

**AGREGALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE
DOKUSAL ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mih. Emel AKKOÇ
505981012**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2002**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erkin NASUF
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Hanifi ÇAPUR (İ. T. Ü)
Doç. Dr. Ali KAHRI MAN (İ. Ü)**

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Agregaların mekanik özellikleri ile dokusal özelliklerinin arasındaki ilişkisinin varlığı konusunda yapılan bu çalışmada, bana yardımcı olan tez danışmanı Sayın Prof. Dr. Erkin NASUF'a, Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Nuh BİLGİN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim

Çalışmaları boyunca bana yardımcı olan esirgmeyen Araştırma Görevlisi C. Atilla ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi bir borç bilirim

Maddi ve manevi desteklerini hiç esirgmeyen aileme sonsuz teşekkürlerini sunarım

Mayıs 2002

Maden Mühendisi
Enel AKKOÇ

İÇİNDEKİLER

	SAYFA NO
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vi1
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. TAŞ OCAKLARI NDA AGREGA ÜRETİMİNİN TANITILMASI	2
2.1 Üretim Yöntemlerinin Tanıtılması	2
2.1.1 Delme-Patlatma Yöntemi	3
2.1.1.1 Genel Bilgiler	3
2.1.1.2 Ateşleme Yöntemleri	5
2.1.1.3 Kullanılan Patlayıcı Maddeler	7
2.1.1.4 Patlayıcı Madde Seçimi	9
2.1.1.5 Yemeyici Seçimi	10
2.1.1.6 Patlatmadan Sonra Oluşan Tane Boyutu Değerlendirilmesi	10
2.1.1.7 Delme Araçları	13
2.1.2 Sürekli Yüzey Kazıcılar Yöntemi (Continuous Miner)	13
2.1.2.1 Alttan Tamburlu Sürekli Yüzey Kazıcıları	17
2.1.2.2 Önden Tamburlu Sürekli Yüzey Kazıcılar	18
2.2 Türkiye'deki Taş Ocakları Ve Kapasiteleri	19
2.3 Agregaların Kullanım Alanları	21
2.4 Numune Alınan Bölgelerin Tanıtılması	22
3. AGREGALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	25
3.1 Agregaların Tanımı	25
3.2 Agregaların Jeolojik Yapısı	25
3.2.1 Magmatik Kayaçlar	27
3.2.2 Sedimenter (Tortul) Kayaçlar	28
3.2.3 Metamorfik Kayaçlar	29
3.3 Agregaların Çeşitleri Ve Özellikleri	30
3.3.1 Agregalar (Kum Çakıl)	30
3.3.2 Doğal Agregalar (Doğal Taş Agregası)	30
3.3.3 Yapay Agregalar (Sanayi Ürünü Agregası)	30
3.3.4 İri Agregalar	31
3.3.5 İnce Agregalar	31
3.3.6 Taş Uru	31

3.3.7	Karışık Agregalar	31
3.4	Agregaların Özellikleri	32
3.4.1	Özellikler	32
3.4.1.1	Genel Özellikler	32
3.5	Agregaların Mekanik Özellikleri	35
3.5.1	Mekanik Özellikler	35
3.5.1.1	Özgül Ağırlık	35
3.5.1.2	Agreganın Su Emme Oranı	38
3.5.1.3	Tane Büyüklüğü Dağılımı (Granulometrik Bileşimi)	38
3.5.1.4	Tane Şekli	42
3.5.1.5	Porozite (Boşluk Oranı) - Doluluk Oranı	44
3.5.1.6	Aşınmaya Karşı Dayanıklılık	44
3.5.1.7	Birim Ağırlık Tayini	45
3.5.1.8	Dona Dayanıklılık	46
3.5.1.9	Agregalarda İnce Madde Oranı ve Miktarı	47
3.5.2	Yapılan Deneylerin Tanıtılması	49
3.5.2.1	Boyut Dağılımı (Granulometre)	49
3.5.2.2	Agregaların Aşınmaya Dayanıklılık (Los Angeles Tamburu) Deneyi	64
3.5.2.3	Tane Şekli Sınıfı Tayini	68
3.5.2.4	Agregalarda Su Emme ve Özgül Ağırlık Deneyleri	70
4	KAYAÇLARIN DOKUSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	81
4.1	Kayaçların Dokusal Özelliklerini Etkileyen Faktörler	81
4.2	Doku Katsayısının Belirlenmesi Ve Özellikleri	82
4.3	DeneySEL Çalışmalar	88
5	KARŞILAŞTIRMA	90
6	SONUÇLAR	97
	KAYNAKLAR	100
	ÖZGEÇMİŞ	102

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u> <u>No.</u>
Tablo 2.1. Taş Ocakları Nizamnamesi Kapsamına Giren Kum, Kıl, Taş Ocakları İşletmeleri (1997)	21
Tablo 2.2. Yıllar İtibariyle Türkiye Çimento Tüketimine Bağlı Agregatüketimi Miktarları (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği)	22
Tablo 3.1. Doğal Kırnatış Hammaddelerinin Jeolojik Sınıflandırılması.	26
Tablo 3.3. Los Angeles Deney Karışımları ve Koşulları	45
Tablo 3.4. Kale Maden Numunelerinin Boyut Dağılım Analizleri	49
Tablo 3.5. Gebze Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	51
Tablo 3.6. Haska Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	52
Tablo 3.7. Cebeci Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	54
Tablo 3.8. Sımpaş AŞ Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	55
Tablo 3.9. Soyak Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	57
Tablo 3.10. Sivas Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	58
Tablo 3.11. Gümüştaş Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	60
Tablo 3.12. İslamoğlu Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	61
Tablo 3.13. Yapı Maden Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları.....	63
Tablo 3.14. Aşınma Drencinin Tayini için Çerçeli Deney Numunesi Tipleri ve Deney Numunesi Miktarları	65
Tablo 3.15. Deneyde Kullanılacak Bilya Sayısı.....	65
Tablo 3.16. Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları	67
Tablo 3.17. Tane şekli Sınıfı Tayini Deney Sonuçları.....	69
Tablo 3.18. Numunelerin Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyin Sonuçları.	71
Tablo 3.19. Deney Sonuçlarının Gösterilmesi.....	78
Tablo 3.20. Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Deneylerinin Sonuçları	79
Tablo 4.1. Dar açılar için Kullanılacak Olan Ağırlıkların Saptanması	87
Tablo 4.2. Agregat Numunelerinin Deneyler ile Tespit Edilmiş TC Değerleri	88

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Basamakların Dış Bükey ve İç Bükey Düzenlenmesi.....	4
Şekil 2.2 : Delik Düzeni	4
Şekil 2.3 : Değişik kazı tekniklerinde, kayaç parça boyutu ile harcanan enerji arasındaki ilişki.....	15
Şekil 2.4 : Kayaç kesme-parçalama işleminde kullanılan değişik keskiçiler....	16
Şekil 2.5 : Bir sürekli yüzey kesicisinin çalışma prensibi, (Wirtgen SM).....	17
Şekil 2.6 : Ödentamburlu bir sürekli yüzey kazıcının genel görünümü.....	18
Şekil 2.7 : Türkiye’de Yapıtaşlarının Dağılım Alanları (Türkiye haritası)....	19
Şekil 2.8 : İstanbul ili çevresi Taş-kırmataş ocakları haritası.....	20
Şekil 3.1 : Agregaların genel tane şekli.....	43
Şekil 3.2 : Kale Miden Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	50
Şekil 3.3 : Çebze Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	51
Şekil 3.4 : Haska Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	53
Şekil 3.5 : Çebeci Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	54
Şekil 3.6 : Sımpaş Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	56
Şekil 3.7 : Soyak Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	57
Şekil 3.8 : Sivas Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	59
Şekil 3.9 : Gümüştaş Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	60
Şekil 3.10 : İslamoğlu Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	62
Şekil 3.11 : Yayı Miden Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri.....	63
Şekil 4.1 : Tanelerin uzunluk genişlik ve açıları.....	84
Şekil 4.2 : Tane açıların gösterilişleri.....	86
Şekil 5.1 : Agreganın numunelerinin yapılan deneyler sonucunda saptanan TC değerlerinin dağılımı.....	91
Şekil 5.2 : TC – a_1 ilişkisi.....	92
Şekil 5.3 : TC – a_2 ilişkisi.....	92
Şekil 5.4 : TC – tane şekli ilişkisi.....	93
Şekil 5.5 : TC – Su emme ilişkisi.....	93
Şekil 5.6 : TC – Porozite ilişkisi.....	94
Şekil 5.7 : TC – Özgül ağırlık ilişkisi.....	94
Şekil 5.8 : TC – Yoğunluk ilişkisi.....	95
Şekil 5.9 : TC – Doluluk oranı ilişkisi.....	96
Şekil 5.10 : TC – Boşluk oranı ilişkisi.....	96

AGREGALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ İLE DOKUSAL ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Agregalar ile yapılan bu çalışmanın amacı, agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri ile dokusal özellikleri arasında bir ilişkinin var olup olmadığını tespit etmektir.

Agrega genel olarak organik olmayan, kum çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemeler diye tanımlanmaktadır. Agregalar boyutlarına göre, iri, ince, karışık taşunu gibi sınıflandırılmaktadır. Betonun %60-80' ini oluşturan mineral kökenli taneli bir malzemedir.

Agregalar oldukça yaygın bir kullanım alanlarına sahiptirler. Beton ve çimento sektörünün vazgeçilmez bir malzemesidir. Çimento ve su ile karışımıyla betonu oluşturan bir malzeme olduğu için inşaat sektöründe büyük öneme sahiptir. Betonda agregaların kullanılması betonun sertleşme ve hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta ayrıca betonun çevre etkilerine karşı dayanımını artırmaktadır. Genel olarak kullanım alanlarına bakıldığında; bina, köprü, otomobil yolu, yol parkesi, blokaj, bordür taşı, tünel, balast, çatı arduvazı, demiryolları, baraj gibi çeşitli inşaat işlerinde kullanılmaktadır.

Agregaların üretim yöntemlerine bakıldığında; açık ocak işletmeciliği ile aynı üretim yöntemlerine sahiptir. Yani açık ocaklarda olduğu gibi taş ocaklarında da delne-patlatma yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde genel olarak bir veya birden fazla sıralı delikler açılarak patlayıcılar yerleştirilir ve ateşlenir yapılır. Delinen deliklerin çapları, derinliği ve aralarındaki uzaklık formlasyonun niteliğine, basamak yüksekliğine ve günlük üretim göre değişir. Ocaktan alınan patlatılmış malzeme kırma eleme tesislerine taşınarak kırma taş standartlarındaki tane boyutlarına kırma-eleme ile ayrılır. Son yıllarda malzeme teknolojisinin gelişmesine paralel olarak geliştirilen özel kesici uçlar yardımıyla açık ocak işletmelerinde kazı ve yükleme aynı anda yapan, delne-patlatma işlemlerini ortadan kaldıran ve bu nedenle yerleşim birimlerine daha yakın ocak açmayı mümkün kılan makineler (continuous miners) kullanılmaya sunulmuştur.

Taş ocaklarında üretilen agregalar bir çok mekanik özelliklere sahiptir. Bu özellikler genel olarak basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, aşınmaya karşı dayanıklılıktır. Bu özelliklerden herhangi birinin önemi, agregaların kullanım boyutlarına bağlıdır. Agregaların mekanik özelliklerini belirlemede bir çok kalite testleri yapılmaktadır. Bu testlerin amacı, agregaların kullanım alanlarında maksimum verimlilik sağlanmasıdır.

Agregaların genel olarak saptanan fiziksel özelliklerine bakıldığında; özgül ağırlık, su emme, porozite, donat dayanıklılık, sülfat miktarı, klorür miktarı, ince madde oranı, birim ağırlık yoğunluk, tane dağılımı, tane şekli olarak göze çarpmaktadır. Bu özelliklerden yola çıkarak agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek mümkündür.

Agregalar üzerine yapılan bu çalışma bir çok deneyi kapsamaktadır. deneylerde kullanılmak üzere ayrı ayrı ocaklardan 21 adet agrega numuneleri getirilmiştir. Bu deneylerin içeriklerine bakıldığında, agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerini ve dokusal özelliklerini belirlemek üzerinedir. Mekanik özelliklerini belirlemede, aşınmaya karşı dayanıklılık testi (Los Angeles Testi) yapılmıştır. Agregaların fiziksel özelliklerini belirlemede ise özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır ve ayrıca bu deneye paralel olarak buradan bulunan değerlerle porozite, yoğunluk, boşluk oranı, doluluk oranı değerleri tespit edilmiştir. Dokusal özelliklerini belirlemede ise, agrega numunelerinden ince kesitler alınarak optik mikroskop laboratuvarında görüntü işleme setinden resimleri çekildikten sonra Leica Qwin program kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda agregaların doku katsayıları hesaplanmıştır.

Agregaların dokusal özelliklerini tespitiinde, Howarth ve Rowlands tarafından 1987 yılında yaptıkları çalışmalar doğrultusunda öne sürülen doku katsayısı (TC) kavramından yararlanılmıştır. Dokuyu oluşturan tanelerin şekilsel özelliklerinden yola çıkılarak agregaların TC değerini hesaplamak mümkündür. Bu sayede makro boyutta yapılan deneyler ile mikro boyutta yapılan deneylerin karşılaştırılabilmesi inkamı doğmuştur. Kayaç dokularının görüntü işleme teknikleri kullanılarak sayısal olarak değerlendirilmek mümkün olmaktadır. Yukarıdaki paragrafta da değinildiği gibi agrega numunelerinde ince kesit alınması ve daha sonra bu ince kesitlerin mikroskopta incelenerek resimlerin çekilmesi ve bilgisayar programında elde edilen bu görüntülerin işlenilmesi ile gerçekleştirilir. Howarth ve Rowlands tarafından gerçekleşen bu çalışmalar doğrultusunda kayaçların mekanik ve fiziksel özellikleri ile dokusal özellikleri arasında bir ilişkinin var olup olmadığı konusunda araştırmalar yapmak mümkün olmuştur.

Yapılan bu deneyler sonucunda; agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile doku katsayısı (TC) karşılaştırılarak bir ilişkinin var olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda aşınma direnci ile TC arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

INVESTIGATION INTO THE CORRELATION BETWEEN MECHANICAL AND TEXTURAL PROPERTIES OF AGGREGATES

SUMMARY

The main objective of this study is to investigate the correlation between mechanical – physical properties and textural properties of aggregates.

Generally, aggregates can be defined as natural and artificial materials as an organic sand, sand, breaking stone, crush stone, gravel and, ballast furnace slag, expanded perlite expanded clay, respectively. Aggregates can be classified related with their size as big small, random stone flour. Concrete is consists of 60 % or 80 % of aggregate. The origin of the aggregate is mineralogical.

The area of using aggregates is so large. It is the most important material of the sector of concrete and cement. The importance of aggregate is so vital for especially in civil engineering because of being principal material of concrete. When it uses for making concrete, it prevents or decreases the deformation of and hardness of concrete. Added to that it increases the strength of concrete against the environmental impacts. It generally uses for making civil engineering projects such as buildings, road, road stone, park stone, rail way, bridge and so on.

Generally aggregates are product from open pit mines. The method in order to product the aggregate is similar as in open pit mines. In general it produces by drill and blast method. In this method, after drilling one or more row bore these holes are filled with explosive, these holes are exploded. The diameter, depth, and the distance between holes is changed related with the formation properties of zones, the height of step, and daily production. The explosives materials that are taken from stone quarry transport to the foundation to crush and classify related with the size. After developing the technology of material continuous miners can be used with their special cutter bits and this cutting machine has an important advantage that is to eliminate the drill and blast necessarily.

The aggregates that are produced from quarries have important mechanical properties. Generally these properties are; uniaxial compressive strength, Brazilian strength, elasticity modulus, Poisson ratio, and strength of weathering. These properties are tested and founded in laboratories. The main objectives of these tests are to increase the efficiency of the aggregate in industrial uses.

The desired physical properties cab summarized as specific gravity, water content, porosity, the percentage of sulphate, frost strength, the percentage of chlorur, the percentage of small, unit weight, density, granulometer, and grain shape. After

determining these parameters it is possible to set up the whole physical properties of aggregates.

All of tests are carried in this research. 21 different aggregate samples are tested in this study. In order to understand the mechanical properties of the samples, Los Angeles weathering tests are carried out. After that, in order to determine the physical properties of aggregates samples, specific gravity, water content, porosity, the ratio of space, and the ratio of filling test are carried out in this research. In order to understand the textural properties of the aggregates samples, after taking thin slices from the aggregate samples, these thin slices are quantifying by using an image processing computer programme, which is Leica Qwin image processing laboratory. After that, it is possible to determine the textural properties of aggregates.

In this study, to quantify the textural properties of aggregates, the theory of texture coefficient (TC), which has been proposed, by Howarth and Rowland (1987) is used. Hence, it is possible to calculate the value of TC by using the grain shape's properties. Therefore, it is possible to investigate the correlation between tests that are making in macro and micro scale in laboratory. In order to make this procedure, firstly the texture of rocks should be quantified by using an image processing methodology as aforementioned. After determining the value of TC for every sample it will be possible to investigate the correlation between aggregates' mechanical – physical and textural properties.

After all tests are done, the correlation is investigating by using the well-known statistical procedures such as linear regression analysis.

1. GİRİŞ

Günümüz Türkiye’inde insanların çağdaş barınma ve yaşam koşullarına olan talepleri büyü mektedir. Artan ihtiyaçlar, doğal kaynaklardan yararlanıl ması gerçeğini gözler önüne ser miş ve varolan bu kaynakların en uygun şekilde kullanıl ması yoluna gidilerek bu konuda çeşitli çalışmalar yapıl masına neden ol muştur. Son yıllarda sanayileş me ve şehirleş menin yoğunlaş ması ve maliyetin uygunluğu, doğal kayalardan kır ntaş olarak yararlanıl ması gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle temel, yol, tünel, baraj, demiryolu gibi inşaatları kapsayan mühendislik uygulamalarına başlamadan önce bu kaynakların jeolojik, mekanik, fiziksel ve dokusal özellikleri ortaya konul malıdır [1].

2 TAŞ OCAKLARI NDA AGREGA ÜRETİ MİNİN TANITILMASI

2.1 Üretim Yöntemlerinin Tanıtılması

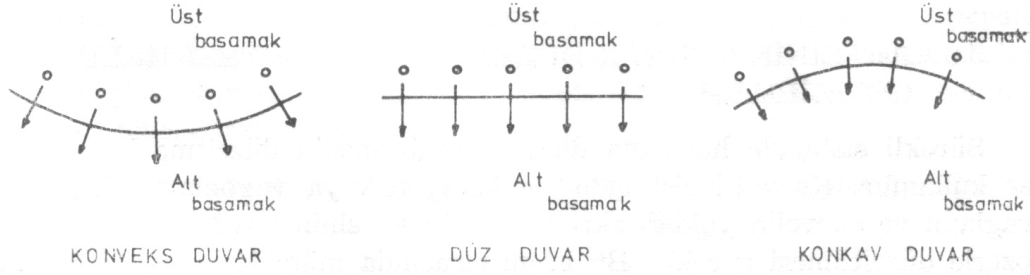
Kum kır natas, çakıl üretimi genellikle açık işletme yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Üretim genellikle üretimi yerini topoğrafyasına bağlı olarak tekli veya çoklu basamaklar dizayn edilerek yapılmaktadır. Kır natas üretiminde kazı yükleme öncesinde hammaddenin patlatma işlemleri ile gevşetilmesi gerekmektedir. Bunun yanında plaser kökenli kum ve çakıl üretilen ocaklarda delme patlatma işlemine gerek kalmadan ekskavatörler yardımı ile kazma yükleme işlemi gerçekleştirilir. Taş ocaklarının üretiminde kullanılan galeri patlatması, teknolojik gelişmelere paralel olarak yerini delme-patlatma yöntemine bırakmıştır. Galeri patlatması sonucu nihai ürünün tane boyutunun büyük olması, düzgün basamakların oluşturulması ve en önemlisi bu yöntemle oluşan şiddetli sarsıntıların çevresel etkileri nedeniyle yasaklanmıştır. Delme-patlatma yönteminde bir veya birden fazla sıralı delikler açılarak patlayıcılarla doldurulur ve ateşlenir. Delinen deliklerin çapları, derinliği ve aralarındaki uzaklık formasyonun niteliğine, basamak yüksekliğine ve günlük üretimi göre değişir. Ocaktan alınan patlatılmış malzeme kırma eleme tesislerine taşıyarak kır natas standartlarındaki tane boyutlarına kırma-elemeyle ayrılır. Ocak işletmeciliğinde kullanılan makineler şunlardır: Delici, kompresör, yükleyici (lastik tekerlekli veya paletli), ekskavatör, bulldozer, dumperli kamyon, el tabancaları, kırma ve öğütme tesisleri, elek ve konveyör'dür. ABD'de kır natas üretiminin %5'i yer altı işletmesi ile elde edilmekte olup Türkiye'de tamamı açık ocak işletmeciliği ile elde edilmektedir. İdeal açık işletmecilik önce toprak ve bitki örtüsünün kaldırılıp yakın bir yerde depolanması, istihraç sonrası işletilen ocak sonrasının tekrar ağaçlandırılması şeklinde olmalıdır. Son yıllarda gelişen malzeme teknolojisi ne paralel olarak geliştirilen özel kesici uçlar yardımı ile açık ocak işletmelerinde kazı ve yükleme aynı anda yapan, delme-patlatma işlemlerini ortada deliklerin çapları, derinliği ve aralarındaki uzaklık formasyonun

niteliğine, basamak yüksekliğine ve günlük üretime göre değişir. Ocaktan alınan patlatılmış malzeme kırma eleme tesislerini taşıyarak kırma taş standartlarındaki tane boyutlarına kırma-elemeyle ayrılır. Ocak işletmeciliğinde kullanılan makineler şunlardır: Delici, kompresör, yükleyici (lastik tekerlekli veya paletli), ekskavator, bulldozer, damperli kamyon, el tabancaları, kırma ve öğütme tesisleri, elek ve konveyör'dür. ABD'de kırma taş üretiminin %5'i yer altı işletmesi ile elde edilmekte olup Türkiye'de tamamı açık ocak işletmeciliği ile elde edilmektedir. İdeal açık işletmecilik önce toprak ve bitki örtüsünün kaldırılıp yakın bir yerde depolanması, istihraç sonrası işletilen ocak sonrasının tekrar ağaçlandırılması şeklinde olmalıdır. Son yıllarda gelişen malzeme teknolojisi paralel olarak geliştirilen özel kesici uçlar yardımı ile açık ocak işletmelerinde kazı ve yüklemeyi aynı anda yapan, delme-patlama işlemlerini ortada kaldıran ve bu nedenle yerleşim birimine daha yakın ocak açmayı mümkün kılan makineler (continuous miner) kullanılması sunulmuştur [2].

2.1.1 Delme-Patlama Yöntemi

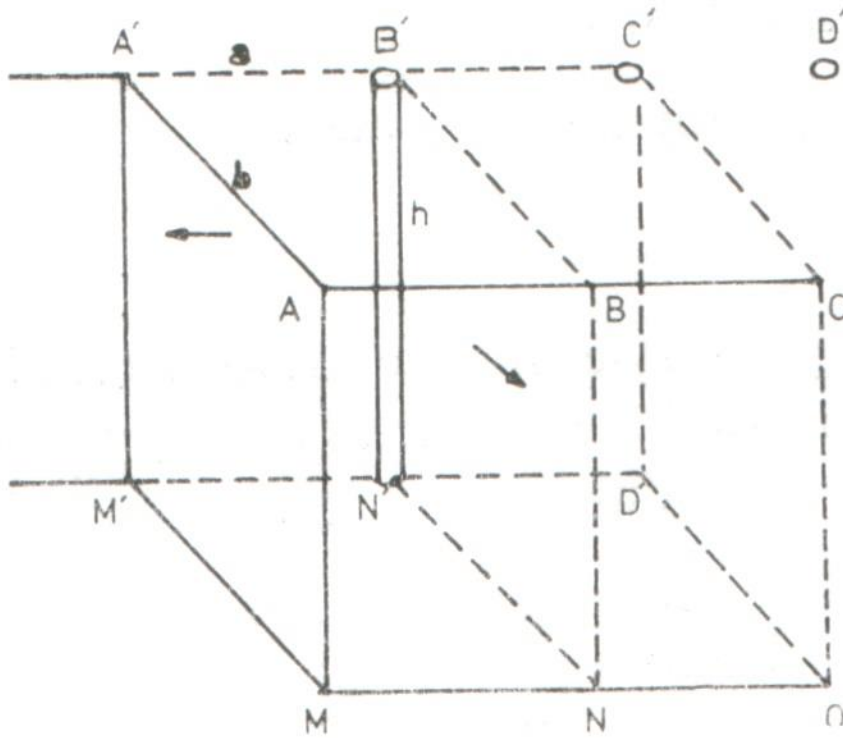
2.1.1.1 Genel Bilgiler

Taş ocaklarında patlayıcı madde ile yapılan üretimde; yapılan işler deliklerin delinmesi, patlayıcı madde ile doldurulup ateşlenmesi yoluyla yapılmaktadır. Bunu takiben açığa çıkan pasanın veya malzemenin yüklenmesi ve nakliyesi yapılır. Delikler basamak duvarı gerisinde düşey veya düşeye yakın meyilli olarak açılmak suretiyle yapılmaktadır. En iyi neticenin alınabilmesi için basamak duvarının yatay yönde düz, hatta konveks, yani orta kısım daha ileride olmalıdır. Konkav duvar oluşturulursa yani ortası geride olan bir duvar oluşturulursa, patlama esnasında yüzeyden gelen gerilmelere karşı dayanım olur ve yıkılmaları güçleştirir. Tabanı yuvarlağa yakın bir taş ocağında patlayıcı madde sarfiyatı daha yüksektir. Özellikle büyük parçaların elde olunması istenilen yerlerde duvar özellikle konveks olmalıdır. Şekil 2.1'de kullanılan basamak düzenlerini göstermektedir.



Şekil 2.1 Basamakların Dışbükey ve İçbükey Düzenlenmesi

Patlayıcı kuvvetlerden en iyi sonucun alınabilmesi için kopan parçaların birbirine engel olmadan uzaklaşabilmeleri gerekir. Bir taş ocağı basamağında olası bir durum Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Delik Düzeni

Bu resimde ABC üst basamağı, MNO ise alt basamağı göstermektedir. Daha önce ateşlenmiş olan A deliği vasıtasıyla A’M yüzeyi de serbest kalmıştır. Bu durumda prizmanın üç yüzeyi de serbest ve sadece üç yüzeyi bağlantılıdır. Bu şartlar altında B’N deliği en az patlayıcı madde ile prizmayı koparabilecektir. Buna göre; en iyi

çalışma şekli, düz veya konveks duvar üzerinde bir kenardan başlayarak yan tarafa doğru ilerlemek olacaktır. B ve C deliklerini aynı anda birden patlayacak yerde birbirini takip etmeleri daha faydalıdır. Ayrı ayrı ateşleme zaman kaybına neden olacağından gecikmeli elektrik kapsülü kullanılmalıdır. Son yıllarda milisaniyeli kapsüller tercih edilmektedir. Bu tür kapsüllerin aralıkları 1/40 saniye kadardır. Bu şekilde, hem delikler birbirini takip ederek patlamakta, yan boşluklardan faydalanmak mümkün olmakta, hem de kısa aralıklarla meydana gelen şoklar birbirine yardımcı olmaktadır. Bu kapsüller vasıtasıyla çok sayıda deliğin birlikte ateşlenmesinden iyi sonuçlar alınmıştır.

Delik aralıkları, duvar uzaklığı ve delik çapı arasında bir ilişki mevcuttur. Yani; delik çapı en az prizma kenarının 1/40'ına veya dikeylik ile delikler arası mesafe delik çapının 40 katına eşit olmalıdır. Görüldüğü üzere delik çapı ne olursa olsun belirli bir miktarda taş koparmak için ihtiyaç delik hacmi aynıdır. Geniş çaplı delik seçildiği takdirde aralıklar daha fazla olur, toplam delik uzunluğu azalır. Delik delme süresinden kazanılmış olur. Buna karşılık kopan taşlar içinde iri parçaların oranı artar. Amaç iri parça elde etmek ise delik aralıklarını geniş almakta fayda vardır. Halen uygulanmakta olan delik aralıkları 2 m ile 10 m arasında değişmektedir. Gelişme delik aralıklarını artırıcı yöndedir. Bazen, özellikle delik aralıkları arttıkça, ateşleme sonunda meydana gelen yeni duvar eteğinde delik aralıklarında kopmayan ve tırnak diye adlandırılan kısımlar kalmaktadır. Bu çıkıntılar üzerinde yenden delik delmek ve ateşlemek zaman kaybına neden olmaktadır. Özellikle duvar yüzeyi kısa olan bir yerde ek ateşleme normal çalışmayı engeller. Bu sakıncayı gidermek için delik uzunluğunu basamak tabanının daha altına indirilmesi yoluyla gidermek mümkündür. Buna delik taban payı da denmektedir [2].

2.1.1.2 Ateşleme Yöntemleri

Ateşleme yöntemleri beş şekilde olmaktadır. Bunlar küçük çaplı deliklerle ateşleme, büyük çaplı deliklerle ateşleme, kamara açma, galeri sürme ve yatay dikeyler halinde ateşleme şekilleridir [3].

• Küçük Çaplı Deliklerle Ateşleme

Küçük çaplı deliklerle ateşleme genellikle 25-45 mm arasındaki deliklerde yapılır. Lağım atılması basamak tabanından ve martoperferatörle aynaya eğik olarak delinmiş deliklerle

yapılır. Deliklerin boyu sınırlı olduğundan, basamak yüksekliği 10-12 m' ye kadar olan işletmelerde uygulanır. Ateşleme sonunda ufak taneli, tekrar kırılmasına gerek olmayan, yüklemeye hazır taş elde edilir. Delikler arası mesafe genellikle delik boylarından biraz kısa seçilir. Delici makineler, elle çalışan makine olabileceği gibi, vagon drilllerden de yararlanılabilir [3].

- **Büyük Çaplı Deliklerle Ateşleme**

Büyük çaplı deliklerle ateşleme basamak yüzeyinden aşağıya doğru açılan deliklerle yapılır. Lağı m çapları 50-420 mm arasında değişir. Serbest yüzey ile delim kalınlığı arasındaki mesafe 2-14 m arasında değişir. delik çapı küçüldükçe delikler arasındaki mesafeyi de ufaltmak gerekir ve buna paralel olarak serbest yüzeyle delik arasındaki mesafe de kısılır. Ve böylelikle yüklenilmesi istenilen parça boyutuna getirilmiş olur. Küçük delik çapı delici makinelerin randımanını da artırır. Fakat büyük delik çaplarında ise fazla miktarda ve ucuz patlayıcı madde kullanım sağlanır. Bu tip ateşlemelerde delik sayısının hesabı, atılacak kayaç miktarına göre yapılır. Geniş çaplı delik açan makineler geliştirilmeden önce patlayıcı madde için ihtiyaç duyulan hacmin sağlanabilmesi bakımından kamara açma veya galeri sürme yöntemleri kullanılmıştır [3].

- **Kamara Açma Yöntemi**

Kamara açma yönteminde dar kesitli bir delik açılır, bu deliğe eziçi patlayıcı madde konulur ve ateşlenir. Patlama yıkıcı olmayıp sadece delik dibinde ezilme ve kırılma meydana getirir ve kamara şeklinde bir açıklık meydana getirir. Bunun sonucunda oluşturtulmuş basınçlı hava veya kaşık vasıtasıyla temizlenir ve kamara patlayıcı madde ile doldurularak ateşlenir. Bu işlem 3 defa tekrarlanır. Bu şekilde delik dibinde bir boşluk oluşturulur. Buraya konulan fazla miktarda patlayıcı madde ile istenilen amaca varılır. Bu yöntem zaman kaybına neden olmakta, birinci patlatmada arazide çatlaklar oluşturmakta ve ikinci patlatmanın gücünü zayıflatmaktadır. Sadece plastik ve yumuşak taşlarda iyi bir sonuç verir. Genellikle uzun zaman alan pahalı bir yöntemdir. Araç yokluğu dışında mecbur kalınmadıkça uygulanmamalıdır [3].

- **Galeri Ateşleme Yöntemi**

Galeri ateşleme yönteminde, açılan bir galeriye bir galeri sürülüp gereken miktarda patlayıcı madde yerleştirdikten sonra aralar ve çıkış yolu toprak ile doldurulur ve ateşleme yapılır. Galeriyi ateşlemesi genellikle bütün kayaç cinslerine uygulanabilir. Yalnız tabaka halindeki yataklanmalarda sakıncalı olabilir. Burada kullanılacak patlayıcı madde miktarı hesabında

kesilmesi istenilen dilim kalınlığı ile yakından ilgilidir. Burada dilim kalınlığı patlayıcı maddenin yerleştirildiği deliğin dış yüzeye olan uzaklığıdır. Dilim kalınlığı basamağın 1/3'ü ile 2/3'ü arasında olmalıdır. Bu yöntemle galeri açılması işi oldukça pahalıdır. Hemde zaman kaybına yol açar. Galeriler ne kadar doldurulacak olursa olsun fazla boşluk kalır, patlayıcı madde etkisini azaltır ve de kopma yukarı doğru olduğu için patlayıcı madde sarfiyatını artırır. Bu yöntem ancak araç olmadıkça kullanılacak bir yöntemdir [3].

- **Yatay Dli nler Hali nde Ateşleme**

Yukarıda belirtilen yöntemlerde bütün delme işlemlerinde 10-20 m yükseklikteki duvardan 2-5 veya 10 m genişlikte bir dilim koparılmaktadır. Dli nler düşey yönde olup ateşleme sonucunda değişik nitelikteki taşların hepsi birbirine karışmaktadır. Eğer taşlar ayrı ayrı değerlendirilecekse o halde bunların ayrı ayrı yüklenmesi mümkün değildir. Dli nler yatay olarak düzenlenirse kopan taşlar yerinde kalacak, karışma olmayacaktır ve böylelikle iyi bir ayrılm mümkün olacaktır. Bu yöntem sağladığı avantaja karşılık daha verimsiz, delik delme ve ateşleme zaman alıcı ve de genellikle daha pahalıdır. Taşlar arasında bir ayrım söz konusu olmayan yerlerde kullanılmalıdır. Ancak selektif (ayrımı) nedencilikte geçerlidir [3].

2.1.1.3 Kullanılan Patlayıcı Maddeler

Taş ocaklarında kullanılan patlayıcı madde büyük boyutlarda itici ve koparıcı olmalıdır. Gelişmeler delik aralıklarını arttırıcı yönde ilerledikçe bu özellik önem kazanmaktadır. Daha öncelerden kullanılan barut yerini tamamen farklı patlayıcı maddelere bırakmıştır. Bunun yerine esas delikşarjı olarak iki cins patlayabilir karışımlar kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar kuru ve sulu patlayıcı karışımlardır. Patlayıcı karışımlar yalnız başlarına yanabilen fakat patlama özelliği zayıf olan patlayıcı maddelerdir. Bunların diğer bir özelliği de kapsül ile doğrudan patlatılmalarıdır. Bu patlayıcı maddeyi patlatmak için “yeme” denilen dinamit türünden kuvvetli patlayıcı maddeye ihtiyaç göstermesidir. Yani önce kapsül dinamiti patlatacak, bunun oluşturduğu etkiyle de bu tip patlayıcı maddeleri infilak edecektir [3].

- **Kuru Patlayıcı Karışımlar**

Bu tipin en belirgin örneği amonyum nitrat ve mazot'un belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ANFO veya teknik amonyum nitrat denilen patlayıcı maddedir. Amonyum nitrat beyaz bir toz olup vurmaya ve çarpmaya karşı emniyetlidir. Ateşletmesinde hemen yanar. Büyük miktarda olmadıkça tehlikesi yoktur. Amonyum nitrat deliğe doldurulmadan önce %6 mazot ile karıştırılmaktadır. Bu suretle delik daha iyi doldurulabilmekte, hemde amonyum

nitratın içinde bulunan oksijen fazlalığı mazotun yanmasını sağlayarak ısı ve basıncın artmasını sağlamaktadır. Mazotun süzülmesi için ANFO'nun içine bir miktar odun talaşı karıştırılması gerekir. Toz halindeki amonyum nitrat içine odun kömürü veya kükürtte karıştırılarak patlayıcı madde elde edilebilir. Düşey deliklerde amonyum nitrat bir tehlike oluşturmaz; fakat yatay veya meyilli deliklerin doldurulmasında özel aletler gereklidir. Basıncılı hava ile çalışan özel tabancalar yardımıyla ince taneler halindeki amonyum nitrat delik içerisine rahatça püskürtülür. Bazen de amonyum nitrat naylon torbalar içerisine konulup deliğe yerleştirilir. ANFO'nun kullanımında başarı sağlamak için delik içerisine doldurulma şekli büyük öneme taşır. Ayrıca önemli olan diğer bir husus delik çapına bağlı olarak değişen şarj çapıdır. Genellikle delikle eşit çapta olur, şarj çapı büyüdükçe patlama hızı da artar. Anlaşıldığı üzere bu tip patlayıcılar düşey yönde açılan geniş çaplı delikler için uygundur. Patlama sonucunda bir miktar CO meydana gelebilir. Bu nedenle aynı karışımı yeraltında kullanılmaz. ANFO'nun tehlikesiz oluşu patlatılması için diğer patlayıcı maddelerden daha büyük vurma ve ısıya ihtiyaç göstermektedir. Dinamitin delik içerisinde ANFO sütununun orta yüksekliğinde olması ve kapsülün dipten tarafının delik ağzı tarafına dönük olması patlama verimini yükseltir. Amonyum nitrat rutubetten etkilenen bir maddedir. Bunun için fazla stoklanma önü yoktur. Ayrıca diğer maddelerden 4-5 kat daha ucuzdur [3].

• Sulu Patlayıcı Karışımlar

Son senelerde açık işletmelerde ve taş ocaklarında sulu patlayıcı karışımlar artan oranlarla kullanılmaya başlanmıştır. Bu patlayıcı maddeler özellikle su getirmiş fazla olan ve ANFO'nun kullanılmaması için veremeyen yerlerde kullanılmaktadır. Patlayıcı karışımlar moksitleyici olarak amonyum nitrat, sodyum nitrat, ve kalsiyum nitrat, yanıcı madde olarak mazot, madeni yağlar ve alüminyum tozları, duyarlaştırıcı olarak organik nitrat tuzları, nitrat esterleri ve TNT ile su ve jel yapıcı maddelerden oluşmaktadır. Bu karışımın suda çözündürülmesiyle elde edilen sulu patlayıcı karışımlar; slurry, su jeli, emulsyon'dur. Bu patlayıcı karışımın suya karşı dayanıklılığı çok iyidir. Yoğunlukları 1,05-1,8 g/cm³ arasında değişir. Yani, sulu deliklerde dişe kolaylıkla çöker ve delik içerisindeki suyu dışarı akıtır. Aynı zamanda delik içerisine fazla miktarda patlayıcı madde konulma imkânını verir. Sulu patlayıcı karışımları patlatabilmek için yemene dinamitine ihtiyaç vardır. Deliklere doldurulması ya dökme veya pompalarla basılarak yapılır. Ayrıca plastik torbalara konularak da yapılabilir. Bu tip patlayıcı maddeler ANFO'dan daha pahalıdır. Ayrıca çatlaklı formlasyonlarda sızarak kayacın içinde kaybolurlar [3].

2.1.1.4 Patlayıcı Madde Seçimi

Patlayıcı madde, patlama tasarımı nda kontrol edilebilen en önemli parametrelerden birisidir. Patlayıcı madde seçiminde şu faktörler dikkate alınmalıdır: delik çapı, kaya özellikleri, patlayıcı madde özellikleri, patlayıcı/kaya etkileşimi, maliyet, patlatılan kayanın hacmi, hava koşulları, su çevresel etkiler, duman, emiyet, patlatılan ortamın gazlı olup ol maması ve depolama. Yüksek dayanı ma sahip kayaların patlatıl masında etkili kırma enerjisi en önemli performans parametresidir. Bu uygulamalarda, daha yüksek etkili kırma enerjisine sahip patlayıcı madde seçilmelidir. Çatlaklı ve düşük dayanı ma sahip kayaların patlatıl masında ise etkili itme enerjisi en önemli performans parametresidir. Bu uygulamalarda, daha yüksek etkili itme enerjisine sahip patlayıcı madde seçilmelidir. Patlat malarda blok oluşumu söz konusu ise bu tür patlatmalarda daha dengeli kırma ve itme enerjisine sahip patlayıcı madde tercih edilmelidir. Bir başka deyişle, yüksek infilak hızına sahip patlayıcılar genellikle yüksek dayanı ma sahip masif kayalarda, düşük infilak hızına sahip patlayıcılar ise düşük dayanı ma sahip kayalarda daha iyi patlatma performansı verir. Buna göre; infilak hızı artmasıyla patlayıcının kırma enerjisinin de artacağı söylenebilir [4].

2.1.1.5 Yenileyici Seçimi

Yenileyici seçimi ana patlayıcı maddenin etkin bir şekilde ateşlenmesinde büyük öneme sahiptir. Yenileyici seçiminde dikkate alınması gereken başlıca unsurlar şunlardır [4]:

- **Yenileyicinin İnfilak Basıncı**

İnfilak basıncı düşük yenileyiciler kullanıldığında ANFO'nun ilk infilak hızı çok düşük, infilak basıncı yüksek yenileyiciler kullanıldığında ise yüksek olmaktadır. Yenileyicinin infilak basıncı ANFO'nun infilak basıncından oldukça yüksek olmalıdır. Aksi takdirde delik dibinde parçalanma yetersiz olur ve tırnak (taban) oluşur. Bu durum kazı-yükleme esnasında sorun yaratır. Diğer bir deyişle, ANFO'nun düşük hızla patlaması verimsizliğin yarattır. Bu ise ekonomik kayıptır [4].

- **Yenileyicinin Çapı ve Boyu, Delik Çapı**

Yenileyicinin ANFO'yu patlatma verimliliği, yenileyicinin çapı delik çapına yaklaştığında artar. Ancak yem çapının, delik çapı kadar değil, olabildiğince büyük olmasının yararı yine de vardır. Büyük çaplı deliklerde, yenileyicinin infilak basıncı ana patlayıcı maddenin infilak basıncından daha yüksek olmalıdır. Yenileyicinin boyu çapından daha büyük (1-4 katı arası) olmalıdır [4].

- **Ye mlenen Ana Patlayıcı Madde ve Kayaç Özellikleri**

Ye mlenen ana patlayıcı maddenin infilak basıncı ye mleyici seçi maşamasında gerekli bir parametredir. Çoğu üretici firmalar, patlatılan ortamkatılığında (kaya özelliklerinde) ve delik çapında ana patlayıcı maddenin infilak basıncını verirler. Buna göre, infilak basıncı ana patlayıcının kiinden yüksek olan bir patlayıcı madde seçilir [4].

2.1.1.6 Patlat madan Sonra O uşan Tane Boyutu Değerlendirilmesi

Açık işlet me veya taş ocağından elde edilen kayacın parça büyüklüğü her şeyden önce kayacın özelliklerine bağlıdır. Cerek patlat ma esnasında ve gerekse vuruş ma ve yuvarlan ma esnasında meydana gelen kuvvetlere karşı taşın kohezyonu karşı gel mektedir. İhtiyaçtan fazla patlayıcı madde kullanılması genellikle daha ufak parçaların elde olunmasına sebep olur. Yığın içindeki tane büyüklükleri işlet menin başarısı bakımından büyük öneme taşır. Elde edilen parçalar daha sonra öğütülecek ise, parçaların ufak olması faydalıdır. İstenilen boyuttan daha iri olduklarında bunların ufaltılmaları gerekir ki buda masrafa yol açar. Bu tür işlet melerde parçaların ufak olması istenir. Buna rağmen, örneğin, baraj inşası için açılmış taş ocağında iri parçaya ihtiyaç vardır. Bir açık işlet me veya taş ocağında parçaların istenilen büyüklükte olması, iyi parçalanmış, kolay yüklenebilir gevşeklik ve yükseklikte bir yığın elde edilmesi pek çok sayıda faktöre bağlıdır. Bu faktörlere aşağıda kısaca değinilmiştir [3].

- **Kayacın Niteliği**

Kayacın niteliği atının başarısını önemli ölçüde etkiler. Kıl gıbi plastik yapıya sahip kayaç ile gevşek yapıya sahip kayacın patlama şiddetine karşı davranışları farklı olur. Kayacın bünyesinde su bulunması halinde sudan etkilenmeyecek patlayıcı maddenin seçimi yararlı olur. Kayaç yoğunluğu arttıkça kazısı zorlandığı gibi elastik modülü fazlaştıkça da kırılabilir özellik de azalmaktadır. Bu bakımdan kayacın bütün özelliklerini iyi bir şekilde incelenmesi, örneklerin önceden laboratuvarlarda incelenerek uygun bir çözüm yoluna gidilmesi gerekir.

- **Delikler Arası Mesafe**

Deliklerin aralıkları arttıkça elde edilen parçadaki en iri parça boyutu da fazlalaşacaktır. Aralık azaltılınca parçalar küçülecektir.

- **Duvar Mesafesi veya Dili m Kalınlığı**

Dili m kalınlığı arttıkça en iri parça boyutları da artacaktır. Dili m kalınlığının azalması halinde kayaç fırlamalarına dikkat etmek gerekir.

- **Basma mak Arının Durumu**

Deliğin arına paralel olması başarılı bir atı mi için önemli bir kriterdir. Bu nedenle deliklerin basmak sevi ne paralel olması istenir. Düşey delik- meyilli basmakta dilim kalınlığı üstte az altta az olur. Bu konu parça boyutunu etkilemektedir.

- **Duvar Yüksekliği**

Aynı delik aralığı için yüksek prizmanın daha ufak parçalar vermesi beklenir. Ancak yüksekliğin delik aralıkları ile birlikte büyümesi iri parça elde edilmesinde etkilidir.

- **Sıklamanın Etkisi**

Patlayıcı maddeden yeterli fayda sağlamak için bu konuya önem verilmesi gerekir. Delik içerisinde oluşan gaz basıncının havaya kaçmasını önlemek ve basıncın kayaya yönelmesini sağlamada rolü büyüktür.

- **Basamaktaki Delik Düzeni**

Bugün açık işletmelerde uygulanan delik düzenleri kare, dikdörtgen veya üçgen (şerhbeş) şekilli olmaktadır. İlk ikisi yerine bugün şerhbeş düzen daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bu düzen özellikle gecikmeli kapsülle ateşleme işinde başarılı olmakta ve patlayıcı maddenin iyi dağılımını sağlamaktadır.

- **Delik Çapı**

Delik çapı yukarıdaki aralıklarla orantılı olarak büyü mektedir. Bu nedenle büyük delik çapı, parçaların da büyümesi yolunda etkilidir. Aralıkların az, delik çapının büyük olması birbiriyle bağdaşmaz.

- **Patlayıcı Madde Miktarı**

Patlayıcı madde miktarı arttıkça ufalanma fazlaşmaktadır.

- **Patlayıcı Madde Nevi**

Kırıcı ve ezici olan şiddetli patlayıcı madde toz miktarını artırmaktadır. Daha yavaş yanan türler ise daha ziyade itici ve koparıcı olarak çalıştığından iri parçaları artırmaktadır.

- **Ateşleme Sırası**

Gecikmeli kapsül kullanılması parçaların daha kolay yüklenilebilir hale gelmesini sağlar. Düz elektrikli kapsül kullanılıyorsa önce ön delik sırası ateşlenmelidir.

2.1.1.7 Delme Araçları

Delici araç olarak değişik büyüklük ve ağırlıkta delici makineler (martoperferatör) kullanılır. Delik çapı büyüdükçe delici içindeki piston çapının büyümesi gerekir ve tüm ağırlığı da artar. Açık işletmede kullanılan delici makine ağırlıkları en az 8-10 kg ile 2-3 ton arasında değişmektedir. En hafif tipler tali ateşlemeler için uygundur. 10-45 kg ağırlığa kadar olan delicileri her istikamette elletmek mümkündür. Düşey yöndeki deliklerde matkap delicinin ağırlığını taşıdığından 25 kg a kadar elle çalıştırılabilir. Elle çalışmada delicinin ağırlığını karşılamak ve aynı yönde tutmak zorluğundan hemde iki işçinin yapabileceği bu iş masraflı ve yetersiz olacağından 25 kg dan daha ağır deliciler bir sütuna veya şasi üzerine monte edilmiştir. Bugün açık işletmelerde ağır ve delik delme hızı yüksek olan delici makineler kullanılmaktadır. Açık işletmelerde kullanılan sütun deliciler sütun boyunca hareketlidir. Tabancanın aşağı doğru hareketi kendi ağırlığı, hidrolik basınç, zincir veya spiral olabilir. Yer değiştirme işlerini kolaylaştırmak amacıyla sütunun tekerlek üzerine monte edilmesi suretiyle meydana gelen cihaz vagon-drill olarak adlandırılmaktadır. Tekerlek yerine tırtıl konulması halinde cihaza küçük bir hava motoru ilave olunmakta ve bu suretle cihazın basınçlı hava hortunlarının uzandığı mesafeler içinde kendiliğinden yer değiştirme sağlanmaktadır. Bu tür delici, seyyar bir kompresörü çekmek suretiyle herhangi bir mesafeye de gidebilir. Bu cihazlara ancak kompresör bağlantısının sınırları içinde hareket edebilirler ve çok düşük hızla sahiptirler. Son gelişmeler kompresöründe aynı cihaz üzerine monte edilmesi yönündedir. Büyük lastik tekerlek üzerinde olan bu cihaz uzak mesafelere süratle ve kolaylıkla gidebilmekte, nakil için kaybedilen zamanları azaltmakta ve bir tek makine tarafından kullanılmaktadır [3].

2.1.2 Sürekli Yüzey Kazı Cıkar Yöntemi (Continuous Method)

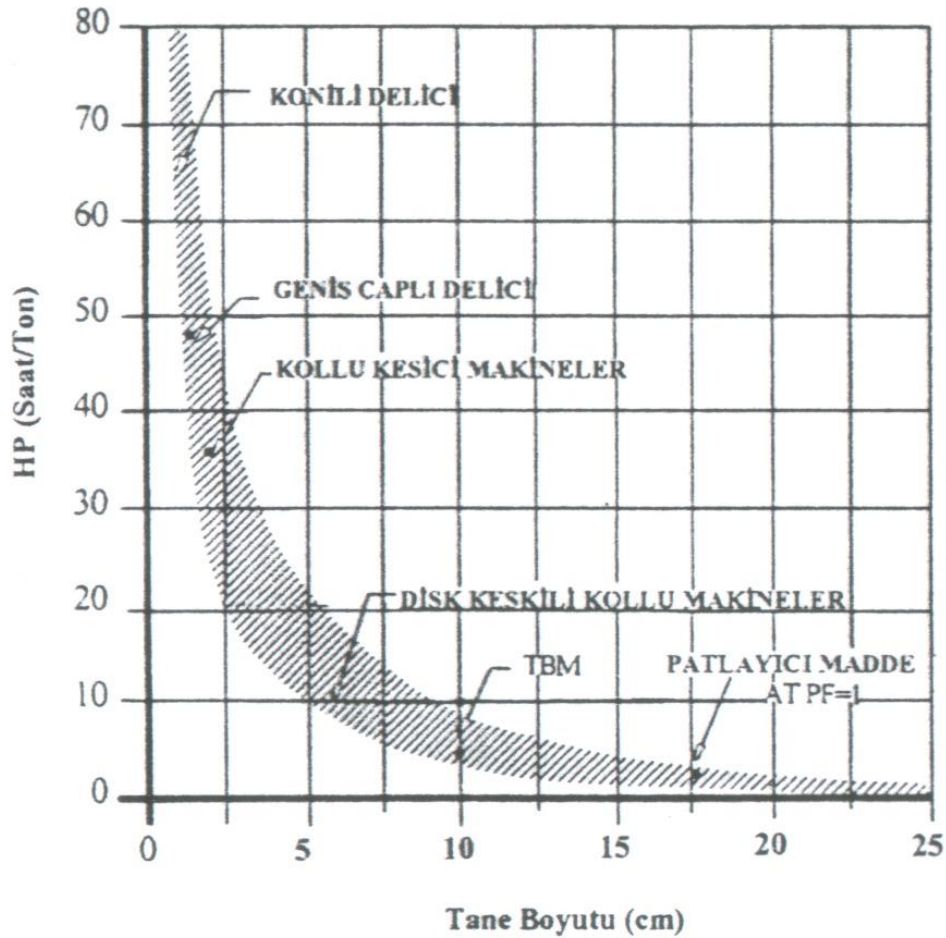
Büyüyen şehirlerin içerisinde kalan bir çok taş ocağı, gürültü, sarsıntı, toz gibi çevre sorunlarından dolayı, bugün kapanmayla karşı karşıyadır. Bu sebeplerle bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla yapılan çalışmalar delme-patlatma çalışmalarını devre dışı bırakmaya yöneliktir. Bu teknolojiler mekanik kesme ve parçalamaya esaslıdır. Şekil 2.3'de de görülebileceği gibi, belirli bir tane boyutunun üzerinde kayacı parçalamak için gerekli enerji patlayıcı madde ile kazıda minimum seviyededir. Agregada olduğu gibi eğer parçalanacak kayacın boyutunun 18-20 cm den daha küçük olması isteniyorsa, devreye mutlaka

bir kırıcı konulmalı veya kesiciler uygun olduğu ölçüde mekanik kesiciler kullanılmalıdır. Bu seçimde en önemli hususlardan bir tanesi, taş ocağındaki hakim forasyonun mekanik olarak verimli ve ekonomik olarak parçalayıp parçalanamayacağıdır [5].

- **Kullanılan Kesiciler**

1950'lerden beri süre gelen patlayıcı maddesiz üretim kayacın jeoteknik özelliklerine bağlı olarak kullanılan mekanize kazıdaki kesici uçlar Şekil 2.4' de gösterilmiştir.

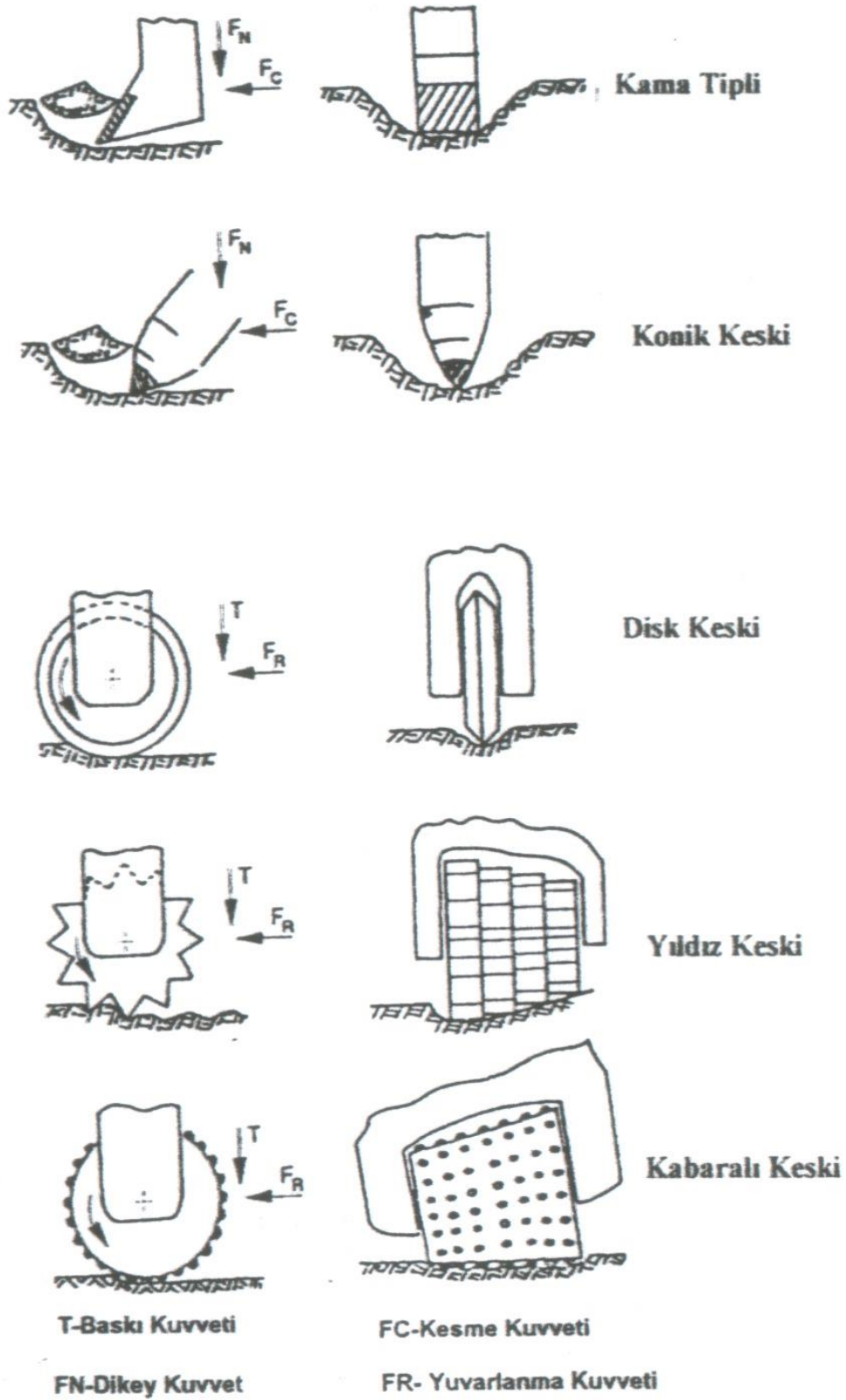
Bu kesiciler döner bir tambur üzerinde belirli bir düzenle yerleştirilir ve kayaç arınma uygulanan uygun bir bastırma kuvveti ile kayacın kesilip parçalanmasını sağlar. Bunlardan kamalı, koni ve kabaralı kesiciler bir çelik gövde üzerine sarı kaynak yöntemiyle tutturulmuş tungsten karbür kesicilerden oluşur. Tungsten karbür uçlar, toz metalurjisi prensibi ne göre, tungsten karbür tozun belirli bir oranda kobaltla karıştırılması, preslenmesi ve sinterlenmesi prosesi ile elde edilir [5].



Şekil 2.3 Değişik kazı tekniklerinde, kayaç parça boyutu ile harcanan enerji arasındaki ilişki

- **Makine Seçiminde ve Tambur Dizaynında Dikkat Edilecek Hususlar**

Önceden belirlenmiş bir üretim planlamasına uygun makine seçimi ve tasarımı için genel de endüstriyel tecrübelerden veya laboratuvarlarda yapılan tam boyutlu kesme deneylerinden yararlanılır. Yapılan deneylerde keskinin kayaç için uygun olup olmadığına, optimum kesme hızı, kesme derinliği ve keskinler arası mesafe, şartlara uygun kafa gücü ve tasarım ilkeleri tespit edilir [5].



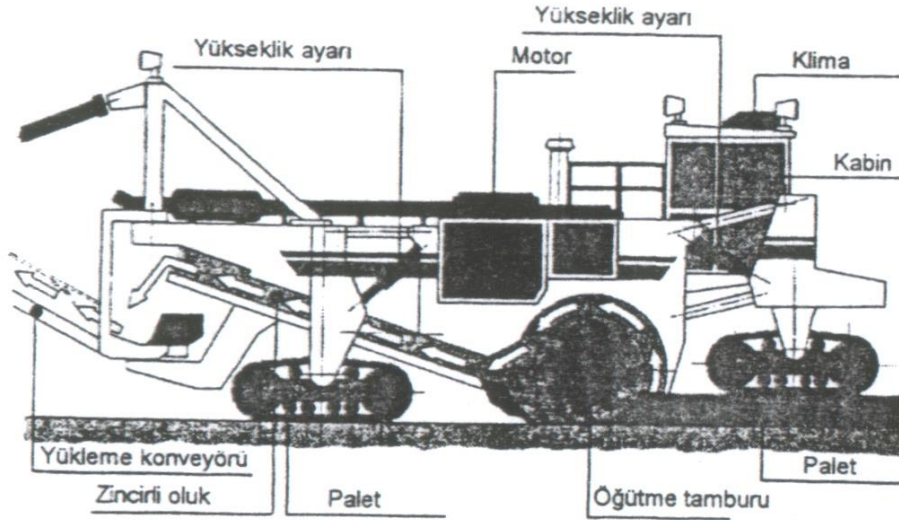
Şekil 2.4 Kayaç kesme-parçalama işleminde kullanılan değişik keski ler

- **Makine Performansının Önceden Tahmini**

Bir ocağın üretim planlamasında ve maliyet analizinde, seçilen mekanik kazıcının kesme performansının önceden tahmini, sağlıklı karar için esastır. Taş ocaklarında performans modelinin geçerliliği halen tartışılmaktadır. Fakat bazı yaklaşımlar söz konusudur. Bu yaklaşımlardan ilki mekanize galeri ve tünel açmada kullanılan tamburlu kesiciler (roadheader veya kollu galeri açma makinesi) için geliştirilen modeldir. Bu modelin üretim hızı, makine kesme gücüne, kayacın basınç dayanımına ve jeolojik süreksizliklerin sıklığına bağlıdır [4].

2.1.2.1 Attan Tamburlu Sürekli Yüzey Kazıcıları

Attan tamburlu sürekli yüzey kazıcıları Şekil 1.5 'de görüldüğü gibi altlarındaki kesici tambur yardımıyla her dönüşte yüzeyden bir dilimi kaldıran ve kesilen forasyonu bir zincirli oluk yardımı ile taşıma vasıtalarına aktaran bir çeşit kesici yükleyici makinedir [5].



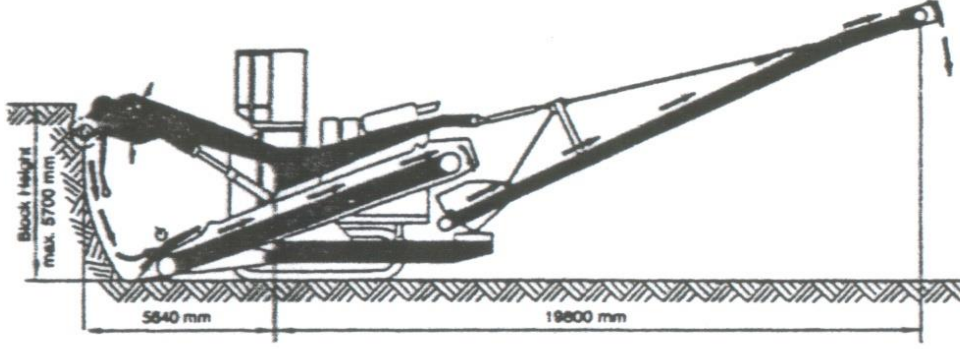
Şekil 2.5 Bir sürekli yüzey kesicisinin çalışma prensibi (Wirtgen SM)

1986'da yapılan bir çalışmaya göre, bu tarihe kadar bazı şirketler tarafından yaklaşık 60 tane makine üretilmiştir. Bunlar 20 t ile 130 t ağırlıklarında 160 kW ile 1200 kW güçlerinde makinelerdir. Bu tür yüzey kazıcılar genelde kömür ocaklarında kullanılmalarına rağmen, son yıllarda çok özel şartlarda taş ocaklarında nadiren de olsa kullanılmaya başlanmıştır. Buna örnek olarak Fransa'da bir taş ocağı verilebilir.

2.1.2.2 Önden Tamburlu Sürekli Yüzey Kazıcılar

Voest-Alpine şirketinin geliştirdiği VAS M tipi önden tamburlu bir sürekli yüzey kazıcı Şekil 1.6'da gösterilmektedir. Bu tür mekanik kazıcılar kömür ocaklarında olduğu gibi,

Avusturya'daki gibi bir kireçtaşı ocağında başarı ile kullanılmıştır. Bu makinenin kesme verimi, forasyonların basınç dayanımları arttıkça, verim düşmektedir. Masif bir kireçtaşı forasyonunda uygulama sınırı 400 kg/cm^2 gibi görülmektedir.



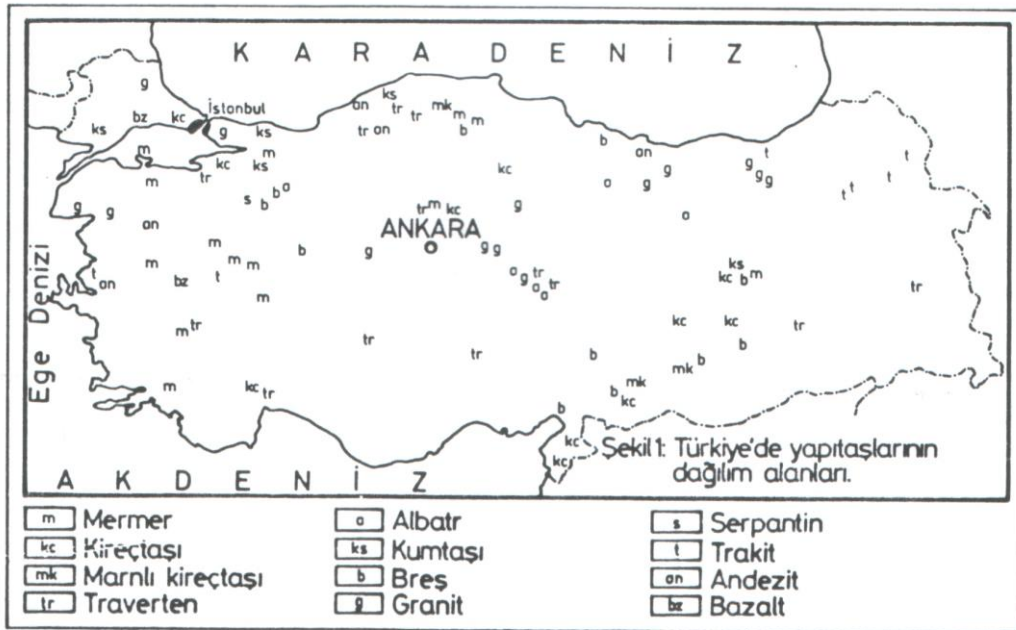
Şekil 2.6 Önden tınburlu bir sürekli yüzey kazıcının genel görünümü

Sürekli yüzey kazıcıların uygulaması bugünkü teknolojik şartlarda kayacın basınç dayanımı ile sınırlıdır. Kayaç setleştikçe makinelerin arızaları artmakta ve bakım giderleri ile uç sarfıyatları ekonomik uygulama sınırlarını zorlamaktadır. Bu yöntemin, delme-patlatma yöntemine göre diğer dezavantajı ise ilk yatırımın fazla olmasıdır. Sürekli yüzey kazıcılarda kamalı ve konik keskilardan başka bir tür keski kullanmak mümkün olmuştur. Bu tür keskil mekanik dayanımları açısından en fazla 5-6 ton yük alabildiklerinden kullanım alanları orta set forasyonda sınırlı kalmıştır. Fakat Amerika'da yapılan bir araştırmada, uzay teknolojisinde kullanılan iğne yataklar yardımıyla büyük diskler kadar yük alabilen 10 cm çapında mini disklerin imalini mümkün olduğunu göstermiştir. Bunların bir avantajı da, aynı yüklere büyük disklere nazaran daha fazla yük yapabilmesidir. Çok yakın bir zamanda mini disklerle donatılmış bir çok yüzey kazıcının taş ocaklarında verimli bir şekilde çalışacağı görüşü yavaş yavaş yaygınlaşmaktadır. Türkiye ocakları bu gelişmeye şimdi den hazır olmalı ve forasyonların kesilebilirlik özelliklerini şimdi den tespit ettirmelidirler [5].

2.2 Türkiye'deki Taş Ocakları ve Kapasiteleri

Kum çakıl, kırma taş rezervleri için kullanılabilecek geniş jeolojik yapıların varlığından dolayı uzun yıllar ihtiyaca cevap verebilecek rezervler mevcuttur. Türkiye'deki yapı taşlarının dağılım alanları Şekil 1.7'den görülebilir. Ülkemizde oldukça bol ve geniş bir alanda sağlanabileceğinden rezerv konusunda bir sıkıntı söz konusu değildir. Ancak, kullanım alanı nedeniyle birim maliyetlerinin düşük tutulması gerekliliği faydalanılabilir rezervi

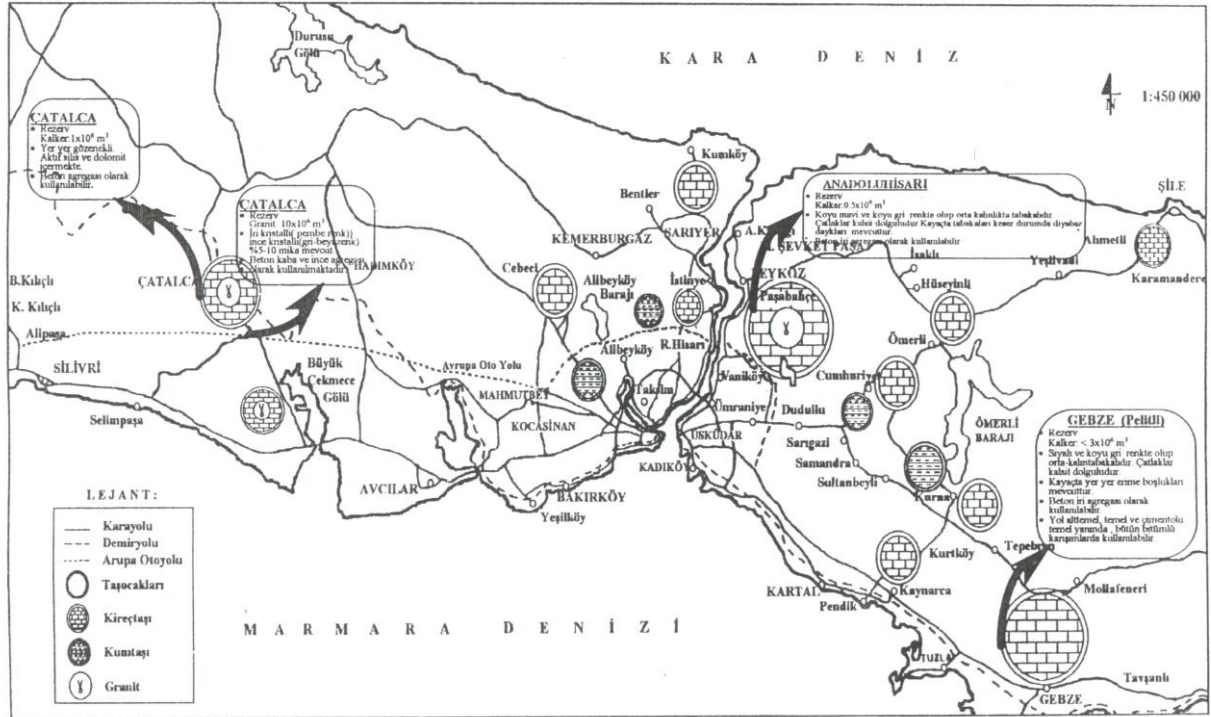
kısıtlanmaktadır. Tüketim alanlarından uzakta olan agrega için nakliye maliyetleri birim maliyetler içerisinde önemli yer tutmaktadır. Tüketim alanlarına uzak olmalarının yanında, arazi kullanımıındaki sınırlamalar, çevre koruma sorunları mevcut rezervlerin kullanımı sınırlanmaktadır. Kentleşmenin hızlandığı günümüzde büyük şehirlerin yakın çevrelerinde üretimi kısıtlanmaları dolayısıyla zaman zaman kum, çakıl ve mıcır arzında darboğazlar ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde, Taş ocakları Nizamnamesi kapsamına giren (özel idare ruhsatlı) kum ve taş ocakları işletmelerinin sayısı yaklaşık 1100 civarındadır. Ayrıca, Maden Kanunu kapsamındaki ruhsatlara göre faaliyetlerini sürdüren işletmeler de mevcuttur [2].



Şekil 2.7

Türkiye'de Yapıtaşlarının Dağılım Alanları (Türkiye haritası)

Ülkemizde kır natas ocakları ile ilgili çok sağlıklı bilgiler bulunmakla birlikte Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) tarafından açıklanan verilere ulaşmak söz konusudur. İstanbul çevresinde bulunan taş-kır natas ocakları incelendiğinde Şekil 2.8' de oluşturulan bir harita ortaya çıkmaktadır [6].



Şekil 2.8 İstanbul ili çevresi Taş-kır natas ocakları haritası [6].

İstanbul ilinin gerek Rumeli, gerekse Anadolu yakasında yer alan taş ocaklarının dağılımı bir yer buldur haritası çerçevesinde Şekil 2.8' de incelenmiştir. Şekilden de hemen fark edileceği üzere, taş ocaklarının daha yoğun olarak dağıldığı ilçeler Çatalca (kireçtaşı ve granit), Gebze (kireçtaşı ve granit) ve Beykoz (kireçtaşı) ilçelerinde yer almaktadır. Kumtaşlarını ise, Alibeyköy, Cumhuriyet ve Kurna ci varında yaygın olarak bulunduğ görülmektedir. İstanbul ili çevresindeki taş-kır natas kaynakları Rumeli yakasında; Mahmutbey (Cebeci), Çatalca, Anadolu yakasında ise; Gebze ve Ömerli olarak dikkat çekmektedir. İstanbul ilindeki taş-kır natas ocaklarının rezerv büyüklüklerine ilişkin kesin bir veri bulunmakla beraber, kalder rezervlerinin 9-10 milyon m³ olarak yaklaşık bir değer verilebilir [6]. Ülkemizde kır natas ocakları ile ilgili çok sağlıklı bilgiler bulunmakla birlikte DİE tarafından açıklanan verilere ulaşmak söz konusudur. Buna göre Taş Ocakları Nizamnamesine göre oluşturulan kum kil, taş ocakları işletmelerinin hakkında Tablo 2.1 oluşturulur.

Tablo 2.1 Taş Ocakları Nizamnamesi Kapsamına giren Kum Kil, Taş Ocakları İşletmeleri (1997)

Maden Grupları	İş Yeri Sayısı	Çalışanlar Ortalaması	Üretim Miktarı (ton)
Yapıtaşı	198	1299	14 706 184

Kireçtaşı (Kal ker)	134	1114	17 597 921
Ku m ve Çakıl	492	5194	86 019 752
Kıl	21	167	2 769 788
Mer mer hari ci ndeki taşların granül parça ve tozları (kır nat aş, m cır vs.)	147	2088	29 967 330
D ğer (mer mer, granit, bazalt, toprak, kayrak, marn, tras, al çıtaşı, kaolin, poma)	116	1072	(1)

(1) Çeşitli maddenlerin toplam miktarı olduğundan verilmiştir.

Ülke genelinde bir çok irili ufaklı tesislerin faaliyet gösterdiği bu sektörde, talebe göre kapasite artırımları kısa sürede sağlanabilmektedir. Üretim başlama süresinin kısa olması nedeniyle tesis bazında uzun vadeli planlama yapılmaktadır. Talebin yoğun olduğu dönemlerde kolay temin edilebilir makine ve ekipmanlar kullanılarak üretim artışı gerçekleştirilebilmektedir. Sektör olarak kapasite artırımlarının çok kolay olmasından dolayı mevcut kapasitenin kullanılması oranı yüksektir. Agregasektöründe 1300 civarında işletme faaliyet göstermektedir.

2.3 Agregaların Kullanım Alanları

Agregalar oldukça yaygın bir kullanım alanlarına sahiptirler. Öncelikle ve özellikle beton ve çimento sektöründe vazgeçilmez bir malzemedir. Toplam betonun ağırlıkça %80'ini in agregada olduğu bilinmektedir. Agregası çimento ve su ile betonu oluşturan temel malzemelerden biridir. Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönlerden çok önemli bir konumunu bulmaktadır. Betonda agreganın kullanılması, sertleşme ve beton hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, ayrıca çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmaktadır [8]. Yıllara göre ülkemizde çimento sektöründe çimento tüketimine bağlı agregat tüketim miktarları Tablo 2.2'de görülmektedir [6]. Agregaların genel kullanım yerlerine kabaca bakıldığında; bina, köprü, yol parkesi, blokaj, bordür taşı, ot o yol, tünel, balast, çatı arduvazı, demiryolları gibi çeşitli inşaat işlerinde kullanılmaktadır [1].

Tablo 2.2 Yıllar İtibariyle Türkiye Çimento Tüketimine bağlı Agregat Tüketim Miktarları (Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği)

Yıllar	Çimento Tüketimi (ton/yıl)	Agrega Miktarı (ton/yıl)
1993	29.603.000	142.094.400
1994	26.697.000	128.145.600
1995	30.085.000	144.408.000
1996	32.087.000	154.017.600
1997	32.622.000	156.585.600
1998	34.177.000	164.049.600
1999	31.762.000	152.458.000

1999 yılında ülkeyi etkileyen deprem felaketi nedeniyle 1999 yılında kullanılan çimento miktarı 1998 yılının altında kalmıştır. Agregat beton malzemesi dışında, dolgu ve ıslah malzemesi, yol inşaatlarında, demiryollarında, asfalt ve temel malzemesi olarak önemli miktarlarda kullanılmaktadır. TC Karayolları, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Belediye Asfalt Tesisleri gibi kamu kurumları yanında özel sektörde tükettiği agregaları dikkate alındığında karşımıza 30.000.000 ton civarında bir tüketim miktarı ortaya çıkmaktadır. 1999 yılında beton, dolgu ve asfalt işlerinde kullanılan toplam agrega miktarı 180.000.000 ton olarak gerçekleşmiştir [6].

2.4 Numune Alınan Bölgelerin Tanıtılması

Agregaların mekanik özellikleri ile dokusal özelliklerini incelemek için çeşitli bölgelerden agrega örnekleri getirilmiştir. Bu numunelerin alındığı madenler şunlardır: Kale Maden, Gebze Taş Ocakları, Haska Maden, Cebeci Taş Ocakları, Soyak Maden, Sivas Maden, İslamoğlu Maden, Gümüştaş Maden, Yapı Maden'dir. Alınan bölgelerin birkaçı aşağıda tanıtılmaktadır.

• Gebze Taş Ocakları

Kocaeli Gebze ilçesi, Tavşanlı köyü, Taşkalıdıran mevkiinde Hereke Formasyon Gebze Taşocakları işletmecileri tarafından işletilmektedir. Bölgede kireçtaşı ocakları mevcuttur. Yer yer faylanma ve kırılma görülmektedir. Üretim şekline göz atıldığında, bu ocakların tümünde kırma taş (mıncır) üretimine yönelik delme-patlama yöntemiyle tek aynalı ve/veya basamaklı ayna şeklinde açık ocak işletmesi yapılmaktadır. Bu ocaklarda değişik kapasiteli kırma-eleme tesisleri kullanılmaktadır. Bu ocaklarda kırma taş üretimi 4 şekilde gerçekleşmektedir: delme-patlama, gevşetme-ufalama-yükleme, taşıma, kırma-elemektir.

Gebze taş ocakları yerleşim ve sanayi alanları ile iç içe bulunmaktadır. Dolayısıyla ocak içi malzeme üretimi ölçülü bir delme patlatma ile sınırlandırılmıştır. Delme işlemi vagon drill ve hidrolik delici (Tonrock) makinelerle yapılmaktadır. Ayna yükseklikleri genellikle 10-20 m arasındadır. Dili mkalınlığı ve delikler arası mesafe 3-4 metredir. Çoğunlukla tek sıra halinde ve 8-12' şer deliktaki m şeklinde delinmektedir. Delik çapları genellikle 89 mm dir. Hareke for masyonu çatlaklı ve kırıklı olduğu için delme işini olumsuz etkilemektedir. Gebze taş ocaklarında yemeyici olarak genelde jelatinit dinamit, emulite 100 ve gecikmeli kapsül kullanılmaktadır. Ayrıca ANFO ve sudan etkilenmeyen emulite 6000 de delik şarjlarında esas patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır [9].

- **Yapı Miden**

Yapı Miden, kaliteli beton üretimi için gerekli nitelikli kır mtaş ve taş kumunu karşılamak üzere 1989'da kurulmuştur. Modern yönetimi, kalite anlayışı ve 1.050.000 ton/yıl üretimiyle, Yapı Mkezi Grubu'nun beton fabrikalarına, şantiyelerine, hazır beton santrallerine, belediye asfalt şantiyelerine ve büyük inşaatlara sürekli kaliteli beton agregası sağlamaktadır. Üretimde büyük ekonomik kayıpları önlemeye büyük özen gösteren şirket, çevre koruma bilinciyle 350.000 m³/gün kapasiteli bir arıtma tesisini devreye sokmuştur. Yapı Miden'in yıllık üretimi 1.050.000 ton'dur. İki bölgede ocakları mevcuttur. Biri Ömerli ocağı diğeri de Tekirdağ'da bulunan taş ocaklarıdır. Ömerli ocağında 700.000 ton/yıl; bunun 500.000 ton/yıl' ı agregaya 200.000 ton/yıl' ı taş tozudur. Tekirdağ'da ise 350.000 ton/yıl; bunun 200.000 ton/yıl 'ı agregaya 150.000 ton/yıl' ı taş tozudur.

3. AGREGALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

3.1 Agregaların Tanımı

Organik olmayan, kum, çakıl, kırntaş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelere agrega denir [10].

3.2 Agregaların Jeolojik Yapısı

Yapı malzemesi olarak kullanılan, doğal ve yapay endüstriyel mineral ve kayalar “mineral agregaları” olarak adlandırılırlar. Doğal mineral agregalarının bileşiği kayalar ve minerallerdir. Mineraller kimyasal bileşimleri tanımlanmış, özel kristal yapıya sahip doğal oluşumlardır. Kayalar ise bu minerallerin bir araya gelmesiyle oluşurlar. Doğal agregalar olarak tanımlanan kırntaşları meydana getiren kayalar, kökenlerine göre magmatik, metamorfik ve sedimenter olmak üzere üç temel grupta yer alırlar. Kırntaş olarak kullanılan bu kayaların sınıflandırması aşağıdaki Tablo 2’de belirtilmiştir [1].

Tablo 3.1 Doğal Kırınatış Hammaddelerini n Jeolojik Sınıflandırılması [11]

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Yoğunluk
Magmatik	Plütönik	Granit	
		Siyenit	2.60
		Diorit	2.70
		Gabro	2.80
		Peridotit	2.90
	Volkanik	Riyolit	2.60
		Trakit	2.60
		Andezit	2.60
		Bazalt	2.80
		Diyabaz	2.90
Sedimenter	Kimyasal (Karbonatlı)	Dolomit Kireçtaşı	2.70 2.60
	Kırıntılı (Silisli)	Konglomera Kuvertaşı, Kuvarsit, Arkoz Kiltası, şeyl, Arjilit, çört, Grovaç	2.60
Metamorfik	Foliasyonlu	Anfibol	3.00
		Şist	2.80
		Grays	2.70
		Sleyt, fillit	
	Foliasyonsuz	Mermer Kuvarsit	2.70 2.80

3.2.1 Mağmatik Kayaçlar

Mağmanın katılaşmasıyla oluşmuşlardır. Mağmanın katılaşma derinliğine ve zamanına bağlı olarak derinlik- plütonik, intrüzif ve yüzey- volkanik, ekstrüzif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Derinlik kayaçları, 1 mm' den daha büyük tane boyuna sahip minerallerden oluşmuştur. Volkanik kayaçlar ise 1 mm' den daha küçük tane boyuna sahip minerallerden meydana gelmiş ve cansız malzemelerden oluşmuşlardır. Tane boyutundaki bu değişim mağmanın soğuma derecesine ve katılaşma boyunca oluşan fiziko-kimyasal koşullara bağlıdır [1].

Granit: Silis ve alkalilerce zengin, kalsiyum demir, ve magnezyumca fakir, yeryüzünde sıkça görülen en önemli kayaçtır. Kuvars, alkali feldspat, asit plajiyoklaz, biyotit ve hornblend, nadiren piroksen esas mineralojik bileşimini oluşturur. Tüm kristalli bir dokuya sahip olup, açık renkler ile karakterize olur. Yüzey kayacı riolittir [1].

Siyenit: Kimyasal bileşimlerinde %52-66 arasında SiO_2 bulunur. Bazen çok az, fakat genellikle hiç kuvars içermezler. Tüm kristalli ve taneli kayaçlardır. Mineralojik bileşimi alkali feldspat, plajiyoklaz, biyotit, hornblend şeklindedir. Granitlerle karşılaştırıldığında siyenitlere doğada daha az rastlanır. Yüzey kayacı trakittir [1].

Diyorit: Açık gri renkli, orta-iri taneli bir kayaçtır. Bileşiminde plajiyoklaz (andezin), hornblend, biyotit ve piroksen mineralleri vardır. Kuvars hiç yok veya çok azdır. Dış görünüşü granite benzermesine rağmen daha koyu renklidir. Yüzey kayacı andezittir [1].

Gabro: Genellikle iri kristalli, koyu renkli, mineralojik bileşimi plajiyoklaz (labrador veya anortit), piroksen ve amfibol olan derinlik kayacıdır. Yüzey kayacı bazalttır [1].

Peridotit: Olivin ve piroksene zengin, %45 ten az SiO_2 içeren koyu renkli bir kayaçtır. Bileşimindeki olivin veya piroksene bağlı olarak dümit veya piroksenit olarak adlandırılır [1].

3.2.2 Sedi mantar (Tortul) Kayaçlar :

Hava suyun mekanik ve kimyasal etkisi ile oluşan parçacıkların (tortular) su, rüzgar, dalga ve buzullarla aşınıp deniz, göl, akarsu veya karalarda üst-üste birikmesi olayına “tortulaşma”, “çökelme” veya “sedimentasyon”; bu şekilde oluşan kayaçlara da “tortul” veya “sedimantar” kayaçlar denir. Genellikle tabakalı olup, çoğunlukla fosil içerirler [1].

Konglomera, kumtaşı ve kuvarsitler : Bu kayalar, kum ve çakıl tanelerinden birinin veya her ikisinin doğal bağlayıcı maddelerle çimentolanması sonucu oluşmuşlardır. Bu çimento maddeleri kum, silt, kil ve karbonat, silis, kil, dolomit, demir vb. bileşimlerinde olabilir. Eğer taneler çakıl özelliğinde ise bu kayaca “konglomera” denilir. Eğer kayalar, çapları 2-0.02 mm arasında olan kumbüyük büyüklüğündeki tanelerin bir araya gelmesiyle oluşmuşlarsa “kumtaşı” veya “kuvarsit” olarak adlandırılırlar. Kuvarsitler kuvars tanelerinden oluşmuşlardır. Konglomera ve kumtaşları sadece sedimenter kayaç olmalarına rağmen, kuvarsitler sedimenter veya metamorfik olabilirler [1].

Grovak: Kumbüyük büyüklüğündeki kuvars ve feldspat tanelerinin çimentolanmasıyla oluşmuştur. Kum boyutlu kumtaşı, şeyl, arjilit ve silekt kayaç parçaları matris içinde bolca bulunur [1].

Arkoz : Granitlerden türeyiş, feldspatça zengin kaba taneli kumtaşlarıdır [1].

Kumtaşı, şeyl, arjilit, siltaşı : Bunlar çok ince taneli kayalar olup, sedimenter silt veya killerin veya kil içeren herhangi bir kayanın erozyonu ile oluşmuşlardır. Yumuşak ve masif ise “kumtaşı” veya “siltaşı” olarak bilinir. Eğer kumtaşı sert, tabakalı veya ince tabakalara bölünebilir haldeyse “şeyl” olarak adlandırılır. Kuvars, feldspat ve diğer mineralleri içeren masif ve dayanıklı ince taneli killi kayalar “arjilit” olarak bilinir. Arjilit bazı şeyller gibi su ile temasla dağılıp parçalanmazlar [1].

Karbonat kayalar : Bileşiminde CO_3 bulunduran kayalarlardır. Kalsit minerali bakımından zenginse “kireçtaşı”, dolomit minerali içeriyorsa “dolomit” olarak adlandırılırlar. Bu kayalar genellikle her iki minerali belirli oranlarda içerirler. Bazı karbonat kayaları kuvars, çört, kil mineralleri, organik maddeler, jips ve sülfürler gibi karbonat olmayan karışımlar içerebilirler [1].

Çörtler : Mikrokristalli ve kriptokristalli kuvars, kalsedon veya opal gibi silisçe zengin kolloidlerin yumrular halinde birikmesiyle oluşmuşlardır. Çörtler, kireçtaşı ve dolomit forasyonlarında kum ve çakıl bileşenleri gibi nodüllü, mercer veya çatlakları dolduran şekiller olarak izlenirler. Yine kimyasal sedimenter kayalardan, karbonatça zengin, ince taneli delikli ve hafif olan “traverten” ve “albatr”lar da kumtaşı hammaddeleridir [1].

2.2.3 Metamorfik Kayalar

Magmatik, metamorfik veya sedimenter kayaların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında veya kimyasal aktivitesi olan sıvılar (eriyikler) etkisiyle değişimleri, başkalaşmaları sonucu oluşmuş kayalarlardır. Bu kayaların foliasasyon veya şistozite adı verilen başlıca özellikleri,

birbirine paralel düzlemler boyunca ve kolaylıkla yaprak veya dilimlerle halinde ayrılabilirler, bölünmeleridir [1].

Şist : Folisyonu oldukça belirgin, şiddetli derecede değişikliğe uğramış, orta taneli bir kayadır. Mineralojik bileşimini çeşitli mineraller, kuvars, klorit ve talk oluşturur [1].

Gnays : Orta-iri taneli, kristalli, çoğunlukla açık renkli, kuvars ve feldspatlardan meydana gelmiş kayalardır. Kolaylıkla levha veya prizmalara ayrılabilir. Magmatik kayalardan türeyen çeşidine “ortognasy”, sedimentary kayalardan türeyen çeşidine ise “paragnays” adı verilir [1].

Sleyt (arduvaz) : Bileşiminde daha çok muskovit bulunan, şeyl ve ince taneli volkanik tüflerden oluşmuş, çok hafif metamorfizma geçirmiş bir kayadır [1].

Filit : Sleyte benzeyen, bileşiminde serisit, klorit ve kuvars bulunan ince taneli bir kayadır. Tane boyu ve mineralojik bileşim bakımından şist ve sleyt arasındadır [1].

Mermer : Kireçtaşı, dolomit kireçtaşı, bazen de dolomitlerin metamorfizması sonucu oluşmuşlardır. Küçük taneli olmaları olağandır. Bileşiminde silis, silikat, feldspat, demiroksit, manganoksit, pirit, nika, fluorit ve organik maddeler de bulunabilir [1].

Kuvarsit : %80 den fazla kuvarsta oluşmuş, taneli-kristalli bir kayadır. Kuvars taneleri birbiriyle tamolarak çimentolanmışsa kayaya yüksek bir dayanım verir [1].

Agreganın günümüzde beton yapımında olduğu kadar diğer sektörlerde de ekonomik ve teknik açıdan çok önemli bir yeri vardır. Agreganın maliyeti çimentoya göre daha ucuz olduğu için dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir. Betonda agreganın kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olabilir. Agregaya kaba ve ince agrega olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde kaba agrega “macır” yada “çakıl”, ince agrega “kum” olarak isimlendirilir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter 4 mm boyuttur. 4 mm den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısma kaba agrega, 4 mm den küçük boyuttaki tanelerden oluşan kısma ince agrega denir. Agreganın kullanılış amacına göre istenilen nitelikleri taşıması gerekmektedir. Gerekli mukavemete sahip olması ve dış etkenlere dayanabilirliktir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Yeterli aşınma mukavemetine sahip olmalıdır [12].

3.3 Agregalar ve Özellikleri

Aşağıda genel olarak agregaların çeşitleri ve özelliklerinden kısaca bahsedilmiştir [13].

3.3.1 Agregalar (Kum Çakıl)

Doğal, yapay ve ya her iki cins yoğun mineral malzemenin, genellikle 100 mm ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış ve/veya kırılmış tanelerin bir yığıdır.

3.3.2 Doğal Agregalar (Doğal Taş Agregası)

Doğal agregalar; teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmış yoğun yapıslı agregadır.

3.3.3 Yapay Agregalar (Sanayi Ürünü Agregası)

Yapay agregalar; yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmış yoğun yapıslı agregadır.

3.3.4 İri Agregalar

4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

a) **Çakıl**; Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

b) **Kırma Taş**; Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır (kırma taş, çakılın kırılması ile de elde edilebilir).

c) **Yapay Taş**; Yüksek fırın cüruf taşı gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmış iri agregadır.

3.3.5 İnce Agregalar

4 mm açıklıklı kare delikli elekten geçen agregadır.

a) **Kum** Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır.

b) **Kırma Kum** Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır (kırma kum çakılın kırılması ile de elde edilebilir).

c) **Yapay Kum** Yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmış ince agregadır.

3.3.6 Taş Unu

0,25 mm açıklıklı kare delikli elekten geçen ince malzemedir.

3.3.7 Karışık Agregalar

İnce ve iri agregalar karışımıdır.

- a) **Doğal Karışık Agregalar (Tüvenan Agregalar);** Agregalar ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregalara da doğal karışık agregalar denir.
- b) **Hazır Karışık Agregalar;** İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfa ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı sağlayacak şekilde önceden birbirine karıştırılması ile hazırlanmış agregadır.
- c) **Yerinde Karışık Agregalar;** Yerinde karışık agregalar; ince ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfa ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılmasıyla meydana gelen agregadır.

3.4 Agregaların Özellikleri

3.4.1 Özellikler

3.4.1.1 Genel Özellikler

Agregalar, suyun etkisi altında yumuşamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. Agregalar kullanımı yer ve amaçlarına göre, granülometrik bileşimi tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, donatı dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 standartlarının gereklerini yerine getirmelidir [13].

a) Tane Dağılımı (Granülometrik Bileşimi)

Agreganın tane dağılımı, granülometrik eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir.

b) Tane Şekli

Agrega tanelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3' den büyük olan tanelere şekilce kusurlu tane denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8mm' nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50' den çok olmamalıdır [13].

c) Tane Dayanımı

Agregataneleri, istenen özellikli bir beton yapısına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı ile sağlanmaktadır.

Beton yapısında kullanılacak agregalar için %30 dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45 den az kayıp bulunmuş ise agrega yeterli olarak kabul edilir [13].

d) Donatı Dayanıklılık

Bir agreganın donatı dayanıklılığı öngörülen kullanıma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda donatı duyarlı taneleri içerirler. Sürekli donma ve çözünme olayı olan yörelerde bu özellik aranmaz [13].

e) Zararlı Maddeler

Zararlı maddeler, betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar veren, betonun dayanımını veya doluluğunu azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılışı ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkileyen maddeler şunlardır: Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşatıcılar, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar [13].

f) Yıkanabilir Maddeler

Yıkanabilir maddeler, agregada ince halinde dağılmış veya topak halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

Agregada bulunan yıkanabilir maddeler çok miktarda veya agrega tanelerine yapışık olup kolaylıkla ayrılabilir durumda veya topaklar beton yapısında yumuşayarak kolaylıkla dağılmayacak şekildeyse, bu maddeler zararlı etki yapar [13].

g) Organik Kökenli Maddeler

Humuslu ve diğer organik maddelerince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zarar verebilirler. Taneli halde bulundukları zaman renk değişimine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olabilirler [13].

h) Sertleşmeye Zarar Veren Maddeler

Sertleşmeye zarar veren maddelerin, az miktarda bulunmaları bile betonun prizini ve sertleşmesini değiştiren veya bunlara zarar veren maddelerdir [13].

i) Kükürtlü Bileşikler

Kükürtlü bileşikler; cinslerine, agregada içindeki miktarlarına ve yapının içinde bulunduğu ortam koşullarına bağlı olarak, betonda zararlı değişikliklere neden olabilirler. Burada kükürtlü bileşiğin cinsi ve dağılışı önemlidir. Örneğin iyi sıkıştırılmış betonlarda, havadaki nem ve rutubet vasıtasıyla oksitlenen sülfürler ve sülfatlar (alkali sülfatlar, jips, anhidrit gibi) zararlı olabilir. Sülfatlar betondaki kireç ve alüminyum bileşikleri ile reaksiyona girerler ve zamanla büyüyen kristaller meydana getirerek betonun parçalanmasına neden olurlar [13].

j) Çeliğe Zarar Veren Maddeler

Donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, örneğin nitratlar, halojenürler (florür hariç) gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmalıdır. Öngerilmeli beton için kullanılacak agregalarda, suda çözünen klorürler, klor olarak hesaplandığında ağırlıkça %0,2' den fazla bulunmalıdır [13].

k) Alkali Agregada Reaktivitesine Neden Olan Faktörler

Belirli kökenli agregalar, reaksiyon yapabilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu cins bileşenler, betonun boşluk suyunda çözülen alkali hidroksit ile kuvvetli kimyasal reaksiyona girerler ve önce berrak ve yüksek konsantrasyonlu sonra yüksek viskoziteli alkali silikat çözeltisini meydana getirirler. Agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğü ve dağılışına, betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkali hidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır. Bu nedenle alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir. Betondaki alkali reaksiyonu önce normal koşullar altında sertleşmiş olan betonda zamanla yüzeye yakın bulunan alkaliye duyarlı agregada tanelerinin ayrışmasına, kabarmasına veya betondan parçaların kopmasına, çatlaklara ve aşırı halde betonun parçalanmasına neden olur [13].

3.5 Agregaların Mekanik Özellikleri

3.5.1 Mekanik Özellikler

Taş ocaklarından üretilen agregalar bir çok mekanik özelliklere sahiptir. Bu özellikler genel olarak katılık, dayanıklılık, sağlamlık, hacimsel sağlamlık, basınç dayanımı, aşınma direncidir. Bu nitelikler çoğu zaman ekonomik açıdan değiştirilememektedir. Bu özelliklerinden herhangi birinin önemi agreganın kullanım boyutuna bağlıdır. Bu bağlamda agregalar arasında karşılaştırma yapıldığında, bu düşünceyi taşımalıdır. Agregaların mekanik özelliklerini belirlemede bir çok kalite testleri yapılmaktadır. Bunların amacı, agregaların kullanım alanlarında maksimum verimlilik sağlanmasıdır. Agregaların genel olarak saptanan mekanik ve fiziksel özellikleri şunlardır;

- Özgül ağırlık,
- Su emme,
- Birim ağırlık,
- Tane dağılımı (granulometri),
- Tane şekli,
- Aşınmaya karşı dayanıklılık,
- Donatı dayanıklılık,
- İnce madde oranı,
- Sülfat miktarı,
- Basınç dayanımı,
- Çekme dayanımı,
- Elastisite modülü,
- Poisson oranı.

3.5.1.1 Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık ve su emme oranı tayini TS 3526'ya göre saptanmaktadır. Bu testler Arşimet prensibine uygun olarak yapılmaktadır. Bu prensipte ana teması, suya batırılan herhangi bir kütlenin ağırlığı kadar su da bir kuvvet uygular (yukarı doğru dikey kuvvet). Bu prensipte sonuç olarak, su içine daldırılan nesne daha az ağırlıklı görünmektedir.

Özgül ağırlığının birkaç tanımı mevcuttur [13] :

a) Kuru Özgöl Ağırlık Geçirimsiz gözeneklerin her ikisini de içeren agreganın hacmine eşit hacimde sudaki ağırlığının, kuru agreganın ağırlığına oranıdır.

b) Doygun Kuru Yüzey Özgöl Ağırlık Geçirimsiz boşluklar doygunlaştırıldığında içerdikleri suyun hacmine eşit ağırlığı dahil agreganın ağırlığının, agreganın doygun kuru yüzey ağırlığına oranıdır.

c) Görünen Özgöl ağırlık Geçirimsiz gözenekler haricinde agreganın katı hacmine eşit hacimde sudaki ağırlığının kuru agreganın ağırlığına oranıdır.

Kuru özgöl ağırlık, doygun kuru yüzey özgöl ağırlık, görünen özgöl ağırlık hesaplanış şekilleri ve formleri aşağıdaki gibidir:

Kuru özgöl ağırlık

İnce agreganın kuru özgöl ağırlığı:

$$\delta_k = \frac{w_1}{w_2 + w_4 - w_3}$$

İri agreganın kuru özgöl ağırlığı:

$$\delta_k = \frac{w_1}{w_2 - w_3}$$

Doygun yüzey özgöl ağırlık

İnce agreganın doygun yüzey özgöl ağırlığı:

$$\delta_d = \frac{w_2}{w_2 + w_4 - w_3}$$

İri agreganın doygun kuru yüzey özgöl ağırlığı:

$$\delta_d = \frac{w_2}{w_2 - w_3}$$

Görünen özgöl ağırlık

İnce agreganın görünen özgöl ağırlığı:

$$\delta_g = \frac{w_1}{w_1 + w_4 - w_3}$$

İri agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$\delta_g = \frac{w_1}{w_1 - w_3}$$

İnce agreganın için,

δ_k = ince agreganın kuru özgül ağırlığı,

δ_d = ince agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı,

δ_g = ince agreganın görünen özgül ağırlığı,

w_1 = numunenin etüv kuru ağırlığı (g),

w_2 = numunenin doymun kuru yüzey durumdaki ağırlığı (g),

w_3 = ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı (g),

w_4 = su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g).

İri agreganın için,

δ_k = iri agreganın kuru özgül ağırlığı,

δ_d = iri agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı,

δ_g = iri agreganın görünen özgül ağırlığı,

w_1 = numunenin etüv kuru ağırlığı (g),

w_2 = numunenin doymun kuru yüzey durumdaki havadaki ağırlığı (g),

w_3 = numunenin sudaki ağırlığı (g).

Doğru özgül ağırlığın tespiti için mento ve agreganın karışımının oranlanması da önemli bir özelliktir. Özgül ağırlık değeri portland çimento beton oranlanmasında yararlı olmaktadır ki bu agrega içindeki nem durumuyla tutarlı olmalıdır. Görünen özgül ağırlık taş bloğunun katı birliği ağırlığının saptanmasında kullanılır [14].

3.5.1.2 Agreganın Su Emme Oranı

İnce ve iri agregalarda aynı tanımsöz konusudur. Yani; numunenin kuru doymun yüzey ağırlığı ile etüv kuru ağırlığı arasındaki farkın etüv kuru ağırlığına oranının yüzdesi biçiminde açıklanır [13].

$$m = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

m = su emme oranı (%),

w_1 = numunenin etüv kurusu ağırlığı (g),

w_2 = ince agreganın doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı; iri agreganın doygun kuru yüzey durumundaki havadaki ağırlığıdır (g).

Su emmenin değişken olması büyük dayanım değişimlerini önlemek, dolayısıyla karışım tasarımı ekonomisi için istenen özelliktir. Su emme kolaylıkla ölçülebilen bir özelliktir; ölçümlerinde tekrarlanabilirliği, yorumlama kolaylığı nedeniyle pratik olarak kullanılmaktadır. Agreganın su emme yüzdesi standartlarda sınırlandırılmıştır. Ancak, BS 5337'ye göre %3 alınması tavsiye edilmektedir. Bu arada özgül ağırlık ile su emme arasında negatif eğilimli bir doğrusal bağlantı çıkarılmıştır [15].

3.5.1.3 Tane Büyüklüğü Dağılımı (Granulometrik Bileşimi)

Aregaların tane büyüklüğü dağılımı (granulometrik bileşimi), elekleri, elek sarsma makinaleri veya el ile sarsarak yapılan eleme işlemleri sonucunda belirlenir. Eleme için elekler, en alta toplama kabı konduktan sonra büyük göz açıklıklı olanlar, küçük göz açıklıklı olanların üzerine gelecek şekilde takımlı olarak dizilir ve üstü kapak ile kapatılır. Bu dizimde eleklerin alttan üste doğru sırası şöyledir: Toplama kabı, 0.25 mm, 0.50 mm, 1 mm, 2 mm göz açıklıklı kare gözlütel elekler, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31.5 mm, 63 mm ve 90 mm göz açıklıklı kare delikli metal veya kare gözlütel elekler, kapak şeklindedir [13].

TS'ye uygun olarak oluşturulmuş miktarlarda deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilir, tartılarak ağırlığı saptanır (ΣW). Deney numunesi elek takımının en üstündeki elekten doldurulur, kapak kapatıldıktan sonra elek sarsma makinesi çalıştırılıp eleme başlanır. Elek takımını oluşturan eleklerden herhangi birinin elenen agregayı alacak kadar büyük seçilmiş olması nedeniyle dolmuş saptanır ise sarmaya ara verilmeli, dolan elektteki ve bu eleğin dolmuş olmasından etkilenmiş olan daha üstteki elektlerdeki agregayı ayrı ayrı tavalara alınmalıdır. Deney numunesinin tamamı elendikten sonra her eleğin üzerinde kalan agregayı ayrı bir tavaya alınır. Dolmuş ve etkilenmiş elektlerden tavalara da ayrılmış olan agregayı da elenir ve elek üstünde kalan agregayı, tane büyüklüğünün ait olduğu tavadaki elenmiş agregaya katılır [13].

Eleksarın makinesi ile yapılacak elene işleminde, 1 dakikadan sonra elektaki malın her eleği üzerinde kalan agregaların ağırlık azalmaları %1'den az oluncaya kadar sürdürülür. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra her elek üzerinde kalan agrega, elektel fırça ile fırçalanarak ait olduğu tavaya toplanır ve her tavadaki agrega ayrı ayrı tartılır, (W) [13].

Eleme el ile yapılacak ise elektaki malın en üstündeki elek alınır. Altına toplanan kabı takıldıktan sonra içine, elenecek agregadan eleğin alabileceği miktarda konur, üst kapak ile kapatılır. Hafifçe eğilmi olacak şekilde eldetutulur ve eleğin bir kenarı öteki elin avucu içine dakikada yaklaşık 150 kez vurulur. Her 25 vuruştan sonra elek yaklaşık 60° döndürülür. Kapı içine biriken ve elek üstünde kalan agregalar ayrı tavalara boşaltılır. Elek almadığı için bir kerede elenemeyen agreganın arta kalan kısmı yukarıda açıklanan işlemi gerekli sayıda tekrarlayarak elenir. Son tekrarladıktan sonra elek üstünde kalan agreganın 150 vuruşluk bir süreç sonunda ağırlığındaki azalma %1'den az olduğunda eleme işlemi sona ermiş sayılır. Her defasında eleğin üzerinde kalan agregaların biriktirildiği tavalarda içindeki agrega tartılır. Eleme ve tartma işlemleri, izleyen eleklerde tekrarlanır [13].

• Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi

Bu hesaplamalarda adı geçen terimlerin tanımları aşağıda verilmiştir. Bunlar:

a) **Yığılı Ağırlık:** Yığılı ağırlık eleme işlemi sonunda herhangi bir elek (toplama kabı dahil), üzerinde kalan agreganın ağırlığına, daha üstteki eleklerde kalan agregaların ağırlıklarının da katılması ile bulunan ağırlıktır.

b) **Yığılı Ağırlık Yüzdesi :** Yığılı ağırlıkların, deney numunesi ağırlığına oranıdır.

Yığılı Ağırlık Yüzdesi'nin Hesaplanması

• Karışık Agreganın Yığılı Ağırlık Yüzdesi'nin Hesaplanması:

Karışık agreganın herhangi bir elek göz açıklığına ait yığılı ağırlık yüzdesi, bu göz açıklığı içinde bulunan yığılı ağırlığın, deney numunesinin etüv kurusu ağırlığına oranı olarak aşağıdaki formül ile ve tamsayıya yuvarlatılarak hesaplanır:

$$m_{kt} = \frac{W_k}{\sum W_k} \cdot 100 (\%)$$

Burada;

m_{kt} = Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın yığılı ağırlık yüzdesi,

W_k = Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın etüv kurusu yığılmı ağırlığı (g),

ΣW_k = Etüv kurusu deney numunesinin ağırlığı (Toplama kabının yığılmı ağırlığı) (g)' dir.

- **İnce Agreganın Yığılmı Ağırlık Yüzdeleri nin Hesaplanması**

İnce agreganın herhangi bir elek göz açıklığına ait yığılmı ağırlık yüzdesi; bu göz açıklığı için 4 mm ve daha büyük tanelerin bulunmadığı varsayılarak bulunacak yığılmı ağırlıkların aynı varsayımı ile bulunacak ince agrega toplam ağırlığına oranı olarak aşağıda formül ile tamsayıya yuvarlatılarak hesaplanır:

$$m_{it} = \frac{W_i}{\Sigma W_i} \cdot 100 \quad (\%)$$

Burada;

m_{it} = Herhangi bir tane büyüklüğü için ince agreganın yığılmı ağırlık yüzdesi (%),

W = Herhangi bir tane büyüklüğü için ince agreganın yığılmı ağırlığı (g),

ΣW = Karışık agreganın ince agrega kısmının etüv kurusu ağırlığı (g)' dir.

- **İri Agreganın Yığılmı Ağırlık Yüzdeleri nin Hesaplanması**

İri agreganın herhangi bir göz açıklığına ait yığılmı ağırlık yüzdesi, bu göz açıklığı için 2 mm ve daha küçük tanelerin bulunmadığı varsayılarak bulunacak yığılmı ağırlıkların aynı varsayımı ile bulunacak iri agrega toplam ağırlığına oranı olarak, aşağıdaki formül ile ve tamsayıya yuvarlatılarak hesaplanır :

$$m_{et} = \frac{W_e}{\Sigma W_e} \cdot 100 \quad (\%)$$

Burada;

m_{et} = Herhangi bir tane büyüklüğü için iri agreganın yığılmı ağırlık yüzdesi (%),

W_{et} = Herhangi bir tane büyüklüğü için iri agreganın yığılmı ağırlığı (g),

ΣW_{et} = Karışık agreganın iri agrega kısmının etüv kurusu ağırlığı (g).

- **İncelik Modülünün Hesaplanması**

Beton teknik literatüründe kullanılan incelik modülü agreganın tane dağılımının özelliğini açıklayan ampirik bir büyüklüktür. Elek analizinde elek boyutu en küçük olan en alta gelerek üzere, küçükten büyüğe doğru dizilmiş olan kare delikli standart elekler üzerinde kalan

agrega nın yığılma-kümülatif-yüzdeleri nı n toplam ın 100 sayısına bölünmesi den bul unan büyüklüğe “incelik modülü” denilir ve “m” ile gösterilir [16]. Kısaca, anılan büyüklük ince agrega ($d \leq 4.75 \text{ mm}$) için nate nati ksel olarak

$$m = \frac{\sum \text{Eleklerin üzerinde kalan agregaların kümülatif yüzdesi}}{100}$$

şeklinde ifade edilir. İri agrega ($d > 4.75 \text{ mm}$) için “incelik modülü” aşağıda verilen bağıntıdan bulunabilir. Bu bağıntı No: 8’den No: 100’e kadar eleklerin üzerinde agrega nın %100’ün kaldığı kabul u için geçerli dir [17].

$$m = \frac{\sum \text{Elekler üzerinde kalan agregaların kümülatif yüzdesi} + 5 \cdot (100)}{100}$$

- **Agrega nın Granülometrik Eğrisi (He k Analizi)**

Ele k açıklıkları absis, bunlara karşı gelen %’ler ordinat alınarak ifade edilen eğri ye “granülometrik eğrisi” denilir. TS- 706’ daki kare elek açıklıkları en büyükt en küçüğe doğru 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm ve 0.25 mm’ dir. He k açıklıkları 0.25 mm’ nin 2, 4, 8,128 katı şeklinde olup, logarit mik eşel yardımıyla elek açıklıklarını eşit olarak alınma kolaylığı temin eder. Agrega karışımının boşluğunun en az dı ğer anlatı ma kompasitesi nin (doluluk oranı) en fazla ol ması istenir. Böylelikle betonda hem sağlam bir taşıyıcı iskelet oluşması hem de boşlukları dolduracak çimento hamurunun azalması gerçekleştirilebilir. Kuşkusuz ikinci husus beton karışım tasarımı nın ekonomikli ği ile yakından ilintilidir. Yukarıda kısaca değinilen hususları yerine getiren granülometrik eğrilerine “referans eğrileri” denilir. İki tür granülometrik eğrisi söz konusudur [18]:

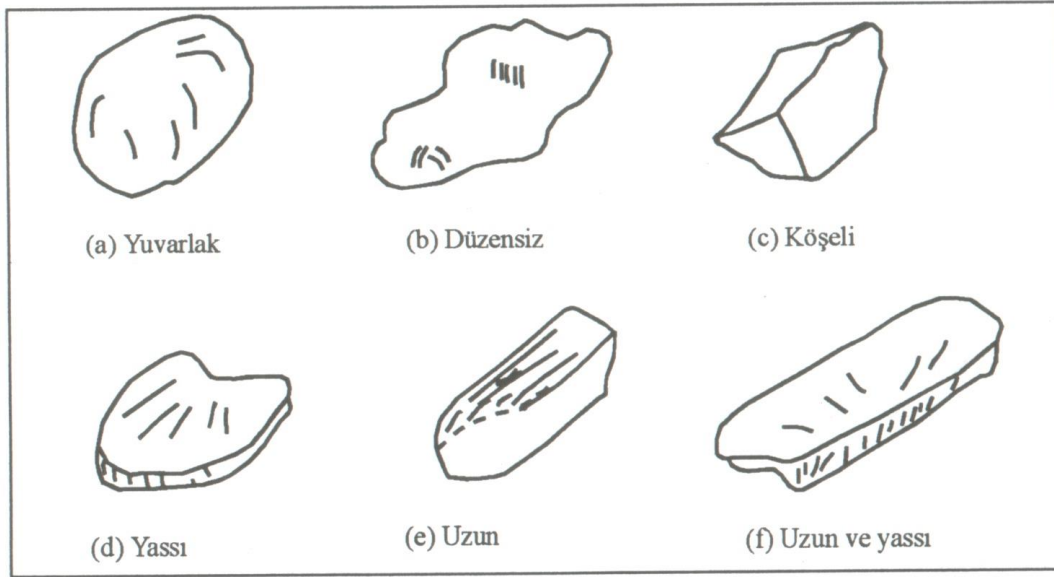
- Sürekli granülometrik eğrisi,
- Kesikli (aralıklı) granülometrik eğrisi.

Sürekli granülometrik eğrisinde agrega karışımı (ince + iri agrega) içinde en inceden en iri taneye kadar tüm tane grupları bulunur. Buna karşın, kesikli granülometrik eğrisinde adı ndan da anlaşılacağı üzere bazı tane grupları eksiktir [18].

3.5.1.4 Tane Şekli

Yassı ve uzun taneli karışımındaki payları ne kadar az ise tane şekli açısından agrega o kadar iyidir. Yassı ve uzun taneli agregaların kompasitesi düşüktür ve arzu edilen “işlenebilirlik” için gerekli ıslatma su miktarı fazladır. Köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların

kullanım durumunda agrega ile çimento harcı arasında oluşan “mekanik yapışma” çok güçlüdür. Yalnız bu tür agregalarla üretilen betonların işlenebilirliğinin yuvarlak agregalı beton karışımlarına kıyasla daha zor olduğu hatırdatılmalıdır. Agregaların yüzey durumuna ilişkin özellikler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir. Örneğin yüzey özelliği düzgün olan çakılın çimento harcı ile oluşturacağı mekanik aderans diğer agregalara kıyasla daha azdır. Bu nedenle “aderans” bakımından bu tür agrega en elverişsiz özellik taşır. Özellikle çekme gerilmesine maruz kalan betonlarda yuvarlak şekilli agregaların temin edeceği “aderans” köşeli-küçük pürüzlü agregalara kıyasla daha azdır. Kısacası, beton için kullanılacak agregaların küp veya küre biçimine yakın olması istenir. Anlaşıldığı üzere küre biçiminde “hacimsel katsayı” $H=1$ ’dir. Anılan katsayı küpte 0.37 değerindedir. Genelde H büyüklüğü 1’den ne kadar küçük değere sahipse tane nin biçimsel kusurluğu o kadar artar. TS 706 beton agregaları standartına göre, tane büyüklüğü ≥ 8 mm olan iri agregalarda şekilce kusurlu kabul edilen yassı\uzun tanelerin oranı %50’den büyük olmamalıdır [16].



Şekil 3.1 Agregaların genel tane şekli

• Tane Şekli Sınıfı Tayini

Agregaların tane şekli sınıfı, en büyük tane boyutunun (l) en küçük tane boyutuna (s) bölünmesi ile elde edilen oran ile belirlenir. Boyut belirlenmede, 0.1 mm duyarlılıkla ölçüm yapabilen kumpas kullanılır. Belirlenene yalnız (l/s) oranı için yapıyor ise taneler (l/s)’den büyük olanlar ve küçük olanlar diye sınıflandırılır. Bu oran genellikle 3’tür. Buna göre, agrega tane şekli sınıfı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$m = \frac{W_1}{W} \cdot 100 \quad (\%)$$

Burada;

m = tane şekli sınıflı oranı (%),

W_1 = (l/s)'ye uygun aralığndan geçen agreganın hava kurusu ağırlığı (g),

W = Deney numunesinin hava kurusu ağırlığı (g)'dir, [13].

3.5.1.5 Porozite (Boşluk Oranı) - Doluluk Oranı

Porozite “p” agregadaki boşlukların “ V_b ” toplam hacme veya görünen hacme “ V ” oranına denir. Şu şekilde ifade edilir [19]:

$$p = \frac{V_b}{V} = \frac{V_b}{V_b + V_d}$$

Doluluk oranı “k” dolu hacmin “ V_d ” toplam hacme “ V ” oranıdır. Yani;

$$k = \frac{V_d}{V} = \frac{V_d}{V_b + V_d}$$

$$p + k = 1$$

3.5.1.6 Aşınmaya Karşı Dayanıklılık

Agregaların aşınmaya karşı dayanımının değerlendirilmesinde Los Angeles aşınma testinin önemi büyüktür. Bu deneyin standartı TS 3694’de yer almaktadır. Aşındırma ve çarpma işlemleri kullanılarak agregaların dayanım tespit edilmektedir. Deney ilk defa 1920 yılında Los Angeles’da gerçekleştirildiği için deneye bu isim verilmiştir. Bu deneyde kullanılan aygıt 71.1 cm çapında ve 50.8 cm uzunluğunda, çelik saçıtan imal edilmiş ve yatay eksen etrafında 30-35 (devir/dakika) ile dönebilen bir silindirdir. Silindir içinde bir bölüm ve belirli sayıda (47.4 mm çapında 390.45gr ağırlığında) küresel font top vardır. Silindir içine m_0 ağırlığında, granülometrik bileşimi aşağıdaki çizelgede belirtilen bileşimlerden herhangi birine uyan agregaya yerleştirilir. Alet eksen etrafında 100 ve 500 devir yaptıktan sonra deney sona erdirilir. Deney sırasında agregataneleri ve font küreleri birbirine çarparak parçalanır, ufalanırlar. Deneyin sonunda ufalanan malzeme 1.4 mm’lik elekten geçirilerek elenir. Bu

eleğin üstünde kalan malzemenin ağırlığı m_1 ise, agreganın aşınmaya karşı direncini ifade etmek üzere aşınma yüzdesi ;

$$L = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \%$$

bağırtısından hesaplanabilir. Los Angeles aşınma direnci ne kadar küçük olursa, agreganın aşınmaya karşı direnci o kadar yüksek olur. Bu deneyde ilerdeki bölümlerde daha ayrıntılı bahsedilecektir.

Tablo 3.3 Los Angeles deney karışımları ve koşulları

El ek Göz Boyutları	A	B	C	D
40-25 mm arası	%25	-	-	-
25-20 mm arası	%25	-	-	-
20-12.5 mm arası	%25	%50	-	-
12.5-10 mm arası	%25	%50	-	-
10-8 mm arası	-	-	%50	-
8-5 mm arası	-	-	%50	-
5-2.5 mm arası	-	-	-	%100
Agrega Miktarı : M(kg)	5	4.55	3.3	2.5
Font küre sayısı	12	11	8	7

2.5.1.7 Birim Ağırlık Tayini

Birim ağırlık diğer bir tabirle yoğunluk, kaba bir tabirle agrega numunesinin kütesinin hacmine oranıdır. Agregalar için iki şekilde incelenir ve tanımlanır:

Sıkışık birim ağırlık: Sıkışık agrega ile dolu kabın ağırlığının kabın boş haldeki ağırlığı arasındaki farkın kabın iç hacmine oranına denir [13].

$$B_s = \frac{(w_2 - w_1)}{V} \text{ (kg/ m}^3\text{)}$$

Burada;

w_1 = Öçü kabı boş ağırlığı (g)

w_2 = Sıkışık agregâ ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

B_s = Sıkışık biri mağırlık (kg/ m^3)

V = Ölçü kabının iç hacmi (dm^3)’dır.

Gevşek Birim Ağırlık : Gevşek agregâ ile dolu kabın ağırlığının boş kabın ağırlığı arasındaki farkın ölçü kabının iç hacmine oranına denir [13].

$$Bg = \frac{(w_2 - w_1)}{V} (kg/ m^3)$$

Burada;

w_1 = Ölçü kabı boş ağırlığı (g),

w_2 = Gevşek agregâ ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g),

Bg = Gevşek biri mağırlık (kg/ m^3),

V = Ölçü kabının iç hacmi (dm^3)’dır.

Agreganın gevşek birim ağırlığı ile sıkışık biri mağırlıkları arasında büyük fark olması halinde, agregaların aralarında kalan boşlukların fazla olduğuna, tane yapısının uygun olmadığına işaret eder. Bu, özellikle betonun pompalanabilirlik özelliği açısından sakıncalıdır. Beton karışımı hesabında sıkı agregâ yoğunluğu dikkate alınmalıdır. Agreganın yoğunluğu fazla ise, doku daha kompakt olacağı için kayacın mekanik etkilere dayanıklılığı fazla olacaktır. Böylece durabil bir beton elde edilebilecektir [15].

3.5.1.8 Donma Dayanıklılık

Agregaların boşluklarına nüfuz eden su, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonucunda, donarak boşluklar içinde bir “hacim artması” oluşturur. Agregâ taneleri, bu hacim artması sonucunda oluşan “içsel gerilmelere” dirençli değil ise parçalanabilirler. Böyle agregâlarla üretilen betonlarda-tekrarlı “donma-çözülme” olaylarının sonucunda-çimento hamuru ile agregâ arasındaki “aderans” da zarar görebilir. Agregâların donmaya karşı dayanıklılığını denetleyen temel faktörler şunlardır [15]:

- Porozite (boşluk oranı),
- Gözeneklerin geometrik boyutları ve dağılımları,
- Yapı içinde gözeneklerin bağlantı şekilleri,
- Donma veya çözülme sıcaklıkları,

- Donma veya çözülme çevri msayı sı.

Agreganın dona dayanıklılığı don kaybı oranı hesaplanarak belirtilir. Don kaybı oranı, deney sonunda alt tane büyüklüğünden bir küçük göz açıklıklı elekten geçen malzeme ağırlığının deney numunesi ağırlığına oranı olarak (D) aşağıdaki formül ile hesaplanır [13].

$$D = \frac{G_1 - G_2}{G_1} * 100 \quad (\%)$$

Burada;

D = Don kaybı oranı (%),

G_1 = Numunenin kuru ağırlığı (g),

G_2 = Numunenin deney sonunda elek üstünde kalan ağırlığı (g).

Agregaların donma-çözülme olayları betonun dayanım bakımından oldukça yararlanan bir özelliğidir. Agreganın su emme büyüklüğü ne kadar düşük ise agreganın dona dayanıklılığı o ölçüde artmaktadır. Agreganın su emme değeri %0,5 den küçük ve basınç dayanım 1250-1500 kgf/cm²’ den büyük ise dona dayanıklı kabul edilebilir [15].

3.5.1.9 Agregalarda İnce Madde Oran ve Miktarı

Agregalarda “ince madde” ’yi tane büyüklüğü 0.075 mm’ den (No: 200 elekten geçen) küçük maddeler olarak tanımlamaktadır.

İnce madde miktarının beton üzerindeki etkileri şunlardır [15] :

- İri agregalar ile çimento hamuru arasındaki mekanik aderansı büyük ölçüde azaltır,
- Betonun su kaybı sırasında oluşan kılınma olayını (büzülme-rötre) artırır,
- Büyük ölçüde ince madde miktarı “karışım suyu” ihtiyacını artırır,
- Optimal değerinin üzerindeki ince madde miktarı betonun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkiler,
- Karışımın hava içeriğini azaltarak istenen etkiyi azaltır.

İnce agregaların kirliliğine neden olan yaygın zararlı maddeler

Kil toprakları, kuru yaprak, kömür ve odun parçaları yada bunların kalıntıları (kül, kok gibi maddeler) çok az miktarlarda olsalar bile, sonuçları kabul edilemeyecek derecede değiştirdiklerinden kumda bulunmaları kesinlikle yasaklanmıştır. Çok ince ve/veya eriyen elementler, organik maddeler, sülfat ve sülfür gibi maddeler ise belirli sınırlar içerisinde

sonuçları önemli derecede etkilemedilerinden, söz konusu sınırlara kadar izin verilebilir. Örneğin çok ince ve/veya eriyen elemanlar, ancak en az 0.5 cm³'lük taneler şeklinde olmaları halinde izin verilebilir. Bu maddelerin sınır değerleri kumlar için kumkumüş değeri deneyi ile belirlenmeli, tüm agregalar içinse bu ince ve/veya eriyen elemanların yıkanma ve çözeltme ile belirlenen kütle oranlarının %5'i geçmesi gerekmektedir. Organik maddeler çok ince elemanlardır. Miktarlar çok küçük değerlerle karakterize edilebilir. Bunun için renk ölçme deneyi adı verilen dolaylı bir yöntem kullanılmalıdır. Agregaların içerdiği organik maddeler üzerinde kimyasal maddelerin reaksiyonu bir renk oluşturur. Bu rengin 24 saat sonra tipik bir rengin koyuluğundan daha fazla oluması gerekmektedir. Sülfatlar (örneğin alçıtaşları) ve sülfürler (örneğin piritler) bulundukları kısımda hacim artışı yapmak suretiyle betonun bozulmasına yol açmaktadırlar. Bunların kabul edilebilir miktarları susuz sülfirik (SO₃) cinsinden belirtilen kükürt oranının fonksiyonudur. Bu oran kütle olarak %1'i geçmemelidir. Bütün ince elemanlar gibi sülfat ve sülfüründe en az 0.5 cm³'lük taneler şeklinde olmaları ve kütle içinde düzenli dağılımları gerekmektedir [20].

ASTM Standartına göre ince madde miktarları ince agregada betonun yüzey görünümünün önemli olduğu durumlarda ince agreganın numunesinin %0.5'yi geçmemelidir. Diğer beton türlerinde getirilen sınırlama ise ince agreganın numunesinin %1'i aşmalıdır. İri agregada kritik değer %1 ile sınırlandırılmıştır. Verilen değerler "ağırlıkça"dır. Ayrıca TS 706 da aynı sınırlandırmayı getirmiştir [20].

3.5.2 Yapılan Deneylerin Tanıtılması

Çeşitli bölgelerden getirilen 21 çeşit agreganın numunelerini üzerinde yapılan deneyler aşağıda gösterilmiştir:

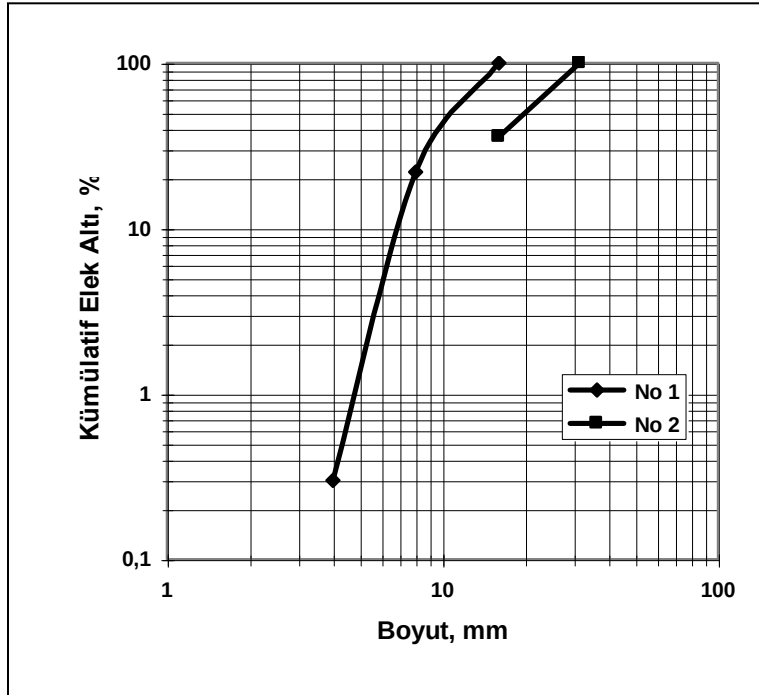
3.5.2.1 Boyut Dağılımı (Granülometre)

1) Kale Miden

Kale Miden'den gönderilen 1 ve 2 no'lu agreganın numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm 16 mm 8 mm 4 mm'dir. Her bir numuneden 5000 g agreganın hassas terazide tartılarak bir kaba konur. Tartılan agreganın numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agreganın numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.4' de, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3.4 Kale Miden Numunelerinin Boyut Dağılım Analizleri

Elek Boyutu [mm]	1 no'lu agrega numunesi		2 no'lu agrega numunesi	
	Elek üzerinde kalan miktar, [g]	Elek üzerinde kalan miktar, [%]	Elek üzerinde kalan miktar, [g]	Elek üzerinde kalan miktar, [%]
31.5	0	0	0	0
16	0	0	3212.23	64.25
8	3901.55	78.03	1787.77	35.75
4	1082.38	21.64	0	0
2	16.07	0.33	-	-
Toplam	5000	100	5000	100



Şekil 3.2 Kale Miden Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

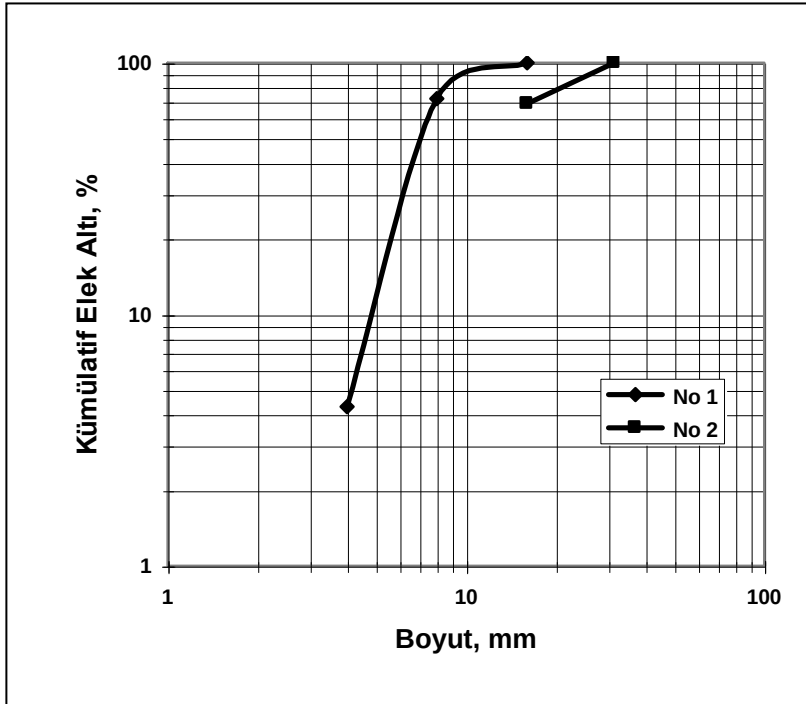
2) Gebze Miden

Gebze Miden'den gönderilen 1 ve 2 no'lu agrega numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm'dir. Her bir numuneden 5000 g agrega hassas terazide tartılarak bir kaba konur. Tartılan agrega numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur.

Gönderilen 2 ayrı agrega numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.5’ de, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.3’ de verilmiştir.

Tablo 3.5 Çebze Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

Elek Boyutu [mm]	1 no’lu agrega numunesi		2 no’lu agrega numunesi	
	Elek altında kal an miktar, [g]	Elek altında kal an miktar, [%]	Elek altında kal an miktar, [g]	Elek altında kal an miktar, [%]
31,5	-	-	5000	100
16	5000	100	3429,6	68,6
8	3595,16	71,9	0	0
4	212,8	4,3	-	-
2	0	0	-	-



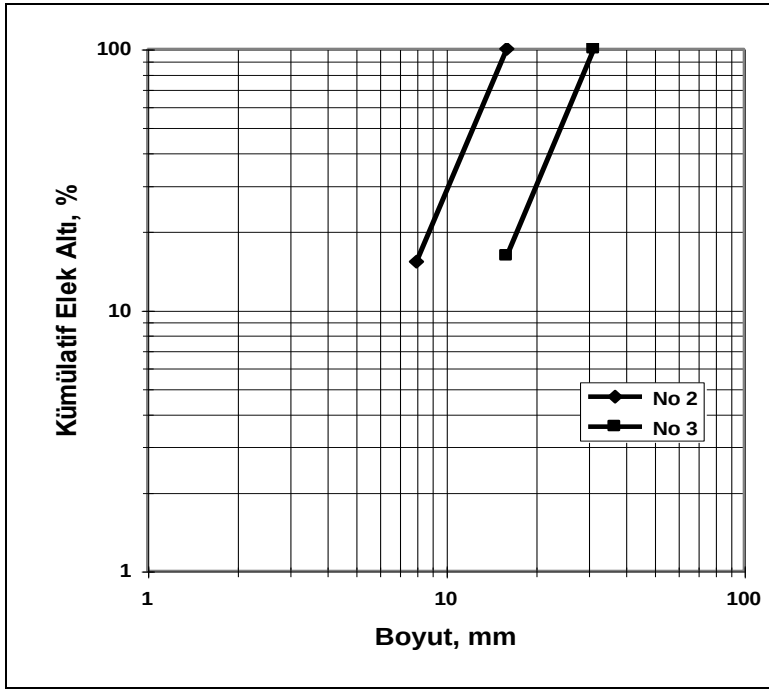
Şekil 3.3 Çebze Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

3) Haska Miden

Haska Miden'den gönderilen 2 ve 3 no'lu agreg a numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm 16 mm 8 mm 4 mm' dir. Her bir numuneden 5000 g agreg a hassas terazide tartılarak bir kaba konur. Tartılan agreg a numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agreg a numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.6' da, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.6 Haska Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

Elek Boyut u [mm]	2 no'lu agreg a numunesi		3 no'lu agreg a numunesi	
	Elek altı nda kal an m i k t a r, [g]	Elek altı nda kal an m i k t a r, [%]	Elek altı nda kal an m i k t a r, [g]	Elek altı nda kal an m i k t a r, [%]
31.5	-	-	5000	100
16	5000	100	805,05	16,1
8	764,64	15,3	0	0
4	0	0	-	-
2	-	-	-	-



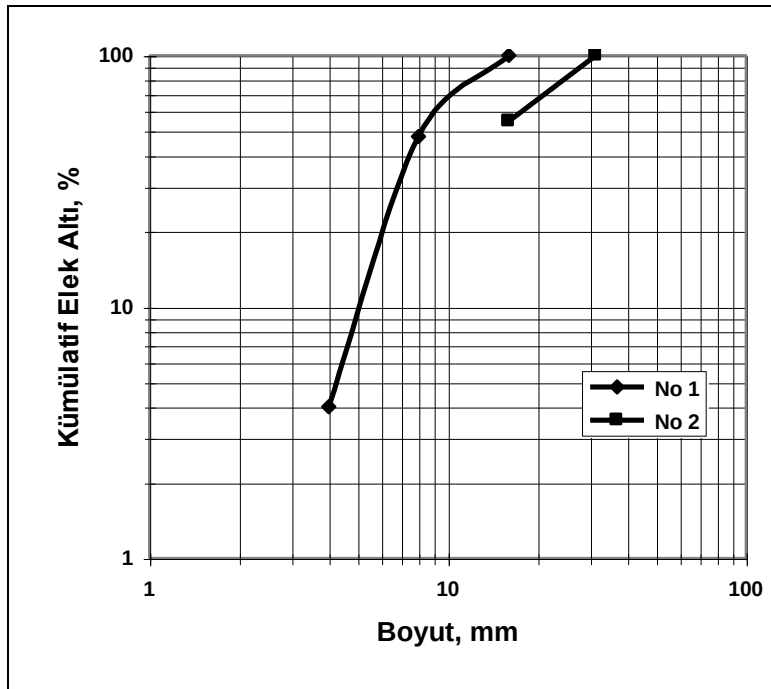
Şekil 3.4 Haska Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

4) Cebeci Maden

Cebeci Maden'den gönderilen 1 ve 2 no'lu agregat numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm'dir. Her bir numuneden 5000 g agregat hassas terazide tartılarak bir kaba konur. Tartılan agregat numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agregat numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.7' de, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.5' de verilmiştir.

Tablo 3.7 Çebeci Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

Elektro Boyut u [mm]	1 no'lu agrega numunesi		2 no'lu agrega numunesi	
	Elektro altında kalan miktar, [g]	Elektro altında kalan miktar, [%]	Elektro altında kalan miktar, [g]	Elektro altında kalan miktar, [%]
31.5	-	-	5000	100
16	5000	100	2739,11	54,78
8	2382,65	47,65	0	0
4	200,4	4	-	-
2	0	0	-	-



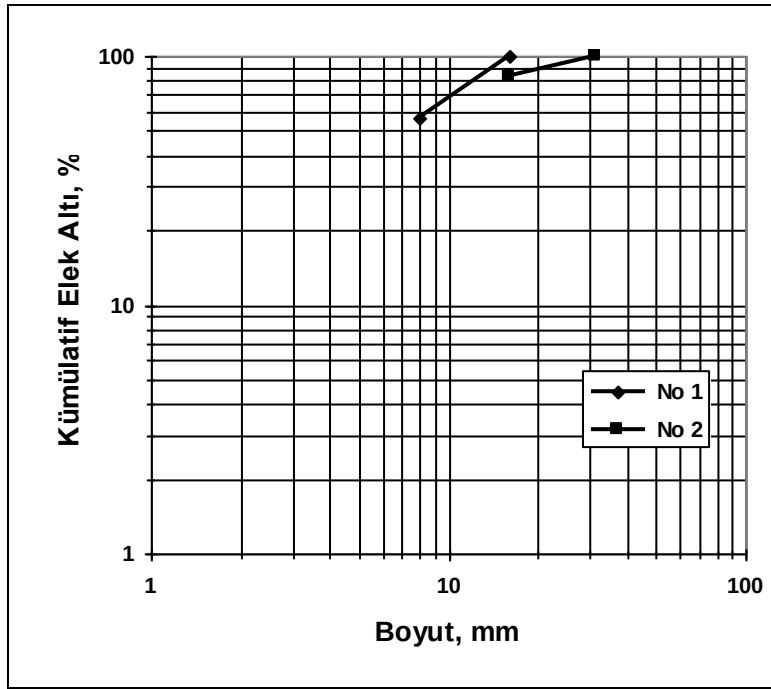
Şekil 3.5 Çebeci Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

5) Sımpaş AŞ

Sımpaş AŞ'den gönderilen 1 ve 2 no'lu agregâ numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm 16 mm 8 mm 4 mm'dir. Her bir numuneden 5000 g agregâ hassas terazide tartılarak bir kaba konur. Tartılan agregâ numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agregâ numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.8' de, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3.8 Sımpaş AŞ Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

Elek Boyutu [mm]	1 no'lu agregâ numunesi		2 no'lu agregâ numunesi	
	Elek altında kalan miktar, [g]	Elek altında kalan miktar, [%]	Elek altında kalan miktar, [g]	Elek altında kalan miktar, [%]
31.5	-	-	5000	100
16	5000	100	4147,51	82,95
8	2805,99	56,12	0	0
4	0	0	-	-
2	-	-	-	-



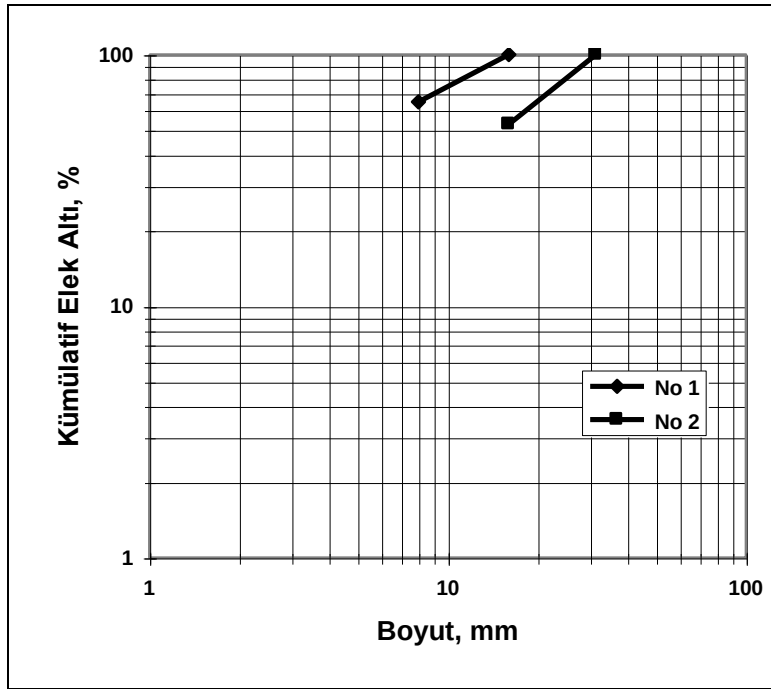
Şekil 3.6 Sımpaş Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

6) Soyak Maden

Soyak Maden'den gönderilen 1 ve 2 no'lu agrega numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm'dir. Her bir numuneden 5000 g agrega hassas terazide tartılarak bir kaba konur. Tartılan agrega numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agrega numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.9'da, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.9 Soyak Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

Elek Boyutu [mm]	1 no'lu agrega numunesi		2 no'lu agrega numunesi	
	Elek altı nda kal an m i k t a r, [g]	Elek altı nda kal an m i k t a r, [%]	Elek altı nda kal an m i k t a r, [g]	Elek altı nda kal an m i k t a r, [%]
31,5	-	-	5000	100
16	5000	100	2640,17	52,80
8	3247,3	64,94	0	0
4	0	0	-	-
2	-	-	-	-



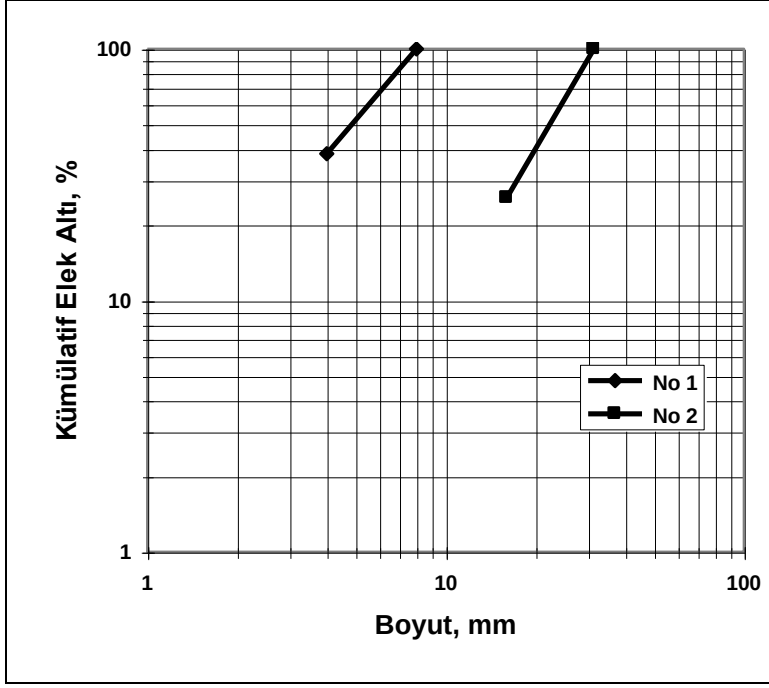
Şekil 3.7 Soyak Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

7) Sivas Miden

Sivas Miden'den gönderilen 1 ve 2 no'lu agregâ numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm 16 mm 8 mm 4 mm'dir. Her bir numuneden 5000 g agregâ hassas terazide tartılarak bir kaba konur. Tartılan agregâ numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agregâ numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.10'da, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.10 Sivas Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

Elek Boyutu [mm]	1 no'lu agregâ numunesi		2 no'lu agregâ numunesi	
	Elek altı nda kal an mikt ar, [g]	Elek altı nda kal an mikt ar, [%]	Elek altı nda kal an mikt ar, [g]	Elek altı nda kal an mikt ar, [%]
31.5	-	-	5000	100
16	-	-	1281,81	25,63
8	5000	100	0	0
4	1913,28	38,26	-	-
2	0	0	-	-



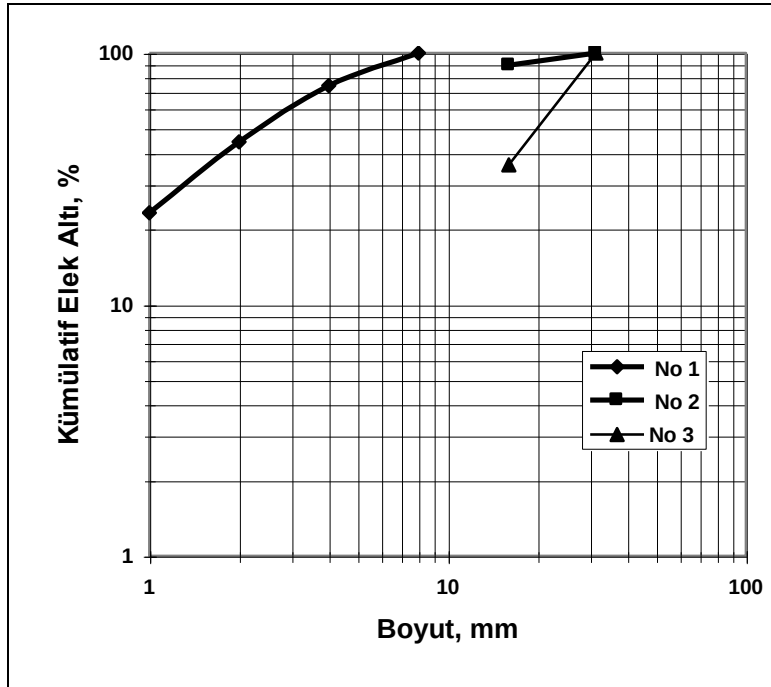
Şekil 3.8 Sivas Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

8) Gümüştaş Maden

Gümüştaş Maden'den gönderilen 1 ve 2 ve 3 no'lu agreg a numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm 16 mm 8 mm 4 mm'dir. Her bir numuned en 5000 g agreg a hassas terazi de tartılarak bir kaba konur. Tartılan agreg a numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agreg a numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.11' de, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.9' da verilmiştir.

Tablo 3.11 Gü mü ş a ş N ü m u n e l e r i n i n B o y u t D a ğ ı l ı m S o n u ç l a r ı

El ek B o y u t u (m m)	1 N o ' l u A g r e g a		2 N o ' l u A g r e g a		3 N o ' l u A g r e g a	
	El ek A l t ı n d a K a l a n M k t a r, (g)	El ek A l t ı n d a K a l a n M k t a r, (%)	El ek A l t ı n d a K a l a n M k t a r, (g)	El ek A l t ı n d a K a l a n M k t a r, (%)	El ek A l t ı n d a K a l a n M k t a r, (g)	El ek A l t ı n d a K a l a n M k t a r, (%)
31,5	-		5000	100	5000	100
16	-		4475,58	89,51	1800	36
8	5000	100	0	0	0	0
4	3718	74,36	-	-	-	-
2	2212,96	44,26	-	-	-	-
1	1158,33	23,18	-	-	-	-
0,5	0	0	-	-	-	-



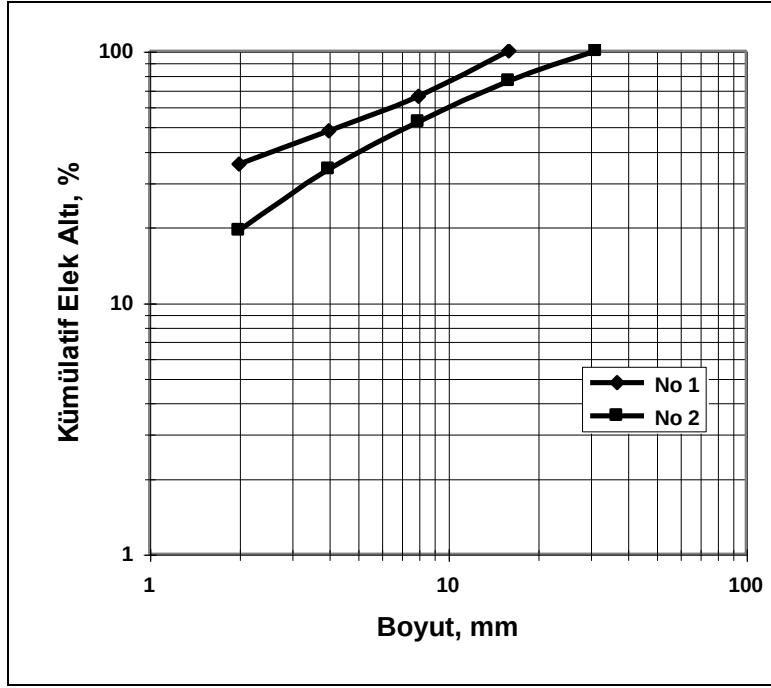
Şekil 3.9 Gü mü ş a ş N ü m u n e l e r i n i n B o y u t D a ğ ı l ı m E ğ r i l e r i

9) İslamoğlu Maden

İslamoğlu Maden’den gönderilen 1 ve 2 no’lu agregâ numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm 16 mm 8 mm 4 mm’dir. Her bir numuneden 5000 g agregâ hassas terazi de tartılarak bir kaba konur. Tartılan agregâ numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agregâ numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.12’de, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.12 İslamoğlu Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

Elek Boyutu [mm]	1 no’lu agregâ numunesi		2 no’lu agregâ numunesi	
	Elek altı nda kal an mikt ar, [g]	Elek altı nda kal an mikt ar, [%]	Elek altı nda kal an mikt ar, [g]	Elek altı nda kal an mikt ar, [%]
31.5	-	-	5000	100
16	5000	100	3787,02	75,74
8	3296,26	65,92	2609,22	52,18
4	2405,09	48,10	1695,65	33,91
2	1777,72	35,55	965,23	19,30
1	0	0	0	0



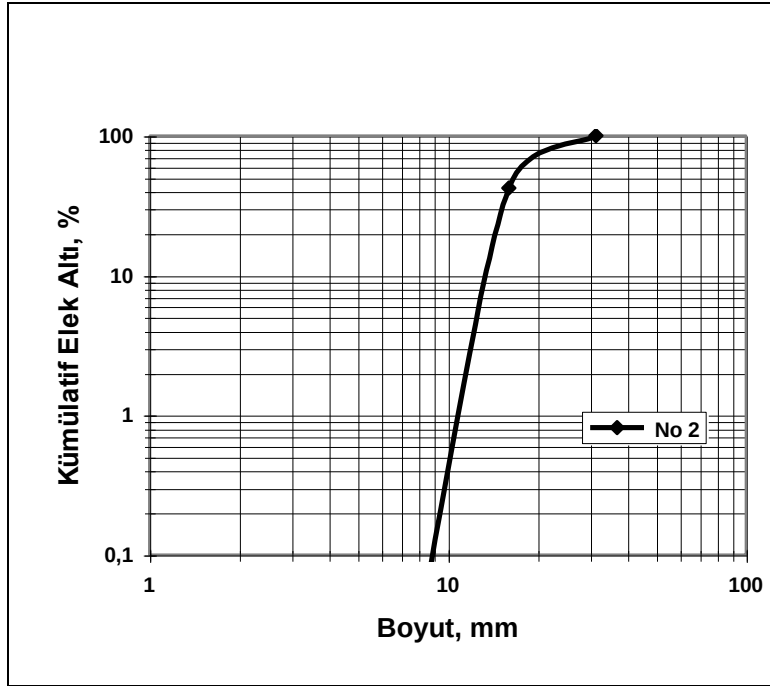
Şekil 3.10 İslamoğlu Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

10) Yapı Miden

Yapı Miden'den gönderilen 2 no'lu agreg a numuneleri üzerinde elek analizleri yapılmıştır. Bu işlemler için seçilen elekler 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm'dir. Her bir numuneden 5000 g agreg a hassas terazi de tartılarak bir kaba konur. Tartılan agreg a numuneleri daha sonra eleklerden elenerek boyutlarına göre ayrı ayrı kaplara konur. Gönderilen 2 ayrı agreg a numunesinin elek analizleri TS 706 ve TS-3530 esaslarına uygun olarak yapılarak boyut dağılımları belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 3.13' de, boyut dağılım eğrileri ise Şekil 3.11' de verilmiştir.

Tablo 3.13 Yapı Maden Numunelerinin Boyut Dağılım Sonuçları

El ek Boyut [mm]	2 no'lu agrega numunesi	
	El ek altı nda kal an nı kt ar, [g]	El ek altı nda kal an nı kt ar, [%]
31.5	5000	100
16	2116,72	42,33
8	1,54	0,03
4	0	0
2	-	-



Şekil 3.11 Yapı Maden Numunelerinin Boyut Dağılım Eğrileri

3.5.2.2 Agregaların Aşınmaya Dayanıklılık (Los Angeles Tamburu) Deneyi

- Los Angeles Aşınma Dayanım Tayini Deney Yöntemi

Aşınma oranı testi ilk defa Los Angeles şehrinde yapıldığı için bu deneye şehrin adı verilmiştir. Agregaların mekanik özellikleri tanıtılırken aşınmaya karşı dayanıklılık bölümünde bu deneye kısaca değinilmiştir. Bu deneyde kullanılan aygıtlar; bilyalı tambur, her biri 4,8 cm çapında 390-450 g ağırlığında olan çelikten yapılmış 12 adet aşındırma bilyaları, 1 g duyarlı terazi, deney elekleri'dir. Deneylerde kullanılacak deney numuneleri öncelikle granülometresi belirlenmelidir. Boyut dağılımı belirlenmiş numuneler tane sınıflarına bağlı olarak A, B, C, D, E, F, G tipi diye adlandırılır. Deneyler için gerekli deney numunesi tiplerinin oluşum şekilleri ve miktarları Tablo 2.14' de verilmiştir. Tane sınıflarına ayrıldığında en az Tablo 2.14' de gösterilen miktarları sağlayacak miktarda agrega numunesi elenir ve tane sınıflarına ayrılır (Tablo 2.14' deki gibi). Her tane sınıfı oluşturulması istenen numune tipi için gerekli olan ve Tablo 2.14' de gösterilmiş olan miktarları tartımla ayrılarak bilyalı tambura konur. Numune tipine uygun bilya sayısı Tablo 2.15 yardım ile belirlenir ve tamburun içine atılır. Tamburun penceresini örten kapak sıkıca kapatıldıktan sonra hızdaki kada 30-33 dönüş olacak şekilde 100 dönüş yaptırılır. Aygıt durdurulur. Deney numunesi dışarıya alınır. 1,4 mm'lik elekten elenir. Elek üstünde kalan agrega tartılır. Elek üstünde kalan ve elekten geçen agregalar ve bilyalar tekrar tambura konur. Bilyalara A, B, C, D tipi numunelerde ilk 100 dönüş ek olarak 400 dönüş, E, F ve G tipi numunelerde ise ilk 100 dönüş ek olarak 900 dönüş daha yaptırılır. Aygıt durdurulur. Aşınmış deney numunesi dışarıya alınır. 1,4 mm'lik elekten elenir. Elek üzerinde kalan agrega tartılır.

Tablo 3.14 Aşınma Direncinin Tayini için Gerekli Deney Numunesi Tipleri ve Deney Numunesi Miktarları

Tane sınıfı, mm	Deney Numunesi Tipi ve Miktarları, g							Ağırlık Toleransı, %
	A	B	C	D	E	F	G	
90/63					2500			± 2
63/45					2500			
45/31.5					5000			
31.5/22.4	1250					5000		
22.4/16	1250					5000		
16/11.2	1250	2500					5000	
11.2/8	1250	2500					5000	
8/5.6								
5.6/4			2500					
4/2			2500	5000				
Toplam	5000	5000	5000	5000	10000	10000	10000	

Tablo 3.15 Deneyde Kullanılacak Bilya Sayısı

Numune Tipi	Bilya Sayısı
A	12
B	11
C	8
D	6
E	12
F	12
G	12

- **Hesaplama ve Sonuçların Gösterilmesi**

Agreganın aşınma direnci, bilyalı tambura konan agreganın 100 ve 500 devir (veya 1000) dönüş sonunda 1,4 mm' lik elekten geçen kısmının ilk numune ağırlığına oranı olan aşınma oranı olarak aşağıdaki formlerle hesaplanır.

$$a_1 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (\%),$$

$$a_2 = \frac{W_1 - W_3}{W_1} \times 100 \quad (\%),$$

Burada;

$$a_1 = 100 \text{ dönüş sonu aşınma oranı } (\%),$$

$$a_2 = 500 \text{ dönüş sonu aşınma oranı } (\%),$$

$$W_1 = \text{Numunenin deney öncesi ağırlığı (g),}$$

$$W_2 = \text{Numunenin 100 dönüş sonu aşınmayan kısmının ağırlığı (g),}$$

$$W_3 = \text{Numunenin 500 (veya 1000) dönüş sonu aşınmayan kısmının ağırlığı (g)'dir.}$$

Toplam 20 ayrı deney numunesi üzerinde yapılan Los Angeles Aşınma Deneyi sonuçları aşağıda Tablo 3.16' da verilmiştir.

Tablo 3.16 Los Angeles Aşınma Deneyi Sonuçları

Nu mune ler	Nu mune Ti pi	Bı lya Sayısı	Aş ın ma O ram (a ₁) (%)	Aş ın ma O ram (a ₂) (%)
Yap ı Mı den	A	12	5, 26	20, 33
Kale Mı den				
1 Nö'lu agrega	B	11	9	34, 51
2 Nö'lu agrega	A	12	8, 76	36, 17
Ge bze				
1 Nö'lu agrega	B	11	6, 21	23, 27
2 Nö'lu agrega	A	12	6, 59	23, 53
Haska Mı den				
2 Nö'lu agrega	B	11	15, 08	35, 19
3 Nö'lu agrega	A	12	17, 26	40, 13
Ce beci				
1 Nö'lu agrega 2	B	11	5, 13	23, 49
Nö'lu agrega	A	12	4, 48	22, 8
Si mpaş				
1 Nö'lu agrega	B	11	3, 71	7, 65
2 Nö'lu agrega	A	12	2, 63	16, 85
Soyak Mı den				
1 Nö'lu agrega	B	11	5, 58	23, 6
2 Nö'lu agrega	A	12	4, 25	21, 32
Gü müşt aş				
1 Nö'lu agrega 2	D	6	4, 6	23, 0
Nö'lu agrega	A	12	4, 8	17, 8
3 Nö'lu agrega	A	12	4, 11	23, 6
Si vas				
1 Nö'lu agrega	B	11	8, 4	24, 55
2 Nö'lu agrega 3	B	11	6, 7	27, 63
Nö'lu agrega	A	12	5, 21	21, 10
İsla mğ ı u				
2 Nö'lu agrega	C	8	6, 80	27, 4
3 Nö'lu agrega	B	11	3, 41	18, 72

3.5.2.3 Tane Şekli Sınıfı Tayini

Agregalarda tane şekli genellikle kübik ve küresel olması istenir. Tane şekli sınıfı tayini TS 3814' e göre saptanmaktadır. Buna göre, agrega tanesinin en büyük boyutunun (l), en küçük boyutuna (s) bölünmesi ile elde edilen ve tanenin şekli hakkında fikir veren oranın belirlendiği sınıfta tane sınıfı adı verilmektedir. Bu oran genellikle 3' tür ve bu oranın üzerindeki taneler şekilce kusurlu taneler adını almaktadır. TS' ye göre kusurlu taneler %50' yi geçmesi istenir. Burada deneyin yapılışı ve numunelerin tane şekli %'lerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

- **Deneyi Yapılışı :**

Deneyde kullanılacak numuneler öncelikle elenerek elek üzerinde kalan en az 200 adet agrega tanesinden oluşur. Daha sonra bu numuneler tartılır (W), teker teker ele alınarak belirlenmek istenen (l/s) oranına uygun olan tane şekli sınıfı belirleme aygıtının (kumpas) büyük boyutu (l) ölçen kolları arasına sokulur ve kollar, tane kollara dik olacak şekildeyken taneye iki ucundan deyinseye kadar sıkıştırılır. Tane, aygıtının kollarının arasındaki ölçüyü bozmadan bulunduğu yerden dikeyle çıkartılır ve en küçük boyutu (s) ölçen aralıktan geçip geçmediğine bakılır. Geçen taneler toplanıp tartılır (W₁).

- **Hesaplama:**

Agreganın tane şekli sınıfı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Sonuçlar Tablo 3.17' de verilmiştir.

$$m = \frac{W_1}{W} \times 100 \quad (\%)$$

Burada;

m = Tane şekli sınıfı oranı (%),

W_1 = (l/s)' ye uygun aralığından geçen agreganın ağırlığı (g),

W = Deney numunesinin ağırlığı (g)' dir.

Tablo 3.17 Tane şekli sınıflı tayini deney sonuçları

Nu mune ler	Tane Şekli (%)
Kale Miden (1)	76.31
Kale Miden (2)	64.84
Cebeci (1)	91.68
Cebeci (2)	87.65
Gebze Miden (1)	79.27
Gebze Miden (2)	77.91
Haska Miden (2)	89.78
Haska Miden (3)	97.47
Yapı Miden (2)	86.83
Sinpaş AŞ (1)	89.73
Sinpaş AŞ (2)	81.5
Soyak Miden (1)	90.69
Soyak Miden (2)	87.15
Gümüştaş Miden (1)	87.37
Gümüştaş Miden (2)	73.2
Gümüştaş Miden (3)	79.7
Sivas Miden (1)	74.97
Sivas Miden (2)	87.66
Sivas Miden (3)	67.84
İslamoğlu Miden (2)	67.37
İslamoğlu Miden (3)	88.14

3.5.2.4 Agregalarda Su Emme ve Özgöl Ağırlık Deneyleri

Özgöl ağırlık ve su emme oranı tayini TS-3526' ya göre saptanmaktadır. Deneyin yapılışı ve özgöl ağırlık ile su emme yüzdelerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

- **Deneyi Yapılışı :**

TS-707' ye uygun olarak her bir numunedan 5' er tane agrega numunesi seçilir. Bu numuneler yaklaşık 20°C' daki su bulunan kabın içine konur ve hafifçe sallanarak taneler üzerindeki toz ve yabancı maddelerden temizlenir. Su içinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, suyu süzülür ve tanelerin üzerlerinde gözle görülebilen su tabakası kalmaıncaya kadar kurutulur. Kurutma biter bitmez numuneler hemen tartılarak doygun kuru yüzey ağırlıkları bulunur (W_1). Doygun kuru yüzey halindeki numuneler tartıdan hemen sonra tel örgülü sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5 cm aşağıda kalacak şekilde daldırılır. Su yüzüne çıkarılmadan dikkatle terazi kefesinin ortasına yerleştirilir ve doygun malzemenin sudaki ağırlığı bulunur yani hacmi bulunmuş olunur (W_2). Numuneler sudan çıkarılır ve etüv kurusu durumuna getirilir yani fırında 24 saat kurutulur ve fırından çıkarılıp oda sıcaklığına kadar soğutulur ve havadaki kuru ağırlığı kaydedilir (W_3).

- **Hesaplama:**

Numunelerin üzerinde gerçekleştirilen işlemlerin sonucu aşağıda Tablo 2.18' de verilmiştir.

Tablo 3.18 Numunelerin Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyin Sonuçları

Numuneler	İlk Ağırlık (g) (W)	Su İçinde 24 sa (W)	Hacim (W)	Fırınıçinde 24 sa (W)
Kale Miden 1 No'lu Agregası				
1. numune	2.13	2.21	0.77	2.13
2. numune	2.96	2.99	1.10	2.96
3. numune	4.12	4.20	1.48	4.12
4. numune	1.91	1.92	0.71	1.91
5. numune	2.10	2.13	0.83	2.10
Kale Miden 2 No'lu Agregası				
1. numune	10.81	11.00	4.02	10.81
2. numune	7.88	8.02	2.92	7.86
3. numune	6.81	6.93	2.57	6.80
4. numune	4.05	4.21	1.53	4.05
5. numune	5.52	5.66	2.12	5.52
Gebze Miden 1 No'lu Agregası				
1. numune	2.87	2.88	1.01	2.87
2. numune	2.21	2.22	0.85	2.21
3. numune	1.92	1.93	0.76	1.92
4. numune	1.44	1.46	0.58	1.44
5. numune	0.85	0.86	0.36	0.85
Gebze Miden 2 No'lu Agregası				
1. numune	5.12	5.19	1.93	5.12
2. numune	5.48	5.51	2.06	5.47
3. numune	4.16	4.21	1.57	4.16
4. numune	5.43	5.51	2.03	5.43
5. numune	5.83	5.90	2.21	5.83

Tablo 3.18' in devam.

Haska Miden				
2 Nö'lu Agregat				
1. numine	7,53	7,63	2,82	7,50
2. numine	3,95	4,09	1,70	3,94
3. numine	5,40	5,45	2,08	5,40
4. numine	3,96	4,12	1,62	3,89
5. numine	4,27	4,31	1,76	4,25
Haska Miden				
3 Nö'lu Agregat				
1. numine	31,93	32,73	12,88	31,75
2. numine	16,04	16,55	6,61	15,94
3. numine	11,50	12,26	5,35	11,31
4. numine	16,61	17,10	6,83	16,48
5. numine	11,90	12,97	5,80	11,82
Yapı Miden				
2 Nö'lu Agregat				
1. numine	8,85	8,95	3,26	8,85
2. numine	4,80	4,88	1,78	4,80
3. numine	8,40	8,48	3,09	8,40
4. numine	10,48	10,58	3,78	10,47
5. numine	9,94	10,08	3,67	9,94
Cebeci Miden				
1 Nö'lu Agregat				
1. numine	2,01	2,05	0,75	2,01
2. numine	1,45	1,50	0,55	1,44
3. numine	1,61	1,66	0,60	1,60
4. numine	1,77	1,80	0,73	1,76
5. numine	2,22	2,26	0,84	2,22

Tablo 3. 18' in devamı.

Cebeci Miden				
2 Nö'lu Agregat				
1. numune	6,85	6,95	2,56	6,85
2. numune	8,22	8,31	3,07	8,22
3. numune	8,92	9,02	3,32	8,92
4. numune	6,01	6,09	2,25	6,01
5. numune	6,41	6,52	2,40	6,41
Sımpaş Miden				
1 Nö'lu Agregat				
1. numune	1,96	2,02	0,73	1,96
2. numune	1,50	1,55	0,55	1,50
3. numune	1,20	1,23	0,43	1,20
4. numune	1,65	1,70	0,62	1,65
5. numune	1,08	1,11	0,35	1,08
Sımpaş Miden				
2 Nö'lu Agregat				
1. numune	5,84	5,92	2,15	5,83
2. numune	5,40	5,50	1,98	5,39
3. numune	6,41	6,50	2,32	6,40
4. numune	5,59	5,69	2,05	5,58
5. numune	5,73	5,81	2,09	5,72
Soyak Miden				
1 Nö'lu Agregat				
1. numune	3,44	3,47	1,26	3,43
2. numune	2,89	2,93	1,08	2,88
3. numune	2,16	2,18	0,82	2,16
4. numune	2,33	2,35	0,87	2,32
5. numune	1,44	1,46	0,34	1,44

Tablo 3. 18' in devamı.

Soyak Miden 2 Nö'lu Agregat				
1. numine	9,63	9,72	3,70	9,62
2. numine	8,48	8,53	3,12	8,47
3. numine	7,58	7,66	2,77	7,57
4. numine	7,35	7,43	2,69	7,34
5. numine	9,50	9,56	3,49	9,50
Gümüştaş Miden 1 Nö'lu Agregat				
1. numine	1,62	1,64	0,57	1,62
2. numine	1,60	1,61	0,56	1,59
3. numine	1,12	1,14	0,41	1,12
4. numine	1,10	1,11	0,40	1,10
5. numine	1,49	1,51	0,53	1,49
Gümüştaş Miden 2 Nö'lu Agregat				
1. numine	6,92	6,96	2,45	6,92
2. numine	9,20	9,27	3,42	9,20
3. numine	4,79	4,85	1,72	4,79
4. numine	5,92	5,97	2,13	5,92
5. numine	5,20	5,27	1,86	5,20
Gümüştaş Miden 3 Nö'lu Agregat				
1. numine	13,10	13,20	4,85	13,09
2. numine	22,95	23,11	8,22	22,95
3. numine	17,45	17,53	6,08	17,43
4. numine	10,38	10,45	3,64	10,37
5. numine	25,02	25,15	8,87	25,01

Tablo 3.18' in devamı.

Sivas Miden 1 Nö'lu Agregat				
1. numine	0,49	0,50	0,21	0,49
2. numine	0,27	0,29	0,13	0,26
3. numine	0,48	0,50	0,18	0,47
4. numine	0,47	0,50	0,17	0,46
5. numine	0,19	0,20	0,07	0,18
Sivas Miden 2 Nö'lu Agregat				
1. numine	8,03	8,10	2,96	8,03
2. numine	6,53	6,61	2,43	6,51
3. numine	12,94	13,07	4,79	12,91
4. numine	10,93	11,02	4,03	10,92
5. numine	9,60	9,74	3,47	9,56
Sivas Miden 3 Nö'lu Agregat				
1. numine	16,29	16,45	6,04	16,26
2. numine	10,76	11,29	4,74	10,74
3. numine	27,29	27,77	11,23	26,95
4. numine	13,49	13,61	4,88	13,49
5. numine	11,48	11,55	4,24	11,48
İslamöğü Miden 2 Nö'lu Agregat				
1. numine	4,08	4,18	1,41	4,08
2. numine	2,19	2,23	0,85	2,19
3. numine	7,60	7,68	2,82	7,59
4. numine	11,63	11,80	4,33	11,62
5. numine	4,27	4,34	1,57	4,27

Tablo 3.18' in devamı.

İslamı u Miden				
3 N'lu Agrega				
1. numine	32, 58	32, 88	12, 08	32, 54
2. numine	25, 25	25, 43	9, 39	25, 23
3. numine	22, 91	23, 05	8, 49	22, 89
4. numine	30, 15	30, 35	11, 00	29, 96
5. numine	19, 89	20, 07	7, 30	19, 87

Deney sırasında her bir numineden alınan 5 adet agreganın oluşturduğu sonuçların aritmetik ortalaması alınır. Alınan bu aritmetik ortalamalarla zgl ağrılık ve su emme yüzdeleri bulunur. Buna göre bulunan değerler aşağda Tablo 3.19' da verilmiştir.

Ayrıca yapılan bu deneyle her bir numinenin zgl ağrılık, su emme oranı yanı sıra porozite, yoğunluk, doluluk oranı, boşluk oranını hesaplamak mümkündür. Hesaplanış şekilleri aşağda verilmiştir.

- **Su emme :**

$$m = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (\%)$$

Burada;

$$m = \text{Su emme oranı } (\%),$$

$$W_1 = \text{Numinenin ilk ağrılığı (g),}$$

$$W_2 = \text{Numinenin 24 saat suda beklendiğten sonraki ağrılığı (g)'dir.}$$

- **Yoğunluk :**

$$d = \frac{W_1}{V} \quad (g/cm^3)$$

Burada;

$$d = \text{Yoğunluk } (g/cm^3),$$

$$W_1 = \text{Numinenin ilk ağrılığı (g),}$$

$$V = \text{Numinenin sudaki ağrılığı yani hacmi (cm^3)'dir.}$$

- **Porozite :**

$$p = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100 \quad (\%)$$

Burada;

p = Porozite (%),

W_1 = Numunenin ilk ağırlığı (g),

W_2 = Numunenin suda 24 saat bekletildikten sonraki ağırlığı (g),

W_3 = Numunenin 24 saat fırında bekletildikten sonraki ağırlığı (g)'dir.

- **Özgül Ağırlık:**

$$\delta = \frac{W_3}{V} \quad (g/cm^3)$$

Burada;

δ = Yoğunluk (g/cm^3),

W_3 = Numunenin fırında 24 saat bekletildikten sonraki ağırlığı (g),

V = Numunenin hacmi (cm^3)'dir.

- **Doluluk Oranı :**

$$k = (\text{Birim Hacim Ağırlığı} / \text{Özgül Ağırlık}) \times 100 \quad (\%)$$

Burada,

k = Doluluk oranı (%) 'dir. Bu bağıntılara göre bütün numunelerin özgül ağırlığı, porozitesi, su emme oranı, doluluk ve boşluk oranı, yoğunluğu hesaplandığında ortaya çıkan değerler Tablo 3.19' da gösterilmiştir.

Tablo 3.19 Deney Sonuçlarının Gösterilmesi

Deney Numuneleri	Su emme (%)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Porozite (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Doluluk Oran (%)	Boşluk Oran (%)
Kale Miden						
1 No'lu Agregat	1,73	2,69	1,73	2,69	100	0
2 No'lu Agregat	2,36	2,66	2,44	2,66	99,92	0,08
Gebze Miden						
1 No'lu Agregat	0,78	2,56	0,78	2,56	100	0
2 No'lu Agregat	1,16	2,65	1,19	2,65	99,96	0,04
Haska Miden						
2 No'lu Agregat	2,16	2,48	2,74	2,49	99,42	0,58
3 No'lu Agregat	4,85	2,29	5,7	2,31	99,14	0,86
Yapı Miden						
2 No'lu Agregat	1,22	2,72	1,24	2,72	99,98	0,02
Cebeci Miden						
1 No'lu Agregat	1,34	2,68	1,34	2,68	100	0
2 No'lu Agregat	2,41	2,60	2,78	2,61	99,63	0,37
Ti mur Miden						
1 No'lu Agregat	2,94	2,79	2,94	2,79	100	0
2 No'lu Agregat	1,56	2,73	1,74	2,74	99,83	0,17
Soyak Miden						
1 No'lu Agregat	1,09	2,99	1,30	2,99	99,79	0,21
2 No'lu Agregat	0,86	2,70	0,96	2,70	99,90	0,10
Gü mış aş						
1 No'lu Agregat	1,18	2,79	1,30	2,80	99,88	0,12
2 No'lu Agregat	0,96	2,77	0,96	2,77	100	0
3 No'lu Agregat	0,62	2,81	0,69	2,81	99,93	0,07
Sivas Miden						
1 No'lu Agregat	5,05	2,44	7,69	2,51	97,37	2,63
2 No'lu Agregat	1,08	2,71	1,29	2,72	99,80	0,20
3 No'lu Agregat	1,83	2,57	2,16	2,57	99,68	0,32
İslamoğlu						
2 No'lu Agregat	1,69	2,71	1,73	2,72	99,96	0,04
3 No'lu Agregat	0,76	2,70	0,97	2,71	99,80	0,20

Yapılan tüm mekanik ve fiziksel deneyler bir arada gösterildiğinde aşağıdaki Tablo 3.20’de oluşmaktadır.

Tablo 3.20 Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Deneylerinin Sonuçları

Numuneler	Aşınma		Tane Şekli (%)	Su Emme (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Porozite (%)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Doluluk Oran (%)	Boşluk Oran (%)
	a ₁	a ₂							
Kale Maden (1)	9,0	34,51	76,31	1,73	2,69	1,73	2,69	100	0
Kale Maden (2)	8,76	36,17	64,84	2,36	2,66	2,44	2,66	99,92	0,08
Gebze Maden (1)	6,21	23,27	79,27	0,78	2,56	0,78	2,56	100	0
Gebze Maden (2)	6,59	23,53	77,91	1,16	2,65	1,19	2,65	99,96	0,04
Haska Maden (2)	15,08	35,19	89,78	2,16	2,49	1,74	2,48	99,42	0,58
Haska Maden (3)	17,26	40,13	97,47	4,85	2,31	5,7	2,29	99,14	0,86
Yapı Maden (2)	5,26	20,33	86,83	1,22	2,72	1,24	2,72	99,98	0,02
Cebeci (1)	5,13	23,49	91,68	1,34	2,68	1,34	2,68	100	0
Cebeci (2)	4,48	22,8	87,65	2,41	2,61	2,78	2,60	99,63	0,37
Sinpaş (1)	3,71	7,65	89,73	2,94	2,79	2,94	2,79	100	0
Sinpaş (2)	2,63	16,85	81,5	1,56	2,74	1,74	2,73	99,83	0,17
Soyak Maden (1)	5,58	45,4	90,69	1,09	2,99	1,3	2,99	99,79	0,21
Soyak Maden (2)	4,25	21,32	87,15	0,86	2,70	0,96	2,70	99,90	0,10
Gümüştaş Maden (1)	4,6	23,0	87,37	1,18	2,80	1,30	2,79	99,88	0,12
Gümüştaş Maden (2)	4,8	17,8	73,2	0,96	2,77	0,96	2,77	100	0
Gümüştaş Maden (3)	4,11	23,6	79,7	0,62	2,81	0,69	2,81	99,93	0,07
Sivas Maden (1)	8,4	24,55	74,97	5,05	2,51	7,69	2,44	97,37	2,63

Numuneler	Aşınma		Tane Şekli (%)	Su Emme (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Porozite (%)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Doluluk Oran (%)	Boşluk Oran (%)
	a_1	a_2							
Sivas Maden 2)	6,7	27,63	87,66	1,08	2,72	1,29	2,71	99,80	0,20
Sivas Maden (3)	5,21	21,10	67,84	1,83	2,57	2,16	2,57	99,68	0,32
İslamoğlu Maden (2)	6,80	27,4	67,37	1,69	2,72	1,73	2,71	99,96	0,04
İslamoğlu Maden (3)	3,41	18,72	88,14	0,76	2,71	0,97	2,70	99,80	0,20

4. KAYAÇLARIN DOKUSAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kayaçların dokusal özelliklerinin tespitinde tanenin tanımlanması gerekmektedir. Tanenin tanımlanmasını etkileyen nitelikler ise şunlardır; tane şekli, oryantasyonu, tanelerin birbirine bağlanma derecesi ve tanenin özelliklerinin birbiriyle olan ilişkisi ve de matrisidir. Kayaçların dokusal özelliklerini belirleme üzerine Howarth ve Rowlands 1987 yılında çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada dokuyu oluşturan tanelerin şekilsel özelliklerinden faydalananarak doku katsayısı (TC) kavramını önermişlerdir. Bu sayede kayaçların mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri ile dokusal özellikleri arasında bir ilişkinin var olup olmadığı konusunda araştırmalar yapmak mümkün olmuştur [21]. Bunun yanında kayaçların mineralojik mukavemet ve benzeri özellikleri ve TC arasındaki ilişkiler Ersoy (1995) tarafından incelenmiş ve kayaçların mekanik özellikleri ile dokusal özellikleri arasında bir ilişkinin varlığını ortaya koymuştur.

4.1 Kayaçların Dokusal Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Kayaçlarda doku tanımında kristalleşme derecesi, tane büyüklükleri ve kayacı oluşturan elemanların geometriksel ilişkisi önemlidir (Williams, 1982). Kayaçların dokusal özelliklerini etkileyen faktörler genel olarak şunlardır; tane şekli, tane boyutu, bağlanma derecesi, boşluk derecesi, tane açısı, kuvars içeriği, tane sınırlarının yapısıdır [21]. Aşağıda bu faktörlerle ilgili genel özellikler bulunmaktadır;

- **Tane Boyutu**

Mermer bir malzemenin eğilme gerilmesi, ortalama tane boyutunun karekökünün tersi ile doğru orantılıdır ve lineer bir artış gösterir (Ossoin, 1974; Hugman ve Friedman, 1976; Chodera ve Kumara, 1980).

- **Yı ğ l n a Yo ğ u n l u ğ u**

1978 yılında Bell ilk kez yı ğ l n a yo ğ u n l u ğ u ile mal ze n e n i n day a n ı m özelli k l e r i n i n ar a s ı n d a k i iliş k i y i ort a y a ko y m u ş t u r . Yı ğ l n a yo ğ u n l u ğ u n u n art m a s ı , tek eksenli bas ı n ı ç , çek m e day a n ı m l a r ı ile elastik modül de ğ e r l e r i n i n art m a s ı n a ne den ol u r .

- **Tane Ş e k l i**

Onodera ve Ku m a r a ' n ı n 1980 yılında, Ehrlich ve Wei n b e r g (1970) tar a f ı n d a n geli ş t i r i l e n t a n e p ü r ü z ü l ü k katsay ı s ı n d a n y o l a ç ı k ı l a n ç a l ı ş m a l a r gö ş t e r m i ş t i r ki tane ş e k l i ile ç a t l a k geli ş i m i ve kaya ç mukave n e t i ar a s ı n d a bir iliş k i söz konusudur.

- **Ba ğ l a n m a Derecesi**

Taneler i n bir b i r i n e s ı k ı c a ba ğ l ı ol d u ğ u ve i y i bir m a t r i k s t e n ol u ş a n m a g m a t i k ve m e t a m o r f i k kaya ç l a r d a ç a t l a k i l e r l e n e s i n i n baş l a m a s ı i ç i n gereken geril m e yüksek ol m a k t a d ı r (H b e k , 1965). Agre g a l a r d a kristal taneler i n bir b i r i n e i y i bir ş e k i l d e ba ğ l a n m ı ş ol m a s ı sonucunda böyle bir kaya c ı n kes m e geril m e s i kar ş ı s ı n d a yenil m e s i de zor ol m a k t a d ı r (D u n c a n , 1969).

- **Kuvars İ ç e r i ğ i**

Bell 1978 yılında ku n t a ş ı n ı n kuvars i ç e r i ğ i n i n tek eksenli bas ı n ı ç day a n ı m , Shore sertli ğ i ve Sch m i d t ç e k i c i i n d e k s l e r i n i n ü z e r i n d e et k i l i ol m a d ı ğ ı n ı il e r i s ü r m ü ş t ü r . Fakat buna kar ş ı l ı k Gunsallus ve Kul h a w y 1984 yılında ku n t a ş ı n ı n kuvars i ç e r i ğ i ile bu mal ze n e n i n day a n ı m özelli k l e r i n i n ar a s ı n d a bir iliş k i n i n var l ı ğ ı n ı ort a y a ko y m u ş l a r d ı r . Buna göre yüksek kuvars i ç e r i k l i bir ku n t a ş ı n ı n , düşük kuvars i ç e r i k l i bir ku n t a ş ı n a nispetle daha yüksek mukave n e t l i ol d u ğ u ort a y a ç ı k m ı ş t ı r .

- **Porozite**

Sed i m a n t e r kaya ç l a r d a porozite n i n art m a s ı kaya c ı n t ü m özelli k l e r i n i ol u n m a s ı z y ö n d e et k i l e m e k t e d i r (P r i c e , 1960; S m o r d i n o v v d . , 1970; R z h e v s k y ve N o v i k , 1971; D u b e ve S i n g h , 1972).

4.2 Doku Katsay ı s ı n ı n Belirlen m e s i ve Ö z e l l i k l e r i

Kaya ç dokusunun say ı s a l de ğ e r l e n d i r i l m e s i n d e 4 bileş e n d e n ol u ş a n bir denklemden yararlan ı l ı r . Bunlar;

- i) Tane yuvarlaklığı ve analizi,
- ii) Tane sapmasının ölçülmesi ve analizi,
- iii) Tane açısının ölçülmesi, ve değerlendirilmesi,
- iv) Tane bağlanma derecesi ne bağlı olarak sonuçların değerlendirilmesi.

Tüm bu işlemler Howarth ve Rowlands (1987) tarafından geliştirilen ve aşağıda verilen formül ile gerçekleştirilir.

$$TC = AW \left[\left(\frac{N_0}{N_0 + N_1} \times \frac{1}{FF_0} \right) + \left(\frac{N_1}{N_0 + N_1} \times AR_1 \times AF_1 \right) \right]$$

Buradan da anlaşılacağı gibi kayaçların dokusal özelliklerini tayininde TC' den yararlanmak mümkündür. Yukarıdaki ifadeleri açıklarsak;

TC = Doku katsayısı,

AW = Tane yığının ağırlığı,

N_0 = Görünüm oranı (AR)' 20' dan küçük olan tane sayısı,

N_1 = AR değeri 20' dan büyük olan tane sayısı,

FF_0 = AR değeri 20' dan küçük olan tanelerin şekil faktörü değerlerinin aritmetik ortalaması,

AR_1 = AR değeri 20' dan büyük olan tanelerin AR değerlerinin aritmetik ortalaması,

AF_1 = Açıl faktörü

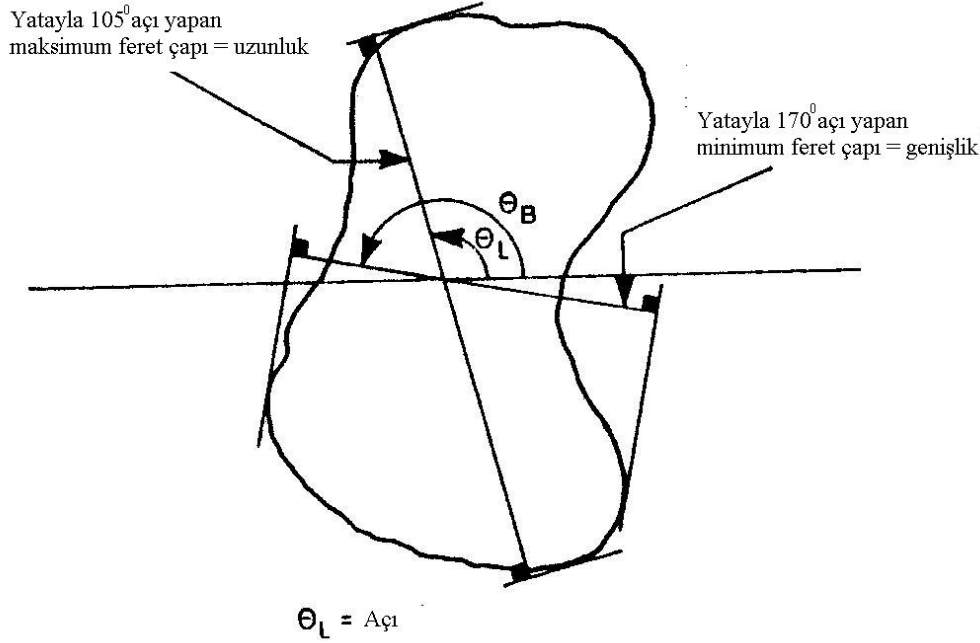
Kayaç dokularını görüntü işleme teknikleri kullanarak sayısal olarak değerlendirmek mümkün olmaktadır. Bu işlemlerde kayaçtan ince bir kesit alınır ve bu ince kesitin mikroskopta incelenerek resimlerin çekilmesi ve bilgisayar ortamında elde edilen bu görüntünün işlenmesi ile gerçekleştirilir.

Yukarıda formüle edilen TC'nin belirlenmesinde yararlanılan parametrelerin neler olduğu ve bunların nasıl hesaplandıkları hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

Analizin gerçekleştirilmesi için ilk önce içerisinde en az 20 veya 30 tanenin bulunduğu bir referans alanı seçilerek bu alan içerisindeki tanelerin her birinin alan, çevre, uzunluk, genişlik ve açıl geometrik parametreleri görüntü işleme yazılımı kullanılarak elde edilir.

Seçilen tanelerin alan ve çapları direkt olarak bulunabilir, ancak tanenin dışına teğet olan iki paralel arasındaki dik uzaklık olarak tanımlanan feret çapları için, tanenin her 5° açıda bir feret çapları bulunarak uzunluk ve genişlik belirlenir (Herdan ve Smith, 1953). Burada kısa

ol an tar a f t a n e n i n g e n i ſ l i ğ i n i , u z u n o l a n t a r a f i s e t a n e n i n u z u n l u ğ u n u v e r e c e k t i r . Œ e k i l 4 . 1 ' d e u z u n v e g e n i ſ l i ğ i n g ö ſ t e r i l d i ğ i b i r ö r n e k v e r i l m i ſ t i r [21] .



Œ e k i l 4 . 1 T a n e l e r i n u z u n l u k g e n i ſ l i k v e a ç ı l a r ı

Son p a r a m e t r e o l a n a ç ı f a k t ö r ü (θ_L) i s e m a k s i m u m f e r e t ç a p ı (u z u n l u k) i l e y a t a y e k s e n a r a s ı n d a k a l a n a ç ı d a r a k t a n ı m l a n ı r .

Dokunun say ı s a l o l a r a k d e ğ e r l e n d i r i l m e s i i ſ l e m i t a n e l e r i n i k i n c i l g e o m e t r i k p a r a m e t r e l e r i o l a n A R v e ſ e k i l f a k t ö r ü (F F) d e ğ e r l e r i n i n b u l u n m a s ı i l e b a ſ l a r . A R p a r a m e t r e s i i l e s a p m a y ı g ö z l e n e k m ü m k ü n o l m a k t a d ı r . A R d e ğ e r i t a n e n i n u z u n l u ğ u n u n g e n i ſ l i ğ i n e o r a n ı o l a r a k t a n ı m l a n m a k t a d ı r . B u d u r u n d a s a p m a n ı n a r t m a s ı , A R d e ğ e r i n i n a r t m a s ı a n l a m n a g e l m e k t e d i r . F F d e ğ e r i i s e t a n e n i n y u v a r l a k l ı k t a n n e d e r e c e s a p m ı ſ o l d u ğ u n u t a n ı m l a m a y a y a r a y a n b i r p a r a m e t r e d i r . B u s a y e d e F F d e ğ e r i k u l l a n ı l a r a k t a n e n i n n e d e r e c e p ü r ü z l ü o l d u ğ u h a k k ı n d a y o r u m y a p m a k m ü m k ü n o l m a k t a d ı r . F F d e ğ e r i a ſ a ğ ı d a k ı f o r m ü l y a r d ı m y l a h e s a p l a n m a k t a d ı r [21] :

$$FF = 4 \times \Pi \times \frac{Alan}{(Çevre)^2}$$

FF değeri nin 1.0 olması mükemmel tane şeklini gösterirken sapmanın artmasıyla birlikte FF değeri düşecektir.

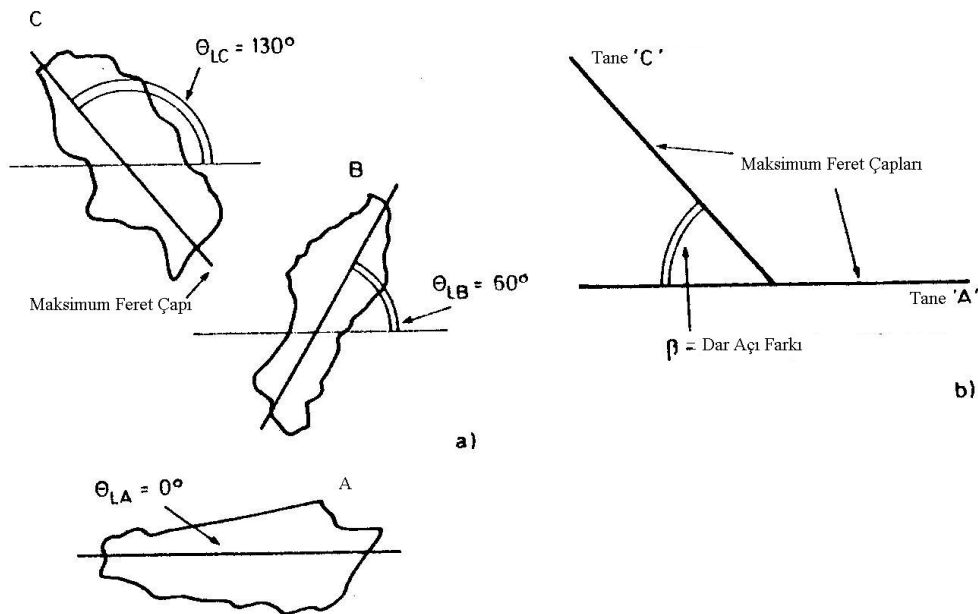
Analizler yapılırken AR değerinin 2.0 olduğu durum sınır değeri olarak kabul edilir. Bu sayede seviyenin altında kalan taneler için FF' lerin ortalaması kullanılırken bu değerden yüksek olan taneler için Ar' lerin ortalaması alınır.

Tanelerin yönlerini tespit amacıyla ise θ_L parametresi kullanılır. bu değer sadece sapmış taneler ($AR > 2.0$) için bulunur. Açı faktörünün bulunması için aşağıdaki işlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

N sapmış tane değerini gösterirken, i ağırlık katsayısını, x_i ise iki açı arasındaki farkın mutlak değerinin dar açısından değerini gösteriyorsa;

$$\theta_L = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\frac{N(N-1)}{2}} \right) \times i$$

Üç tane sapmış tane bulunan bir ince kesitte açı faktörünün elde edilmesi aşağıda gösterilmiştir [21].



Şekil 4.2 Tane açılarının gösterilişleri

- $N(N-1)/2 = 3 \times 2/2 = 3$
- Açık değerleri, (θ_{LA}); $A(0^\circ)$, $B(60^\circ)$, $C(130^\circ)$,
- Tek açı farklarının mutlak değeri;
 - i) $|\theta_{LA} - \theta_{LB}| = 60^\circ$
 - ii) $|\theta_{LA} - \theta_{LC}| = 130^\circ$
 - iii) $|\theta_{LB} - \theta_{LC}| = 70^\circ$
- Dar açıların bulunması; yukarıda bulunan açısal farklar değerlerinde 90° ' den büyük olan açı değeri 180° ' den çıkartılarak dar açı değeri bulunur.
 - ii) $|130 - 180| = 50^\circ$
- Her bir fark değerinin ağırlık katsayısı Çizelge 3.1' den bulunur.
 - i) ağırlık = 6.0
 - ii) ağırlık = 5.0
 - iii) ağırlık = 7.0
- Ağırlık katsayıları ile $N(N-1)/2$ değeri bölünüp toplamaları alınarak θ_L değeri bulunur.
 - i) $6.0 \times 1/3 = 2$
 - ii) $5.0 \times 1/3 = 1,667$
 - iii) $7.0 \times 1/3 = 2,334$ $\theta_L = 6.00$
- TC eşitliğinde verilen AF_1 değeri ise bulunan bu değer $5'$ e bölünmesiyle elde edilir.
 $AF_1 = 6.0/5 = 1,2$

TC eşitliğinde verilen AW değeri, referans alanı içerisindeki tanelerinin toplam alanlarının, inceleme yapılan referans alanına oranıdır.

Kısaca tekrarlamak gerekirse, TC nin belirlenebilmesi için bir ince kesitin alınması ve bunlardan bir görüntü alınarak bu görüntünün bilgisayar ortamına yansıtılması ve yazılımla görüntünün işlenmesi gerekir. Bu işleme sırasında tanelerden ölçülecek parametreler; alan, çevre, uzunluk, genişlik ve açı değeri dir. Bu parametreler saptandıktan sonra hesaplanacak değerler ise şunlardır; FF , AR , AW , $N_0/(N_0+N_1)$, $1/FF_0$, AR_1 , AF_1 ' dir. Bunun sonucunda verilen eşitlikten faydalananarak TC ye ulaşmak mümkündür.

Tablo 4.1 Dar açılar için kullanılacak olan ağırlıkların saptanması

No	Sınıf Aralığı	Ağırlık (i)
1	$\theta \leq 10^\circ$	1
2	$10^\circ < \theta \leq 20^\circ$	2
3	$20^\circ < \theta \leq 30^\circ$	3
4	$30^\circ < \theta \leq 40^\circ$	4
5	$40^\circ < \theta \leq 50^\circ$	5
6	$50^\circ < \theta \leq 60^\circ$	6
7	$60^\circ < \theta \leq 70^\circ$	7
8	$70^\circ < \theta \leq 80^\circ$	8
9	$80^\circ < \theta \leq 90^\circ$	9

4.3. Deneysel Çalışmalar

Bir önceki bölümde mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenen agregat numunelerinin dokusal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, agregat numunelerinden ince kesitler alınmış ve bu ince kesitlerden çekilen resimler görüntü işleme laboratuvarında analiz edilen Howarth ve Rowland tarafından geliştirilen TC katsayısı her ince kesit için belirlenmiştir. Bu sayede her bir agregat numunesinin dokusal özelliğini sayısallaştırmak mümkün olmuştur.

Yapılan deneysel çalışmada, resimlerde ilk önce tanelerin şekilleri belirlendikten sonra her bir tanenin alanı, çevresi, uzunluğu, genişliği, ve açısı tespit edilmiştir. Bu değerler tespit edildikten sonra ise, TC değerini tespit etmek mümkün olmuştur. Aşağıdaki tabloda agregat numuneleri için bulunan TC değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2 Agregat numunelerinin deneyler ile tespit edilmiş TC değerleri

Nu mune ler	TC	Nu mune ler	TC	Nu mune ler	TC
Kale Miden (1)	2	Soyak Miden (1)	1,92	Haska Miden (3)	2,15
Kale Miden (2)	2,08	Soyak Miden (2)	2,61	Yapı Miden (2)	3,03
Gebze Miden (1)	2,5	Gü mü ş ta ş Miden (1)	2,31	Cebeci (1)	2,66
Gebze Miden (2)	2,56	Gü mü ş ta ş Miden (2)	2,33	Si vas Miden (3)	2,51
Haska Miden (2)	2,07	Gü mü ş ta ş Miden (3)	2,24	İsla m o ğ lu Miden (2)	2,36
Cebeci (2)	2,44	Si vas Miden (1)	2,27	İsla m o ğ lu Miden (3)	2,9
si n pa ş (1)	3,09	Si vas Miden 2)	2,3		
si n pa ş (2)	2,65				

Yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere, yapılan bu çalış ma sonucunda agregaların mekani k ve fiziksel özellikleri ile dokusal özellikleri arasındaki ilişkisinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalış mada, her bir agregat numunesi için TC değerini tespit etmek mümkün ol muştur. Bulunan bu sonuçlar ile ilgili istatistiksel yorumlar karşılaştırmalar bölümünde verilmiştir.

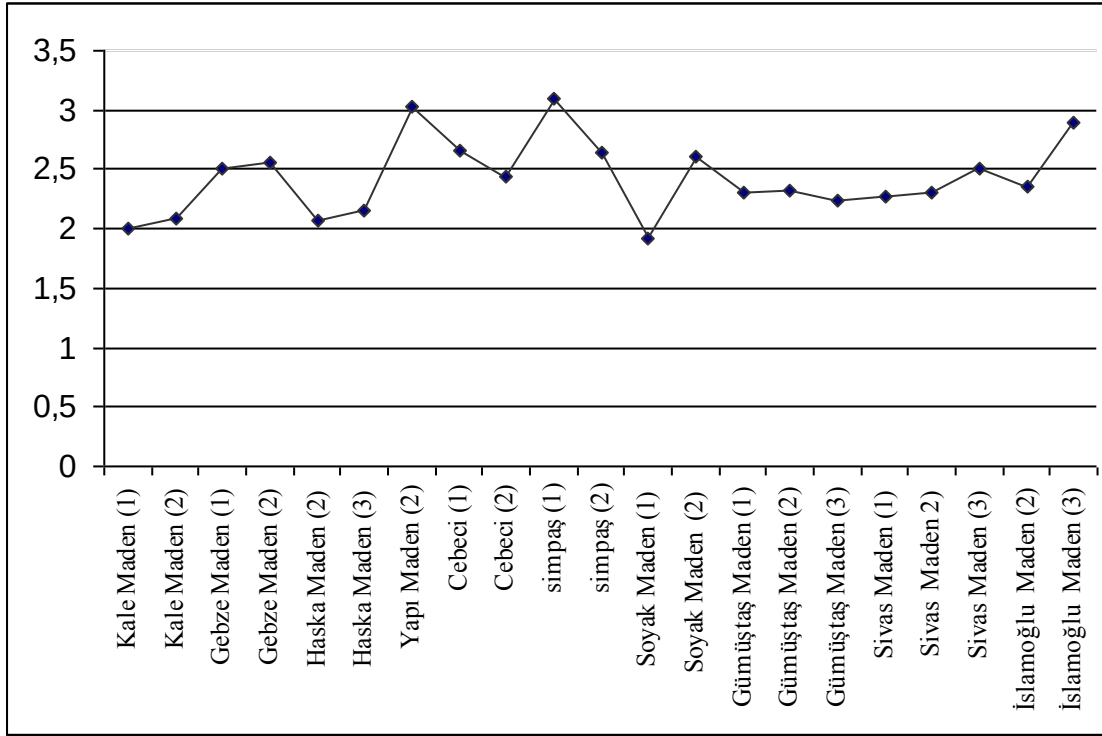
5. KARŞILAŞTIRMA

Şimdiye kadar yapılan çalışmalardan agregat numunelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra dokusal özelliklerini tespit etmek mümkün olmuştur bu bölümde tezin amacı na ulaşabilmek için agregaların dokusal ve mekanik ve fiziksel özellikleri arasındaki korelasyonlar bu bölümde araştırılmıştır.

Karşılaştırmalar, bulunan deney sonuçlarından elde edilen sonuçlardan hareket ederek belirlenen iki parametre arasında lineer bağımlılığının olup olmasına göre tespit edilmiştir. Lineer bağımlılığın ölçütü olarak korelasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Böylesi bir ilişkinin elde edilmesi için bulunan değerler ilk önce saçılma diyagramları çizilmiş daha sonra regresyon analizi yapılarak lineer regresyon bağıntısı bulunmuş ve nihayetinde yukarıda adı geçen korelasyon katsayısı tespit edilerek gerekli yorumlar yapılmıştır.

Daha öncede değinildiği gibi bu çalışmada dokusal özelliklerin sayısallaştırılması amacıyla TC tespit edilmiştir. Belirlenen mekanik ve fiziksel özellikler ise; Aşınma dayanımları, tane şekli, su emme, porozite, yoğunluk, özgül ağırlık, doluluk ve boşluk oranlarıdır. Aşağıda bu parametrelerin TC ile olan ilişkileri gösterilmektedir.

Burda karşılaştırmaları vermeden önce agregalarda TC değerlerinin nasıl değiştiğini görmek için bulunan TC değerlerinin saçılma diyagramı aşağıdaki grafikte verilmiştir. Bu grafik dikkatle incelendiğinde görülür ki, genel olarak agregalarda TC değeri 2 ile 3 arasında değişmektedir. Bu değişimin sonucu olarak agregalarda TC değerinin beklenen değerinin bu aralıkta olması gerektiği sonucu yapılabilir.

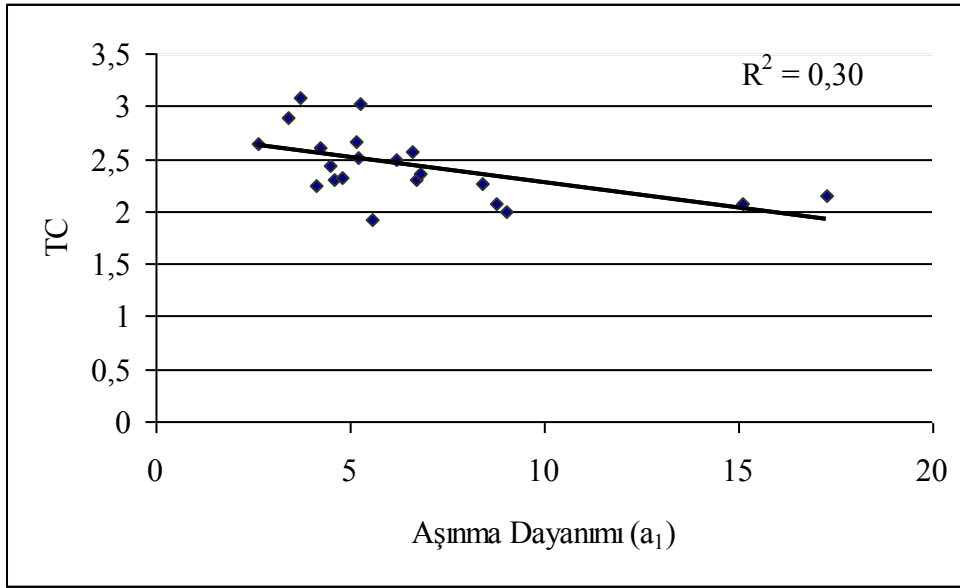


Şekil 5.1 Agregat numunelerinin yapılan deneyler sonucunda saptanan TC değerlerinin dağılımı

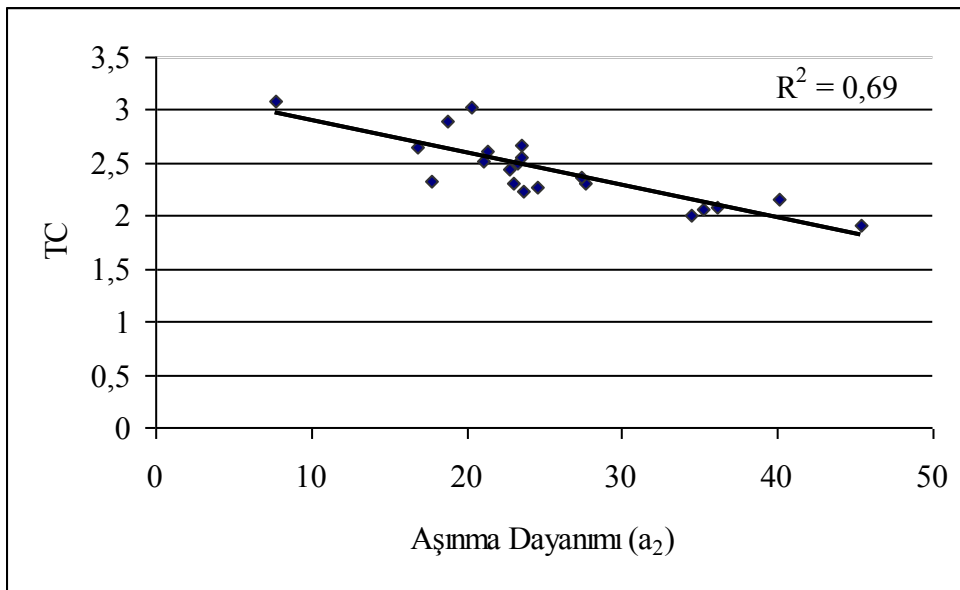
- TC – Aşınma dayanımı ;

Değerildiği üzere aşınma dayanımları Los Angeles tamburunda yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Burada a_1 (100 devir) ve a_2 (500 devir) için iki ayrı aşınma dayanımı sonucu bulunmaktadır. Bu parametrelerin TC ile olan ilişkileri için aşağıdaki grafikleri incelemek yeterli olacaktır.

Aşağıdaki grafiklerden de görüldüğü üzere TC parametresi ile a_2 aşınma dayanımı arasında yer bilimleri için yüksek sayılabilecek bir korelasyon elde edilmiştir. Her ne kadar bu korelasyon a_1 değeri için düşük çıksada R^2 değerinin 0,4'lerde olması bu iki değişken arasında bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.



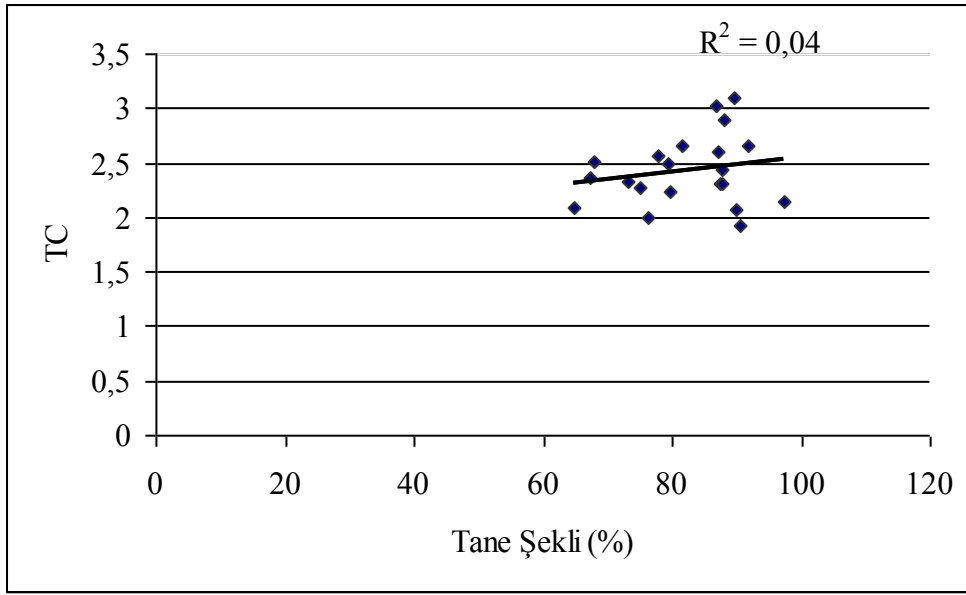
Şekil 5.2 TC – a_1 ilişkisi.



Şekil 5.3 TC – a_2 ilişkisi.

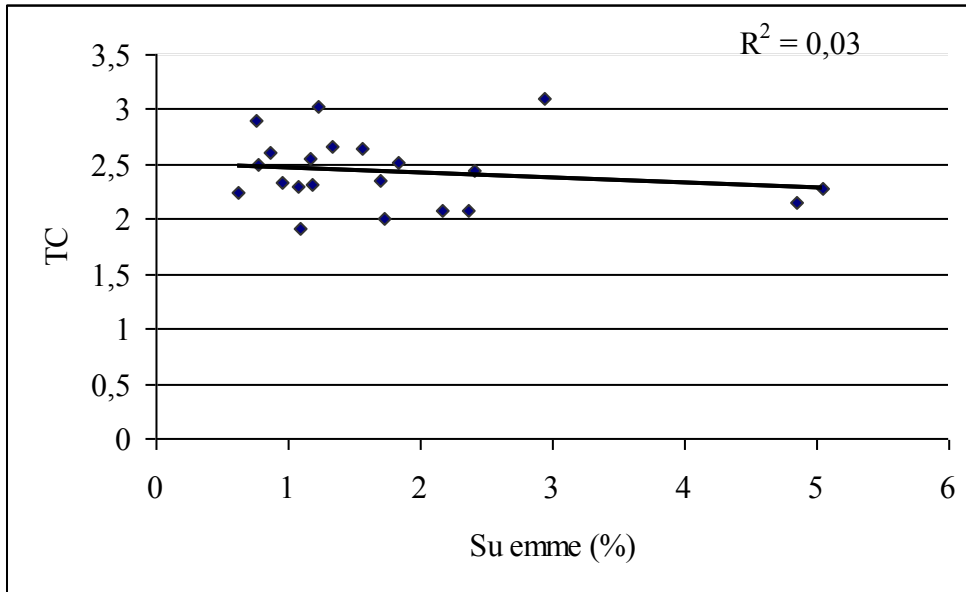
- TC – Tane şekli ;

Aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere TC değişkeni ile agregaların tane şekilleri arasında herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Bu durumu destekleyen bir önemli sav ise, farklı boyut gruplarındaki aynı agrega numunelerinin TC değerlerinin genelde birbirine çok yakın çıkmasıdır. Bu durumda tane şekli ile TC değeri arasında herhangi bir ilişkinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.4 TC – Tane Şekli İlişkisi.

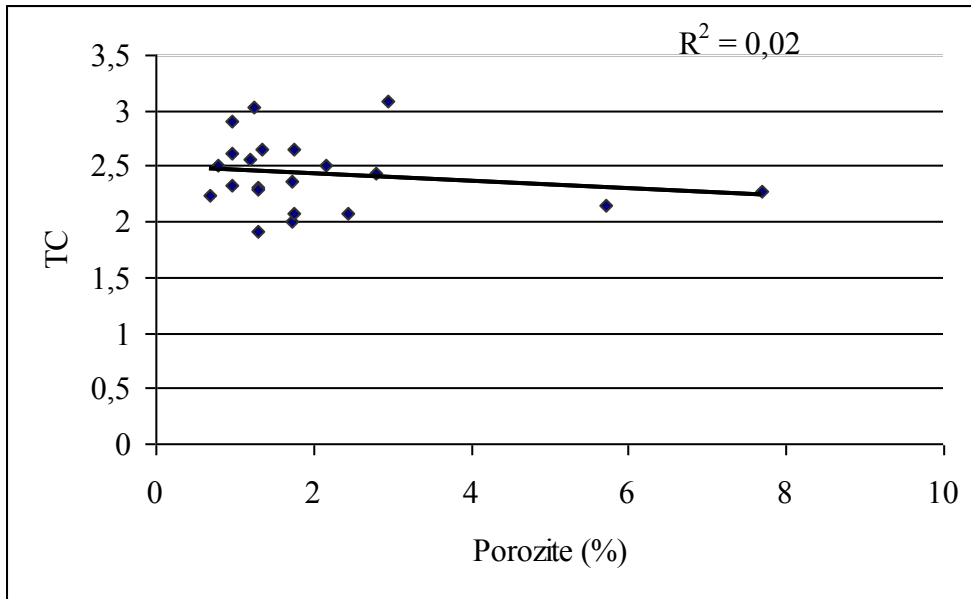
- TC – Su Emme ;



Şekil 5.5 TC – Su emme ilişkisi.

Benzer şekilde bu iki parametre arasında da bir ilişki bulunamamıştır. Nedeni ise korelasyon katsayısının son derece düşük olmasıdır.

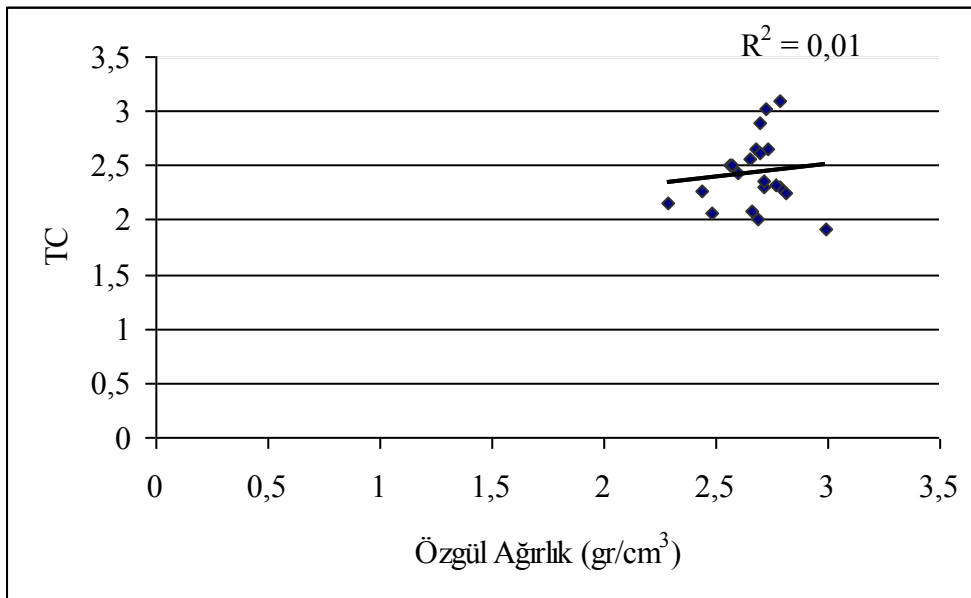
- TC – Porozite ;



Şekil 5.6 TC – Porozite ilişkisi.

Şekil 5.6' dan da görüleceği üzere, tıpkı su emmede olduğu gibi porozite değeri ile TC arasında da benzer sebepten kaynaklanan bir ilişkisizlik söz konusudur.

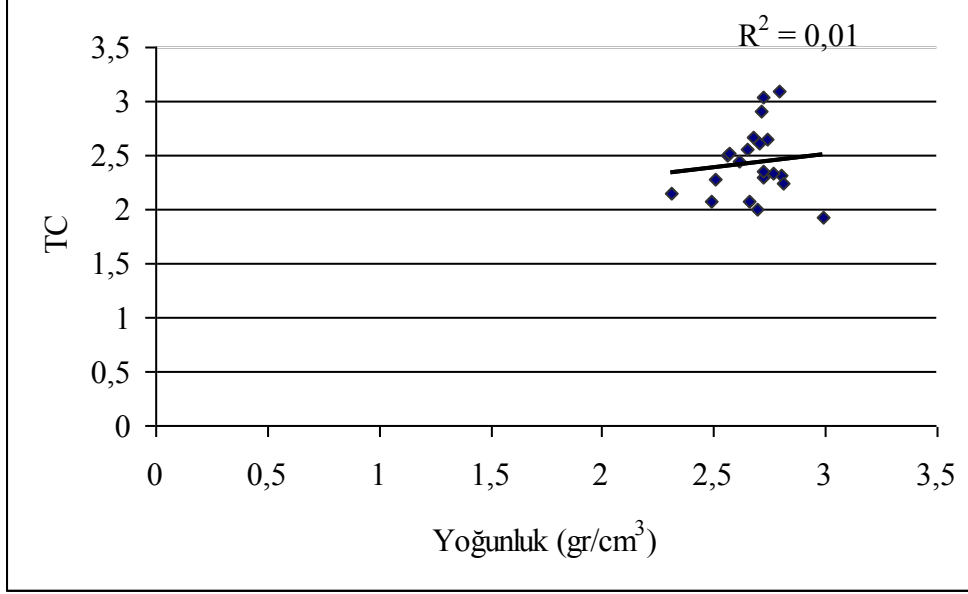
- TC – Özgül ağırlık ;



Şekil 5.7 TC – Özgül Ağırlık ilişkisi.

Kayaçların dokusal özellikleri ile özgül ağırlığı arasında da bir ilişkisinin olmadığı yukarıdaki grafiğten görülmektedir.

- TC – Yoğunluk ;



Şekil 5.8 TC – Yoğunluk ilişkisi.

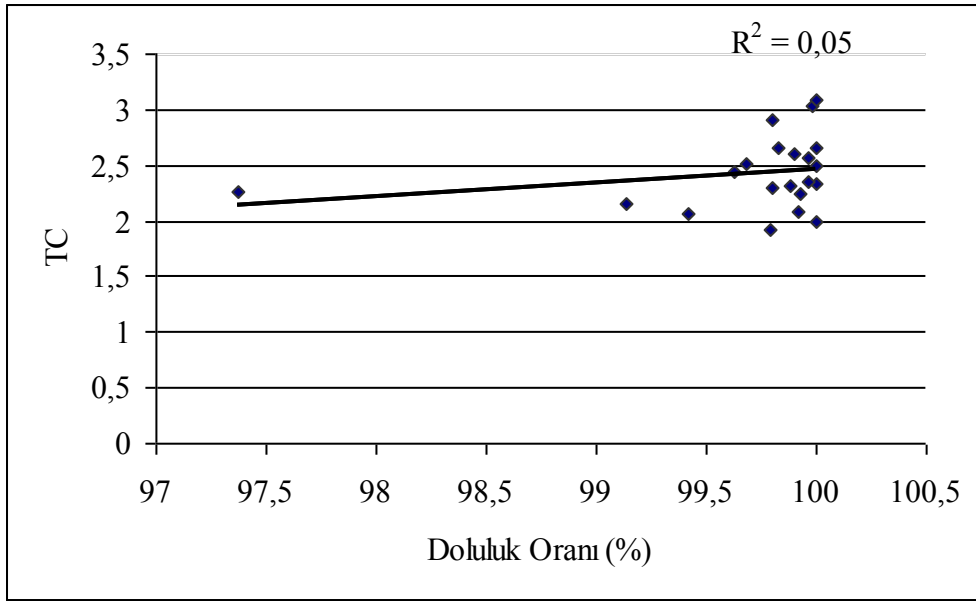
Korelasyon katsayısı değerinin 0 çıkması incelenen bu iki değişken arasında lineer bir bağımlılığın olmadığı göstermektedir.

- TC – Doluluk oranı ;

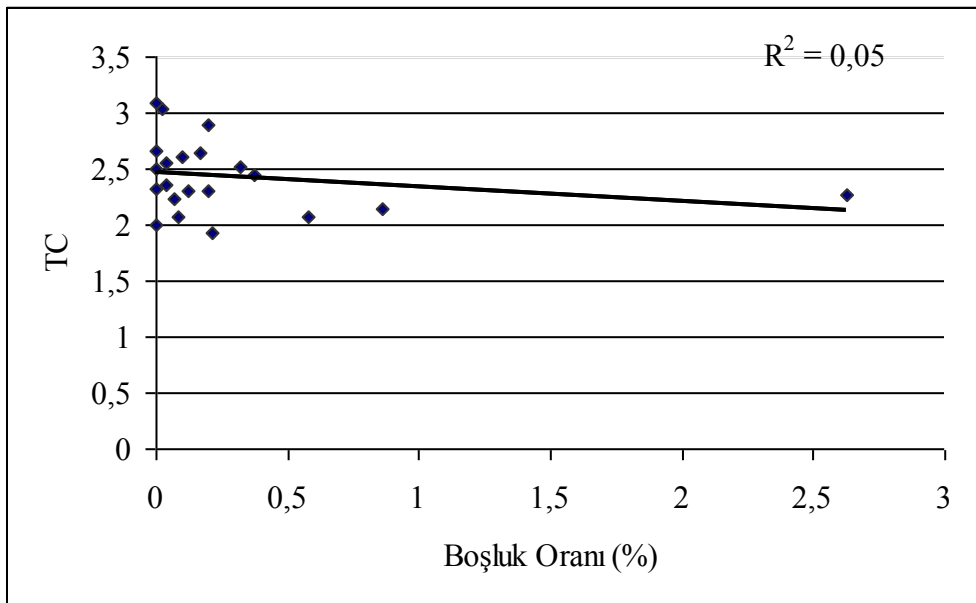
Tıpkı diğer fiziksel özelliklerde olduğu gibi agregaların doluluk oranları ile dokusal özellikleri arasında da bir ilişkisinin varlığına rastlanılamamıştır (Şekil 5.9).

- TC – Boşluk oranı ;

Boşluk oranında da doluluk oranında olduğu gibi TC ile boşluk oranı arasında ki ilişki korelasyon katsayısı dikkate alındığında yoktur (Şekil 5.10).



Şekil 5.9 TC – Doluluk Oranı İlişkisi.



Şekil 5.10 TC – Boşluk Oranı İlişkisi.

6. SONUÇLAR

Son yıllarda artan nüfusa paralel olarak insanların yaşam koşullarına olan talepleri büyükmektedir. Nüfusun hızla artması beraberinde şehirleşmenin yoğunluğunu, binaların çokluğunu, sağlam yapıların artmasını beraberinde getirmektedir. Günden güne artan bu taleplere cevap vermek için gerekli olan kaynaklar hızla tüketilmektedir. Bu nedenle, yeryüzünü oluşturan kayaçlardan yararlanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Var olan bu doğal kaynaklardan en uygun şekilde yararlanılması için bu konularda çeşitli çalışmalara gerek vardır. Bu nedenle inşaat ve çimento sektöründe sıkça kullanılan malzemelerden biri olan agregaların mühendislik uygulamalarına başlamadan önce bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve dokusal özellikleri ortaya konulmalıdır.

İşte bu amaçla yapılan bu çalışmada agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri ile dokusal özellikleri arasında bir ilişkinin varlığı olup olmadığı araştırılmaya çalışılmıştır.

Bu araştırmanın yapılabilmesi için öncelikle yapılacak olan deneyler için çeşitli ocaklardan agregat numuneleri getirtilmiştir. Bu numuneler üzerinde öncelikle boyut dağılım analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda her bir numunenin granülometrik eğrileri oluşturulmuştur. Çeşitli ocaklardan getirtirilen agregaların hangi boyut aralıklarında olduğu tespit edilmiştir.

Taneli bir malzeme olan agregaların mekanik özelliklerinden biri olan aşınmaya dayanıklılık değerini belirlemek için aşınmaya dayanıklılık deneyi (Los Angeles testi) uygulanmıştır. Deney ilk defa 1920 yılında Los Angeles şehrinde yapıldığı için bu deneye de oranın adı verilmiştir. Boyut dağılımı önceden belirlenen numuneler için her 100 ve 500 deviri için ayrı ayrı aşınma dirençleri hesaplanarak sonuçlar tablo halinde deneysel çalışmalar kısmında verilmiştir.

Agregaların fiziksel özelliklerine bakıldığında karşımıza özgül ağırlık, su emme, porozite, doluluk oranı, boşluk oranı, yoğunluk ve tane şekli ortaya çıkmaktadır. Agregaların tane şekli kullanılacak alanlara göre önemiilik arz etmektedir. Tane şekli sınıfını belirlemede agregaların tane şekli sınıfı tayini deneyinden yararlanılmıştır. Her bir agrega numunesine uygulanan bu deneyde agrega tanelerinin tane şekli değerleri % olarak belirlenerek sonuçlar bir tablo halinde deneysel çalışmalar içerisinde yer almıştır.

Diğer fiziksel özelliklerinden olan özgül ağırlık ve su emme değerleri su emme ve özgül ağırlık deneyleri yapılarak her bir numune için belirlenmiştir. Bu deneyde bulunan parametrelerden yararlanılarak agregaların porozite, yoğunluk, doluluk ve boşluk oranları da tespit edilmiştir.

Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri saptandıktan sonra bu numuneler üzerinde dokusal deneyler yapılmıştır. Kayaçların dokusal özelliklerinin sayısal olarak değerlendirilmesinde Rowlands ve Howarth adlı iki araştırmacının 1987 yılında yaptıkları çalışmalar etkili olmuştur. Dokuyu oluşturan tanelerin şekilsel özelliklerinden faydalananarak agregaların doku katsayısını (TC) hesaplamak mümkündür. Agregaların TC değerini belirlemek için öncelikle bütün numunelerden ince kesitler alınmıştır. Alınan bu ince kesitler mikroskop yardımıyla resimleri çekilmiştir. Bu resimler görüntü işleme setinden yararlanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bunun için Leica Qwin programı kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda her bir agrega numunesi için TC değerleri hesaplanmıştır.

Bulunan bu parametrelerin ışığında agrega numuneleri arasında yapılan TC değerlerinin karşılaştırılmasında sonucunda, agrega numunelerinin TC değerlerinin 2 ile 3 değerleri arasında olduğu görülmüştür. Buna dayanarak agregalarda TC değerleri 2 ile 3 arasında değişebileceği sonucunda varılmıştır.

Yapılan tmbu deneysel çalışmalar sonucunda agregaların mekanik özelliklerinden biri olan aşınma dayanımı ile TC değeri arasında bir ilişkinin varlığının sözkonusu olduğu görülmüştür. Yapılan regresyon analizi ile %70' lere varan bir ilişki görülmüştür.

Sonuç olarak mekanik özellikler ile TC arasında bir ilişki kurulmasına rağmen fiziksel özellikler ile arasında herhangi bir korelasyonun varlığının söylemek mümkün olmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Esenli, V.**, 1996. Kırnataş Hammaddeleri ve Standartları, *1. Ulusal Kırnataş Sempozyumu*, İstanbul.
- [2] **Boran, O., Onur, A.H., Konak, G., Çelikkol, M., Durak, M.**, 2000. Kırnataş Mıncır-Çakıl Raporu, *Devlet Planlama Teşkilatı Sekizinci Kalkınma Planı Madencilik Öİ.K Raporu*, Ankara. s. 64-79.
- [3] **Saltoğlu, S.**, 1992. Açık İşletmeler, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
- [4] **Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç, M.**, 2000. Patlatmada sürekli infilak hızı ölçümlerinin yararı ve önemi, *4. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, Ankara, s.47-53.
- [5] **Bilgin, N., Balcı, C.**, 1996. Kırnataş endüstrisinde yeni kazı teknolojileri, *1. Ulusal Kırnataş Sempozyumu*, İstanbul. s.
- [6] **Arıoğlu, E.**, 1996. Kırnataş ocakları ve kısa bir değerlendirilmesi, TMMOB Maden Müh. Odası, **1**, İstanbul. s. 207-225.
- [7] **Glason, N., Tonga, S., Güral, G.**, 1989. İstanbul ve çevresi taş-doğal agregalar, *STFA Yayını*, **24**.
- [8] **Akman, S.**, 1992. Beton Teknolojisine Giriş, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [9] **Halili, A.**, 2000. Hereke formasyonunun (Gebze kireçtaşı) delme-patlatma açısından incelenmesi, *4. Delme Patlatma Sempozyumu*, İstanbul.
- [10] **Özışık, G.**, 1998. Beton, İstanbul Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- [11] **Fefont, E.**, 1985. Industrial minerals and rocks.
- [12] **Glason, N.**, 1992. Beton, *STFA Yayınları*, **21**, İstanbul.
- [13] TS 706, TS 3529, TS 3694, TS 3526, TS 3527, TS 3530, TS 3814, TS 635, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [14] **Barksdale, R.D.**, 1996. Basic properties of aggregate, The Aggregate Handbook, National stone association, Washington.
- [15] **Minzak, O., Dondurmacı, A., Köylüoğlu, Ö.S.**, 1996. Beton agregası kalitesinin denetlenmesi, *Çözünürlü beton agregaları problemleri*, İstanbul, s. 89-95.
- [16] **Erdoğan, T.Y.**, 1995. Betonu oluşturan malzemeler: agregalar, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.
- [17] **Mindress, S., Young, J.E.**, 1981. Concrete, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.

- [18] **Glason, N**, 1980. Beton, *STFA Yayınları*, **21**, İstanbul.
- [19] **Onaran, K**, 1993. Malzeme bilimi problemleri ve çözümleri, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- [20] **Durmuş, A**, 1995. Beton nitelikleri yönünden optimum kum kirliliğinin belirlenmesi, *Beton Prefabrikasyon*, **36**, Ankara.
- [21] **Howarth, D E, Rowlands, J C**, 1987. Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties, *Rock Mechanics and Rock Engineering* Australia p 57-85.

ÖZGEÇMİŞ

Emel AKKOÇ 1977 yılında Alanya’da doğdu. Orta öğrenimini Trabzon Fatih Lisesi’nde tamamladıktan sonra, 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne başlayıp, 1998 yılında Maden Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı Maden Planlaması ve Ekonomisi Programından Yüksek Lisans Eğitimi ne başladı ve halen bu eğitimi sürdürmektedir.