, Selevkosların yönetimine ve Bergama Krallığına katılmıştır. MÖ 60 yılında Roma yönetimine, MÖ 36'da Galatya yönetimine, MÖ 25 yılında tekrar Roma yönetimine girmiştir. Roma İmparatorluğunun ikiye ayrılması ile Doğu Roma (Bizans) yönetimine, MS 11. yy. sonunda Türklerin Anadolu'ya gelmesi ile birlikte Türklerin hâkimiyetine girmiştir. Kremna'da günümüze kadar ayakta kalabilen kalıntılar Romalılardan kalmadır (<http://www.kenthaber.com/Sayfalar/IlceTuristikBilgi.asp?İlçeKodu=1503&İlceAdi=Bucak>).

Lanckoron'ski vd. (1892)'ne göre ayakta duran yapı taşlarının 1885'den günümüze kadar çoğunun düştüğü, fakat kuzey kemerin ayakta kaldığı görülmektedir.

3.1.4.5.1. Forum

MS 3. yy.'da inşa edilmiştir. Forumdaki kitabelerin bir parçası, 12. yy. Selçuklu kervansarayından birisi olan İncirlihan'ın duvarında kullanıldığı bugün görülebilir. Forum ve kilisenin zemin planı tamamen kare olup 57 m uzunluğa sahiptir. Forum'un ölçüsü 57 x 37 m'dir. Forum 5.4 m derinliktedir. Forum'un doğu ve batı tarafı 9 kolondan ve güney tarafı da 20 kolondan oluşmuştur. Forumun kolon çapı yaklaşık 0.55 m'dir. Forumun basamak yüksekliği zeminden 1.92 m yüksekliktedir. 6 basamaktan oluşup 30 cm yükseklik ve 60 cm derinliğe sahiptir (Mitchell vd., 1995; Mitchell, 1988). Hadrianik forum diye de bilinmekte olup MS 117-138 yıllarını kapsar (Degryse vd., 2003). Forum'un uzun olan kuzey yönüne, kilise eklenmiştir. Fakat günümüzde bu kolonlar ayakta değildir. Kremna'daki forum ve kilise bir roma çağı yapısıdır (Mitchell, 1988). Kremna'daki forum bir Roma kolonisi için uygundur (Mithcell, 1988). Forum yapısından (Şekil 3.15.), S37 taş numunesi alınmıştır.



Şekil 3.15. Kremna - Forum (S37 taş numunesinin alındığı yer)

3.1.4.5.2. Hamam

Arundell (1834)'e göre hamamın doğu tarafındaki iki kemerli büyük duvar, büyük ustalıkla örülmüştür. Lanckoron'ski (1982), hamamın Q şeklinde bir plan olduğundan bahseder. İki büyük dikdörtgen odadan oluşan hamamın bir tarafı, MS 200. yıllarında Heykel Galerisi olarak düzenlenmiştir. İki odadan büyük olanı doğu tarafta olup 19.5 x 29.05 m'lik ölçülere sahiptir. Hamamın büyük odasının uzun tarafı, 5 oyuk kısma sahiptir. Yapının doğu tarafı iyi korunmuştur. Hamamda büyük olan odanın merkezi alanı, mozaikle kaplıdır. Yapının iç duvarları yaklaşık 6.5 cm'lik bir mermer kaplama ile kaplanmıştır. Hamamın büyük odası MS 3. yy. ortalarıyla zamanlanmıştır (Mitchell vd., 1995). Q yapısının ilk dönemlerinde hamam, daha sona kütüphane olarak kullanıldığı varsayımı hakimdir (İnan, 1970). Hamam yapısının batı kısmından (Şekil 3.16.), S25 taş numunesi alınırken doğu kısmından (Şekil 3.17.), T24 tuğla numunesi alınmıştır.



Şekil 3.16. Kremna - hamamın batı tarafından görünüşü



Şekil 3.17. Kremna hamamın doğu tarafından görünüşü (T24 tuğla numunelerinin alındığı yer)

3.1.4.6. İncirlihan harabesi

Burdur'a bağlı Bucak İlçesinin 6 km batısında, İncirdere Köyü civarındadır (Özergin). Han'ın en çok dikkat çeken yeri oldukça büyük ve sade olarak yapılmış olan Kitabeli Giriş Kapısıdır (Şekil 3.18.). Bu kitabede hanın hicri 636 (1238)'de İkinci Keyhüsrev tarafından yapıldığı anlaşılmaktadır. Dikdörtgen şeklindeki kitabenin, taş kapının ortasında istiridye kabuğu şeklinde kemerler esas girişte bulunmaktadır. Girişin (Portal) dış cephesi, iki yalancı sütunla desteklenmiştir (<http://www.kenthaber.com/Sayfalar/IlceTuristikBilgi.asp?IlceKodu=1503&IlceAdi=Bucak>).

15 taştan oluşan kemerin yüzeyi, birbirine geçmiş, iki dizi çizgiyle süslenmiştir. Taş kapının açıldığı orta koridorun iki yanındaki 12 payeyi birleştiren sivil kemerlerin üstü, beşik tonozlarla örtülüdür. Tonozların altında yer alan mazgal pencerelerin radyalvari kemerlerle süslenmiş oluşu da yapıya özgünlük katmaktadır (<http://www.geocities.com/bucak15/tarihi.htm>).



Şekil 3.18. İncirlihan kervan sarayı'nın girişindeki kitabeli giriş kapısı



Şekil 3.19. İncirlihan kervan sarayı'nın iç görünüşü

3.2. Yöntem

Tarihi yapılar üzerinde araştırma yapabilmek için, Kültür Bakanlığı'ndan ve çalışma yapılacak antik kentin Kazı Başkanından izin alınması gerekmektedir. Bu nedenle, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün 15.07.2004 tarih ve 016157 No'lu izinleriyle Burdur ve Isparta illeri içerisinde yer alan Adada, Antiokya, Kremna, Sığırlık Harabeleri, Zorzila, İncirlihan gibi antik kentler ve harabelerde yüzey çalışmalarına başlanmıştır. Çalışmalar Isparta, Burdur ve Yalvaç Müze Müdürlükleriyle ortak yapılmıştır. Ayrıca kazı başkanlarından mevcut gruplara katılmak ve çalışmak için gerekli izinler temin edilmiştir (EK 1).

Madde 3.1.4.'de belirtilen tarihi yerlerdeki yapılarda kullanılan doğal taş, tuğla ve harç gibi yapı malzemeleri üzerinde; fiziksel, mekanik ve tahribatsız deney yöntemleri tatbik edilmiştir. Deneyler saha alanlarına göre; arazide ve laboratuarda uygulanmıştır. Bu çalışmada; ilk olarak arazi de tahribatsız deney yöntemleri (schmidt çekici, ultrases titreşim hızı) yapılmıştır. Sonraki aşamada, tarihi yapılardan toplanan taş, tuğla ve harç malzemeler laboratuvar ortamına taşınmış ve kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Fiziksel Analiz

Tarihi yapılardan alınan taş, tuğla ve harç numuneleri üzerinde; birim ağırlık, su emme, özgül ağırlık, porozite, kompasite, doygunluk derecesi ve kılcal su emme gibi fiziksel deneyler uygulanmıştır.

3.2.2.1. Birim ağırlık ve su emme

Tarihi yapılardan alınan taş, tuğla ve harç numunelerinin yüzeyleri 50 mm'den küçük olmamalıdır. Her numuneden en az beş adet olmalı ve numunelerin ağırlığı da 350 gr' dan az olmamalıdır.

Düzgün geometrik şekilli olmayan bu numuneler, 105 °C sıcaklıktaki bir etüvde 48 saat kurutulmuştur. 46., 47. ve 48. saatlerde numunelerin ağırlıkları ölçülmüş ve ağırlık sabitleninceye kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Kurutma işleminden hemen sonra numunelerin ağırlıkları, Gec Avery marka BL000998102 seri no'lu bir teraziyle tartılmıştır (G_k). Sonra kurutulmuş numuneler, kuru bir odada 30 dakika soğutulmuştur. Soğutma işleminden sonra numuneler 48 saat için, 22 ± 2 °C'lik temiz su kabında emdirme işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlemlerden sonra numuneler, su kabından çıkarılmış, yüzeyleri nemli bir bezle kurulanmış ve bekletilmeksizin numuneler, havada 0.1 gram hassasiyetli bir terazide tartılmıştır (G_{dh}). Daha sonra Arşimet terazisi ile 22 ± 2 °C'lik su içinde yapılacak tartım sırasında su emerek sonuçları etkilemeyecek derecede doymun hale getirilmiş bulunan deney numuneleri sudan çıkarılarak 0.1 gram hassasiyetli Sartorius Universal marka 4800P seri no'lu bir Arşimet terazisinde tartılmıştır (G_{ds}). Bu şekilde birim ağırlık ve su emme deneyleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$\Delta_h = \frac{G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \quad (3.1.)$$

$$S_k = \frac{G_{dh} - G_k}{G_k} \times 100 \quad (3.2.)$$

$$S_h = \frac{G_{dh} - G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \times 100 \quad (3.3.)$$

Burada;

Δ_h = Numunenin birim ağırlığı (gr/cm³),

S_k = Numunenin kütlece su emme oranı (m/m, %),

S_h = Numunenin hacimce su emme oranı (v/v, %),

G_k = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr),

G_{dh} = Doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (gr),

G_{ds} = Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi (gr),

dir. Bulunan sonuçlar yüzde bir hanesinde yuvarlatılarak gösterilmiştir (TS704, 1979; TS699, 1987; BS EN 12808 – 5, 2001; ASTM C 67 - 03a, 2003; ASTM C 97).

3.2.2.2. Özgöl ağırlık deneyi

Numuneyi temsil edecek şekilde, değişik parçalardan kırılarak alınan örneklerin tamamı göz açıklığı 0.2 mm olan kare gözlü elekten geçecek şekilde öğütülmüş ve değişmez kütleye kadar kurutulmuştur.

Oda sıcaklığındaki su ile tamamen doldurulan ILDAM marka He - piknometre, kapağı kapatılmış ve üzerindeki su damlaları kuru bir bezle alındıktan sonra 0.01 gram hassasiyetli terazi ile tartılmıştır (G_{ps}). Piknometre içindeki su tamamen boşaltılmış ve etüvde kurutulup soğutulduktan sonra tekrar tartılarak piknometre (kapağı ile birlikte) kütlesi bulunmuştur (G_p).

Kurutulup soğutulmuş olan öğütülmüş numuneden 250 ± 5 g kadar alınarak kuru bir huni yardımıyla piknometre içine konulmuş ve kapağı ile birlikte 0.01 gram hassasiyetli Gec Avery marka BL000998102 seri no'lu bir terazide tartılmıştır (G_{pn}).

İçinde deney numunesi bulunan piknometre, hacminin $\frac{1}{4}$ 'üne kadar su ile doldurulmuş ve numunelerin taneleri arasında hava kabarcığının önlenmesi için vakum pompası kullanılmıştır. Hava alma işlemi sonunda piknometre su ile tamamen doldurulmuş ve kapağı kapatılarak üzeri kurulanıp 0.01 g hassasiyetli terazi ile tartılmıştır (G_{pns}). Özgöl ağırlık, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_o = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{pns} - G_{ps})} \quad (3.4.)$$

Burada;

d_o = Numunenin Özgöl Ağırlığı (g/cm³),

G_{pn} = Piknometre + Deney Numunesi Kütlesi (gram),

G_p = Piknometre Kütlesi (gram),

G_{pns} = Piknometre + Deney Numunesi + Su Kütlesi (gram),

G_{ps} = Su ile dolu Piknometre Kütlesi (gram),

Bulunan sonuçlar, yüzde bir hanesinde yuvarlatılarak gösterilmiştir (TS705, 1986; TS 699, 1987).

3.2.2.3. Görünen porozite (zahiri porozite)

3.2.2.3.1. Taşın hacimce su emme oranından hesaplanması

Hacimce su emme değerinden yararlanılarak görünen porozite aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$P_g = \frac{G_{dh} - G_k}{G_{dh} - G_{ds}} \times 100 \quad (3.5.)$$

Burada;

P_g = Numunenin görünen porozitesi (v/v, %),

G_{dh} = Doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (gram),

G_k = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gram),

G_{ds} = Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi (gram), dır.

3.2.2.3.2. Taşın hacim kütlesi ve kütlece su emme oranından hesaplanması

Kütlece su emme oranından ve birim ağırlığından yararlanılarak görünen porozite aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$P_g = \Delta_h \times S_k \quad (3.6.)$$

Burada;

P_g = Numunenin görünen porozitesi (%),

Δ_h = Numunenin Birim Ağırlığı (gr/cm³),

S_k = Numunenin Kütlece Su Emme Oranı (m/m, %),

dır. Bulunan sonuçlar onda bir hanesinde yuvarlatılarak belirtilmiştir (TS699, 1987).

3.2.2.4. Doluluk oranı kompasite deneyi

Birim ağırlık ve özgül ağırlıktan yararlanılarak doluluk oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$k = \frac{\Delta_h}{d_o} \times 100 \quad (3.7.)$$

Burada;

k = Numunenin Doluluk Oranı (m/m, %),

Δ_h = Numunenin Birim Ağırlığı (gr/cm³),

d_o = Numunenin Özgül Ağırlığı (g/cm³),

dır. Bulunan sonuçlar onda bir hanesinde yuvarlatılarak belirtilmiştir (TS699, 1987).

3.2.2.5. Porozite (gözeneklilik derecesi) deneyi

Birim ağırlık ve özgül ağırlıktan yararlanılarak porozite oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$P = \left(1 - \frac{\Delta_h}{d_o} \right) \times 100 \quad (3.8.)$$

$$P = (1 - k) \times 100 \quad (3.9.)$$

Burada;

P = Numunenin Porozitesi (v/v, %),

Δ_h = Numunenin Birim Ağırlığı (gr/cm³),

d_o = Numunenin Özgül Ağırlığı (g/cm³)

k = Numunenin Doluluk Oranı (m/m, %),

dır. Bulunan sonuçlar onda bir hanesinde yuvarlatılarak belirtilmiştir (TS 699, 1987).

3.2.2.6. Doyma derecesi

Hacimce su emme ve porozite değerlerinden yararlanılarak doyma derecesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$D = \frac{S_h}{P} \quad (3.10.)$$

Bunlar;

D = Doyma Derecesi (%),

S_h = Numunenin Hacimce Su Emme Oranı (v/v, %),

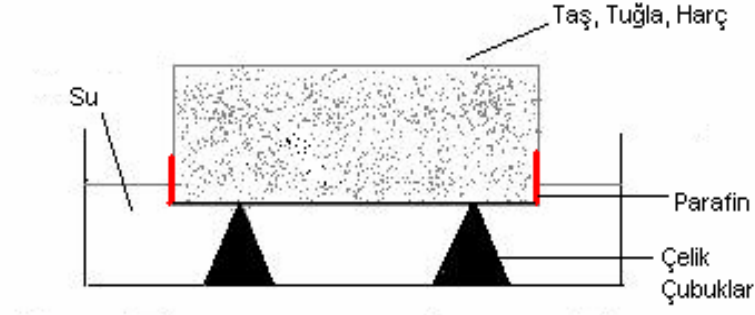
P = Numunenin Porozitesi (v/v, %),

dır. Doyma derecesi, malzemenin donmaya dayanımının belirtilmesi bakımından anlam taşır. Eğer bu değer, % 80 sınırının altında olursa genellikle bu malzemenin donmada zarar görmediği gözlemlenmiştir. Bulunan sonuçlar onda bir hanesinde yuvarlatılarak belirtilmiştir (Kocataşkın, 1984).

3.2.2.7. Kılcal su emme

Numuneler dikdörtgen, kare ve üçgen gibi alanı hesaplanabilecek tarzda kesilmiştir. Kesilen numuneler önce bir etüvde, 7 gün kurumaya bırakılmıştır. 7 günün sonunda etüvden alınan numuneler, laboratuvar ortamında 1 saat tutularak soğuması temin edilmiştir. Bu işlemden sonra numunelerin yan yüzeyleri parafinle kaplanmış ve Gec Avery marka BL000998102 seri no'lu bir terazide tartma işlemi yapılmıştır (m_d). Daha sonra sabit seviyede su içeren bir kaba numuneler, düşey vaziyette yerleştirilmiştir. Suyun tabana serbest şekilde ulaşabilmesi için numuneler, çelik çubuklar üzerine konmuştur. Su seviyesi numunenin tabanından 3 ± 1 mm üzerinde olacak şekilde sabitlenmiştir (Şekil 3.20). Kaba konulan numunelerin, birbirleriyle temas etmemesine dikkat edilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra numunenin kapağı kapatılmıştır. Sonra deney başlangıcından itibaren 1, 4, 9, 16, 32, 64 ve 128. dakikalarda tartılarak numunelerin ağırlığı saptanmıştır. Her bir tartı esnasında numune deney

kabından çıkarılmış; ıslak yüzü nemli bir bezle silinmiş ve tartılmıştır (m_i). Sonra tekrar deney kabına konmuş ve deney kabının kapağı kapatılmıştır (Uyan, 1975; BS EN 480-5, 1997).



Şekil 3.20. Numunelerin kılcal su emme olayı

Darcy Kanunundan yararlanılarak kılcallık katsayısı da aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$C = \frac{(m_i - m_d)^2}{A^2 x t} \quad (3.11.)$$

Burada;

C = Kılcallık katsayısı,

m_i = Numunenin kuru kütlesi,

m_d = Belirtilen zamanda numunenin doymuş kütlesi,

A = Su emme yüzeyinin alanı,

t = Zaman,

dır. Kılcallık katsayısı (C), malzemenin boşluk karakteri ile ilgili bir sabittir. Boşluklu bir malzeme bir yüzünden basınçsız su ile temasa geldiğinde kılcallık olayı nedeniyle boşluklar bu suyu içeriye çekeceklerdir. Suyun yüzey geriliminden doğan bu olay yatay, eğik ve düşey olarak yukarı doğru harekete geçer. Bu da yapının dibindeki rutubetin duvarda gözükebileceğine işarettir (Kocataşkın, 1984; Çağlayan, vd., 2001).

1., 4., 8., 16., 32., 64. ve 128. dakikalarda bulunan kılcallık verileri ile çizilen grafikte; X ekseni zamanın karekökünü ($\sqrt{dak}$) ve Y ekseni de su emmenin

alana oranını $((m_i - m_d) / A)$ (cm^3/cm^2) göstermektedir (Uyan, 1975; BS EN 1925, 1999; Çağlayan vd., 2001). Bu grafik çizildikten sonra; bu grafiğe en uygun doğrusal doğru oluşturulmuştur. Oluşturan bu doğrunun eğimi; R (korelasyon katsayısı) ile gösterilmiştir. Ayrıca numunenin kılcallık değeri düşerse, basınç mukavemeti artar. Düşük kılcallık değeri durabil malzemeler için gerekli bir şarttır (Uyan, 1975).

3.2.3. Mekanik analiz

Tarihi yapılardan alınan taş, tuğla ve harç numuneleri üzerinde; Basınç dayanımı, nokta yükleme, eğilme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Taşlardan 75X75 örnekler çıkarılarak deney yöntemleri uygulanmıştır. Tuğlalarda 100mm çapında karot numuneler çıkarılmıştır. Ayrıca ultrases titreşim hızı ve schmidt çekici gibi tahribatsız deneyler uygulanmıştır.

3.2.3.1. Basınç deneyi

Önce numuneler küp, prizma ve silindir olacak şekilde kesilmiştir. Çap veya yanal yüzey ölçüsü (zıt yüzeyler arasındaki ölçü), 50,8 mm'den küçük olmamalıdır. Yükseklik oranının, çap veya yanal yüzeylere oranı 1/1'den az olmamalıdır. Her deney için en az 5 adet deney numunesi hazırlanmıştır (ASTM C 170 - 90, 1999; BS EN 12808 - 3, 2001). Bu numuneler, taş kesme testeresi veya silindirik numune kesme aleti ile ıslak kesilmek suretiyle hazırlanmış ve basınç uygulanan yüzeyleri düzlem ve birbirine paralel olacak şekilde, cihazlar ile aşındırılmak suretiyle düzeltilmiştir (TS 699, 1987). Numune ölçüleri taş yapılarda 75X75 numuneler çıkarılmıştır. Tuğla numunelerinde 100mm çapında karot kesimi yapılmıştır. Yüzeyleri düzeltilen numuneler, 105 °C'lik bir etüvde 48 saat kurutulmuştur. 6. 47. ve 48. saatlerde numunelerin ağırlıkları ölçülmüş ve ağırlık sabitleninceye kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Sabit ağırlıktaki numuneler, deneyden önce bir desikatörde oda sıcaklığında soğutulmuştur.

Sonra 22 ± 2 °C'lik bir su tankında numuneler, 48 saat için emdirmeye tabii tutulmuşlardır. Su tankından numuneler çıkartılmış ve numunenin yüzeyindeki su damlacıkları silinmiştir (ASTM C 170 - 90,1999; ASTM C 67-03a, 2003).

Deney numunelerinin yüzeyindeki damlacıklar silindikten sonra yüzeylerin boyutları kumpasla ölçülmüş ve numuneler, 60 ton kapasiteli Alşa marka basınç presinin tam ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiş ve numune sıkıştırılmıştır. Basınç yükü, saniyede yaklaşık 100 Psi (690kPa) artacak şekilde ve çarpmasız olarak deney numunesi kırılncaya kadar uygulanmıştır. Pres göstergesinden okunan en büyük yük değeri tespit edilmiştir (W) (TS 699,1987; ASTM C 170 -90, 1999; BS EN 12808 - 3, 2001; ASTM C 67-03a, 2003). Basınç dayanım değeri, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$C_c = \frac{W}{A} \quad (3.12.)$$

Burada;

C_c = Numunenin basınç mukavemeti (N/mm²),

W = Numunenin En Yüksek Kırılma Değeri (N),

A = Yüzey Alanı (mm²),

dır. Herhangi bir sebeple çapı (yatay boyutu) küçük olarak hazırlanmış silindirik deney numunelerinde yükseklik çaptan %25 veya daha fazla büyükse deney sonunda şu formül uygulanır.

$$C_c = \frac{C_p}{0.778 + 0.222(b/h)} \quad (3.13.)$$

Burada;

C_c = Eşdeğer küp numunenin basınç dayanımı

C_p = Yüksekliğin çaptan (veya yatay boyuttan) %25 veya daha fazla büyük

olduğu hallerde deneyle bulunan basınç mukavemeti

b = Çap veya yatay boyut

h = Yükseklik,

dir. Sonuçlar 5 kgf/cm²'ye yuvarlatılarak verilmelidir (ASTM C 170 -90, 1999; BS EN 12808 – 3, 2001; ASTM C 67-03a, 2003).



Şekil 3.21. Tuğla numunesi basınç deney deney düzeneği

3.2.3.2. Nokta yükleme deneyi

Harç numunelerin standart boyutlarda olmaması nedeniyle tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılamadığından nokta yükleme (point-load) deneyi tercih edilmiştir. Standart nokta yükleme aleti; yükleme sistemi, yük göstergesi, gövde, konik başlıklar, deney esnasında konik başlıklar arasındaki uzaklığı ölçen cetvelden oluşur. Ayrıca, örneğin boyutlarını ölçebilmek için kolları yeterli uzunlukta 0.1 mm yaklaşımla ölçüm yapabilen kumpas gereklidir (TS 699, 2009).

30-85 mm. arasında kalınlığa sahip olan düzensiz şekillerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında kullanılan bu yöntemde, konik sivri uçlu nokta yük aletinin iki deney başlığı arasına yerleştirilen numuneler hidrolik el

pompası ile verilen yükle kırılmış ve kırılan yük göstergeden okunmuştur. Gerekli değerler okunarak düzeltilmemiş nokta yük indeksi hesaplanmıştır (3.14a,b,c). Numunelerin farklı kalınlıklarda olması nedeniyle “boyut düzeltme faktörü” yardımı ile düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (3.15a,b) hesaplanmıştır. K değeri için, zayıf kayalar için geçerli olan 10,6471 değeri esas alınmıştır (Tunçoku, 2001). Bu değerle, düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi çarpılarak eşdeğer tek eksenli basınç dayanım değeri bulunmuştur. Bu deney Yüksel Kaya Makina CAS CI-1580A Indicator model cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.102).

$$I_s = P / D_e^2 \quad (3.14a)$$

$$A = W.D \quad (3.14b)$$

$$D_e^2 = 4A / \pi \quad (3.14c)$$

I_s : Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)

P : Kırılma yükü (kN)

D_e : Eşdeğer karot çapı (mm)

A : Konik başlıkların temas noktalarından geçen numunenin en küçük kesit alanı (mm²)

W : Örneğin yükleme yönüne dik kalınlığı (mm)

D : Yükleme başlıkları arasındaki uzaklık (mm)

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s \quad (3.15a)$$

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (3.15b)$$

$I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa)

F : Boyut düzeltme faktörü

3.2.3.3. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Tuğla, onarım harçlarında eğilmede çekme dayanımını belirlemek için orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile deney yapılmıştır. TS EN 1015-11'e göre mesnetler arası mesafe 100 mm olan 40 x 40 x 160 mm boyutlarındaki deney numunesi, mesnetler üzerine ortalanacak şekilde yerleştirilmiştir. Kırılmanın olduğu andaki F yükü presin göstergesinden

okunmuştur. Okunan P yükü, (3.17) numaralı bağıntıda yerine konarak eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Deneyde ELE model cihaz kullanılmıştır.

$$f=1.5 \frac{PxL}{bxd^2} \quad (3.17)$$

Bu bağıntıda;

f : Eğilmede çekme dayanımı, (MPa)

P : Numuneye uygulanan en büyük yük, (kN)

L : Mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafe, (100 mm)

b : Numune genişliği, (40 mm)

d : Numune yüksekliği, (40 mm)'dir.



Şekil 3.22. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

3.2.4. Tahribatsız analiz

3.2.4.1. Schmidt çekici

Tarihi yapılarda kullanılan tahribatsız deney metotlarından birisi olan schmidt çekici yapının mukavemeti hakkında yaklaşık bir bilgi verir. Bu çalışma da, Sclerometro Meccanico marka L99345 seri no'lu bir schmidt çekici

kullanılmıştır. Bu alet, bir yay vasıtasıyla çelik bir bilyeyi numunenin yüzeyine fırlatır. Bilye numunenin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrar, bu sıçrayış değeri kaydedilir (Vandaele ve Waelkens, 1995; Çankıran, 2000). Bu değer, ne kadar büyükse numunenin dayanımı o kadar yüksektir. Bir deney alanında güvenilir sonuçlar elde edebilmek için, en az 9 okuma yapılmalıdır. İki çarpma noktası arasındaki mesafe 25 mm'den az olmamalı ve çarpma noktaları kenarlardan 25 mm içeride olmalıdır. Vuruş yapılan yerde mevcut hava boşluğu nedeniyle parçalanma veya kırılma ortaya çıkarsa, sonuç değerlendirilmeye alınmaz. Deney sonucu, bütün okumaların ortalaması alınarak bulunmuştur (ASTM C 805, 1993; BS EN 12504 -2, 2001).

Ayrıca Yaloon ve Singer (1997), laboratuarda elde ettikleri basınç mukavemetini (12 farklı kayaç numunesi kullanarak) ve arazide belirledikleri geri sıçrama değerini (R_s) birleştirmişler ve önemli bir bağıntı bulmuşlardır. Elde ettikleri bağıntıya göre basınç mukavemeti aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\log\left(\frac{C_c}{9.81 \times 10^4}\right) = (0.0387 \times R_s) + 0.826 \quad (3.14.)$$

Burada;

C_c = Basınç Mukavemeti (kgf/cm²)

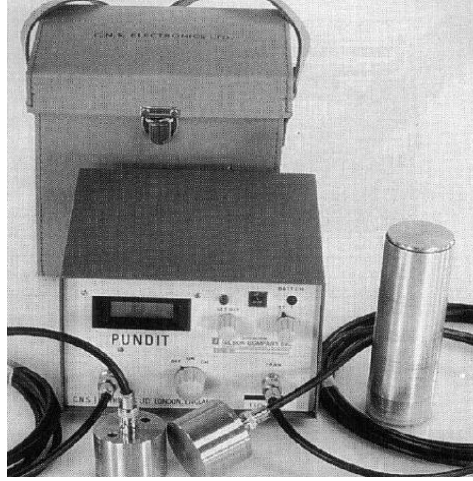
R_s = Geri Sıçrama Değeri Ölçüsüdür (Vandaele ve Waelkens, 1995).



Şekil 3.23. Schmidt çekici ölçüm deneyi

3.2.4.2. Ultrases titreşim hızı

Ultrases deneyi, 24 kHz'lik pundit marka bir cihazla yapılmıştır. Ultrases hızı, dijital göstergeden görülür ve bu cihaz ± 0.1 hassasiyetliğe sahiptir. Bu deney yapılırken dikkat edilecek hususlardan birisi, numunede boşluğun kalmasını önlemektir. Yüzeylerde boşluğu önlemek için alıcı ve verici proplar ile malzemenin arasına ince bir katman halinde gres, vazelin gibi bir jel sürülmelidir. Ultrases hızı ile numune içerisinde ses dalgalarının yayılma hızı ölçülmektedir (Çankıran, 2000).



Şekil 3.24. Ultrases ölçüm cihazı

3.2.4.2.1. Ultrases hız yöntemi ile dinamik elastisite modülünün belirlenmesi

Bir malzemenin dinamik elastisite modülü; birim ağırlık ve ultrases hızının bilinmesiyle hesaplanır. Ultrases hızı ile elde edilen elastisite modülü yüksekse, malzeme korozyonda o denli yüksek mukavemet gösterir (Benavente, vd., 2004). Numunenin ultrases hızı ve birim ağırlığından yararlanılarak elastisite modülü aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$E_d = V^2 \times \frac{\Delta_h}{9.81} \quad (3.15.)$$

Burada;

E_d = Dinamik Elastisite Modülü (N/mm²),

V = Ultrases Titreşim Hızı (m/sn),

Δ_h = Numunenin Birim Ağırlığı (kg /m³)'tür. (ASTM C 597, 1993).

Dinamik elastisite modülü (E_d), gerilme deformasyon eğrisinden yararlanılarak belirlenen elastisite modülünden (E_g) daima büyük değerler gösterir. Bunun sebebi ultrases ölçümü sırasında çok küçük gerilmeler altında malzemenin boşluklarında sıkışmış halde duran suyun malzemenin deformasyonuna karşı koymakta ve böylelikle elastisite modülünün artmasına sebep olmaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Burdur ve Isparta illeri içerisinde yer alan Kremna, İncirlihan Kervansarayı, Adada, Sığırlık Harabesi, Zorzila ve Psidia Antiokya antik kentler ve harabelerdeki yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan tuğla, taş ve harç malzemeler tez kapsamında incelenmiştir. Örnek alınan bölgeler tarihi yapıların imal edilmiş tarihlerine göre kronolojik bir sıra şeklinde Çizelge 4.1 - 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tuğla numunelerin kronolojik tarih ve bölgesel sırasına göre imalatları

Numune Bölgesi	Numunenin Alındığı Yer	Numune kodu	İnşa Ediliş Tarihi
YALVAÇ	Antik Tiyatro	T1	MS 5.-6. yy. arasında
		T2	
		T3	
	Augustos Tapınağı	T4	
		T5	
	Anıtsal Çeşme	T6	
	Merkezi Kilise	T7	
		T8	
		T9	
	Hamam	T10	
ZORZILA	Hamam	T11	Roma Periyodu
		T12	
		T13	
		T14	
		T15	
KREMNA	Hamam	T17	MS 3. yy. ortaları
		T18	
		T21	
		T23	
ADADA	Forum	T25	Roma Periyodu. Büyük olasılıkla MS 2. yy.
		T26	
		T27	
		T32	
	Kilise	T28	Roma Periyodu. Büyük olasılıkla MS 2. yy.
		T30	
		T31	
	Tiyatro	T24	Roma Periyodu. Büyük olasılıkla MS 2. yy.
		T33	
		T34	
SİĞIRLIK HARABESİ I-II	Kale I	T37	Bizans Periyodu 4.yy sonrası
		T38	
		S39	
		T40	
	Kale II	T43	Bizans Periyodu 4.yy sonrası
		T44	
		T45	
		T46	
		T47	

Alınan örnekler tarihi yapılarla göre tuğla numuneler “T”, harç örnekler “M” ve taş örnekler “S” kodları ile belirtilerek tarafımızdan numaralandırılmıştır. Bu çalışmadaki tüm araştırma bulguları, kronolojik imal edilmiş sırası göz önünde tutularak ve numune bölgeleri belirtilerek yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Taş numunelerin kronolojik tarih sırasına göre imalatları

Ören Yerinin Adı	Numunenin Alındığı Yer	Numune kodu	İnşa Ediliş Tarihi
YALVAÇ	Tiyatro	S1	MS 1. yy.
		S2	
		S3	
		S4	
		S5	
		S6	
		S7	
	Anıtsal Çeşme	S17	
		T13	
		S14	
ZORZİLA	Hamam	S18	Roma Periyodu
		S19	
		S20	
		S21	
		S22	
		S23	
		S24	
KREMNA	Hamam	S30	Roma Periyodu
		S35	
		S36	
	Forum	S37	MS 117-138 yılları arası
SIĞIRLIK HARABESİ	Kale I	S43	Bizans Periyodu 4.yy sonrası
		S44	
		S47	
		S48	
İNCİRLİHAN	Kervan Saray	S38	Selçuklu Periyodu - MS 1238
		S39	
		S40	

Çizelge 4.3. Harç numunelerin kronolojik tarih sırasına göre imalatları

Ören Yerinin Adı	Numunenin Alındığı Yer	Numune kodu	İnşa Ediliş Tarihi
YALVAÇ	Merkezi Kilise	M34	MS 1. yy.
	Anıtsal Çeşme	M7	
		M32	
	propylon	M33	
	Antik Tiyatro	M35	
		M36	
		M37	
	Hamam	M11	
ZORZİLA	Hamam	M2	Roma Periyodu
		M3	
		M4	
		M5	
KREMNA	Hamam	M15	MS 3. yy. ortaları
		M16	
		M19	
		M20	
		M22	
		M23	
ADADA	Kilise	M26	MS 5.-6. yy. arasında
		M27	
		M30	

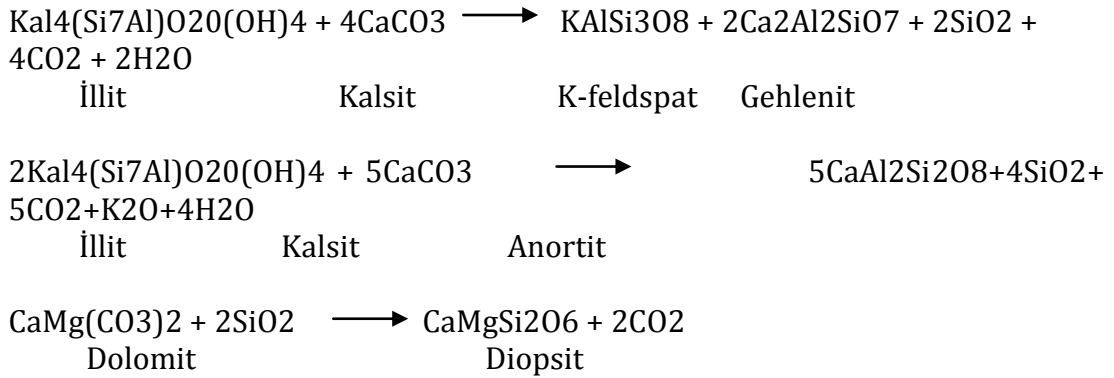
4.1. Taş Tuğla Harç Numuneleri Kimyasal ve Minorolojik Özellikleri

Bu çalışma içerisinde kaynak olarak incelenen yürütücülüğünü Doç.Dr. Kemal T. YÜCEL'in yaptığı SDÜ BAP 0853-YL-04 projesinde, bölüm 3.1.4.'te belirtilen antik kentler ve harabelerdeki yapılardan alınan tuğla, taş ve harç örnekleri üzerinde yapılan minerojik ve kimyasal deney değerleri alt kısımda sunulmuştur. Deney sonuç değerlendirmemizde bölüm 3.1.4'te belirtilen antik kentlerin fiziksel mekanik kimyasal minorolojik özelliklerli birlikte değerlendirilip kapsamlı bir sonuç elde edilmiştir.

4.1.1. Tuğla numunelerin mineralojik ve kimyasal analizi

Tuğla numunelerin üzerinde yapmış olan XRD analiz sonuçları (Çizelge 4.4.) incelendiğinde kalsit, kuvars, klorit, ortoglaz, albit, biotit, anortit, rutil, hematit, dolomit, sanidin, gehlenit, diopsit ve ojit minerallerinin varlığına rastlanmaktadır. Tüm numunelerde kuvars ve hematit ana bileşendir. Bununla beraber kalsit, ortoglaz, albit, biotit, anortit, rutil ve dolomit mineralleri çoğunlukla bulunmaktayken klorit, sanidin, gehlenit, diopsit ve ojit mineralleri nadir olarak bulunmaktadır. (Yücel vd., 2005)

Kalsiyumca zengin anortit gehlenit, ve diopsit mineralleri, karbonatlı karışımların yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle ortaya çıkan en önemli fazlardır (Duminuco vd., 1998; Cardiano vd., 2004). Bu fazların reaksiyon özellikleri Şema. 1'de verilmiştir.



Şema 1. Kalsiyumca zengin killeri yakıldığında oluşan tepkime ürünü (Cardiano vd., 2004).

Diopsit minerali, 900 – 1050 °C arasındaki sıcaklıkta kuvars ve dolomitin tepkimesi ile oluşur (Şema 1.) (Cardiano vd., 2004). Ortamda diopsit mineralinin bulunması, tuğla numunenin en yüksek sıcaklıkta yakıldığının bir göstergesidir. (Riccardi vd., 1999).

Çizelge 4.5. incelendiğinde T24 numunesinde Diopsit olduğu ve numunenin 900- 1050 °C'de arasında yakılıp kuvars ve dolomitin tepkimesi sonucunda çıktığı sonu çıkmaktadır. Bu veriler ışığında T24 numunesinin Adada bölgesine

ait olduğu ve bu bölgeden çıkan numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneyler neticesinde sağlam ve yapıldığı yıl bakımından değerlendirilirse daha durabil bir malzeme olduğu söylenebilir. Gehlenit minerali, en az 850 °C'de illit ve kalsitin tepkimesiyle oluşur (Şema.1). Ortamda gehlenit ve hematit minerallerinin bir arada bulunması, tuğla numunenin 900 °C altında yakıldığını gösterir. Ortamda dolomit ve hematit minerallerinin varlığı, tuğla numunenin 850 °C'nin altında yakıldığını gösterir

Yapılan bu çalışmada tuğla numuneleri için elde edilen grafik incelendiğinde (çizelge 4.4) T16, T23 ve T41 de Ortamda dolomit ve hematit minerallerinin varlığı, tuğla numunenin 850 °C'nin altında yakıldığını gösterir. Bu numuneler Zorzila, Kremna ve Sığırılık Harabelerinden alınan numunelerdir. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik analizleri incelendiğinde bu bölgelerden elde edilen değerlerin diğer bölgelere göre düşük olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.4. Tuğla numunelerin XRD analiz sonuçları

Tuğla Numuneler															
No	Num. No	Ca.	Qz.	Cc.	Ort.	Alb.	Bio.	An.	Rut.	Hem.	Dol.	San.	Geh.	Dio.	Au.
1	T16	-	√	-	-	√	√	√	√	√	√	-	-	-	-
2	T6	-	√	-	-	-	-	-	√	√	-	-	-	-	-
3	T33	√	√	-	√	√	-	√	√	√	-	√	√	-	-
4	T24	-	√	-	√	√	√	√	√	√	√	√	-	√	-
5	T41	√	√	-	√	√	-	√	√	√	√	-	-	-	-
6	T45	-	√	√	√	√	√	√	√	√	-	-	-	-	-
7	T9	-	√	-	-	√	√	√	-	√	-	-	-	-	-
8	T29	√	√	-	-	√	-	√	√	√	-	-	-	-	√

Çizelge 4.5. Tuğla numunelerin kimyasal analiz sonuçları (XRF)

No	Num. No	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SO ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaCO ₃ + MgCO ₃	Kızdırma Kaybı
1	T 16	17.96	2.32	0.03	6.53	3.39	0.79	1.03	-	64.86	1.05	2.5	2.15
2	T 6	18.71	0.64	0.02	8.04	3.21	2.06	0.46	-	64.17	0.96	0.8	1.80
3	T 33	15.74	13.91	0.01	6.86	2.87	2.56	0.88	-	49.52	0.81	15.5	7.15
4	T 24	21.85	5.19	0.04	8.59	3.24	1.70	1.55	0.01	53.88	0.95	4.6	3.10
5	T 41	16.99	5.86	0.03	7.26	3.12	2.69	0.81	0.03	56.22	0.92	5.9	6.39
6	T 45	16.11	3.92	0.02	6.93	3.04	2.46	1.30	0.01	60.24	0.94	3.8	5.30
7	T 9	18.14	0.17	0.02	8.00	3.07	1.75	0.42	-	66.55	0.93	-	1.02
8	T 29	16.72	10.87	0.01	1.03	3.21	3.11	1.06	0.04	51.74	0.90	12.0	5.42

4.1.2. Taş numuneleri üzerinde yapılan minerojik ve kimyasal analizler

Taş numunelerin XRD grafikleri çizilmiş ve çizilen grafiklerin XRD analiz sonuçları (Çizelge 4.6.) incelendiğinde kalsit, kuvars, dolomit, magnesian ve serpantin gibi mineraller numunelerde gözlemlenmiştir. Tüm numunelerde kalsit ana bileşendir. Bununla beraber kuvars ve dolomit mineralleri numunelerde çoğunlukla bulunmaktayken magnesian ve serpantin mineralleri nadir olarak bulunmuştur. Numunelerde kalsit mineralinin varlığı, belirtilen yapının kireçtaşı ile inşa edildiğinin en önemli göstergesidir.

Çizelge 4.6. Taş numunelerin XRD analiz sonuçları

Taş Numuneler						
No	Num.No	Ca.	Qz.	Mag.	Dol.	Ser.
1	S42	√	√	√	-	-
2	S10	√	-	√	-	-
3	S21	√	-	-	√	-
4	S16	√	√	-	-	-
5	S37	√	-	-	√	-
6	S25	√	√	-	-	-
7	S46	√	√	-	√	-
8	S41	√	-	-	-	√

Taş numunelerin XRF analiz sonuçları, Çizelge 4.7.'da verilmiştir. Taş numunelerin XRF analiz sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.7.), CaO miktarı %55.11 – %57.57 arasında değişirken CaCO₃ miktarı %91.0 – %96.1 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.7. Taş numunelerin kimyasal analiz sonuçları (XRF)

No	Numune No	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃	SiO ₂	CaCO ₃ + MgCO ₃	Kızdırma Kaybı
1	S 42	0.27	53.27	0.15	0.07	0.63	0.02	4.58	91.0	41.49
2	S 10	-	57.57	0.01	0.02	0.23	-	-	95.3	43.65
3	S 21	-	56.87	-	0.03	0.18	-	-	95.4	43.54
4	S 16	0.05	55.11	0.04	0.04	0.50	0.05	-	95.4	43.68
5	S 37	-	56.96	-	0.02	0.17	0.03	-	96.0	43.95
6	S 25	-	56.94	-	0.02	0.16	0.04	-	96.1	43.87
7	S 46	-	57.32	0.02	0.03	0.25	0.01	-	94.5	43.47
8	S 41	0.02	56.83	0.06	0.03	0.49	0.12	-	96.4	43.67

4.1.3. Harç numuneleri üzerinde yapılan minerojik ve kimyasal analizler

Harç numunelerin XRD grafikleri çizilmiştir (EK 2). Çizilen grafiklerin XRD analiz sonuçları (Çizelge 4.8.) incelendiğinde kalsit, kuvars, dolomit, jips, klinozoisit, albit, muskovit, rutil, hematit, klorit ve diopsit minerallerin varlığına rastlanmaktadır. Tüm numunelerde kalsit ana bileşendir. Bununla beraber kuvars, dolomit, jips, albit, muskovit, rutil ve hematit mineralleri çoğunlukla bulunmaktayken klinozoisit ve klorit mineralleri nadir olarak bulunmaktadır.

4.1.4. Harç numunelerin XRD analiz sonuçları

Harç numunelerin XRD grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafiklerin XRD analiz sonuçları (Çizelge 4.8.) incelendiğinde kalsit, kuvars, dolomit, jips, klinozoisit, albit, muskovit, rutil, hematit, klorit ve diopsit minerallerin varlığına rastlanmaktadır. Tüm numunelerde kalsit ana bileşendir. Bununla beraber kuvars, dolomit, jips, albit, muskovit, rutil ve hematit mineralleri çoğunlukla bulunmaktayken klinozoisit ve klorit mineralleri nadir olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.8. Harç numunelerin XRD analiz sonuçları

Harç Numuneler												
No	Num. No	Ca.	Qz.	Dol.	Gyp.	Cl.	Alb.	Mus.	Rut.	Hem.	Cc.	Dio.
1	M28	√	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-
2	M3	√	√	√	√	√	-	-	-	-	-	-
3	M6	√	√	-	√	-	√	√	-	-	-	-
4	M32	√	√	-	√	-	√	√	√	-	√	-
5	M8	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-	-
6	M14	√	√	-	√	-	√	-	√	√	-	-
7	M34	√	√	-	-	-	√	√	√	√	-	-
8	M30	√	-	√	√	-	-	-	-	-	-	√
9	M25	√	√	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Harç numunelerin, XRF analiz sonuçları, Çizelge 4.9.'da verilmiştir. SiO₂ miktarlarına göre, harç numunelerde sınıflama yapılabilir. Numunelerde Al₂O₃ elementinin yüksek değer göstermesi, feldspatın büyük miktarlarından kaynaklanmaktadır (Callebaut vd., 2000).

Çizelge 4.9. Harç numunelerin kimyasal analiz sonuçları (XRF)

No	Num. No	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SO ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaCO ₃ + MgCO ₃	Kız. Kay.	Hidrolik İndeks (HI)	Çimento İndeks (CI)
1	M 28	0.21	39.57	-	0.12	0.04	13.82	0.03	0.03	0.43	-	88.9	45.83	0.01	0.03
2	M 3	0.83	41.92	-	0.36	0.13	10.61	0.03	0.01	2.17	0.03	96.5	44.01	0.06	0.13
3	M 6	13.68	9.04	0.01	5.85	2.44	3.14	1.23	-	54.70	0.67	8.3	10.60	6.09	12.82
4	M 32	13,35	10,09	0,01	5,65	2,02	2,05	0,89	0,01	51,09	0,58	25,1	16,3	3,84	8,56
5	M 8	13.57	8.80	0.01	5.72	2.61	2.13	1.11	-	52.63	0.67	15.5	13.27	6.58	14.11
6	M 14	12.12	23.16	0.04	5.22	1.85	1.34	0.80	0.14	31.71	0.57	37.3	19.90	2.00	4.22
7	M 34	11,75	12,76	0,01	5,83	2,08	1,98	1,06	-	52,46	0,61	22,5	13,65	4,64	10,35
8	M 30	0.03	38.50	-	0.05	0.03	15.72	0.01	0.04	-	-	99.4	46.32	0.00	0.00
9	M 25	0.33	53.76	-	0.20	0.08	0.09	-	0.40	1.69	0.01	89.5	43.90	0.04	0.10

4.2 Tuğla, Taş ve Harç Örneklerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin incelenmesi

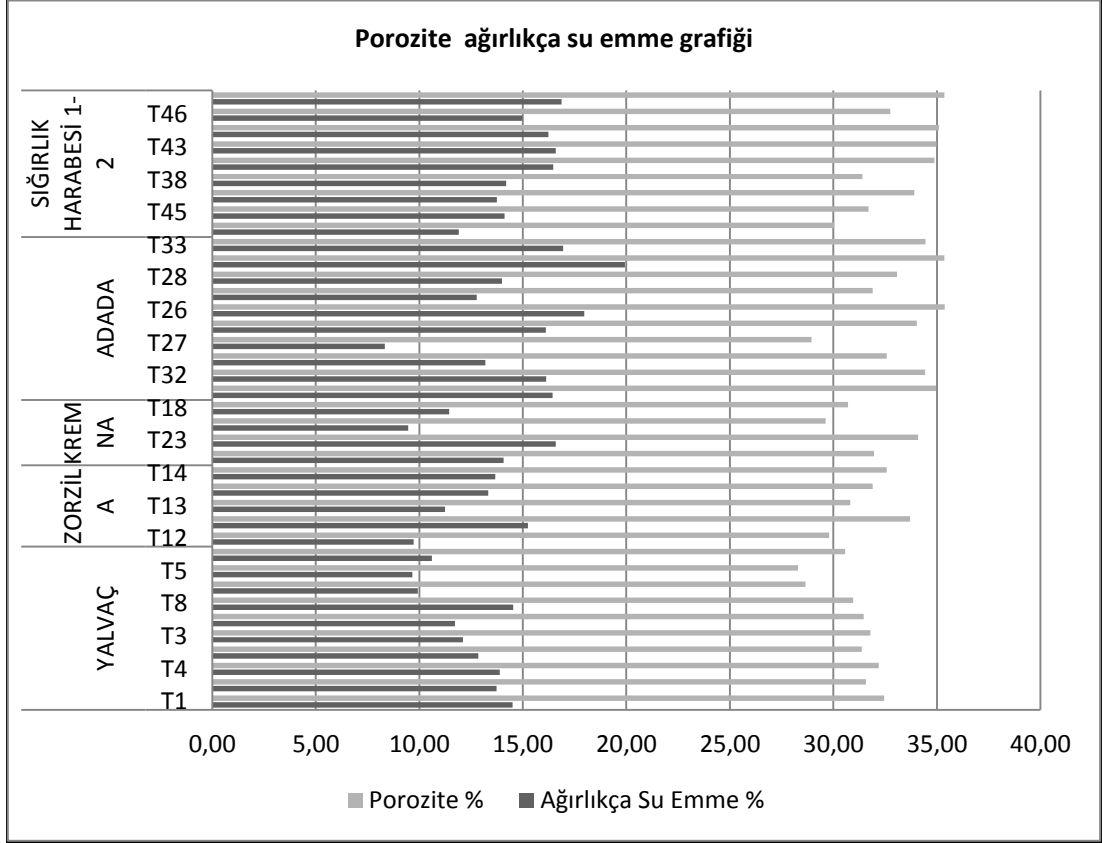
Bu çalışmada öncelikli olarak Bölüm 3.1.4.'te belirtilen antik kentler ve harabelerdeki yapılardan alınan tuğla, taş ve harç örneklerinin fiziksel (birim ağırlık, su emme, özgül ağırlık, porozite, kompasite, doygunluk derecesi ve kılcal su emme) ve mekanik (basınç dayanımı, eğilme dayanımı, noktasal yük indeksi, schmidt, ultrases hızı, elastisite modülü ve dinamik elastisite modülü) özellikleri incelenerek aralarındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonraki aşamada tuğla, taş ve harç örneklerinde fiziksel ve mekanik özelliklerinin weka programı kullanılarak farklı fonksiyonlar geliştirilmiş, nihayi aşamada elde edilen weka fonksiyonları (model sonuçlar) deney değerleri ile karşılaştırılarak geliştirilen modellerin uygunluğu gözlemlenmeye çalışılmıştır.

4.2.1 Tuğla taş ve harç örneklerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi

Çalışmamızın bu kısmında Bölüm 3.1.4.'te belirtilen antik kentler ve harabelerdeki yapılardan alınan tuğla, taş ve harç numunelerin fiziksel (birim ağırlık, su emme, özgül ağırlık, porozite, kompasite, doygunluk derecesi ve kılcal su emme) özellikleri ve bölgesel değerlendirmeleri yapılmıştır. Bununla beraber excel çizimleri yapılarak (determinasyon) kat sayıları hesaplanmıştır. Ayrıca tüm deney grafikleri Ek-2'de sunulmuştur.

4.2.1.1 Tuğla örneklerinin fiziksel özelliklerinin incelenmesi

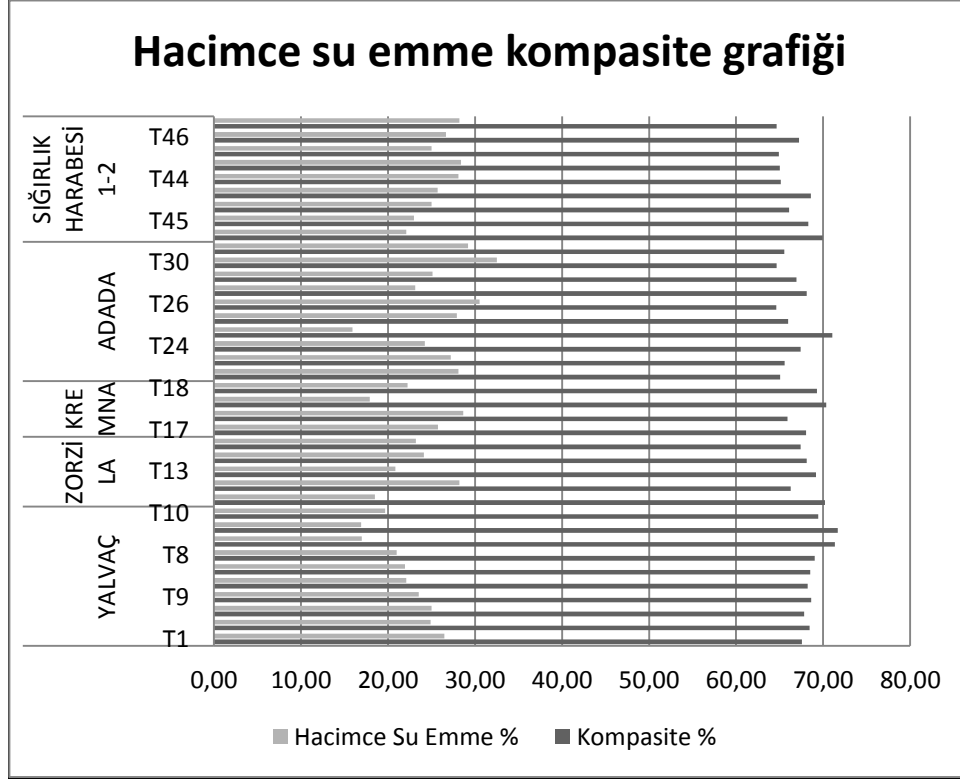
Ağırlıkça su emme ve porozite deney değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.1.'de verilmiştir. Şekil 4.1. incelendiğinde En yüksek ağırlıkça su emme değeri %19,93 olarak Adada bölgesinde tespit edilmiştir. En düşük ağırlıkça su emme değeri ise Kremna bölgesinde %8.33 olarak bulunmuştur. Numuneler üzerinde yapılan porozite deneyi sonucunda porozite değerleri %28 ile % 35 arasında kaldığı tespit edilmiştir. En yüksek porozite değeri Adada bölgesi numunesinde %35 ve En düşük porozite değeri Yalvaç bölgesi numunesinde %28 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1. Tuğla numunelerin ağırlıkça su emme (%) ve porozite(%) değişim grafiği

Hacimce su emme ve kompasite deney değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.2.'de verilmiştir. Şekil 4.2. incelendiğinde hacimce su emme değerleri %15,9 ile %32,5 arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük hacimce su emme değeri Adada bölgesi numunesinde %15,9 olarak tespit edilmiştir. En yüksek hacimce su emme değeri yine Adada bölgesi numunesinde %32,5 olarak bulunmuştur.

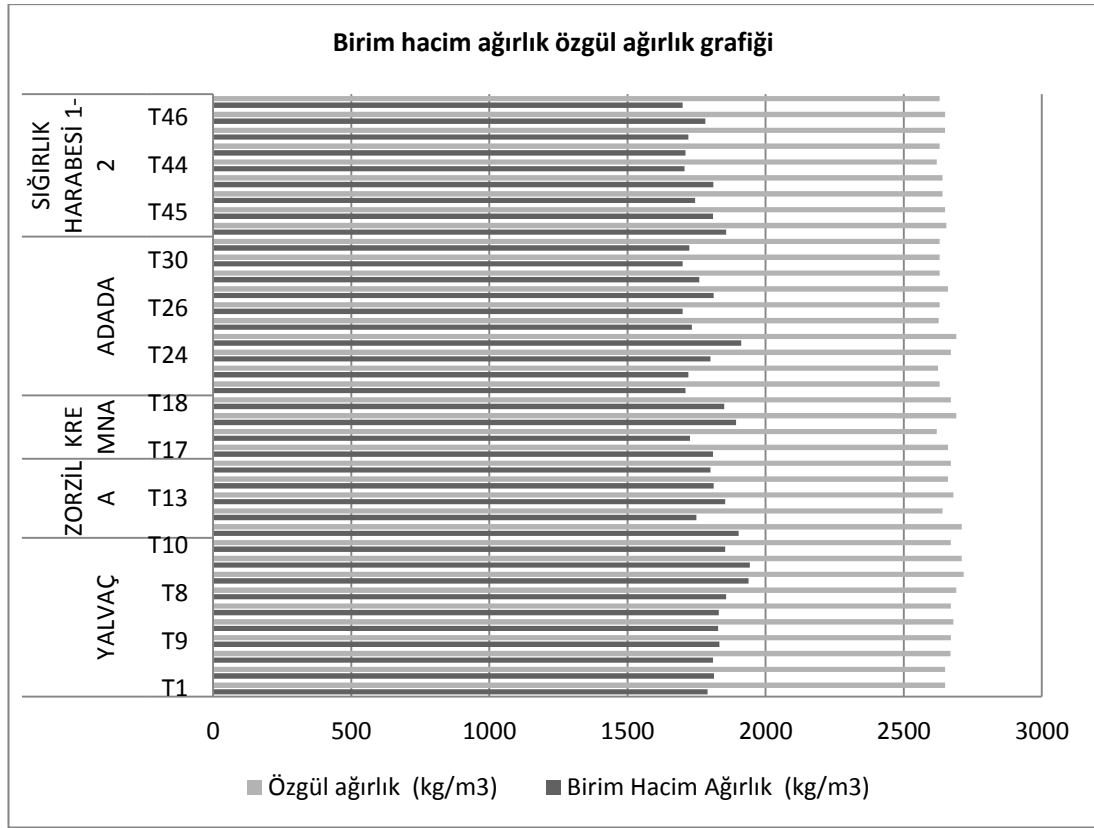
Numuneler üzerinde yapılan kompasite deneyi sonucunda kompasite değerleri %60 ile %70 arasında olduğu belirlenmiştir. En yüksek kompasite değeri Yalvaç bölgesi numunesinde %71 olarak tespit edilmiştir. En düşük kompasite değeri Adada bölgesi numunesinde %64 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2. Tuğla numunelerin hacimce su emme (%) ve kompasite (%) değışim grafiği

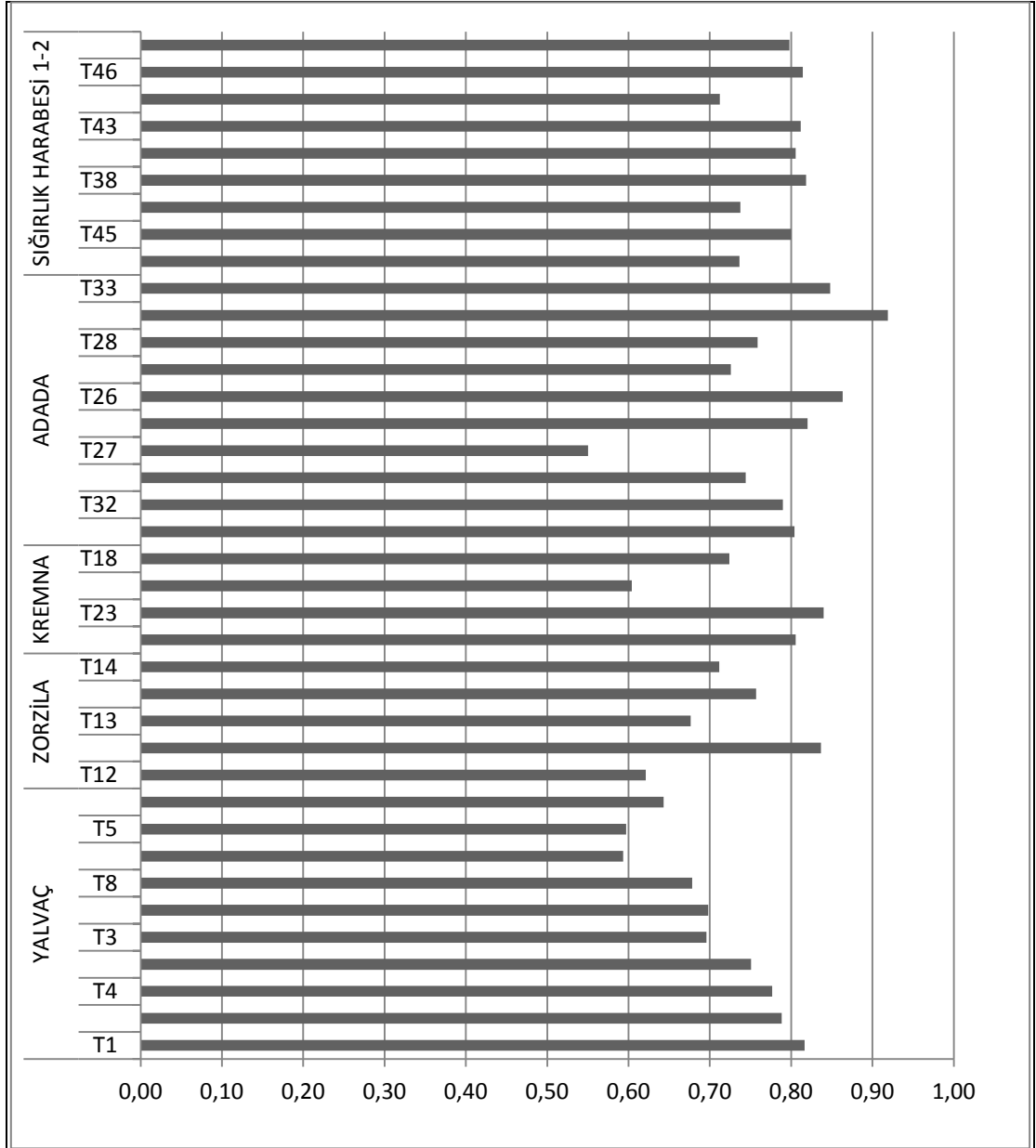
Birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık deney değeri arasındaki ilişki Şekil 4.3.'te verilmiştir. Şekil 4.3. incelendiğinde özgül ağırlık değeri 2.620 kg/m^3 ile 2.717 kg/m^3 arasında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek özgül ağırlık değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 2.717 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. En düşük özgül ağırlık değeri Kremna ve Sığırılık harabesi bölgelerinde 2.620 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

Numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık deney değeri incelendiğinde sonuçlar 1.700 kg/m^3 ile 1.950 kg/m^3 arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük birim hacim ağırlık değeri Adada bölgesi numunesinde 1.699 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. En yüksek birim hacim ağırlık değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 1.943 kg/m^3 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değişim grafiği

Doyma derecesi deney değerleri ile ilgili grafik Şekil 4.4.'de verilmiştir. Şekil 4.4. de görüldüğü üzere doyma derecesi değerleri %55 ile % 92 arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük doyma derecesi değeri Adada bölgesi numunesinde %55 olarak hesaplanmıştır. En yüksek doyma derecesi değeri ise Adada bölgesi numunesinde %92 olarak bulunmuştur. Adada bölgesi tuğla numunelerinin fiziksel özellikleri bakımından farklı değerlerde yer aldığı gözlemlenmektedir.

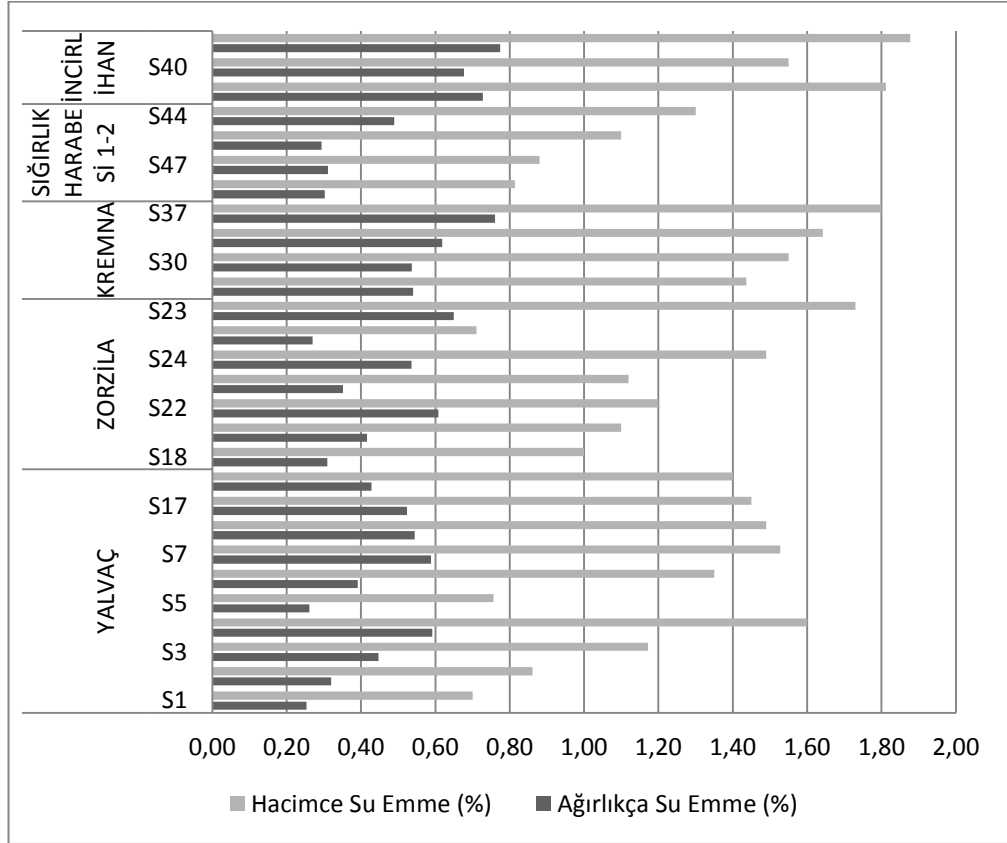


Şekil 4.4. Tuğla numunelerin doyma derecesi (%)değişim grafiği

4.2.1.2. Taş örneklerinin fiziksel özelliklerinin incelenmesi

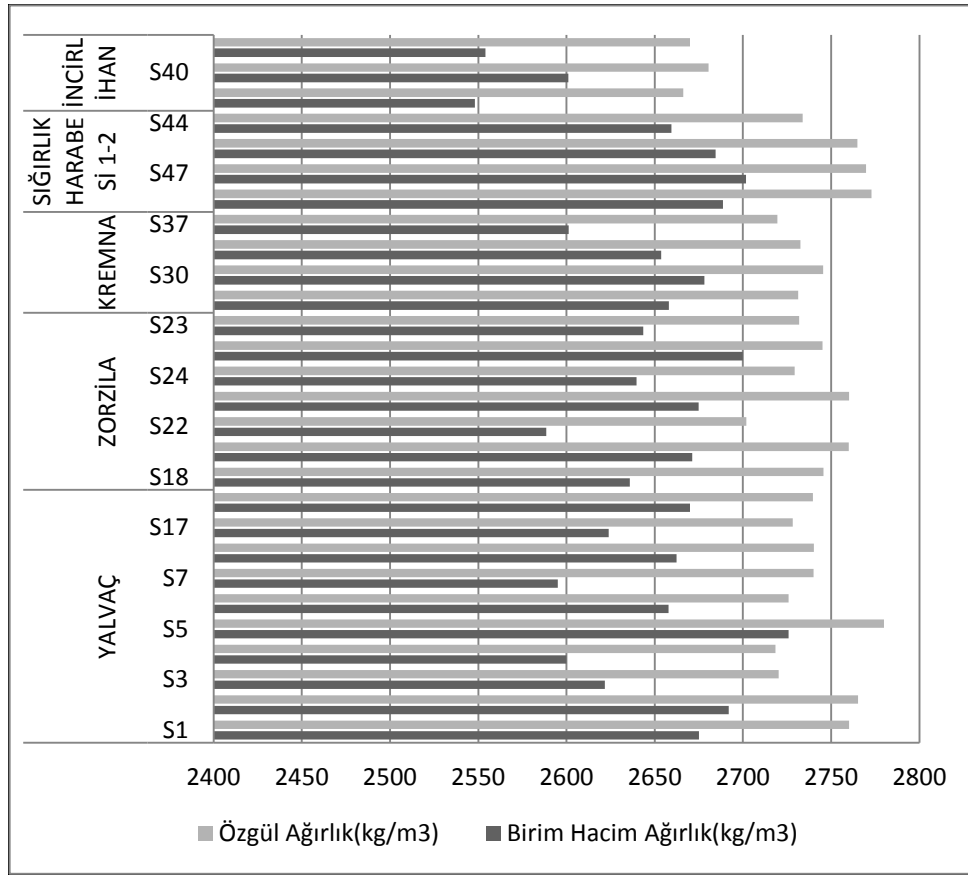
Hacimce su emme ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.5.'de verilmiştir. Şekil 4.5. incelendiğinde hacimce su emme değerleri %0,70 ile %1,88 arasında olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek hacimce su emme değeri İncirli Han bölgesi numunesinde %1,88 olarak tespit edilmiştir. En düşük hacimce su emme değeri Yalvaç bölgesinde %0,70 olarak bulunmuştur. Numuneler üzerinde yapılan ağırlıkça su emme deneyi sonucunda ağırlıkça su

emme değerleri %0,25 ile %0,77 arasında kaldığı tespit edilmiştir. En yüksek ağırlıkça su emme değeri İncirli Han bölgesi numunesinde %0,77 olarak belirlenmiştir. En düşük ağırlıkça su emme Yalvaç bölgesinde %0,25 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.5. Taş numunelerin hacimce su emme % ve ağırlıkça su emme % değişim grafiği

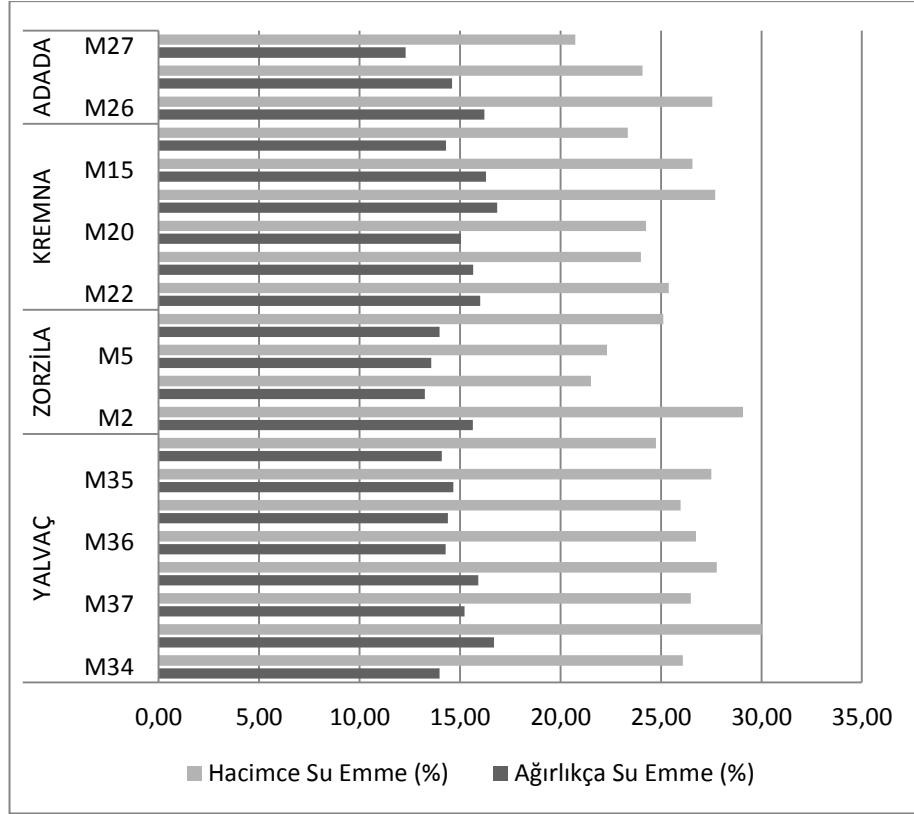
Özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.6.'da verilmiştir. Şekil 4.6. incelendiğinde özgül ağırlık değerleri 2.666 kg/m³ ile 2.780 kg/m³ arasında olduğu gözlemlenmiştir. En düşük özgül ağırlık değeri İncirli Han bölgesi numunesinde 2.666 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. En yüksek özgül ağırlık değeri Yalvaç bölgesinde 2.780 kg/m³ olarak bulunmuştur. Numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık deneyi sonucunda birim hacim ağırlık değerleri 2.548 kg/m³ ile 2.726 kg/m³ arasında kaldığı tespit edilmiştir. En düşük birim hacim ağırlık değeri İncirli Han bölgesi numunesinde 2.548 kg/m³ olarak belirlenmiştir. En yüksek birim hacim ağırlık değeri Yalvaç bölgesinde 2.726 kg/m³ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve birim hacim ağırlık kg/m^3 değişim grafiği

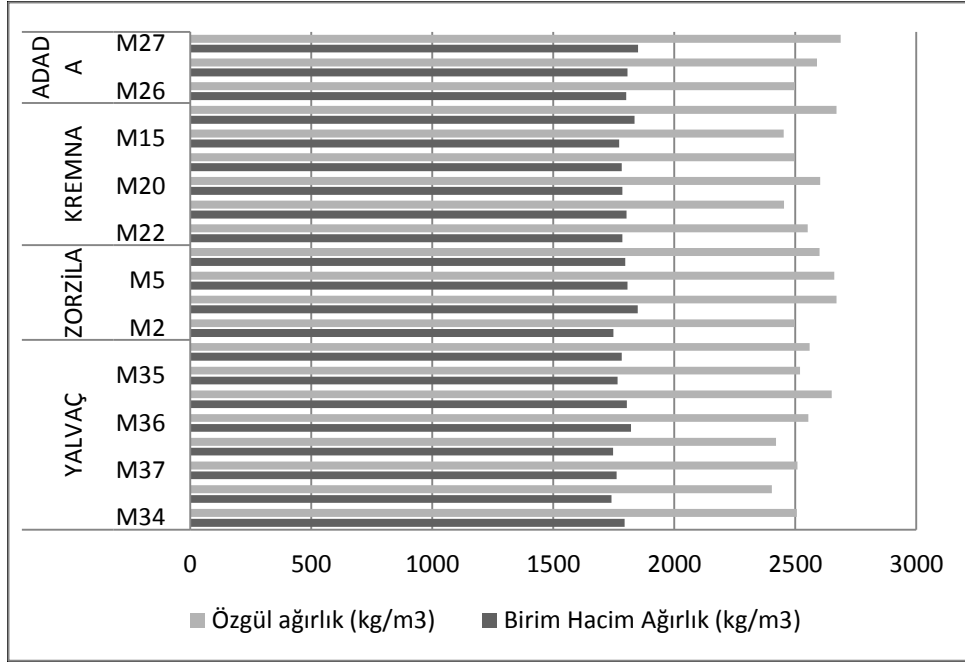
4.2.1.3. Harç örneklerinin fiziksel özelliklerinin incelenmesi

Hacimce su emme ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.7.'de verilmiştir. Şekil 4.7. incelendiğinde hacimce su emme değerleri %20,74 ile %30,03 arasında olduğu gözlemlenmiştir. En düşük hacimce su emme değeri Adada bölgesi numunesinde %20,74 olarak tespit edilmiştir. En yüksek hacimce su emme değeri Yalvaç bölgesinde %30,03 olarak bulunmuştur. Numuneler üzerinde yapılan ağırlıkça su emme deneyi sonucunda ağırlıkça su emme değerleri %12,29 ile %16,85 arasında kaldığı tespit edilmiştir. En düşük ağırlıkça su emme değeri Adada bölgesi numunesinde %12,29 olarak tespit edilmiştir. En yüksek ağırlıkça su emme değeri Kremna bölgesinde %16,85 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.7. Harç numunelerin hacimce su emme (%) ve ağırlıkça su emme (%) değişim grafiği

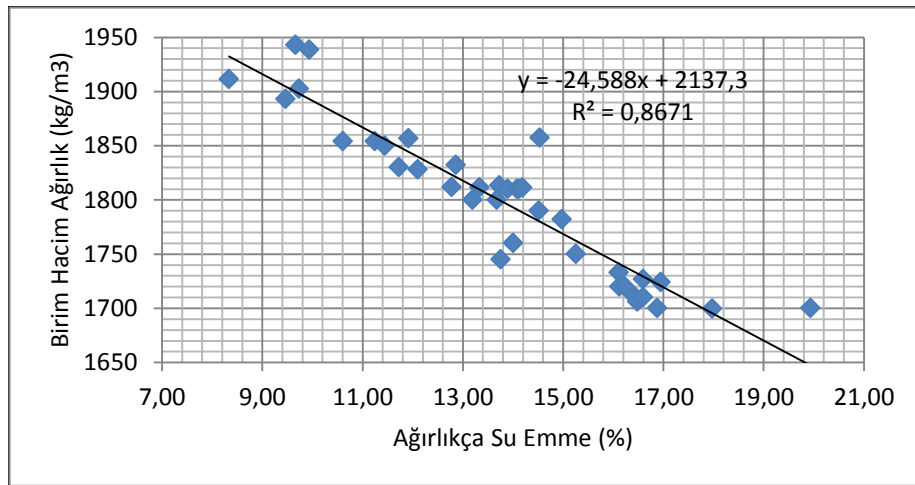
Özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.8.'de verilmiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde özgül ağırlık değerleri 2.403 kg/m³ ile 2.688 kg/m³ arasında olduğu gözlemlenmiştir. En düşük özgül ağırlık değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 2.403 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. En yüksek özgül ağırlık değeri Adada bölgesinde 2.688 kg/m³ olarak bulunmuştur. Numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık deneyi sonucunda birim hacim ağırlık 1.740 kg/m³ ile 1.850 kg/m³ arasında kaldığı tespit edilmiştir. En düşük birim hacim ağırlık değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 1.740 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. En yüksek birim hacim ağırlık değeri Adada bölgesinde 1.851 kg/m³ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.8. Harç numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ve birim hacim ağırlık kg/m³ değişim grafiği

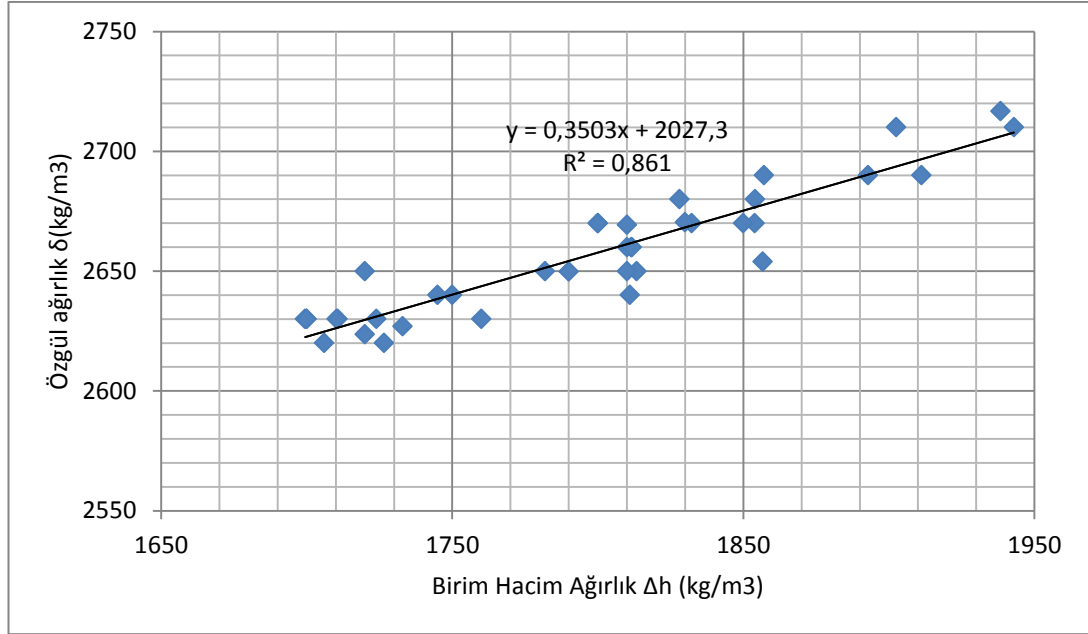
4.2.1.4. Tuğla, taş ve harç numunelerinin regresyon (determinasyon) katsayıları ve excel grafikleri

Birim hacim ağırlık ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.9.'da verilmiştir. Şekil 4.9. incelendiğinde tuğla numunelerinde $R^2 = 0,8671$ olarak bulunmuştur. Regresyon katsayısı yüksek değerdedir. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -24,588x + 2137,3$ olarak bulunmuştur.



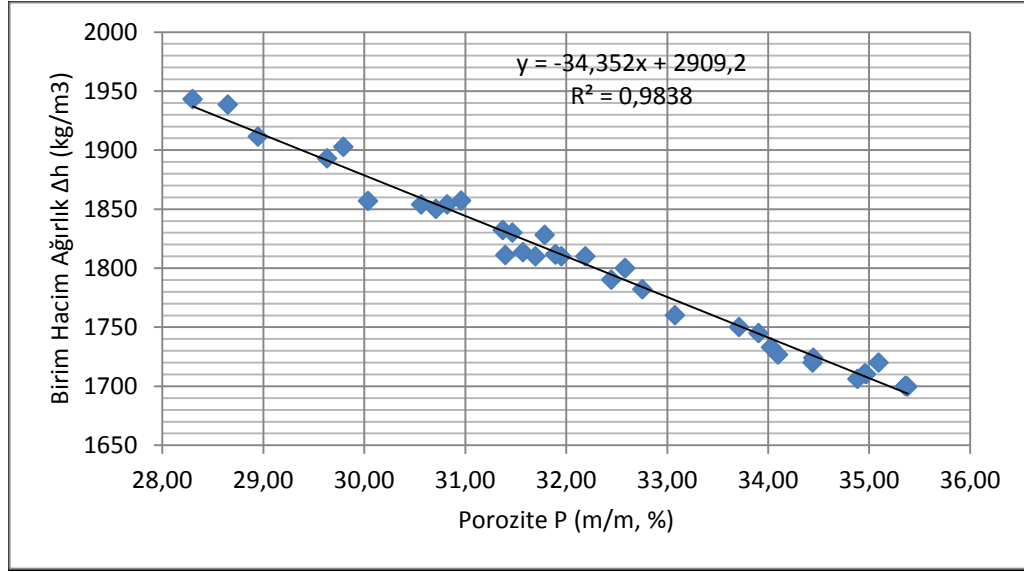
Şekil 4.9. Tuğla numunelerin birim hacim kg/m³ ağırlık ve ağırlıkça su emme % grafiği

Birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.10.'da verilmiştir. Tuğla numunelerinde birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,861$ olarak bulunmuştur. Regresyon katsayısı yüksek değerdedir. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,3503X - 2027,3$ olarak bulunmuştur.



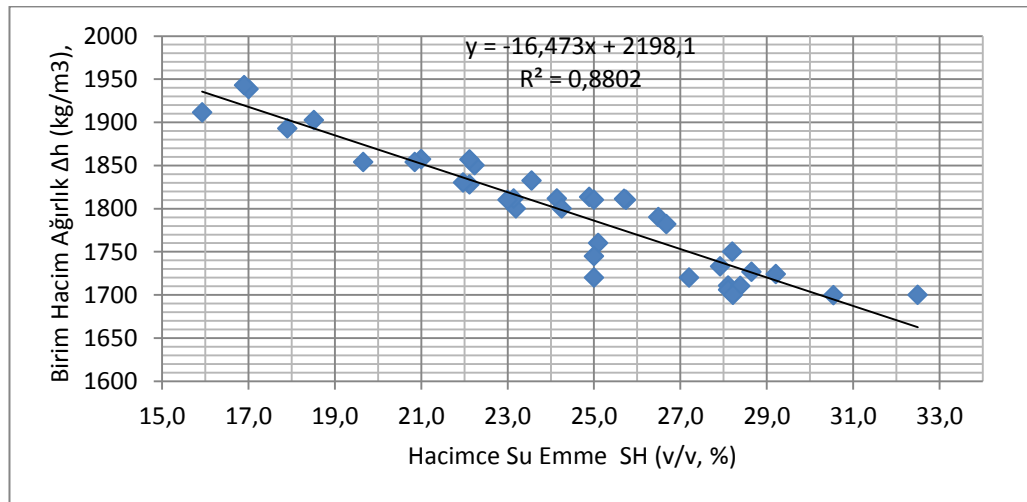
Şekil 4.10. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık kg/m^3 ve özgül ağırlık kg/m^3 grafiği

Birim hacim ağırlık ve porozite değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.11.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde birim hacim ağırlık ve porozite grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,9838$ olarak bulunmuştur. Regresyon katsayısı yüksek değerdedir. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-34.352X - 2909,2$ olarak bulunmuştur.



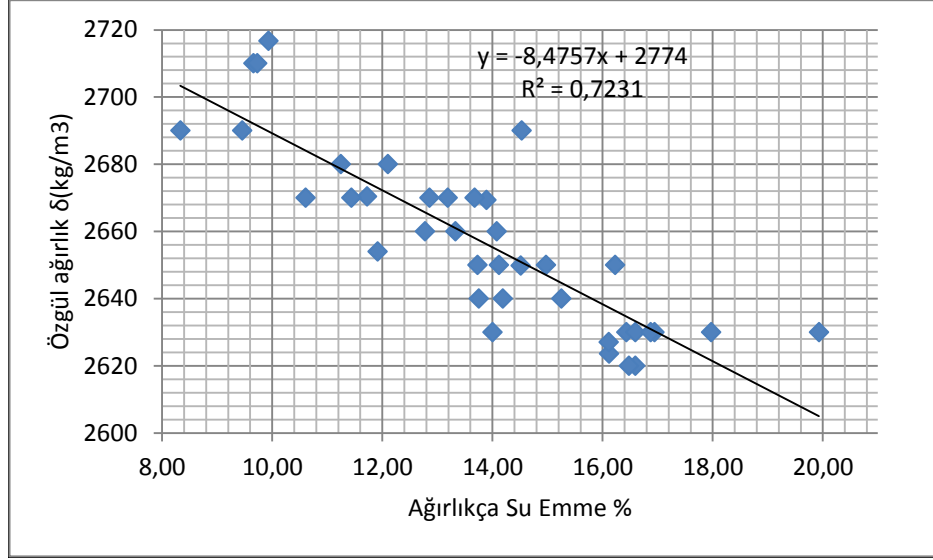
Şekil 4.11. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık kg/m³ ve porozite % grafiği

Birim hacim ağırlık ve hacimce su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.12.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde birim hacim ağırlık ve hacimce su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,8802$ olarak bulunmuştur. katsayısı yüksek değerdedir. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -16,473X - 2198,1$ olarak bulunmuştur.



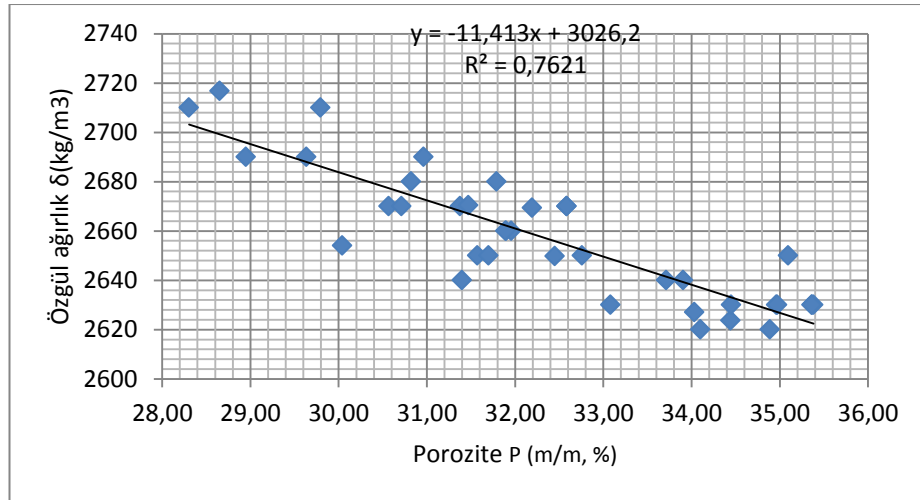
Şekil 4.12. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık % ve hacimce su emme% grafiği

Özgöl ağırlık ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.13.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgöl ağırlık ve ağırlıkça su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7231$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -8,4757X + 2774$ olarak bulunmuştur.



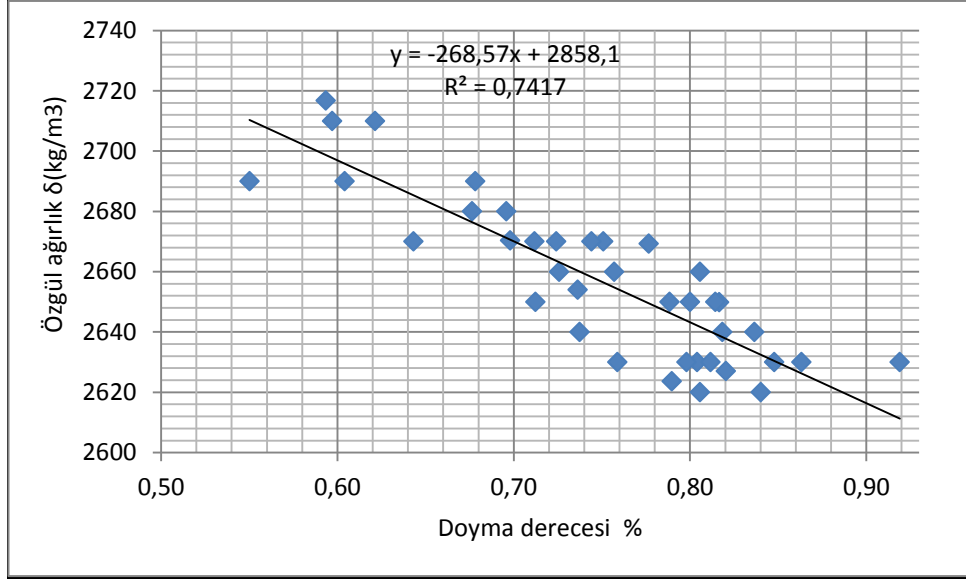
Şekil 4.13. Tuğla numunelerin özgöl ağırlık kg/m^3 ve ağırlıkça su emme % grafiği

Özgöl ağırlık ve porozite değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.14.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgöl ağırlık ve porozite grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7621$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -11,413X + 3026,2$ olarak bulunmuştur.



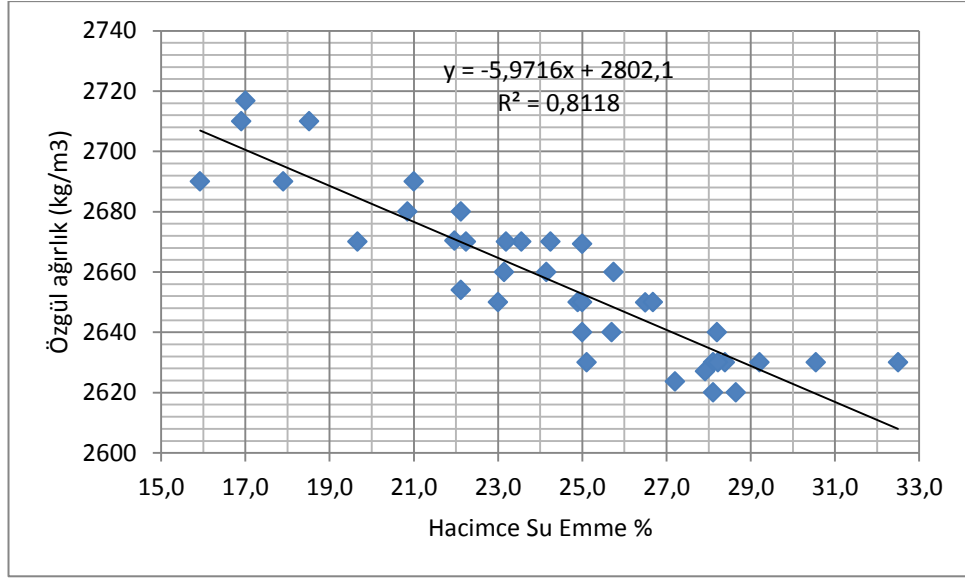
Şekil 4.14. Tuğla numunelerin özgöl ağırlık kg/m^3 ve porozite % grafiği

Özgöl ağırlık ve doyma derecesi değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.15.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgöl ağırlık ve doyma derecesi grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7417$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -268,57X + 2858,1$ olarak bulunmuştur.



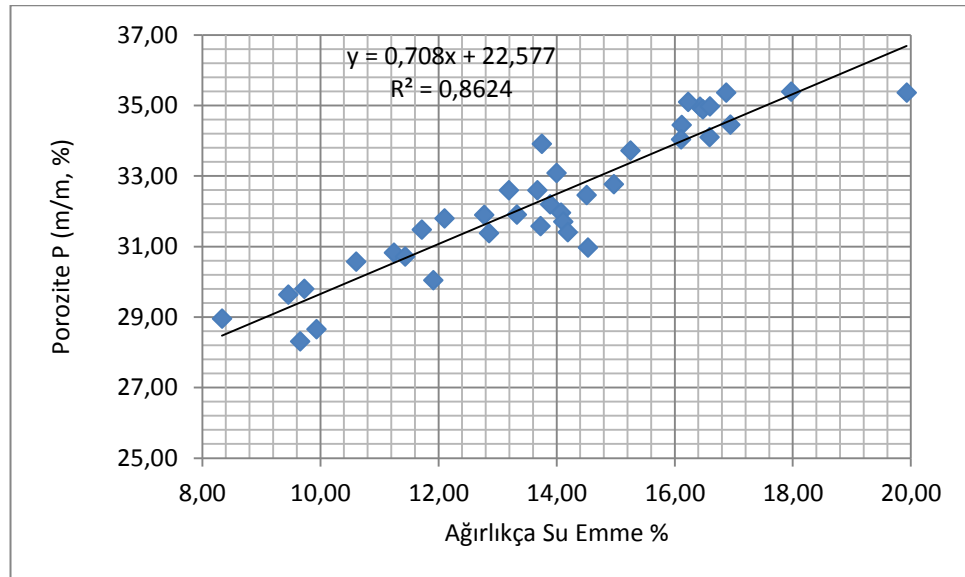
Şekil 4.15. Tuğla numunelerin özgöl ağırlık kg/m³ ve doyma derecesi % grafiği

Özgöl ağırlık ve hacimce su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.16.'da verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgöl ağırlık ve hacimce su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,8118$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -5,9716X + 2802,1$ olarak bulunmuştur.



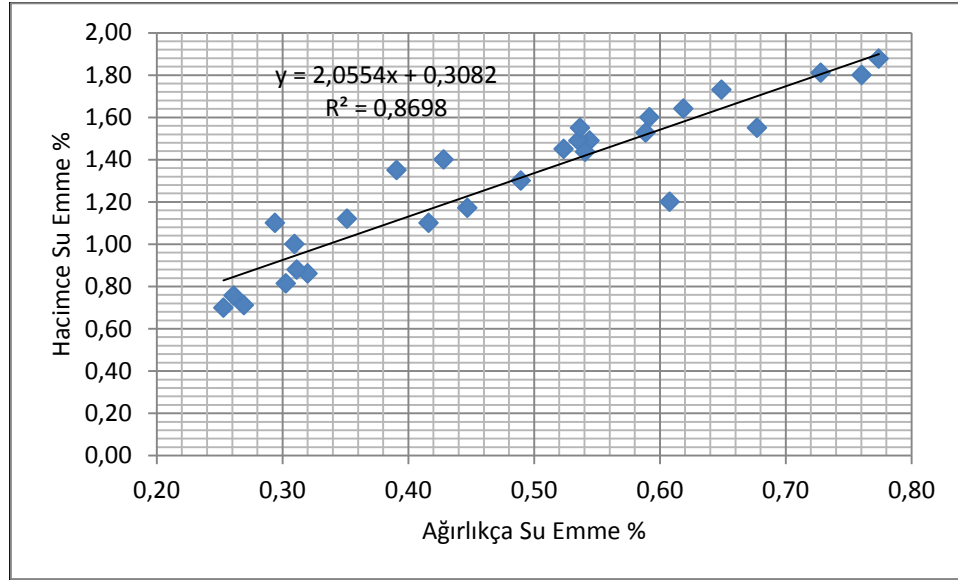
Şekil 4.16. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ve hacimce su emme % grafiği

Porozite ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.17.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde ağırlıkça su emme ve porozite grafiği incelendiğinde $R^2=0,8624$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-0,708X+22,577$ olarak bulunmuştur.



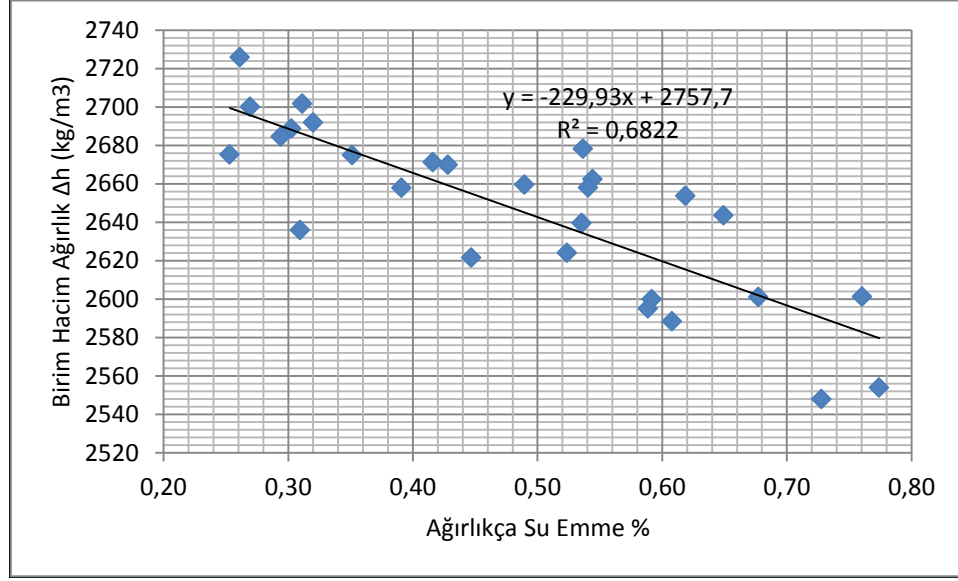
Şekil 4.17. Tuğla numunelerin ağırlıkça su emme % ve porozite % grafiği

Taş numunelerin hacimce su emme ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.18.'de verilmiştir. Taş numunelerinde hacimce su emme ve ağırlıkça su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,8698$ olarak bulunmuştur. Aralarında yüksek kat sayısı tespit edilmiştir. Bu verilerden elde edilen denklem $y=2,0554X + 0,3082$ olarak bulunmuştur.



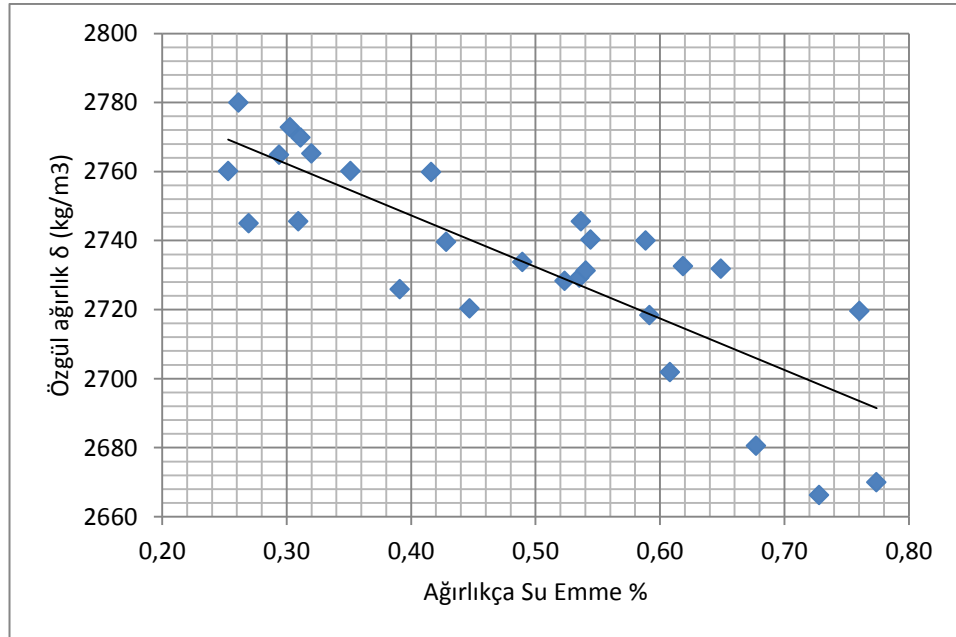
Şekil 4.18. Taş numunelerin hacimce su emme % ve ağırlıkça su emme % grafiği

Birim hacim ağırlık ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.19.'da verilmiştir. Taş numunelerinde birim hacim ağırlık ve ağırlıkça su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,6822$ olarak belirlenmiştir ve bu verilerden elde edilen denklem $y=-229,93X + 2757,7$ olarak bulunmuştur.



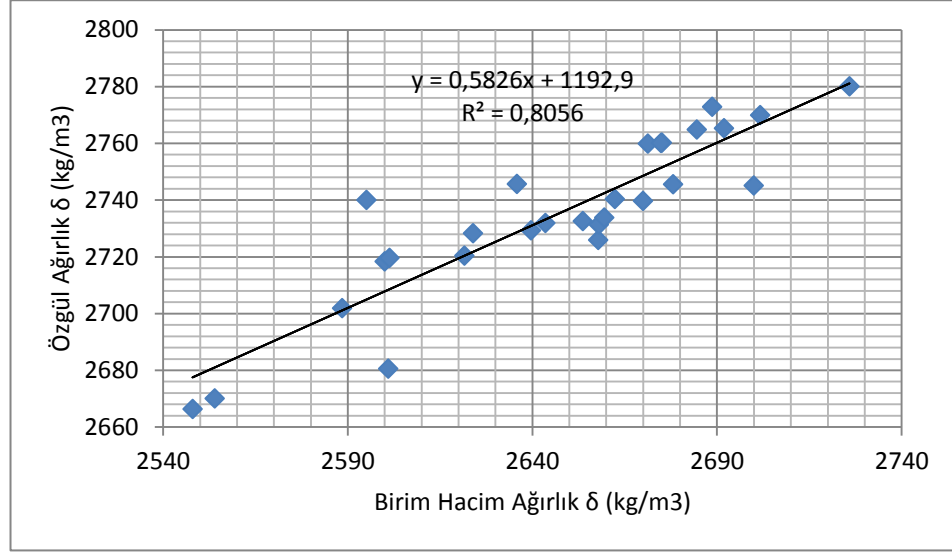
Şekil 4.19. Taş numunelerin birim hacim ağırlık kg/m³ ve ağırlıkça su emme % grafiği

Özgöl ağırlık ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.20.'de verilmiştir. Taş numunelerinde özgül ağırlık ve ağırlıkça su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,6826$ olarak belirlenmiştir ve bu verilerden elde edilen denklem $y = -149,31X + 2807$ olarak bulunmuştur.



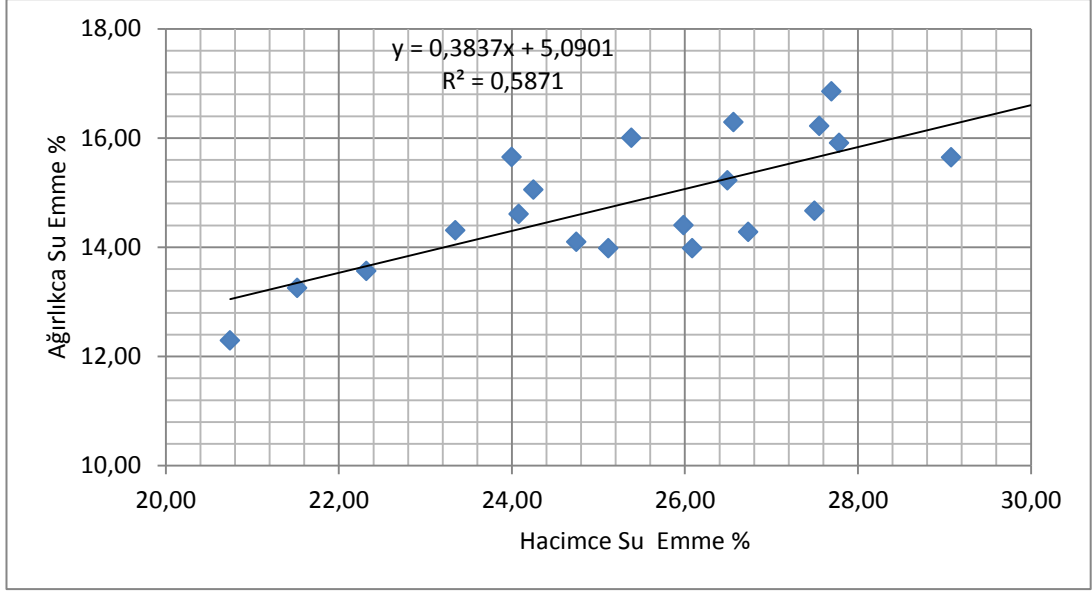
Şekil 4.20. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ve ağırlıkça su emme % grafiği

Taş numunelerinde, özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.21.'de verilmiştir. Şekil 4.21.'deki özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık grafiği incelendiğinde $R^2=0,8056$ olarak bulunmuştur. Aralarında yüksek regresyon kat sayısı tespit edilmiştir. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,5826X + 1192,9$ olarak bulunmuştur



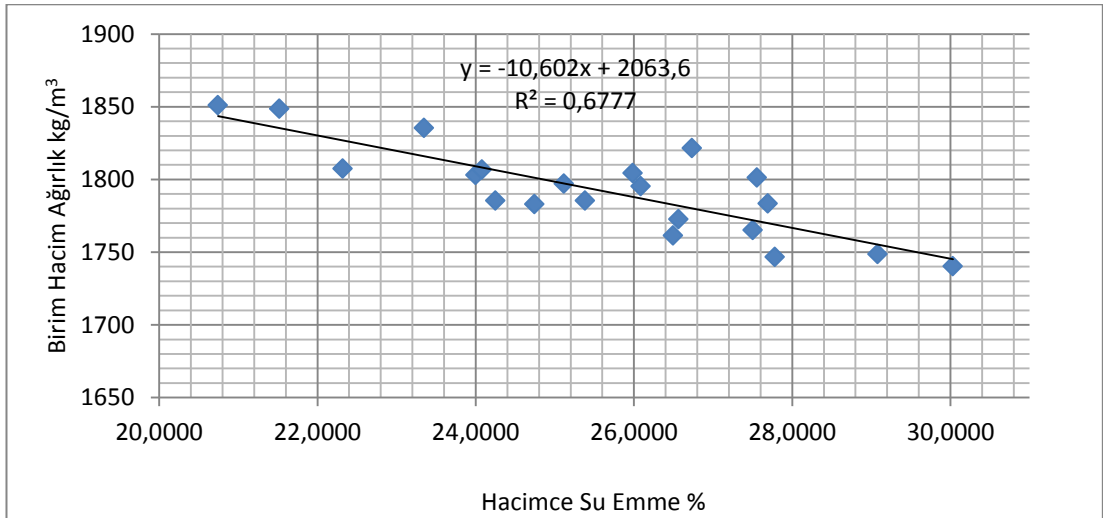
Şekil 4.21. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve birim hacim ağırlık kg/m^3 grafiği

Harç numunelerinde, hacimce su emme ve ağırlıkça su emme değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.22.'de verilmiştir. Şekil 4.22'deki hacimce su emme ve ağırlıkça su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,6826$ olarak belirlenmiştir ve bu verilerden elde edilen denklem $y=0,3837X+0,5871$ olarak bulunmuştur.



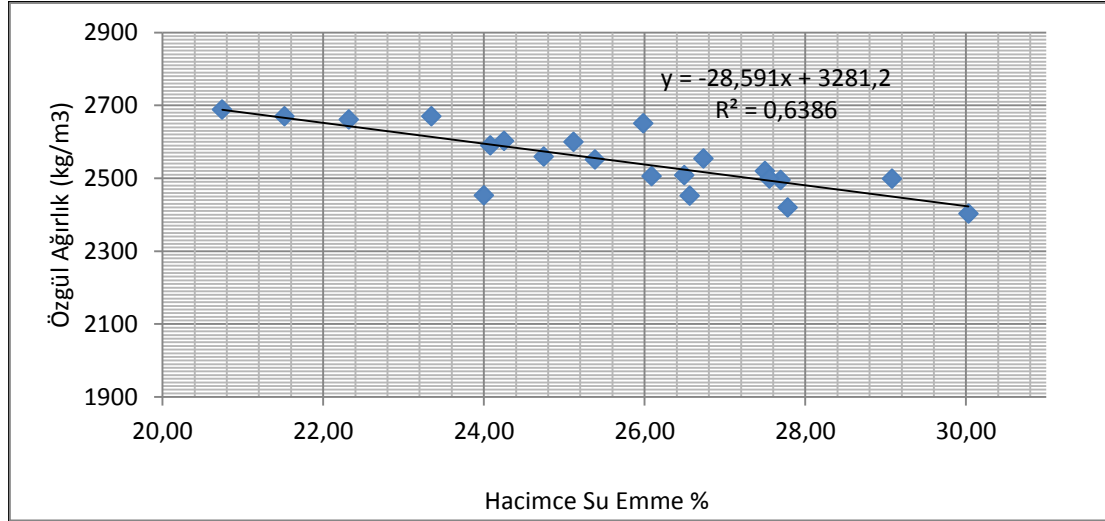
Şekil 4.22. Harç numunelerin hacimce su emme % ve ağırlıkça su emme % grafiği

Harç numunelerinde özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.23.'de verilmiştir. 4.23.'deki harç numunelerinde birim hacim ağırlık ve hacimce su emme grafiği incelendiğinde $R^2=0,6777$ olarak belirlenmiştir ve bu verilerden elde edilen denklem $y=-10,602x + 2063,6$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.23. Harç numunelerin birim hacim ağırlık kg/m^3 ve hacimce su emme % grafiği

Harç numunelerinde özgül ağırlık ve birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.24.'de verilmiştir. Harç numunelerinde özgül ağırlık ve hacimce su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,6386$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -28,591X + 3281,2$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.24. Harç numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ve hacimce su emme % grafiği

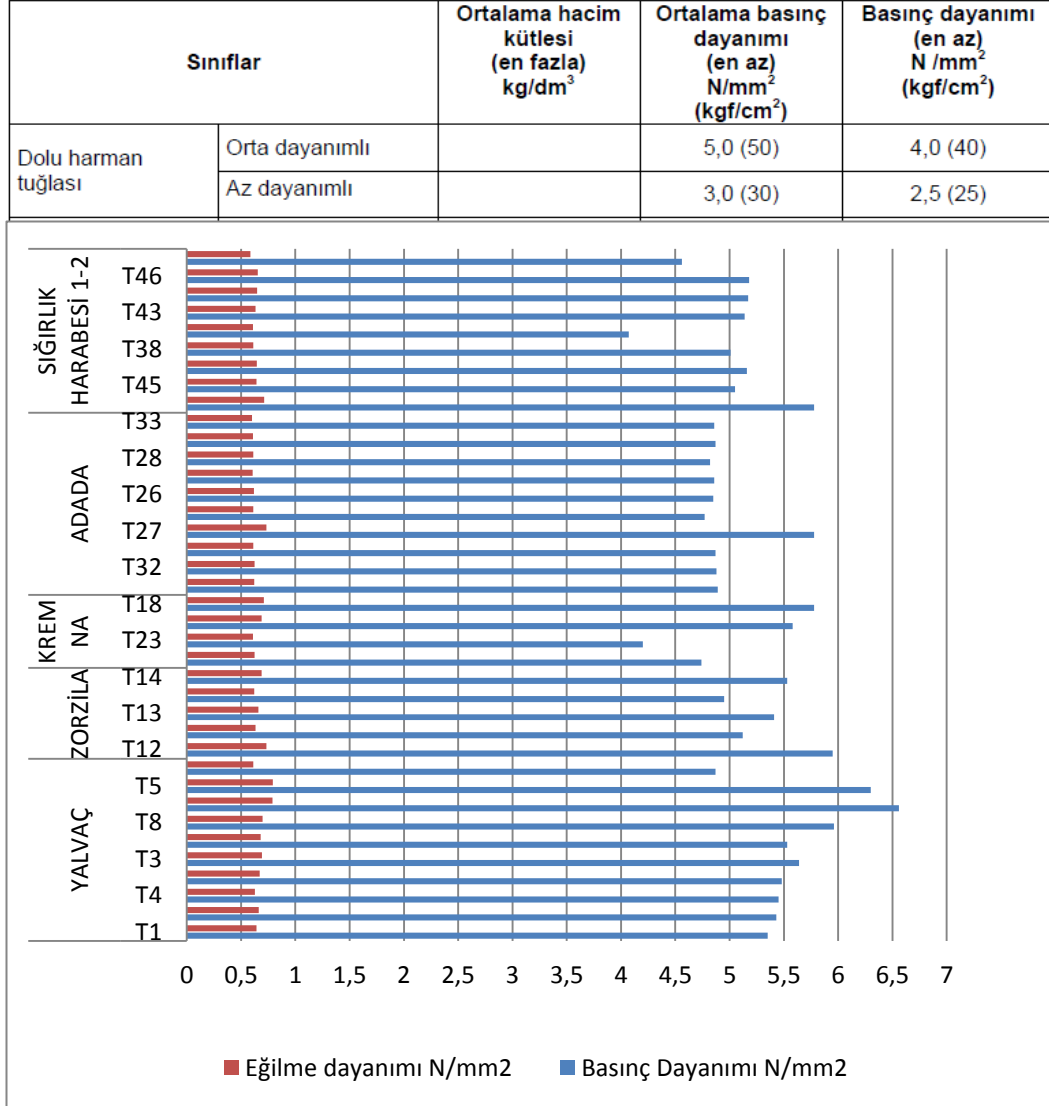
4.2.2 Tuğla taş ve harç örneklerin mekanik özelliklerinin incelenmesi

Çalışmamızın bu kısmında Bölüm 3.1.4.'te belirtilen antik kentler ve harabelerdeki yapılardan alınan tuğla, taş ve harç numunelerin mekanik (basınç dayanımı, eğilme dayanımı, noktasal yük indeksi, schmidt, ultrases hızı) özellikleri ve bölgesel değerlendirmeleri yapılmıştır. . Bununla beraber excel çizimleri yapılarak (determinasyon) kat sayıları hesaplanmıştır. Ayrıca tüm deney grafikleri Ek-2'de sunulmuştur.

4.2.2.1 Tuğla örneklerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi

Tuğla numunelerinde basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.25.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde basınç dayanım değerleri 4,07 N/mm² ile 6,65 N/mm² arasında olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 6,65 N/mm² olarak tespit edilmiştir. En düşük basınç dayanımı değeri Sığırlık harabesi bölgesinde 4,07

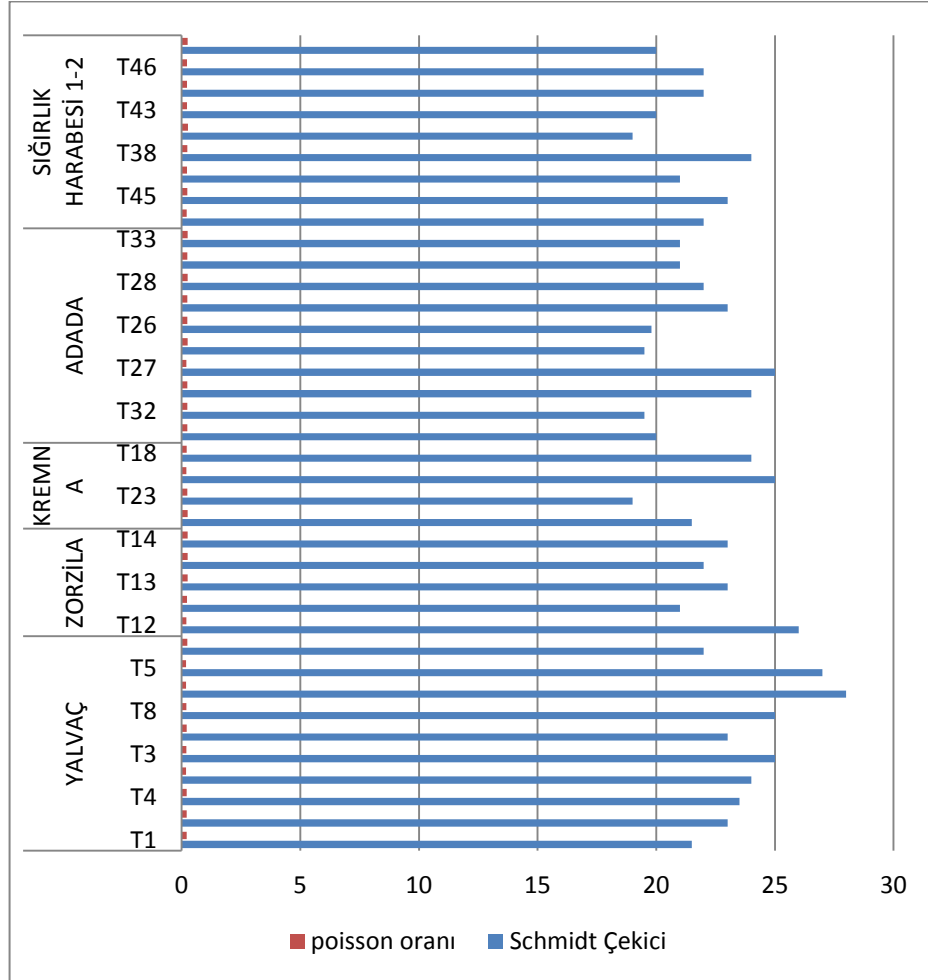
N/mm^2 olarak bulunmuştur. Basınç dayanımları incelendiğinde TS EN 771-1 standardında belirtilen dolu harman tuğlaları sınıfında orta dereceli dayanım değerinde olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.25 incelendiğinde eğilme dayanımları $0,58 N/mm^2$ ile $0,79 N/mm^2$ arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük eğilme dayanımı Sığırılık bölgesi numunesinde $0,58 N/mm^2$ olarak gözlemlenmiştir. En yüksek eğilme dayanımı Yalvaç bölgesinde $0,79 N/mm^2$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.25. Tuğla numunelerin basınç dayanımı N/mm^2 ve eğilme dayanımı N/mm^2 ölçüm grafiği ve TSE- EN 771-1 değerleri

Tuğla numunelerinde schmidt çekici ve poisson oranı arasındaki ilişki Şekil 4.26.'da verilmiştir. Şekil 4.26 da görüldüğü üzere schmidt Çekici değerleri 19 ile 28 arasında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek schmidt çekici değeri Yalvaç

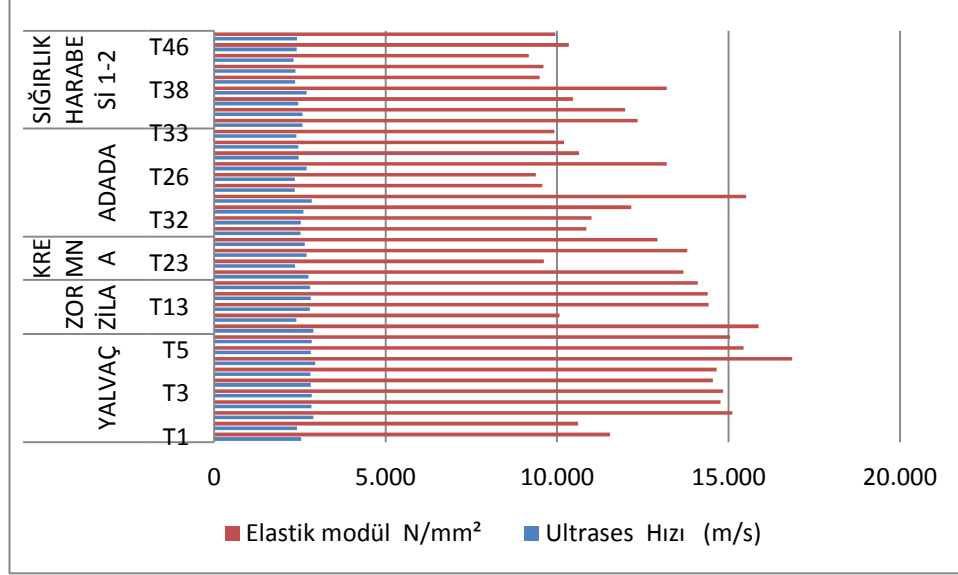
bölgesi numunesinde 28 olarak tespit edilmiştir. En düşük schmidt çekici değeri Kremna ve Sığırılık harabesi bölgelerinde 19 olarak bulunmuştur. Şekil 4.26. incelendiğinde poisson oranları 0,18 ile 0,26 arasında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek poisson oranı değeri Sığırılık bölgesi numunesinde 0,26 olarak tespit edilmiştir. En düşük poisson oranı değeri Yalvaç bölgesinde 0,18 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.26. Tuğla numunelerin schmidt çekici ve poisson oranı grafiği

Tuğla numunelerinde elastik modül ve ultrases hızı arasındaki ilişki Şekil 4.27.'de verilmiştir. Şekil 4.27.'de incelendiğinde ultrases hızı değerleri 2.310 m/s ile 2.950 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ultrases hızı değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 2.950 m/s olarak tespit edilmiştir. En düşük ultrases hızı değeri Sığırılık harabesi bölgesinde 2.310 m/s olarak bulunmuştur.

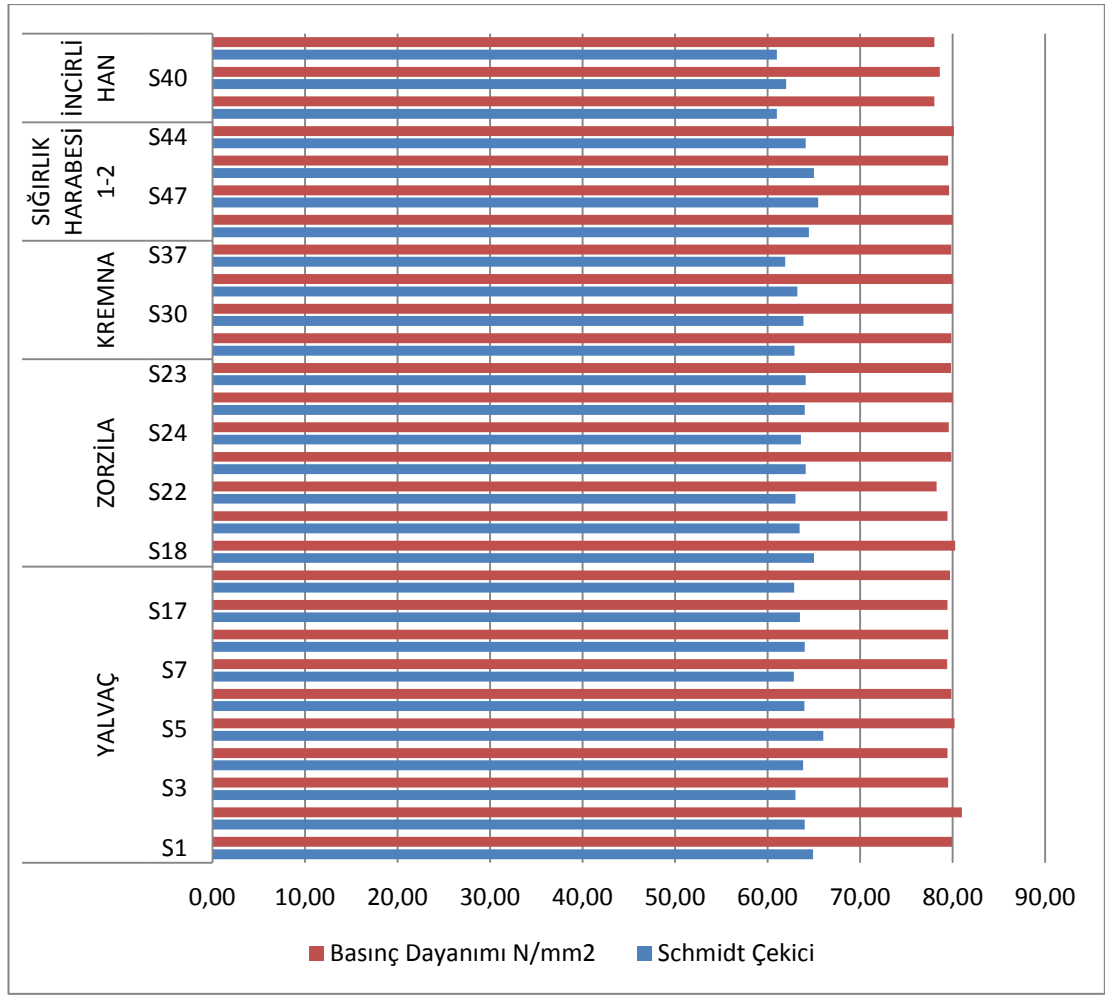
Şekil 4.27. incelendiğinde elastik modül değerleri 9.172 N/mm^2 ile 16.858 N/mm^2 arasında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek elastik modül değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 16858 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. En düşük elastik modül değeri Sığırılık harabesi bölgesinde 9.172 N/mm^2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.27. Tuğla numunelerin elastik modül N/mm^2 ve ultrases hızı m/s ölçüm grafiği

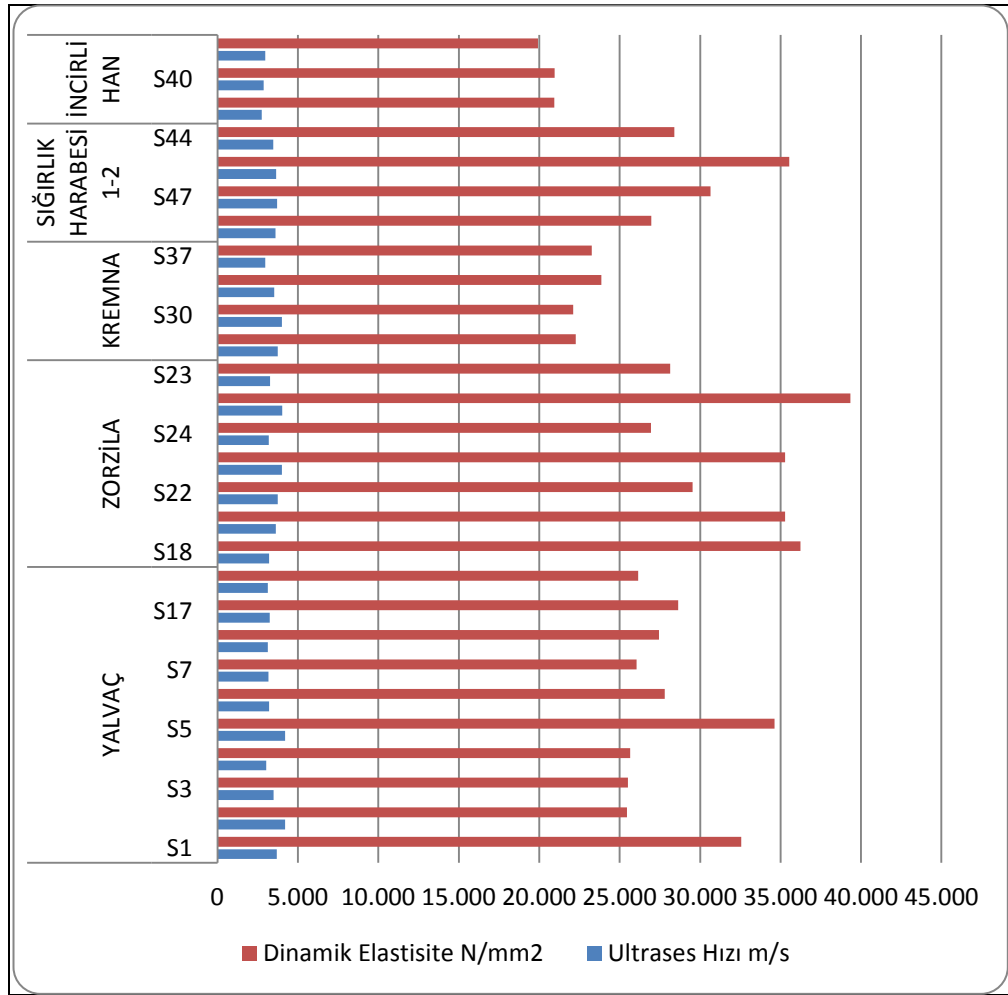
4.2.2.2 Taş örneklerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi

Taş numunelerinde schmidt çekici ve basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.28.'da verilmiştir. Şekil 4.28 incelendiğinde schmidt çekici 61 ile 66 arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük schmidt çekici değeri İncirli Han bölgesi numunesinde 61 olarak tespit edilmiştir. En yüksek schmidt çekici değeri Yalvaç bölgesinde 66 olarak bulunmuştur. Veriler ışığında Şekil 4.28. incelendiğinde basınç dayanımı 78 N/mm^2 ile 81 N/mm^2 arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük basınç dayanımı değeri İncirli Han bölgesi numunesinde 78 olarak tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı değeri Yalvaç bölgesinde 81 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.28. Taş numunelerin schmidt çekici ve basınç dayanımı N/mm² değeri grafiği

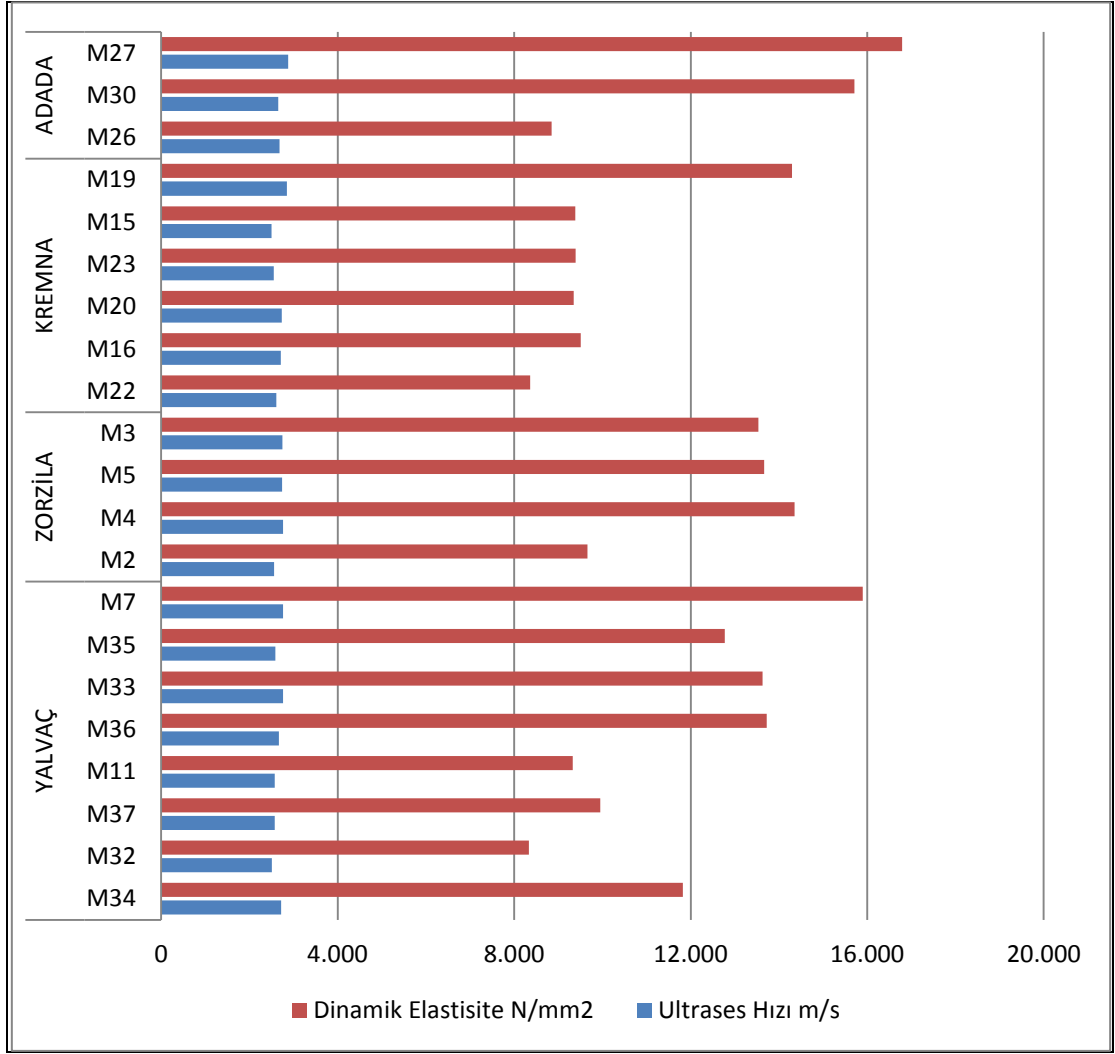
Taş numunelerinde ultrases hızı ve dinamik elastisite arasındaki ilişki Şekil 4.29.'da verilmiştir. Şekil 4.29. incelendiğinde ultrases hızı 2.750 m/s ile 4.200 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük ultrases hızı değeri İncirli Han bölgesi numunesinde 2.750 m/s olarak belirlenmiştir. En yüksek ultrases Hızı değeri Yalvaç bölgesinde 4.200 m/s olarak bulunmuştur. Şekil 4.29. incelendiğinde dinamik elastisite 19.927 N/mm² ile 39.342 N/mm² arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük dinamik elastisite değeri İncirli Han bölgesi numunesinde 19.927 N/mm² olarak tespit edilmiştir. En yüksek dinamik elastisite değeri Zorzila bölgesinde 39.342 N/mm² olarak bulunmuştur.



Şekil 4.29. Taş numunelerin ultrases hızı m/s ve dinamik elastisite N/mm² değişim grafiği

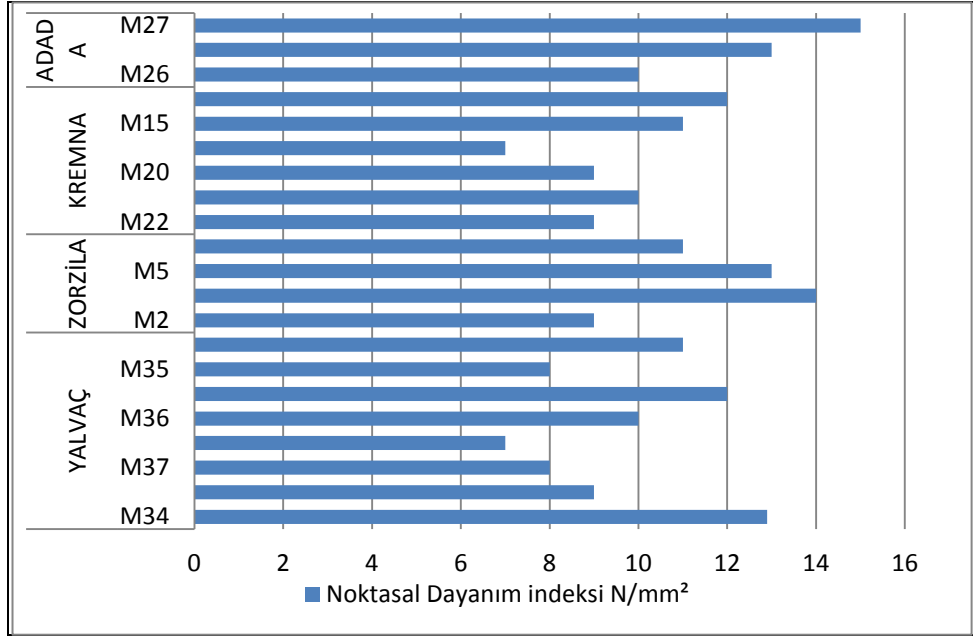
4.2.2.3 Harç örneklerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi

Harç numunelerinde ultrases hızı ve dinamik elastisite arasındaki ilişki Şekil 4.30.'da verilmiştir. Şekil 4.30. incelendiğinde ultrases Hızı 2.500 m/s ile 2.880 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük ultrases hızı değeri Kremna bölgesi numunesinde 2.500 m/s olarak belirlenmiştir. En yüksek ultrases hızı değeri Adada bölgesinde 2.880 m/s olarak bulunmuştur. Şekil 4.30 incelendiğinde dinamik elastisite değeri 8.333 N/mm² ile 16.790 N/mm² arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük dinamik elastisite değeri Yalvaç bölgesi numunesinde 8.333N/mm² olarak tespit edilmiştir. En yüksek dinamik elastisite değeri Adada bölgesinde 16.790 N/mm² olarak bulunmuştur.



Şekil 4.30. Harç numunelerin ultrases hızı m/s ve dinamik elastisite N/mm² değişim grafiği

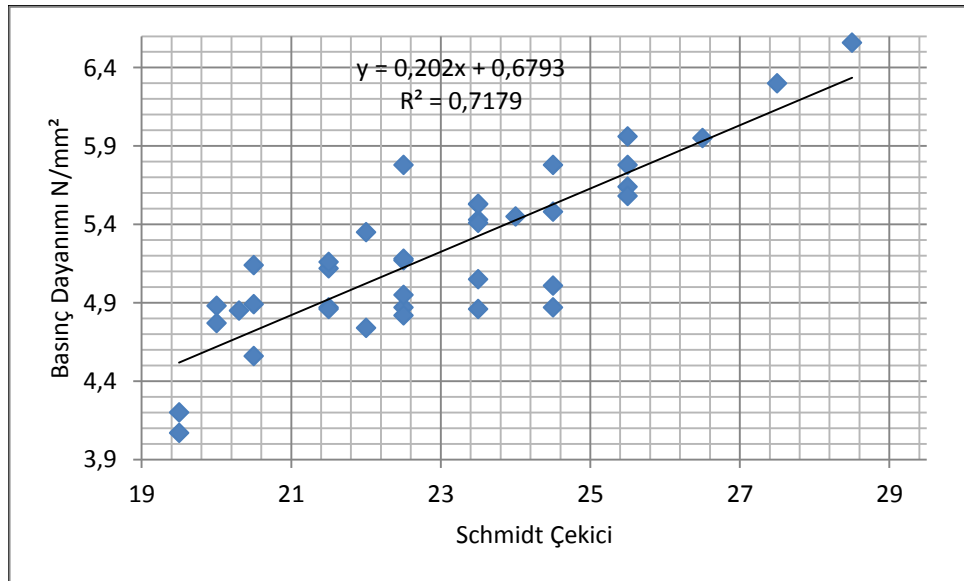
Harç numunelerinde noktasal dayanım indeksi (Is_{50}) Şekil 4.31.'de verilmiştir. Şekil 4.31. incelendiğinde noktasal dayanım indeksi 15,00N/mm² ile 7,00 N/mm² arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük noktasal dayanım indeksi değeri Kremna ve Yalvaç bölgesinde 7,00 N/mm² olarak tespit edilmiştir. En yüksek noktasal dayanım indeksi değeri Adada bölgesinde 15,00 N/mm² olarak bulunmuştur.



Şekil 4.31. Harç numunelerin noktasal dayanım indeksi N/mm² grafiği

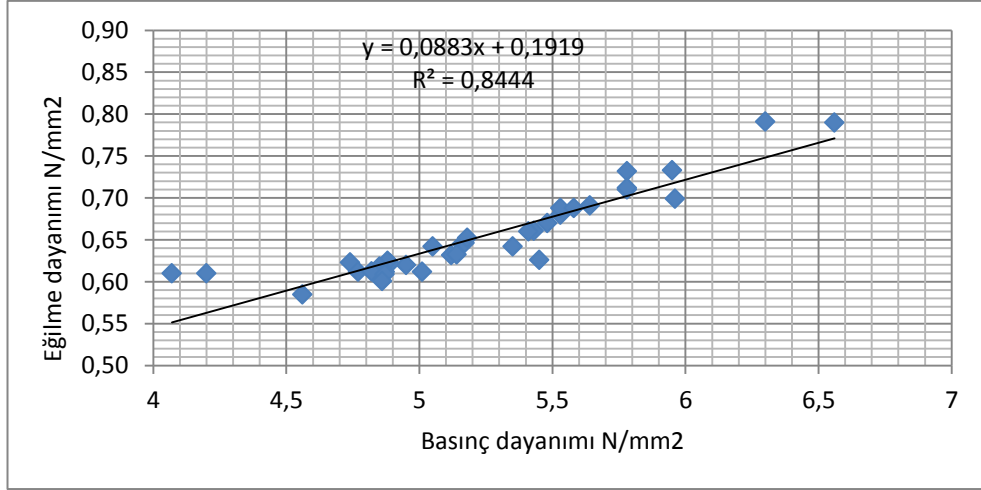
4.2.2.4 Tuğla, taş ve harç örneklerinin excel grafikleri ve regresyon katsayıları

Tuğla numunelerinde schmidt çekici basınç dayanımı grafiği Şekil 4.32.'da verilmiştir. Tuğla numunelerinde schmidt çekici basınç dayanımı grafiği incelendiğinde $R^2=0,7179$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-0,202X+0,6793$ olarak bulunmuştur.



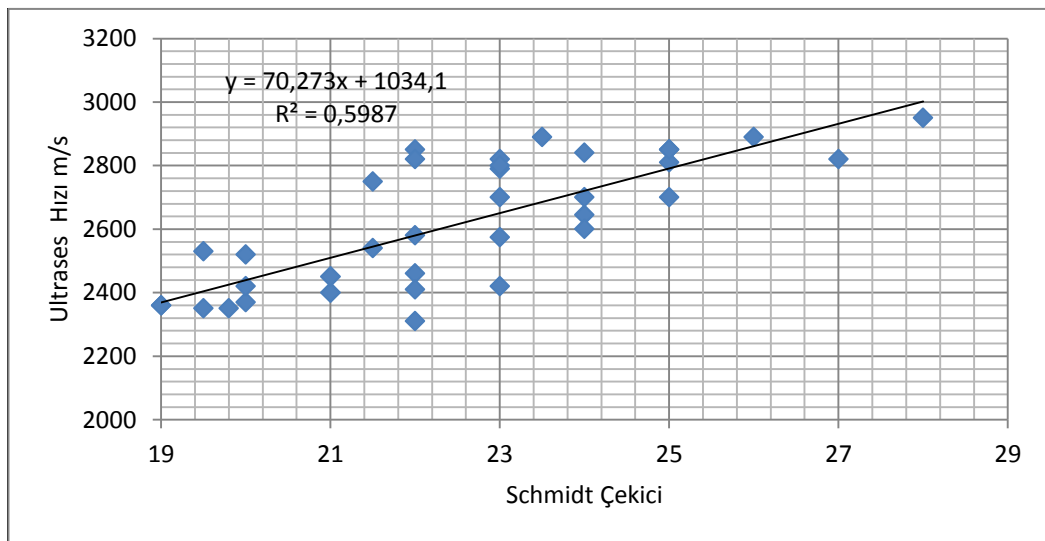
Şekil 4.32. Tuğla numunelerin schmidt çekici basınç dayanımı N/mm² grafiği

Tuğla numunelerinde eğilme dayanımı basınç dayanımı grafiği Şekil 4.33.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde eğilme dayanımı basınç dayanımı grafiği incelendiğinde $R^2=0,8444$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-0,0883X+0,1919$ olarak bulunmuştur.



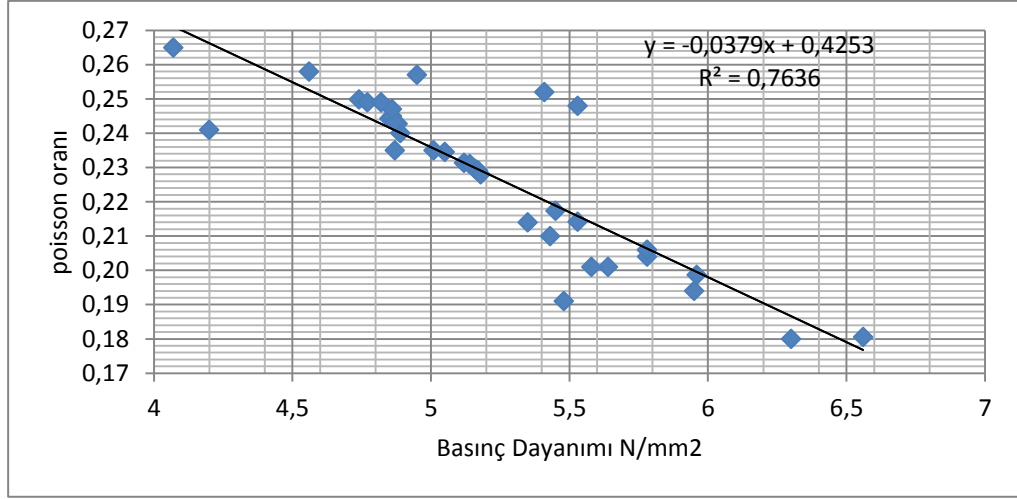
Şekil 4.33. Tuğla numunelerin eğilme N/mm² dayanımı basınç dayanımı N/mm² grafiği

Tuğla numunelerinde ultrases hızı, schmidt grafiği Şekil 4.34.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde ultrases hızı, schmidt çekici grafiği incelendiğinde $R^2=0,5987$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-70,2723X+1034,1$ olarak bulunmuştur.



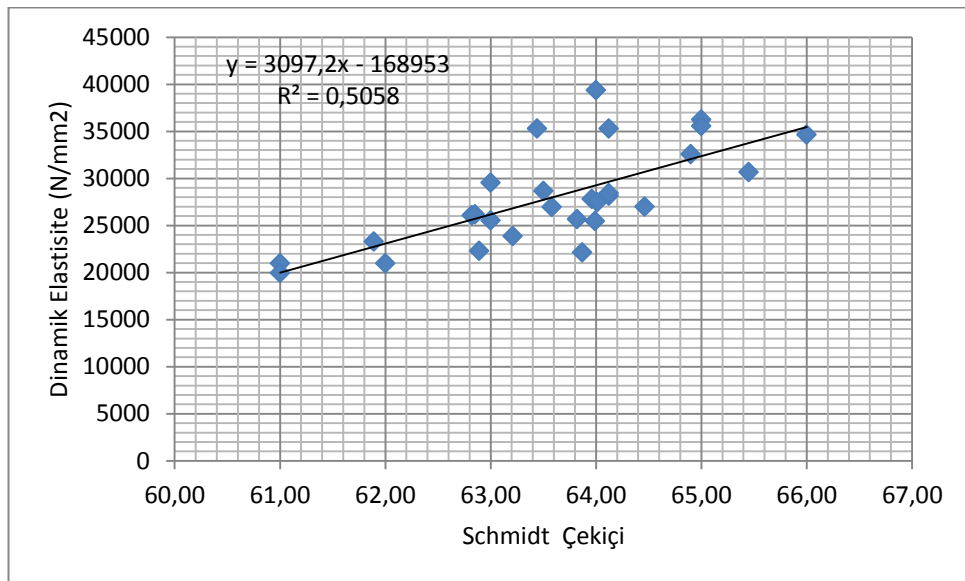
Şekil 4.34. Tuğla numunelerin ultrases hızı m/s, schmidt çekici grafiği

Tuğla numunelerinde poisson oranı, basınç dayanım grafiği Şekil 4.35.'te verilmiştir. Tuğla numunelerinde poisson oranı, basınç dayanım grafiği incelendiğinde $R^2=0,7636$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-0,0379X+0,4253$ olarak bulunmuştur.



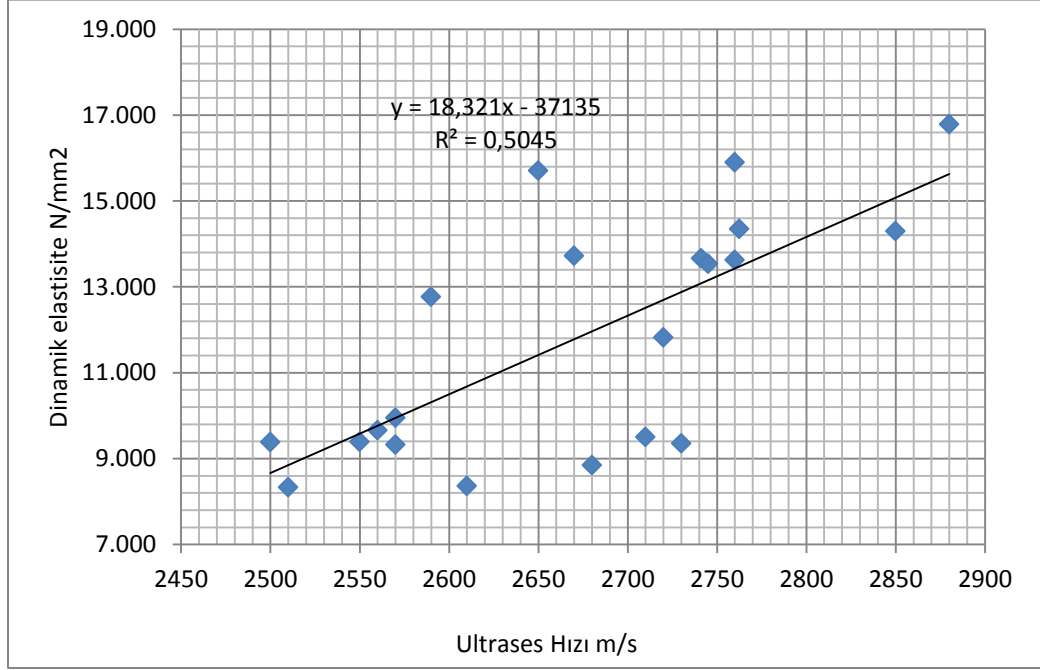
Şekil 4.35. Tuğla numunelerin poisson oranı, basınç dayanım N/mm² grafiği

Taş numunelerinde dinamik elastisite, schmidt grafiği Şekil 4.36.'da verilmiştir. Tuğla numunelerinde dinamik elastisite, schmidt grafiği incelendiğinde $R^2=0,5058$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-3097,2X+168953$ olarak bulunmuştur.



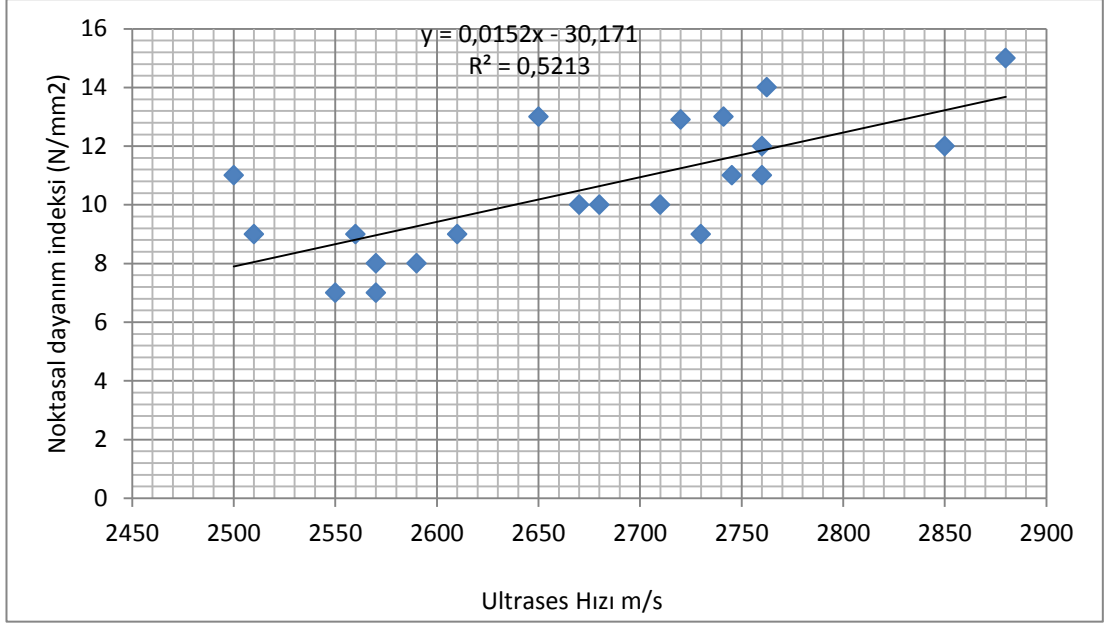
Şekil 4.36. Taş numunelerin dinamik elastisite N/mm², Schmidt grafiği

Harç numunelerinde dinamik elastisite ultrases hızı grafiği Şekil 4.37.'de verilmiştir. Harç numunelerinde dinamik elastisite ultrases hızı grafiği incelendiğinde $R^2=0,5045$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=18,312X-37135$ olarak bulunmuştur.



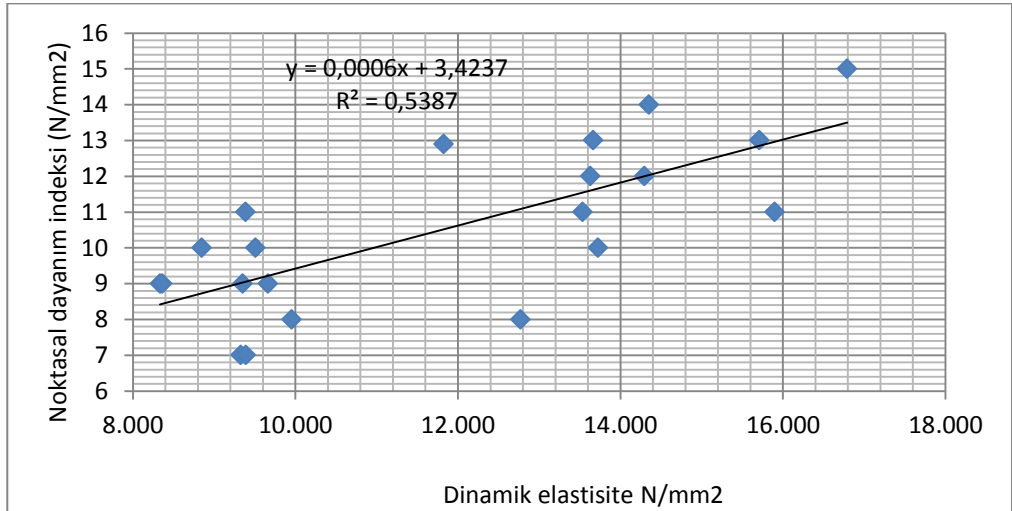
Şekil 4.37. Harç numunelerin dinamik elastisite N/mm² ultrases hızı m/s grafiği

Harç numunelerinde noktasal dayanım indeksi, ultrases hızı grafiği Şekil 4.38.'de verilmiştir. Harç numunelerinde noktasal dayanım indeksi, ultrases hızı grafiği incelendiğinde $R^2=0,5213$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,0152X-30,171$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.38. Harç numunelerin noktasal dayanım indeksi N/mm², ultrases hızı m/s grafiği

Harç numunelerinde noktasal dayanım indeksi, dinamik elastisite grafiği Şekil 4.39.'da verilmiştir. Harç numunelerinde noktasal dayanım indeksi, ultrases hızı grafiği incelendiğinde $R^2=0,5213$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,0152X-30,171$ olarak bulunmuştur.



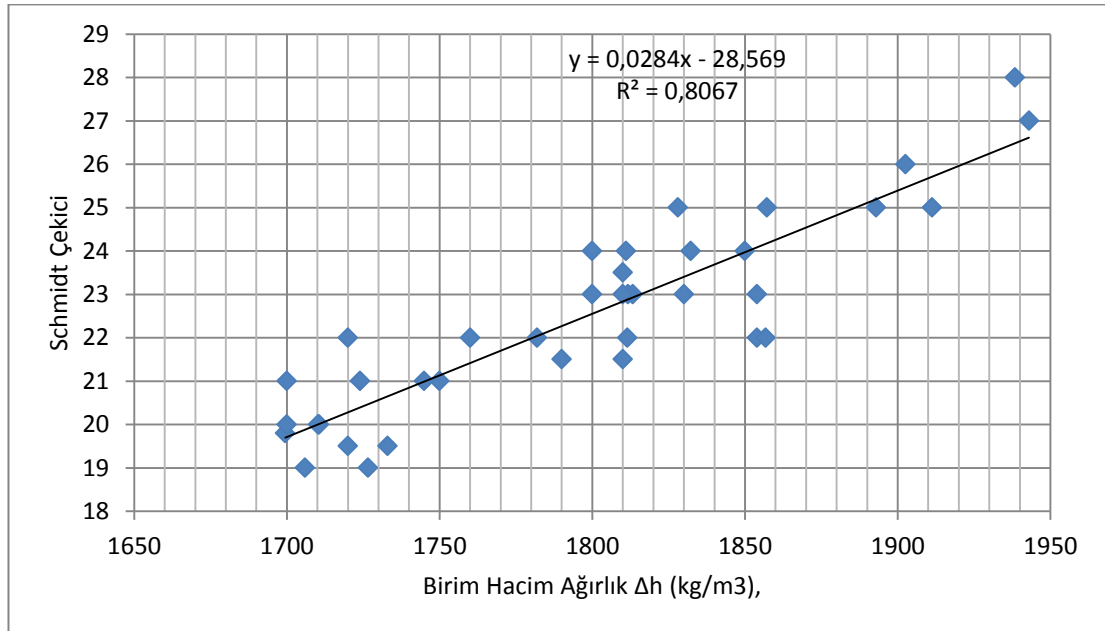
Şekil 4.39. Harç numunelerin noktasal dayanım indeksi N/mm², dinamik elastisite N/mm² grafiği

4.2.3 Tuğla taş ve harç örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi

Bölüm 3.1.4.'de belirtilen antik kentler ve harabelerdeki yapılardan alınan taş, tuğla ve harç numunelerinin fiziksel ve mekanik analizi Bölüm 3.2.1.'de belirtilen yöntemle göre yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında tuğla, taş ve harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin birbiriyle değişim grafikleri ile excel ve katsayıları çıkarılmıştır.

4.2.3.1 Tuğla numunelerin fiziksel ve mekanik özellik değişim grafiği

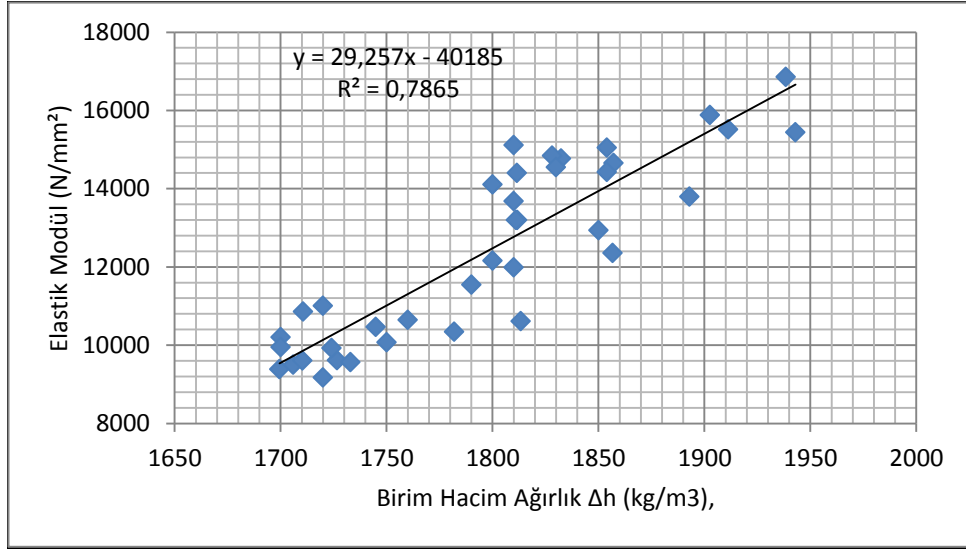
Tuğla numunelerinde birim hacim ağırlık ve schmidt grafiği Şekil 4.40.'da verilmiştir. Tuğla numunelerinde birim hacim ağırlık ve schmidt grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,8067$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,0284X - 28,569$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.40. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık kg/m³ ve schmidt grafiği

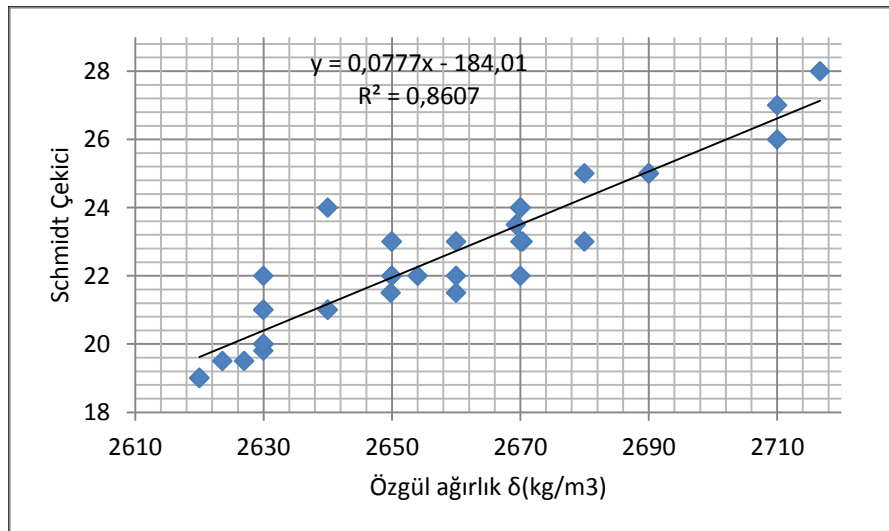
Tuğla numunelerinde birim hacim ağırlık ve elastik modül grafiği Şekil 4.41.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde birim hacim ağırlık ve elastik modül grafiği

incelendiğinde $R^2 = 0,7865$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=29,257X - 40,185$ olarak bulunmuştur.



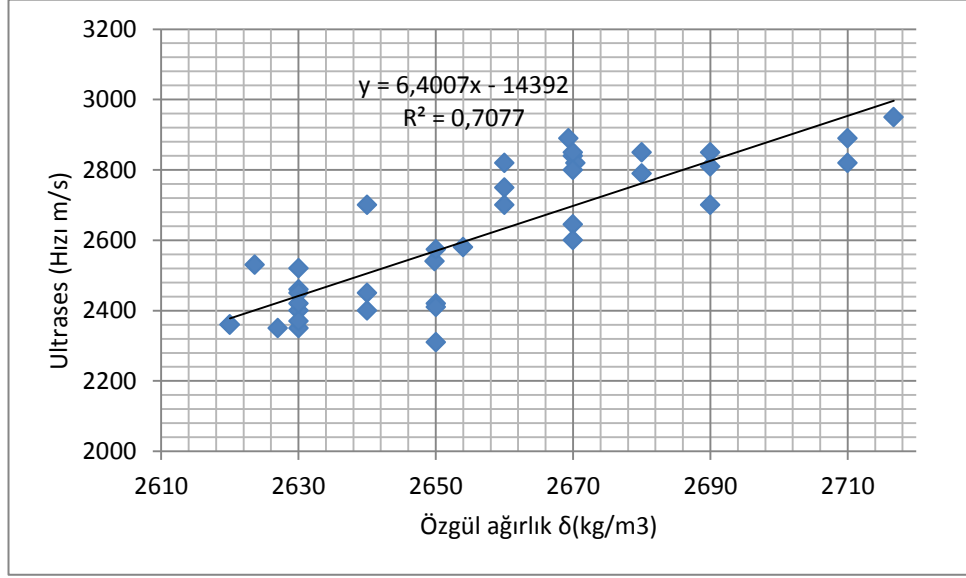
Şekil 4.41. Tuğla numunelerin birim Hacim ağırlık kg/m^3 ve elastik modül N/mm^2 grafiği

Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve schmidt grafiği Şekil 4.42.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve schmidt grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,8607$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,0777X - 184,1$ olarak bulunmuştur.



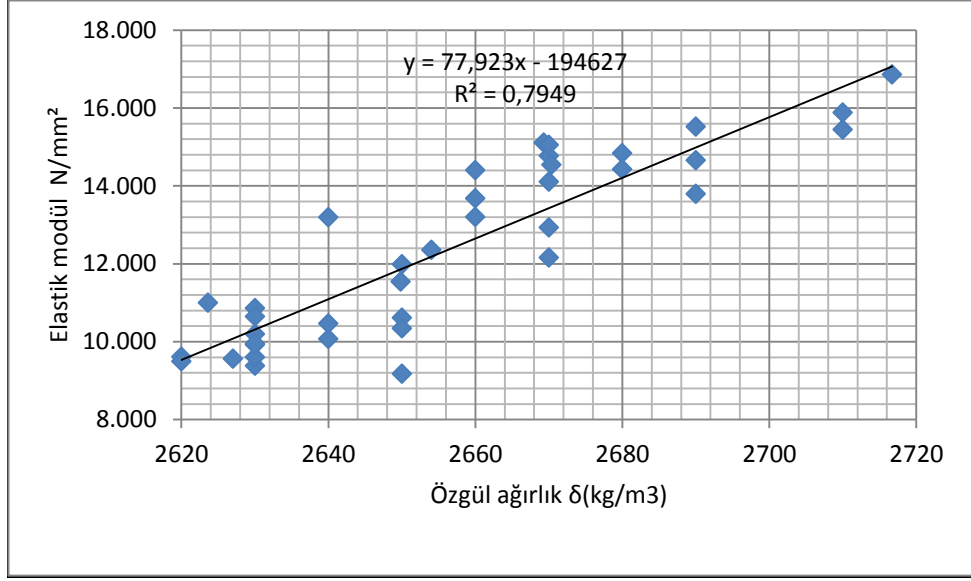
Şekil 4.42. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve schmidt grafiği

Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve ultrases hızı grafiği Şekil 4.43.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve ultrases hızı grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7077$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -6,4007X - 14392$ olarak bulunmuştur.



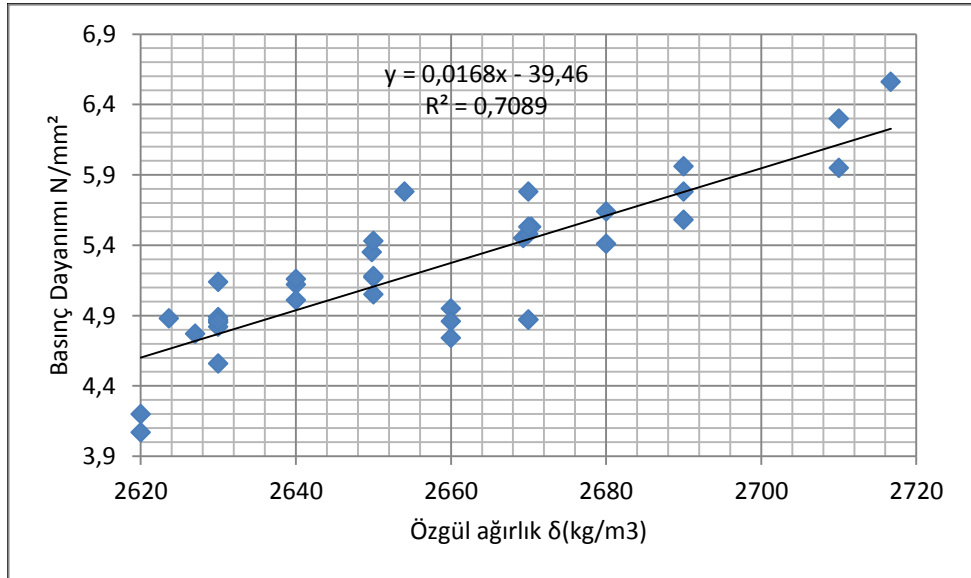
Şekil 4.43. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 ve ultrases hızı m/s grafiği

Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve elastik modül grafiği Şekil 4.44.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve elastik modül grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7949$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = 77,923X - 194647$ olarak bulunmuştur.



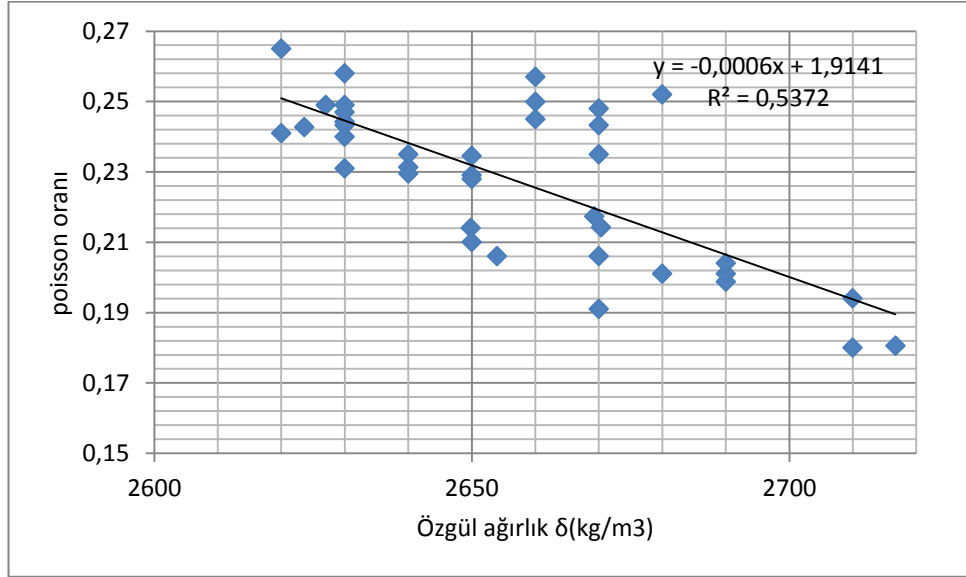
Şekil 4.44. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ve elastik modül N/mm² grafiği

Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve basınç dayanımı grafiği Şekil 4.45.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve basınç dayanımı grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7089$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = 0,0168X - 39,46$ olarak bulunmuştur.



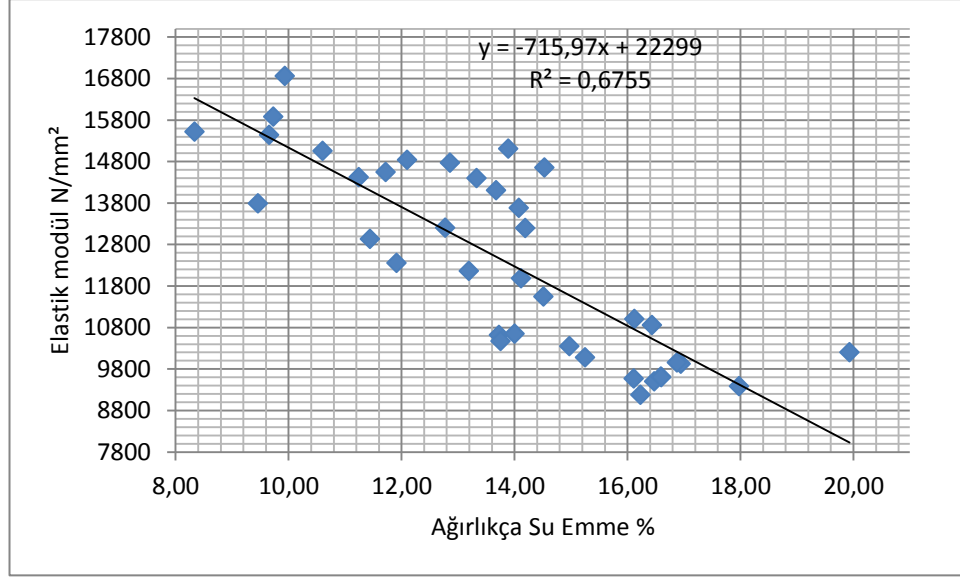
Şekil 4.45. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ve basınç dayanımı N/mm² grafiği

Tuğla numunelerinde özgül ağırlık ve poisson oranı grafiği Şekil 4.46.'da verilmiştir. Tuğla numunelerinde özgül ağırlık Poisson oranı grafiği incelendiğinde $R^2=0,5372$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-0,0006X+1,9141$ olarak bulunmuştur.



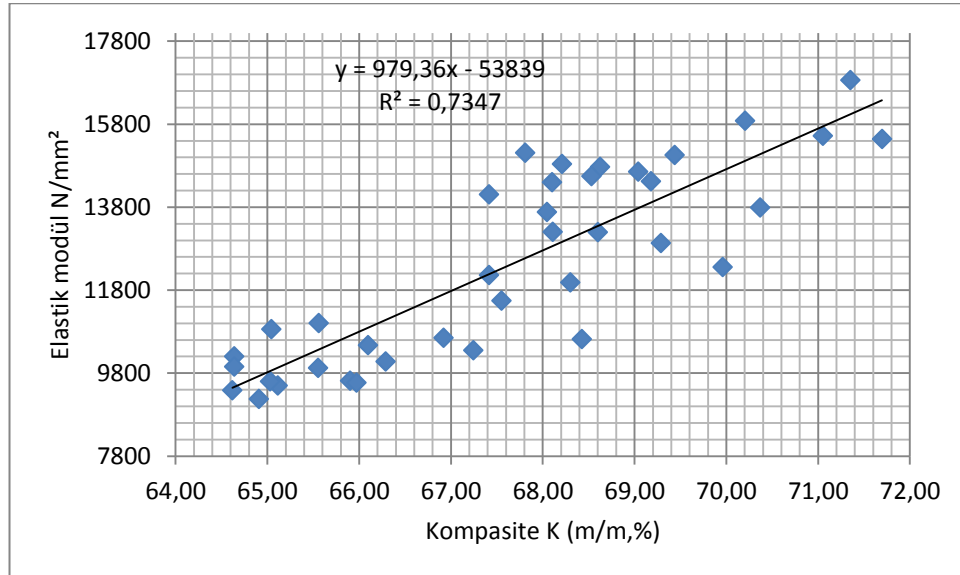
Şekil 4.46. Tuğla numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ve poisson oranı grafiği

Tuğla numunelerinde ağırlıkça su emme ve elastik modül oranı grafiği Şekil 4.47.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde ağırlıkça su emme ve elastik modül grafiği incelendiğinde $R^2=0,6755$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-715,97X+22297$ olarak bulunmuştur.



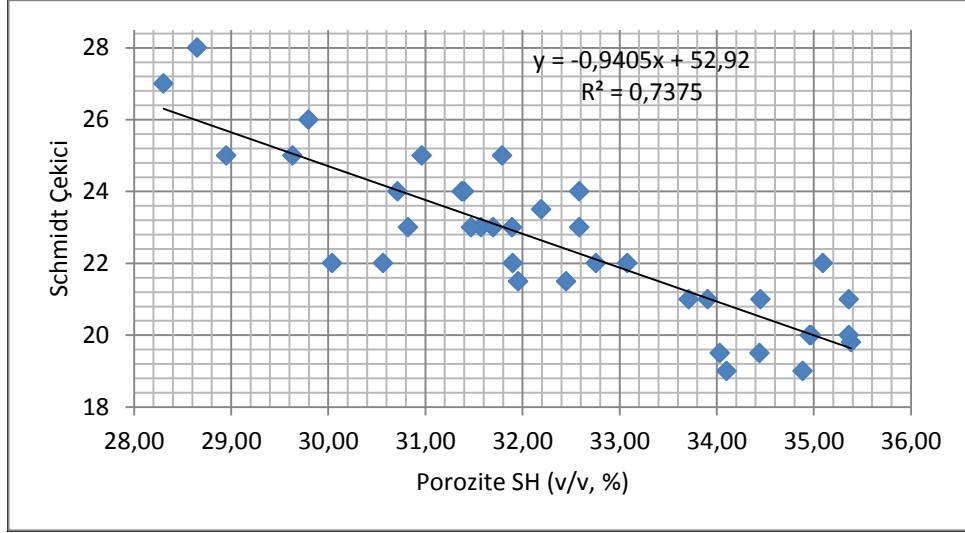
Şekil 4.47. Tuğla numunelerin ağırlıkça su emme % ve elastik modül N/mm² grafiği

Tuğla numunelerinde kompasite ve elastik modül oranı grafiği Şekil 4.48.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde kompasite ve elastik modül grafiği incelendiğinde $R^2=0,7347$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=979,36x-53839$ olarak bulunmuştur.



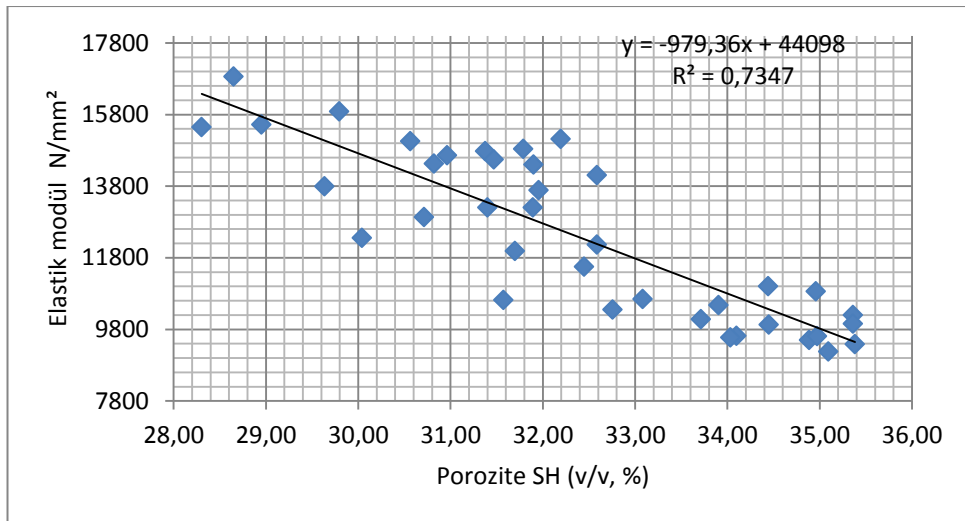
Şekil 4.48. Tuğla numunelerin kompasite % ve elastik modül N/mm² grafiği

Tuğla numunelerinde porozite schmidt çekici oranı grafiği Şekil 4.49.'da verilmiştir. Tuğla numunelerinde porozite schmidt çekici grafiği incelendiğinde $R^2=0,7345$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-0,9505X+52,92$ olarak bulunmuştur.



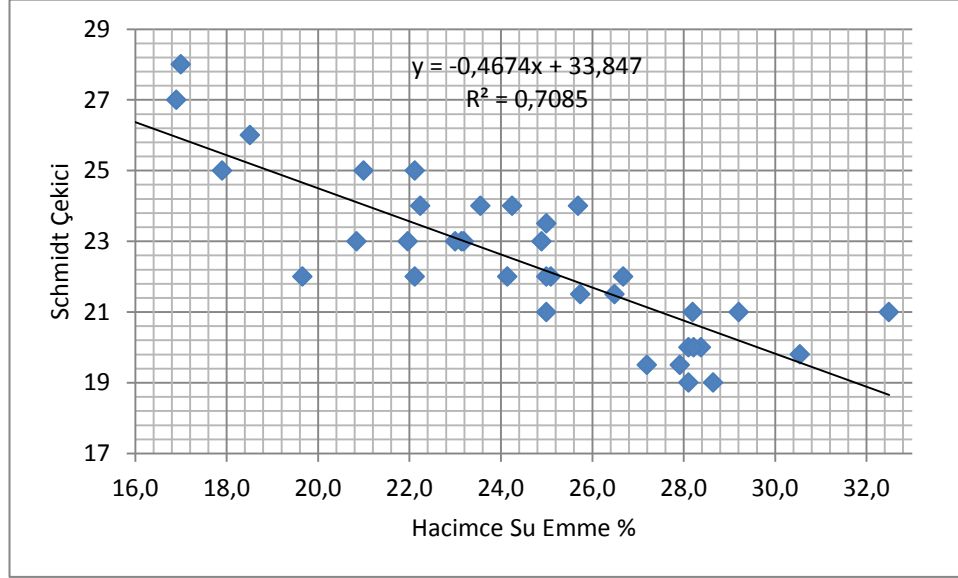
Şekil 4.49. Tuğla numunelerin porozite % schmidt çekici grafiği

Tuğla numunelerinde porozite elastik modül grafiği Şekil 4.50.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde porozite elastik modül grafiği incelendiğinde $R^2=0,7347$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-979,36X+44098$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.50. Tuğla numunelerin porozite % elastik modül N/mm² grafiği

Tuğla numunelerinde schmidt çekici hacimce su emme grafiği Şekil 4.51.'de verilmiştir. Tuğla numunelerinde schmidt çekici hacimce su emme grafiği incelendiğinde $R^2=0,7085$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=-0,4674X+33,847$ olarak bulunmuştur.

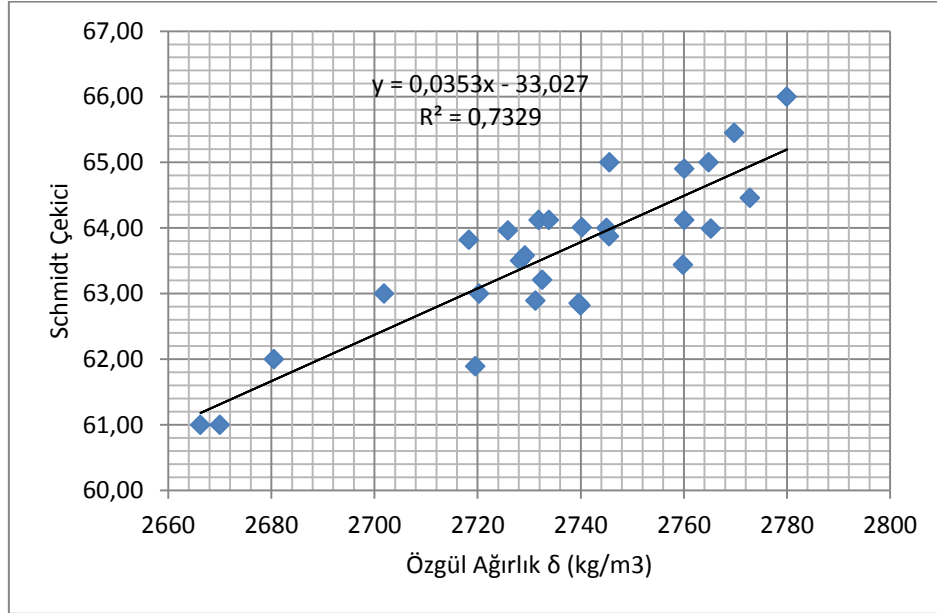


Şekil 4.51. Tuğla numunelerin schmidt çekici hacimce su emme % grafiği

Çizelge 4.10. Tuğla numunelerin fiziksel ve mekanik regresyon (R^2) katsayıları

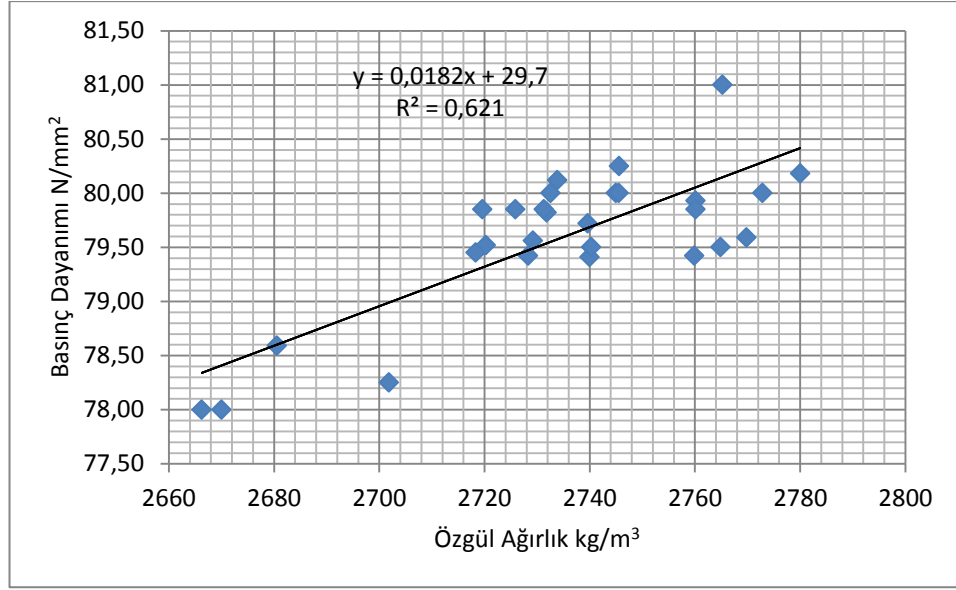
R^2	Ağırlıkça Su Emme	Kompasite	Porozite	Doyma Derecesi	Hacimce Su Emme	Birim Ağırlık	Özgül ağırlık	Schmidt Çekici	Ultrases Hızı	Dinamik elastisite	Basınç Dayanımı	poisson oranı	Eğilme
Denay tanımı	ASE												
Ağırlıkça Su Emme	1	0,8624	0,8624	0,8088	0,9146	0,8671	0,7231	0,6252	0,5864	0,6755	0,4795	0,3979	0,5241
Kompasite	0,8624	1	1	0,6395	0,8461	0,9838	0,7621	0,7375	0,632	0,7347	0,5837	0,5037	0,6018
Porozite	0,8624	1	1	0,6395	0,8461	0,9838	0,7621	0,7375	0,632	0,7347	0,5837	0,5037	0,6018
Doyma Derecesi	0,8088	0,6395	0,6395	1	0,9255	0,7	0,7417	0,589	0,4994	0,5846	0,4949	0,3764	0,5073
Hacimce Su Emme	0,9146	0,8461	0,8461	0,9255	1	0,8802	0,8118	0,7085	0,6006	0,6983	0,5644	0,4471	0,6235
Birim Ağırlık	0,8671	0,9838	0,9838	0,7	0,8802	1	0,861	0,8067	0,6819	0,7865	0,6463	0,5396	0,6544
Özgül ağırlık	0,7231	0,7621	0,7621	0,7417	0,8118	0,861	1	0,8607	0,7077	0,7949	0,7089	0,5372	0,6738
Schmidt Çekici	0,6252	0,7375	0,7375	0,589	0,7085	0,8067	0,8607	1	0,5987	0,6834	0,7179	0,5931	0,6314
Ultrases Hızı	0,5864	0,632	0,632	0,4994	0,6006	0,6819	0,7077	0,5987	1	0,9836	0,4072	0,2657	0,331
Dinamik elastisite	0,6755	0,7347	0,7347	0,5846	0,6983	0,7865	0,7949	0,6834	0,9836	1	0,4877	0,3423	0,427
Basınç Dayanımı	0,4795	0,5837	0,5837	0,4949	0,5644	0,6463	0,7089	0,7179	0,4072	0,4877	1	0,7636	0,8444
poisson oranı	0,3979	0,5037	0,5037	0,3764	0,4471	0,5396	0,5372	0,5931	0,2657	0,3423	0,7636	1	0,7172
Eğilme	0,5241	0,6018	0,6018	0,5073	0,6235	0,6544	0,6738	0,6314	0,331	0,427	0,8444	0,7172	1

Taş numunelerinde özgül ağırlık schmidt çekici grafiği Şekil 4.52.'de verilmiştir. Taş numunelerinde özgül ağırlık ve schmidt çekici grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7329$ olarak bulunmuştur. Aralarında yüksek kat sayısı tespit edilmiştir. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,0353X - 33,027$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.52. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m^3 schmidt çekici grafiği

Taş numunelerinde özgül ağırlık basınç dayanımı grafiği Şekil 4.53.'de verilmiştir. Taş numunelerinde özgül ağırlık basınç dayanımı grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,621$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y=0,0182X + 29,7$ olarak bulunmuştur.

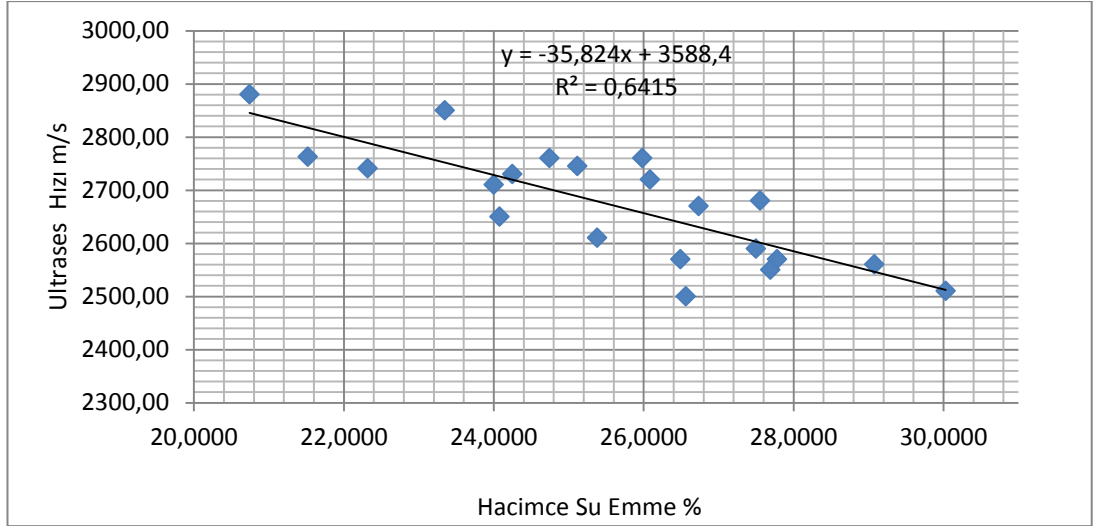


Şekil 4.53. Taş numunelerin özgül ağırlık kg/m³ basınç dayanım N/mm² grafiği

Çizelge 4.11. Taş numunelerin fiziksel ve mekanik regresyon(R²) katsayıları

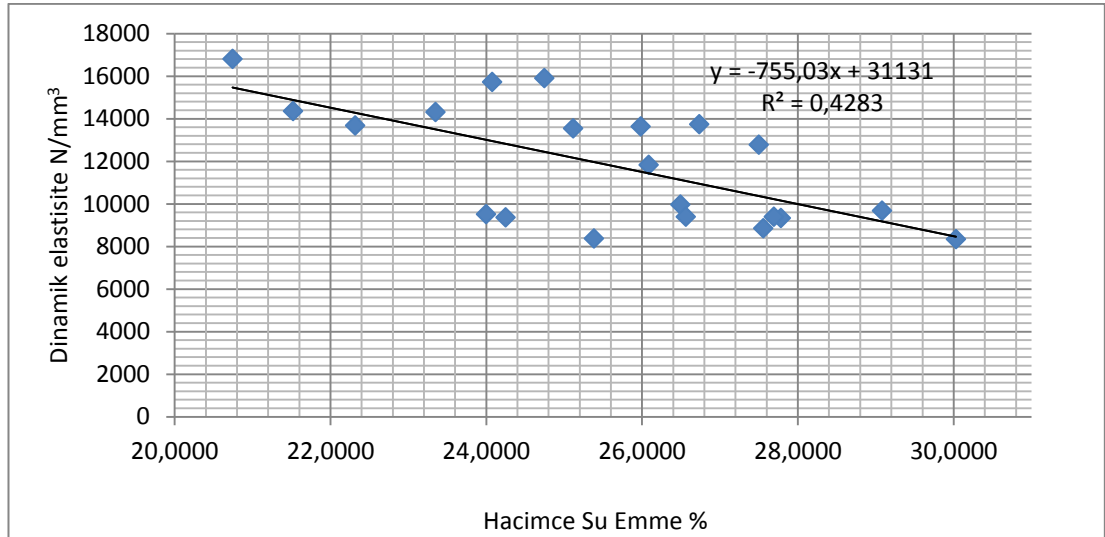
R ²	Ağırlıkça Su Emme	Hacimce Su Emme	Birim Ağırlık	Özgül ağırlık	Schmidt Çekici	Ultrases Hızı	Basınç Dayanımı	Dinamik elastisite
Ağırlıkça Su Emme	1	0,8698	0,6822	0,6826	0,6787	0,4547	0,3854	0,5775
Hacimce Su Emme	0,8698	1	0,5368	0,5442	0,5465	0,5205	0,2514	0,5427
Birim Ağırlık	0,6822	0,5368	1	0,8056	0,6695	0,5735	0,5848	0,3382
Özgül ağırlık	0,6826	0,5442	0,8056	1	0,7329	0,5013	0,621	0,4127
Schmidt Çekici	0,6787	0,5465	0,6695	0,7329	1	0,1832	0,441	0,5058
Ultrases Hızı	0,4547	0,5205	0,5735	0,5013	0,1832	1	0,3141	0,2514
Dinamik elastisite	0,5775	0,5427	0,3382	0,4127	0,5058	0,2514	0,1334	1
Basınç Dayanımı	0,3854	0,2514	0,5848	0,621	0,441	0,3141	1	0,1334

Harç numunelerinde ultrases hızı ve hacimce su emme grafiği Şekil 4.54.'de verilmiştir. Harç numunelerinde ultrases hızı ve hacimce su emme grafiği incelendiğinde R² = 0,6415 olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -35,824X + 3588,4$ olarak bulunmuştur.



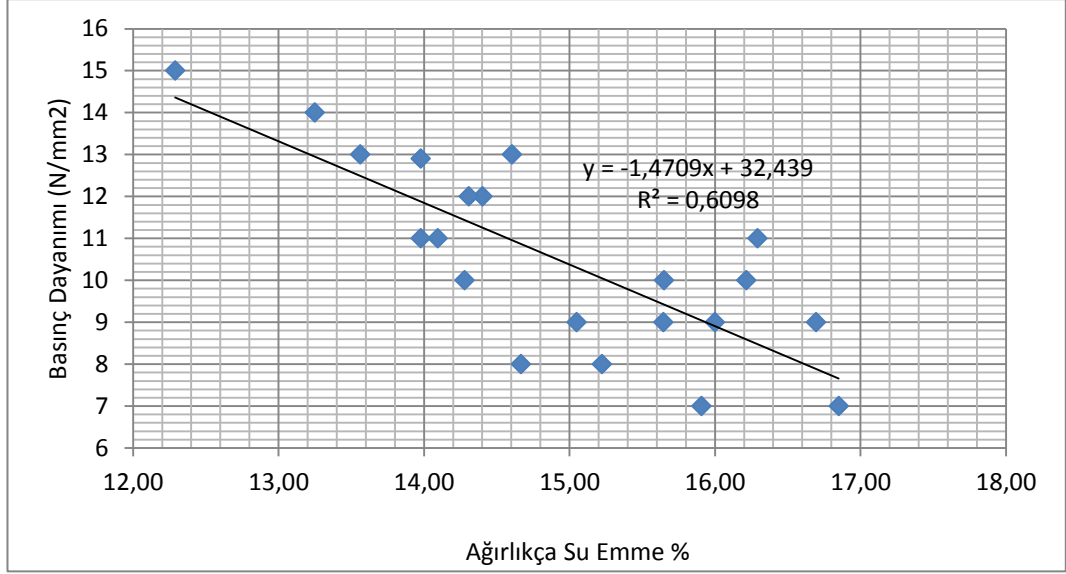
Şekil 4.54. Harç numunelerin ultrases hızı m/s ve hacimce su emme % grafiği

Harç numunelerinde dinamik elastisite ve hacimce su emme grafiği Şekil 4.55.'te verilmiştir. Harç numunelerinde dinamik elastisite ve hacimce su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,4283$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -755,03X + 31131$ olarak bulunmuştur.



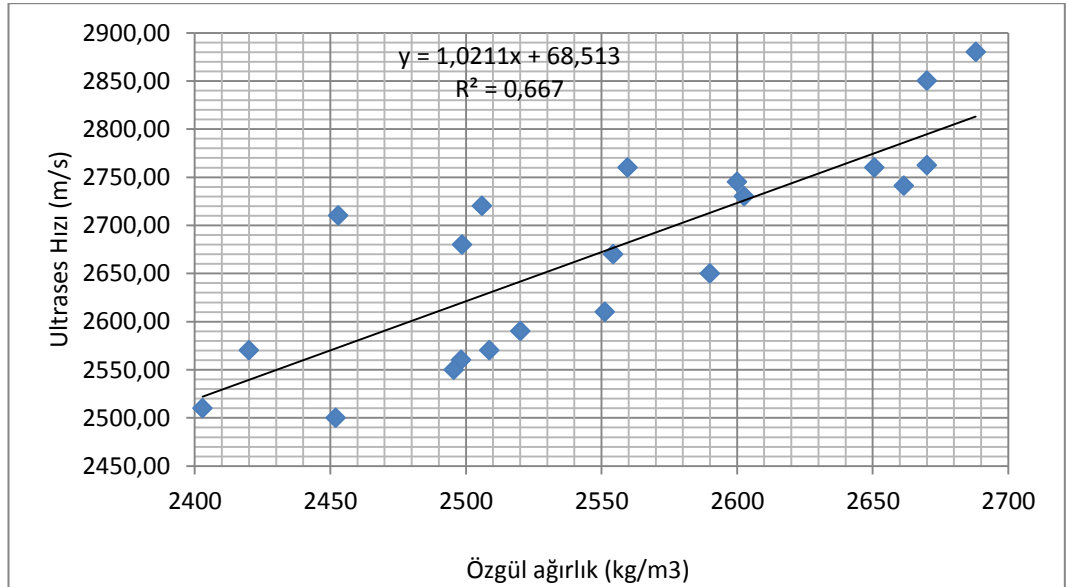
Şekil 4.55. Harç numunelerin dinamik elastisite N/mm³ ve hacimce su emme % grafiği

Harç numunelerinde basınç dayanımı ve ağırlıkça su emme grafiği Şekil 4.56.'da verilmiştir. Harç numunelerinde basınç dayanımı ve ağırlıkça su emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,6098$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -1,4709X + 32,439$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.56. Harç numunelerin basınç dayanımı N/mm³ ve ağırlıkça su emme % grafiği

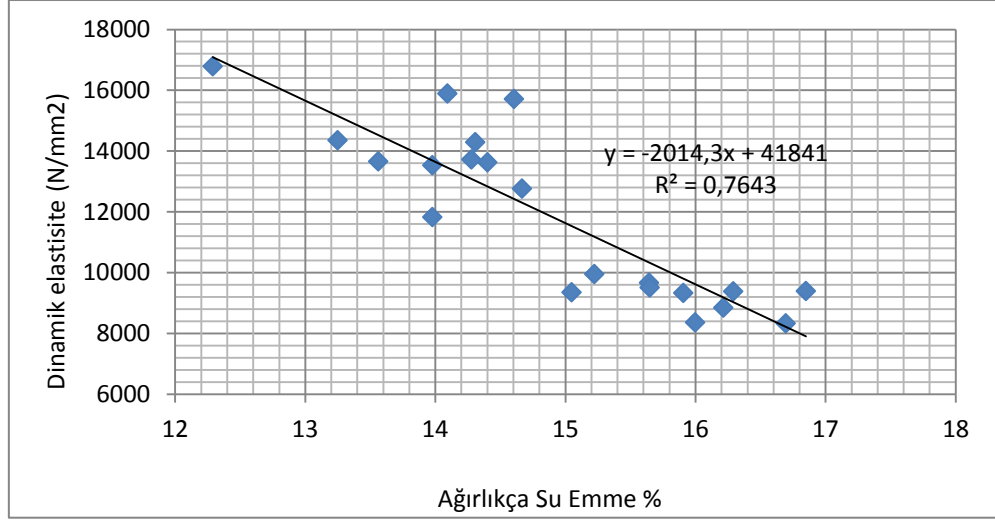
Harç numunelerinde özgül ağırlık ultrases hızı grafiği Şekil 4.57.'te verilmiştir. Harç numunelerinde özgül ağırlık ultrases hızı grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,667$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = 1,0211x + 68,513$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.57. Harç numunelerin özgül ağırlık kg/m³ ultrases hızı m/s grafiği

Harç numunelerinde dinamik elastisite ve ağırlıkça su emme grafiği Şekil 4.58.'te verilmiştir. Harç numunelerinde dinamik elastisite ve ağırlıkça su

emme grafiği incelendiğinde $R^2 = 0,7643$ olarak bulunmuştur. Bu verilerden elde edilen denklem $y = -2014,3x + 41841$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.58. Harç numunelerin dinamik elastisite N/mm² ve ağırlıkça su emme% grafiği

Çizelge 4.12. Harç numunelerin fiziksel ve mekanik regresyon(R^2) katsayıları

R^2	Ağırlıkça Su Emme	Hacimce Su Emme	Birim Ağırlık	Özgül ağırlık	Ultrases Hızı	Basınç Dayanımı	Dinamik elastisite
Ağırlıkça Su Emme	1	0,5871	0,5034	0,6516	0,6572	0,6098	0,7643
Hacimce Su Emme	0,5871	1	0,6777	0,6386	0,6415	0,5688	0,4283
Birim Ağırlık	0,5034	0,6777	1	0,5034	0,6749	0,6016	0,4506
Özgül ağırlık	0,6516	0,6386	0,5034	1	0,667	0,4942	0,5626
Ultrases Hızı	0,6572	0,6415	0,6749	0,667	1	0,5213	0,5045
Basınç Dayanımı	0,6098	0,5688	0,6016	0,4942	0,5213	1	0,5387
Dinamik elastisite	0,7643	0,4283	0,4506	0,5626	0,5045	0,5387	1

4.3. Tuğla, Taş ve Harç Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçlarının Weka Modellemesi

Weka programı modüler bir tasarıma sahip olup, içerdiği özelliklerle veri kümeleri üzerinde görselleştirme, veri analizi uygulamaları, veri madenciliği

gibi işlemler yapabilmektedir. Temel olarak weka sınıflandırma, kümeleme, ilişkilendirme işlemi yapmaktadır.

Çalışmamızın bu kısmında tuğla, taş ve harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin weka programındaki, isotonic regression, gaussian processes, least medsq, linear regression, pace regression, simple linear regression, smoreg, kstar, m5rules, m5p modelleri kullanılarak analiz yapılmıştır.

4.3.1 Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin weka modellemesi

Çizelge 4.13. Tuğla numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi

Model		Korelasyon katsayısı	FORMÜL
		R	
Birim Hacim Ağırlık	Girdi: ASE-P		
	Isotonic regression	0,992	
	Gaussian Processes	0,9923	
	Least MedSq	0,9923	BHA =0.0004*ASE+(-0.0354)*P+2.9379
	Linear Regression	0,9928	BHA =-0.0344 * P +2.9092
	Pace Regression	0,9939	BHA =2.8594 +(-0.0019) * ASE+(-0.032)* P
	Simple Linear Regression	0,9928	
	SMOreg	0,9956	(-0.1935 * (normalized) ASE -0.832 * (normalized) P +0.966)
	Kstar	0,9957	
	M5Rules	0,9928	BHA = -0.0344 * P+ 2.9092 [38/12.741%]
	M5P	0,9928	BHA =-0.0344 * P+ 2.9092
Birim Hacim Ağırlık	ASE-K		
	Isotonic regression	0,992	
	Gaussian Processes	0,9923	
	Least MedSq	0,9923	BHA=(0.0004 * ASE +0.0354 * K+(-0.6036))
	Linear Regression	0,9928	BHA=0.0344 * K +(-0.526)
	Pace Regression	0,9939	BHA=-0.3389 +(-0.0019) * ASE +0.032 * K
	Simple Linear Regression	0,9928	
	SMOreg	0,9957	(=-0.1919 * (normalized) ASE +0.831 * (normalized) K+0.1333)
	Kstar	0,9957	
	M5Rules	0,9928	BHA= 0.0344 * K- 0.526 [38/12.741%]
	M5P	0,9928	BHA= 0.0344 * K- 0.526

Çizelge 4.13. Tuğla numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

Birim Hacim Ağırlık	ASE-K-P	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,992	
	Gaussian Processes	0,9917	
	Least MedSq	0,9923	BHA = -0.0001*ASE +0.0172 * K+(-0.0172)*P +1.1925
	Linear Regression	0,9928	BHA =-0.0344 * P +2.9092
	Pace Regression	0,9939	BHA =-0.3389 +-0.0019 * ASE +0.032 * K
	Simple Linear Regression	0,9928	
	SMOreg	0,9943	-0.1438 * (normalized) ASE +0.4402 * (normalized) K -0.4402 * (normalized) P +0.5331
	Kstar	0,9939	
	M5Rules	0,9928	BHA = 0.0344 * K- 0.526 [38/12.741%]
	M5P	0,9928	BHA = 0.0344 * K - 0.526
Birim Hacim Ağırlık	ASE-K-P-DD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9814	
	Gaussian Processes	0,9719	
	Least MedSq	0,9932	BHA =0.0038 * ASE+ 0.0176 * K+(-0.0176) * P +(-0.1188) * DD+1.2153
	Linear Regression	0,9937	BHA =.0033 * ASE +0.0168 *K+(-0.0168) * P +(-0.145) * DD +1.269
	Pace Regression	0,9941	BHA=-0.4092+0.0033 * ASE +0.0336 * K+(-0.145) *DD
	Simple Linear Regression	0,9906	
	SMOreg	0,9931	+0.1341 * (normalized) ASE +0.4823 * (normalized) K - 0.4823 * (normalized) P-0.2157 * (normalized) DD +0.5299
	Kstar	0,9803	
	M5Rules	0,9827	BHA = 0.0344 * K- 0.526 [38/12.741%]
	M5P	0,9875	BHA = 0.0344 * K-0.526
Birim Hacim Ağırlık	ASE-K-P-DD-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,992	
	Gaussian Processes	0,9947	
	Least MedSq	1	BHA =-0.0001 * ASE +0.0132 * K +(-0.0132) * P +0 * DD+0.6732 * ÖA +(-0.4559)
	Linear Regression	1	BHA =0.0003 * ASE +0.0133 * K +(-0.0134) * P +(-0.008) * DD +0.6782 * ÖA +(-0.4729)
	Pace Regression	1	BHA =(-1.8087) +0.0003 * ASE + 0.0267 * K +(-0.008) * DD+0.6782 * ÖA
	Simple Linear Regression	0,9928	

Çizelge 4.13. Tuğla numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	SMOreg	1	+0.0101 * (normalized) ASE+0.3866 * (normalized) K-0.3866 * (normalized) P -0.0115 * (normalized) DD+0.2668 * (normalized) ÖA+0.3587
	Kstar	0,9949	
	M5Rules	0,9928	BHA = 0.0265 * K+ 0.6909 * ÖA - 1.8283 [38/0.74%]
	M5P	0,9928	BHA = 0.0265 * K + 0.6909 * ÖA - 1.8283
Birim Hacim Ağırlık	ASE-P-DD-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,992	
	Gaussian Processes	0,9915	
	Least MedSq	1	BHA =0.0002 * ASE +(-0.0265) * P +(-0.0051) * DD +0.6709 * ÖA +0.8744
	Linear Regression	1	BHA =0.0003 * ASE +(-0.0267) * P +(-0.008)* DD +0.6782 * ÖA +0.8617
	Pace Regression	1	BHA =0.8616 +0.0003 * ASE +(-0.0267) * P +(-0.008) * DD +0.6782 * ÖA
	Simple Linear Regression	0,9928	
	SMOreg	1	+0.004 * (normalized) ASE- 0.7699 * (normalized) P- 0.0096 * (normalized) DD+0.2655 * (normalized) ÖA+0.7459
	Kstar	0,9945	
	M5Rules	0,9928	BHA =-0.0265 * P+ 0.6909 * ÖA+ 0.8183 [38/0.74%]
	M5P	0,9928	BHA =-0.0265 * P+ 0.6909 * ÖA+ 0.8183
	ASE-P	*R	FORMÜL
Özgül Ağırlık	Isotonic regression	0,9258	
	Gaussian Processes	0,937	
	Least MedSq	0,8992	ÖA =0.0005 *ASE+0.0128 *P+3,0657
	Linear Regression	0,9123	ÖA =0.0114 * P +3.0262
	Pace Regression	0,9295	ÖA =2.9527 +(-0.0029) * ASE +0.0079 * P
	Simple Linear Regression	0,9123	
	SMOreg	0,933	-0.3732*(normalized) ASE+0.5263 * (normalized) P +0.8569
	Kstar	0,937	
	M5Rules	0,9123	ÖA =0.0114 * P+ 3.0262 [38/48.773%]
	M5P	0,9123	ÖA =0.0114 * P+ 3.0262
	ASE-K	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9258	
	Gaussian Processes	0,937	
Özgül Ağırlık	Least MedSq	0,8992	ÖA =0.0005 * ASE+0.0128 * K +1.781
	Linear Regression	0,9123	ÖA =0.0114 * K+1.8849
	Pace Regression	0,9295	ÖA =2.1614 +(-0.0029) * ASE+0.0079 * K
	Simple Linear Regression	0,9123	

Çizelge 4.13. Tuğla numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	SMOreg	0,933	-0.3732 * (normalized) ASE+0.5263 * (normalized) K+0.3306
	Kstar	0,937	
	M5Rules	0,9123	ÖA =0.0114 * K+ 1.8849 [38/48.773%]
	M5P	0,9123	ÖA =0.0114 * K+ 1.8849
Özgül Ağırlık	ASE-K-P	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9258	
	Gaussian Processes	0,9324	
	Least MedSq	0,8992	ÖA =0.0005 * ASE +0.0064 * K +(-0.0064)* P +2.4234
	Linear Regression	0,9123	ÖA =-0.0114 * P +3.0262
	Pace Regression	0,9295	ÖA =2.1614 +(-0.0029) * ASE +0.0079 * K
	Simple Linear Regression	0,9123	
	SMOreg	0,9203	-0.2759 * (normalized) ASE+0.3177 * (normalized) K-0.3177 * (normalized) P+0.5512
	Kstar	0,9127	
	M5Rules	0,9123	ÖA =-0.0114 * P+ 3.0262 [38/48.773%]
	M5P	0,9123	ÖA =-0.0114 * P+ 3.0262
	ASE-K-P-DD	*R	FORMÜL
Özgül Ağırlık	Isotonic regression	0,9258	
	Gaussian Processes	0,9542	
	Least MedSq	0,976	ÖA =0.0052 * ASE +0.0062 * K +-0.0062 * P+(-0.1643) * DD+2.4924
	Linear Regression	0,976	ÖA =0.0045 ASE +(-0.0101) * P+(-0.202) * DD+3.073
	Pace Regression	0,976	ÖA =2.0635+0.0045 * ASE +0.0101 * K +(-0.202) * DD
	Simple Linear Regression	0,9123	
	SMOreg	0,9551	(+0.1943 * (normalized) ASE+0.3418 * (normalized) K-0.3418 * (normalized) P-0.51 * (normalized) DD+0.6306)
	Kstar	0,9029	
	M5Rules	0,9615	
	M5P	0,964	
	ASE-K-P-DD-BA	*R	FORMÜL
Özgül Ağırlık	Isotonic regression	0,9614	
	Gaussian Processes	0,9575	
	Least MedSq	0,9724	ÖA =0.0007 * ASE+0.0038 * K+(-0.0038) * P +(-0.1508) * DD + 2.6259
	Linear Regression	0,976	ÖA =0.0045 *ASE +(-0.0101) * P +(-0.202)*DD+3.073
	Pace Regression	0,9998	ÖA =2.6642 +(-0.0004) * ASE +(-0.0392) * K +0.0109 * DD +1.468 * BA

Çizelge 4.13. Tuğla numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	Simple Linear Regression	0,9548	
			+0.3383 * (normalized) ASE -0.0405 * (normalized) K+0.0405 * (normalized) P -0.3972 * (normalized) DD+0.9135 * (normalized)BA+0.0696
	SMOreg	0,9725	
	Kstar	0,9089	
	M5Rules	0,9615	ÖA = -0.0718 * DD+ 2.6889 [14/88.33%]
	M5P	0,964	ÖA = 0.0017 * ASE+ 0.0039 * K- 0.2173 * DD + 2.5376
Özgöl ağırlık	ASE-K-BHA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9614	
	Gaussian Processes	0,9488	
	Least MedSq	0,9342	ÖA = -0.0031 * ASE +0.0061 * K +2.2857
	Linear Regression	0,9123	ÖA = 0.0114 * K+1.8849
	Pace Regression	0,9998	ÖA =2.6436 +(-0.0381) * K+1.4425 * BHA
	Simple Linear Regression	0,9548	
	SMOreg	0,9547	ÖA=-0.1113 * (normalized) Ase-0.1418 * (normalized) K+0.9223 * (normalized) Ba+0.117
	Kstar	0,9562	
	M5Rules	0,9597	
	M5P	0,9315	ÖA= -0.0019 * ASE+ 0.0072 * K+ 2.2063
Basınç Dayanımı	S-DE-PO	*R	FORMÜL
	Isotonic regression		
	Gaussian Processes	0,9548	
	Least MedSq	0,2373	
	Linear Regression	0,1512	
	Pace Regression		
	Simple Linear Regression		
	SMOreg	0,8987	
	Kstar	0,9411	
	M5Rules	0,777	
	M5P	0,777	
Basınç Dayanımı	S-DE-PO-U	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	-	
	Gaussian Processes	0,8975	
	Least MedSq	0,2929	
	Linear Regression	0,7735	
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	-	
	SMOreg	0,9288	

Çizelge 4.13. Tuğla numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	Kstar	0,8033	
	M5Rules	0,8366	
	M5P	0,3711	
Basınç Dayanımı	DE-PO-U-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	-	
	Gaussian Processes	0,9561	
	Least MedSq	0,7136	
	Linear Regression	0,7955	
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	-	
	SMOreg	0,968	
	Kstar	0,9551	
	M5Rules	0,4686	
	M5P	0,4686	

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Basınç Dayanımı	S-U	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,7775	
	Gaussian Processes	0,7791	
	Least MedSq	0,8448	$BD = 0.2343 * S + (-0.2808) * U + 0.704$
	Linear Regression	0,8366	$BD = 0.202 * S + 0.6793$
	Pace Regression	0,8366	$BD = 0.6793 + 0.202 * S$
	Simple Linear Regression	0,8366	
	SMOreg	0,8324	$+0.643 * (\text{normalized}) S + 0.0286 * (\text{normalized}) U + 0.229$
	Kstar	0,4882	
	M5Rules	0,8366	$BD = 0.202 * S + 0.6793 [38/53.112\%]$
	M5P	0,8366	$BD = 0.202 * S + 0.6793 [38/53.112\%]$
Basınç Dayanımı	S-PO	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9099	
	Gaussian Processes	0,9524	
	Least MedSq	0,9442	$BD = 0.0292 * S + (-18.0263) * PO + 8.6435$
	Linear Regression	0,9458	$BD = 0.1073 * S + (-11.7086) * PO + 5.4744$
	Pace Regression	0,9458	$BD = 5.4744 + 0.1073 * S + (-11.7086) * PO$

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	Simple Linear Regression	0,9357	
	SMOreg	0,951	+ 0.1635 * (normalized) S-0.5959 * (normalized) PO+0.7103
	Kstar	0,8529	
	M5Rules	0,9459	BD =0.1073 * S- 11.7086 * PO+ 5.4744 [38/40.403%]
	M5P	0,9459	BD =0.1073 * S- 11.7086 * PO+ 5.4744
Basınç Dayanımı	S-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9087	
	Gaussian Processes	0,9759	
	Least MedSq	0,9912	BD =0.0203 * S +8.7432 * ED +(-0.9149)
	Linear Regression	0,98	BD =0.0757 * S +6.9428 * ED +(-1.0144)
	Pace Regression	0,98	BD =-1.0144 +0.0757 * S +6.9428 * ED
	Simple Linear Regression	0,9904	
	SMOreg	0,9884	+0.1405 * (normalized) S+0.6692 * (normalized) ED+ 0.1932
	Kstar	0,9529	
	M5Rules	0,7869	BD =0.2026 * S+ 0.4165 [6/51.8%]
	M5P	0,9626	BD = 0.0391 * S+ 7.277 * ED(- 0.3494)
	S-DE-ED-U	*R	FORMÜL
Basınç Dayanımı	Isotonic regression	0,9682	
	Gaussian Processes	0,9551	
	Least MedSq	0,991	BD =0.0201 * S +(-0.1566) * U +0* DE +8.6885 * ED +(-0.6376)
	Linear Regression	0,9803	BD =0.0758 * S +6.9344 * ED +-1.0103
	Pace Regression	0,986	BD =-6.8364+0.0994*S +3.2115*U +(-0.0003)*DE +8.1821*ED
	Simple Linear Regression	0,9906	
			+0.184 * (normalized) S+0.06 * (normalized) U-0.0844 * (normalized) DE+0.6434 * (normalized) ED+0.1911
	SMOreg	0,9889	
	Kstar	0,8779	
	M5Rules	0,787	
	M5P	0,963	
	DE-U-ED	*R	FORMÜL
Basınç Dayanımı	Isotonic regression	0,9263	
	Gaussian Processes	0,943	
	Least MedSq	0,9914	BD =-0.6823 * U +0.0001 * DE +8.8067 * ED +0.385
	Linear Regression	0,979	BD =0.4295 * U +8.582 * ED +(-1.5056)

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	Pace Regression	0,9801	$BD = -1.4895 + 0.4152 * U + 8.6146 * ED$
	Simple Linear Regression	0,9906	
	SMOreg	0,9876	
	Kstar	0,935	
	M5Rules	0,3626	$BD = 0.4295 * U + 8.582 * ED - 1.5056$ [38/37.103%]
	M5P	0,9576	$BD = 0.4295 * U + 8.582 * ED - 1.5056$
ĞİLME DAYANIMI	S-U	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,756	
	Gaussian Processes	0,7862	
	Least MedSq	0,8064	$ED = 0.0205 * S + (-0.0295) * U + 0.273$
	Linear Regression	0,8213	$ED = 0.0182 * S + 0.244$
	Pace Regression	0,8213	$ED = 0.244 + 0.0182 * S$
	Simple Linear Regression	0,8213	
	SMOreg	0,8116	$+0.5783 * (\text{normalized}) S + 0.0268 * (\text{normalized}) U + 0.1053$
	Kstar	0,4673	
	M5Rules	0,8213	$ED = 0.0182 * S + 0.244$ [38/60.698%]
	M5P	0,8213	$ED = 0.0182 * S + 0.244$
ĞİLME DAYANIMI	S-PO	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9267	
	Gaussian Processes	0,9588	
	Least MedSq	0,8258	$ED = 0.003 * S + (-1.5044) * PO + 0.9186$
	Linear Regression	0,9543	$ED = 0.0085 * S + (-1.2) * PO + 0.7354$
	Pace Regression	0,9543	$ED = 0.7354 + 0.0085 * S + (-1.2) * PO$
	Simple Linear Regression	0,9555	
	SMOreg	0,9525	$+0.283 * (\text{normalized}) S - 0.4956 * (\text{normalized}) PO + 0.4767$
	Kstar	0,8336	
	M5Rules	0,9543	$ED = 0.0085 * S - 1.2 * PO + 0.7354$ [38/48.276%]
	M5P	0,9543	$ED = 0.0085 * S - 1.2 * PO + 0.7354$
ĞİLME DAYANIMI	S-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9678	
	Gaussian Processes	0,9704	
	Least MedSq	0,9902	$ED = -0.0014 * S + 0.1089 * BD + 0.1127$
	Linear Regression	0,9904	$ED = 0.0883 * BD + 0.1923$
	Pace Regression	0,9904	$ED = 0.1923 + 0.0883 * BD$
	Simple Linear Regression	0,9904	

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	SMOreg	0,9819	+0.0333 * (normalized) S+1.1084 * (normalized) BD-0.2041
	Kstar	0,9811	
	M5Rules	0,9718	ED = 0.1137 * BD+ 0.0505 [22/33.235%]
	M5P	0,9792	ED = 0.0996 * BD+ 0.1302
EĞİLME DAYANIMI	S-DE-PO	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	-	
	Gaussian Processes	0,9606	
	Least MedSq	0,4629	
	Linear Regression	0,4304	
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	-	
	SMOreg	0,9524	-0.0956 * (normalized) DE= 101.487.05 - 0.3992 * (normalized) PO+0.4161
	Kstar	0,9336	
	M5Rules	0,8213	
	M5P	0,8213	
	S-DE-PO-U	*R	FORMÜL
EĞİLME DAYANIMI	Isotonic regression	-	
	Gaussian Processes	0,9016	
	Least MedSq	0,4654	
	Linear Regression	0,4304	
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	-	
	SMOreg	0,9398	
	Kstar	0,778	
	M5Rules	-	
	M5P	0,6966	
	DE-PO-U-BD	*R	FORMÜL
EĞİLME DAYANIMI	Isotonic regression	-	
	Gaussian Processes	0,9462	
	Least MedSq	0,4622	
	Linear Regression	0,3267	
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	-	
	SMOreg	0,98	
	Kstar	0,9747	
	M5Rules	-	
	M5P	-	

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

EĞİLME DAYANIMI	S-DE-BD-U	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9682	
	Gaussian Processes	0,9369	
	Least MedSq	0,9859	$ED = -0.0019 * S + (-0.0345) * U + 0 * DE + 0.1077 * BD + 0.1748$
	Linear Regression	0,9906	$ED = 0.0883 * BD + 0.1919$
	Pace Regression	0,9657	$ED = 1.24 + (-0.0034) * S + (-0.6147) * U + 0.0001 * DE + 0.071 * BD$
	Simple Linear Regression	0,9906	
	SMOreg	0,9755	
	Kstar	0,7486	
	M5Rules	0,9721	$ED = 0.0055 * S(-0.0453) * U + 0.1055 * BD + 0.0869 [22/30.582\%]$
	M5P	0,9796	
EĞİLME DAYANIMI	DE-U-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9682	
	Gaussian Processes	0,9257	
	Least MedSq	0,9906	$ED = 0.0091 * U + 0 * DE + 0.1061 * BD + 0.0888$
	Linear Regression	0,9906	$ED = 0.0883 * BD + 0.1919$
	Pace Regression	0,9653	$ED = 1.128 + (-0.5591) * U + 0.0001 * DE + 0.0657 * BD$
	Simple Linear Regression	0,9906	
	SMOreg	0,9754	
	Kstar	0,958	
	M5Rules	0,9721	
	M5P	0,9796	
Basınç Dayanımı	ASE-P	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,7698	
	Gaussian Processes	0,7987	
	Least MedSq	0,6873	$BD = 0.0149 * ASE + (-0.2085) * P + 11.855$
	Linear Regression	0,7629	$BD = -0.1995 * P + 11.6759$
	Pace Regression	0,7629	$BD = 11.6759 + (-0.1995) * P$
	Simple Linear Regression	0,7629	
	SMOreg	0,7595	$-0.0983 * (\text{normalized}) ASE - 0.4076 * (\text{normalized}) P + 0.7808$
	Kstar	0,7017	
	M5Rules	0,7629	$BD = -0.1995 * P + 11.6759 [38/64.515\%]$
	M5P	0,7629	$BD = -0.1995 * P + 11.6759$

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

Basınç Dayanımı	ASE-P-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,7692	
	Gaussian Processes	0,8343	
	Least MedSq	0,8305	BD =0.0251 * ASE +(-0.0226) * P + 17.2531 * ÖA +(-40.1736)
	Linear Regression	0,8326	BD =16.5564 * ÖA +(-38.7667)
	Pace Regression	0,8297	BD =-40.0176 +0.0585 * ASE +(-0.0608) * P +17.464 * ÖA
	Simple Linear Regression	0,9326	
	SMOreg	0,8326	+0.0542 * (normalized) ASE-0.0348 * (normalized) P+0.6414 * (normalized) ÖA+0.2396
	Kstar	0,8533	
	M5Rules	0,8326	BD = 16.5564 * ÖA- 38.7667 [38/54.651%]
	M5P	0,8326	BD =16.5564 * ÖA - 38.7667
Basınç Dayanımı	ASE-P-ÖA-BHA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,7692	
	Gaussian Processes	0,8401	
	Least MedSq	0,8305	BD =0.0256 * ASE +(-0.0484) * P +(-0.9674) * BHA +17.9388 * ÖA +(-39.4287)
	Linear Regression	0,8326	BD =16.5564 * ÖA +(-38.7667)
	Pace Regression	0,8392	BD =-51.1444 +0.029 * ASE +0.5109 * P +21.7717 * BHA +0.1173 * ÖA
	Simple Linear Regression	0,8326	
	SMOreg	0,8326	(+0.0575 * (normalized) ASE+0.0742 * (normalized) P+0.1648 * (normalized) BHA+0.5741 * (normalized) ÖA+0.1355)
	Kstar	0,8458	
	M5Rules	0,8326	BD = 16.5564 * ÖA- 38.7667 [38/54.651%]
	M5P	0,8326	BD =16.5564 * ÖA- 38.7667
Basınç Dayanımı	ASE-P-ÖA-BHA-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9087	
	Gaussian Processes	0,9516	
	Least MedSq	0,9903	BD =0.0189 * ASE +-0.2121 * P +-6.8693 * BHA +5.2041 * ÖA +9.1021 * ED +4.4264
	Linear Regression	0,9801	BD =5.1894 * ÖA +7.3401 * ED +(-13.3599)
	Pace Regression	0,9832	BD =6.966 +0.0696 * ASE +(-0.7142) * P +(-25.0875) * BHA +22.5649 * ÖA +8.4689 * ED

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	Simple Linear Regression	0,9904	
			+0.1539 * (normalized) ASE- 0.0904 * (normalized) P+0.0666 * (normalized) BHA+0.0551 * (normalized) ÖA+0.6903 * (normalized) ED+0.173
	SMOreg	0,9789	
	Kstar	0,868	
	M5Rules	0,8454	
	M5P	0,9772	
BİRİM HACİM AĞIRLIK	ASE-P-ÖA-BD-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9928	
	Gaussian Processes	0,9858	
	Least MedSq	0,9688	ED =-0.0006 * ASE +0.0006 * P +(-0.0569) * ÖA +0.1051 * BD +0.2425
	Linear Regression	0,9787	ED =-0.0032 * ASE +0.0771 * BD +0.2951
			ED =-3.3795 +(-0.0054) * ASE +0.1046 * P +3.8152 * BHA +(-2.4549) * ÖA +0.0745 * BD
	Pace Regression	0,9786	
	Simple Linear Regression	0,9904	
			- 0.126 * (normalized) ASE + 0.0785 * (normalized) P+0.0896 * (normalized) BHA+0.1298 * (normalized) ÖA + 0.7615 * (normalized) BD-0.0916
	SMOreg	0,97	
	Kstar	0,9305	
	M5Rules	0,9506	
	M5P	0,979	
ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-P-BHA-BD-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9553	
	Gaussian Processes	0,9431	
	Least MedSq	0,9406	ÖA =-0.002 * ASE +(-0.0055) * P +0.0196 * BD +0.0177 * ED +2.7503
	Linear Regression	0,9437	ÖA =-0.0051 * ASE +0.0246 * BD +2.599
			ÖA =-1.0718 +(-0.0011) * ASE +0.0379 * P +1.4136 * BHA +0.0071 * BD +(-0.0908) * ED
	Pace Regression	0,9974	
	Simple Linear Regression	0,9511	
			-0.0713 * (normalized) ASE+0.1508 * (normalized) P+0.8038 * (normalized) BHA+0.2835 * (normalized) BD-0.0269 * (normalized) ED-0.1225
	SMOreg	0,9584	
	Kstar	0,9315	
	M5Rules	0,9437	
	M5P	0,9437	

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

EĞİLME DAYANIMI	ASE-P	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,8752	
	Gaussian Processes	0,8277	
	Least MedSq	0,785	ED = -0.0009 * ASE + (-0.02) * P + 1.3172
	Linear Regression	0,7568	ED = -0.0194 * P + 1.2825
	Pace Regression	0,7568	ED = 1.2825 + (-0.0194) * P
	Simple Linear Regression	0,7568	
	SMOreg	0,7732	- 0.41 * (normalized) ASE - 0.3086 * (normalized) P + 0.7075
	Kstar	0,745	
	M5Rules	0,7568	ED = -0.0194 * P + 1.2825 [38/63.099%]
	M5P	0,7568	ED = -0.0194 * P + 1.2825
EĞİLME DAYANIMI	ASE-P-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,8752	
	Gaussian Processes	0,8537	
	Least MedSq	0,8194	ED = -0.0036 * ASE + 0.0077 * P + 1.4408 * ÖA + (-3.3764)
	Linear Regression	0,8149	ED = -0.0069 * P + 1.0936 * ÖA + (-2.0282)
	Pace Regression	0,8167	ED = -2.2719 + -0.0058 * P + 1.171 * ÖA
	Simple Linear Regression	0,82	
	SMOreg	0,8176	-0.1683 * (normalized) ASE - 0.0061 * (normalized) P + 0.5587 * (normalized) ÖA + 0.2355
	Kstar	0,8248	
	M5Rules	0,8149	ED = -0.0069 * P + 1.0936 * ÖA - 2.0282 [38/56.189%]
	M5P	0,8149	ED = -0.0069 * P + 1.0936 * ÖA - 2.0282
EĞİLME DAYANIMI	ASE-P-ÖA-BHA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,8728	
	Gaussian Processes	0,8655	
	Least MedSq	0,8194	ED = -0.0036 * ASE + 0.0077 * P + 1.4408 * ÖA + (-3.3764)
	Linear Regression	0,8149	ED = -0.0069 * P + 1.0936 * ÖA + (-2.0282)
	Pace Regression	0,8376	ED = -5.9381 + 0.1076 * P + 4.2998 * BHA + -1.7373 * ÖA
	Simple Linear Regression	0,7916	
	SMOreg	0,8129	-0.1113 * (normalized) ASE + 0.0836 * (normalized) P + 0.231 * (normalized) BHA + 0.4717 * (normalized) ÖA + 0.0973
	Kstar	0,8265	
	M5Rules	0,8149	ED = -0.0069 * P + 1.0936 * ÖA - 2.0282 [38/56.189%]
	M5P	0,8149	ED = -0.0069 * P + 1.0936 * ÖA - 2.0282

Çizelge 4.14. Tuğla numunelerinin mekanik deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

EĞİLME DAYANIMI	ASE-P-ÖA-BHA-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9678	
	Gaussian Processes	0,9433	
	Least MedSq	0,9688	ED =-0.0006 * ASE +0.0006 * P +(-0.0569) * ÖA +0.1051 * BD +0.2425
	Linear Regression	0,9787	ED =-0.0032 * ASE +0.0771 * BD +0.2951
	Pace Regression	0,9786	ED =-3.3795 +(-0.0054) * ASE +0.1046 * P +3.8152 * BHA +(-2.4549) * ÖA +0.0745 * BD
	Simple Linear Regression	0,9904	
	SMOreg	0,97	-0.126 * (normalized) ASE+0.0785 * (normalized) P+0.0896 * (normalized) BHA+0.1298 * (normalized) ÖA+0.7615 * (normalized) BD-0.0916
	Kstar	0,9305	
	M5Rules	0,9506	
	M5P	0,979	
EĞİLME DAYANIMI	ASE-P-ÖA-BHA-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9678	
	Gaussian Processes	0,9433	
	Least MedSq	0,9688	ED =-0.0006 * ASE +0.0006 * P +(-0.0569) * ÖA +0.1051 * BD +0.2425
	Linear Regression	0,9787	ED =-0.0032 * ASE +0.0771 * BD +0.2951
	Pace Regression	0,9786	ED =-3.3795 +(-0.0054) * ASE +0.1046 * P +3.8152 * BHA +(-2.4549) * ÖA +0.0745 * BD
	Simple Linear Regression	0,9904	
	SMOreg	0,97	-0.126 * (normalized) ASE+0.0785 * (normalized) P+0.0896 * (normalized) BHA+0.1298 * (normalized) ÖA+0.7615 * (normalized) BD-0.0916
	Kstar	0,9305	
	M5Rules	0,9506	
	M5P	0,979	

4.2.2 Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin weka modellemesi

Çizelge 4.15. Taş numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi

ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-HSE	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,994	
	Gaussian Processes	0,9509	
	Least MedSq	0,9892	$\ddot{O}A = -62.0914 * ASE + 0.4652 * BHA + 1534.0835$
	Linear Regression	0,9896	$\ddot{O}A = -48.2694 * ASE + 0.4394 * BHA + 1595.2675$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9946	
	SMOreg	0,9862	
	Kstar	0,9827	
	M5Rules	0,9896	$\ddot{O}A = -48.2694 * ASE + 0.4394 * BHA + 1595.2675 [28/41.439\%]$
	M5P	0,9896	$\ddot{O}A = -48.2694 * ASE + 0.4394 * BHA + 1595.2675$
ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-HSE-BHA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,994	
	Gaussian Processes	0,9278	
	Least MedSq	0,9854	$\ddot{O}A = -66.0764 * ASE + 1.9206 * HSE + 4042 * BHA + 1696.523$
	Linear Regression	0,9896	$\ddot{O}A = -48.2694 * ASE + 0.4394 * BHA + 1595.2675$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9949	
	SMOreg	0,9875	
	Kstar	0,9782	
	M5Rules	0,9896	$\ddot{O}A = -48.2694 * ASE + 0.4394 * BHA + 1595.2675 [28/41.439\%]$
	M5P	0,9896	$\ddot{O}A = -48.2694 * ASE + 0.4394 * BHA + 1595.2675$
ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-BHA-BD-S-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,994	
	Gaussian Processes	0,9977	
	Least MedSq	0,9981	$\ddot{O}A = -36.8449 * ASE + 0.3411 * BHA + 5.9349 * S + 3.6843 * BD + 1178.2827$
	Linear Regression	0,9828	$\ddot{O}A = 0.2948 * BHA + 8.3419 * S + 9.161 * BD + 694.9877$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9949	
	SMOreg	0,9959	
	Kstar	0,9203	

Çizelge 4.15. Taş numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

	M5Rules	0,9848	$\ddot{O}A = 0.2948 * BHA + 8.3419 * S + 9.161 * BD + 694.9877$ [28/36.129%]
	M5P	0,9828	$\ddot{O}A = 0.2948 * BHA + 8.3419 * S + 9.161 * BD + 694.9877$
BİRİM HACİM AĞIRLIK	ASE-HSE-$\ddot{O}A$	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9907	
	Gaussian Processes	0,8998	
	Least MedSq	0,9919	$BHA = -34.8169 * ASE + 30.8735 * HSE + 1.5683 * \ddot{O}A + (-1665.916)$
	Linear Regression	0,9737	$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A + (-173.9173)$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9949	
	SMOreg	0,9753	
	Kstar	0,9285	
	M5Rules	0,9737	$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A - 173.9173$ [28/41.47%]
	M5P	0,9737	$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A - 173.9173$
BİRİM HACİM AĞIRLIK	ASE-$\ddot{O}A$-BD-S-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9907	
	Gaussian Processes	0,9524	
	Least MedSq	0,967	$BHA = 19.204 * ASE + 0.9885 * \ddot{O}A + 7.538 * S + 13.5544 * BD + (-1621.8784)$
	Linear Regression	0,9737	$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A + (-173.9173)$
	Pace Regression		
	Simple Linear Regression	0,9949	
	SMOreg	0,9716	
	Kstar	0,914	
	M5Rules	0,9737	$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A - 173.9173$ [28/41.47%]
	M5P	0,9737	$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A - 173.9173$
BASINÇ DAYANIMI	ASE-BHA-$\ddot{O}A$-S	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,8388	
	Gaussian Processes	0,8768	
	Least MedSq	0,6686	
	Linear Regression	0,9246	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9246	
	SMOreg	0,9216	
	Kstar	0,8274	
	M5Rules	0,8839	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$ [28/61.566%]
	M5P	0,89	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$

Çizelge 4.15. Taş numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

BASINÇ DAYANIMI	ASE-HSE-ÖA-U-DE	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,8388	
	Gaussian Processes	0,9203	
	Least MedSq	0,8628	$BD = 0.4 * ASE + (-0.253) * HSE + (-0.0015) * \ddot{O}A + 0.4853 * U + 0 * DE + 82.796$
	Linear Regression	0,9246	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9246	
	SMOreg	0,9336	
	Kstar	0,5722	
	M5Rules	0,9747	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003 [28/61.566\%]$
	M5P	0,8872	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$
DİNAMİK ELASTİSİTE	ASE-U-BD-ÖA-HSA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,5468	
	Gaussian Processes	0,5852	
	Least MedSq	0,4728	$DE = -223051.8347 * ASE + 42038.0987 * HSE + 1015.2098 * \ddot{O}A + (-11883.7442) * BD + (-47098.2476) * U + (-1345569.3878)$
	Linear Regression	0,4265	$DE = -229168.5537 * ASE + 587.6045 * \ddot{O}A + (-25085.3226) * BD + 786372.0229$
	Pace Regression		
	Simple Linear Regression	0,4261	
	SMOreg	0,56	
	Kstar	0,7054	
	M5Rules	0,4265	
	M5P	0,4265	$DE = -251752.5382 * ASE + 407707.1235$

4.3.3 Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin weka modellemesi

Çizelge 4.16. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

BİRİM HACİM AĞIRLIK	ASE-HSE	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9389	
	Gaussian Processes	0,8057	
	Least MedSq	0,9697	BHA = -6.0869 * ASE + -10.6188 * HSE + 2150.416
	Linear Regression	0,8231	BHA = -10.6017 * HSE + 2063.5566
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regr.	0,9272	
	SMOreg	0,8649	
	Kstar	0,8612	
	M5Rules	0,8713	BHA = -10.6017 * HSE + 2063.5566 [21/56.772%]
	M5P	0,8642	BHA = -10.6017 * HSE + 2063.5566
BİRİM HACİM AĞIRLIK	ASE-HSE-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9389	
	Gaussian Processes	0,8221	
	Least MedSq	0,8321	BHA = -1.3999 * ASE + (-7.6794) * HSE + 5.1055 * BD + 1949.2783
	Linear Regression	0,8846	BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regr.	0,9272	
	SMOreg	0,822	
	Kstar	0,8844	
	M5Rules	0,8846	BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194 [21/51.675%]
	M5P	0,8846	BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194
ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-HSE	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9128	
	Gaussian Processes	0,9964	
	Least MedSq	0,9253	ÖA = -13.0609 * ASE + (-20.4687) * HSE + 3279.6135
	Linear Regression	0,9858	ÖA = -33.7288 * ASE + (-15.6494) * HSE + 3452.9122
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,8965	
	SMOreg	0,9903	
	Kstar	0,9993	
	M5Rules	0,9858	ÖA = -33.7288 * ASE - 15.6494 * HSE + 3452.9122 [21/51.902%]
	M5P	0,9858	ÖA = -33.7288 * ASE - 15.6494 * HSE + 3452.9122

Çizelge 4.16. Harç numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-HSE-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9128	
	Gaussian Processes	0,9955	
	Least MedSq	0,9267	$\ddot{O}A = -12.4445 * ASE + 25.1637 * HSE + (-2.0111) * BD + 3411.6179$
	Linear Regression	0,9858	$\ddot{O}A = -33.7288 * ASE + (-15.6494) * HSE + 3452.9122$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,8965	
	SMOreg	0,9774	
	Kstar	0,9858	
	M5Rules	0,9858	$\ddot{O}A = -33.7288 * ASE - 15.6494 * HSE + 3452.9122 [21/51.902\%]$
	M5P	0,9858	$\ddot{O}A = -33.7288 * ASE - 15.6494 * HSE + 3452.9122$
ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-BD-U-EM	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9128	
	Gaussian Processes	0,9844	
	Least MedSq	0,5369	
	Linear Regression	0,9865	$\ddot{O}A = -30.4667 * ASE + 375.9225 * U + 1999.5119$
	Pace Regression		
	Simple Linear Regression	0,8965	
	SMOreg	0,9529	
	Kstar	0,8943	
	M5Rules	0,8965	$\ddot{O}A = -30.4667 * ASE + 375.9225 * U + 1999.5119 [21/52.191\%]$
	M5P	0,8965	$\ddot{O}A = -30.4667 * ASE + 375.9225 * U + 1999.5119$
BASINÇ DAYANIMI	ASE-HSE-BHA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0.7423	
	Gaussian Processes	0,8224	
	Least MedSq	0,8552	$BD = -0.8011 * ASE + (-0.4878) * HSE + 0.0196 * BHA + (-1.1557)$
	Linear Regression	0,6924	$BD = -0.8804 * ASE + 0.0325 * BHA + (-34.6773)$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,6924	
	SMOreg	0,8601	
	Kstar	0,5707	
	M5Rules	0,6925	$BD = -0.582 * HSE + 26.4067 [10/61.384\%]$
	M5P	0,6924	$BD = -0.5079 * ASE + 0.0188 * BHA - 16.2754$

Çizelge 4.16. Harç numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

BASINÇ DAYANIMI	ASE-HSE-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,8006	
	Gaussian Processes	0,8102	
	Least MedSq	0,8711	$BD = -0.6558 * ASE + (-0.6541) * HSE + 0.0042 * ÖA + 25.4043$
	Linear Regression	0,8801	$BD = -0.9354 * ASE + -0.352 * HSE + 33.466$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,8975	
	SMOreg	0,8548	
	Kstar	0,7918	
	M5Rules	0,8801	$BD = -1.5628 * ASE + 34.0829 [10/70.247\%]$
	M5P	0,8801	$BD = -0.5397 * ASE - 0.2031 * HSE + 23.0381$
BASINÇ DAYANIMI	ASE-U-EM-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,8006	
	Gaussian Processes	0,8148	
	Least MedSq	0,9532	$BD = -1.2892 * ASE + 0.0066 * ÖA + 16.5254 * U + 0 * EM + (-25.8256)$
	Linear Regression	0,8975	$BD = -1.4741 * ASE + 32.4909$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,8975	
	SMOreg	0,904	
	Kstar	0,5126	
	M5Rules	0,8975	$BD = -1.4741 * ASE + 32.4909 [21/62.488\%]$
	M5P	0,8975	$BD = -1.4741 * ASE + 32.4909$
ELASTİK MODÜL	ASE-U-BD-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,983	
	Gaussian Processes	0,9637	
	Least MedSq	0,9738	$EM = -5822.3997 * ASE + 121.3045 * ÖA + 42632.9254 * U + 759.6405 * BD + (-225550.9756)$
	Linear Regression	0,9009	$EM = -20546.2156 * ASE + 426781.5049$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9009	
	SMOreg	0,9386	
	Kstar	0,9972	
	M5Rules	0,9009	
	M5P	0,9009	$EM = -20546.2156 * ASE + 426781.5049$

Çizelge 4.16. Harç numunelerinin fiziksel deney sonuçlarının weka analizi (devamı)

ELASTİK MODÜL	ASE-U-BD-ÖA	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,938	
	Gaussian Processes	0,9637	
	Least MedSq	0,9738	EM = -5822.3997 * ASE +121.3045 * ÖA +42632.9254 * U +759.6405 * BD +- (225550.9756)
	Linear Regression	0,9009	EM =-20546.2156 * ASE +426781.5049
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9009	
	SMOreg	0,9386	
	Kstar	0,9972	
	M5Rules	0,9009	EM = -20546.2156 * ASE+ 426781.5049 [21/48.545%]
	M5P	0,9009	EM = -20546.2156 * ASE+ 426781.5049

4.4. WEKA Sonuçlarıyla (Model) Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu aşamada elde edilen weka fonksiyonları (model sonuçları) deney değerleri ile karşılaştırılarak, geliştirilen modelin uygunluğu gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Tuğla numunelerinde weka programında yapılan analiz neticesinde özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı girdileri ile özgül ağırlık çıktı fonksiyonu analizi yapılmış ve Least MedSq metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon Çizelge 4.17’de,

$$\text{ÖA} = 0.2886 * \text{BHA} + 14.8051 * \text{BD} + -18.9247 * \text{ED} + 2073,5219$$

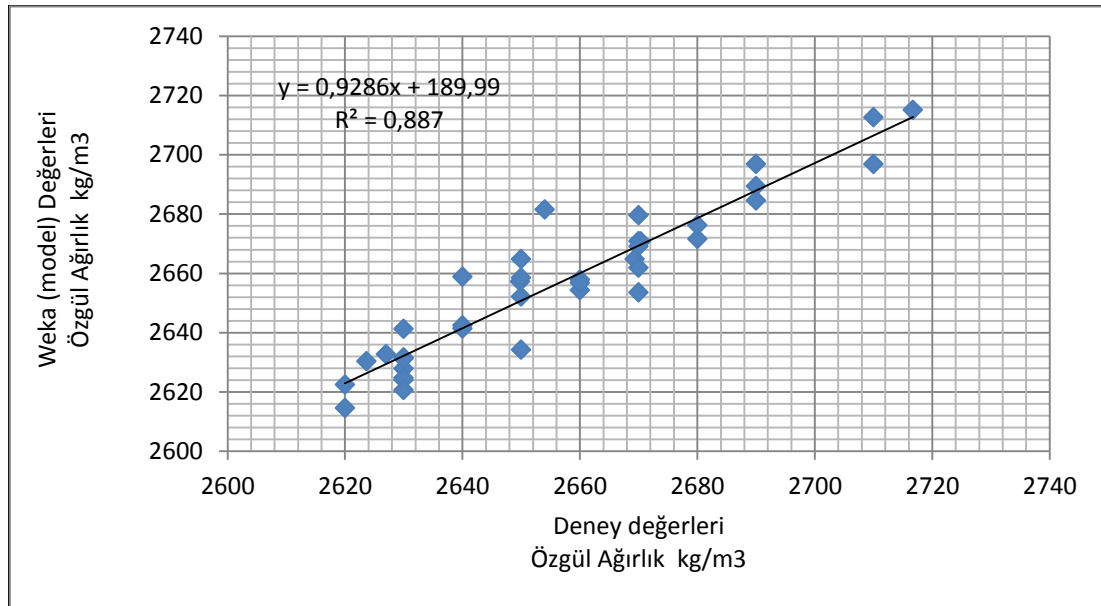
olarak verilmiştir.

Bu model denklemde, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanım deney değerleri yerine konulduğunda elde edilen grafik Şekil 4.59.’da, gösterilmiştir. Şekil 4.59. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,887$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (Model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.17. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

ÖZGÜL AĞIRLIK	BHA- BD-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9614	
	Gaussian Processes	0,9378	
	Least MedSq	0,9076	$\ddot{O}A = 0.2886 * BHA + 14.8051 * BD + -18.9247 * ED + 2073,5219$
	Linear Regression	0,9605	$\ddot{O}A = 0.2679 * BHA + 13.5869 * BD + 2104.3706$
	Pace Regression	0,9608	$\ddot{O}A = 2103.2712 + 0.2691 * BHA + 13.3932 * BD$
	Simple Linear Regression	0,9548	
	SMOreg	0,9619	
	Kstar	0,9868	
	M5Rules	0,9605	$\ddot{O}A = 0.2679 * BHA + 13.5869 * BD + 2104.3706$ [38/33.603%]
	M5P	0,9605	

$$\ddot{O}A = 0.2886 * BHA + 14.8051 * BD + -18.9247 * ED + 2073,5219 \quad (4.1)$$



Şekil 4.59. Tuğla numunelerin özgül ağırlık ve weka modeli Least MedSq metoduyla elde edilen sonuç grafiği

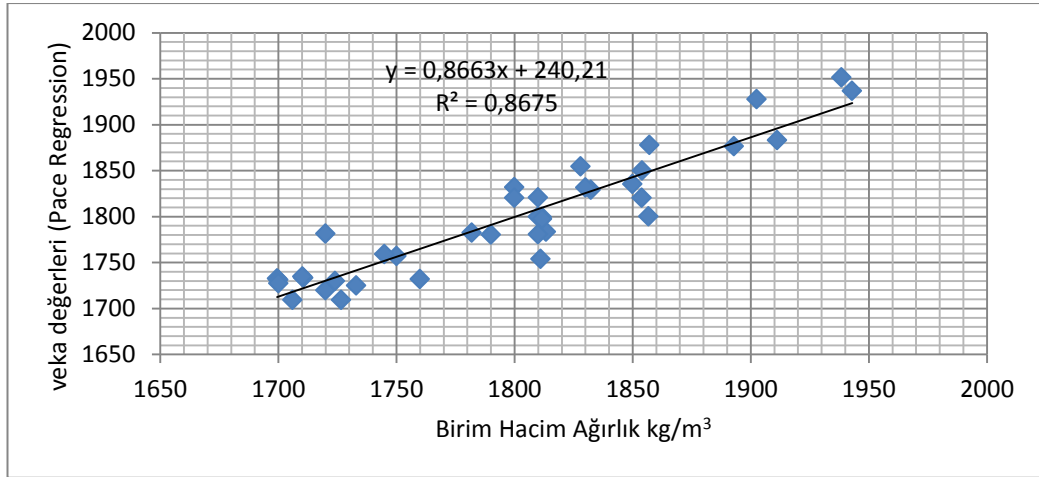
Tuğla numunelerinde weka programında yapılan analiz neticesinde birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı girdileri ile Birim hacim ağırlık çıktı fonksiyonu analizi yapılmış ve pace regression metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.2) de, $BHA = -4185.8564 + 2.2139 * \ddot{O}A + 155.0726 * ED$ verilmiştir.

Bu weka (model) denkleminde özgül ağırlık ve eğilme dayanım değerlerini yerine konulduğunda elde edilen grafik Şekil 4.60.'da gösterilmiştir. Şekil 4.60. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,8675$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.18. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Birim Hacim Ağırlık	ÖA- BD-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9489	
	Gaussian Processes	0,9306	
	Least MedSq	0,955	BHA = 2.4592 * ÖA -24.247 * BD +279.3231 * ED -4793.8191
	Linear Regression	0,9548	BHA = 2.4583 * ÖA-4733.8426
	Pace Regression	0,9526	BHA = -4185.8564 +2.2139 * ÖA +155.0726 * ED
	Simple Linear Regression	0,9548	
	SMOreg	0,9458	
	Kstar	0,9024	
	M5Rules	0,9548	BHA =2.4583 * ÖA-4733.8426 [38/37.279%]
	M5P	0,9548	BHA =2.4583 * ÖA - 4733.8426

$$BHA = -4185.8564 + 2.2139 * \text{ÖA} + 155.0726 * ED \quad (4.2)$$



Şekil 4.60. Tuğla numunelerin birim hacim ağırlık ve weka modelli pace regression metoduyla elde edilen sonuç grafiği

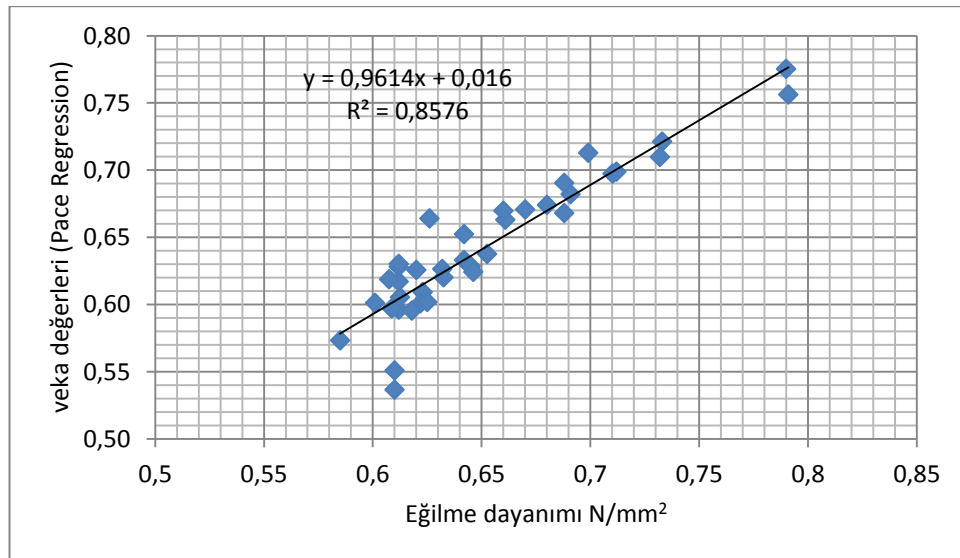
Tuğla numunelerinde weka programında yapılan analiz neticesinde eğilme dayanımı, birim hacim ağırlık özgül ağırlık, basınç dayanımı girdileri ile eğilme dayanımı çıktı fonksiyonu analizi yapılmış ve M5P metoduyla çözümleme

yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.3) de $ED = 0.0002 * BHA + 0.0772 * BD - 0.1188$ verilmiştir. Bu model denklemde, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deney değerleri yerine konulduğunda elde edilen grafik Şekil 4.61.'de gösterilmiştir. Şekil 4.61. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,8576$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.19. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Eğilme Dayanımı N/mm ²	BHA- ÖA-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9263	
	Gaussian Processes	0,9629	
	Least MedSq	0,9909	$ED = 0*BHA + 0*ÖA + 0.1046 * BD + 0.1969$
	Linear Regression	0,9761	$ED = 0.0001 * BHA + 0.073 * BD + 0.0133$
	Pace Regression	0,9798	$ED = 0.0379 + 0.0001 * BHA + 0.0751 * BD$
	Simple Linear Regression	0,9906	
	SMOreg	0,9731	
	Kstar	0,9472	
	M5Rules	0,9714	$ED = 0.1138 * BD + 0.0498$ [22/33.189%]
	M5P	0,9779	$ED = 0.0002 * BHA + 0.0772 * BD - 0.1188$

$$ED = 0.0002 * BHA + 0.0772 * BD - 0.1188 \quad (4.3)$$



Şekil 4.61. Tuğla numunelerin eğilme dayanımı ve weka modeli M5P metoduyla elde edilen sonuç grafiği

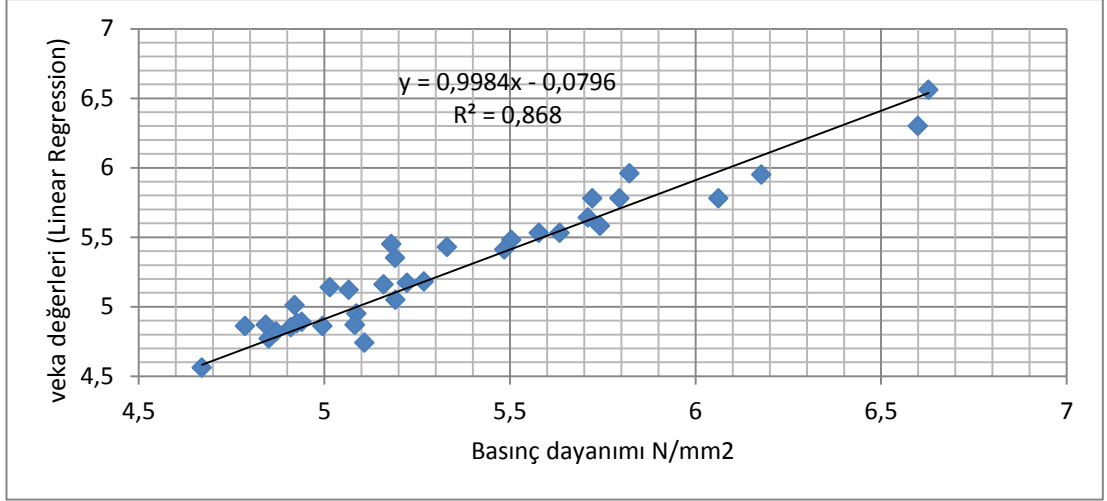
Tuğla numunelerinde weka programında yapılan analiz neticesinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, girdileri ile basınç dayanımı çıktı fonksiyonu analizi yapılmış ve linear regression metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.4) de $BD = 0.0054 * \ddot{O}A + 7.2664 * ED - 13.7829$ verilmiştir.

Bu model denklemde, özgül ağırlık, ve eğilme dayanımı deney değerleri yerine konulduğunda elde edilen grafik Şekil 4.62.'de, gösterilmiştir. Şekil 4.62. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,868$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.20. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Basınç Dayanımı N/mm ²	ÖA- BHA-ED	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9682	
	Gaussian Processes	0,9464	
	Least MedSq	0,9907	$BD = 0.0005 * BHA + 0 * \ddot{O}A + 8.9131 * ED - 1.2867$
	Linear Regression	0,9792	$BD = 0.0054 * \ddot{O}A + 7.2664 * ED - 13.7829$
	Pace Regression	0,9799	$BD = -13.5789 + 0.0053 * \ddot{O}A + 7.3031 * ED$
	Simple Linear Regression	0,9906	
	SMOreg	0,9854	
	Kstar	0,9106	
	M5Rules	0,9792	
	M5P	0,9792	$BD = 0.0028 * \ddot{O}A + 7.4443 * ED - 6.9538$

$$BD = 0.0054 * \ddot{O}A + 7.2664 * ED - 13.7829 \quad (4.4)$$



Şekil 4.62. Tuğla numunelerin basınç dayanımı ve weka modelli linear regressio metoduyla elde edilen sonuç grafiği

Yukarıdaki ifadeler dikkate alınarak; tuğla numunelerin özgül ağırlık, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık weka (model) denklemleri ile deneysel değerler arasındaki ilişkinin kat sayıları çizelge 4.21.'de sunulmuştur. Çizelge 4.21.'de basınç dayanımı özgül ağırlık, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık için bulunan kat sayıları oldukça yüksektir. İncelenen örneklerin tarihi yapılardan alınarak değerlendirildiği göz önüne alındığında bu formüller kullanılarak tarihi yapı malzemeleri özellikleri belirlenebilecektir. Bu yapılardan örnek almanın zorluğu dikkate alındığında restorasyon çalışmaları için bu formüllerin kullanılması yarar sağlayabilecektir.

Çizelge 4.21. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Weka (model) denklemi	Regresyon katsayısı
$\ddot{O}A = 0.2886 * BHA + 14.8051 * BD + -18.9247 * ED + 2073,5219$	0,887
$BHA = -4185.8564 + 2.2139 * \ddot{O}A + 155.0726 * ED$	0,8675
$BD = 0.0054 * \ddot{O}A + 7.2664 * ED - 13.7829$	0,868
$ED = 0.0002 * BHA + 0.0772 * BD - 0.1188$	0,8576

Taş numunelerin deney sonuçlarını Weka programında yapılan analiz neticesinde Özgül ağırlık, Ağırlıkça su emme, Birim hacim ağırlık, schmidt çekiçi, girdileri ile Özgül ağırlık çıktı fonksiyonu analizi yapılmış ve least medSq

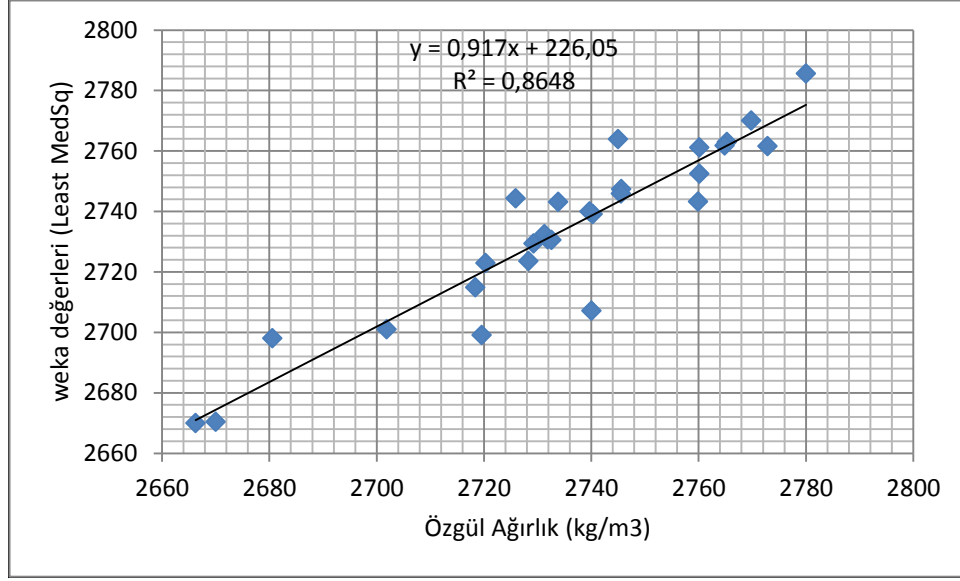
metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.5) de $\ddot{O}A = -36.8449 * ASE + 0.3411 * BHA + 5.9349 * S + 3.6843 * BD + 1178.2827$ verilmiştir.

Bu model denklemde Ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık, schmidt ve basınç dayanım değerlerini yerine koyduğumuzda elde edilen grafik Şekil 4.63.'de gösterilmiştir. Bu model denklemde, özgül ağırlık ve eğilme dayanımı deney değerleri yerine konulduğunda elde edilen grafik Şekil 4.63.'da, gösterilmiştir. Şekil 4.63. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,8648$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.22. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-BHA-BD-S	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,994	
	Gaussian Processes	0,9977	
	Least MedSq	0,9981	$\ddot{O}A = -36.8449 * ASE + 0.3411 * BHA + 5.9349 * S + 3.6843 * BD + 1178.2827$
	Linear Regression	0,9828	$\ddot{O}A = 0.2948 * BHA + 8.3419 * S + 9.161 * BD + 694.9877$
	Pace Regression	-	
	Simple Linear Regression	0,9949	
	SMOreg	0,9959	
	Kstar	0,9203	
	M5Rules	0,9848	$\ddot{O}A = 0.2948 * BHA + 8.3419 * S + 9.161 * BD + 694.9877$ [28/36.129%]
	M5P	0,9828	$\ddot{O}A = 0.2948 * BHA + 8.3419 * S + 9.161 * BD + 694.9877$

$$\ddot{O}A = -36.8449 * ASE + 0.3411 * BHA + 5.9349 * S + 3.6843 * BD + 1178.2827 \quad (4.4)$$



Şekil 4.63. Taş numunelerin özgül ağırlık ve weka modeli least medSq metoduyla elde edilen sonuç grafiği

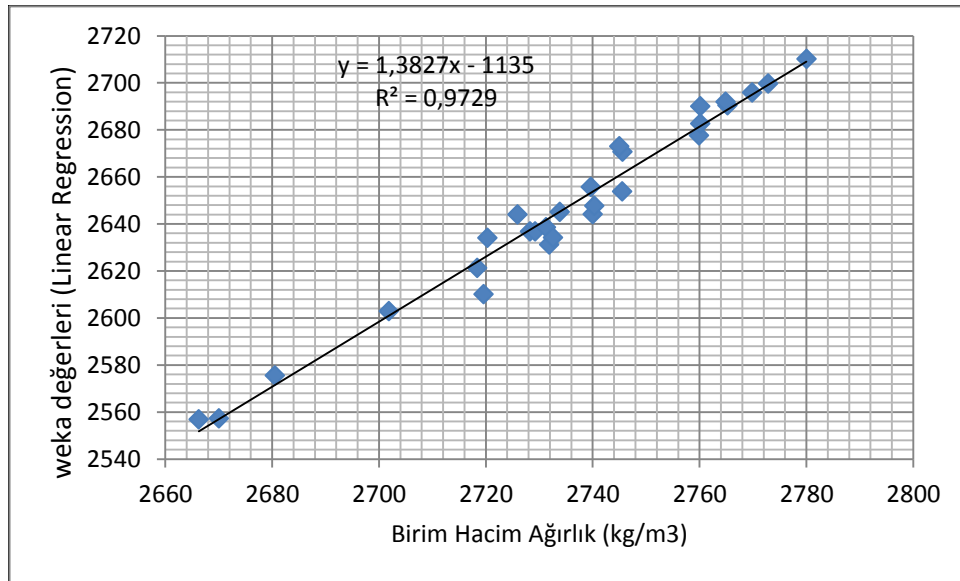
Taş numunelerin deney sonuçlarını weka programında yapılan analiz neticesinde Birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, ağırlıkça su emme, schmidt çekiçi, Basınç dayanımı girdileri ile birim hacim ağırlık çıktı fonksiyonu analizi yapılmış ve linear regression metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.6) de $BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * ÖA + (-173.9173)$ verilmiştir.

Bu model denklemde ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık değerlerini yerine koyduğumuzda elde edilen grafik Şekil 4.64.'da gösterilmiştir. Şekil 4.64. incelendiğinde kat sayısı $R^2=0,9729$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.23. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

BİRİM HACİM AĞIRLIK	ASE-ÖA-BD-S	*R	FORMÜL
	Isotonic regression	0,9907	
	Gaussian Processes	0,9524	
	Least MedSq	0,967	BHA =19.204 * ASE +0.9885 * ÖA +7.538 * S +13.5544 * BD +(-1621.8784)
	Linear Regression	0,9737	BHA =-73.9999 * ASE +1.0444 * ÖA +(-173.9173)
	Pace Regression		
	Simple Linear Regression	0,9949	
	SMOreg	0,9716	
	Kstar	0,914	
	M5Rules	0,9737	BHA = -73.9999 * ASE+ 1.0444 * ÖA- 173.9173 [28/41.47%]
	M5P	0,9737	BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * ÖA - 173.9173

$$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \text{ÖA} + (-173.9173) \quad (4.6)$$



Şekil 4.64. Taş numunelerin birim hacim ağırlık ve weka modelli linear regresyon metoduyla elde edilen sonuç grafiği

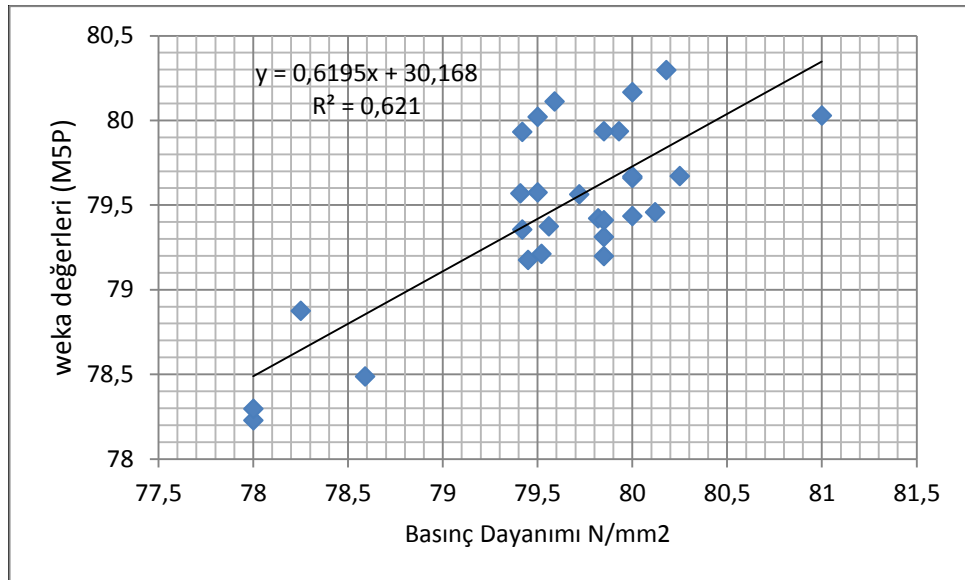
Taş numunelerin deney sonuçlarını weka programında yapılan analiz neticesinde basınç dayanımı, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, schmidt çekiçi, girdileri ile basınç dayanımı çıktı fonksyonu analizi yapılmış ve MP5 metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.7) de $BD = 0.0182 * \text{ÖA} + 29.7003$ verilmiştir.

Bu model denklemde özgül ağırlık değerleri yerine koyulduğunda elde edilen grafik Şekil 4.65’de gösterilmiştir. Şekil 4.65. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,621$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.24. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

BASINÇ DAYANIMI	ASE-BHA-ÖA-S	*R	FORMÜL
	Isotonic Regresyon	0,8388	
	Gaussian Processes	0,8768	
	Least MedSq	0,6686	
	Linear Regresyon	0,9246	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$
	Pace Regresyon	-	
	Simple Linear Regresyon	0,9246	
	SMOreg	0,9216	
	Kstar	0,8274	
	M5Rules	0,8839	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$ [28/61.566%]
	M5P	0,89	$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$

$$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003 \quad (4.7)$$



Şekil 4.65. Taş numunelerin basınç dayanımı ve weka modeli MP5 metoduyla elde edilen sonuç grafiği

Çizelge 4.25. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Weka (model) denklemi	Katsayısı
$\ddot{O}A = -36.8449 * ASE + 0.3411 * BHA + 5.9349 * S + 3.6843 * BD + 1178.2827$	0,8648
$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A + (-173.9173)$	0,9729
$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$	0,621

Taş numuneleri fiziksel ve mekanik analizler sonucunda weka üzerinde veriler işlenmiş ve isotonic regresyon, gaussian processes, least medSq, linear regresyon, pace regresyon, simple linear regresyon, SMOreg, kstar, M5Rules, M5P modelleri kullanılmıştır.

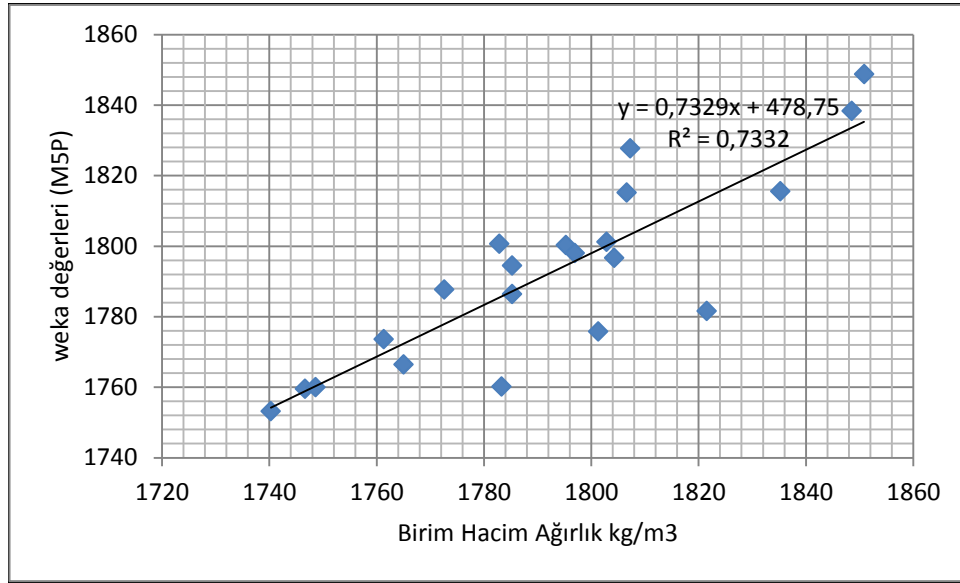
Harç numunelerinde weka programında yapılan analiz neticesinde birim hacim ağırlık basınç dayanımı, ağırlıkça su emme, hacimce su emme girdileri ile birim hacim ağırlık çıktı fonksyonu analizi yapılmış ve M5P metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.8) de $BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194$ verilmiştir. Bu model denklemde hacimce su emme, basınç dayanım değerleri yerine koyulduğunda elde edilen grafik Şekil 4.66.'da gösterilmiştir. Şekil 4.66. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,7332$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.26. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

	ASE-HSE-BD	*R	FORMÜL
BİRİM HACİM AĞIRLIK	Isotonic Regresyon	0,9389	
	Gaussian Processes	0,8221	
	Least MedSq	0,8321	$BHA = -1.3999 * ASE + (-7.6794) * HSE + 5.1055 * BD + 1949.2783$
	Linear Regresyon	0,8846	$BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194$
	Pace Regresyon	-	
	Simple Linear Regresyon	0,9272	
	SMOreg	0,822	
	Kstar	0,8844	
	M5Rules	0,8846	$BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194$ [21/51.675%]
	M5P	0,8846	$BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194$

$$BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194$$

(4.8)



Şekil 4.66. Harç numunelerin birim hacim ağırlık ve weka modeli M5P metoduyla elde edilen sonuç grafiği

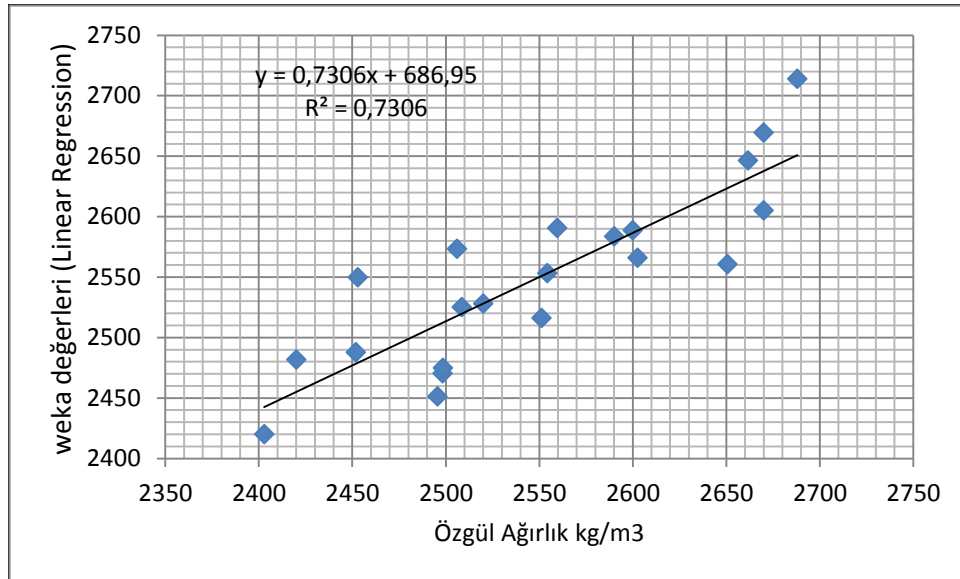
Harç numunelerinde weka programında yapılan analiz neticesinde özgül ağırlık, basınç dayanımı, ağırlıkça su emme, hacimce su emme girdileri ile özgül ağırlık çıktı fonksiyonu analizi yapılmış ve linear regresyon metoduyla çözümleme yaptığımızda elde ettiğimiz formülasyon (4.9) de $\ddot{O}A = -33.7288 * ASE + (-15.6494) * HSE + 3452.9122$ verilmiştir.

Bu model denklemde hacimce su emme ve ağırlıkça su emme değerlerini yerine koyduğumuzda elde edilen grafik Şekil 4.67.'da gösterilmiştir. Şekil 4.67. incelendiğinde kat sayısı $R^2 = 0,868$ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla weka (model) sonuçlarıyla deney değerleri arasında uygun bir ilişki gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.27. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

ÖZGÜL AĞIRLIK	ASE-HSE-BD	*R	FORMÜL
	Isotonic Regresyon	0,9128	
	Gaussian Processes	0,9955	
	Least MedSq	0,9267	ÖA = -12.4445 * ASE + 25.1637 * HSE + (-2.0111) * BD + 3411.6179
	Linear Regresyon	0,9858	ÖA = -33.7288 * ASE + (-15.6494) * HSE + 3452.9122
	Pace Regresyon	-	
	Simple Linear Regresyon	0,8965	
	SMOreg	0,9774	
	Kstar	0,9858	
	M5Rules	0,9858	ÖA = -33.7288 * ASE - 15.6494 * HSE + 3452.9122 [21/51.902%]
	M5P	0,9858	ÖA = -33.7288 * ASE - 15.6494 * HSE + 3452.9122

$$\text{ÖA} = -33.7288 * \text{ASE} + (-15.6494) * \text{HSE} + 3452.9122 \quad (4.9)$$



Şekil 4.67. Harç numunelerin özgül ağırlık ve weka modelli linear regresyon metoduyla elde edilen sonuç grafiği

Çizelge 4.28. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Weka (model) denklemleri	Katsayısı
$\ddot{O}A = -33.7288 * ASE + (-15.6494) * HSE + 3452.9122$	0,7306
$BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194$	0,7332

Taş numuneleri fiziksel ve mekanik analizler sonucunda weka üzerinde veriler işlenmiş ve isotonic regresyon, gaussian processes, least medSq, linear regresyon, pace regresyon, simple linear regresyon, SMOreg, kstar, M5Rules, M5P modelleri kullanılmıştır.

5. SONUÇ

Burdur ve Isparta illeri içerisinde yer alan Kremna, İncirlihan Kervansarayı, Adada, Sığırlık Harabesi, Zorzila ve Psidia Antiokya antik kentler ve harabelerdeki yapılardan alınan tuğla, taş ve harç numuneleri üzerinde yapılan fiziksel (birim ağırlık, su emme, özgül ağırlık, porozite, kompasite, doygunluk derecesi ve kılcal su emme) ve mekanik (basınç dayanımı, eğilme dayanımı, tek nokta indeksi, schmidt, ultrases hızı) deneyler uygulanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler bize bu bölgelerde kullanılan Tuğla, taş ve harç yapı malzemelerinin mühendislik özellikleri hakkında fikir vermiştir.

Tuğla numuneri bölgesel olarak ele alındığında fiziksel olarak çok büyük farklar olmadığı tespit edilmiştir. Yalvaç bölgesinden elde edilen eğilme dayanımı ve basınç dayanım değerleri diğer bölgelere göre biraz yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Yalvaç bölgesinden elde edilen eğilme dayanımı 0,79 N/mm² basınç dayanımı ise 6,56 N/mm² olduğu ölçülmüştür. Tuğla numunerin mineralojik analizleri göz önüne alındığında; üretim sırasında 900- 1050 °C arasındaki sıcaklıklarda yakılan tuğlalarda XRD analiz sonularına göre diopsit mineralin bulunmaktadır. Gehlenit minerali, en az 850 °C de illit ve kalsitin tepkimesiyle oluşur, Ortamda gehlenit ve hematit minerallerinin bir arada bulunması, tuğla numunenin 900 °C altında yakıldığını gösterir. Ortamda dolomit ve hematit minerallerinin varlığı, tuğla numunenin 850 °C'nin altında yakıldığını gösterir. Buna göre diopsit bulunan numuneri bölgesel olarak ele alındığında eğilme dayanımı ve basınç dayanım değerlerinin diğer birçok bölgenin üstünde olduğu görülmektedir. Adada bölgesi numunelerinden bünyesinde diopsit bulundurduğu XRD deney sonucundan görülmüştür. Bu bölge numuneleri içinde değerlendirildiğinde en yüksek eğilme dayanımı 0,73 N/mm² en yüksek basınç dayanımının 5.78N/mm² olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasında tuğla örneklerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları arasındaki ilişkiler grafik halinde incelenerek regresyon kat sayıları çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu çizelgede en yüksek regresyon kat sayıları $R^2=0,9838$ dır.

Tez çalışmasında tuğla numuneri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deney sonuçları kullanılarak weka model denklemleri belirlenmiştir. Çizelge 4.21 verilen weka (model) denklemleri yüksek korelasyonlar içermektedir. Elde edilen yüksek korelasyonlar ile model denklemler kullanılarak fiziksel ve mekanik özelliklerin birbirleri cinsinden hesap edilmesi mümkün bulunmaktadır. Elde edilen weka (model) denklemleri deneysel çalışmalardan elde edilen değerler ile karşılaştırıp grafikleri çizdiğimizde, birbiri ile uyumlu grafikler gözlemlenmektedir. Tuğla numunelerin özgül ağırlık, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık weka (model) denklemleri ile deneysel değerler arasındaki ilişkinin kat sayıları aşağıda Tablo 5.1. de gözlemlendiği gibi oldukça yüksektir.

Çizelge 5.1. Weka model değerlerinin regresyon katsayıları

Weka (model) denlemi	Regresyon katsayısı
$\ddot{O}A = 0.2886 * BHA + 14.8051 * BD + -18.9247 * ED + 2073,5219$	0,887
$BHA = -4185.8564 + 2.2139 * \ddot{O}A + 155.0726 * ED$	0,8675
$BD = 0.0054 * \ddot{O}A + 7.2664 * ED - 13.7829$	0,868
$ED = 0.0002 * BHA + 0.0772 * BD - 0.1188$	0,8576

Dolayısıyla Tuğla numunelerin özgül ağırlık, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerinin bu yüksek regresyon katsayılı formüller kullanılarak birbirleri cinsinde elde edilmesi uygun sonuçlar verebilecektir.

Taş yapılarla yapılan deneysel çalışmamızda numuner bölgesel olarak incelendiğinde mekanik ve fiziksel özellik bakımından aralarında çok fazla fark gözlemlenmemektedir. Taş numuneler mineralojik yapıları dikkate alınarak iki sınıfta değerlendirilmektedir. Birincisi mikritik kireçtaşı olup bu malzemelerin yapısı ince kristallerden oluşmaktadır. Elde edilen verilere göre taş numuneleri mikritik kireçtaşlarıdır. İkincisi sparitik kireç taşı olup bu malzemelerin yapısı kalın kristallerden oluşmaktadır. Yalvaç bölgesi numunelerinde mikritik yapıya sahiptir. Yalvaç bölgesi numunelerinin en yüksek basınç dayanım değeri 80 N/mm² dir.

Taş numunelerin özgül ağırlık, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık weka (model) denklemleri ile deneysel değerler arasındaki ilişkinin regresyon kat sayıları aşağıda Tablo 5.2.'de gözlemlendiği gibi oldukça yüksektir.

Çizelge 5.2. Taş numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Weka (model) denklemi	Regresyon katsayısı
$\ddot{O}A = -36.8449 * ASE + 0.3411 * BHA + 5.9349 * S + 3.6843 * BD + 1178.2827$	0,8648
$BHA = -73.9999 * ASE + 1.0444 * \ddot{O}A + (-173.9173)$	0,9729
$BD = 0.0182 * \ddot{O}A + 29.7003$	0,621

Harç numuneleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneyler neticesinde bölgesel değişimler azda olsa gözlemlenmektedir. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından kremna ve yalvaç bölgesi numunesinin diğer bölgelere göre düşük olduğu gözlenmektedir. Noktasal dayanım indeksi kremna ve yalvaç bölgesinde en düşük 7N/mm² olarak ölçülmüştür. Genel olarak harç örnekleri arasında büyük farkların olmadığı göze çarpmamaktadır. Harç numuneleri üzerinde yapılan XRD deney neticesinde Ortamda hematit ve opal minerallerinin (kuvars'a yakın) bulunması, bu harcın ezik tuğla kireç harcı olduğunun en önemli belirtisidir. Buna ilaveten ezik tuğla kireç harçlarında kuvars, kalsit ve plajiolaz (albit) mineralleri bulunmaktadır.

Harç numuneler ise, SiO₂ miktarına ve bünyelerindeki minerallere göre; tipik kireç harcı, ezik tuğla kireç harcı, puzolanik harç ve cementitious harcı olmak üzere dört sınıfta değerlendirilmiştir.

M3, M30 ve Adada ve Zorzila bölgeleri numunesinde tipik kireç harçlarının birim ağırlıkları 1.700 – 1.800 kg/m³ arasındayken özgül ağırlık değeri 2.590 – 2.600 kg/m³ arasındadır. M32 ve M34 puzolanik harçların birim ağırlıkları 1.940 – 1740 kg/m³ arasındayken özgül ağırlık değeri 2.400 – 2.500 kg/m³ arasındadır.

Harç numuneri üzerinde yapılan deney sonuçları neticesinde weka programında yapılan istatistik çalışmasında yüksek korelasyonların elde edildiği görülmektedir. (Bölüm 4.4.3.2.). weka'dan elde edilen formülasyonlarla harç numunelerinde mekanik ve fiziksel verileri birbiri cinsinden elde etmemize olanak sağlayacaktır.

Bölüm 4.4.3.2. de weka denklemleri denenmiş ve elde edilen weka model sonuçlarla yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçların grafiği çıkarıldığında elde edilen verilerin $R^2 = 0,73$ olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. Harç numunelerinin fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının weka analizi

Weka (model) denklemi	Regresyon katsayısı
$\ddot{O}A = -33.7288 * ASE + (-15.6494) * HSE + 3452.9122$	0,7306
$BHA = -7.1481 * HSE + 4.8577 * BD + 1924.1194$	0,7332

Sonuç olarak tez çalışmasında taş tuğla ve harçların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek ve deney değerleri arasındaki ilişkiler grafik olarak çizildiğinde yüksek regresyon katsayıları gözlemlenmektedir. Aynı zamanda weka (model) denklemleri oluşturularak deney değerlerinin yüksek korelasyonlu formülleri elde edilmiştir. Elde edilen weka (model) denklemleri ile deney değerleri arasındaki ilişki grafik olarak tekrar incelendiğinde yüksek regresyon katsayıları görülmektedir. Böylece weka (model) denklemleri tarihi tuğla, taş ve harç yapı malzemelerinin birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanım özelliklerinin belirlenmesi için uygun denklemler olduğu saptanmıştır. İncelenen örneklerin tarihi yapılardan alınarak değerlendirildiği göz önüne alındığında bu formüller kullanılarak tarihi yapı malzemelerinin birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanım özelliklerinin birbirleri cinsinden ifade edilebileceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla tarihi yapılardan örnek almanın zorluğu dikkate alındığında restorasyon ve konservasyon çalışmaları için bu formüllerin kullanılması ekonomik ve zaman kriterleri açısından büyük faydalar sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- Acar, E., 1996. "From Prehistorik Ages To The End The Bronze Age" Housing and Settlement in Anatolia: A Historical Perspective. HABİTAT II publ. p. 380-394, İstanbul.
- Adam, J. P., 1994. Roman Building Materials and Techniques. p. 119-157, London.
- Akman, M. S., 2001. "Experimental Researches and Methods Carried Out on Ancient Structures". Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. Edited by Arun, G., and Seçkin, N., pp. 491-498, İstanbul.
- Akman, M.S., 1997. "Building Materials in Early Ages of Mankind" International Conference on Studies in Ancient Structures. Edited by Özşen. G., p. 177-186, İstanbul.
- Akman, M.S., 2003. "Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi". Türkiye Mühendislik Haberleri, 426, s.30-36, İstanbul.
- Akman, M.S., Güner A., Aksoy, I.H., 1986. "The History and Properties of Khorasan Mortar and Concrete", Turkish and Islamic Science and Technology in 16th Century, V1, İstanbul Teknik Üniversitesi Research Center of History of Science and Technology Publ. p. 101-102 İstanbul.
- Aköz, F., Yüzer, N., Çakır Ö., Kabay, N., 2001. "Investigation of Materials Properties of Dolmabahçe Palace Reception (Muayede) Hall's Dome and Vaults", Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. Edited by Arun, G., and Seçkin, N., pp. 659-668. İstanbul.
- Akurgal, E., 1998. Anadolu Kültür Tarihi. Tübitak Yayınevi. Ankara.
- Almesberger, D., Tonicic, M., D'amato, A., Rizzo, A., 1997. "Diagnosis of the Historical Buildings of Dubrovnik Damaged by the War". International Conference on Studies in Ancient Structures. Edited by Özşen. G., pp. 217-224, İstanbul.
- Anonim, 1992. Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi. Gelişim Yayınevi. 11832 s, İstanbul.
- ASTM C 597, 1993. Annual Boks of ASTM Standards, 04.08, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM C 805, 1993. Non-Destructive Testing- Determinaton Of Rebound Number. Annual Boks of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

- ASTM C170 – 90, 1999. Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone. American Society for Testing and Materials, United States.
- ASTM C67 - 3a, 2003. Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. American Society for Testing and Materials, United States.
- ASTM C97 – 02. Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone. American Society for Testing and Materials, United States.
- Baer, N.S., Fitz, S., Livingston, R.A., 1998. Conservation of Historic Brick Structures. Donhead Publishing, Dorset,
- Baronio, G., Binda, L. and Tedeschi, C., 1997. "Thick Mortar Joints in Byzantine Buildings. Study of Their Composition and Mechanical Behaviour". International Conference on Studies in Ancient Structures. Edited by Özşen. G., pp. 235-244, Istanbul.
- Benavente, D., Garcia del Cura, M.A., Fort, R., Ordonez, S., 2004. "Durability Estimation of Porous Building Stones from Pore Structure and Strength". Engineering Geology 74, p.113-127.
- Bianchini, G., Marrocchino, E., Vaccaro, C., 2004. "Chemical and Mineralogical Characterisation of Historic Mortars in Ferrara (Northeast Italy)". Cement and Concrete Research 34, p. 1471-1475.
- Biscontin, G., Birelli M. P., Zendri, E., 2002. "Characterization of Binders Employed in the Manufacture of Venetian Historical Mortars. Journal of Cultural Heritage 3, p.31-37.
- Bonora, V., Fabbri, B., Negrotti, R., Proni, A., 2001. "Preliminary Investigations on Construction Materials and Conservation State of a Historical Building in Rural Area Near Faenza (Italy)". Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. Edited by Arun, G., and Seçkin, N., pp. 637-647. Istanbul.
- BS EN 12504 -2, 2001. Testing Concrete in Structures- Part2: Non-Destructive Testing- Determinaton of Rebound Number. British Standard, Brussels.
- BS EN 12808 - 3, 2001. Grouts for Tiles - Part 3: Determination of Flexural and Compressive Strength. British Standard, Brussels.
- BS EN 12808 - 5, 2001. Grouts for Tiles - Determination of Water Absorption. British Standard, Brussels.
- BS EN 1925, 1999. Natural Stone Test Methods - Determination of Water Absorption Coefficient by Capillarity. British Standard, Brussels.

- BS EN 480-5, 1997. Admixtures for Concrete, Mortar and Grout - Test methods Part5: Determination of Capillary Absorption. British Standard, Brussels.
- Büyükkolancı, M., 1998. "Adada", Göлтаş Kültür Dizisi-5, s.1-64, Isparta.
- Calcaterra, D., Cappelletti, P., Langella, A., Morra, V., Colella, A., De Gennaro, R., 2000. "The Building Stones of The Ancient Centre of Naples (Italy): Piperno From Campi Flegrei. A contribution to the Knowledge Of A Long-Time-Used Stone". Journal of Cultural Heritage 1, p. 415–427.
- Callebaut, K., Viaene, W., Waelkens, M., Ottenburgs, R., Naud J., 2000. "Provenance and Characterization of The Raw Materials of Lime Mortars Used at Sagalassos with Special Reference to the Volcanic Rocks" Sagalassos V Report on the Survey and Excavations Campaigns Of 1996 and 1997. Leuven University Press, p.651-665, Belgium.
- Callebaut. K.. 2000. "State of the Art of Research/Diagnostics of Historical Building Materials in Belgium". Belgian Building Research Institute (BBRI). p. 1-10. Leuven University.
- Cardiano, P., Ioppolo, S., De Stefano, C., Pettignano, A., Sergi, S., Piraino, P., 2004. "Study and Characterization of the Ancient Bricks of Monastery of 'San Filippo di Fragalà' in Frazzanò (Sicily)" Analytica Chimica Acta 519, p. 103–111.
- Çağlayan, M., Haberveren, S., Taşdemir, M. A., 2001. "Strength and Permeability Properties of Concretes Used in Street Furnitures". First International Symposium for Street Furnitures. p.1-10. İstanbul.
- Çankıran, O., 2000. "Yapıların Depremden Önce ve Sonrasında Tahribatsız Deney Yöntemleriyle İncelenmesi". Yapı Malzeme- İnşaat Malzemeleri İhtisas Dergisi, 47, 136-141s, İstanbul.
- Davey, N., 1961. A History of Building Materials. Phoenix House, London.
- Davidovitz, J., 1987. "Ancient and Modern Concretes What is the Real Difference?" ACI Concrete International, 9(12), p.23-35.
- Degryse P., Muchez P., Loots L., Vandeput L., Waelkens M., 2003. "The Building Stones of Roman Sagalassos (SW Turkey): Facies Analysis and Provenance", s.9-22, Erlangen.
- Degryse, P., Elsen, J., Waelkens, M., 2002. "Study of Ancient Mortars from Sagalassos (Turkey) in View of Their Conservation". Cement and Concrete Research 32, p.1457-1463.
- Değirmenci, N., and Baradan B., 2001. "A Puzzolanı Plaster for Conservation of Historical Earthen Walls" Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. Edited by Arun, G., and Seçkin, N., pp. 609-618, İstanbul.

- Demirer, Ünal., 2002. "Pisidia Antiokheiası", s. 1-80, Isparta.
- Dodge, H., 1987 "Brick Construction in Roman, Greece and Asia Minor" Roman Architecture in the Greek World. Edited by Macready S., and Thompson F. H., p.106-116, London.
- Duminuco, P., Messiga, B., Riccardi, M. P., 1998. "Firing Process of Natural Clays. Some Microtextures and Related Phase Compositions". *Thermochimica Acta* 321, p.185-190.
- Elsen, J., Brutsaert, A., Deckers, M., Brulet, Raymond., 2004. "Microscopical Study of Ancient Mortars from Tournai (Belgium)" *Materials Characterization* 53, p. 289 – 294.
- Eren, Ö., Bahalı M., 2005. "Some Engineering Properties of Natural Building Cut Stones of Cyprus". *Construction and Building Materials* 19, p. 213–222.
- Esin, U., 1996. "Aşıklı Ten Thousand Years Ago: A Habitation Model from Central Anatolia" *Housing and Settlement in Anatolia: A Historical Perspective. HABİTAT II* publ. p. 30-44, Istanbul.
- Finch J. K., 1954, *The Story of Engineering*, Anchor Publ., New York.
- Franzini, M., Leoni, L., Lezznerini, M., 2000. "A Procedure for Determining the Chemical Composition of Binder and Aggregate in Ancient Mortars. Its Application to Mortars from Some Medieval Buildings in Pisa". *Journal of Cultural Heritage* 1, p.365–373.
- Güleç, A., and Tulun, T., 1997. "Physico Chemical And Petrographical Studies Of Old Mortars And Plasters Of Anatolia". *Cement and Concrete Research*, 27, No. 2, p. 227-234.
- <http://fef.sdu.edu.tr/~yazisler/adada.htm>, 03.09.2004
- <http://www.geocities.com/bucak15/tarihi.htm>, 08.09.2004
- <http://www.isparta.8k.com/sutculer.htm>, 05.09.2004
- <http://www.kenthaber.com/Sayfalar/IlceTuristikBilgi.asp?IlceKodu=1503&IlceAdi=Bucak>, 08.09.2004
- http://www.kultur.gov.tr/portal/arkeoloji_en.asp?belgeno=5963, 03.09.2004
- http://www.kultur.gov.tr/portal/arkeoloji_en.asp?belgeno=669, 05.09.2004
- <http://www.newadvent.org/cathen/11567b.htm>, 03.09.2004
- <http://www.smyo.net/ortasayfalar/sutculer.asp> 03.09.2004
- İnan J., 1970. "Kremna Kazısı Raporu", *Türk Arkeoloji Dergisi* XIX/2, s.51-97.

- Karaveziroğlu, M., Barboutis, C., Kranas, V., 1997. "Behaviour of Masonry With Full Bricks and Lime Mortars". International Conference on Studies in Ancient Structures. Edited by Özşen. G., pp. 225-233, Istanbul.
- Kaya M.A., Keçeli D.A., Özyalın Ş., Uyanık O., Çınar K., Kalyoncuoğlu Y., 1997. "Pisidia Antiocheia'sı Roma Hamamı", I. Uluslararası Pisidia Antiocheia Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kocaeli Ofset Matbaacılık, s.51-67, Isparta.
- Kırca, Ö., Erdem, T. K., Uslu B. H., Bakırer, Ö., 2001. "Estimation of the In-Situ Mechanical Properties of the Construction Materials in A Medieval Anatolian Building, Sahip Ata Hanikah in Konya". Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. Edited by Arun, G., and Seçkin, N., pp. 691-701, Istanbul.
- Kretschmer, F., 2000. Antik Roma'da Mimarlık ve Mühendislik. Arkeoloji ve Sanat Yayınları. 29 s.
- Lopez-Arce, P., Garcia-Guinea, J., Gracia, M., Obis, J., 2003. "Bricks in Historical Buildings of Toledo City: Characterisation and Restoration". Materials Characterization 50, p.59– 68.
- Malinowski, R., 1981. "Ancient Mortars and Concretes" Durability Aspects. Proceedings ICCROM Symposium. p.341–349, Rome.
- Mitchell S., Cormack S., Fursdon R., Owens E., Öztürk J., 1995. "Cremna in Pisidia An Ancient City in Peace in War", Published in America United State, s.1-175.
- Mitchell, S., 1988. "Cremna 1987", VI Araştırma Sonuçları Toplantısı, Kültür Bakanlığı Milli Kütüphane Basımevi, p.219-223, Ankara.
- Morgan, H., 1960. Vitruvius, Ten Books on Architects. Dover Publ., New York
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S., 2004. "Composite Materials in Ancient Structures". Cement and Concrete Composites, p. 1-6.
- Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou. K., 2000. "Investigation of the Technology of Historic Mortars". Antonia Journal of Cultural Heritage 1, p.45-58.
- Moropoulou, A., Biscontin, G., Bakolas, A., Bisbikou, K., 1997. "Technology and Behavior of Rubble Masonry Mortars". Construction and Building Materials. 11, p.119-129.
- Moropoulou, A., Polikreti, K., Bakolas, A., Michailidis, P., 2003. "Correlation of Physicochemical and Mechanical Properties of Historical Mortars and Classification by Multivariate Statistics". Cement and Concrete Research 33. p.891-898.
- Naumann, R., 1991. Eski Anadolu Mimarlığı, Türk Tarih Kurumu Basımevi. 494 s, Ankara.

- Neville, A. M., 1995. Properties of Concrete. VVP. pp. 1 Longman Malaysia.
- Oğuztüzün, C., Aralık 1996. "Sütçüler: Issızlığın Ortası", Atlas Dergisi, s.44-58.
- Özdoğan, M., 1996. "from Huts to Houses Firsts in Architecture" Housing and Settlement in Anatolia: A Historical Perspective. HABİTAT II Publ. p. 1-29, Istanbul.
- Papayanni, I., 1997. "Technology of Mortars and Bricks Used in Ottoman Monuments of Thessaloniki". International Conference on Studies in Ancient Structures. Edited by Özşen. G., pp. 245-253. Istanbul.
- Papayanni, I., Hatzitrifonos, E., 1997. "A Survey of the Pazar Hamam in Thessaloniki". International Conference on Studies in Ancient Structures. Edited by Özşen. G., pp. 283-292, Istanbul.
- Papayanni, I., Stefanidou, M., 1997. "Repair Mortars Suitable for Interventions of Ottoman Monuments". International Conference on Studies in Ancient Structures. Edited by Özşen. G., pp. 255-264. Istanbul.
- Papayanni, I., Stefanidou, M., 2001. "Porosity and Structure of Old Mortars". Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. Edited by Arun, G., and Seçkin, N., pp. 509-518, İstanbul.
- Postacioğlu, B., 1981. İç Yapı ve Mekanik Özellikler, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası. 1, s.572-573, İstanbul.
- Postacioğlu, B., 1986. Beton Bağlayıcı Maddeler. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 1, 2s, İstanbul.
- Radivojevic, A., Dervissis, D., 2001. "Production and Testing of Bricks for Repair Work". Proceeding of the 2nd International Congress Studies in Ancient Structures. Edited by Arun, G., and Seçkin, N., pp. 581-588. Istanbul.
- Riccardi, M. P., Duminuco, P., Tomasi, C., Ferloni, P., 1998. "Thermal, Microscopic and X-ray Diffraction Studies on Some Ancient Mortars". Thermochemica Acta 321, p.207-214.
- Riccardi, M.P., Messiga, B., Duminuco, P., 1999. "An Approach to the Dynamics of Clay Firing". Applied Clay Science 15, p. 393-409.
- Straub, H., 1964. History of Civil Engineering, MIT Pres, Cambridge MA
- Taşlıalan, M., 1997. "Pisidia Antiocheia'sının Tarihçesi", I Uluslararası Pisidia Antiocheia Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kocaeli Ofset Matbaacılık, s.5-20, Isparta.
- Taşlıalan, M., 1999. "Pisidia Antiocheia'sı 1997 yılı Çalışmaları", IX. Müze Kurtarma Kazıları Semineri, Kültür Bakanlığı Milli Kütüphane Basımevi, s.21-39, Ankara.

- Thorpe, M., 2002. Roma Mimarlığı. Çeviren: Akbulut, R., Hamer Kitapevi. 108-112s.
- TSE 699, 1987. Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları. Türk Standardları Enstitüsü, s. 1-70, Ankara.
- TSE 704, 1979. Harman Tuğlası (Duvarlar İçin). Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 705, 1986. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Uyan, M., 1975. "Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı" İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası s.27-64, İstanbul.
- Vandaele, K., Waelken, M., 1995. "Evaluation of Surface Hardness of Building Stones As A Tool for Relative Dating". Sagalassos III Report on the Fourth Excavations Campaign of 1993. Leuven University Press, p.137-141. Belgium.
- Viaene, W., Ottenburgs, R., Muchez, P., Waelkens, M., 1993. "The Building Stones of Sagalassos" Sagalassos I First General Report on The Survey (1986-1989) and Excavations (1990- 1991). Leuven University Press, p.85-92, Belgium.
- Viaene, W., Waelkens, M., Ottenburgs, R., Callebaut K., 1997. "An Archaeometric Study of Mortars Used at Sagalassos" Sagalassos IV Report on the Survey and Excavations Campaigns of 1994 and 1995. Leuven University Press, p.406-421, Belgium.
- Vitruvius, A., 1990. Mimarlık Üzerine On Kitap. Türkçeye Tercüme Güven, S., Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayını.
- Yücel, Kemal T., Süleyman Demirel Üniversitesi, BAP, 0853-YL-04 2005.
- Zamudio-Zamudio, T. J., Garrido-Alfonseca, A., Tenorio, D., Jimenez-Reyes, M., 2003. "Characterization of 16th and 18th Century Building Materials from Veracruz City, Mexico". Microchemical Journal 74, p. 83-91

EKLER

Ek A. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nden alınan izin yazısı

Ek B1. Tuğla Numunelerin Fiziksel ve Mekanik zellik Grafikleri

Ek B2. Taş Numunelerin Fiziksel ve Mekanik zellik Grafikleri

Ek B3. Harç Numunelerin Fiziksel ve mekanik zellik Grafiği

Ek A. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nden alınan izin yazısı



**T.C.
KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIğI
Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü**

ANKARA

SAYI : B.16.0.AMG.0.10.00.02.713.4

KONU : Öğrenci alışması

05.07.04 016157

**Sayın Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yapı A.B.D. Yapı Malzemesi Bilim Dalı
32260 nr/ISPARTA**

İLGİ: a) Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL' in 15.01.2004 gnl başvurusu

b) Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL' in 23.06.2004 gnl başvurusu

Süleyman Demirel Üniversitesi,Müh.-Mim. Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Yapı Anabilim Dalı ğretim yesi Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL 'in danışmanlığında Serkan GÜLMEZ tarafından Burdur ve Isparta İllerinde bulunan antik kentlerde 2004 yılında gerçekleştirmek istenen "Antik Yapılarda Kullanılan İnşaat Malzemeleri ve Bu Malzemelerin zelliklerinin Fiziksel,Mekanik Tahribatlı ve Tahribatsız Deney Yöntemleri Kullanılarak Saptanması" konulu tez çalışmasına ilişkin ilgi (a) ve (b) başvurular incelenmiştir.

Söz konusu çalışmanın,Burdur ,Isparta ile Yalvaç Müze Müdürlüklerinin denetiminde ve belirleyeceği şartlarda, herhangi bir sondaj ve kazı yapılmaksızın ve alanda bulunan kültür varlıklarına fiziki müdahalede bulunulmaksızın, halen bölgede Bakanlığımız izinleri ile devam eden kazı ve araştırma başkanları ile iletişim kurularak gerçekleştirilmesi uygun grlmştir.

Ayrıca çalışmaya ilişkin raporun Bakanlığımız Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü'ne gönderilmesi hususunda bilgi ve gereğini rica ederim.

**Nadir AVCI
Bakan a.
Genel Müdür**

EKLER :

EK:1 (1yazı rneği-3 sayfa)

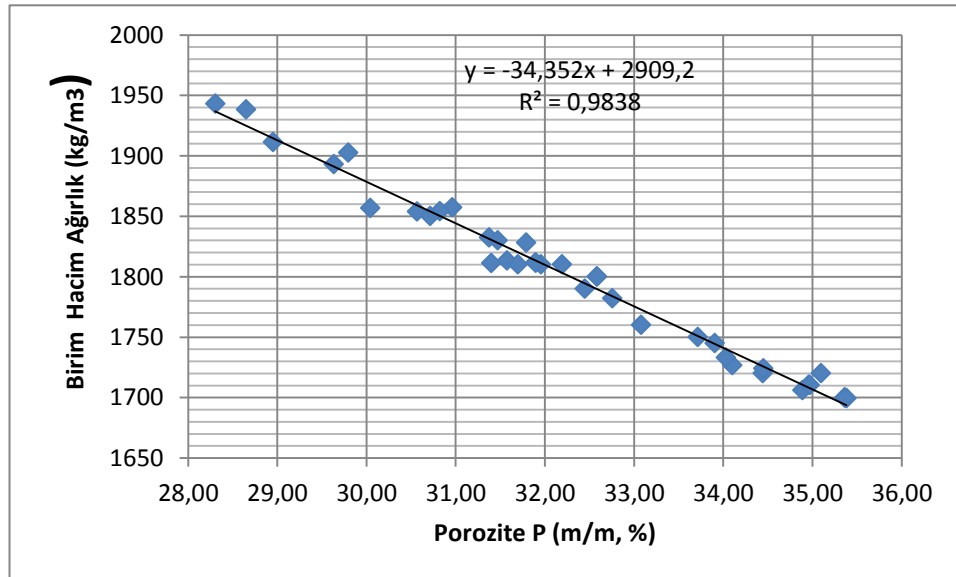
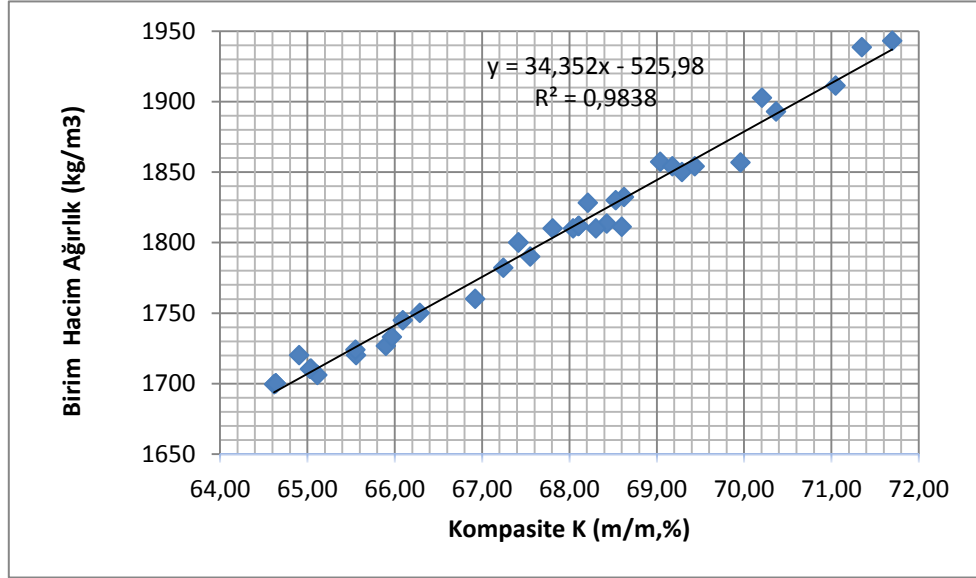
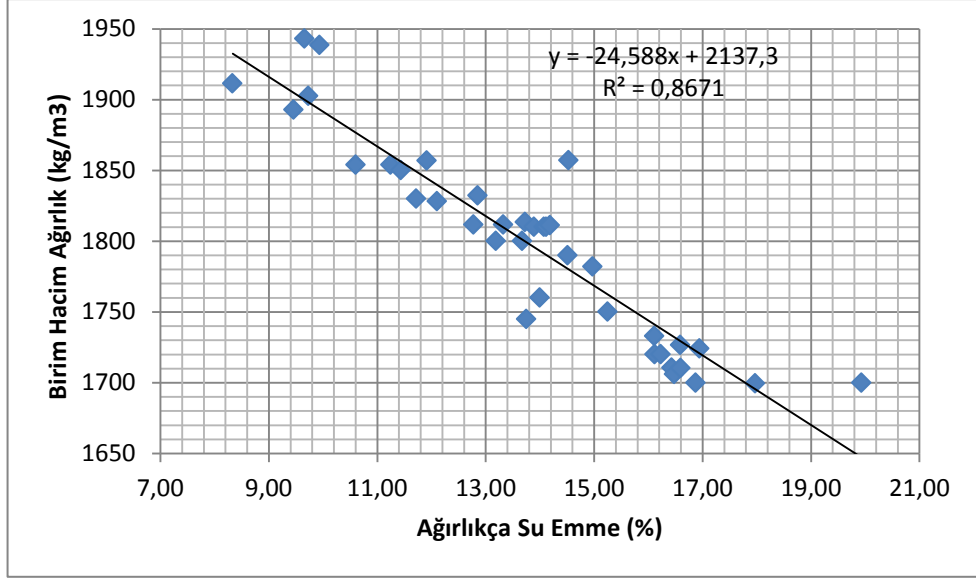
DAğITIM:

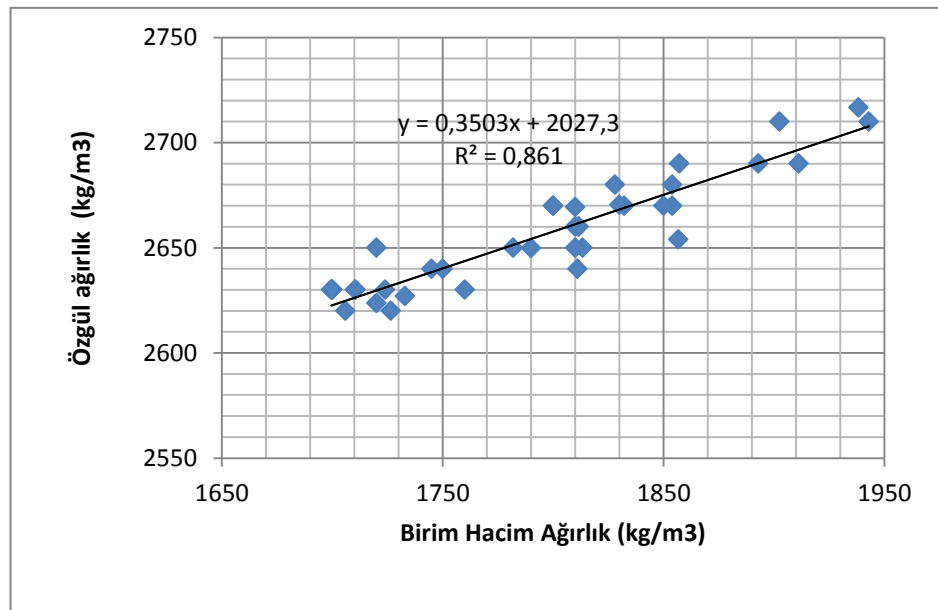
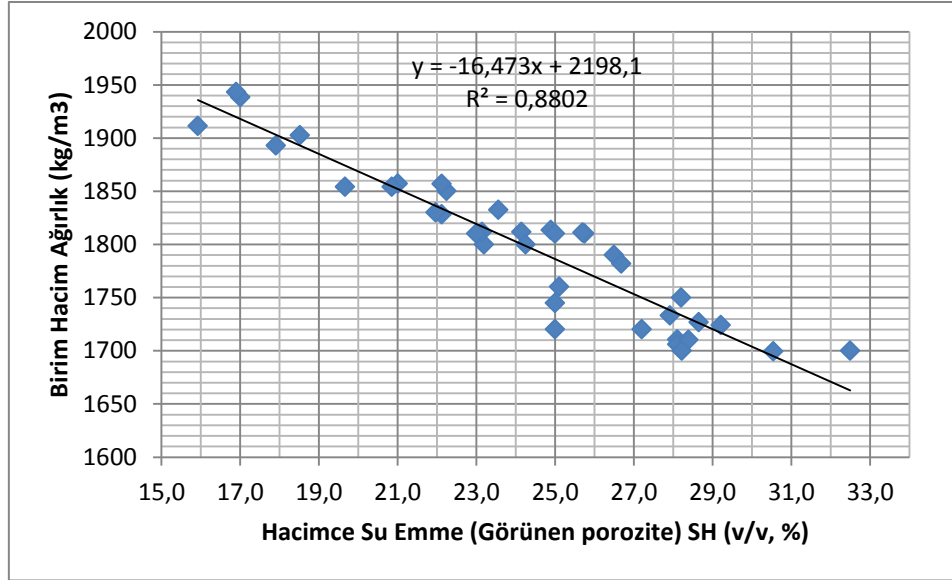
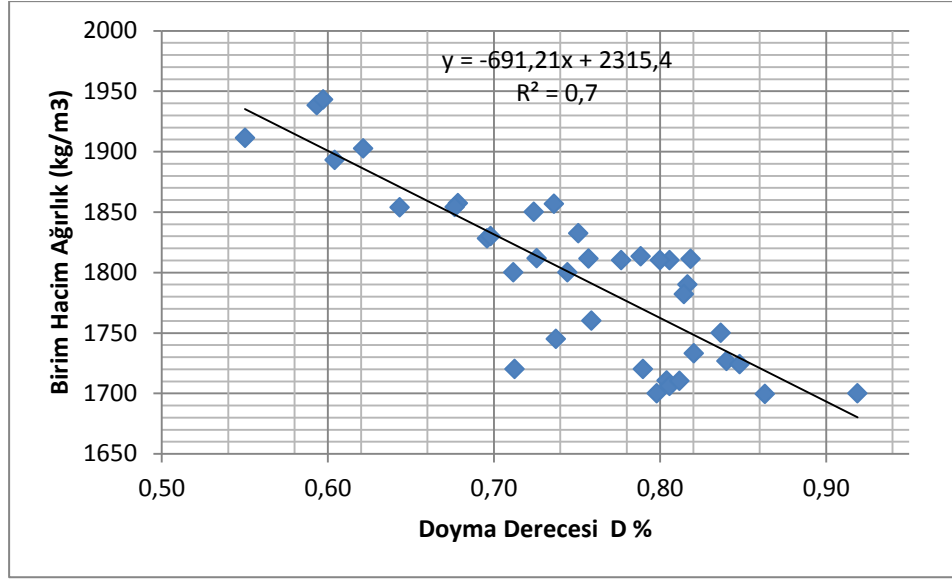
-Burdur Valiliğine
-Isparta Valiliğine
-Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL
Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yapı A.B.D. Yapı Malzemesi Bilim Dalı
32260 nr/ISPARTA

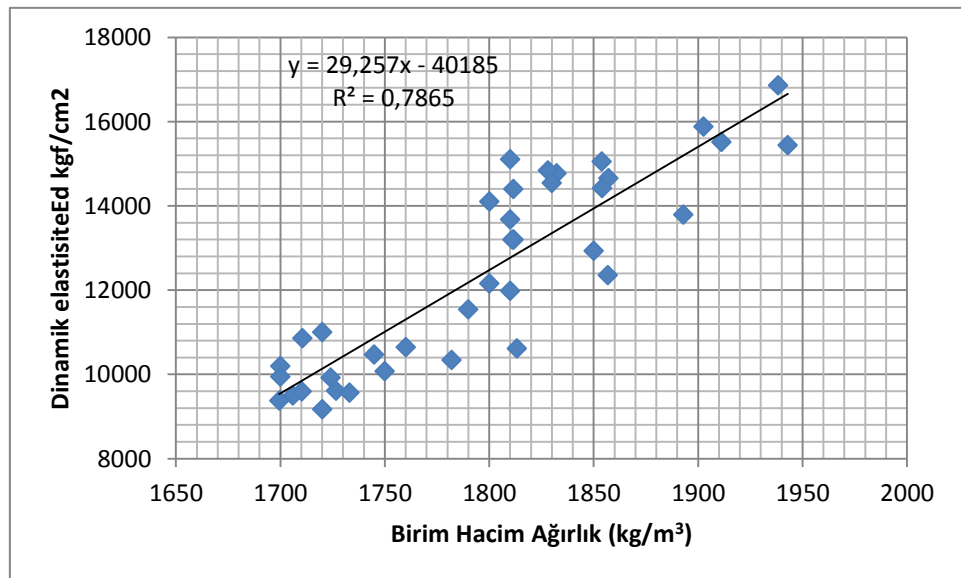
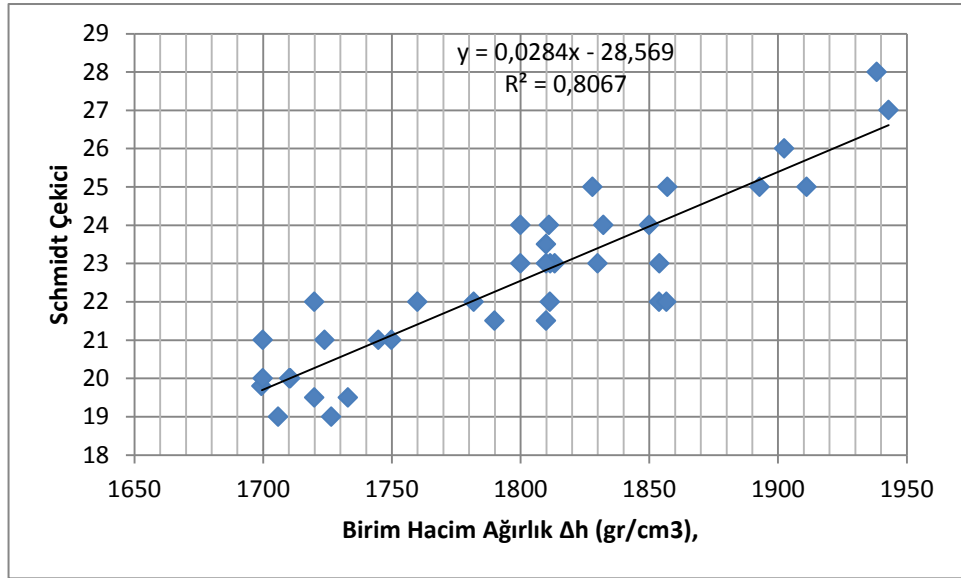
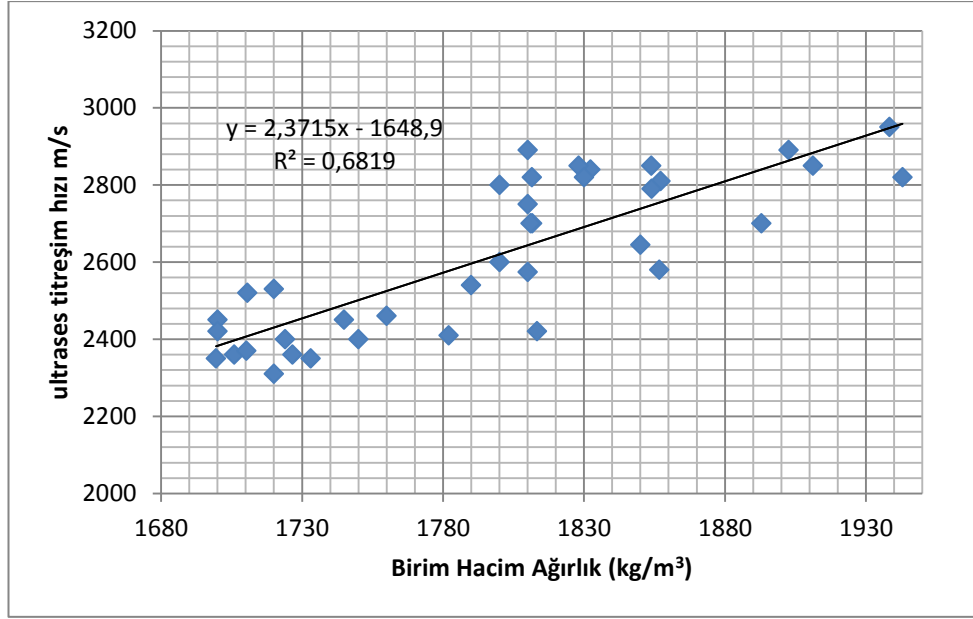
İ.T.B.M.M. Uhs 06543/ Ankara
www.kulturturizm.gov.tr

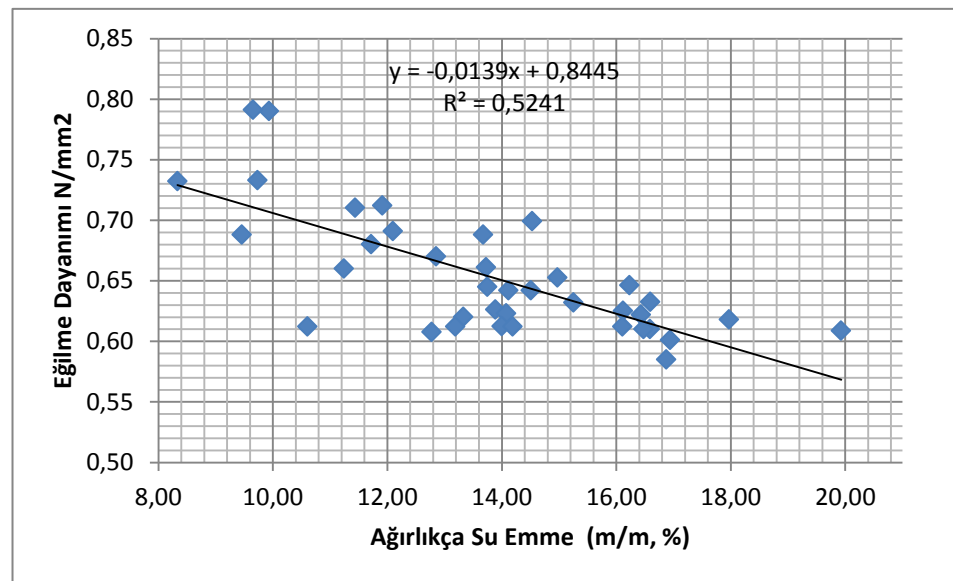
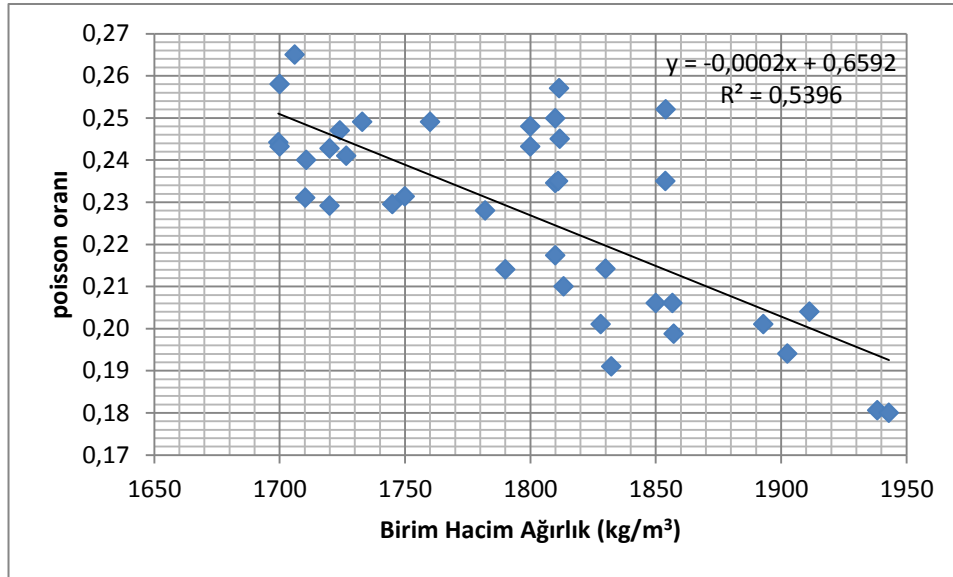
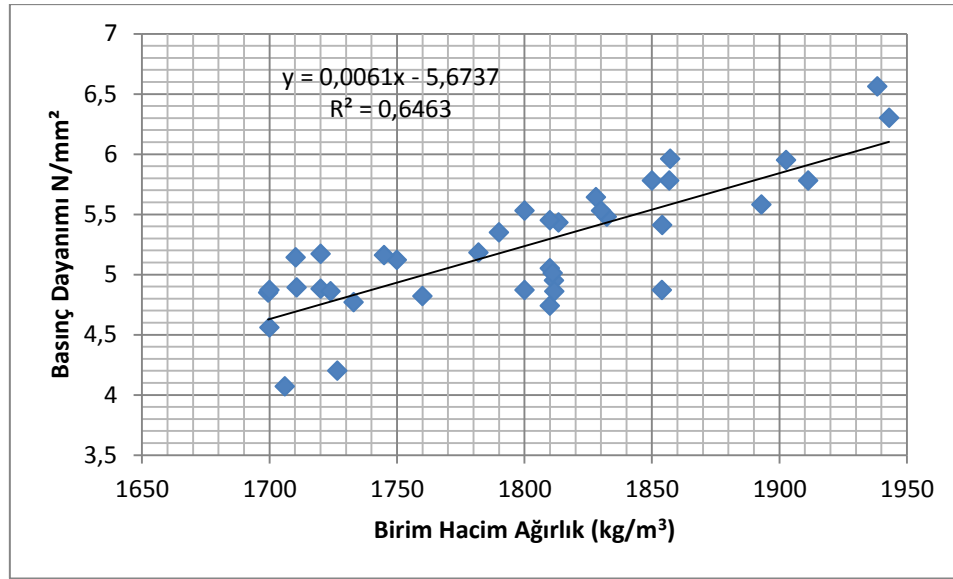
Tel: 310 49 60 (9 hat) Fax: 311 66 03
E-Mail: kulturvarlikmuze@kulturturizm.gov.tr

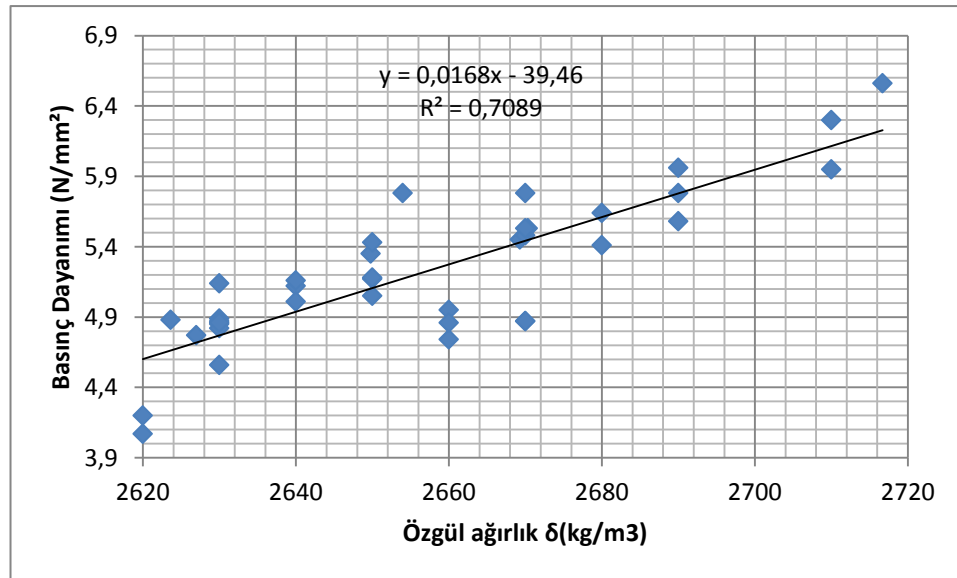
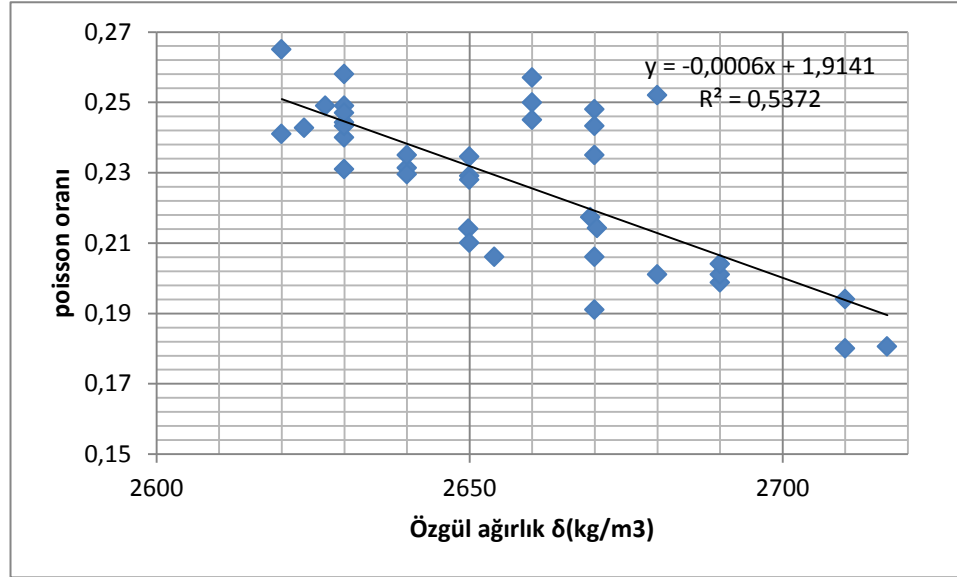
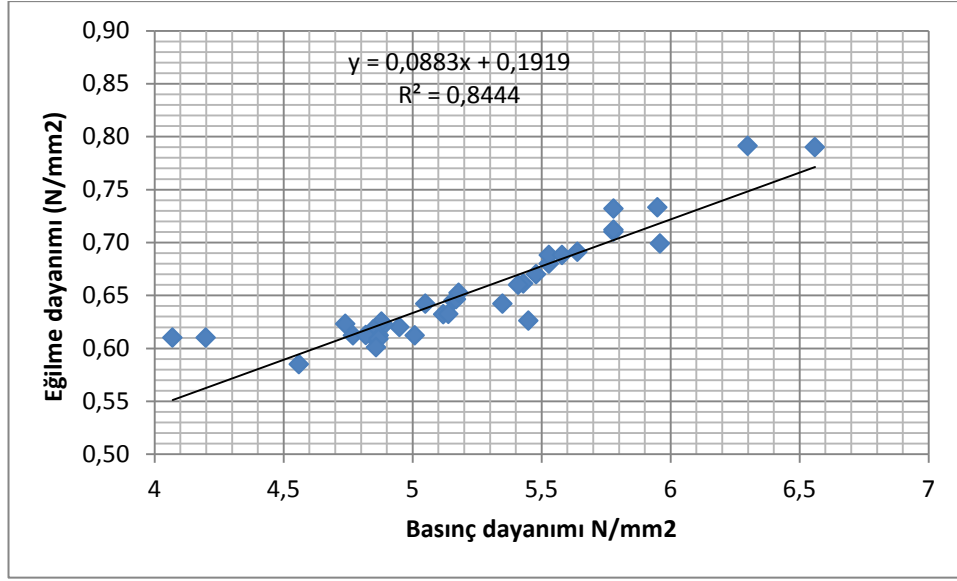
Ek B1. Tuğla Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellik Grafikleri

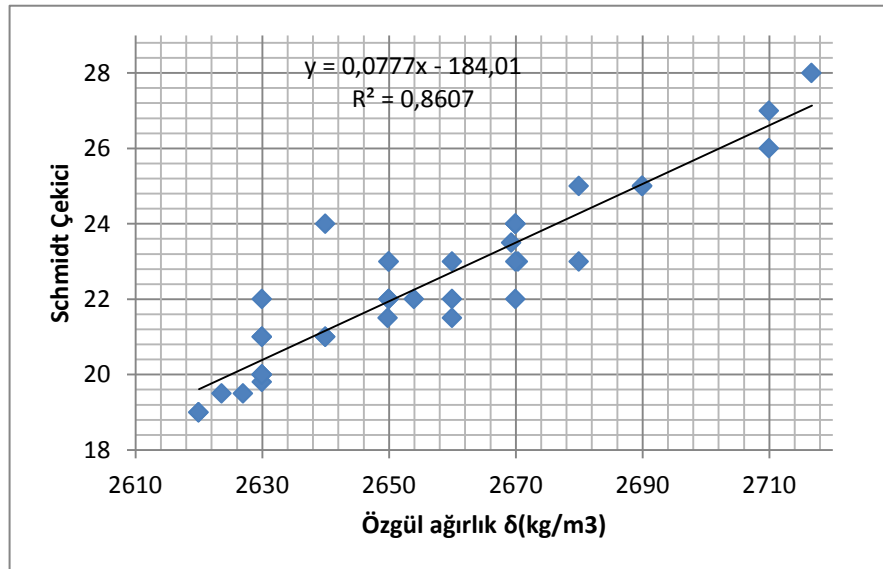
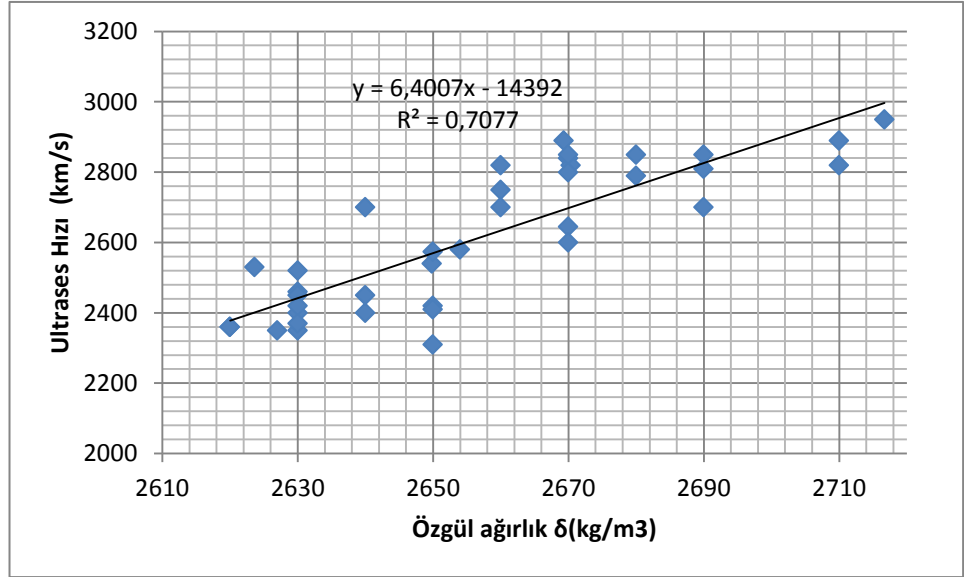
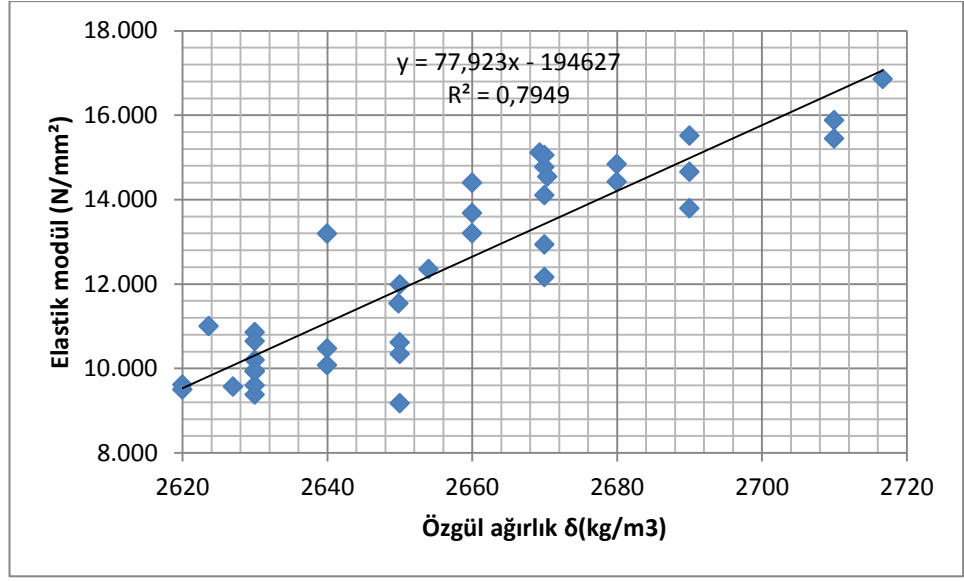


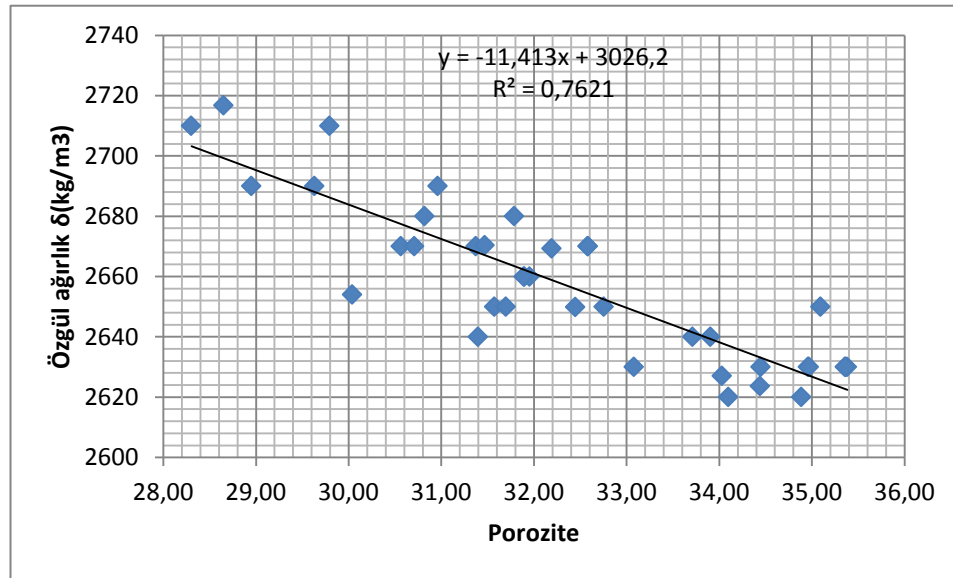
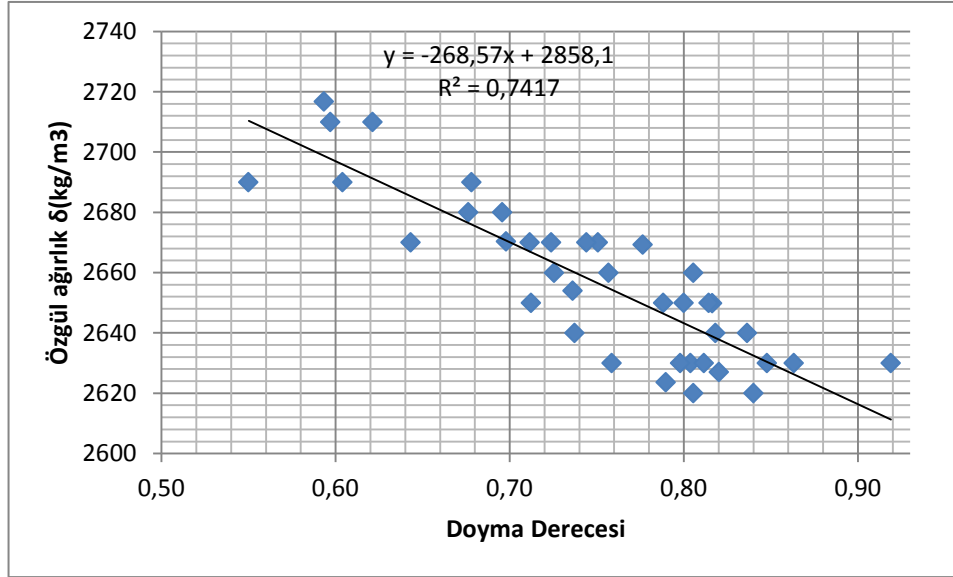
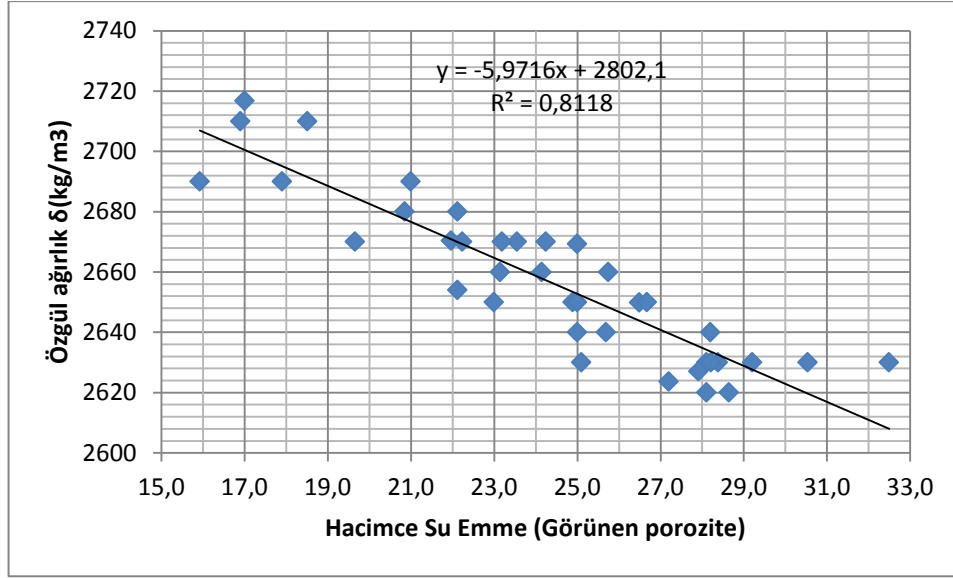


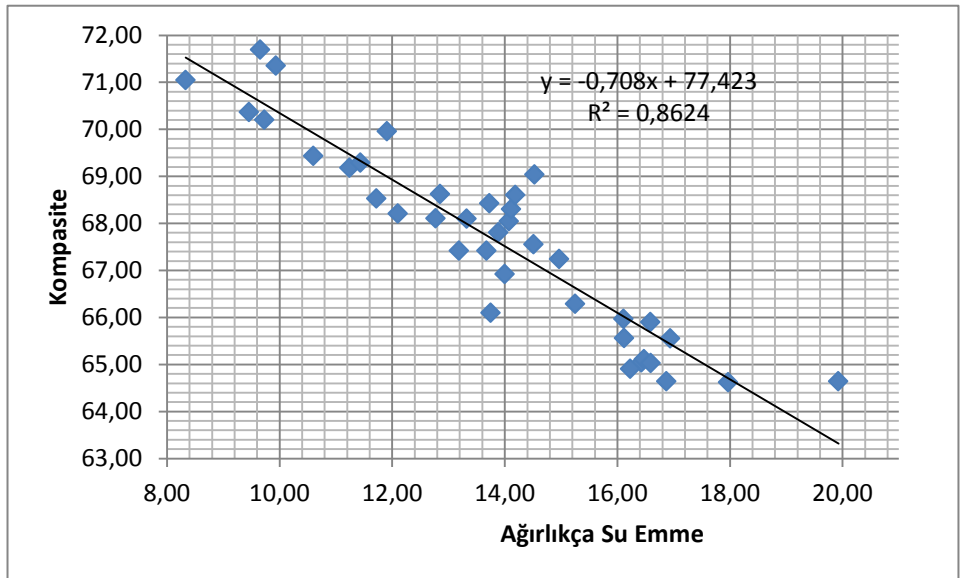
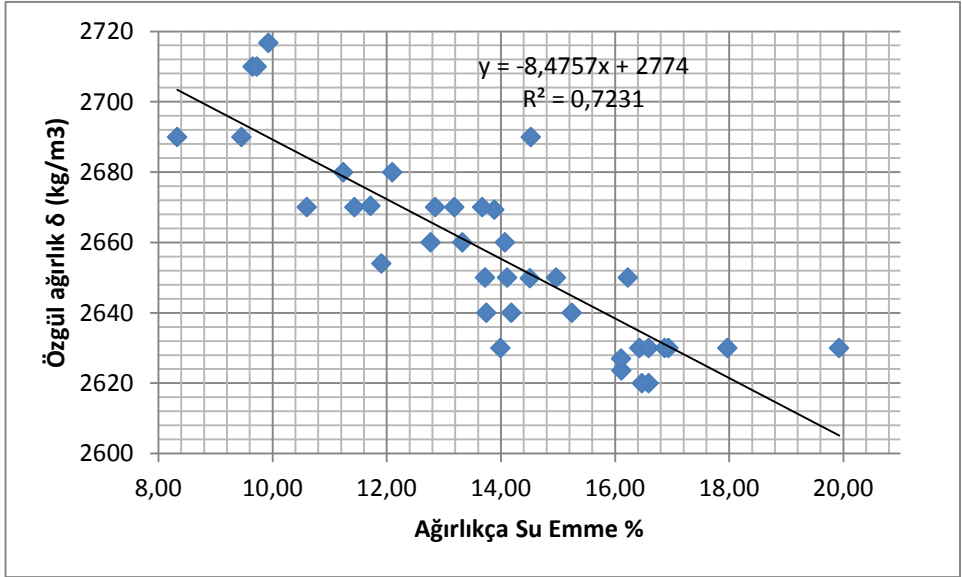
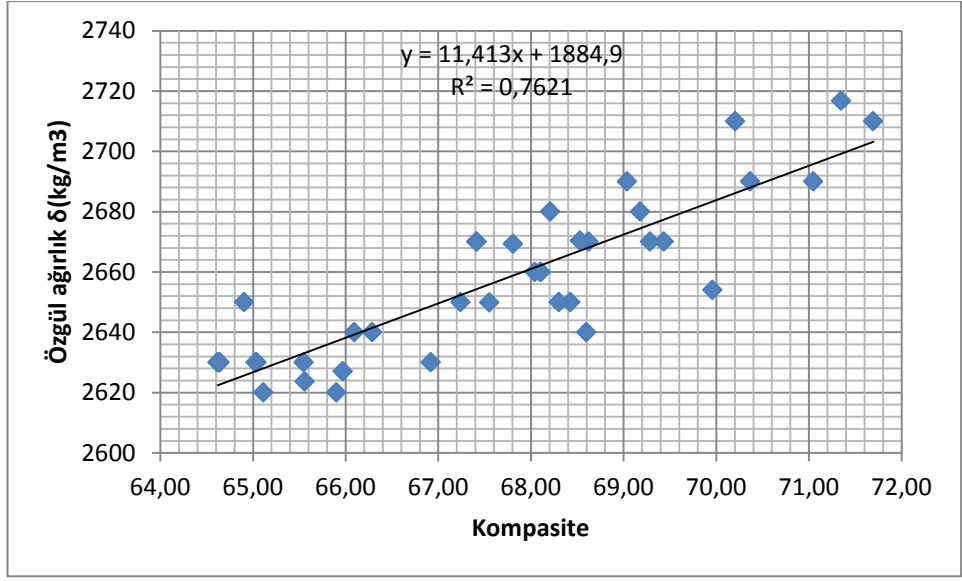


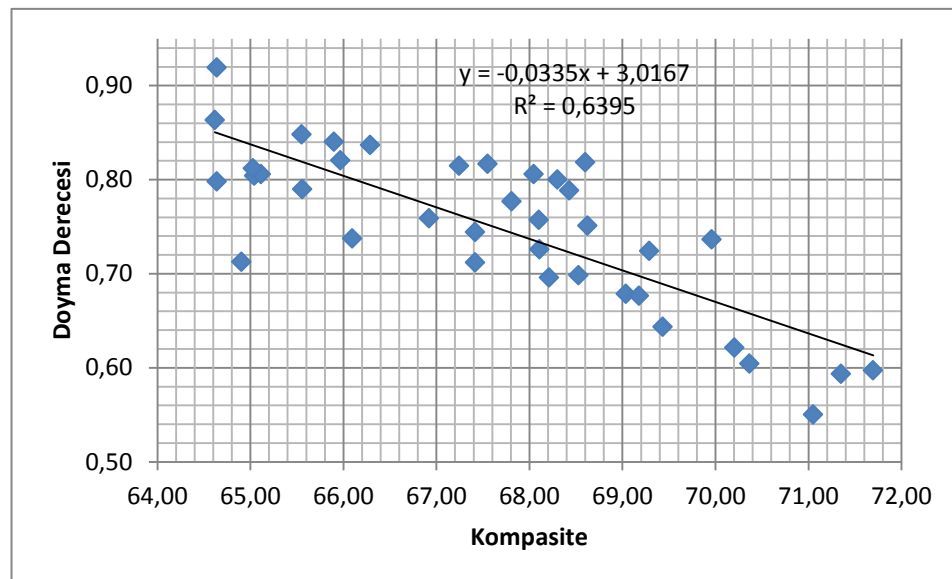
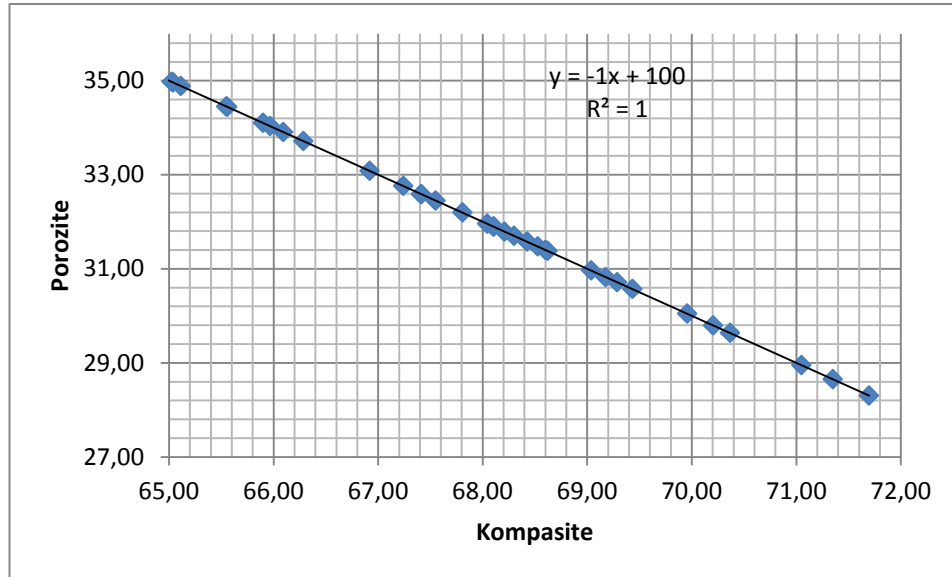
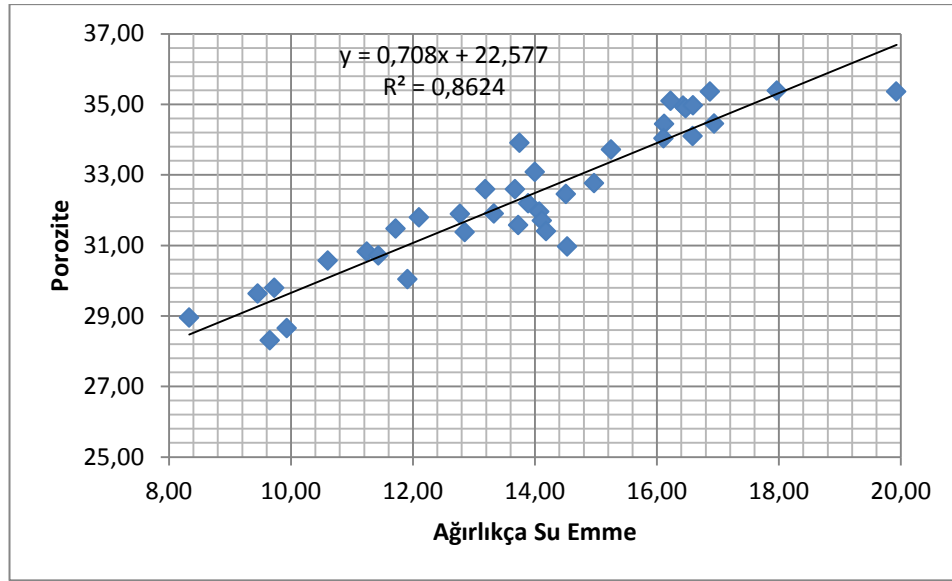


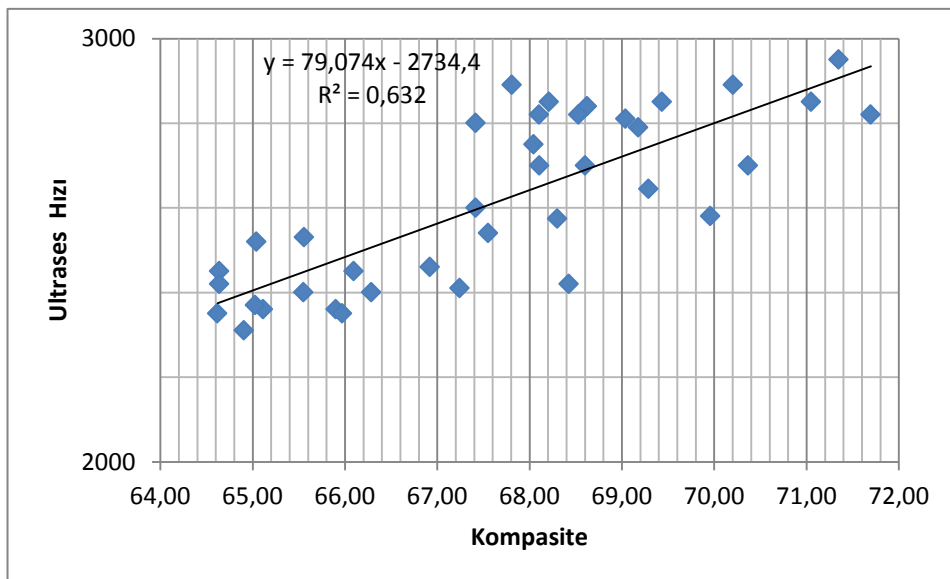
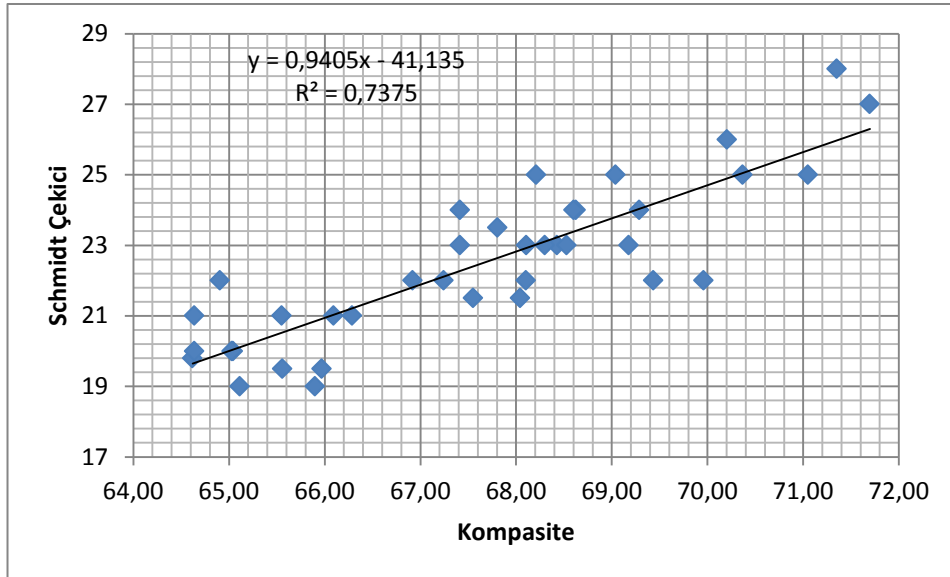
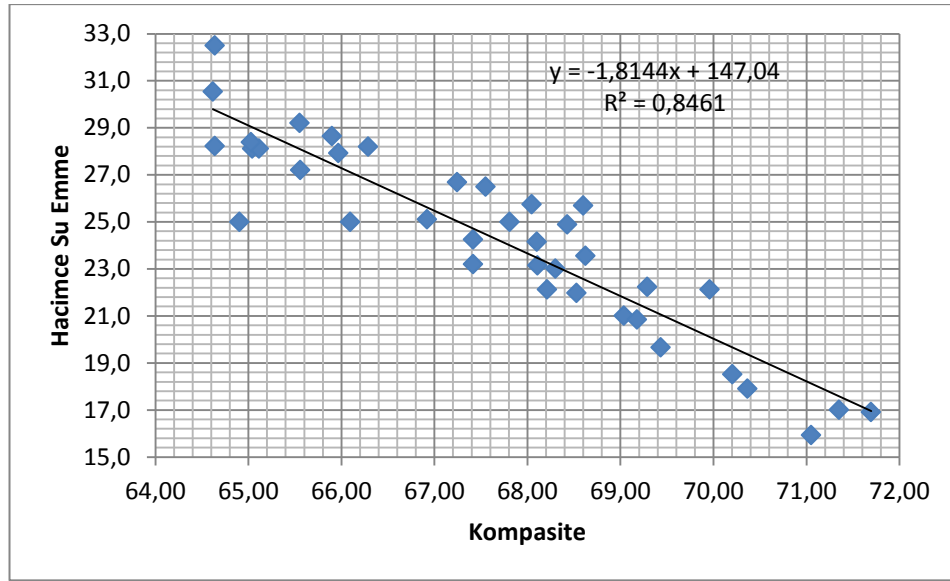


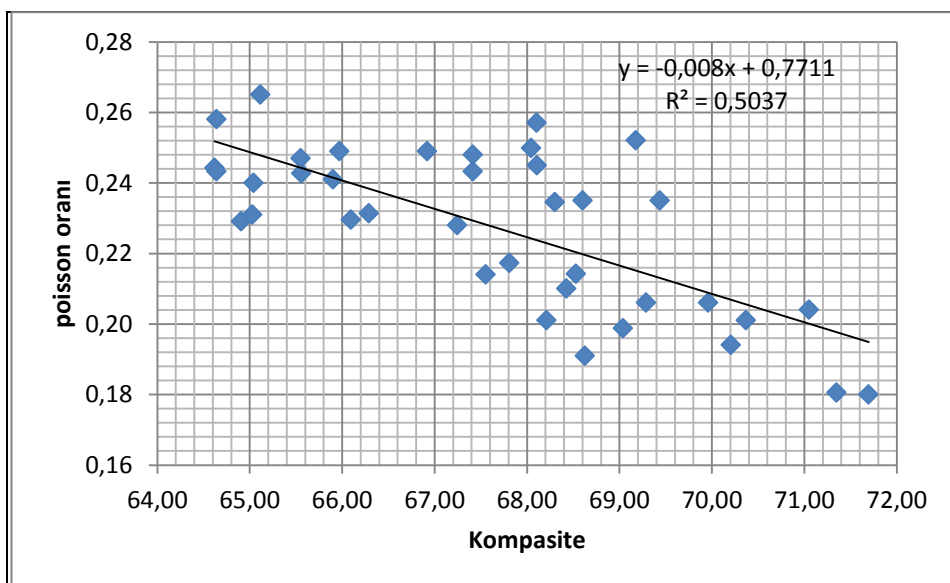
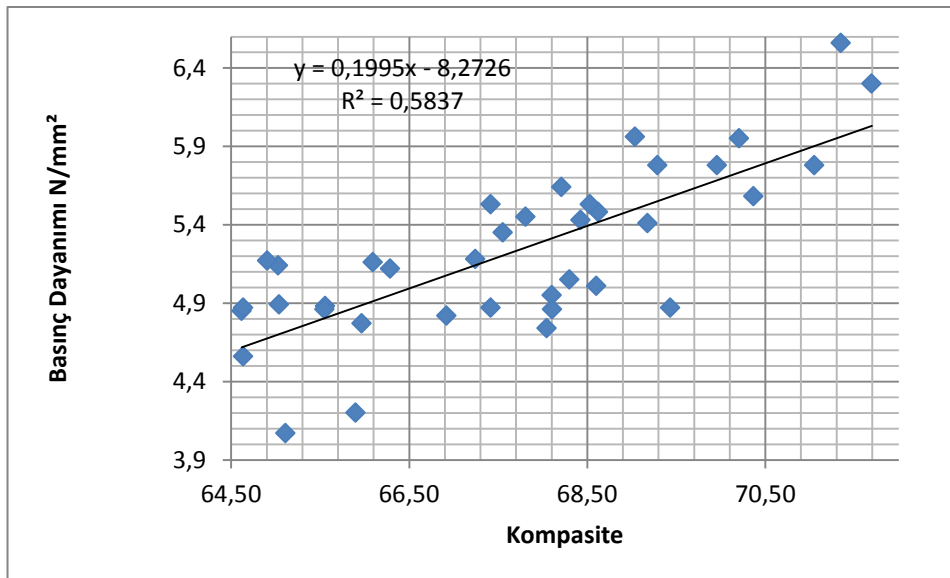
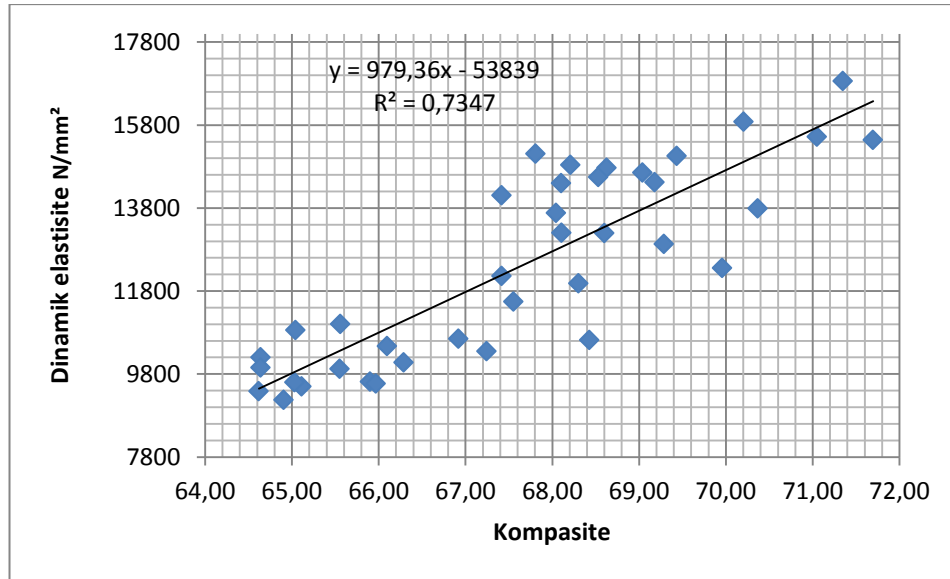


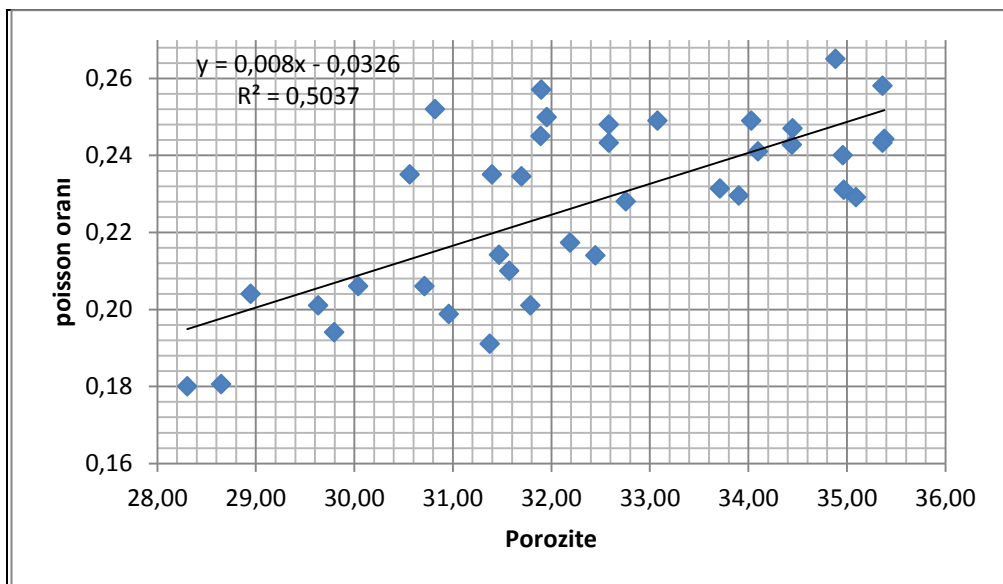
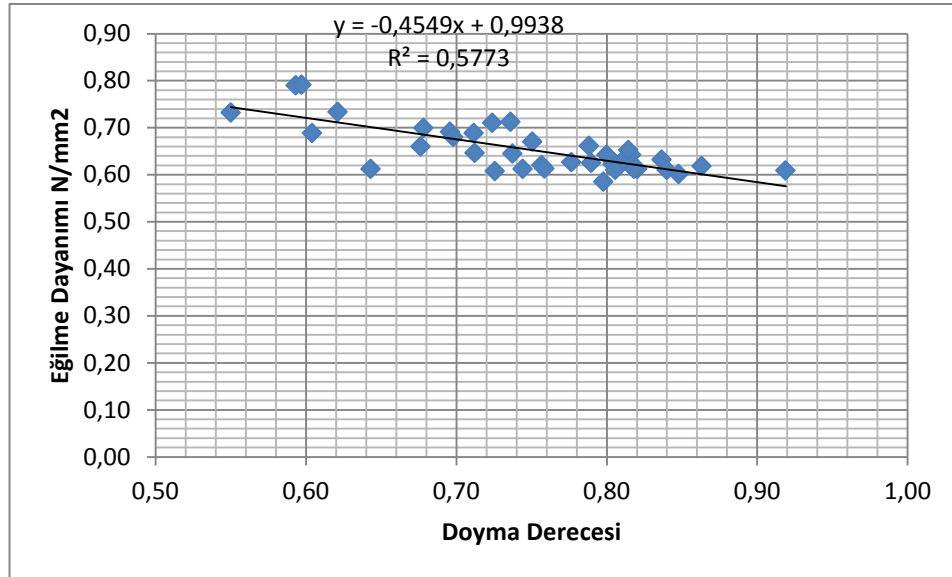
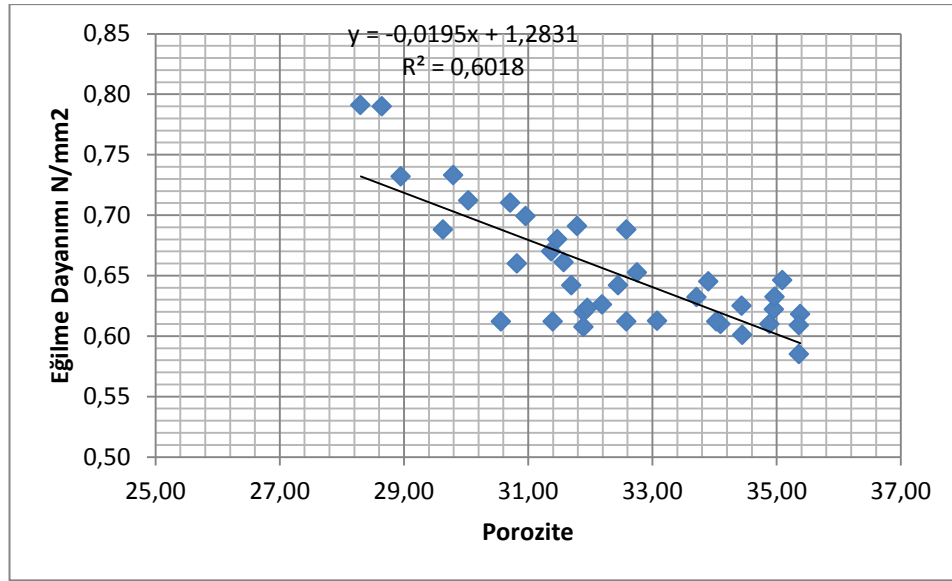


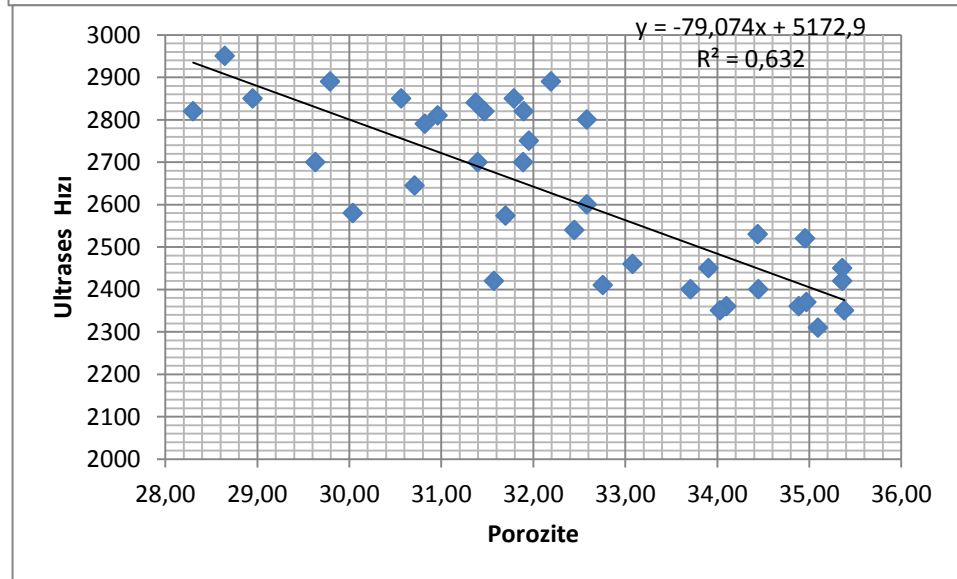
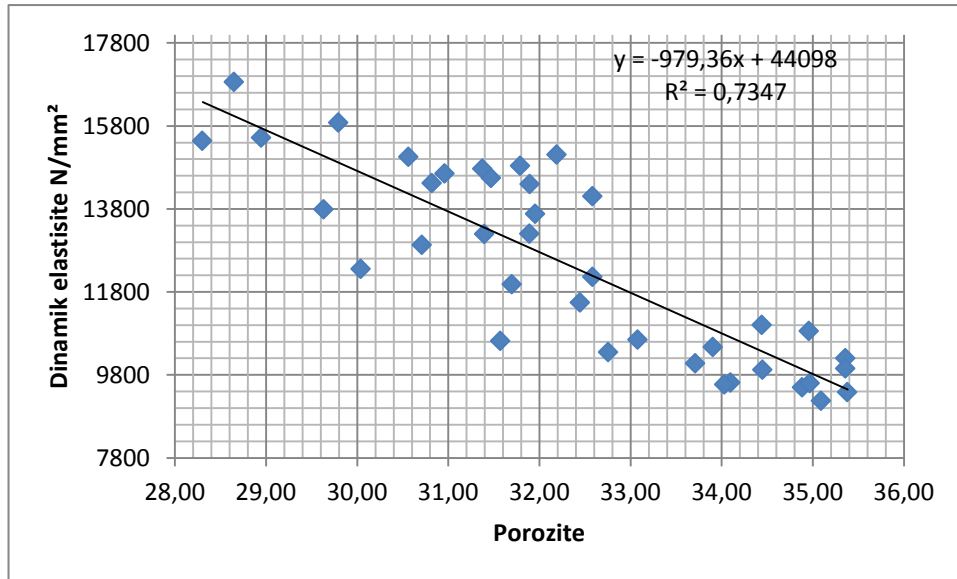
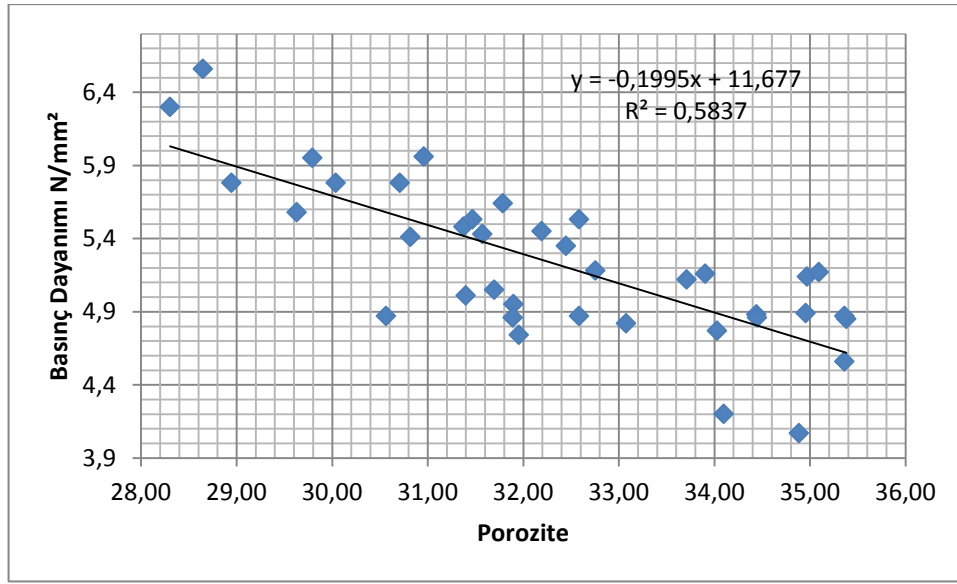


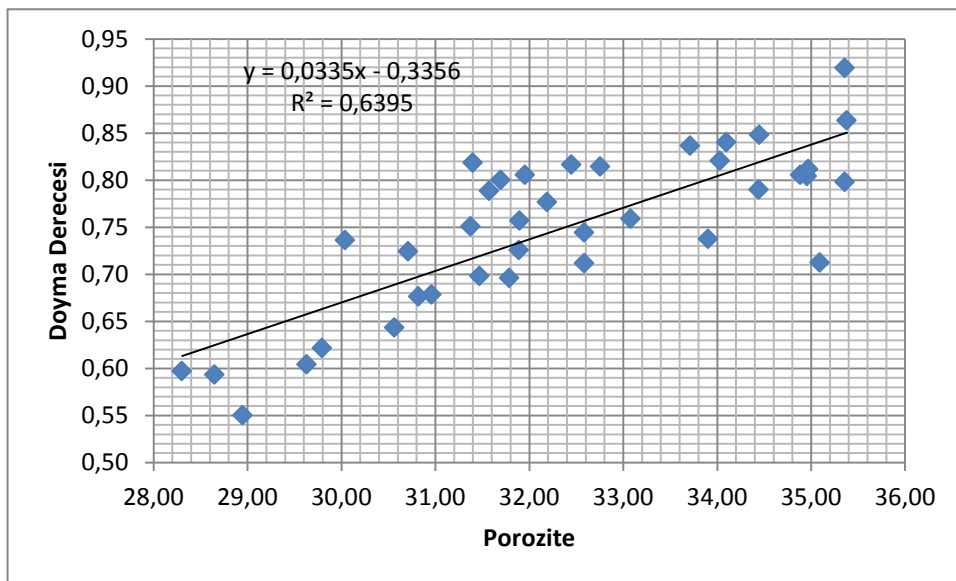
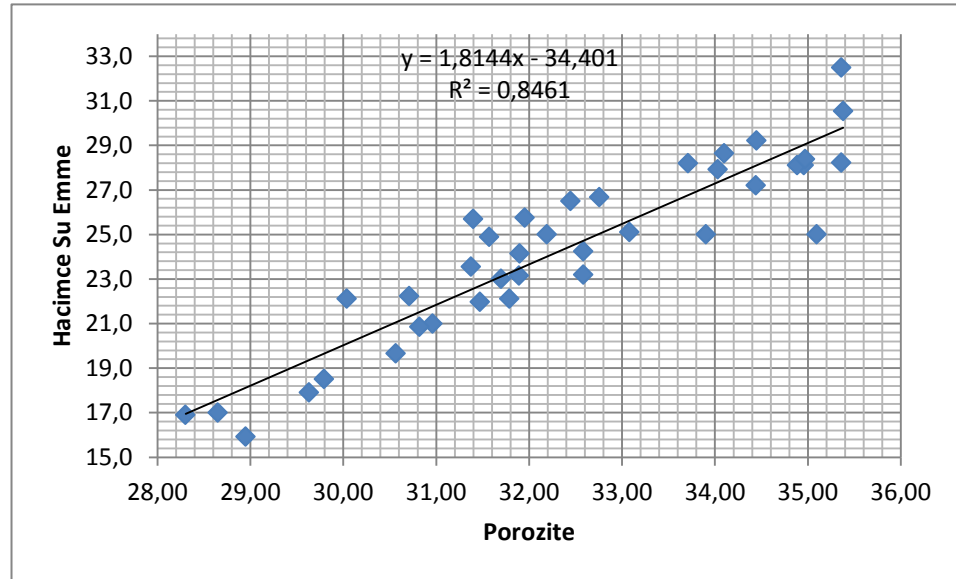
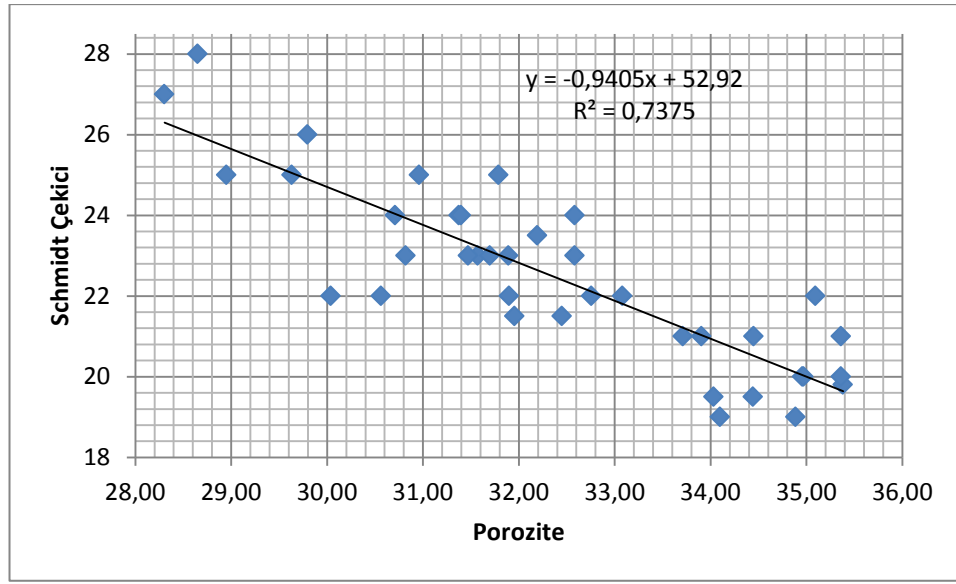


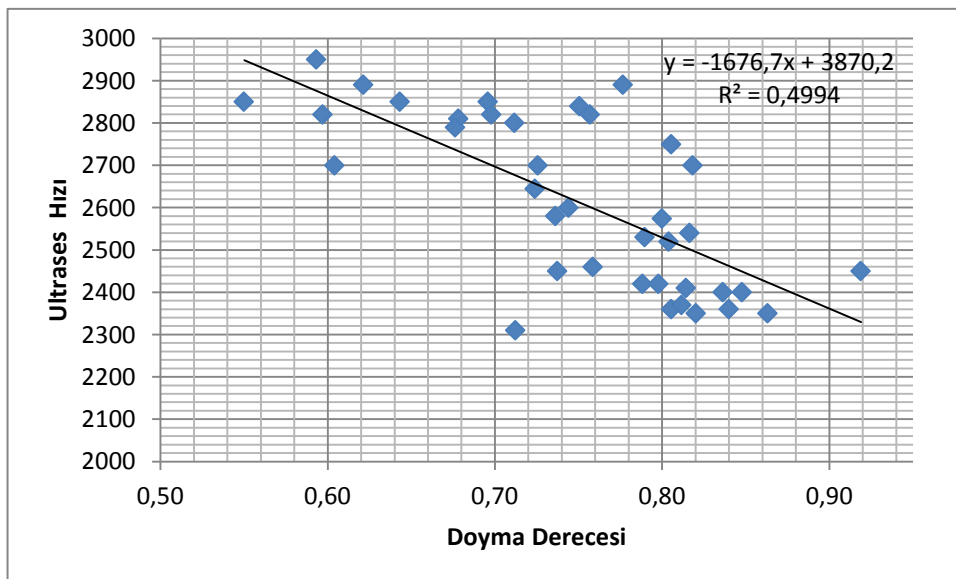
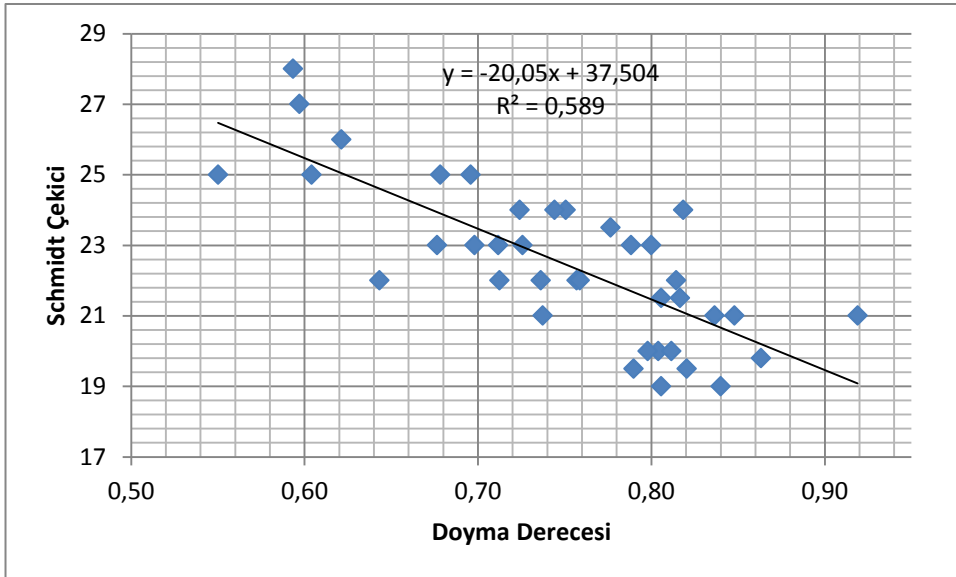
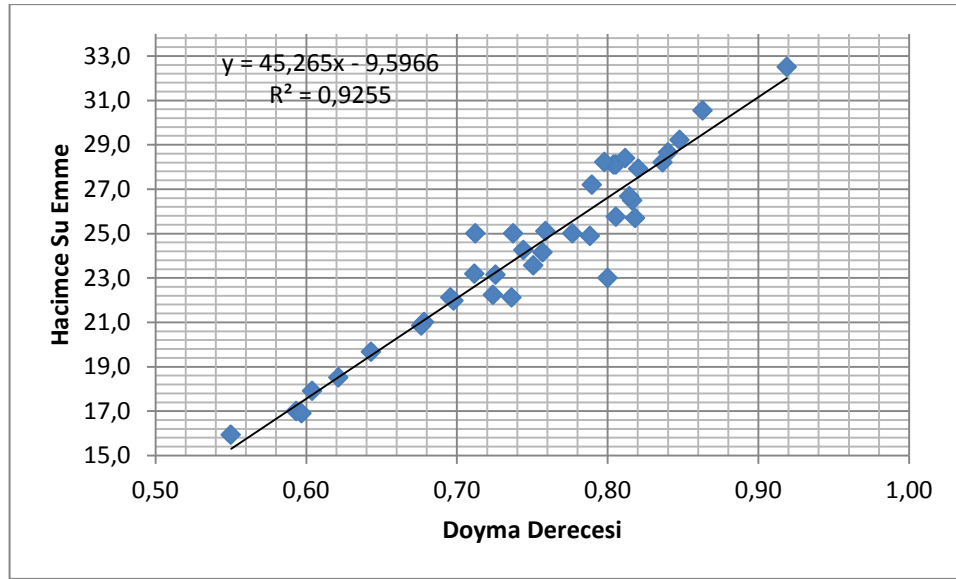


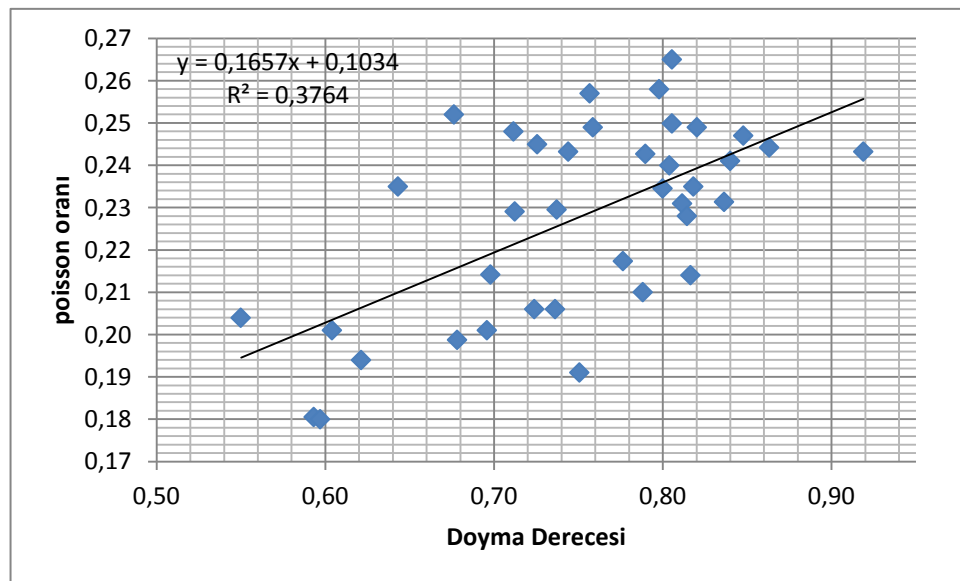
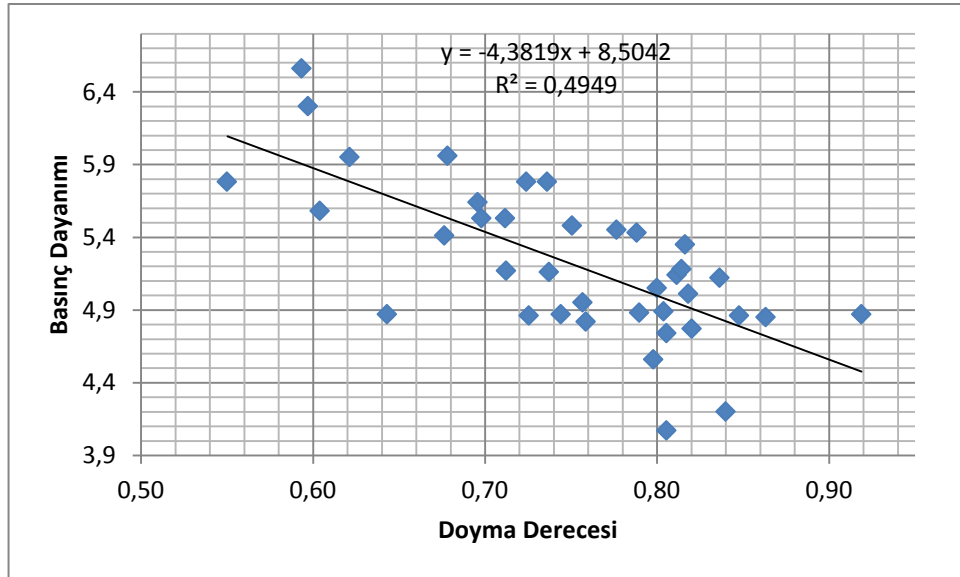
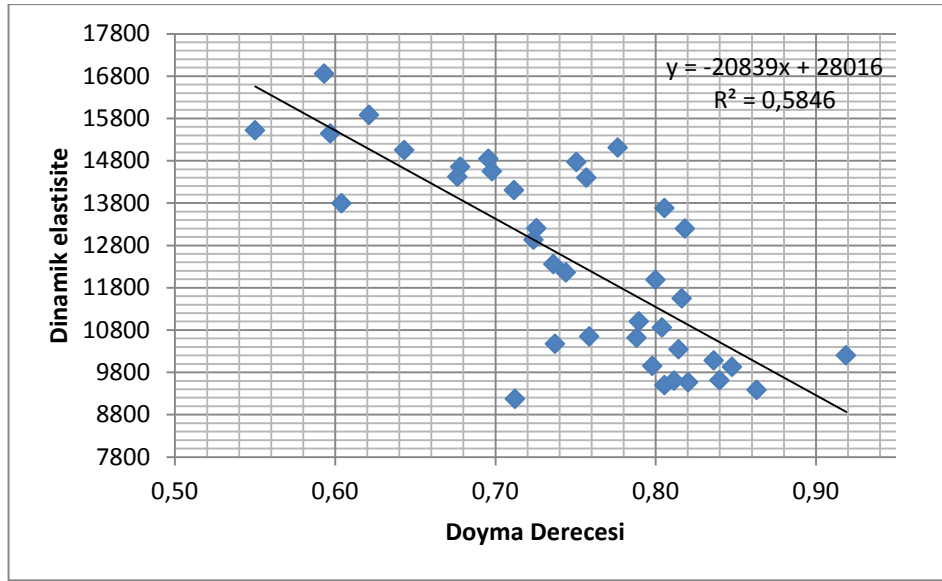


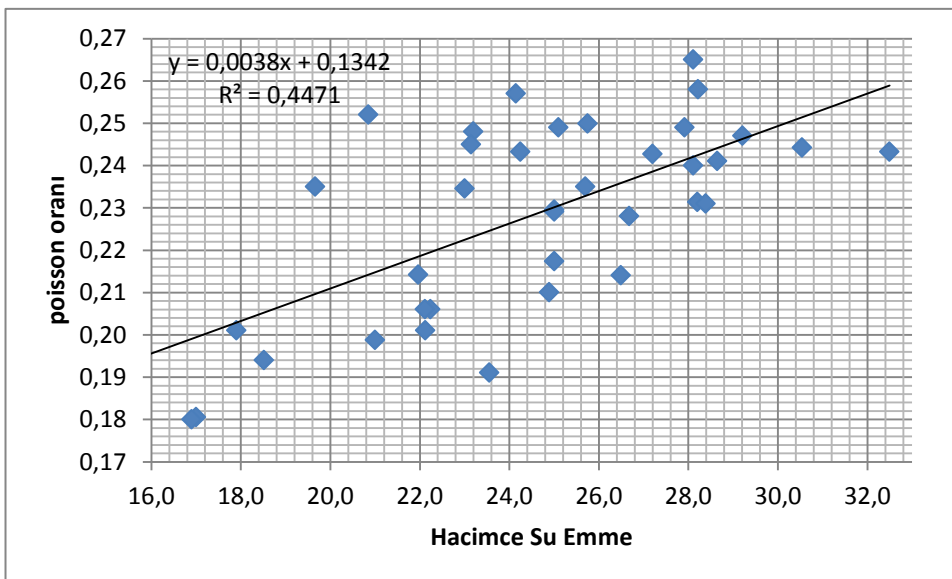
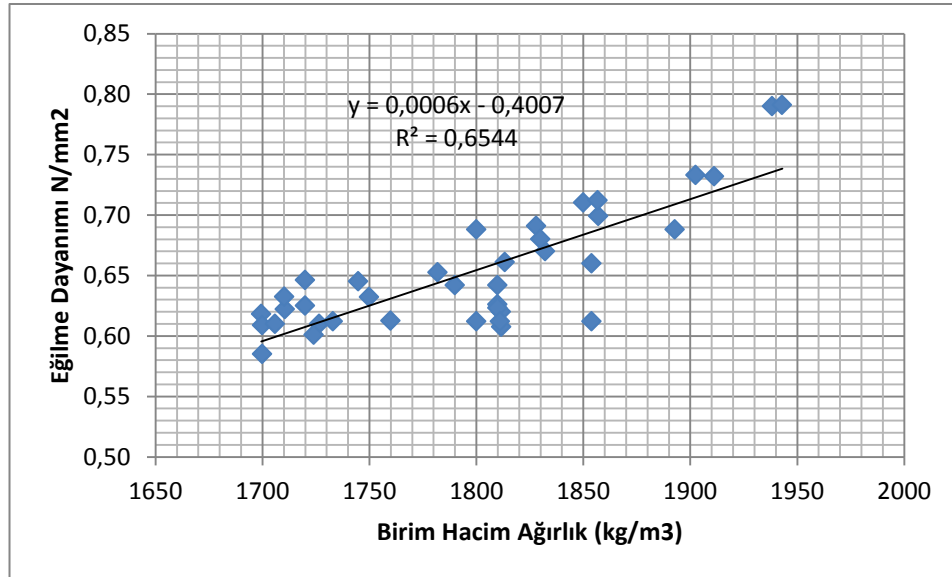
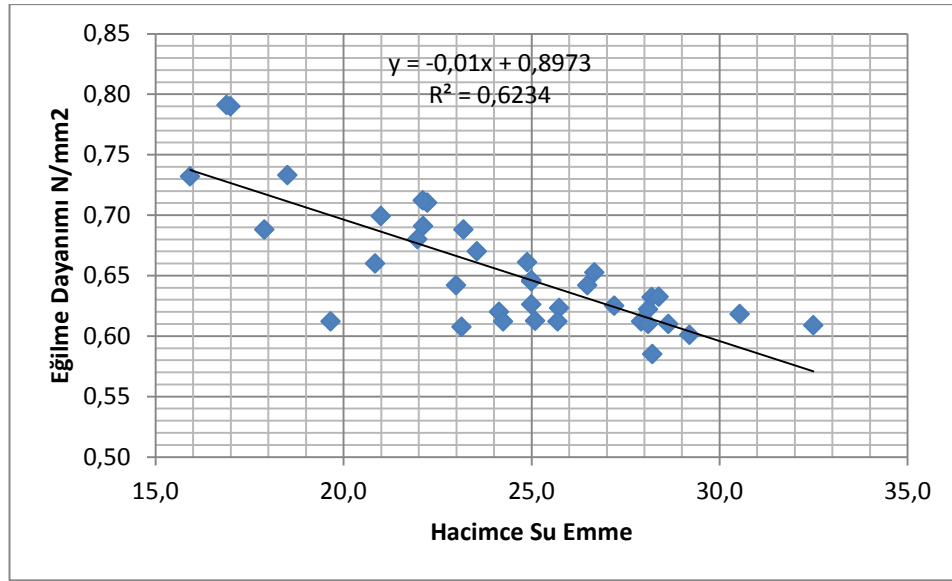


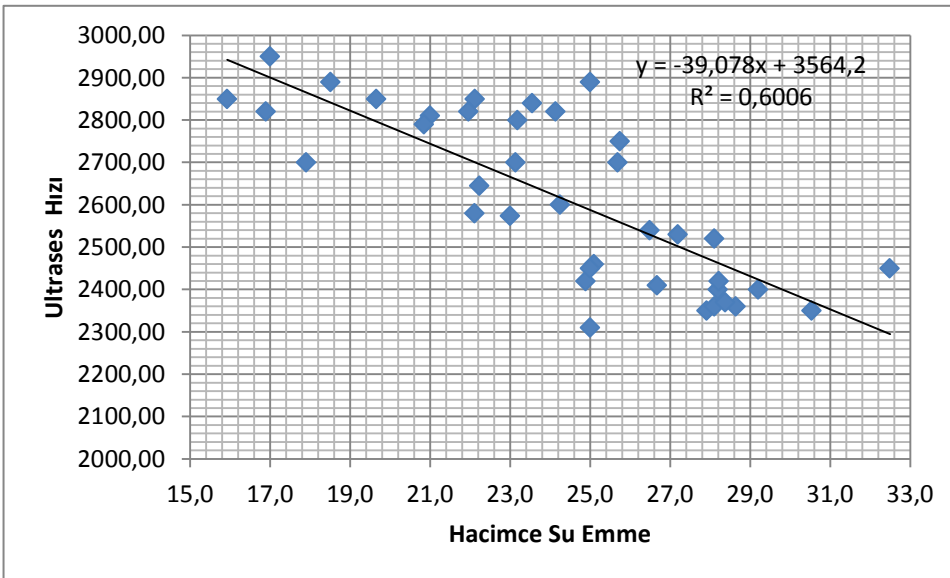
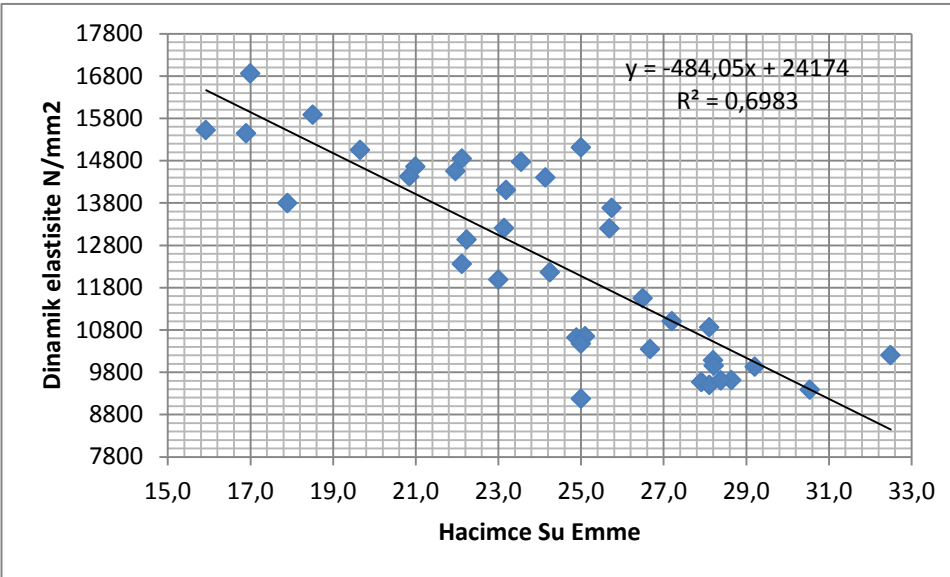
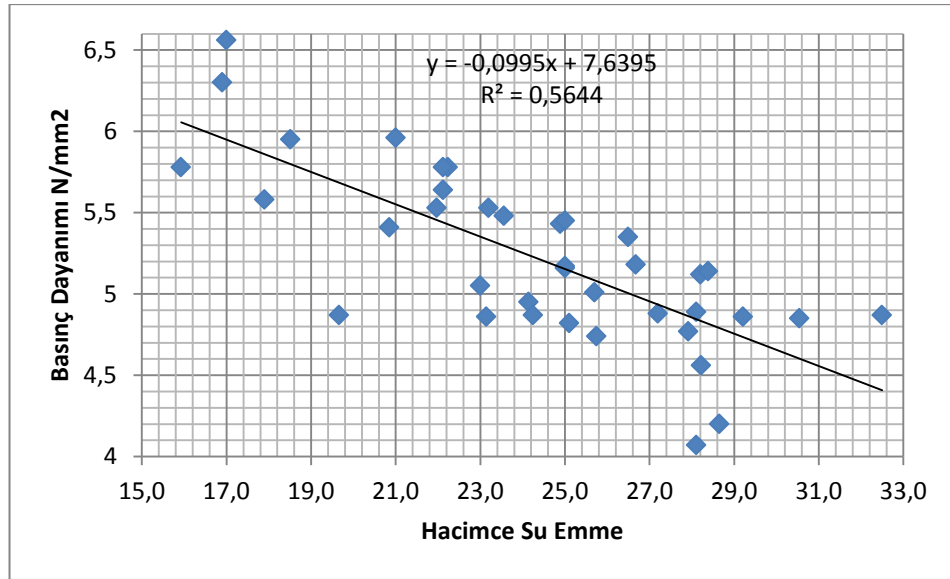


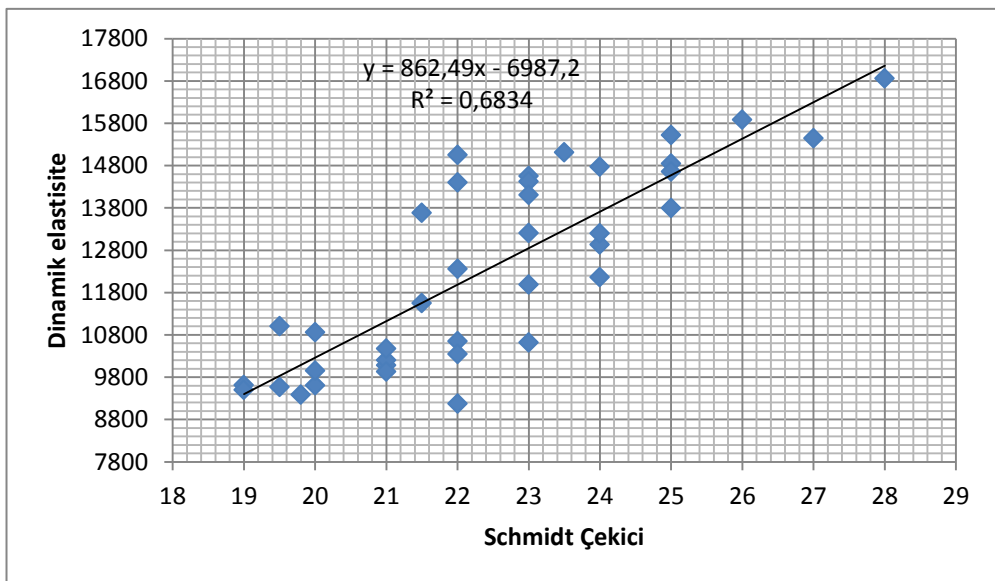
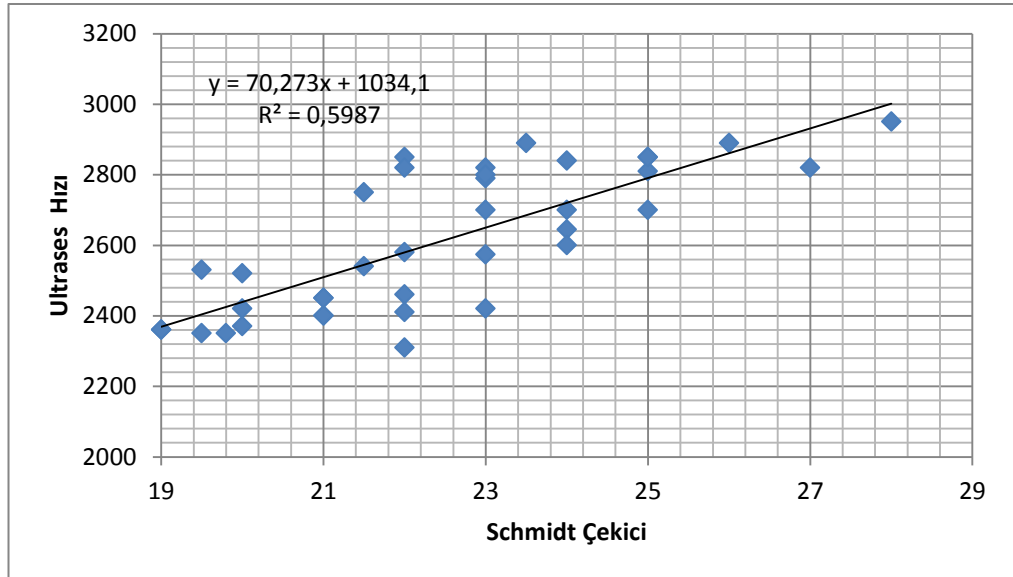
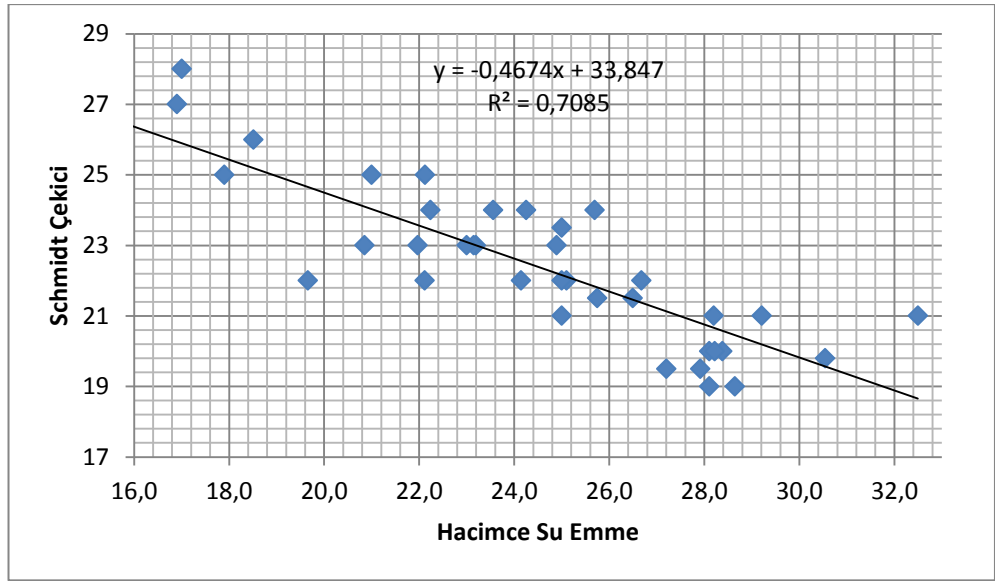


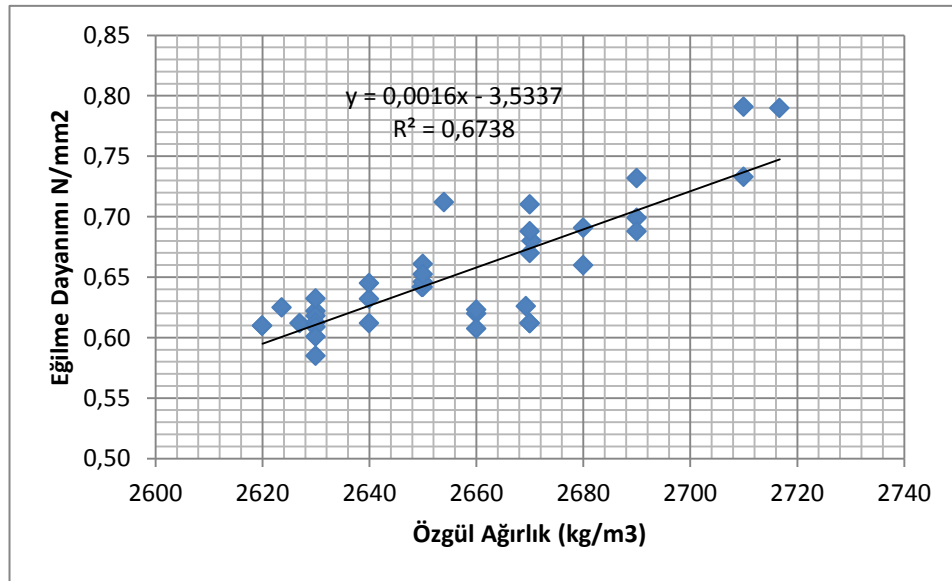
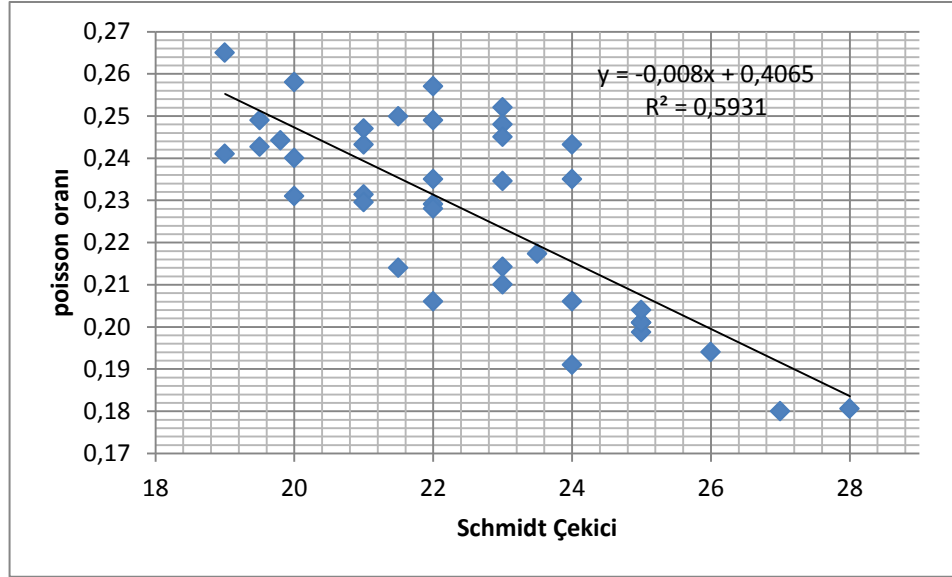
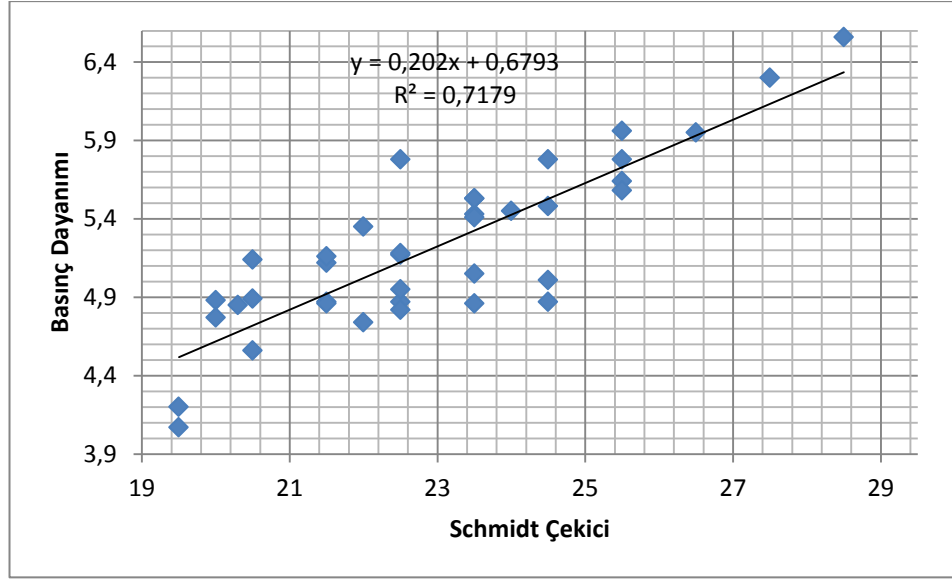


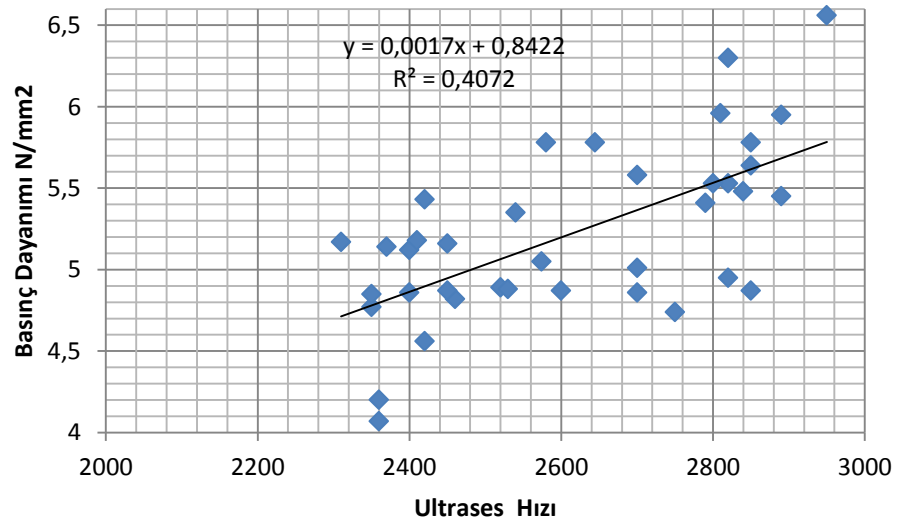
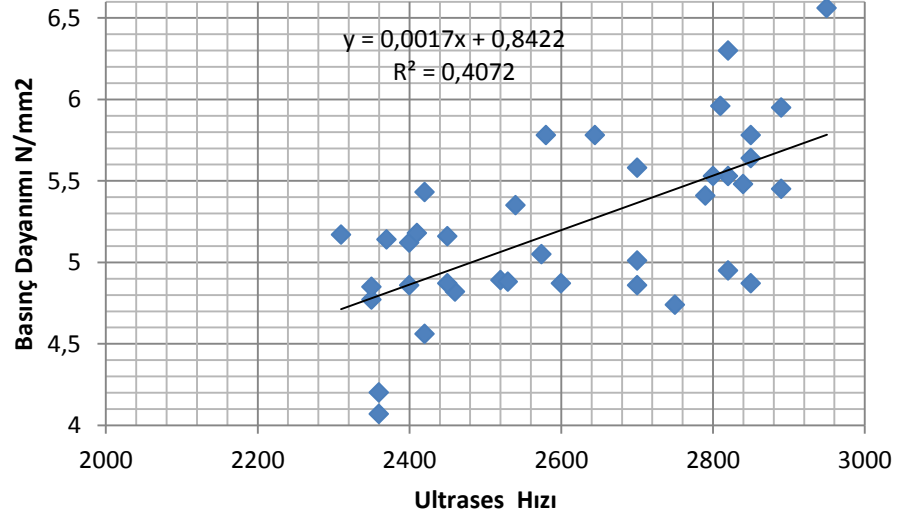
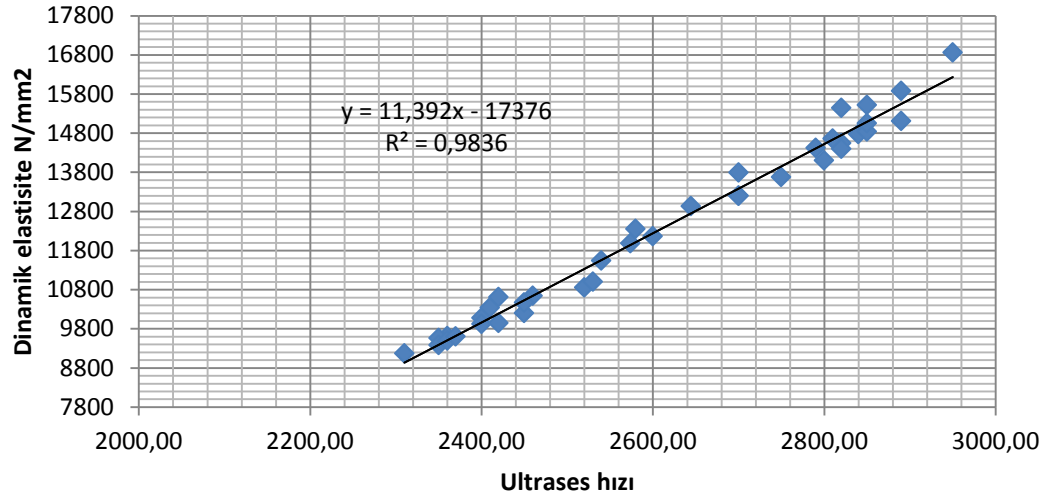


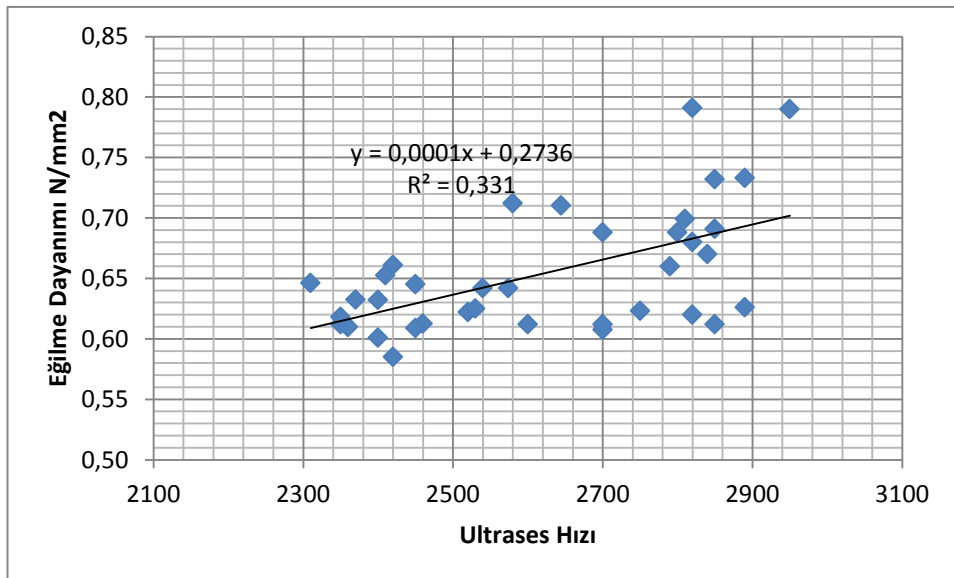
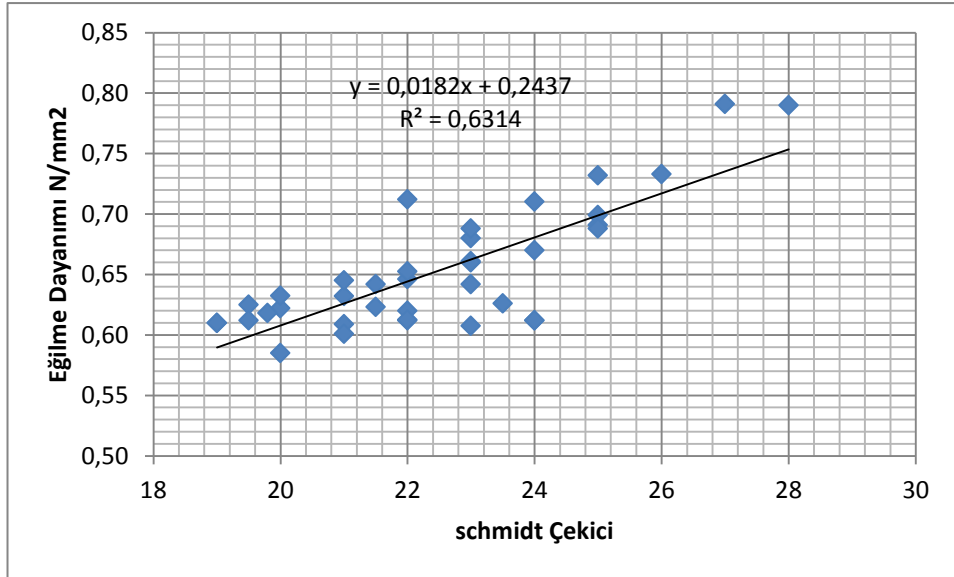
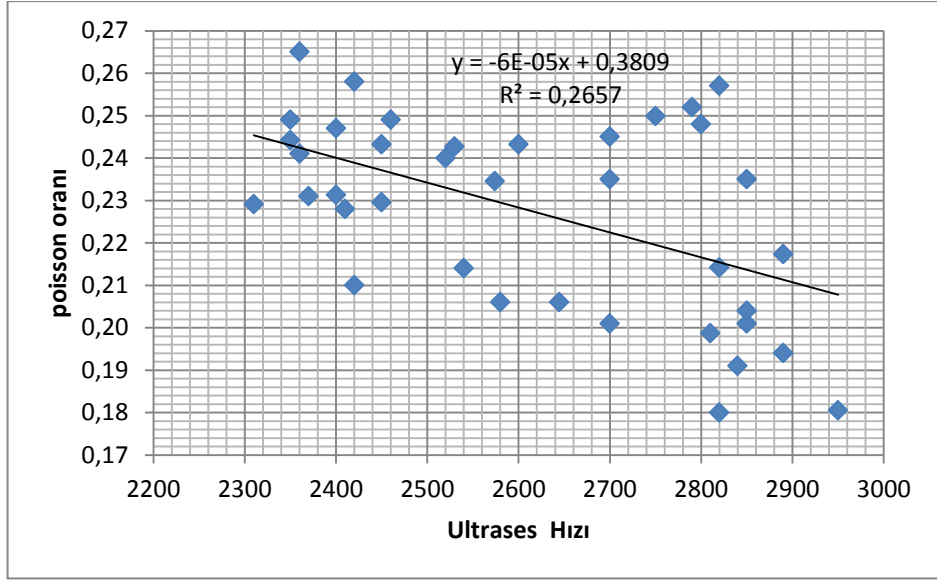


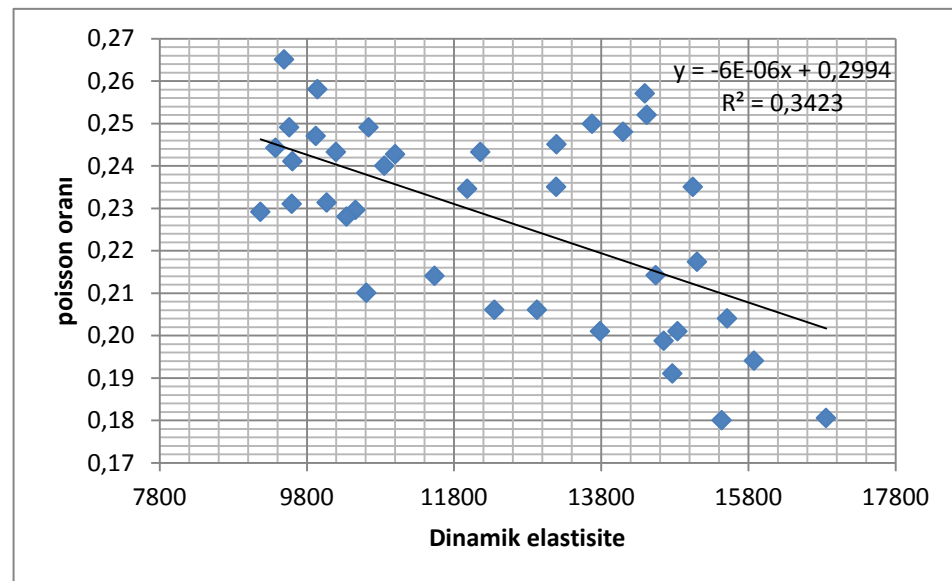
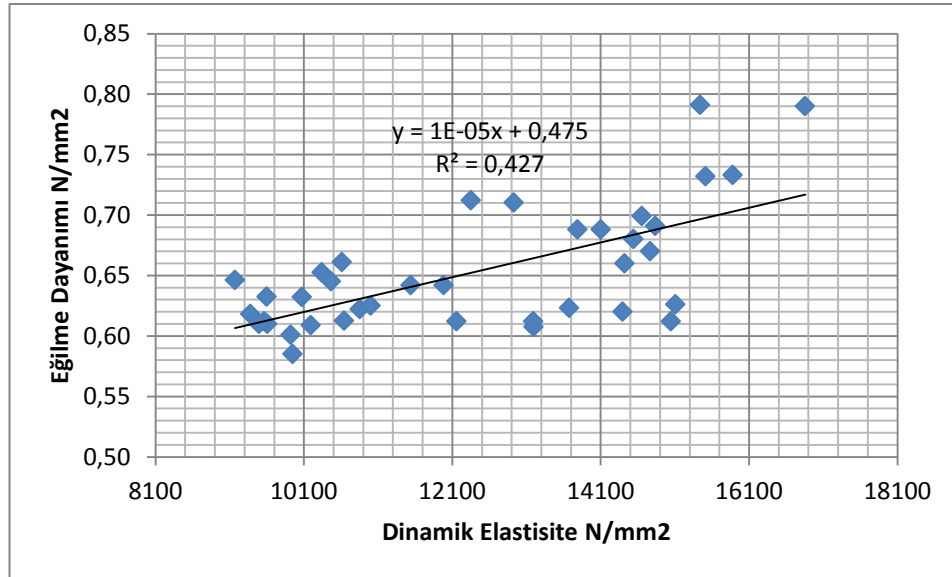
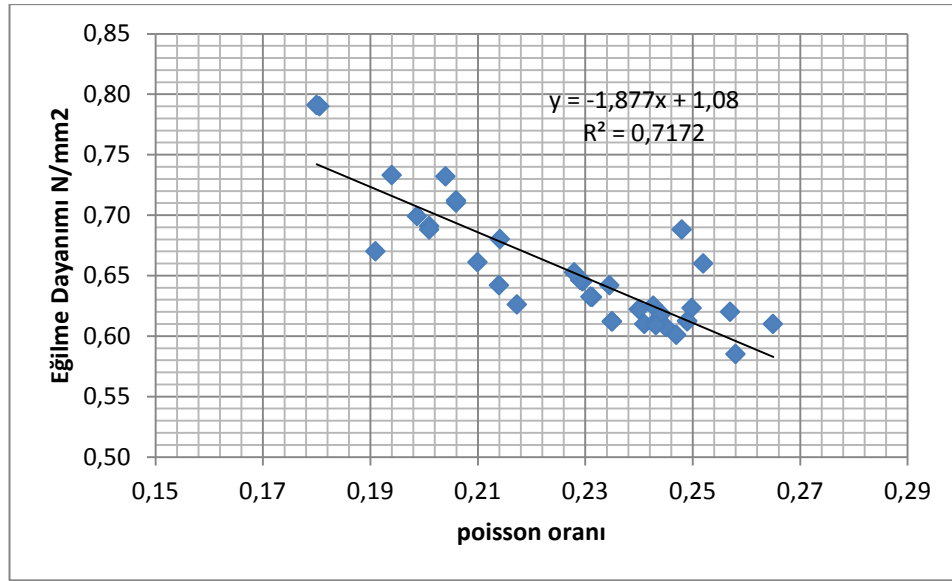


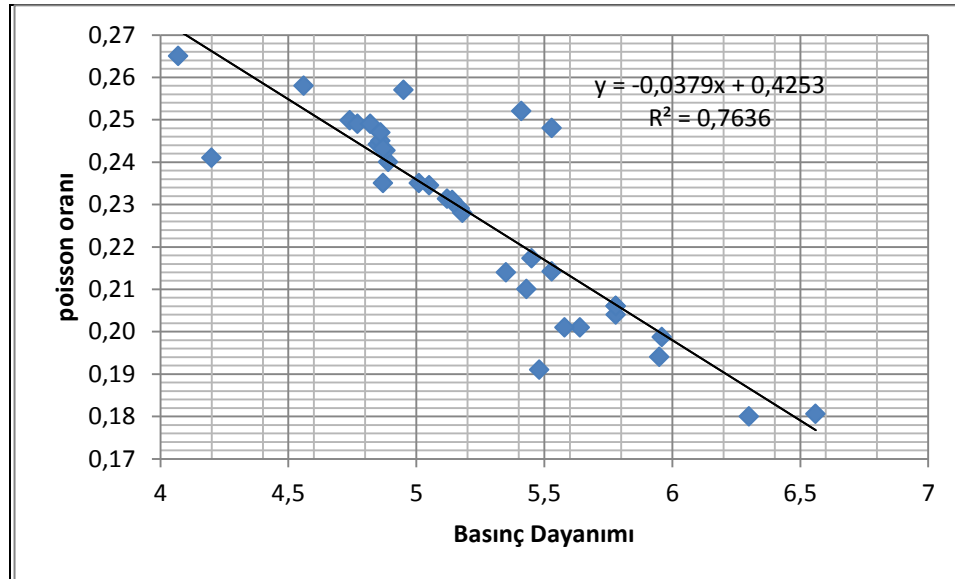
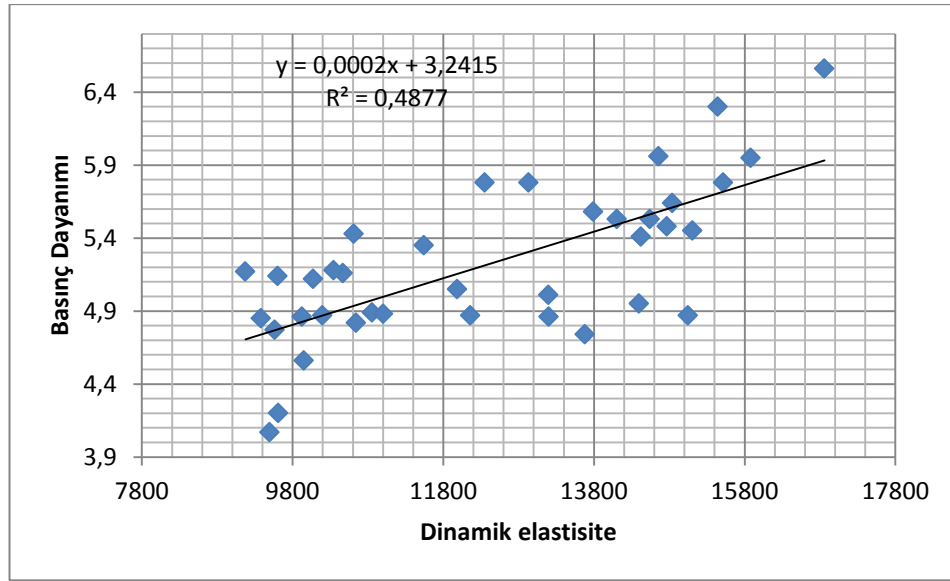


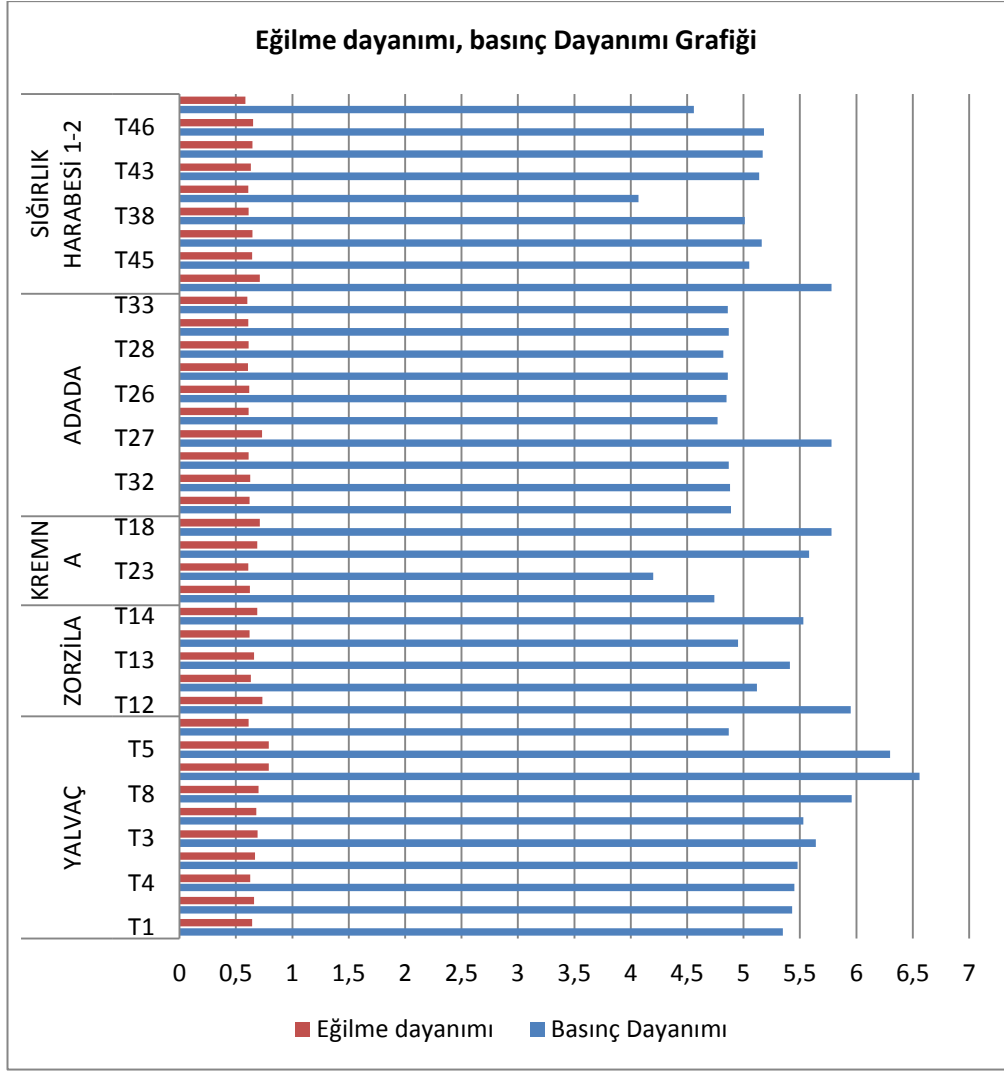


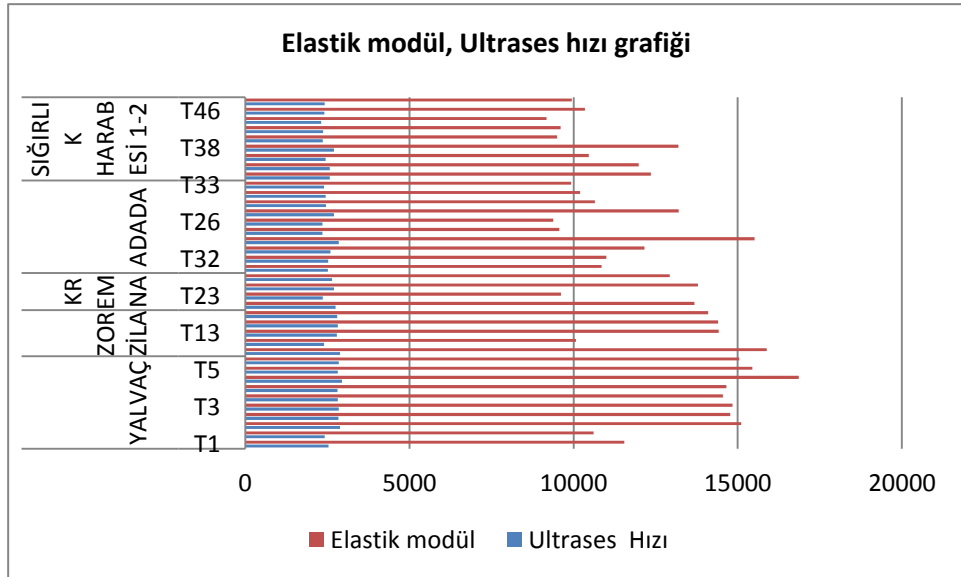
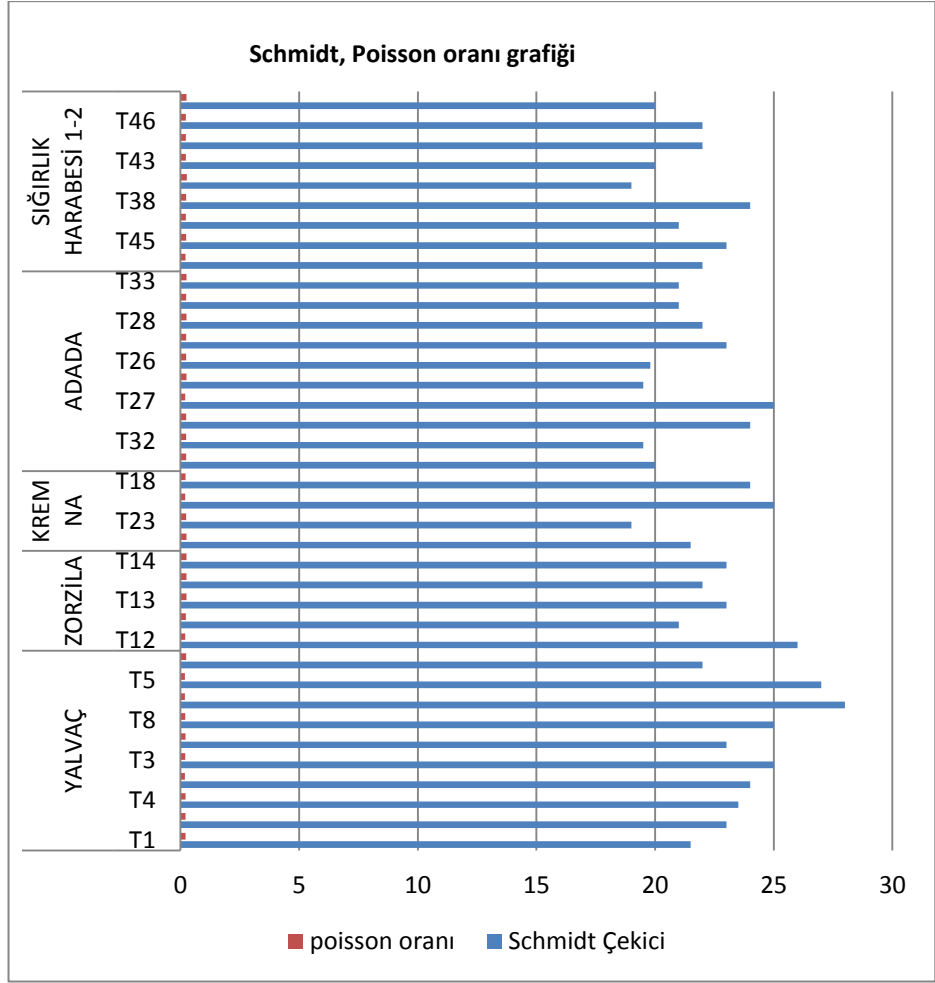


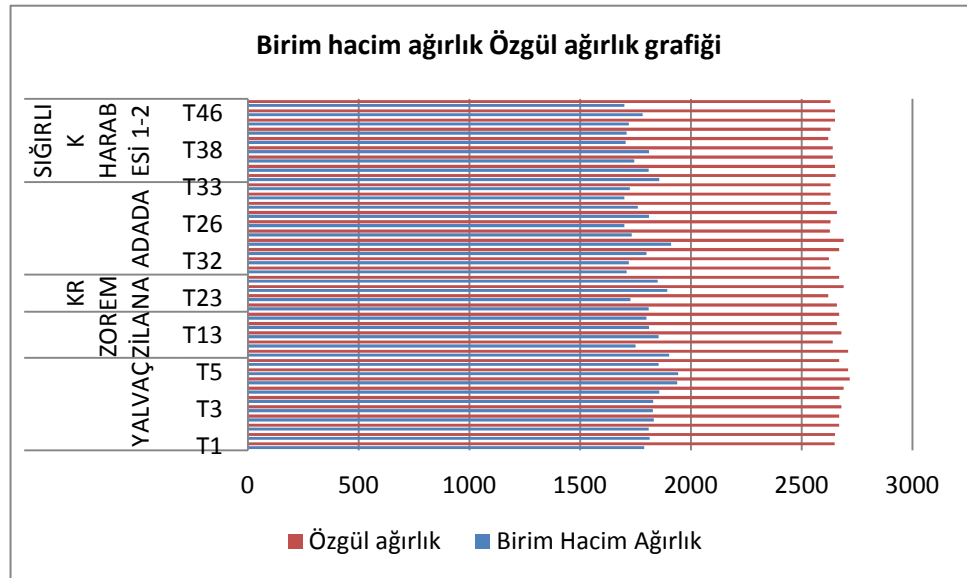
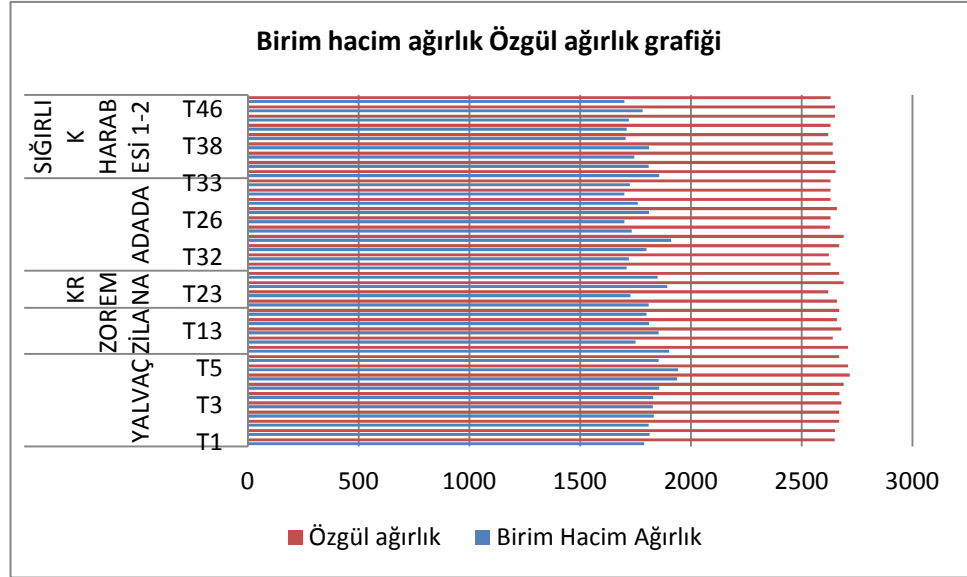
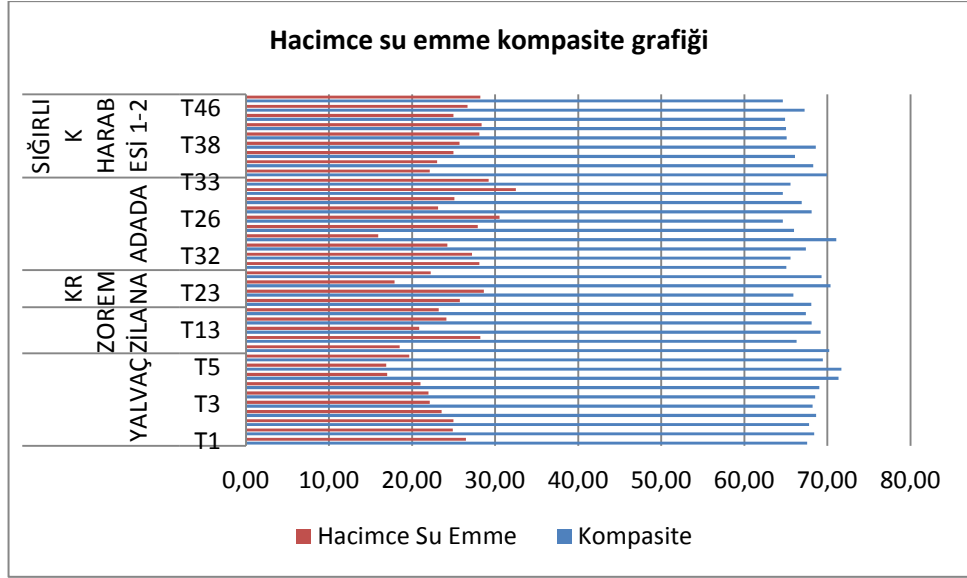




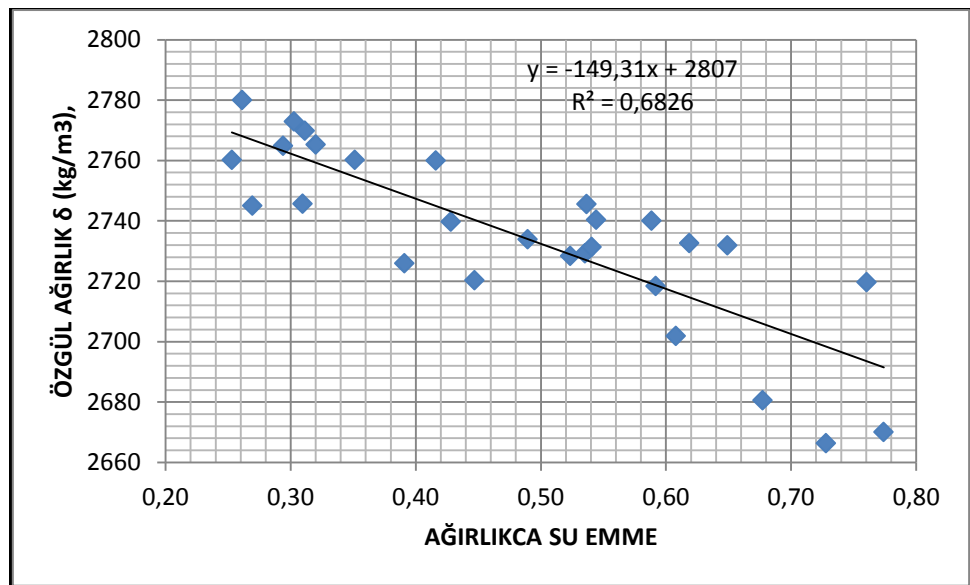
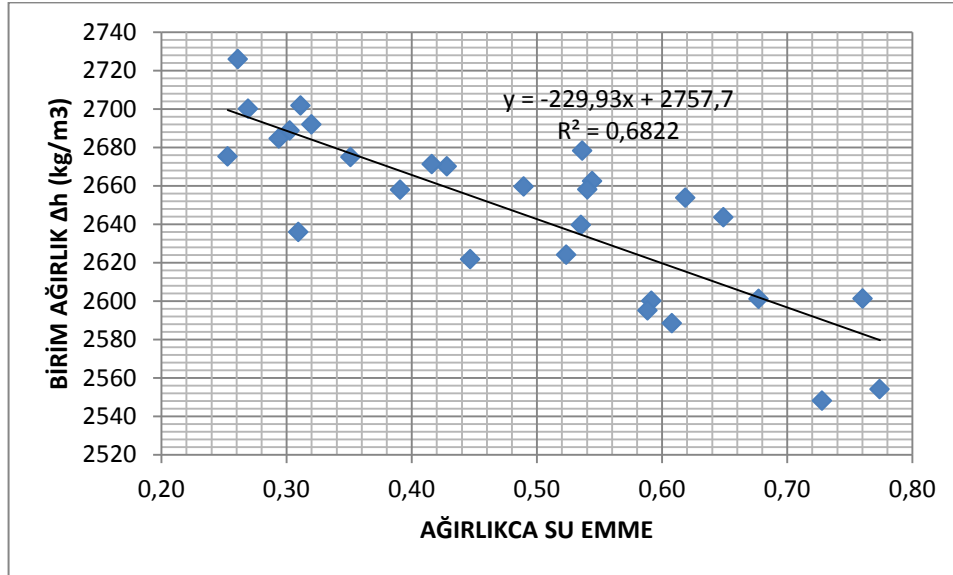
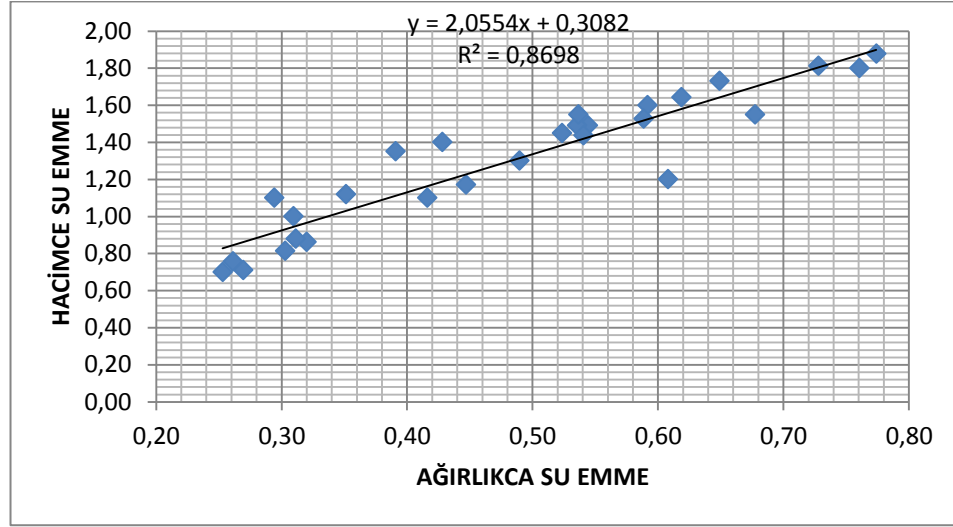


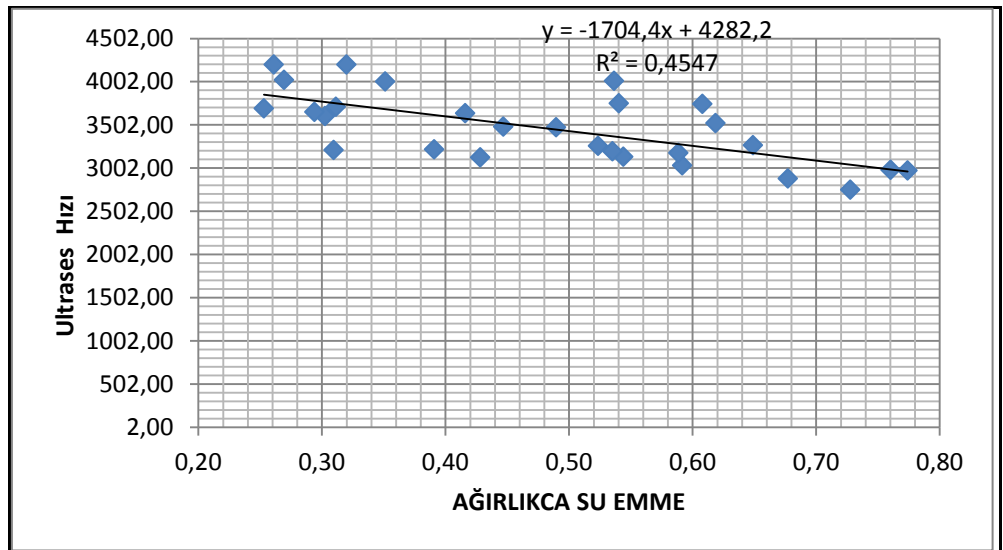
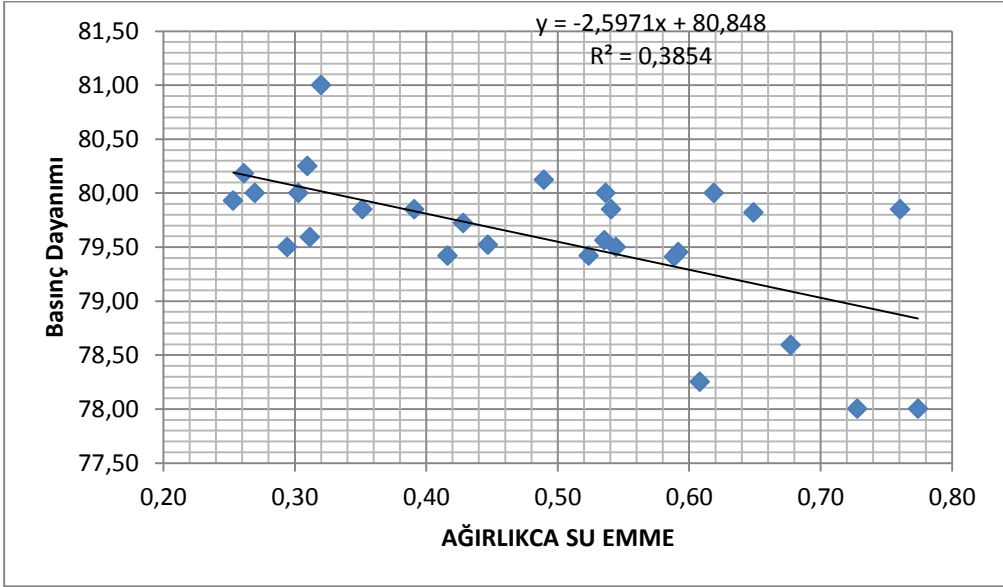
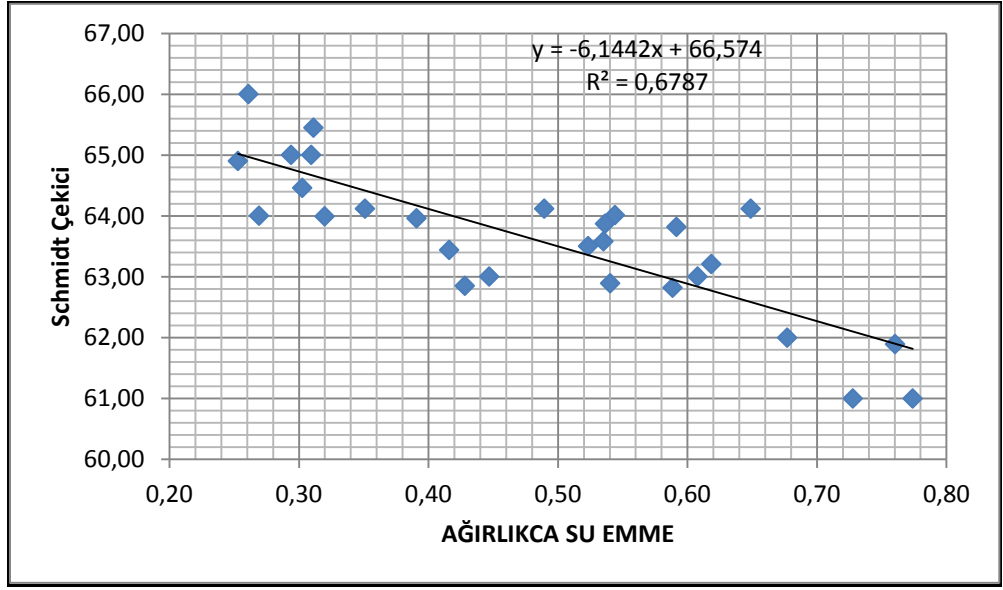


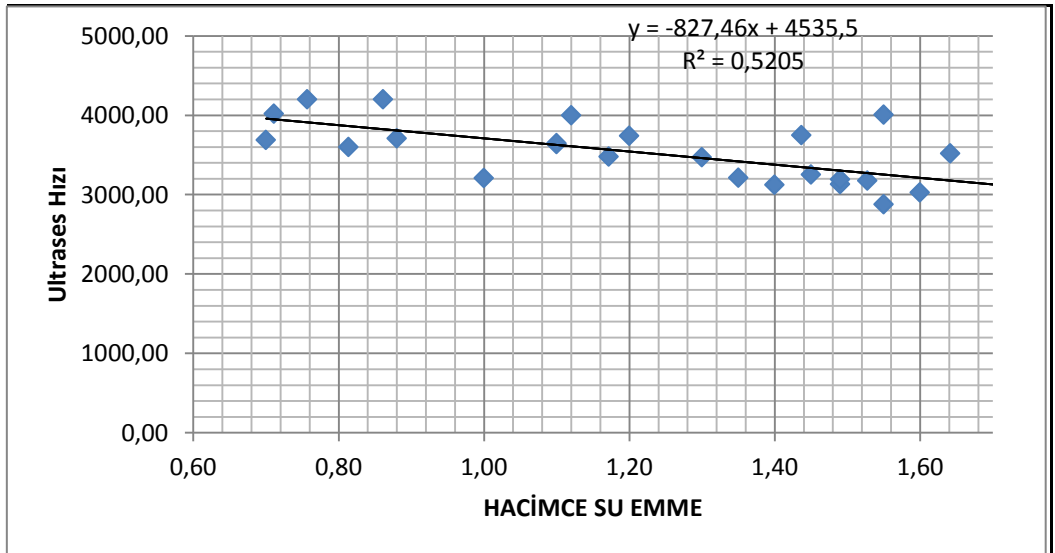
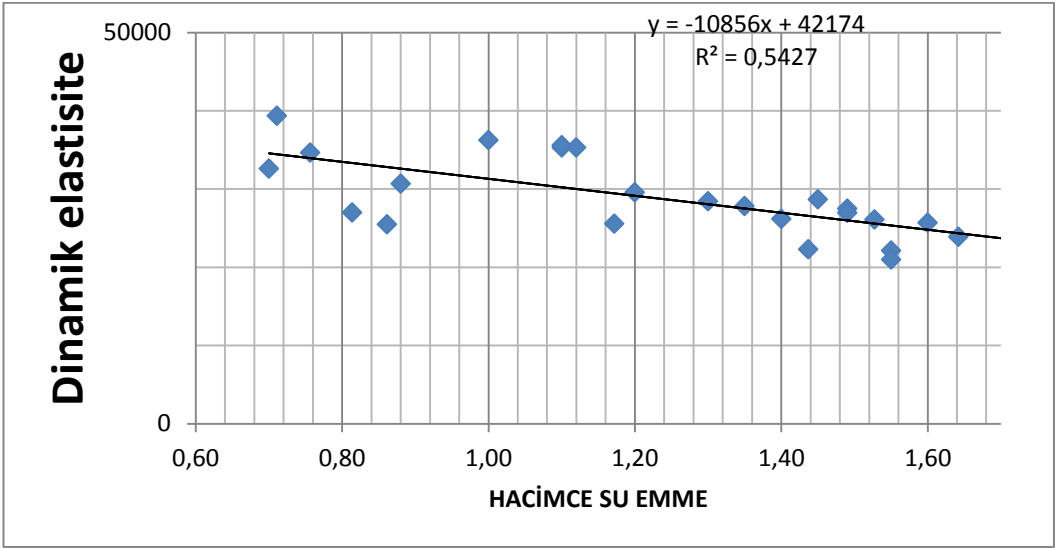
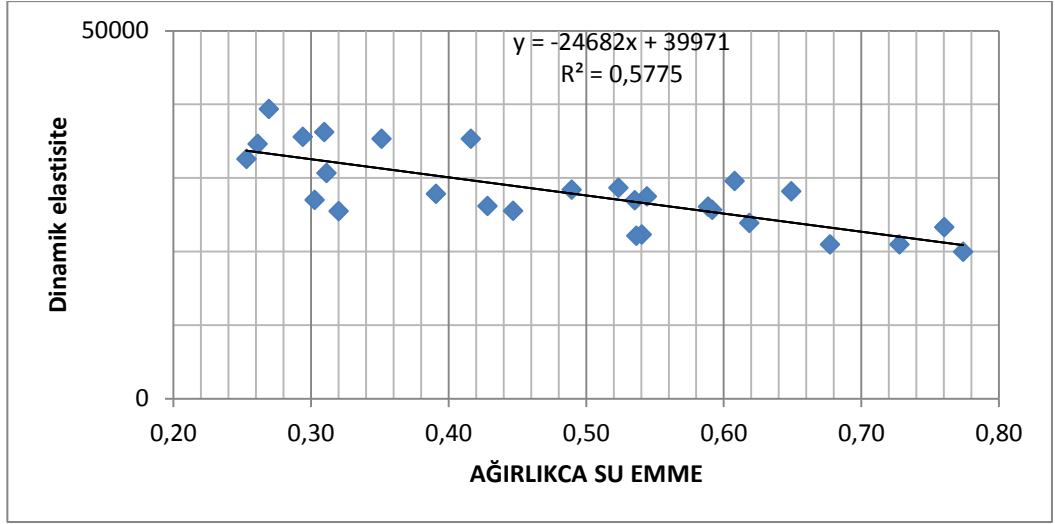


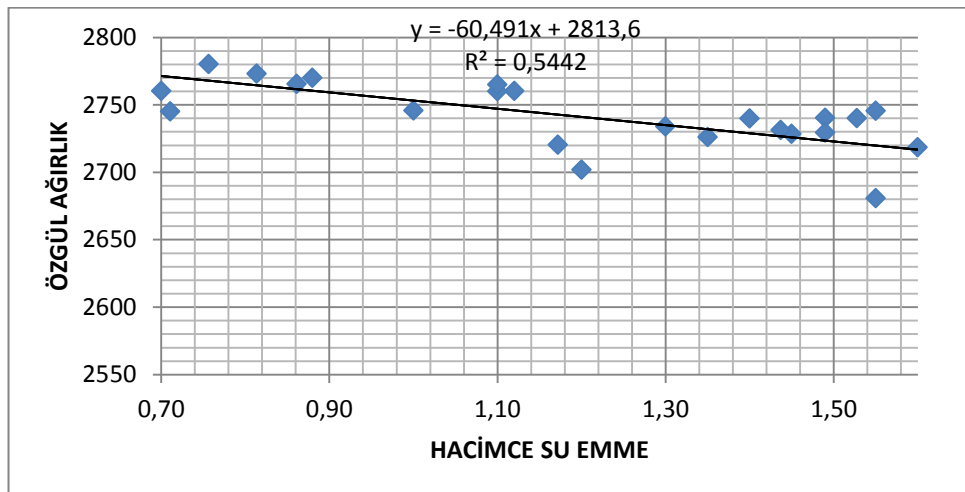
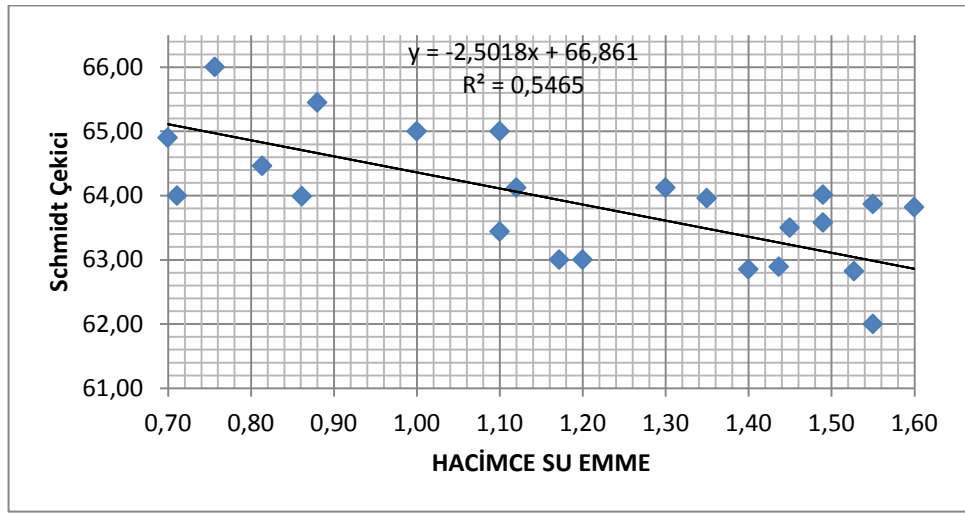
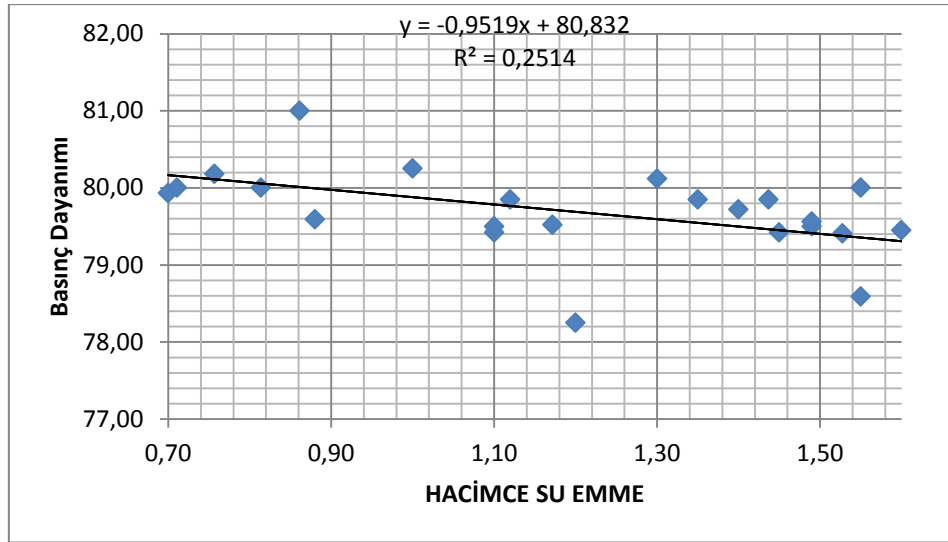


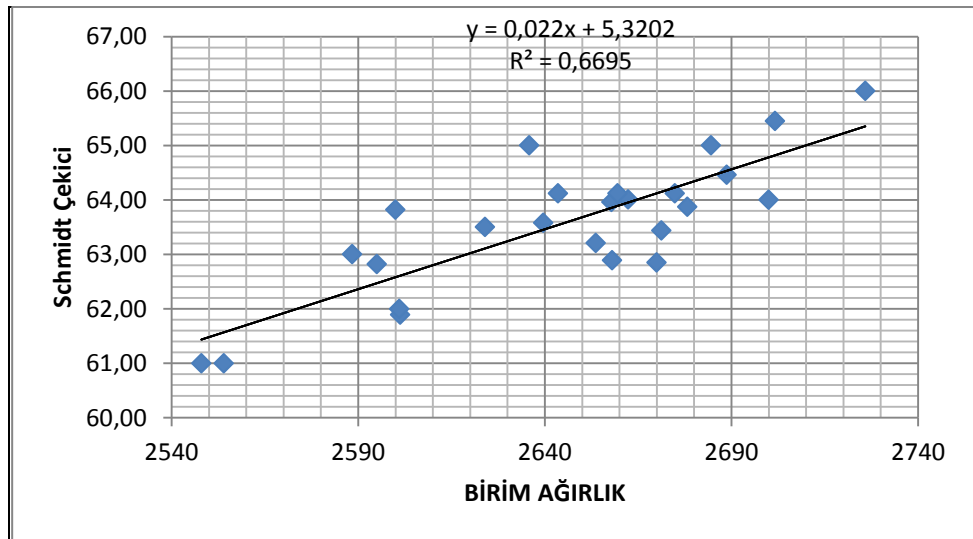
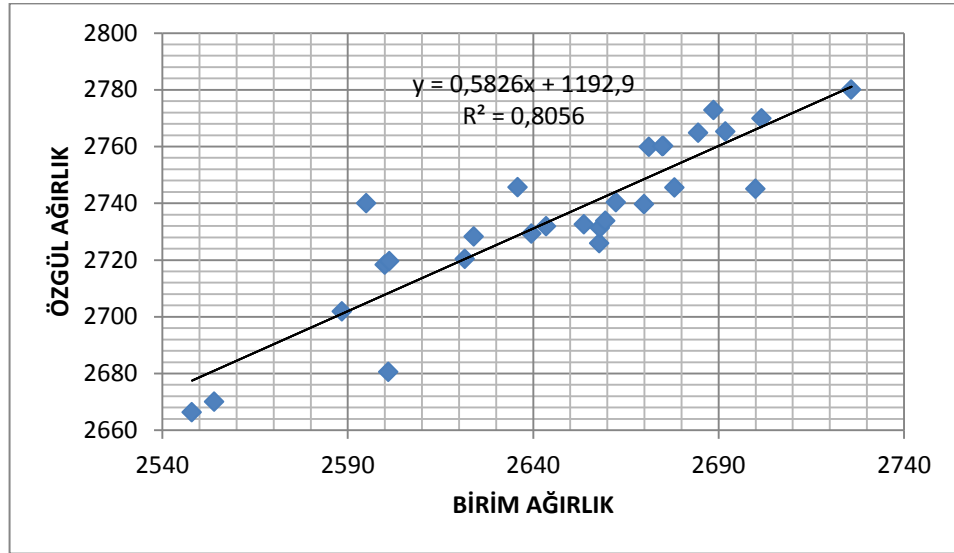
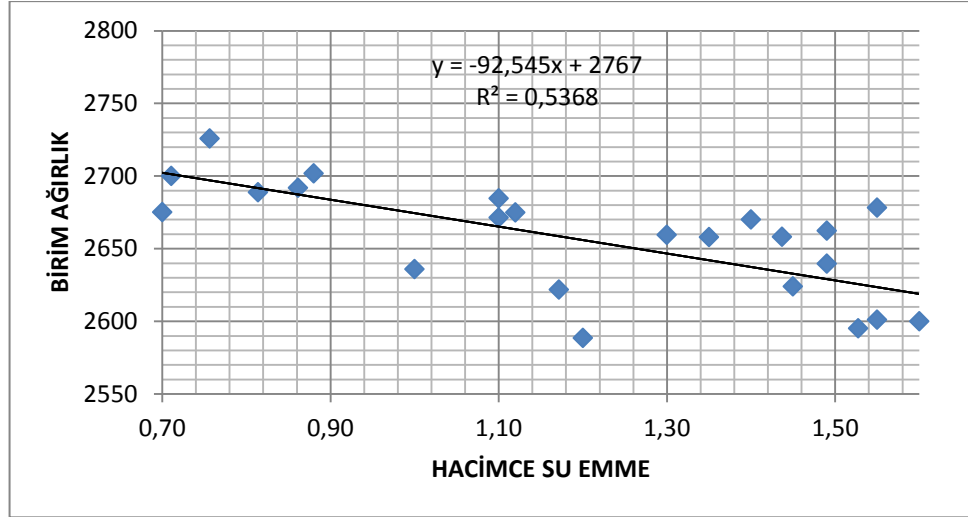
Ek B2. Taş Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellik Grafikleri

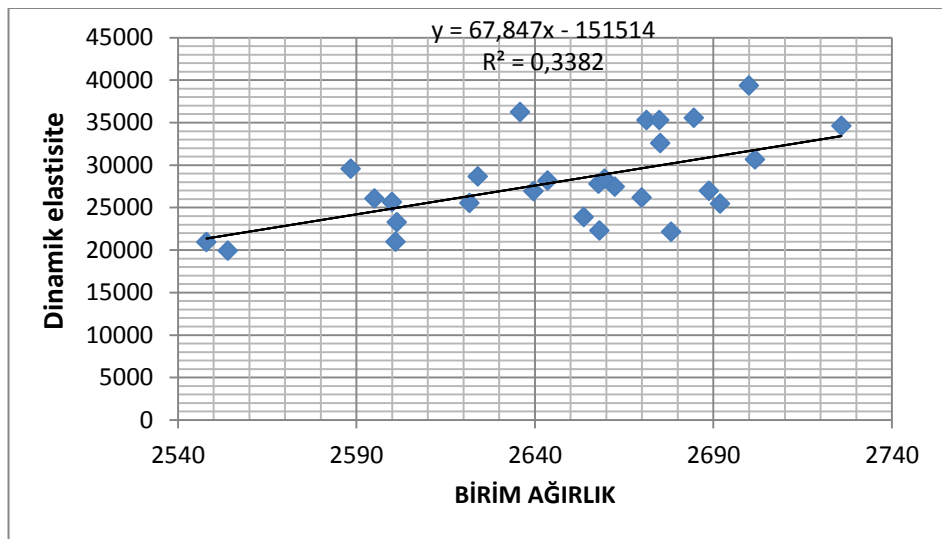
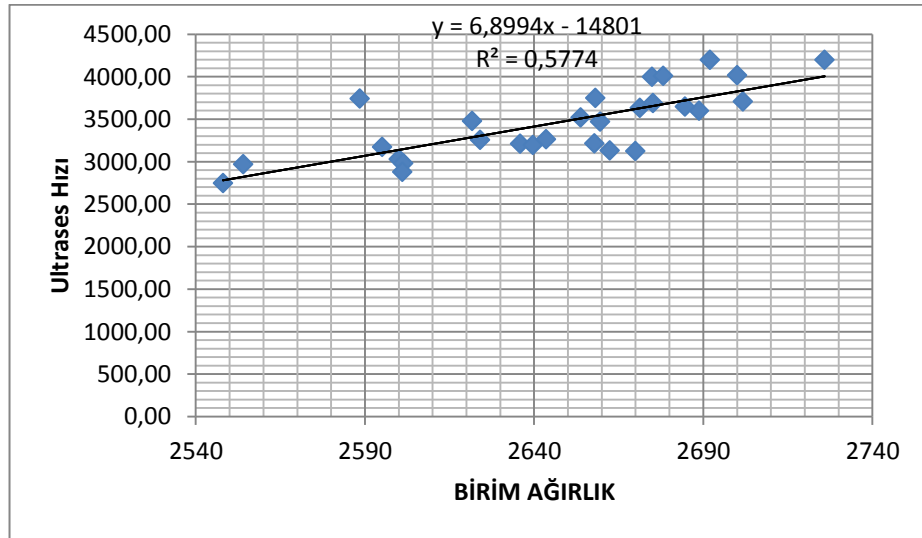
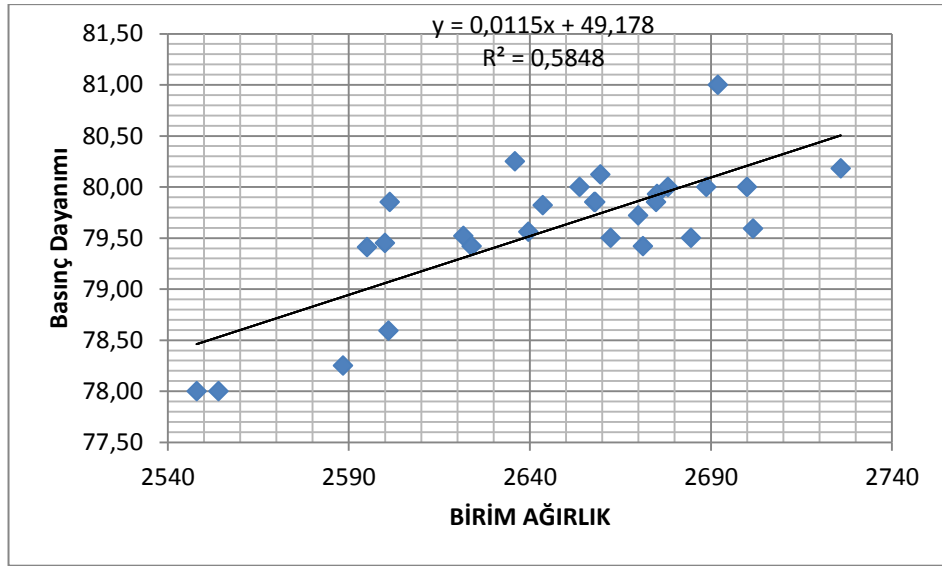


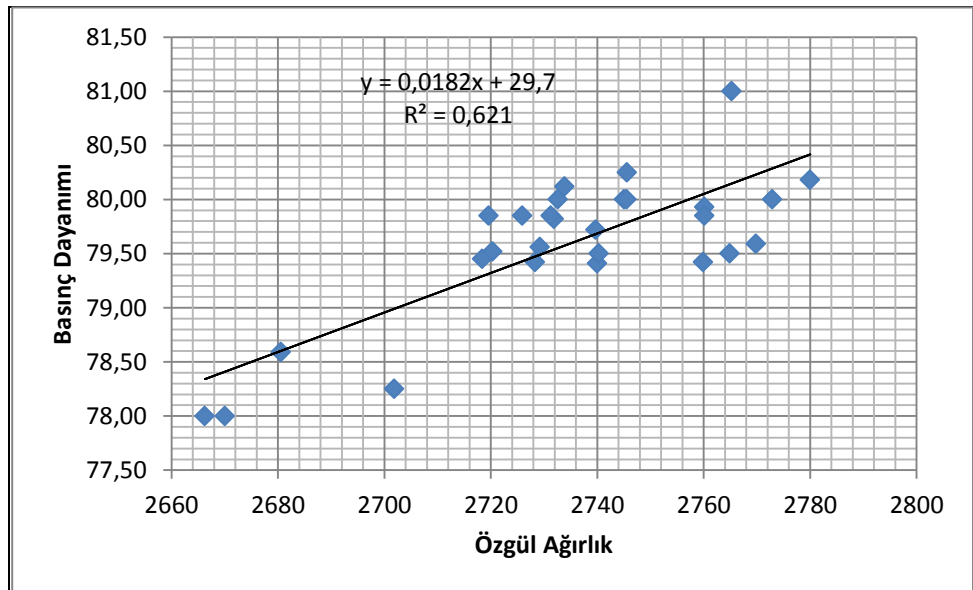
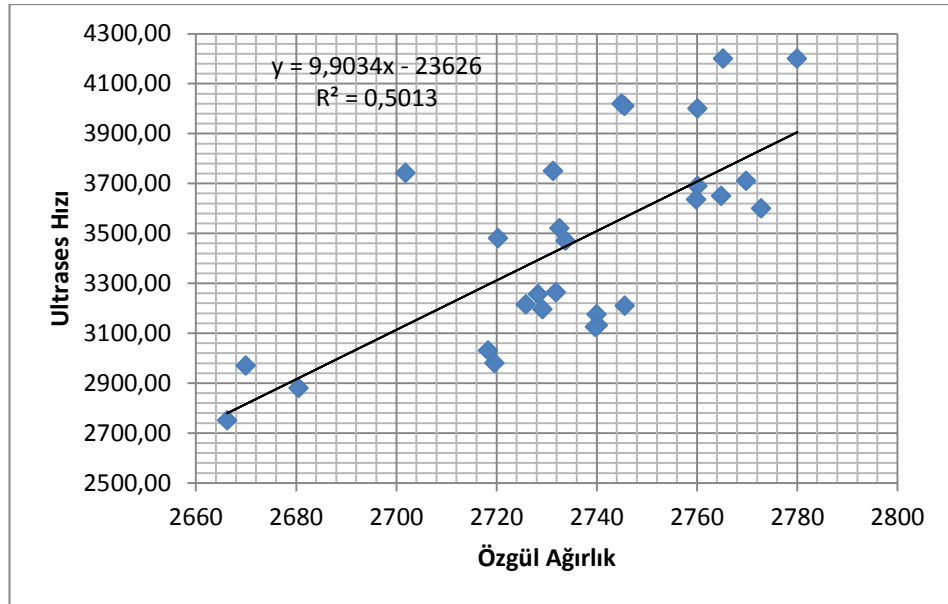
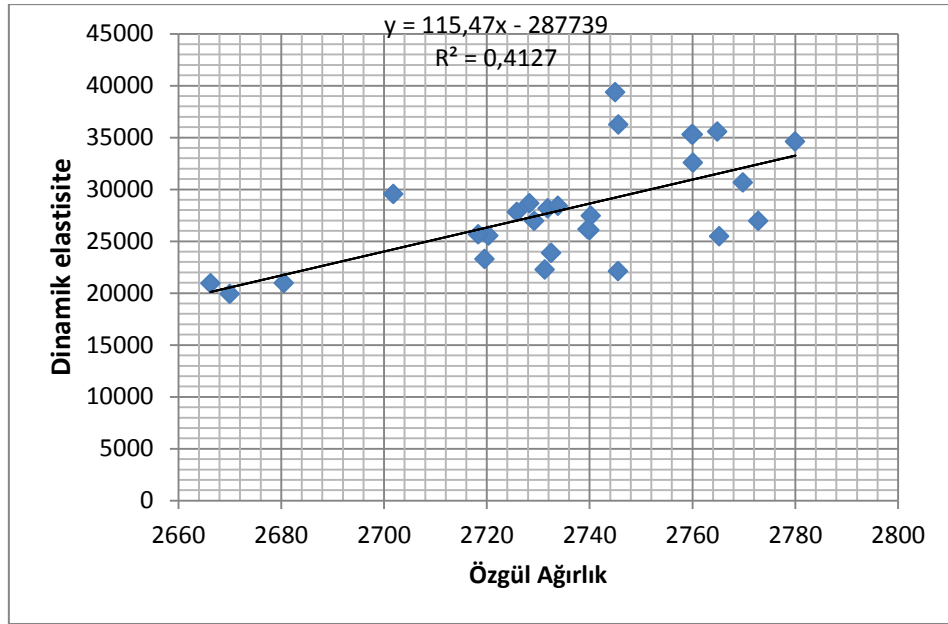


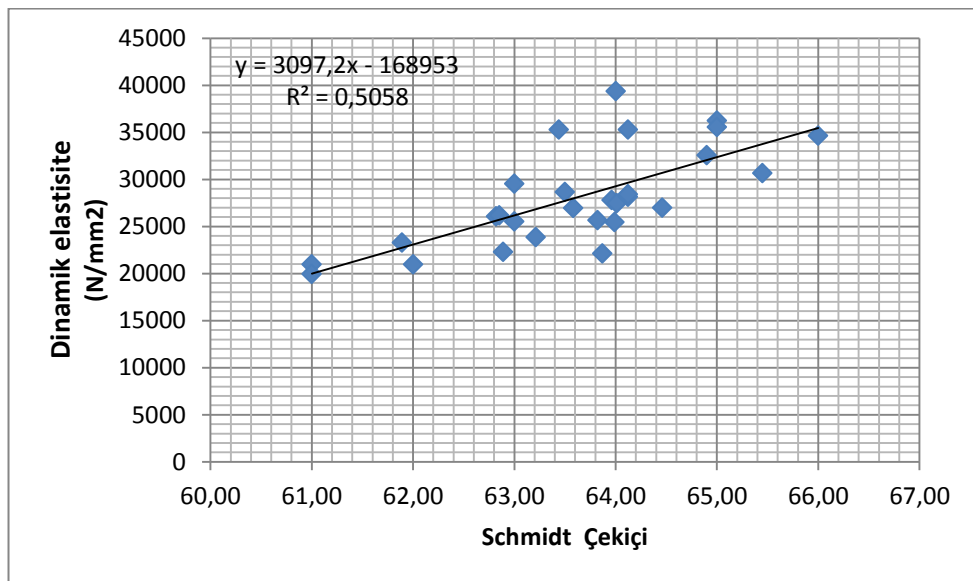
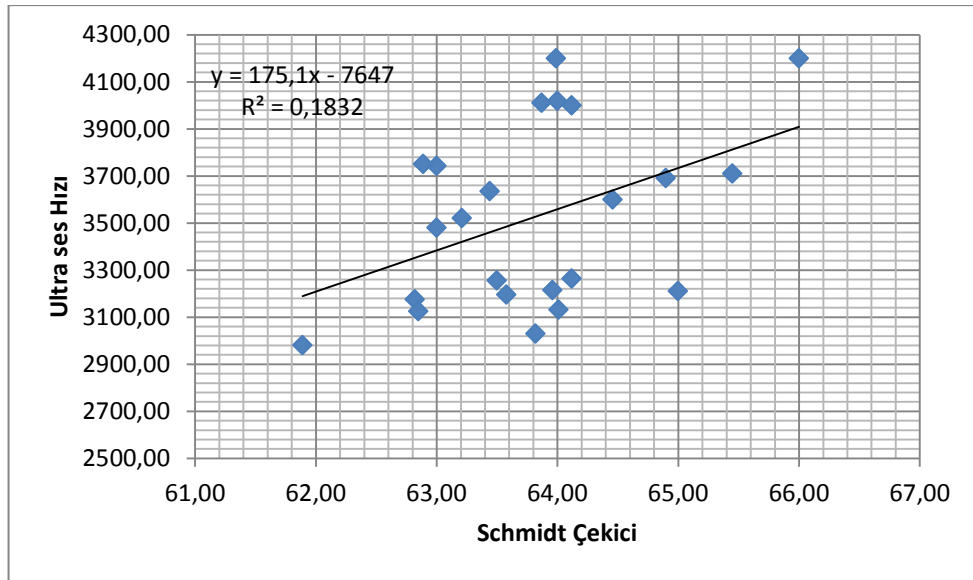
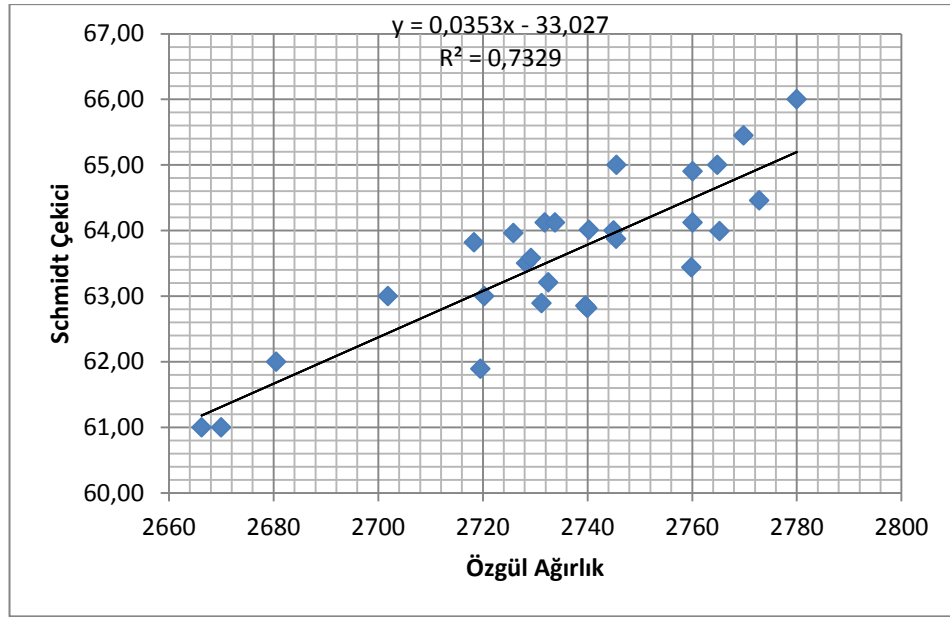


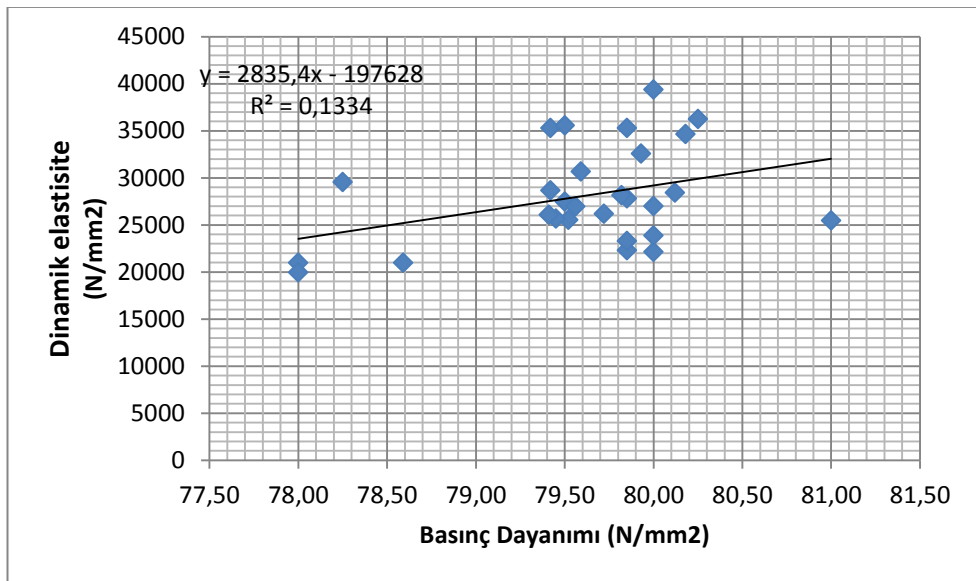
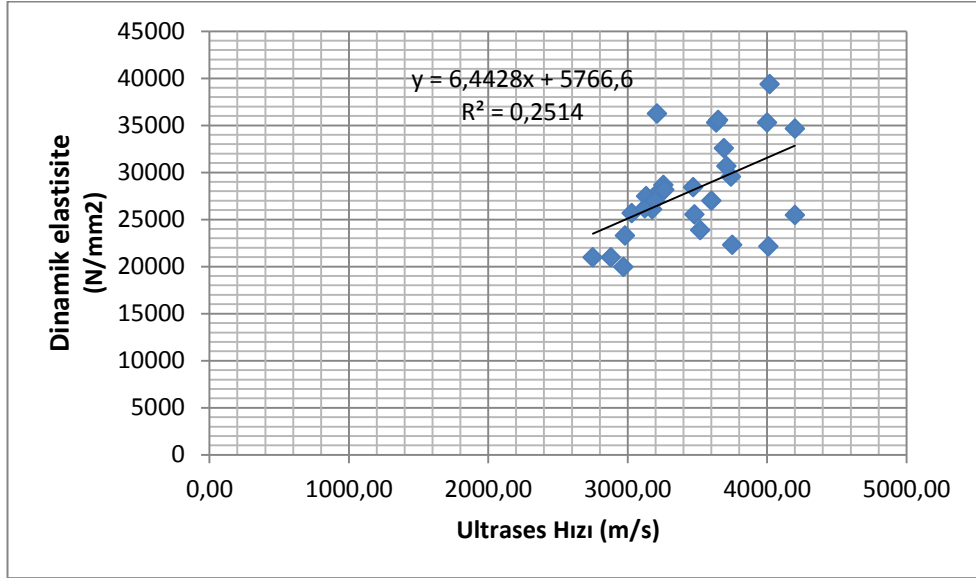
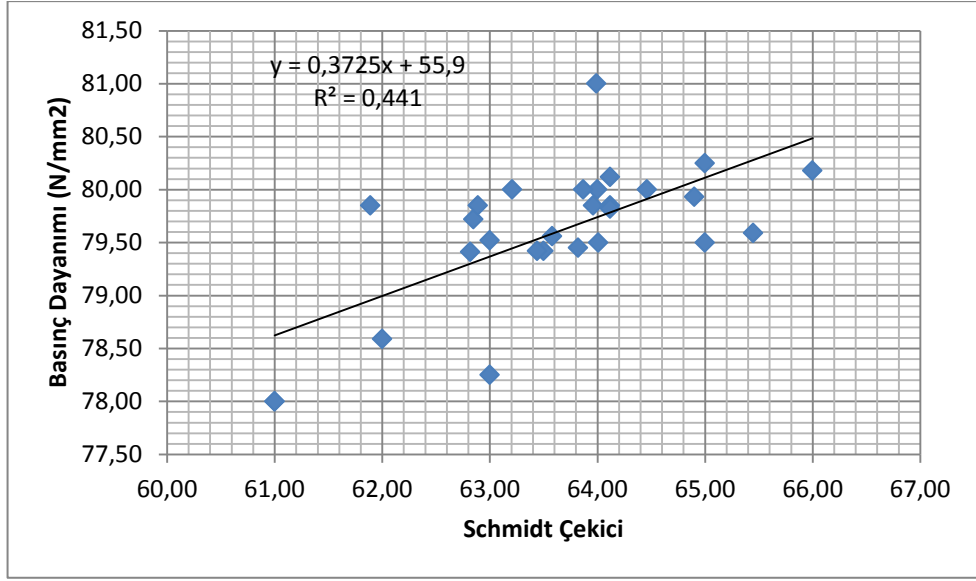


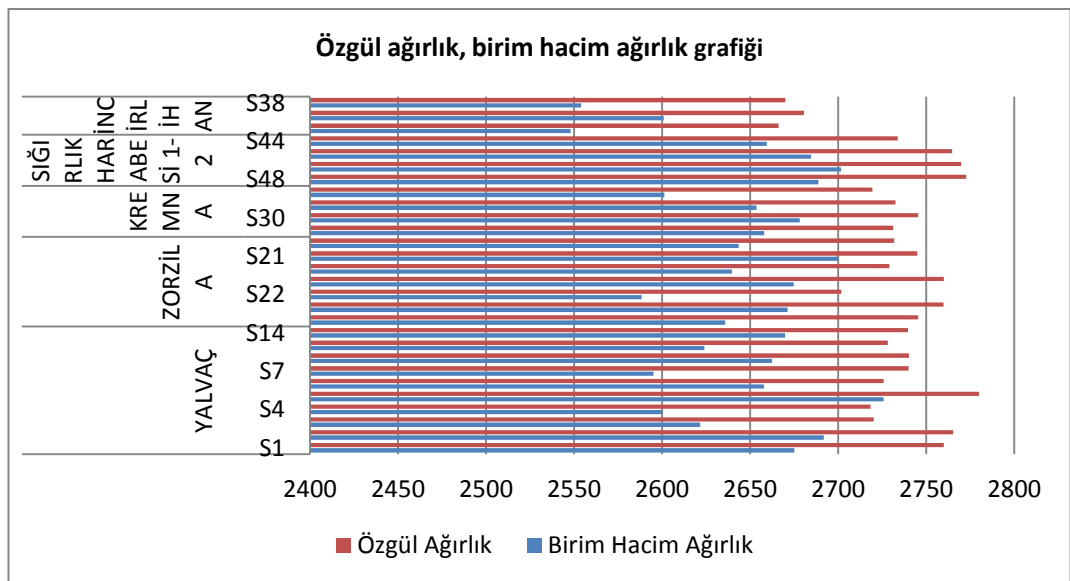
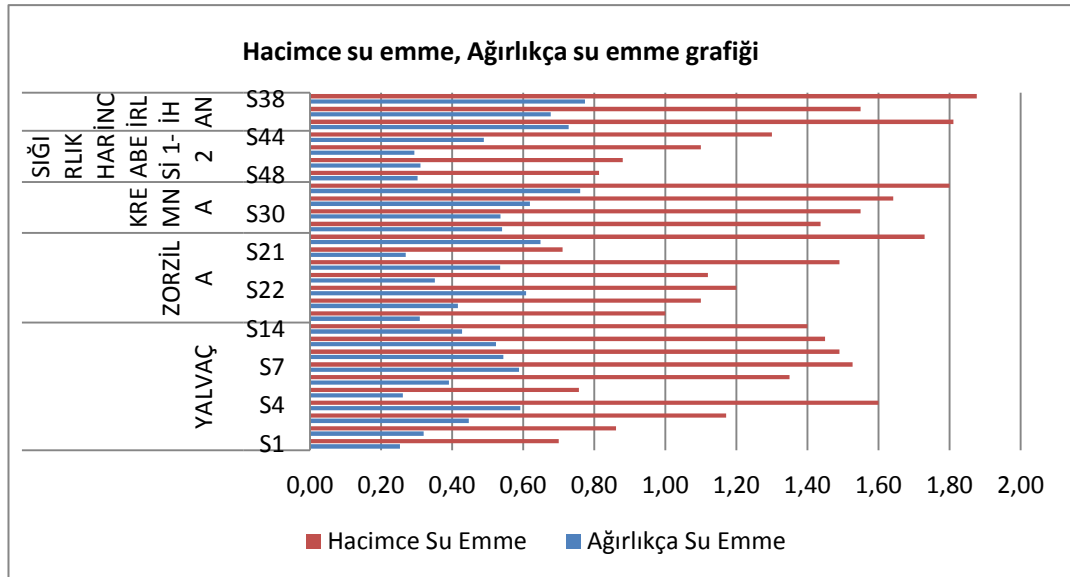
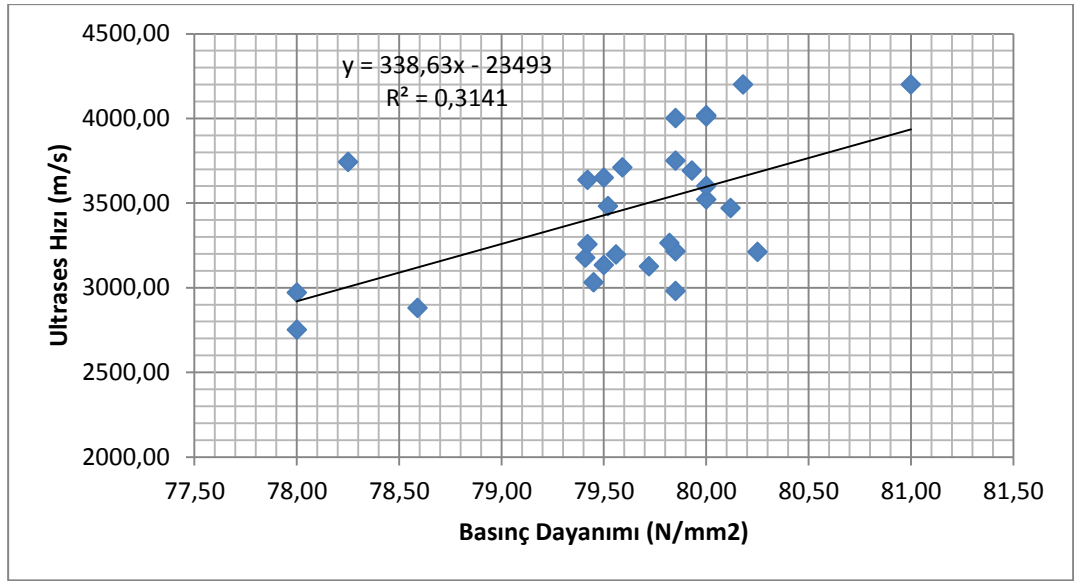


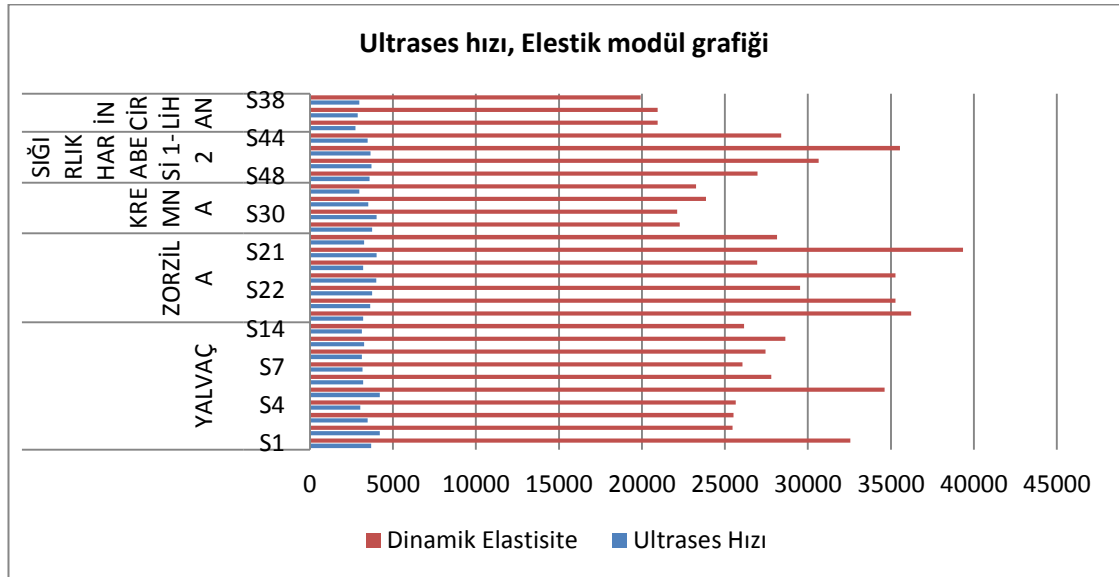
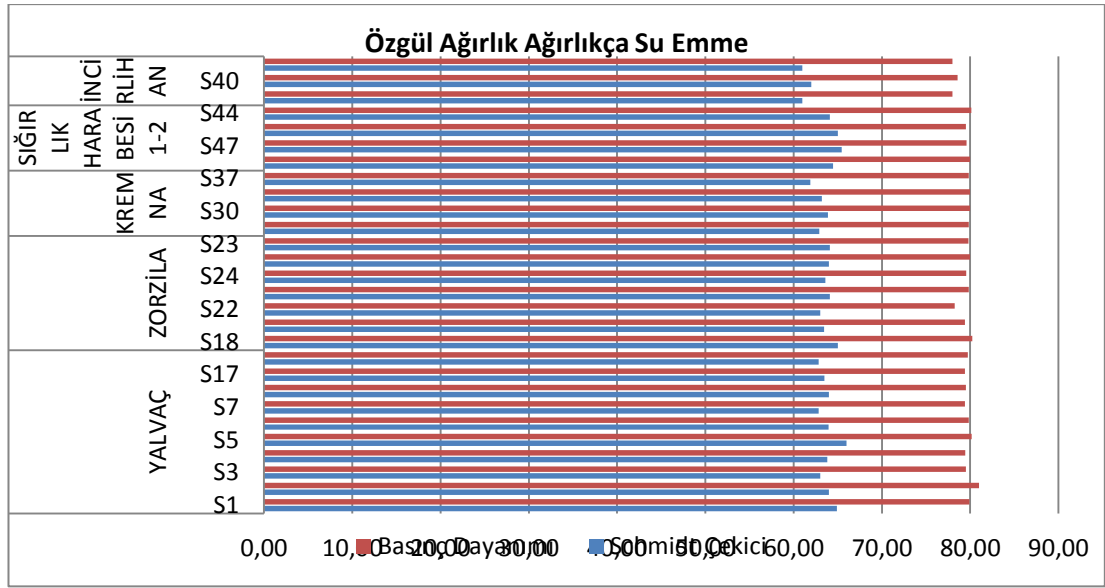




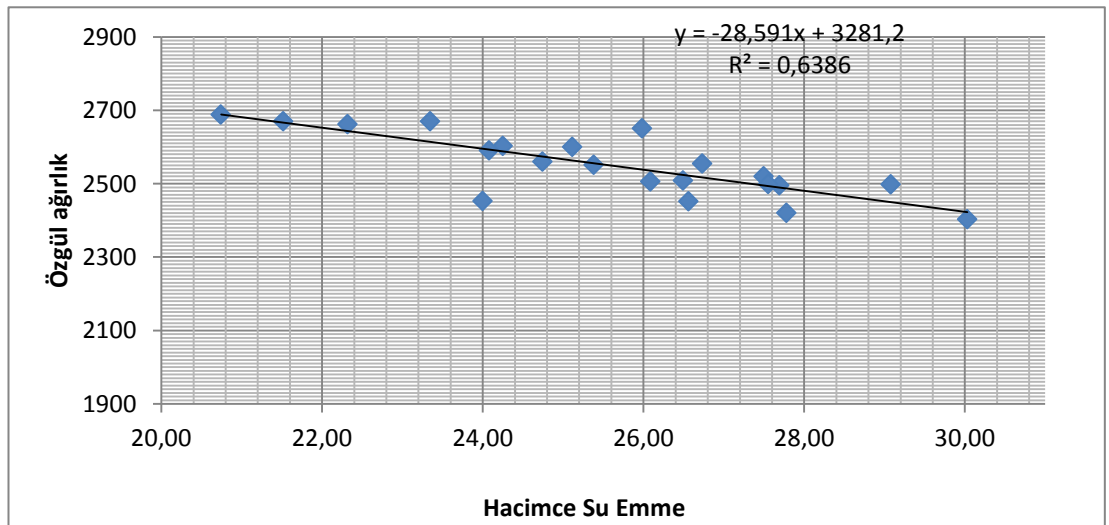
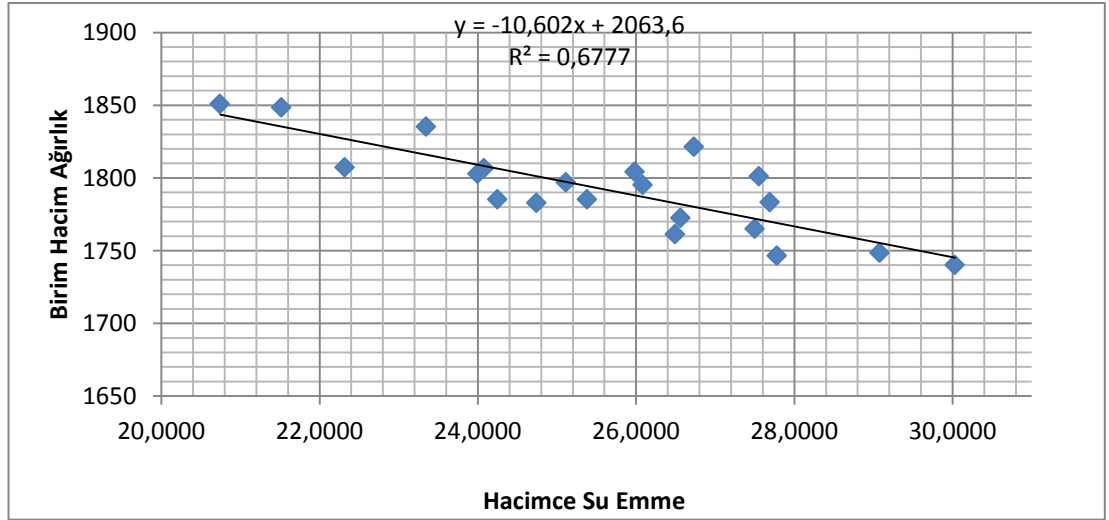
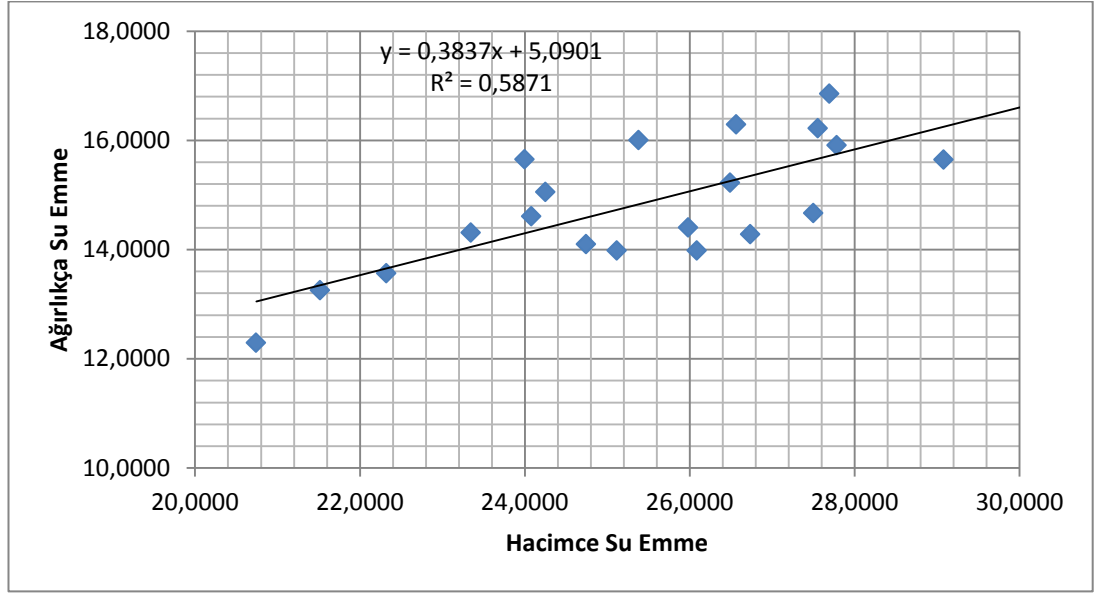


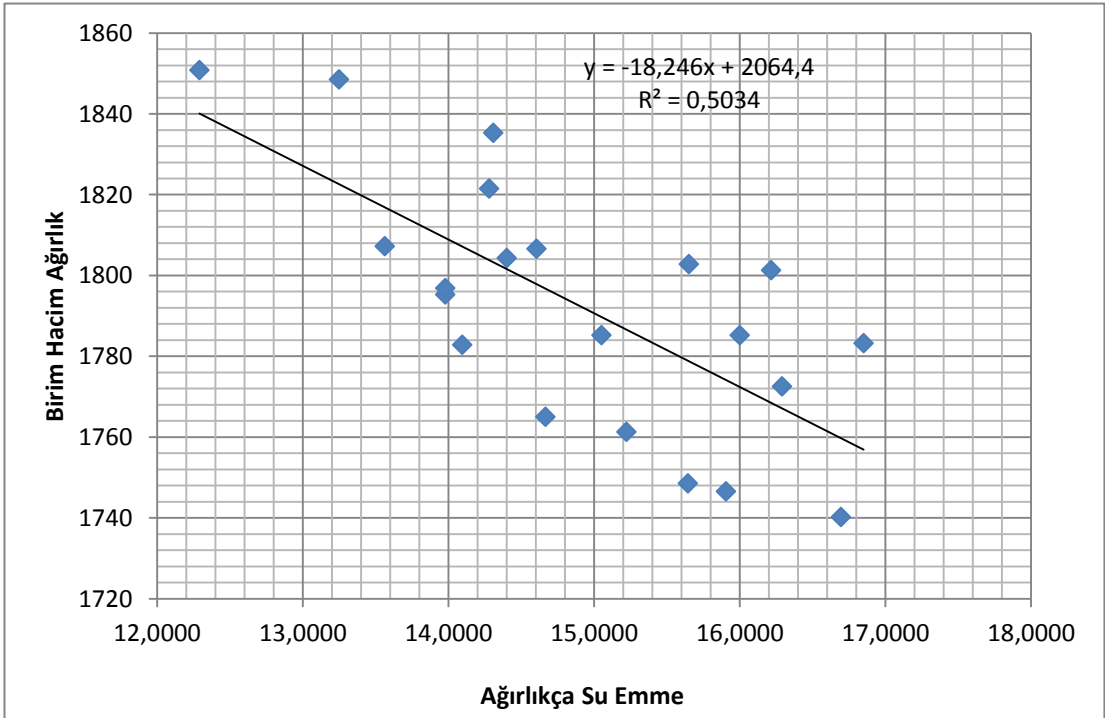
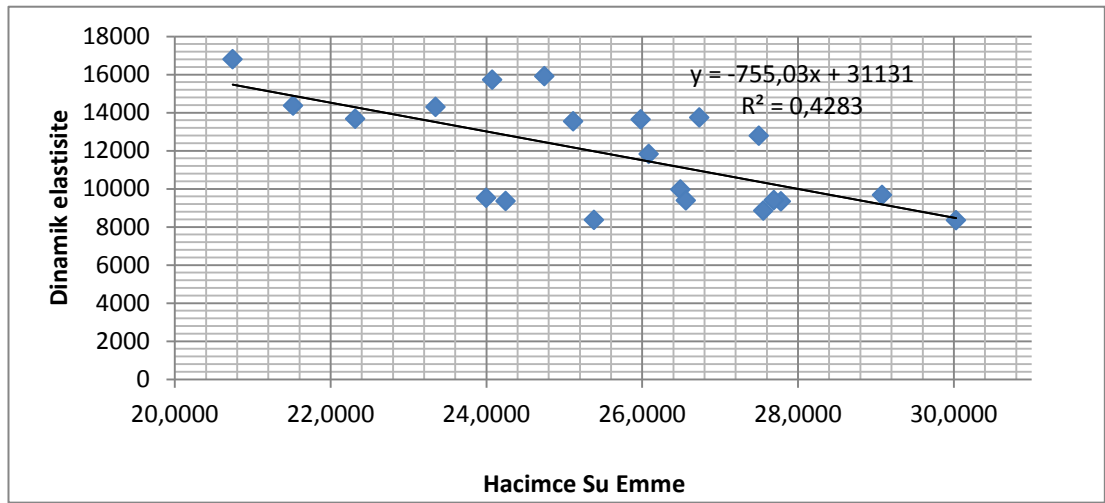
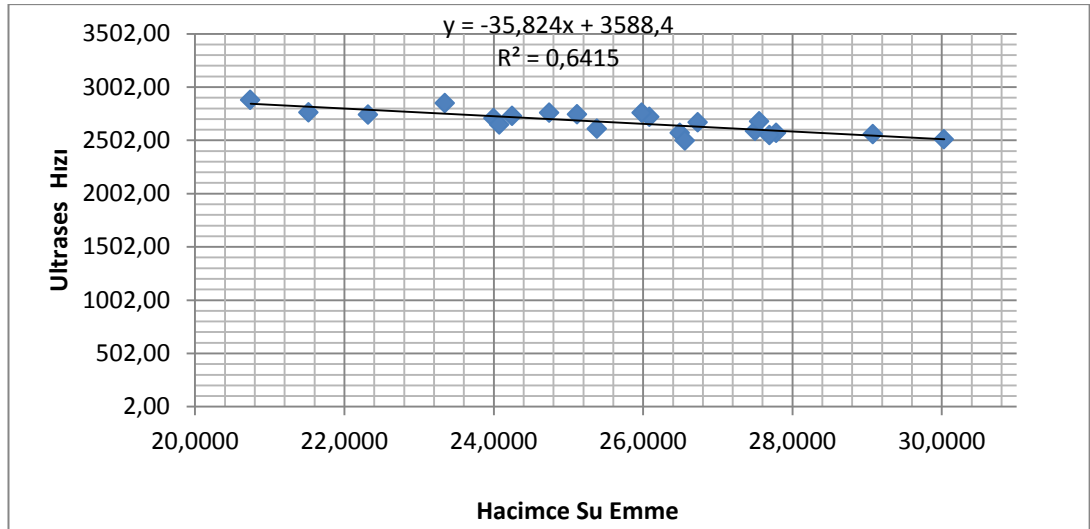


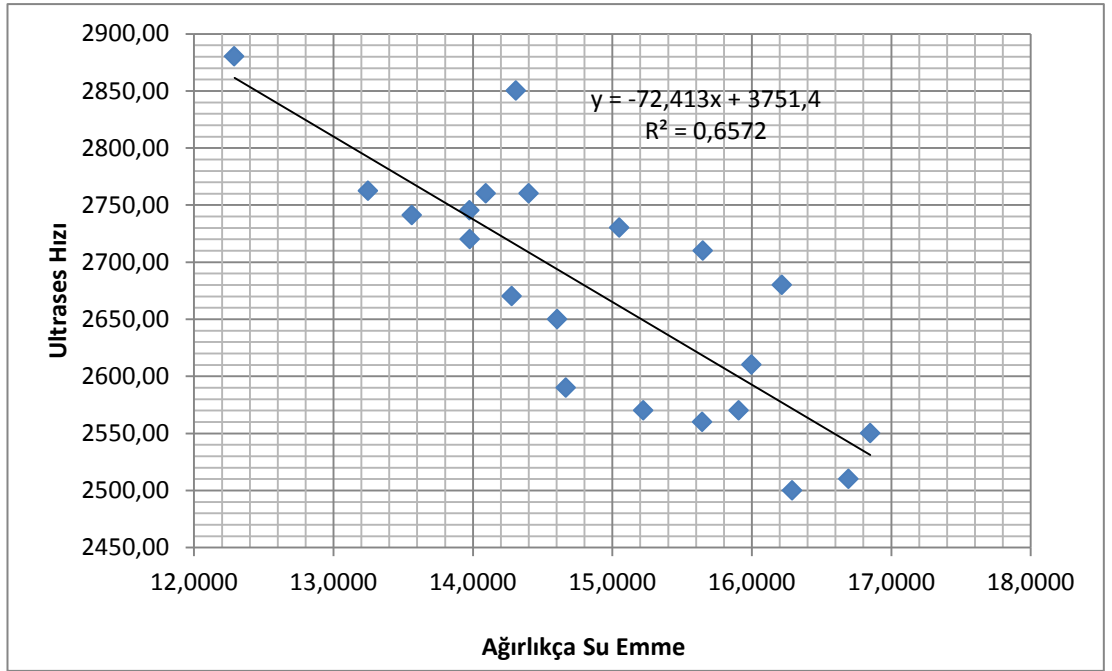
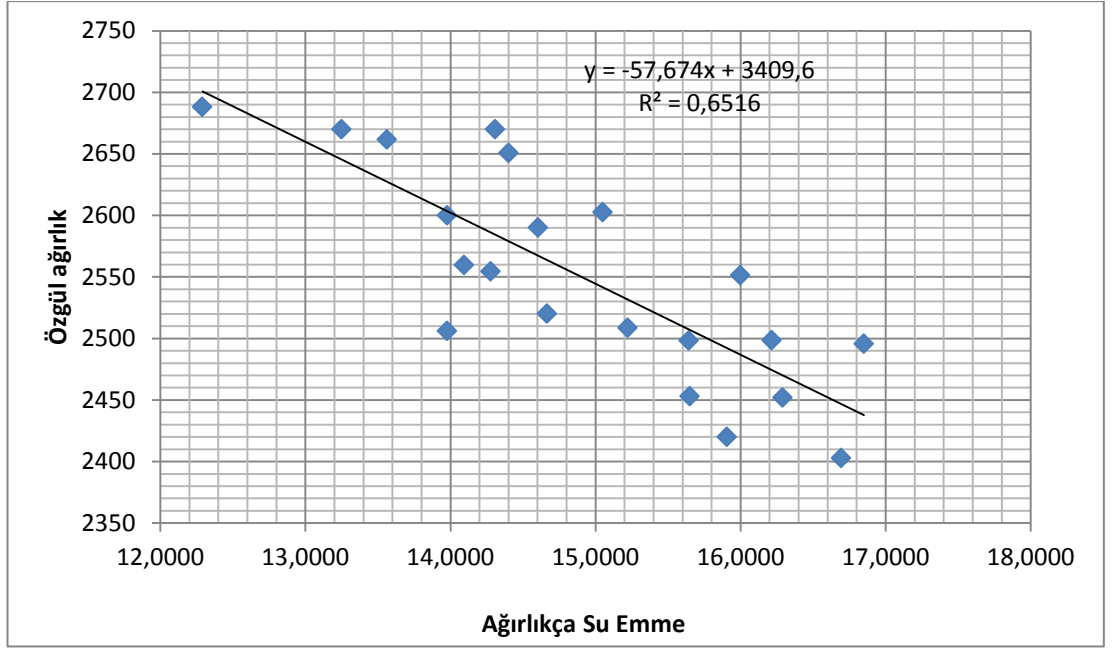


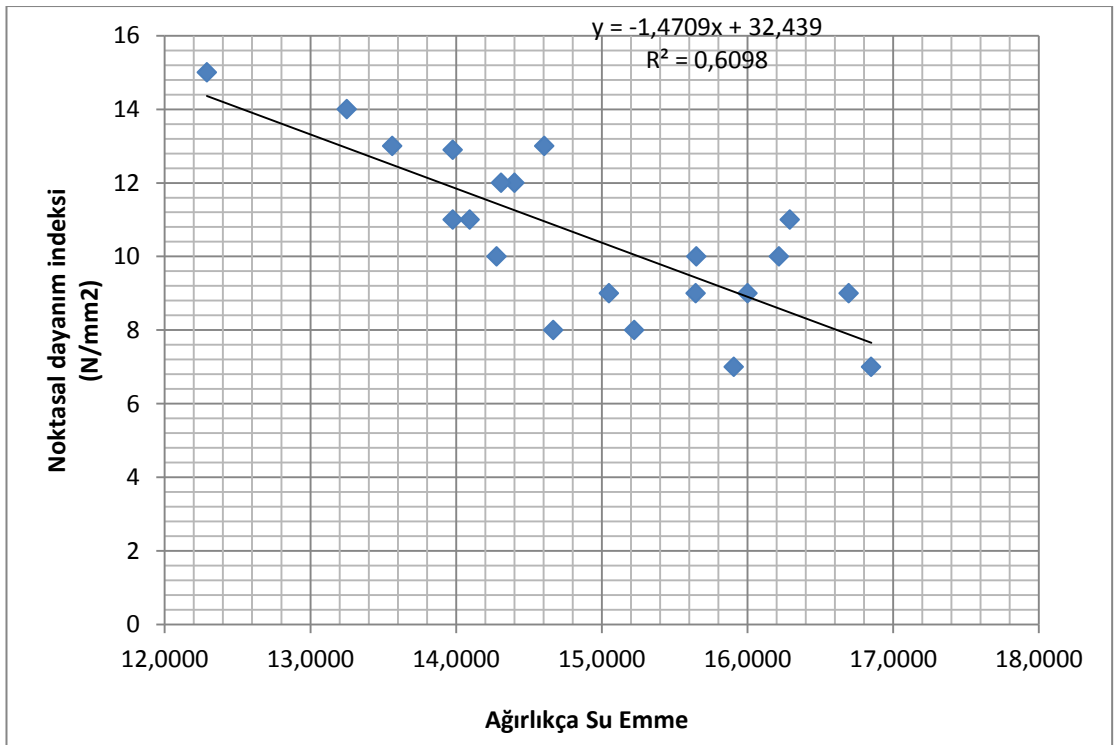
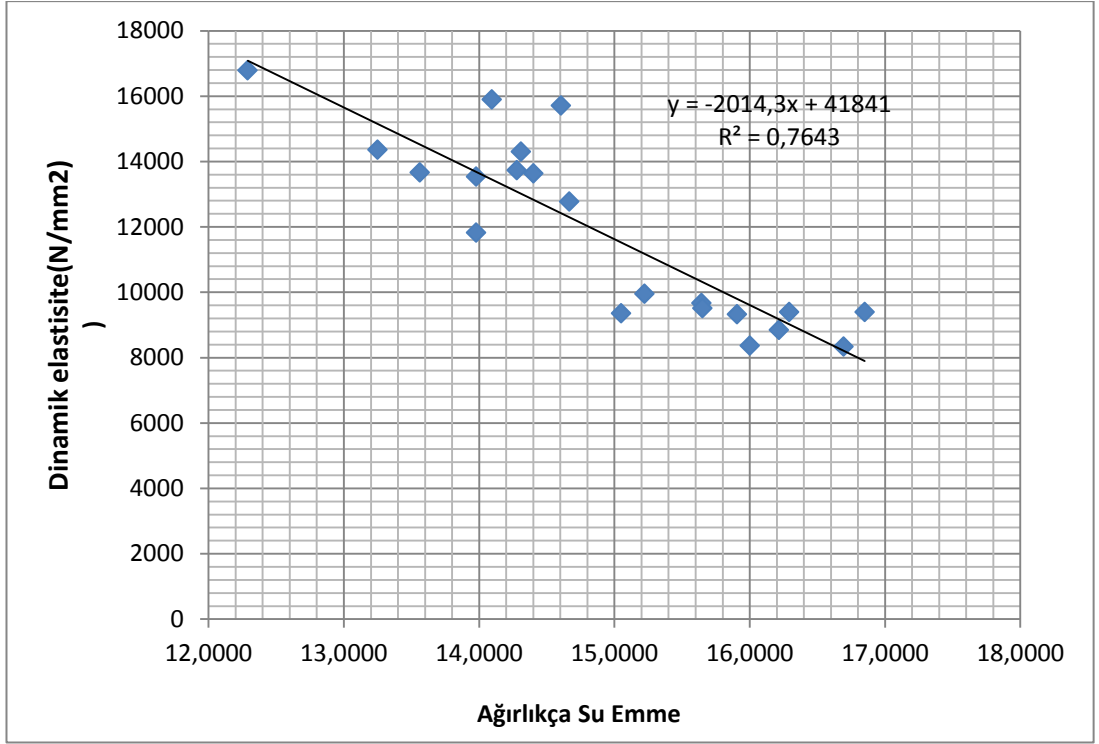


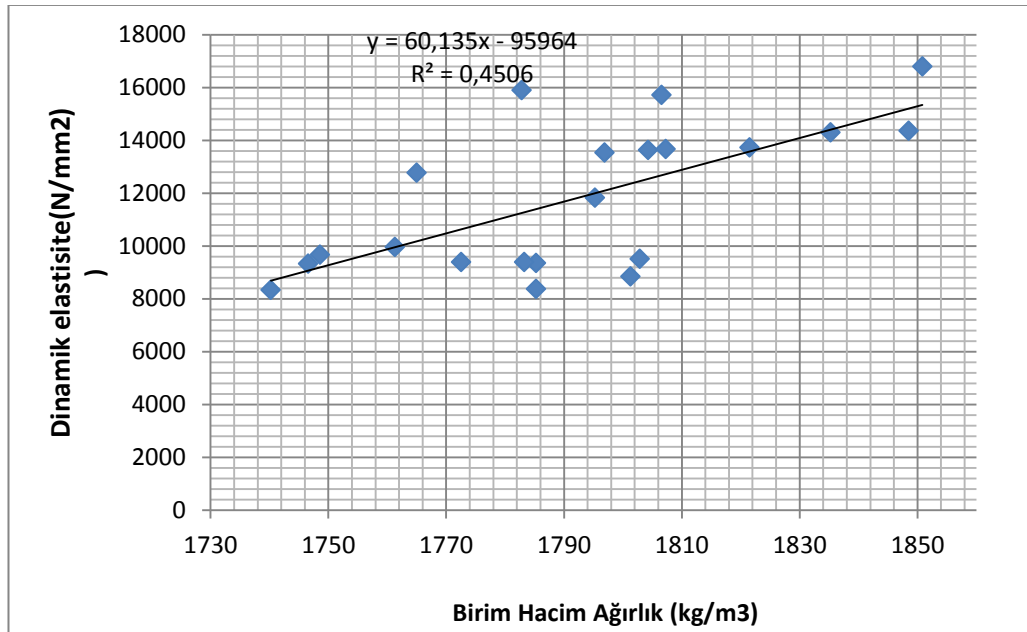
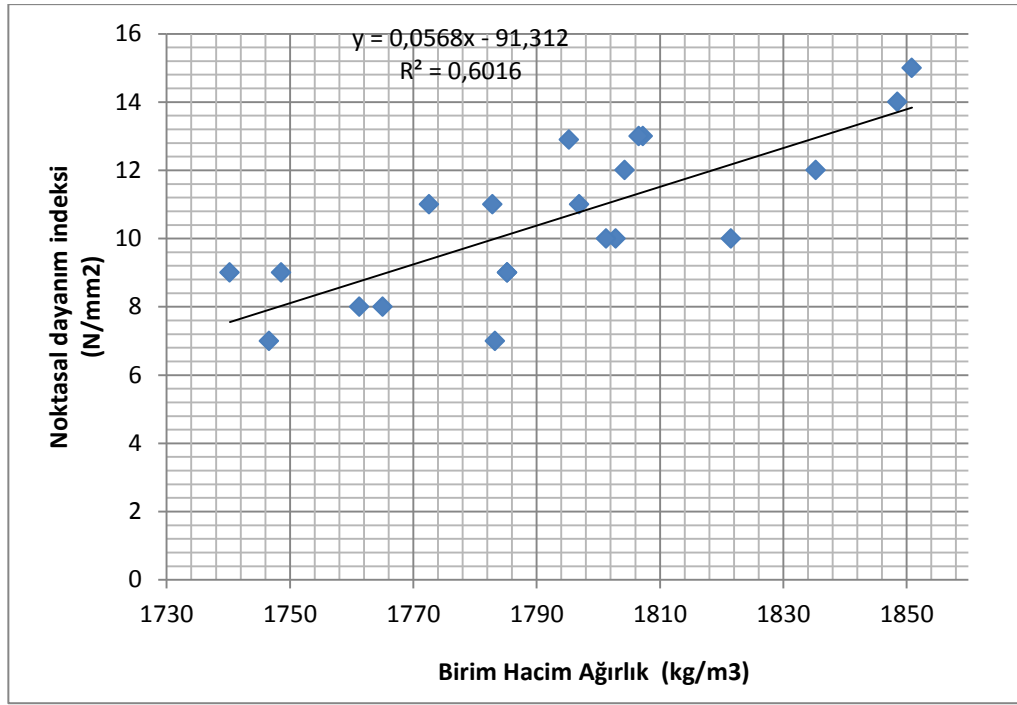
Ek B3. Harç Numunelerin Fiziksel ve mekanik Özellik Grafiği

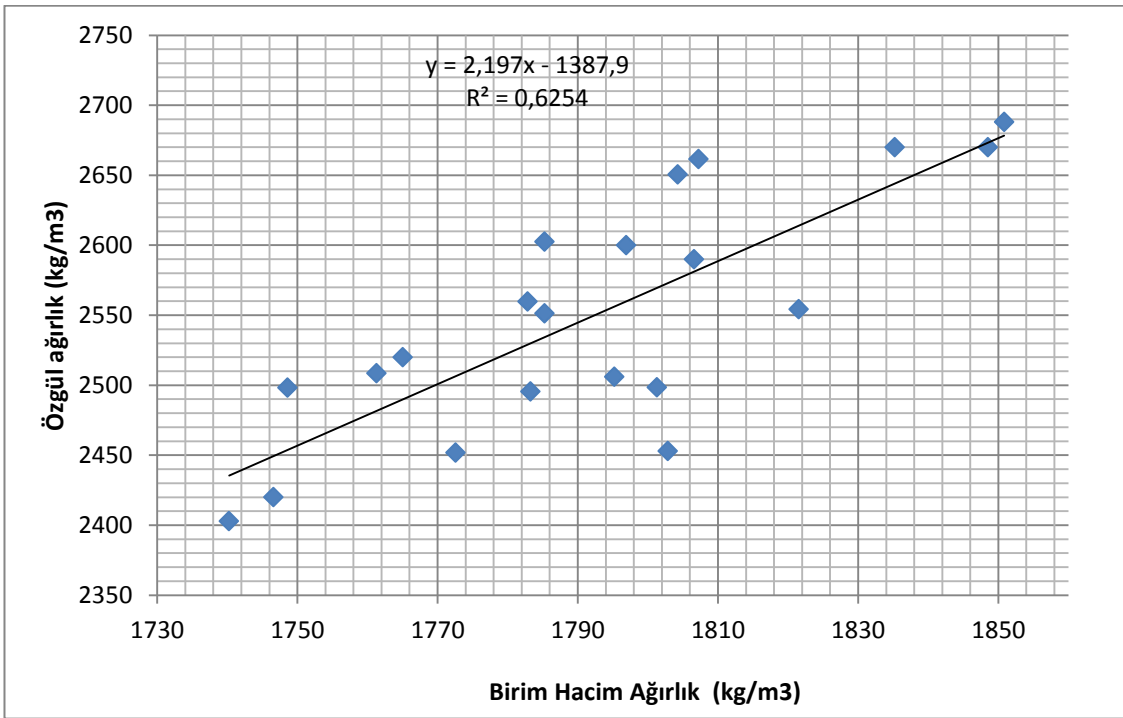
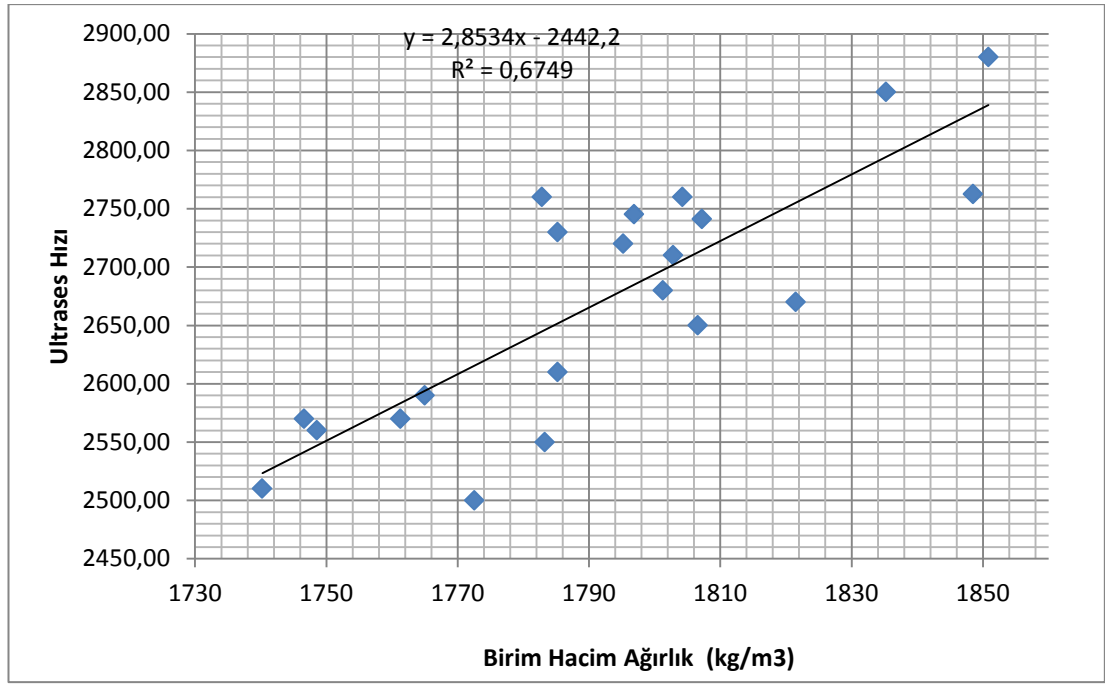


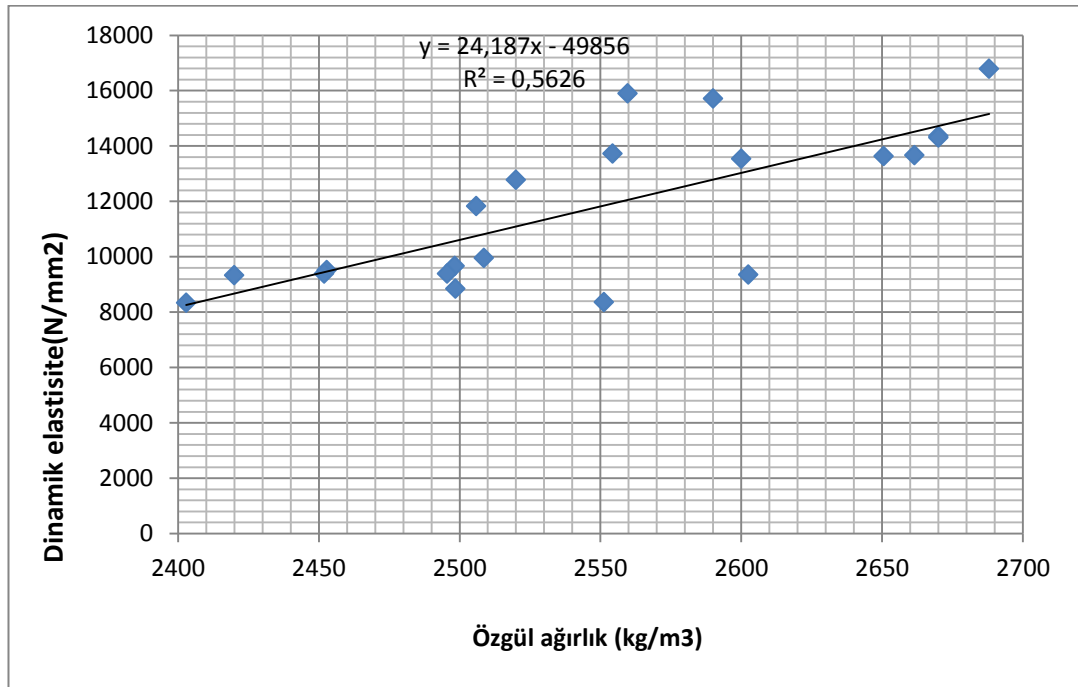
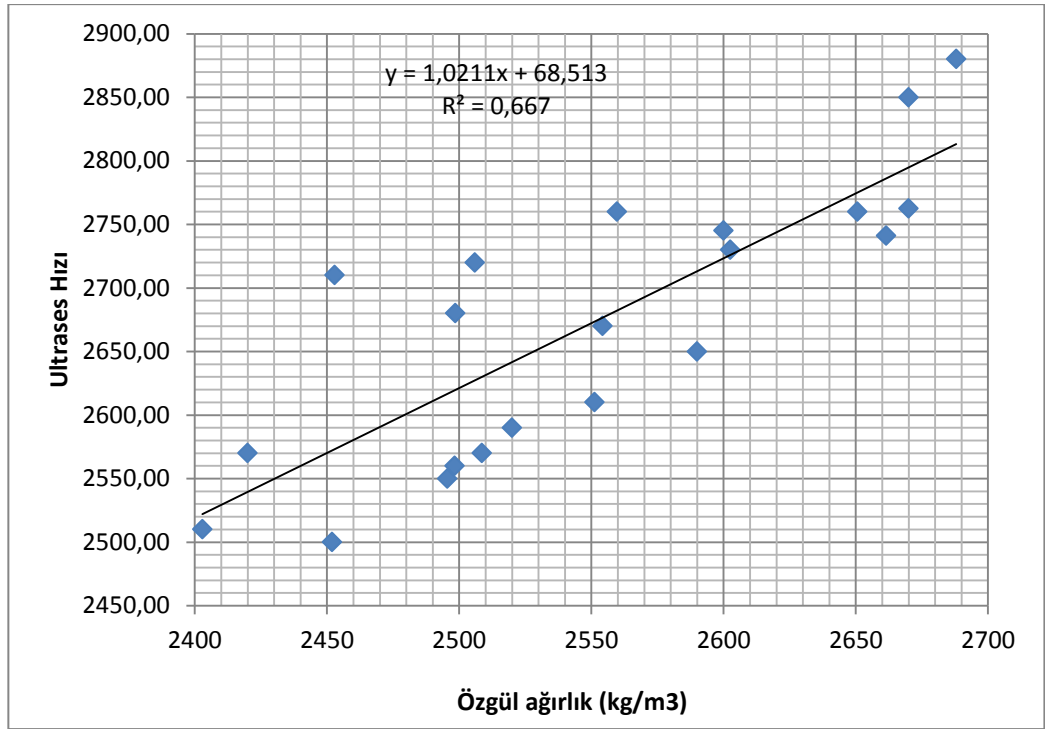


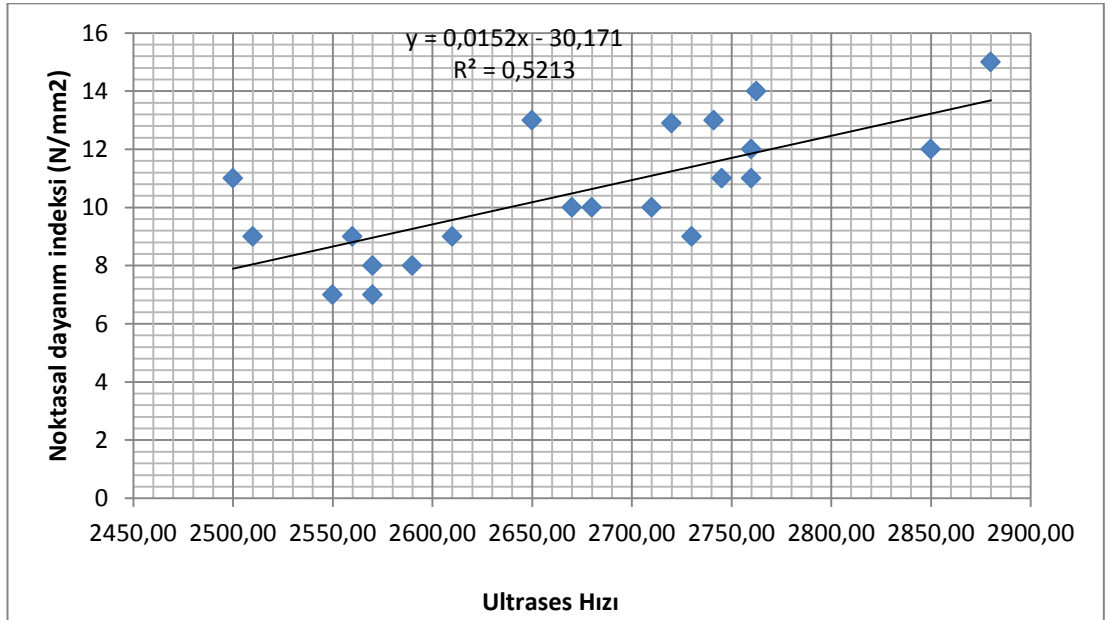
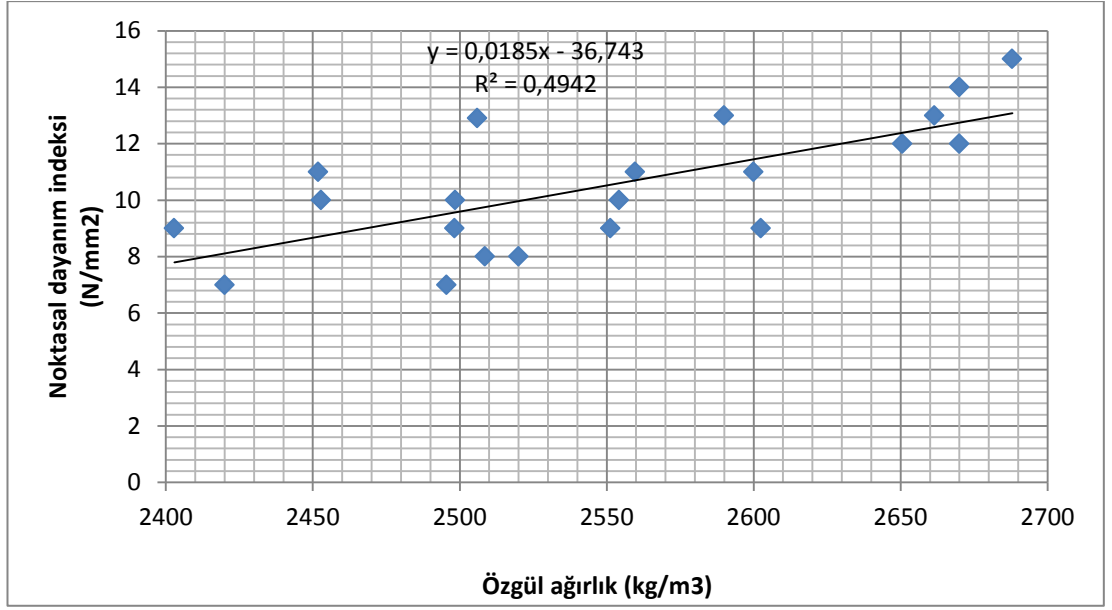


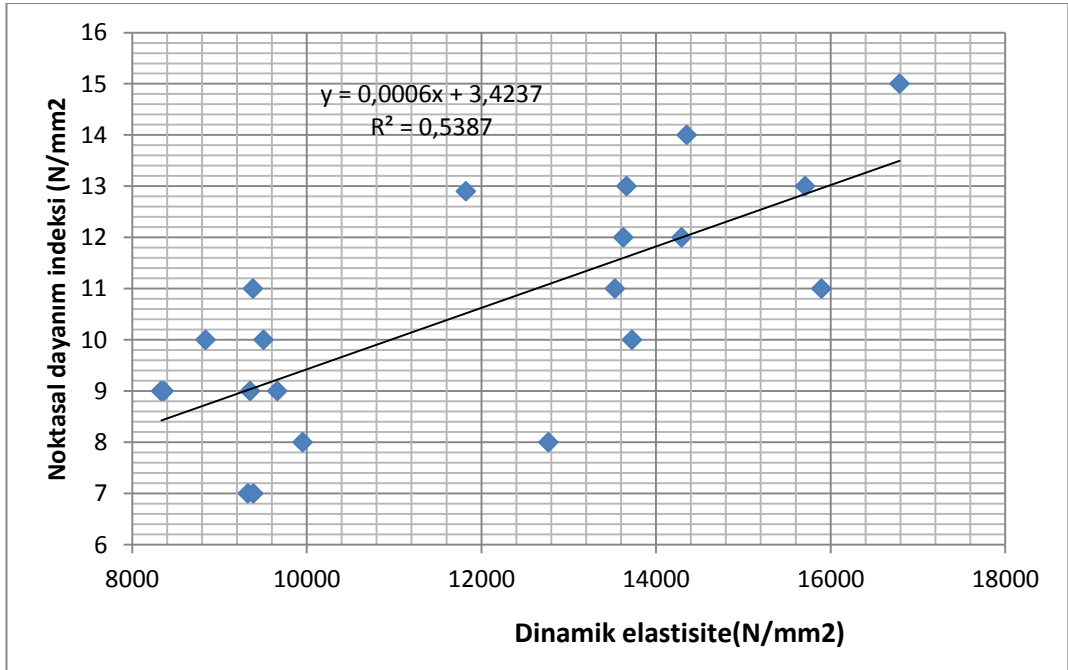
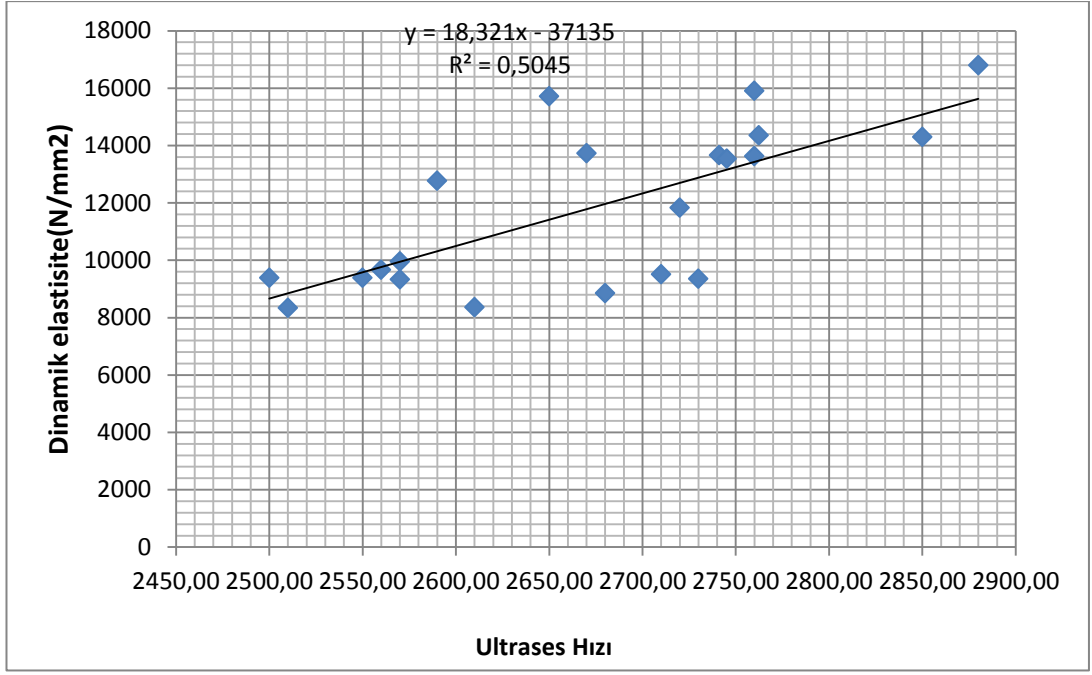


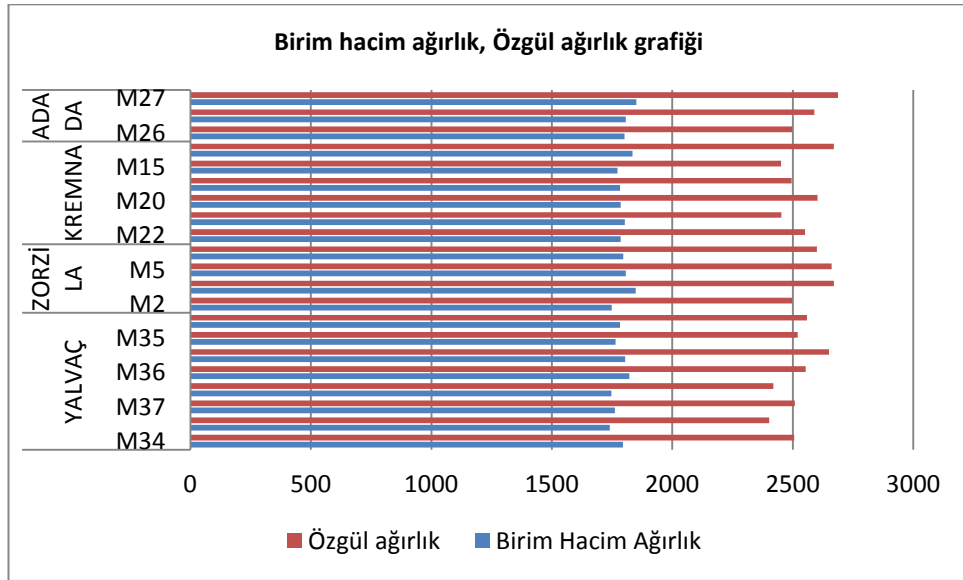
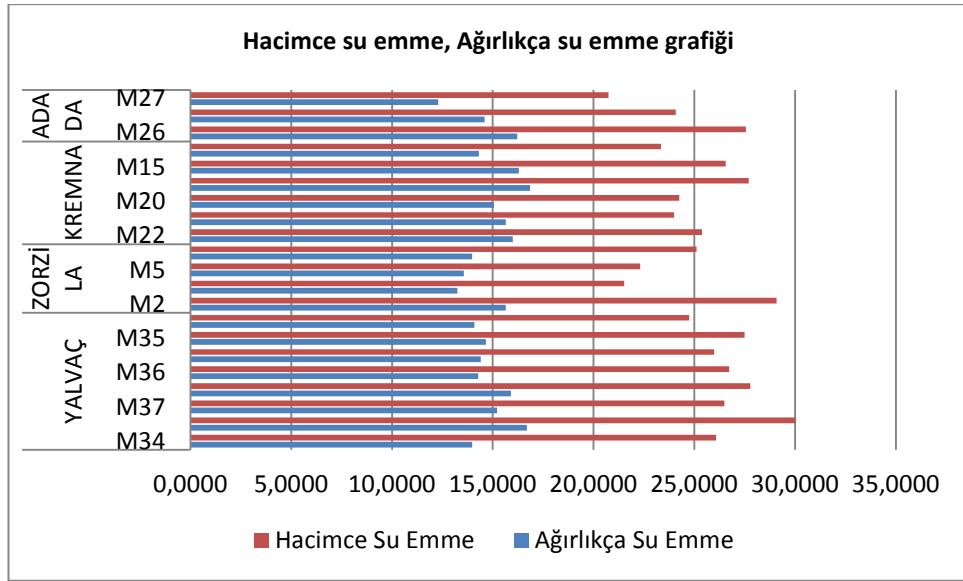


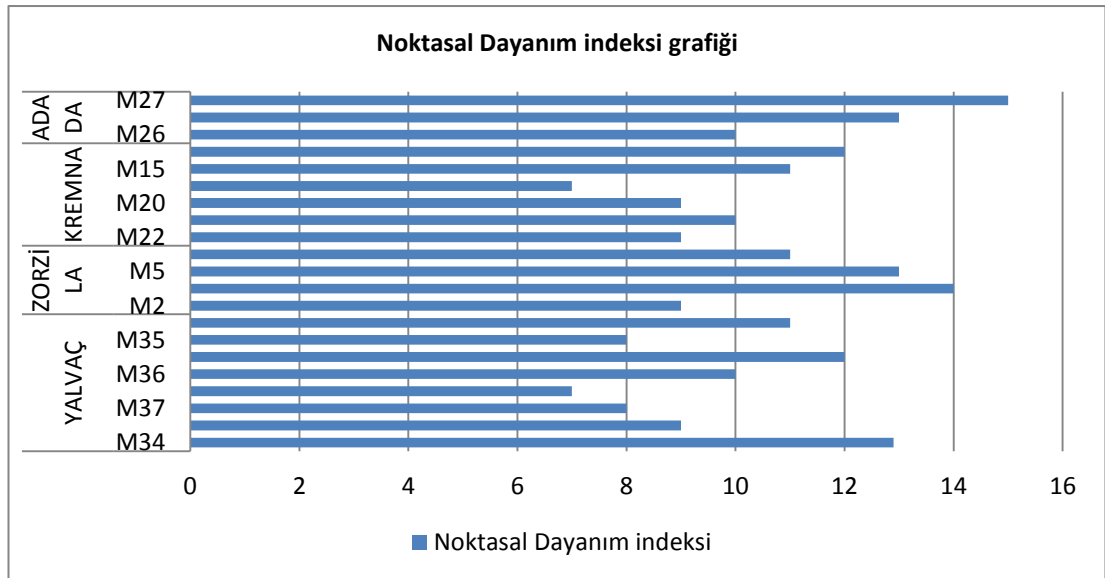
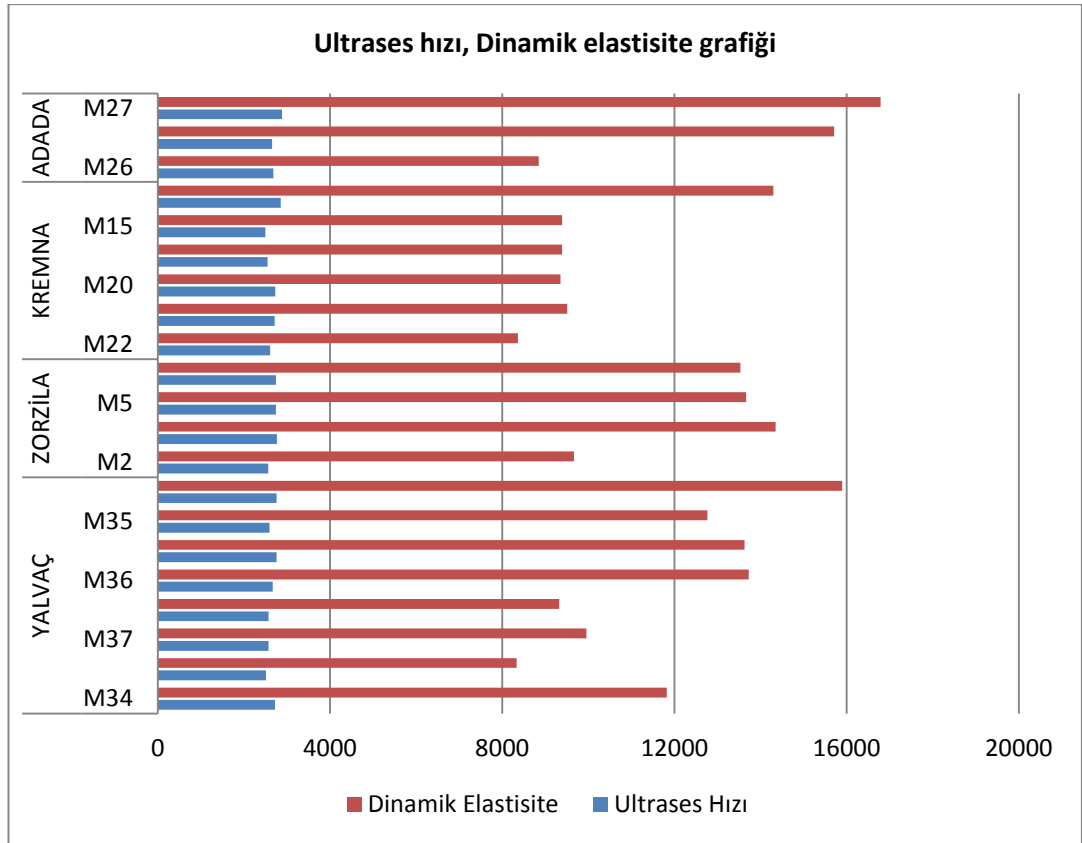












ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serhat SÖMER
Doğum Yeri Yılı : Adana, 1985
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : serhatsomer27@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Adana 19 Mayıs Lisesi
Lisan : SDÜ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Meslek Deneyimi

Özşahim inşaat Kontrol Mühendisi	2009-2010
Sezginler İnşaat Proje Ofisi	2010-2011
Emirdağ Belediyesi	
Fen İşleri Müdürlüğü	2011-2012
Emirdağ OSB Müdürlüğü	2012-2013
İmar Müdürlüğü	2013-2014
Proje Kordinasyon	2014-...(halen)