

İSTANBUL' DAKİ KİREÇTAŞLARININ AGREGA KALİTESİ YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF THE LIMESTONES FROM THE POINT OF AGGREGATE QUALITY IN İSTANBUL

İ. Halil ZARİF, Atiye TUĞRUL ve Göksel DURSUN

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar-İstanbul

ÖZ: İnşaat sektöründeki kaliteli betona olan ihtiyacın artması, iyi nitelikli kırmataşın da önemini artırmıştır. Yapılaşmanın hızla geliştiği İstanbul'da kireçtaşları, agregaların ana kaynağını oluşturmaktadır. İstanbul ve yakın çevresindeki kireçtaşlarının bileşim ve dokusal olarak farklılıklarını bulmaktadır. Bu çalışmada, farklı bileşim ve dokudaki kireçtaşlarının, agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve kalite yönünden değerlendirilmesi yapılmıştır. Petrografik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, kaliteleri ve agrega özellikleri nedeniyle İstanbul'daki tüm kireçtaşlarının özelliklerinin standartlarda belirtilen kabul edilebilir limitler içinde bulunması veya bu limit değerlere çok yakın olması nedeniyle birçok alanda kullanılmalan uygundur.

Anahtar Kelimeler: Kireçtaşı, Agregada özellikleri, İstanbul

ABSTRACT: Developments in the construction sector in Turkey and increasing demand for good quality concrete have resulted in that demand for good quality crushed stone is also increased. Limestones are the major source of crushed rocks for use in concrete in Istanbul, where the construction activity improved remarkable. In this study, the use of limestone in different composition and texture as aggregates were investigated and evaluated from the point of their quality. The results were compared with each other and with the typical acceptance limits in international standards. According to petrographical and chemical characteristics, to quality and aggregate properties, the limestone aggregates are generally similar, with most values being within or very close to acceptable limits. Hence, they can be used for many special purposes.

Key Words: Limestone, Aggregate properties, İstanbul

GİRİŞ

Yapılaşmanın hızla geliştiği İstanbul'da kaliteli beton ihtiyacı da gün geçtikçe artmaktadır (Şekil 1). İstanbul'un batı ve doğusunda yüzeylenen kireçtaşları agregaların ana kaynağı olup, üretilen agregaların yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır. Bu bölgede ayrıca, kumtaşı, deniz ve kıyı kumları ile batı ucundaki metamorfik kayalar agrega olarak işlenmektedir.

Günümüzde İstanbul'un bir çok bölgesinde farklı yaş ve özellikte kireçtaşları işletildiklerinden, kalitelerindeki değişimin belirlenmesi oldukça önemlidir. Kireçtaşlarının iyi kaliteli olanları büyük oranda beton agregası olarak kullanılmaktadır. Kimliği veya dolomit içeriği yüksek olan veya az ayrılmış kireçtaşları yol agregası, balast, dolgu malzemesi vb. olarak değerlendirilmektedir.

Beton bileşiminin yaklaşık % 75'ini agregalar oluşturmaktadır. Bu nedenle agrega özellikleri, beton yapımında önemli rol oynamaktadır. Agreganın türü,

mineralojik bileşimi, dokusu gibi önemli jeolojik faktörler; betonun dayanımında, aşınmasında, kimyasal etkilere karşı davranışında ve hacimsel deformasyonunda etkin rol oynar. Ayrıca, agreganın şekli ve yüzey pürüzlülüğü betonda agrega ile çimento arasındaki bağın kuvvetini belirler. İstanbul'da üretilen kireçtaşı agregaları üzerinde yapılan detaylı araştırmalar oldukça sınırlıdır (Anoğlu ve Manzak, 1991; Manzak vd., 1996, Erdoğan, 1999).

Farklı yaş ve bileşimdeki kireçtaşlarının agrega olma niteliğinin belirlenmesinin hedeflendiği bu araştırma, İstanbul'un batı ve doğusunda yer alan taş ocaklarından derlenen blok numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Araştırmalarda kireçtaşlarının; petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, standart agrega deneyleri ile agrega olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası
Figure 1. Location map of the study area

Örneklerden öncelikle petrografik incelemeler için incekesit örnekleri hazırlanmıştır. Kimyasal analizler ve bazı fiziksel deneylerde kullanılmak üzere aynı örneklerin bir kısmı öğütülmüştür. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için bloklardan karot örnekleri alınmıştır. Aynıca bloklar, standart agrega deneylerinin yapılabilmesi için laboratuarda çeneli kırma aleti ile kırılmıştır. Elde edilen agregaların “10-14mm” ve “6.3-10mm” dane boyutlu iki grubu üzerinde agrega deneyleri yapılmıştır.

Kireçtaşlarının petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla polarizan mikroskobu ile incelemeler yapılmıştır. Kimyasal analizler ICP metoduyla yapılmıştır. Kireçtaşlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, kuru ve doymun birim ağırlık, porozite ve tek eksenli basma dayanımı belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen kireçtaşlarının agrega olma özelliklerini saptamak amacıyla, bunlardan elde edilen kırma taşlar üzerinde standart agrega deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler; özgül ağırlık (kuru), özgül ağırlık (doymun-yüzey kuru), görünür özgül ağırlık, su emme, gevşek ve sıkı birim ağırlık, ince madde oranı, Los Angeles aşınma oranı ile yassılık ve uzunluk indeksleridir. Deneylerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve standartlarda verilen limit değerleriyle karşılaştırılarak farklı alanlarda kullanılmaları açısından değerlendirmeler yapılmıştır.

Betonda karşılaşılan problemler; donma, büzülme, betondaki donatının korozyonuna neden olan klorür penetrasyonu, sülfatların etkisi ve alkali-agrega reaksiyonudur. Bu olaylar zaman içerisinde betonun soyulmasına, çatlamasına ve kullanılabilir hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle kireçtaşı agregalarında, Na_2SO_4 ile dondayanlık deneyi, klorür ve sülfat içeriği ile alkali-agrega reaksiyonlarının olabilirliği araştırılmıştır.

KİREÇTAŞLARININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

İstanbul'un her iki yakasında da Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik'e ait birimler yüzeylenmektedir (Çizelge 1 ve 2). Bölgede işletilmekte olan en yaşlı kireçtaşları; Devoniyen yaşlı Sedefadaşı, İstinye, Kaynarca ve Kartal formasyonlarına aittir. İstanbul'un Anadolu yakasında yaygınca yüzeylenen bu kireçtaşları Çölan (1981, 1982) tarafından tanımlanmış ve haritalanmıştır. Alt Devoniyen yaşlı Sedefadaşı formasyonu koyu mavi, gri renkli, ince tabakalı siltli ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu formasyonun üzerinde uyumlu olarak İstinye formasyonu bulunmaktadır. İstinye formasyonu, siyahımsı mavi renkli bol sparit damarlı kırıntılı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu formasyon üzerinde de uyumlu olarak Kaynarca formasyonu bulunmaktadır. Kaynarca formasyonu, koyu gri, mavi renkli yumrulu kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Kaynarca formasyonunun üzerinde uyumlu olarak yer alan Kartal formasyonu, kahverenkli şeyl ve kumtaşı ara tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Karbonifer yaşlı Trakya formasyonuna ait Cebeciköy kireçtaşı üyesi İstanbul'un Avrupa yakasında yüzeylenmektedir. Bu birim koyu gri renkli fosilli mikritik kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Triyas yaşlı Karakiraz formasyonu İstanbul'un kuzey-doğusundaki Ömerli-Hüseyinli bölgesinde işletilmektedir. Bu formasyon dolomit ve dolomitik kireçtaşları ile karakterize edilir. İstanbul'un güneydoğusundaki Gebze-Tavşanlı bölgesinde işletilmekte olan Hereke formasyonu ise genellikle sarı renkli kumlu kireçtaşları, grimsi sarı renkli killi kireçtaşları ile gri renkli dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kretase yaşlı Ahmetli kireçtaşı ise İstanbul'un kuzeydoğusundaki Şile bölgesinde işletilmektedir. Bu formasyon genellikle gri renkli dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır.

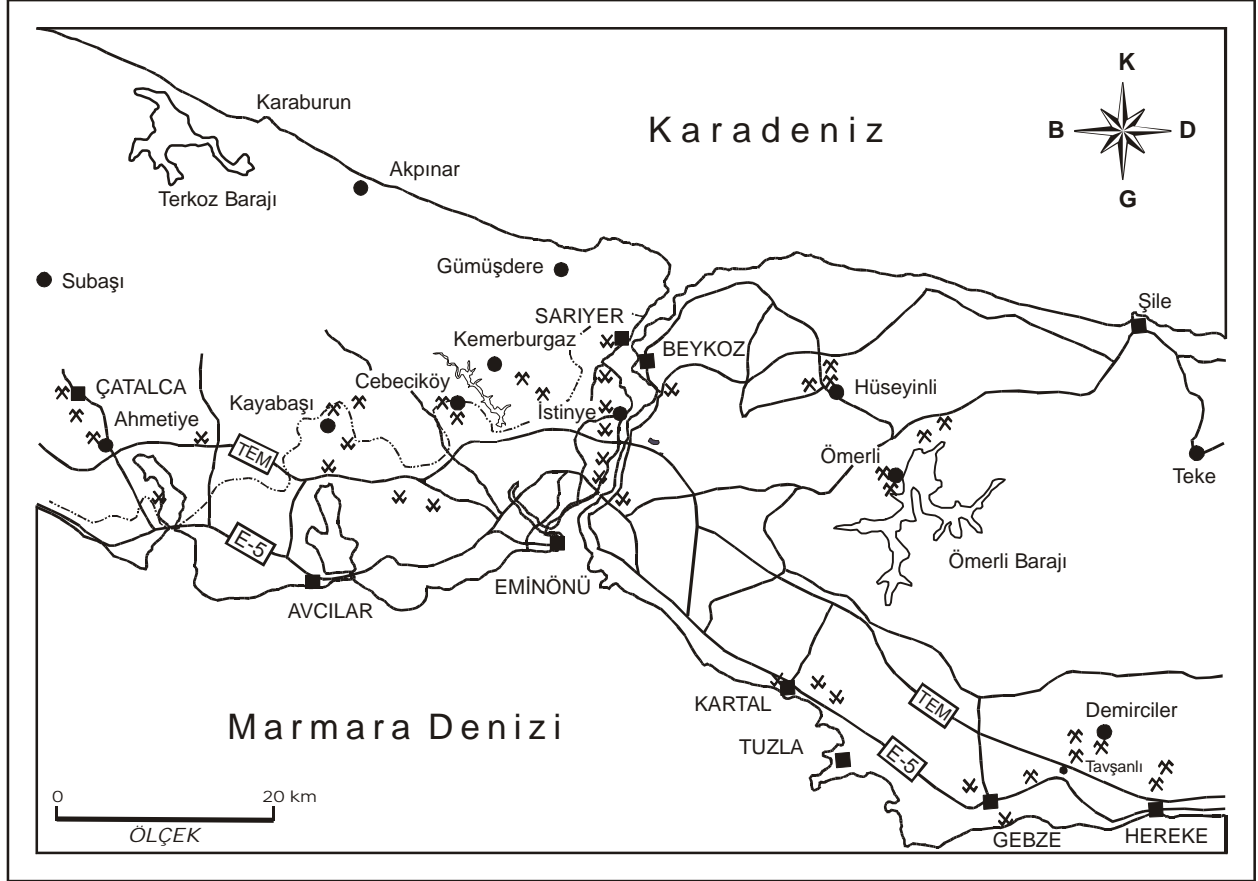
İnceleme alanındaki katman doğrultularının büyük bölümü KD-GB, eğimleri ise 30° - 60° arasında olup çoğunlukla GD'lidir. Bölge yoğun tektonizma nedeniyle oldukça kırık bir yapı kazanmıştır. KB-GD ve KD-GB doğrultulu irili ufaklı birçok fay bölgedeki ana yapısal unsuru oluşturmaktadır. Kireçtaşlarında genellikle üç veya dört eklem takımı bulunmaktadır. Bu eklemler genellikle KB-GD ve KD-GB doğrultuludur. Bölgede ayrıca ikincil eklem takımları ile birlikte yoğun gelişmiş eklemler bulunmaktadır.

KİREÇTAŞLARININ PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Kireçtaşlarının agrega olarak kullanılmaları, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra, erimeleri, içerdikleri karbonat ve kırıntı yüzdeleri ile doğrudan ilişkilidir. Öte yandan, alkali-agrega reaksiyonlarının gelişmesinde agreganın mineralojik bileşimi ve porozitesi önemli rol oynar (Johnson and De Graff, 1988). Bu nedenle kireçtaşı örnekleri üzerinde petrografik analizler yapılmıştır.

Detay araştırmalar için İstanbul'un doğu ve batısındaki oniki farklı lokasyondan kireçtaşı örnekleri derlenmiştir (Çizelge 1 ve 2, Şekil 2). Petrografik araştırmalar laboratuvarında polarizan mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, kireçtaşlarının karbonat içerikleri, ayrışma dereceleri, doku ve fabrik özellikleri incelenmiştir. Bu araştırmalara göre, örneklerin büyük çoğunluğu fosilli, mikritik ve dolomitik kireçtaşı, diğerleri ise sparitik kireçtaşı, dolomit ve rekristalize kireçtaşıdır (Çizelge 1 ve 2).

Kireçtaşlarının mineralojik bileşimleri nokta sayacı ile belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur. Agregaların genellikle kireçtaşı oluşu, bol miktarda kalsit içermesi ve bileşiminde kil ve benzeri diğer zararlı maddeleri çok az oranda içermesi beton üretimi için oldukça uygun bir agrega olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca kimyasal açıdan da CaO miktarının çok olması bu agregaların kullanılabilirliğini güçlendirmektedir.



Şekil 2. İstanbul'da kireçtaşı agregası üretilen ocaklar
Figure 2. Location of the limestone quarries in İstanbul

KİREÇTAŞLARININ KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Kireçtaşlarının kimyasal bileşimleri ICP metodu ile belirlenmiştir. Bu araştırmalar, her bir ocaktan derlenen temsilci örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4'te görüldüğü gibi; kireçtaşlarındaki CaO içeriği % 31.88-53.10 arasındadır. MgO içeriği

genellikle % 4.6' dan düşüktür. Dolomitlerdeki (Ömerli-Hüseyinli-1 ve Gebze-Tavşanlı-1) MgO içeriği % 16.09-19.88 arasındadır. Kireçtaşı örnekleri ayrıca, % 0.50-6.76 SiO₂, % 0.23-1.60 Al₂O₃ ve % 0.55-1.20 Fe₂O₃ içermektedir.

Çizelge 1. İstanbul'un batısında üretilen kireçtaşı agregalarının jeolojik özellikleri**Table 1.** Geological characteristics of limestone aggregates produced in western part of İstanbul

Lokasyon	Formasyon	Yaş	Litoloji
Cebeciköy	Cebeciköy kireçtaşı üyesi	Karbonifer	Fosilli mikritik kireçtaşı
Çatalca	Kırklareli	Eosen	Fosilli rekristalize kireçtaşı
İstinye	İstinye	Devoniyen	Mikritik kireçtaşı

Çizelge 2. İstanbul'un Anadolu yakasında üretilen kireçtaşı agregalarının jeolojik özellikleri**Table 2.** Geological characteristics of limestone aggregates produced in eastern part of İstanbul

Lokasyon	Formasyon	Yaş	Litoloji
Ömerli	İstinye	Devoniyen	Fosilli mikritik kireçtaşı
Ömerli-Hüseyinli-1	Karakiraz	Triyas	Dolomit
Ömerli-Hüseyinli-2	Karakiraz	Triyas	Dolomitik kireçtaşı
Kartal	Kaynarca, Kartal, Dolayoba, Sedefadası, İstinye	Devoniyen	Mikritik, sparitik kireçtaşı
Gebze-Pelitli	Dolayoba Sedefadası İstinye	Devoniyen	Mikritik yumrulu kireçtaşı
Gebze-Tavşanlı-1	Hereke	Triyas	Dolomit
Gebze-Tavşanlı-2	Hereke	Triyas	Dolomitik yumurulu kireçtaşı
Hereke	Şemsettin	Kretase	Mikritik dolomitik kireçtaşı
Şile	Ahmetli kireçtaşı	Kretase	Dolomitik kireçtaşı

Çizelge 3. Kireçtaşlarının mineralojik bileşimi**Table 3.** Mineralogical composition of the limestones

Lokasyon	Mineralojik Bileşim (%)				
	Kalsit	Dolomit	Albit	Kuvars	Opak Mineraller
Ömerli	75	--	1	1	3
Ömerli-Hüseyinli - 1	5	90	--	--	4
Ömerli-Hüseyinli - 2	47	29	6	3	4
Kartal	95	--	--	--	4
Gebze-Pelitli	95	--	--	--	3
Gebze-Tavşanlı-1	3	95	--	--	2
Gebze-Tavşanlı-2	45	30	7	4	11
Hereke	46	30	6	3	6
Şile	45	30	5	3	12
Cebeciköy	96	--	--	1	3
Çatalca	95	--	--	--	4
İstinye	94	--	1	1	5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Farklı bileşimdeki kireçtaşlarının özelliklerini belirlemek amacıyla, laboratuvarda makro ve mikro ölçekte süreksizlikler içeren numuneler üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Arazide örnekleme yapılırken fasiyes değişimlerine dikkat edilmiştir. Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalardan birincisi, kireçtaşlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler diğeri ise klasik agrega deneyleridir.

Yapılan deneyler sonucunda farklı yaş, bileşim ve dokudaki kireçtaşı örneklerine ait; özgül ağırlık, kuru birim ağırlık, su emme, efektif porozite ve tek eksenli basma dayanımı belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen kireçtaşlarından ayrıca kırma taşı hazırlanmış ve bunlara ait özgül ağırlık (kuru), özgül ağırlık (doğun-yüzey kuru), görünür özgül ağırlık, su emme, gevşek ve sıkı birim ağırlık, ince madde oranı, Na₂SO₄'e dayanıklılık, Los Angeles aşınma oranı, yassılık ve uzunluk indeksleri belirlenmiştir.

Çizelge 4. Kireçtaşlarının kimyasal bileşimleri
Table 4. Chemical composition of the limestones

Lokasyon	Ana element oksitleri (%)				
	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Ömerli	52.90	1.93	1.53	0.33	0.76
Ömerli-Hüseyinli - 1	38.98	0.50	16.09	0.46	1.13
Ömerli-Hüseyinli - 2	50.34	2.16	1.82	1.21	0.19
Kartal	49.44	5.35	1.71	1.39	0.64
Gebze-Pelitli	46.98	5.39	4.66	1.57	0.86
Gebze-Tavşanlı -1	31.88	0.83	19.88	0.23	0.55
Gebze-Tavşanlı -2	45.99	5.39	4.65	1.54	0.92
Hereke	48.06	5.42	2.69	1.42	0.78
Şile	46.00	6.76	4.47	1.60	1.20
Cebeciköy	50.44	2.16	0.91	0.74	0.82
Çatalca	51.92	2.34	0.82	0.54	0.86
İstinye	53.10	3.74	1.20	0.29	0.59

Kireçtaşlarının fiziksel ve mekanik özellikleri

Kireçtaşlarının bazı fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler ISRM (1981) esas alınarak yapılmıştır. Deneyler her bir numune için en az üç kez tekrarlanmış ve elde edilen sonuçların ortalama değerleri Çizelge 5'te sunulmuştur. Piknometre ile yapılan deneyler ile kireçtaşlarının özgül ağırlıklarının 2.66-2.84 arası arasında değiştiği saptanmıştır. Kireçtaşlarının kuru birim ağırlıkları ise 26.08-27.80 kN/m³ arası arasında değişmektedir. Kireçtaşlarındaki ayrışma ve kırılma içeriği arttıkça özgül ağırlıkları ile kuru ve doymuş birim ağırlıklarında bir azalma meydana gelmektedir. Ayrıca dolomitlere ait özgül ağırlık ve kuru birim ağırlık değerleri, diğerlerine oranla daha yüksektir. Kuru birim ağırlık değeri kayacın mekanik özellikleri ile yakından ilişkilidir (Shakoor vd., 1982; Cargill, 1989).

Kireçtaşlarının ağırlıkça su emme değerleri ise, % 0.12 ve 1.37 arasıdır. Su emme, beton agregası olarak kullanılacak olan kayaların durabilitesini belirlemede önemli bir parametredir. Yapılan araştırmalarda; su emme değerinin % 3'den büyük olduğu durumlarda donma-çözünme etkisinin önemli olduğu vurgulanmıştır (Shakoor vd., 1982).

Kireçtaşlarına ait efektif porozite değerleri ise % 0.32-3.43 arası arasında değişim sunmaktadır. Fosilli kireçtaşlarına ait efektif porozite değerleri diğerlerine göre daha yüksektir. Kayaç içindeki boşluklar bütünlüğünü bozmaktadır. Küçük boşluklar kayacın mekanik özelliklerini önemli oranda etkileyebilmektedir (ISRM, 1981). Buz kristallenmesi nedeniyle çimentoda veya agregalarda meydana gelen hacim deformasyonu betona zarar veren önemli olaylardandır. Porozitesi

yüksek olan agregalar hacim deformasyonu nedeniyle parçalanmaya veya beton yüzeyinde kabuklanarak dökülmeye neden olurlar. Porozite ayrıca agregaların kırılma dayanımlarını etkiler (Bell, 1998).

Tek eksenli basma dayanımı; dokusal ve mineralojik özellikler ile porozite, birim ağırlık vb. fiziksel özellikler ile ilişkili olduğundan mekanik özelliklerden tek eksenli basma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, ISRM (1981)'e göre laboratuvarında silindirik örnekler kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Deneyler her bir numune için en az beş kez tekrarlanmıştır. Çizelge 5'te görüldüğü gibi, kireçtaşlarının ortalama basma dayanımları 50-128 MPa arası arasında değişmektedir. Dearman (1981)'e göre, beton agregalarının basma dayanımlarının 35 MPa'dan büyük olması gerekmektedir. Buna göre, üretilen tüm kireçtaşları beton üretimi için uygundur. Kaliteli beton üretiminde agregaların dayanımları önemli rol oynamaktadır. Gebze-Tavşanlı ve Kartal Bölgesinde üretilen mikritik kireçtaşları diğerlerine oranla daha yüksek dayanıma sahiptir.

Agrega Deneyleri

Farklı yaş ve özellikteki kireçtaşları üzerinde agrega deneylerinin yapılabilmesi için, araziden derlenen blok numunelerinden, laboratuvarda çeneli kırma ile kırma elde edilmiştir. Kırma taşları üzerinde standart agrega deneyleri yapılmıştır. Deneyler BS, ASTM ve Türk Standartları esas alınarak yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler standartlarda verilen limitlere göre değerlendirilmiş ve kireçtaşlarının farklı amaçlar için kullanılabilirliği tartışılmıştır.

Çizelge 5. Kireçtaşlarının fiziksel ve mekanik özellikleri
Table 5. Physical and mechanical properties of the limestones

Lokasyon	Özgül ağırlık Gs	Kuru birim ağırlık γ_d (kN/m ³)	Su emme w _a (%)	Efektif porozite n _e (%)	Tek eksenli basma dayanım σ_c (MPa)
Ömerli	2.69	26.80	0.77	1.84	95
Ömerli-Hüseyinli - 1	2.82	27.80	0.92	2.56	53
Ömerli-Hüseyinli - 2	2.70	26.76	0.73	1.94	50
Kartal	2.68	26.26	0.49	1.32	105
Gebze-Pelitli	2.67	26.54	0.12	0.45	85
Gebze-Tavşanlı-1	2.84	28.20	0.47	1.55	128
Gebze-Tavşanlı-2	2.71	27.10	0.30	0.98	105
Hereke	2.69	26.61	0.65	2.00	76
Şile	2.66	26.38	0.71	1.97	65
Cebeciköy	2.73	26.60	0.42	1.10	82
Çatalca	2.68	26.08	1.37	3.43	60
İstinye	2.66	26.58	0.14	0.32	96

Agregalanın kökeni ile ilgili olan agrega özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi betonun mekanik özelliklerini etkileyen önemli özelliklerdir. Agreganın özgül ağırlığının yüksek olması, betonun mekanik özelliklerinden, özellikle çökme ve stabilite problemlerinde önem kazanan elastik modülü açısından önemlidir. Agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri laboratuvarında BS 812: P.2 (1975)'de belirtilen esaslara uyularak saptanmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar, Çizelge 6 ve 7'de sunulmuştur. Bu çizelgede görüldüğü gibi kuru haldeki kireçtaşı agregalanın özgül ağırlık değerleri 22.20-27.42 kN/m³, doymuş-yüzey kuru haldeki agregalanın özgül ağırlıkların 22.80-27.95 kN/m³, görünür özgül ağırlık değerleri 23.60-28.33 kN/m³, su emme değerleri ise % 0.40-2.74 arası nda değişmektedir. BS 812: P.2 (1975)'e göre beton agregalan için kuru özgül ağırlık değeri minimum 26 kN/m³ olmalıdır. ASTM C-127-88 (1989) ve ASTM C-128-88 (1989)'ye göre ise, görünür özgül ağırlık değerleri minimum 26 kN/m³ olmalıdır. Cebeciköy, Çatalca ve İstinye'de üretilen kireçtaşlarına ait özgül ağırlık değerleri standart değerlerin altındadır. BS 8007 (1987)'de agrega su emme değerinin %3'den az olması gerektiği ifade edilmiştir. Poitvein (1999) ise, düşük su emme değerine (< %2) sahip agregalar ile yüksek dayanımlı beton üretilebileceğini belirtmiştir. Çatalca bölgesi dışında diğer bölgelerde üretilen agregalanın su emme değeri %2'den düşüktür.

Beton bileşiminin saptanmasında ve beton üretiminde agreganın birim ağırlık değerinin bilinmesine gerek vardır (Postacıoğlu, 1987). Aynıca bu karakteristik bize agreganın granülometri bileşimi, boşluk miktar ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında bir fikir vermektedir. Kusurlu malzemenin fazla miktarda bulunması boşluğu artırdığından birim ağırlık düşürecektir. Aynıca agreganın özgül ağırlığı büyüdükçe belirli bir hacimdeki ağırlık büyük değerler aldığından, birim ağırlık da artmaktadır. Kireçtaşı agregalanına ait gevşek ve sık birim ağırlık değerleri BS 812: P.2 (1975)'deki esaslara uyularak belirlenmiştir. Bu deneylerden elde edilen verilere göre kireçtaşlarının gevşek birim ağırlıkların 12.00-15.54 kN/m³, sık birim ağırlıkların ise 13.10-17.40 kN/m³ arası nda değişmektedir (Çizelge 7). BS 812 (1975)'e göre normal agregalanın birim ağırlık değerleri 12 ile 18 kN/m³ arası nda olmalıdır. İstanbul'da üretilen tüm agregalanın birim ağırlık değerleri bu değerler arası ndadır.

Kireçtaşı agregalanına ait kil, silt gibi ince maddeler BS 812: P.1 (1975) esas alınarak saptanmıştır. Çizelge 7'de görüldüğü gibi, kireçtaşlarındaki ince madde içeriği % 0.30-3.14 arası ndadır. İri agregalar için kabul edilebilir limit, %<3' tür (BS 812: P.1, 1975). Gebze-Pelitli yöresinde üretilen mikritik kireçtaşı agregalanına ait ince madde içeriği limit değerinin üzerindedir. Kıymatlı içeriği yüksek olan kireçtaşlarından üretilen agregalarda ince madde oranı daha yüksektir.

Çizelge 6. Kireçtaşı agregalanın özgül ağırlık ve su emme değerleri**Table 6.** Specific gravity and water absorption values of the limestone aggregates

Lokasyon	Özgül ağırlık (kuru) γ_d (kN/m ³)	Özgül ağırlık (doygün-yüzey kuru) γ_{ds} (kN/m ³)	Görünür özgül ağırlık γ_a (kN/m ³)	Su emme aw_a (%)
Ömerli	27.20	27.56	27.64	0.50
Ömerli-Hüseyinli - 1	27.42	27.63	28.33	0.52
Ömerli-Hüseyinli - 2	26.95	27.08	27.24	1.25
Kartal	27.13	27.22	27.31	0.62
Gebze-Pelitli	27.10	27.30	27.36	0.64
Gebze-Tavşanlı -1	27.35	27.56	28.30	0.47
Gebze-Tavşanlı -2	27.07	27.95	28.10	1.1
Hereke	27.05	27.59	27.95	0.82
Şile	27.25	27.44	27.75	0.68
Cebeciköy	23.40	23.60	23.80	0.40
Çatalca	22.20	22.80	23.60	2.74
İstinye	23.65	23.80	23.96	0.61

Çizelge 7. Kireçtaşı agregalanın birim ağırlık değerleri ve ince madde oranları**Table 7.** Bulk density values and percentages of fine particles of the limestone aggregates

Lokasyon	Gevşek birim ağırlık Δ_{uc} (kN/m ³)	Sıkı birim ağırlık Δ_{uc} (kN/m ³)	İnce madde oranı (%)
Ömerli	13.79	15.40	0.30
Ömerli-Hüseyinli - 1	15.17	17.32	0.40
Ömerli-Hüseyinli - 2	15.54	16.82	2.50
Kartal	12.60	14.40	2.85
Gebze-Pelitli	13.10	15.24	3.14
Gebze-Tavşanlı -1	15.13	17.40	2.30
Gebze-Tavşanlı -2	15.46	16.77	2.63
Hereke	15.26	16.32	2.34
Şile	15.41	16.72	2.64
Cebeciköy	12.70	14.10	0.33
Çatalca	12.00	13.10	0.68
İstinye	12.15	14.21	2.93

Na₂SO₄'a dayanım deneyi ASTM C 88-83 (1989)'da belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre iri agregalanın Na₂SO₄ dayanım değerleri %0.35-16 arasında değişmektedir (Çizelge 8). ASTM C 33-81 (1986)'ya göre iri agregalarda bu değer %12'nin altında olmalıdır. Buna göre, kireçtaşı agregalanın büyük çoğunluğu "donma-çözülme" ve "ıslanma kuruma" etkilerine dayanımlıdır.

Kireçtaşı agregalanın dayanım ve aşınabilirliğini belirlemek amacıyla Los Angeles aşınma deneyi yapılmıştır. Bu deney ASTM C131-96 (1996)'da belirtilen esaslara uyularak yapılmıştır. Çizelge 8'de görüldüğü gibi; kireçtaşı agregalanın 500 devir

sonundaki Los Angeles aşınma değerleri %19.2 ve 37.7 arasında değişmektedir. ASTM C131-96 (1996)'e göre, betonda kullanılacak agregalar için 500 devir sonundaki aşınma değeri %30'dan az olmalıdır. Çatalca Bölgesinde üretilen agregalar dışındaki tüm agregalara ait Los Angeles aşınma değerleri %30'un altındadır. Johnson ve De Graff (1988), Hartley (1974), Lees ve Kennedy (1975), ile Kazi ve Al-Mansour (1980)'un da ifade ettikleri gibi kayaç dokusu agreganın aşınma ve dayanımını kontrol eden önemli bir parametredir.

Yassılık ve uzunluk indeksleri agregalanın direncini kontrol eden önemli parametrelerdendir. Bu nedenle, kireçtaşı agregalanın yassılık ve uzunluk indeksi değerleri de saptanmıştır. Bu deneyler, BS 812:

P.105-1 (1985) ve BS 812: P.105-2 (1985)'teki esaslara uyularak yapılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 8'de sunulmuştur. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi kireçtaşlarına ait yassılık indeksi değerleri % 17.90-29.90, uzunluk indeksi ise % 27.10-41.20 arasında değişmektedir. BS 812 P.105-1 (1985)'e göre, kırma taşlara ait yassılık indeksi maksimum %40 olmalıdır. Buna göre kireçtaşı agregalarının tümü bu kriteri sağlamaktadır. Agregata tanelerinin şekli, kayacın yapısal ve dokusal özelliklerinin yanı sıra, üretim tekniği ile de yakından ilgilidir (Ramsay vd., 1974). Ayrıca, Erdoğan (1993) agrega üretiminin çeneli kırma

yapılması durumunda, kireçtaşlarının tane yassılık indekslerinin yüksek çıkması, bunu önlemek amacıyla ocaklarda konik kırma kullanmasının özendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Kireçtaşlarından üretilen agregalar genellikle köşelidir. Köşeli taneler her ne kadar betonun işlenebilirliğini azaltsa da betonda segregasyon daha az olur. Bunun yanı sıra, köşeli taneler ile daha yoğun beton üretilebilmektedir (Bell, 1998). Düşük dayanımlı agregalarda ise, tane şeklinden çok agreganın petrografik özellikleri önemlidir (Ramsay vd., 1974).

Çizelge 8. Na₂SO₄'e dayanıklılık, Los Angeles aşınma oranı, yassılık ve uzunluk indeksi değerleri

Table 8. Na₂SO₄ soundness, Los angeles abrasion values, flakiness and elongation index values

Lokasyon	Na ₂ SO ₄ 'a dayanıklılık (%)	Los Angeles aşınma değeri (500 devir) (%)	Yassılık indeksi I _F (%)	Uzunluk indeksi I _E (%)
Ömerli	2.1	24	21.5	34.9
Ömerli-Hüseyinli - 1	2.4	24	22.9	35.7
Ömerli-Hüseyinli - 2	1.9	25	22.8	35.6
Kartal	2.6	22	19.4	29,8
Gebze-Pelitli	3.5	26.8	17.9	27.9
Gebze-Tavşanlı -1	2.2	19.2	17.9	27.1
Gebze-Tavşanlı -2	1.7	21.6	18.0	28.4
Hereke	0.45	21	21.4	34.8
Şile	0.35	20.7	22.6	35.9
Cebeciköy	1.6	20.9	26.9	39.1
Çatalca	2.7	37.7	29.9	41.2
İstinye	2.4	29.9	19.8	28.9

Alkali-agrega reaksiyonu

Alkali-agrega reaksiyonu beton için önemli problemlerden biridir. Agregata içinde bulunan bazı minerallerin portland çimentosunda bulunan alkali oksitleri (çimento alkalinitesi) ile reaksiyona girerek alkali silikatları oluşturması alkali-agrega reaktivitesini meydana getirmektedir. Alkali-karbonat reaksiyonunun en tipik örneği, alkali hidroksitlerle dolomit reaksiyona girerek sonunda brusit ve alkali tuzların ortaya çıkmasıdır. Brusit, geylüt gibi ürünlerin hacmi reaksiyona katılan maddelerin hacminden büyüktür. Çimento alkalinitesi ise, portland çimentosu içinde bulunan sodyum oksit ile potasyum oksitinin, sodyum oksit cinsinden eşdeğerinin toplam yüzdesidir. Çok yavaş gelişen alkali-agrega reaksiyonu, betonda genişlemeye ve suda kısmen çözünen brusitin (Mg(OH)₂) gelişmesine neden olarak beton porozitesinin artmasına neden olur. Potansiyel alkali-agrega reaksiyonunu belirlemek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunların bazıları, kimyasal testler (ASTM C289-94, 1994), hızlandırılmış harç çubuğu deneyi (ASTM C1260-94, 1994) ve kaya silindiri metodu (ASTM C586-99, 1992) dur.

Petrografik açıdan dolomitler ve dolomitik kireçtaşları incelendiğinde dolomit kristalleri öz şekilli ve belirgin olup, genellikle iri kristallidirler. Hızlı reaksiyona giren dolomitler çok ince taneli ve çok ince kristallidir. Ayrıca dolomitin içerdiği kalsit oranı arttıkça dedolomitizasyon hızı da artmaktadır. En yüksek dedolomitizasyon hızı % 55 dolomit, % 45 kalsit bileşimindedir. Çizelge 3'te görüldüğü gibi, dolomitik kireçtaşlarındaki dolomit oranının %30'dan az olması nedeniyle dedolomitleşme önemli değildir.

Alkali-agrega reaktivitesinin kimyasal yolla tayini TS 2517 (1977)'ye göre yapılmıştır. Dolomitik kireçtaşları üzerinde gerçekleştirilen bu deney sonuçlarına göre, çözünen SiO₂ değerleri 10 mmol/l'ten altında, alkali azalması ise 140 mmol/l'ten altındadır. TS 2517 (1977)'ye göre yapılan değerlendirmeye göre dolomitik kireçtaşları zararlı agregalardır. Çimento alkalinitesi %0.6'ya geçen çimentolar kullanılsa bile bu agregalar beton üretiminde kullanılabilir demektir.

Klorür ve sülfat içeriği standart değerlerden yüksek olan agregaların alkali reaktivitesi açısından betonla zararlı etkileri söz konusudur. Beton agregalarında asitte çözülebilir sülfat içeriği % 0.03'den az (BS 812: P-118, 1988), klorür içeriği ise %0.01'den

düşük olmalıdır (BS 812: P-117-2, 1988). Kireçtaşı agregaları üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre sülfat içeriği 65-100 ppm, klorür içeriği ise 1.10-1.50ppm arasında değişim göstermektedir. Dolomitik kireçtaşı agregalarındaki klorür ve sülfat içeriği standart değerlerin altında olmasından dolayı, betonda kullanılmaları sakıncalı değildir.

Ömerli-Hüseyinli dolomitlerinin alkali agregası reaktivitesi Kaya silindir metodu (ASTM C586-99, 1992) ile belirlenmiştir. ASTM C586-99 (1992)'ye göre NaOH çözeltisinde bekletilen silindir örneklerindeki genleşmenin 28 gün sonunda % 0.08'i geçmemesi gerekmektedir. Yapılan deneylere göre silindir örneklerinde genleşme kaydedilmemiştir.

Gebze-Tavşanlı dolomitlerinin alkali agregası reaktivitesi ASTM C1260-94 (1994) ve aynı olan CAN/CSA A23.2-14A-M90 (1994)'a göre hızlandırılmış harç çubuğu deneyi ile belirlenmiştir. Bu deney standartlarına göre NaOH çözeltisinde 14 gün bekletilen harç çubuklarındaki boy uzaması maksimum % 0.150 olmalıdır. Deney sonuçlarına göre, Gebze-Tavşanlı dolomitleri alkali-agregası reaktivitesi açısından problemsiz agregalardır.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kireçtaşı beton agregası olarak İstanbul'daki agregası üretimi için en önemli kaynaktır. Bu ilde kırmataşlar, toplam üretilen agregaların yaklaşık % 55'ini oluşturur. Bu oran % 75-80'i ise kireçtaşıdır. Kireçtaşı diğer kaya gruplarına göre değerlendirildiklerinde, yoğun, dayanıklı ve düşük poroziteli olmaları nedeniyle agregası olarak tercih edilmektedirler. Kırdıkları tane şekilleri ve boyları agregası üretimine uygundur. Ayrıca kireçtaşı ile işlenmeleri, sertlikleri ve dayanımları açısından daha ekonomiktir. Bu kayalar silikalı kayalara oranla daha az aşındırıcı olmaları nedeniyle agregası üretim sürecinde astar sarfiyatı daha düşük olacak, bunun yanı sıra pompaya zarar vermeyecektir (McNally, 1998).

Kireçtaşı ile beton agregası olarak işlenebilirliğini; petrografik ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, fiziksel ve mekanik özellikleri, çatlak durumu, ayrışması ve ocaktaki örtü kalınlığı kontrol etmektedir. İstanbul'daki kireçtaşı, özelliklerinin standartlarda belirtilen kabul edilebilir limitler içinde bulunması veya bu limit değerlere çok yakın olması nedeniyle başta beton olmak üzere tüm alanlarda kullanılmaları uygundur.

Alkali-agregası reaktivitesini belirlemek için dolomitik kireçtaşı üzerinde yapılan tüm deney sonuçlarına göre İstanbul'un Anadolu yakasında yaygın olan dolomitik kireçtaşı beton için zararsız ideal agregalardır.

Günümüzde kaliteli agregası üretilmiş İstinye ve Kartal Bölgesindeki ocaklar kontrolsüz gelişen yerleşim alanlarının içinde kalmaları nedeniyle kapatılmıştır.

Avrupa yakası, Cebeci bölgesindeki Karbonifer yaşlı kireçtaşı ile kaliteli agregası üretimi

yapılmaktadır. İşlenmesi iyi, yüksek dirençli, su emmesi çok az, çimento ile aderansı iyi olan bir kireçtaşıdır. Sert ve dayanıklı olan bu kireçtaşı beton, asfalt, dolgu vb. için ideal bir malzemedir. Cebeci Bölgesindeki kireçtaşı, gerek kalitesi, gerekse de rezerv durumu ve şehir merkezine yakınlığı nedeniyle Avrupa yakası için önemli bir agregası kaynağı olmasına rağmen, bu taşın işletildiği ocaklar yerleşim alanlarının içinde kalmaları nedeniyle yakın gelecekte kapatılacaktır. Avrupa yakası için önem arz eden diğer kireçtaşı da Çatalca Bölgesindeki Eosen yaşlı Kırdarlı formasyonuna ait resifal kireçtaşıdır. Bu kayalar da agregası üretimine uygundur. Ancak bu kireçtaşı ile killi kireçtaşı ve marnlarla geçişli olmaları nedeniyle, bu bölgede agregası kalitesini önemli oranda düşüren killi kireçtaşı ile marnların aynı şekilde işleme yapılması gerekmektedir.

Anadolu yakasında Gebze, Ömerli, Hereke ve Şile'de yaygınca yüzeylenen Triyas ve Kretase yaşlı kireçtaşı bölgenin agregası ihtiyacını önemli ölçüde karşılamaktadır. Ancak bu kireçtaşı ile görülen yoğun tektonizma etkileri ile ayrışma rezervinin önemli bir bölümünü etkilemektedir. Kireçtaşı ile erimesiyle gelişen ayrışma ürünleri çatlak yüzeylerine sıvanarak kireçtaşı kalitelerini düşürmektedir. Bu kesimlerdeki kireçtaşı genelde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu'nun 877/090896, 1273/050599 ve UDP-51/09082002 no'lu projeleriyle desteklenmiştir. Araştırmacılar petrografik tanımlamaları yapan Yrd. Doç. Dr. Sabah Yılmaz Şahin'e teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Anoğlu, E. and Manzak, O., 1991, İstanbul çevresindeki bazı taş ocaklarında üretilen "beton iri agregası"ların mühendislik özelliklerinin irdelenmesi, Prefabrik Birliği, No: 20, 17-23.
- ASTM C 33-81, 1986, Standard specifications for concrete aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 88-83, 1989, Standard test for soundness of aggregates by use of sodium sulphate or magnesium sulphate, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C127-88, 1989, Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C128-88, 1989, Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C289-94, 1994, Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates

- (Chemical Method), Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C131-96, 1996**, Standard test method for resistance to abrasion of small size coarse aggregate by use of the Los Angeles machine, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C1260-94, 1994**, Standard method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (mortar bar method), Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C586-99, 1992**, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method), Annual Book of ASTM Standards.
- Bell, F.G., 1998**, Engineering Geology, Blackwell Science, Third edition, 359 p.
- BS 812: Part 1, 1975**, Testing Aggregates, Methods for determination of particle size and shape, British Standards Institution.
- BS 812: Part 2, 1975**, Testing Aggregates, Methods for determination of physical properties, British Standards Institution.
- BS 812: Part 105-1, 1985**, Testing aggregates, methods for determination of particle shape, Flakiness index, British Standards Institution.
- BS 812: Part 105-2, 1985**, Testing aggregates, methods for determination of particle shape, Elongation index of coarse aggregate, British Standards Institution.
- BS 812: Part 117-2, 1988**, Testing aggregates. Method for determination of water-soluble chloride salts, British Standards Institution.
- BS 812: Part 118-2, 1988**, Testing aggregates. Method for determination of sulphate content, British Standards Institution.
- BS 8007, 1987**, Code of practice for design of concrete structures for retaining aqueous liquids, British Standards Institution.
- CAN/CSA-A23.2-14A-M90, 1994**, Test Methods for potential expansivity of Cement-Aggregate Combination (Concrete Prism Expansion Method).
- Cargill, J.S., 1989**, Evaluation of Empirical Methods of Measuring the Uniaxial Compressive Strength of Rock, Unpublished MS Thesis, Department of Geology, Kent State University, Kent, OH, 80p.
- Dearman, W. R., 1981**, Engineering properties of carbonate rock, general report, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 24, 3-17.
- Erdoğan, M., 1993**, İstanbul ve dolayının yapay agrega potansiyeli, Mühendislik Jeolojisi Türk Millî Komitesi Bülteni, Sayı. 14, 29-41.
- Erdoğan, M., 1999**, Safaalan (Tekirdağ) yöresi amfibolit şistinin agrega özellikleri ve kırma türünün malzeme geometrisine etkisi, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99 Bildiriler kitabı, 81-87.
- Hartley, A., 1974**, A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 7, 69-100.
- International Society for Rock Mechanics, 1981**, Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods: E.T. Brown (editor), Pergamon, Oxford, 211p.
- Johnson, R.B. and De Graff, J.V., 1988**, Principles of Engineering Geology, John Wiley and Sons, New York, 497 p.
- Kazi, A and Al-Mansour, Z.R., 1980**, Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregates, Engineering Geology, Vol. 15, 195-203.
- Lees, G. and Kennedy, C.K., 1975**, Quality, shape and degradation of aggregates, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.8, 28-35.
- Manzak, O., Dondurmacı, A., Koçluoğlu, O.S. and An oğlu, E., 1996**, Quality assurance and evaluation of concrete aggregate in Yapi Merkezi Prefabrication Inc., 1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99 Bildiriler Kitabı, 163-178.
- McNally, G.H., 1998**, Soil and Rock Construction Materials, E & FN Spon, 403 p.
- Önalın, M., 1981**, Depositional environment of İstanbul Ordovician and Silurian sequence, İstanbul Earth Science Review, Vol. 2, No. 3-4, 161-177 (in Turkish).
- Önalın, M. (1982)**, Pendik bölgesi ile adalanın jeolojisi ve sedimenter özellikleri, İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri fakültesi, Jeoloji bölümü, Doçentlik Tezi, 156 sayfa.
- Proitevin, P. 1999**, Limestone aggregate concrete, usefulness and durability, Cement and Concrete Composites, 21, 89-97.
- Postacıoğlu, B. (1987)**, Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınları, İstanbul, 404 s.
- Ramsay, D.M., Dhir, R.K. ve Spence, I.M. (1974)**: The role of rock and clast fabric in the physical performance of crushed-rock aggregate, Engineering Geology, 8, 267-285.
- Shakoor, A., West, T.R and Scholer, C.F, 1982**, Physical characteristics of some Indiana argillaceous carbonates regarding their freeze-thaw resistance in concrete, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol.19, No. 4, 371-384.
- TS 2517, 1977**, Alkali Agrega Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini, Türk Standartları Enst.

Yayın Geliş – Received : 19.06.03

Yayın Kabul- Accepted : 18.08.03