

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

**BETON KALİTESİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
BELİRLENMESİ**

Nevbahar SABBAĞ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK**

**DOKTORA TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2016**



© 2016 [Nevbahar SABBAĞ]

TEZ ONAYI

Nevbahar SABBAĞ tarafından hazırlanan "**Beton Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Yrd.Doç.Dr. Osman UYANIK**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof.Dr. Mahmut OKYAR**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç.Dr. Cengiz ÖZEL**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof.Dr. M. Ali KAYA**
Trakya Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof.Dr. M. Emin CANDANSAYAR**
Ankara Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç.Dr.Yasin TUNCER**

TAAHHÜTNAME

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

Nevbahar SABBAĞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. Materyal.....	22
3.1.1. Beton ve mukavemetinin etkisi.....	22
3.1.1.1. Agrega.....	24
3.1.1.2. Su.....	25
3.1.1.3. Çimento.....	25
3.1.2. Boyut etkisi.....	25
3.1.3. Donatı etkisi.....	26
3.1.4. Kür koşullarının etkisi.....	28
3.1.5. Zaman etkisi.....	29
3.1.6. Korozyon etkisi.....	30
3.1.7. Beton özellikleri ve statik-dinamik elastik modüller.....	32
3.1.7.1. Ağırlık.....	32
3.1.7.2. Hacim.....	33
3.1.7.3. Yoğunluk.....	33
3.1.7.4. Su içeriği.....	33
3.1.7.5. Porozite.....	34
3.1.7.6. Statik ve dinamik elastisite modülleri.....	34
3.1.7.7. Statik ve dinamik kayma modülleri.....	37
3.1.7.8. Statik ve dinamik Bulk modülleri.....	38
3.1.7.9. Statik ve dinamik Poisson oranı.....	38
3.2. Yöntemler.....	39
3.2.1. Tahribatsız jeofizik yöntemler.....	40
3.2.1.1. Ultrasonik sismik yöntem.....	40
3.2.1.1.1. Basınç ve kayma dalgaları.....	40
3.2.1.2. Özdirenç yöntemi.....	45
3.2.2. Tahribatlı test yöntemi.....	51
3.2.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	51
3.2.3. Sinyal analizi.....	53
3.2.3.1. Fourier dönüşümü.....	53
3.2.3.2. Zaman-frekans analizi.....	56
3.2.4. Yapay sinir ağları.....	57
3.2.4.1. Çapraz geçerlilik tekniği.....	61
4. VERİLERİN OLUŞTURULMASI.....	63
4.1. Beton Karışımları ve Numunelerin Hazırlanması.....	64
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	69

5.1. İstatistik Analizler.....	69
5.1.1. Beton mukavemetinin etkisini ortaya koyan sonuçlar.....	70
5.1.2. Donatının etkisini ortaya koyan sonuçlar.....	73
5.1.3. Kür koşullarının etkisini ortaya koyan sonuçlar.....	77
5.1.4. Zamanın etkisini ortaya koyan sonuçlar.....	83
5.1.5. Korozyon etkisini ortaya koyan sonuçlar.....	95
5.1.6. Boyut etkisini ortaya koyan sonuçlar.....	96
5.1.7. Beton özelliklerine ait sonuçlar.....	102
5.1.8. Elastik modüllere ait sonuçlar.....	115
5.1.9. Ölçüm sonuçlarının yöne bağımlılığının araştırılması.....	123
5.1.10. Parametrelerin istatistik sonuçları.....	124
5.2. Zaman-Frekans Analiz Sonuçları.....	131
5.3. Yapay Sinir Ağları Sonuçları.....	145
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	151
KAYNAKLAR.....	156
EK.....	169
ÖZGEÇMİŞ.....	170

ÖZET

Doktora Tezi

BETON KALİTESİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Nevbahar SABBAĞ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK

Bu tez çalışması kapsamında jeofizik yöntemler ile beton dayanımının belirlenebilmesi incelenmiştir. Belirli ebatlarda dökülen ve farklı mukavemet özellikleri gösteren beton numunelerine daha önceden yerleştirilmiş değişik çaplardaki donatı demirlerinin beton dayanımına, sismik ultrasonik hızlara ve elektrik özdirenç değerlerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı dayanımlara sahip 13 beton tasarımı hazırlanmıştır. Bu kapsamda, donatısız küp ve silindir numuneler ile içerisinde 10, 14 veya 20 mm çapında birer adet 200 mm uzunluğunda nervürlü donatı demiri bulunduran küp şeklindeki donatılı beton numuneleri hazırlanmış ve 90 gün boyunca su, hava ve etüv kürüne tabi tutulmuştur. Yine donatılı ve donatısız olarak hazırlanan numunelerden bir kısmı ile etüv grubu oluşturularak yoğunlukları, su içerikleri ve buna bağlı olarak değişen gözenekliliklerinin hesaplanmasına; aynı zamanda dinamik elastik modüller gibi beton özelliklerinin jeofizik yöntemlerle belirlenmesine çalışılmıştır. Yapılan çalışmada numuneler üzerinde ultrasonik sismik, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Elde edilen basınç dayanımı değerleri ile jeofizik verilerden elde edilen parametrelerin (P ve S dalga hızları, özdirenç) ilişkisi incelenmiştir. Kür durumlarına bağlı olarak P ve S dalga hızlarının ve özdirenç ölçümlerinin yöne bağımlılık durumları ortaya konulmuştur. Ayrıca numunelerin P ve S dalga kayıtlarına ait güç spektrumları elde edilerek hızlı fourier dönüşümü ve zaman-frekans analizleri yapılmıştır. Böylece düşük ve yüksek dayanımlı numunelerin sinyal içeriklerindeki farklılıkların, baskın frekansların sayıları ve değerleri, numuneler içerisindeki boşluk, gözenek vs. gibi durumların belirlenebilmesine çalışılmıştır. Beton mukavemetlerindeki farklılık, donatı çapı, kür koşulları, zaman, özdirenç, P ve S dalga hızları gibi parametreler kullanılarak yapay sinir ağları yöntemi ile beton dayanımı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çapraz geçerlilik tekniği kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen tahmini beton dayanımı %77 doğrulukla hesaplanmıştır. Bu tezin akademik gelişme imkânının olması yanında mühendislik çalışmalarında da uygulanabilir bir yöntem olabilmesi tasarlanmıştır. Bu araştırma, betonarme yapıların beton dayanımının tahribatsız jeofizik yöntemlerle belirlenebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Beton dayanımı, donatı, hasarsız jeofizik test, sismik, özdirenç, kür koşulları, zaman-frekans, yapay sinir ağları

2016, 172 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF CONCRETE QUALITY BY GEOPHYSICAL METHODS

Nevbahar SABBAĞ

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Osman UYANIK

In the content of this thesis, the determination of concrete strength by geophysical methods was investigated. The effect of different diameters reinforcement bars of previously placed in the concrete samples that spilled specific sizes and showing different strength properties on the concrete strength, the seismic ultrasonic velocities and the electrical resistivity values were investigated. For this purpose, 13 concrete designs having different strengths were prepared. In this context, unreinforced cubic and cylindrical specimens and reinforced concrete samples cubes that containing one piece of 10, 14 or 20 mm diameter and 200mm long ribbed reinforcement were prepared and subjected to water, air and oven cured throughout 90 days. Also, the concrete characteristics such as density, water content, porosity, dynamic elastic modules were studied to determine with geophysical methods by forming oven group with a portion of the prepared unreinforced and reinforced samples. In the studies, seismic ultrasonic, apparent resistivity and uniaxial compressive strength tests were performed on samples. Relationship between obtained strength values and parameters (P and S wave velocities, resistivity) that obtained by geophysical data was investigated. Direction dependence conditions of P and S wave velocities and resistivity measurements were put forward to depending on curing conditions. In addition to, fast fourier transform and time-frequency analysis were made by obtaining the power spectra of P and S wave records of samples. Thus, the difference between signal contents, the dominant frequency number and values of the low and high strength samples, the case such space, pores etc. in the samples has been tried to be determined. The concrete strength has been tried to be determined with artificial neural networks method by using parameters such the differences in strengths, diameter of reinforcement, curing conditions, time, resistivity, P and S wave velocities. At the results of the assessments estimated concrete strength of obtaining by using cross validation technique was determined 77% accuracy. This thesis was also designed to be aviable method of applicating in the engineering studies, besides having academic prospered. This research was shown to determinable concrete strength of the concrete structures by non-destructive geophysical methods.

Keywords: Concrete strength, reinforcement, non-destructive geophysical test, seismic, resistivity, curing conditions, time-frequency, artificial neural networks.

2016, 172 pages

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında benimle her türlü bilgi ve deneyimini paylaşan, yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli bilim adamı ve aynı zamanda danışman hocam olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK'a şükranlarımı sunarım. Tez izleme komitesinde yer alan ve her toplantıda değerli görüş ve önerileriyle tezin şekillenmesine katkılar koyan hocalarım Sayın Doç. Dr. Cengiz ÖZEL, Prof. Dr. Şakir ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım. Tez savunma sınavımda yer alarak farklı bakış açılarıyla tezime ve tez sonrası çalışmalarına yön veren Prof. Dr. M. Ali KAYA'ya ve Prof. Dr. Mahmut OKYAR'a teşekkürlerimi sunarım. Eğitimim boyunca üzerimde çok emeği olan ve yapı jeofizikine yönelmemi sağlayan Sayın Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR'a minnet duygularımı sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmalarımın laboratuvarında yürütülmesi aşamasındaki yardımlarından dolayı değerli meslektaşlarım Sayın Dr. Buket EKİNCİ, Erdem ÇAKIR ve N. Aycan KAVAS'a teşekkür ederim. Tezimin analiz aşamalarında desteğini esirgemeyen arkadaşım Okutman Olcay ÇAKMAK'a değerli katkılarından dolayı çok teşekkür ederim. Manevi desteklerinden dolayı değerli hocam Sayın Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA ve sevgili ailesine, Sayın Yrd. Doç. Dr. N. Ayten UYANIK'a, Adıyaman Üniversitesindeki değerli hocam Doç. Dr. Erhan AKÇA'ya, SDÜ Bilgisayar Mühendisliğindeki arkadaşlarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Asım Sinan YÜKSEL, Arş. Gör. Ş. Fuat ÇANKAYA ve Arş. Gör. İ. Arda ÇANKAYA'ya teşekkür ederim.

Kendisi ile tanışma şerefine eriştiğim, beni her konudaki bilgi ve birikimi aynı zamanda da insanlığı ile kendisine hayran bıraktıran, her konuda yol gösteren değerli arkadaşım ve hocam, kıymetli insan Sayın Yrd. Doç. Dr. Ziya ÖNCÜ'ye tezime ve yaşamıma olan katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bugüne kadar hiçbir konuda bana desteklerini, şefkatlerini ve sabırlarını esirgemeyen en değerli varlıklarım olan annem Zehra SABBAĞ'a, babam ATA SABBAĞ'a, kardeşlerim Doç. Dr. Çiğdem SABBAĞ, Cennet SABBAĞ ve Jale SABBAĞ'a ve kıymetli halam Sevim SABBAĞ'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, bugünlere gelmemde üzerimde çok emeği olan ve başarılarımla gururlanan, çalışma azmini her zaman örnek aldığım saygıdeğer abim Sadullah SABBAĞ'a, biricik yeğenlerim Emirhan, Berfin ve Ömer ile değerli anneleri Birsen SABBAĞ'a saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında ÖYP05277-DR-14 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Nevbahar SABBAĞ
ISPARTA, 2016

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Donatılı ve donatısız beton numuneleri	22
Şekil 3.2. Su kürüne ve hava kürüne tabi tutulan numuneler.....	23
Şekil 3.3. Agregası (Kum,çakıl ve kırma taş).....	24
Şekil 3.4. Silindirik ve küp şeklindeki beton numuneler	25
Şekil 3.5. İçerisinde farklı çaplardaki donatı demiri bulunan numuneler	26
Şekil 3.6. Donatının korozyonu	30
Şekil 3.7. Hassas terazi ile numune ağırlıklarının belirlenmesi	32
Şekil 3.8. Sayısal kumpas ile numunelerin boyutlarının belirlenmesi	33
Şekil 3.9. Elastisite modülü.....	35
Şekil 3.10. Kayma modülü.....	37
Şekil 3.11. Bulkmodülü	38
Şekil 3.12. P ve S dalgalarının yayılım doğrultusu	41
Şekil 3.13. Yapılan çalışmada numune içerisinde P ve S dalgalarının yayılımını gösteren örnek kayıtlar	41
Şekil 3.14. Ultrasoniksismik yöntem ile sıfır ayarı ve problemlere jel sürülmesi	42
Şekil 3.15. Ultrasonik ölçü alım tekniği.....	42
Şekil 3.16. Ultrasonik sismik P ve S dalga ölçüm cihazı.....	43
Şekil 3.17. Beton üzerinde elektrik özdirenç ölçümü	45
Şekil 3.18. Elektrod dizilimlerinin genel gösterimi	46
Şekil 3.19. Elektrod dizilimleri	47
Şekil 3.20. Özdirenç cihazı ve ölçüm alımı	48
Şekil 3.21. Tek eksenli basınç deneyi cihazı.....	52
Şekil 3.22. Biyolojik sinir hücresi ve çalışma prensibi.....	58
Şekil 3.23. Bir biyolojik nöronun hesaplama modeli.....	58
Şekil 3.24. Çok tabakalı ileri beslemeli YSA modeli	61
Şekil 4.1. Numunelerin hazırlanması ve gruplandırılması.....	67
Şekil 4.2. Hazırlanan numuneler üzerinde ölçümlerin yapılması	68
Şekil 5.1. Laboratuvar ve şantiyede hazırlanan tüm numunelerin sismik P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler ...	70
Şekil 5.2. Laboratuvarda hazırlanan numunelerin sismik P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler	71
Şekil 5.3. Su ve hava kürü grubundaki 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) küp numunelerin elektrik özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki	72
Şekil 5.4. Şantiyede dökülen 9 farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler ...	73
Şekil 5.5. Şantiyede dökülen 9 farklı tasarımdan donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler	75
Şekil 5.6. Şantiyede dökülen 9 farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler	75
Şekil 5.7. Su ve hava küründeki 9 farklı tasarımdaki donatı çapına bağlı görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler	76

Şekil 5.8. Su ve hava küründeki 9 farklı tasarımdaki donatı çapına bağlı tüm verilerin görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	77
Şekil 5.9. Su küründeki donatılı ve donatısız numunelere ait P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler.....	78
Şekil 5.10. Hava küründeki donatılı numunelere ait P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler	79
Şekil 5.11. Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait P ve S dalga hız sonuçlarının karşılaştırılması	80
Şekil 5.12. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin görünürözdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	81
Şekil 5.13. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin görünürözdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki	81
Şekil 5.14. Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait elektrik özdirenç sonuçlarının karşılaştırılması	82
Şekil 5.15. Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait tek eksenli basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırılması.....	83
Şekil 5.16. T1 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	84
Şekil 5.17. T2 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	84
Şekil 5.18. T3 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	85
Şekil 5.19. T4 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	86
Şekil 5.20. T5 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	86
Şekil 5.21. T6 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	87
Şekil 5.22. T7 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	87

Şekil 5.23. T8 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	88
Şekil 5.24. T9 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	88
Şekil 5.25. T1 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	89
Şekil 5.26. T2 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	90
Şekil 5.27. T3 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	90
Şekil 5.28. T4 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	91
Şekil 5.29. T5 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	92
Şekil 5.30. T6 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	92
Şekil 5.31. T7 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	93
Şekil 5.32. T8 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	93
Şekil 5.33. T9 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	94
Şekil 5.34. T4 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) kuru beton grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	95
Şekil 5.35. T4 tasarımına ait asit dökülen ve dökülmeyen donatılı betonların sismik P ve S dalga hızlarının, görünür özdirenç değerlerinin ve tek eksenli basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	96
Şekil 5.36. T1 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	97
Şekil 5.37. T2 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	97

Şekil 5.38. T3 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	98
Şekil 5.39. T4 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	98
Şekil 5.40. T5 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	99
Şekil 5.41. T6 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	99
Şekil 5.42. T7 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	100
Şekil 5.43. T8 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	100
Şekil 5.44. T9 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi	101
Şekil 5.45. Silindirik ve küp şeklindeki numunelerin su içeriği, gözeneklilik, P dalga hızı, S dalga hızı, tek eksenli basınç dayanımları ve görünür özdirenç değerlerinin karşılaştırılması.....	102
Şekil 5.46. T1 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	103
Şekil 5.47. T2 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	103
Şekil 5.48. T3 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	104
Şekil 5.49. T4 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	104
Şekil 5.50. T5 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	105
Şekil 5.51. T6 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	105

Şekil 5.52. T7 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	106
Şekil 5.53. T8 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	106
Şekil 5.54. T9 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20)etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi	107
Şekil 5.55. Etüv grubundaki donatısız küp numunelerin su içeriklerinin zamana bağlı değişiminin basınç dayanımına etkisi	108
Şekil 5.56. T1 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	108
Şekil 5.57. T2 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	109
Şekil 5.58. T3 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	109
Şekil 5.59. T4 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	110
Şekil 5.60. T5 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	110
Şekil 5.61. T6 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	111
Şekil 5.62. T7 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	111
Şekil 5.63. T8 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	112
Şekil 5.64. T9 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 ve Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi ...	112
Şekil 5.65. Tüm tasarımların etüv grubundaki tüm numunelerin tek eksenli basınç dayanımının, öz direncin, P ve S dalga hızlarının, sismik hız oranlarının su içeriği ile,gözeneklilik ile ve yoğunluk ile ilişkileri	114
Şekil 5.66. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su küründeki küp numunelerin statik ve dinamik elastisite modülleri arasındaki ilişki.....	116
Şekil 5.67. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava küründeki küp numunelerin statik ve dinamik elastisite modülleri arasındaki ilişki.....	116

Şekil 5.68. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su küründeki küp numunelerin statik ve dinamik kayma modülleri arasındaki ilişki.....	117
Şekil 5.69. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava küründeki küp numunelerin statik ve dinamik kayma modülleri arasındaki ilişki.....	117
Şekil 5.70. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik kayma ve elastisitemodülleri arasındaki ilişkiler.....	118
Şekil 5.71. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik kayma ve elastisite modülleri arasındaki ilişkiler.....	119
Şekil 5.72. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamikBulk modülü arasındaki ilişki	119
Şekil 5.73. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik Bulkmodülü arasındaki ilişki	120
Şekil 5.74. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik hız oranları (Vp/Vs) ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	121
Şekil 5.75. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik hız oranları (Vp/Vs) ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	122
Şekil 5.76. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin Poisson oranı ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	122
Şekil 5.77. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin Poisson oranı ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	123
Şekil 5.78. 9 farklı tasarıma ait donatılı ve donatısız küp numunelerin yön bağımlı sismik hızlar ve özdirenç değerlerinin karşılaştırılması.....	124
Şekil 5.79. Su, hava, etüv ve kuru beton grubundaki numunelerin P ve S hızları, özdirenç değerleri, donatı çapı ve zamana bağlı olarak hesaplanan ve ölçülen tek eksenli basınç dayanımlarının karşılaştırılması	128
Şekil 5.80. T1 grubu su küründeki donatısız küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	133
Şekil 5.81. T1 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi	134
Şekil 5.82. T9 grubu su küründeki donatısız küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	134
Şekil 5.83. T9 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi	135

Şekil 5.84. T1 grubu su küründeki donatısız küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	135
Şekil 5.85. T1 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	136
Şekil 5.86. T9 grubu su küründeki donatısız küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	136
Şekil 5.87. T9 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	137
Şekil 5.88. T1 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	137
Şekil 5.89. T9 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	138
Şekil 5.90. T1 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	138
Şekil 5.91. T9 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	139
Şekil 5.92. T1 grubu etüv küründeki silindirik numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	139
Şekil 5.93. T9 grubu etüv küründeki silindirik numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	140
Şekil 5.94. T1 grubu etüv küründeki silindirik numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	140
Şekil 5.95. T9 grubu etüv küründeki silindirik numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	141
Şekil 5.96. T4 grubu kuru beton küründeki 14mm çapında donatı içeren küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	141
Şekil 5.97. T4 grubu kuru beton küründeki 14mm çapında donatı içeren küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, FastFourierTransformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.....	142
Şekil 5.98. Farklı dayanımlı betonların P ve S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması.....	142
Şekil 5.99. Farklı dayanımlı, donatılı ($\phi=20\text{mm}$) ve donatısız (D) betonların P ve S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması.....	143
Şekil 5.100. Farklı dayanımlı, donatısız (D) ve farklı çaplara sahip donatılı (10, 14 veya 20mm) betonların P dalga sinyallerinin zaman-frekans analizleri.....	144

Şekil 5.101. Farklı dayanımlı, donatısız (D) ve farklı çaplara sahip donatılı (10, 14 veya 20mm) betonların S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizleri.....	145
Şekil 5.102. Farklı dayanımlı donatısız küp ve silindirik betonların P dalga sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması	145
Şekil 5.103. Farklı dayanımlı donatısız küp ve silindirik betonların S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması	146
Şekil 5.104. Çalışma kapsamında elde edilen yapay sinir ağı modeli	146
Şekil 5.105. YSA1'den hesaplanan dayanım değerleri ve ölçülen dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	148
Şekil 5.106. YSA2'den hesaplanan dayanım değerleri ve ölçülen dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	149
Şekil 5.107. YSA3'ten hesaplanan dayanım değerleri ve ölçülen dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	150



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Sismik hızlara bağlı olarak beton kalite sınıflamasının karşılaştırılması	44
Çizelge 3.2. Elektrik özdirenç ve korozyon riski arasındaki ilişki-1	49
Çizelge 3.3. Elektrik özdirenç ve korozyon riski arasındaki ilişki-2	49
Çizelge 4.1. Çimento dozajına bağlı olarak hazırlanan beton karışım tasarımları	63
Çizelge 4.2. Örnek beton karışım tasarımı	63
Çizelge 4.3. Laboratuvar için örnek veri seti	65
Çizelge 4.4. Örnek veri seti	66
Çizelge 5.1. Su kürü grubuna ait parametrelerin istatistik sonuçları	125
Çizelge 5.2. Etüv grubuna ait parametrelerin istatistik sonuçları	125
Çizelge 5.3. Havakürü grubuna ait parametrelerin istatistik sonuçları	126
Çizelge 5.4. Tek eksenli basınç dayanımı ile sismik hızlar ve özdirenç arasında elde edilen çok parametrelili ilişkiler ve hataları	127
Çizelge 5.5. Donatısız betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi	129
Çizelge 5.6. 10mm donatılı betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi	130
Çizelge 5.7. 14mm donatılı betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi	131
Çizelge 5.8. 20mm donatılı betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi	131
Çizelge 5.9. YSA analizinde oluşturulan ağlar	147
Çizelge 5.10. YSA analizinde oluşturulan ağlara ait ilişki katsayıları ve hata oranları	147

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Alan
ASTM	Test ve malzemeler için standartlar geliştiren Amerika kuruluşu (American Society for Testing and Materials)
C	Beton sınıfı
D	Donatısız numune
DAÖ	Doğru Akım Özdirenç
Ed	Dinamik elastisite modülü
Es	Statik elastisite modülü
F	Kuvvet
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
Gd	Dinamik kayma modülü
GÖ	Görünür özdirenç
Gs	Statik kayma modülü
I	Akım (amper)
Kd	Dinamik Bulk modülü
Ks	Statik Bulk modülü
n	Gözeneklilik
P	Numuneye uygulanan yük
SS	Silindirik numune
t	Zaman (gün)
T	Beton tasarım numarası
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
V	Gerilim (volt)
Vp	Basınç (P) dalga hızı
Vs	Kayma (S) dalga hızı
w	Su içeriği
YSA	Yapay Sinir Ağları
ZF	Zaman-frekans analizi
Ø	Donatı çapı (mm)
δ	Yoğunluk (gr/cm ³)
μ	Poisson oranı
Ω	Ohm
ρ	Özdirenç (Resistivity)
ρa	Görünür özdirenç
ρölç	Ölçülen görünür özdirenç
ρhes	Hesaplanan görünür özdirenç
ρsu	Su küründeki numunelerin özdirenci
ρhava	Hava küründeki numunelerin özdirenci
σb	Tek eksenli basınç dayanımı (TEBD)
σbölç	Ölçülen tek eksenli basınç dayanımı
σbhes	Hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı
σbsu	Su küründeki numunelerin tek eksenli basınç dayanımı
σbhava	Hava küründeki numunelerin tek eksenli basınç dayanımı
ΔL	Boyuna uzama miktarı
Δw	Enine kısalma miktarı

1. GİRİŞ

Beton, bulunuşundan bu yana inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanımı oldukça yaygın olan bir malzemedir. Bu konudaki en büyük etkenler; ekonomikliği, üretim kolaylığı ve çeşitli özellikleri nedeniyle yerine geçebilecek herhangi bir malzemenin henüz bulunamamış olmasıdır (Filiz, 2006; Başyigit vd., 2012). Betonarme şeklindeki mühendislik yapılarının beton dayanımlarının belirlenmesi de bu anlamda önemlidir. Binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları vb. çoğu yapı beton ve betonarmeden yapılmaktadır. Bu nedenle karışıma giren malzemelerin kalitesi, karışım oranı, betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve kürü, betonun performansına etki eden önemli parametrelerdir. Bu parametrenin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri; tahribatsız (hasarsız), yarı tahribatlı ve tahribatlı yöntemler olmak üzere üç sınıfta toplamak mümkündür.

Beton dayanımının belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan tahribatlı yöntem tek eksenli basınç testidir. Bu test için yapılardan çeşitli büyüklükte karot numuneler olarak bunları yürürlükte bulunan standartlara göre tek eksenli basınç dayanımları belirlenir. Diğer yandan günümüzde yapılan çalışmalarda yapıda oluşacak hasarı en aza indirmek için sismik ultrasonik yöntemle belirlenen sismik hızlar ile hasarsız bir şekilde beton kalitesine ulaşılabilmektedir (Uyanık, 2012; Uyanık vd., 2012; 2013; Uyanık, 2014). Bu suretle elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile yapıda kullanılan beton sınıfına karar verilmeye çalışılmaktadır. Ancak ideal şartlarda üretilen, saklanan ve içinde donatı bulunmayan beton mukavemeti ile karot numuneleri arasında fark oluşmaktadır. Durum böyle olunca karot dayanımlarının standart numune dayanımına dönüştürülmesi gerekmekte ve bu dönüşümlerde karot dayanımını etkileyen parametrelerin tümünün dikkate alınması kaçınılmaz olmaktadır. Oysa bu dönüşümler yapılırken donatının beton dayanımı üzerindeki etkileri genellikle göz ardı edilmektedir. Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar korozyona uğrayabilmekte, beton aşınabilmekte ve betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır. Betonun, hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani yeterince dayanıklı olması en az betonun dayanımı kadar, hatta çoğu zaman beton dayanımından daha önemlidir (Alilou, 2009; Altundaş, 2010).

Karot dayanımına etki eden parametreler; karot çapı, narinliği, yaşı, kürü, nem durumu, karot alma doğrultusu, karot alınan yer, karot içinde kalan donatı, karot almada kesme etkisi ve karot alınan betonun dayanımı olarak bilinmektedir. Donatılı numunelerden alınan karot dayanımlarının donatısız olanlara göre daha küçük çıkmasının nedeni donatıda bulunmayan ancak betonda mevcut olan sünme (gevşeme) ve rötre (büzülme) olayları olabilmektedir (Durmuş vd., 2007). Dolayısıyla donatılı numunelerde, beton ve donatı arasındaki aderans (bağ kuvveti) nedeniyle zararlı gerilmeler oluşmaktadır.

Beton dayanımı geçmişten günümüze kadar karot alımı ve bu karotların basınç dayanım deneylerine tabi tutulması suretiyle hasarlı bir biçimde belirlenmektedir. Buna alternatif olarak beton dayanımı jeofizik yöntemlerden hasarsız olarak bulunabilmektedir. Ancak karot alımı ve basınç deneyine tabi tutularak elde edilen beton dayanımı doğrudan yöntem iken ultrasonik yöntemle sismik hızlardan veya özdirenç yönteminden elde edilen beton dayanımı dolaylı yöntemdir. Dolaylı yöntem olmasına karşın yapılan birçok çalışma sonucunda sismik basınç dalga hızından (P) beton dayanımı belirlenebilmektedir (Bahadır, 1984; Swamy, 1984; Keiller, 1985; Jenkins, 1985; Akça, 1991). Beton içerisinde olabilecek boşluk ya da kırıklıklardan P dalga hızı etkilenmektedir. Beton dayanımı ve betonun yapısal özelliklerine daha duyarlı olan P dalga hızı arasındaki ilişkide dağınıklığı kontrol edecek üçüncü bir parametreye ihtiyaç olduğu açıktır. Bu parametre betonun mukavemetine, agrega türüne, çimento özellikleri gibi birçok özelliğe bağlı olan kayma (S) dalga hızı olabilir. Ayrıca basınç ve kayma dalga hızlarının birlikte kullanılması ile betonun gözeneklerindeki nem durumu yorumlanabilir. Beton içerisindeki kırık, boşluk ve bozuşma durumunu sismik ultrasonik yöntem ile belirlenebilir. Betona ait P ve S dalga hızları belirlendikten sonra betonların elastik özellikleri de (kayma modülü, Poisson oranı, elastisite modülü, Bulk modülü) elastisite teorisinden belirlenebilmektedir (Uyanık, 2012).

Bu çalışmada literatürdekilerden farklı olarak P dalgasına ek olarak S dalga ölçümleri de yapılarak beton dayanımı ve betonun elastik parametreleri de belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen bu parametreler ile tek eksenli basınç dayanımları ve elektrik özdirenç

ölçümleri arasında beton dayanımının belirlenmesine yönelik karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bunun yanı sıra beton yapıya gömülü demir kay koroznaklı korozyon riskinin belirlenmesinde hasarsız bir yöntemin kullanılması yaygın bir gerekliliktir. Korozyon riski büyük ölçüde farklı tipte zararlara yol açan malzemelere ve bunların beton içerisine erişimine bağlıdır. Beton içerisinde açık gözeneklilik ne kadar fazla olursa korozyon oluşturabilecek malzemelerin gömülü demirin yakınına girişi o kadar kolay olacak ve böylece yapının dayanıklılığı sınırlı hale gelecektir. Betondaki görünür porozite ölçümleri nem içeriğinin bir fonksiyonu olan elektrik özdirenç yöntemiyle görüntülenebilir. Bu tez çalışması kapsamında korozyonun betonun özdirencine dolayısıyla da dayanımına etkisini ortaya koymak amacıyla donatılı numunelerin bir kısmı hidroklorik (HCl) asit kullanılarak içlerindeki donatı demirleri korozyona uğratılmış ve görünür özdirençleri belirlenmiştir.

Bilindiği üzere donatı beton dayanımını hem artırabilir hem de azaltabilir. Özellikle eski ve neme karşı korumaya alınmamış yapılarda donatılar korozyona uğrayarak beton dayanımını düşürür. Buna ek olarak donatı ile beton arasında iyi bir bağ kurulmamışsa beton dayanımı azalacaktır. Buna karşın donatı korozyondan korunmuş ve beton ile iyi bir bağ kurulmuşsa beton dayanımı artacaktır. Dolayısıyla donatı beton dayanımını etkilemektedir. Beton dayanımı geçmişten günümüze kadar karot alımı ve bu karotların basınç dayanım deneylerinin yapılması sonucunda hasarlı bir biçimde belirlenmektedir. Fakat karotlar donatı içermemelidir. Çünkü donatılı karot tek eksenli basınç deneyine maruz kaldığında uygulanan yük karot içerisindeki donatıda iç gerilmeler oluşturarak karotun daha çabuk kırılmasına ve daha az dayanım değeri elde edilmesine yönelik genel bir kanı vardır. Bu kanıyı destekleyen ve desteklemeyen akademik çalışmalar literatürde bulunmaktadır (Bahadır, 1984; Akça, 1991). Petersons (1971), uygulamada karot alınırken içinde donatı parçasının kalabileceğini, ancak bu parçalar genellikle yüklemeye doğrultusuna dik olduğundan dayanımı etkilemediğini, Lewandowski (1970) ise karotlardaki donatı miktarı arttıkça dayanımın azaldığını ancak bu azalmanın ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu belirtmektedir. Gaynor (1969) ve Malhotra (1977)'a göre karotlarda donatının bulunması dayanımda % 8–13 bir azalmaya neden olmaktadır. ASTM C42:2004'e göre içinde donatı bulunan karotlar basınç dayanımında kullanılmamalıdır. Karotun içerisinde donatı bulunacak

şekilde alınmasından mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır. Basınç dayanımı tayini için alınacak karot numunelerde, boyuna eksen doğrultusunda veya bu eksene çok yakın doğrultuda donatı bulunmaması sağlanmalıdır. Bu yüzden yapılardan alınan karotlar donatısızdır. Karottan belirlenen beton dayanımına donatı etkisi hesaplamalar sonucunda sonradan eklenir. Ancak bir ek hesap yapmadan donatılı beton dayanımı sismik ultrasonik çalışmalardan hasarsız olarak bulunabilir.

Betonarme yapılarda beton kalitesinin belirlenmesi amacıyla her kattan belirli sayıda karot numune alınmaktadır. Bu da betondaki tahribatı artırmaktadır. Bu açıdan beton tahribatını azaltmak, zaman ve maddi açıdan ekonomik sonuçlar elde etmek için jeofizik yöntemler etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Betonun elektrik özelliklerindeki değişim; betonun kalınlığı, nem içeriği, yoğunluğu ve sıcaklık değişimlerini değerlendirmek amacıyla izlenebilir. Elektrik özdirenç ölçüleri betonun elektrik özelliği beton tabaka ve kaplamalarındaki donatıların korozyon durumunun belirlenmesinde kullanılır. Betonarme içindeki demirin korozyonu akım akışı meydana getiren ve metalleri çözebilen elektrokimyasal bir işlemdir. Betonun elektrik direnci ρ_{cm} ile ifade edilir. Betonun özdirenci yerel koşula bağlı olarak değişir. Genel olarak demir korozyonu arttıkça beton özdirenci azaldığı yönünde bir kanı vardır (Feliu vd., 1996; Keçeli, 2009). Bazı araştırmacılar tarafından betonun elektrik özelliklerindeki değişim üzerinde şekil etkisini gözlemlemek amacıyla küp ve silindirik numuneler üzerinde elektrik özdirenç ölçümleri yapılmış, aynı zamanda hidratasyon dereceleri belirlenmiştir. 90 gün boyunca yapılan ölçümlere göre yaş ve hidratasyon derecesi arttıkça elektrik özdirençte de artış olmuştur (Ferreira ve Jalali, 2006; Ghosh ve Tran, 2015).

Depremde hasar gören yapılar üzerinde yapılan çalışmalarda, hasara sebebiyet veren konular içinde en önemlilerinden biri de korozyondur. Özellikle betonarme yapılarda yapılan incelemelerde yapıların bodrum ve zemin katlarındaki taşıyıcı elemanlarında korozyon nedeniyle oluşan hasarlar tespit edilmektedir (Tekin, 2010). Betonarme içindeki demiri koruyan betondur. Beton, hem basınç gerilmelerini karşılar hem de demirin korozyona uğramasını önler. Beton kalitesiz, yani boşluklu ve geçirimli olursa demiri koruyamaz. Bu, betonarmenin kusuru olarak değerlendirilmemelidir. Betonda donatı korozyonuna bağlı çatlama ile sismik yükler arasında sıkı bir ilişkinin olduğu kesinlik kazanmıştır. Beton; agrega, çimento hamuru ve agrega-çimento hamuru temas

yüzeyinden oluşan bir malzeme olarak düşünülürse en zayıf halkanın ara yüzeyler olduğu ortaya çıkar. Beton teknolojisindeki gelişmenin anahtarı çimento hamuru ile agrega arasındaki ara yüzeylerin güçlendirilmesidir (Taşdemir, 2002).

Tezin ana amacı beton içerisindeki donatının beton dayanımını nasıl etkilediğini farklı kür koşullarını da göz önünde bulundurarak sismik ultrasonik P ve S dalga ve elektrik özdirenç ölçümlerini kullanarak ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla düşük veya yüksek mukavemet özellikleri gösteren 13 farklı beton karışımına ait numuneler hazırlanmıştır. Beton ve donatı arasındaki aderans özelliğinin de etkisiyle içerisinde donatı olmayan numuneler ile içerisinde farklı çaplarda donatı demiri bulunan donatılı numunelerin sismik ultrasonik P ve S dalga ölçümleri, elektrik özdirenç ölçümleri ve tek eksenli basınç deneyleri yapılarak beton basınç dayanımlarındaki değişimler araştırılmıştır. Donatı demirleri üzerinde zamanla oluşabilecek korozyon riskinin de aderansı ve dolayısıyla beton dayanımını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu amaçla korozyonun etkisini de gözlemlemek amacıyla su kürüne tabi tutulan ve hava küründe HCl asite tabi tutulan numuneler üzerinde elektrik özdirenç ölçümleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sismik hızlar, kür koşulları, donatı çapı, özdirenç değerleri gibi durumlar dikkate alınarak beton dayanımı için istatistik analizler yardımıyla yeni bir bağıntı araştırılmıştır. Ayrıca P ve S dalgası sinyallerinin içeriklerine bakılarak numunelere ait zaman-frekans analizleri yapılmıştır. Bunların yanı sıra Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılarak da beton numuneler üzerinde elde edilen P ve S dalga hızları, özdirenç vs. gibi parametreler kullanılarak beton dayanımının tahmin edilmesine çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Cheesman (1949), Jones (1949) ve Whitehurst (1951a) betonun priz alma sürecinde ultrasonik dalga iletim deneylerini belki de ilk uygulayanlardır. Jones, priz alma süreci (betonun sertleşmesi için geçen süre) sonunda beton üzerinde yapılan dalga hızı ölçüm değerlerinin hızla artış gösterdiğini ve bir günlük kür sürecinden sonra bu artış oranının oldukça azaldığını belirtmiştir. Ayrıca iki farklı beton karışımı üzerinde yapılan ölçümlerde P dalga hızı ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiler oldukça benzer çıkmıştır. Bu ilişkilerde çimentonun iri agregaya oranının etkili bir faktör olduğu belirtilmiştir.

Pimenov vd. (1972) betonun kalıba döküldükten sonraki ilk saatleri veya ilk günlerinde P ve S dalga hızlarının iletimiyle betonun görüntülenmesi üzerinde çalışmışlardır. Her iki dalga tipi, taze halde karıştırılırken veya sıcak kür koşullarına maruz kaldıktan sonraki betonun içyapısındaki değişimleri ortaya koyabilmektedir. Kullanılan betonların basınç dayanım değerlerinin P ve S dalga hızı ölçümleri ile karşılaştırılmasının özellikle S dalga hızının dayanım verilerinin eğilimlerinin belirlenmesinde oldukça iyi bir nitel yöntem olacağını belirtmişlerdir.

Neisecke (1974) P ve S dalga hızı ölçümlerinin birlikte kullanılması ile ilgili bilgi vermiştir. Beton karışımı hazırlandıktan sonraki ilk 24 saat içindeki çimento hamurunun hidrasyonunda P dalga iletim yoğunluğu ve iki dalga hızı ölçümü üzerinde çalışmıştır. Buna göre S dalga hızı ile ilgili gelişmeler P dalga hızına kıyasla eğilim farklılıklarının daha net ortaya çıkmasını sağlamıştır. Karışımdan hemen sonra S dalga hızı önce sıfır değerinde kalmakta, yaklaşık iki saat sonra derece derece artmaktadır. Bu durum; kayma dalgalarının yayılmasına olanak sağlayacak olan katı parçacıkların sürekli bir yapısının olmaması ile yorumlanmıştır. Ayrıca, P ve S dalga hızı ölçümlerinin yapılması tamamen tahribatsız bir şekilde Poisson oranına karar verilebilmesini sağlamaktadır.

Sayers ve Grenfell (1993) hidrasyon sırasındaki çimento hamurunun efektif bulk ve kayma modülünü değerlendirmek amacıyla farklı çimento hamurları üzerinde P ve S dalga hızı ölçümleri yardımıyla iletim deneyleri yürütmüştür. Temelde çimentonun akma eşiğinden sonra iki modül doğrusal olarak ilişkili olmaktadır.

D'Angelo vd. (1995) çimento hamurunun hidratasyonu sırasında katı olan içyapı gelişimini gözlemlemek amacıyla P ve S dalga hızı ölçümleri almıştır. Buna göre P dalgasına kıyasla S dalgası çimento bağlayıcılarına çok daha duyarlıdır.

Martin ve Forde (1995) beton özelliklerini tahribatsız olarak belirlemek için yaptıkları çalışmada basınç dalga hızı yardımıyla ölçümler almışlardır. Küp numuneler üzerinde yapılan çalışmada beton kür edildikçe dalga hızı ve beton basınç dayanımı artmıştır. Ayrıca, agrega yüzdesi fazla olan harç ile yapılan betonların hızları daha yüksek çıkmıştır. Aynı yaştaki beton karışımında 150 m/s lik bir hız farklılığı gözlenmiştir.

Boumiz vd. (1996) çimento hamuru ve çimento esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla aralarındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Eş zamanlı olarak P ve S dalga hızı, hidratasyon ısı ve çimento hamuru ile harcı üzerinde elektrik iletkenlik ölçümleri almışlardır. Buna göre P ve S dalgalarından çimento taneciklerinin mekanik özelliklerine karar verilebileceği bulunmuştur.

Yeih ve Huang (1998) yaptıkları çalışmada donatılı betondaki korozyon hasarını tespit etmek amacıyla ultrasonik yöntemi kullanmışlardır. Bu amaçla genlik azalımı tekniğinden yararlanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda genlik azalımı yönteminin donatılı beton numunelerindeki korozyon durumunu belirlemede kullanışlı olduğu tespit edilmiştir. Bulunan ilişkilendirmelerde genlik azalımı ve açık devre potansiyel değerleri, ani korozyon oranı ve kalınlık kaybı gibi elektrokimyasal parametreler arasında iyi ilişkilendirmeler olduğu gözlenmiştir. Yüksek dayanımlı betonda ultrasonik testle genlik azalımı yönteminin kullanılması hassas içyapının teşhisinde daha kolay olmaktadır. Korozyonun başlangıç aşamasında donatı boyutu etkisi nedeniyle daha küçük donatı içeren numunelerde bu yöntem daha belirleyicidir. Yöntem geleneksel yöntemlere oranla daha az bilinmekle beraber yeni yapılacak çalışmalarda kullanımının yararlı olacağı belirtilmiştir.

Chiang vd. (2000), yangın hasarından sonra, beton ve donatı arasındaki aderansın belirlenmesi için ultrasonik dalga hızı ve çekip-çıkarma kombinasyonlarından oluşan bir seri deney yapmışlardır. 20x15x15 cm boyutlarında üretilen numunelerin ortasına 10 mm çapında donatılar gömülmüştür. Numuneler belirlenen sıcaklıklarda 1, 2 ve 3 saat süreyle bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğutulmuş deneyler yapılmıştır.

sıcaklık-ultrasonik dalga hızı ve uygulanan yük arasındaki ilişki incelenmiştir. Isıtma süresinin artmasıyla numune harçlarında dalga hızının oldukça düştüğü belirlenmiştir. En düşük hız 500 m/s ile 5000 °C'de 3 saat boyunca ısıtılan numunelerden elde edilmiştir. Oda sıcaklığındaki numuneler ile karşılaştırıldığında, bu değer adansta %75'lik bir kayıp olacağını ifade etmektedir. Isıtma süresi arttıkça numunelerin dalga hızlarındaki azalmalar daha düşük seviyede kalmıştır. Sıcaklığın ve ısıtma süresinin artmasıyla bağ kuvvetlerinde azalmalar olduğu sonucuna varılmıştır.

Qaswari (2000) yaptığı çalışmada tahribatsız yöntemlerden beton çekici ve ultrasonik P dalga hızı yöntemini birlikte kullanarak basit ve güvenilir bir şekilde basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmıştır. Buna göre beton çekici basınç dayanımının tahmin edilmesinde tek başına iyi sonuç vermemektedir. Beton çekici ile kıyaslandığında ultrasonik P dalga hızı yöntemi daha etkili sonuçlar vermektedir. Ancak bu yöntemde tek başına güvenilir sonuçlar üretmemektedir. Bu iki yöntemin beraber kullanımı diğer yöntemlerle kıyaslandığında doğru değerlere daha yakın sonuçlar vermektedir. İki yöntemin birlikte kullanımı sonuçların %95 doğrulukla tespit edilmesini sağlamıştır.

Lataste vd. (2002)'nin yaptıkları çalışmada, kırıklı ve çatlaklı yapılarda öz direnç yönteminin kapasitesi gösterilmek istenmiştir. Bunun üzerine yerinde ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak daha önceden akustik ve görsel keşiflerle tanımlanan 1x0.5 m boyutlarındaki bir alanda ölçümler alınmış ve alınan ölçümlerle görünür öz direnç haritaları hazırlanmıştır. Daha sonra laboratuvar ortamında içerisinde yapay kırıklar oluşturulan 3x0.24x0.15 m boyutlarında bir beton numune hazırlanarak üzerinde ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümlerde kırıklı bölgelerde görünür öz direncin oldukça yüksek, tabakalanmanın olduğu bölgelerde ise düşük olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak arazi ve laboratuvar verileri karşılaştırılarak elektrik öz direnç yönteminin kırıklı ve tabakalı yapıları ortaya çıkarmadaki hassasiyeti gösterilmiştir.

Morris vd. (2002) yaptıkları çalışmada, 15 cm çapında 20 cm yüksekliğinde beton numuneleri kullanmışlardır. Numunelerin içerisine pas payı (beton ve donatı arasındaki mesafe) 1.5 cm olacak şekilde 4 adet 1 cm çapında ve 20 cm boyunda donatı yerleştirilmiştir. Bu donatıların ikişer tanesi epoxy ile kaplanmıştır. Tasarlanan 4 ayrı beton karışımının ilk 2 gruptaki numuneleri 90 gün boyunca laboratuvar ortamında

tutulduktan sonra deniz etkisine maruz bırakılmıştır. Daha sonra deniz seviyesinden en az 100 m yüksekte bulunan 40 katlı bir binanın terasına yerleştirilerek yağmur, deniz esintisi ve rüzgara maruz bırakılmıştır. 3. ve 4. grup ise 60 gün laboratuarda bekletildikten sonra %3.5 konsantrasyonu olan tuzlu çözelti etkisine bırakılmıştır. Bu numuneler üzerinde elektrik özdirenç ölçümleri alınmış ve tek eksenli basınç dayanımına tabi tutulmuştur. Deniz etkisine bırakılan numunelerin özdirenç ölçümlerinin sonuçları zamanla artan bir eğilim göstermiştir. Farklı kalitedeki beton tasarımları ile yapılan çalışmada kullanılan elektrik özdirenç verileri elde edilerek farklılıklar açıkça ayırt edilebilmiştir. İyi kalitedeki karışımın özdirenç değeri diğer standart kalitedeki 3 beton karışımına göre 3 kat daha yüksek çıkmıştır. Bu farklılık aynı zamanda hem deniz etkisi hem de çevresel etkilerin olduğunun göstergesidir. Beklenenin tersine her karışımın klorid konsantrasyonunun beton özdirenç değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirtilmiştir.

Naffa vd. (2002) beton içerisindeki kimyasal bozunmayı belirlemek amacıyla ultrasonik tekniğini kullanmışlardır. Bu amaçla 15-45 günlük süreler boyunca hazırlanan beton kalıbın yarısı asitli çözeltiye maruz bırakılmış, diğer yarısı ise sağlam bırakılmıştır. Kalıbın üzerinde boyuna, enine ve yüzey dalgaları ölçümleri alınmıştır. Buna göre; çözeltiye maruz bırakılan malzemenin zayıflaması sağlam malzemeye göre kimyasal bozunmasında %100 artış göstererek hızında %23 azalmaya sebep olmuştur. Böylece yüksek frekanslı ultrasonik tekniği kullanılarak kaplama betonun özelliklerinin belirlenebileceği tespit edilmiştir. Heterojen ortamlarda dayanımın azalmasına rağmen bu malzemelerin bozulmaya olan duyarlılıklarının çok yüksek olduğu vurgulanmıştır.

Polder ve Peelen (2002) suda ve kuru havada küre ettikleri beton numunelerindeki donatı korozyonu ve klorid iyonunun taşınmasının elektrik özdirenç yöntemi ile belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. 4 çimento tipi kullanarak oluşturdukları prizmatik numunelerin bir kısmını klorid iyonu içinde ve donatı korozyonunun etkisini gözlemlemek amacıyla tuzlu çözelti içinde ve kuru ortamda bekleterek bir yıl süreyle belirli zamanlarda üzerlerinde ölçümler almışlardır. 5 mm çapında paslanmaz çelik elektrotlar beton içerisine 10 ve 50 mm derinliklerde gömülmüştür. Bir adet referans anot elektrodu olarak metal oksit kaplı titanyum elektrodu kullanılarak özdirenç çalışmaları yürütülmüştür. Aynı zamanda dökülen küp numuneler basınç dayanımı

testinde kullanılmıştır. Numuneler bir süre iklim koşullarında bekletildikten sonra belirli bir süre de %3 NaCl çözeltisinde bekletilmiş, daha sonrasında kurutularak bütün yüzeyleri kapatılmıştır. Elektrik özdirenç ölçümleri ile klorid içeriği (olası korozyon), korozyon ilerlemesi (korozyon oranı) hakkında bilgi sahibi olmuşlardır. Uçucu kül katkılı çimentonun özdirenci 8 hafta sonra portland çimentosuna kıyasla artış göstermiştir. Bir hafta sonrasında dökülen çimento yüzdesindeki artışla beraber özdirenç değerlerinde de önemli bir artış gözlenmiştir.

Buyle-Bodin vd. (2003) çalışmalarında, farklı beton numuneleri üzerinde özdirenç, ultrasonik ve radar yöntemleriyle alınan ölçümlerin doğruluklarının hangi parametrelere bağlı olduğunu göstermek amacıyla deneysel bir araştırma yapmışlardır. Laboratuvar araştırmaları için normal yapı uygulamalarında kullanılan beton, inşaat mühendisliği yapılarında kullanılan beton ve yine bu yapılarda kullanılan yüksek dayanımlı beton olmak üzere 3 farklı sınıfta 60x60x12 cm boyutlarında beton numuneler üretilmiştir. Toplamda 63 adet beton numune üretilmiş ve 39 tanesinin içine 12 mm çapında 15 cm aralıklı demir donatılar yerleştirilmiştir. Sonuç olarak numuneler üzerinde bu yöntemler uygulanmış ve elde edilen verilerden yöntemlerin doğruluğunun örtü katmanının fiziksel durumuna, özellikle nem içeriğine, kırık yoğunluğuna ve yüzeyin pürüzsüzlüğüne bağlı olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Coşgun (2003), 1999 Marmara depremi sonrasında yapılarda meydana gelen korozyon hasarını belirlemek için İstanbul'daki 6 farklı bölgede bulunan 100 adet bina üzerinde yaptığı incelemelerde korozyon hasarının genellikle bodrum kat kolonlarında yoğunlaştığını gözlemiştir. Beton üretiminde granülometrik dağılımın uygun olmadığını belirlemiştir. Ayrıca yıkanmamış deniz kumu ile beton üretiminin gerçekleştirildiği ve yerleştirme aşamasında yeterli vibrasyonun yapılmadığı tespit edilmiştir. Korozyon sonucu oluşan düşey çatlaklar altında donatının 6-8 mm çap kaybına uğradığı görülmüştür. Ayrıca korozyona uğrayan mevcut etriyelerin bazılarının da çatlayan pas payı ile beraber yerinden koptuğunu gözlemiştir. Verilen istatistikliklerden, binaların %49'unda donatı korozyonu belirlenmiştir. Dolayısıyla yapıları bekleyen doğal depremler yanında taşıma gücünü olumsuz etkileyen donatı korozyonu nedeni ile meydana gelebilecek göçme risklerinin azaltılması ve yeni inşa edilecek yapılarda bir takım önlemlerin alınması gerektiğini belirtmiştir.

Soylev ve François (2003), donatının korozyonu üzerine beton donatı ara yüzeyinin (donatı altında taze betonun yerleşmesi, segregasyonu ve bünyeden suyun atılması (kuma) sonucu ortaya çıkan boşlukların) etkisini incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda, ankraj uzunluğunun donatı ara yüzeyinde korozyona sebep olup aderansı düşürmesinde büyük bir neden olduğunu gözlemlemiştir.

Turgut (2004), çalışmasında farklı yaşlarda ve karışım oranları bilinmeyen farklı donatılı betonlardan alınan karotlardan elde edilen verilerle beton dayanımı ile ultrasonik dalga hızı (UPV) arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmıştır. Ayrıca, değişik karışım oranları ile hazırlanmış beton numuneleri üzerinde önceden yapılan laboratuvar araştırmalarında elde edilen veriler ve beton dayanımı-UPV arasındaki ilişkiyi bulmak için ilişkilendirmeler yapılmıştır. Bunu için en uygun formül elde edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışma ile karışım oranlarını dikkate almadan genel beton dayanımı-UPV ilişkisi formülü geliştirilmiştir. Bu formül, karışım oranları bilinmeyen mevcut binaların beton dayanımlarının pratik olarak bulunmasını sağlar. Formül aynı zamanda, incelenmesi gereken mevcut binaların sayısının çokluğu durumunda veya zamanın sınırlı olması durumunda kullanılabilir.

Demirboğa vd. (2004) yüksek hacimli mineral karışımı içeren betonun basınç dayanımı ve ultrasonik hız arasındaki ilişkiyi incelemiştir. 3, 7, 28 ve 120 günlük kür süreleri için basınç dayanımı ve ultrasonik dalga hızları belirlenmiştir. Yüksek hacim uçucu kül içeren betonların erken yaşlarında ultrasonik dalga hızı ve basınç dayanımı değerleri çok düşük çıkmıştır. Ancak kür süresinin artmasıyla her iki değerde de artış gözlenmiştir. Basınç dayanımı ve hız arasındaki ilişki katsayısının %96 olarak çok iyi ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Fang vd. (2004), donatı korozyonunun aderans dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, düz donatıda korozyona uğramış deney numunelerinin korozyona uğramamış deney numunelerine göre yaklaşık 2.5 katı kadar aderans dayanımının arttığını gözlemlemiştir.

Cheng vd. (2005), tarafından çinko ile kaplanmış donatı korozyonunun dayanıma ve kaplamanın beton ile çelik donatı arasındaki aderansa (bağ kuvvetine) etkisinin incelendiği çalışmada 10x20 cm boyutlarında silindir numuneler %3.5 NaCl

çözeltisini etkisine maruz bırakılmıştır. Basınç mukavemetleri 32 MPa olan betonların merkezine 12.7 mm çapındaki donatılar bağlantı uzunluğu 10 cm olacak şekilde gömülmüştür. Korozyon testinden önce, çinko ile kaplanmış çubukların bağ kuvvetlerinin kaplanmamış olanlardan %5–10 daha fazla olduğu tespit etmiştir. Korozyon oranının artmasıyla donatı-beton ara yüzeyindeki aderansın azaldığı belirtmiştir. 14 günlük hızlandırılmış korozyon işleminden sonra, aderanstaki azalma oranının kaplanmamış donatıda çinko kaplanmış donatıya göre daha fazla olduğu bildirmiştir.

Ergün ve Kürklü (2005), deprem öncesi veya sonrası mevcut betonarme yapıların güvenliğinin belirlenmesinde önemli aşamalardan biri olan beton dayanımının belirlenebilmesi için tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanarak yaptıkları çalışmada tahribatsız yöntemlerden biri olan Schmidt çekici ve ultrasonik hız tekniğini, tahribatlı yöntemlerden ise Karot Numune Alma Yöntemini kullanmışlardır. Ultrasonik hız ve Schmidt çekici yöntemleri sonuçlarının yapı bileşenlerinden alınan karot numunelerinin basınç dayanımlarıyla ilişkilendirilmesi ile regresyon analizi yapılmış ve deneyler arasında bağlantı denklemleri kurulmuştur. Sonuç olarak, bu şekildeki bir değerlendirmeyle beton dayanımı hakkında daha gerçekçi bilgi sahibi olunabileceği ortaya konulmuştur.

Güneyisi vd. (2005) yaptıkları çalışmada özdirenç ve tek eksenli basınç deneyi yardımıyla betondaki donatının korozyon durumunu belirlemeye çalışmışlardır. Bunun için 4 ayrı çimento karışımı oluşturularak hazırlanan portland çimentolu beton karışımlardan elde edilen küp numuneler kullanarak tek eksenli basınç dayanımlarını, silindirik numuneler kullanarak da özdirenç ölçümlerini 28, 90 ve 180 günlük zaman dilimlerinde gerçekleştirmişlerdir. Bazı numuneleri korozyona uğratmak için %4 NaCl çözeltisi kullanarak hızlı korozyon deneyi yapmışlardır. Elektrik özdirenç ölçümleri için ise frekans bağımlı bir özdirenç cihazı kullanmışlardır. Test sonuçlarına göre suda kür edilen numunelerde daha yüksek dayanım ve dayanıklılık gözlenirken yetersiz (kontROLSÜZ) kür edilen numuneler daha düşük dayanım ve korozyon direnci performansı sergilemişlerdir.

Ferreira ve Jalali (2006) yaptıkları çalışmada, elektrik özdirenç yöntemiyle betonun elektrik özelliklerindeki değişimi gözlemeye çalışmışlardır. Ölçüm yapmadan önce

kuru bir tahtanın üzerine numuneler konulup (10 ve 15 cm'lik küpler ve 10x20 cm'lik silindir) yüzeylerindeki fazla su kuru bir bez yardımıyla temizlenmiştir. Silindir numunelerde her örnekte toplam 6 ölçü olacak şekilde ölçümler alınmıştır. Küp numunelerde 90°'lik açıyla iki yan yüzey ve alt yüzeyde ikişer okuma yapılarak toplam 6 ölçü alınmıştır. Elektrodlar arası mesafe 4 cm (15 cm'lik küp ve silindir için), 2.5 cm mesafe (10 cm'lik küp için) alınmıştır. Sıcaklığın etkisini anlamak için ölçümden bir saat önce 3 adet 10 cm'lik numune su altında 100 °C de bekletmiştir. Basınç dayanım testleri EN 12390-3'e göre yapılmıştır. 90 güne kadarki farklı yaşlarda bütün testler gerçekleştirmiştir (1, 2, 3, 4, 7, 14, 28, 56, 90 günlük). Yaş ve hidrasyon derecesi arttıkça elektrik özdirençte artış olmuştur. İlk 3 hafta boyunca özdirençte hızlı bir artış olmuştur. Numune şeklinin özdirenç değıştirdiğini gözlemişlerdir. Silindir şeklindeki numunelerin daha yüksek özdirenç değeri verdiğini saptamışlardır.

Kewalramani ve Gupta (2006) yaptıkları çalışmada yapay sinir ağları yöntemi ile ultrasonik dalga hızı ölçümlerini kullanarak beton basınç dayanımlarını tespit etmişlerdir. İki farklı beton karışımı kullanılarak hazırlanan farklı boy ve şekillerdeki numuneler üzerinde dalga hızı ölçümleri alınmış ve yapay sinir ağları ve çoklu regresyon teknikleri kullanılarak dayanım değerleri yorumlanmıştır. Yapay sinir ağları ile yapılan ilişkilendirmelerde şekli ve boyutu farklı beton numuneleri için basınç dayanımları oldukça uyumlu çıkmıştır. Bu yaklaşım tahribatlı test yöntemlerine karşı bir alternatif yaklaşım olarak önerilmiştir.

Lorenzi vd. (2007) beton numuneleri üzerinde ultrasonik dalga hızı ölçümleri yapmışlardır. Beton mühendislik problemlerinde büyük ölçüde kullanılan ana malzemelerden birisidir. Betonun kalitesi su/çimento oranı, agrega tipi ve büyüklüğü, nem ve çimento tipi gibi bazı yapısal değışikliklerden etkilenmektedir. Bu değışkenler basınç dayanımını doğrudan etkilemekte ve beton özelliklerinin tanımlanmasını oldukça güçleştirmektedir. Bu bağlamda ultrasonik dalga hızı testi bu değışkenler ile basınç dayanımı arasında bir ilişki sağlamaktadır. Beton heterojen bir malzeme olduğu için basınç dayanımı ile ultrasonik dalga hızı arasındaki ilişkinin yorumlanması karmaşık bir durum ortaya koymaktadır. Bu çalışmada farklı tip agrega ve çimento yardımıyla oluşturulan farklı betonlar kullanılarak bazı parametrelerin ultrasonik dalga hızına olan etkisi araştırılmıştır. Test koşullarındaki değışimin ultrasonik dalga hızına etkisini gözlemek amacıyla yapılan çalışmada betonarme yapıların durumuna

karar vermede ultrasonik dalga hızı önemli sonuçlar vermektedir. Bu çalışma ultrasonik dalga hızı ölçümlerinin betonun homojenliği ve yoğunluğundaki değişimlere duyarlı olduğunu göstermiştir.

Sbartai vd. (2007) betonun fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada tahribatsız yöntemlerden radar ve elektrik özdirenç yöntemlerini kullanarak ölçümler almışlardır. Genellikle elektrik özdirenç yöntemi betondaki korozyon olasılığını değerlendirmek amacıyla kullanılır. Farklı doygunluk derecesi ve klorid içeriği seviyelerindeki 72 beton numunesi üzerinde laboratuvar ortamında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sahadaki ölçümler ise 1080 m²'lik bir otoparkın beton kaplaması üzerinde yürütülmüştür. Laboratuvar ölçümlerinde radar yönteminin betondaki nem ve klorid seviyesini göstermede güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Gerçek çevre koşullarında yapılan çalışmalarda ise radar ve elektrik özdirenç arasında iyi bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Böylece donatı korozyonunun tespiti de yapılabilmektedir.

Şengül vd. (2007) tarafından, ince öğütülmüş uçucu kül ve yine ince öğütülmüş yüksek fırın cürufunun betonun klor geçirimliliği ve basınç dayanımına etkisini incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada iki farklı beton serisi üretilmiştir. İlk seri betonlarda Portland çimentosu ince öğütülmüş F tipi uçucu kül ile yer değiştirilmiş, ikinci seri betonlarda ise çimentonun yer değiştirilmesi ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile yapılmıştır. Üretilen bu betonlarda klor iyonu yayılımı belirlenmiş ve özdirenç ölçüleri alınmıştır. Çalışmada özdirenç ölçümleri, iki elektrot yöntemi ve dört elektrot yöntemi olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmıştır. Tüm özdirenç ölçümleri yüzeyi kuru-suya doygun numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada betonda klor yayılımı ile özdirenci arasında güçlü bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Özdirenç ölçümlerinin, yapı imal sürecinde, elde edilen beton klor geçirimliliklerinin izlenmesi ve kalite kontrolü için uygun bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

Ali (2008), 172 prizmatik ve yaklaşık 900 adet 100mm'lik küp numunesi üzerinde yaptığı çalışmadan elde ederek değerlendirmede kullandığı 626 test sonucuna göre beton dayanımının tahmininde yüzeyden yapılan ultrasonik hız ölçümlerinin doğrudan yapılan ölçümlerden daha güvenilir olduğunu ortaya çıkarmıştır. Aynı zamanda aynı örnek için doğrudan yapılan ölçümlerin hızının 4.5 km/s den büyük değerlerinde

yüzeyden yapılan ölçümler daha yüksek çıkarken, 4.5 km/s den küçük değerlerde daha düşük çıktığı gözlemiştir.

Carcano ve Moreno (2008) kırmataş agregalardan yapılmış betonun değerlendirilmesinde ultrasonik dalga hızı yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar tahribatsız yöntemlerden ultrasonik dalga hızını kullanarak regresyon analizi yardımıyla beton kalitesinin değerlendirilmesinin sağladığı avantajları bildirmişlerdir. Ancak bu durum kalibrasyon eğrisi kullanılmadan güvenli olmadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle kırmataş kireçtaşı agregaları kullanılarak 100 adet beton karışımı hazırlanıp üzerlerinde tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik ölçümler almışlardır. Kötü kalitede agrega kullanılarak hazırlanan beton karışımlarının hızlarına göre, iyi kalitede agrega kullanılarak hazırlananların hızları 400 m/s daha yüksek bulunmuştur. Böylece kalibrasyon eğrileri olmadan beton kalitesinin agregalara bağlı olarak belirlenebilmesine bir öneri getirilmiştir.

Polder (2009), olası beton korozyonu ile elektrik özdirenç arasında lineer bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Diğer yandan betonun özdirenci ve gözeneklilik arasında bazı farklılıklar mevcuttur. Betonun özdirenci, betonun mikro yapısının özelliklerine ve gözeneklerdeki çözeltilerin iletkenliğine bağlıdır. Sonuçlara göre benzer çimentolanma malzemesi kullanılmasıyla elektrik özdirenç ve beton dayanımı arasında farklı ilişkilerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu duruma göre beton basınç dayanımının değerlendirilmesinde elektrik özdirenç yönteminin kullanılması tavsiye edilmemektedir.

Trtnik vd. (2009) beton dayanımının tahmininde ultrasonik dalga hızı ve yapay sinir ağları tekniklerini kullanmışlardır. Araştırmacılara göre ultrasonik dalga hızı özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan tahribatsız yöntemlerden en çok tercih edilenidir. Ancak bu yöntem, agrega, başlangıçtaki beton sıcaklığı, çimento tipi, çevre sıcaklığı ve su/çimento oranı gibi bazı faktörlerden etkilendiği için beton dayanımının doğru bir şekilde belirlenmesi zor olmaktadır. Yapılan çalışmada ultrasonik dalga hızının yanı sıra statik ve dinamik elastisite modülü ve makaslama modülü de belirlenmiştir. Yapay sinir ağları ile yapılan hız-dayanım ilişkilendirme modellerinin sonuçları başarılı çıkmıştır. Bu model yardımıyla kolay ve güvenilir bir şekilde sadece

ultrasonik dalga hızı ve bazı beton karışım parametreleri kullanılarak basınç dayanımının belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Yang vd. (2009) yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonun basınç dayanımının ultrasonik dalga hızı yöntemi ile belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bunun için farklı karışım oranlarında beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan silindirik numunelerin su/çimento oranları 0.58 ve 0.68 olarak belirlenmiş ve 400-600 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Daha sonra numuneler belirli günlerde tek eksenli basınç dayanımı ve ultrasonik dalga hızı ölçümlerine tabi tutulmuştur. Karışım oranlarının farklı olması ve yüksek sıcaklığa maruz kalma test sonuçlarını önemli ölçüde değiştirmemiştir. Bu önemli bulgu yangın hasarı olan betonarme yapıların net basınç dayanımlarının belirlenmesinde ultrasonik dalga hızının kullanımının uygun olduğunu desteklemektedir. Önerilen bir eşitlik yardımıyla net basınç oranı ve net hız oranı arasındaki ilişki net dayanımın tahmini için kullanılabilir. Önerilen bir eşitlik yardımıyla net basınç oranı ve net hız oranı arasındaki ilişki net dayanımın tahmini için kullanılabilir.

Altundaş (2010), çalışmasında, 5 adet prizma ve 5 adet silindir olmak üzere toplam 10 adet bazıları çelik parça donatılı bazıları da sünger donatılı olarak hazırlanan numuneler üzerinde farklı testler uygulanmıştır. Böylece yapılar üzerinde yapılan tahribatsız deney yöntemlerinden; özdirenç, IP ve ultrasonik yöntemleri denenerak beton numunelerin yapıları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan numuneler basınç, çekme ve eğilme deneylerine tabi tutularak sonuçlar yorumlanmıştır. Yapılan tüm numuneler üzerinde farklı dizilimlerle hem elektrik özdirenç yöntemi hem de IP yöntemi uygulanmıştır. Ancak hem donatılı ve donatısız numunelerde hem de prizmatik numuneler ile silindirik numunelerde, modeller içerisindeki değişimler ve çeşitli etkiler farklı dizilimler ile belirlenebilmiştir. Bazı modellerde numune içerisinde bulunan değişimler Wenner dizilimi ile daha iyi gözlemlenebilmekteyken, bazılarında dipol-dipol dizilimi ile belirlenebilmiştir. Çalışma sonucunda, kullanılan farklı dizilimlerden en uygun olanları Wenner ve dipol-dipol dizilimleri olarak ortaya çıkmıştır. Ancak daha net sonuçlar elde edilebilmesi için farklı beton türleri üzerinde diğer farklı dizilimler ile benzer çalışmaların yapılmasının da gerekliliği belirtilmiştir.

Sadowski (2010), korozyon oranının ölçülmesi amacıyla tahribatsız yöntemlerden doğrusal kutuplaşma direnci yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem, elektrokimyasal

yöntemlerden en bilinenidir. Donatılı betonarme yapılardaki servis ömrünün sona ermesindeki en önemli sebeplerden biri donatı demirinin korozyonudur. Korozyonun başlaması ve ilerlemesi beton kaplamanın altında gözlenemediği için sorunun boyutunu değerlendirmek zor olmaktadır. 4 nokta Wenner elektrod dizilimli özdirenç yöntemi donatı ile herhangi bir doğrudan bağlantı gerektirmeden demir korozyonu oranını verebilmektedir. Yapılan çalışmada farklı beton kaplamalara sahip numunelerin içine birer adet 30 mm çapında donatı demiri yerleştirilmiştir. Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan numuneler üzerindeki doğrusal kutuplaşma direnci ölçümlerinin sonucunda kısa sürede özdirenç ölçümleri alınmıştır. Her numunenin korozyon oranı farklı çıkmıştır. Bu çalışmaya göre yeni metotta kullanılan doğru akım özdirenç yaklaşımının geleneksel alternatif akım kullanılan özdirenç ölçümleri ile birlikte kullanılması nispeten daha hızlı ve betonun kırılması gibi herhangi bir tahribat gerektirmeden korozyon oranının doğrudan belirlenebilmesine olanak sağlar. Bu yöntem kullanılan sınırlamalar dahilinde geçerlidir. Farklı beton kaplamaları içerisine farklı çaplarda donatı demirlerinin yerleştirilmesi ile de çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ayrıca farklı özdirenç değerlerine sahip beton numuneleri üzerinde de ölçümleri alınması gerekir.

Cassidy vd. (2011) donatılı betonları görüntülenmesi amacıyla GPR (yapı radarı) ve ultrasonik darbe yansıma tekniğini kullanmışlardır. GPR yöntemi donatı tespitinden nem içeriğinin belirlenmesine kadar geniş bir alandaki sorunlarda en çok kullanılan yöntemlerdendir. Ultrasonik teknikler ise betonarme yapıların tahribatsız olarak değerlendirilmesinde ve hasar tespiti, boyuna ve enine dalga hızlarının belirlenmesi gibi çalışmalarda geleneksel yöntemlerle birlikte kullanılır. Ancak uygun biçimde kullanıldığında iki yöntem birbirini tamamlayarak yeraltının jeoteknik problemlere uygun bir şekilde görüntülenmesini sağlayan bir yöntemdir. Çalışmada orta ve yüksek frekanslı (450-900 MHz) GPR ve dizilim tabanlı kayma dalga hızıyla ultrasonik ölçümler alınmış, GPR veri işlem ve görüntüleme teknikleri gösterilmiştir. Yapılan çalışma gerçek çalışma koşullarında donatılı beton tabakasının altındaki küçük ölçekli boşlukların kolayca belirlenebileceğini göstermiştir. Her iki yöntem için 2B kesitler gösterilerek elde edilen sinyallerdeki benzerlik ve farklılıklar belirtilmiştir. Ayrıca ileri yorumlama için uygulamaları yaygın olan ancak ultrasonik çalışmalarda genellikle az kullanılan GPR yöntemiyle 3B veri görüntülenmesi ve zaman kesitleri sunulmuştur. Sonuçlar özel araştırma çalışmalarında GPR gibi ultrasonik darbe yansıma yönteminin

de kullanılabileceğini göstermiştir. GPR yönteminin araştırmalardaki anten frekansının seçilmesinde dikkatli olunması gerekliliği ve donatı ağının görüntülenmesi amacıyla çalışma alanının tasarlanması gerekliliği gibi bazı sınırlamaları nedeniyle ultrasonik yöntemler sorunun üstesinden daha kolay gelebilmektedir. Daha da önemlisi her iki veri tipinin kullanılmasıyla var olan faaliyet şartları ve araştırma kriterlerinin değiştirilmesine gerek duyulmadan standart GPR veri toplama, işleme ve görüntüleme teknikleri uygulanabilmektedir.

Ramezianpour vd. (2011) yaptıkları çalışmada betonun özdirenci ile su içeriği, hızlı klorid içeriği ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu amaçla 4 nokta elektrod dizilimiyle elektrik özdirenç ölçümleri yürütülmüştür. Numuneler zerindeki ölçümler suya doğgun betonun gözenekliliği ve klorid iyonu girişimi hakkında bilgi vermiştir. Betonun gözenekliliği ve özdirenç arasında güçlü bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Aynı zamanda betondaki klorid iyonu penetrasyonu ile elektrik özdirenç arasında da iyi bir ilişki vardır. Elektrik zdiren yüksek olduğunda betondaki klorid iyonlarının hareketi yavaşlamakta ve betondaki donatı korozyonu oranı düşmektedir. Böylece beton daha dayanıklı ve uzun servis ömrüne sahip olmaktadır.

Petro ve Kim (2012) beton içerisindeki tabakalanmanın tespitinde ultrasonik dalga hızını kullanmışlardır. İçerisinde kalınlığının dörtte biri boyutunda tabakalanma olan 150 ve 300 mm kalınlığındaki iki beton kalıbı üzerinde dolaylı iletim yöntemi kullanılarak P ve R dalgalarının geçiş süreleri ölçülmüş ve dinamik elastisite modülü ve Poisson oranı tespit edilmiştir. Ayrıca statik elastisite modülü ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Doğrudan iletim metoduyla betondaki tabakalanmanın yeri ve boyutu değerlendirilmiştir. Boyuna dalğanın tabakalanmada saçılması nedeniyle hız düşüşü gözlenmiş ve ultrasonik dalga hızı sinyalinin geçiş süresi ile tabakalanmanın boyutu arasında bir ilişki kurulmuştur.

De La Haza vd. (2013) yaptıkları çalışmada Mira ve Eyecon ultrasonik kayma dalga hızı cihazlarını kullanarak betonarme yapının değerlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. 2000'li yılların başında geliştirilen cihazlar ultrasonik test ekipmanı niteliğindedir ve darbe yansıma tekniğine göre çalışmaktadırlar. Kuru bir yüzey üzerindeki noktalara kayma dalga sensörlerinin temas ettirilmesiyle elde edilen yansıma dalgalarının 2 ve 3 boyutlu görüntülenmesi yapılabilmektedir. Bu yeni teknoloji yapının gerçek zamanlı

durumunun yerinde elde edilmesine olanak sağlar. Bu sistemler beton, taş ve yığma yapılarda tabakalanma, kırık, zayıflamış veya segregasyona uğramış beton gibi iç çatlaklar ve aynı zamanda materyalin kalınlığının tespit edilmesinde, boşlukların belirlenmesinde kullanılabilir. Mira da 40, Eyecon da ise 24 kayma dalga hızı sensörü bulunmaktadır.

Jain vd. (2013) yapıdaki beton dayanımının belirlenmesi amacıyla tahribatsız yöntemlerin birlikte kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaya göre beton çekici ve ultrasonik dalga hızı ölçümlerinin birlikte kullanılması beton dayanımını büyük bir doğrulukla vermektedir. Beton çekici değerleri betonun basınç dayanımı ile artış göstermiştir. Ultrasonik dalga hızı değerleri beton dayanımı üzerinde farklı nem koşullarındaki kür süreleri, betonda çatlak ve boşlukların olması durumunda çimento ve agregadan büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu göstergeler betonun basınç dayanımının belirlenmesinde ultrasonik yöntemin tek başına kullanımını sınırlandırmıştır. IS13311 (Hindistan standardı) (1992) beton dayanımının belirlenmesinde bu iki yöntemin birlikte kullanımının daha doğru sonuçlar üreteceğini belirtmektedir. Ancak bu nitel bir yaklaşımdır. Nicel bir yaklaşım sergileyebilmek için beton dayanımı üzerinde beton çekici ve ultrasonik dalga hızı arasında çoklu regresyon analizleri yapılması ve böylece çok sayıda ilişki grafiğinin elde edilmesi daha iyi bir değerlendirme yapılmasını sağlayacaktır.

Karahan (2013), yüksek lisans tezinde iki aşamalı bir uygulama yapmıştır. İlk aşamada, laboratuvar ortamında beş farklı kalitede beton numunesi hazırlayarak üzerlerinde ultrasonik geçiş hızlarını tespit etmiş, yüzey sertliği deneyi uygulayarak Schmidt çekici değerlerini elde etmiş ve sonunda beton basınç deney düzeneğinde numuneleri kırarak basınç dayanım değerlerini elde etmiştir. İkinci aşamada ise donatılı beton üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla mevcut bir binada çeşitli taşıyıcı elemanlar üzerinde ultrasonik geçiş hızları ve Schmidt çekici değerleri belirlenmiştir. Bazı elemanlardan da karotlar alınmış ve bu karotlar beton basınç deney düzeneğinde kırılmıştır. Ancak karot almadan önce yüksek frekanslı radar (yapı radarı) ile taşıyıcı elemanlarda görüntüleme yapılmış böylece beton içerisinde bulunan donatıların yerleri tespit edilmiştir.

Plooy vd. (2013) beton kalitesinin belirlenmesi için çok halka özdirenç ünitesi geliştirmişlerdir. Ayrıca sahada kullanım için bir adet çok elektrodlu özdirenç cihazı tasarlamışlardır. Cihaz Wenner ölçü dizilimine göre ölçü almaktadır. Çok halka özdirenç ünitesi karot numunesinin homojenliğinin tanımlanması amacıyla kütle özdirenç sonuçlarının elde edilmesi için önemli bir gereksinimdir. Çok elektrod yüzey probu ise elektrik özdirenç tekniğini kullanarak nem ve klorid içeriğinin tanımlanması için kaplama betonun araştırma derinliğinin tanımlanması için kullanılır. Bu özdirenç ünitelerinin gelişimi betona ait parametrelerin tespiti ile ilgili (özellikle su ve klorid içeriği ve gözeneklilik) gelecekteki çalışmalarda kullanılabilir. Ayrıca bu cihazların tahribatsız bir şekilde yerinde yapılan uygulamalarında elektrik tomografi, sığa ölçer ve radar gibi elektromanyetik yöntemlerle beraber kullanılmasıyla klorid, su ve gözenek yapısı nedeniyle beton kaplamadaki özelliklerin tanımlanmasına olanak sağlayacağı öngörülmüştür.

Pfister vd. (2014) karot alma yerine bağlı olarak beton basınç dayanımının ultrasonik yöntemle belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bir yapıdaki betonun özelliklerinin değerlendirilmesinde en önemli faktörler güvenlik ve yapının bütünlüğünün korunmasıdır. Tahribatlı testlerle çok sayıda karot numunesi alınması suretiyle yapıdaki betonun kalitesi hakkında yeterli bilgiye ulaşılabilmektedir. Tahribatsız ultrasonik dalgalar; beton kalitesinin belirlenmesinde herhangi bir tahribat yapmadan diğer tahribatlı testlerden önce uygulanabilir. Bu çalışmada 75 betonarme kolon üzerinde tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanılarak yeni bir metod geliştirilmeye çalışılmıştır. Yerinde yapılan çalışmalarda ve başlangıç verilerinin değerlendirilmesinde Avrupa Standartları (EN 13791) (2010) takip edilmiştir.

Garzon vd., (2014) tarafından yerinde yapılan elektrik özdirenç çalışmalarında 4 nokta elektrod ile Wenner dizilimi kullanan SR veya BR metodu ile elde edilen görünür özdirenç değerleri beton içerisindeki donatının varlığı ile etkilemektedir. Eksenel statik yük veya yarı durağan yük altında olan mevcut yapılardaki donatılı betonun iletkenliği ve hasar miktarı arasında kurulan ilişkilendirmelerde elektrik özdirenç yöntem kullanılabilir. Numune geometrisi ve elektrod açıklığına bağlı olarak donatı varlığının özdirenç değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir.

Ghosh ve Tran .(2015) tarafından betonun elektriksel özelliklerindeki değişim üzerinde Şekil etkisini gözlemlenmek amacıyla küp ve silindirik numuneler üzerinde elektrik özdirenç ölçümleri yapılmış, aynı zamanda hidratasyon dereceleri belirlenmiştir. 90 gün boyunca yapılan ölçümlere göre yaş ve hidratasyon derecesi arttıkça elektrik özdirençte de artış olmuştur. Numune Şeklinin özdirenci deęiőtirdięi ve silindir Şeklindeki numunelerin daha yüksek özdirenç değeri verdiği saptanmıştır.

Chu ve Chen (2016)'e göre beton numunelerdeki donatının varlığı 4 nokta elektrod diziliminin akım dağılımını ve potansiyel farkını deęiőtirmektedir. Bu deęiőtiklikler nicel olabilir ve böylece donatılı beton numuneleri ve yapılarının özdirençlerinin ölçülmesi mümkündür. Özel geometrik dizilimler kurulacağı zaman Şekil faktörüne donatı faktörü eklenir. Bu faktör laboratuvar numuneleri ve geniş yapılardaki beton kaplamalarında elektrod aralığına bağlıdır. Donatının olmaması durumunda silindirik numuneler için daha önce Morris vd. (1996) tarafından verilen Şekil faktörü oldukça iyi kabul edilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Beton ve mukavemetinin etkisi

Beton, değişik boyutlardaki agrega adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli mineral malzemenin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu zamanla sertleşip dayanım kazanmasıyla elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir (Şekil 3.1). Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur; bir başka deyişle, betonun plastikliğini koruduğu (şekil değiştirme özelliğini kaybettiği ana kadarki) halidir. Sertleşmiş beton ise betonun katılaşma anından sonraki durumu olup yapay bir kayadır (Küçük, 2000; IAEA, 2002; Erdoğan, 2010).



Şekil 3.1. Donatılı ve donatısız beton numuneleri

Betonun en çok ilgilenilen özelliği betonun basınç dayanımıdır. TS EN 206-1 (2002)'ye göre beton basınç dayanımı sınıfı cinsinden belirtilir. Beton uygunluğu genel olarak basınç dayanımı kriterine göre değerlendirilir (Erdoğan, 2010; TS EN 206-1, 2002). Yapılan araştırmalar beton özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiğini göstermiştir (Şimşek, 2004). Bu nedenle günümüzde beton kalite kontrolü, standart numunelerin kullanıldığı basınç dayanım deneyleriyle yapılmaktadır. Deney sonucu basınç dayanımı, kontrolü yapılacak olan betonun döküm işinde aynı harmandan alınan deney numunelerinin ortalama basınç dayanımıdır (Dişlitaş vd., 2006).

Beton dayanımında özellikle agrega granülometrisinin (tane boyutu dağılımının) büyük önemi vardır. Büyük daneli agregalar arası boşlukların daha küçük daneli agregalar ve çimento hamuru ile dolmasının gerçekleştiği ölçüde, dayanımı ve sıklığı yüksek beton elde edilir. Agreganın karışım oranı, betonun dayanımında ve sıklığında etkilidir. Kullanılan agrega çapının betonun dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu da unutulmamalıdır. Betonda kullanılacak agreganın en büyük dane büyüklüğü, kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme kalınlığının 1/3'ünden, iki donatı çubuğu arasındaki uzaklığın 3/4'ünden ve beton örtüsünden büyük olmamalıdır (Celep ve Kumbasar, 2001). Betonun basınç dayanımında esas olan betonun yaşıdır. Betonun basınç dayanımı zamana bağlı olarak artmakta olup, bu artış 28 güne kadar hızlı sonrasında ise yavaştır. Beton pratik yönden 3., 7., 14., 28. ve 90. günlerde basınç dayanım testine tabi tutulabilir. Fakat bütün devletlerin standartlarında, hesaplamalar ve değerlendirmeler için 28. gün basınç dayanımı esas alınmaktadır.

TS-EN-12390-1 (2002) 'ye göre, en büyük tane çapına bağlı olarak numune boyutları küplerde 100 mm ile 300 mm arasında değişebilmektedir. Küp numunelerde beton iki tabaka halinde kalıba yerleştirilmekte ve her tabaka 25 defa şişlenerek sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma işleminden sonra, betonun üst yüzeyi düzeltilmektedir. Hazırlanan bu numunelerin üstü ıslak bezle örtülür ve 21-25°C'de 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılır. Kür havuzunda bekletilen numuneler basınç dayanımı deneyine tabi tutulur (Şekil 3.2) (Şimşek, 2004; Arıoğlu ve Arıoğlu, 1985; TS EN 206-1, 2002).



Şekil 3.2. Su kürüne ve hava kürüne tabi tutulan numuneler

3.1.1.1. Agregada

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agregada önemli bir bileşendir. Agregada, betonu oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan doğal veya yapay malzemenin kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığıdır (Şekil 3.3). Agregalarda aranan en önemli özellikler; sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları; zayıf taneler (deniz kabuğu, odun, kömür vb.) içermemeleri; basınca ve aşınmaya karşı mukavemetli olmaları; toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri; yassı ve uzun taneler içermemeleri; çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.



Şekil 3.3. Agregada (Kum, çakıl, kırmataş)

Beton yapımında kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, genişletilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen uçucu kül agregası gibi çeşitli agregalar kullanılmaktadır. Betonda agregada kullanılması sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun “hacim değişikliğini” önlemesi veya azaltması, sertleşmiş betonun “aşınmaya karşı dayanımını” arttırması, etkilere karşı “dayanıklılığını” arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı “dayanımı” sağlayabilmesi hususları gelir. Betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, gradasyonu (dağılımı), tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genişleme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok özellik betonun dayanıklılık derecesini etkilemektedir (Wang ve Salmon, 1979; Dewar, 1999; Alp, 2004; Erdoğan, 2010).

3.1.1.2. Su

Betonda kullanılacak olan karışım suyunun miktarı ve özellikleri, taze betonun tüm özelliklerini ve sertleşmiş betonun ise dayanım ve çevresel etkilere karşı göstereceği dayanım olarak da adlandırılan, durabilite (dayanıklılık) gibi çok önemli özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle, beton yapımında karışım suyu olarak kullanılacak su çok temiz olmalı ve içerisinde sertleşmiş betonun özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek kil, şist, asit, klorür, sülfat, yağ gibi zararlı maddeler bulunmamalıdır. Karışım suyunun içindeki zararlı maddelerin miktarı, çimento hamuru ve betonun katılma süresini, basınç dayanımını ve hacim sabitliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Erdoğan, 1995b; Arıöz, 2004; Teshnehlav ve Alilou, 2008).

3.1.1.3. Çimento

Çimentoların kimyasal kompozisyonu ve çimento tanelerinin inceliği çimento tipini de belirleyen unsurlardır. Bu özellikler, hidrasyon olarak da bilinen, su ile çimento arasındaki reaksiyonun hızını etkilemektedir. Dolayısıyla, çimento hamurunun dayanım hızı ve ne ölçüde dayanım kazandığı da çimentoların bahsedilen özellikleri ile yakından ilgilidir (Wang ve Salmon, 1979; Erdoğan, 1995a; Arıöz, 2004; Erdoğan, 2010).

3.1.2. Boyut etkisi

28 günlük basınç dayanımlarının tayininde, standart olarak 150x150x150 mm'lik küp veya 150x300 mm'lik silindir deney numuneleri kullanılmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Silindir ve küp şeklindeki beton numuneler

Küp numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımı değeri, silindir numuneden elde edilen basınç dayanımından yüksektir. Değişik dayanımlara sahip betonlar kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından 150x300 mm boyutlu silindirlerle, 150 mm boyutlu küpler arasındaki ilişki incelenmiştir. Buna göre silindir basınç dayanımı (σ_s) ile küp basınç dayanımı (σ_k) arasındaki fark, düşük dayanımlı betonlarda daha fazla olmaktadır. Normal dayanımlı betonlarda σ_s/σ_k oranı yaygın şekilde 0.8 olarak kabul edilirken yüksek dayanımlı betonlarda 0.9 olarak bulunmaktadır (Neville, 1977; Arıoğlu vd., 1999).

Yapılan çalışmada beton mukavemeti düşük, normal veya yüksek olacak şekilde birbirinden farklı küp ve silindir numune boyutları TS 12390 (2002) standardına uygun olarak küp için 150x150x150 mm ve silindir için 150x300 mm ebatlarında donatılı ve donatısız olarak hazırlanmıştır.

3.1.3. Donatı etkisi

Betonarme yapılarda kullanılan donatı demirleri TS 708 (2010) standartlarına göre 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 mm çaplarında olabilmektedir (Şekil 3.5). Donatı boyları ise yaygın olarak 12 m olarak üretilmekte ve yapılarda genellikle 14, 16, 18 mm çapındaki donatı demirleri kullanılmaktadır. Yapıdan karot alırken emniyetini tehlikeye sokmamak için donatının kesilmemesine azami özenin gösterilmesi gerekmektedir. Karot alınan numunenin şekli, boyutları, yükleme durumu ve saklama koşulları ne olursa olsun donatının karot dayanımı üzerinde daima etkisi olmaktadır.



Şekil 3.5. İçerisinde farklı çaplardaki donatı demiri bulunan numuneler

Donatı çeliği kullanmadan önce kir, yağ ve yüzeyden ayrılabilen pastan arındırılmalıdır. Pas olayını önlemek için donatıların kullanılmadan önce mümkün olduğunca üstü kapalı bir sundurma altında saklanması tercih edilmelidir. Donatı kullanıldıktan sonra da gerek doğrudan etkisinde kaldığı sıvılara, gerekse betonun emdiği zararlı sıvılara karşı korunmalıdır. Çünkü bu sıvılar donatının korozyona uğramasına sebep olup donatı kesitini ve dayanımı azaltmaktadır. Donatıyı korozyona karşı korumak, betonun donatı kenetlenmesini sağlamak ve hatta yangına karşı korumak için çelik çubuklarla donatı arasında beton örtüsü bulunmalıdır (Doğangün, 2002).

Donatının betonarme bir elemandaki öneminden dolayı dayanım durumunun belirlenmesi gereklidir. Beton içerisindeki donatıların belirlenmesinde laboratuvar deneyleri ve yerinde uygulanan yöntemler vardır (Güner, 2003). Yapılan çalışmada, TS 708 standardına uygun 10, 14 ve 20 mm çaplarındaki S420 nervürlü inşaat çeliği kullanılarak donatılı numuneler hazırlanmıştır.

Beton ve donatıdan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için, donatıların betona kenetlenmesi gerekmektedir. Bu kenetlenmeyi sağlayan, donatı ile beton arasındaki kayma gerilmelerine “aderans” adı verilmektedir. Aderansın tam olarak sağlanabilmesi için kenetlenme boyunun yeterli olması gerekmektedir. Bunu sağlayan aderansa da “kenetlenme aderansı” adı verilmektedir. Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için ise donatı akma dayanımına ulaşmalı ya da akma ötesi şekil değiştirme yapması durumunda betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır (Karakoç, 1985; Ersoy ve Özcebe, 2001; Topçu ve Boğa, 2008). Düz yüzeyli donatıların betonla bağlantısını oluşturan aderans, yukarıda sıralanan ilk iki nedene yani kimyasal yapışmaya ve sürtünme kuvvetine bağlıdır. Nervürlü (dişli) donatılarda ise aderans, pratik olarak mekanik etkileşim sayesinde sağlanmakta, kimyasal yapışmanın etkisi ihmal edilecek kadar düşük ve donatının betona göre sıyrılmasından önce de sürtünmenin aderansa katkısı bulunmamaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001; Kankam, 2004).

Düz donatılarda sıyrılmanın başlamasıyla sürtünme kuvveti de aderans dayanımına katkıda bulunmaktadır. Bununla beraber düz yüzeyli donatıların betonla aderansı nervürlü donatılardan daha az olduğundan kenetlenmenin sağlanabilmesi için bunların

kenetlenme boyunun daha büyük seçilmesi gerekmektedir. Uçlarında kanca yapılması durumunda söz konusu boyun küçültülebileceği bilinmektedir. Nervürlü donatılarda ise, yapışmanın ve sürtünmenin adersana katkısı dişlerdeki mekanik kenetlenmeye oranla ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Bu tip donatılarda adersanın çok önemli bir bölümü, dişlerin eğimli yüzeylerinin betona yaslanmasıyla oluşan eğik kuvvetler sayesinde sağlanmaktadır. Bu kuvvetler yatay ve düşey olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Yatay kuvvetler, iki diş arasındaki betonu kesmeye ya da dişlerin hemen önünde betonu ezmeye zorlamaktadır. Düşey kuvvetler ise betonda çekme gerilmesi meydana getirmektedir. Bu gerilmenin betonun çekme dayanımından fazla olması durumunda betonda iç çatlaklar oluşmakta, beton örtü kalınlığı ve kenetlenme boyunun yeterli olmaması durumunda da donatıya paralel oluşan bu çatlaklar betonun yarılmasına neden olmaktadır (Macgregor, 1997; Ersoy ve Özcebe, 2001).

Donatı çapının adersan dayanımı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bunun, betonarme yapı elemanlarının kesme ve eğilme dayanımlarına etkisi üzerine birçok araştırma gerçekleştirilmiş olmakla beraber, adersan dayanımına etkisi henüz yeteriyle aydınlatılamamıştır (Ichinose vd., 2004). Çap değiştiğinde, kenetlenme boyunca yüzey alanı değiştiğinden adersan gerilmeleri de değişmektedir (Ersoy ve Özcebe, 2001). Bu nedenle, adersan emniyeti küçük çaplı donatılarda daha yüksek olmaktadır. Bu durum, betonun büzülmesinden dolayı küçük çaplı donatıların daha büyük yanal basınçlara maruz kalmasına atfedilebilmektedir (Dahil, 2001; Durmuş vd., 2006). Fakat kullanılan donatı çapının küçük olması, dar kesitlerde sıkışıklığa neden olduğundan, küçük çaplı donatıların adersan dayanımı yönünden üstünlüğü, bu özel kesitlerde, sakıncalı duruma gelebilmektedir. Bu tür kesitlerde; kenetlenme boyu ile beton örtü kalınlığını artırmanın ve uygun şekilde sargı donatısı kullanmak suretiyle, donatı çapını büyütmenin daha doğru olacağı savunulmaktadır (Ichinose vd., 2004). Ayrıca çap büyüdükçe adersan emniyeti azalacağından, kenetlenme boyunun da çapa bağlı olarak artırılması gerekmektedir (Aka vd., 1996).

3.1.4. Kür koşullarının etkisi

Kür koşulları, beton basınç dayanımı, sismik ultrasonik hızlar ve elektrik özdirenç değerleri üzerinde çok etkili olmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada 4 ayrı grup oluşturularak su, hava, etüv ve kuru numune grubu olarak numuneler kür edilmişlerdir.

Su kürü grubundaki numuneler ölçümlerinin alınacağı günlere kadar 20 ± 2 °C deki kr havuzlarında bekletilmiştir. Belirlenen zaman dilimlerinde ultrasonik sismik ve görünür özdirenç ölçüleri alınmıştır.

Hava kürü grubundaki numuneler sadece donatılı kp numunelerden oluşmuştur ve donatıların paslanmasını kolaylaştırmak amacıyla üzerlerine düzenli olarak ölçü alınacakları günlere kadar seyreltilmiş HCl asit dklmştir. Belirlenen zaman dilimlerinde ultrasonik sismik ve görünür özdirenç ölçüleri alınmıştır. Böylece mevcut bir betonarme yapıdaki zamanla oluşacak korozyonun etkisi gözlenmeye çalışılmıştır.

Etüv grubundaki numunelerin su muhtevalarını belirlemek amacıyla yoğunlukları belirlenerek üzerlerinde ultrasonik sismik ve görünür özdirenç ölçüleri alınmış daha sonra etüvde 105 °C de 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Daha sonra çıkarılan kuru haldeki ağırlık ölçümleri yapılmış, ultrasonik sismik ve görünür özdirenç ölçüleri alınmıştır. Belirlenen zaman dilimlerinde ölçümlerinin yapılacağı güne kadar kr havuzunda bekletilmiştir. 90 gün sonunda tek eksenli basınç deneyi ile kırılmışlardır.

Kuru beton grubundaki numuneler açık havada bekletilerek üzerlerindeki çevresel faktörler olan rzđâr, güneş ve yağmur etkisi gözlenebilmiştir. Belirlenen zaman dilimlerinde ultrasonik sismik ve görünür özdirenç ölçüleri alınmıştır.

3.1.5. Zaman etkisi

Numunelerin kr edildikleri ortamlarda ne kadar süreyle bekletildiği ölçüm sonuçlarını etkilemektedir. Bu nedenle, donatılı ve donatısız numunelerin üzerinde zamanın etkisini ortaya koymak amacıyla 7, 28, 41, 56, 65, 72 ve 90 günlük zaman dilimlerinde özdirenç ve ultrasonik sismik P ve S dalga ölçümleri yapılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi 7., 28., 90. günlük ölçümlerin sonlarında uygulanmıştır. Diğer zaman dilimlerinde numunelerin zaman içerisindeki değişimini gözlemek amacıyla sadece ara ölçümler yapılarak yerlerine konulmuştur.

3.1.6. Korozyon etkisi

Korozyon metallerin çevreleri ile girdikleri bir elektrokimyasal reaksiyon sonucu aşınmaya ve bozunmaya uğrayarak niteliklerini kaybetmesi olarak tanımlanabilir. Genellikle metal olan bir malzeme ile bulunduğu ortam arasında malzemenin ve özelliklerinin bozulmasına yol açan kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyon, “korozyon” olarak tanımlanır (ASTM G15–04, 2004). Terminolojik olarak bu şekilde tanımlansa da korozyon olayının fiziksel karşılığı şu şekilde açıklanabilir: Korozyon, malzemelerin doğada bulunan en kararlı (en düşük enerjili) durumları olan oksit haline geçme olayıdır (Baradan vd., 2002; Yiğiter, 2008). Betonarme yapılarda özellikle donatılar korozyon etkisine maruz kalabilmektedir. Donatıda meydana gelen korozyon sonucu önemli kesit kayıplarının yanında donatı-beton aderansı da zamanla yok olmaktadır (Şekil 3.6). Bunun sonucunda, bir bütün olarak çalışması gereken donatı ve beton birbirinden farklı davranmaya başlamaktadır. Taşıyıcı elemanlarda donatı korozyonu sonucu oluşan aderans düşüklükleri nedeni ile zamanla yapının taşıma gücünde önemli ölçüde azalma beklenebilir (Coşgun, 2003).



Şekil 3.6. Donatının korozyonu

Çimentodaki malzeme içeriği ve düşük su/çimento oranı ile betonun geçirimsizliği önemli ölçüde azalır. Deniz çevresindeki donatılı beton yapılarda klorid girişi nedeniyle demirlerin korozyona uğramasına neden olur. Betona klorid girişi çimento tipi, beton kalitesi ve karışım oranları gibi parametrelerce kontrol edilir. Donatının yüzey niteliği, uygulama bakımından son derece önem taşımaktadır. Bu niteliklerden korozyonun aderans üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Kızıl bir görünüm sergileyen korozyonun aderans yönünden yararlı olduğu, ilerlemişinin ise zararlı olduğu hatta betonu artan hacmiyle çatlattığı bir gerçektir. Benzer şekilde yüzeyleri

topraklı, çamurlu, yağlı donatıların kullanılması durumunda da aderans dayanımı düşmektedir (Aka vd., 1996).

Korozyon oranı katodik reaksiyondaki oksijen oranına ve betonun elektrik direncine bağlıdır. Çünkü elektrik direnci anot ve katot bölgeleri arasındaki iyon göçünü kolayca kontrol edebilir. Elektrik direnci betonun nem içeriğine ve betonun mikro yapısına bağlıdır. Hesaplanan özdirenci, düşük özdirençli ince beton tabakası ve içerisindeki donatı etkileyebilir. Donatının etkisi donatının çapıyla ve örtü katmanıyla ilgilidir. Örtü derinliği ince ve donatılar arasındaki mesafe küçük olduğunda eğer donatının yeri ve çapı biliniyorsa doğru sonuçlar elde edilebilir. Beton üzerinde yapılan özdirenç ölçümleri farklı seviyelerdeki muhtemel korozyon aktivitesini değerlendirmede destekleyici ek bilgiler sağlar. Yüksek özdirenç değeri düşük korozyon oranını gösterir (Carino, 1999).

Korozyon, metallerin temel ve sürekli problemidir. Korozyonu önlemek için ülkeler büyük bütçeler ayırmaktadır. Betonarmenin servis ömrü içinde titreşim, sarsıntı, büyük ve küçük depremler, mekanik yorgunluk ve dış ortamdaki çeşitli nedenlerden dolayı betonda önce mikroskobik sonrada daha büyük gözenek ve çatlaklar oluşur. Bu gözenek ve çatlaklardan beton içine sızan rutubet, dış ortamdaki korozif gazlar, deniz kumu kullanımından kaynaklanan tuz, havadaki egzoz gazları, sanayi kirlilik, CO₂, havadaki kükürt, nitrojen oksit ve karayollarında buzla mücadelede kullanılan tuzlar betonarme demirinin korozyona uğramasına neden olur. Yani korozyon hem betonarme yapılırken hem de kullanılırken dikkate alınması gereken bir olaydır. Bu aşamalardan birinde dikkate alınmaz ise korozyon dolayısı ile betonarmenin hasar görmesi önlenemez. Yapının maruz kaldığı suların sıva, boya, kaplama ve oluklarla yapıdan uzaklaştırmak korozyonu önleyecek veya azaltacaktır. Beton içindeki demir aynı sulu çözeltiler içindekine benzer şekilde korozyona uğrar. Anot bölgesinde demir iyon haline geçer. Demir iyonları alkali ortamda demir hidroksit halinde çökelir (Doğan, 2009).

Korozyonu önlemek için; katodik korumalar, korozyon önleyiciler ve epoxy kaplı donatılar kullanılmaktadır. Bunların arasında korozyona karşı en çok kullanılanı ise epoxy reçineleridir. Son yıllarda, özellikle korozyonun çok etkili olduğu, sülfatlı suların etkisindeki yapılarda epoxy ile kaplanmış donatıların kullanımı

yaygınlaşmaktadır. Bu donatıların kullanılmasının en büyük sakıncalarından birisi, epoxy malzemesinin donatı ile beton arasındaki aderans dayanımını, epoxy kaplanmamış donatıya göre %15 mertebesinde azaltmasıdır. Bunun için bu tür kaplamaların yüksek başarımı beton ve dayanımı yüksek donatılarda kullanılması daha uygun olmaktadır (Yeih vd., 2004).

Betonarme elemanlardaki pas payı betonun yeterli geçirimsizliğe sahip olmaması nedeniyle karbonatlaşarak bazikliğini yitirmesi, böylece koruyucu tabakanın bozulması sonucu donatının korozyona açık hale gelmesi durumunda korozyon oluşmaktadır ya da donatıda korozyon klor iyonlarının etkisi sonucu da meydana gelmektedir. Özellikle deniz kenarındaki yapılarda klor iyonları pas payını geçerek, donatıya ulaşabilmektedir. Verilen her iki durumda da korozyonun başlayabilmesi pas payı betonunun geçirimsizliğine bağlıdır. Bu şekilde korozyona açık hale gelen donatıda, bu olayın sürebilmesi için gerekli olan iki etken oksijen ve nem de yine pas payı betonunu aşarak donatıya ulaşmaktadır. Bu durumda korozyon açısından betonun geçirimsizliğinin önemi ortaya çıkmaktadır (Akman, 1972; Coşgun, 2003).

3.1.7. Beton özellikleri ve statik-dinamik elastik modüller

3.1.7.1. Ağırlık

Donatılı ve donatısız numunelerin ağırlıklarını belirlemek amacıyla 0.1g hassasiyeti olan hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Hassas terazi ile numune ağırlıklarının belirlenmesi

3.1.7.2. Hacim

Numunelerin hacimlerini belirlemek küp ve silindir Şeklindeki numunelerin boyutları dijital kumpas yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Sayısal kumpas ile numunelerin boyutlarının belirlenmesi

3.1.7.3. Yoğunluk

Numunelerin yoğunluğu birim alandaki ağırlığının (W) hacmine (V) oranıdır.

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (3.1)$$

Deneysel olarak ise; (Uyanık ve atlıoğlu, 2010) ilişkisi kullanılarak basınç ve kayma dalga hızına bağlı yoğunluk belirlenebilir.

$$\rho = 0.76(V_P V_S)^{0.074} \quad (3.2)$$

Yapılan çalışmada numunelerin hassas teraziyle belirlenen ağırlıklarının hesaplanan hacimlerine oranı ile numunelerin yoğunlukları belirlenmiştir.

3.1.7.4. Su içeriği (w)

Su içeriğini gözlemlemek amacıyla etüv grubunda hazırlanan numuneler kür havuzunda 1 gün boyunca sertleşmesi için bekletildikten sonra 24 saat süreyle 105  C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuŐtur. Sonrasında kuru ağırlıkları belirlendikten sonra ve suya doğgun ağırlıklarını belirlemek amacıyla 90 gün süreyle tekrar su krne tabi

tutularak su muhtevalarının zamana bağılı değişimi belirlenmiştir. Numunelerin su içerikleri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$w = \frac{W_D - W_K}{W_K} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada W_K , kuru numunenin havadaki ağırlığı (g) ve W_D , suya doymun numunenin havadaki ağırlığıdır (g).

3.1.7.5. Porozite (gözeneklilik) (n)

Numunelerin gözeneklilik miktarlarını belirlemek amacıyla kuru ve suya doymun ağırlıkları belirlenerek aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$n = \frac{W_D - W_K}{W_K - W_A} \times 100 \quad (3.4)$$

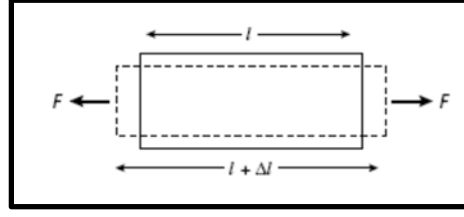
Burada W_K , kuru numunenin havadaki ağırlığı (g); W_A , suya doymun numunenin su içindeki asılı ağırlığı (g) ve W_D , suya doymun numunenin havadaki ağırlığıdır (g).

3.1.7.6. Statik ve dinamik elastisite modülleri (Es, Ed)

Elastisite (Young) modülü basit bir çekme veya sıkıştırma altında gerilme-deformasyon oranının ölçüsüdür. Burada gerilme, birim kesit alandaki kuvvet (F/A) ve deformasyon ise birim uzunlukta meydana gelen uzama veya kısalmadır. E değeri çok önemli bir değerdir. Örneğin döşemelerde sehim (kuvvet altında yapı elemanının yaptığı bükülme) hesaplamalarında, ön veya art germeli elemanların hesaplamalarında kullanılır. E değeri ayrıca kalıcı yük altında kolon kısaltmalarını da etkiler.

$$G_s = \frac{\text{Boyuna Gerilme } (\sigma = F/A)}{\text{Boyuna Deformasyon } (\epsilon = \Delta l/l)} \quad (3.5)$$

Mekanik olarak bir numuneye uygulanan kuvvet sonucunda numunede boyuna deformasyon meydana gelirken enine deformasyon da oluşuyor ise bu durumdaki gerilmenin deformasyona oranı elastisite modülü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Elastisite modülü (Yatay deformasyon var)

Doğrusal davranış göstermeyen betonun kesin elastisite modülünü tanımlamak çok zordur. Elastisite modülü beton basınç dayanımına, betonun yaşına, yükleme tipine ve betonun çimento ve agrega oranlarının karakteristiğine bağlı olarak değişir. Dinamik elastisite modülü adı verilen elastisite modülü çok küçük şekil değiştirmelere denk gelmektedir. Genellikle statik elastisite modülünden %20 ile %40 daha büyüktür. Yaklaşık olarak başlangıç elastisite modülü dinamik elastisite modülüne eşittir. Yapıların sismik ve darbe yüklemeleri için dinamik modülün kullanılması uygundur (McCormac ve Nelson, 2005).

Statik elastisite modülü, tek eksenli basınç testi esnasında elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi vasıtasıyla belirlenir. Ancak statik elastisite modülü dünya çapındaki birçok standarda göre tanımlanan eşitlikler yardımıyla da ampirik olarak hesaplanabilmektedir. TS3502 (1981) standartlarında statik elastisite modülü;

$$E_s(\text{TSE}) = 3.25 (\sigma_b)^{0.5} + 14 \quad (3.6)$$

şeklinde tanımlanmıştır. ACI (Amerika Beton Enstitüsü) 363 (2010) standartlarında statik elastisite modülü;

$$E_s(\text{ACI}) = 4.73 (\sigma_b)^{0.5} \quad (3.7)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Sadece yüksek dayanımlı betonlar için ise CEB (Avrupa Beton Komitesi) 90 (1993) standartlarında statik elastisite modülü (E_s);

$$E_s(\text{CEB}) = 10 (\sigma_b + 8)^{1/3} \quad (3.8)$$

olup NS (Norveç) 3473 (2003) standartlarında statik elastisite modülü ise

$$E_s(N) = 9.5 (\sigma_b)^{0.3} \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Dinamik elastisite modülü (E_d) sismik ultrasonik yöntemle belirlenen P ve S dalga hızlarının birlikte kullanılması ile hesaplanabilmektedir (Telford vd., 1993; Uyanık vd., 2013). Elastisite modülü ortamın çatlaklık ve bozuşma dereceleriyle orantılı olarak değişim gösterir. P ve S dalga hızları ile elastisite modülü arasındaki bağıntılar;

$$V_p = \left[\frac{E(1-\mu)}{\delta(1+\mu)(1-2\mu)} \right]^{1/2} = \left[\frac{K + \frac{4G}{3}}{\delta} \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

$$V_s = \left[\frac{E}{2\delta(1+\mu)} \right]^{1/2} = \left[\frac{G}{\delta} \right]^{1/2} \quad (3.11)$$

şeklinde verilir. Burada; V_p , P dalga hızı; V_s , S dalga hızı; K, Bulk modülü; G, kayma modülü E, elastisite modülü; δ , ortamın yoğunluğu; μ , Poisson oranıdır.

V_p ve V_s bağıntıları yardım ile elastisite modülü;

$$E_d = 3G \left[\frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - \frac{4}{3}}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1} \right] \quad (3.12)$$

bağıntısı ile elde edilir.

Bu modül betonun esneme direnci ve sağlamlığı hakkında bilgi verir. Bilindiği üzere deprem olduğunda önce P sonra S ve en son olarak da yüzey dalgaları (R ve L) ard arda yüzeye gelir. P dalgaları yapıları yorar ve yapıyı temelinden yukarı doğru kaldırır ve sonra aşağı doğru çeker. Bu sırada yapı düşey yönde yamulur. Zemin ve yapı bu güce karşı elastisite direnci ile karşı koyar (Uyanık vd., 2013).

3.1.7.7. Statik ve dinamik makaslama (kayma) modülleri (G_s , G_d)

Basit bir makaslama için gerilme-deformasyon oranının bir ölçüsüdür. Mekanik olarak bir numuneye uygulanan yanal yönde bir kuvvet sonucunda numunede kayma

deformasyonu meydana gelir. Bu durumdaki kayma gerilmesinin kayma deformasyonuna oranı kayma modülü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.10).

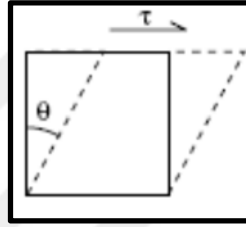
$$G_s = \frac{\text{Kayma Gerilmesi } (\tau)}{\text{Kayma Deformasyonu } (\tan\theta)} \quad (3.13)$$

$$G_s = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} = \frac{(F.L)}{(\Delta L.A)} \quad (3.14)$$

Statik kayma modülü TS3502 (1981) standartlarında;

$$G_s = 0.4E \quad (3.15)$$

olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.10. Kayma modülü

Dinamik kayma modülü (G_d) ise yoğunluk (δ) ve S dalga hızı ile de hesaplanabilir.

$$G_d = \frac{\delta v_s^2}{g} \quad (3.16)$$

Burada g yer çekim ivmesidir.

Fiziksel olarak betonun makaslama direncine karşı gösterdiği mukavemet olarak tanımlanabilir. Eğer kayma modülünün değeri büyükse depremde oluşan S dalgası genliğine karşı betonun büyük bir esneme direnci gösterir. Kayma modülünün küçük olması durumunda ise yapılardaki betonlarda çapraz birbirini kesen kırılmalar ve kolon-kiriş bağlantılarında kopmalar olabilir (Uyanık, 2014).

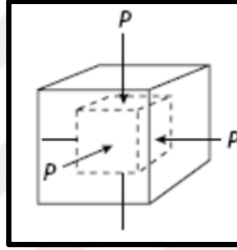
3.1.7.8. Statik ve dinamik bulk modülleri (K_s , K_d)

Statik Bulk modülü basit bir hidrostatik basınç altındaki gerilme-deformasyon oranının bir ölçüsüdür. Burada gerilme basınç, deformasyon ise hacimce değişme miktarıdır (TS3502 1981).

$$K_s = \frac{\text{Hacimsel Gerilme (P)}}{\text{Hacimsel Deformasyon } \left(\frac{\Delta V}{V}\right)} \quad (3.17)$$

$$K_s = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)} = \frac{(F.V)}{(\Delta V.A)} \quad (3.18)$$

Bu modül sıkışmazlık modülü olarak da bilinir. Betonun sıkışmaya karşı gösterdiği dirençtir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Bulk modülü

Dinamik Bulk modülü (Kd), yoğunluk ve sismik hızlar yardımı ile;

$$Kd = G \left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - \frac{4}{3} \right] \quad (3.19)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Uyanık vd., 2013).

3.1.7.9. Statik ve dinamik Poisson oranı (μ)

Bu oran, gerilme-deformasyon ilişkisinin ölçüsü olmayıp, bir geometrik şekil değişmesinin ifadesidir. Boyuna doğrultuda yük etkisinde kalan bir elemanda enine şekil değiştirmenin boyuna şekil değiştirmeye oranına “Poisson Oranı” adı verilir.

$$\mu = \frac{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} \quad (3.20)$$

Burada $\frac{\Delta a}{a}$, enine deformasyon ; $\frac{\Delta L}{L}$, boyuna deformasyondur.

Poisson oranı, maksimum 0.5 olabilir. Çoğu elastik katılar için ortalama değeri 0.25 civarındadır. TS 500 (2000) için bu değer 0.20 olarak verilmiştir (Doğangün, 2002). Poisson oranı P ve S dalga hızlarından hesaplanabilir, özellikle suya doygunluk derecelerinin bulunması açısından Poisson oranı önemli bir parametredir. Hız oranına direkt olarak bağlıdır ve yoğunluk dikkate alınmadan hesaplanır.

$$\mu = \left[\frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \right] \quad (3.21)$$

Poisson oranı betonun gözeneklerini yorumlamada kullanılabilir. Betonlarda Poisson oran değerinin sıfıra yakın değerleri bol gözenekli ve hava dolgulu olarak, Poisson oranının yüksek değerlerinde ise betonun gözenekleri suya doygun olarak yorumlanabilir. P ve S dalga hızları var iken Poisson oran değerinden sağlamlık vermek doğru değildir (Uyanık vd., 2013).

3.2. Yöntemler

Tez çalışmasında kullanılan numuneler standartlara uygun olarak küp ve silindir olacak şekilde düşük, orta ve yüksek mukavemet özellikleri gösteren 13 farklı beton olarak tasarlanıp hazırlanmıştır. Donatılı numunelerden elde edilen dayanımlar donatısız olanlardan farklı çıkmaktadır. Bu nedenle inşaatlarda kullanılan betonun dayanım değerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesi sağlanmalıdır. Betonarme yapıda kullanılacak donatı demirinin çapı beton dayanımı ve yapı açısından oldukça önemlidir. Donatının, hem beton basınç dayanımı hem de sismik ultrasonik P ve S hızları üzerinde önemli etkisi vardır. Bu bağlamda aynı dayanıma sahip silindirik ve küp numunelerden bazıları donatısız diğer küp numuneler içerisinde 10, 14 ve 20 mm çapında bir adet donatı olacak şekilde hazırlanmıştır. Numunelerin bir kısmı su kürüne bir kısmı ise hava kürüne tabi tutulmuştur. Bu durum diğer farklı dayanıma sahip numuneler içinde yapılmıştır. Hazırlanan örneklerin üzerinde sismik ultrasonik P ve S ölçümleri, elektrik özdirenç ölçümleri ve tek eksenli basınç dayanım deneyleri uygulanmıştır. Mevcut yapılarda zaman içerisinde çeşitli faktörlerin etkisiyle betondaki nem içeriğinin artışı donatının korozyona uğramasına dolayısıyla beton dayanımında değişikliğe neden olacaktır. Yürütülen tez çalışması kapsamında hava kürüne bırakılan donatılı numunelerde korozyon etkisini gözlemlemek amacıyla

donatının üzerine HCl asit damlatılmış ve ardından elektrik özdirenç yöntemiyle korozyon durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Numunelerin bir kısmı ise beton özelliklerinin belirlenmesi amacıyla etüv grubunda yer almıştır. Böylece donatılı ve donatısız numunelerin farklı kür koşullarında olması durumunun beton dayanıma etkisi zamana bağlı olarak incelenmiştir. Beton numuneler üzerinde uygulanan ölçüm sonuçlarından P ve S dalga hızları, özdirenç ve basınç dayanım değerleri belirlenerek bu parametrelerden istatistiksel analizler sonucunda çok parametrelili bağıntılar oluşturulmuş ve beton dayanımı jeofizik yöntemler ile dolaylı olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca sismik sinyaller üzerinde zaman-frekans analizleri yapılmıştır. Bunların dışında tüm parametreler göz önünde bulundurularak Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile beton dayanımı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç ile tez çalışmasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

3.2.1. Tahribatsız jeofizik test yöntemleri

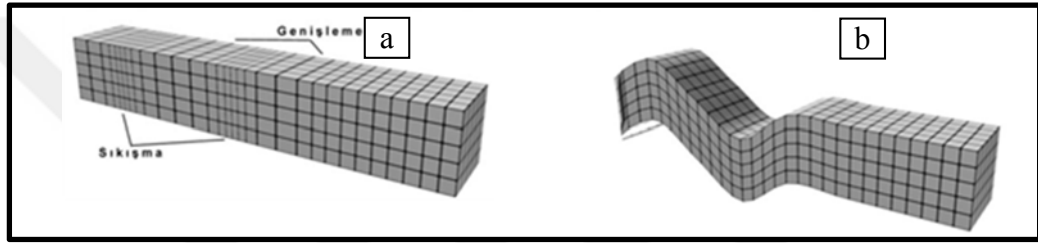
3.2.1.1. Ultrasonik sismik yöntem

3.2.1.1.1. Basınç (P) ve kayma (S) dalgaları

Birincil, boyuna, basınç veya ses dalgası olarak da bilinen P dalgaları geçtikleri ortamda önce sıkışma sonra genleşme meydana getirmektedir (Şekil 3.12a). Bu dalgalar katı, sıvı ve gaz ortamlardan geçebilir. P dalgaları diğer dalgalardan daha hızlıdır ve dolayısıyla da kayıt istasyonuna ilk olarak bu dalgalar gelir. Periyodu 1sn'den az olan dalgalardır. Bunların yayılması sırasında titreşim hareketi, dalganın yayılma doğrultusundadır. Boyuna dalgalar olarak adlandırılmaları bu nedenledir.

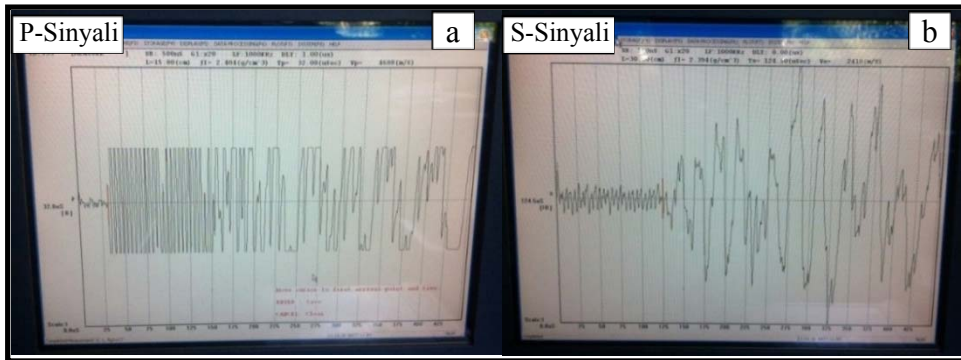
P dalgaları içerisinden geçtikleri cisimlerin taneciklerini birbirine yaklaştırır ya da uzaklaştırırlar. Bu nedenle basınç veya dilatasyon dalgaları adını alırlar. P dalgalarının hızı, dalganın yayıldığı ortamın rijidite, yoğunluk ve elastik özelliklerine göre az çok değişebilir. P dalgaları rijiditesi olmayan sıvı ve gaz gibi maddeler içinde de yayılabilmektedir. P dalgaları yayılırken cisim şekil değişikliğine karşı herhangi bir direnç göstermemektedir (Öztürk, 1993; Pampal, 2000).

S dalgaları ise enine, makaslama ve ikincil dalgalar olarak da adlandırılır. Tanecik hareketi dalganın hareket yönüne dik doğrultuda (Şekil 3.12b). Böyle dalgalara taneciklerin hareket ettiği doğrultuda polarize olmuş dalgalar denir. Sıvılarda ve gazlarda rijidite $\mu=0$ olduğundan S dalgası yayılmaz. Sadece katı ortamlarda yayılırlar. S dalgaları, içinden geçtikleri ortamda kayma deformasyonlarına yol açarlar. S dalgasından etkilenen bir partikülün hareketi dalga ilerleme yönüne diktir. Makaslama dalgaları partikül hareketinin yönüne göre SV (düşey düzlemsel hareket) ve SH (yatay düzlemsel hareket) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Hızları P dalgalarına göre daha az olan bu dalgaların hızları da içinde yayıldıkları cisimlerin rijidite ve yoğunluğuna bağlıdır (Öztürk, 1993; Pampal, 2000).



Şekil 3.12. P ve S dalgalarının yayılım doğrultusu (www.jeofizikmuhendisleri.com)

Yapılardaki betonların mekanik özelliklerini yerinde ve laboratuarda belirleyebilmek için ultrasonik sismik yöntemde puls hızı tekniği kullanılmaktadır. Bu teknik elastik dalga yayılma teorisine dayanmaktadır. Laboratuarda, boyuna (P) ve enine (S) dalga hızlarını belirlemek için bu sismik elastik dalgaların numunenin içinden geçtiği süreler ölçülerek bilinen numune boyundan sismik dalgaların hızları belirlenebilir (Şekil 3.13). Yerinde ise, sismik hızlar alıcı-verici arasındaki uzaklık ve elastik dalgaların geçtiği süreler ölçülerek belirlenir.



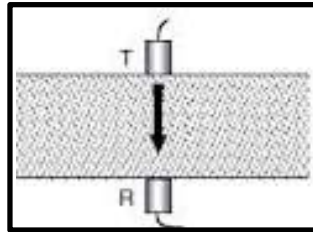
Şekil 3.13. Yapılan çalışmada numune içerisinde a) P ve b) S dalgalarının yayılımını gösteren örnek kayıtlar

Ultrasonik cihazı ile ölçüme başlamadan önce cihazın sıfır ayarı yapılmalıdır. Sıfır ayarı transducer (dönüştürücü) tarafından elektrik pulsunun alınışı ile bunun bir sismik pulsa çevrilmesidir. Bu işlem birkaç mikro saniye sürer ve bu gecikme giderilmelidir. Bu yüzden sıfır ayarı yapılır. Ancak P ve S dalgaları için ayrı sıfır ayarı yapılmalıdır. Sıfır ayarı bittikten sonra P ya da S dalga seçeneklerinden gerekli ayarlar yapılarak P ya da S dalga hızı ölçümüne geçilebilir (Şekil 3.14). Ultrasonik enerji hava boşluğu tarafından gecikmeye uğrar. Bu yüzden numune ile alıcı verici probalar arasında çok iyi bir iletimin sağlanması gerekmektedir. İletimin tam olarak sağlanabilmesi için gres yağı vb. iletimi artırıcı maddeler kullanılmalıdır. Ancak S dalga hızı ölçümünde bu gibi maddeler kullanılmamalıdır. Numune yüzeyinin pürüzsüz ve düzgün olması da ölçümü etkileyen önemli faktörlerden biridir (Uyanık, 1991; 1999; Uyanık ve Çathoğlu, 2010).



Şekil 3.14. Ultrasonik sismik yöntem ile sıfır ayarı ve problara jel sürülmesi (P dalga ölçümü için).

Ultrasonik sismik cihaz da bir verici ve bir alıcı probalar vardır. Numunenin bir tarafından dalga gönderilirken diğer bir taraftan dalga geliş zamanı kaydedilir ve alıcı (R) ve verici (T) probalar arasındaki uzaklığın (L) zamana (t) oranından hız (V) belirlenir (IAEA, 2002).



Şekil 3.15. Ultrasonik ölçü alım tekniği (www.jeofizik.org.tr)

Ultrasonik sismik P ve S dalga ölçümleri numune üzerinde ve yerinde ölçümlerle yapılabilir (Şekil 3.16). Bu ölçümlerin yapıldığı betonların, mekanik özelliklerini belirlemenin yanı sıra beton içerisindeki kırık, boşluk ve bozuşma durumu da belirlenebilir. Bu yöntemin en önemli özelliklerinden biride yapıya hiçbir zarar vermeden hızlı bir şekilde sonuca ulaşmaktır. Ancak yerinde yapılan beton ölçümlerinde donatı üzerinde ölçü alınıp alınmadığını belirlenmesi beton kalitesinin yorumlanmasında önemlidir. Betona ait P ve S dalga hızları belirlendikten sonra betonların elastik özellikleri (kayma modülü, Poisson oranı, elastisite modülü, bulk modülü) elastisite teorisinden belirlenir (Uyanık, 2012).



Şekil 3.16. Ultrasonik sismik P ve S dalga ölçüm cihazı

Beton içinden geçirilen, yapay olarak oluşturulmuş, yüksek frekanslı ses dalgalarının geçiş süresinin ölçülmesi ilkesine dayanan sismik ultrasonik tekniğinde; deney aletine kablolarla bağlı alıcı ve verici başlıklar, dayanımı belirlenecek olan beton elemanın karşılıklı iki yüzüne, beton yüzeyinde boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilir. Deney aletinin ürettiği bir elektrik sinyali verici başlığın kristaline iletilmekte ve burada sinyaller ses dalgalarına dönüştürülmektedir. Verici başlık alıcı başlığa, deneye tabi tutulan beton eleman boyunca geçen bir ses dalgası iletmekte, burada ses dalgası elektriksel akıma dönüşmekte ve bu akım, deney aletinin katot ışın tüpünden izlenmektedir. Bunun yanında dalganın vericiden alıcıya geçmesi için geçen süre, deney aleti tarafından 1 μ s ya da 0.1 μ s hassasiyetle ölçülmektedir. Sismik Ultrasonik hızların beton içinden geçiş hızı; alıcı ve verici arasındaki geçiş uzunluğunun geçiş süresine bölünerek, m/s cinsinden bulunmaktadır. Beton içindeki boşluklar hızı etkileyen en önemli faktördür. Zira boşluklu malzemede dalgalarının beton içinden geçişi yavaş olmaktadır. Hızların yüksek olması beton kalitesinin yüksekliğini, hızların düşük olması kalitenin düşük olduğunu göstermektedir. Beton kalitesi ile basınç dalga hızı (P) arasındaki ilişki Çizelge 3.1'de verilmektedir (Leslie ve Cheesman, 1950; Whitehurst, 1951b; Uyanık, 2012).

Çizelge 3.1. Sismik hızlara bağlı olarak beton kalite sınıflamasının karşılaştırılması (Uyanık vd., 2012).

Beton Kalitesi	Whitehurst (1951b)	Uyanık vd. (2011)	Uyanık vd. (2012)	
	Vp(m/s)	Vp(m/s)	Vp(m/s)	Vs(m/s)
Çok iyi	>4500	>4565	>4400	>2200
İyi	3650-4500	3515-4565	3450-4400	1750-2200
Orta	3050-3650	2930-3515	2900-3450	1500-1750
Zayıf	2000-3050	2110-2930	2150-2900	1150-1500
Çok zayıf	<2000	<2110	<2150	<1150

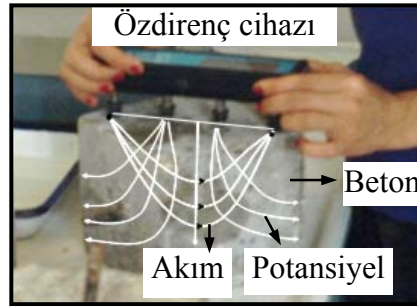
Yapı incelemelerinde beton ve donatıya zarar vermemek için hasarsız yapı inceleme yöntemleri ile desteklenerek karot alma sayısı azaltılmalıdır. Mevcut yapıların incelenmesinde kullanılan birçok yöntem vardır. Jeofizik yöntemler yapıya hasar vermeden kısa bir sürede ve yerinde ölçümler alınarak yapının durumu hakkında bilgi verir. Betonun dayanımı karot almak dışında ultrasonik yöntem ile yapıya hasar vermeden belirlenebilir (Uyanık, 2012). Bazı araştırmacılar beton kalitesinin belirlenmesinin yanında, dayanım tahmininde de bu tekniğin kullanılabileceğini ve ultrases dalga hızı ile beton dayanımı arasında iyi bir bağıntı olduğunu öne sürmektedirler (Jones ve Facaoaru, 1968; Elvery, 1976; Bellander, 1979; Feldman, 1977; Uyanık vd. 2012; Uyanık, 2014). Bu teknik ile yapılan beton dayanım tahminlerinde, daha önceden ultrasonik dalga hızı–dayanım ilişkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar, bu tür ilişkilerle beton dayanımının $\pm\%15-20$ 'lik hata ile tahmin edilebileceğini göstermiştir (Feldman, 1977; Murphy, 1979). Ancak günümüzde yapılan çalışmalarda bu hata oranı $\%3-7$ civarına düşmektedir (Subaşı vd., 2010a; Subaşı vd., 2010b).

Ultrasonik dalga hızı ile beton dayanımı arasında kurulan bu ilişkileri daha iyi anlayabilmek için betonun özelliklerini etkileyen birim kütle, yaş, su/çimento oranı, agrega/çimento oranı, agrega cinsi, nem yüzdesi ve donatı etkilerini iyi bilmek gerekmektedir. Araştırmacılar Ultrasonik dalga hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi beton yaşının, çimento cinsinin ve su/çimento oranının etkilemediğini, buna karşın beton birim kütlelerinin, agrega cinsinin, donatının ve nem oranının ise söz konusu ilişkiyi, kayda değer derecede etkilediğini göstermişlerdir (Orchard, 1979; Postacıoğlu, 1981).

3.2.1.2. Özdirenç yöntemi

Özdirenç (Resistivity) yöntemi olarak da bilinen doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi, arama jeofiziği'nde kullanılan başlıca jeofizik yöntemlerdendir. Bu yöntemde amaç, araştırılacak yapıyı elektrik özelliğine (özdirenç) göre haritalamaktır. Yöntem, maden, mineral, jeotermal enerji kaynağı ve petrol aramaları ile hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılır. DAÖ yöntemi; kuramı ve uygulamasının kolay olması, ölçü aletinin basit olması ve etkili sonuçlar vermesinden dolayı günümüze kadar yaygın olarak kullanılmıştır (Candansayar, 2010).

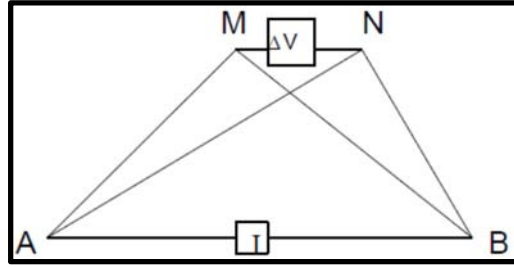
DAÖ ölçü düzeneği Şekil 3.10' daki gibi gösterilebilir. Bu düzende, bir akımölçer (current meter) ve bir gerilim farkı ölçer (voltage meter) gereklidir. Betonun yerinde ölçümleri için geliştirilmiş olan küçük bir gerilim farkı ölçer ile 4 elektrodlu Wenner dizilimine göre çalışan elektrodlar arası eşit olacak şekilde bir dizilim kullanılmaktadır. Dıştaki iki elektrodta (A ve B) akım verilerek içteki iki elektrodta (M ve N) potansiyel ölçümleri yapılmaktadır. Bu ölçümler tüm elektrodlar arasındaki uzaklığa ve ortamın yapısına bağlıdır. Ayrıca elektrodların temas ettiği yerde ölçülen gerilim farkını etkiler. Örneğin, akım elektrodları, iki çakıl arasına arasına sıkıştırılırsa, akım geçmez ve M ve N arasında gerilim farkı oluşmaz. Elektrodlardan birinin boşluğa denk gelmesi de yanlış sonuçlar elde edilmesine sebep olabilmektedir.



Şekil 3.17. Beton üzerinde elektrik özdirenç ölçümü

Elektrod beton yüzeyine dokundurulduğunda elektrodlar arasındaki akım verilmesi ve potansiyel ölçümü döngüsü elektronik kontrol ünitesinde yapılır. Elektrik iletkenliğini sağlamak amacıyla kullanılan elektronik temas sağlayıcı suya doymun bir köpük yastığından imal edilmiştir. Son zamanlarda üretilen RESI tipi direnç ölçer bu amaç

için önerilmektedir. Bu cihaz ile direnç değeri $k\Omega\text{cm}$ olarak verilmektedir. Ayrıca cihaz % olarak sonuçların güvenilirliğini de vermektedir (Simon ve Vass, 2012).



Şekil 3.18. Elektrod dizilimlerinin genel gösterimi(Candansayar, 2010)

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (3.22)$$

K, Geometrik faktördür.

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3.23)$$

Denklemden hesaplanan gerilim farkı elektrodlar arasındaki uzaklığa, uygulanan akıma (I) ve homojen ortamın öz direncine (ρ) bağlıdır. Fakat gerçekte beton homojen değildir ve ölçülen gerilim farkı (ΔV) kullanılarak (3.1) denkleminde hesaplanan öz direnç; Görünür Öz direnç (GÖ) olarak adlandırılır.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (3.24)$$

Öz direnç ölçümünde akım ve potansiyel elektrodlarının konumuna göre farklı dizilimler mevcuttur. Geometrik faktör K, dizilim türüne göre farklılık göstermektedir (Şekil 3.19).

<p style="text-align: center;">Wenner Alfa</p> <p style="text-align: center;">C1 P1 P2 C2</p> <p style="text-align: center;">• ← a → • ← a → • ← a → •</p> <p style="text-align: center;">$K = 2 \pi a$</p>	<p style="text-align: center;">Wenner Beta</p> <p style="text-align: center;">C2 C1 P1 P2</p> <p style="text-align: center;">• ← a → • ← a → • ← a → •</p> <p style="text-align: center;">$K = 6 \pi a$</p>
<p style="text-align: center;">Wenner Gamma</p> <p style="text-align: center;">C1 P1 C2 P2</p> <p style="text-align: center;">• ← a → • ← a → • ← a → •</p> <p style="text-align: center;">$K = 1.5 \pi a$</p>	<p style="text-align: center;">Pol - Pol</p> <p style="text-align: center;">C1 P1</p> <p style="text-align: center;">• ← a → •</p> <p style="text-align: center;">$K = 2 \pi a$</p>
<p style="text-align: center;">Dipol - Dipol</p> <p style="text-align: center;">C2 C1 P1 P2</p> <p style="text-align: center;">• ← a → • ← na → • ← a → •</p> <p style="text-align: center;">$K = \pi n(n+1)(n+2)a$</p>	<p style="text-align: center;">Pol - Dipol</p> <p style="text-align: center;">C1 P1 P2</p> <p style="text-align: center;">• ← na → • ← a → •</p> <p style="text-align: center;">$K = 2 \pi n(n+1)a$</p>
<p style="text-align: center;">Wenner - Schlumberger</p> <p style="text-align: center;">C1 P1 P2 C2</p> <p style="text-align: center;">• ← na → • ← a → • ← na → •</p> <p style="text-align: center;">$K = \pi n(n+1)a$</p>	<p style="text-align: center;">Dipol Dizilimler</p> <p style="text-align: center;">Pe1 • ← b → • Pe2</p> <p style="text-align: center;">a</p> <p style="text-align: center;">Pa1 • Pr2 •</p> <p style="text-align: center;">Pr1 • Pa2 •</p> <p style="text-align: center;">a</p> <p style="text-align: center;">θ</p> <p style="text-align: center;">C1 • ← b → • C2</p> <p style="text-align: center;">$K_r = \pi a^3 / b^2 \cos \theta$</p> <p style="text-align: center;">$K_e = 2 \pi a^3 / b^2$</p> <p style="text-align: center;">Pa1 Pa2 Azimutal Pr1 Pr2 Radyal Pe1-Pe2 Ekvatoriyel</p> <p style="text-align: center;">$K_a = 2 \pi a^3 / b^2 \sin \theta$</p>
<p>NOT: K= dizilim katsayısı C = akım P = gerilim a = aralık ; n = tam sayı=1,2,3</p>	

Şekil 3.19. Elektrod dizilimleri (www.itu.edu.tr)

Görünür öz direnç; yapının şekline, öz direncine ve kullanılan elektrod dizilimine bağlıdır. GÖ tanımlamasına göre; ortam homojen ve izotrop ise ölçülen GÖ ortamın öz direncine eşit olmalıdır. Tabakalı bir ortamda GÖ eğrisi $AB/2'$ nin küçük değerleri için birinci tabakanın öz direncine, $AB/2'$ nin büyük değerleri için son tabakanın öz direncine asimtot olmalıdır. Ayrıca GÖ, $AB/2$ nin ara değerlerinde de ara tabakaların öz direncine yakın olmalıdır (Başokur 1994). Ölçülen gerilim farkları, homojen ve izotrop ortama ait olmadığından bundan sonraki bölümlerde GÖ kavramı ($\rho_a = \rho$) kullanılacaktır.

Betonun elektrik direnci; gözeneklilik, nem ve gözeneklerdeki sıvının direnci (gözeneklerdeki suya tuzun bulaşması ile) büyük ölçüde etkilenir. Gözenekler erimiş tuz içeren su ile dolu olduğunda beton elektriksel olarak iletken hale gelir. Betondaki elektrik öz direnç su/çimento oranına (gözeneklerdeki iletkenlik), çimentonun hacmi ve tipine, sıcaklığa ve neme bağlıdır. Kullanılan betonun yaşına göre elektrik öz direnç

ve dayanıklılık arasında güçlü bir ilişki vardır. Ayrıca sıcaklığın betonun özdirenci üzerinde büyük etkisi vardır (Ferreira ve Jalali, 2006; Simon ve Vass, 2012).

Tahribatsız bir yöntem olan özdirenç ölçümü; çalışma alanındaki betonun kalitesinin belirlenmesinde kullanılan hızlı ve başarılı bir yöntemdir. Klorid difüzyonu arttıkça özdirenç artar, iletkenlik azalır. Düşük özdirençli bölge klorid girişine daha çok olanak sağlar ve korozyon oranı yükselir. Bir eşitlik yardımıyla 7 günlük betondan 28 günlük betonun özdirenci tahmin edilebilir. Yapılan çalışmalarda hata oranı yaklaşık % 5 olarak bulunmuştur (Ferreira ve Jalali, 2006). 4 nokta Wenner elektrod dizilimi ile hızlı ve geniş bir alanda ölçüler alınıp değerlendirilebilir (Şekil 3.20). Elektrik özdirenç ile difüzyon katsayısı, geçirimsizlik katsayıları, kılcal emilim ve gözeneklilik gibi dayanıklılık göstergeleri ile iyi bir ilişkilendirme yapılabilir. Böylece yapıdaki geniş alanlar dolaylı yoldan ölçülmüş olur. Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak özdirencin belirlenmesi modern tasarımların dayanıklılık değerlerinin belirlenmesinde kullanılabilir (Ferreira ve Jalali, 2006; Lim vd., 2011).



Şekil 3.20. Özdirenç cihazı ve ölçüm alımı

Özdirenç, korozyon ve donatı demirinin konumu betonun dayanıklılığı ile sık sık ilişkilendirilmektedir (Şengül vd., 2008; Ferreira ve Jalali, 2010). Betonda çimento hamurundaki sıvı, gözenekler boyunca akar. Betonun elektrik özdirenci; çimento bileşimindeki mikro yapı ve onun gözenek yapısı, gözenekliliği ve gözenek boyutunun dağılımı ile ilgilidir. Bu özellikler betondaki çimento hamurunun hidrasyon derecesiyle kontrol edilir. Çimento kimyası, çimento bileşeni, su/çimento oranı ve ilave olarak kullanılan çimentolanma materyalleri ve karışımlarının kullanımı betonun içerisindeki gözeneklerdeki çözelti kimyasını ve böylece özdirencini etkiler. Betonun

özdirenci betonun nem içeriği, sıcaklık ve beton kalitesinin etkisiyle (bileşimi, çimento tipi vs.) $1 - 10^4$ k Ω cm gibi geniş bir aralıkta değişebilir. Özdirenç ne kadar yüksek ise donatı demirinin anot katot bölgeleri arasında korozyon akımının geçişi o kadar düşük olur (Çizelge 3.2 ve 3.3). 4 elektrod diziliminde test sırasında düşük frekanslı alternatif akım dıştaki iki elektrodta verilerek içteki iki elektrodta voltaj düşümü ölçülür. Elektrod aralığı 50 mm, AC, 40Hz ve Empedans, 10 $\mu\Omega$ olan cihazda ölçüler $0-99 \pm 1$ k Ω cm ölçülür. Ölçüler her yüzeyde dikey olarak alınır (Silva vd., 2011).

Çizelge 3.2. Elektrik özdirenç ve korozyon riski arasındaki ilişki-1 (Bungey, 1989; ACI Committee, 2001).

ρ_a (kΩcm)	Korozyon riski
> 20	Düşük
10-20	Düşük-orta
5-10	Yüksek
< 5	Çok yüksek

Çizelge 3.3. Elektrik özdirenç ve korozyon riski arasındaki ilişki-2 (Feliu vd., 1996).

ρ_a (kΩcm)	Korozyon riski
100-200	İhmal edilebilir, Beton çok kuru
50-100	Düşük
10-50	Donatı durumuna göre orta-yüksek
< 10	Özdirenç korozyon oranını denetleyemiyor

Betondaki elektrik özdirenç önemli bir şekilde nem içeriğine ve çevresel etkilere bağlıdır. Yukarıdaki sonuçlar sınır değerlerin dışındaki verilerde geçerli değildir. Sadece % 100 nem içeriği olan suya doymuş beton için geçerlidir. Korozyon nedeniyle beton içerisindeki donatıda oluşan hasarlar kapsamlı olarak değerlendirilebilir ve bu durum betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir. Sonuçların değerlendirilmesine göre betondaki nem içeriği, çevrenin durumu, doymuş çözeltinin iletkenliği, klorid ve diğer korozyon oluşturabilecek materyallerin varlığı dikkate alınmalıdır (Silva vd., 2011).

Beton tabakanın özdirenci, bir elektrolit gibi davranabilme ve korozyon akımlarını iletme kapasitesinin ölçüsüdür. Korozyon olasılığı, potansiyel testler yapıldığı zaman özdirencin korozyon oranına bölünmesiyle tahmin edilebilir (RILEM Committee TC56, 1988). Malzemenin özdirenci; L, boy ve A, alan olmak üzere kübik bir birimin

özdirenci olarak tanımlanır. En çok kullanılan özdirenç ölçümleri iki paralel elektrod arasında I alternatif akımının geçirilmesi ile yapılır. O zaman malzemenin potansiyel farkları ölçülebilir.

Beton üzerinde özdirenç ölçümleri yapılırken ortaya çıkan en önemli problemlerden biri betonun özelliklerinin çevredeki değişikliklerden etkilenmesidir. Betonun özdirencini etkileyen bu faktörler:

a. Nem içeriği: Betondaki nem oranı arttıkça özdirenç değeri azalır. Özellikle yerinde yapılan ölçümlerde nem durumundaki değişimler okumalarda çok büyük bir etkiye sahiptir. Buna rağmen, betonun dış kısmındaki nem değişimleri sonuçları önemli bir şekilde etkilemez. Bu nedenle elektrik özdirenç yöntemi betonun doygunluğunun belirlenmesinde dolaylı bir ölçüm yöntemidir.

b. Sıcaklık: Beton elektrolitik özelliklere sahiptir. Bu yüzden sıcaklık azaldıkça özdirenç artacaktır. Özellikle ölçümler farklı mevsimlerde alındığında bu etkiye dikkat edilmelidir. Çünkü kış mevsiminde alınan ölçümler yaz mevsiminde alınan ölçümlerden daha yüksek özdirenç değerine sahiptir.

c. Klorid içeriği: Betonun içinde klorid ya da diğer herhangi bir inorganik bileşiğin var olması özdirenç değerinde belirli bir düşüğe neden olmaktadır.

d. Karbonatlaşma: Beton içerisinde kalsiyum karbonatlarının oluşması genellikle bir sıkılaştırmaya neden olduğu için özdirençte bir artış meydana gelir.

e. Çimento tipi: Sıradan Portland çimentosuyla karşılaştırıldığında uçucu kül, cüruf ya da silis dumanı içeren karışık çimentolarda bu maddeler genelde özdirençte bir artışa neden olur.

f. Su / Çimento oranı: S/Ç oranının artması ile iletkenlik artacağından özdirenç azalır.

g. Agregat tipi: Agregat tipinin etkisi genel olarak önceden belirlenemez. Etki agreganın doğasına ve gözenekli yapısına bağlı olarak değişir. Agreganın gözenekliliği özdirenç değerini düşüren bir etmendir (NEA/CSNI/R, 2002).

Özdirenç yönteminde veri toplama işlemi özdirenç aletleriyle çok kısa sürede ve kolayca yapılabilmektedir. Ekipman oldukça ucuzdur ve ölçümler hızlı bir şekilde alınabildiği için zaman kaybı olmaz. Yapılan çalışmalarda amaca ve hedef yapıya göre farklı elektrot dizilimleri kullanılabilir. Ayrıca yöntem, doğal potansiyel yöntemi gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığında çok daha yararlı olabilir. Yöntemin bu

avantajlarına karşılık bazı dezavantajları da vardır. Özellikle ölçüm cihazının konumu, uzunluğu ve ölçü noktalarının yerleri de özdirenç ölçümlerini etkilemektedir. Bu nedenle bunların seçimi oldukça önemlidir. Beton çimento ve agregalardan yapılmaktadır ve bu malzemeler farklı özdirenç değerlerine sahiptir. Bu nedenden dolayı elektrotlar arası mesafe yeteri kadar büyük olmalı ki ölçülen değer betonun özdirençini ortalama olarak simgelesin. Yöntem, yüzey özdirenç ve nem oranı çok yüksek olan alanlarda hatalı sonuçlar verebilmektedir (Carino, 1999).

3.2.2. Tahribathı test yöntemi

3.2.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı, beton dayanımının belirlenmesinde direkt yöntemdir. Ancak bu işlem yapılırken yapıya hasar verilmektedir. Mevcut yapılardan çeşitli büyüklükte karot numuneler alarak yürürlükte bulunan standartlara göre tek eksenli basınç dayanımları belirlenmektedir. Yapıdan karot numune alınarak basınç deneyinin yapılması ve değerlendirilmesi mevcut yapının beton kalitesi hakkında bir takım bilgiler elde etmemizi sağlayacaktır. Deneyde hidrolik pres tablaları arasına yerleştirilecek örneğin alt ve üstüne çapı örnek çapı kadar ve kalınlığı yarıçap kadar olan demir aparatlar yerleştirilir.

Bu şekilde, yükün örnek üzerine homojen şekilde dağılması sağlanmaktadır. Kırılmaya bırakılan numunenin kırıldığı andaki tatbik edilen yük P, numunenin yüzey alanı A ise, tek eksenli basınç dayanımı;

$$(\sigma_b)=P/A \quad (3.25)$$

şeklinde bulunur (Şekil 3.21). Küp numuneler, basınç dayanımı testi esnasında döküm yönüne dik olan kenarları deney makinesinin plakalarına temas edecek şekilde yerleştirilir. Beton içerisindeki boşluklar ve tabaka yüzeylerine dik veya paralel doğrultuda gelen gerilmeler ile basınç dayanımı değişmektedir. Boşluk gibi süreksizlik yüzeylerine dik doğrultuda elde edilen mukavemet, paralel doğrultuda elde edilen mukavemetten daha fazladır (Köse ve Kahraman, 1999).



Şekil 3.21. Tek eksenli basınç deneyi cihazı

Betonun basınç dayanımı, yükleme hızındaki değişimlerden etkilenmektedir. Beton örneğe uygulanan gerilmenin uygulama hızı azaldıkça (yük daha uzun bir süreyle uygulandıkça) numune daha küçük bir gerilme altında kırılmaktadır. Diğer bir deyişle, düşük yükleme hızı uygulanan numunelerden elde edilen basınç dayanımı daha düşük olmaktadır. Bu durum yükün örnek üzerinde daha uzun süre kalması nedeniyle bir miktar sünme yapmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan yüksek yükleme hızı uygulanan örnekler daha büyük bir yük altında kırılmakta, yani daha yüksek basınç dayanım değeri elde edilmektedir (Erdoğan, 2010; Felekoğlu ve Türkel, 2004).

Bu çalışmada zamana bağlı basınç dayanımlarının değişimini gözlemlemek amacıyla 7., 28. ve 90. günlerde üçer adet numunenin tek eksenli basınç dayanımları ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Numunelere uygulanan yükleme hızı TS EN 12390-3 (2003)'e uygun olarak 150x150x150 mm küp numuneler için ortalama 13.5 kN/s (0.6±0.2 MPa/s) olarak uygulanmıştır. Beton basınç dayanımının elde edilmesinde 150x150x150 mm'lik donatılı ve donatısız küp numuneler kullanılmıştır. Beton, küp kalıpların içerisine iki katmanda doldurulur ve her bir katman bir vibratör vasıtasıyla veya çelik bir çubukla sıkıştırılmıştır. İçi beton dolu olan donatılı ve donatısız numuneler 24 saat priz almaları için bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak su ve hava kürüne tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanımları elde edilirken içerisinde 10, 14 veya 20 mm çapında bir adet donatı bulduran numunelerdeki donatı yan yüzeye gelecek şekilde tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır.

3.2.3. Sinyal analizi

3.2.3.1. Fourier dönüşümü

Fourier Dönüşümü matematiksel bir yöntemdir. Bu dönüşüm sürekli olarak tanımlanır ve fonksiyonların sürekli olarak kabul edildiği durumlarda uygulanır. Jeofizik ve diğer dallarda örneklenmiş sinyalleri zaman ortamından frekans ortamına dönüştürmek için kullanılmaya başlanmıştır (Alp vd., 2008). Jeolojik olaylar ve jeofizik veriler temelde durağan olmayan farklılıklar göstermektedirler. Bu nedenle sismik izin zaman-frekans tanımı jeofizik verilerin analizi için kullanışlıdır (Allen, 1977).

Bilindiği gibi jeofizik sinyaller genellikle zaman ve uzay ortamında tanımlanmaktadır (gravite, manyetik, sismik vb. gibi). Verilerin analiz edilebilmesi için frekans/dalga sayısı ortamına taşınması oldukça önemlidir. Zaman ve uzay ortamında kolaylıkla ayırt edilemeyen olaylar frekans ortamında daha rahat bir şekilde gözlenebilmektedir (Pınar ve Akçığ, 1995). Jeofizik verilerin spektral analizinde çok çeşitli dönüşüm yöntemi yer almaktadır. Bu dönüşüm yöntemlerinden en yaygın kullanılanları Fourier, Lablace, Henkel, Hilbert ve Z dönüşümüdür. Fourier dönüşümü jeofizik uygulamalar bakımından oldukça önemli bir yere konabilir (Yılmaz, 1987). Zaman ortamında gözlenmiş verilerin frekans ortamına aktarılması ile elde edilen verilere spektrum adı verilir. Zaman ortamındaki enerji veya genlik gibi büyüklüklerin frekans ortamında, frekans veya dalga sayısı gibi parametrelere göre değişimini belirtmek için kullanılır. Matematik olarak $F(t)$ şeklinde gösterilen bir sinyalin spektrumu $F(\omega)$ ile verilir. Buradaki ω açısal frekanstır (Türkoğlu, 2010).

Zaman-frekans ayrıştırılmaları zaman ve frekansın 2B sinyal haline 1B sinyalleri eşleştirmekte ve sinyalin spektral içeriğinin zamanla nasıl değiştiğini açıklamaktadır. Zaman-frekans analizi; sönüm ölçümü (Reine vd., 2009), doğrudan hidrokarbon algılama (Castagna vd., 2003), ve stratigrafik haritalama (Partyka vd.,1998) dahil olmak üzere sismik verilerin işlenmesinde ve yorumlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Zamansal ve spektral çözünürlük arasında bir alışverişe yol açan veri penceresinin Fourier dönüşümünün alınması ile yaygın olarak kullanılan kısa zaman Fourier yöntemi bir zaman frekans spektrumu üretmektedir (Cohen,1995). Zaman

frekans dağılımlarını oluşturmak için birçok farklı yöntem olduğundan, bunları yapılarına ve özelliklerine göre sınıflandırmak faydalıdır:

1. Doğrusal zaman frekans dağılımları
2. Karesel zaman frekans dağılımları

Doğrusal zaman frekans dağılımlarına Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) ve Dalgacık Dönüşümü (DD) örnek olarak verilebilir. Karesel zaman frekans dağılımlarına spektrogram, skalogram (DD'nin genliğinin karesi), Wigner Dağılımı (WG) ve genel olarak Cohen sınıfı zaman frekans dağılımları örnek olarak verilebilir (Çekiç, 2004).

Periyodik bir sinyal, çeşitli genlik ve frekanstaki birçok sinüs ve kosinüs sinyalinin toplamı şeklinde ifade edilebilir. Bu şekilde elde edilen seri Fourier serisi olarak adlandırılırken, serinin elemanları Fourier bileşenlerini göstermektedir. Fourier serisi elde etme işlemi Fourier analizi olarak adlandırılır. Fourier dönüşümü, zaman alanındaki bir işaretin frekans içeriğini analiz etme ve belirleme amacıyla birçok mühendislik biliminde etkili bir şekilde kullanılan yöntemdir. Dönüşüm, ilk olarak tanım alanı zaman olan bir fonksiyonun, tanım alanı frekans olan bir fonksiyona dönüştürülmesi ile başlar. Bundan sonra sinyalin frekans içeriği incelenebilir. Dönüştürülen fonksiyonun katsayıları, her bir frekans değerine karşılık sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının katsayılarını temsil eder. Ters Fourier Dönüşümü ile verinin frekans alanından zaman alanına dönüştürülmesi gerçekleştirilir (Yiğit, 2010).

Fourier dönüşümünde, ölçüm sinyali farklı frekanslara sahip sinüsler cinsinden ayrıştırılmaktadır. Bu dönüşüme göre farklı frekansa sahip olan her bir sinüs bir sinyal bileşenidir. Dalgacık dönüşümünde ise ölçüm sinyali ana dalgacığın farklı zaman ve frekans ölçeklerindeki halleri cinsinden yazılmaktadır (Daubechies, 1990).

Zaman ortamındaki bir dizi genlik değeri ile anlatılan bilginin frekans ortamındaki gösterimi, genlik ve faz spektrumu ile olur. Genliklerin frekansın fonksiyonu olarak gösterilişine “genlik spektrumu” ve yine faz açılarının frekansın fonksiyonu olarak gösterilişine ise “faz spektrumu” denir. Genliklerin karelerinin frekansın fonksiyonu olarak gösterilişine “güç yoğunluğu spektrumu” denir ve zaman dizisinin öz ilişkisi

fonksiyonunun Fourier dönüşümüne eşdeğerdir. Fourier dönüşümü tamamıyla doğrusal bir işlemdir. Yani, ortamlardan birinde (zaman veya frekans) yapılan bir işlemin diğer ortamda mutlaka bir karşılığı vardır. Bilginin her iki ortamdaki anlatımları eşit kesinliktedir. Ancak bazı işlemlerin gerçekleştirilmesi ortamlardan (domain) birinde diğerine göre daha kolay olabilir (Türkoğlu, 2010).

Sismik dalgaların frekans içerikleri zamana göre değişim gösterir. Sismik sinyallerin yapısını daha iyi anlayabilmek için sinyallerin sadece zamanla değişimini incelemek yetmemektedir, aynı zamanda sinyalin frekans içeriği özelliğini anlamak açısından önemli bir bileşendir. Fakat frekans ortamındaki sinyalin frekans genliklerinin hangi zaman aralıklarına denk geldiği anlaşılabilir. Fourier Dönüşümü (FD), zaman ortamındaki bir sinyali frekans ortamına aktarır. Diğer bir deyişle, herhangi bir sinyalin, frekansa karşılık genlik ve faz bilgisine ayrıştırılmasıdır (Cohen, 1989; 1995; Türkoğlu, 2010). Matematik olarak, $f(t)$ şeklinde gösterilen bir sinyalin spektrumu $F(\omega)$ ile verilir.

$$f(t) \xrightarrow{FFT} F(\omega) \quad (3.26)$$

ω : açısal frekanstır.

Fourier Dönüşümü (gerçel-sanal bileşen cinsinden)

$$F(\omega) = a(\omega) - ib(\omega) \quad (3.27)$$

Fourier Dönüşümü (genlik-faz cinsinden)

$$F(\omega) = |F(\omega)|e^{i\phi(\omega)} \quad (3.28)$$

şeklinde tanımlanabilmektedir. Burada genlik spektrum

$$|F(\omega)| = [a^2(\omega) - b^2(\omega)]^{1/2} \quad (3.29)$$

faz spektrumu ise

$$\phi(\omega) = \tan^{-1} \frac{-b(\omega)}{a(\omega)} + 2n\pi \quad n = 0, \mp 1, \mp 2, \dots \quad (3.30)$$

şeklinde tanımlanabilmektedir.

Sinyalin tamamına FD uygulanırsa sinyalin frekans bileşenleri bulunabilir fakat bu bileşenlerin hangi zamanlara ait olduğu bilinemez. Bunun yerine sinyalin başlangıcından itibaren belirli aralıklarla FD alınıp frekans bileşenleri elde edilirse sinyalin aynı zamanda, zamana bağlı frekans değerleri de elde edilmiş olur (Gabor, 1946).

Fourier dönüşümü ile elde edilen genlik spektrumları, analiz edilen dalganın bileşenlerinin frekans içeriğini ve dalganın hangi bileşeninin genliğinin büyük olduğunu gösterir. En büyük genliğe karşılık gelen frekans incelenen dalganın baskın frekansı olarak tanımlanır. Güç spektrumu genlik spektrumunun karesi olduğu için 1'den büyük genlikler büyütülürken, 1'den küçük genlikler küçültülmüş olacaktır. Böylece büyük genlikler daha belirgin hale gelecektir. En büyük genlik yine baskın frekansı temsil edecektir.

3.2.3.2. Zaman-frekans analizi

Zeminlerin litolojik özelliklerinden sıkı zeminler yüksek frekanslı sismik sinyalleri, gevşek zeminler alçak frekanslı sismik sinyalleri geçirme özellikleri nedeni ile zemin ya da kayalar doğal filtre özelliğine sahiptirler (Keçeli, 2015). Betonun da yapay bir kaya olduğu düşünülürse mukavemeti yüksek betonlar yüksek frekanslı sismik sinyalleri, mukavemeti düşük olanlar ise alçak frekanslı sismik sinyalleri geçirme özelliğine sahiptir. Bu durumda, beton numunelerin özellikleri sismik sinyal frekans spektrumu özellikleri ile ayırt edilebilir. Farklı spektrum elde edilmesi betonun heterojen olmasından kaynaklanabilir. Zaman ya da frekans ortamında sinyalin analizi önemlidir. En iyi zaman çözünürlüğü zaman ortamından elde edilir, ancak frekans kavramı ile ilgili herhangi bir bilgi vermez. Frekans ortamı en iyi frekans çözünürlüğüne sahiptir ancak sinyali oluşturan frekansların zamansal lokalizasyonunu tespit edilemez (Dliou vd., 2012).

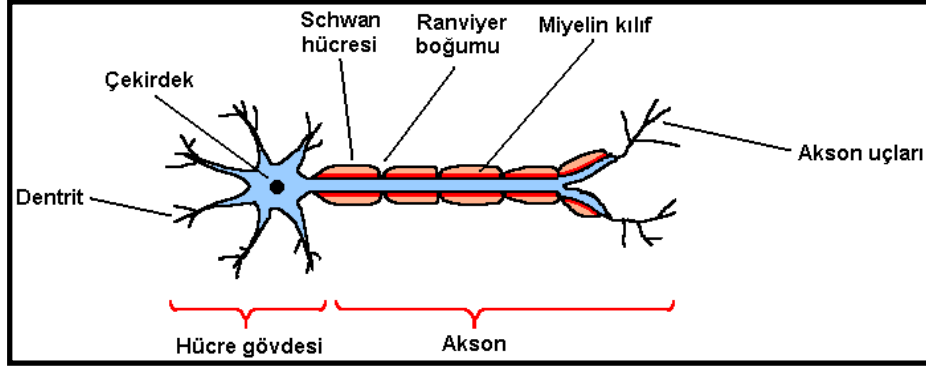
Hem zaman ortamında hem de frekans ortamında sınırlı fonksiyonlar kullanılarak sinyalin analizi yapılırsa, zaman ve frekans düzlemlerinde sinyal daha iyi incelenebilir. Bunun için Zaman- Frekans analizi yöntemi geliştirilmiştir. Zaman-Frekans analizi durağan olmayan sinyallerin zamanla değişen frekans bileşenlerini incelemek veya

güç dağılımını kestirmekte kullanılan bir yöntemdir (Cohen, 1989; 1995). Zaman-Frekans Düzleminde sinyal, hem zaman ortamında hem de frekans ortamında tanımlanmış olacaktır. Zaman-frekans dağılımları, sabit olmayan sinyaller ve veri işlem için uygun bir yöntemdir. Zaman- Frekans Analizi, bir boyutlu sinyali, zamanın ve frekansın fonksiyonu olarak iki boyutlu hale dönüştürme işlemidir ve sinyalin spektral bileşeninin zamanla nasıl değiştiğini tanımlamaktadır. Zaman-frekans analizi doğrusal ve karesel yöntemler olarak ikiye ayrılır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda deprem kayıtlarının incelenmesinde çeşitli zaman-frekans analizi yöntemleri kullanılmaktadır (Huerta-Lopez vd., 2000; Demetriu ve Trandafir, 2003; Fan ve Dong, 2009; Bayrak vd. 2011).

Zaman-Frekans (ZF) analizinin genel amacı, bir işareti oluşturan bileşenlerin her birini zaman frekans düzleminde iyi bir çözünürlükte göstermek olarak özetlenebilir. Son yıllarda, ultrasonik ölçümlerin sinyal analizi, ilgilenilen fiziksel bilginin belirlenmesinde çok önemli bir yöntem olmaya başlamıştır (Malinaric ve Kostial, 1998). Zaman frekans analizi, ultrasonik sinyalin analizi için kullanılan veri-işlem yöntemlerinden birisidir. Ultrasonik puls yöntemiyle elde edilen sinyaller, zaman-frekans analizi ile değerlendirilmektedir. Her bir numune için elde edilecek olan sinyallerin Fourier spektrumları alınarak, zaman ortamındaki veriler frekans ortamına aktarılır ve zaman ortamında göremediğimiz bazı özellikler belirlenebilir. Materyaller içerisindeki süreksizliklerden yansıyan sinyaller, süreksizliğin boyutu ve yeri hakkında bilgi sağlamaktadır (Saka vd., 1989; Babacan vd. 2012).

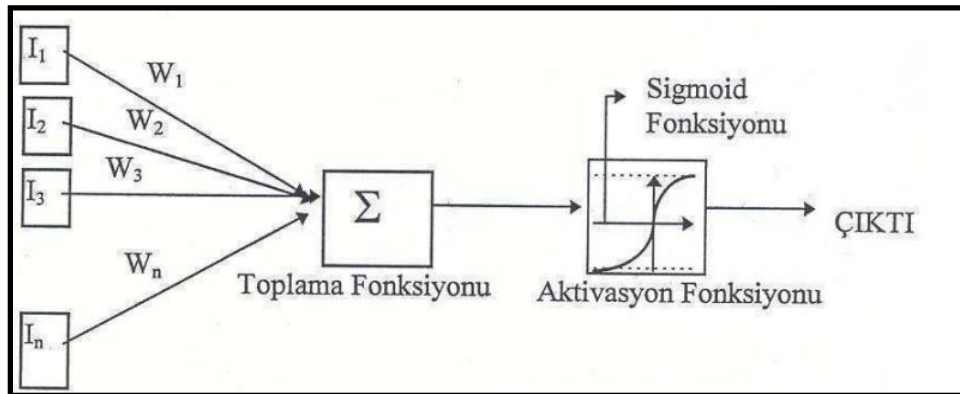
3.2.4. Yapay sinir ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, insan beynindeki nöronlara (işlem elemanı) benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanması ile oluşan kompleks sistemlerdir (Elmas vd., 1998). Biyolojik bir nöron 4 ana kısımdan oluşmaktadır. Şekil 3.22’de biyolojik bir sinir hücresi verilmiştir. Biyolojik sinir hücresi, bir çekirdek, gövde ve iki uzantıdan oluşmaktadır. Bunlardan kısa ve dallanmış olan dentrit giriş bilgilerini alır, uzun ve tek olan akson ise çıktı bilgilerini diğer sinir hücrelerine taşır. Akson ve dentritin birleşim yerine sinaps adı verilir. Bunlar sinir hücrelerinden aldığı sinyalleri değerlendirirler ve eşik değeri üzerinde bir girdi varsa bir sonraki hücreye iletirler.



Şekil 3.22. Biyolojik sinir hücresi ve çalışma prensibi (www.biyodoc.com).

Yapay Sinir Ağları (YSA) ise, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağlarında yeterli miktarda giriş ve çıkış parametresinin olması gerekir. Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi YSA'nın da yapay sinir hücreleri vardır (Terzi ve Karaşahin, 2004). Biyolojik sinir sistemi ile YSA sinir sistemi karşılaştırıldığında nöron işlem elemanına, dentrit toplam fonksiyonuna, sinapslar ağırlıklara, akson nöron çıktısına ve hücre yapısı transfer fonksiyonuna karşılık gelmektedir. Her yapay sinir hücresi girdiler (X_n), ağırlıklar (W_n), toplam fonksiyonu (Σ), transfer fonksiyonu $F(\Sigma)$ ve çıktı (y) olmak üzere beş ana kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.23) (Tsoukalas ve Uhrig, 1997; Kızılkcan vd., 2006).



Şekil 3.23. Bir biyolojik nöronun hesaplama modeli (Elmas vd., 1998).

YSA günümüzde birçok probleme çözüm üretebilecek yeteneğe sahiptir. YSA yöntemi, geleneksel istatistiksel yöntemlerden tahmin açısından daha iyi sonuçlar elde ettiğinden beton dayanımının tahmininde YSA'nın tercih edilmesi gerektiği düşünülmüştür. Özellikle son yirmi yılda YSA yöntemi inşaat mühendisliğinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Flood, 1989; Cladera ve Mari, 2004; Zhao vd., 2005; Chiang ve Yang, 2005; Yüzer vd., 2007; Hajela ve Berke, 1991; Rogers, 1994; Ghaboussi ve Joghataie, 1995). Bunun dışında bazı araştırmacılar tasarımlardaki karışım oranları ve beton dayanımının tahmin edilmesinde yeni bir yöntem olarak YSA yönteminin kullanılmasını önermişlerdir (Kasperkiewicz vd., 1995; Oh vd., 1999; Nehdi vd., 2001).

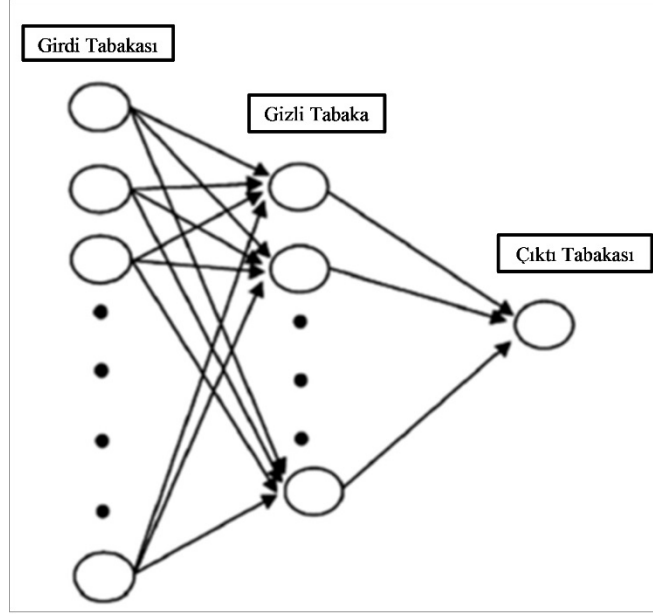
YSA'ların bazı temel avantajları şöyle sıralanabilir: (1) YSA modelleri, girdi verilerinin hatalı veya eksik olması durumlarında bile anlamlı sonuçları örneklerden ve tecrübelerden öğrenir ve genelleştirme yapar; (2) YSA modelleri zamanla yeni çözümlere uyarlanabilir ve değişen koşullardan dolayı oluşan değişiklikleri telafi edebilir; (3) YSA modelleri geçmiş tecrübelerden iyi ve güvenli teorik, deneysel veya ampirik verileri veya bunların kombinasyonlarını değerlendirebilir (Rafiq vd., 2001). Uygulamalarda sıklıkla kullanılan algoritmalar ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı algoritmalarıdır. İleri doğru hesaplama aşamasına, yukarıda özetlendiği gibi girdi katmanındaki girdilerin ağa sunulması ile başlanmaktadır. Gizli katman sayısı için genel olarak bir ölçüt yoktur ve genellikle deneme yanılma bulunur (Hopfield ve Tank, 1985). Gizli katmandaki her hücre girdi katmanından gelen girdileri bağlantı ağırlıkları ile almakta ve gizli katmandaki hücelere gelen net girdiler hesaplanmaktadır. Bu net girdi değerlerinin belirlenen bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle gizli katman elemanlarının çıktıları hesaplanabilmektedir. Bu işlem tüm gizli katman ve çıktı katman elemanları için tekrarlanmakta; çıktı katmanının tüm çıktıları belirlendiğinde ileri hesaplama aşaması tamamlanmaktadır. Bununla birlikte yapay sinir ağı modellerinde ağın genelleyebilme yeteneğinin değerlendirilebilmesi açısından ağın girdi ve çıktı değerlerinin hepsi kullanılmamakta, belli bir kısmı eğitim, belli bir kısmı ise test safhalarında değerlendirilmektedir (Haykin, 1994; Öztemel, 2003). Geriye doğru hesaplama aşamasında ise ağın ürettiği çıktı değerleri beklenen çıktı değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Çıktı ile beklenen değerler arasındaki fark yapay sinir ağı modellerinde hata olarak adlandırılmakta ve geriye yayılım aşamasında bu hatanın kabul edilebilir düzeye indirilebilmesi ağın ağırlık ve eşik (bias)

değerlerinin iteratif olarak değiştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Böylece başlangıçta rastgele atanan ağırlıklar hata istenen sınırlara ulaşmaya kadar güncellenmektedir. Bu yapay sinir ağı modellerinde hata kareler toplamı veya ortalaması hesabına dayalı performans (amaç) fonksiyonu ile gerçekleştirilebilmektedir (Rumelhart vd., 1986).

İleri yönlü geri yayılma algoritmasında iki temel akış vardır. Bunlardan birincisi ağırlıklar üzerinden ileriye doğru olan bilgi akışı, ikincisi ise geriye doğru olan hatanın yayılmasıdır. İleriye doğru olan akışta bağlantı katsayıları kullanılarak girişlere karşı çıkışlar elde edilir. Geriye doğru olan akışta ise gerçek çıkışlar ile hesaplanan çıkış değerleri yardımıyla elde edilen hatanın geriye doğru yayılarak ağırlıkların değiştirilmesi sağlanır (Şen, 2004).

Çok tabakalı ileri beslemeli YSA modelinde girdi, çıktı ve gizli katmanlar bulunmaktadır (Şekil 3.24). Girdi katmanı; giriş veri gruplarının ağına sunulduğu terminallerdir. Bu katmanda nöron sayısı, giriş veri sayısı kadardır ve her bir giriş nöronu bir veri alır. Burada veri, işlenmeden bir sonraki katman olan gizli katmana geçer. Gizli katman; ağırlıkların temel işlevini gören katmandır. Bazı uygulamalarda ağıda birden fazla gizli katman bulunabilir. Gizli katman sayısı ve katmandaki nöron sayısı, probleme göre değişir. Bu katman; giriş katmanından aldığı ağırlıklılandırılmış veriyi probleme uygun bir fonksiyonla işleyerek bir sonraki katmana iletir. Bu katmanda gereğinden az nöron kullanılması giriş verilerine göre daha az hassas çıkış elde edilmesine sebep olur. Aynı şekilde gerektiğinden daha çok sayıda nöron kullanılması durumunda da aynı ağıda yeni tip veri gruplarının işlenmesinde zorluklar ortaya çıkmaktadır.

Çıktı katmanı; YSA'nın en uç katmanıdır. Gizli katmandan aldığı veriyi ağına kullandığı fonksiyonla işleyerek çıktısını verir. Çıkış katmanındaki nöron sayısı, ağına sunulan her verinin çıkış sayısı kadardır. Bu katmandan elde edilen değerler YSA'nın söz konusu problem için çıkış değerleridir. Bir geri yayılımlı ağı modelinde; bir katmandan bir başka katmana, aradaki katmanı atlayarak geçebilmek mümkün değildir (Hagan vd., 1996).



Şekil 3.24. Çok tabakalı ileri beslemeli YSA modeli (www.kod5.org).

3.2.4.1. Çapraz geçerlilik tekniği

Sınırlı sayıda veri bulunması durumunda çapraz geçerlilik (cross validation) yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde veriler rasgele eşit iki parçaya ayrılır. İlk olarak birinci parça üzerinden model tespiti, ikinci parça üzerinden test işlemi; daha sonra da ikinci parça üzerinden model tespiti, birinci parça üzerinden test işlemi yapılarak hata oranlarının ortalaması kullanılır. N-katlı çapraz geçerlilik yönteminde ise veriler n parçaya ayrılır ve çapraz geçerlilikte uygulanan yöntem n parça için uygulanır. n gruptan bir tanesi test için, kalan n-1 tanesi model tespiti için kullanılır (Lee vd., 2007). Yapay sinir ağları yöntemiyle zaman serilerinde öngörü elde etmeyi aşağıda verildiği gibi 7 adımda özetlemek mümkündür.

1. Aşama: Veriler normalizasyon yapılmak üzere [0,1] aralığına dönüştürülür.
2. Aşama: Veri organizasyonu yapılırken eğitim ve test kümelerinin büyüklüğünün veri kümesinin yüzde kaç olacağına karar verilir. Genelde verinin %10 veya %20'si, test kümesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada daha güvenilir sonuçlar ürettiğinden çapraz geçerlilik (cross validation) tekniğine göre test verileri ayrılmıştır.
3. Aşama: Modelleme yapılması amacıyla girdi sayısı, gizli tabaka sayısı, gizli tabakadaki birim sayısı ve çıktı tabakasındaki birim sayısı, bu birimlerde

kullanılacak aktivasyon fonksiyonu, öğrenme algoritması ve bu algoritmanın parametreleri ve performans ölçütü belirlenerek, kullanılacak YSA modeli kurulur.

4. Aşama: YSA'nın girdi değerleri gecikmeli zaman serileridir. X_t , zaman serisi için girdi değerlerini oluştururken, girdi tabakasındaki birim sayısı n ile gösterildiğinde; n tane gecikmeli zaman serisi $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-n}$, şeklinde oluşturulur.
5. Aşama: Eğitim grubu üzerinden, seçilen öğrenme algoritması ile en iyi ağırlık değerleri bulunur. Elde edilen en iyi ağırlık değerleri kullanılarak, kurulan YSA modelinin çıktı değerleri hesaplanır.
6. Aşama: YSA'nın test grubu tahminleri elde edilir. Adım 5'te elde edilen çıktı değerlerine ve bu adımda elde edilen değerlere, başlangıçta uygulanan normalizasyonun tersi uygulanır. Bu dönüşüm sonucu elde edilen değerler sırasıyla, eğitim grubu tahminlerini ve test grubu tahminlerini oluşturur. Test grubunun tahminleri ile test grubundaki verilerin arasındaki farka dayalı olarak, seçilen performans ölçütü hesaplanır. Literatürde en yaygın kullanılan performans ölçütlerinden biri aşağıda Hata Kareler Ortalaması Karekök (Root-Mean Square Error) (RMSE) değeridir.
7. Adım 5'te bulunan en iyi ağırlık değerleri kullanılarak, test grubundaki verilerle beton dayanımının tahmini elde edilir.

4. VERİLERİN OLUŞTURULMASI

En düşük 3.2kg en yüksek 60kg çimento kullanılarak 13 adet beton karışımı hazırlanmıştır (Çizelge 4.1). (T: tasarım olmak üzere; T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T13)

Çizelge 4.1. Çimento dozajına bağlı olarak hazırlanan beton karışım tasarımları.

Tasarımlar	Çimento Dozajı (kg)	Tasarımlar	Çimento Dozajı (kg)
T1	3.2	T8	20
T2	4	T9	24
T3	6	T10	28
T4	8	T11	32
T5	12	T12	40
T6	16	T13	60
T7	18		

Hazırlanan beton karışımlarından 500 (kg) doz çimento için tasarlanıp laboratuarda 40 dm³ için düzeltilmiş miktarları gösteren karışım örneği Çizelge 4.2 'deki gibidir.

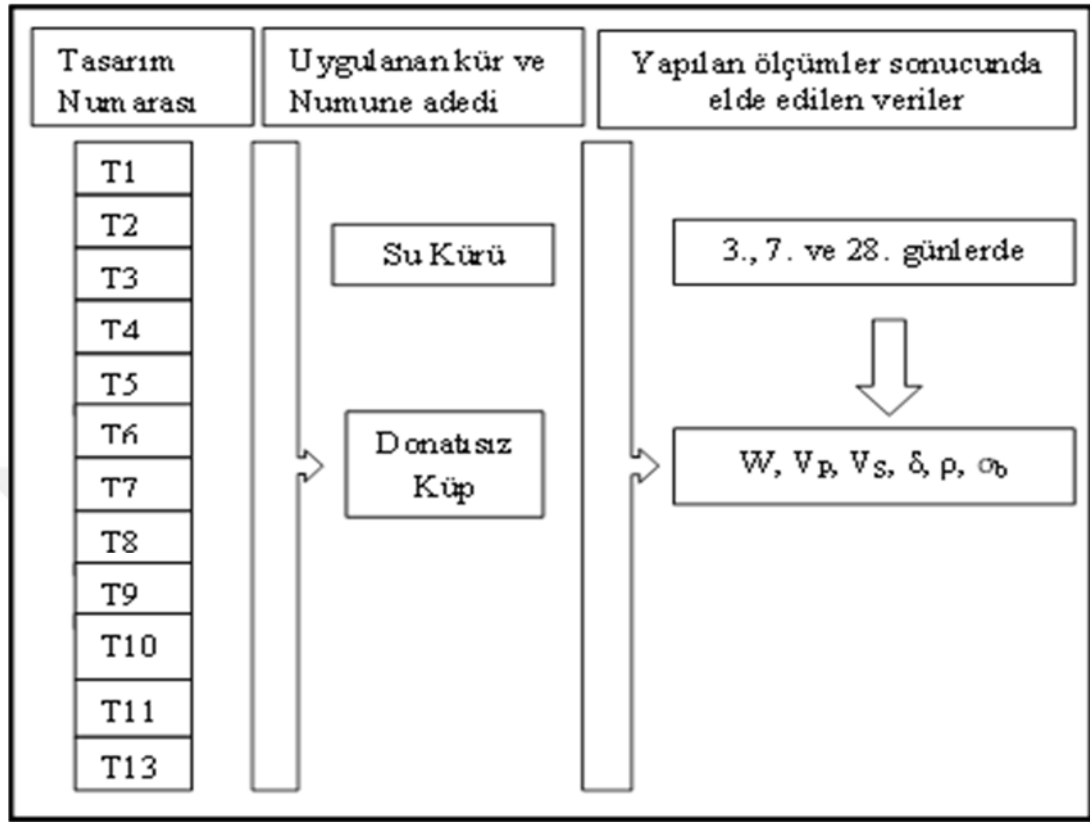
Çizelge 4.2. Örnek beton karışım tasarımı (T8- 500 doz çimento).

Tasarım 8 (T8)	Dozaj (kg)	40 dm ³ için düzeltilmiş (g)
Çimento (CEM II/B-LL)	500	20.000
Su (l)	162	6.480
Agrega (İri kırmataş)	421.94	16.877
Agrega (Orta kırmataş)	388.18	15.527
Agrega (Kum)	877.63	35.105
Kimyasal Katkı Draco (Fluicon)	7.50	300.0
Kimyasal Katkı Draco (Aermix)	0.50	20.0
Su/çimento oranı	0.32	
Ölçülen Slump (Çökme)	12 cm (S3)	
Ölçülen Hava	% 4.30	

4.1. Beton Karışımları ve Numunelerin Hazırlanması

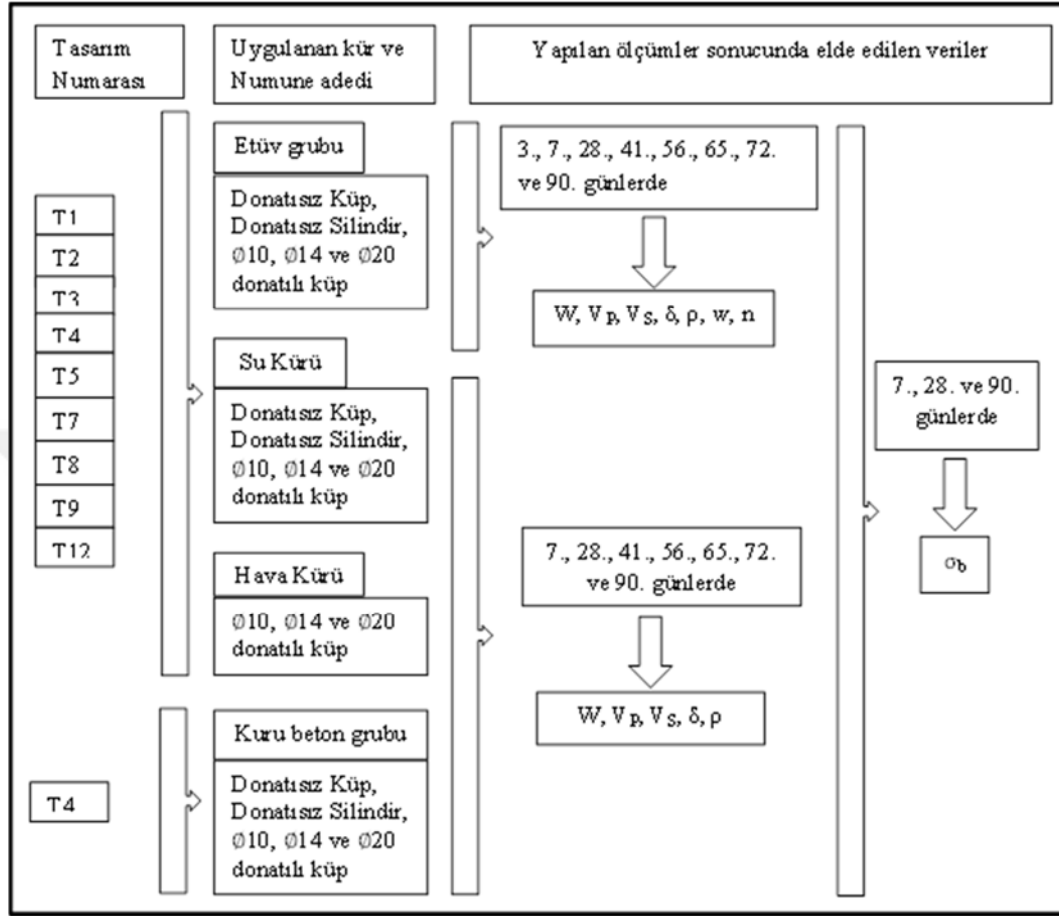
Bu çalışma kapsamında agrega türü olarak kırmataş agrega kullanılmıştır. Taş ocaklarından alınan kayalar konkasörle istenilen boyutlarda ufalanarak kırılmış, böylece agrega oluşturulmuştur. Kaya gereç alanı malzemesi olarak kristalize kireçtaşı, mermer vb. kullanılarak hazırlanan numuneler üzerinde, laboratuarda birim hacim kütle, özgül ağırlık, kütlece su emme, hacimce su emme, don sonrası basınç kaybı, dona dayanıklılığın sodyum sülfat ile tayini, Los Angeles aşınma kaybı laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Agregalar %25 iri kırmataş, %23 orta kırmataş ve %52 kum kullanılarak hazırlanmıştır. Tasarımların hazırlanması esnasında çimento çeşidi olarak CEM II/B-LL Portland kompoze çimento [Kalker (toplam organik karbon): %0.2] kullanılmıştır. Kimyasal katkı maddeleri olarak ise hava sürükleyici beton katkısı Aermix ve süper akışkanlaştırıcı beton katkısı Fluicon kullanılmıştır. Karışımlar içilebilir nitelikteki şebeke suyu kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan betonun kıvam sınıfına karar vermede kullanılan slump (çökme) deneyi değeri tüm karışımlar için 12 cm olarak alınmıştır. Laboratuarda yapılan çalışmalarda hazırlanan karışımlar 150x150x150 mm'lik küp şeklindeki kalıplara donatısız olarak 8 veya 9 adet olacak şekilde (toplam 98 adet) dökülmüştür. Numuneler kür havuzuna konularak 3, 7 ve 28 günlük zaman dilimlerinde ağırlıkları belirlenerek yoğunlukları hesaplanmış, Özdirenç ve Ultrasonik Sismik ölçümleri alınmıştır. Son 2 tasarım için ara ölçüm olarak 16 günlük ölçümler de alınarak sonuçlara katkı sağlanmıştır. Her zaman diliminde 2 veya 3 adet olacak şekilde numunelerin tek eksenli basınç dayanımı (TS EN 12390-3, 2003) deneyine tabi tutularak basınç dayanımları belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Laboratuvar için örnek veri seti (burada V_p : P dalgı hızını, V_s : S dalgı hızını, ρ : elektrik özdirenci, δ : yoğunluğu, W : numunenin suya doygun ağırlığını, σ_b : tek eksenli basınç dayanım değerini göstermektedir).



Şantiye ortamında laboratuvarıda dökülmüş olan tasarımlardan 9 adet beton tasarımı hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 150x150x150 mm'lik küp ve 150x300 mm'lik silindir şeklindeki plastik kalıplara dökülmüştür. 9 adet tasarım kendi içinde etüv, su ve hava kürü grubu olarak ayrılmıştır. Sadece 1 adet tasarım için ayrıca kuru beton grubu oluşturulmuştur. 9 adet tasarımın her biri için etüv grubunda: 1 adet Ø10 donatılı küp, 1 adet Ø14 donatılı küp, 1 adet Ø20 donatılı küp, 1 adet donatısız küp, 1 adet donatısız silindirik numune olacak şekilde 5 adet numuneden oluşmaktadır. Su kürü grubunda: 9'ar adet Ø10, Ø14, Ø20 çaplarına sahip donatılı küpler ve 9 adet donatısız küp, 3 adet donatısız silindirik numune olacak şekilde 39 adet numuneden oluşmaktadır. Hava kürü grubunda da 9'ar adet Ø10, Ø14 ve Ø20 çaplarına sahip donatılı küp numuneler olacak şekilde 27 adet numuneden oluşmaktadır. Kuru beton grubunda ise her birinden 2 adet olacak şekilde Ø10, Ø14, Ø20 çaplı donatılı küpler ve 17 adet donatısız küp numuneler ile toplamda 23 adet numuneden oluşmaktadır. Çizelge 4.4 'teki örnek veri seti su kürü için verilmiştir.

Çizelge 4.4. Örnek veri seti (burada \emptyset : donatı çapını, V_p : P dalga hızını, V_s : S dalga hızını, ρ : elektrik öz direnci, δ : yoğunluğu, W : numunenin suya doygun ağırlığını, ω : numunenin su içeriğini, W_k : numunenin kuru ağırlığını, σ_b : tek eksenli basınç dayanım değerini göstermektedir).



Tez çalışması kapsamında laboratuvar ve şantiye ortamında yapılan hazırlıklar ve uygulanan test aşamaları aşağıdaki şekildedir. Farklı dayanım değerlerine sahip beton karışımları tasarımlara uygun olarak hazırlanmıştır. Beton karışımlarının kıvamını belirlemek amacıyla yapılan Slump deneyinde her üç kademedeki 25 defa şişleme yapılarak çökme hunisi düzgün bir şekilde çekilerek çıkarılmıştır. Çökme deneyi sonucunda 12 civarında çıkan değerler dikkate alınarak çalışmalar yürütülmüştür. Her tasarım için 8 veya 9 adet olarak belirlenen küp kapların içi kalıptan kolay çıkarılabilmeleri için yağlanmış ve hazırlanan beton karışımlar her iki kademedeki 25 defa şişlenerek plastik küp kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara dökülen beton karışımlarının üzeri mala yardımıyla düzleştirilmiştir. Sertleşmesi için 24 saat kalıplarda bekletilen numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Laboratuvarda hazırlanan donatısız numunelerin dışında şantiyede donatılı küp, donatısız küp ve donatısız silindirik numunelerin hazırlanmıştır. Numunelerin bir kısmı kür havuzunda

bekletildi; bir kısmı korozyona uğratılmak üzere donatılara HCl asit dökülmek suretiyle dışarıda bekletilmiş; numunelerden yalnızca bir tasarım için kuru beton olarak ayrılan grup açık havada bekletilmiştir. Etüv grubunda yer alan numuneler etüv içine yerleştirilerek 105 °C’de 24 saat bekletilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Numunelerin hazırlanması ve gruplandırılması.

Her bir tasarım için belirlenen zaman dilimlerinde ölçümlerinin alınması amacıyla numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla ağırlık ölçümleri ve boyutları belirlenmiştir. Ultrasonik sismik cihazıyla küp numunelerin karşılıklı iki yan yüzeyinden silindirik numunelerin ise alt ve üst yüzeyinden P ve S dalga seyahat zaman ölçümleri μs cinsinden yapılmıştır (örnekleme aralığı 0.5 ms, frekans: 1000 kHz, 1024 kayıt). Ölçümlerden elde edilen uzaklık ve zaman değerleri sonucunda hesaplanan P ve S hızları m/s ya da km/s cinsinden kaydedilmiştir. Elektrik cihazıyla gerilim ölçümleri 50mm elektrod açıklıklı elektrik cihazıyla yapılır ve otomatik olarak özdirenç değeri $\text{k}\Omega\text{cm}$ cinsinden elde edilir. Ölçümlerde küp numunelerin 4 yüzeyinde çapraz iki ölçü olacak şekilde, silindirik numunelerde ise dış yüzeyi boyunca cihazın kaydırılması suretiyle 8 er adet ölçüm alınmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Hazırlanan numuneler üzerinde ölçümlerin yapılması

Belirlenen zaman dilimlerinde ölçümleri alınan numunelerin tek eksenli basınç dayanımı deneyi ile basınç dayanımları N/mm^2 cinsinden belirlenmiştir (TS EN 12390-3, 2003 standardına uygun).

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada hazırlanan donatısız ve donatılı tüm küp ve silindirik numunelere su, hava ve etüv kürü 90 gün boyunca uygulanmıştır. Kür süreleri boyunca belirli zaman aralıklarında ultrasonik P ve S dalga ve öz direnç ölçümleri yapılmış 7., 28. ve 90. günlerde de numuneler tek eksenli basınç deneyi ile kırılmıştır. Ayrıca beton numunelerin fiziksel özelliklerinden bazı parametreler ölçülmüştür. Bunlara ek olarak Türk standartlarına uygun dayanım değerlerinden statik elastik parametreler ve elastik teoriden P ve S dalga hızları kullanılarak dinamik elastik parametreler elde edilmiştir. Tüm sonuçları birbirleri ile kıyaslayabilmek ve aralarındaki ilişkileri belirleyebilmek için ayrıca beton hangi kür koşullarında olursa olsun tahribatsız yöntemlerden beton dayanımı, fiziksel özellikleri ve elastik parametrelerinin tahminini yapmak için istatistik analizler yapılmıştır. Ayrıca tüm silindirik numunelerin ve küp numunelerin karşılıklı 2 yüzeyinden P ve S dalga sinyalleri sayısal olarak elde edilmiş ve bu sinyallerin iç kısımlarındaki farklılıkların sebebinin araştırılması için sinyal analizleri (zaman-frekans analizleri) yapılmıştır. Bunlara ek olarak numunelerde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen parametrelerden bazıları kullanılarak yapay sinir ağları yöntemi ile beton dayanımı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak bu konu içerisinde veriler istatistiksel analizler, zaman-frekans analizleri ve yapay sinir ağları olmak üzere üç aşama ile irdelenecektir.

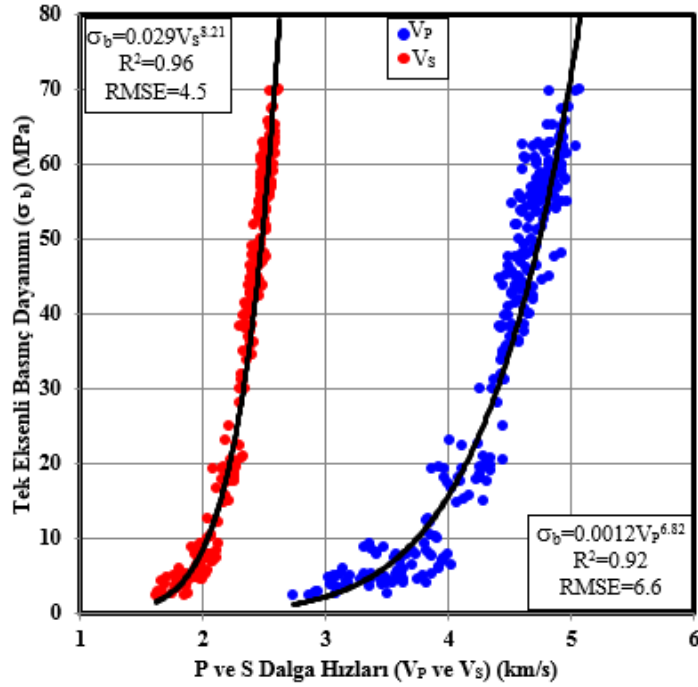
5.1. İstatistik analizler

Yapılan çalışmada betonun fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin tahribatsız yöntemler olan sismik ultrasonik ve elektrik öz direnç verilerinden tahmin etmek amacıyla statik ve dinamik deney sonuçları karşılaştırılarak ilişkilendirilmiştir. Ayrıca verilerin ortak yorumlanmasıyla çok parametrelili bağıntılar elde edilmiş ve aralarındaki hatalar belirlenmiştir. Bu analizler betonu etkileyebilecek parametre başlıkları altında incelenmeye çalışılmıştır. Bunlar; betonun mukavemet etkisi, donatı etkisi, kür koşullarının etkisi, zaman etkisi, korozyon etkisi, boyut etkisi, beton özellikleri, elastik modüller olarak sıralanmıştır.

5.1.1. Beton mukavemetinin etkisini ortaya koyan sonuçlar

Numunelerin bir kısmı laboratuvar ortamında donatısız küp halinde hazırlanırken, bir kısmı da şantiye ortamında donatısız küp, donatısız silindir ve içerisinde 10, 14 veya 20 mm çaplı bir adet donatı demiri bulunduran donatılı küp numuneler halinde hazırlanarak çalışmalar yürütülmüştür. Laboratuvar ortamında mukavemetleri farklı toplam 12 beton tasarımı ve şantiye ortamında bunlardan 9 adet tasarım hazırlanarak veri sayısı artırılmıştır. Hazırlanan numuneler doymun kuru yüzey durumuna getirildikten sonra 3., 7., 28., 41., 56., 65., 72., 90. ve/veya 120. günlerde üzerlerinde elektrik özdirenç, sismik ultrasonik P ve S dalga ölçümleri, ardından 7., 28. ve 90. günlerde tek eksenli basınç dayanımı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde üçer adet numunenin ortalamaları alınarak parametre değerlerine karar verilmiştir.

Şantiye ve laboratuvar ortamında hazırlanan donatısız küp ve silindir ve içerisinde birer adet 10, 14 veya 20 mm çapında donatı bulunan bütün küp numuneler göz önüne alınıp değerlendirildiğinde sismik hızlar ve tek eksenli basınç dayanımları arasında pozitif yönde üstel bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bu ilişkilendirmede ilişki katsayıları P ve S dalga hızları için sırasıyla 0.92 ve 0.96'dır (Şekil 5.1).



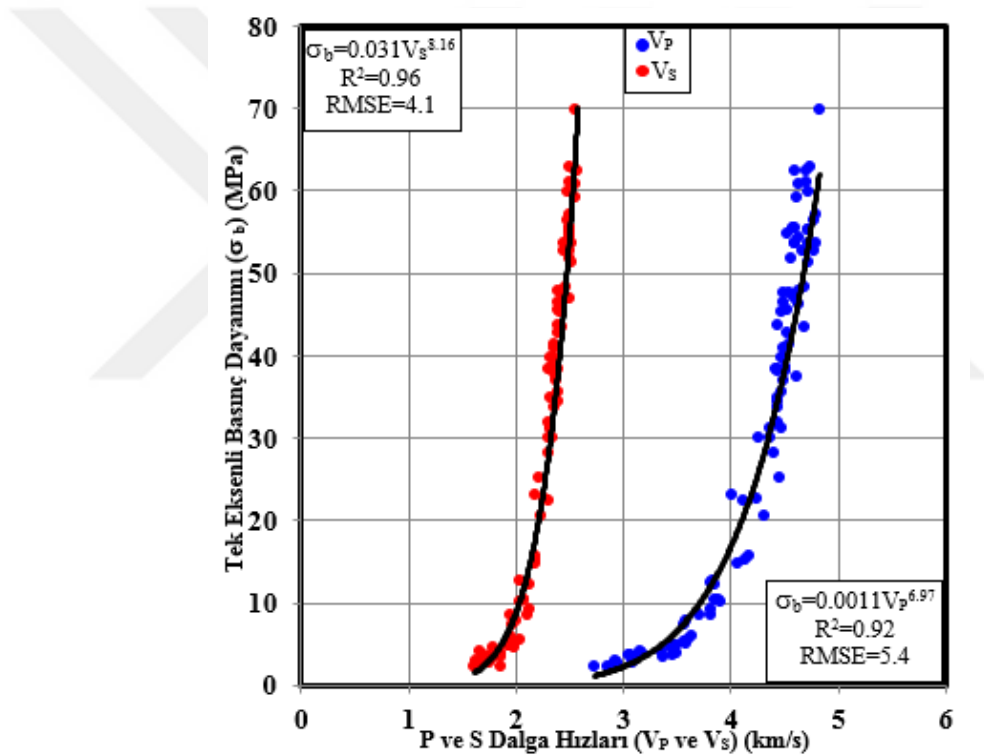
Şekil 5.1. Laboratuvar ve şantiyede hazırlanan tüm numunelerin sismik P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler.

Şekil 5.1 incelendiğinde 2 km/s den düşük S dalga hızlarında dayanım değerindeki artış az iken 2 km/s den sonraki hızlarda dayanım değeri daha fazla artmaktadır. Bu durum P dalga hızı için 3.7 km/s sınır değer olarak düşünülebilir.

$$\sigma_b = 0.029V_S^{8.21} \quad R^2=0.96, \text{ RMSE}=4.5 \quad (5.1)$$

$$\sigma_b = 0.0012V_P^{6.82} \quad R^2=0.92, \text{ RMSE}=6.6 \quad (5.2)$$

Laboratuvar ortamında hazırlanan donatısız küp numuneler göz önüne alınıp değerlendirildiğinde sismik hızlar ve tek eksenli basınç dayanımları arasında pozitif yönde üstel bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Şekil 5.2).



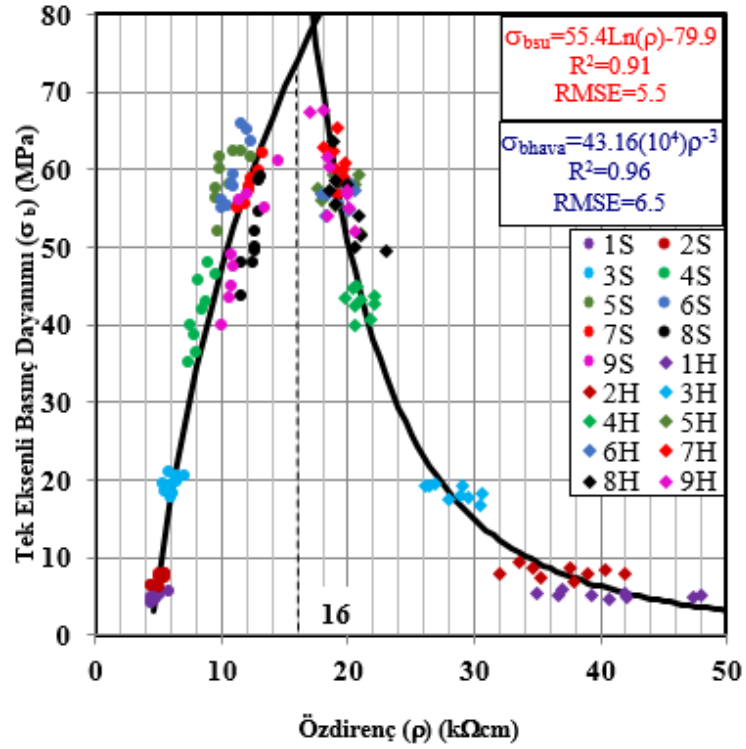
Şekil 5.2. Laboratuvar ortamında hazırlanan numunelerin sismik P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler.

$$\sigma_b = 0.031V_S^{8.16} \quad R^2=0.96, \text{ RMSE}=4.1 \quad (5.3)$$

$$\sigma_b = 0.0011V_P^{6.97} \quad R^2=0.92, \text{ RMSE}=5.4 \quad (5.4)$$

Ayrıca dayanıma bağlı öz direnç değerinin nasıl değiştiğini incelemek için öz direnç ile tek eksenli basınç dayanımları arasında ilişki Şekil 5.3 'te sunulmuştur. Burada

kullanılan veriler donatılı ve donatısız su ve hava küründeki numunelere aittir. Bu şekilde görüleceği üzere özdirenç değeri arttıkça dayanımın arttığını söylemek doğru olmayabilir. Bu durumda numunenin gözeneklerinin su ya da hava ile doymun olup olmadığı önem arz etmektedir. Dolayısıyla kür koşullarının düşük dayanımlarda özdirenç değeri üzerinde daha etkin olduğu söylenebilir. Bu konu kür koşullarının beton dayanımına etkisi başlığında daha detaylı irdelenecektir.



Şekil 5.3. Su ve hava kürü grubundaki 9 adet farklı tasarımdan donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) küp numunelerin görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.

$$\sigma_{bsu} = 55.4Ln(\rho) - 79.9 \quad R^2=0.91, \text{ RMSE}=5.5 \quad (5.5)$$

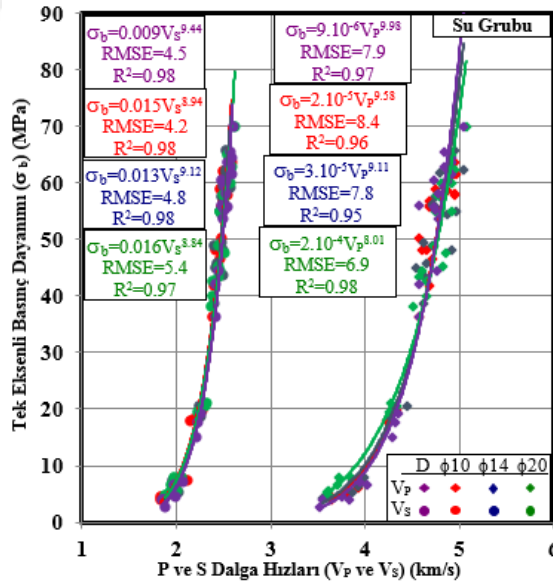
$$\sigma_{bhava} = 43.16(10^4)\rho^{-3} \quad R^2=0.96, \text{ RMSE}=6.5 \quad (5.6)$$

Su küründeki düşük dayanımlı numunelerin görünür özdirenç değerleri tasarımın mukavemeti arttıkça biraz daha artmakla birlikte 4-8 kΩcm ve dayanım sonuçları da 2.7-21 MPa arasında değişmektedir. Buna karşın aynı dayanım sonuçlarını veren hava küründeki numunelerin görünür özdirenç değerleri de 20-50 kΩcm arasında değişmektedir. Bu durum gözeneklerin su ya da hava ile doymunluğuyla açıklanabilir. Ancak düşük mukavemetli betonlarda özdirenç değerleri su ve hava kürü olarak ayırt

edilebilirken grafiğin üst tarafında yani yüksek mukavemetli betonlardaki öz direnç değerleri ile su ya da hava kürü olarak ayırt edilemeyecekleri gözlenmiştir.

5.1.2. Donatının etkisini ortaya koyan sonuçlar

Şantiye ortamında dökülen ve su kürüne tabi tutulan donatılı ve donatısız küp numuneler için yapılan tek eksenli basınç dayanım değerleri ve sismik P ve S dalga hızlarına ait ayrı ayrı ilişkilendirmeler Şekil 5.4 'te gösterilmiştir. Donatısız, Ø10, Ø14 ve Ø20 çaplara sahip donatılı betonlar ayrı sınıflandırılarak ilişkilendirilmiştir. Her bir çeşit için yapılan üstel ilişkilendirmeler incelendiğinde genel itibariyle donatısız numunelerin eğilim çizgisi P ve S dalga hızında düşük mukavemetli tasarımlar için donatılılara kıyasla daha aşağıda iken mukavemet arttıkça bu çizgi donatılıların üzerinde yer almaktadır. Donatılı numunelerde de çapın büyümesine bağlı olarak eğilim çizgisi yine bu duruma göre sıralanmıştır. Bu durum P dalgası için daha belirgin iken S dalgasında çok az belirgindir. Sonuç olarak düşük mukavemetli betonlarda donatı çapı arttıkça dayanım artmakta fakat yüksek mukavemetli betonlarda bu durum tam tersi olmaktadır.



Şekil 5.4. Şantiyede dökülen 9 farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları ve Tek Eksenli Basınç Dayanımları arasındaki ilişkiler.

$$\sigma_{bD} = 0.009V_S^{9.44} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=4.5 \quad (5.7)$$

$$\sigma_{bD} = 9. (10^{-6})V_P^{9.98} \quad R^2=0.97, \text{ RMSE}=7.9 \quad (5.8)$$

$$\sigma_{b10} = 0.015V_S^{8.94} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=4.2 \quad (5.9)$$

$$\sigma_{b10} = 2. (10^{-5})V_P^{9.58} \quad R^2=0.96, \text{ RMSE}=8.4 \quad (5.10)$$

$$\sigma_{b14} = 0.013V_S^{9.12} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=4.8 \quad (5.11)$$

$$\sigma_{b14} = 3. (10^{-5})V_P^{9.11} \quad R^2=0.95, \text{ RMSE}=7.8 \quad (5.12)$$

$$\sigma_{b20} = 0.016V_S^{8.84} \quad R^2=0.97, \text{ RMSE}=5.4 \quad (5.13)$$

$$\sigma_{b20} = 2. (10^{-4})V_P^{8.01} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=6.9 \quad (5.14)$$

Benzer durumun farklı kür koşullarındaki numunelerde nasıl olduğunu anlamak için hava ve etüv küründe donatı demirleri asit etkisine tabi tutulan, 10, 14 ve 20 mm çapında birer adet donatı bulunduran numunelerin ilişkilendirmeleri Şekil 5.5 ve 5.6'da gösterilmiştir. Şekil 5.4'te bahsedilen durum Şekil 5.5 ve 5.6'da da gözlenebilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde düşük mukavemetli betonlarda donatı çapı büyüdükçe dayanım değeri artarken yüksek mukavemetli betonlarda donatı çapı büyüdükçe dayanım değeri azalmaktadır. Bunun sebebi mukavemeti yüksek ve donatı ile iyi bağ kurmuş betonlar tek eksenli basınç dayanımına maruz bırakıldığında, donatı beton içerisinde de iç gerilmeler meydana getirir ve daha çabuk kırılmasına sebebiyet verebilir. Şekil 5.5 ve 5.6'da donatı çapına bağlı ayrı ayrı çizilen eğriler yaklaşık 30-40 MPa arasında kesişmektedirler. Bu ilişkiler 30-40 MPa arındaki dayanım değerlerinin donatı çapına bağlı değişmediğini göstermektedir.

$$\sigma_{b10} = 0.058V_S^{7.46} \quad R^2=0.95, \text{ RMSE}=4.7 \quad (5.15)$$

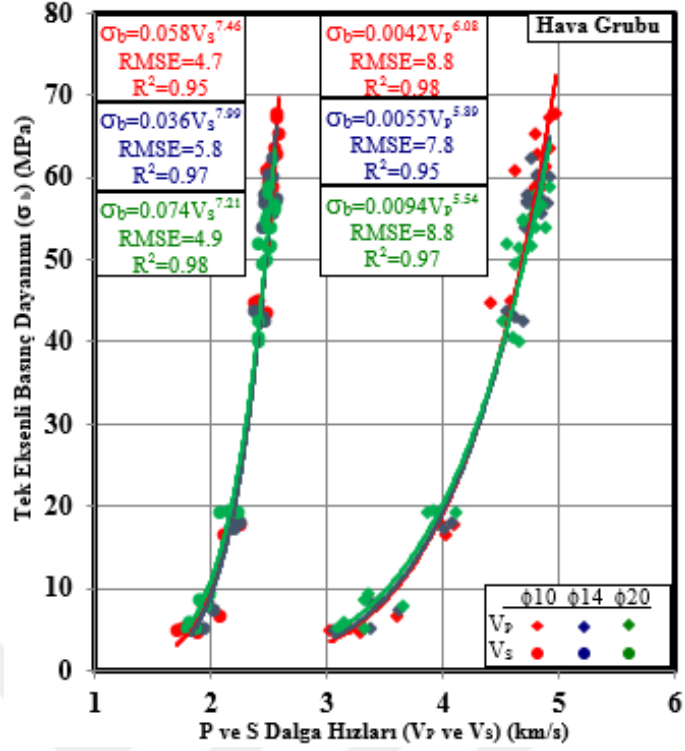
$$\sigma_{b10} = 0.0042V_P^{6.08} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=8.8 \quad (5.16)$$

$$\sigma_{b14} = 0.036V_S^{7.99} \quad R^2=0.97, \text{ RMSE}=5.8 \quad (5.17)$$

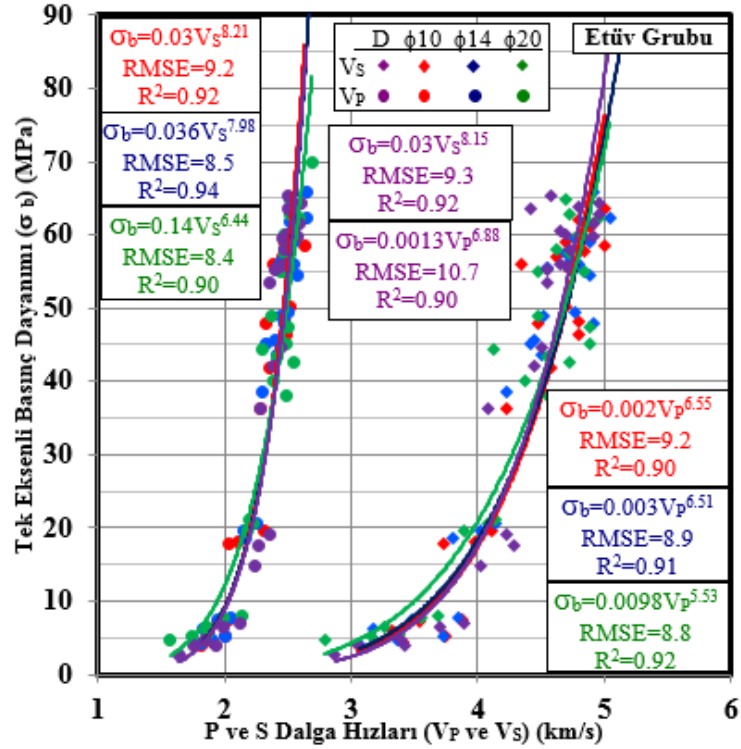
$$\sigma_{b14} = 0.0055V_P^{5.39} \quad R^2=0.95, \text{ RMSE}=7.8 \quad (5.18)$$

$$\sigma_{b20} = 0.074V_S^{7.21} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=4.9 \quad (5.19)$$

$$\sigma_{b20} = 0.0094V_P^{5.54} \quad R^2=0.97, \text{ RMSE}=8.8 \quad (5.20)$$



Şekil 5.5. Şantiyede dökülen 9 farklı tasarımdan donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava küru grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler.



Şekil 5.6. Şantiyede dökülen 9 farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv küru grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler.

$$\sigma_{bD} = 0.03V_S^{8.15} \quad R^2=0.92, \text{ RMSE}=9.3 \quad (5.21)$$

$$\sigma_{bD} = 0.0013V_P^{6.88} \quad R^2=0.90, \text{ RMSE}=10.7 \quad (5.22)$$

$$\sigma_{bD} = 0.03V_S^{8.21} \quad R^2=0.90, \text{ RMSE}=9.2 \quad (5.23)$$

$$\sigma_{b10} = 0.002V_P^{6.55} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=8.8 \quad (5.24)$$

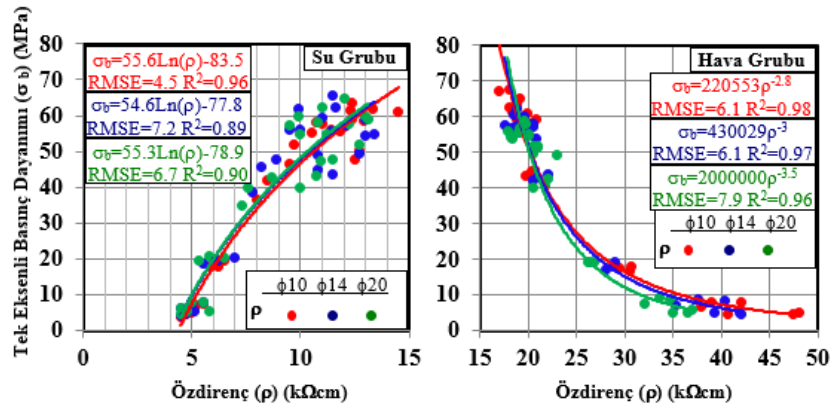
$$\sigma_{b14} = 0.036V_S^{7.98} \quad R^2=0.94, \text{ RMSE}=8.5 \quad (5.25)$$

$$\sigma_{b14} = 0.003V_P^{6.51} \quad R^2=0.91, \text{ RMSE}=8.9 \quad (5.26)$$

$$\sigma_{b20} = 0.14V_S^{6.44} \quad R^2=0.90, \text{ RMSE}=8.4 \quad (5.27)$$

$$\sigma_{b20} = 0.0098V_P^{5.53} \quad R^2=0.92, \text{ RMSE}=8.8 \quad (5.28)$$

Donatının beton dayanımına etkisini belirlemek için görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler su ve hava kürü için donatı çapı da göz önünde bulundurularak ayrı ayrı ilişkilendirmeler Şekil 5.7'de yapılmıştır. Suyu doymun numunelerin pozitif yönde logaritmik bir ilişki söz konusu iken gözenekleri hava dolgulu numuneler negatif yönde üstel bir ilişki gözlenmiştir. Donatı çapı arttıkça özdirenç değerinin su ya da hava doymun numunelerde azaldığı Şekil 5.7'de görülmektedir. Buna karşın suya doymun numunelerde donatı çapı arttıkça dayanım değerinin arttığı fakat hava doymun numunelerde düştüğü görülmektedir. Suyu doymun numunelerde donatı çapına bağlı özdirenç farklılığı çok az iken gözenekleri havaya doymun numunelerde farklılık bariz görülmektedir. Bu farklılık mukavemeti düşük olan tasarımlarda daha fazla iken mukavemeti yüksek olan numunelerde daha azdır. Şekil 5.8'de ise su ve hava kürü veriler birleştirilerek donatı çapına bağlı özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımı arasında çok parametrelili bir ilişki bağıntısı elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Su ve hava küründeki 9 farklı tasarımdaki donatı çapına bağlı görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler.

$$\sigma_{bsu10} = 55.6\ln(\rho) - 83.5 \quad R^2=0.96, \text{ RMSE}=4.5 \quad (5.29)$$

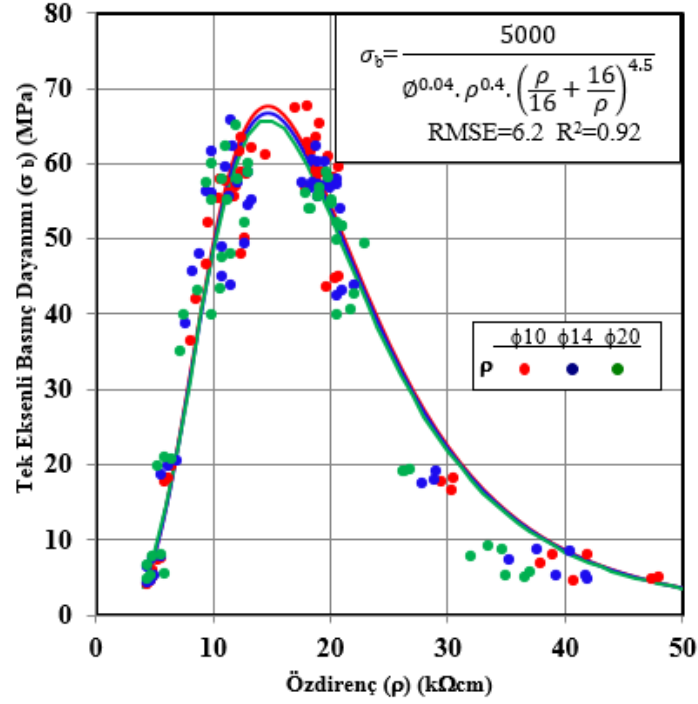
$$\sigma_{bhava10} = 220553\rho^{-2.8} \quad R^2=0.98, \text{ RMSE}=6.1 \quad (5.30)$$

$$\sigma_{bsu14} = 54.6\ln(\rho) - 77.8 \quad R^2=0.89, \text{ RMSE}=7.2 \quad (5.31)$$

$$\sigma_{bhava14} = 430029\rho^{-3} \quad R^2=0.97, \text{ RMSE}=6.1 \quad (5.32)$$

$$\sigma_{bsu20} = 55.3\ln(\rho) - 78.9 \quad R^2=0.90, \text{ RMSE}=6.7 \quad (5.33)$$

$$\sigma_{bhava20} = 2(10^6)\rho^{-3.5} \quad R^2=0.96, \text{ RMSE}=7.9 \quad (5.34)$$



Şekil 5.8. Su ve hava küründeki 9 farklı tasarımdaki donatı çapına bağlı tüm verilerin görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.

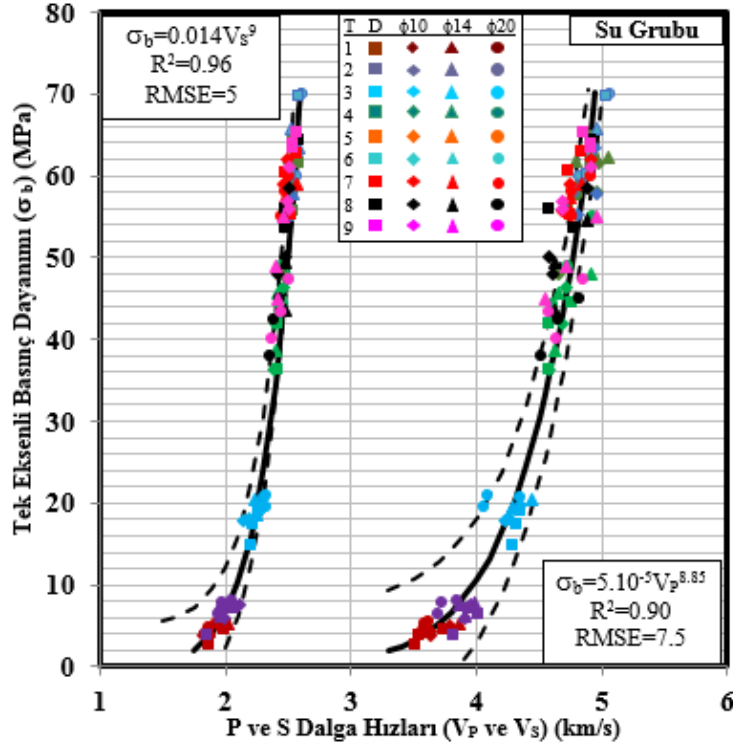
$$\sigma_b = \frac{5000}{0.04 \cdot \rho^{0.4} \cdot \left(\frac{\rho}{16} + \frac{16}{\rho}\right)^{4.5}} \quad R^2=0.92, \text{ RMSE}=6.2 \quad (5.35)$$

5.1.3. Kür koşullarının etkisini ortaya koyan sonuçlar

Şekil 5.9’da donatısız ve içerisinde birer adet 10, 14 veya 20 mm donatı demiri bulunan su küründeki 9 farklı beton tasarımına ait numunelerin sismik ultrasonik P ve S dalga hızı değişimi gösterilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ile P ve S dalga hızları arasında pozitif yönde üstel ilişkiler elde edilmiştir. Ayrıca bu ilişkilerin güven aralığı RMSE hataya göre çizilmiştir.

$$\sigma_{bsu} = 0.014V_S^9 \quad R^2=0.96, \quad RMSE=5 \quad (5.36)$$

$$\sigma_{bsu} = 5 \cdot (10^{-5})V_P^{8.85} \quad R^2=0.90, \quad RMSE=7.5 \quad (5.37)$$

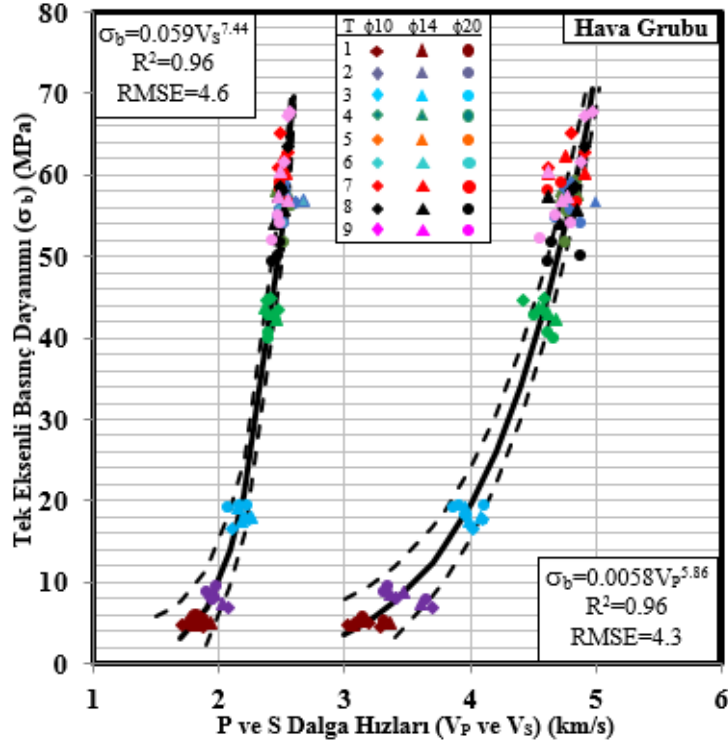


Şekil 5.9. Su küründeki donatılı ve donatısız numunelere ait P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler.

Şekil 5.10'da ise Şekil 5.9'dakine benzer ilişkiler hava kürü koşullarındaki donatılı numunelerden elde edilmiştir. Su ve hava kürü grubundaki numunelerin dağılımları irdelendiğinde P dalga hızına ait verilerin saçılımı S dalga hızına göre daha fazladır. Bu durum P dalga hızlarının sudan fazla etkilenmesinden kaynaklı olabilir. Şekil 5.9 ve 5.10'daki P dalga hız verilerinin saçılımı irdelendiğinde de su küründeki numunelerin daha fazla olduğu görülmektedir. S dalga hızları ise numunelerin su ya da hava küründe olmasından dolayı önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir.

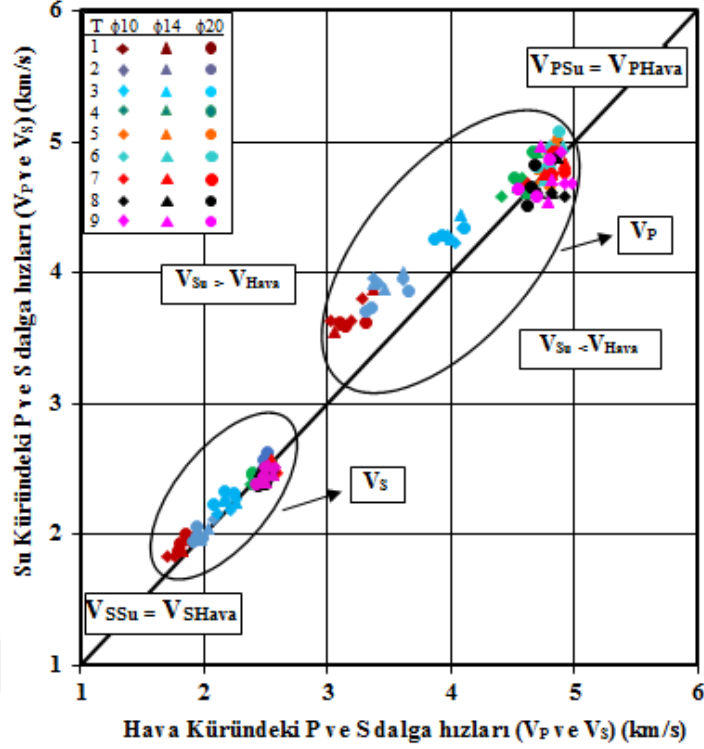
$$\sigma_{bhava} = 0.059V_S^{7.44} \quad R^2=0.96, \quad RMSE=4.6 \quad (5.38)$$

$$\sigma_{bhava} = 0.0058V_P^{5.86} \quad R^2=0.96, \quad RMSE=4.3 \quad (5.39)$$



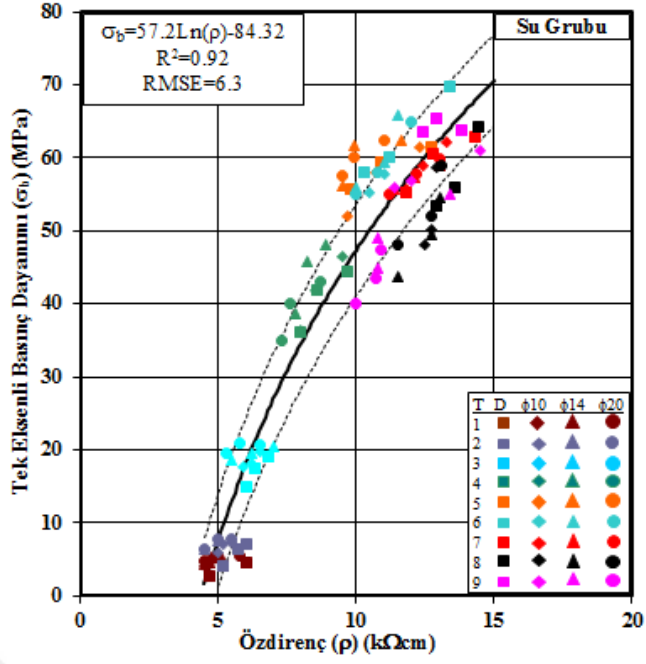
Şekil 5.10. Hava küründeki donatılı numunelere ait P ve S dalga hızları ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler.

Şekil 5.11’de aynı tasarıma ait su ve hava küründeki donatılı numunelerin sismik hızları karşılaştırılmıştır. Buna göre genel itibariyle sismik hızlarda su ve hava küründeki numunelerin dayanımı arttıkça P ve S dalga hızlarında arttığı görülmektedir. P dalga hızları genellikle 3.6-5.1 km/s arasında değişirken, hava küründe genellikle 3-5 km/s arasında değişmiştir. Hava küründe kuru haldeki betonda gözenekler hava ile dolu olduğundan havanın hızı düşük olduğu için sismik hızlar su kürü grubuna kıyasla nispeten daha düşük çıkmıştır. S dalga hızları ise su küründe 1.8-2.4 km/s, hava küründe 1.7-2.4 km/s arasında değişmektedir. S dalga hızları su ve hava kür numunelerinde çok fazla değişiklik göstermezken P dalga hızları su kürü numunelerinde hava kürüne nazaran bariz büyük değerlere sahiptir. Bu durum P dalgalarının katı, sıvı ve gaz şeklindeki her türlü ortamda yayılabilme özelliği nedeniyledir. Özellikle düşük ve orta dayanımlı numunelerde bu hız farklılığı gözlemlenirken sağlam betonlarda gözenekliliğin azalmasına bağlı olarak çok net bir ayırım görülmemektedir. Çünkü düşük dayanımlı betonların içlerindeki gözenekler suya doydukça elde edilen P dalga hızlarında daha fazla artış gözlenmektedir.

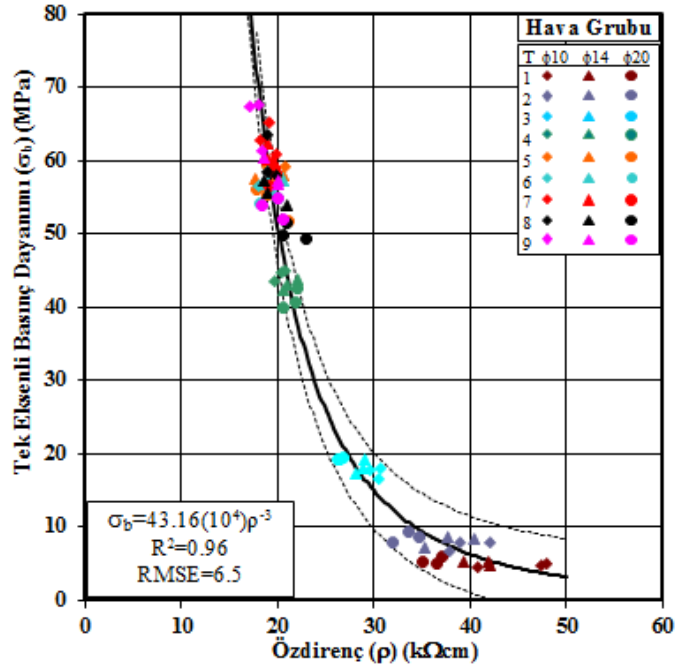


Şekil 5.11. Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait P ve S dalga hız sonuçlarının karşılaştırılması

Aynı tasarımlara ait su küründeki donatısız-donatılı ve hava küründeki donatılı numunelerin görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiler Şekil 5.12 ve 5.13'te sunulmuştur. Buna göre su küründe genel olarak 17 kΩcm den düşük özdirençler elde edilirken hava küründe 15-50 kΩcm aralığında bulunmuştur. Aynı zamanda su küründe pozitif yönde logaritmik bir ilişki söz konusu iken hava küründe negatif yönde üstel bir ilişki gözlenmiştir. Su grubu numunelerinde özdirenç değeri arttıkça beton dayanımı artarken, hava grubu numunelerde özdirenç değeri artarken beton dayanımı azalmaktadır. Su grubu numunelerinde özdirenç değerinin yüksek değerleri sağlam beton numunelerde gözenekliliğin azalması ve daha az su tutma özelliğinden kaynaklanırken, hava grubu numunelerde özdirenç değerinin yüksek değerleri hava dolgulu bol gözenekli düşük mukavemetli betonlardan dolayıdır. Buna göre düşük mukavemetli betonlarda elektrik özdirenç değerleri su küründe düşük değerlerde iken (4-8 kΩcm) hava küründe yüksek değerler (22-48 kΩcm) vermiştir. Su ve hava kürü grubundaki numunelerin dağılımları irdelendiğinde su küründeki verilerin saçılımı hava küründekine oranla daha fazladır. Bu durum kür koşullarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.12. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.

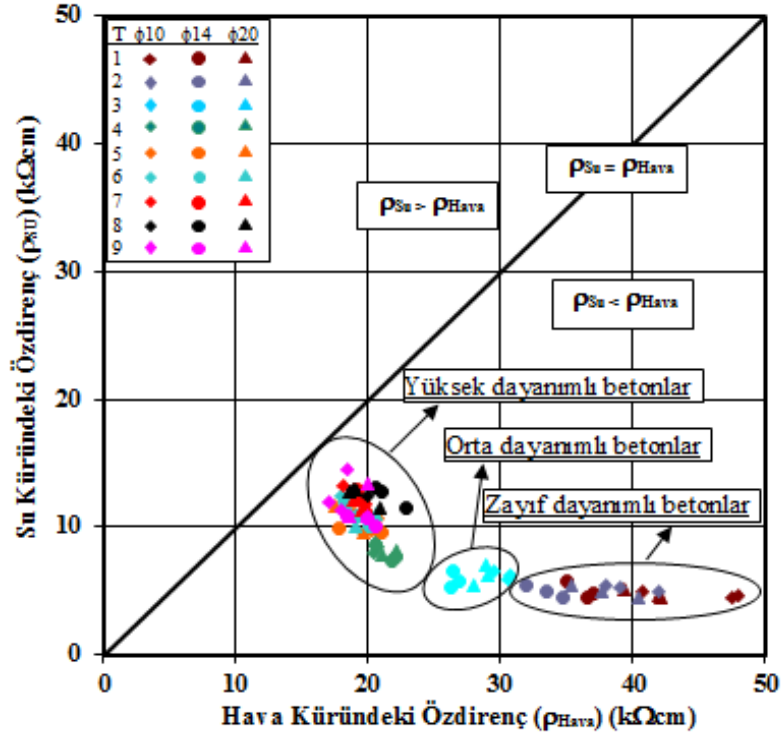


Şekil 5.13. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.

$$\sigma_{bsu} = 57.2\text{Ln}(\rho) - 84.32 \quad R^2=0.92, \quad \text{RMSE}=6.3 \quad (5.40)$$

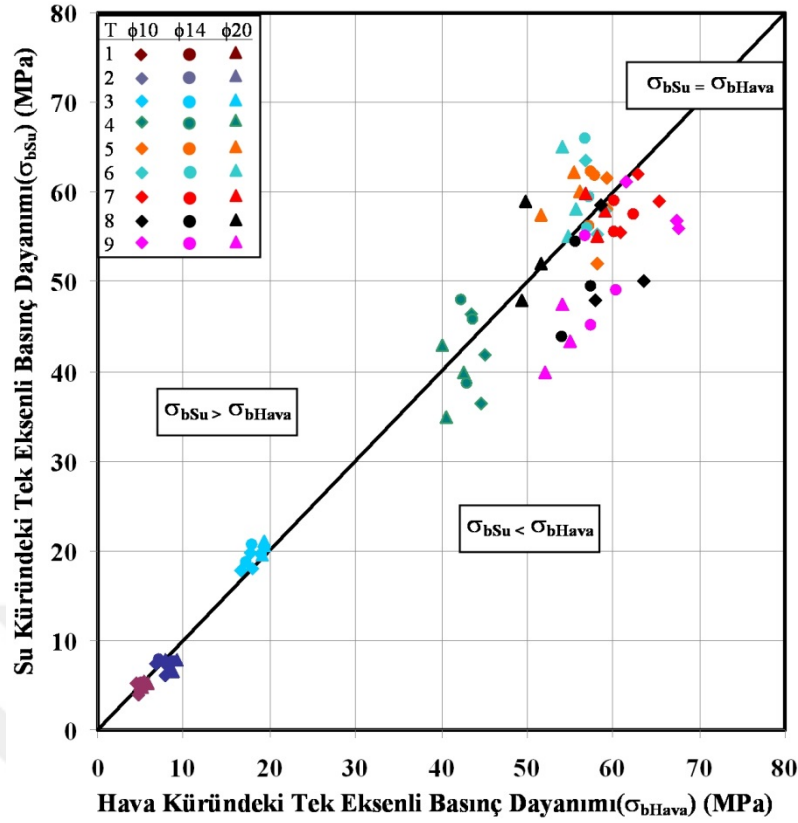
$$\sigma_{bhava} = 43.16(10^4)\rho^{-3} \quad R^2=0.96, \quad \text{RMSE}=6.5 \quad (5.41)$$

Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait görünür özdirenç sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.14'te sunulmuştur. Buna göre, aynı numunenin su küründe olması durumunda özdirenç değerleri düşük çıkarken hava küründe bu değerler daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılık mukavemeti düşük olan tasarımlarda daha fazladır. Bu durum mukavemeti düşük olan tasarımların gözenekliliklerinin fazla olması ve bu gözeneklerin su ile dolu olmasının özdirenç değerlerini düşürmesine ve hava ile dolu olmasının özdirenç değerlerinin artmasına sebep olduğu şeklinde yorumlanabilmektedir. Bu durum Şekil 5.14'te ayırt edilen renkler ve yuvarlak içine alınan düşük, orta ve sağlam mukavemetli betonların dağılımında da görülmektedir.



Şekil 5.14. Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait görünür özdirenç sonuçlarının karşılaştırılması.

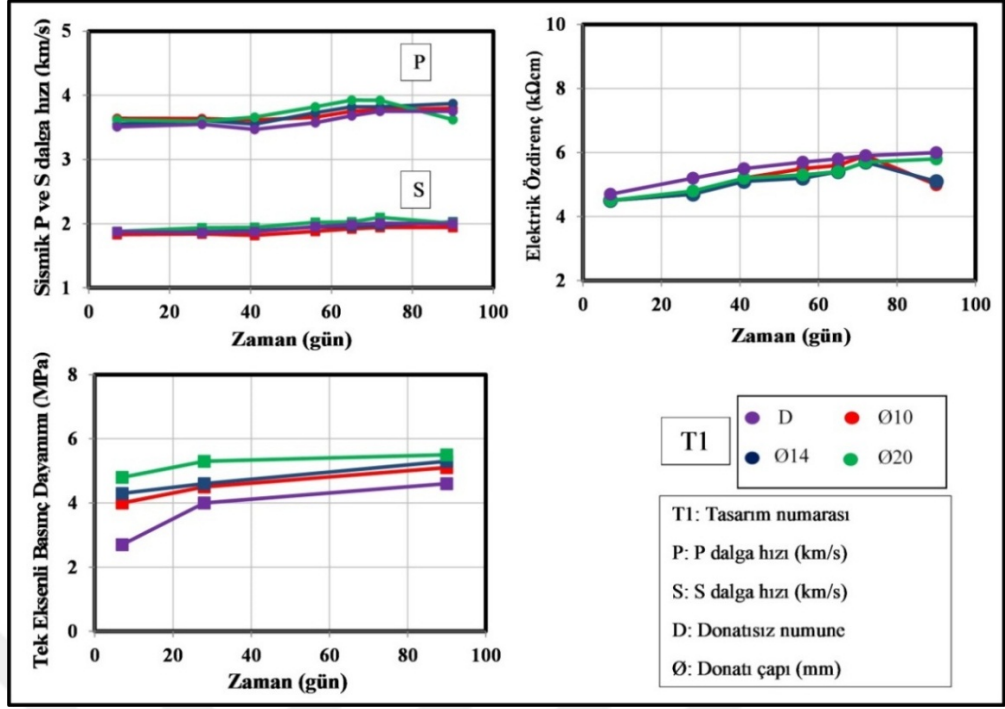
Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait tek eksenli basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5.15'te sunulmuştur. Bu şekil incelendiğinde betonlarda basınç dayanımı üzerinde su ve hava kürünün ayırt edici bir etkisi olmadığı gözlenmektedir. Aynı zamanda mukavemet değerlerindeki artışın gözenek miktarlarındaki azalma ve çimento dozajındaki artış nedeniyle olduğu belirlenmiştir.



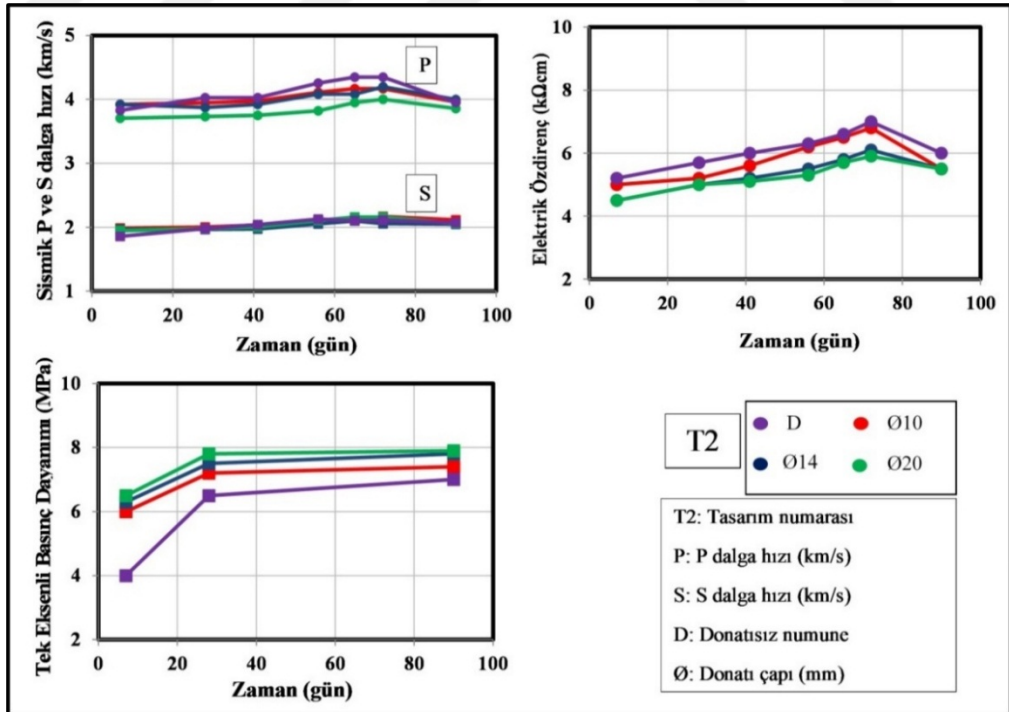
Şekil 5.15. Su ve hava küründeki donatılı numunelere ait tek eksenli basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırılması.

5.1.4. Zamanın etkisini ortaya koyan sonuçlar

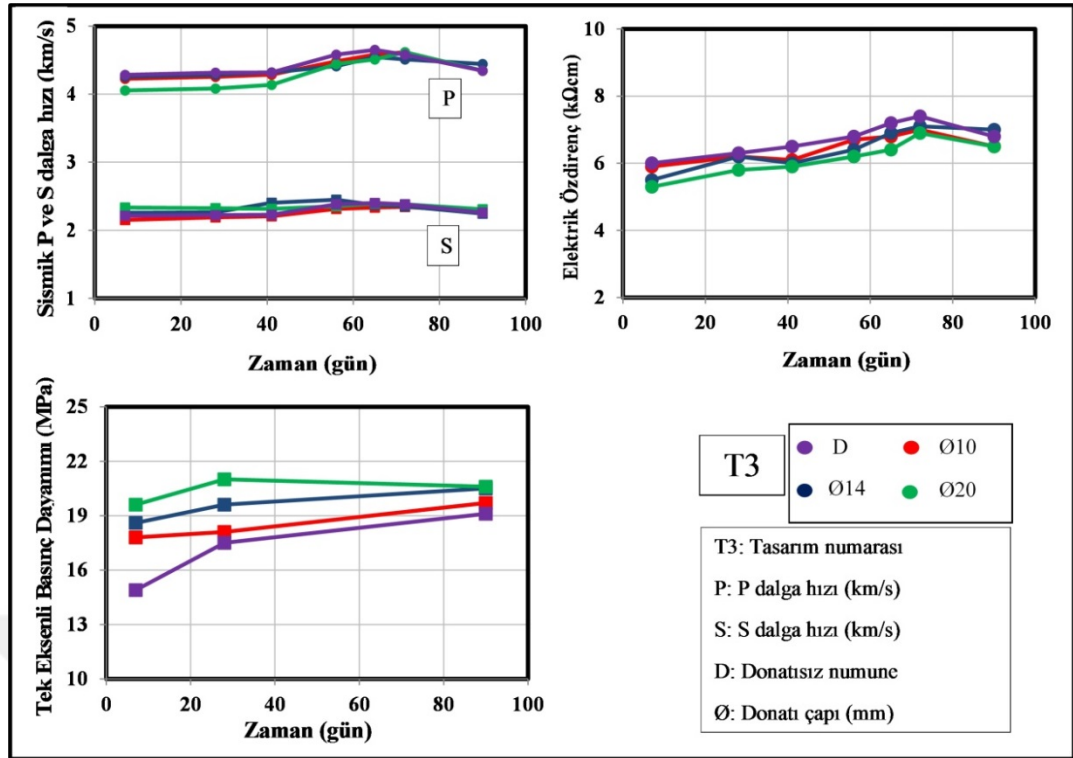
Su küründeki düşük mukavemetli tasarımlara ait donatılı ve donatısız küp numunelerin Sismik P ve S dalga hızları, elektrik özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir (Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18). Buna göre hız, özdirenç ve dayanım sonuçları zamanla artış göstermektedir. Donatısız numunelerin hızları ve dayanımları daha düşük iken görünür özdirenç değeri daha yüksek çıkmıştır. Bu durum donatının özdirençinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Çoğu numunede P ve S dalga hızlarındaki artış 65. veya 72. güne kadar devam ederken bu zamandan sonra hızlarda sabitleme eğilimi göstermiştir.



Şekil 5.16. T1 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

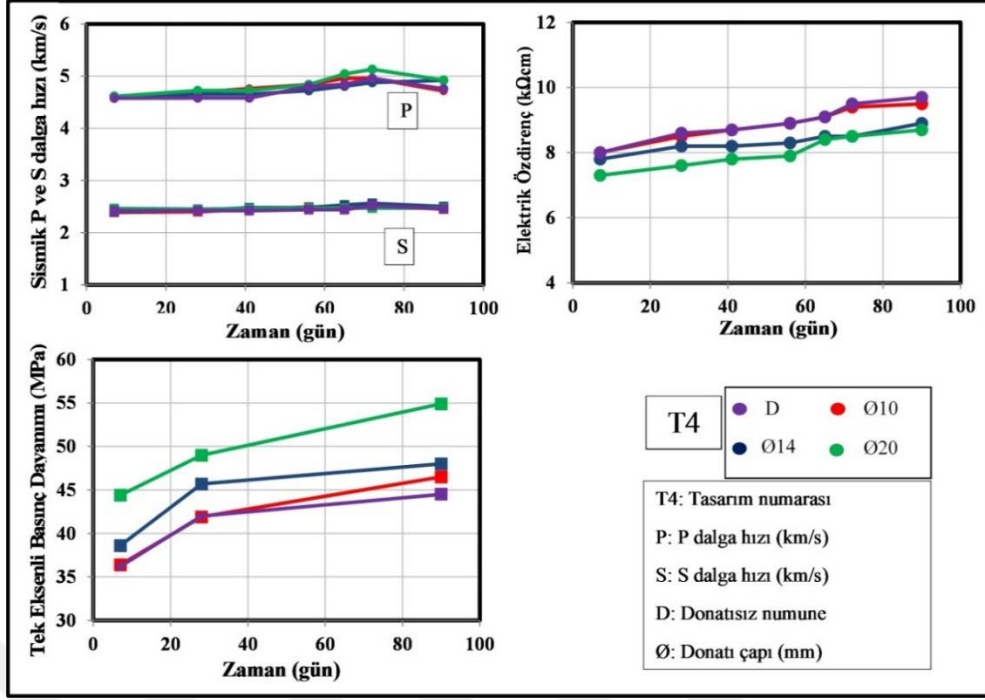


Şekil 5.17. T2 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

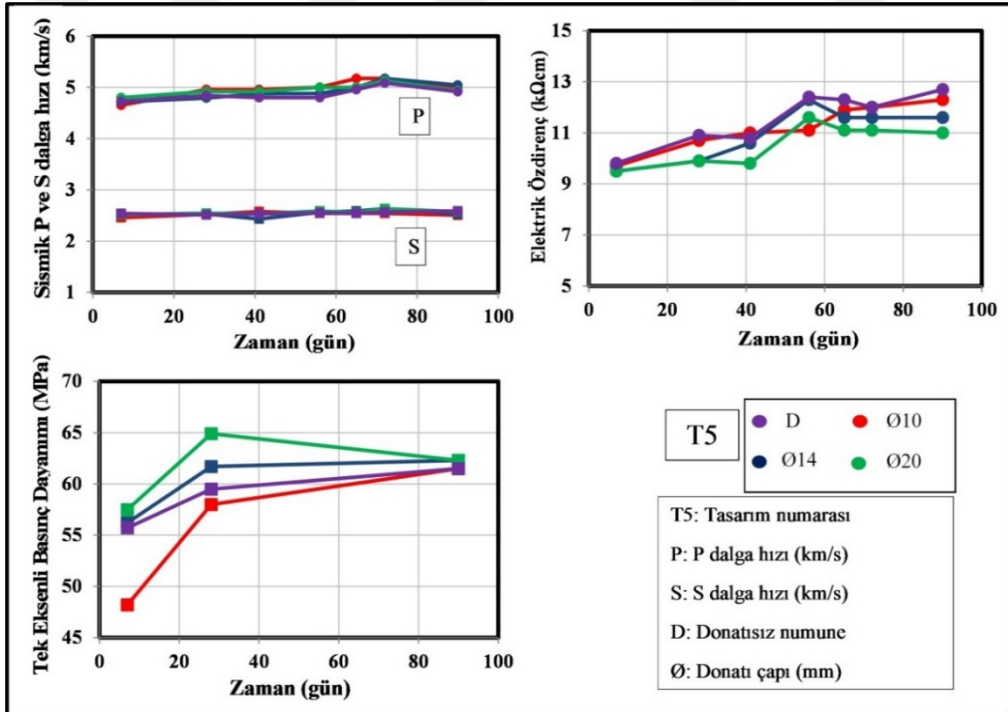


Şekil 5.18. T3 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

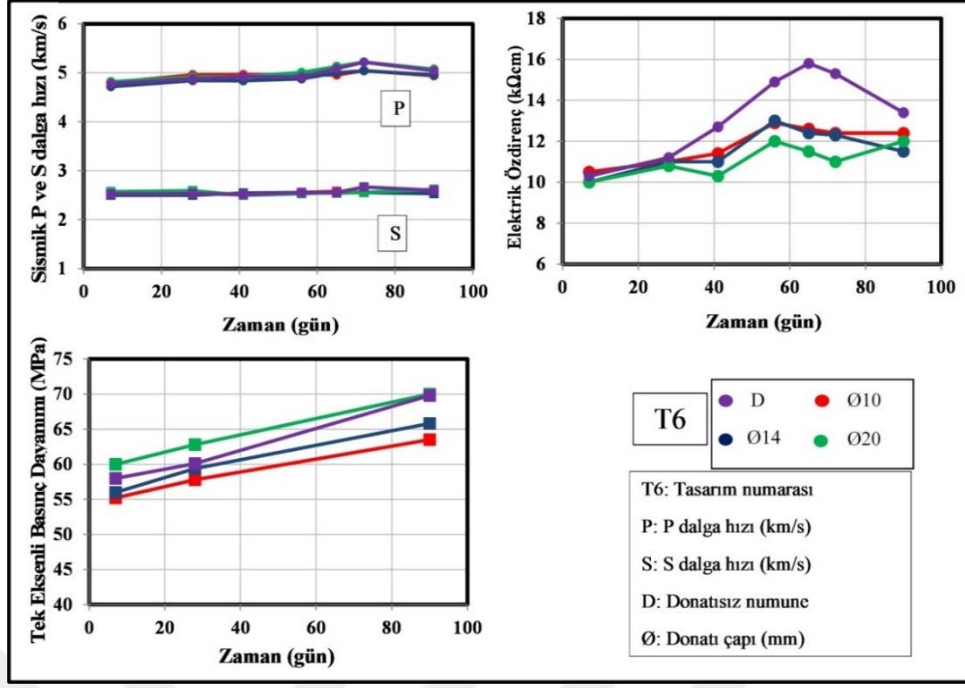
Orta ve yüksek mukavemet özellikleri gösteren su küründeki donatılı ve donatısız küp numunelerin Sismik P ve S dalga hızları, elektrik özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi Şekil 5.19 ve 5.24'te gösterilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde sismik hız değerleri donatılı ve donatısız numunelerde birbirine yakın çıkmıştır (4.5-5.2 km/s). Yüksek dayanımlı betonlarda suya doygunluk hızlarda çok az farklılığa sebep olmaktadır. Görünür özdirenç değerleri zamana bağlı olarak incelendiğinde tasarımın mukavemeti arttıkça donatılı numunelerde donatı çapının büyüklüğüne bağlı olarak azalmaktadır (5-16 kΩcm). Donatının ve suyun özdirenç değerlerinin düşük olmasından dolayı yüksek dayanımlı grupta donatısız numuneye kıyasla, donatılı numunelerin özdirençleri daha düşük bulunmuştur. Dayanım sonuçları ise mukavemeti yüksek tasarımlarda ön görüldenden daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni dozağ yükseldikçe hidrasyon ısı ve rötreden dolayı çatlaklar oluşur (özellikle 500 dozağ vb.). Bu çalışmanın amacı tasarıma uygun beton dayanımı hazırlamak değil beton dayanımını artıran ya da azaltan sebepleri araştırarak tahribatsız yöntemlerle beton kalitesini belirlemektir.



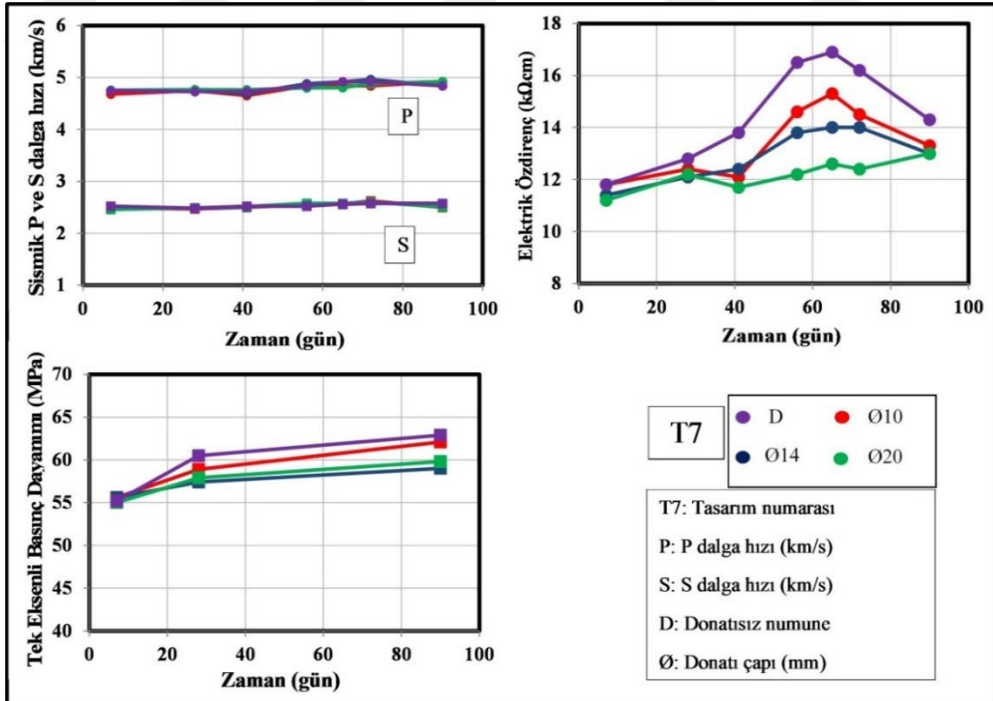
Şekil 5.19. T4 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



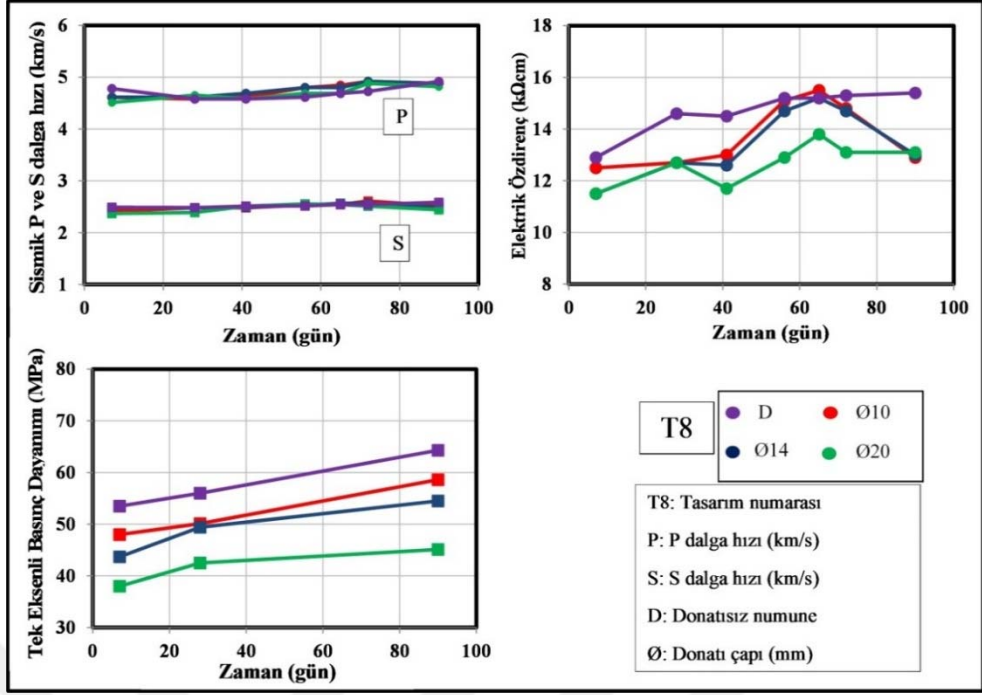
Şekil 5.20. T5 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



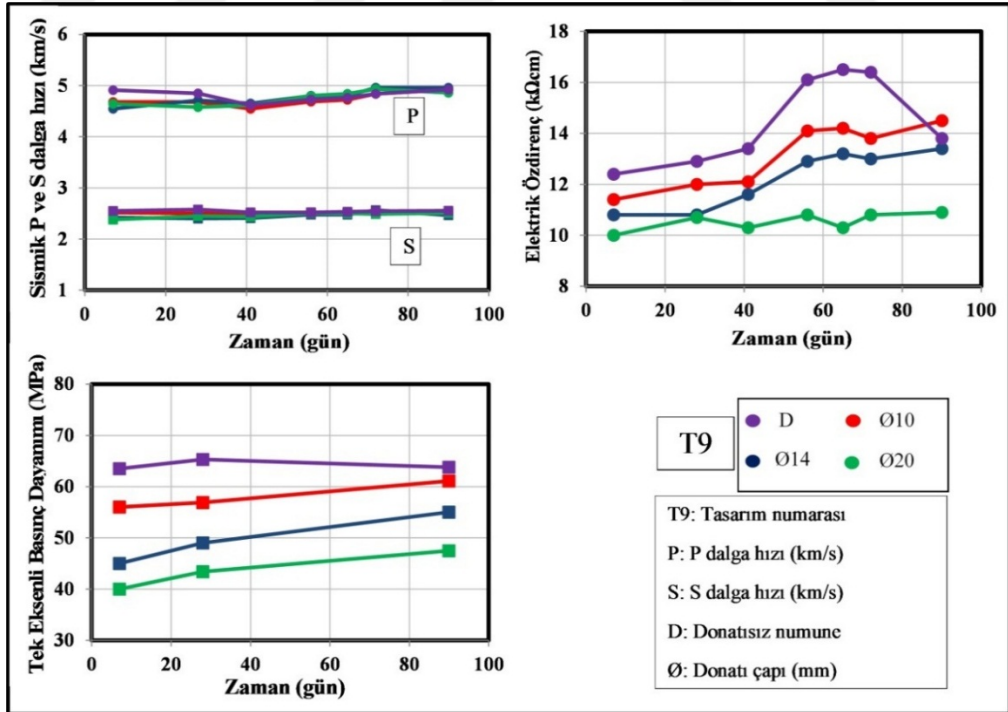
Şekil 5.21. T6 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür öz direnç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.22. T7 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür öz direnç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

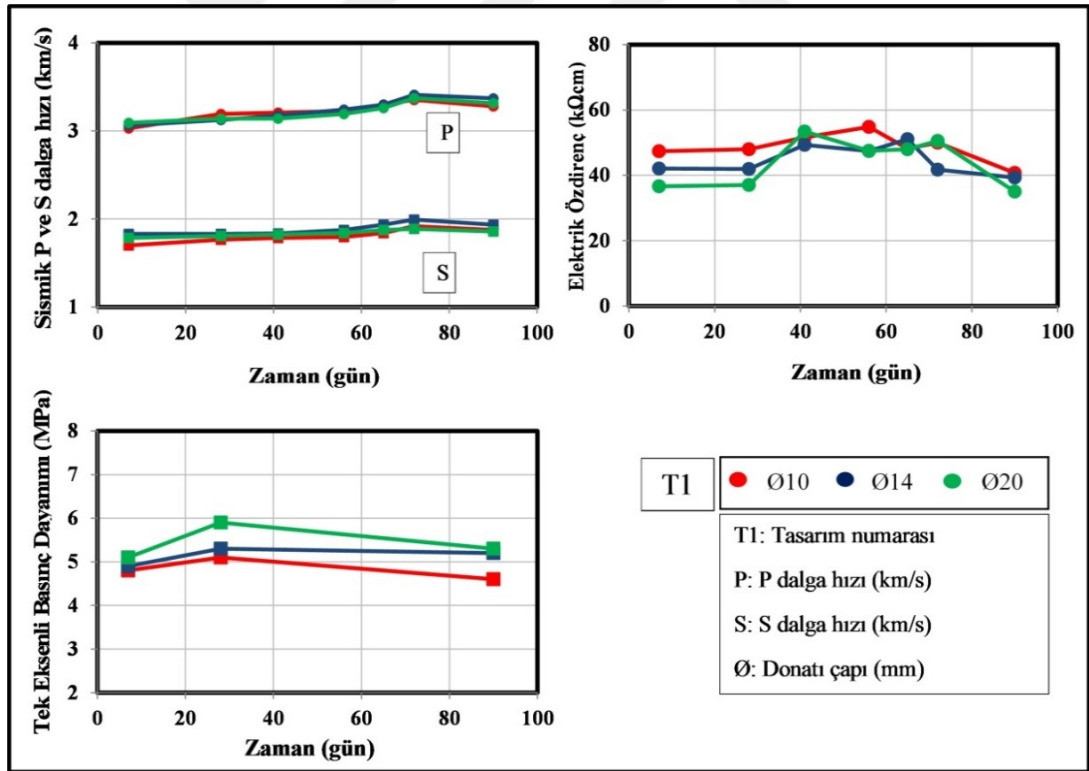


Şekil 5.23. T8 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

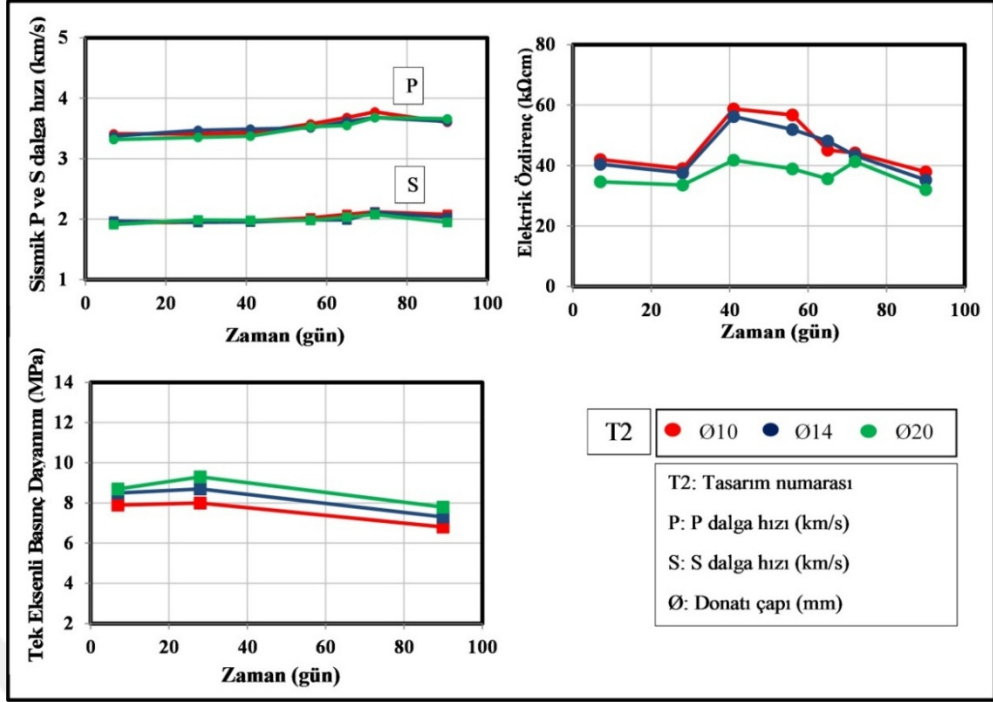


Şekil 5.24. T9 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

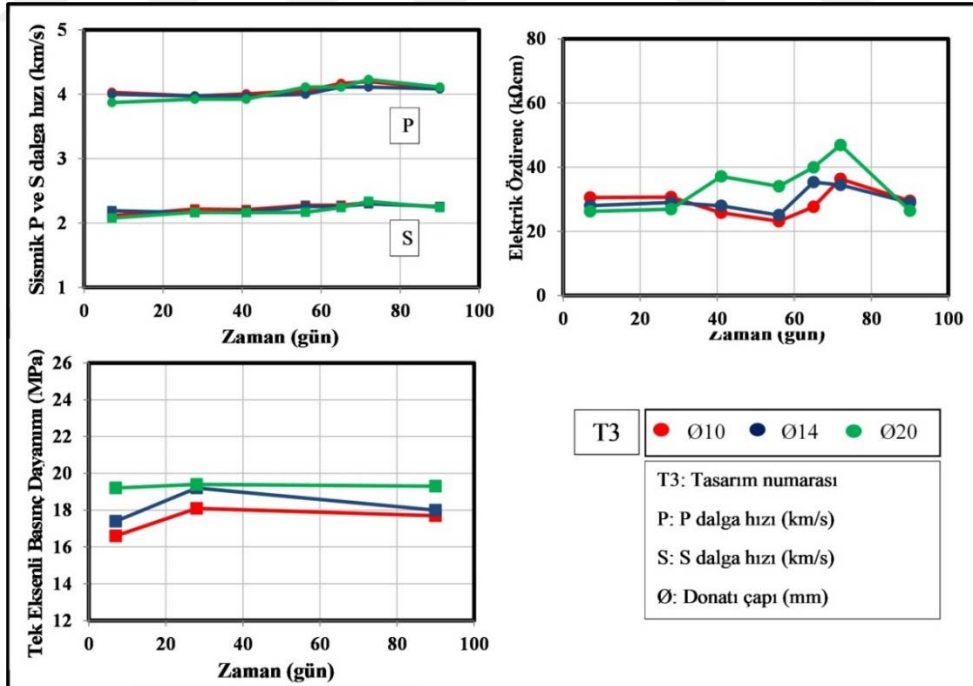
Hava küründeki düşük mukavemetli tasarımlara ait donatılı küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir (Şekil 5.25, 5.26 ve 5.27). Buna göre sismik hızlarda zamanla bir artış gözlenirken özdirenç ve dayanımlarda genellikle azalma eğilimi göze çarpmaktadır. Donatı çapı büyüdükçe sismik hızlar arasında ayırım yapmak güçleşirken özdirenç değerlerinde azalma dayanım sonuçlarında ise artma gözlenmektedir. İlk tasarımda daha düşük P dalga hızı değerleri gözlemlenirken tasarımın mukavemeti arttıkça bu hız değerinde de artış gözlenmektedir. Genellikle 72. güne kadar gözlenen artış daha sonrasında sabitlenmektedir. Bu durumun hava küründeki numunelerdeki donatıların asit etkisine maruz bırakılması sonucu korozyona uğramaya başlaması neticesinde olabildiği düşünülmektedir. Hava küründeki düşük dayanımlı numunelerin özdirenç değerleri su küründekilerden farklı olarak yüksek bulunmuştur (20-70 kΩcm). Dayanım sonuçları da düşük mukavemetli numunelerde genel olarak 4.8-20 MPa aralığındadır.



Şekil 5.25. T1 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

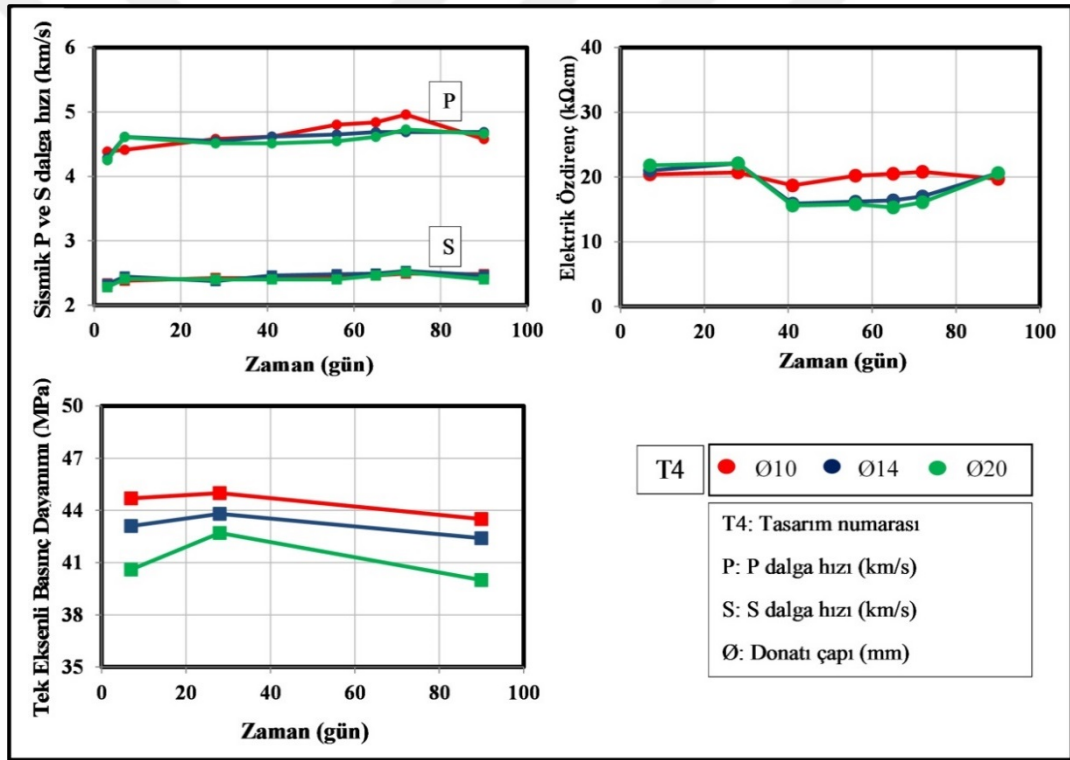


Şekil 5.26. T2 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

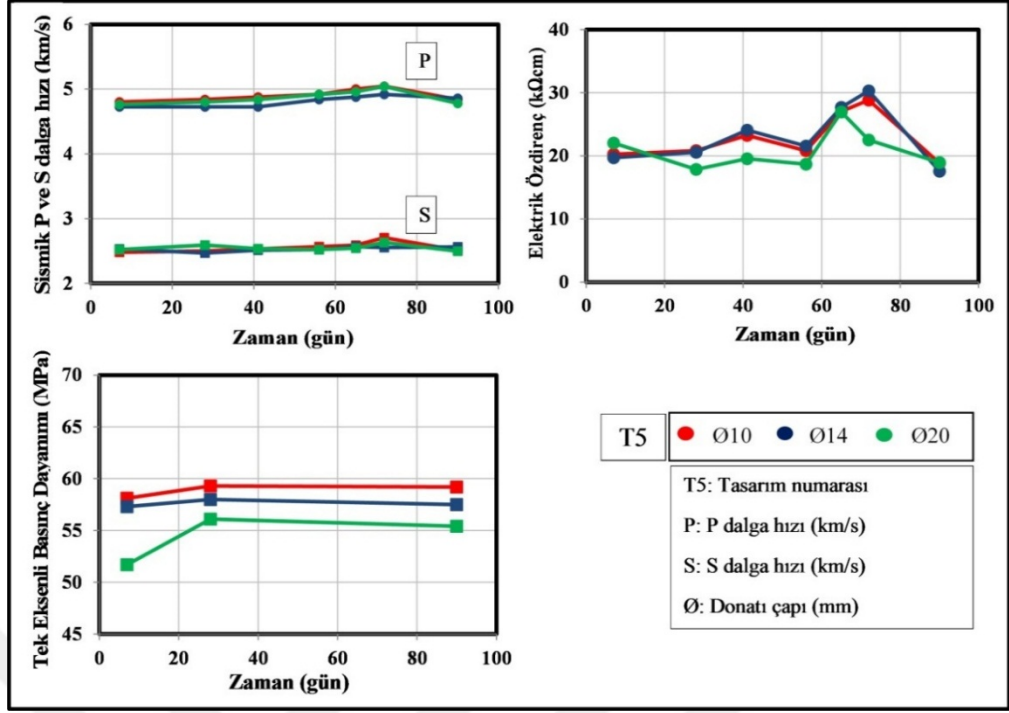


Şekil 5.27. T3 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

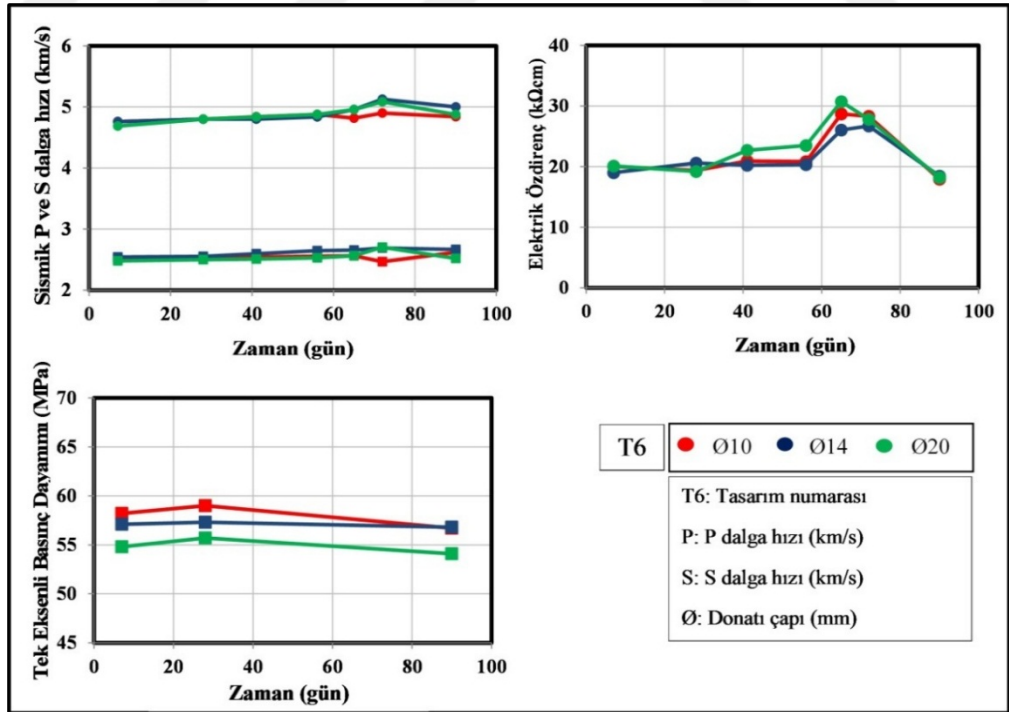
Hava küründeki normal ve yüksek mukavemet özellikleri gösteren tasarımlara ait donatılı küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirençleri ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi gösterilmiştir (Şekil 5.28-5.33). Buna göre sismik P dalga hız değerleri zamanla artmakta 65. veya 72. günlerde ise sabitlenmekte veya azalmaktadır. S dalga hız değerlerindeki değişim çok daha azdır. İlk ve son gün ölçümleri kıyaslandığında özdirenç değerlerinde genel olarak azalma gözlenmiştir. Düşük mukavemetli gruba kıyasla da daha düşük özdirenç değerleri elde edilmiştir (17-30 kΩcm). Yüksek mukavemetli betonlarda donatı çapı arttıkça özdirenç ve dayanım değerlerinde azalma gözlenmiştir. Yüksek mukavemetli gruplarda dayanım sonuçları 40-68 MPa arasında değişmektedir. Yine su küründeki gibi öngörülen dayanım değerleri bazı tasarımlarda elde edilememiştir.



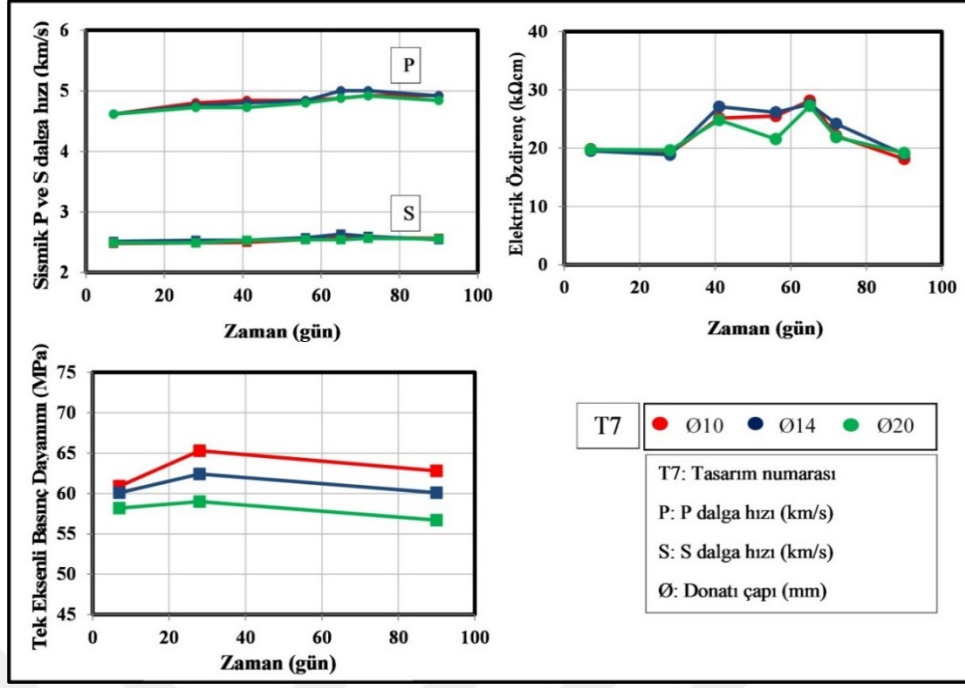
Şekil 5.28. T4 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



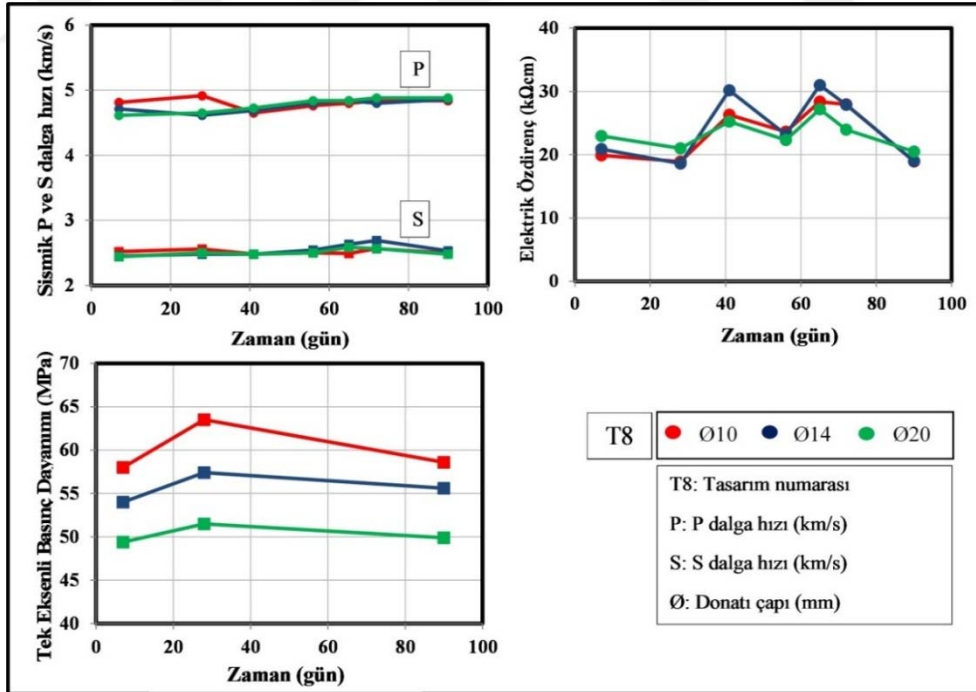
Şekil 5.29. T5 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalgası hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



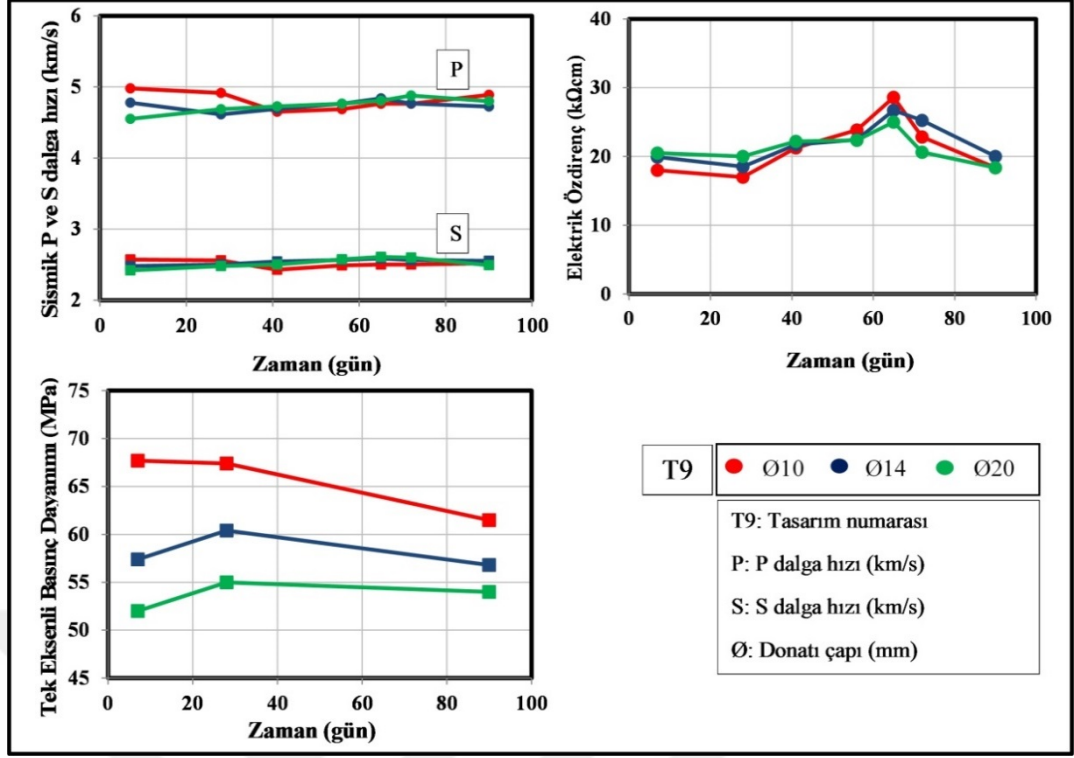
Şekil 5.30. T6 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalgası hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.31. T7 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenci ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

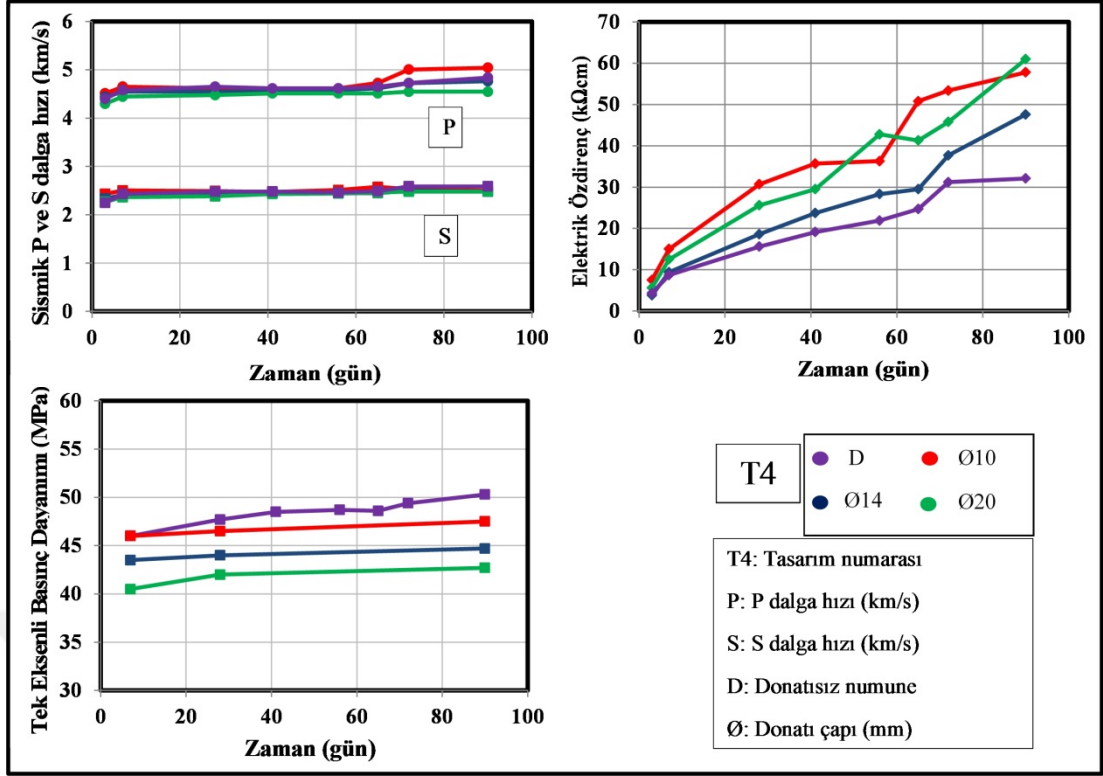


Şekil 5.32. T8 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenci ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.33. T9 tasarımı donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

Hazırlanan tasarımlardan bir tanesi kuru beton grubunu oluşturmuştur. Bu numuneler su kürü ya da hava küründeki asit etkisindeki numunelerden farklı olarak sadece açık havada kuru halde tutularak çevre koşullarının etkisi gözlenmeye çalışılmıştır. Numunelerin 27 adedi donatısız olarak hazırlanmış 6'şar adedi de 10, 14 veya 20mm'lik donatılı küp beton olarak hazırlanmıştır. Özdirenç ve dayanım değişimlerinin donatı çapına bağlı olarak ters orantılı değiştiği gözlenmiştir (Şekil 5.34).

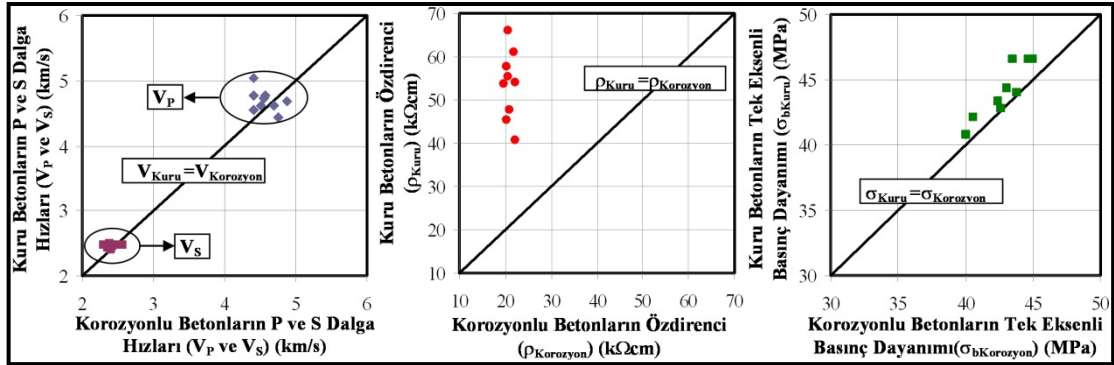


Şekil 5.34. T4 tasarımı donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) kuru beton grubundaki küp numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

5.1.5. Korozyonun etkisini ortaya koyan sonuçlar

Donatılı beton numunelerinin üzerindeki korozyon etkisini gözlemlemek için T4 tasarımına ait numunelerin bazılarında 90 gün boyunca belirli aralıklarla (7., 28., 41., 56., 65., 72., 90. gün) asit dökülmüştür. Aynı tasarımın asit dökülen ve dökülmeyen numunelerin sismik P ve S dalga hızları, elektrik özdirenç değerleri ve tek eksenli basınç dayanımları Şekil 5.35'te karşılaştırılmıştır. Normal şartlarda korozyona uğramış betonun dayanımında azalma meydana geleceğinden dolayı sismik hızlarında da azalma beklenilir. Çalışılan beton numunelerinin çoğunluğunda hem P hem de S hızlarında bu azalma çok azda olsa gözlemlenebilir. Bu durumun tek eksenli basınç dayanımı içinde geçerli olduğu görülmektedir. Bu şekil içerisinde korozyona uğratılan ve uğratılmayan kuru betonların özdirenç değerlerinde korozyon etkisi daha net görülmektedir. Dolayısıyla karşılaştırılan parametreler içerisinde özdirenç değerleri korozyona daha duyarlı olduğu Şekil 5.35'te görülmektedir. Ayrıca korozyonun beton

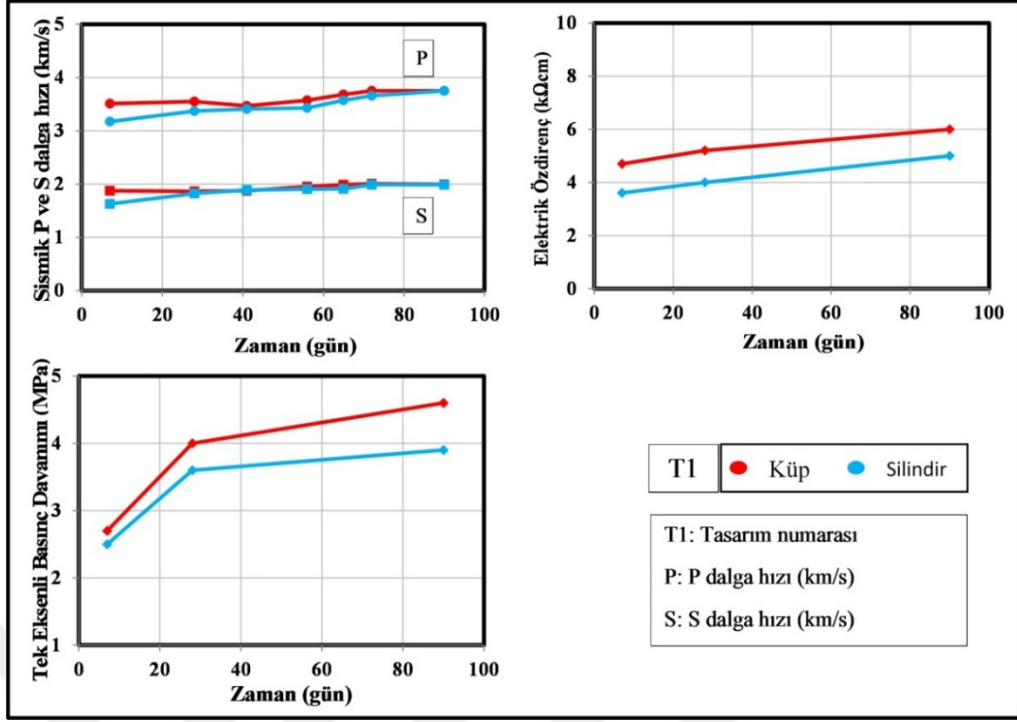
dayanımına etki etmesi için biraz daha süreye ya da korozyonu hızlandırmak için daha fazla asit dökmek gerektiği anlaşılabilir.



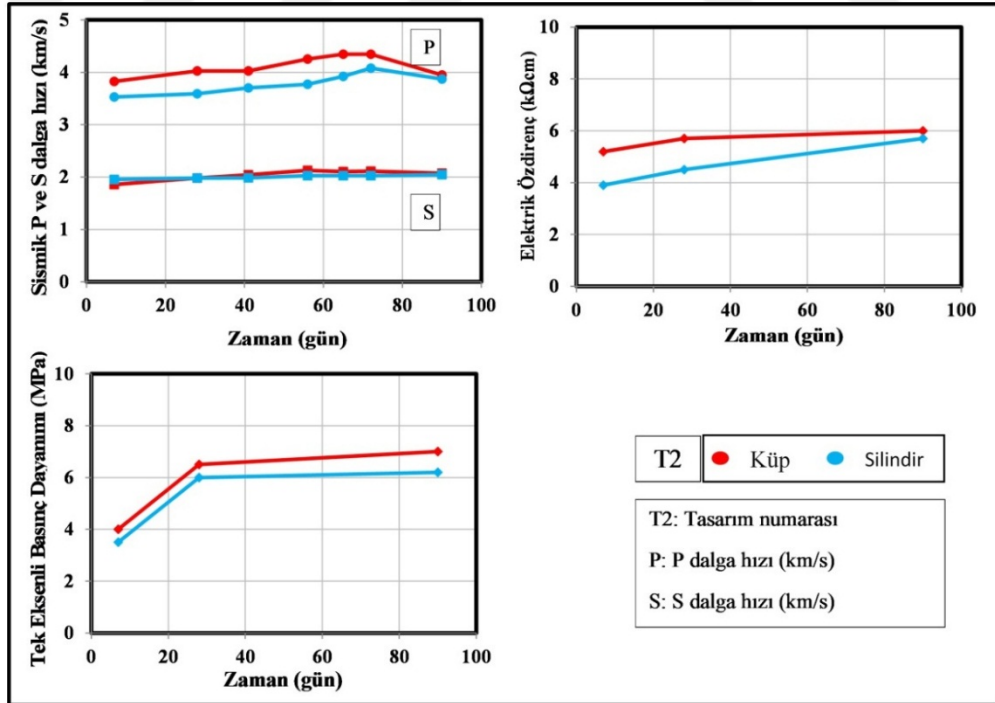
Şekil 5.35. T4 tasarımına ait asit dökülen ve dökülmeyen donatılı betonların sismik P ve S dalga hızlarının, görünür özdirenc değerlerinin ve tek eksenli basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

5.1.6. Boyut etkisini ortaya koyan sonuçlar

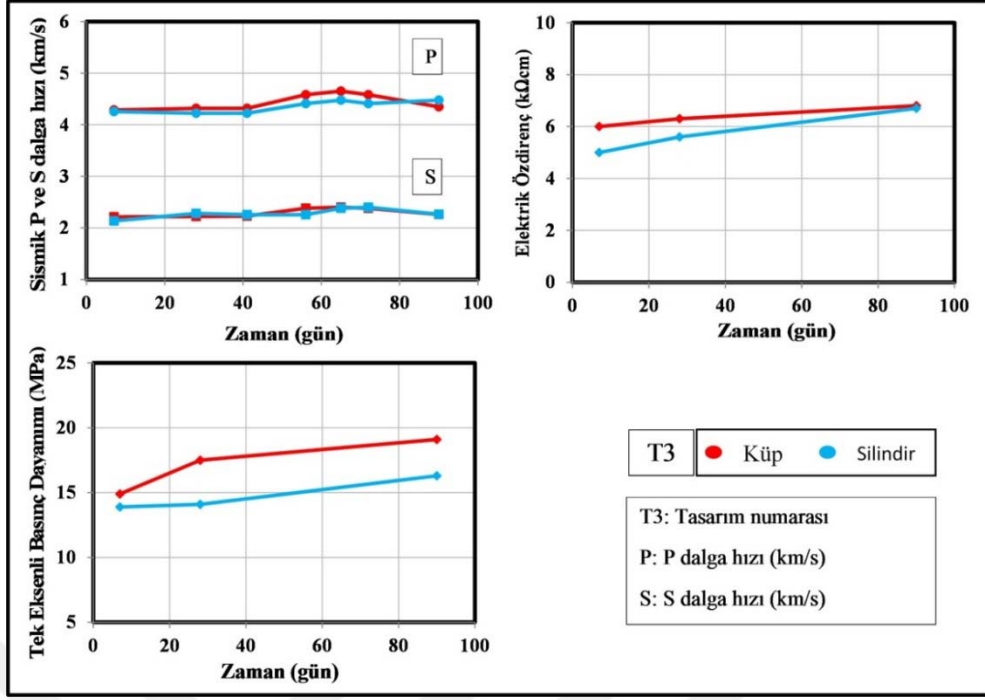
Hazırlanan tasarımlardaki su kürüne tabi tutulan donatısız küp ve silindir şekilli numunelerin karşılaştırılmaları yapılarak sismik P ve S dalga hız, elektrik özdirenc ve basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi (Şekil 5.36-5.44) sunulmuştur. Bu şekiller incelendiğinde literatürdeki çalışmalara benzer şekilde küp betonların dayanımları silindirik beton numunelerin dayanımından daha yüksek bulunmuştur (Arioğlu vd., 1999). Bu durum 90 gün boyunca yapılan tüm dayanım sonuçları için geçerlidir. Beton mukavemeti arttıkça küp ve silindir numunelerin dayanım farkıda büyümektedir. Şekil 5.36 ve 5.44 arasında verilen tüm şekillere birlikte bakıldığında küp ve silindirik numunelerin sismik hızları arasında belirgin bir farklılık elde edilmemiştir. Bu durum sismik hızların numune şekline bağlı değişmediğini yani şekil faktöründen etkilenmediğini göstermektedir. Hız, özdirenc ve dayanım değerleri genellikle zamana bağlı olarak artmıştır. Düşük (T1-T2), orta (T3-T4) ya da yüksek (T5...T9) mukavemetli suya doymun küp betonlarda özdirenc değerleri silindirik betonlarınkine yakındır. Zayıftan sağlama doğru suya doymun betonların özdirenc değerleri artmaktadır.



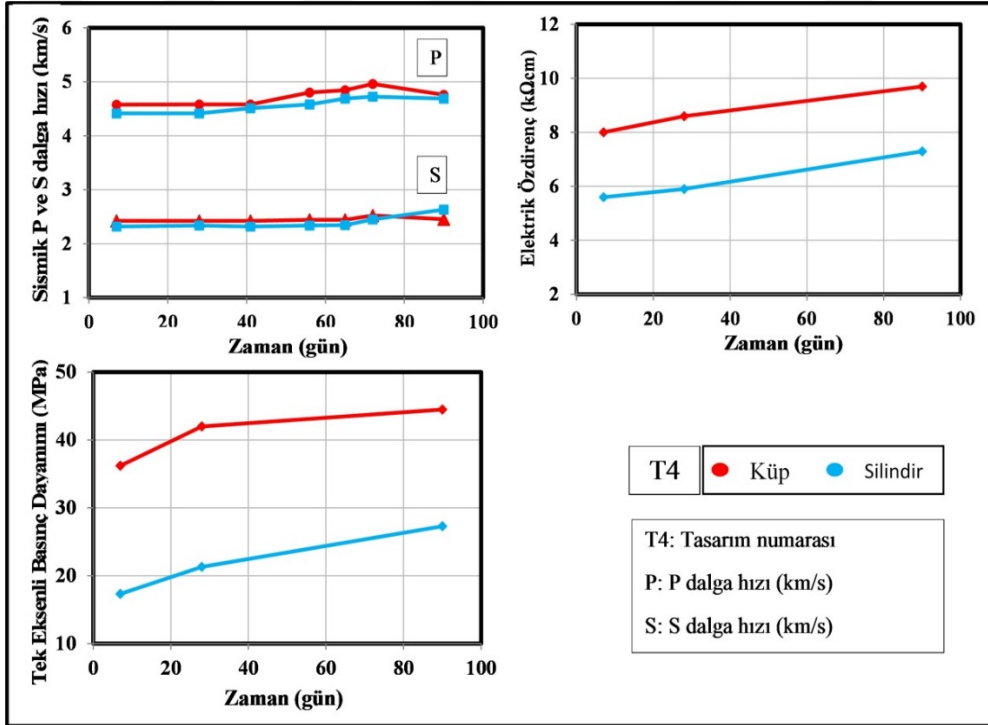
Şekil 5.36. T1 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



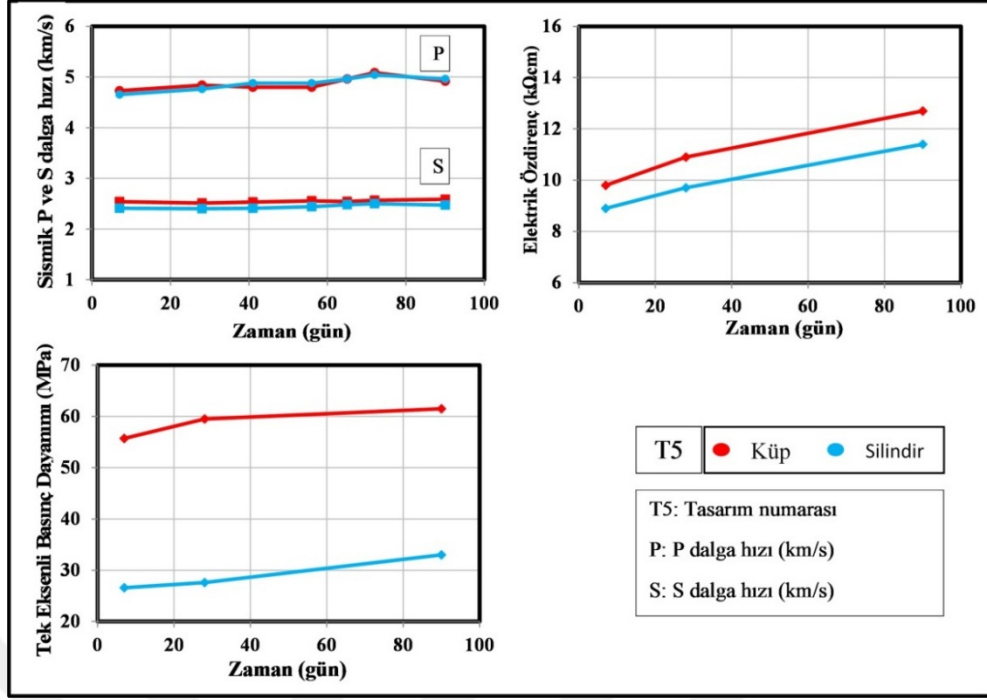
Şekil 5.37. T2 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



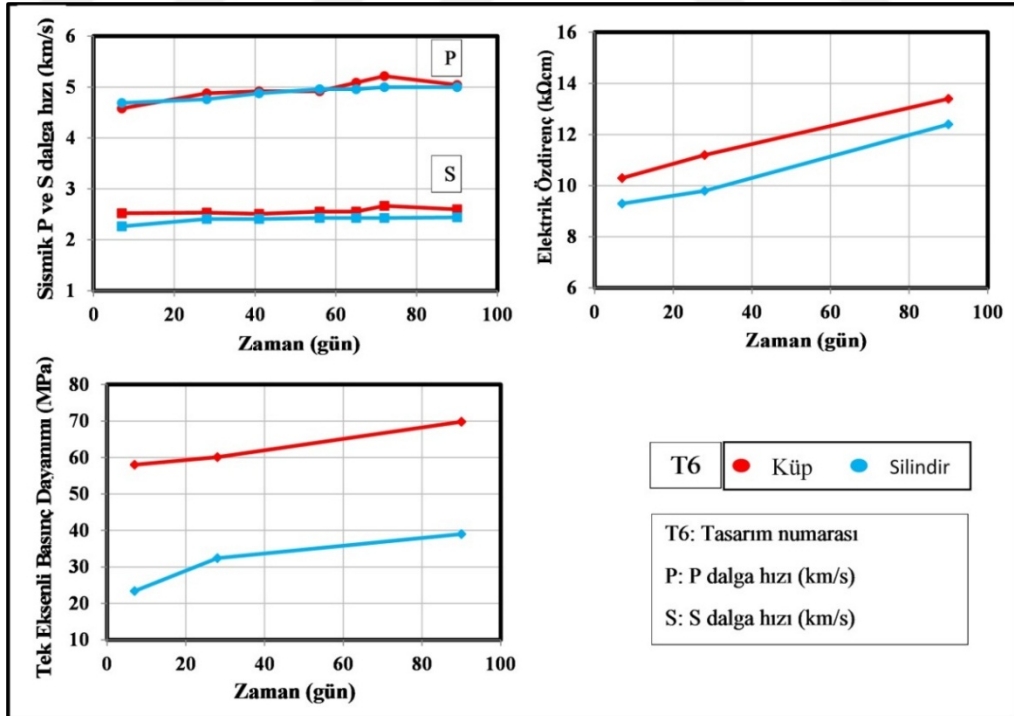
Şekil 5.38. T3 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalgası hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



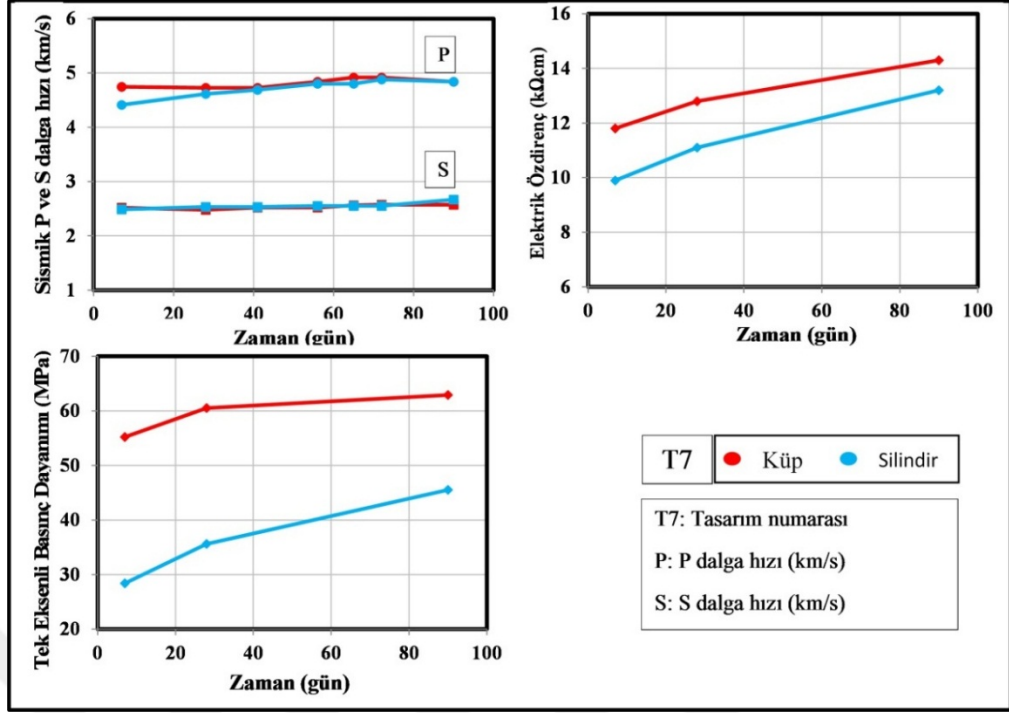
Şekil 5.39. T4 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalgası hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



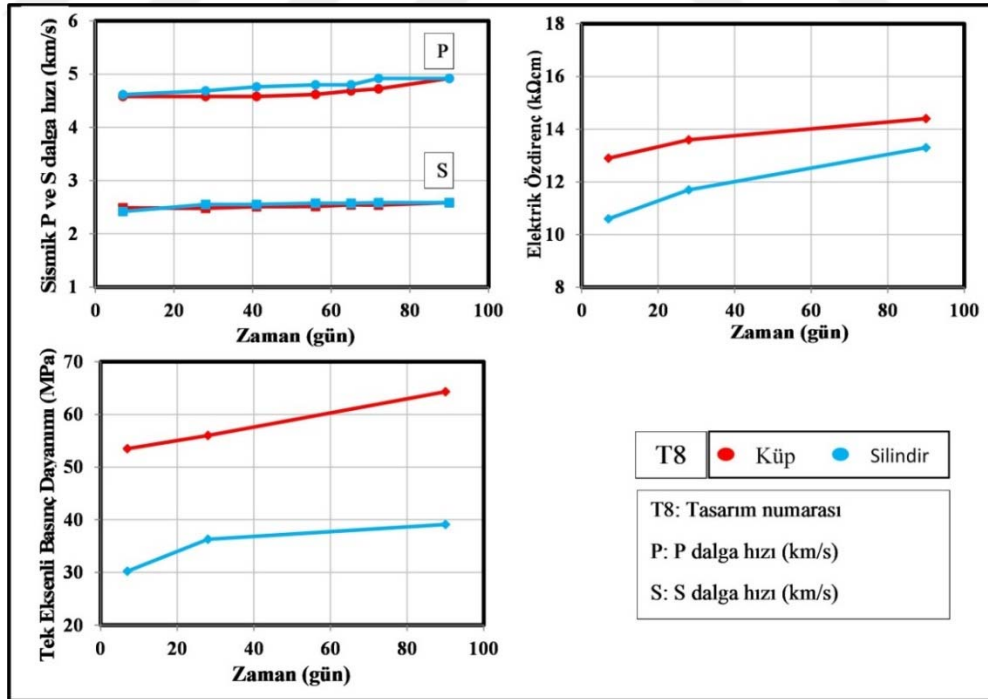
Şekil 5.40. T5 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



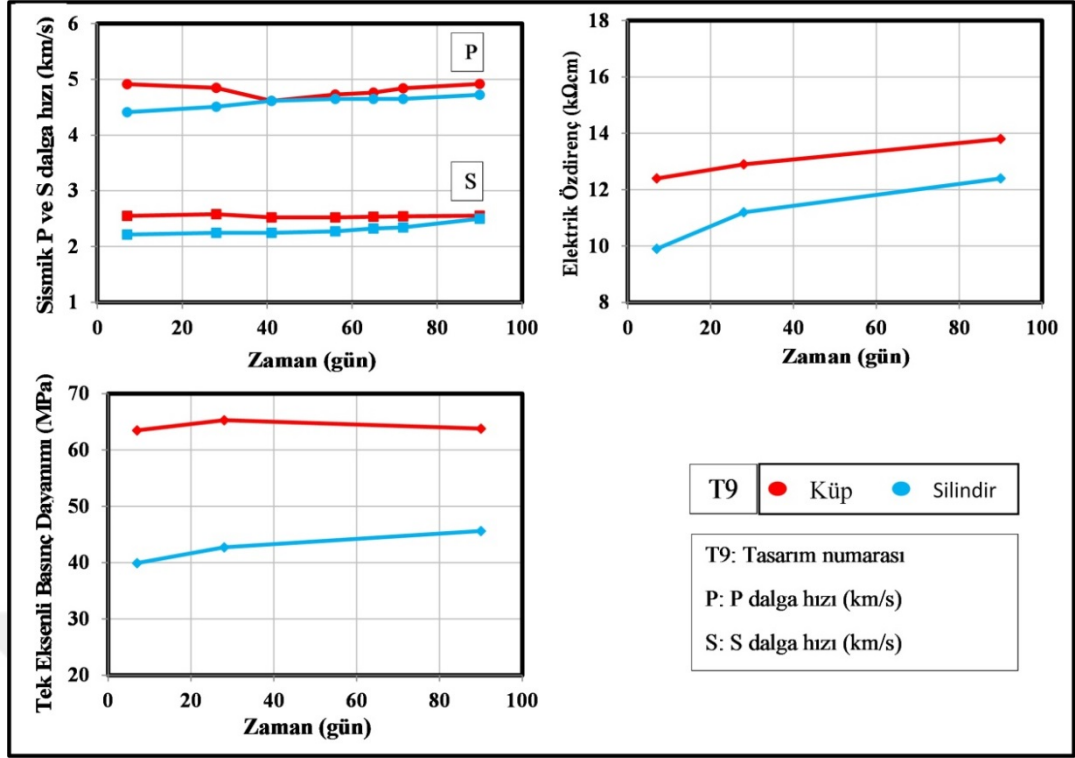
Şekil 5.41. T6 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.42. T7 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalgası hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

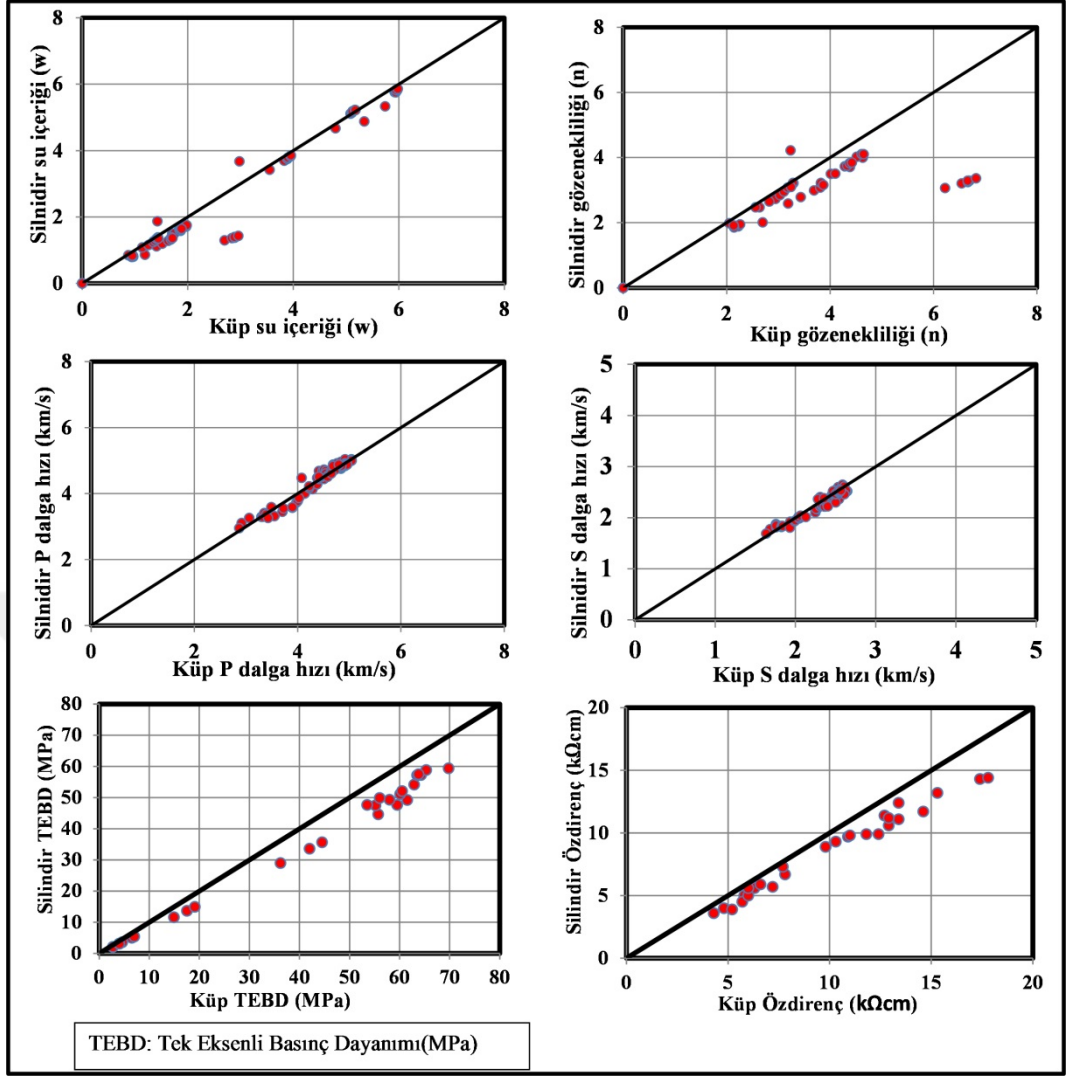


Şekil 5.43. T8 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerin sismik P ve S dalgası hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.44. T9 tasarımı su kürü grubundaki küp ve silindirik şekilli donatısız beton numunelerinin sismik P ve S dalga hızları, görünür özdirenç ve tek eksenli basınç dayanımlarının zamana bağlı değişimi.

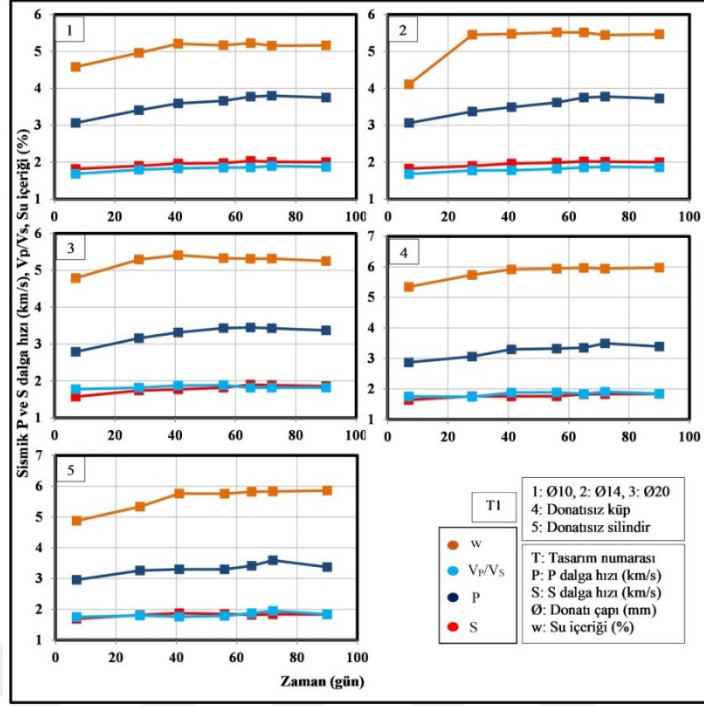
Şekil 5.45'te donatısız küp ve silindir şekilli numunelerin su içerikleri, gözeneklilikleri, P ve S dalga hızı, özdirenç değerleri ile tek eksenli basınç dayanımları arasındaki karşılaştırmalar gösterilmiştir. Buna göre Sismik hızların şekil etkisiyle neredeyse hiç değişmediği ancak özdirenç, tek eksenli basınç dayanımı, su içeriği ve gözeneklilik değerlerinin küp numunelerde silindirik olanlara nazaran daha yüksek çıktığı görülmektedir.



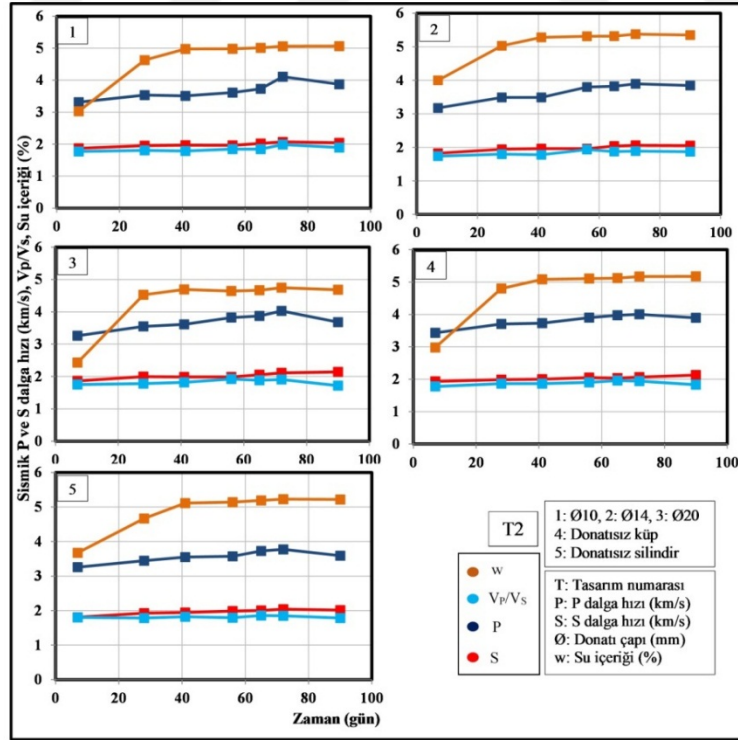
Şekil 5.45. Silindirik ve küp şeklindeki numunelerin su içeriği, gözeneklilik, P dalgası hızı, S dalgası hızı, tek eksenli basınç dayanımları ve özdirenç değerlerinin karşılaştırılması.

5.1.7. Beton özelliklerine ait sonuçlar

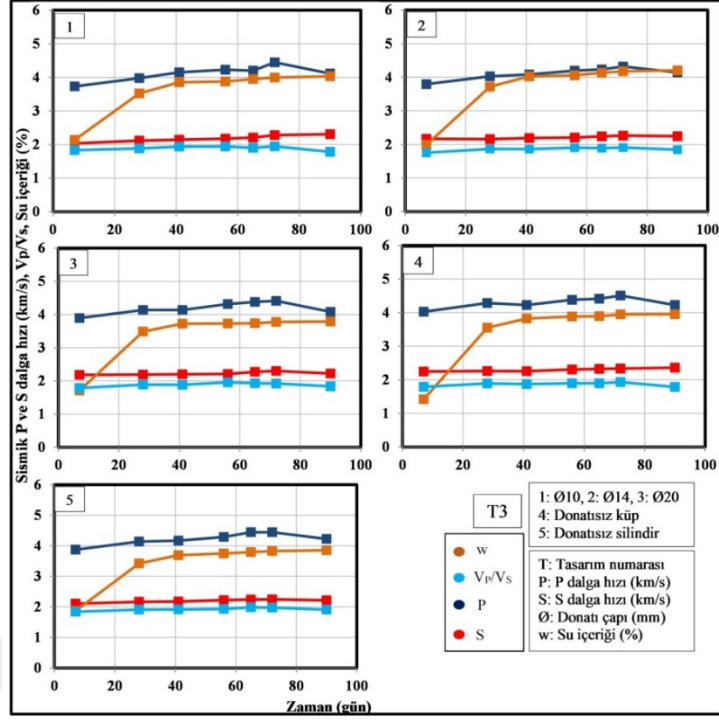
9 farklı tasarım için sismik P ve S dalgası hızı, sismik hız oranı (V_p/V_s) ve su içeriklerinin zamana bağlı olarak değişimi donatısız küp, silindir ve içerisinde birer adet 10, 14 veya 20 mm çaplarında donatı bulunduran donatılı küp numuneleri için ayrı ayrı sunulmuştur (Şekil 5.46-5.54). Buna göre su içerikleri özellikle ilk üç tasarımda fazla iken tasarımların mukavemeti arttıkça su içeriklerinde de azalma gözlenmektedir. Düşük mukavemetli betonlarda su içerikleri %4.5-5.5 aralığında iken yüksek mukavemetli betonlarda bu oran %1-1.5 aralığına kadar düşmektedir. Su içeriğinin fazla olduğu tasarımlarda sismik hız değerleri de düşük olmaktadır.



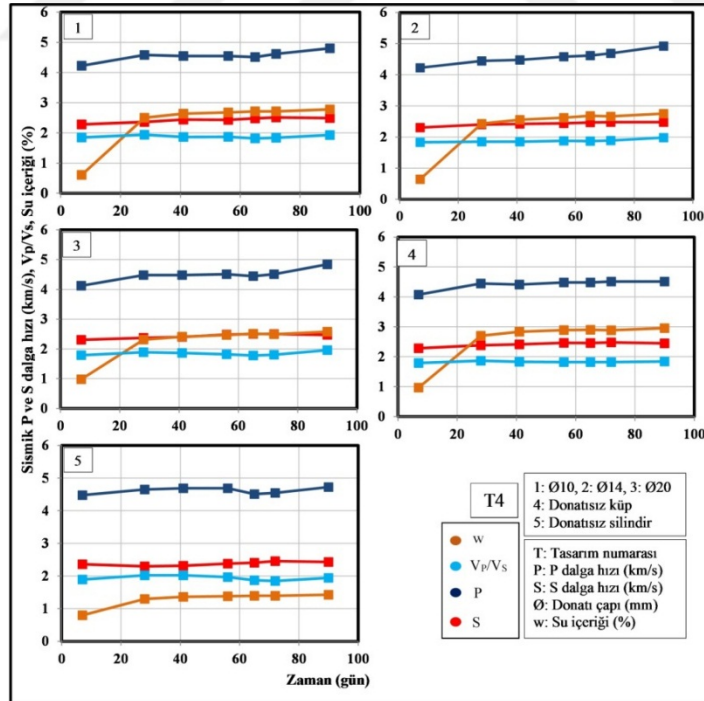
Şekil 5.46. T1 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.



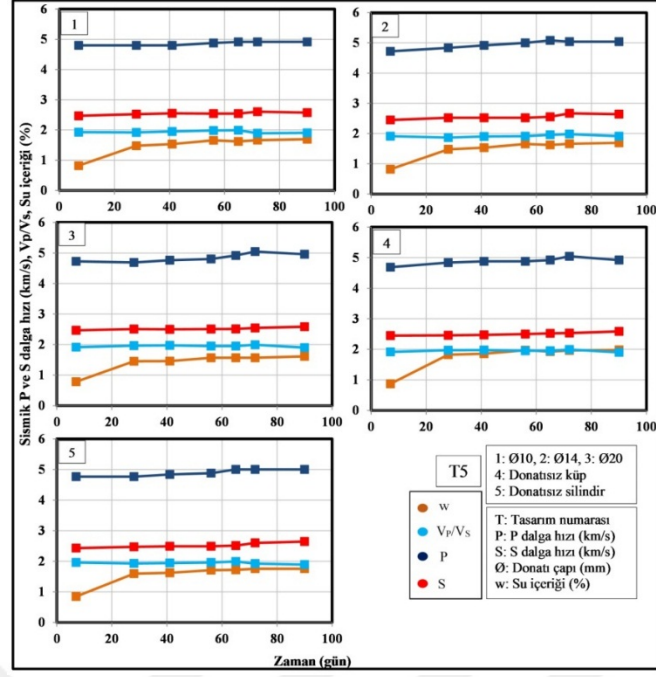
Şekil 5.47. T2 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.



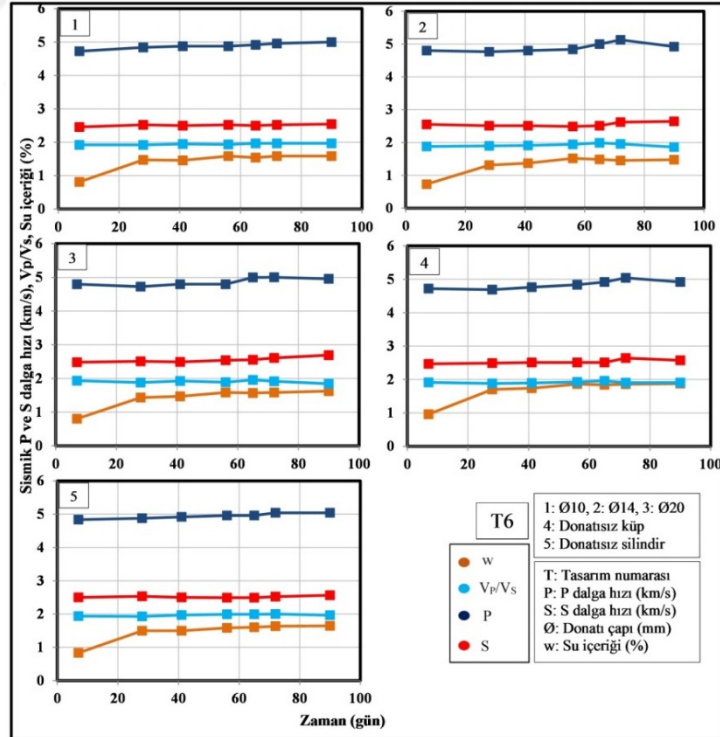
Şekil 5.48. T3 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalgası hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.



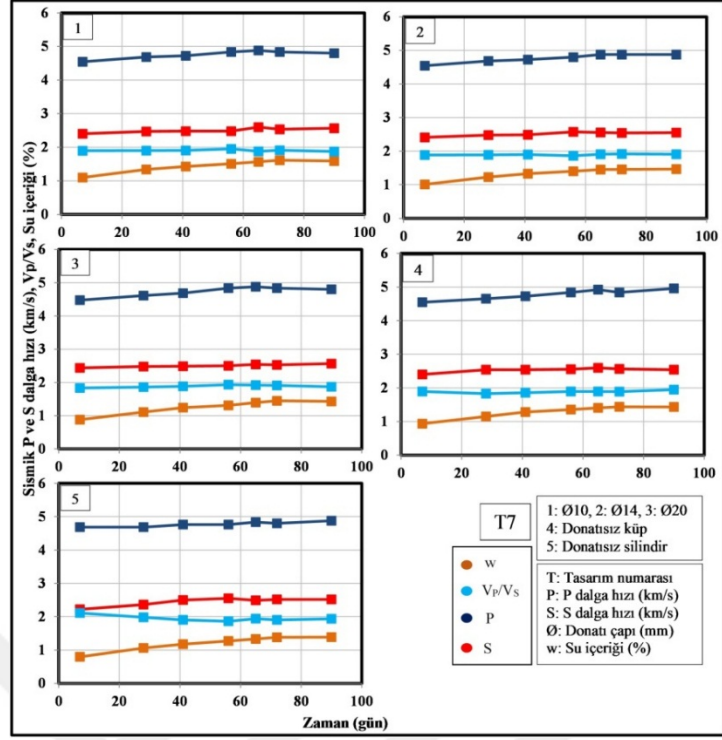
Şekil 5.49. T4 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalgası hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.



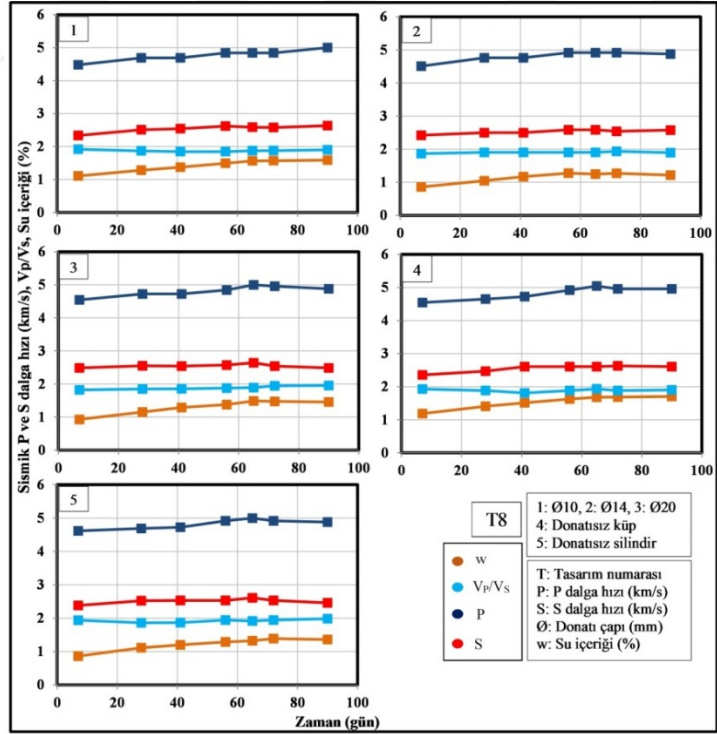
Şekil 5.50. T5 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.



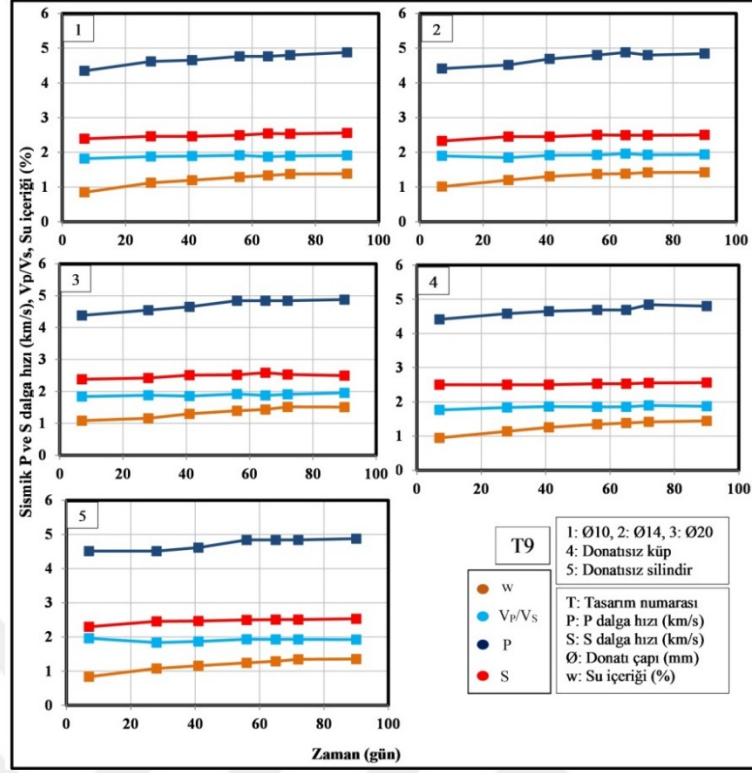
Şekil 5.51. T6 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.52. T7 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.

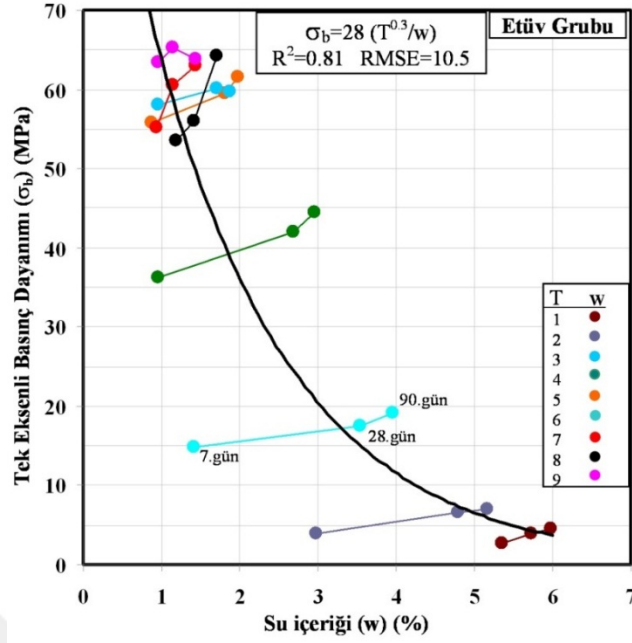


Şekil 5.53. T8 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.



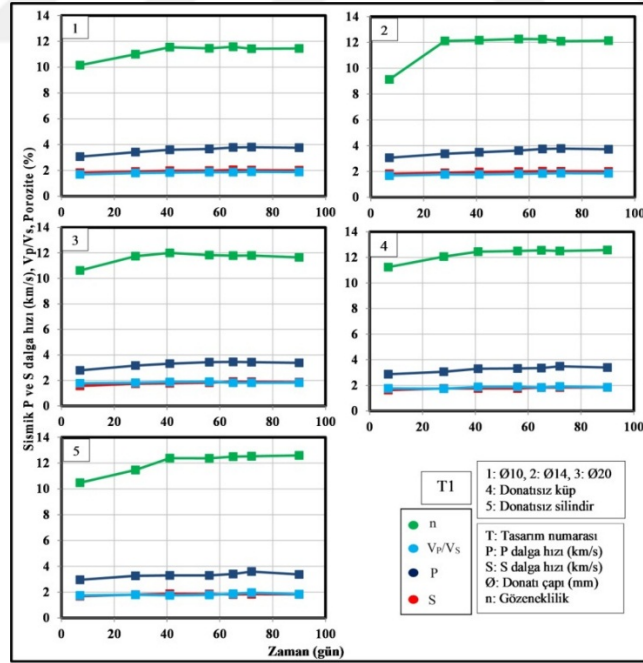
Şekil 5.54. T9 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalgası hızları, sismik hız oranları ve su içeriklerinin zamana bağlı değişimi.

Şekil 5.55'te etüv grubundaki donatısız küp numunelerin su içeriklerinin zamana bağlı değişiminin basınç dayanımına etkisini ortaya koymak amacıyla geliştirilen ilişki sunulmuştur. Buna göre kür süreleri her bir tasarımda kendi içinde zamanla suya doygunluk ile birlikte artmaktadır. Ancak bütün tasarımlar bir arada düşünülerek yapılan değerlendirmede numunelerin su içerikleri ve basınç dayanımları arasında negatif yönde üstel bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum içerisinde gözenek miktarı az olan numunelerin basınç dayanımlarının doğal olarak yüksek bulunmasına sebep olmaktadır. Hazırlanan tasarımların su içeriğine göre gözeneklilik miktarlarındaki zamana bağlı değişim sismik hızlar ve sismik hız oranları ile karşılaştırılarak sunulmuştur (Şekil 5.56-5.64). Buna göre daha önce belirtilen su içeriklerine paralel olarak düşük mukavemetli tasarımlarda gözeneklilik oranları yüksek iken yüksek mukavemet gösterenlerde düşüktür. İlk tasarımda bu oran %10-13 civarında iken en yüksek mukavemetli numunelerde % 2-3.5 aralığındadır. Yine su içeriği gibi gözeneklilik miktarı azaldığında da hız miktarlarında artma gözlemlenmektedir.

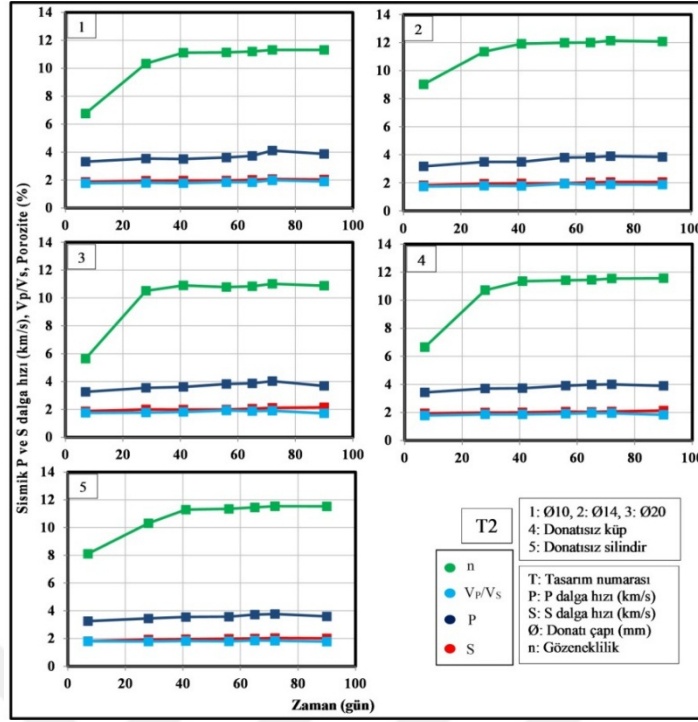


Şekil 5.55. Etüv grubundaki donatısız küp numunelerin su içeriklerinin zamana bağlı değişiminin basınç dayanımına etkisi.

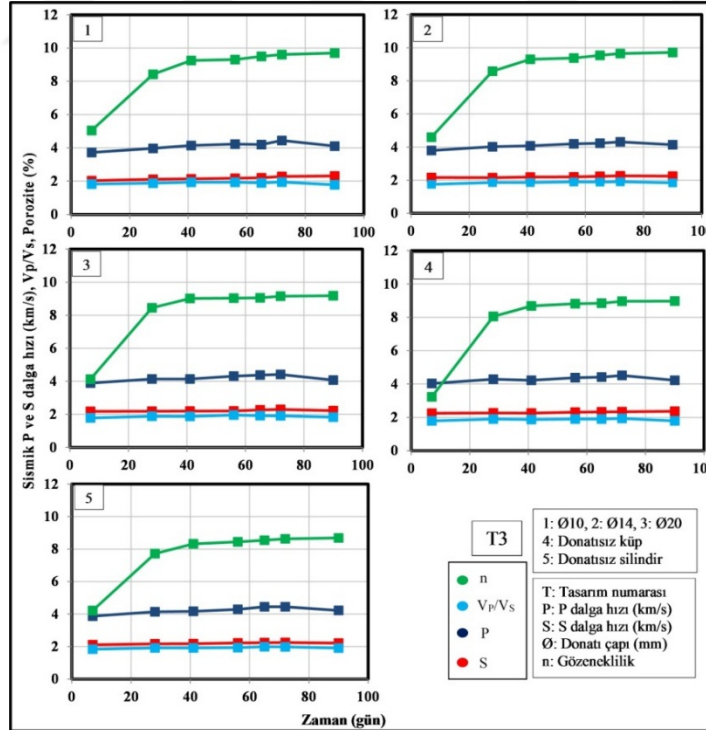
$$\sigma_b = 28 \frac{T^{0.3}}{w} \quad R^2=0.81, \quad RMSE=10.5 \quad (5.42)$$



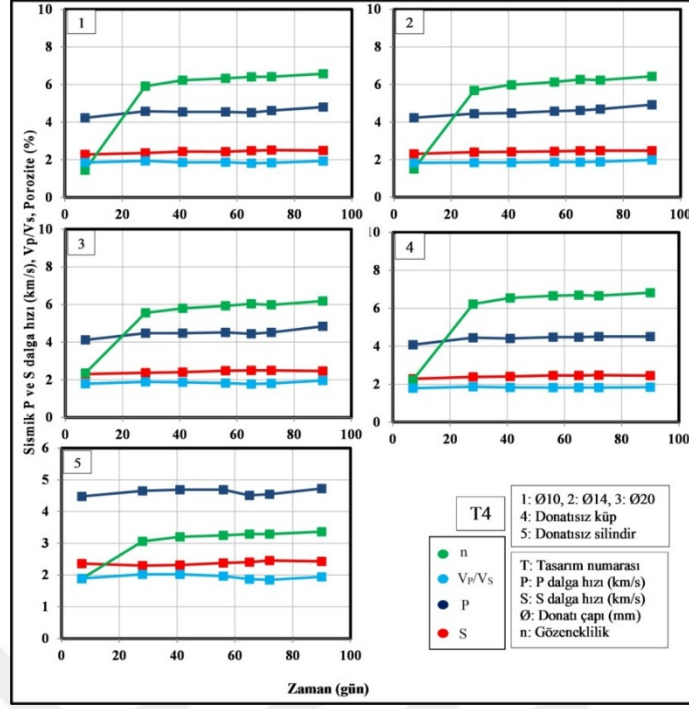
Şekil 5.56. T1 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı ($\text{Ø}10$, $\text{Ø}14$ veya $\text{Ø}20$) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



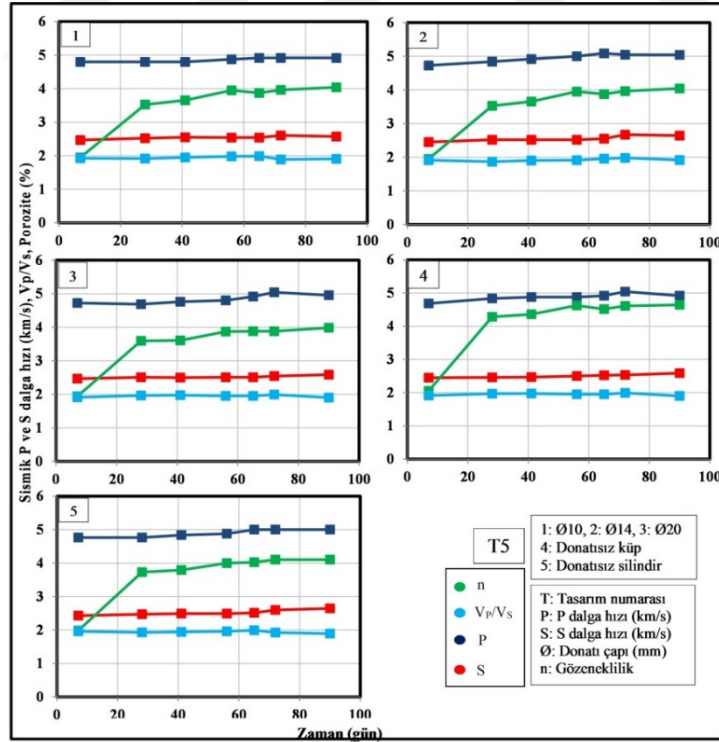
Şekil 5.57. T2 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



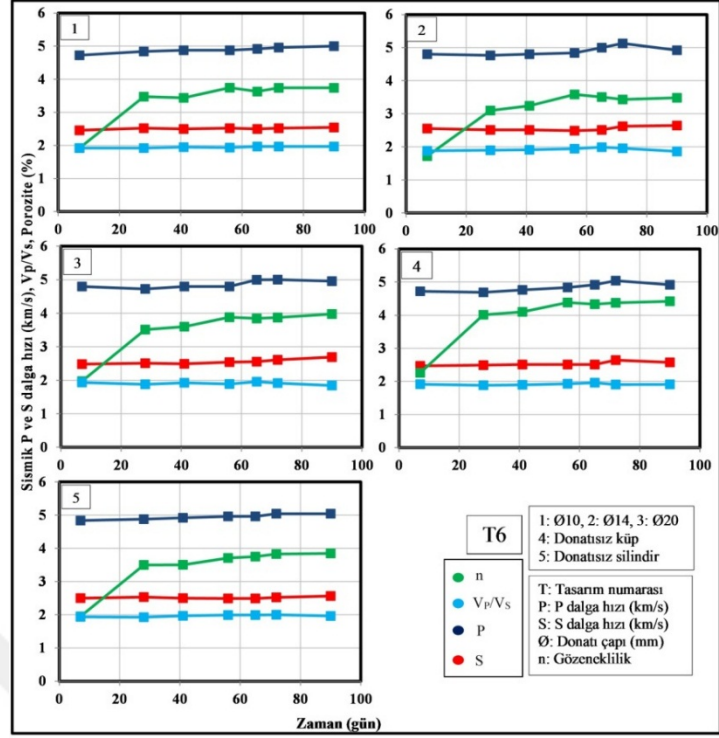
Şekil 5.58. T3 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



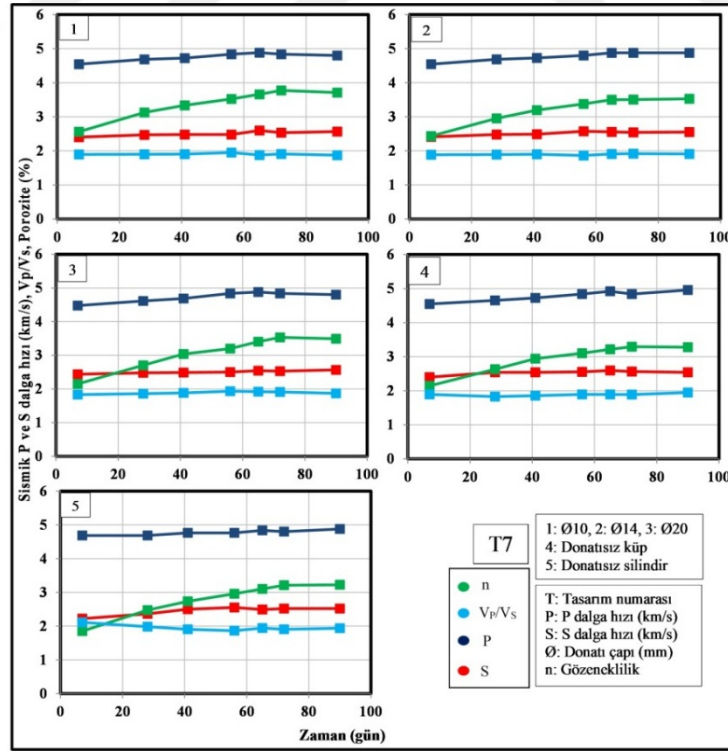
Şekil 5.59. T4 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



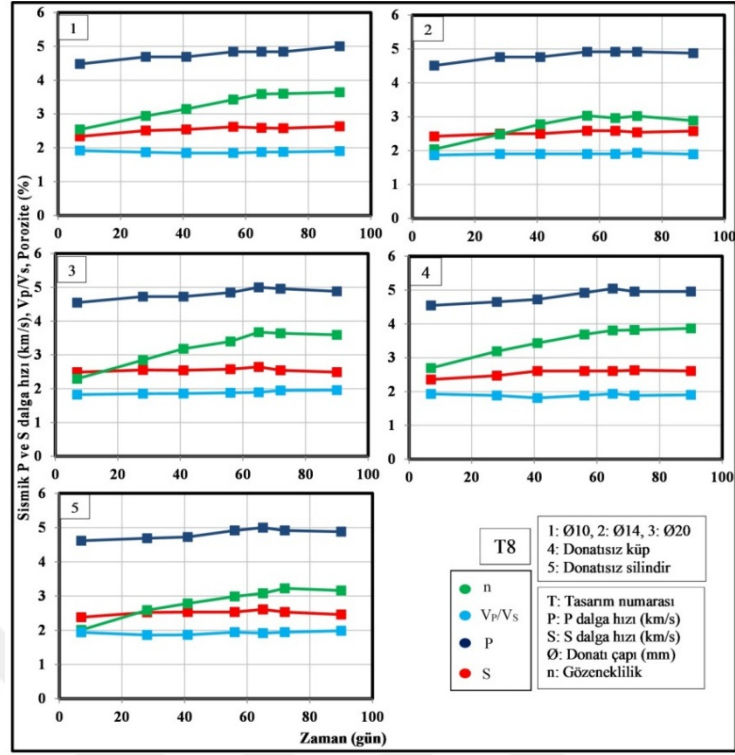
Şekil 5.60. T5 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



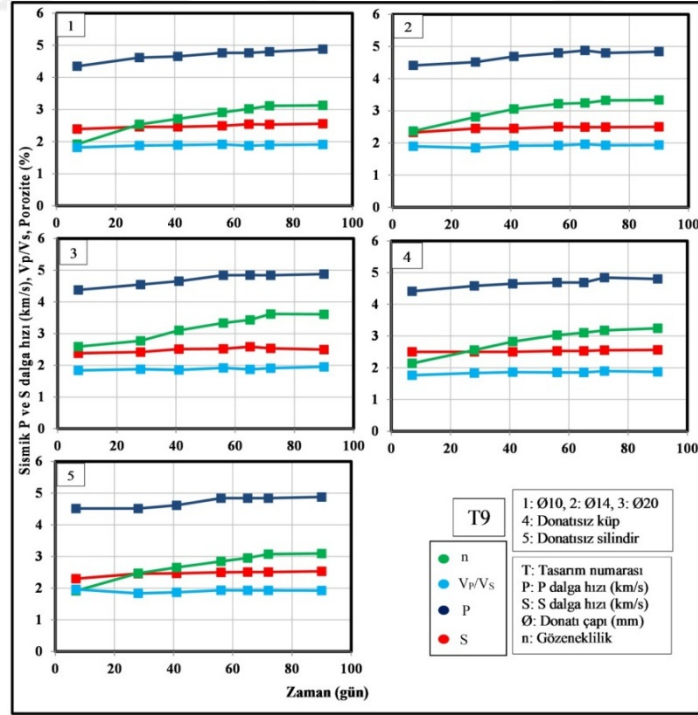
Şekil 5.61. T6 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.62. T7 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.63. T8 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 5.64. T9 tasarımı donatısız silindirik, donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) etüv grubundaki küp numunelerin P ve S dalga hızları, sismik hız oranları ve gözenekliliklerinin zamana bağlı değişimi.

Şekil 5.65'te tüm tasarımlara (T1,...,T9) ait etüv grubundaki donatısız silindirik numunelerin ve donatılı-donatısız küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile su içeriği, porozite ve yoğunluk arasındaki ilişkileri ve benzer olarak özdirenç, sismik hızların ve sismik hız oranlarının su içeriği ile, porozite ile ve yoğunluk ile ilişkileri sunulmuştur. Bu şekil irdelendiğinde su içeriği azaldıkça tek eksenli basınç dayanımı ve özdirenç bariz bir şekilde artarken P ve S dalga hızında ve sismik hız oranında belirgin bir artış görülmemektedir. Bilindiği üzere yüksek dayanımlı betonların daha az gözeneklilik ve dolayısıyla daha az su içeriğinin olması doğaldır. Bu yüzden de tek eksenli basınç dayanımında ve özdirenç değerinde de su içeriğinin azalmasıyla artış olması beklenilir. Su içeriği ile birlikte normal koşullarda P dalga hızı artar ki daha önceki değerlendirmelerde bu durum gözlenmişti fakat burada tüm numuneler bir arada değerlendirildiğinden yüksek dayanımlı tasarımların dayanım özelliği daha baskın çıktığı için su içeriği azalması ile hız artıyor görülmektedir. Normal koşullarda su içeriği ile S dalga hızı etkilenmez ve bu durum şekilden de yaklaşık görülmektedir. Su içeriği değişimi dar bir aralıkta olmasından dolayı sismik hız oranı ile su içeriği arasında belirgin bir ilişki belirlenememiştir. Porozite azaldıkça dayanım, özdirenç, P ve S dalga hız değerlerinin arttığı Şekil 5.65'te görülmektedir. Tasarımların yoğunluk değerinin de dayanım, özdirenç, P ve S dalga hızları ve sismik hız oranı ile değişimi Şekil 5.65'te sunulmuştur. Ayrıca yoğunluk değeri zamana bağlı olarak da takip edilmiş ama zamana bağlı olarak her numunenin yoğunluğu neredeyse hiç değişmemiştir. Yoğunluk değerleri ortalama olarak 2.2-2.5 gr/cm³ aralığındadır. Bu yüzden de diğer parametreler ile arasında belirgin bir ilişki elde edilmemiştir.

$$\sigma_b = 103.2e^{-0.55w} \quad R^2=0.78 \quad (5.43)$$

$$\sigma_b = 107.4e^{-0.25n} \quad R^2=0.76 \quad (5.44)$$

$$\rho = 18.6w^{-0.74} \quad R^2=0.81 \quad (5.45)$$

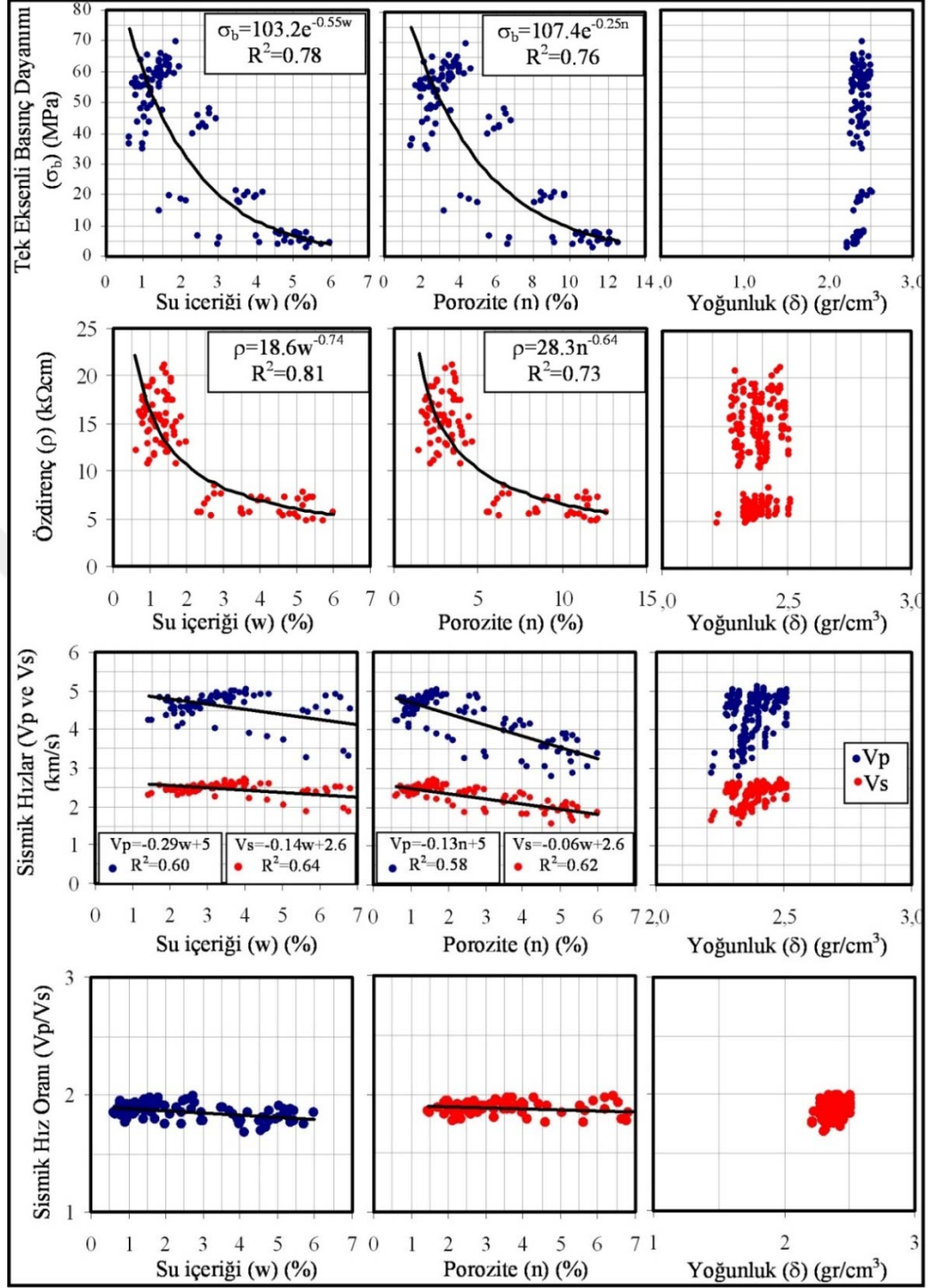
$$\rho = 28.3n^{-0.64} \quad R^2=0.73 \quad (5.46)$$

$$V_p = -0.29w + 5 \quad R^2=0.60 \quad (5.47)$$

$$V_s = -0.14w + 2.6 \quad R^2=0.64 \quad (5.48)$$

$$V_p = -0.13n + 5 \quad R^2=0.58 \quad (5.49)$$

$$V_s = -0.06n + 2.6 \quad R^2=0.62 \quad (5.50)$$



Şekil 5.65. Tüm tasarımların etiv grubundaki tüm numunelerin tek eksenli basınç dayanımının, özdirençin, P ve S dalga hızlarının, sismik hız oranlarının su içeriği ile, gözeneklilik ile ve yoğunluk ile ilişkileri.

5.1.8. Elastik modüllere ait sonuçlar

Statik ve dinamik elastik modüller, sismik hız oranı (V_p/V_s), Poisson oranı ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkilendirmeler Şekil 5.66-5.77'de sunulmuştur. TSE standartlarında hesabı verilen statik modüller ile sismik hızlar ve elastisite teorisi kullanılarak elde edilen dinamik modüller arasındaki ilişkiler Şekil 5.66 ve 5.69 arasında sunulmuştur. Statik ve dinamik elastisite modülleri arasındaki ilişkiler Şekil 5.66 ve 5.67'da ve statik ve dinamik kayma modülleri arasındaki ilişkiler Şekil 5.68 ve 5.69 su ve hava kürü için verilmiştir. Bu ilişkilendirmelerde görüldüğü gibi statik modüllerin artışı ile dinamik modüller de su ve hava grubu numuneler için üstel olarak artmaktadır. Bu ilişkilendirmeler de elde edilen ilişki katsayıları %90 üzerinde ve elastik modüllerin ilişkilendirmesinden elde edilen RMSE hataları 2.5 GPa iken kayma modülleri için 2.2 GPa'dır.

$$E_{ssu} = 0.70E_d^{1.08} \quad R^2=0.93, \quad RMSE=2.5 \quad (5.51)$$

$$E_{shava} = 2E_d^{0.8} \quad R^2=0.92, \quad RMSE=2.2 \quad (5.52)$$

$$G_{ssu} = 0.82G_d^{1.07} \quad R^2=0.92, \quad RMSE=0.96 \quad (5.53)$$

$$G_{shava} = 1.56G_d^{0.8} \quad R^2=0.12, \quad RMSE=0.94 \quad (5.54)$$

$$\sigma_{bsu} = 0.0004G_d^{4.37} \quad R^2=0.94, \quad RMSE=11.9 \quad (5.55)$$

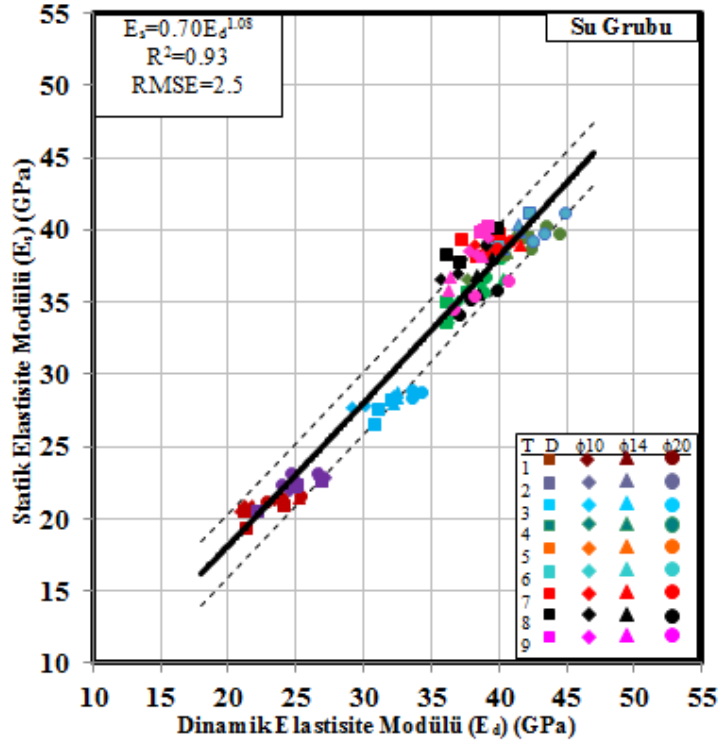
$$\sigma_{bsu} = 0.000006E_d^{4.41} \quad R^2=0.94, \quad RMSE=17.9 \quad (5.56)$$

$$\sigma_{bhava} = 0.006G_d^{3.33} \quad R^2=0.92, \quad RMSE=11.3 \quad (5.57)$$

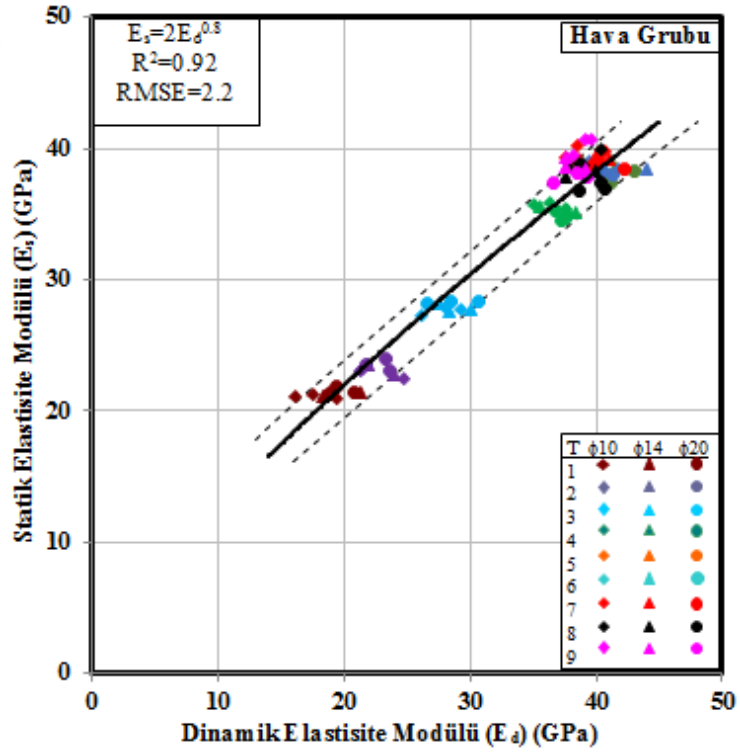
$$\sigma_{bhava} = 0.0005E_d^{3.18} \quad R^2=0.93, \quad RMSE=11.4 \quad (5.58)$$

$$\sigma_{bsu} = 0.00002K_d^{4.14} \quad R^2=0.88, \quad RMSE=13.2 \quad (5.59)$$

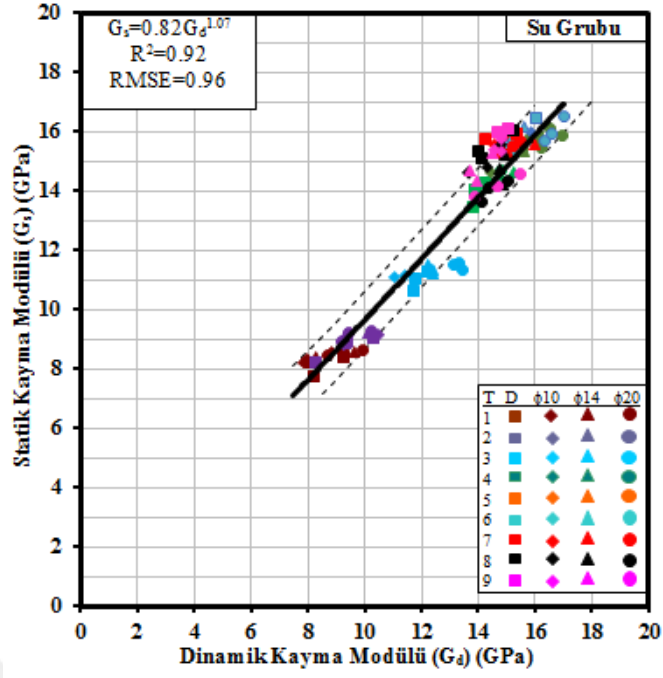
$$\sigma_{bhava} = 0.01K_d^{2.4} \quad R^2=0.93, \quad RMSE=7.2 \quad (5.60)$$



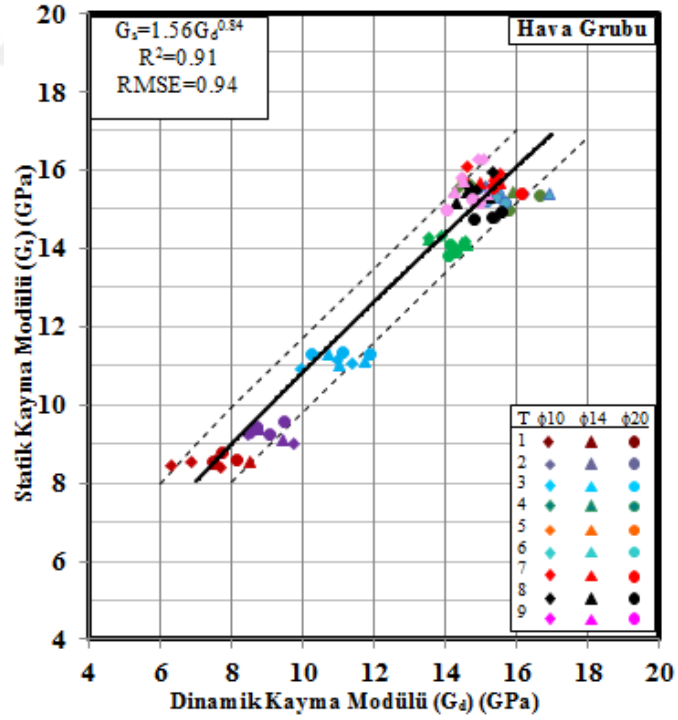
Şekil 5.66. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı ($\phi 10$, $\phi 14$ veya $\phi 20$) su küründeki küp numunelerin statik ve dinamik elastisite modülleri arasındaki ilişki.



Şekil 5.67. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı ($\phi 10$, $\phi 14$ veya $\phi 20$) hava küründeki küp numunelerin statik ve dinamik elastisite modülleri arasındaki ilişki.

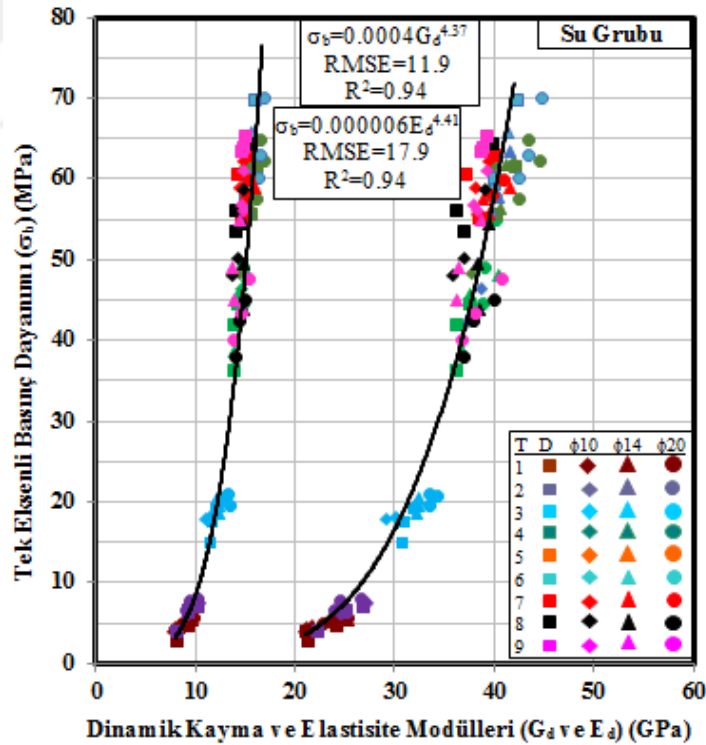


Şekil 5.68. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su küründeki küp numunelerin statik ve dinamik kayma modülleri arasındaki ilişki.

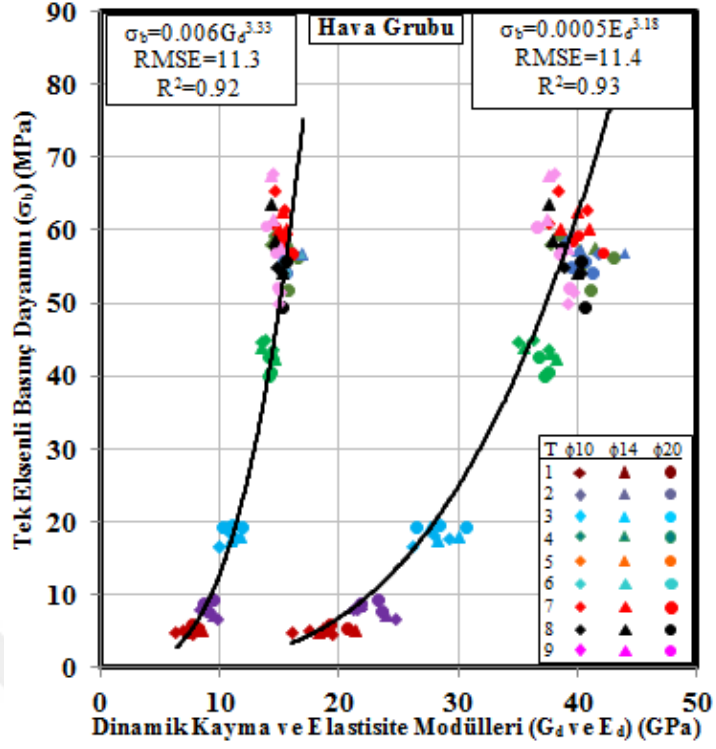


Şekil 5.69. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava küründeki küp numunelerin statik ve dinamik kayma modülleri arasındaki ilişki.

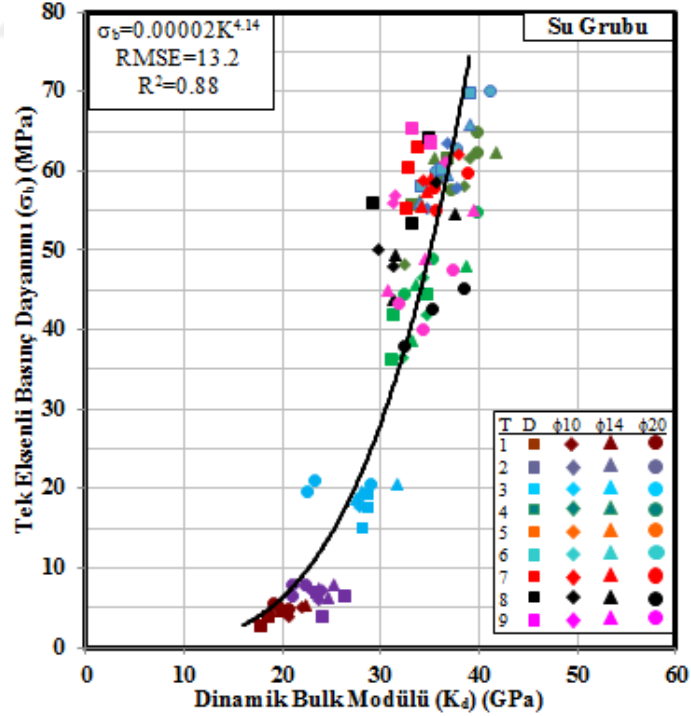
Tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik elastik parametreler arasındaki ilişkiler su ve hava grubu numuneler için Şekil 5.70 ile 5.77’de sunulmuştur. Şekil 5.70 ve 71’de dinamik elastisite ve kayma modülleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler irdelendiğinde su ve hava grubu için ilişki katsayılarının %90 üzerinde üstel ilişkiler olduğu görülmektedir. Benzer şekilde tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik bulk modülü arasındaki ilişkiler Şekil 5.72 ve 5.73’te su ve hava kürü için verilmiştir. Bir betonun dayanımı yanı sıra onun elastik parametreleri de deprem anındaki yapı davranışı açısından önemlidir. Bilindiği üzere P dalgaları mevcut yapıları yukarı iter sonra aşağı çeker ve yapı düşey yönde yamulur. Yapı bu güce karşı elastisite direnci ile karşı koyar. Elastisite modülünün yüksek olması betonun gözeneksiz ve sert olduğunu ifade eder. Bununla birlikte kayma modülünün büyük değerlerine sahip bir beton, depremde meydana gelen S dalgası genliğine karşı büyük bir esneme direnci gösterirken kayma modülünün küçük değerlerinde ise yapılardaki betonlarda çapraz birbirini kesen kırılmalar ve kolon-kiriş bağlantılarında kopmalar meydana gelebilir. Bu açıdan betonun dinamik elastik parametreleri yapı için önemlidir.



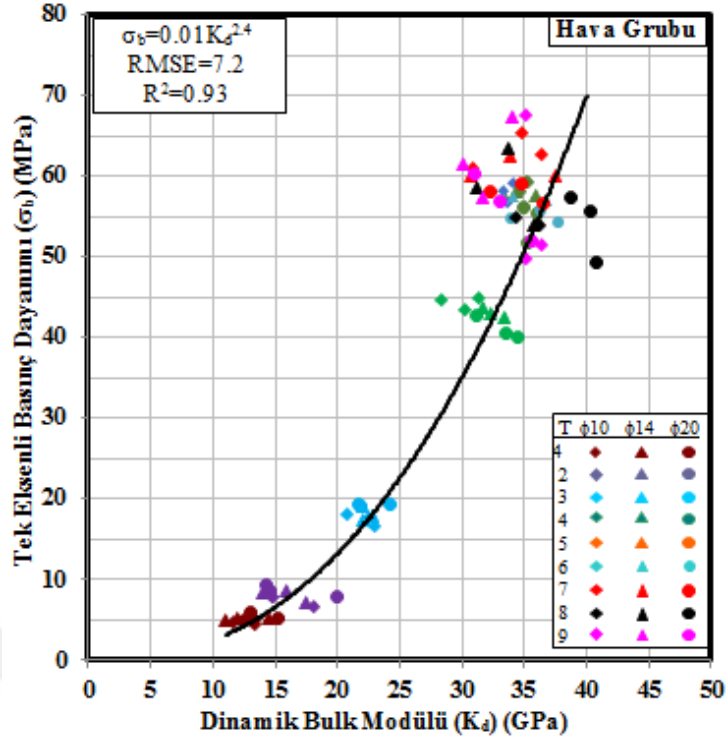
Şekil 5.70. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı ($\phi 10$, $\phi 14$ veya $\phi 20$) su kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik kayma ve elastisite modülleri arasındaki ilişkiler.



Şekil 5.71. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik kayma ve elastisite modülleri arasındaki ilişkiler.



Şekil 5.72. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik Bulk modülü arasındaki ilişki.

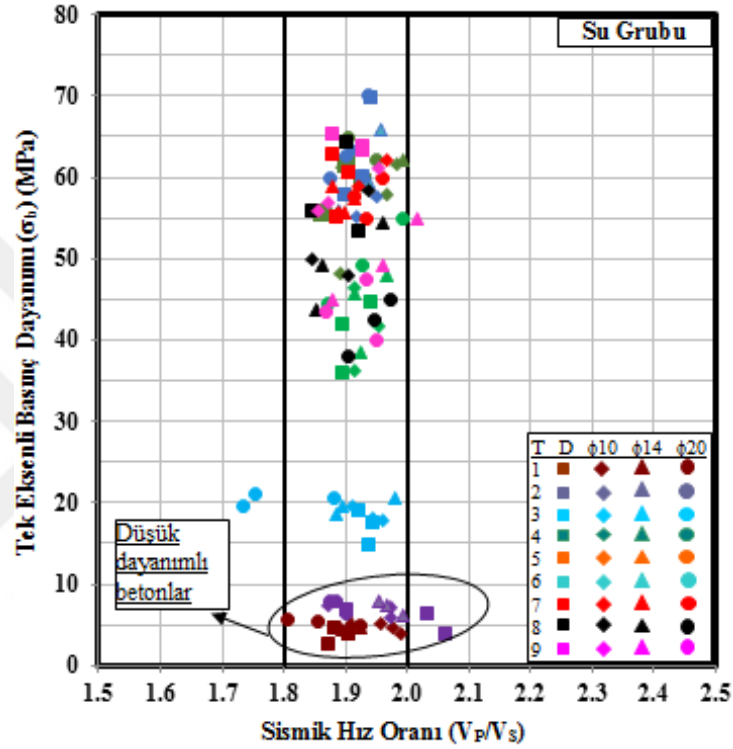


Şekil 5.73. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ile dinamik Bulk modülü arasındaki ilişki.

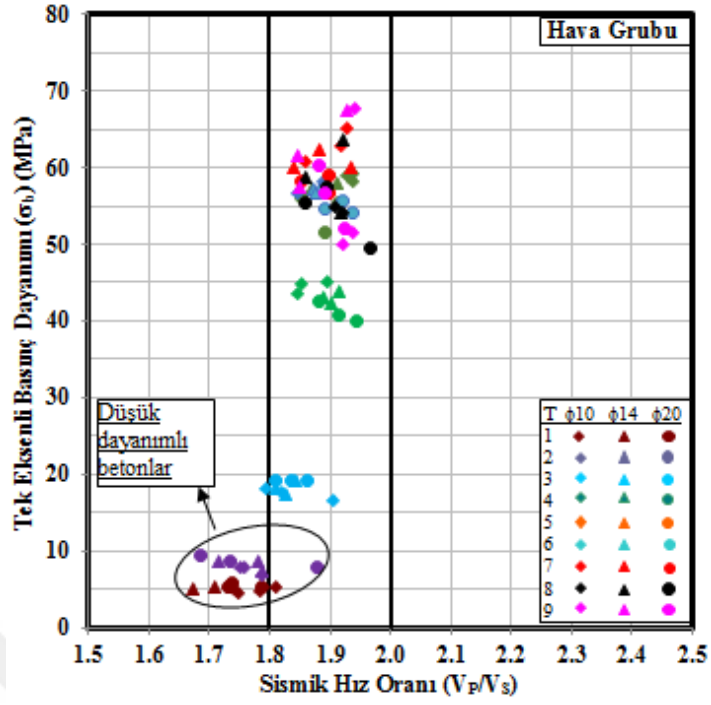
Şekil 5.74 ve 5.75'te su ve hava küründeki numunelerin sismik hız oranları (V_p/V_s) ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki sunulmuştur. Buna göre su ve hava küründe verilerin çoğunluğunun V_p/V_s oranı 1.8-2.0 aralığında değişmektedir. Özellikle düşük mukavemetli betonlarda gözeneklerin suya doygunluğu arttıkça V_p/V_s oran değeri 1.8 den büyük (Şekil 5.74) olurken kuru betonlarda 1.8'den küçük değerler elde edilmiştir. Bu durum da düşük mukavemetli betonlardaki sismik hız oranının suya doygunluk sınır değeri 1.8 olarak düşünülebilir. Ancak sağlam betonlarda gözenekliliğin az olması nedeniyle gözeneklerin su ya da hava dolgululu olması sismik hız oranını etkilemediği görülmektedir (Şekil 5.74 ve 5.75).

Numunelerin Poisson oranı ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki su kürü için Şekil 5.76'da hava kürü için ise Şekil 5.77'de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde Poisson oranının su küründe 0.27-0.34 aralığında hava küründe ise 0.22-0.33 aralığında değişmekle birlikte ilk 2 tasarım dışında yaklaşık olarak 0.28-0.33 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Düşük mukavemetli betonları dikkate aldığımızda gözeneklerin suya doygunluk sınır değeri Poisson oranı için 0.27 elde edilmektedir. Sonuç olarak düşük mukavemetli betonlar için Poisson oran değerinin 0.27'den büyük

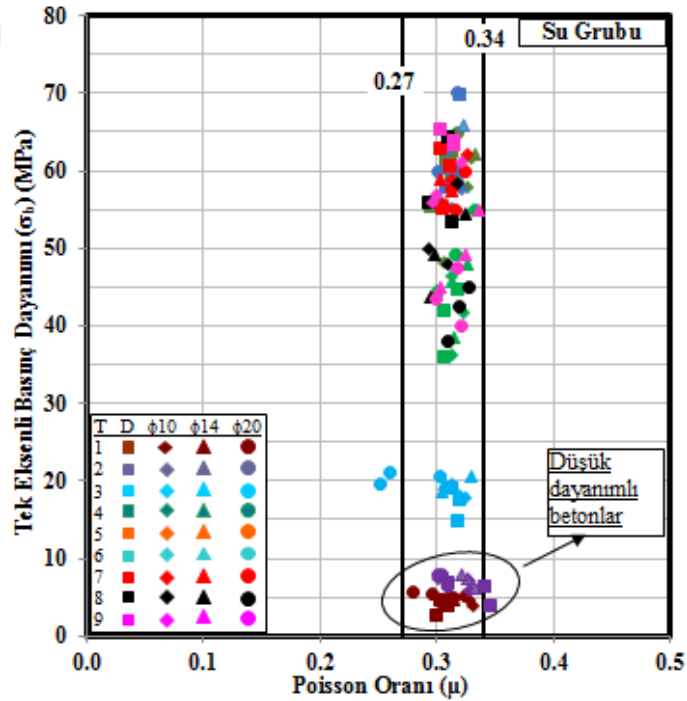
değerleri suya doymun, küçük değerleri hava doymun olarak yorumlanabilir. Ayrıca Poisson oran değerinin beton elastik parametre hesaplamalarında yaklaşık sabit bir değer alınması betonun elastik parametre hesaplamalarında hataya sebep olacağı Şekil 5.76 ve 77'den de görülebilir. Bu yüzden Poisson oranını belirlemek için ya numunelerin kırılma esnasında enine ve boyuna deformasyonların belirlenmesi ya da dinamik olarak sismik P ve S dalgı hızlarının tespit edilmesi gerekmektedir.



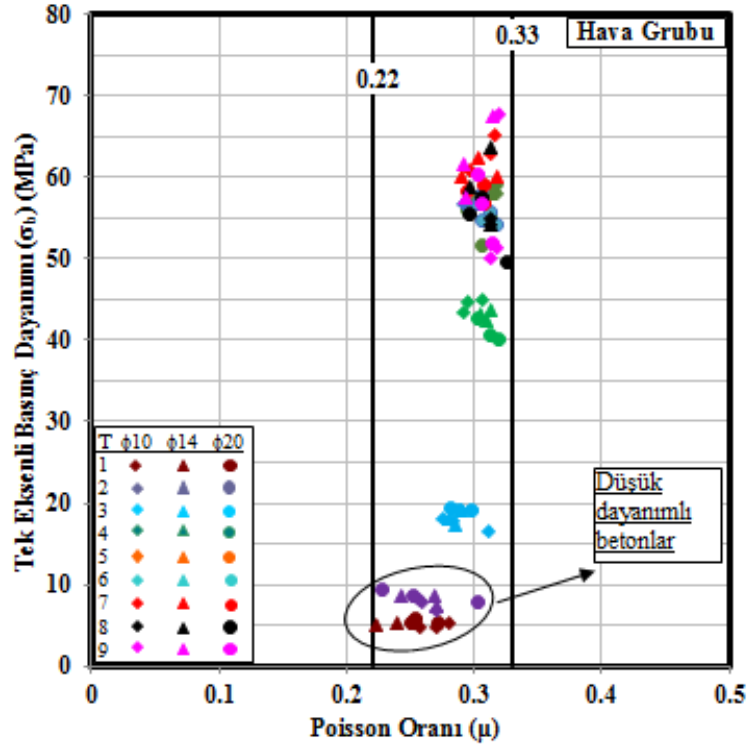
Şekil 5.74. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kuru grubundaki küp numunelerin sismik hız oranları (V_p/V_s) ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.



Şekil 5.75. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava kürü grubundaki küp numunelerin sismik hız oranları (V_p/V_s) ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.



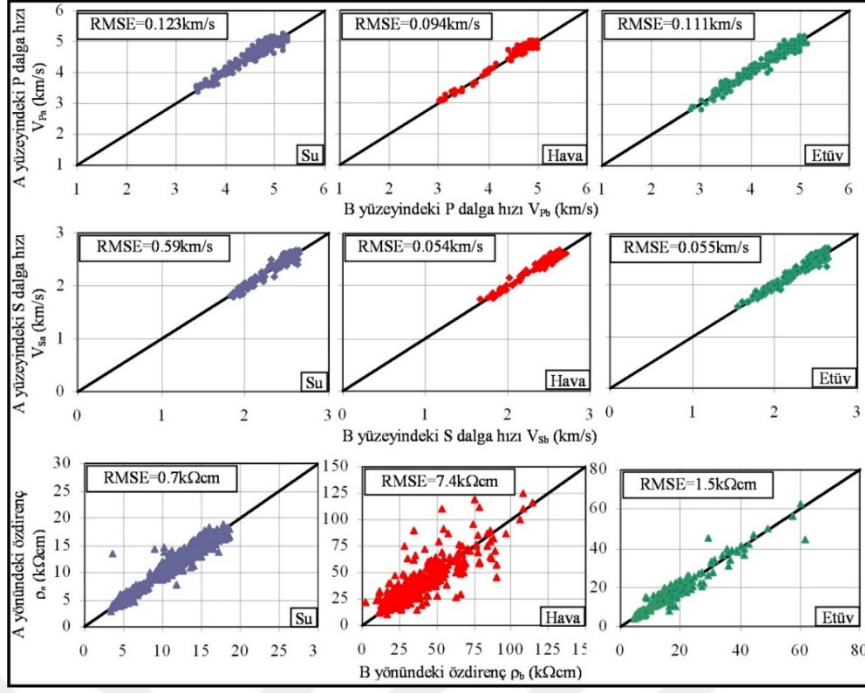
Şekil 5.76. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) su kürü grubundaki küp numunelerin Poisson oranı ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.



Şekil 5.77. 9 adet farklı tasarımdan donatısız ve donatılı (Ø10, Ø14 veya Ø20) hava küru grubundaki küp numunelerin Poisson oranı ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişki.

5.1.9. Ölçüm sonuçlarının yöne bağımlılığının araştırılması

9 farklı tasarım için elde edilen tüm numuneler üzerindeki ölçümlerin yöne bağlı olarak değişip değişmediğini kontrol etmek için küp numunenin farklı yüzeylerinde sismik ultrasonik P ve S dalga ölçümleri yapılmıştır. Ek olarak küp numunenin yüzeylerinde farklı yönlerde özdirenç değerleri elde edilmiştir. Su, hava ve etüv grubu numunelerin farklı yüzeyinde elde edilen P, S dalga hızları ve farklı yönlerden elde edilen özdirenç değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.78). Su, hava ve etüv gruplarının P ve S dalga hız karşılaştırılmalarına bakıldığında RMSE hataların yaklaşık 0.11 km/s ve 0.056 km/s civarında olduğu görülmektedir. Bu durumda P ve S dalga hızlarından numunelerin yöne göre farklı değerler elde edilmediği görülmekte ve yaklaşık numunelerin homojen olduğu söylenebilir. Buna karşın özdirenç değerlerinin yöne bağlı değişimi incelendiğinde özellikle hava grubunda büyük RMSE hata elde edilmiştir. Bunun nedeni gözenekleri hava dolgulu küp numunelerin gözeneklerinin dağılım yönüne özdirenç değerinin daha duyarlı olması olabilir.



Şekil 5.78. 9 farklı tasarıma ait donatılı ve donatısız küp numunelerin yön bağımlı sismik hızlar ve öz direnç değerlerinin karşılaştırılması.

Su ve etüv grubunda ise yöne bağlı öz direnç değişimi farklı olan çok az numune elde edilmiştir. Bu numunelerin gözenekleri suya doygun olmasından kaynaklı olabilir. Sonuç olarak tahribatsız jeofizik yöntemler ile numunelerin yöne bağlı olarak değişimide irdelemek mümkündür. Ayrıca sağlamlık, gözeneklerin yönelimi ve gözeneklerin doygunluğu açısından bu yöntemler değerli sonuçlar vermektedir.

5.1.10. Parametrelerin istatistik sonuçları

Yapılan çalışmalarda su, hava ve etüv grubundaki numunelere ait analizlerde kullanılan parametrelerin veri sayısı, minimum ve maksimum değerleri, ortalamaları, standart sapmaları ve varyansları Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'te sırasıyla verilmiştir. Burada δ , yoğunluk (gr/cm^3); V_p , P dalga hızı (km/s); V_s , S dalga hızı (km/s); V_p/V_s , sismik hız oranı; σ , tek eksenli basınç dayanımı (MPa); ρ , öz direnç ($\text{k}\Omega\text{cm}$); E_s , statik elastisite modülü (GPa); E_d , dinamik elastisite modülü (GPa); G_s , statik kayma modülü (GPa); G_d , dinamik kayma modülü (GPa); K , Bulk modülü (GPa); μ , Poisson oranı'nı temsil etmektedir. İstatistik değerlendirmeler sonucunda tek eksenli basınç dayanımı, ultrasonik sismik P ve S dalga hızları, görünür öz direnç değerleri, donatı çapı ve zaman değerleri kullanılarak çok parametrelili bağıntılar geliştirilmeye

çalışılmış ve Çizelge 5.4’de sunulmuştur. Bu ilişkilerden hesaplanan dayanım ile ölçülen dayanım sonuçları Şekil 5.79’de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma su, etüv ve hava grubunda olan tüm numuneleri içermektedir. Bu ilişkiler içerisinde en az RMSE hata 3.32 MPa ile laboratuvardaki numunelere ait P ve S dalga hızları ile beton dayanımı arasındaki ilişkiden elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Su kürü grubuna ait parametrelerin istatistik sonuçları.

Su Grubu	Veri sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
δ	108	2.26	2.56	2.40	0.06	0.004
Vp	108	3.51	5.07	4.50	0.45	0.20
Vs	108	1.83	2.62	2.35	0.23	0.05
Vp/Vs	108	1.74	2.06	1.92	0.05	0.002
σ	108	2.70	70.00	39.72	22.41	502.33
ρ	108	4.30	16.80	9.17	3.23	10.401
Es	108	19.34	41.19	33.23	7.09	50.26
Ed	108	20.95	44.86	35.10	6.67	44.52
Gs	108	7.74	16.48	13.29	2.84	8.04
Gd	108	7.87	17.02	13.38	2.55	6.48
K	108	17.83	41.61	31.30	6.23	38.83
μ	108	0.25	0.35	0.31	0.014	0.00

Çizelge 5.3. Etüv grubuna ait parametrelerin istatistik sonuçları.

Etüv Grubu	Veri sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
Δ	108	2.22	2.51	2.38	0.07	0.004
Vp	108	2.79	5.04	4.33	0.58	0.34
Vs	108	1.57	2.69	2.32	0.26	0.07
Vp/Vs	108	1.68	1.98	1.86	0.06	0.004
Σ	108	2.70	70.00	39.72	22.41	502.33
P	108	4.80	39.50	14.12	7.28	53.00
W	108	0.61	5.98	2.33	1.56	2.43
N	108	1.44	12.57	5.35	3.42	11.70
Es	108	14.58	48.65	31.62	9.34	87.27
Ed	108	14.55	46.51	33.79	7.72	59.68
Gs	108	58.32	74.59	69.57	3.74	1.15
Gd	108	57.37	18.01	13.01	2.87	8.21
K	108	10.36	40.10	28.23	8.08	65.29
M	108	0.23	0.33	0.30	0.02	0.00

Çizelge 5.2. Hava kürü grubuna ait parametrelerin istatistik sonuçları.

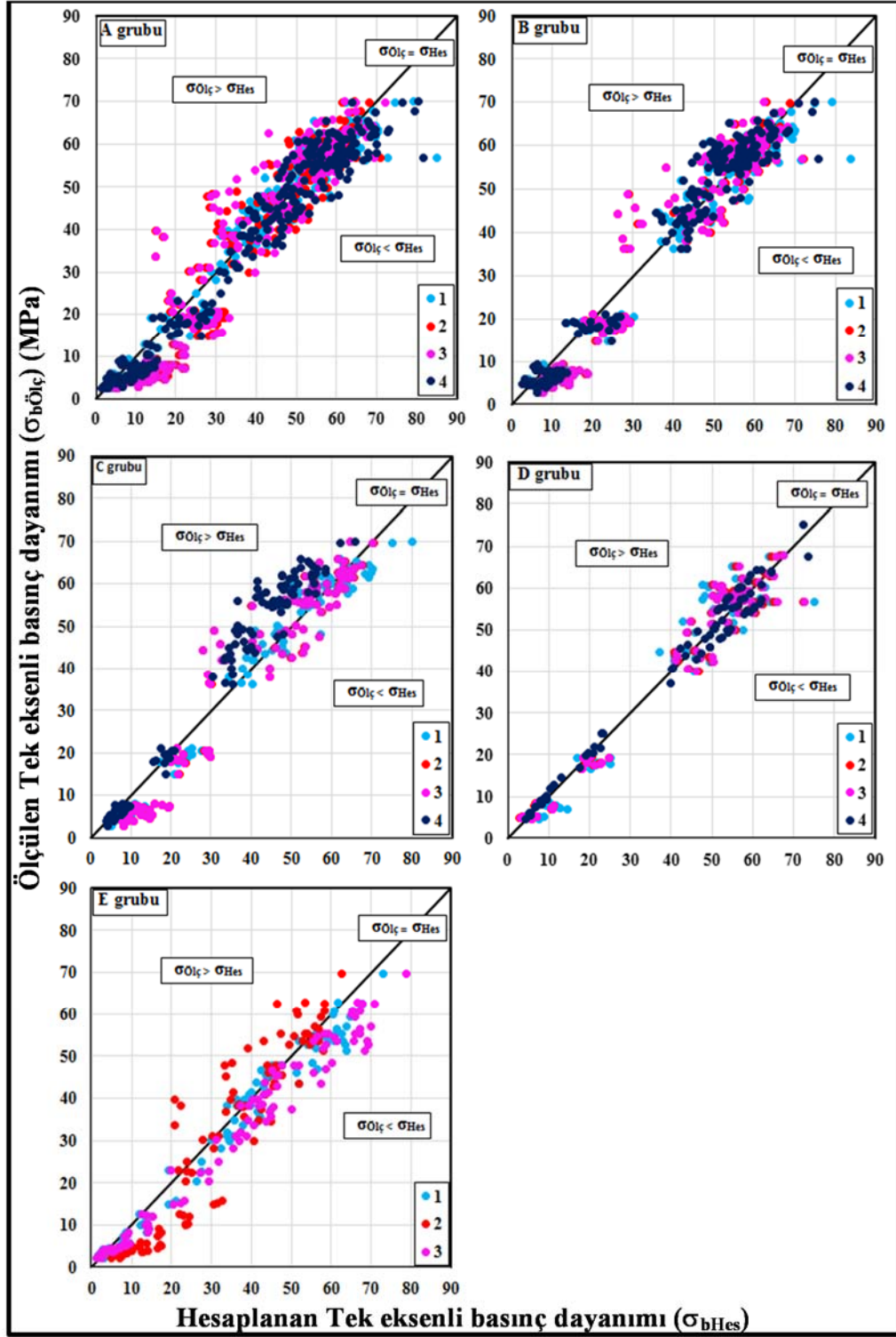
Hava Grubu	Veri sayısı	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
δ	81	2.19	2.50	2.36	0.08	0.006
Vp	81	3.03	5.00	4.35	0.61	0.37
Vs	81	1.70	2.67	2.33	0.26	0.07
Vp/Vs	81	1.67	1.97	1.86	0.07	0.005
σ	81	4.60	67.70	40.34	22.16	490.90
ρ	81	17.00	48.00	24.91	8.33	69.42
Es	81	20.97	40.74	33.47	6.92	47.83
Ed	81	16.08	44.02	33.90	8.03	64.50
Gs	81	8.39	16.30	13.39	2.77	7.65
Gd	81	6.33	16.92	13.05	2.95	8.69
K	81	10.99	39.02	28.37	8.57	73.45
M	81	0.22	0.33	0.29	0.02	0.001

Çizelge 5.4'te istatistik analizler sonucunda elde edilen bağıntılar, RMSE hata ve ilişki katsayıları verilmiştir. A grubu için elde edilen çok parametrelili ilişki bağıntılarının RMSE hataları yaklaşık 5-6 MPa civarında iken B, C, D ve E grubu için RMSE hataları 3-8 MPa arasında elde edilmiştir. Çizelge 5.4'te verilen A, B, C, D ve E grubuna ait verilerin ölçülen ve hesaplanan tek eksenli basınç dayanım karşılaştırmaları Şekil 5.79'da sırasıyla görsel olarak da sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Tek eksenli basınç dayanımı ile sismik hızlar ve özdirenç arasında elde edilen çok parametrelili ilişkiler ve hataları.

Bağıntı	RMSE	R ²	Açıklama
$\sigma_b = 0.023V_p^{1.00} \cdot V_s^{5.42}$	4.78	0.95	A-1
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^{1.9}}{\left(\frac{\rho}{16} + \frac{16}{\rho}\right)^{0.93}}$	7.16	0.90	A-2
$\sigma_b = \frac{0.007(V_p \cdot V_s)^{3.70}}{T^{0.05}}$	5.04	0.96	A-3
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^{1.93}}{\left(\frac{\rho}{16} + \frac{16}{\rho}\right)^{0.97} (\phi + 1)^{0.03}}$	6.98	0.90	A-4
$\sigma_b = 0.019V_p^{2.18} \cdot V_s^{4.98}$	5.19	0.95	B-1
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^{2.02}}{\left(\frac{\rho}{16} + \frac{16}{\rho}\right)^{1.36}}$	5.85	0.93	B-2
$\sigma_b = \frac{0.007(V_p \cdot V_s)^{3.67}}{T^{0.05}}$	4.72	0.96	B-3
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^{2.03}}{\left(\frac{\rho}{16} + \frac{16}{\rho}\right)^{1.35} (\phi + 1)^{0.01}}$	5.82	0.93	B-4
$\sigma_b = 0.009V_p^{2.15} \cdot V_s^{5.02}$	4.31	0.96	C-1
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^2}{\left(\frac{\rho}{16} + \frac{16}{\rho}\right)^{1.28}}$	6.18	0.92	C-2
$\sigma_b = \frac{0.002(V_p \cdot V_s)^{4.10}}{T^{0.05}}$	7.99	0.97	C-3
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^2}{\left(\frac{\rho}{15} + \frac{15}{\rho}\right)^{1.28} (\phi + 1)^{-0.002}}$	6.18	0.92	C-4
$\sigma_b = 0.029V_p^{3.36} \cdot V_s^{2.50}$	5.19	0.95	D-1
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^{2.24}}{\left(\frac{\rho}{15} + \frac{15}{\rho}\right)^{2.15}}$	4.42	0.96	D-2
$\sigma_b = \frac{0.03(V_p \cdot V_s)^{1.09}}{T^{0.06}}$	4.48	0.96	D-3
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^{2.26}}{\left(\frac{\rho}{15} + \frac{15}{\rho}\right)^{2.06} (\phi + 1)^{0.04}}$	4.39	0.96	D-4
$\sigma_b = 0.006V_p^{2.04} \cdot V_s^{5.28}$	3.32	0.98	E-1
$\sigma_b = \frac{(V_p \cdot V_s)^{1.84}}{\left(\frac{\rho}{15} + \frac{15}{\rho}\right)^{0.68}}$	7.32	0.86	E-2
$\sigma_b = \frac{0.003(V_p \cdot V_s)^{4.05}}{T^{-0.002}}$	5.06	0.98	E-3

A: Şantiye ve laboratuvaradaki tüm veriler; B: Şantiyedeki su ve hava küreğine ait veriler; C: Şantiyedeki su küreğine ait veriler; D: Şantiyedeki hava küreğine ait veriler; E: Laboratuvaradaki veriler



Şekil 5.79. Su, hava, etüv ve kuru beton grubundaki numunelerin P ve S hızları, özdirenç değerleri, donatı çapı ve zamana bağlı olarak hesaplanan ve ölçülen tek eksenli basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

Su ya da hava kürü uygulanan donatılı ve donatısız numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarının zamana bağlı değişimi zayıf (>18 MPa), orta (18-25 MPa), sağlam (25-40 MPa) ve çok sağlam (<40 MPa) betonlar için Çizelge 5.5 ile 5.8’da sunulmuştur.

Suya doymun donatısız numunelerin 7., 28. ve 90. günlerde dayanım değerleri tek eksenli basınç deneyi, P ve S dalga hızları ultrasonik deney ve özdirenç değerleri elektrik özdirenç yöntemi ile elde edilmiştir. Bu değerlerin su küründeyken zamana bağlı olarak değişimi irdelenmiştir. Buna göre su küründeki betonun 7. ve 28. gün arasında dayanım artışı düşük mukavemetli betonlarda ortalama %55, 28. ve 90. gün arasında ortalama %11 ve 7. ve 90. gün arasında ortalama %73 bir artış olduğu görülmüştür. Buna karşın çok sağlam betonlarda 7. ve 90. gün arasında dayanım artışı %13 civarındadır. Bu durum düşük mukavemetli betonlarda su kürünün ve zamanın dayanım üzerinde çok önemli etkisi olduğunu çok sağlam betonlarda daha az bir etkisi olduğunu göstermektedir (Çizelge 5.5). Benzer durum P ve S dalga hızlarında ve özdirenç değerlerinde de gözlenmekte fakat yüzde değerleri dayanım değerlerine göre daha küçüktür. Dayanım değerleri ilk 28 gün içerisinde daha fazla artarken 90. güne kadar daha az bir artış gözlenmektedir. Buna karşın P ve S dalga hızlarında ve özdirenç değerlerinde ki artış 28-90. günler arasında daha fazla olmuştur. Bu özellikle P dalga hızı gözeneklerdeki suya doymunluk ile artmasından ve S dalgalarının da betonun mukavemetine karşı hassasiyetinden kaynaklı olabilir. Özdirenç değerleri de betonun 90 gün boyunca suya doymunluğu artarken düşmesi gerekmektedir fakat özdirenç değerlerindeki artış beton mukavemetinin artışından kaynaklı olabilir.

Çizelge 5.5. Donatısız betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi.

	Parametrelerin Zamana Bağlı Değişimi	Su Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri				Hava Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri			
		Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam	Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam
		%	%	%	%	%	%	%	%
σ_b (MPa)	7.-28.gün	55.32	17.45	16.02	5.51	-	-	-	-
	28.-90.gün	11.35	9.14	5.95	7.20	-	-	-	-
	7.-90. gün	72.69	28.19	22.93	13.07	-	-	-	-
V_p (km/s)	7.-28.gün	3.17	0.72	0.06	-0.31	-	-	-	-
	28.-90.gün	1.86	0.69	3.90	3.25	-	-	-	-
	7.-90. gün	5.02	1.42	3.96	2.89	-	-	-	-
V_s (km/s)	7.-28.gün	3.02	0.38	0.00	-0.30	-	-	-	-
	28.-90.gün	5.84	1.78	1.40	2.55	-	-	-	-
	7.-90. gün	9.00	2.16	1.40	2.23	-	-	-	-
ρ (k Ω cm)	7.-28.gün	10.13	5	10	9.13	-	-	-	-
	28.-90.gün	25.66	23.81	16.67	16.72	-	-	-	-
	7.-90. gün	38.38	30	28.33	27.15	-	-	-	-

Su ya da hava kürü uygulanan 10 mm çapında donatıya sahip betonların dayanım değerlerindeki 7. ve 28. gün arasında yüzde değişimi düşük mukavemetli betonlarda %16 ve çok sağlam betonlarda %7 civarında elde edilmiştir. Buna karşın hava kürü betonlarda ise dayanımda azalma olduğu görülmüştür. Bunu nedeni hava kürü numunelerdeki donatılara asit dökülerek korozyonun artırılmasından kaynaklı olabilir. Bu durum özdirenç değerlerindeki azalma ile de belirginleşir. P ve S dalga hızlarında su ve hava kürü arasındaki yüzde değişimlerinde önemli ölçüde bir değişim ya da azalma gözlenmemiştir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. 10mm donatılı betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi.

	Parametrelerin Zamana Bağlı Değişimi	Su Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri				Hava Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri			
		Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam	Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam
		%	%	%	%	%	%	%	%
σ_b (MPa)	7.-28.gün	16.25	1.69	15.11	7.39	3.76	9.04	0.67	3.94
	28.-90.gün	8.06	8.84	10.98	9.14	-12.40	-2.21	-3.33	-4.87
	7.-90.gün	25.42	10.67	27.75	17.10	-9.05	6.63	-2.68	-1.14
V_p (km/s)	7.-28.gün	0.28	0.71	2.34	2.13	2.65	-1.32	3.82	1.29
	28.-90.gün	2.38	2.11	0.65	3.04	5.70	3.08	-0.04	0.24
	7.-90.gün	2.66	2.84	3.00	5.18	8.41	1.71	3.78	1.54
V_s (km/s)	7.-28.gün	2.04	4.79	1.63	0.55	2.04	4.79	1.63	0.73
	28.-90.gün	6.42	1.76	2.45	0.58	6.42	6.28	2.45	3.13
	7.-90.gün	8.59	6.63	4.13	1.13	8.59	11.37	4.13	3.88
ρ (kΩcm)	7.-28.gün	8.67	5.08	8.33	4.28	-2.94	0.46	1.47	-2.90
	28.-90.gün	28.09	20.97	15.38	12.65	-8.98	-3.75	-4.83	-2.78
	7.-90.gün	38.89	27.12	25	17.60	-11.92	-3.31	-3.43	-5.74

Benzer durum 14 ve 20mm donatılı su ve hava küründeki beton numunelerinde de gözlenmiştir (Çizelge 5.7 ve 5.8).

Çizelge 5.7. 14mm donatılı betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi.

	Parametrelerin Zamana Bağlı Değişimi	Su Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri				Hava Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri			
		Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam	Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam
		%	%	%	%	%	%	%	%
σ_b (MPa)	7.-28.gün	13.01	5.38	18.39	8.21	5.26	10.34	1.62	3.38
	28.-90.gün	9.61	4.59	5.03	7.42	-8.99	-6.25	-3.20	-2.90
	7.-90.gün	23.53	10.22	24.35	16.28	-4.00	3.45	-1.62	0.35
V_p (km/s)	7.-28.gün	0.21	0.71	0.81	2.06	2.48	-0.66	-1.46	-0.30
	28.-90.gün	9.38	3.71	5.71	5.93	6.07	2.72	3.13	3.59
	7.-90.gün	9.65	4.44	6.56	8.09	8.69	2.05	1.62	3.27
V_s (km/s)	7.-28.gün	-0.002	4.63	1.21	-0.33	-0.48	-1.44	-2.92	0.15
	28.-90.gün	6.13	-0.84	2.98	5.72	4.94	4.53	3.87	2.58
	7.-90.gün	6.12	3.76	4.23	5.38	4.43	3.03	0.84	2.73
ρ (k Ω cm)	7.-28.gün	10.21	9.09	6.90	6.00	-3.74	3.57	5.24	-1.74
	28.-90.gün	29.89	23.33	11.29	10.49	-6.15	-0.34	-7.24	-2.92
	7.-90.gün	43.15	34.55	18.97	17.00	-9.66	3.21	-2.38	-5.14

Çizelge 5.8. 20mm donatılı betonlarda ölçülen parametrelerin zamana bağlı değişimi.

	Parametrelerin Zamana Bağlı Değişimi	Su Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri				Hava Küründeki betonda ölçülen parametrelerin değişim yüzdeleri			
		Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam	Zayıf	Orta	Sağlam	Çok Sağlam
		%	%	%	%	%	%	%	%
σ_b (MPa)	7.-28.gün	15.21	7.14	10.36	8.63	11.29	1.04	5.17	4.31
	28.-90.gün	2.53	-1.90	12.04	5.26	-13.15	-0.52	-6.32	-2.59
	7.-90.gün	18.06	5.10	23.65	14.24	-3.21	0.52	-1.48	1.63
V_p (km/s)	7.-28.gün	0.05	0.70	2.45	1.30	1.34	1.31	-2.17	1.87
	28.-90.gün	2.08	6.42	4.21	3.31	7.36	4.79	3.33	2.20
	7.-90.gün	2.14	7.17	6.77	4.64	8.79	6.16	1.09	4.12
V_s (km/s)	7.-28.gün	2.38	-0.40	-0.50	1.33	2.59	4.24	-0.32	1.71
	28.-90.gün	3.78	-0.69	0.79	1.59	0.42	3.35	0.03	-0.13
	7.-90.gün	6.25	-1.09	0.29	2.95	2.99	7.73	-0.29	1.57
ρ (k Ω cm)	7.-28.gün	13.95	9.43	5.66	8.87	-1.01	2.56	1.38	-6.22
	28.-90.gün	22.42	20.69	19.64	-0.06	-5.03	-1.76	-6.79	-2.46
	7.-90.gün	39.53	32.08	26.42	8.80	-6.00	0.76	-5.50	-8.74

5.2. Zaman-Frekans Analiz Sonuçları

Su ve etüv grubunda donatısız-donatılı küp ve donatısız silindir numunelere ait P ve S dalgalarının sayısal verilerinin sinyal analizleri yapılmıştır. Donatılı küp numunelerin içerisinde birer adet 10, 14 veya 20 mm çapında donatı demiri vardır. Hava küründe bu donatıların üzerine HCl asit dökülerek korozyona uğrattılmaya çalışılmıştır. 9 farklı

tasarıma ait tüm numunelerin 7, 28, 41, 56, 65, 72 ve 90. gün ölçümlerindeki P ve S sinyal kayıtları incelenmiştir. Sinyal kayıtları üzerinde FFT (Hızlı Fourier Transformu), güç spektrumu ve zaman-frekans analizi yapılarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

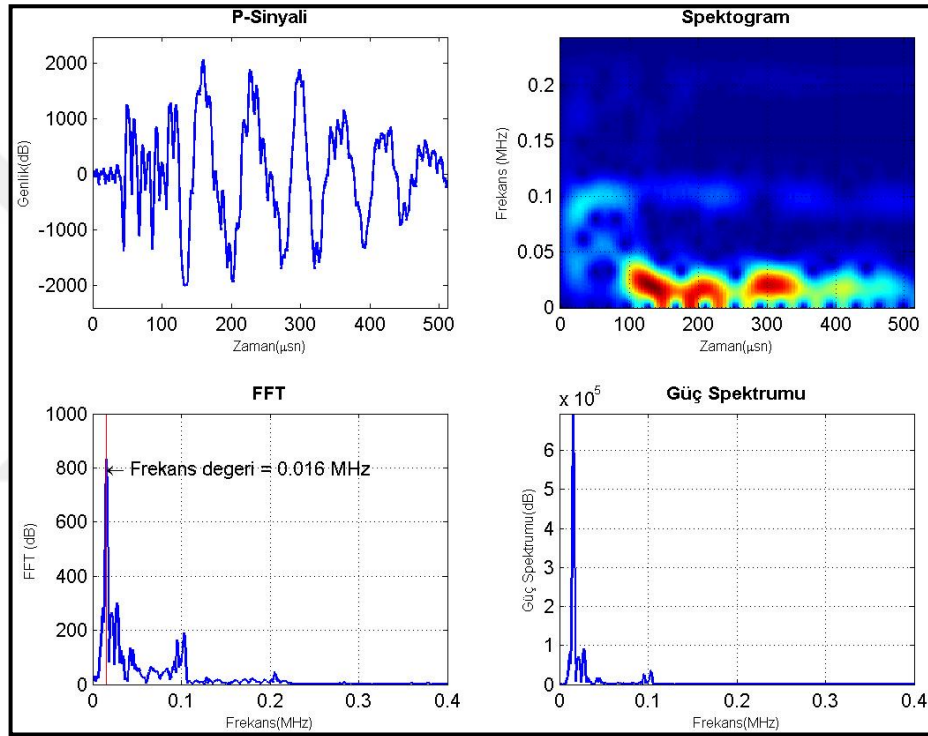
İçerisinde gözenekler olan ve bu nedenle heterojen özellik sunan düşük mukavemetli beton tasarımları ile orta ve yüksek mukavemet özellikleri gösteren betonlara ait zaman-frekans (sinyal) analiz sonuçları verilmiştir. Ancak kalıba dökülme, şişleme, taşınma vs. işçilik hatalarıyla içerisinde zaman zaman büyük boşluklar beliren numuneler olduğu da göz önüne bulundurulmalıdır. Sinyal analizlerinin bir diğer avantajı da bu boşluk veya kırık olan yerlerin tespit edilmesini sağlamaktır.

Sinyallerin frekansları genel itibariyle düşük tasarımlarda daha net gözlenebilirken yüksek mukavemetli de iki ayrı frekans kümelenmesi şeklinde kendini göstermektedir. Genellikle düşük mukavemetli numunelerin zaman-frekans analizinde yaklaşık 0.01MHz ve 0.1MHz civarında 2 baskın frekans gözlenirken; yüksek mukavemet özellikleri gösteren numunelerde yaklaşık olarak 0.01MHz, 0.1MHz ve 0.2MHz civarında 3 baskın frekans gözlenmiştir. Buradaki 3. baskın frekans olan 0.2MHz frekans değeri sadece P dalga kayıtlarında gözlenebilmiştir. S dalga kayıtlarında genel olarak diğer 2 baskın frekans mevcuttur. Burada 0.2MHz civarındaki frekansın dalganın ilk varış zamanının belirlenmesinden önceki gürültü nedeniyle olabileceği düşünülmüştür. İçerisinde boşluk, gözenek, çatlak vs. olan numunelerin zaman-frekans analizlerinde kesiklikler gözlenmiştir. Böylece beton numunelerinin içyapısı hakkında da yorum yapma fırsatı bulunabilmiştir. Zira gözenekli olmayan numunelerin sinyal analiz grafiğindeki baskın frekans eğrisinin homojen bir durumda olması beklenmektedir. Hava küründeki numunelerin zaman frekans analizi ve FFT sonuçlarında korozyon etkisiyle numune içerisindeki yer yer bozulmuş bölgeler gözlenebilmiştir. FFT, genlik spektrumu ve güç spektrumlarına bakıldığı zaman net olarak frekans içerikleri de ayırt edilebilmiştir.

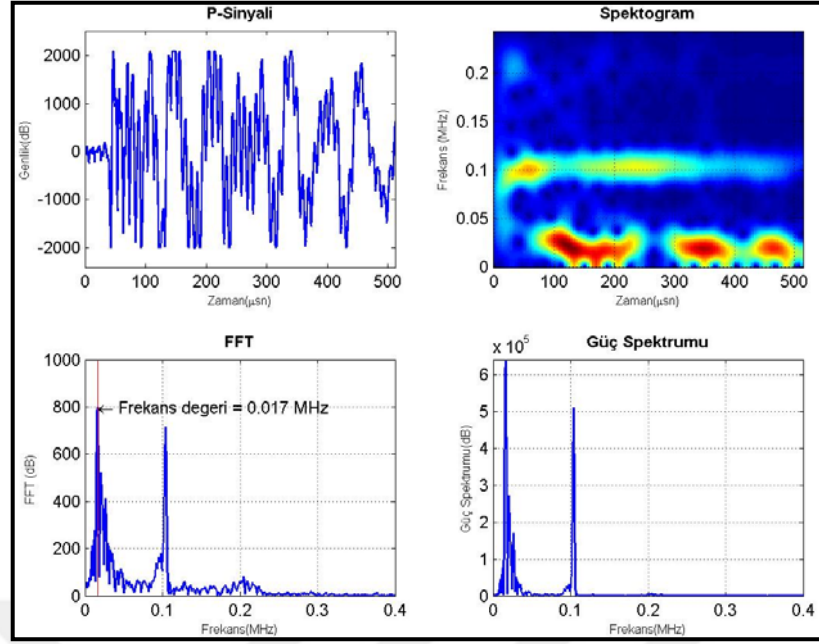
Yapılan çalışmada su, hava, etüv ve kuru beton grubundaki donatılı ve donatısız numunelerin hepsinin sinyal analizleri yapılarak zaman-frekans, FFT ve güç spektrumu grafikleri elde edilip yorumlanmıştır. Ancak tez kapsamında veri sayısı çok olduğundan bütün örnekleri vermek mümkün olmamıştır. Bu nedenle numunelerin

bazılarına ait 90. gün P veya S dalgası kayıtları ve bunların sinyal analizleri ile ilgili örnekler sunulmuştur. Bu bağlamda düşük ve yüksek tasarımı betonlara ait birer P ve S dalgası kaydı sonuçları karşılaştırılarak aralarındaki farklılıklar veya benzerlikler ortaya konulmuştur.

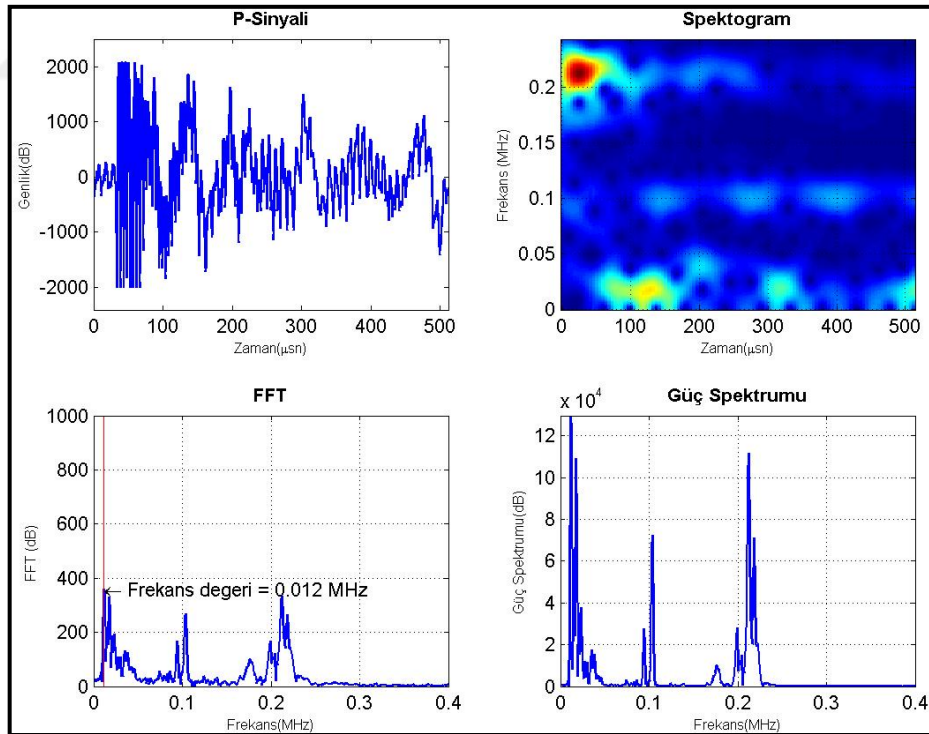
Su küründeki düşük (T1) ve yüksek (T9) mukavemetli donatısız ve içerisinde 20mm çapında donatı bulduran donatılı numunelerin 90. gün P ve S dalgası sinyal analizleri sırasıyla Şekil 5.80 ve 5.87’de sunulmuştur.



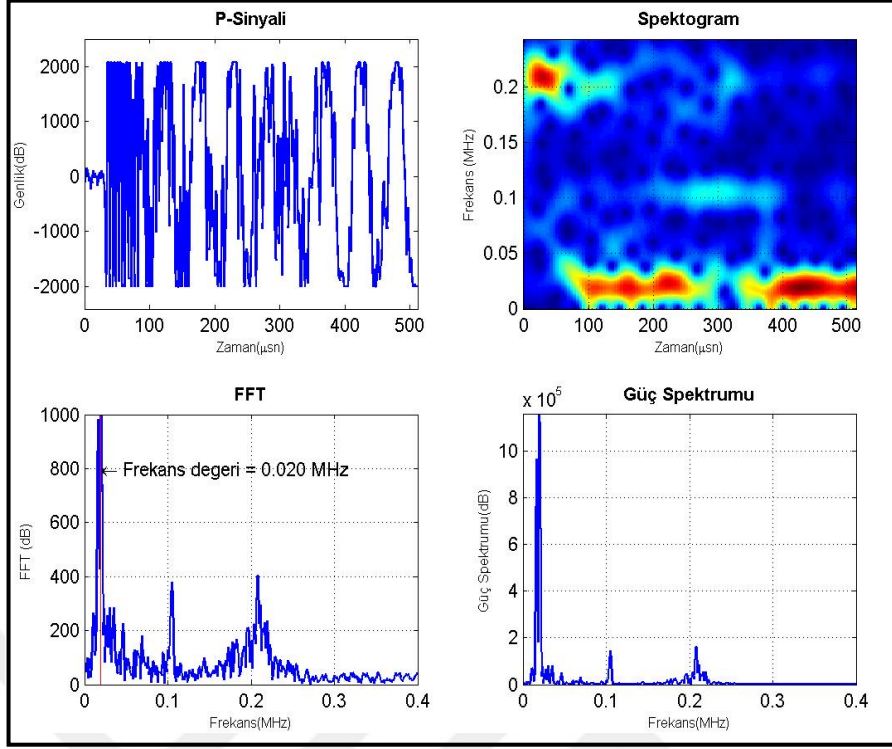
Şekil 5.80. T1 grubu su küründeki donatısız küp numunenin P sinyali kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.



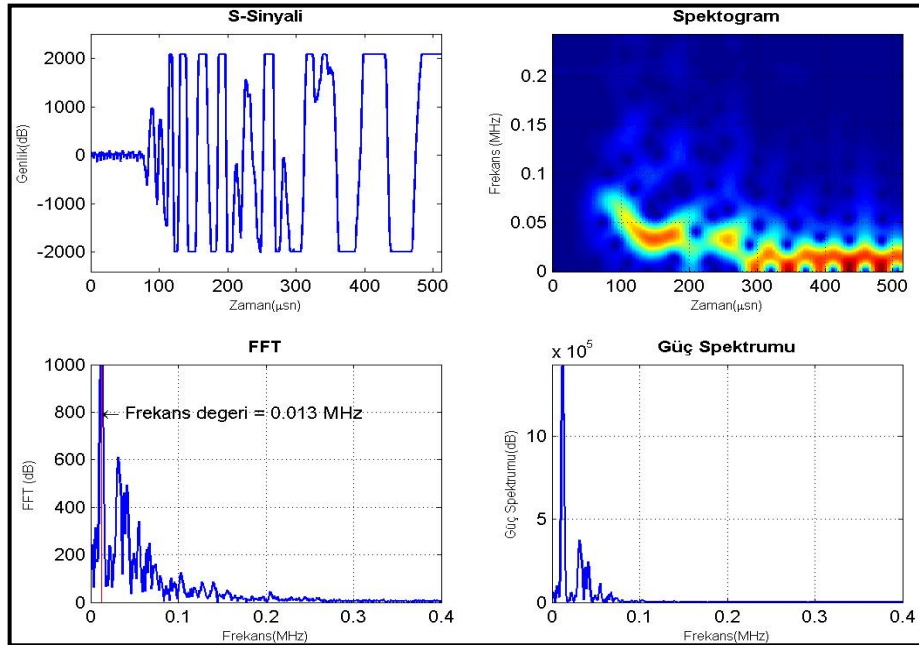
Şekil 5.81. T1 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.



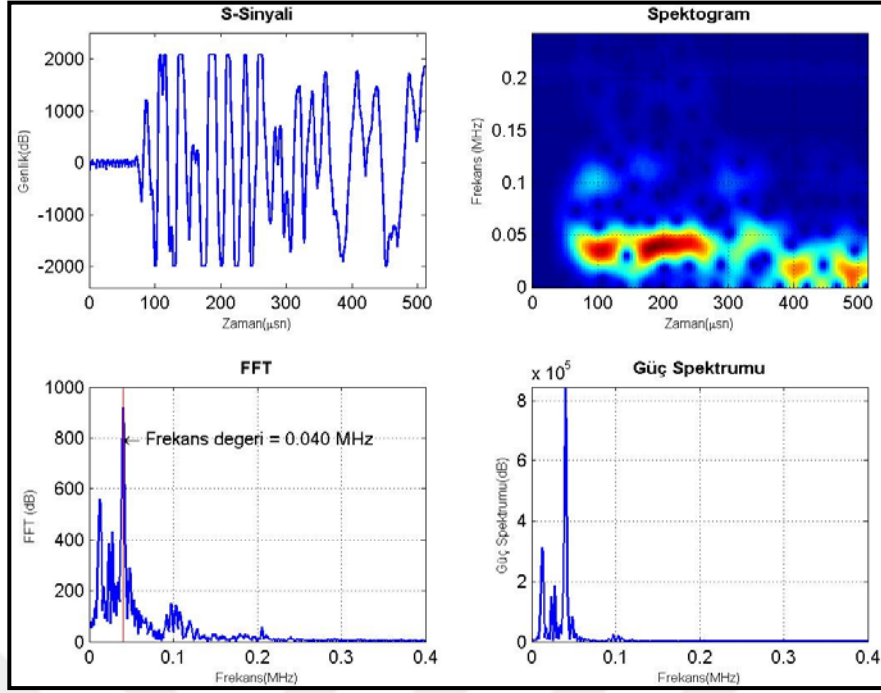
Şekil 5.82. T9 grubu su küründeki donatısız küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.



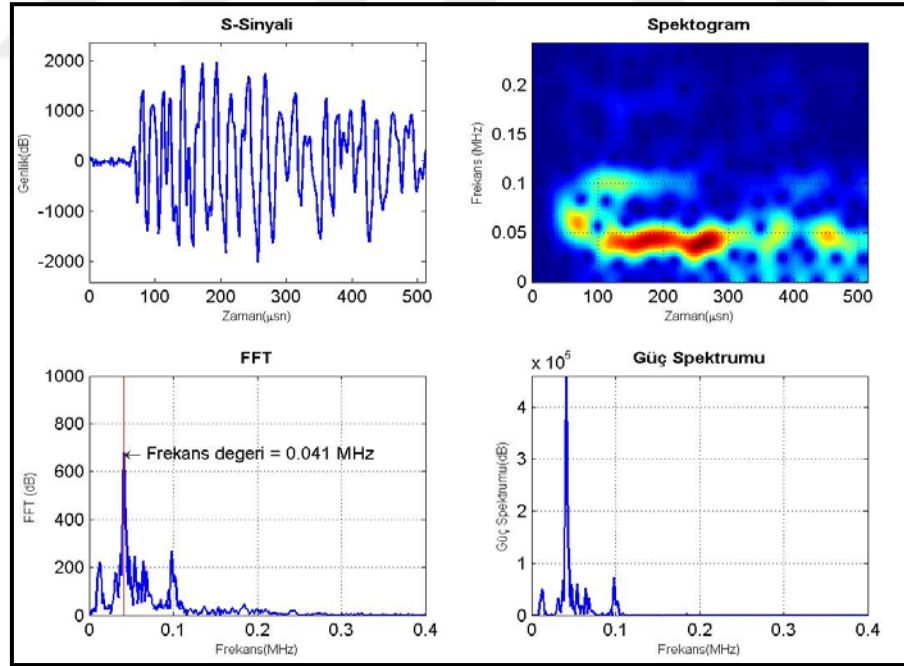
Şekil 5.83. T9 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.



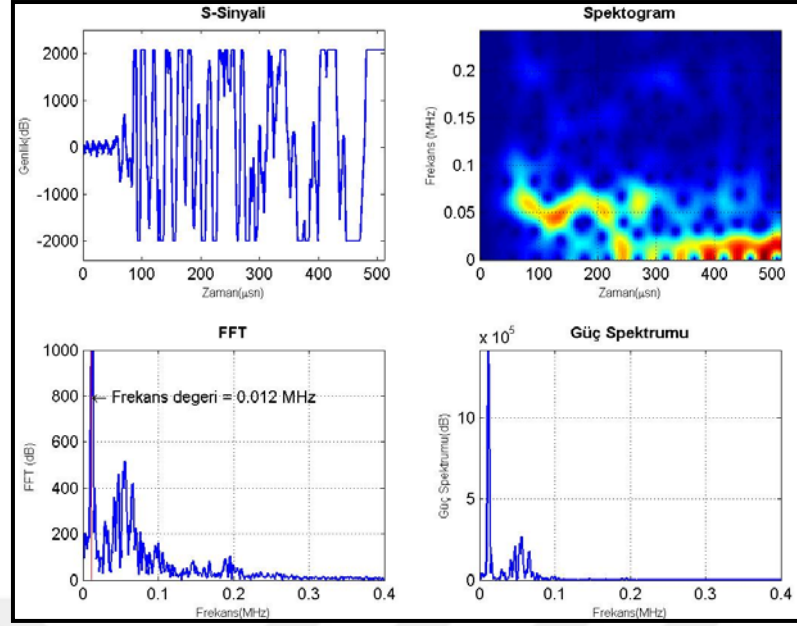
Şekil 5.84. T1 grubu su küründeki donatısız küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.



Şekil 5.85. T1 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

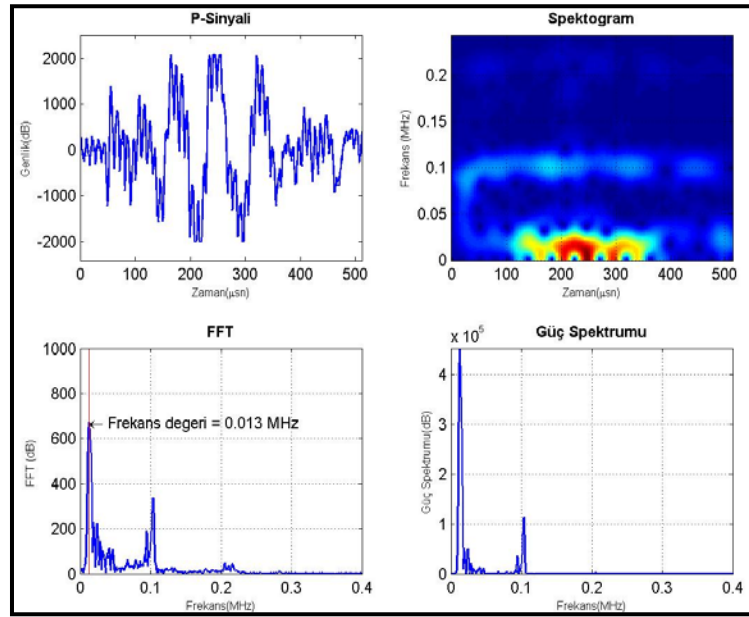


Şekil 5.86. T9 grubu su küründeki donatısız küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

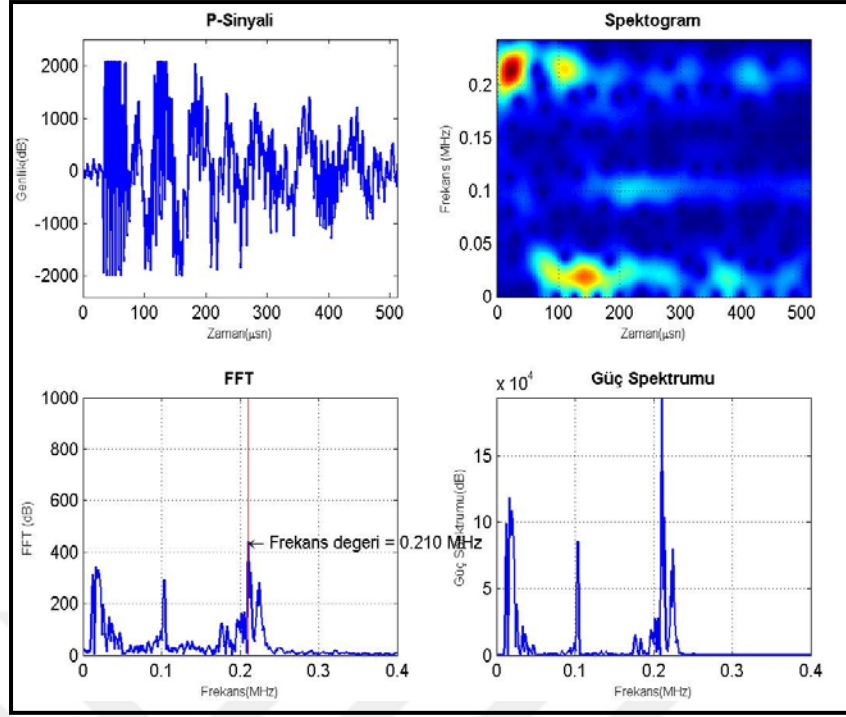


Şekil 5.87. T9 grubu su küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

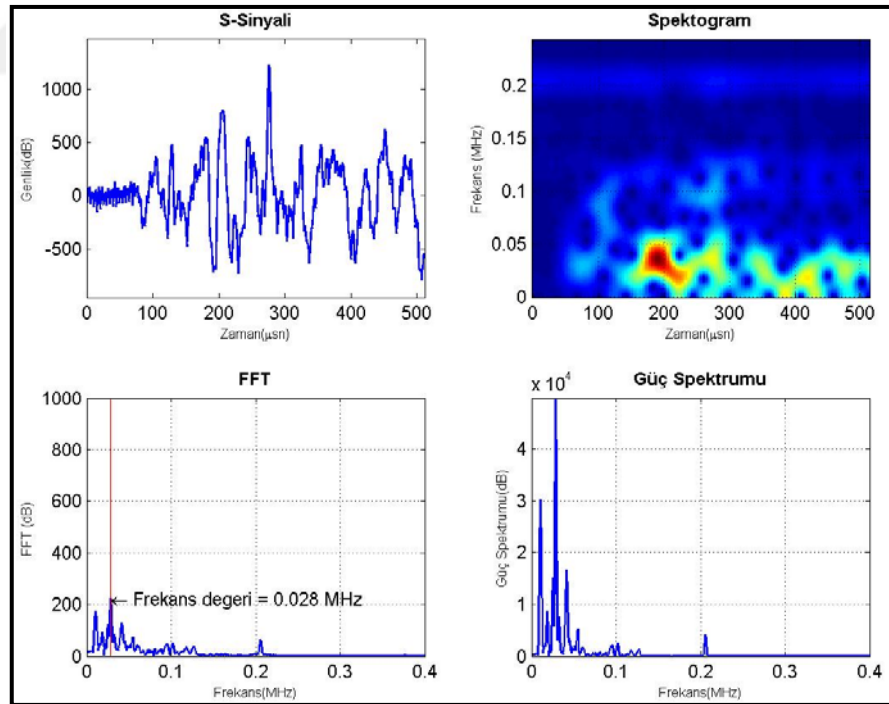
Hava küründeki düşük (T1) ve yüksek (T9) mukavemetli içerisinde 20mm çapında donatı bulunduran donatılı numunelerin 90. gün P ve S dalga sinyal analizleri sırasıyla Şekil 5.87 ve 5.90'da sunulmuştur.



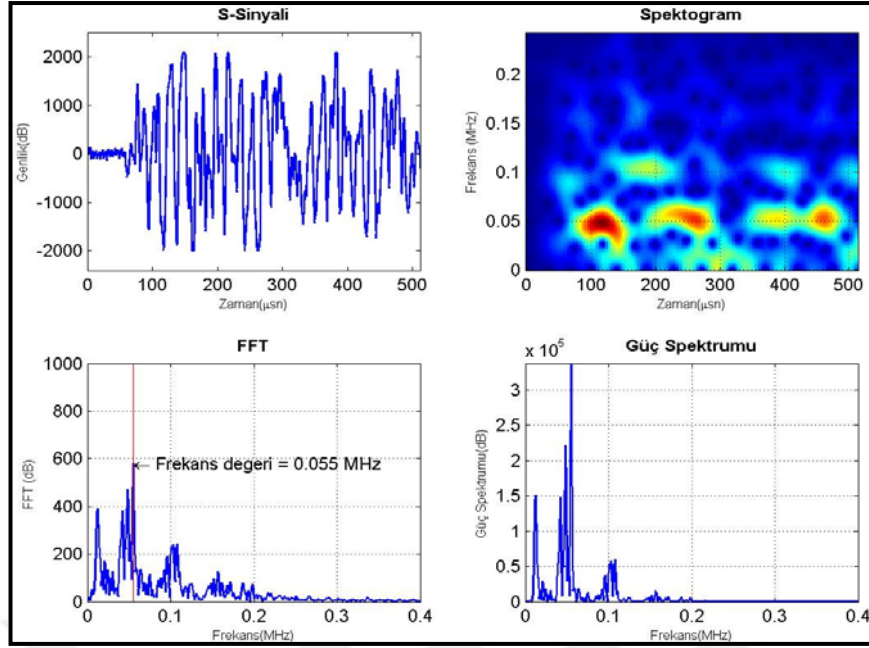
Şekil 5.88. T1 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.



Şekil 5.89. T9 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

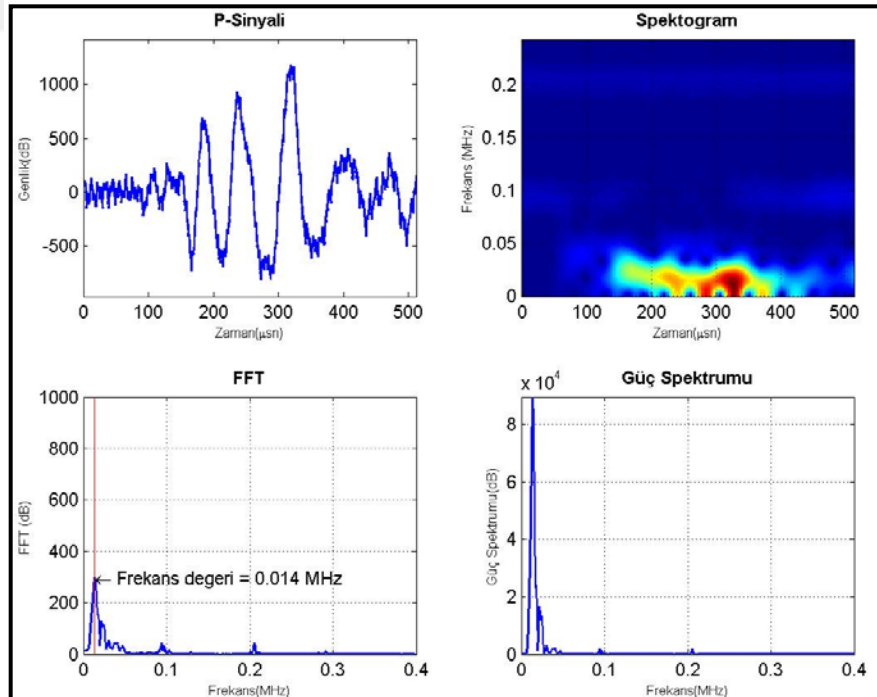


Şekil 5.90. T1 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

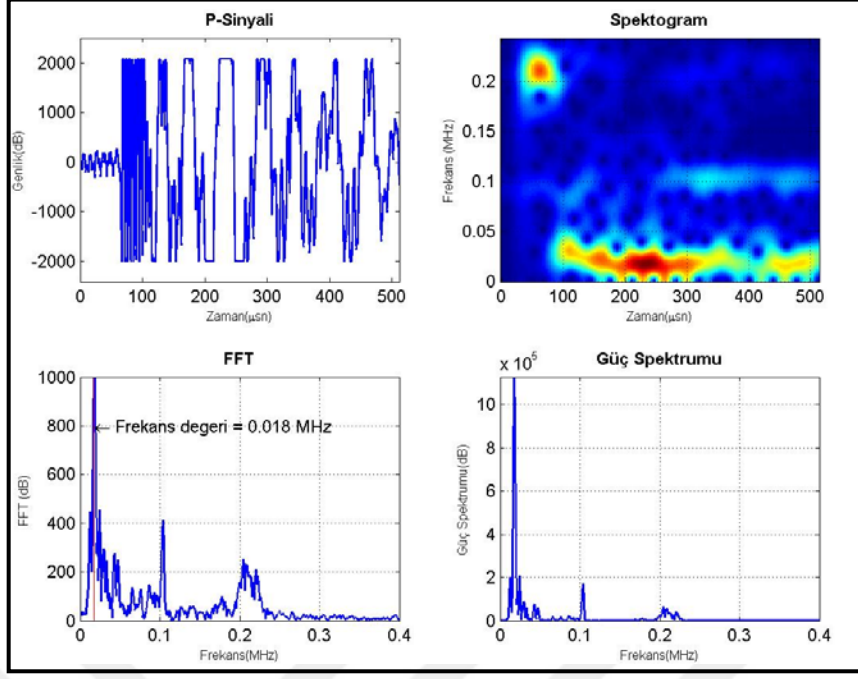


Şekil 5.91. T9 grubu hava küründeki 20mm donatılı küp numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

Etüv grubundaki düşük (T1) ve yüksek (T9) mukavemetli silindirik numunelerin 90. gün P ve S dalga sinyal analizleri sırasıyla Şekil 5.91 ve 5.94’de sunulmuştur.

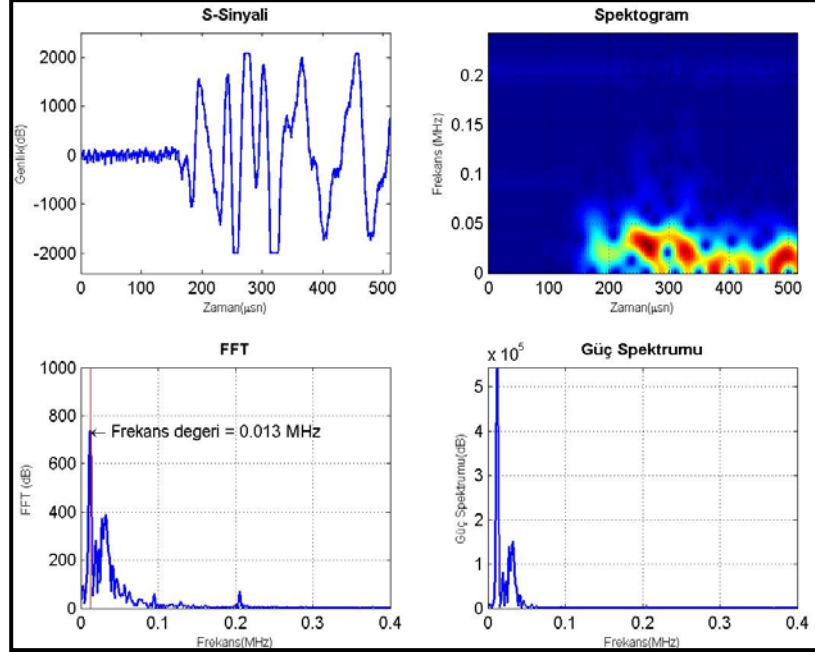


Şekil 5.92. T1 grubu etüv küründeki silindirik numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

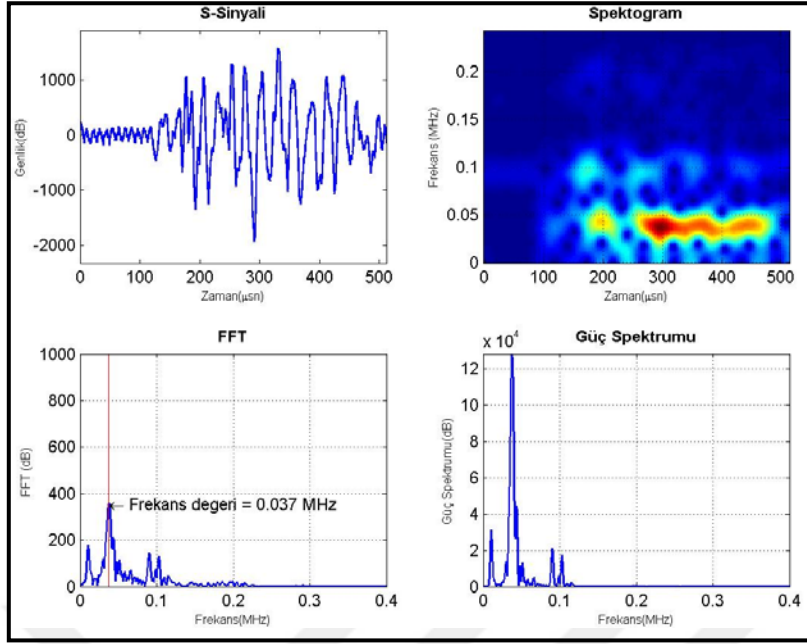


Şekil 5.93. T9 grubu etöv küründeki silindirik numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

Etöv grubundaki düşük (T1) ve yüksek (T9) mukavemetli silindirik numunelerin 90. gün S dalgası sinyal analizleri sırasıyla Şekil 5.94 ve 5.95'te sunulmuştur.

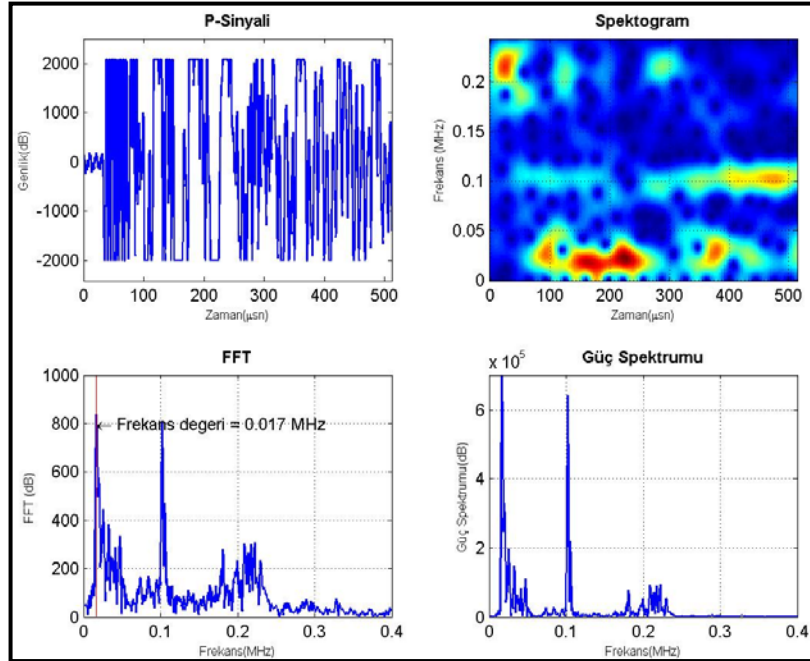


Şekil 5.94. T1 grubu etöv küründeki silindirik numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

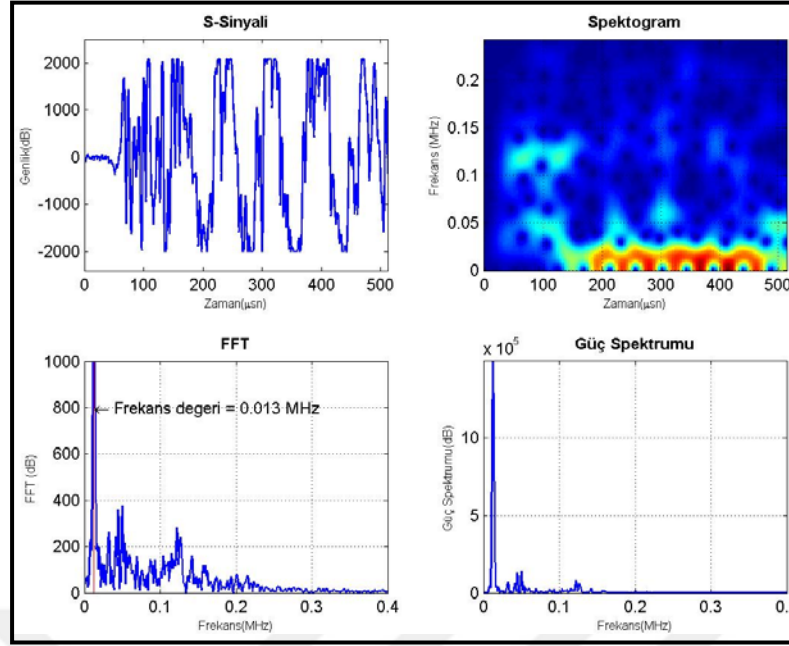


Şekil 5.95. T9 grubu etüv küründeki silindirik numunenin S sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

Kuru beton grubundaki düşük (T1) ve yüksek (T9) mukavemetli içerisinde 14mm çapında donatı bulunduran donatılı numunelerin 120. gün P ve S dalga sinyal analizleri sırasıyla Şekil 5.95 ve 5.96’de sunulmuştur.

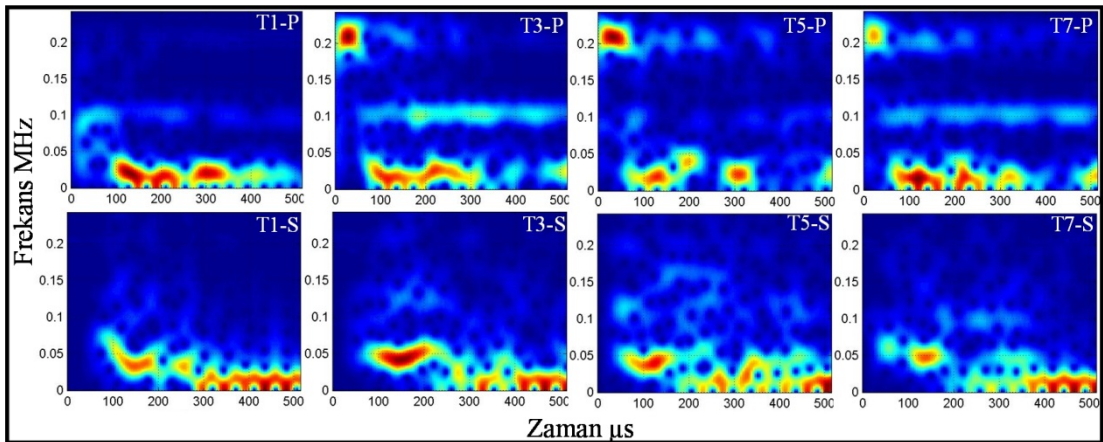


Şekil 5.96. T4 grubu kuru beton küründeki 14mm çapında donatı içeren küp numunenin P sinyal kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.



Şekil 5.97. T4 grubu kuru beton küründeki 14mm çapında donatı içeren küp numunenin S sinyali kaydı, zaman-frekans analizi, Fast Fourier Transformu (FFT) ve güç spektrumunun gösterimi.

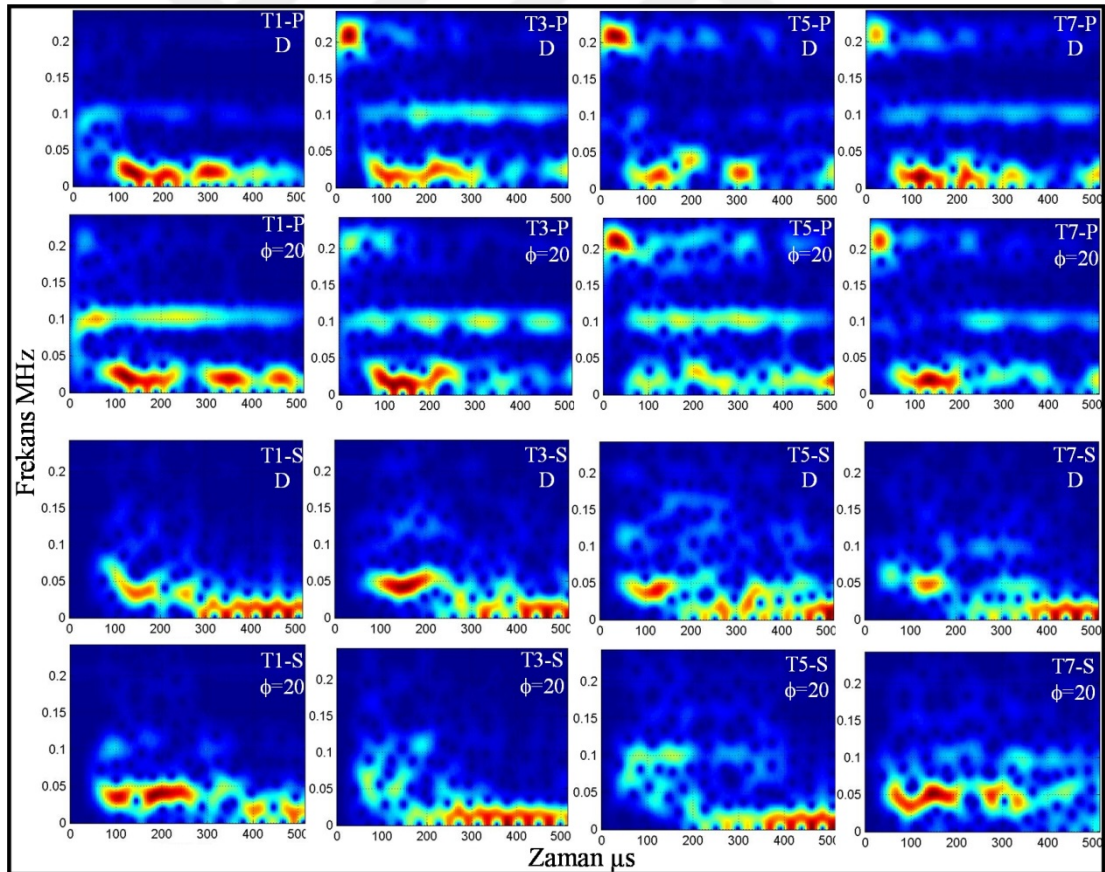
Tüm tasarım için yapılan P ve S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizi farklı dayanımlara sahip betonlardan bazı örneklerle Şekil 5.98’de verilmiştir. Bu şekil içerisinde P sinyalleri T1 den T7 doğru takip edildiğinde hepsinin 0-0.05MHz arasında baskın frekanslara sahip olduğu görülmektedir. Buna ek olarak düşük mukavemetli beton olan T1 tasarımında 0.1MHz civarında belli-belirsiz bir frekans oluşurken diğer T3, T5 ve T7 tasarımlarda belirgin bir şekilde bu frekans görülmektedir. Ayrıca T1 den ayrı olarak T3, T5 ve T7 tasarımlarda 0.2MHz civarında bir frekans daha görülmektedir.



Şekil 5.98. Farklı dayanımlı betonların P ve S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması.

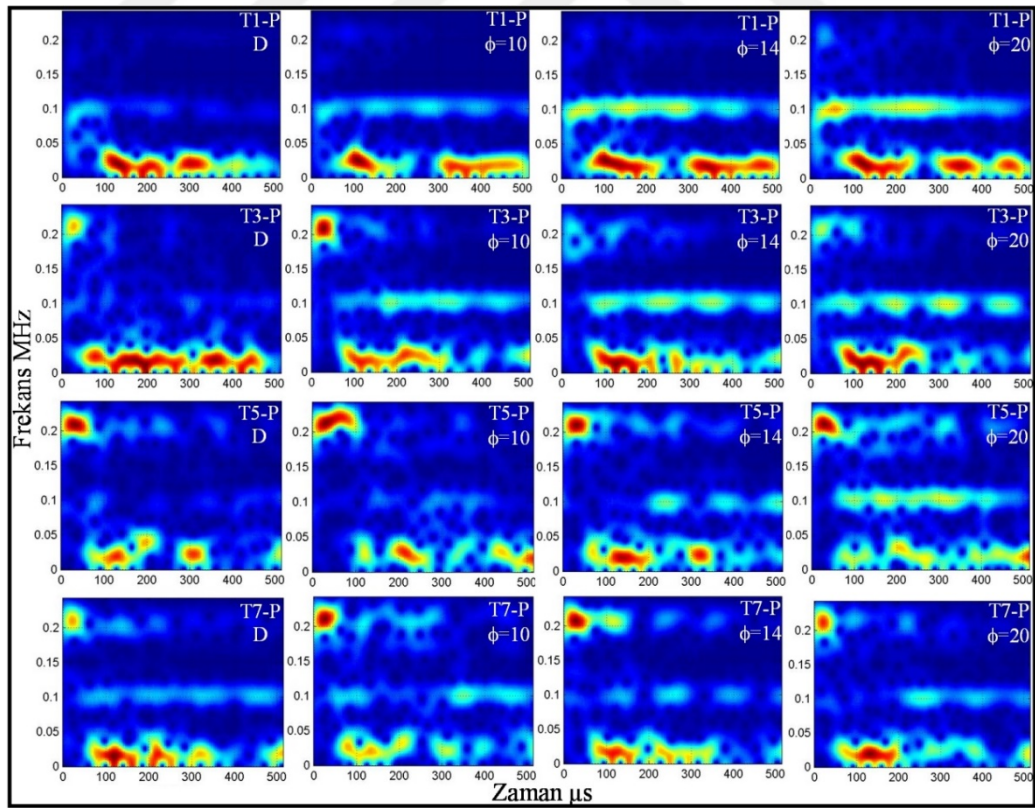
Bu durum sağlam betonlarda baskın frekans sayısının arttığını göstermektedir. Çünkü yüksek mukavemetli betonlar yüksek frekanslı sinyalleri düşük mukavemetliler ise alçak frekanslı sinyalleri geçirme özelliğine sahiptir. Benzer şekilde S sinyali için irdelendiğinde belirgin bir ayrım olmadığı tüm tasarımların 0-0.05MHz arasında frekanslara sahip olduğu görülmektedir.

Farklı dayanımlara sahip donatısız ve 20mm donatı çapına sahip aynı tasarıma ait betonların P ve S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizleri Şekil 5.99'da sunulmuştur. Donatısız ve 20mm donatılı şekiller kıyaslandığında donatısız nazaran donatılı numunelerin şekillerinde 3 farklı baskın frekans görülmektedir. Fakat P sinyallerinin donatılı ve donatısız şekillerinde bariz donatı ayrımı yapılamadığı anlaşılıyor. Benzer şekilde S sinyallerinin donatılı-donatısız zaman-frekans analiz şekillerinden donatı ayrımı yapılamadığı anlaşılmaktadır.

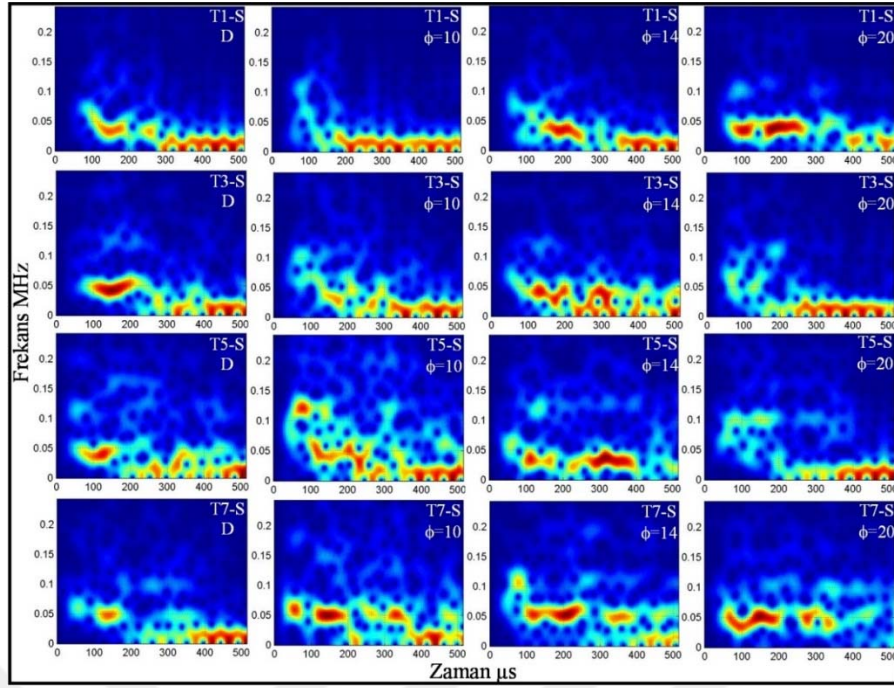


Şekil 5.99. Farklı dayanımlı, donatılı ($\phi=20\text{mm}$) ve donatısız (D) betonların P ve S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması.

Farklı tasarımlara ait donatısız ve 10, 14 ve 20mm donatı çapına bağlı P ve S sinyallerinin zaman-frekans analizleri Şekil 5.100 ve 101’de sunulmuştur. Bu şekillerde amaç donatı çapı büyüdükçe P ve S sinyallerinin zaman-frekans analizlerinde bir değişim olup olmadığını araştırmaktır. Bu amaçla Şekil 5.100 irdelendiğinde düşük mukavemetli betonlarda özellikle T1 ve T3 tasarımında donatı çapı arttıkça 0.1MHz frekansı daha belirgin bir hale gelmektedir. Bu durum beton sağlaştıkça özellikle T5 tasarımında donatı çapı 10mm olan betonların 0.1MHz frekansı belirsizleşmeye başlarken 20mm olan betonlarda hala belirgindir. Sonuç olarak düşük mukavemetli betonlarda donatı çapı büyüdükçe farklı frekanslar belirginleşirken sağlam betonlarda bu durumun olması için donatı çapının büyük olması gerekiyor. Bu durum Şekil 5.101’de düşük mukavemetli betonlarda yani T1 tasarımının S dalgası için zaman-frekans analizleri incelendiğinde 0.1MHz üzerinde renklerde yani farklı frekanslarda bir saçılma olmadığı ancak tasarım sayısı büyüdükçe yani beton sağlamlığı arttıkça zamanın farklı noktalarında farklı frekans saçılımları görülmektedir. Bu sağlamlık arttıkça ve donatı çapı büyüdükçe görülmektedir.

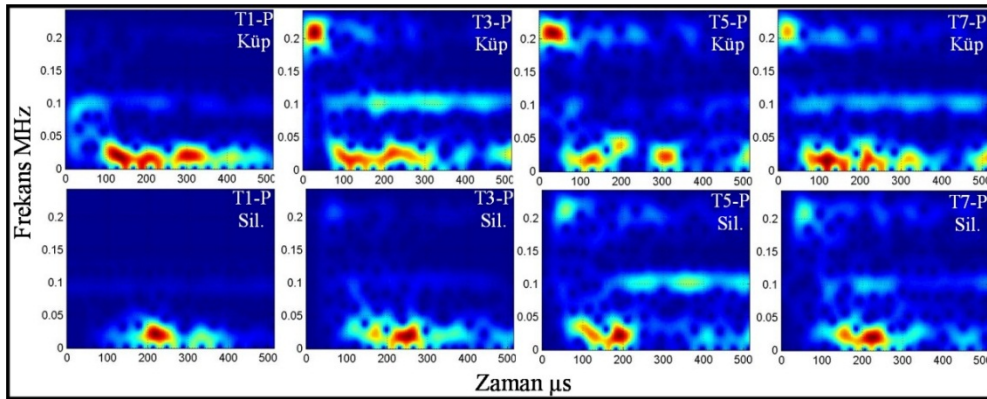


Şekil 5.100. Farklı dayanımlı, donatısız (D) ve farklı çaplara sahip donatılı (10, 14 veya 20mm) betonların P dalga sinyallerinin zaman-frekans analizleri.

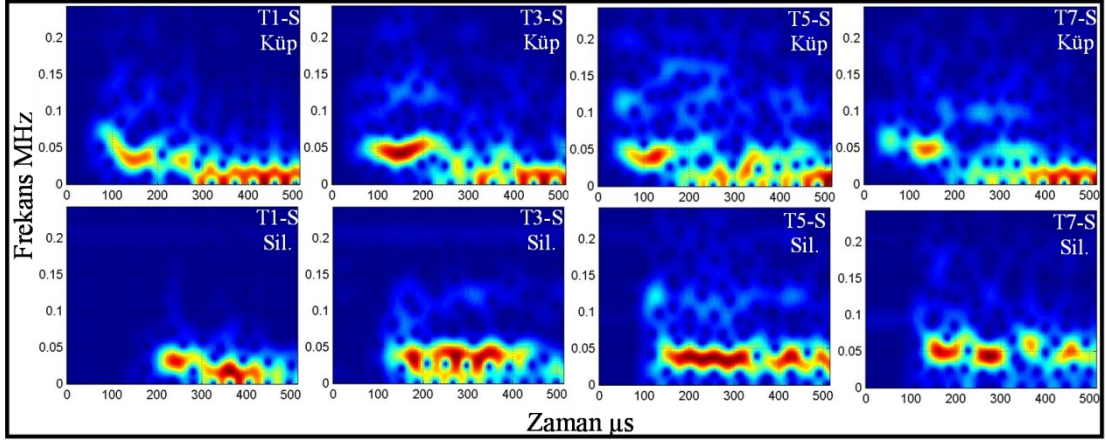


Şekil 5.101. Farklı dayanımlı, donatısız (D) ve farklı çaplara sahip donatılı (10, 14 veya 20mm) betonların S dalga sinyallerinin zaman-frekans analizleri.

Şekil 5.102 ve 103'te farklı tasarımların küp ve silindirik şekilli numunelerin P ve S dalga sinyallerinin zaman-frekans analiz sonuçları verilmiştir. Bu şeklin amacı aynı tasarıma ait numunelerin küp ya da silindirik olmasının ayırımı ortaya koymak içindir. Bu durum P ve S sinyallerinde bariz zaman farklılığından ayırt edilebilir. Yani küp örneklerin T1 ve T3 tasarımları için baskın frekansı 50-100 μ s'den arasında iken silindirik numunelerde 150-200 μ s arasında değişmektedir. Bu durum T5 ve T7 de daha az zaman farkı ile kendini göstermektedir. Benzer durum fakat çok daha net olarak Şekil 5.102'de yani S dalga sinyallerin analiz sonuçlarında görülmektedir.



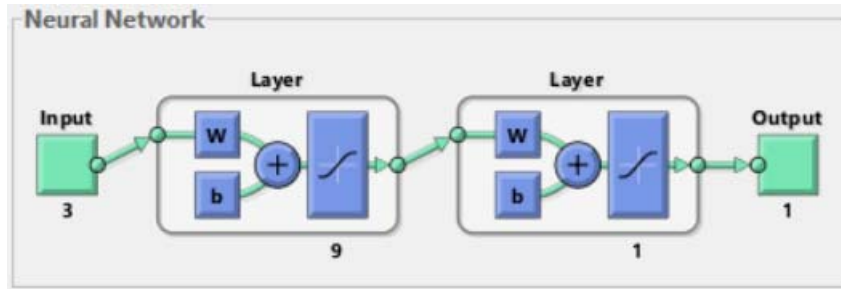
Şekil 5.102. Farklı dayanımlı donatısız küp ve silindirik betonların P dalga sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması.



Şekil 5.103. Farklı dayanımlı donatısız küp ve silindirik betonların S dalgası sinyallerinin zaman-frekans analizlerinin karşılaştırılması.

5.3. Yapay Sinir Ağları (YSA) Sonuçları

Bu çalışmada, YSA (Artificial Neural Network) analizi için giriş parametreleri olarak kür çeşidi (su, hava, etüv, kuru beton grubu), kür süresi (3, 7, 28, 90 gün), donatı çapı (10, 14, 20mm ve donatısız küp numuneler), dayanımı farklı 13 tasarım, V_p dalgası hızı (km/s), V_s dalgası hızı (km/s) ve elektrik özdirenç değerleri ($k\Omega\text{cm}$); çıkış parametresi olarak ise beton numunelerinin dayanımı (MPa) kullanılmıştır. Her bir çeşit numunede 3'er adedinin ortalama değerleri hesaplanarak su kürü, hava kürü, etüv grubu ve kuru beton grubundaki donatılı ve donatısız toplam 335 adet veri kullanılarak ağ oluşturulmuştur (Şekil 5.104).



Şekil 5.104. Çalışma kapsamında elde edilen yapay sinir ağı modeli

Yapılan çalışmada, Matlab 2014b Toolbox kullanılarak YSA analizi ile beton dayanımının tahmin edilmesine çalışılmıştır. Buna göre 3 ayrı ağ modeli oluşturularak sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Gizli tabaka sayısı 1 adet olarak belirlenmiş, öğretim algoritması olarak ise Resilient backpropagation algoritması kullanılmıştır.

Çapraz geçerlilik (cross validation) tekniğine göre veriler 5 gruba ayrılmıştır. Her defasında bir gruptaki veri seti test için (67 adet) geri kalan 4 gruptaki veriler ise eğitim için (67x4=268) ayrılarak 3 farklı ağ geliştirilmiştir. Dolayısıyla verilerin %80'i eğitim verisi, %20'si ise test verisi olarak ayrılmıştır. YSA'ların performanslarını ortaya koyabilmek amacıyla elde edilen 3 ağdaki 5 farklı modele sonucuna ait ilişki katsayıları (R^2) ve hata oranlarının (RMSE) ortalamaları alınarak ayrı ayrı sunulmuştur.

Çizelge 5.9. YSA analizinde oluşturulan ağlar.

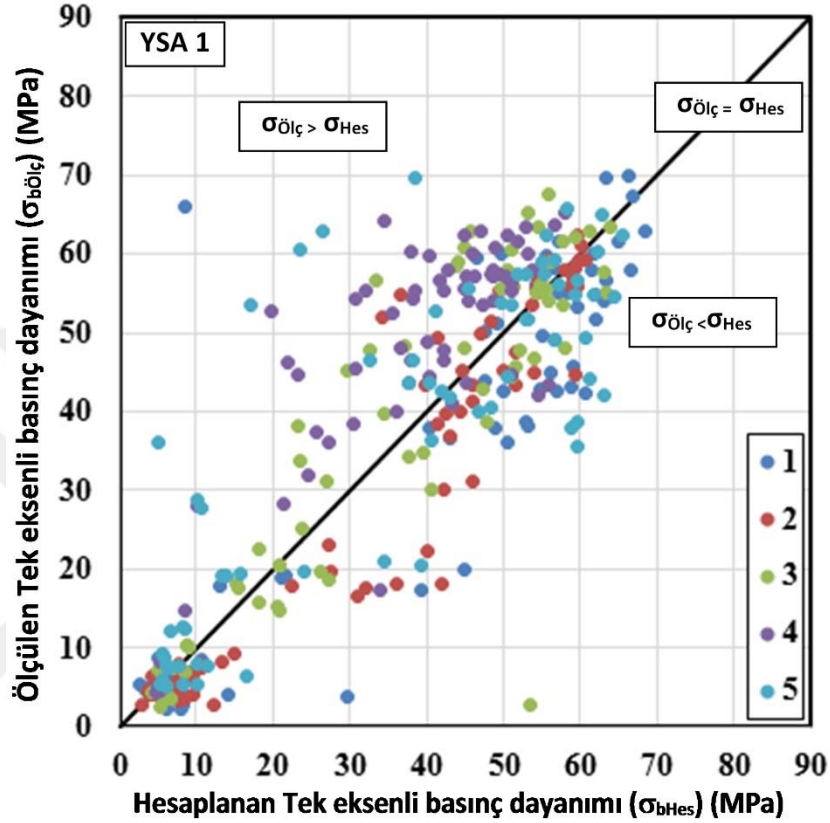
Ağın Adı	Öğrenme Fonksiyonu	Katman Sayısı	Transfer Fonksiyonu	Lr (Öğrenme Oranı)	İterasyon (Yineleme)
YSA1	trainrp, Resilient backpropagation	*7-9-1	tansig	0.01	25000
YSA2	trainrp, Resilient backpropagation	*2-9-1	tansig	0.01	25000
YSA3	trainrp, Resilient backpropagation	*3-9-1	tansig	0.01	25000

Çizelge 5.10. YSA analizinde oluşturulan ağlara ait ilişki katsayıları ve hata oranları.

GRUP	YSA1		YSA2		YSA3	
	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
1	0.80	11.22	0.74	11.88	0.77	11.49
2	0.90	7.44	0.76	13.50	0.77	11.99
3	0.78	9.90	0.72	11.63	0.73	11.77
4	0.72	12.72	0.77	11.13	0.80	10.06
5	0.67	12.78	0.77	10.22	0.67	12.74
ORTALAMA R^2	0.77		0.75		0.75	
ORTALAMA RMSE	10.81		11.67		11.61	

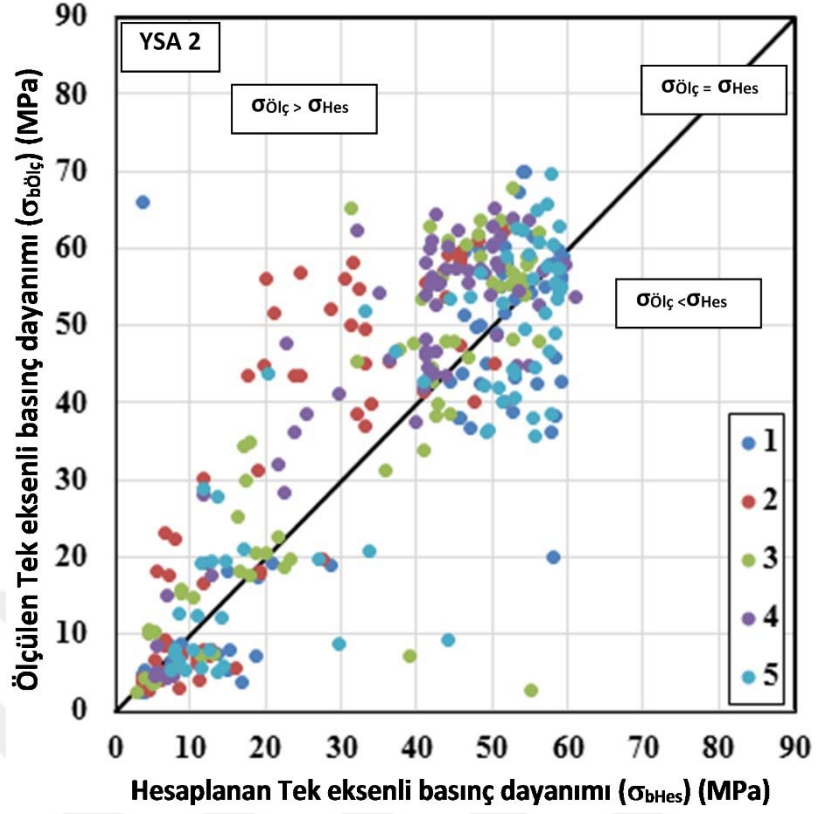
YSA1: Bu ağın içerisinde bütün giriş parametreleri olan kür çeşidi (1), kür süresi (2), donatı çapı (3), tasarım çeşidi (4), basınç (P) dalga hızı (5), kayma (S) dalga hızı (6), elektrik özdirenç değerleri (7); çıkış parametresi olarak ise beton numunelerinin dayanımı kullanılmıştır. Öğrenme fonksiyonu olarak ileri beslemeli esnek geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Nöron sayısı 9, gizli tabaka sayısı 1 olarak alınarak ağ

oluşturulmuştur. 25000 adet yineleme yapılarak öğrenme oranı 0.01 olan bir model elde edilmiştir. Ölçülen basınç dayanımları ile Yapay sinir ağları ile hesaplanan beton dayanım sonuçları karşılaştırıldığında ilişki oranlarının ortalaması $R^2=0.77$; hata oranlarının ortalaması $RMSE=10.81$ olarak elde edilmiştir (Şekil 5.105).



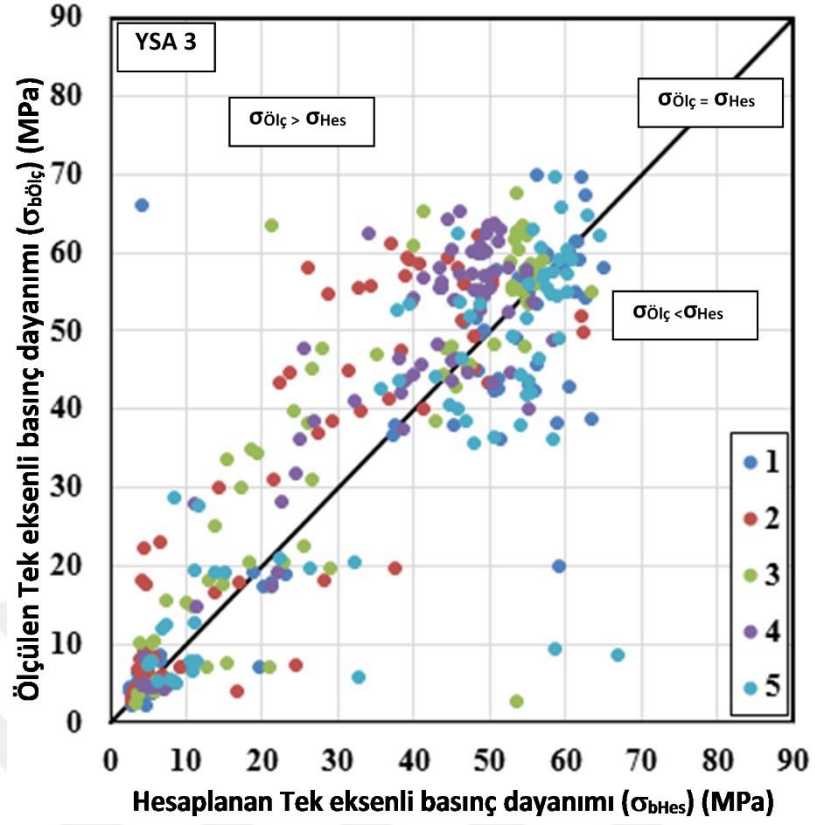
Şekil 5.105. YSA1'den hesaplanan dayanım değerleri ve ölçülen dayanım değerlerinin karşılaştırılması.

YSA 2: Bu ağıın içerisinde bütün giriş parametreleri olan, basınç (P) dalga hızı (1), kayma (S) dalga hızı (2); çıkış parametresi olarak ise beton numunelerinin dayanımı kullanılmıştır. Öğrenme fonksiyonu olarak ileri beslemeli esnek geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Nöron sayısı 9, gizli tabaka sayısı 1 olarak alınarak ağ oluşturulmuştur. 25000 adet yineleme yapılarak öğrenme oranı 0.01 olan bir model elde edilmiştir. Ölçülen ve oluşturulan ağıın hesapladığı dayanım sonuçları arasındaki ilişki oranlarının ortalaması $R^2=0.75$; hata oranlarının ortalaması $RMSE=11.67$ olarak elde edilmiştir (Şekil 5.106).



Şekil 5.106. YSA2'den hesaplanan dayanım değerleri ve ölçülen dayanım değerlerinin karşılaştırılması.

YSA3: Bu ağın içerisinde giriş parametreleri olarak basınç (P) dalga hızı (1), kayma (S) dalga hızı (2), elektrik öz direnç değerleri (3); çıkış parametresi olarak ise beton numunelerinin dayanımı kullanılmıştır. Öğrenme fonksiyonu olarak ileri beslemeli esnek geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Nöron sayısı 9, gizli tabaka sayısı 1 olarak alınarak ağ oluşturulmuştur. 25000 adet yineleme yapılarak öğrenme oranı 0.01 olan bir model elde edilmiştir. Ölçülen ve oluşturulan ağın hesapladığı dayanım sonuçları arasındaki ilişki oranlarının ortalaması $R^2=0.75$; hata oranlarının ortalaması $RMSE=11.61$ olarak elde edilmiştir (Şekil 5.107).



Şekil 5.107. YSA3'ten hesaplanan dayanım değerleri ve ölçülen dayanım değerlerinin karşılaştırılması.

3 ayrı veri seti kullanılarak elde edilen 5'er adet ağa ait sonuçlar bir arada değerlendirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen 3 adet YSA'nın beton dayanımının tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Buna göre 7 adet giriş parametresiyle oluşturulan 1. YSA modeli beton dayanımının tahmin edilmesinde daha iyi sonuçlar üretmiştir. Ölçülen ve hesaplanan dayanım sonuçlarına bakıldığında diğer iki ağ sonucundaki veri saçılmaları daha net gözlenebilmektedir. YSA ile yapılan veri analizinde giriş parametrelerinin daha çok olması, tasarlanan ağın daha iyi öğrenmesini sağlamıştır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tahribatsız jeofizik yöntemler kullanılarak beton dayanımı ve dolayısıyla beton kalitesini belirlemek mümkündür.

Bu çalışmada ultrasonik sismik ve elektrik özdirenç yöntemlerini kullanarak beton kalitesini belirlemek amacıyla laboratuvar ve şantiyede 13 farklı tasarım için donatısız silindirik, donatılı (10, 14 veya 20mm)-donatısız küp numuneler oluşturulmuştur. Bu numunelerin her tasarımdan örnekleri su kürü, hava kürü ve etüv grubu olarak ayrılmış ve numunelerin 3, 7, 28, 41, 56, 65, 72 ve 90. günlerde numunelerin üzerinde farklı yüzeylerinde sismik hızlar, farklı yönlerde özdirenç değerleri elde edilmiştir. Bunlara karşılık 7., 28., ve 90. günlerde tek eksenli basınç dayanım deneyleri de yapılmıştır. Ayrıca, tüm numunelerin belirtilen zamanlarda ağırlıkları ölçülerek yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca etüv grubu numuneler etüvde kurutulduktan sonra 90 gün boyunca su kürüne konup belirtilen günlerde çıkartılıp ağırlıkları ölçülerek su içerikleri ve gözeneklilik değerleri elde edilmiştir. Bu veriler istatistik değerlendirme için kullanılmıştır. Bunlara ek olarak numunelerden elde edilen P ve S sinyallerinin sinyal analizleri yapılarak sinyallerden beton dayanım ve özelliklerini yorumlamak amaçlanmıştır. Ayrıca elde edilen birçok parametre kullanılarak yapay sinir ağırları yöntemi ile değerlendirmeler yapılmıştır.

Ultrasonik sismik ve özdirenç yöntemleri farklı kür koşulları, farklı mukavemet özellikleri gösteren ve/veya farklı çapta donatı içeren numuneler üzerinde farklılıkları ayırt edici sonuçlar vermiştir.

Tek eksenli basınç dayanımı ile sismik hızlar ilişkilendirilmiş ve %90 üzerinde pozitif yönde üstel ilişkiler elde edilmiştir. Bu ilişkilerden P dalgaları gözeneklerdeki su içeriklerinden pozitif yönde etkilenirken S dalgaları etkilenmemiştir. P ve S dalga hızları birlikte kullanılarak beton dayanımı tahmini %95 ve üzerinde ilişki katsayıları ile elde edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ile elektrik özdirenç değeri arasında da ilişki araştırılmış ve doymuş numunelerde dayanım arttıkça özdirenç değeri artarken kuru numunelerde tam tersi meydana gelmiştir. Bu özdirençin gözenek dolgusuyla çok etkilendiğini göstermektedir. Gözeneklerin suya doymuş olması ya da kuru koşullar dikkate alınarak yapılan tek eksenli basınç dayanım ve özdirenç ilişkilendirmesinde

artan ve azalan bir hiperbol şeklinde %90 lık bir ilişki katsayısı ile dayanım tahmini yapılabilir.

Donatı ile beton arasındaki bağlantının iyi olup olmaması aynı zamanda beton içerisine konulan donatı ve donatı çapı da sismik hızlar, elektrik özdirenç ve beton dayanımı üzerinde etkilidir. Bu durum donatı çapına bağlı tek eksenli basınç dayanımı ile sismik hızlar arasındaki ilişkilerden düşük mukavemetli betonlarda donatı çapı büyüdükçe dayanımı artırırken yüksek mukavemetli betonlarda tam tersi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni gerilme altındaki betonun içindeki donatı çapının artışıyla daha fazla iç gerilme oluşturmasından kaynaklıdır. Sonuç olarak donatının etkisi beton dayanımına bağlı olarak değişmektedir.

Donatıya dökülen asit aracılığı ile korozyona uğratılan beton numunenin özdirenç değerlerinde belirgin düşüşler elde edilmiştir. Bu beton içerisindeki donatı ve donatının korozyonu sayesinde iletkenliğini artırmasına ve özdirencin düşmesine neden olmaktadır. Korozyon miktarındaki artış özdirenç değerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir. Kısa süreli korozyona maruz kalan beton numuneleri dayanım açısından fazla etkilenmediğinden sismik hızlar üzerinde az etkili olmuştur. Korozyona uğratılan ve uğratılmayan kuru betonların özdirenç değerlerinde korozyon etkisi belirgin görülmektedir. Dolayısıyla karşılaştırılan parametreler içerisinde özdirenç değerleri korozyona daha duyarlı olduğu görülmektedir.

Kür havuzunda bekletilen numunelerin sismik hızları dayanımla orantılı olarak artmakla birlikte belirli bir zaman genel olarak 72. günden sonra sabitleme gözlenmektedir.

Kür koşulları özdirenci etkilemektedir. Aynı numunenin su küründe olması durumunda özdirenç değerleri düşük çıkarken, hava küründe bu değerler daha yüksek bulunmuştur. Su küründeki numunelerin zamana bağlı olarak dayanımı artarken suya doygunluğu da çok az artmaktadır. Bu yüzden özdirenç değerlerinde de dayanımdan dolayı artış görülmektedir. Bu durumda hava kürü numunelerinde gözeneklerin hava dolgusundan dolayı sağlamdan zayıf betona doğru özdirenç değerinin arttığı görülmektedir.

Hava küründeki numunelerde elektrik özdirenç değerleri betonun gözenekli olup olmamasına bağlı olarak gözeneklerin hava dolgusundan dolayı artarken, donatılara uygulanan asit etkisi ile belirli bir zamandan (65. veya 72. gün) sonra azalmıştır. İlk ve son gün ölçümleri kıyaslandığında özdirenç değerlerinde genel olarak azalma gözlenmiştir. Bunun nedeni donatılara 90 gün boyunca uygulanan asit etkisindedir. 90 gün boyunca kür koşullarının beton dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde içerisindeki donatı çapı küçük olan düşük dayanımlı betonlar için su kürünün basınç dayanımını ortalama olarak %17 artırırken hava kürünün %6 azalttığı, sağlam ve çok sağlam betonlarda ise su kürü beton dayanımını %15 artırırken hava kürü ortalama %1 azalttığı gözlenmiştir.

Düşük dayanımlı numunelerde 90 gün boyunca zamana bağlı olarak gözlenen belirgin hız farklılıkları yüksek dayanımlı numunelerde gözlenmemiştir. 90 günlük sürede yüksek dayanımlı betonlarda donatı etkisinin nispeten daha az olduğu ve bu nedenle dayanımı yüksek numunelerde daha uzun bir süreçte çalışmaların yapılması gerektiği gözlenmiştir.

Su küründeki düşük dayanımlı donatılı numunelerin sismik hızları yine su küründeki donatısız numunelerinkinden daha yüksek çıkmıştır. Hava küründeki düşük dayanımlı donatılı numunelerin sismik hızları ise su küründeki donatısız numunelere kıyasla daha düşük bulunmuştur.

Boyut etkisini ortaya koymak amacıyla farklı tasarımlara ait küp ve silindirik numunelerin sismik hızları, özdirenç ve dayanım değerleri karşılaştırıldığında sismik hızların numune şekline bağlı değişmediği yani şekil faktöründen etkilenmediği ortaya konulmuştur. Ancak özdirenç, tek eksenli basınç dayanımı, su içeriği ve gözeneklilik değerlerinin küp numunelerde silindirik olanlara nazaran daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Düşük mukavemetli betonlarda su içerikleri %4.5-5.5 aralığında iken yüksek mukavemetli betonlarda bu oran %1-1.5 aralığına kadar düşmektedir. Su içeriğinin fazla olduğu tasarımlarda dayanımında düşük olmasından dolayı sismik hız değerleri de düşük olmaktadır. Düşük mukavemetli ilk tasarımda gözeneklilik oranı %10-13

civarında iken en yüksek mukavemetli numunelerde % 2-3.5 aralığındadır. Yine su içeriği gibi gözeneklilik miktarı azaldığında da hız miktarlarında artma gözlenmiştir.

Su ve hava küründeki numuneler için yapılan statik ve dinamik elastik modüller, sismik hız oranı (V_p/V_s), Poisson oranı ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkilendirmelerde elde edilen ilişki katsayıları %90 üzerinde ve elastik modüllerin ilişkilendirmesinden elde edilen RMSE hataları 2.5 GPa iken kayma modülleri için 2.2 GPa'dır. Düşük dayanımlı betonlardaki sismik hız oranının suya doygunluk sınır değeri 1.8 olarak düşünülebilir. Poisson oranı için ise bu sınır değer 0.27 elde edilmektedir. Sonuç olarak düşük dayanımlı betonlar için Poisson oran değerinin 0.27'den büyük değerleri suya doygun, küçük değerleri hava doygun olarak yorumlanabilir.

Su, hava ve etüv grubuna ait küp numunelerin farklı yüzeylerinde elde edilen sismik hızlar da önemli ölçüde bir farklılık olmadığından numunelerin yöne bağlı değişmediği, fakat aynı numunelerin öz direnç değerlerinin özellikle hava grubu numunelerinde bariz değişiklikler elde edilmiştir. Bu durumun numuneler içerisindeki gözeneklerin hava dolgusundan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Su, hava ve etüv grubundaki numunelerin ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucunda sismik P ve S hızları ve dayanım arasında elde edilen çok parametrelili ilişki laboratuvar ortamındaki su kürü grubunda yer alan numunelerde en az hatayı vermiştir.

Donatılı ve donatısız tüm numunelere ait P ve S dalga sinyallerinin zaman- frekans analizi yardımıyla değerlendirilmesi sonucunda beton dayanımı arttıkça baskın frekans sayısının da arttığı görülmüştür. Donatılı ve donatısız numunelerin sinyal analizlerinin karşılaştırılmasında özellikle P dalga sinyal analizlerinde 0.1MHz civarında net bir baskın frekans görülmektedir. Ayrıca farklı dayanımlı betonlarda donatı çapının etkisini gözlemlemek için P dalga sinyal analiz sonuçları özellikle düşük dayanımlı betonlarda donatı çapının artışına bağlı olarak 0.1MHz civarındaki baskın frekans belirginleşmektedir. Bu durum sağlam betonlarda büyük çaplı donatılı betonlar için geçerlidir. Bunlara ek olarak, silindirik ve küp numunelerin P ve S dalga sinyal analizlerinde 0-0.05MHz arasında baskın frekansın başlangıç zaman değeri silindirik numunelerde daha geçtir.

Tüm numuneler için elde edilen parametrelerden yararlanarak 3 farklı yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Bunlar içerisinde en iyi sonuç giriş parametresi olarak kür çeşidi, kür süresi, donatı çapı, tasarım çeşidi, P ve S dalga hızları, elektrik özdirenç değerleri ve çıkış parametresi olarak ise beton numunelerinin dayanımının kullanıldığı çapraz geçerlilik tekniğine göre elde edilen ağda %77' lik bir ilişki katsayısı ile dayanım tahmin edilmiştir.



KAYNAKLAR

- ACI Committee, 2001. Protection of Metals in Concrete Against Corrosion, ACI 222R-01, 41p.
- Aka, İ., Keskinel, F., Arda, T.S., 1996. Betonarmeye Giriş, 9. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Akça, A., 1991. Beton Mukavemetinin Belirlenmesinde Kullanılan Karotların Mukavemetine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akman, S., 1972. Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri, 45-47s, İstanbul.
- Ali, B.A.H., 2008. Assessment of Concrete Compressive Strength by Ultrasonic Non-Destructive Test, Master Thesis, The College of Engineering of The University of Baghdad in Civil Engineering.
- Alilou. V.K., 2009. Designing A Learning Machine for Prediction of The Compressive Strength of The Concrete by Using Artificial Neural Networks, M.sc Thesis, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- Allen, J.B., 1977. Short Term Spectral Analysis, Synthetic and Modification by Discrete Fourier Transform: IEEE Transactions on Acoustic, Speech, Signal Processing, 25,235-238.
- Alp, H., Akıncı, T.Ç., Albora, M., 2008. Jeofizik Uygulamalarda Fourier ve Dalgacık Dönüşümlerinin Karşılaştırılması, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14 (1), 67-76.
- Alp, S., 2004. Agregâ, Kum, Kil ve Taşocakları Sektör Raporu, İstanbul Ticaret Odası.
- Altundaş, S., 2010. Beton Dayanımının Tahmininde Kullanılan Jeofizik Yöntemler, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, U., 1985. Beton Üretiminde Nitelik Denetimi ve Bir Öneri Yönetmelik, Boğaziçi Üniversitesi Dergisi, 11, 12-13.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, U., Girgin, C., 1999. Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune Şekil-Boyut Etkisi, Hazır Beton Dergisi, 31, 40-50.
- Arıöz, Ö., 2004, Beton Dayanımının Standart, Tahribatlı, Yarı Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenmesi, Anadolu Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, İnşaat müh. Bölümü, Doktora Tezi (Yayınlanmamış).
- ASTM C42/C42M-10, 2004. Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. Annual Book of ASTM Standards, 04(02), American Society for Testing and Materials. PA.

- ASTM G15-04, 2004. Standard Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing. Annual Book of ASTM Standards, 3(2), 72-76. American Society for Testing and Materials. PA.
- Babacan, A.E., Ersoy, H., Gelişli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 36 (1).
- Bahadır, M., 1984. Beton Mukavemetinin Karotlar Yardımıyla Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 1. Baskı.
- Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş., Çomak B., 2012. Görüntü İşleme Tekniği ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16 (1),82-88.
- Bayrak, Y., Yılmaz, Ş., Bayrak, E., Aksoy, S., 2011. Farklı Yöntemlerle Deprem Kayıtlarının Zaman-Frekans Analizi 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Bellander, U., 1979. Non-Destructive Testing Methods for Estimating Compressive Strength in Finished Structures, RILEM Symposium on Quality Control of Concrete Structures, Stockholm.
- Boumiz, A., Vernet, C., Cohen-Tenoudji, F., 1996. Mechanical Properties of Cement Pastes and Mortars at Early Ages. Advanced Cement Based Materials, 3 (3-4), 94-106.
- BRE, 2000. Corrosion of Steel in Concrete: Part 1 Durability of Reinforced Concrete Structures; Part 2 Investigation and Assessment; Part 3 Protection and Remediation. BRE Digest No: 444, IHS-BRE Press, Garston, Watford.
- Bungey, J.H., 1989. Testing of Concrete in Structures, Surrey University press.
- Buyle-Bodin, F., Ammouche, A., Garciaz, J.L., 2003. Contribution of Coupling Non-Destructive Methods for The Diagnosis of Concrete Structures, International Symposium (NDT-CE), France.
- Candansayar, M.E., 2010. Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi, Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notu, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, 38s.
- Carcano, S.R., Moreno, E.I., 2008. Evaluation Of Concrete Made With Crushed Limestone Aggregate Based On Ultrasonic Pulse Velocity, Construction and Building Materials 22, 1225-1231.
- Carino, N.J., 1999. Nondestructive Techniques to Investigate Corrosion Status in Concrete Structure, Journal of Performance of Constructed Facilities, 96-106.

- Castagna, J.S. Sun, R.W. Siegfried, 2003, Instantaneous Spectral Analysis: Detection of Low-Frequency Shadows Associated with Hydrocarbons: The Leading Edge, 22, 120–127.
- Cassidy, N.J., Eddies, R., Dods, S., 2011. Void Detection Beneath Reinforced Concrete Sections: The Practical Application of Ground-Penetrating Radar and Ultrasonic Techniques, *Journal of Applied Geophysics*, 74, 263–276.
- Celep Z., Kumbasar N., 2001, Betonarme Yapılar, İstanbul, Rehber Matbaacılık, s.680-692.
- Cheesman, W. J., 1949. Dynamic Testing of Concrete with the Soniscope Apparatus. *Proceedings of the Highway Research Board*, 29, 176–183.
- Cheng, A., Huang, R., Wu, J.K., Chen, C.H., 2005. Effect of Rebar Coating on Corrosion Resistance and Bond Strength of Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*, 19, 404-412.
- Chiang, C.H., Tsai, C.L., Kan, Y.C., 2000. Acoustic Inspection of Bond Strength of Steel-Reinforced Mortar After Exposure to Elevated Temperatures. *Ultrasonics*, 38, 534-536.
- Chiang, C.H., Yang, C.C., 2005. Artificial Neural Networks in Prediction of Concrete Strength Reduction due to High Temperature. *ACI Materials Journal*, 102 (2), 93-102.
- Cladera, A., Mari, A.B., 2004. Shear Design Procedure for Reinforced Normal and High-Strength Concrete Beams Using Artificial Neural Networks. Part I: Beams without stirrups. *Engineering Structures*, 26, 917–926.
- Cohen, L., 1995. *Time Frequency Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Cohen, L., 1989. Time-Frequency Distributions-A Review. *Proceedings of the IEEE*, 77, 941–981.
- Coşgun, T., 2003. İstanbul'da Deprem Sonrası Yapılan İncelemelerde Karşılaşılan Korozyon Hasarı Üzerine Bir İnceleme, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, 5. Ulusal Beton Kongresi, 269-278s, İstanbul.
- Çekiç, Y., 2004. Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Analizi, İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Dahil, H., 2001. Yüksek Performanslı Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- D'Angelo, R., Plona, T.J., Schwartz, L.M., Coveney, P., 1995. Ultrasonic Measurements on Hydrating Cement Slurries: on set of Shear Wave Propagation. *Advanced Cement Based Materials*, 2(1): 8–14.

- Daubechies I.,1990. The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis, IEEE Transactions on Information Theory, 36 (5): 961-1005.
- Demirboğa, R., Türkmen, İ., Karakoç, M.B., 2004. Relationship between Ultrasonic Velocity and Compressive Strength for High-Volume Mineral-Admixtured Concrete, Cement and Concrete Research, 34, 2329–2336.
- De La Haza, A.O., Samokrutov, A. A., Samokrutov, P.A., 2013. Assessment of Concrete Structures Using The Mira and Eyecon Ultrasonic Shear Wave Devices and The SAFT-C Image Reconstruction Technique, Construction and Building Materials, 38, 1276–1291.
- Demetriu, S., Trandafir, R.,2003. Time-Frequency Representations of Earthquake Motion Records., Ovidius Constanta, 11, 57-68.
- Dewar, J.D., 1999. Computer Modeling of Concrete Mixture, E and FN Spon, London.
- Dişlitaş, S., Ahıska, R, Yanmaz, H., 2006. Beton Karakteristik Basınç Dayanım Testinin Bilgisayar Kontrollü Olarak Yapılması, Bilgi Teknolojileri Kongresi 4, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Dliou, A., Latif, R., Laaboubi, M., Maoulainine, F.M.R., 2012. Arrhythmia ECG Signal Analysis Using Non Parametric Time-Frequency Techniques, International Journal of Computer Applications, 41(4): 0975–8887.
- Doğan, M., 2009. Betonarme Yapılardaki Deprem Hasarlarına Korozyonun Etkisi, Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University, 22 (1).
- Doğangün, A., 2002. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- Durmuş, A., Durmuş, A., Gürsoy, Ş., 2007. Yük Geçmişi ve Donatının Beton Dayanımı Üzerindeki Etkileri, 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Durmuş, A., Dahil, H., Arslan, M. E., 2006. Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının İncelenmesine Katkı, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, Book of Abstracts, 1, 468.
- Elmas, M., Çağlar N., Mert N., 1998. Determination of Earthquake Damage on RC Structures Using Neural Network, Proceedings of 2nd International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Sakarya, Turkey, 97s.
- Elvery, R. H., 1976. Ultrasonic Assesment of Concrete Strength at Early Ages, Magazine of Concrete Research, 28-97.
- Erdoğan, T.Y., 1995a. Çimentolar, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

- Erdoğan, T.Y., 1995b. Karışım ve Bakım Suları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2010. Beton, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınevi.
- Ergün, A., Kürklü, G., 2005. Mevcut Betonarme Yapılarda Beton Dayanımının Belirlenmesi, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 817-826.
- Ersoy, U., Özcebe, G., 2001. Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Genişletilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi.
- Fan, J., Dong, P. 2009. Time- Frequency Analysis of Earthquake Record Based on S Transform and Its Effect on Structural Seismic Response. International Conference on Engineering Computation.
- Fang, C., Karin, L., Chen, L., Zhu, C., 2004. Corrosion Influence on Bond in Reinforcement Concrete, Cement and Concrete Research, 34, 2159–2167.
- Feldman, R. F., 1977. Non-Destructive Testing of Concrete, National Research Council of Canada, 187p.
- Felekoğlu, B., Türkel, S., 2004. Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkileri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1): 77-89.
- Feliu, S., Gonzalez, J. A., Andrade, C., 1996. Electrochemical Methods For on Site Determinations of Corrosion Rates of Rebars, Techniques to Assess The Corrosion Activity of Steel Reinforced Concrete Structures, ASTM STP 1276, N. Berke,, E. Escalante, C., NMA and D. Whiting, eds., ASTM, west conshohocken, Pa., 107-118s.
- Ferreira, R.M, Jalali, S., 2010. NDT Measurements for The Prediction of 28 Days Compressive Strength, NDT and E International 43, 55-61.
- Ferreira, R.M., Jalali, S., 2006. Quality Control Based on Electrical Resistivity Measurements. in Proceedings of The European Symposium on Service Life and Serviceability of The Concrete Structures, Helsinki, Finland.
- Filiz, M. H., 2006. Beton Karot Dayanımları ile Standart Silindir Dayanımları Arasındaki İlişkinin Kür Koşullarına Bağlı Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. ABD. Trabzon., 73s.
- Flood, I., 1989. A Neural Network Approach to The Sequencing of Construction Tasks. Proceedings of the Sixth International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Construction Industry Institute, Austin, Texas,. 204 (11).
- Gabor, D., 1946. Theory of Communication, Journal of IEEE, 93, 429-457.

- Gaynor, R. D. 1969. In-Place Strength of Concrete, A Comparison of Two Test Systems, 39th Annual Convention of the National Ready Mixed Concrete Association, New York,; Published with NRMCA Technical Information, 272.
- Ghaboussi, J, Joghataie, A., 1995. Active Control Of Structures Using Neural Networks. *Journal of Engineering Mechanics*, 121(4): 555–67.
- Ghosh, P., Tran, Q., 2015. Correlation Between Bulk and Surface Resistivity of Concrete, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 9 (1), 119-132.
- Güner, A., 2003. Yerinde Beton ve Donatı Niteliğinin Belirlenmesi, İMO İstanbul Şubesi Meslek İçi Seminerleri, İstanbul, 4-7s.
- Güneyisi, E., Özturan, T., Gesoğlu, M., 2005. A Study on Reinforcement Corrosion and Related Properties of Plain and Blended Cement Concretes Under Different Curing Conditions, *Cement and Concrete Composites*, 27, 449–461.
- Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M., 1996. *Neural Network Design*, Boston: PWS Publishing.
- Hajela, P., Berke, L., 1991. Neurobiological Computational Modes In Structural Analysis and Design, *Computers and Structures*, 41, 657–67.
- Haykin, S., 1994. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, MacMillan. New York.
- Hopfield, J.J., Tank D.W., 1985. Neural Computation of Decisions in Optimization Problems, *Biological Cybernetics*, 52, 141-152.
- Huerta-Lopez,C., Shin,Y., Powers,E.J. ve Roësset, J.M., 2000. Time-Frequency Analysis of Earthquake Records. 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, 1724,4.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2002. *Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. Training Course Series, 17, Vienna.
- Ichinose, T., Kanayama, Y., Inoue, Y. ve Bolander Jr. J.E., 2004. Size Effect on Bond Strength of Deformed Bars, *Construction and Building Materials*, 18, 549-558.
- Jain, A., Kathuria, A., Kumar, A., Verma, Y. ve Murari, K., 2013. Combined Use of Non-Destructive Tests for Assessment of Strength of Concrete in Structure, The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering, *Procedia Engineering*, 54, 241–251.
- Jenkins, R.S., 1985. Non Destructive Testing: an Evaluation Tool, *Concrete International: Design and Construction*, 7(2): 22-26.
- Jones, R., 1949. A non-destructive method of testing concrete during hardening. *Concrete and Constructional Engineering*, 44(4): 127–128.

- Jones, R., Façaoaru, I., 1968. An Analysis of Answer to a Questionnaire on the Ultrasonic Pulse Technique, 1, 5.
- Kankam, C. K., 2004. Bond Strength of Reinforcing Steel Bars Milled From Scrap Metals, *Materials and Design*, 25(38): 231–238..
- Karahan, N.Ş., 2013. Beton Kalitesinin Farklı Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi ve Mevcut Beton Sınıflandırmaları ile Karşılaştırılması, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış).
- Karakoç, C., 1985. Aderans Mekanik Etkileşim Olayı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi.
- Kasperkiewicz, J, Racz, J, Dubrawski, A., 1995. HPC Strength Prediction Using Artificial Neural Network. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 9(4): 279–84.
- Keçeli, A., 2009. Jeofizik, Jeoloji, Jeoteknik, Maden Mühendislerine Uygulamalı Jeofizik Zemin Etütleri TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No: 9, Ekim Ajans Matbaacılık, 479s., Ankara.
- Keçeli, A., 2015. Mühendislik Yapılarının Tasarımında Jeofiziğin Önemi, Prof. Dr. Ali Keçeli Jeofizik-Jeoteknik Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 1-16.
- Keiller A. P. 1985. Assessing The Strength of The in Situ Concrete, *Concrete International: Design and Construction*, 7(2): 15-21.
- Kewalramani, M.A., Gupta, R., 2006. Concrete Compressive Strength Prediction Using Ultrasonic Pulse Velocity Through Artificial Neural Networks, *Automation in Construction*, 15, 374 – 379.
- Kızıllkan, Ö., Şencan, A. ve Yakut, A.K., 2006. R410a Soğutucu Akışkanının Termodinamik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Metoduyla Modellenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2): 395-400.
- Köse, H., Kahraman, B., 1999. Kaya Mekaniği, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 177.
- Küçük, B., 2000. Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, *Journal of Engineering Sciences*, 6(1): 79-85.
- Lataste, J.F., Breyse, D., Sirieix, C., Frappa, M., Bournazel, J.P., 2002. Cracking of Reinforced Concrete Structures: Investigation by means of Electrical Resistivity Measurements, *Bulletin DES Laboratoires DES Ponts et Chaussees*.
- Lee, W., Stolfo, S.J., Mok, K.W., 2007. A Data Mining Framework for Building Intrusion Detection Models.

- Leslie, J. R., Cheesman, W. J., 1950. An Ultrasonic Method of Studying Deterioration and Cracking in Concrete Structures, *ACI Journal Proceedings*, 46, 17-36.
- Lewandowski, R., 1970. Influence of Compressive Strength Results of Concrete Test Cores, *Betonstein-Zeitung*, 36(12): 745-749.
- Lim, D. T.Y., Divsholi, B.S., Xu, D., Teng, S., 2011. Evaluation of High Performance Concrete Using Electrical Resistivity Technique, 36th Conference on Our World in Concrete and Structures Singapore.
- Lorenzi, A., Tisbierck F.T., SilvaFilho, L.C.P., 2007. Ultrasonic Pulse Velocity Analysis in Concrete Specimens, IV Conferencia Panamericana de END Buenos Aires.
- Macgregor, J.G., 1997. Reinforced Concrete : Mechanics and Design, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Malhotra, V.M., 1977. Contact Strength Requirements Cores Versus in-Situ Evaluation, *ACI Journal*, 163-172.
- Malinaric, S., Kostial, P., 1998. Contribution to the Signal Processing of Ultrasonic Pulses. *Journal of Physics*, 31(8): 970-977.
- Martin, J., Forde, M. C., 1995. Influence Of Concrete Properties On Impulse Hammer Spectrum And Compression Wave Velocity , *Construction and Building Materials*, 9(4).
- McCormac, J.C., Nelson, J.K., 2005. Design of Reinforced Concrete: 6th (sixth) Edition, Wiley.
- Morris, W., Vico, A., Vazquez, M., Sanchez, S.R., 2002. Corrosion of reinforcing steel evaluated by means of concrete resistivity measurement, *Corrosion Science*, 44, 81-99.
- Murphy, W.E., 1979. The Assesment of Concrete Strength in Structures, Cement and Concrete Association, Slough.
- Naffa, S.O., Goueygou, M., Piwakowski, B., Buyle-Bodin, F., 2002. Detection of Chemical Damage in Concrete Using Ultrasound, *Ultrasonics*, 40, 247-251.
- NEA/CSNI/R, 2002. Electrochemical Techniques to Detect Corrosion in Concrete Structures in Nuclear Installations Tehnical Note.
- Nehdi M, El Chabib H, El Naggar MH., 2001. Predicting Performance of Self-Compacting Concrete Mixtures Using Artificial Neural Networks. *ACI Materials Journal*, 98(5): 394-401.
- Neisecke, J., 1974. A Three Parameter, Complex Ultrasonic Test Method For Nondestructive Testing Of Materials in Civil Engineering. PhD thesis, Technische Universit`at Braunschweig, Braunschweig. (in German).

- Neville, A.M., 1977. Properties of Concrete, Longman Group Ltd., 2th edition, England.
- Oh, J.W., Kim J.T., Lee, G.W., 1999. Application of Neural Networks for Proportioning of Concrete Mixes. ACI Materials Journal, 96(1): 61–70.
- Orchard, D.F., 1979. Concrete Technology, Applied Science Publishers LTD., Londra, 2(4).
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık. İstanbul.
- Öztürk, K., 1993. Prospeksiyon Jeofiziği (Sismik), İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Pampal, S., 2000. Depremlerin etkisi, Depremler Alfa/Aktüel Kitabevleri, Ankara
- Partyka, G. A., J. M. Gridley, J. Lopez, 1998. Interpretational Applications of Spectral Decomposition in Reservoir Characterization: The Leading Edge, 18, 353–360.
- Petersons, N., 1971. Recommendations for Estimation of Quality of Concrete in Finished Structures, Materials and Structures Research and Testing, 4(24): 379-397.
- Petro, J.T., Kim, J., 2012. Detection of Delamination in Concrete Using Ultrasonic Pulse Velocity Test, Construction and Building Materials, 26, 574–582.
- Pfister, V., Tundo, A., Luprano, V.A.M., 2014. Evaluation of Concrete Strength by Means of Ultrasonic Waves: A Method for The Selection of Coring Position, Construction and Building Materials, 61, 278–284.
- Pınar, R., Akçığ, Z., 1995. Jeofizikte Sinyal Kuramı ve Dönüşümler. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, Eğitim Yayınları, No:3.
- Pimenov, V. V., Barkan, R. D. ve Grapp V. B., 1972. Use of ultrasound for the control of concrete production technology. Bauplanung–Bautechnik, 26(8): 378–380. (in German).
- Plooy, R.D., Lopes, S. P., Villain, G., Derobert, X., 2013. Development of A multi-Ring Resistivity Cell and Multi-Electrode Resistivity Probe for Investigation of Cover Concrete Condition, NDTandE International, 54, 27–36.
- Polder, R.B., Peelen, W.H.A., 2002. Characterisation of Chloride Transport and Reinforcement Corrosion in Concrete under Cyclic Wetting and Drying by Electrical Resistivity, Cement and Concrete Composites, 24, 427–435.
- Polder, R.B., 2009. Critical Chloride Content for Reinforced Concrete and its Relationship to Concrete Resistivity, Mater Corros, 60(8): 623–30.

- Postacıoğlu, B., 1981. *Cisimlerin İç Yapısının Muayenesi: Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri*, 1, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yayınevi, İstanbul.
- Rafiq, M.Y., Bugmann G., Easterbrook D.J., 2001. Neural network design for engineering applications. *Computers and Structures*, 79, 1541-52.
- Ramezaniyanpour, A.A., Pilvar, A., Mahdikhani, M., Moodi, F., 2011. Practical Evaluation Of Relationship between Concrete Resistivity, Water Penetration, Rapid Chloride Penetration and Compressive Strength, *Construction and Building Materials*, 25, 2472–2479.
- Reine, C., M., Baan, V.D., Clark, R., 2009, The Robustness of Seismic Attenuation Measurements Using Fixed- and Variable-Window Time-Frequency Transforms: *Geophysics*, 74, 123–135.
- RILEM Committee TC56, 1988, ‘Measurement of hardened concrete carbonation depth -CPC 18, *Materials and Structures*, 21(126): 453-455.
- Rogers, J.L., 1994. Simulating structural analysis with neural network. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 8(2): 252–65.
- Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J., 1986. Learning Representations by backpropagation errors, *Nature*, 323, 533-536.
- Qaswari, H.Y., 2000. Concrete Strength by Combined Nondestructive Methods Simply And Reliably Predicted, *Cement and Concrete Research*, 30,739-746.
- Sadowski, L., 2010. New Non-Destructive Method For Linear Polarisation Resistance Corrosion Rate Measurement, Wroclaw University of Technology, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(2).
- Saka, M., Schneider, E., Holder, P.A., 1989. A New Approach to Detect and Size Closed Cracks by Ultrasonic. *Research in Nondestructive Evaluation*, 1(2): 65-75.
- Sayers, C. M., Grenfell, R. L., 1993. Ultrasonic propagation through hydrating cements. *Ultrasonics*, 31(3): 147–153.
- Sbartai, Z.M., Laurens, S., Rhazi, J., Balayssac, J.P., Arliguie, G., 2007. Using Radar Direct Wave for Concrete Condition Assessment: Correlation with electrical resistivity, *Journal of Applied Geophysics*, 62, 361–374.
- Silva, P.C., Ferreira, R.M., Figueiras, H., 2011. Electrical Resistivity As a Means of Quality Control of Concrete, Influence of Test Procedure, 12 DBMC, Porto, Portugal.
- Simon, T.K., Vass, V., 2012. The Electrical Resistivity of Concrete, *Concrete Structures*.
- Soylev, T.A., François, R., 2003. Quality of Steel-Concrete Interface and Corrosion of Steel, *Cement and Concrete Research*, 33, 1407–1415.

- Subaşı, S., Çullu, M., Bolat, H., Emiroğlu, M., Erdal, M., 2010a. Uçucu Kül İkameli Betonların Mühendislik Özelliklerinin Tahribatsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi, e-Journal of New World Sciences Academy, Engineering Sciences, 5(3): 494-506.
- Subaşı, S., Şahin, İ., Çomak, B., 2010b. Beton Kabuğu Fiziksel Özelliklerinden Yararlanılarak Bulanık Mantık ile Basınç Dayanımının Belirlenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(1): 38-45.
- Swamy R. N. 1984. Aliamah Assessment of in Situ Concrete Strength by Various Non-Destructive Tests, Non Destructive Testing International, 17(3): 139-146.
- Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri. Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- Şengül, Ö., Tasdemir, M.A., Gjorv, O.E., 2007. Puzolanik Malzemelerin Betonun Mekanik Özellikleri ve Klor İyonu Yayınımına Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Dergisi, 6(1): 53-64.
- Şengül, O., Gjorv, O. E., 2008. Electrical Resistivity Measurements for Quality Control During Concrete Construction, ACI Materials Journal, 106(6).
- Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 16-154s.
- Taşdemir, M. A., 2002. Betonun Dayanım ve Dürabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi, İMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, Harbiye-İstanbul.
- Tekin, Ç., 2010. Deprem Güvenliğinde Temellerin Suya Karşı Yalıtımının Önemi, Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Scheriff, R.E., 1993. Applied Geophysics. Cambridge University Press, London, 225s.
- Terzi, S. ve Karaşahin, M., 2004. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Esnek Üstyapı Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 344- 357s, Ankara.
- Teshnehlab, M., Alilou, V.K., 2008. Concrete Strength Prediction Using Learning Machine and Neural Networks, In 2nd Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems. Tehran, Iran.
- Topçu, İ.B., Boğa, A.R., 2008. Betonarmede Donatı ve Beton Arasındaki Aderansa Korozyonun Etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Muh.Mim.Fak.Dergisi 21, 1.
- Trtnik, G., Kavcic, F., Türk, G., 2009. Prediction of Concrete Strength Using Ultrasonic Pulse Velocity and Artificial Neural Networks, Ultrasonics, 49, 53–60.

- TS EN 206-1, 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, T.S.E., Ankara.
- Tsoukalas L.H., Uhrig, R.E., 1997. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John WileyandSons Inc., 587s.
- Turgut, P., 2004. Research Into The Correlation Between Concrete Strength and UPV Values. NDT.net Article, 12.
- Türkoğlu, İ., 2010. Fırat Üniversitesi - Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü ders notu, Elazığ.
- Uyanık, O., 1991. Kaya Mekaniği ve Jeofizik Laboratuar Parametrelerinin İlişkilendirme Açısından Önemi, Dokuz Eylül Üniversitesi. Müh.-Mim. Fak. Jeofizik Müh. Böl., İzmir.
- Uyanık, O., 1999. Kayaçalarda Sismik Hızlar ve Kayma Direncinin İncelenmesi, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 63-70.
- Uyanık, O., Çatlıoğlu, B., 2010. Determination of Density from Seismic Velocities, The 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, 23 – 26 November, Ankara.
- Uyanık, O., 2012. Sismik Hızlardan Beton Dayanımının Belirlenmesi, Jeofizik Bülteni.
- Uyanık, O., Gülay, F.G., Tezcan, S., 2012. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, Hazır Beton, 436, 82-85.
- Uyanık, O., Şenli, G., Çatlıoğlu, B., 2013. Binaların Beton Kalitesinin Tahribatsız Jeofizik Yöntemlerle Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi 5(2): 156-165.
- Uyanık O., 2014. Klasik ve Jeofizik Yöntemlerle Yapı İncelemeleri (Yapı Jeofiziği). TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, JFMO Eğitim Yayınları No:19. ISBN:978-605-01-0643-5, 80s.
- Wang, C.K. ve Salmon. C.G., 1979. Reinforced Concrete Design, Harper and Row Publishers, USA.
- Whitehurst, E.A., 1951a. Use of The Soniscope for Measuring Setting Time of Concrete. ASTM Proceedings, 51, 1166–1183.
- Whitehurst, E.A., 1951b. Soniscope Test Concrete Structures, ACI Journal Proceedings, 47, 443-444.
- Yang, H., Lin, Y., Hsia, C., Liu, J.Y., 2009. Evaluating Residual Compressive Strength of Concrete at Elevated Temperatures Using Ultrasonic Pulse Velocity, Fire Safety Journal, 44, 121–130.

- Yeih, W., Huang, R., 1998. Detection Of The Corrosion Damage in Reinforced Concrete Members by Ultrasonic Testing Cement and Concrete Research, 28(7): 1071–1083.
- Yeih, W., Chang J.J., Tsai C.L., 2004. Enhancement of the Bond Strength of Epoxy Coated Steel by the Addition of Fly Ash, Cement and Concrete Composites, 26, 315–321.
- Yılmaz, O., 1987. Seismic Data Processing. Society of Exploration Geophysicists, Investigations in Geophysics Series, 2, 62-81.
- Yiğit, C.Ö., 2010. Yüksek Yapıların Farklı Sensörler ile Tam Ölçekli İzlenmesi ve Dinamik Parametrelerin Belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Konya.
- Yiğiter, H., 2008. Betonarme Donatısında Klorid Korozyonu Gelişiminin Elektrokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek lisans tezi.
- Yüzer N., Akbaş, B., Kızılkant A.B., 2007. Predicting The Compressive Strength Of Concrete Exposed to High Temperatures with A Neural Network Model. TCMB, 3rd.International Symposium, Sustainability in Cement and Concrete, 1, 455-464.
- Zhao, Y., Taylor, J.S., Chellam, S., 2005. Predicting RO/NF Water Quality by Modified Solution Diffusion Model and Artificial Neural Networks, Journal of Membrane Science, 263, 38–46.

İNTERNET SİTELERİ

- www.biyodoc.com, Biyolojik Sinir Hücresi ve Sinir Sisteminin Çalışma Prensipleri, Erişim tarihi: 11.05.2016.
- www.jeofizikmuhendisleri.com, P ve S Dalgalarının Yayılım Doğrultusu, Erişim tarihi: 11.05.2016.
- www.jeofizik.org.tr, Ultrasonik Ölçü Alım Tekniği, Erişim tarihi: 11.05.2016.
- www.itu.edu.tr, Elektrod Dizilimleri, Erişim tarihi: 11.05.2016.
- www.kod5.org, Çok tabakalı ileri beslemeli YSA modeli, Erişim tarihi: 11.05.2016.

EK

Jeofizik Mühendisliğinde Beton Sözlüğü

- ADERANS: Yapışma, bağlanma, bağ kuvveti
AGREGA: Kum, çakıl, kırmataş gibi yapı malzemelerinin adı
BETON: Kum, çakıl ya da kırmataş, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddeleri kullanılarak elde edilen yapı malzemesi
DOZ: Bir karışıma girmesi gereken miktar
DOZAJ: Ayarlama, düzenleme
DURABİLİTE: Kalıcılık, betonun servis ömrü boyunca fiziksel ve kimyasal etkilere karşı koyması, dayanıklılık.
ELASTİSE MODÜLÜ: Statik hesaplamada bir gerilimin, kısalma ya da eğilme miktarına bölünmesi ile bulunan değer
GRADASYON: Tane büyüklüğü dağılışı
GRONÜLOMETRİ: Kum, çakıl, kırmataş gibi yapı malzemelerinin elek analizleri sonucunda tane dağılımının belirlenmesi
HARÇ: Kargir duvarlar ile iç ve dış sıvaların yapımında kullanılan ve mineral esaslı bir bağlayıcı, harç kumu, su ve gerektiğinde ilave edilen katkı maddelerinin uygun oranlardaki karışımları ile oluşturulan bir yapı malzemesi
HİDRATASYON: Hidrolik bağlayıcı ile suyun arasındaki reaksiyon, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar
HİDRATASYON ISISI: Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan ısı
KAROT: Zemin, beton, asfalt gibi yapımlardan, özel aygıt (karotiyer) ile alınan silindirik örnek
KOROZYON: Kimyasal aşınma, paslanma
KÜR: Betonun priz süresi ve dayanım kazanması aşamasında su kaybı ve hava etkisinden korunması
LOS ANGELES AŞINMA DENEYİ: Agreganın aşınmaya dayanıklılığının belirlenmesinde kullanılan deney yöntemlerinden biri
MICIR: 4-32 mm dane çaplı kırmataş
NERVÜR: Diş, damar, kaburga
NERVÜRLÜ ÇELİK: Üzerinde çeşitli biçimde kabartıları olan betonarme çelik
PASPAYI: Demir donatı ile dış beton yüzeyi arasında kalan yer
POISSON ORANI: Beton numunelerine elastik bölgede basınç gerilmeleri uygulandığında deney numunelerinde meydana gelen enine birim uzamanın boyuna birim kısaltmaya mutlak değerce oranı
POROZİTE: Gözeneklilik, Bir boşluğun birim dolu hacmine oranı
PRİZ: Beton ve harçlarının katılaşmaya başlama süresi
RİJİT: Sert, katı, eğilmez, bükülmez. Oynak ya da esnek olmayan
RÖTRE: Büzülme
SEGREGASYON: Ayrışma
SLUMP: Çökme, betonun (kıvamının) ölçülebilen oturması
STATİK: Durgun, dingin, herhangi hareketi olmayan, Dengeli
SÜNME: Gevşeme, Bazı durumlarda malzeme, üzerindeki yük sabit olduğu halde şekil değiştirmeye devam eder. Zamanla oluşan bu şekil değişimine denir.
UNİFORM: Tek biçim homojen eş dağılmış
VİBRASYON: Titreşim
YOĞUNLUK: Bir malzemenin ağırlığının hacmine bölünmesiyle elde edilen değer

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nevbahar SABBAĞ
Doğum Yeri ve Yılı : Cizre, 1981
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : nevbaharsabbag@sdu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Ankara Kanuni Lisesi
Lisans : Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim

Araştırma görevlisi SDÜ Mühendislik Fakültesi 2011-... (halen)

Yayımları

Uluslararası Hakemli dergide yayımlanan makale

1. Sabbağ, N. and Uyanık, O., 2015. Time-Dependent Change of Seismic Velocities on Low-Strength Concrete, The Online Journal of Science and Technology, St. Petersburg/ Rusya (in-press).

Ulusal toplantıda sunulacak tam metin olarak yayımlanan bildiri

1. Sabbağ, N. ve Candansayar, M.E. 2012. Atatürk Barajının Tuzlanması ile Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemlerle Araştırılması. 4. Yer Elektrik Çalıştayı, Çeşme /İzmir, 142-147.
2. Uyanık, O., Sabbağ, N., Çatlıoğlu, B., Uyanık, N.A., Öncü, Z., 2012. Sismik Ultrasonik Hızlardan Kayaçların Kırıklılık ve Fissür İndekslerinin Belirlenmesi, 1. Yerbilimleri Sempozyumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta/Türkiye.
3. Uyanık, O., Çatlıoğlu, B., Sabbağ, N., Öncü, Z., Uyanık, N.A., 2012. Kayaçların Fiziksel Özellikleri ile Sismik Ultrasonik Hızlar Arasındaki İlişkilendirmeler, 1. Yerbilimleri Sempozyumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta/Türkiye.
4. Uyanık, O. Çatlıoğlu, B., Uyanık, N.A., Öncü, Z., Sabbağ, N., 2012. Kentsel Dönüşüm Projelerinde Betonarme Yapıların Beton Kalitesinin Sismik Ultrasonik Hızlardan Belirlenmesi, 1. Yerbilimleri Sempozyumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta/Türkiye.

Ulusal toplantıda sunulacak özet metin olarak yayımlanan bildiri

1. Sabbağ, N. ve Uyanık, O., 2015. Donatının Beton Dayanımına Etkisinin Sismik Hızlarla İncelenmesi, GYK Genç Yerbilimleri Kongresi, İzmir.

2. Uyanık, O., Ekinci, B., Sabbağ, N. ve Öncü, Z., 2015. P ve S Dalga Hızları Kullanılarak Beton Dayanımının Belirlenmesi, GYK Genç Yerbilimleri Kongresi, İzmir.

Uluslararası toplantıda sunularak tam metin olarak yayımlanan bildiri

2. Sabbağ, N. ve Uyanık, O., 2015. Time-Dependent Change Of Seismic Velocities on Low-Strength Concrete, International Science Technology Conference, St. Petersburg/ Rusya.
3. Uyanık, O. ve Sabbağ, N., 2013. Determination of Landslide Geometry by Geophysical Methods, 4th International Geosciences Student Conference, Paper ID: 1587, Berlin/Almanya.
4. Sabbağ, N. ve Uyanık, O., 2013. Multi Parameter Relationship between Number of Schmidt Rebound and Seismic Ultrasonic Velocities of Limestones, The 20th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, Antalya.

Uluslararası toplantıda sunularak özet metin olarak yayımlanan bildiri

1. Sabbağ, N. ve Uyanık, O., 2016. Change of Electrical Resistivity Depending on Water Saturation of The Concrete Samples, EGU-2016, Viyana/Avusturya.
2. Uyanık, O. ve Sabbağ, N. 2016. Comparison of Static and Dynamic Elastic Modules of Different Strength Concretes, EGU-2016, Viyana/Avusturya.
3. Sabbağ, N. ve Uyanık, O., 2015. Investigation of Reinforcement Corrosion Effect on Concrete Strength by Seismic Velocities, ICENS2015, Makedonya.
4. Uyanık, O., Sabbağ, N. ve Öziçer, S., 2015. Comparison of Laboratory and In-Situ Concrete Strength Results, ICENS2015, Makedonya.
5. Uyanık, O., Sabbağ, N., Ekinci, B., Öncü, Z., 2015. The Importance of Using Seismic Ultrasonic Velocities together in Determining of Concrete Strength, ICENS2015, Makedonya.
6. Uyanık, O., Öziçer, S., Timur, E., Sabbağ, N., 2015. Investigation of Building Foundation Type by Microtremor Method, ICENS2015, Makedonya.
7. Sabbağ N., Ekinci, B., Uyanık O., Öncü Z., Akdemir S., Türker E., 2014. Developing Strength Chart of Saturated Concrete by Using Seismic P and S-Wave Velocities In Laboratory, AGU Fall Meeting San Francisco/USA.
8. Ekinci B., Sabbağ N., Uyanık O., Kök, M.N., 2014. Seismic Velocities for Quality Control of Compacted Soil at Embankment Dam: A Case Study- Serik Akbas Dam (Antalya). AGU Fall Meeting San Francisco/USA.
9. Uyanık O., Öziçer S., Sabbağ N., 2014. Determination Strength of Concrete in-Situ by Seismic Ultrasonic Method in Detecting Risky Structure, AGU Fall Meeting San Francisco/USA.
10. Sabbağ, N., Uyanık, O., 2016. Determination of concrete strength by electrical and seismic methods, International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016), 24-28 Mayıs, Saraybosna/Bosnahersek.
11. Sabbağ, N., Uyanık, O., 2016. Relationship between change of water content and electrical resistivity method in the concrete, International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016), 24-28 Mayıs, Saraybosna/Bosnahersek.

12. Uyanık, O., Sabbağ, N., 2016. Determination of concrete properties by seismic velocities, International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016), 24-28 Mayıs, Saraybosna/Bosnahersek.
13. Uyanık, O., Sabbağ, N., 2016. Investigation of concrete strength by signal analysis of seismic velocities, International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2016), 24-28 Mayıs, Saraybosna/Bosnahersek.

