BAZI MERMERLERİN ORTALAMA
TANECİK BOYUTLARININ
ULTRASONİK METOTLARLA BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice TOPRAK

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. İsmail H. SARPÜN

FİZİK ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2009

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI MERMERLERİN ORTALAMA TANECİK BOYUTLARININ ULTRASONİK METOTLARLA BELİRLENMESİ

Hatice TOPRAK

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. İsmail H. SARPÜN

FİZİK ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2009

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. İsmail H. SARPÜN'nün danışmanlığında, Hatice TOPRAK tarafından hazırlanan "**BAZI MERMERLERİN ORTALAMA TANECİK BOYUTLARININ ULTRASONİK METOTLARLA BELİRLENMESİ**" başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca

13/06/2009

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

FİZİK Anabilim Dalında

Yüksek lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan Prof. Dr. Gediz ALDENİZ	
Üye Yrd. Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL	
Üye Yrd. Doç. Dr. İsmail H. SARPÜN	

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zehra BOZKURT

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER ..... **I**

ÖZET ..... **III**

ABSTRACT ..... **IV**

TEŞEKKÜR ..... **V**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **VI**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **VII**

RESİMLER DİZİNİ ..... **X**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **XI**

1. GİRİŞ **1**

2. ULTRASESİN TANIMI VE TARİHÇESİ **2**

2.1. Ultrases ile Tanecik Boyutu Ölçüm Metotları ve Tarihçesi **4**

2.2. Ultrasesin Oluşturulması **6**

2.2.1. Kuartz Transducer 6

2.2.2. Manyetostriksiyon Transducer 7

2.2.3. Elektrositriksiyon Transducer 8

2.3. Ultrases Dalga Çeşitleri **8**

2.3.1. Boyuna Ultrases Dalgaları 8

2.3.2. Enine Ultrases Dalgaları 9

2.3.3. Yüzeysel Ultrases Dalgaları 10

2.4. Ultrases Dalgalarının Ortamın Arakesitinde Hareketi **10**

2.5. Ultrases Dalgalarının Yutulması (Attenuation) **13**

2.6. Ultrases Ölçüm Yöntemleri **14**

2.6.1. Yansıma Yöntemi (Pulse-Echo Process) 15

2.6.2. Geçiş Yöntemi (Through Transmission) 16

2.6.3. Daldırma Yöntemi (Immersion) 17

2.7. Tanecik Boyutu Belirleme Yöntemleri **17**

2.7.1. Hız Ölçüm Metodu 18

2.7.2. Yutulma Ölçüm Metodu 18

2.7.3. İlk Arka Cidar Yansıması Pik Yüksekliği Ölçüm Metodu 19

2.7.4. Geri Saçılma Ölçüm Metodu 19

2.7.5. Grafik Metodu 20

2.8. Transducer'ların Bağlantı Şekli **20**

3. MERMERLERİN TANIMI VE TARİHÇESİ **21**

3.1. Mermerlerin Genel Özellikleri **22**

3.1.1. Magmatik Kayaçlar 22
3.1.2. Metamorfik Kayaçlar 23
3.1.3. Sedimanter Kayaçlar 24

4. MATERYAL VE METOD 26
4.1. Numuneler ve Özellikleri 26
4.1.1. Sedimanter Mermer Numuneleri 27
4.1.2. Metamorfik Mermer Numuneleri 29
4.1.3. Traverten Numuneleri 30
4.2. Deney Sistemleri ve Kullanım Şekli 31
4.2.1. Ultrases Dalgası Hızı ve Yutulma Ölçümü Deney Sistemi 32
4.2.2. Tanecik Boyutu Ölçümü Deney Sistemi 32

5. DENEYSEL ÖLÇÜMLERDEN ELDE EDİLEN VERİLER 34
5.1. Hız Ölçümleri 34
5.2. Yutulma Ölçümleri 35
5.3. Polarize Mikroskop Görüntüleri ve Sonuçları 36

6. SONUÇLAR 41
6.1. UV Metodu 41
6.1.1. Sedimanter 42
6.1.2. Metamorfik 44
6.1.3. Traverten 46
6.2. UA Metodu 48
6.2.1. Sedimanter 48
6.2.2. Metamorfik 50
6.2.3. Traverten 53
6.3. URA Metodu 55
6.3.1. Sedimanter 55
6.3.2. Metamorfik 58
6.3.3. Traverten 60
6.4. Mermer Değerlendirmeleri 62
6.4.1. Hız Metodu 62
6.4.2. Yutulma Metodu 64
6.4.3. URA Metodu 67
6.5. Yorum 70

7. KAYNAKLAR XIII

ÖZGEÇMİŞ XVII

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
Bazı Mermerlerin Ortalama Tanecik Boyutlarının
Ultrasonik Metotlarla Belirlenmesi
Hatice TOPRAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN

Bu çalışmada oluşum şekillerine göre ayrılmış üç farklı gruptaki 20 adet mermer numunesinin, ultrases ölçüm yöntemleriyle birlikte tanecik boyutlarının üç farklı yöntemle ilişkilendirilmesi mevcuttur.

Mermer numunelerinin ilk olarak ultrases dalga hızları, ultrases yutulma katsayıları ve ilk arka cidar pik yükseklikleri elde edilmiştir. Ultrases dalga hızının belirlenmesi için, transducer vasıtasıyla numune içerisine gönderilen ultrases dalgalarının ilerleme hızları ölçülmüştür. Daha sonra belirlenen bir referans numunesi üzerinden belirli bir kalibrasyon ayarında tutulan ultrases cihazında, ekranda gözlemlenen ilk iki arka cidar yansıma pik yüksekliği ölçülerek yutulma katsayıları belirlenmiştir. Ultrases hızı ve yutulma değerleri *2 MHz*'lik ve *4 MHz*'lik proplar kullanılarak ölçülmüş ve tanecik boyutları ile aralarındaki ilişki incelenmiştir.

Polarize mikroskop ile belirlenmiş ortalama tanecik boyutları üç farklı grup içinde değerlendirme altına alındığında doğrusal bir ilişkiye rastlanmıştır.

88 sayfa, 2009

Anahtar kelimeler: Ultrases Hızı, Yutulma, Tanecik Boyutu, Mermerler.

ABSTRACT

M. Sc.

The average size grain of some marbles by determining with ultrasonic methods

Hatice TOPRAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Physics Department

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN

In this thesis, twenty marble samples in three groups which are separated according to formation are related to evaluation of grain size with three ultrasonic methods.

The ultrasonic wave velocities of the marble samples, the coefficients of ultrasonic attenuation and the ratio of screen heights of successive peaks according to ultrasonic relative attenuation have been evaluated. Additionally, progressing velocity of ultrasound waves has been measured which has been sent to inside of samples by transducer for determining of the ultrasound velocity. After that, it comes out as known reference samples that the coefficients of attenuation have been calculated by using heights of successive peak on the screen; in addition to these, ultrasound velocity and attenuation values have been measured and searched about relation with grain size by using *2MHz* and *4MHz* probed.

It has been found that there is a linear relation when they have been evaluated in three different groups which have been notified between average grain size by a polarize microscope.

88 pages, 2009

Key Words: Ultrasound Wave Velocity, Attenuation, Grain Size, Marbles.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma esnasında, tüm bilgilerini, deneyimlerini ve desteğini esirgemeyen, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. İsmail Hakkı SARPÜN'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Numunelerin hazırlanmasında ve değerlendirilmesinde yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILDIZ'a ve Arş. Gör. İbrahim DUMLUPINAR'a, jüri üyeleri Prof. Dr. K.Gediz AKDENİZ'e ve Yrd. Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL'a ayrıca öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca her konuda bana tam destek veren ve öğrenim hayatım süresince büyük fedakârlıklar göstererek benim iyi bir geleceğe sahip olmam için çaba sarf eden babam Vahap Yaşar TOPRAK'a ve annem Behiye TOPRAK'a sonsuz teşekkürler.

Hatice TOPRAK

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

λ	Ultrases dalgasının dalga boyu
v	Ultrases dalgasının ortam içerisinde yayılma hızı
f	Frekans
A	Ultrases dalgasının genliği
α	Yutulma (attenuation) değeri
ρ	Ortamın yoğunluğu
$\overline{D}$	Ortalama tanecik boyutu
Z	Akustik empedans
T	Transmitter - Alıcı
R	Receiver - Verici
SiO_2	Silisyum Oksit
Ca	Kalsiyum
CO_3	Karbonat

2. Kısaltmalar

NDT	Tahribatsız Nicel Muayene (Nondestructive Testing)
NDE	Tahribatsız Nikel Muayene (Nondestructive Evaluation)
UA	Yutulma ölçüm (Ultrasonic Attenuation) metodu
UB	Geri-saçılma ölçüm (Ultrasonic Back-Scattering) metodu
URA	İlk arka cidar yansıması pik yüksekliği ölçüm (Ultrasonic Relative Attenuation) metodu
$İMİB$	İstanbul Maden İhracatçılar Birliği
$TMMOB$	Türkiye Maden Mühendisleri Odası Birliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kuartz kristali ile kristalin kristalografik eksenleri X,Y ve Z. **6**
Şekil 2.2. Piezoelektrik etkinin işleyişi. **7**
Şekil 2.3. Ortam içinde oluşan boyuna dalgaların şematik gösterimi. **9**
Şekil 2.4. Ortam içinde oluşan enine dalgaların şematik gösterimi. **10**
Şekil 2.5. Ortam içinde oluşan yüzeysel dalgaların şematik gösterimi. **10**
Şekil 2.6. Ortamın arakesitine dik olarak gönderilen ultrases dalgası. **11**
Şekil 2.7. Ortamın arakesitine farklı açılarda gönderilen ultrases dalgası. **11**
Şekil 2.8. Ultrases dalgasının ortamların ara yüzeyinde yansıması. **12**
Şekil 2.9. Ultrases dalgasının ortamların ara yüzeyinde kırılması. **13**
Şekil 2.10. Ultrases dalgalarının ortam içerisinde yutulmasının şematik ifadesi. **14**
Şekil 2.11. Transducer'ın numuneye temas ettirilme yöntemi ve numuneye gönderilen ilk ultrases dalgasının şematik gösterimi. **15**
Şekil 2.12. Numuneye gönderilen ultrases dalgasının süreksizlikteki yansımasının şematik gösterimi ve osiloskop ekranında gözlenen ilk iki pik. **15**
Şekil 2.13. Numuneye gönderilen ultrases dalgasının arka cidardan yansımasının şematik gösterimi ve osiloskop ekranı üzerinde gözlenen ilk iki pik. **16**
Şekil 2.14. Geçiş yönteminde transducer'ın numuneye bağlanışı. **16**
Şekil 2.15. Daldırma yönteminin şematik gösterimi. **17**
Şekil 2.16. Transducer'ların numune ile temas ettirmesinde kuplaj malzemesinin uygulanma şekli. **20**
Şekil 6.1. Sedimanter mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği. **42**
Şekil 6.2. Sedimanter mermer numuneleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **43**
Şekil 6.3. Metamorfik mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği. **44**
Şekil 6.4. Metamorfik mermer numuneleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **45**
Şekil 6.5. Traverten numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği. **46**

Şekil 6.6. Traverten numuneleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **47**
Şekil 6.7. Sedimanter mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği. **48**
Şekil 6.8. Sedimanter mermer numunelerinde, hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **50**
Şekil 6.9. Metamorfik mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği. **51**
Şekil 6.10. Metamorfik mermer numunelerinde hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **52**
Şekil 6.11. Traverten numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği. **53**
Şekil 6.12. Traverten numunelerinde hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **54**
Şekil 6.13. Sedimanter mermer numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik. **56**
Şekil 6.14. Sedimanter mermer numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **57**
Şekil 6. 15. Metamorfik mermer numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik. **58**
Şekil 6.16. Metamorfik mermer numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **59**
Şekil 6.17. Traverten numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik. **60**
Şekil 6.18. Traverten numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **61**
Şekil 6.19. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği. **62**
Şekil 6.20. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için; ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **64**
Şekil 6.21. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği. **65**

Şekil 6.22. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için; hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **67**

Şekil 6.23. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik. **68**

Şekil 6.24. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği. **70**

RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1. Numunelerin numune sayısına göre şehirlere dağılımı. **26**
Resim 4.2. Sedimanter mermer numunelerine ait görüntüler **28**
Resim 4.3. Metamorfik mermer numunelerine ait görüntüler **30**
Resim 4.4. Traverten numunelerine ait görüntüler **31**
Resim 4.5. Sonatest $\mathbf{150^s}$ ultrases cihazı. **32**
Resim 4.6. LV100 50i POL polarize mikroskop sistemi. **33**
Resim 5.1. Sedimanter mermer numunelerinin polarize mikroskop görüntüleri **37**
Resim 5.2. Metamorfik mermer numunelerinin polarize mikroskop görüntüleri **39**
Resim 5.3. Traverten numunelerinin ait polarize mikroskop görüntüleri **40**

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ultrasonik yöntemler, ultrasonik NDE ve dalga-materyal etkileşimi üzerinden kapsanan temel konular. 3
Çizelge 2.2. Ultrasesin gelişim süreci ve yaygınlaşma şekli. 4
Çizelge 6.1. Sedimanter mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrases dalga hızı hesaplanan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 43
Çizelge 6.2. Metamorfik mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrases dalga hızı, hesaplanan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 45
Çizelge 6.3. Traverten numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrases dalga hızı, hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 47
Çizelge 6.4. Sedimanter mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrasonik yutulma katsayısı, hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 49
Çizelge 6.5. Metamorfik mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrasonik yutulma katsayısı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 52
Çizelge 6.6. Traverten numunelerinde, *f=4 MHz* için ölçülmüş olan ultrases yutulma katsayıları, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve standart sapma değeri. 54
Çizelge 6.7. Sedimanter mermer örnekleri için ilk iki ardışık ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 57
Çizelge 6.8. Metamorfik mermer örnekleri için ilk iki ardışık ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 59
Çizelge 6.9. Traverten örnekleri için ilk iki ardışık ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 61

Çizelge 6.10. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 63
Çizelge 6.11. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 66
Çizelge 6.12. Sedimanter ve Metamorfik mermer örnekleri için 4 MHz'te ölçülen ilk iki ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark. 69
Çizelge 6.13. Ultrasonik ölçüm metotları uygulanarak elde edilen değerlerin tümü. 71

1. GİRİŞ

Doğal taşların kullanımı, insanlık tarihi ile birlikte başlamıştır. İnsanoğlu kayacı başlangıçta beslenme – savunma amaçlı av silahlarının yapımında, daha sonra ise konut olarak barınma amaçlı kullanmıştır. Bu nedenle insanların yer altı mağaraları/şehirleri kurması söz konusu olmuş ve genel olarak kayaçların kazılabilir olmasından faydalanarak bu yerleşim alanlarını yapmışlardır. Bu şekilde belirlenen yeni oluşumlar sonrasında farklı nedenlerle doğal taşlar her alana yayılmıştır. Böylece taş mezarlar, kale surları, tapınaklar, açık tiyatro alanları, pazar yerleri, su kemerleri, köprüler, döşeme taş yollar, caddeler, lahitler oluşturulmuş ve daha sonrasında birçok yerin süslemesinde de doğal taşlar yerini almıştır [TMMOB, 2007].

İnsanlık tarihince birçok alanda yer alan doğal taşlar günümüzde süsleme, eşya, sarf malzeme olarak yine birçok alanda kullanılmaktadır. Bu tür malzemelerin yer aldığı tüm alanlarda fiziksel özelliklerin belirlenmesi için tahribatlı veya tahribatsız ölçümler gerekmektedir. Fiziksel özelliklerin ölçümünde malzemeye zarar vermeksizin ölçüm almak en önemli olaydır. Bunun için kullanılan ve sektörde yer alan çeşitli ölçüm yöntemlerinden biri ultrases ölçüm yöntemidir. Numune içerisine gönderilen ultrases dalgaları genel olarak, kullanılan ultrases dalgasının frekansına ve numunenin tanecik boyutlarına bağlı olarak, numune içerisindeki tanecikler ile etkileşime girdiğinden numunenin içyapısı hakkında birçok fiziksel özellik hakkında bilgi elde edilebilir.

Bu tezin ikinci bölümünde, ultrasesin tanımı ve tarihçesi, ultrases oluşturması, ultrasesin numune içerisinde hareketleri, ultrases ölçüm yöntemleri, ultrasesin kullanım alanları açıklanmıştır. Üçüncü bölümünde ise genel olarak mermerlerin tanımı ve tarihçesi, mermerlerin sınıflandırılması verilmiştir. Dördüncü bölümde, deneyler süresince kullanılan numuneler ve deney aletleri tanıtılmış olup, beşinci bölümde de deneysel ölçümlerin sonrasında elde edilen tüm veriler yer almaktadır. Tezimizin altıncı bölümünde sonuçlara yer verilmiş ve karşılaştırmalar yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. ULTRASESİN TANIMI VE TARİHÇESİ

Bir malzemenin geometrik boyutları, içyapısı veya imalat ve yapı hataları hakkında bilgi edinmek amacı ile fiziksel ve kimyasal özelliklerine zarar verebilecek herhangi bir hasara uğratmadan kalite kontrolünün yapılmasına tahribatsız muayene (NDT, non-destructive testing) denilmektedir. Tahribatsız muayenenin birçok farklı yöntemi malzemenin imalatı, bakımı, onarımı veya kontrolü gibi çeşitli aşamalarda kullanılmakta ve ürün geliştirme prosesinde yer almaktadır. Bu yöntemlerden biri olan ultrasonik muayenede, kullanılan ultrases dalgası bir ses dalgası olup frekansı insan kulağının duyma sınırının üstündedir. İnsan kulağı 16 Hz ile 20000 Hz frekans bölgesindeki sesleri duyabilir. Bu sınırın üstündeki seslere ultrases, altındaki seslere de infrases denilmektedir. Ultrases dalgalarını elde etmek için elektriksel titreşimleri mekanik titreşimlere dönüştüren (tersi durum da geçerli) transducer kullanılır. Transducer'lar hem verici (T, transmitter) hem de alıcı (R, receiver) olarak kullanılabildiği gibi her iki işlevi aynı anda gören T/R transducer'lar da mevcuttur.

Ultrases ile yapılan tahribatsız muayene, mekaniksel özellikleri tayin etmek için de geçerli olup çoğu analitik ve deneysel çalışmalarda ultrases kullanarak elde edilen bilgilerinden mikro yapının hangi özelliklerinin ve bu özelliklerinin nasıl elde edileceği konusunda gerçekleştirilmektedir (Sarpün 2004). Bunun başlıca nedenleri ultrases dalgasının;

- Yoğunluğu farklı ortamda farklı hızlarda yayılması,
- Dış yüzeylerden havaya sızma olasılığının az olması,
- Farklı boyutlardaki hataları göstermesi,
- Çeşitli fiziksel ve mekaniksel özelliklerin elde edilmesinde kullanılmasıdır.

Ultrases muayene yöntemlerinde iki geniş uygulama alanı mevcut olup düşük ve yüksek şiddetli uygulamalar olarak adlandırılırlar. Düşük şiddetli uygulamalar, 10^6 Hz veya daha yüksek frekansta gerçekleştirilir ve güç seviyesi miliwatt düzeyindedir. Yüksek şiddetli uygulamalar 5'ten 100 KHz'e kadar değişen frekanslarda gerçekleştirilirken güç seviyesi 100 watt'tan 1000 watt'a kadar değişmektedir. Mühendislik dallarında özellikle uzay mühendisliğinde kullanılan ultrasonik materyal karakterizasyonu ultrases

uygulamalarının en önemlisi olup, dalga hızına ve yutulmaya bağlı ölçümlerle değerlendirilmektedir. Genel olarak ortamdaki makroskopik düzensizliklerin tespiti için ultrasonik tahribatsız nicel muayene (NDT, non-destructive testing) ve elastik ortamlara dair yaklaşımlarda ise tahribatsız nitel değerlendirme (NDE, nondestructive evaluation) kullanılmaktadır (Nagy 2001). Ultrasonik yöntemler ve NDE içinde kapsanan temel konular Çizelge 2.1'de listelenmiştir.

Çizelge 2.1. Ultrasonik yöntemler, ultrasonik NDE ve dalga-materyal etkileşimi üzerinden kapsanan temel konular (Nagy 2001).

Ultrasonik Yöntemler (Elastik ortamda yüksek frekanslı dalga yayılımı)	**Ultrasonik NDE** (Yayılım ortamı kusurludur, mesela gerçek bir materyal)	**Dalga-Materyal Etkileşimi** (Kusurlarla etkileşimden dolayı özel fiziksel üstünlük)
izotropik	anizotropik doku kolumnar tanecikler ilk ostenit tanecikler kompozitler	anizotropi (oryentasyon) çift kırılım (polarizasyon) yarı modlar (3 dalga) faz ve grup yönelimleri rezidsel gerilim etkisi
homojen	homojen olmayan polikristalli iki fazlı gözenekli kompozit	koherant olmayan saçılma attenuation dispersiyon (zayıf)
lineer	lineer olmayan saf (plastikler) zarar (yorulma)	harmonik üretim akusto-elastisite çatlak-kapatma
serbest yutulma	azaltım hava, su, yapışkan bağlantılar polimerler kaba tanecikler porozite	absorpsiyon viskozite, relaksasyon ısı iletimi saçılma elastik homojensizlik geometriksel düzensizlik
serbest dispersiyon	dağıtıcı saf (polimerler) geometriksel (dalga kılavuzları)	relaksasyon rezonans dalga ve grup hızı puls distirsiyonu
sıcaklıktan bağımsız	sıcaklığa bağlı lineersizlik rezidsel gerilim (kompozitler) faz dönüşümü (metaller) nem içeriği (polimerler)	hız değişimi termal genleşme
bozukluklar yok	bozukluklar çatlaklar, boşluklar kötü bağlanmalar, tabakalar	yansıma, kırılma attenuation, hız değişimi saçılma, lineersizlik
ideal sınırlar düz, pürüzsüz sertçe bağlı ara yüzey	kusurlu sınırlar eğri, pürüzlü kayma, hafif temas, kısmi, interfaz	çevrim modu kırılma, kırınım saçılma
kolumnar dalga tipleri düzlem dalgası küresel dalgalar harmonik	kompleks dalga tipleri genlik faz impuls	demet yayımı saçılma kaybı kenar dalgaları spektral bozulma

Ultrases akustik bir yapıya sahiptir ve özellikle erken yıllarda keşfedilmesinin nedeni akustik özelliklerin geniş ölçüde gelişme kaydetmesidir. 19. Yüzyıla kadar icat edilmemiş olan yüksek frekanslı dalgaların keşfi gerçekleşirken 6. Yüzyılda Ptyhagoras bazı tahminlerde bulunarak klasik akustik özelliklerin tarihini oluşturmuştur. Denizaltılarının keşfi için kuartz resonatörleri ve yüksek frekanslı akustik dalgaları kullanan Langevin ile yaklaşık 1917'de ultrases kullanılmaya başlanmıştır. O zamandan bu yana fizikte, sanayide, tıpta ve diğer alanlarda bulunan uygulamalar ile çok gelişmiştir. Ultrases tespitlerdeki esas gelişmelerin bazı tanımlı tarihleri Çizelge 2.2'de verilmiştir:

Çizelge 2.2. Ultrasesin gelişim süreci ve yaygınlaşma şekli (Nagy 2001).

Tarih	Süreç
1820	Wollaston, işitilebilir seviyede pikleri gözlemledi.
1830	Savart, çok yüksek frekansları oluşturmak için geniş dişli çarklar geliştirdi.
1842	Jolue tarafından manyetostriktif etkileri keşfedildi.
1860	Tyndall, yüksek frekanslı dalgaların keşfi için sensitif alev geliştirdi.
1866	Kundt, ses hızını ölçmek için bir tüp içerisindeki toz şekillerini kullandı.
1868	Kirchhoff, yutulma üzerinden ısı iletiminin etkisini inceledi.
1877	Rayleigh'in "Ses Teorisi" modern akustikler için altyapı oluşturdu.
1880	Curie kardeşler piezoelektrik etkiyi keşfetti.
1890	Koenig, işitilebilir seviyeler üzerinde çalıştı ve 90.000 Hz üzerinde titreşimler üretti.
1903	Lebedev, dalgaların soğrulmasını çalışmak için eksiksiz bir ultrases sistem geliştirdi.
1915	Langevin, modern ultrases fiziğini başlattı.
1922	Hartmann, hava-jet ultrases jeneratörü geliştirdi.
1928	Pierce, manyetostriktif dönüştürücü (transducer) geliştirdi.
1929	Sokolov, çatlak tespiti için ultrases kullanımını önerdi.
1930	Debye ve Sears ve Lucas ve Biquard, ultrases vasıtasıyla ışığın kırınımını keşfetti.
1937	Sokolov, bir ultrases görüntüleme tüpü icat etti.
1937	Dussik kardeşler, ultrases ile medikal görüntülemede ilk çalışmayı yaptılar.
1938	Pierce ve Graffin, yarasaların ultrases çığlıklarını tespit ettiler.
1939	Pohlman, ultraseslerin tedavi ediciliğini inceledi.
1940	Firestone, ultrases puls-eko NDT'yi keşfetti.
1945	Piezoelektrik seramik keşfedildi.
1948	Ultrases işlem gücünün keşfi yaygınlaşmaya başladı.

2.1. Ultrases ile Tanecik Boyutu Ölçüm Metotları ve Tarihçesi

Ultrases ile tanecik boyutunun belirlenebilmesi için çok farklı yöntemler uygulanabilmekte ve bunun ilk örneği ultrasesin keşfedilmesiyle birlikte 1950 yılının öncesinde mevcuttur. Ancak 1950 yılından önce sadece bazı ölçümlerin yapılabilmesi

mümkün olmaktaydı. Roney (1950), farklı tanecik boyutlarının ultrases dalgasının yutulma olayındaki etkisini geniş şekilde ifade etmiştir ve sonrasında Saniie ve Bilgutay (1986) tanecik boyutunu belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu teoriler ultrases dalgasının madde içinde tüm tanecikler ile etkileştiği kabul edilerek (çoklu saçılma bölgesinde) geliştirilmiştir. Sonrasında, ultrases hız ve tane boyutu ilişkisi Hirsekorn tarafından açıklanmıştır (Hirsekorn 1982, 1983).

Ultrases dalgasının madde içinde sadece bir tanecikle etkileştiği kabul edilerek oluşturulan teoriler; odaklanabilen transducer'lar, zayıf saçıcılar olarak kabul edilen ultrases saçılma katsayısı düşük maddeler söz konusu olduğunda kullanılabilir. Bağımsız saçıcı yaklaşımını kullanan bu tekli saçılma teorilerinde Margetan (1991) ve Rose (1992), gelen ultrases dalgasının ortamdan çıkmadan ortalama olarak bir tek saçıcı ile etkileştiğini kabul etmişlerdir. Tekli saçılma teorileri, tanecik boyutu, ısıl iyileştirme, tanecik yapısı ve taneciklerin gürültü-güç spektrumu hakkında hem nicel hem de nitel olarak bilgi elde etmekte başarılı olmuşlardır (Margaten et al. 1992a-b, Russell 1994b). Bunun üzerine, Thorsos (1988) ve Wirgin (1989) tarafından açıklanan Kirchhoff yaklaşım teorisi kullanılarak sert-katı yüzeylerden saçılan ultrases dalgalarının birinci ve ikinci mertebeden simülasyonu Embrechts (2000) tarafından yapılmıştır.

Trétout (1998), 1993 - 1997 yılları arasında malzeme karakterizasyonunda uygulanan çeşitli ultrases tekniklerini açıklayan çalışmaları derlemiştir ve bu çalışmalar laser ultrases, akusto-ultrases, akustik holografi, akustik mikroskopi teknikleri üzerinedir. Ayrıca bu tekniklerle uzay araçlarının malzeme yapılarına uygulaması da Trétout tarafından yapılmıştır.

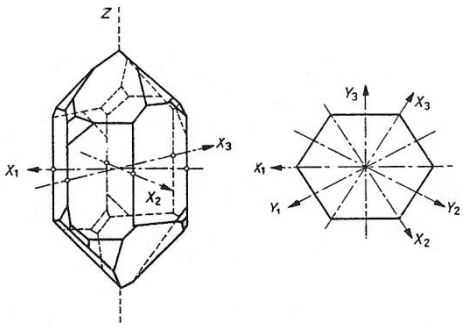
Sonuç olarak, katı numunelerde tanecik boyutunun ultrases ile belirlenmesi değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu yöntemler genellikle numunenin içyapısının özelliklerine bağlı olan numune içindeki ultrases dalgasının hızı, yutulma değeri ve geri yansıma miktarı gibi parametrelerin belirlenmesi ile yapılmaktadır (Sarpün 2004).

2.2. Ultrasesin Oluşturulması

Ultrases dalgalarının oluşturulabilmesi için yüksek frekansta titreşim enerjisi üretmek gerekmektedir. Bu amaç için kullanılan transducer'lar yapı bakımından farklılıklar sergilemektedir. Transducer'larda elektriksel enerjinin mekaniksel titreşim enerjisine dönüşümü (verici, T transducer) veya aynı şekilde mekaniksel enerjinin elektriksel enerjiye çevrilmesi (alıcı, R transducer) söz konusu olmaktadır. Aynı zamanda hem mekaniksel enerjiyi elektriksel enerjiye hem de elektriksel enerjiyi mekaniksel enerjiye tek transducer vasıtasıyla çevirebilen (T/R) transducer'larda vardır. Ultrases test yöntemlerinde kullanılan yapıldığı malzemeye göre üç tip transducer mevcuttur.

2.2.1. Kuartz Transducer

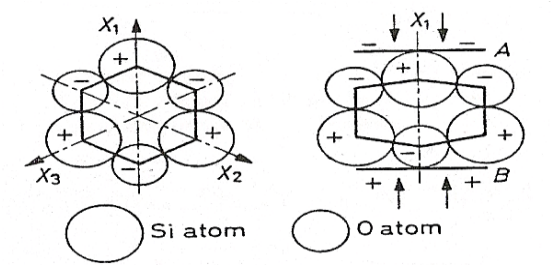
Bazı anizotrop cisimlerin mekaniksel olarak sıkıştırılması veya çekilmesi söz konusu olduğunda yüzeylerinde elektrik yükleri gözlemlenmeye başlanır. Bu olaya piezoelektrik olay denilmektedir. Kuartz kristaller, mekaniksel bir gerilime tabi tutulduğunda kristal yüzeyi üzerinde elektrik yükleri görünür ve dolayısıyla piezoelektrik etki gösterirler. Mekaniksel germe gözlemlenen kristale karşı bir voltaj uygulandığında bu etki tersinir hale gelir. Elektriksel nicelikler (yük ve voltaj) ve buna karşılık meydana gelen mekaniksel nicelikler (germe ve gerilim) arasındaki ilişki lineerleşir (Filipczynski et all 1996).



Şekil 2.1. Kuartz kristali ile kristalin kristalografik eksenleri X,Y ve Z.

Kristal yapıda simetri eksikliğinden kaynaklanan piezoelektrik etki alanları görünmektedir. Kristalografik eksenlerin üç boyutlu temsili olan bir kuartz kristali Şekil

2.1'de gösterilmektedir. Bunlar, hekzagonal prizmanın kenarları boyunca geçerler ve x-ekseni (elektriksel eksenler) olarak adlandırılırlar ve bunlar prizma duvarlarına diktirler. x-eksenlerine dik olanlar ise y-ekseni (mekaniksel eksenler) olarak çağrılırlar. Optik eksen olarak adlandırılan z-ekseni, hem x- hem de y-eksenlerine diktir. Piezoelektrik etkinin ilkeleri, Şekil 2.2 referans alınarak açıklanabilir. Kuartzın kimyasal kompozisyonu SiO_2 formülüyle verilir ve üç silisyum (Si) atomunun ve altı oksijen (O) atomunun yerleşimi ile temsil edilir (Filipczynski et all 1996).



Şekil 2.2. Piezoelektrik etkinin işleyişi.

Ölçme yöntemlerinde kullanılan transducer'ların titreşimsel özellikleri düzlemin kesim biçimine bağlıdır. Ultrases yayınımında kullanılan kuartz için değişen kesim şekillerinden biri x-kesimli kuartz kristali iken diğeri y-kesimli kuartz kristalidir. Voltajın uygulanma yüzeyi kesim şeklini belirlemekte ve böylece oluşan ultrases dalgalarının çeşidi de değişmektedir.

2.2.2. Manyetostriksiyon Transducer

Demir, nikel gibi ferromanyetik metaller ve permandur gibi alaşımlar bir manyetik alan içine sokulduklarında boylarında uzama ya da kısalma olur. Uzama ve kısalmanın miktarı maddenin cinsine ve manyetik alan şiddetine bağlı olarak değişir. Ferromanyetik maddelerin manyetik alana girdiklerinde boylarının değişmesine manyetostriksiyon olayı denilmektedir.

Manyetostriksiyon özellik gösteren bir metalin selenoid içerisine konulmasıyla manyetostriksiyon transducer'lar elde edilir. Selonoide alternatif gerilim uygulandığında metal çubuğun boyunda değişme olur ve çubukta meydana getirilen boyuna titreşim frekansı uygulanan alternatif frekansın iki katını bulur. Bu yöntem ile

oluşturulan transducer'lar düşük frekansa sahip olmalarına rağmen güç oldukça yüksektir (Sarpün 1998).

2.2.3. Elektrositriksiyon Transducer

Elektrik alan içerisine sokulduklarında boylarında değişme görülen maddelere ferroelektrik maddeler denir. Bir ferroelektrik madde elektrik alan içerisinde iken elektrik alan şiddetinin yönü değiştirildiğinde boyunda uzama meydana gelmektedir. Bu tür maddeler polarlanmış olduğundan elde edilen titreşimin sinüzoidal olması sağlanmalıdır. İşte bu şekilde bir piezoelektrik madde gibi kullanılabilmektedirler.

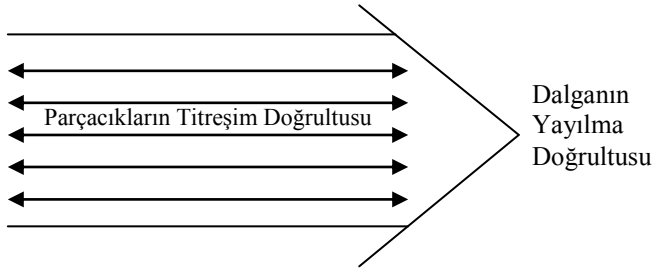
Baryum, titanat, kurşun zirkonat, demir kobalt gibi maddeler çok kullanılan elektrositriksiyon transducer malzemelerine örnektirler. Elektrositriksiyon transducer'ların güçleri büyüktür ve yüzeyleri konveks veya konkav yapılarak farklı uygulamalarda kolaylık sağlayabilirler (Sarpün 1998).

2.3. Ultrases Dalga Çeşitleri

Dalgalar genel olarak oluşum şekillerine göre üçe ayrılır diyebiliriz. Bunlar madde (su ve ses dalgaları gibi), elektromanyetik (ışık ve radyo dalgaları gibi) ve deBroglie dalgalarıdır. Yayılabilmeleri için ortam gereken ultrases dalgaları, mekanik dalga olup katı, sıvı ve gaz ortamlarda hareket edebilirler. Mekanik dalgalar ortamda esneklik kuvvetinden dolayı bir noktadan diğerine aktarılırlar. Fakat ortam bütün olarak hareket etmediğinden titreşimin yer değiştirdiği bu mekanik dalgalar enerjiyi madde içerisinde bir noktadan diğerine iletebilirler. Ortam içerisinde dalgayı taşıyan parçacıkların hareketi ile dalganın yayılma yönü arasındaki ilişki dalganın çeşidini belirlemektedir. Yayılma ve parçacık hareketine göre üç çeşit ultrases dalgası vardır; boyuna, enine ve yüzeysel ultrases dalgaları.

2.3.1. Boyuna Ultrases Dalgaları

Ortam içerisinde enerjiyi ileten parçacıkların hareketi ultrases dalgalarının yayılma doğrultusunda olan dalgalara boyuna ultrases dalgaları denmektedir. Şekil 2.3'te görülen bu dalgalar eşit mesafelerde parçacık yüzeyleri arasında eşit basınç dalgaları olarak hareket ettiğinden basınç dalgaları da denmektedir. İşte bu nedenle parçacıklar arası bağ ne kadar zayıf olursa olsun parçacıkların titreşimleri dalga yayılma doğrultusunda olduğundan katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilirler. Bu dalgaların hareketi esnasında ortamda sıkışmalar ve gevşemeler oluşur. Burada iki sıkışma ve iki gevşeme noktası arasındaki mesafe eşittir. Bu iki mesafe arası, ultrases dalgasının boyunu vermektedir. Böylece frekansı bilinen bir ultrases dalgasının hızı bulunarak ortamın özelliklerine dair bilgiler elde edilebilmektedir.

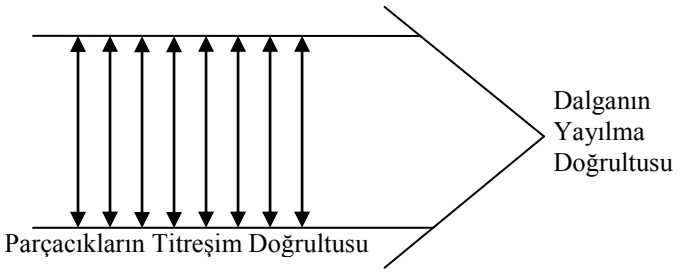


Şekil 2.3. Ortam içinde oluşan boyuna dalgaların şematik gösterimi.

2.3.2. Enine Ultrases Dalgaları

Ortam içerisinde enerjiyi ileten parçacıkların hareketi ultrases dalgalarının yayılma doğrultusuna dik olan dalgalara enine ultrases dalgaları denmektedir (Şekil 2.4). Moleküller ve atomlar arası bağların zayıf olmasından dolayı, sıvı ve gaz ortamlarda enine ultrases dalgaları yayılamamaktayken sadece katı ortamlarda yayılabilmektedirler. Katı ortamlarda enine dalgaların yayılma hızı v_E, boyuna dalgaların yayılma hızının v_B yaklaşık olarak yarısına eşittir.

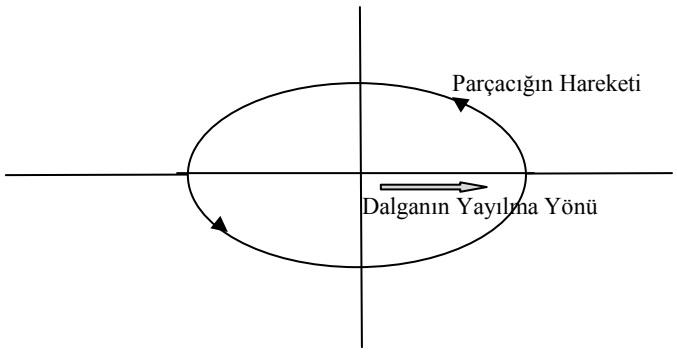
$$v_E = \frac{v_B}{2} \tag{2.1}$$



Şekil 2.4. Ortam içinde oluşan enine dalgaların şematik gösterimi.

2.3.3. Yüzeysel Ultrases Dalgaları

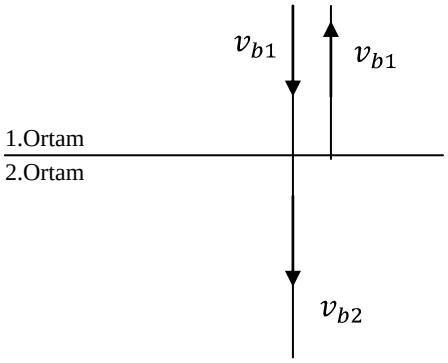
Enine ve boyuna dalgaların bileşimi olan yüzeysel dalgalarda ortamdaki parçacıkların hareketi ultrases dalgalarının yayılma doğrultusuna dik elipsler şeklindedir. Şekil 2.5'te gösterilen ultrases dalgasının genliği yayıldığı ortamın yüzeyinden itibaren eksponansiyel olarak azalır ve bir dalga boyu mesafede sınırlanır. Bu nedenle de yalnızca yüzeyde yayılır ve dolayısıyla sadece cisimlerin yüzeylerinin incelendiği durumlarda kullanılabilirler. Ayrıca yüzeysel ultrases dalgalarının yayılma hızları enine ultrases dalgalarının yayılma hızlarından da düşüktür.



Şekil 2.5. Ortam içinde oluşan yüzeysel dalgaların şematik gösterimi.

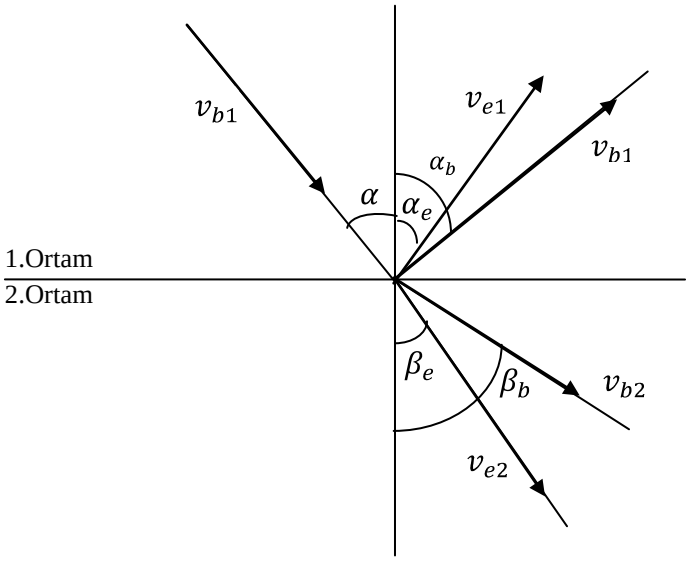
2.4. Ultrases Dalgalarının Ortamın Arakesitinde Hareketi

Ultrases dalgaları, iki farklı ortamın arakesitine dik olarak gönderildiği zaman ortam değiştirmesi esnasında aynı doğrultuda kısmen yansır ve kısmen de ikinci ortama geçer. Bu olay Şekil 2.6'da açıkça görülmektedir.



Şekil 2.6. Ortamın arakesitine dik olarak gönderilen ultrases dalgası.

Şayet ultrases dalgası ortamın arakesitine farklı açılarda gönderilmişse yansıma ve kırılma olayları eş zamanlı olarak meydana gelir. Yansıyan dalgalar birinci ortamda ve kırılan dalgalar da ikinci ortamda ilerler. Boyuna ultrases dalgasının ara yüzeyde yansıması ve kırılması sonucu, hem boyuna hem de enine dalga olmak üzere iki kısma ayrılır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Ortamın arakesitine farklı açılarda gönderilen ultrases dalgası.

Ultrases dalgasının, yüzeylerin arakesitine geliş açısı büyütülürse kırılma açıları da büyür. Akustik hızlar boyuna ve enine dalgalar için farklı olacağından her iki dalganın da yansıma ve kırılması farklı olacaktır. Buradaki olayı Snell kanununa göre açıklayacak olursak aşağıdaki bağıntıları kullanabiliriz:

$$\frac{sin\ \alpha}{sin\alpha_b} = \frac{v_{b1}}{v_{b1}} \text{ (Yansıyan boyuna dalga)} \quad (2.2)$$

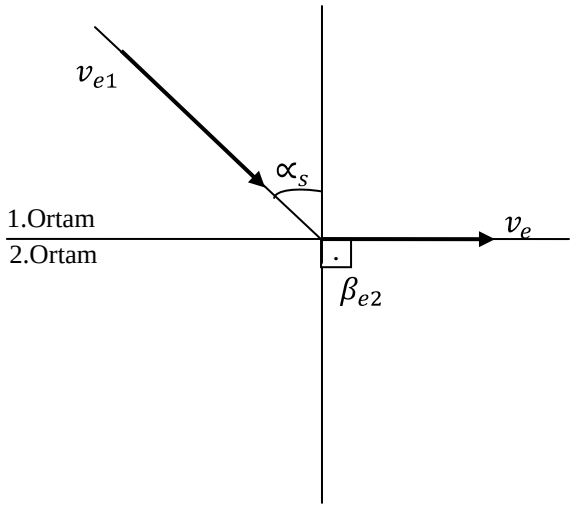
$$\frac{sin\ \alpha}{sin\alpha_e} = \frac{v_{b1}}{v_{b1}} \text{ (Yansıyan enine dalga)} \quad (2.3)$$

$$\frac{sin\ \alpha}{sin\beta_b} = \frac{v_{b1}}{v_{b2}} \text{ (Kırılan boyuna dalga)} \quad (2.4)$$

$$\frac{sin\ \alpha}{sin\beta_e} = \frac{v_{b1}}{v_{e2}} \text{ (Kırılan enine dalga)} \quad (2.5)$$

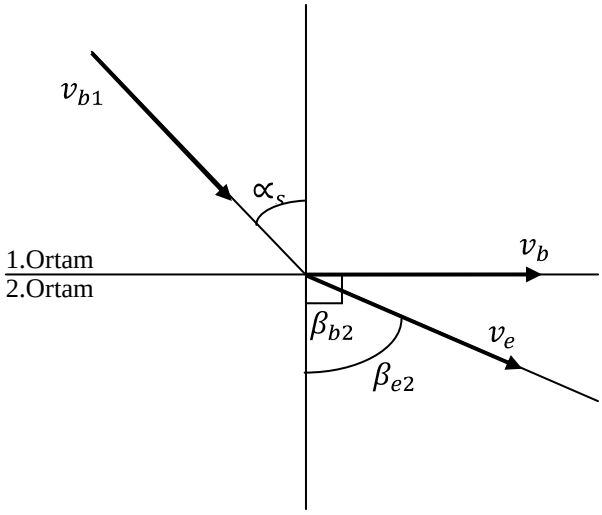
Burada, α birinci ortamdaki geliş veya yansıma açısı, β ise ikinci ortamdaki kırılma açısıdır. v_1 ve v_2 , birinci ve ikinci ortamlardaki ultrases ses hızlarıdır.

Bunlara ek olarak boyuna ve enine ultrases dalgaları için sınır açıları Şekil 2.8'de ve Şekil 2.9'da verilmektedir. Ultrases dalgasının ortamların ara yüzeyinde yansıması Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8. Ultrases dalgasının ortamların ara yüzeyinde yansıması.

Şekil 2.9'da ise ultrases dalgasının ortamların ara yüzeyinde kırılması verilmiştir. Ayrıca ultrases test yöntemlerinde ara yüzeyden yansıyan ultrases dalgaları kullanılmaz ve prob içerisinde sönümleme bloğu ile yok edilirler. Birden fazla dalga türü ile çalışmak test işlemini ve yorumlama sürecini zorlaştırır. Bu sebeple teste tabi tutulan numune üzerinden tek tip dalga türünün girmesi sağlanmalıdır.



Şekil 2.9. Ultrases dalgasının ortamların ara yüzeyinde kırılması.

2.5. Ultrases Dalgalarının Yutulması (Attenuation)

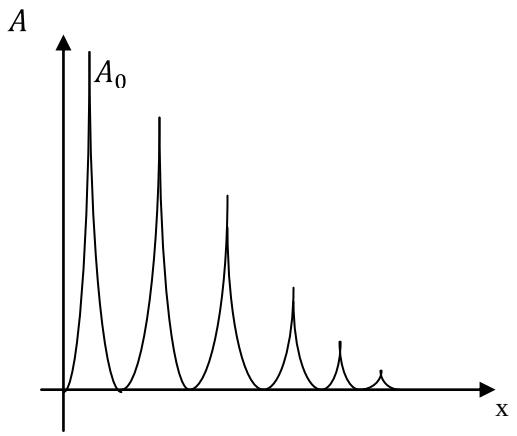
Ultrases dalgalarının ortam içerisinde yayılması esnasında parçacıklar dalganın enerjisini titreşimler halinde birbirlerine aktarırlar. Doğal olarak da enerji aktarımı gerçekleştiğinden ses dalgasının şiddeti dalganın ortamda aldığı yol ile azalmaktadır. Bu da ortam içerisindeki ultrases dalgasının yutulması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, ultrases dalgasının numune içerisindeki yutulma miktarı gönderilmiş olan ultrases dalgasının frekansına da bağlıdır. Ultrases dalgasının frekansı arttıkça sahip olduğu dalga boyu küçüleceğinden ortam içerisindeki ultrases dalgası taneciklerden saçılmaktadır. Bunun tersine ultrases dalgasının frekansı küçüldükçe dalga boyu artmış olacağından ortam içerisinde ilerleyen ultrases dalgası enerji kaybına uğrayacak ve böylece genliğinde, basıncında, enerjisinde azalma olduğu için soğrulma olayı gerçekleşmiş olacaktır. α_A, absorpsiyon katsayısı ve α_S saçılma katsayısı olmak üzere yutulma katsayısı

$$\alpha(f) = \alpha_A(f) + \alpha_S(f) \tag{2.6}$$

şeklinde verilir. Saçılma ve soğrulma sonucu ortaya çıkan bu etki, yutulma olarak isimlendirilir ve denklem (2.7) ile verilmektedir:

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \tag{2.7}$$

Burada A_0, dalganın başlangıç ($t = 0'$daki) genliği; A, x kadar yol almış ($t = t$ anındaki) dalganın genliği; α ise dalganın yutulma katsayısını ifade etmektedir. α'nın birimi neper/uzunluk veya desibel/uzunluktur. Şekil 2.10'da ultrases dalgasının yutulması ve ultrases dalgasının genliğinin numune içinde alınmış olan mesafe ile azalması gösterilmektedir.



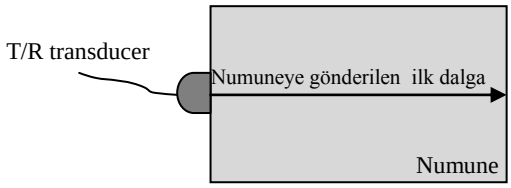
Şekil 2.10. Ultrases dalgalarının ortam içerisinde yutulmasının şematik ifadesi.

2.6. Ultrases Ölçüm Yöntemleri

Ultrases ölçüm yöntemleri ile ultrases dalgalarının katı, sıvı ve gaz ortamında yayılma hızları, sönüm faktörü gibi birçok fiziksel özellik ölçülebilmektedir. Ultrases ölçüm yöntemlerine göre ultrasesi üreten farklı tipte (T+R ve T/R gibi) transducer'lar kullanılmaktadır. Ayrıca ölçüm hassasiyetini artırmak için karmaşık ve gelişmiş elektronik ölçüm sistemleri de kullanılabilmektedir. Bu ultrases ölçüm sistemlerinde, zaman ölçümlerinin yanında sönüm faktörünün de ölçülmesi mümkündür. Hız ölçümlerinin yanında enerji kaybının da ölçülmesi fiziksel ölçümlerde doğru yorumlar elde etmek için daha uygundur.

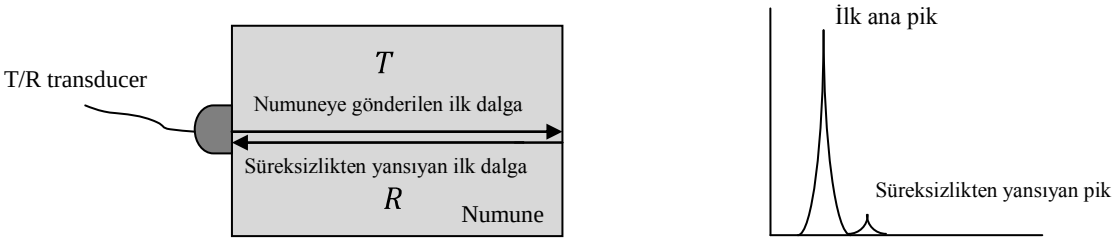
2.6.1. Yansıma Yöntemi (Pulse-Echo Process)

Numuneye bağlanan tek transducer üzerinden dalga gönderilmesi ve algılanması gerçekleşmektedir. Bu yöntemde transducer hem alıcı hem de verici olarak kullanılmaktadır. Transducer'ın numuneye temas ettirilme yöntemi Şekil 2.11'de görülmektedir.

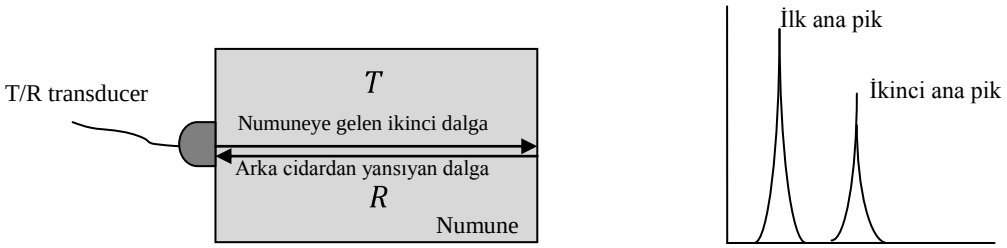


Şekil 2.11. Transducer'ın numuneye temas ettirilme yöntemi ve numuneye gönderilen ilk ultrases dalgasının şematik gösterimi.

Numune içerisine gönderilen dalga hava ortamına kadar ilerleyecek ve numunenin arka yüzeyine rastladığında büyük kısmı geri yansıyacaktır. Dolayısıyla sistemde ölçülen zaman, iki numune boyunu geçiş zamanını vermiş olacaktır. Ölçülen zaman diliminde daha küçük bir zamanla karşılaşılırsa bu numune içerisinde süreksizliklerin, çatlakların, boşlukların veya kırıkların varlığını gösterecektir. Kullanılan sistemde ultrases dalgaları osiloskop üzerinden gösteriliyorsa numunenin iki katmanı arasında uzun pikler görünürken süreksizliğin olması durumunda pikler küçülüp sıkışacak ve farklı genlikler göstereceklerdir (Şekil 2.11, Şekil 2.12 ve Şekil 2.13). Ayrıca tipik ultrases test yöntemlerinde ara yüzey sinyali, düzensizlik ilavesi ve arka yüzey yansıması da görülebilmektedir.



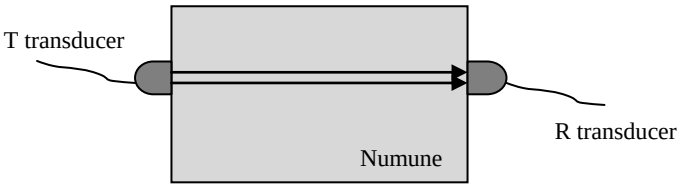
Şekil 2.12. Numuneye gönderilen ultrases dalgasının süreksizlikteki yansımasının şematik gösterimi ve osiloskop ekranında gözlenen ilk iki pik.



Şekil 2.13. Numuneye gönderilen ultrases dalgasının arka cidardan yansımasının şematik gösterimi ve osiloskop ekranı üzerinde gözlenen ilk iki pik.

2.6.2. Geçiş Yöntemi (Through Transmission)

Şekil 2.14'te görüldüğü üzere numuneye çift transducer bağlanması söz konusudur. Bir transducer test numunesi üzerine ultrases dalgasını gönderirken diğer transducer numune içersinden geçen dalgayı algılayacaktır. Bu sayede numunenin içerisinden geçen ultrases dalgasının geçiş zamanı tespit edilerek numune üzerinden yorumlamalar yapılabilecektir. Numunenin aynı yüzeyinin farklı noktalarından alınan ölçümlerde süre aynı çıkıyorsa numunenin içerisinde herhangi bir süreksizliğin olmadığı anlaşılabilir. Aynı yüzeydeki noktaların herhangi birinde farklı bir değerle karşılaşılırsa numune içerisinde süreksizlik olduğu ve dolayısıyla yapı bozukluğunun mevcut olduğu söylenebilir.



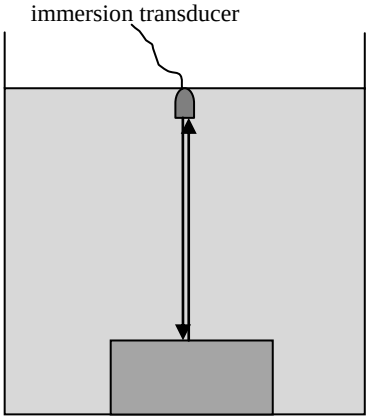
Şekil 2.14. Geçiş yönteminde transducer'ın numuneye bağlanışı.

Ölçüm yapılan numunede yapı bozukluğuna rastlanılmadığı takdirde gönderilen ultrases dalgasının ve arka cidardan yansıyan ultrases dalgasının genliklerinde eksponansiyel bir azalma olmayacaktır. Aksi takdirde numune içerisinde ilerleyen ultrases dalgası süreksizlere uğrayarak dalganın bir kısmı geri yansıyacak ve gönderilen ultrases dalgasının ancak bir kısmı alıcı transducer'a ulaşacağından piklerin genlikleri arasında

farklılıklar oluşacaktır. Yine bu ölçüm yönteminde de ara yüzey sinyali, düzensizlik ilavesi ve arka yüzey yansıması da görülebilmektedir.

2.6.3. Daldırma Yöntemi (Immersion)

Bu metotta ise numune ve transducer Şekil 2.15'te görüldüğü üzere bir sıvı ortamı içinde bulunur. Sıvı ortamı, gerekli kuplaj malzemesini sağlayarak numune ve transducer arasında ultrases dalgasında oluşabilecek kayıpları önlemektedir. Genel olarak tek transducer hem alıcı hem de verici olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.15. Daldırma yönteminin şematik gösterimi.

Transducer vasıtasıyla numune içerisinden geçen ultrases dalgası yine transducer vasıtasıyla algılanarak ultrases cihazına aktırılır. Bilgisayar sistemine bağlı olan ultrases cihazından alınan veriler anolog sinyallerin dijital sinyallere çevrilmesi ile tarama yapılarak sonuçlar elde edilir.

2.7. Tanecik Boyutu Belirleme Yöntemleri

Tanecik boyutunun ultrases ile belirlenmesi farklı yöntemlerle yapılacak uygulamalar sonucunda belirlenebilmesi mümkün olmakla birlikte bu yöntemlerin uygulanma şekli ultrases dalgasından elde edilen bilgilerle yapılabilmektedir. Genel olarak kullanılan metotlar şunlardır:

- Hız ölçüm metodu
- Yutulma ölçüm (UA, Ultrasonic Attenuation) metodu

- İlk arka cidar yansıması pik yüksekliği ölçüm (URA, Ultrasonic Relative Attenuation) metodu
- Geri-saçılma ölçüm (UB, Ultrasonic Back-Scattering) metodu
- Grafik metodu

Bu metotlarda referans numuneleri, özel aygıtlar veya aynı boyutlara sahip örnekler gerekebilmekte ve dolayısıyla ölçümlerde hassasiyet önem kazanmaktadır.

2.7.1. Hız Ölçüm Metodu

Ultrases dalga hızının ölçülmesine dayanan bu metodun kullanılması ile tanecik boyutunun belirlenebilmesi için referans numuneler gerekmektedir. İlk olarak farklı tanecik boyutlarına sahip referans numunelerinin bir mikroskop yardımıyla tanecik boyutları belirlenir. Referans numunelerinin tanecik boyutlarının birbirine yakın olması ölçüm hassasiyetini olumsuz yönde etkilediğinden mümkün olduğunca farklı numuneler seçilmelidir. Numunenin iç yapısından etkilenerek numune içerisinde ilerleyen ultrases dalgasının saçılması tanecik boyutu ile ilişkilendirilebilmektedir (Hirsekorn 1982). Bu sebeple ultrases test sistemi ile referans numunelerin ve test numunelerinin ultrases dalga hızları ölçülerek tanecik boyutları ile aralarındaki ilişki bir grafik yardımıyla karşılaştırılır. Yine ölçüm hassasiyeti açısından ultrases dalga hızlarının dikkatlice ölçülmesi gerekmektedir. Oluşturulan grafik test edilen numunelerin tanecik boyutunu bulmak için kullanılmaktadır. Elde edilen tanecik boyutları mikroskop verileri ile karşılaştırılarak yorumlamalar elde edilmektedir (Palanichamy et al. 1995).

2.7.2. Yutulma Ölçüm Metodu

Farklı tanecik boyutlarına sahip numuneler ile ultrases dalgasının yutulma olayındaki saçılmanın genelleştirilmiş bir teori ile açıklanması mümkündür (Anfray et al. 1985). Yine tanecik boyutları bilinen referans numunelerin kullanılması ile tanecik boyutuna karşın yutulma katsayısının olacağı bir grafik yardımıyla tanecik boyutları bilinmeyen örneklerin yutulma değerlerinden yararlanılarak tanecik boyutları bulunabilmektedir. Ölçüm hassasiyetinin arttırılarak sistematik hataların engellenmesi amacıyla referans

numunelerin tanecik boyutlarının doğru bir şekilde belirlenmesi, tanecik boyutlarının mümkün olduğunca farklı olarak seçilmesi ve yutulma değerlerinin ölçümü esnasında dikkatli olunması önemli olmaktadır (Palanichamy et al. 1995).

2.7.3. İlk Arka Cidar Yansıması Pik Yüksekliği Ölçüm Metodu

Bu metot ultrases ölçüm tekniğiyle numune içerisine gönderilen ultrases dalgasının numunenin arka yüzeyinden yansıyarak gelen kısmının genliğinin ölçülmesi ile tanecik boyutunun belirlenmesine dayanmaktadır (Palanichamy et al. 1995) ve ayrıca tanecik boyutları bilinen referans numunelere gereksinim duyulmaktadır. Bununla birlikte referans numunelerinin ve test numunelerinin kalınlıkları olabildiğince eşit olmalıdır. Yutulma olayı gerçekleşirken meydana gelen soğurma katsayısı ihmal edilecek değerde olmalıdır. Son olarak karşılaştırma yapılacağı için numunelere gönderilen ultrases dalgasının enerjisi sabit tutulmalı ve numune-transducer arası mesafe değişmemelidir.

2.7.4. Geri Saçılma Ölçüm Metodu

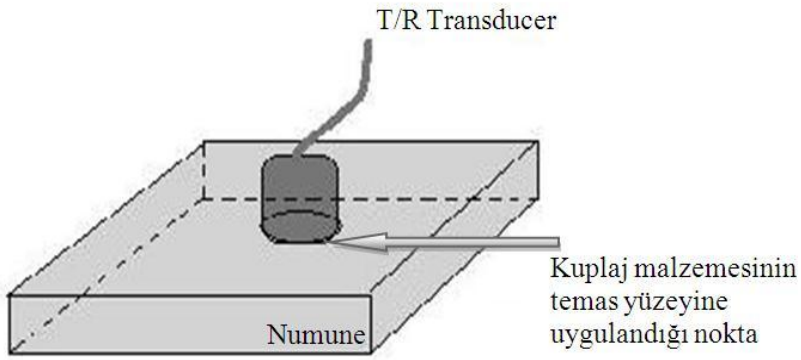
Özel cihazlarla hazırlanmış bir deney sistemi kullanılan bu metotta numune üzerine gönderilen ultrases dalgasının numunenin ön yüzeyinden gelen ilk yansıma piki ile arka yüzeyinden gelen ilk arka yüzey yansıma piki arasında kalan ve ultrases dalgasının yolu üzerindeki her bir tanecik ile etkileşmesinden ortaya çıkan geri-yansıma pikleri önem kazanmaktadır (Sarpün 2004). Ultrases dalgasının genliği ile tanecik boyutu arasında ilişkilendirme yapılarak tanecik boyutunun artması ile geri-yansıyan dalga genliğinin arttığı görülmektedir (Hecht et al. 1981). Bundan dolayı, geri-yansıma pikleri analiz edilmekte ve her bir pikin numuneye gönderilen ultrases dalgasının genliğine göre normalizasyonu yapılarak ortalamaları alınmaktadır. Bu şekilde her bir numune için bir dalga zarfı genliği elde edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, numune içerisindeki tanecik boyutlarındaki bağıl değişmelerin mümkün olduğu kadar küçük olması gerektiğidir. Aksi takdirde dalga zarfı genliğinde büyük hatalara yol açılmakta ve dolayısıyla tanecik boyutlarında yanlışlıklar oluşmaktadır (Hecht et al. 1981).

2.7.5. Grafik Metodu

Referans numuneleriyle birlikte test numunelerine gönderilen ultrases dalgasının numune içerisinden geçiş hızına ve yutulma değerine dayanan bir metottur. Farklı frekanslardaki yutulma değerlerine bağlı olarak çizilen yutulma-frekans grafiğinden $d\alpha/df$ değeri belirlenerek analiz edilir. Daha sonra tüm numunelerde belirli bir frekansta ultrases geçiş hızı ve yutulma değerleri bulunur. Referans numunelerin yardımıyla $logd\alpha/df - logD\alpha$ grafiğinden test numunelerinin $v.d\alpha/df$ değerleri kullanılarak tanecik boyutları hesaplanır (Botniva et al. 2000).

2.8. Transducer'ların Bağlantı Şekli

Test edilecek numune üzerinden transducer ile direkt temas halinde ölçüm almak mümkün değildir. Bunun sebebi transducer ile numune yüzeyi arasında kalan hava boşluğunda ultrases dalgalarının dağınımıdır. İşte bu nedenle transducer yüzeyine ultrases dalgaların geçişini engellemeyecek şekilde bir kuplaj malzemesi kullanılmaktadır. Ultrases test cihazıyla yapmış olduğumuz deneylerde kullanılan kuplaj malzemesi ultrason jeli olup hem ölçümlerdeki oluşabilecek hatalar önlenmiş hem de transducer'ların deforme olma riski kaldırılmıştır.



Şekil 2.16. Transducer'ların numune ile temas ettirmesinde kuplaj malzemesinin uygulanma şekli.

3. MERMERLERİN TANIMI VE TARİHÇESİ

Bilimsel anlamda mermer, kalker ve dolamitik kalkerlerin ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak kristalleşmesinden oluşmuş bir kayaçtır. Yani geçmişte kireçtaşı olarak tevekkül etmiş taşların, uzun jeolojik süre içinde, büyük basınç ve sıcaklıklarla zorlanıp başkalaşıma uğrayarak (ilk birikim şekillerini ve fosillerin görünüşlerini kaybetmesi) tamamen yeniden kristalleşmesi şeklinde oluşmuş bir metamorfik kayaçtır (Güneş 2005). Ticari anlamda mermer; blok verebilen, kesilip cilalandığında parlayabilen, dayanıklı ve güzel görünümlü her türden taşların (magmatik, metamorfik, sedimanter) bütünü için kullanılan bir terimdir. Maden kanunundaki mermer tarifi ile ticari anlamdaki mermer tarifi hemen hemen özdeştir. Yani taşın cinsi ne olursa olsun, kesilip parlatılabiliyorsa mermer olarak tarif edilmektedir. Özetle, bugün mermer kelimesi kullanıldığında, gerçek mermerlerle birlikte, fosilli sıradan kalkerleri, birçok konglomeraları (çakıl taşlarını), bazı kumtaşlarını, magmatik ve volkanik taşların hemen bütününe yakınını ve gnays türü metamorfik taşları dikkate almak ve mermer kavramını bu genişlikte düşünmek gerekmektedir. Çünkü güçlü ve etkili kesme ve cilalama cihaz ve maddelerinin kullanıldığı çağımızda, dağılganlığından ötürü kesilemeyen birkaçının dışında, her taş, gerçek mermer gibi, hatta ondan çok daha iyi vasıflarla işlenmeye ve kullanılmaya elverişlidir (Şentürk vd. 1996, Önem 1997).

Mermerler mikroskop altında incelendiğinde, kalsit kristallerden meydana geldiği ve bu kristallerin birbirine sıkı olarak bağlanmış olduğu görülmektedir. Bu kristaller, büyük taneli ise mermerlerin mukavemeti düşerek yumuşak ve mat bir hal almaktadır. Kristallerin tane çapları küçüldükçe mukavemet, parlama kabiliyeti ve bozulmama yeteneği artmaktadır (Sayar ve Erguvanlı, 1955).

Mermerler grup olarak çok çeşitli renkler gösterebilirler. Karbonatlı kayaçlar, özellikle kalsit içerenlerden saf olanlar, parlak beyaz renkte bulunmaktadır. Çok açık griden siyaha değişen aralıktaki tonlar, ince taneli grafit içeren, saçılmış karbonlu maddeler tarafından oluşturulmaktadır. Yeşil renkler, klorit veya diğer slikatların varlığından

dolayı ortaya çıkmaktadır. Pembe ve kırmızı mermerler, ince dağılmış hematit veya manganez karbonatların rengine sahiptirler.

Renk veren maddeler, kayaç içerisinde nispeten homojen dağılmış olarak bulunabildiği gibi, bazı mermerlerde bölgesel yoğunlukla bulunabilmektedir. Bu tip malzemelerin mermer içinde bölgesel yoğunlukla bulunma halinde, mermer "benekli" veya "damarlı" ya da "yollu" olarak adlandırılabilmektedir (Kuşcu, 2001).

3.1. Mermerlerin Genel Özellikleri

Mermer olarak kullanılan taşlar, oluşum şekillerine (kökenlerine) göre;

- Magmatik Kayaçlar
- Sedimanter Kayaçlar
- Metamorfik Kayaçlar

olarak üç grupta incelenebilirler.

3.1.1. Magmatik Kayaçlar

Magmatik kelimesi ateş anlamına gelmektedir. Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde yüksek ısı ve basınç altında ergimiş halde bulunan malzemeler magma olarak isimlendirilir. Volkanik hareketler süresince yerkabuğunun derinliklerindeki bazı ergimiş kayaç kalıntıları ve lav akıntıları yüzeye yayılırlar. İşte yüzeye çıkarak soğuyup sertleşen bu akıntılardan metamorfik kayaçlar meydana gelmektedir. Tüm magmatik kayaçlar yerkabuğunun derinliklerinde ergimiş magma şeklinde bulunurlar. Bu kayaçlar, magmanın çeşitli ısılarda katılaşmasıyla oluştuğundan kristalli veya yarı kristalli olabilirler. Tabakalı bir yapıya sahip değillerdir ve yalnızca soğumadan dolayı sütunsal bir yapı kazanırlar. Genelde kütle halindedirler, litosferin altında uyumlu veya uyumsuz şekilde yerleşebildikleri gibi yüzeyde lav akıntıları halinde de olabilirler. Eğer magma, yerkabuğunun içinde soğur ve sertleşirse intrüzif kayaç, yerkabuğunun üzerine çıkarak volkanizma sonucu oluştuğu zaman ise ekstrüzif kayaç olarak isimlendirilir.

İntrüzif kayaçlar (derinlik kayaçları) daha önceden oluşan kayaçlarının etrafında magmanın yavaşça soğumasıyla meydana geldiği için iri taneli olurlar. Oluşan mineral taneleri bu tür kayaçlarda genelde çıplak gözle tanımlanabilmektedir. İntrüzif kütlenin yüzey şekli, boyutları ve diğer formasyonlarla ilgili ilişkileri sınıflandırılmalarında önem taşımaktadır. Ekstrüzif kayaçlar ise kısmen ergimiş durumdaki kayaçların volkanlardan akıp yayılması sonucunda hızlı bir şekilde soğuyup kristalleşerek oluştuğundan ince taneli bir yapıya sahiptir. Eğer ki soğuma çok hızlı olursa kristallerin küçük taneli olarak oluşması yerine kayaç camsı olabilmektedir (Kibici, 2006).

3.1.2. Metamorfik Kayaçlar

Metamorfizma kelimesi, meta = madde, morphos = şekil değişikliği anlamına gelen sözcüklerden oluşmaktadır. Metamorfik kayaçlar, daha önce oluşan kayaçların değişimiyle meydana gelmektedir. Birçok metamorfik kayaç çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları kolaylıkla tanılanabilmekteyken diğer bazı kayaçların tanımlanabilmesi için mineraloji bilgisine ve bir mikroskoba gereksinim duyulabilmektedir. Bu kayaçlar sedimanter ve magmatik kayaçların ısı ve/veya basınç nedeniyle değişimi sonucu oluşabildiğinden önceden oluşmuş magmatik, sedimanter ve hatta metamorfik kayaçların değişik görünümlerine rastlanabilmektedir.

Genelde, yönlü basınçlardan dolayı, metamorfik kayaçların birçoğu, gelişigüzel seviyeler veya foliasyon yapısı gösterirken diğerleri, yerin çeşitli derinliklerinde, genel olarak konverjan plaka tektoniği sınırları boyunca olaşan gömülme metamorfizması özelliklerine sahip olurlar. Bu doğal çökelme, düşey yönde gelişen basınçlarla dereceli olarak değişim gösterir ve bu şekilde oluşan kayaçlara foliasyonlu metamorfik kayaçlar denmektedir. Foliasyon adı verilen fabrik (yapısal) özellikli bölgesel metamorfiklerin yanı sıra kontakt metamorfizmanın neden olduğu kayaçlarda vardır ve bunlarda foliasyon oluşamamaktadır. Foliasyonsuz kayaçlar, kontakt sıcaklığının etkisiyle ana kayacın ince taneli olarak yeniden kristalleşmesi şeklinde sonuçlanır (Kibici, 2006).

3.1.3. Sedimanter Kayaçlar

Suyun ayrıştırma gücü ile kayaçlar küçük parçalara ayrılarak herhangi bir yerdeki depolanma alanına taşınarak çökelir. Bu küçük parçalar çoğunlukla sığ denizlerde ve göllerde sediman olarak birikir. Sedimanlar milyonlarca yıl boyunca çökelirken, üstte yer alan sedimanların ağırlığıyla oluşan hidrostatik basınç nedeniyle katı-sert kayaçlara dönüşürler ve bu şekilde sedimanlardan oluşmaları nedeniyle sedimanter kayaçlar olarak adlandırılırlar. Tabaka seviyelerindeki birbirine geçişlerde bileşim veya dokunun değişmesi nedeniyle sedimanter kayaçlar magmatik ve metamorfik kayaçlardan net bir şekilde ayrılırlar. Sedimanter kayaçlar geniş alanlarda kum-silt veya kum tanelerinin yataklarında veya göl ve deniz diplerinde sedimantasyonla yatay tabakalar halinde yataklanır ve şekillenir. Taşınan ana kayaç sedimanları yuvarlaklaşıp oval şekil de alabilir. Bu ana kayaç, magmatik, metamorfik veya sedimanter kayaç olabileceği gibi her biri ayrı veya hepsinin karşımı da olabilmektedir.

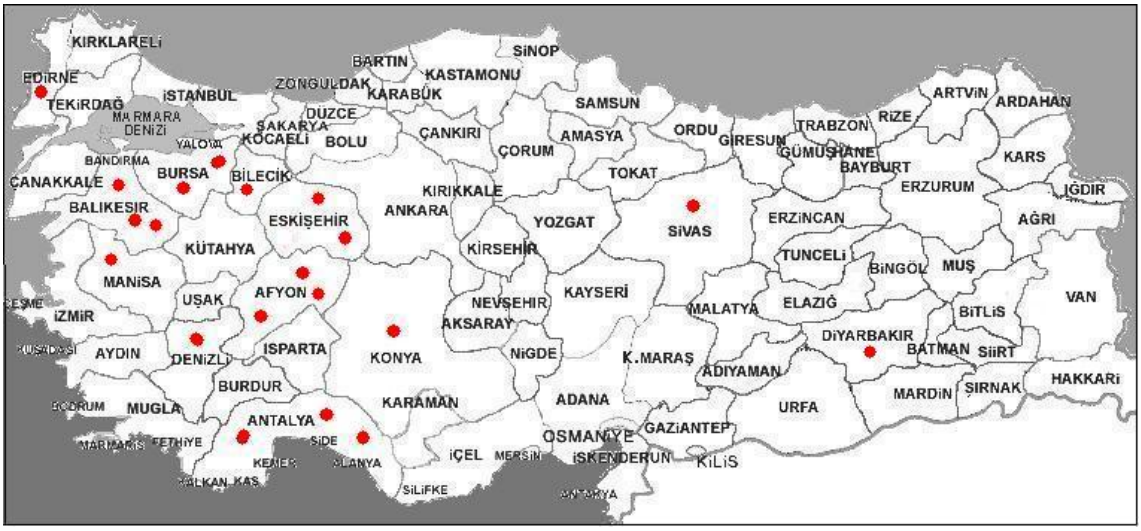
Genel olarak klastik (kırıntılı) sedimanter kayaçlar ve klastik olmayan sedimanter kayaçlar olarak ayrılırlar. Kum sınıfına giren materyaller, taneli malzemeler olarak adlandırılır. Kum, taneli kayaçların bölünmesi, taneciklerin sıkışmasıyla, tane boyutu 1/16 ila 2 mm arasındaki boyutlarda doğal olarak oluşur. Bu boyutlarda oluşan serbest taneler, kum taneleri olarak adlandırılır. 1/16 mm den daha küçük boyutta olan, kumdan daha küçük boyutta bulunan materyal silttir. Kum taneciklerinden daha büyük boyutta olan materyal ise çakıllardır. Bunların boyutu 64 mm den daha büyüktür.

Bunların dışında kimyasal çökelme ile oluşan kimyasal sedimanter kayaçlar mevcuttur. Mağaralarda görülen sarkıtlar, dikitler ve kaya tuzları da bu şekilde oluşmaktadır. Bu işlem suların kayacın içerisine girerek kayacın minerallerini çözmesiyle başlar ve bu ayrışan ürünleri kaynak kayaçtan uzağa taşınmasıyla devam eder. Bu olay, suların buharlaşıp ortamdan uzaklaşması veya minerallerin suya doygun hale geçmesiyle yeniden depolanabilir veya çökebilir. Ayrıca bu kayaçlar kristalli dokuya da sahiptir olabilirler.

Kimyasal sedimanter kayaçlar içerisinde bulunan kimyasal kireçtaşı olarak bilinen traverten kayaçlar iyon olarak ifade edilen yüklü partiküllerin arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucu iki farklı yolla oluşurlar. Kalsiyum ve karbonat iyonlarınca zengin suların buharlaşmasıyla traverten oluşumu gerçekleşmektedir. Travertenin tipik oluşumu, sıcak suların yüzeyde aktığı yerlerde görülmektedir. Bu tip yerlerde sıcak su akıntıları birçok iyonu taşıyıp belirli yerlerin üzerinde yığarak traverteni oluşturabilir. Traverten sıcak veya soğuk su akıntılarının etrafında bantlı yapıda oluşabilmektedir. Traverten, kalsiyum (Ca) ve karbonat (CO_3) iyonlarınca zengin yer altı sularının oyuk, küçük ve büyük mağara tavanından damlayarak ta oluşabilirler. Bu damla biçimi yavaş, birbirini izleyen damlalar şeklinde olursa kalsiyum ve karbonat iyonları minik kalsit kristallerini oluşturacak şekilde birbirini sarar. Yoğun şekilde kalsit mineralinin şekillenmesiyle oluştuklarında ise uzunlamasına yapıda mağaranın tavanından sarkarlar ve sarkıt olarak isimlendirilen yapılar meydana getirirler. Su, mağaranın tabanına damlayarak tabandan yukarı doğru dikit şekli de oluşturabilir. Bazen sarkıt ve dikitler küçük ve büyük mağaralarda büyük kolonlar şeklinde de gelişebilmektedir (Kibici, 2006).

4. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada deneyler süresince genel olarak farklı bölgelerden seçilen mermerler ve bunun yanı sıra aynı bölgeden seçilen mermerler kullanılmıştır. Toplam 20 numune değerlendirmeye alınmış olup ultrases ölçüm sistemi ve polarize mikroskop kullanılarak ölçümler tamamlanmıştır. Numunelerin çıkarıldığı bölgeler harita üzerinden işaretlenmiş ve aynı bölgeye ait mermerlerin sayısı eşit sayıdaki nokta ile verilmiştir (Resim 4.1).



Resim 4.1. Numunelerin numune sayısına göre şehirlere dağılımı.

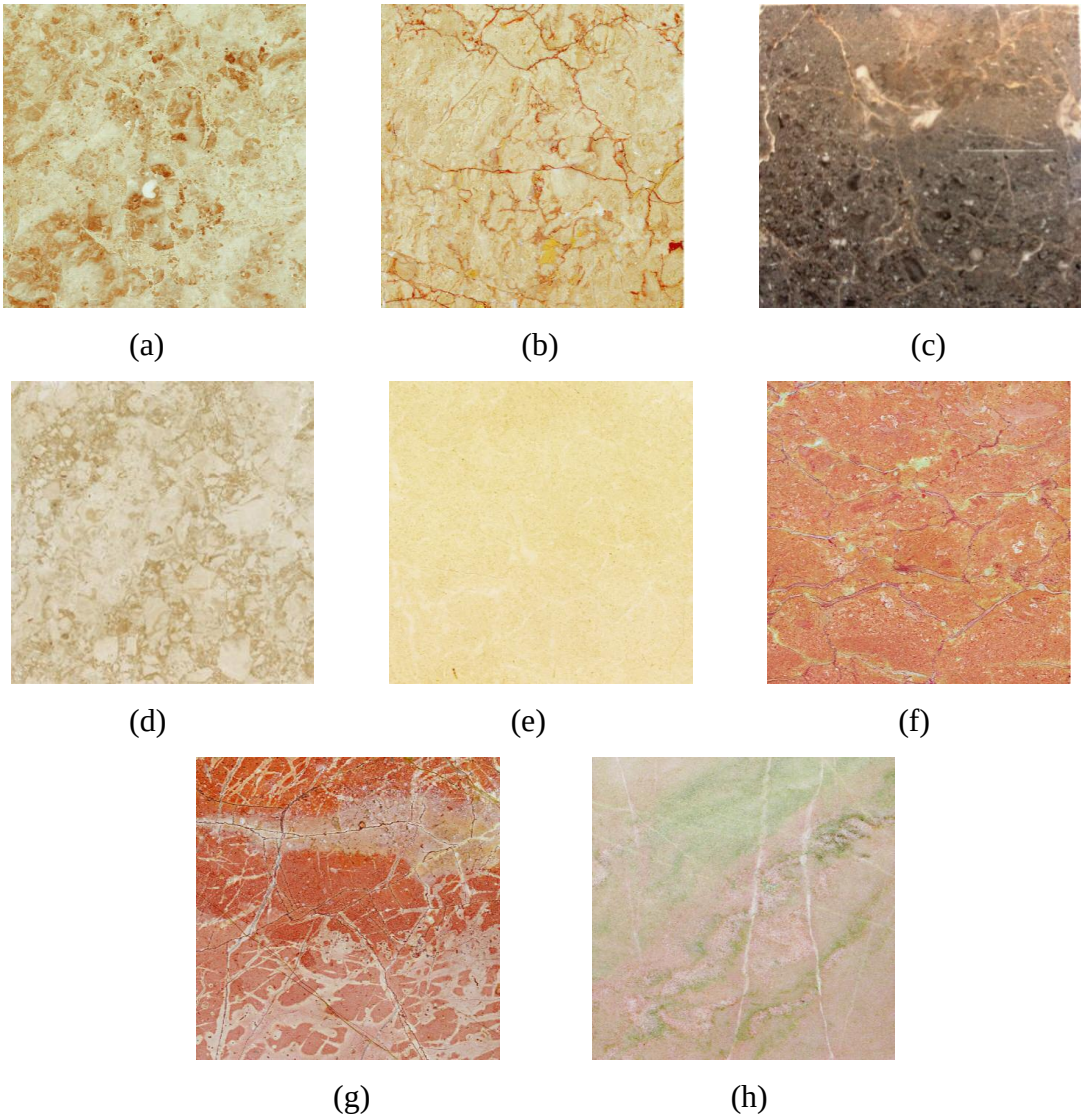
4.1. Numuneler ve Özellikleri

Ultrases ölçümler süresince kullanılan numunelerin boyutu 5 cm x 5 cm şeklinde kesilmiş olup kalınlıkları 9-12 mm arasında değişmektedir. Örnekler, fabrikalardan temin edildiğinden bir yüzeyleri parlatılmış ve pürüzlülük ortadan kaldırılmıştır ve bu sayede ultrases ölçümler süresince ön yüzeyde oluşabilecek saçılmalara karşın ek işleme tabi tutulmadan ultrases değerlendirmeleri sonuçlandırılmıştır. Sonrasında tanecik boyutu ölçümleri için kesilerek lamel boyutlarına uygun hale getirilip ince kesit şeklinde hazırlanarak kullanılmıştır.

4.1.1. Sedimanter Mermer Numuneleri

Resim 4.2'de verilen mermer numuneleri sedimanter mermer grubuna girmekle beraber 8 adet numuneye ait resimler verilmiştir. Resim 4.2.(a)'da Antalya-Korkuteli bölgesinden çıkarılmış olan ve literatürde adı "Toros Bej Mermer" olarak geçen mermer numunesi verilmiş olup fosilli ve biyomikritik kireçtaşı şeklinde tanımlanır. İki tür olarak belirlenmiş bu mermerlerden birinci grup sarımsı, bej veya grimsi olurken ikinci grup kırmızı-pembe renklidir (İMİB, 2001). Deneylerde kullandığımız numune, ikinci gruba girmekte olup 10 mm kalınlığındadır. Resim 4.2.(b)'de verilmiş olan mermer numunesi 10.1 mm kalınlığında olup Manisa-Akhisar bölgesinden çıkarılmıştır ve karbonatça zengin soğuk sulardan itibaren çökelmiş oniksler ile doludur. Bu dolguyu meydana getiren yaşlı iri taneli, krem-pembe-bej renkli yapı yarı şeffaf karbonat kayacı (oniks) "Akhisar Oniks"i olarak tanımlanmaktadır (İMİB, 2001). Resim 4.2.(c)'de görülen numune grimsi renklerde olup kalınlığı 10.1 mm'dir. Bursa bölgesine ait bu örnek "Bursa Bej" mermeri olarak isimlendirilmekte ve litolojik olarak fosilli, biyomikritik kireçtaşı olarak tanımlanmaktadır. Bej, sarımsı ve grimsi renklerde olan bu mermerlerde birimin alt seviyeleri pembemsi, kumlu-killi, fosilli kireçtaşlarından oluşurken, orta seviyeleri çörtlü kireçtaşlarından oluşur. Üst seviyelerde ise yine kireçtaşları, kalsit mineraller bulunmaktadır (İMİB, 2001). Resim 4.2.(d)'deki numunemiz yine "Toros Bej Mermer" özelliğindedir ve yukarıda ifade edilen ikinci gruba girmektedir, ayrıca açık krem tonlarında ve 12 mm kalınlığındadır. Resim 4.2.(e)'de resmedilmiş olan numune "Bursa Bej" mermer özelliğinde, krem tonlarında ve 10.2 mm kalınlığındadır. Resim 4.2.(f)'de Diyarbakır-Çermik bölgesinden çıkarılan ve literatürde "Hazar Pembe" olarak isimlendirilen 10 mm kalınlığındaki mermer numunesi, litolojik olarak fosilli, biyomikritik kireçtaşı şeklinde tanımlanır. Sarımsı, bej, pembemsi ve grimsi renklerde bulunan bu mermerlerde alt seviyelerde kireçtaşları mevcutken üst seviyelerde gri-koyu gri renkli dolimitik kireçtaşlarına geçiş söz konusudur (İMİB, 2001). Resim 4.2.(g)'de verilen numune 10 mm kalınlığındadır. Literatürde "Bilecik Pembe ve Gülkurusu" olarak geçen bu numune litolojik olarak kireçtaşıdır ve sedimanter mermerler grubuna girer. Pembe ve bej hamur içinde gülkurusu ve pembe damar-mercek ve yama şeklinde gözlenir. Bilecik Pembe mermeri kalsitten oluşmuş ve kısmen yuvarlaklaşmış, kısmen de yeniden kristallenmiş

parçalardan ve kalıntılardan oluşmuştur (İMİB, 2001). Resim 4.2.(h)'da ise Edirne bölgesinden çıkarılan ve literatürde "Vize Pembe Mermer" olarak isimlendirilen bir numune mevcuttur. 9.9 mm kalınlığındaki mermer numunesi ince kristalli (kalsit kristaller) ve pembe renklidir (İMİB, 2001).

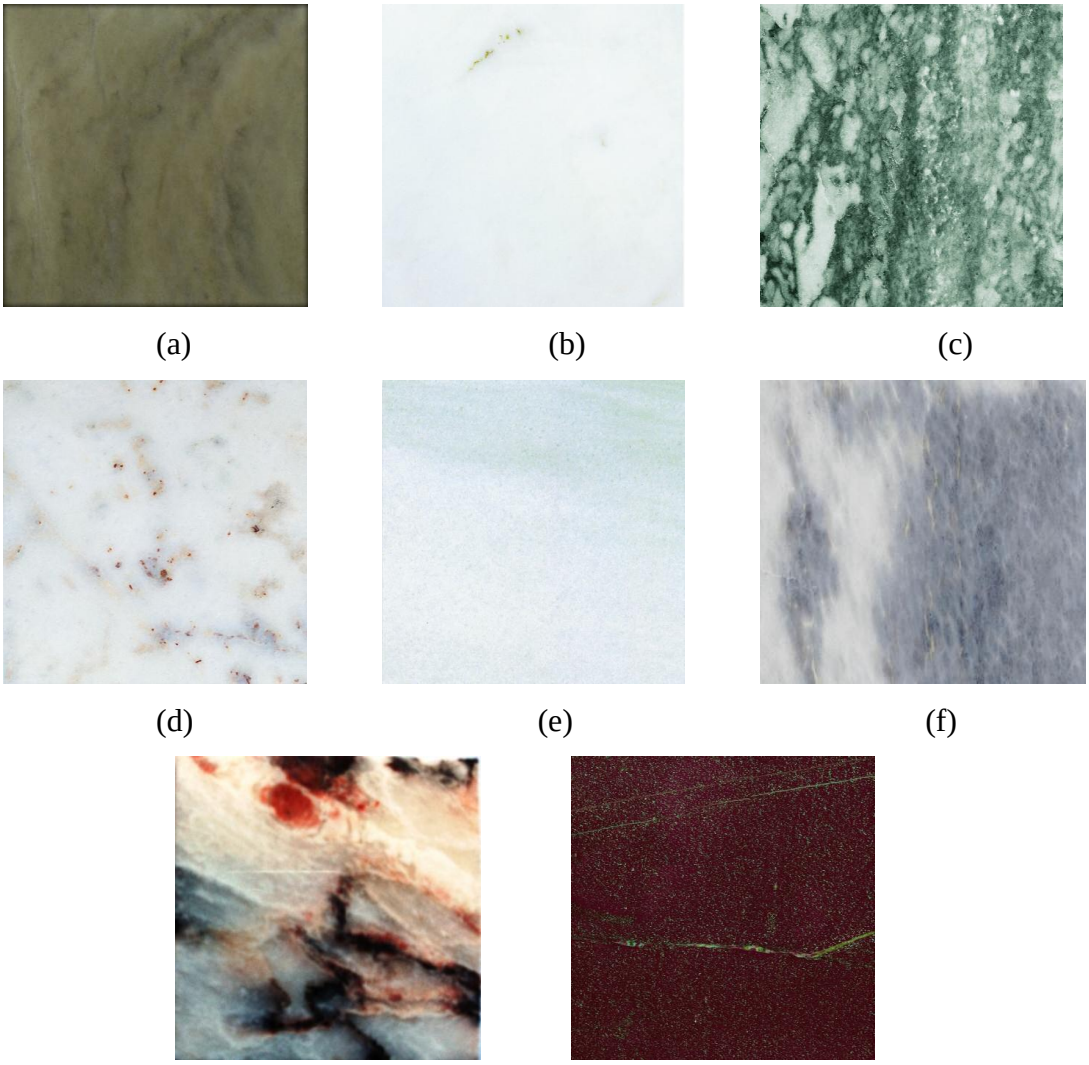


Resim 4.2. Sedimanter mermer numunelerine ait görüntüler;

(a) Toros Bej-Pembe (b) Akhisar Oniks (c) Bursa Bej-Külrengi (d) Toros Bej-Krem
(e) Bursa Bej-Krem (f) Hazar Pembe (g) Bilecik Pembe (h) Vize Pembe

4.1.2. Metamorfik Mermer Numuneleri

Resim 4.3.(a)'da görülen Konya yeşil mermeri, metamorfik kayaçlar sınıfına girmekte olup 9.9 mm kalınlığındadır. Resim 4.3.(b)'de verilen numune yaldızlı/sarı benekler içermektedir ve 10 mm kalınlığındadır. Literatürde "Afyon Kaymak" olarak da bilinen bu mermer, metamorfik klasik mermerdir. Orta taneli kalsit kristallerden ibaret olan bu mermerler genelde beyaz renkli olup yer yer ince yaldızlı/sarı damarlar içerebilmektedir (İMİB, 2001). Resim 4.3.(c)'de yine Afyon bölgesinden çıkarılan ve literatürde "Afyon Kaplan postu " olarak bilinen bir mermer yer almaktadır. 9.9 mm kalınlığındaki mermer, litolojik ve jeolojik özellikler açısından Afyon Beyazına benzemektedir. Afyon Kaplan Postu mermeri koyu gri bir kütle içerisinde gömülü, değişik boyutta gri boğum ve eleman kapsayan oluşumlara sahiptir (İMİB, 2001). Resim 4.3.(d)'de görülen ve 12 mm kalınlığında olan numune, Manyas bölgesine aittir. Bu grup içerisinde bulunan ve kalsit kristaller içeren mermerler genelde bej renkte olup yer yer kahverengi damarlar veya boğumlar muhteva edebilmektedir. Resim 4.3.(e)'de görülmekte olan ve Marmara adası olarak da bilinen bir diğer numune, literatürde "Marmara Beyaz Mermer" olarak isimlendirilmektedir. Ayrıca litolojik olarak mermer ve dolomittir. Marmara Adası mermerleri beyaz renkli dolomitler ile gri bant ve lekeler kapsayan açık gri-beyaz mermerler şeklinde gözlemlenebilmektedir (İMİB, 2001). Metamorfik kayaçlar türüne giren bu mermer numunesi 10 mm kalınlığındadır. Resim 4.3.(f)'deki numune 10.3 mm kalınlığında olup Afyon Kaplan Postu ve Afyon Kaymak mermerleri ile benzer özellikler göstermektedir. Genel olarak kalsit kristallerden oluşan bu mermer turuncu/sarı renkte damarlara veya beneklere sahip olmaktadır. Resim 4.3.(g)'de bulunan numune, Eskişehir bölgesinden çıkarılan yaşlı süpren mermerleri olarak bilinir ve yine kireçtaşı grubunun bir üyesi olup gri-beyaz renktedirler. Bunun yanı sıra kırmızı-pembe- sarı damarlar içerebilmekte ve bu tonlarda kuşak ve yamalar sergileyebilmektedirler. Tane boyutları 0.9 - 1.9 mm arasında değişen kalsit kristalleri bantlar şeklinde bulunmaktadır (İMİB, 2001). Eskişehir-Süpren numunesi 9 mm kalınlığındadır. Resim 4.3.(h)'deki numune, Milas bölgesine ait bir ocaktan çıkarılmış olup 10 mm kalınlığındadır. Derinlik kayaçları olarak ifade edilen bu mermerler genel olarak ince-orta taneli, taneli dokulu kayalardır. Vişne çürüğü veya daha açık renklerde karşılaşılan taneli dokulu kayalardır.



Resim 4.3. Metamorfik mermer numunelerine ait görüntüler;
(a) Konya Yeşil (b) Afyon Kaymak (c) Afyon Kaplan postu (d) Manyas Bej
(e) Marmara Adası (f) Afyon Çizgili Şeker (g) Eskişehir Süpren (h) Milas Granit

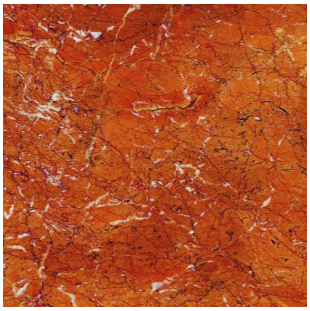
4.1.3. Traverten Numuneleri

Resim 4.4.(a) itibariyle görülen ve 9.8 mm kalınlığında olan "Sivas Sarı Traverten" örneği, litolojik olarak oniks yapılı traverten kayaları şeklinde tanımlanır ve sarımsı karbonat kayalarıdır (İMİB, 2001). Resim 4.4.(b)'de yer alan numune Antalya-Finike yöresine aittir ve kireçtaşı şeklinde tanımlanır. Bu traverten kayaçlar genel olarak krem, bej açık gri renkli, orta-kalın tabakalıdırlar. Numunenin kalınlığı 9.8 mm'dir. Resim

4.4.(c)'de, Balıkesir bölgesine ait olan ve yine traverten kayaçlar grubuna giren 9.6 mm kalınlığında bir numune vardır. Ayrıca bunlar bej, sarı veya turuncu tonlamalı olabilmektedir (İMİB, 2001). Resim 4.4.(d)'de verilen Denizli traverteni örneği, beyaz, açık sarı ve hardal renklidir. Bunlar tane boyu 30 µm ile 100 µm arasında değişen kalsitlerden ve az miktarda 1 µm ile 4 µm arasında değişen kalsit minerallerden ibarettir. Boşluklu bir yapı gösteren bu numune 12 mm kalınlığındadır.

(a)

(b)



(c)

(d)

Resim 4.4. Traverten numunelerine ait görüntüler;

(a) Sivas Sarı Traverten (b) Antalya-Finike

(c) Balıkesir Yavruağzı (d) Denizli Traverteni

4.2. Deney Sistemleri ve Kullanım Şekli

Ultrases ölçüm cihazı ile numunelere ait ultrases dalga hızları ve numune içerisinden geçen ultrases dalgasının yutulma miktarına bağlı olarak belirlenen yutulma katsayıları elde edilmiştir. Bu ölçümler iki farklı prob kullanılarak 2 MHz'lik ve 4 MHz'lik frekanslarda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numuneler mermer kesme makinesinde küçültülerek lamel boyutlarına indirgenmiş ve yine mermer kesme cihazı ile inceltilerek polarize mikroskop yardımıyla tanecik boyutları çıkarılmıştır.

4.2.1. Ultrases Dalgası Hızı ve Yutulma Ölçümü Deney Sistemi

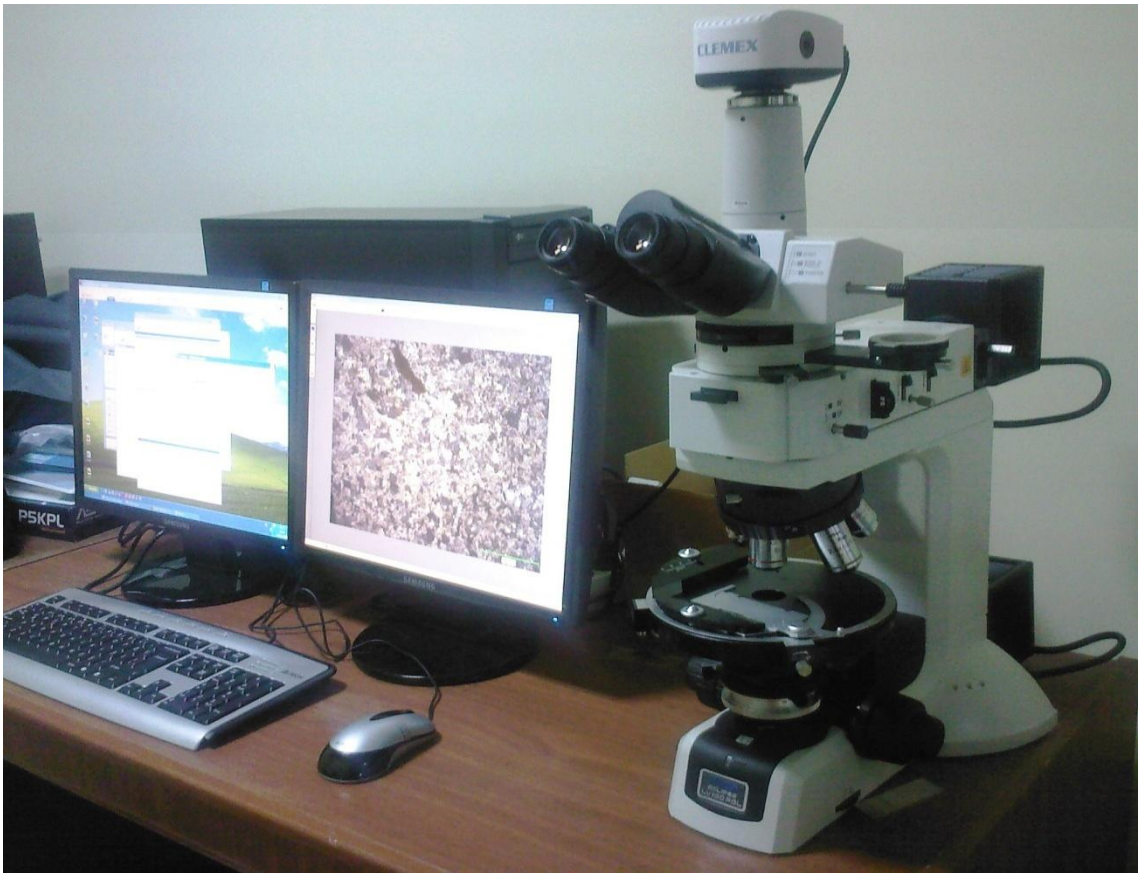
Yapmış olduğumuz deneylerde numunelere ait hız ölçümlerini elde etmek için kullanılan sistem Şekil 4.2'de verilen Sonatest 150^{s} Cihazıdır. Bu cihazda yapılan ölçümlerde ultrases dalga hızı ekranda direkt olarak ekranda görülebilmektedir. Burada, ilk olarak numunenin kalınlığı hassas şekilde belirlenerek girilmelidir. Daha sonra bir T/R transducer vasıtasıyla numuneye gönderilen ultrases dalgası ile ön yüzeyden ve arka yüzeyden gelen yansıma pikleri kullanılır. Son olarak bu piklerin üzerine cihazın ölçüm yapmasını sağlayan kapı (gate) çizgileri piklerin üzerine getirilerek işlem tamamlanır.

Resim 4.5. Sonatest 150^{s} ultrases cihazı.

Yine aynı sistem üzerinden referans numunesinde cihazın kalibrasyonu yapılarak numunelere ait yutulma değerleri çıkarılmak üzere pik değerleri de elde edilmiştir. Referans hız değiştirilmeksizin numunelere ultrases dalgası gönderilerek ilk iki pikin yüksekliği kapılar aracılığı ile ölçülmüş ve gerekli hesaplamalar yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

4.2.2. Tanecik Boyutu Ölçümü Deney Sistemi

Ortalama tanecik boyutu hesaplamaları için kullanılan sistem Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Laboratuarındaki Şekil 4.3'te görülen LV100 50i POL modelindeki polarize mikroskoptur. Mikroskop üzerinden büyütme değerleri değiştirilerek numuneye uygun şekilde mikroskobik görüntüleri çekilmiş olup sonrasında mikroskoba ait özel bir program kullanılarak numune boyutları çıkarılmıştır.



Resim 4.6. LV100 50i POL polarize mikroskop sistemi.

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere sistem çift bilgisayar ekranına bağlı olup özel bir program ile çalışmaktadır. İlk ekran üzerinden alınan görüntüler ikinci ekran üzerinden kaydedilerek tanecik boyutu ölçümleri yapılmaktadır.

5. DENEYSEL ÖLÇÜMLERDEN ELDE EDİLEN VERİLER

5.1. Hız Ölçümleri

Ultrases dalga hızı ölçümleri iki transducer kullanılarak farklı frekanslarda yapılmış olup altı ölçüm değerinin ortalaması ile belirlenmiştir. Ortalama olarak alınan bu değer, numunelerin ultrases hızı olarak değerlendirmeye alınmıştır. Numunelere ait 2 MHz'lik ölçümler Çizelge 5.1'de 4 MHz'lik ölçümler ise Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Mermer numunelerine ait 2 MHz'te alınan hız değerleri ve ortalamaları.

	Ölçüm	Hız Değerleri (m/s)						
	Numune	1	2	3	4	5	6	Ortalama
Sedimanter	Toros Bej-Pembe	6836	6577	6699	6739	6801	6732	6729.50
	Akhisar Oniks	5752	5152	5302	4660	5785	5016	5277.83
	Bursa Bej Külrengi	6584	6477	6457	6520	6405	6541	6497.33
	Toros Bej-Krem	6610	6665	6574	6503	6503	6665	6586.67
	Bursa Bej-Krem	6463	6463	6401	6381	6442	6442	6432.00
	Hazar Pembe	5951	6471	6556	6200	6181	6409	6294.67
	Bilecik Pembe	5714	5570	6106	6461	6328	5961	6023.33
	Vize Pembe	6913	6749	6726	6889	6749	6704	6788.33
Metamorfik	Konya Yeşil	6507	6485	6614	6423	6485	6099	6435.50
	Afyon Kaymak	3662	3727	3383	3361	3316	3629	3513.00
	Afyon Kaplan postu	4404	4433	4159	3844	3881	3857	4096.33
	Manyas Bej	5925	5810	6331	5285	5969	5939	5876.50
	Marmara Adası	4179	4136	5018	5200	4205	4295	4505.50
	Afyon Çizgili Şeker	5342	5780	5385	5399	5203	5714	5470.50
	Eskişehir Süpren	5413	5642	5750	5487	5920	5911	5687.17
	Milas Granit	5955	5467	5955	5408	5322	5851	5659.67
Traverten	Sivas Sarı Traverten	5663	5443	4815	4917	5587	5153	5263.00
	Antalya-Finike	4305	3930	3856	3819	4295	4194	4066.50
	Balıkesir Yavruağzı	4217	5116	4755	4832	4932	4983	4805.83
	Denizli Traverteni	5180	4960	4991	5306	5071	4870	5063.00

Çizelge 5.2. Mermer numunelerine ait 4 MHz'te alınan hız değerleri ve ortalamaları.

	Ölçüm / Numune	Hız Değerleri (m/s)						
		1	2	3	4	5	6	Ortalama
Sedimanter	Toros Bej-Pembe	6384	6328	6481	6268	6268	6249	6329.67
	Akhisar Oniks	5499	5309	5016	5591	5388	5260	5343.83
	Bursa Bej-Külrengi	6178	6325	6355	6416	6178	6375	6304.50
	Toros Bej-Krem	6442	6340	6258	6399	6374	6495	6384.67
	Bursa Bej-Krem	6237	6162	6228	6162	6247	6247	6213.83
	Hazar Pembe	6115	6318	6318	6258	6087	6096	6198.67
	Bilecik Pembe	6042	6060	5987	6042	6051	5987	6028.17
	Vize Pembe	6372	6455	6518	6434	6403	6434	6436.00
Metamorfik	Konya Yeşil	6156	6156	6119	6253	6081	6195	6160.00
	Afyon Kaymak	3590	3571	3413	3231	3350	3527	3447.00
	Afyon Kaplan postu	4494	4332	3803	3811	4551	4379	4228.33
	Manyas Bej	5810	6382	5303	6067	6382	6192	6022.67
	Marmara Adası	4534	4453	4056	4503	5228	4232	4501.00
	Afyon Çizgili Şeker	5643	5762	5559	5515	5590	5605	5612.33
	Eskişehir Süpren	5356	5364	5413	5454	5787	5413	5464.50
	Milas Granit	5658	5642	5594	5579	5571	5900	5657.33
Traverten	Sivas Sarı Traverten	4786	5171	5290	4930	5071	5000	5041.33
	Antalya-Finike	3493	3291	3237	3639	3633	3904	3532.83
	Balıkesir Yavruağzı	5245	5217	4758	4539	4929	4688	4896.00
	Denizli Traverteni	5041	5133	5441	5233	5380	5177	5234.17

5.2. Yutulma Ölçümleri

Ultrases yutulma ölçümleri yine iki transducer kullanılarak farklı frekanslarda yapılmış olup üç pik değeri alınmıştır. Aşağıda verilmiş olan denklem 5.1 ile hesaplama yapılarak yutulma katsayısı hesaplanmıştır. Numunelere ait 2 MHz'lik ve 4 MHz'lik ölçümler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

$$\alpha = \frac{1}{d} 20 \log \frac{A_1}{A_2} \tag{5.1}$$

Burada d, kalınlığı, A_1, ilk ana pike ait yükseklik değerini ve A_2, ikinci pike ait yükseklik değerini α ise yutulma katsayısını temsil etmektedir.

Çizelge 5.3. Mermer numunelerine ait 2 MHz'te ve 4 MHz'te alınan yutulma değerleri.

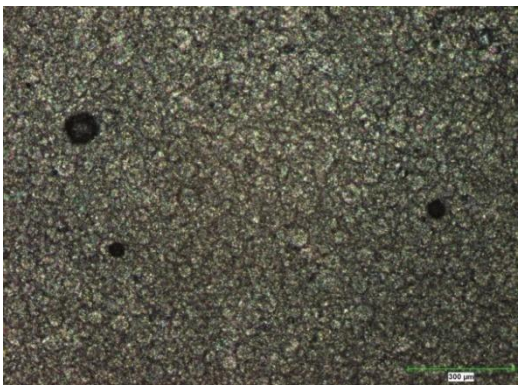
	Numune	2 MHz			4 MHz		
		A_1	A_2	α	A_1	A_2	α
Sedimanter	Toros Bej-Pembe	95	49	0.575	97	53	0.525
	Akhisar Oniks	96	13	1.719	58	8	1.704
	Bursa Bej-Külrengi	98	37	0.838	98	52	0.545
	Toros Bej-Krem	98	48	0.517	95	42	0.591
	Bursa Bej-Krem	97	39	0.776	99	66	0.345
	Hazar Pembe	99	43	0.724	96	42	0.718
	Bilecik Pembe	98	29	1.058	100	25	1.204
	Vize Pembe	98	53	0.539	97	47	0.636
Metamorfik	Konya Yeşil	98	51	0.573	97	52	0.547
	Afyon Kaymak	49	5	1.982	30	3	2.000
	Afyon Kaplan postu	59	5	2.165	23	3	1.787
	Manyas Bej	98	31	0.833	96	29	0.866
	Marmara Adası	82	19	1.270	22	3	1.731
	Afyon Çizgili Şeker	97	38	0.790	98	33	0.418
	Eskişehir Süpren	98	46	0.730	98	50	0.649
	Milas Granit	97	39	0.741	95	42	0.709
Traverten	Sivas Sarı Traverten	95	10	1.995	78	11	1.736
	Antalya-Finike	64	5	2.260	44	5	1.928
	Balıkesir Yavruağzı	95	9	2.132	50	6	1.915
	Denizli Traverteni	95	14	1.386	97	10	1.645

5.3. Polarize Mikroskop Görüntüleri ve Sonuçları

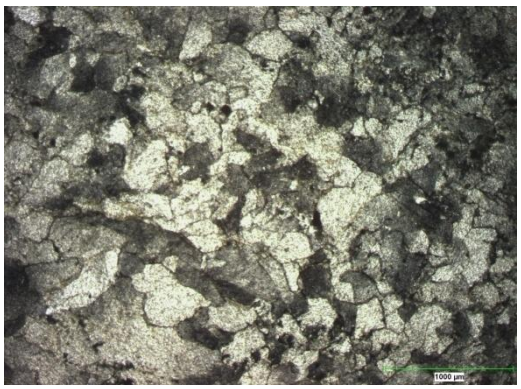
Polarize mikroskop ile yüzey görüntüleri elde edilen mermerlerin tanecik boyutu yine mikroskoba ait özel bir programla çalışılarak otomatik olarak elde edilmiştir. Görüntü tablasında ölçüm yapılan numuneden anında alınan görüntü değerlendirilerek büyütme değerleri değiştirilmiş ve numuneye uygun büyütme oranı seçilerek görüntüler alınmıştır. Kullanılan büyütme değerleri 25x, 250x ve 1000x olmak üzere üç değerden oluşmaktadır. Numunelere ait tanecik boyutu değerleri Çizelge 5.4'te ve numunelerin polarize mikroskop ile çekilen yüzey görüntüleri Resim 5.1'de, Resim 5.2'de ve Resim 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Numuneler ve Tanecik Boyutu Değerleri.

	Numune	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)
Sedimanter	Toros Bej-Pembe	64.29
	Akhisar Oniks	252.94
	Bursa Bej-Külrengi	143.37
	Toros Bej-Krem	135.66
	Bursa Bej-Krem	87.32
	Hazar Pembe	175.93
	Bilecik Pembe	186.76
	Vize Pembe	118.63
Metamorfik	Konya Yeşil	40.23
	Afyon Kaymak	299.77
	Afyon Kaplan postu	273.33
	Manyas Bej	169.68
	Marmara Adası	223.85
	Afyon Çizgili Şeker	138.48
	Eskişehir Süpren	142.97
	Milas Granit	208.55
Traverten	Sivas Sarı Traverten	112.75
	Antalya-Finike	133.58
	Balıkesir Yavruağzı	113.88
	Denizli Traverteni	77.22



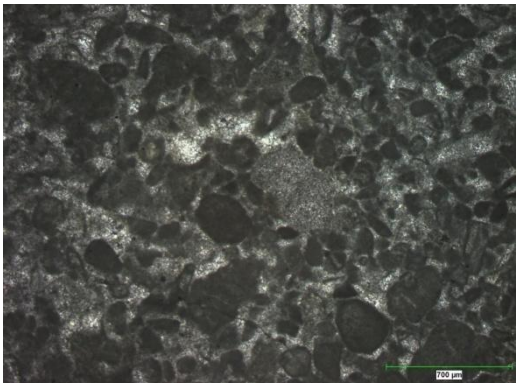
(a)



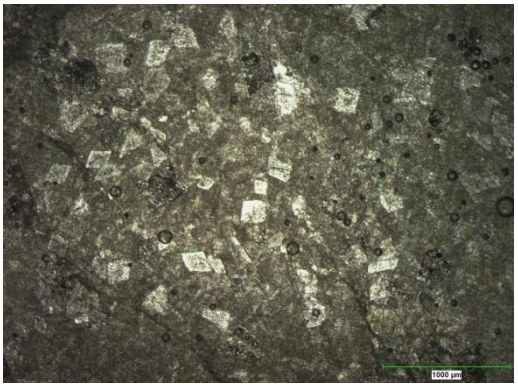
(b)

Resim 5.1. Sedimanter mermer numunelerinin polarize mikroskop görüntüleri;

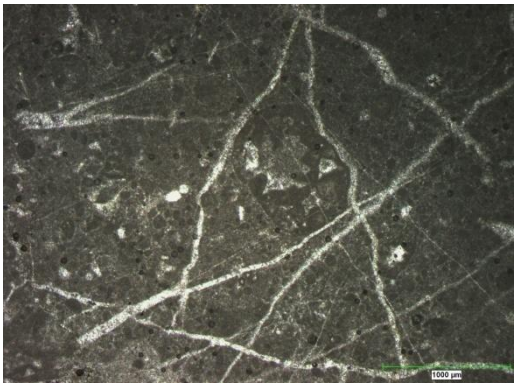
(a) Toros Bej-Pembe (b) Akhisar Oniks



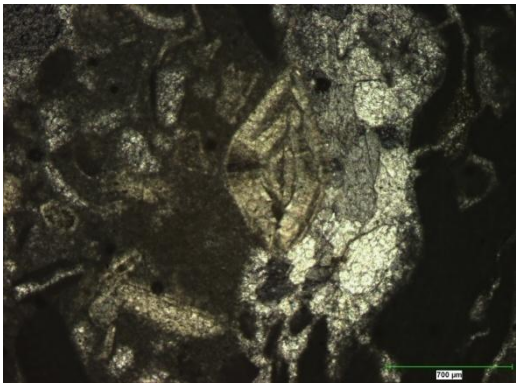
(c)



(d)

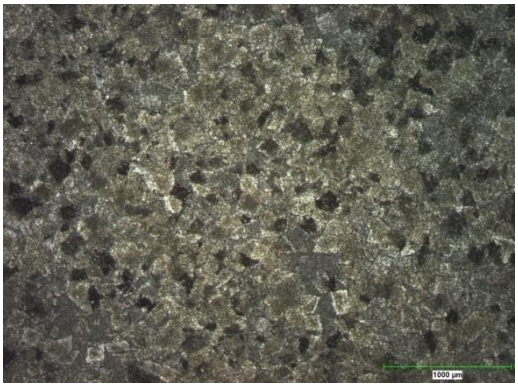


(e)



(f)

(g)

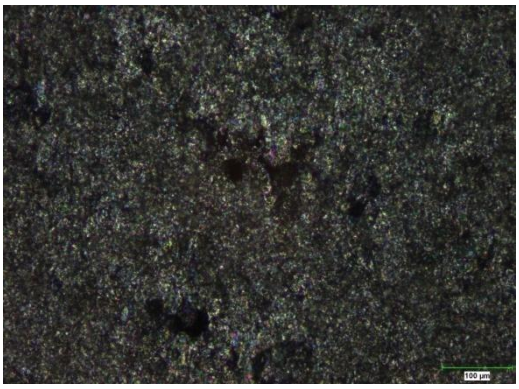


(h)

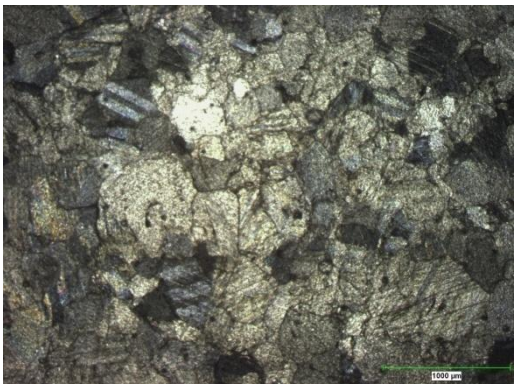
Resim 5.1. Sedimanter mermer numunelerinin polarize mikroskop görüntüleri;

(c) Bursa Bej-Külrengi (d) Toros Bej-Krem (e) Bursa Bej-Krem

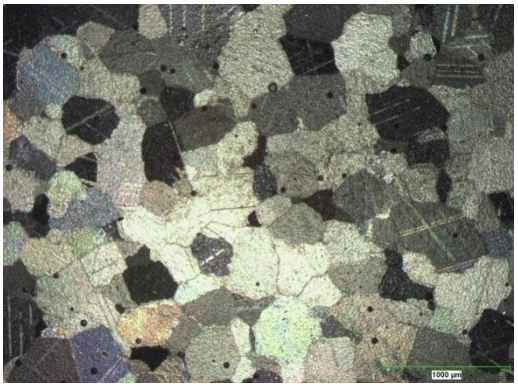
(f) Hazar Pembe (g) Bilecik Pembe (h) Vize Pembe



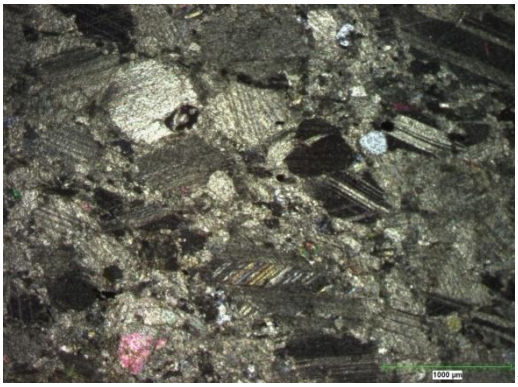
(a)



(b)



(c)



(d)

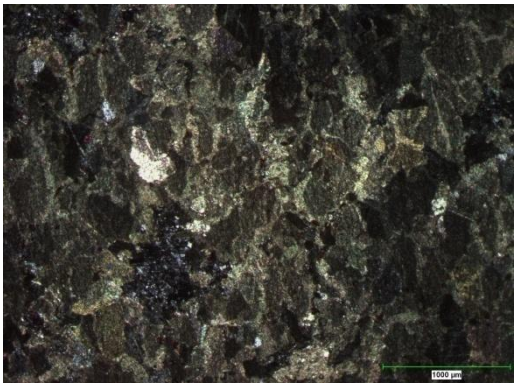
(e)

(f)

Resim 5.2. Metamorfik mermer numunelerinin polarize mikroskop görüntüleri;

(a) Konya Yeşil (b) Afyon Kaymak (c) Afyon Kaplan postu

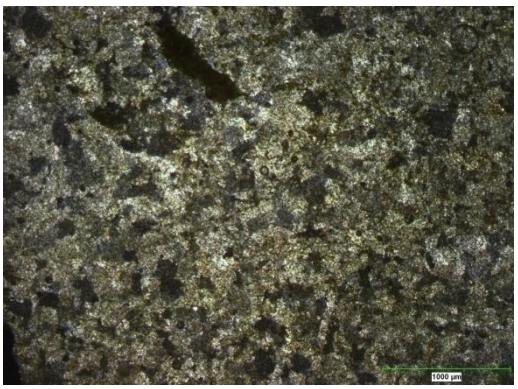
(d) Manyas Bej (e) Marmara Adası (f) Afyon Çizgili Şeker

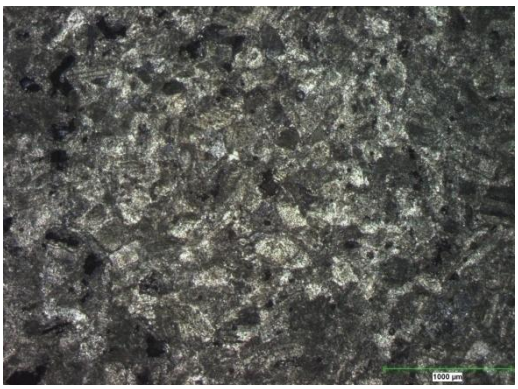


(g) (h)

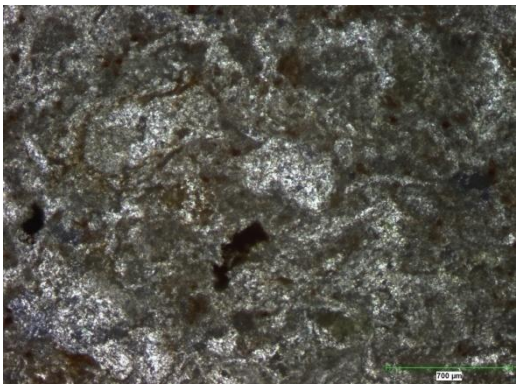
Resim 5.2. Metamorfik mermer numunelerinin polarize mikroskop görüntüleri;

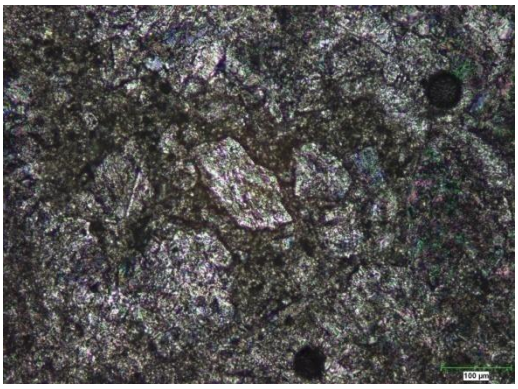
(g) Eskişehir Süpren (h) Milas Granit





(a) (b)





(c) (d)

Resim 5.3. Traverten numunelerinin polarize mikroskop görüntüleri;

(a) Sivas Sarı Traverten (b) Antalya-Finike

(c) Balıkesir Yavruağzı (d) Denizli Traverteni

6. SONUÇLAR

Sedimanter mermer numunelerine ait ultrases hız ve yutulma değerlerinin tanecik boyutları ile ilişkilendirilmesi söz konusu olduğunda aralarında doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır. Yine metamorfik ve traverten kayaçlar arasında da aynı ilişki mevcuttur. Numunelerden alınan sonuçlar türe göre ayırmaksızın tekrarlandığında traverten numunelerinin uyum göstermediği fakat diğer iki grubun kendi arasında uyumlu olduğu görülmüştür. Bunun sebebini genel olarak boşluklu bir yapıya sahip olan traverten numunelerinde elde edilen ultrases ölçümlerindeki ultrases dalga hızının ve yutulma miktarının büyük ölçüde etkilenmesine bağlanabilir. Çünkü Bölüm 2.5'te ve Bölüm 2.7.1'de belirtildiği üzere ultrases dalgası numune içerisinde ilerlerken herhangi bir boşluğa, çatlağa veya kırığa rastladığında geri yansıyabilmekte veya kırılmaya uğrayabilmektedir.

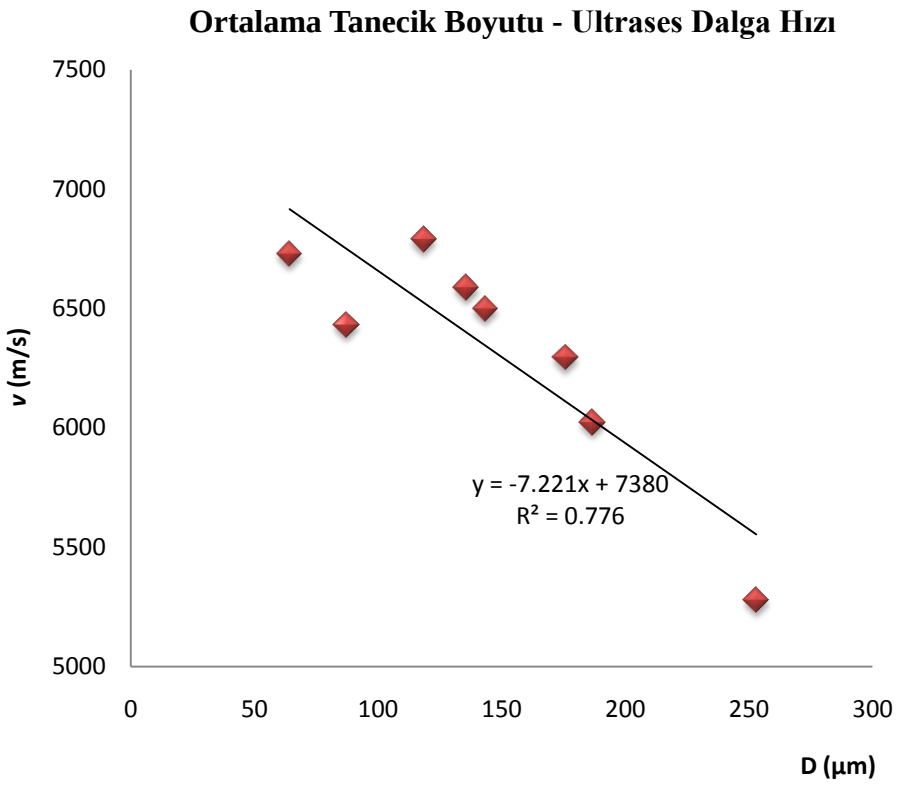
Tüm numunelerde tanecik boyutu büyüdükçe ultrases dalga hızı küçülmüş, ultrases yutulma miktarına bağlı olarak elde edilen katsayısı artmıştır. Bunun nedeni tanecik boyutlarının değişmesi ve aynı zamanda numunelere ait kristalografik yapıların değişmesi denilebilir. Numunelerde kullanılan 2 MHz'lik ve 4 MHz'lik iki transducer kullanılmış olduğundan değerlendirmeler iki ayrı frekansa göre ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Sonuçlara bakıldığında numunelere gönderilen farklı iki frekans için ultrases dalga hızı ve ultrasonik yutulma katsayısı arasında büyük ölçüde farklılık oluşmamış ve elde edilen grafikler yaklaşık olarak aynı oranda tutarlılık göstermiştir.

6.1. UV Metodu

Ultrases dalga hızı ile tanecik boyutu ilişkilendirilmesi için iki farklı frekans ve üç ayrı numune grubu üzerinden değerlendirilecektir ve bunun için polarize mikroskop ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda alınan tanecik boyutları ve numune içerisine gönderilen ultrases dalgalarından elde edilen hız değerleri kullanılacaktır.

6.1.1. Sedimanter

Sedimanter mermer numuneleri 8 tip olup *f=2 MHz* için alınan ultrases hız ölçüm değerleri ile birlikte deneysel olarak ölçülen ortalama tanecik boyutları ile elde edilen grafik Şekil 6.1'de görülmektedir.



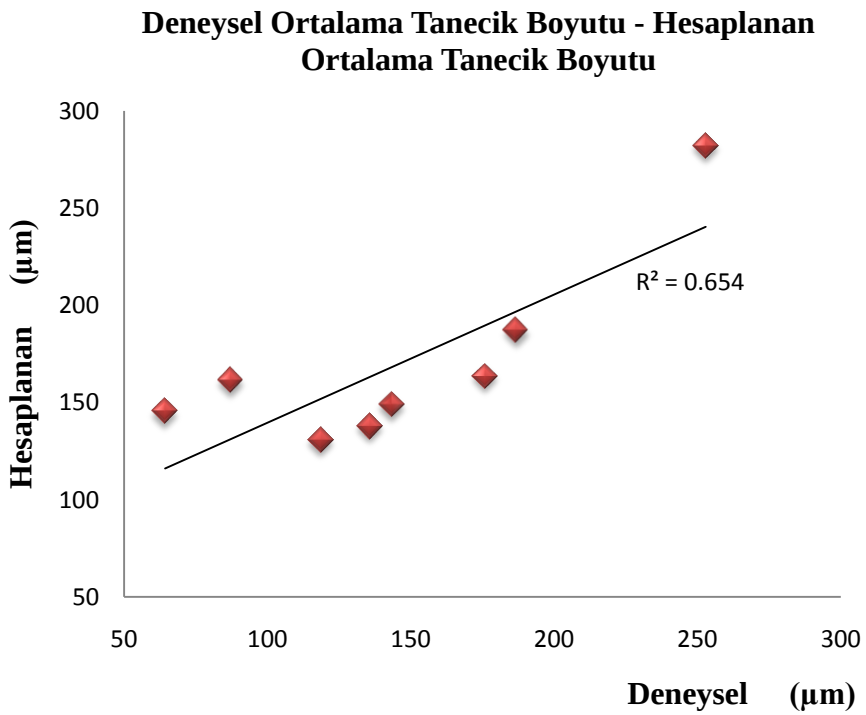
Şekil 6.1. Sedimanter mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği.

Mermer numunelerine ait tanecik boyutları ile ultrases dalgalarının numune içerisinden geçiş hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür ve numunelere ait ortalama tanecik boyutları arttıkça ultrases dalga hızı azalmıştır. Şekil 6.1'de verilmiş olan grafikte fit edilmiş doğrunun eğimi kullanılarak $y = -7.221x + 7380$ denklemi bulunmuştur. Bu denklem ile numunelere ait ortalama tanecik boyutları belirlenmiş ve bununla birlikte deneysel ortalama tanecik boyutları, *f=4 MHz* için ölçülmüş olan ultrases dalga hızı ve deneysel tanecik boyutu ile hesaplanan tanecik boyutu arasındaki

fark Çizelge 6.1'de verilmiştir. Bunlara ek olarak deneysel değerlerle deneysel sonuçların karşılaştırılması Şekil 6.2'de mevcuttur.

Çizelge 6.1. Sedimanter mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrases dalga hızı hesaplanan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

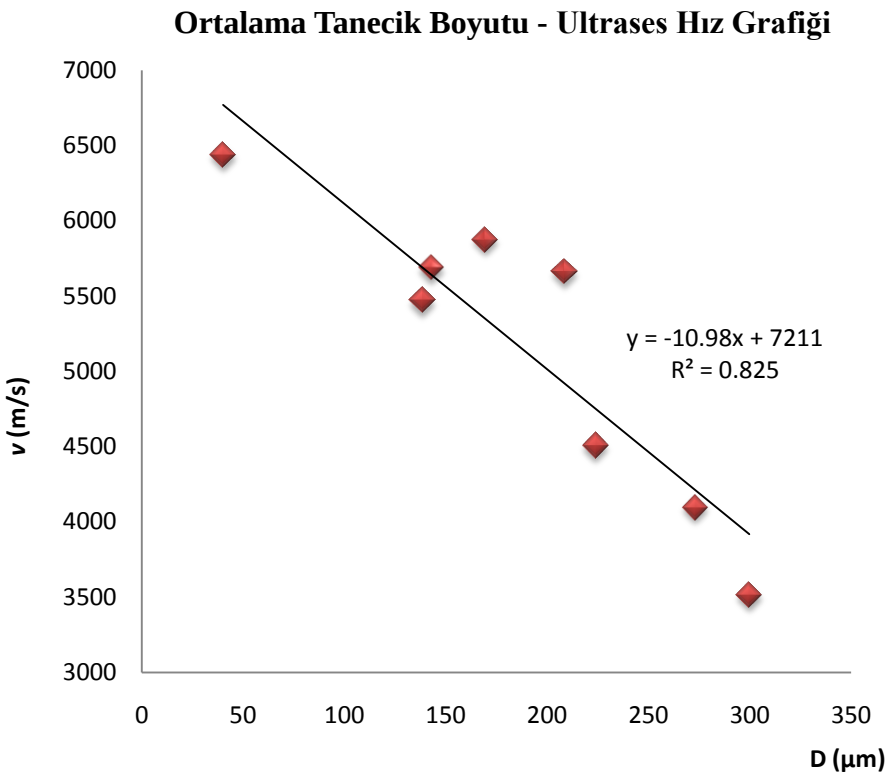
Numuneler	Ultrases Hızı (m/s)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Toros Bej-Pembe	6329.67	145.46	64.29	81.17
Akhisar Oniks	5343.83	281.98	252.94	29.04
Bursa Bej-Külrengi	6304.50	148.94	143.37	5.57
Toros Bej-Krem	6384.67	137.84	135.66	2.18
Bursa Bej-Krem	6213.83	161.50	87.32	74.18
Hazar Pembe	6198.67	163.60	175.93	12.33
Bilecik Pembe	6028.17	187.21	186.76	0.45
Vize Pembe	6436.00	130.73	118.63	12.10



Şekil 6.2. Sedimanter mermer numuneleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.1.2. Metamorfik

Metamorfik mermer numuneleri de 8 tip olup *f=2 MHz* için alınan ultrases hız ölçüm değerleriyle birlikte deneysel olarak ölçülen ortalama tanecik boyutları ile oluşturulan grafik Şekil 6.3'de verilmiştir.



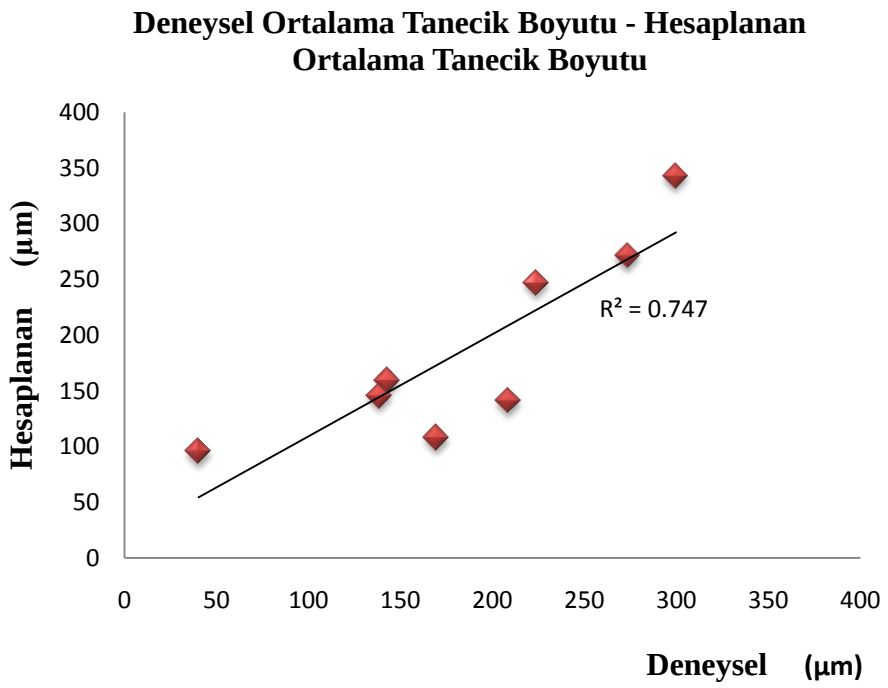
Şekil 6.3. Metamorfik mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği.

Metamorfik kayaçlar üzerinden alınan ölçümlerde, sedimanter kayaçlarda olduğu gibi ultrases dalga hızı ile ortalama tanecik boyutu arasındaki doğrusal ilişki gözlemlenebilmektedir. Şekil 6.3'de bulunan grafikte fit edilmiş doğrunun eğimi kullanılarak $y = -10.98x + 7211$ denklemi bulunmuştur. Yine bu denklem ile numunelere ait ortalama tanecik boyutları belirlenmiş ve bununla birlikte deneysel ortalama tanecik boyutları, *f=4 MHz* için ölçülmüş olan ultrases dalga hızı ve deneysel

tanecik boyutu ile hesaplanan tanecik boyutu arasındaki fark Çizelge 6.2'de gösterilmektedir. Deneysel değerlerle deneysel sonuçların karşılaştırılması Şekil 6.4'de belirlenmiştir.

Çizelge 6.2. Metamorfik mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrases dalga hızı, hesaplanan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

Numuneler	Ultrases Hızı (m/s)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$
		Hesaplanan	Deneysel	$\Delta\overline{D}$
Konya Yeşil	6160.00	95.72	40.23	55.49
Afyon Kaymak	3447.00	342.81	299.77	43.04
Afyon Kaplan postu	4228.33	271.65	273.33	1.68
Manyas Bej	6022.67	108.23	169.68	61.45
Marmara Adası	4501.00	246.81	223.85	22.96
Afyon Çizgili Şeker	5612.33	145.60	138.48	7.12
Eskişehir Süpren	5464.50	159.06	142.97	16.09
Milas Granit	5657.33	141.50	208.55	67.05

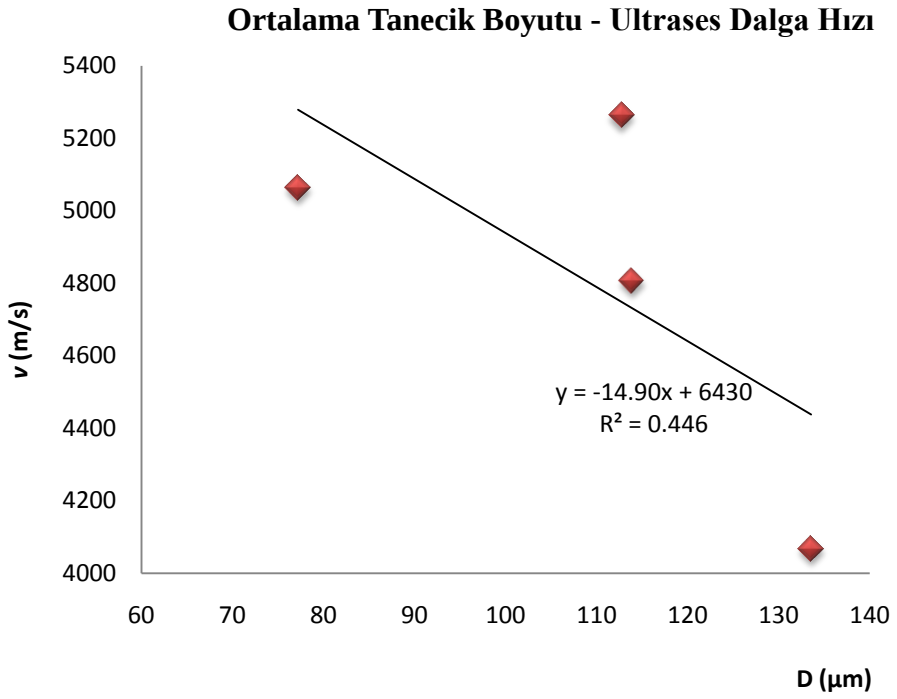


Şekil 6.4. Metamorfik mermer numuneleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.1.3. Traverten

Traverten numuneleri ise 4 tip olup *f=2 MHz* için alınan ultrases hız ölçüm değerleri ile birlikte deneysel olarak ölçülen ortalama tanecik boyutları kullanılarak elde edilen grafik Şekil 6.5'de verilmiştir.

.

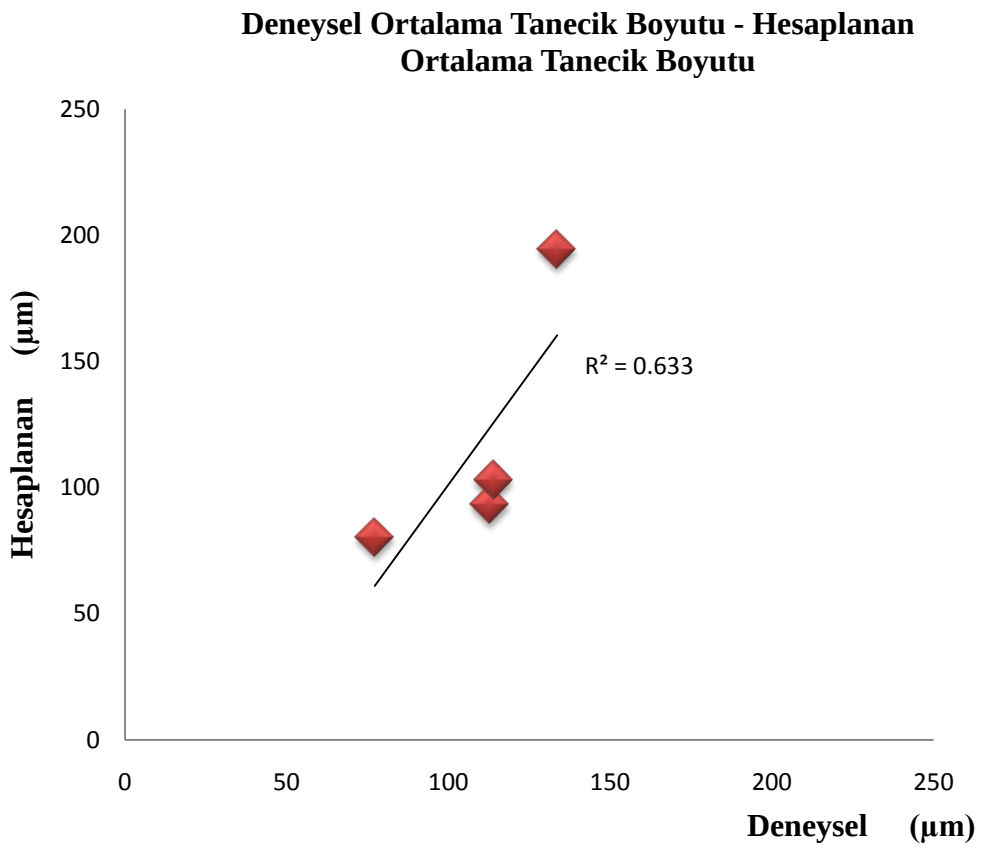


Şekil 6.5. Traverten numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği.

Traverten kayaçlar, sedimanter ve metamorfik kayaçlarda gözlemlenen tüm değerlerle uyumlu şekilde sonuç vermiştir yine değerler arasında doğrusal bir eğime ulaşılmıştır. Şekil 6.5'te görüldüğü gibi tanecik boyutu arttıkça ultrases dalga hızı azalmıştır. Hesaplanan ve deneysel olan ortalama tanecik boyutunun karşılaştırılması için Şekil 6.3'de bulunan grafikte fit edilmiş doğrunun eğimi kullanılarak $y = -10.98x + 7211$ denklemi bulunmuştur. Doğruya ait denklem ile numunelere ait ortalama tanecik boyutları belirlenmiş ve böylece deneysel ortalama tanecik boyutları, *f=2 MHz* için ölçülmüş olan ultrases dalga hızı ve deneysel tanecik boyutu ile hesaplanan tanecik boyutu arasındaki fark Çizelge 6.2'de verilmiştir. Şekil 6.6'da, deneysel değerlerle deneysel sonuçların karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.3. Traverten numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrases dalga hızı, hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

Numuneler	Ultrases Hızı (m/s)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Sivas Sarı Traverten	5041.33	93.20	112.75	19.55
Antalya-Finike	3532.83	194.44	133.58	60.86
Balıkesir Yavruağzı	4896.00	102.95	113.88	10.93
Denizli Traverteni	5234.17	80.26	77.22	3.04



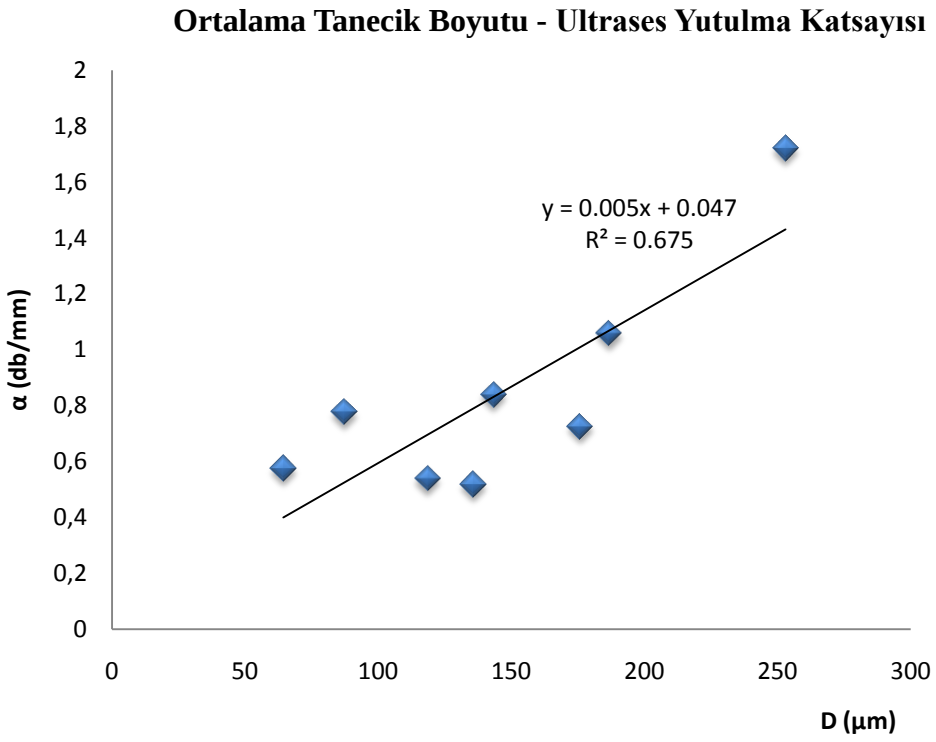
Şekil 6.6. Traverten numuneleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.2. UA Metodu

Ultrasonik yutulma katsayısı ile tanecik boyutu ilişkilendirilmesi için yine iki farklı frekans ve üç ayrı numune grubu üzerinden değerlendirme yapılacak ve bunun için yine polarize mikroskop ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda alınan tanecik boyutları ile birlikte elde edilen ultrasonik yutulma katsayısı kullanılacaktır.

6.2.1. Sedimanter

Ultrases dalga hızı alınan tüm sedimanter mermer numuneleri üzerinden alınan ultrasonik yutulma katsayısı değerleri ile *f=2 MHz* için elde edilen grafik Şekil 6.7'de verilmiştir.

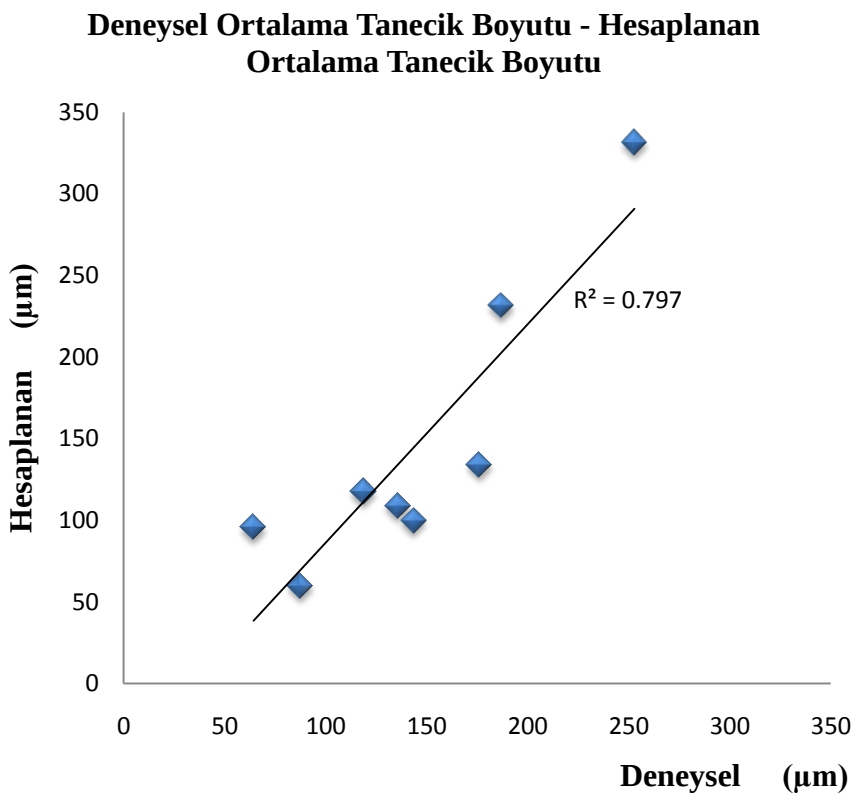


Şekil 6.7. Sedimanter mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği.

Mermer numunelerine gönderilen ultrases dalgalarının numune içerisinde soğrulma miktarındaki artış, tanecik boyutunun artması ile birlikte arka cidar yansıması genliğindeki azalma ve bunun sonucu olarak yutulma miktarındaki artış gözlemlenebilmektedir. Şekil 6.7 referans alınarak y = 0.005x + 0.047 denklemi ile ortalama tanecik boyutları hesaplanmıştır. Bu değerlerle birlikte deneysel ortalama tanecik boyutları, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrasonik yutulma katsayısı ve deneysel tanecik boyutu ile hesaplanan tanecik boyutu arasındaki fark Çizelge 6.4'te verilmiş olup deneysel ve hesaplanan ortalama tanecik boyutlarının karşılaştırılması Şekil 6.8'de mevcuttur.

Çizelge 6.4. Sedimanter mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrasonik yutulma katsayısı, hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

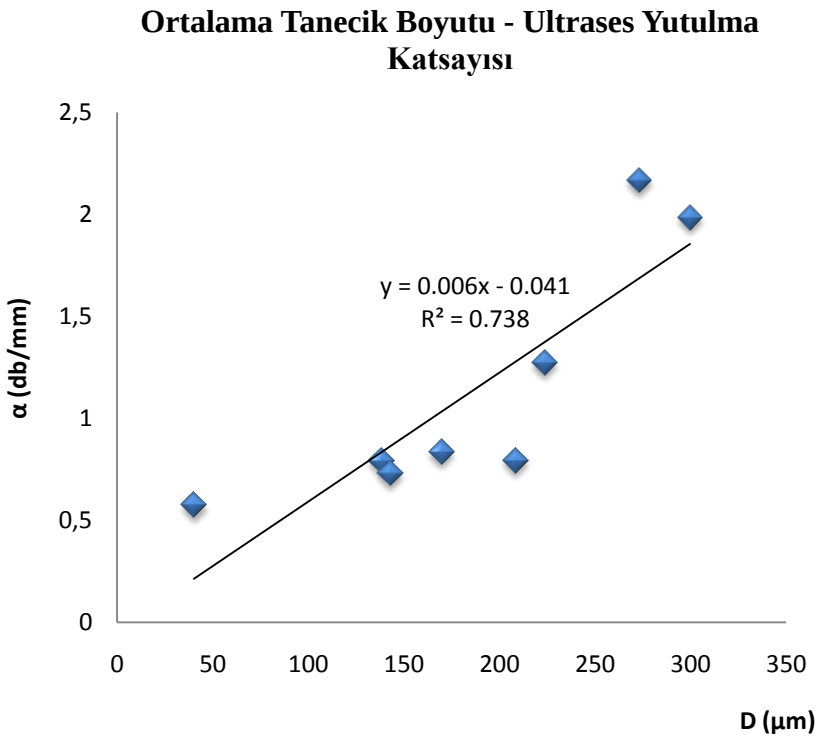
Numuneler	α (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$
		Hesaplanan	Deneysel	$\Delta\overline{D}$
Toros Bej-Pembe	0.525	95.60	64.29	31.31
Akhisar Oniks	1.704	331.33	252.94	78.39
Bursa Bej-Külrengi	0.545	99.60	143.37	43.77
Toros Bej-Krem	0.591	108.76	135.66	26.90
Bursa Bej-Krem	0.345	59.66	87.32	27.66
Hazar Pembe	0.718	134.21	175.93	41.72
Bilecik Pembe	1.204	231.42	186.76	44.66
Vize Pembe	0.636	117.74	118.63	0.89



Şekil 6.8. Sedimanter mermer numunelerinde, hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.2.2. Metamorfik

Şekil 6.9'da, ultrases dalga hızı ölçülmüş olan tüm metamorfik mermer numuneleri üzerinden *f=2 MHz* için ölçümlenmiş ultrasonik yutulma katsayısı değerleri ile deneysel ortalama tanecik boyutlarından elde edilen grafik görülmektedir.

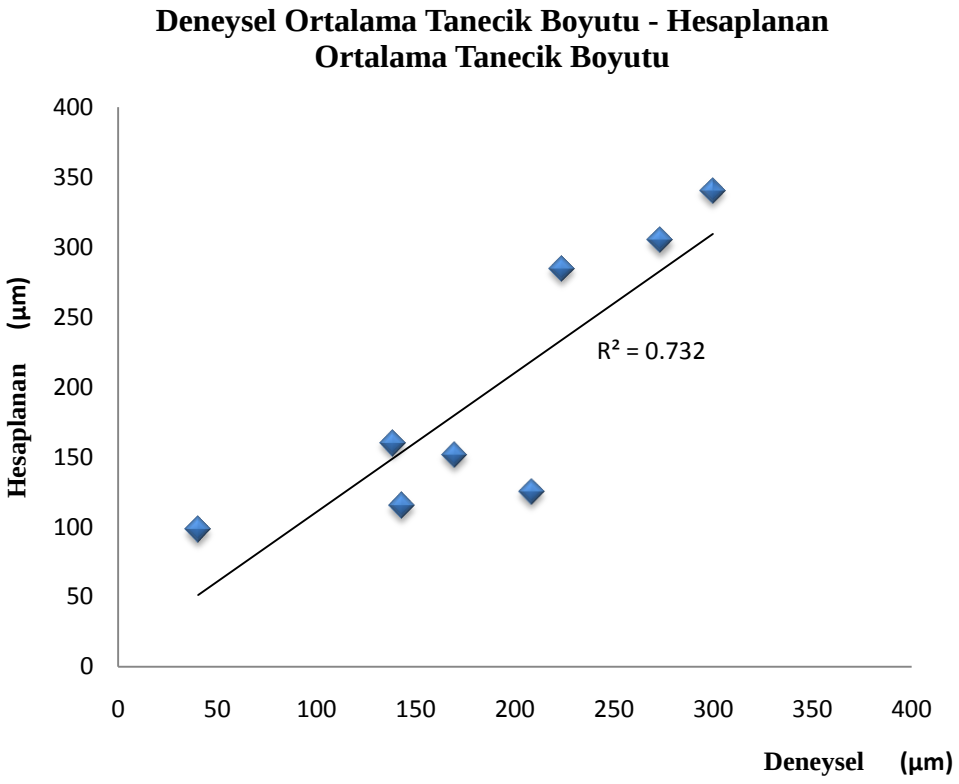


Şekil 6.9. Metamorfik mermer numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği.

Metamorfik mermer örneklerine göndermiş olduğumuz ultrases dalgalarının numune içerisinde soğrulma miktarındaki artış, yutulma miktarında da artışa sebebiyet vermekle birlikte Şekil 6.9'da tanecik boyutunun da arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.9'da bulunan grafik referans alınarak y = 0.006x – 0.041 denklemi ile ortalama tanecik boyutları hesaplandığında, bu değerlerle birlikte deneysel ortalama tanecik boyutları, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrasonik yutulma katsayısı ve deneysel tanecik boyutu ile hesaplanan tanecik boyutu arasındaki fark Çizelge 6.5'te verilmiştir. Deneysel ve hesaplanan ortalama tanecik boyutlarının karşılaştırılması Şekil 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.5. Metamorfik mermer numunelerinde, *f=4 MHz*'te ölçülen ultrasonik yutulma katsayısı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

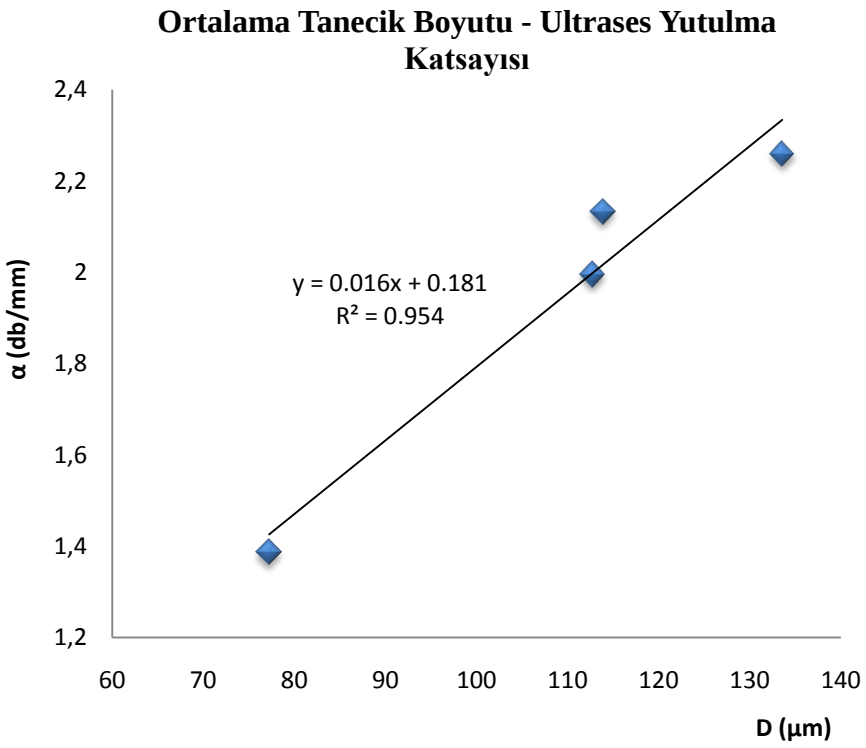
Numuneler	α - (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Konya Yeşil	0.547	98.00	40.23	57.77
Afyon Kaymak	2.000	340.17	299.77	40.40
Afyon Kaplan postu	1.787	304.68	273.33	31.35
Manyas Bej	0.866	151.24	169.68	18.44
Marmara Adası	1.665	284.33	223.85	60.48
Afyon Çizgili Şeker	0.918	159.81	138.48	21.33
Eskişehir Süpren	0.649	115.08	142.97	27.89
Milas Granit	0.709	124.99	208.55	83.56



Şekil 6.10. Metamorfik mermer numunelerinde hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.2.3. Traverten

Sedimanter ve metamorfik mermer numunelerinde olduğu gibi yine ultrases dalga hızı ölçülen 4 traverten numunesine ait ultrases yutulma katsayıları saptanarak tanecik boyutları ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirme Şekil 6.11'de görülmektedir.



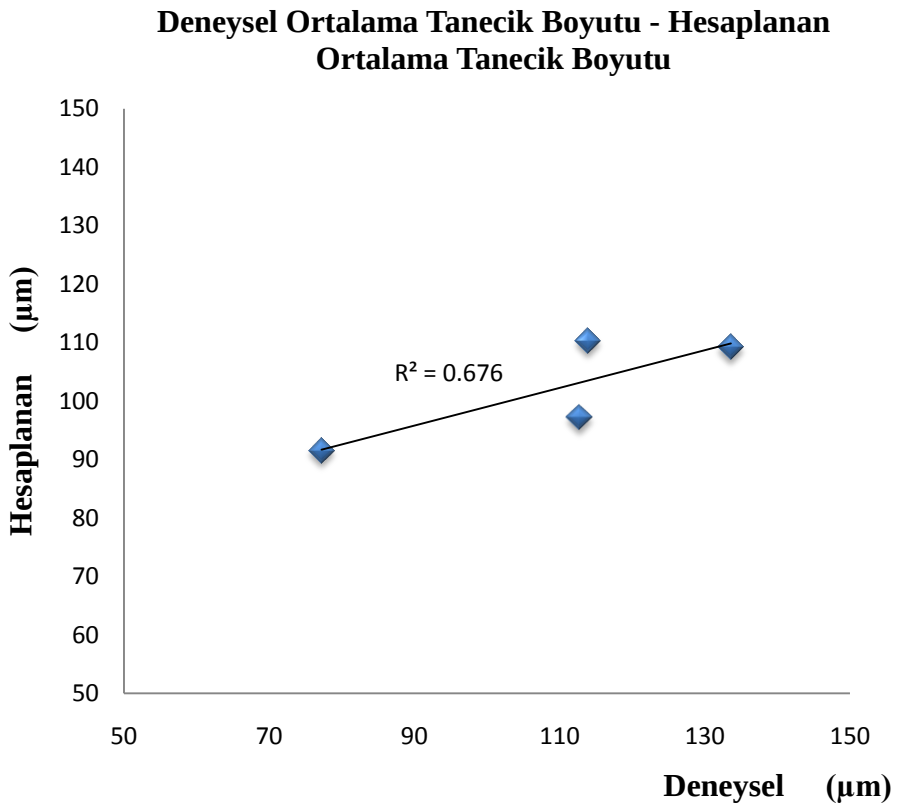
Şekil 6.11. Traverten numuneleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği.

Ortalama tanecik boyutu ile ultrasonik yutulma katsayısı arasındaki doğrusal ilişki Şekil 6.11'de görüldüğü gibidir. Grafikteki fit doğrusunun eğimi referans alınarak elde edilen hesaplanmış ortalama tanecik boyutları için y = 0.016x + 0.181 denklemi kullanılmıştır. Traverten numunelerinde *f=4 MHz* için hesaplanmış ve deneysel ortalama tanecik boyutları ve bunların dışında yine *f=4 MHz* için ölçülmüş olan ultrases yutulma katsayıları ve deneysel tanecik boyutu ile hesaplanan tanecik boyutu arasındaki fark

Çizelge 6.6'da bulunmaktadır. Son olarak hesaplanmış ve deneysel ortalama tanecik boyutlarının karşılaştırılması Şekil 6.12'de verilmektedir.

Çizelge 6.6. Traverten numunelerinde, *f=4 MHz* için ölçülmüş olan ultrases yutulma katsayıları, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve standart sapma değeri.

Numuneler	α (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\frac{\lvert \overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort} \rvert}{\Delta \overline{D}}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Sivas Sarı Traverten	1.736	97.20	112.75	15.55
Antalya-Finike	1.928	109.16	133.58	24.42
Balıkesir Yavruağzı	1.946	110.31	113.88	3.57
Denizli Traverteni	1.645	91.48	77.22	14.26



Şekil 6.12. Traverten numunelerinde hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

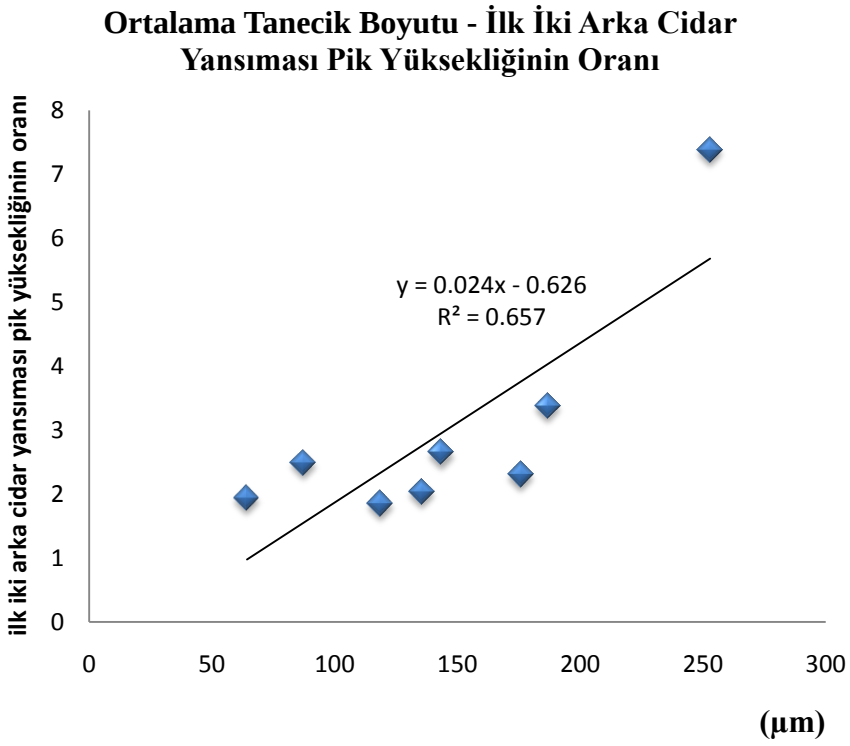
Traverten kayaçlar da sedimanter ve metamorfik kayaçlarda gözlemlenen tüm değerlerle uyumlu şekilde sonuçlar görülmektedir. Şekil 6.11'de görüldüğü gibi tanecik boyutu arttıkça ultrasonik yutulma katsayısı yutulmadan dolayı artma göstermiştir ve ayrıca Şekil 6.12'de görüldüğü gibi hesaplanmış olan ve deneysel olarak ölçülmüş olan ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişki de doğrusaldır.

6.3. URA Metodu

Son olarak, Bölüm 2.8'de anlatılan ilk arka cidar yansıması pik yüksekliği ölçüm (URA, Ultrasonic Relative Attenuation) metodu kullanılarak elde edilen sonuçları değerlendirelim. Bu ilişkinin incelenmesi için Bölüm 5.3'te verilmiş olan Çizelge 5.3'teki pik yükseklikleri ile bunların birbirine olan oranı ve ayrıca Bölüm 5.4'te verilen Çizelge 5.4'te ki deneysel ortalama tanecik boyutları kullanılmıştır.

6.3.1. Sedimanter

Değerlendirme altına alınan tüm sedimanter mermer numuneleri için; $f=2$ *MHz*'de ölçülmüş olan ilk iki arka cidar pik yüksekliğinin oranı ile birlikte numunelere ait deneysel ortalama tanecik boyutları kullanılarak Şekil 6.13 oluşturulmuştur.

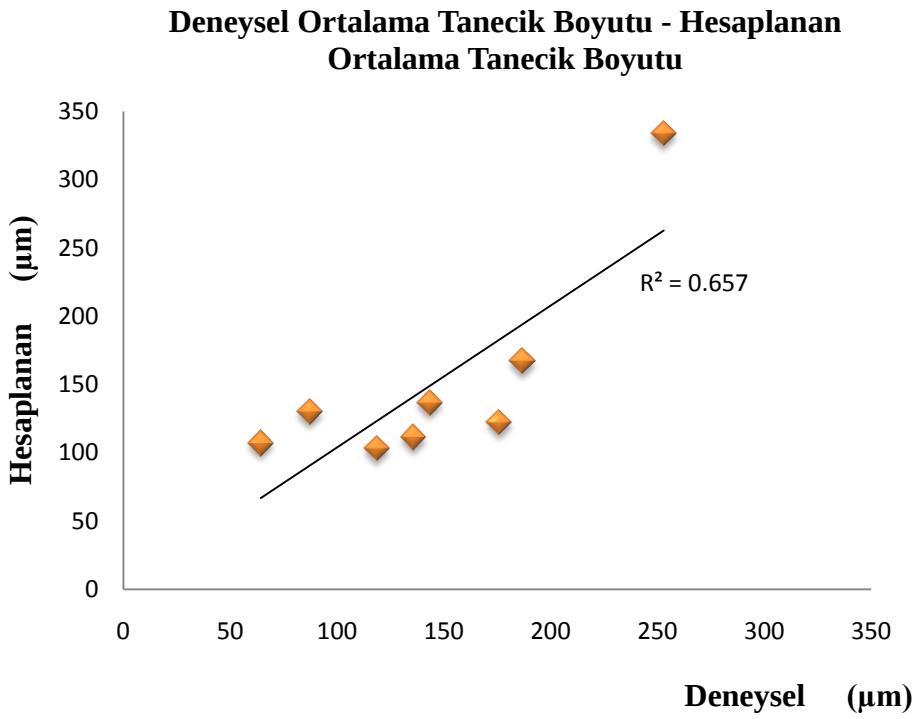


Şekil 6.13. Sedimanter mermer numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik.

Şekil 6.13'de sedimanter mermer numunelerinin ortalama tanecik boyutları ile numunelere gönderildiği anda numune içerisinde soğrulmaya uğrayan ultrases dalgasının arka cidardan gelen ilk iki yansıma pikinin oranı arasındaki ilişkinin doğrusallığı görülmektedir. Bununla birlikte numunelerin deneysel ortalama tanecik boyutu arttıkça ilk iki arka cidar yansıması pik yüksekliğinin oranı da arttığı rahatça gözlemlenmektedir. Şekil 6.13 referans alınarak y = 0.024x – 0.626 denklemi kullanılarak *f=4 MHz* için bulunan değerler Çizelge 6.7'de ve burada elde edilen hesaplanmış ortalama tanecik boyutları ile deneysel ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişki Şekil 6.14'de mevcuttur.

Çizelge 6.7. Sedimanter mermer örnekleri için ilk iki ardışık ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

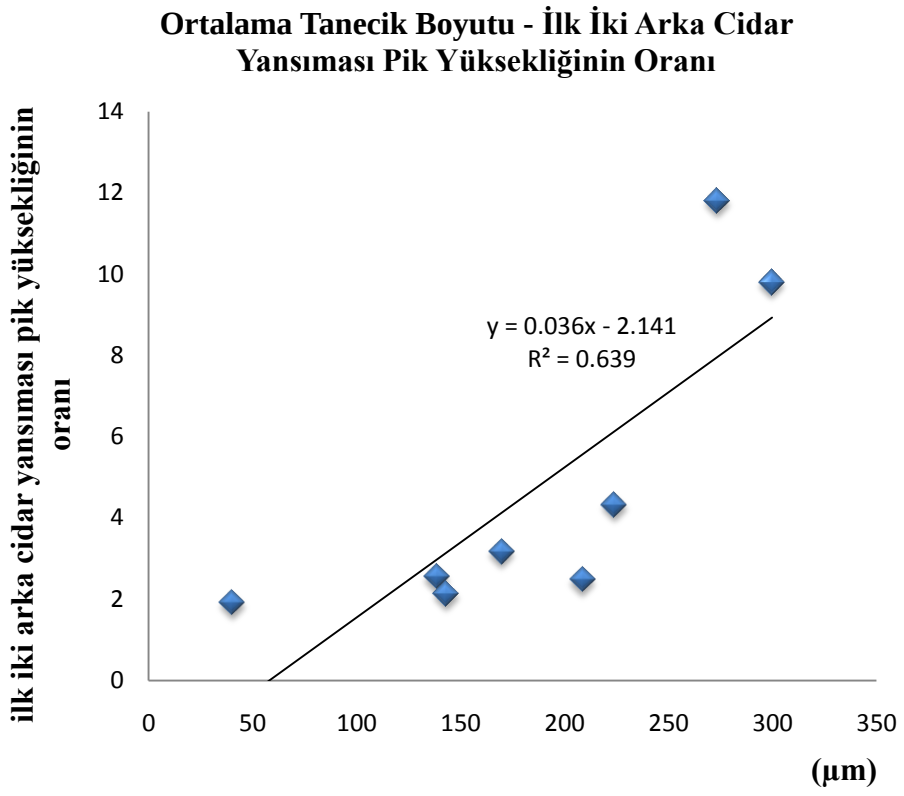
Numuneler	A_1/A_2 (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Toros Bej-Pembe	1.83	106.87	64.29	42.58
Akhisar Oniks	7.25	333.78	252.94	80.84
Bursa Bej-Külrengi	1.88	136.44	143.37	6.93
Toros Bej-Krem	2.26	111.15	135.66	24.51
Bursa Bej-Krem	1.50	129.72	87.32	42.40
Hazar Pembe	2.29	122.01	175.93	53.92
Bilecik Pembe	4.00	166.89	186.76	19.87
Vize Pembe	2.06	103.13	118.63	15.50



Şekil 6.14. Sedimanter mermer numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.3.2. Metamorfik

Şekil 6.15'de, tüm metamorfik mermer numuneleri için; *f=2 MHz*'de ölçülmüş olan ilk iki arka cidar pik yüksekliğinin oranı ile birlikte numunelere ait deneysel ortalama tanecik boyutları kullanılmaktadır.

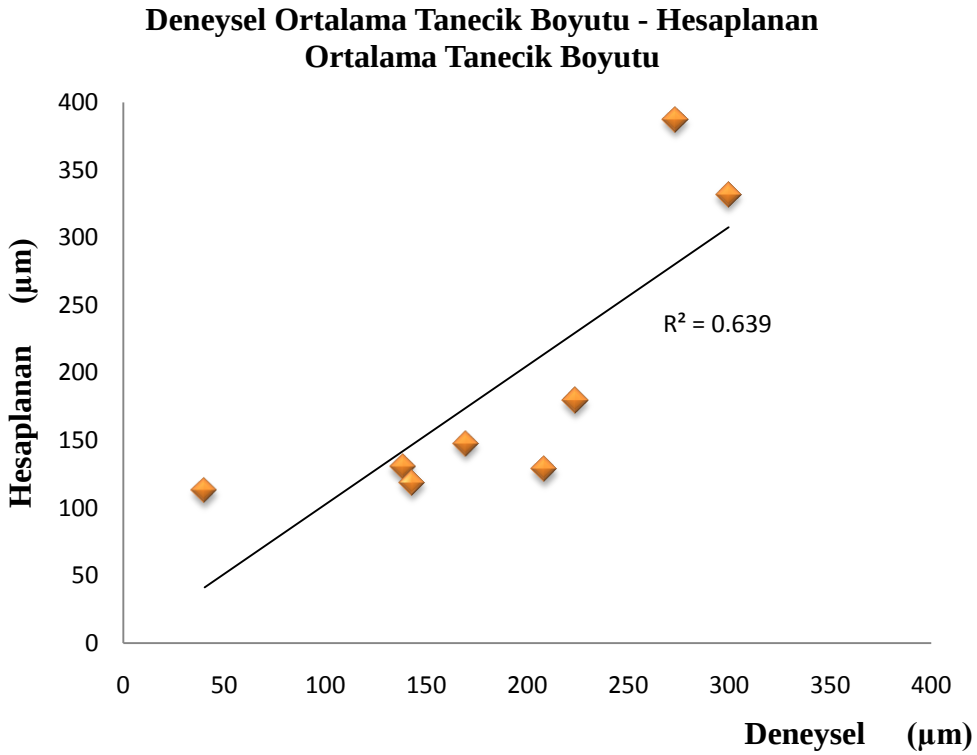


Şekil 6. 15. Metamorfik mermer numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik.

Tanecik boyutlarının belirlendiği bu son yöntemde, metamorfik mermer numuneleri için de grafiklerdeki doğrusallık bozulmamıştır. Yine, numunelerin deneysel ortalama tanecik boyutu arttıkça ilk iki arka cidar yansıması pik yüksekliğinin oranı da arttığı görülmüştür. Şekil 6.15'in referans alınması ile fit doğrusunun denklemi olan y = 0.036x – 2.141 kullanılması sonucu *f=4 MHz* için bulunan sonuçlar, Çizelge 6.8'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hesaplanmış ortalama tanecik boyutları ile deneysel ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişki Şekil 6.16'da verilmektedir.

Çizelge 6.8. Metamorfik mermer örnekleri için ilk iki ardışık ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

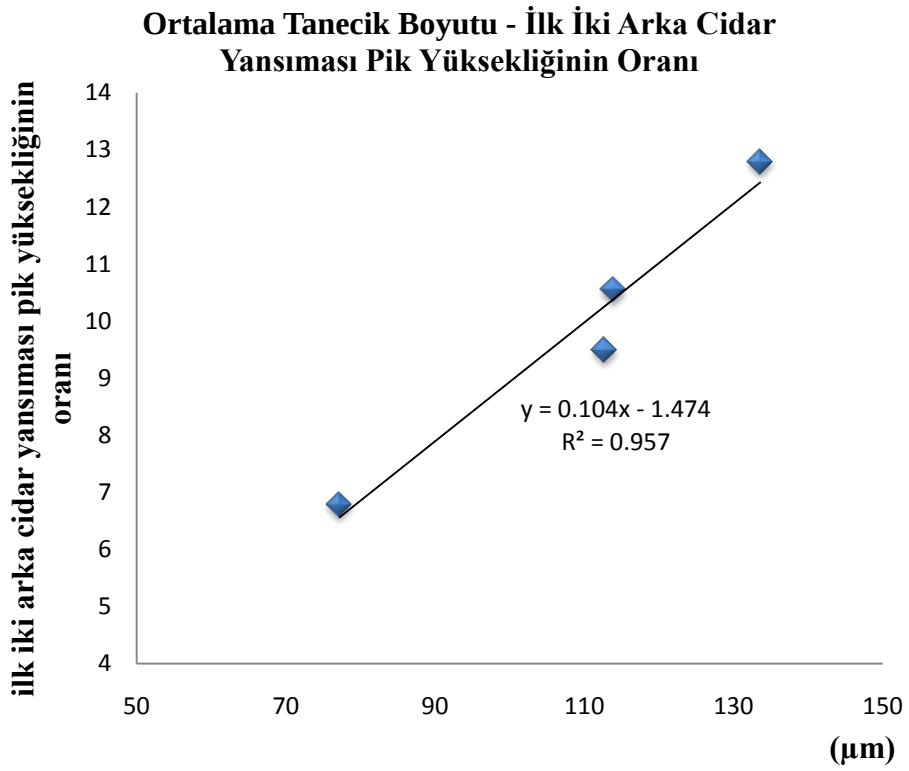
Numuneler	A_1/A_2 (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{Hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Konya Yeşil	1.87	112.85	40.23	72.62
Afyon Kaymak	10.00	331.69	299.77	31.92
Afyon Kaplan postu	7.67	387.25	273.33	113.92
Manyas Bej	3.31	147.29	169.68	22.39
Marmara Adası	7.33	179.36	223.85	44.49
Afyon Çizgili Şeker	2.97	130.38	138.48	8.10
Eskişehir Süpren	1.96	118.65	142.97	24.32
Milas Granit	2.26	128.56	208.55	79.99



Şekil 6.16. Metamorfik mermer numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.3.3. Traverten

Metamorfik ve sedimanter mermer numunelerinde olduğu gibi traverten numuneleri için de; *f=2 MHz*'de ölçülmüş olan ilk iki arka cidar pik yüksekliğinin oranı ile numunelere ait deneysel ortalama tanecik boyutlarının karşılaştırılması Şekil 6.17'de verilmiştir.

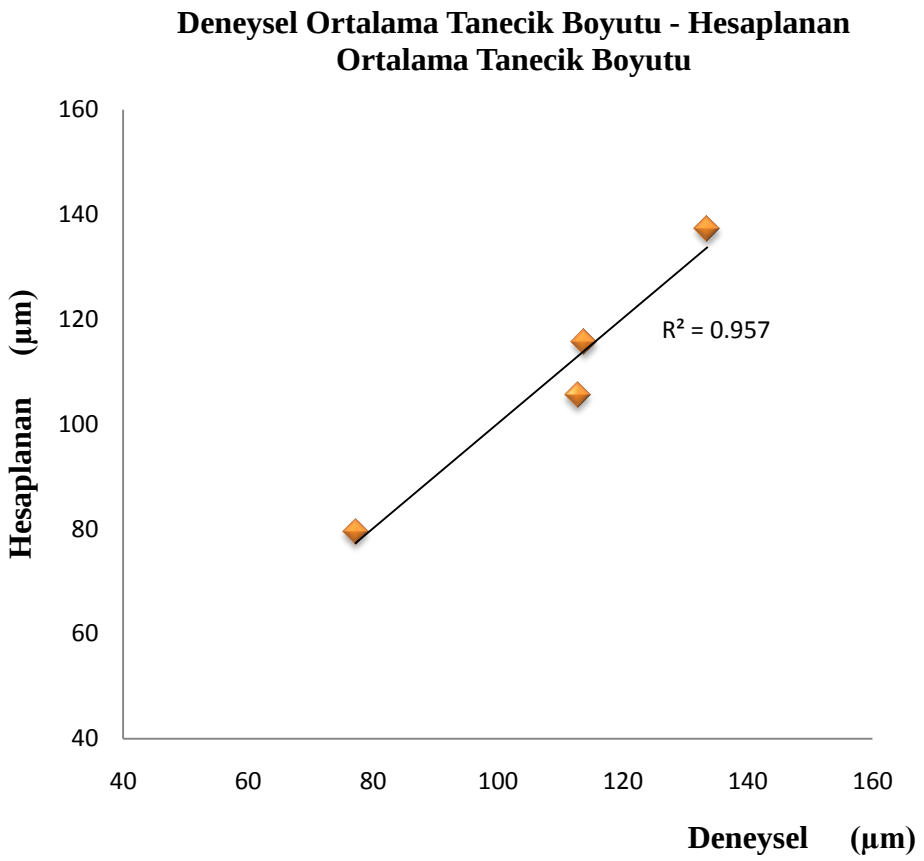


Şekil 6.17. Traverten numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik.

Sedimanter ve metamorfik mermer numunelerinde görülen doğrusallık, traverten numunelerinde de kendini göstermiştir. Hatta grafikteki fit eğrisinin değerine bakarsak 1'e yakın olan $R^2 = 0.957$ değeri oldukça iyi sonuç alındığını göstermektedir. *f=2 MHz* değerinde alınan sonuçlar kullanılarak elde grafikte, $y = 0.104x - 1.474$ denkleminin kullanılmasıyla *f=4 MHz* için bulunan veriler Çizelge 6.9'da ve karşılaştırılmanın yapıldığı grafik Şekil 6.18'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 6.9. Traverten örnekleri için ilk iki ardışık ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

Numuneler	A_1/A_2 (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Sivas Sarı Traverten	7.09	105.52	112.75	7.23
Antalya-Finike	8.80	137.25	133.58	3.67
Balıkesir Yavruağzı	8.33	115.67	113.88	1.79
Denizli Traverteni	9.70	79.42	77.22	2.20



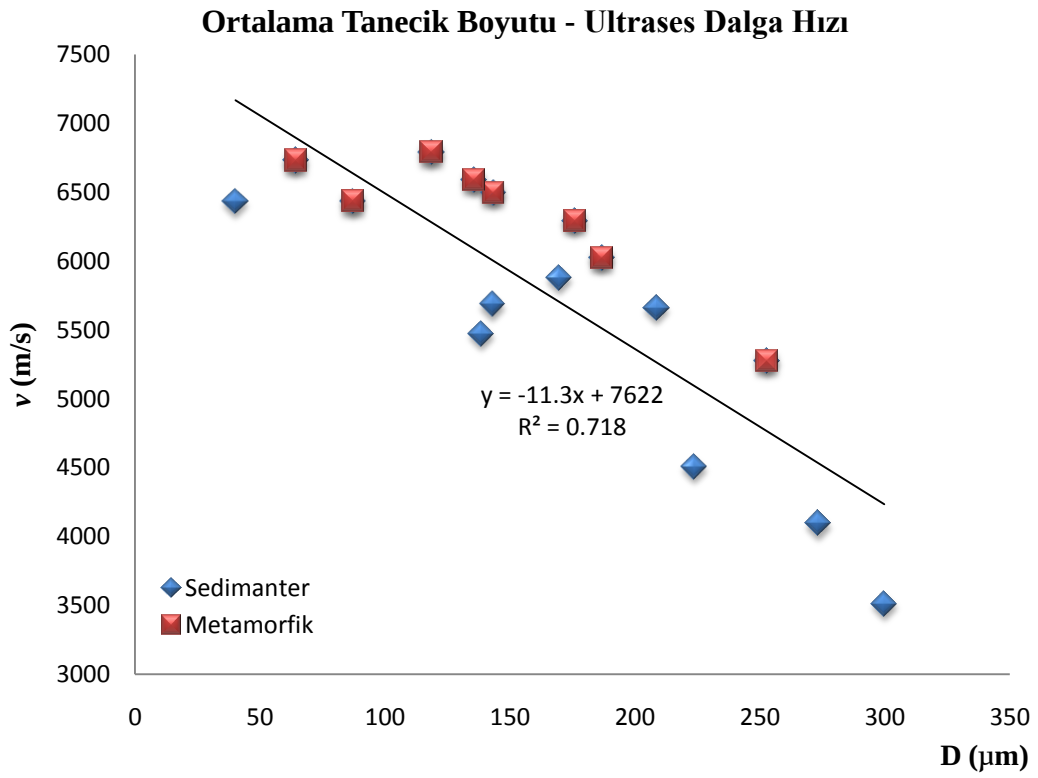
Şekil 6.18. Traverten numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.4. Mermer Değerlendirmeleri

Mermerlerin grup olarak ayrılması sonucu değerler tutarlı çıkarken birlikte yapılan değerlendirmelerde sadece sedimanter mermerler ile metamorfik mermerlerin yine uyumlu sonuçlar içerisinde olduğu görülmüştür. Travertenlerin dahil edilmesi ile grafiklerde gözlemlenen doğrusallık bozulmuştur. Bunun sebebini traverten kayaçların diğer numunelere göre daha fazla boşluk içermesine bağlayabiliriz. Dolayısıyla yapı değişikliği de gösteren bu mermerlerde ultrasesin yapı içerisinde ilerlerken uğradığı yansımalar ve kırılmalar arttığından sonuçlar tutarsızlık göstermektedir.

6.4.1. Hız Metodu

Sedimanter ve metamorfik mermer örneklerinin tümü için *f=2 MHz*'te alınan ultrases hız değerleriyle birlikte deneysel olarak ölçülen ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişki Şekil 6.19'da verilmiştir.

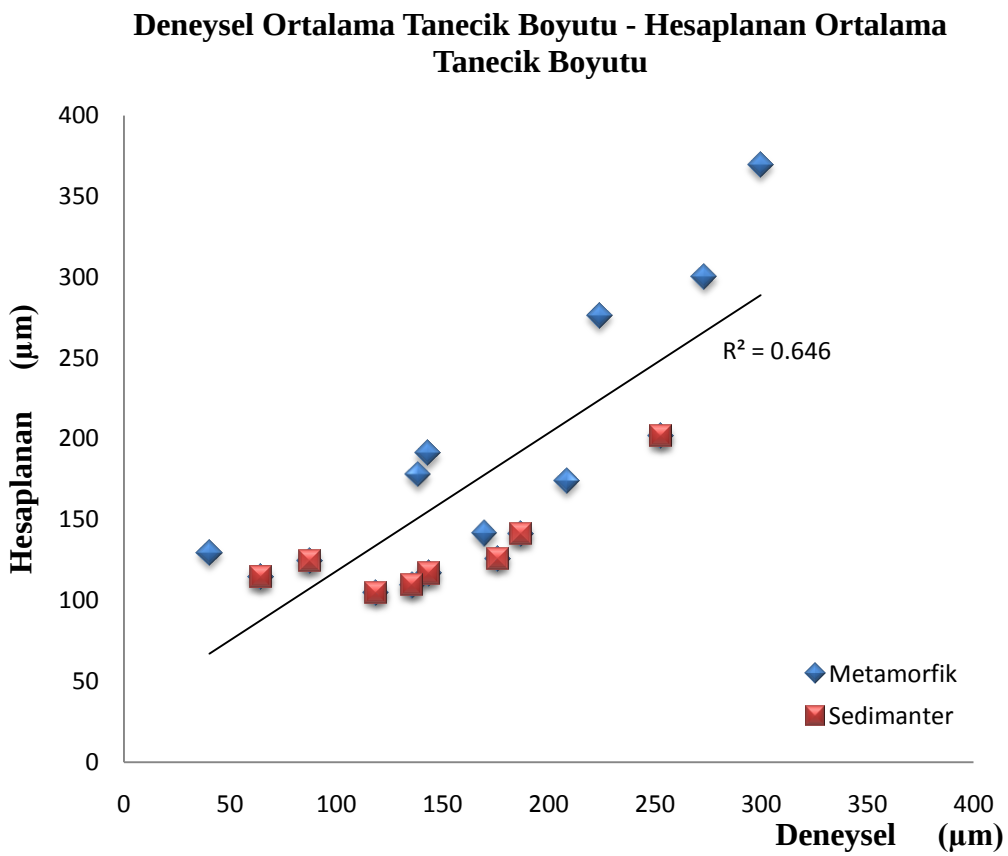


Şekil 6.19. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrases Dalga Hızı Grafiği.

Şekil 6.19'da görüldüğü üzere ortak değerlendirme altında da örneklere ait ultrases dalga hızı ile ortalama tanecik boyutları arasındaki doğrusal ilişki deforme olmamaktadır. Böylece, örneklere ait deneysel ortalama tanecik boyutu değerleri arttıkça, örnek içerisine gönderilen ultrases dalgalarından alınan hız değerleri azalmaktadır. Bu grafiği referans alarak fit eğrisinin denklemi olan y = - 11.3x + 7622 kullanılarak, *f=4 MHz* için elde edilen hesaplanmış ortalama tanecik boyutları, deneysel tanecik boyutları, bu değerler arasındaki fark ve ayrıca ölçülmüş olan ultrases yutulma katsayıları Çizelge 6.10'da görülmektedir. Hesaplanarak bulunan ortalama tanecik boyutları ile deneysel olarak elde edilen ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişki Şekil 6.20'de verilmektedir.

Çizelge 6.10. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

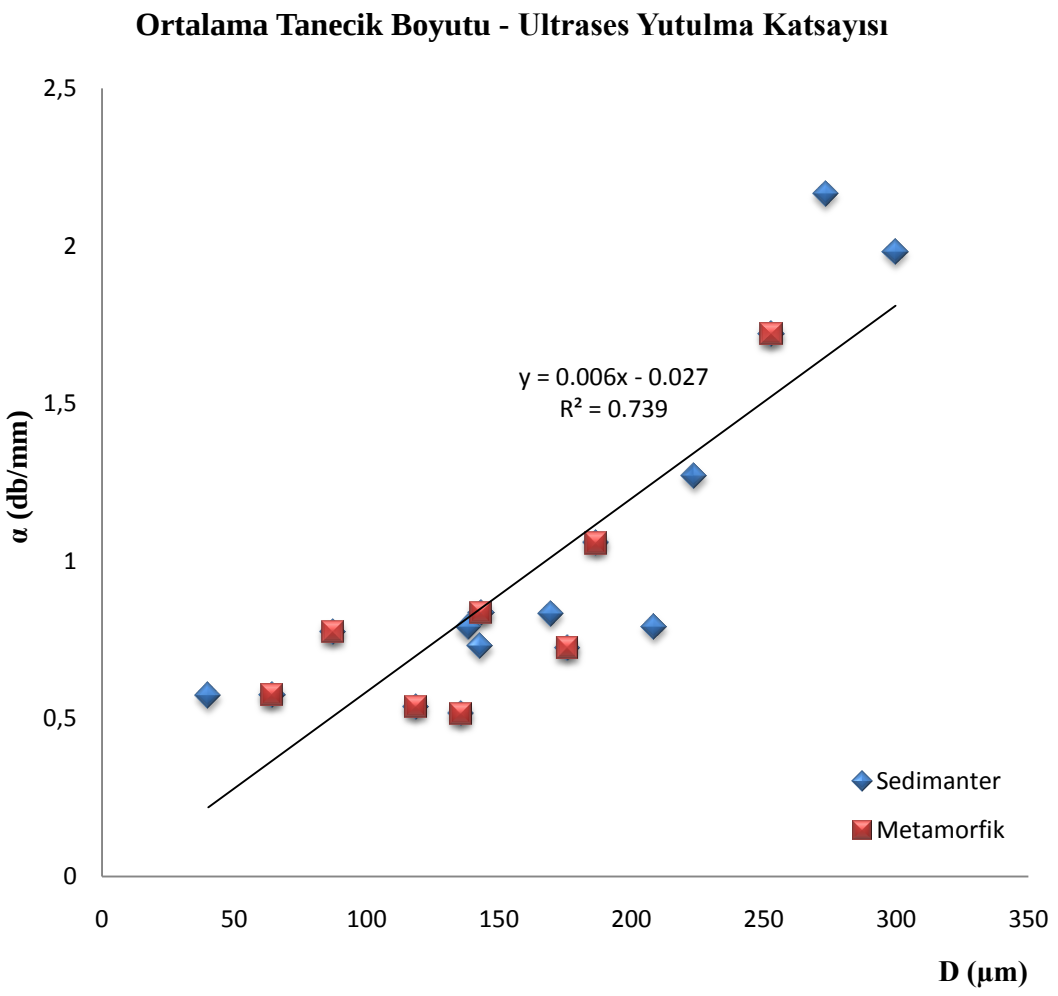
Numuneler	Ultrases Hızı (m/s)	Ortalama Tanecik Boyutu (μm)		$\lvert\overline{D}_{hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Toros Bej-Pembe	6329.67	114.37	64.29	50.08
Akhisar Oniks	5343.83	201.61	252.94	51.33
Bursa Bej-Külrengi	6160.00	116.59	143.37	26.78
Toros Bej-Krem	6304.50	109.50	135.66	26.16
Bursa Bej-Krem	3447.00	124.62	87.32	37.30
Hazar Pembe	6384.67	125.96	175.93	49.97
Bilecik Pembe	6213.83	141.05	186.76	45.71
Vize Pembe	6198.67	104.96	118.63	13.67
Konya Yeşil	4228.33	129.38	40.23	89.15
Afyon Kaymak	6022.67	369.47	299.77	69.70
Afyon Kaplan postu	4501.00	300.32	273.33	26.99
Manyas Bej	6028.17	141.53	169.68	28.15
Marmara Adası	6436.00	276.19	223.85	52.34
Afyon Çizgili Şeker	5612.33	177.85	138.48	39.37
Eskişehir Süpren	5464.50	190.93	142.97	47.96
Milas Granit	5657.33	173.86	208.55	34.69



Şekil 6.20. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için; ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.4.2. Yutulma Metodu

Sedimanter ve metamorfik mermer örneklerinin tümü için *f=2 MHz*'te alınan ultrasonik yutulma katsayısı değerleriyle birlikte deneysel olarak ölçülen ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişki Şekil 6.21'de verilmiştir.

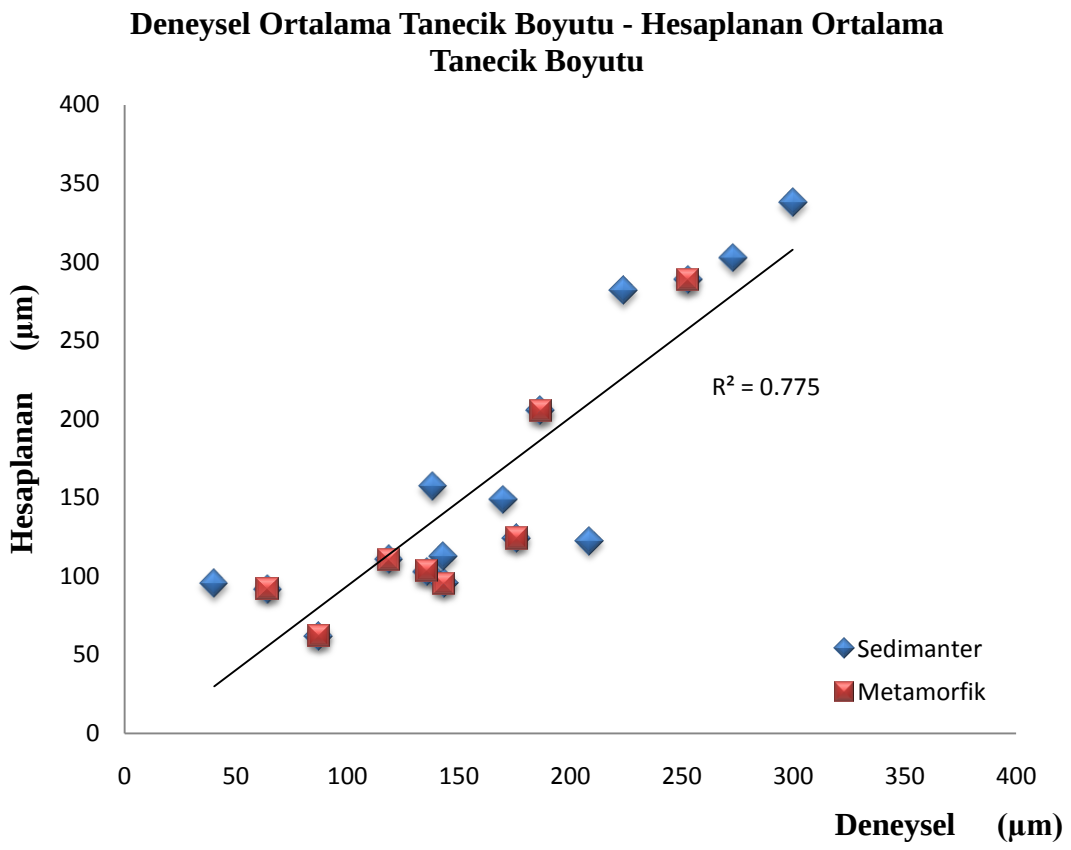


Şekil 6.21. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri için; Ortalama Tanecik Boyutu - Ultrasonik yutulma katsayısı Grafiği.

Ortak değerlendirme altında, örneklere ait ultrasonik yutulma katsayısı ile ortalama tanecik boyutları arasındaki doğrusal ilişki deforme olmadığı Şekil 6.21'de açıkça görülmektedir. Şekil 6.21 referans alarak fit eğrisinin denklemi olan y = 0.006x – 0.027 kullanılarak, *f=4 MHz* için elde edilen hesaplanan tüm değerler Çizelge 6.11'de verilmiştir. Bunlara ek olarak, hesaplanmış ortalama tanecik boyutları ile deneysel ortalama tanecik boyutları arasındaki ilişki Şekil 6.22'de verilmiştir.

Çizelge 6.11. Sedimanter ve metamorfik mermer örnekleri için hesaplanmış ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

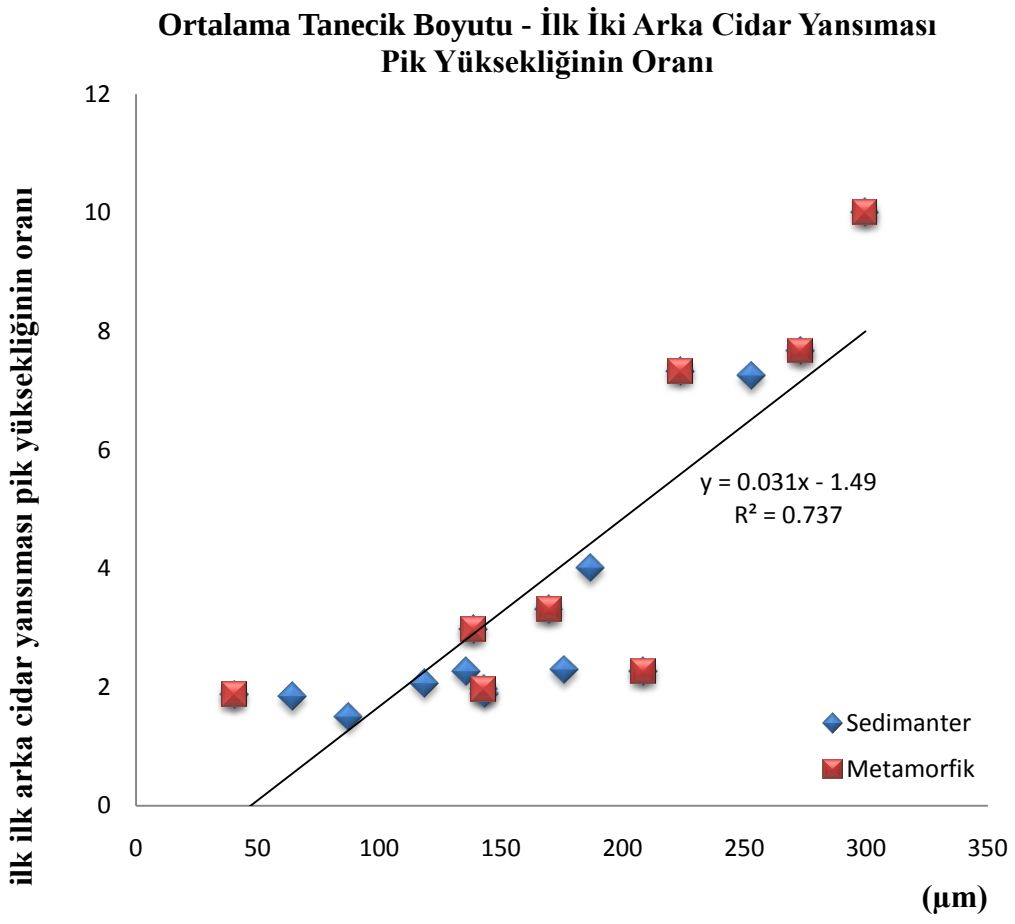
Numuneler	α (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Toros Bej-Pembe	0.525	92.00	64.29	27.71
Akhisar Oniks	1.704	288.44	252.94	35.50
Bursa Bej-Külrengi	0.547	95.33	143.37	48.04
Toros Bej-Krem	0.545	102.97	135.66	32.69
Bursa Bej-Krem	2.000	62.05	87.32	25.27
Hazar Pembe	0.591	124.17	175.93	51.76
Bilecik Pembe	0.345	205.19	186.76	18.43
Vize Pembe	0.718	110.45	118.63	8.18
Konya Yeşil	1.787	95.67	40.23	55.44
Afyon Kaymak	0.866	337.83	299.77	38.06
Afyon Kaplan postu	1.665	302.35	273.33	29.02
Manyas Bej	1.204	148.91	169.68	20.77
Marmara Adası	0.636	282.00	223.85	58.15
Afyon Çizgili Şeker	0.918	157.48	138.48	19.00
Eskişehir Süpren	0.649	112.74	142.97	30.23
Milas Granit	0.709	122.66	208.55	85.89



Şekil 6.22. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için; hesaplanmış ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.4.3. URA Metodu

Ultrases ölçüm yöntemleriyle yapılan ölçümlerin sonrasında grup değerlendirmelerin tümü için grafiklerde doğrusallık gözlemlenebilmektedir. Bölüm 6.3'te belirtildiği gibi toplu değerlendirmelerde traverten numuneleri uyum göstermemektedir. URA yönteminde yapılan toplu değerlendirmelerde de aynı durum söz konusu olmaktadır. Bu nedenle toplu değerlendirmelerde sadece sedimanter ve metamorfik mermer numunelerin değerlendirilmesi mevcut olacaktır. Metamorfik ve sedimanter mermer numuneleri için *f=2 MHz* 'de ölçülmüş olan ilk iki arka cidar pik yüksekliğinin oranı ile numunelere ait deneysel ortalama tanecik boyutlarının karşılaştırılması Şekil 6.23'de verilmiştir.

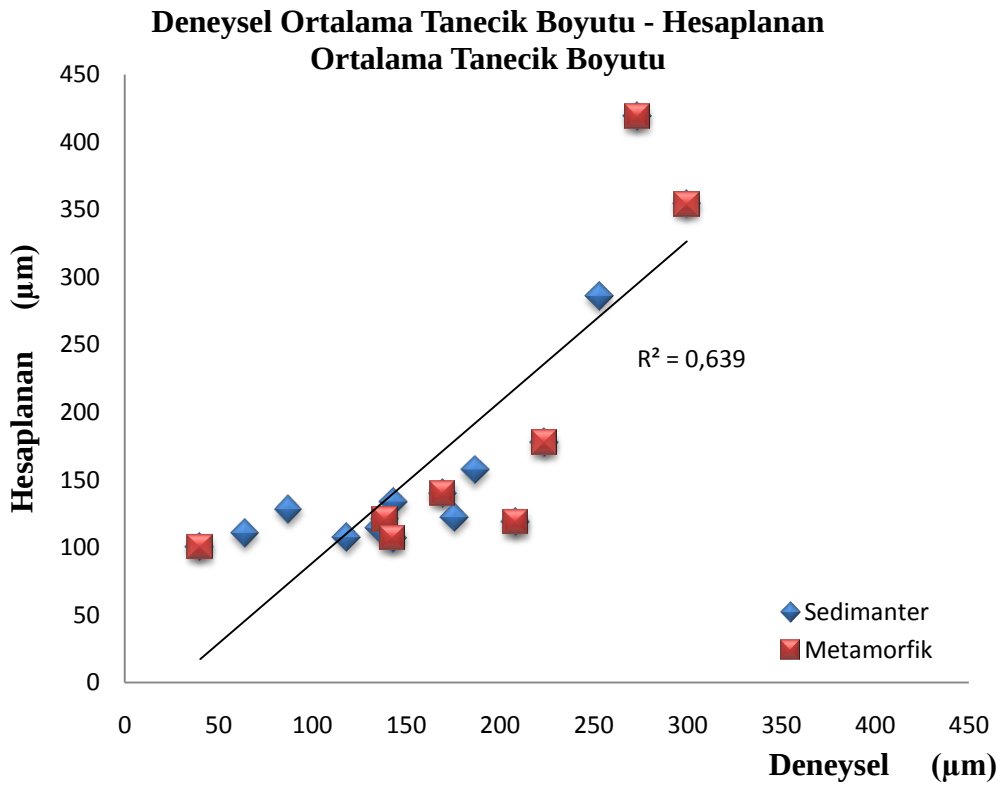


Şekil 6.23. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için URA yöntemiyle elde edilen grafik.

Şekil 6.23'ün referans olarak alınması sonucu y = 0.031x – 1.49 denkleminin kullanılması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6.12'de ve değerlerin karşılaştırılması Şekil 6.24'te verilmiştir.

Çizelge 6.12. Sedimanter ve Metamorfik mermer örnekleri için 4 MHz'te ölçülen ilk iki ultrases pik yüksekliğinin oranı, hesaplanmış olan ortalama tanecik boyutu, deneysel ortalama tanecik boyutu ve aralarındaki fark.

Numuneler	A_1/A_2 (db/mm)	Ortalama Tanecik Boyutu (µm)		$\lvert\overline{D}_{hesap} - \overline{D}_{Ort}\rvert$ $\Delta\overline{D}$
		Hesaplanan	Deneysel	
Toros Bej-Pembe	1.87	110.61	64.29	46.32
Akhisar Oniks	10.00	286.28	252.94	33.34
Bursa Bej-Külrengi	7.67	133.50	143.37	9.87
Toros Bej-Krem	3.31	113.92	135.66	21.74
Bursa Bej-Krem	7.33	128.30	87.32	40.98
Hazar Pembe	2.97	122.33	175.93	53.60
Bilecik Pembe	1.96	157.07	186.76	29.69
Vize Pembe	2.26	107.71	118.63	10.92
Konya Yeşil	1.87	100.37	40.23	60.14
Afyon Kaymak	10.00	354.52	299.77	54.75
Afyon Kaplan postu	7.67	419.03	273.33	145.70
Manyas Bej	3.31	140.36	169.68	29.32
Marmara Adası	7.33	177.61	223.85	46.24
Afyon Çizgili Şeker	2.97	120.73	138.48	17.75
Eskişehir Süpren	1.96	107.11	142.97	35.86
Milas Granit	2.26	118.62	208.55	89.93



Şekil 6.24. Sedimanter ve metamorfik mermer numuneleri için, URA yöntemine göre ortalama tanecik boyutu ile deneysel ortalama tanecik boyutu grafiği.

6.5. Yorum

Numunelerin tümünde yaklaşık olarak aynı şekilde doğrusallık gösteren grafiklerden elde edilen hesaplanmış tanecik boyutları ve deneylerden elde edilen deneysel tanecik boyutları Çizelge 6.13'te verilmiştir. Bu değerler arasındaki farklılık, deneylerin ilk aşamasında numune boyutlarının 5 cm x 5 cm ve mikroskop ile görüntü alma esnasında ise 1 cm x 1 cm olmasına bağlayabiliriz. Bu sebeple de kullanmış olduğumuz doğal taşlarda gözlemlenen yapı içerisindeki farklılıklar grafiklerdeki bazı değerlerin düşük olmasına neden olmaktadır. Tanecik boyutlarının çıkarımı için farklı ultrases yöntemleri kullanılarak üç farklı karşılaştırma yapılmıştır. Bunlar UV, UA ve URA yöntemleri olmakta birlikte, ultrases dalgasının numune içerisinde yayılma hızına ve yutulmasına bağlı olarak ölçümlenmektedirler. Bu ölçümlenmeler ile birlikte deneysel verilerin karşılaştırılmasının ardından her yöntem ve her numune için farklı sapma değerleri elde edilmiştir (Çizelge 6.13).

Çizelge 6.13. Ultrasonik ölçüm metotları uygulanarak elde edilen değerlerin tümü.

	UV			UA			URA		
Numuneler	Hesap	Deney	$\Delta\overline{D}$	Hesap	Deney	$\Delta\overline{D}$	Hesap	Deney	$\Delta\overline{D}$
Toros Bej Pembe	145.46	64.29	81.17	95.60	64.29	31.31	106.87	64.29	42.58
Akhisar Oniks	281.98	252.94	29.04	331.33	252.94	78.39	333.78	252.94	80.84
Bursa Bej Külrengi	148.94	143.37	**5.57**	99.60	143.37	43.77	136.44	143.37	6.93
Toros Bej Krem	137.84	135.66	2.18	108.76	135.66	26.90	111.15	135.66	24.51
Bursa Bej Krem	161.50	87.32	74.18	59.66	87.32	27.66	129.72	87.32	42.40
Hazar Pembe	163.60	175.93	12.33	134.21	175.93	41.72	122.01	175.93	53.92
Bilecik Pembe	187.21	186.76	0.45	231.42	186.76	44.66	166.89	186.76	19.87
Vize Pembe	130.73	118.63	12.10	117.74	118.63	0.89	103.13	118.63	15.50
Konya Yeşil	95.72	40.23	55.49	98.00	40.23	57.77	112.85	40.23	72.62
Afyon Kaymak	342.81	299.77	43.04	340.17	299.77	40.40	331.69	299.77	31.92
Afyon Kaplan postu	271.65	273.33	1.68	304.68	273.33	31.35	387.25	273.33	113.92
Manyas Bej	108.23	169.68	61.45	151.24	169.68	18.44	147.29	169.68	22.39
Marmara Adası	246.81	223.85	22.96	284.33	223.85	60.48	179.36	223.85	44.49
Afyon Çizgili Şeker	145.60	138.48	7.12	159.81	138.48	21.33	130.38	138.48	8.10
Eskişehir Süpren	159.06	142.97	16.09	115.08	142.97	27.89	118.65	142.97	24.32
Milas Granit	141.50	208.55	67.05	124.99	208.55	83.56	128.56	208.55	79.99
Sivas Sarı Traverten	93.20	112.75	19.55	97.20	112.75	15.55	105.52	112.75	7.23
Antalya Finike	194.44	133.58	60.86	109.16	133.58	24.42	137.25	133.58	3.67
Balıkesir Yavruağzı	102.95	113.88	10.93	110.31	113.88	3.57	115.67	113.88	1.79
Denizli Traverteni	80.26	77.22	3.04	91.48	77.22	14.26	79.42	77.22	2.20

Çizelge 6.13'te verilen sapma değerleri incelendiğinde en iyi sonuç veren metot, deneysel verilere en yakın değerlere sahip olan UV ölçüm metodudur denilebilir. Bu metot içerisinde 11 numune için daha düşük sapma değeri görülmektedir. Şayet tekrar gruplama yaparsak, mermer numuneleri için en iyi sonucu UV metodu, traverten numuneleri içinse en iyi sonucu URA metodu vermektedir. 4 traverten numunesi içinde çok küçük değerlerde sapmalar görülmüş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

Anfray , B., de Billy, M., Blanc, G. and Quentin , G., 1985, Evaluation of grain size in metals by means of ultrasonic longitudinal waves attenuation measurements, Proceedings of Ultrasonic International.

Botniva, L.R., Fradkin, L.J. and Bridge, B., 2000, A new method for assensing the mean grain size of polycrystalline materials using ultrasonic NDE, Journal of Materials Science 35, 4673 – 4683.

Embrechts, J.J., 2000, Simulation of first and second order scattering by rough surfaces with a sound ray formalism, Journal of Sound and Vibration 229, 1, 65 – 87.

Filipczynski, L., Pawlowski, Z., Wehr, J. 1966. Ultrasonic Methods of Testing Materials, Institute of Basic Technical Problems, Polish Academy of Sciences (IPPT - PAN), Warsaw.

Güneş, A.N., 2005. Türkiye'deki Bazı Mermerlerin Mineralojik ve Petrografik Özelliklerine Göre Kesilebilme ve İşlenebilme Parametrelerinin Matematiksel Modellemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.

Hecht, A., Thiel, R., Neumann, E. and Mundry, E., 1981, Nondestructive determination of grain size in austenitic sheet by ultrasonic backscattering, Materials Evaluation.

Hirsekorn, S., 1982. The Scattering of Ultrasonic Waves by Poly Crystals, J.Acoust Soc Am 72, pp.1021-1031.

Hirsekorn, S., 1983. Scattering of Ultrasonic Waves in Single Phase Polycrystalline Metals Including Multiple Scattering" In: P. Holler, Editors, New Procedures in Nondestructive Testing (proceedings), Springer, Berlin, pp.265-275.

İMİB, 2001. İstanbul Maden İhracatçılar Birliği Türkiye Doğal Taşları.

Kibici, Y.,2006. Doğal Taş Atlası, Afyonkarahisar.

Margaten, F.J., Gray, T.A. and Thompson, R.B., 1992a, A technique for quantitatively measuring microstructurally induced ultrasonic noise, Review of Progress in Quantitative NDE 10, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (Eds.) Plenum Press, New York, 1717 – 1724.

Margaten, F.J., Thompson, R.B., Han, Y.H.K., Paxson, A.J. and Shamblen, C.E., 1992b, Relationship of Microstructure to Backscattered Ultrasonic Noise, Review of Progress in Quantitative NDE 11, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (Eds.), Plenum Pres, New York.

Nagy, P.B., 2001. 20 – 251 – 728 Introduction to Ultrasonics Spring Quarter, Department of Aerospace Engineering & Engineering Mechanics, University of Cincinnati, USA.

Önem, Y., 1997. Sanayi Madenleri, Kozan Ofset Matbaacılık Sanayi ve Ticari Limited Şirketi, Ankara.

Palanichamy, P., Joseph, A., Jayakumar T. and Raj, B., 1995, Ultrasonic velocity measurements for estimation of grain size in austenitic stainless steel, NDT & E International.

Roney, R. K., 1950, Ph. D. Thesis, California Institute of Techonology.

Rose, J.H., 1992, Ultrasonic backscatter from microsture, Review of Progress in Quantitative NDE 11, D.O. Thompson and D.E. Chimenti (Eds.) Plenum Press, New York, 1677 – 1684.

Russell, M.D. and Neal, S.P., 1994b, Grain Size Power Spectrum Estimation for Weak Scattering Polycrystalline Materials Using Experimentally Estimated Backscatter Coefficients: Oblique Incidence", Ultrasonics 32, 173-180.

Sarpün, İ.H., 1998. Ultrases ile Mermer Bloklarının İç Yapısının ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tayini, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

Sarpün, İ.H., 2004. Ultrases Yöntemi ile Çeşitli Mermerlerin Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Eskişehir.

Sayar, M., Erguvanlı,M, 1955, Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.

Saniie, J. and Bilgutay, N. M., 1986, Quantative grain size evaluation using ultrasonic backscattered echoes, Journal of the Acoustical Society of America.

Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ., Sarıışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta.

Thorsos, E.I., 1988, The validity of the Kirchoff approximation for rough surface scattering using a Gaussian roughness spectrum, Journal of the Acoustical Society of America 83, 78 – 92.

Trétout, H., 1998, Review of advenced ultrasonic techniques for aerospace structures, 7th European Conference on Non-Destructive Testing, Copenhagen.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2007, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, Ankara.

Wirgin, A., 1989, Scattering from hard and soft corrugated surfaces: iterative corrections to the Kirchhoff approximation through the extinction theorem, Journal of the Acoustical Society of America 85, 670 – 679.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Hatice TOPRAK

Doğum Yeri: Malatya

Doğum Tarihi: 12.09.1984

Yabancı Dili: İngilizce - Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise: Malatya Turgut Özal Anadolu Lisesi (1998-2002)

Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü (2002-2006)

Yüksek Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizik Bölümü (2006-2009)

Katılınan Kongre

İsmail Hakkı SARPÜN, Hatice TOPRAK, Rıdvan ÜNAL, Hüseyin Ali YALIM, Bekir ORUNCAK, Aytekin HİTİT "Metalic Camların Elastik Özellikleri" Turkish Physical Society 24th. International Physics Congress, Malatya, 2007.