

27854

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA
ANABİLİM DALI

**ERZURUM YÖRESİNDE KULLANILAN BETON AGREGALARININ
DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞININ FARKLI YÖNTEMLERE
GÖRE SAPTANMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

27856

Sırrı ŞAHİN

Yönetici : Prof.Dr.E.Ümit TURGUTALP

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Bir yapının kendisinden beklenen işlevleri yerine getirebilmesi, uygun özelliğe sahip malzeme kullanılması ile sağlanabilir. Çağımızın en önemli yapı malzemesinden biri olan beton; agrega, su ve çimentonun uygun oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulur. Çevre koşullarına dayanıklı beton üretmek için öncelikle agreganın özelliklerinin saptanması gerekmektedir.

Bu çalışma, Erzurum yöresinde yapı malzemesi olarak beton üretiminde kullanılan Horasan ve Pasinler ilçelerinde, Aras nehrinin biriktirdiği kum-çakıl yataklarından sağlanan agrega örneklerinin önemli özellikleri ile bu araştırmanın asıl konusu olan donma-çözölmeye karşı aynı agreganın dayanıklılığının belirlenmesinde kullanılan yöntemler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Denemelerde kullanılan örneklerin alınmasında ve deneylerin yapılmasında, büyük ölçüde, Türk Standartları Enstitüsünce yayınlanan konuyla ilgili standartlara uyulmuş ve bunların yetersiz kaldığı durumlarda da yabancı standartlardan yararlanılmıştır. Böylece agreganın özelliklerine ilişkin bulunan ortalama değerler ile donma-çözölmeye dayanıklılığına ilişkin elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

1. Örneklerden elde edilen granölometri eğrileri, standart granölometri eğrileri ile karşılaştırıldığında Horasan agregasının granölometri eğrisi 0,25-8 mm'lik tane sınıfları arasında uygun bölgeye ve 8-63 mm'lik tane sınıfları arasında ise kullanılabilir bölgeye düşmektedir. Pasinler agregasında ise 0,25-0,5 mm'lik tane sınıfları arasında uygun bölgeye ve 0,5-63 mm'lik tane sınıfları arasında ise kullanılabilir bölgeye düşmektedir.
2. Örneklerin bağıl yoğunluk ve su emme deneyleri sonucunda görönen bağıl yoğunluk, kuru yüzey bağıl yoğunluk, doymun-kuru yüzey bağıl yoğunluk ve su emme değerleri ince ve iri agregada sırasıyla Horasan örneklerinde 2,6-2,4-2,5 ve % 3,3; 2,4-2,3-2,3 ve % 2,1'dir. Pasinler örneklerinde ise sırasıyla 2,5-2,3-2,4 ve % 3,2; 2,2-2,1-2,1 ve % 2,5 değerleri bulunmuştur.
3. Birim ağırlık deneyi sonucunda elde edilen gevşek ve sıkı birim ağırlık değerleri sırasıyla Horasan agregasında 1826 kg/m³ ve 1955 kg/m³'dür. Pasinler agregasında ise 1720 kg/m³ ve 1794 kg/m³'dür.

4. Horasan ve Pasinler agregasında kusurlu tane miktarı ise sırasıyla % 8 ve % 12,1'dir.

5. Yıkanabilir madde miktarı Horasan ve Pasinler agregasında bir saat ve 24 saat sonunda ince agregada sırasıyla % 1,5 , % 2,8; % 0,5, % 1,1'dir. İri agregada 0,063 mm'lik elekten geçen yıkanabilir madde miktarı ise sırasıyla Horasan ve Pasinler agregasında % 0,9; % 0,8 olarak belirlenmiştir.

6. Horasan ve Pasinler agregasında, organik madde ile sülfat miktarına rastlanmamıştır.

7. Agreganın aşınmaya dayanıklılık deneyi sonucunda elde edilen ortalama veriler ise Horasan agregasında 100 ve 500 dönüş sonunda sırasıyla % 2,9 ve % 14,4'tür. Pasinler agregasında ise % 3,1 ve % 14,7 değerleri saptanmıştır.

8. Agreganın donma-çözülme dayanıklılığının belirlenmesinde uygulanan yöntemlere ilişkin elde edilen veriler :

- Sodyum sülfatla yapılan donma-çözülme deneyinden elde edilen ortalama don kaybı değerleri Horasan agregasında % 4,6, Pasinler agregasında ise % 6,6'dır.

- Suda donma-çözülme deneyinden elde edilen ortalama don kaybı verileri ise Horasan agregasında % 0,6, Pasinler agregasında ise % 0,7 değeri saptanmıştır.

- Havada donma-çözülme deneyine ilişkin don kaybı sonuçları sonuçlar ise Horasan agregasında % 0,4, Pasinler agregasında ise % 0,5'dir.

Donma-çözülme dayanıklılığına ilişkin elde edilen bu sonuçlara göre sodyum sülfat deneyinden elde edilen ortalama değer, diğer yöntemlere ilişkin elde edilen değerlerin yaklaşık Horasan agregasında 8 ve 12 katı, Pasinler agregasında ise 10 ve 14 katı olarak belirlenmiştir.

Bu araştırmadan elde edilen bulgular gözönüne alındığında; normal agregalarda sodyum sülfatla yapılan don deneyi suda ve havada yapılan don deneylerine göre daha kolay ve kısa zamanda sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla normal agregaların suda ve

havada don deneylerine gereksinme duyulduğunda bu deneyleri yapmak yerine, sodyum sülfat deneyinden elde edilen değerlerin suda donmanın 9 katını ve havada donmanın 13 katını yaklaşık verebileceği söylenebilir.



SUMMARY

A building can fulfil its function properly only when appropriate material is used. As being most important construction material, concrete is a mixture of aggregates, water and cement in suitable proportions. In order to produce the concrete that is suitable for environmental conditions it is essentially necessary to determine aggregate properties.

This study was primarily conducted in order to investigate the aggregate durability using three methods of analysis and secondly to investigate important properties of the aggregate collected in Horasan and pasinler district in the Aras river basin of Erzurum province. In the study present Turkish Standarts were employed if they were not available foreign standards were used. Obtained data can be summarized as follows.

1. When compared with standard grading curves aggregates of Horasan ranged between 0,25-8 mm (fitting part) and same between 8-63 mm (Useable) and those from Pasinler ranged between 0,25-0,5 mm (Fitting part) and same between 0,5-63 mm (useable).
2. Apparent specific gravity, surface-dry specific gravity, saturated surface-dry specific gravity and water absorption values of fine aggregates were respectively 2,6-2,4-2,5 and 3,3 % in Horasan and 2,5-2,3,2,4 and 3,2 % in Pasinler samples and values of coarse aggregate were respectively 2,4-2,3-2,3 and 2,1 % in Horasan and 2,2-2,1-2,1 and 2,5 % in Pasinler samples.
3. Values of compact and loose unit weights were respectively 1826 kg/m³, 1955 kg/m³ in Horasan samples and 1720 kg/m³, 1794 kg/m³ in Pasinler samples.
4. The percentage of defective-shaped particles in Horasan and Pasinler aggregate samples were respectively 8 and 12,1 %.
5. The amounts washable materials in fine aggregate after 1 and 24 hour periods were 1,5 and 2,8 % in Horasan samples and these values were 0,5 and 1,1 % in Pasinler samples.

The amounts of washable materials finer than 0,063 mm in coarse aggregate were 0,9 % and 0,8 % in Horasan and Pasinler samples respectively.

6. In Horasan and Pasinler aggregate samples, organic material and sulphate were not in detectable.

7. Abrasion resistance at the end of 100 and 500 turnings were respectively 2,9 and 14,4 % in Horasan and 3,1 and 14,7 % in Pasinler samples.

8. Data with regard to the methods applied for determining durability in freezing and thawing were as follows:

- Average value obtained from freezing and thawing tests with sodium-sulfate were 4,6 and 6.8 % respectively in Horasan and Pasinler aggregate.
- Average values obtained from freezing and thawing tests with water were 0,6 and 0,7 % respectively in Horasan and Pasinler aggregate samples.
- Average values regarding from freezing and thawing tests with air were 0,4 and 0,5 % respectively in Horasan and Pasinler aggregate samples.

Values of freezing and thawing durability tests were approximately 8-12 and 10-14 times the values of sodium-sulfate test respectively in Horasan and Pasinler samples.

Consequently, resulted data from this study in related to freezing and thawing durability test with sodium-sulphate was easier and requires shorter time than those with water and air tests. Therefore, values in sodium sulphate test equivalent can be obtained by dividing freezing test values in water and in air by 9 and 13 respectively.

TEŐEKKÖR

Bu araştırmanın yapılmasında büyük ilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın Hocam Prof.Dr.E.Ömit TURGUTALP'a ve diğler bölüm elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖZET.....	I
SUMMARY.....	IV
TEŞEKKÜR.....	VI
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. MATERİYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Agregat (Kum-Çakıl).....	11
3.1.2. Denemelerde Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	11
3.1.3. Denemelerde Kullanılan Araç ve Gereçler.....	11
3.1.4. Denemelerde Kullanılan Agregat Özelliklerinin Saptanması..	16
3.2. Yöntem.....	22
3.2.1. Agregat Örneklerinin Denemeye Hazırlanması.....	22
3.2.2. Donat Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Saptanması.....	23
3.2.3. Donat Dayanıklılığın Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanması (Suda Donma).....	24
3.2.4. Donat Dayanıklılığın Orta Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanması (Havada Donma).....	26
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	28
4.1. Kimyasal Yöntem (Na ₂ SO ₄) Deneyi Sonuçları.....	28
4.2. Suda Donma Deneyi Sonuçları.....	29
4.3. Havada Donma Deneyi Sonuçları.....	30
5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	31
KAYNAKLAR.....	34

1. GİRİŞ

Bir yapının kendisinden beklenen işlevleri yerine getirebilmesi için yapıldığı andaki özelliklerini çeşitli nedenlerle zamanla yitirmemesi, yapının maliyet bedelinin düşük olması ve uygun özelliklere sahip malzeme kullanılması ile sağlanabilir. Bu bakımdan yapıların kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirebilmesi ve ekonomik olabilmesi için, yapı malzemesinin özelliklerine ilişkin açık ve kesin bilgiler gerekmektedir (Postacıoğlu, 1981).

Çağımızın en önemli yapı malzemesinden biri olan beton; agrega, su ve çimentonun uygun oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulur. Taze betona istenilen şeklin verilebilmesi, iskeletini oluşturan agreganın kolayca sağlanabilmesi, çelik donatıyla birlikte betonarmede iyi bir şekilde kullanılabilmesi, istenilen boyutlarda bireysel betonarme elemanlarının yapılabilmesi, beton dayanımının taş, tuğla, briket ve kerpice oranla yüksek olması nedeniyle yapı elemanları boyutlarının küçültülebilmesi ve böylece yapı alanında ekonomikliğin sağlanması, dış etkilere dayanıklı olması, beton işçiliği için fazla uzmanlaşmaya gerek olmaması gibi betonun önemli yararları bulunmaktadır. Buna karşılık, beton çok yüksek sıcaklığa dayanmamakta, gerekli önlemler alınmazsa sesi, ısıyı ve nemi iletmektedir. Ayrıca sökülüp yeniden kullanılma özelliğinin olmaması, onarılmasının zor ve olanaksızlığı da betonun sakıncaları arasında sayılabilir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993). Betonun sakıncaları bazı önlemler alınarak önlenebildiğinden, betonun yararları sakıncalarına oranla üstünlük kazanmaktadır. Bunun içindirki günümüz koşullarında beton diğer yapı malzemelerine oranla gerek kentsel ve gerekse kırsal alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Betonun niteliğini ve özelliklerini, betonu oluşturan su, çimento ve agrega önemli ölçüde etkiler. Günümüzde beton üretiminde kullanılan çimentonun standartlaştırılmış olması, karışım suyu niteliğinin beton özelliklerine etkisinin az da olsa bilinmesi nedeniyle, beton niteliğini etkileyen başlıca unsur olan agrega özelliklerinin öncelikle saptanması gerekir (Uluata, 1981; Özçelik, 1984).

Beton hacminin yaklaşık % 75'ini ince ve iri agrega oluşturduğundan, betonda kullanılan agreganın, su etkisinde kalan yapı kısımlarında ve benzeri dış ortamlarla ilişkide olan yapı elemanlarında özellikle donma-çözülme etkisine karşı dayanıklı

olması gözönünde bulundurulur (Postacioğlu, 1975; Özçelik, 1984).

Genel olarak iri agregalar çakıl ve kırmataş olmak üzere iki şekilde bulunurlar. Çakıl taneleri yuvarlak olması dolayısıyla daha az boşluk bırakarak belirli bir hacmi doldurabilir. Buna karşılık kırmataşlarda bulunan keskin köşeler bunlar arasında önemli boşlukların kalmasına neden olur. Bu durumun sonucu olarak tane sınır boyutları aynı olan çakıl ve kırmataş örneklerinden çakıl daha büyük bir kompasiteye sahiptir. Agreganın kompasitesinin düşük olması o malzeme ile üretilen beton dayanımının da düşük olmasına genel olarak yol açar. Fakat kırmataş halinde tanelerin yüzeylerinin pürüzlü olması bunlarla çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderansın oluşmasına neden olur. Bundan dolayı kırmataş ile üretilen betonların dayanımında bir azalma değil birçok hallerde bir artış bile kaydedilebilir (Postacioğlu, 1975).

Bir agreganın donma-çözölmeye dayanıklılığı, kullanma 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 dona dayanıksız taneleri içerir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Doğu Anadolu bölgesinin kış boyunca ortalama sıcaklık değerlerinin özellikle Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında 0 °C'ın altında olması ve ayrıca gece-gündüz arasındaki sıcaklık farklarının büyük değerlere ulaşması (Anon., 1984), dış ortamdaki yapı elemanları üzerinde zararlı etkiler yaratmaktadır. Donma-çözölme olayı betonun önemli özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkilemenin derecesi betonda kullanılan agreganın donma-çözölmeye karşı dayanıklılığına bağlıdır.

Bu çalışma beton yapımında kullanılan normal agregaların (kum-çakıl) donma-çözölmeye karşı dayanıklılıklarının saptanmasında uygulanan farklı yöntemlerin açıklanması, bu yöntemlerin iki farklı normal agregası gruplarında uygulanarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile yöntemler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Donma-çözölme ve agregası özelliklerinin saptanmasına ilişkin laboratuvar deneylerinin yapılması ve elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Türk Standartlarından ve bunların yetersiz kalmasında, gerektiğinde de yabancı standartlardan yararlanılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Beton, yüzyılımızın en önemli yapı malzemesidir. Beton önceden şekil verilebilen bir yapay taş olarak tanımlanabilmektedir. Doğal taşlar harç yardımıyla birleştirilerek yapı elemanını ve yapıyı oluştururlar. Beton ise sürekli bir biçimde birleştirilmeye gerek kalmaksızın üretilebilir (Akman, 1990).

Agrega, çimento ve suyun uygun bir oranda karıştırılmasıyla oluşturulan taze beton; belirli bir süre sonunda sertleşerek yüksek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993). Betonlu oluşturan malzemelerden çimento, ince kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. İnce agrega ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun sıkılığını (kompasitesini) artırır. İri agrega olan çakıl veya kırmataş ise betonun bir bakıma iskeletini oluşturarak üretilen beton elemanına etki eden kuvvetlere karşı koyarlar (Postacioğlu, 1975).

Ekmekyapar ve Örüng'e (1993) göre beton hangi amaç için üretilirse üretilsin, şu üç ana özelliğe sahip olmalıdır:

- Üretilen beton işlenebilir olmalıdır. İşlenebilirlik betonun bir özelliği olup, betonun kolay karıştırılabilmesini, yerleştirilebilmesini, taşınırken karıştırılırken ve yerleştirilirken ayrışmamasını, homojenliğini yitirmemesini belirtir.
- Üretilen beton kullanıldığı amaca göre öngörülen dayanıma sahip olmalıdır. Özellikle basınç dayanımı bakımından yeterli dayanımı sağlamalıdır.
- Üretilen beton dış etkenlere dayanıklı olmalıdır. Hava, su veya kimyasal çevrenin etkisiyle donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi fiziksel etkiler, betonun iç yapısında agrega ile çimento arasında oluşabilecek tepkimeler sonucu betonun dayanımı azalır, geçirimsizliği artar ve parçalanabilir. Bu nedenle betonun bütün bozulmalara karşı direnç göstermesi gerekir.

Bu üç ana özelliğe sahip bir betonun ekonomik olarak üretilmesi de önemlidir. Yüksek dayanımlı ve dayanıklı bir betonun ucuza elde edilebilmesi, üretilecek betonda su/çimento oranının düşük, yoğurma suyu miktarının yeterli, agrega en büyük tane

büyüküğünün ve granölometresinin uygun, şeklinin yuvarlak ve karışımın homojen olması ile sağlanabilir.

Beton hacminin yaklaşık olarak % 60-80'ini oluşturan agregâ betonun dayanımına, dayanıklılığına, hacim sabitliğine ve ekonomisi üzerinde önemli derecede etkilidir (Uluata, 1981).

Beton agregası; doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin, genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklükteki kırılmamış veya kırılmış tanelerin bir karışımıdır (Albayrak, 1986).

Beton agregaları tane büyüklüklerine göre çeşitli isimler alır; 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregaya iri agregâ, bu eleğin altına geçen agregaya da ince agregâ denir. Tane boyutu 2 µ dan büyük ve 60 µ'dan küçük taneler ise kil ve silt olarak kabul edilir (Akman, 1990).

Cimilli'ye (1986) göre iyi bir beton üretimi için agregalarda aranacak koşullar şu şekilde sıralanabilir:

- Agregâ sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı ve dağılmamalıdır.
- Agregâ çimento bünyesindeki maddelerle zararlı bileşikler oluşturmamalı ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.
- Agregâ tanelerinin şekli ve dokusu iyi olmalıdır.
- Agregâ tanelerinin büyüklük yönünden dağılımı amaca ve standartlara uygun olmalıdır.
- Agregâ içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır.

Agregaların granölometrisi, boyutları belirli sınırlar arasında olan tanelerin agregâ içinde ne miktarda bulunduğunu belirler. Ayrıca standart elek serisinden elenen agregâ örneğinin, her bir elek üzerinde kalan yığışımli ağırlık yüzdelelerini belirtir.

Agreganın granülometri eğrisi ise yığışimli ağırlık yüzdelerinin elek açıklıklarına göre bir grafikte gösterilişidir (Postacioğlu, 1975).

Agreganın granülometri eğrileri sürekli ve kesikli olmak üzere iki gruba ayrılır. Sıfırdan başlayarak belirli bir büyüklüğe kadar tüm taneleri içeren granülometri eğrilerine sürekli, bir agregada içinde belirli tane büyüklüğünün hiç bulunmaması durumundaki granülometri eğrilerine de kesikli granülometri eğrisi denir (Albayrak, 1986).

Beton üretiminde kullanılacak agregada karışımlarının olanaklar ölçüsünde az boşluklu olması istenir. Bu ise agregada karışımının uygun bir granülometriye sahip olmasıyla sağlanabilir (Cimilli, 1986). Agreganın uygun bir granülometriye sahip olmasını sağlamak amacıyla standartlar ideal granülometri eğrilerini önermektedir. Bu eğriler, uygulama kolaylığı yönünden tek bir eğri yerine eğrilerle sınırlandırılmış bölgeler olarak verilir. Beton üretiminde kullanılacak agregada karışımlarının granülometri eğrilerinin bu bölgeler dışına taşmaması istenir. Bu bölgelerin sınırlarını oluşturan eğrilere granülometri sınır eğrileri denir. İster doğadan sağlanan doğal karışık agregada olsun, isterse ince ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış agregaların belirli oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanan karışık agregada olsun, beton üretiminde kullanılacak agregada karışımları için bu koşul aranmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Agreganın granülometrisi beton karışımına giren suyu, işlenebilirliğini, istenilen özellik ve dayanımda beton üretmek için daha az çimento kullanımı gibi unsurları etkilediği için önemlidir. Betonda çimentonun az kullanılması ekonomik yönden olduğu kadar, çimentonun hidratasyonu, betonun kuruma ve ıslanması sonucunda oluşan hacim değişimlerini azaltması bakımından da önemlidir (Postacioğlu, 1975).

İncelik modülü, elek serisinde bulunan ardışık elekler üzerinde kalan areganın yığışimli ağırlık yüzdeleri toplamının yüze bölümünden elde edilen sayıdır (Anon., 1980 a; Albayrak, 1986). İncelik modülü, bir agregada karışımının granülometri bileşimini yeterli derecede açıklamasa da, tane dağılımının durumu bakımından kabaca bir fikir vermektedir. İncelik modülünün büyük değerler alması agregada içinde iri tanelerin, küçük değerler alması da ince tanelerin fazla miktarda bulunduğunu gösterir (Postacioğlu, 1975). Agregada ne kadar ince ise beton üretimi için fazla suya

gereksinme duyulur. Buna karşılık agreganın tane büyüklüğünün artmasıyla yüzey alanı küçüleceğinden karışımda daha az su kullanılır (Uluata, 1981).

Yıkanabilir maddeler, agregada içinde ince toz durumunda dağılmış, topak durumunda veya agregada tanelerine yapışık olarak bulunan kil, silt ve çok ince taş ununu içerir (Cimilli, 1986). Yıkanabilir maddeler olarak adlandırılan bu maddeler, beton içinde agregada ile çimento arasındaki kenetlenmeyi (aderansı) zayıflattığı gibi, karışım suyu miktarını artırmasıyla da beton dayanımının azalmasına neden olabilmektedir. Agregada kil-silt gibi tanelerin bulunması, çimentonun hidratasyon hızını da yavaşlatır (Postacioğlu, 1975). Yıkanabilir maddelerin miktarı ince agregada ağırlıkça % 3-4'den, iri agregada % 0,5-2'den fazla olmamalıdır (Anon., 1980 a).

Sülfatların agregada içinde bulunması, bu maddenin çimento ile sülfat-alüminat denilen genişleyen bir tuzun oluşmasına yol açtığından zararlıdır (Postacioğlu, 1975). Agregada içindeki sülfat miktarı ağırlıkça % 1'den fazla olmamalıdır (Anon., 1980 a).

Organik maddeler taneli durumda bulundukları zaman renk değiştirme veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olur (Ekmekyapar ve Örüng, 1993). Organik maddelerin zararlı etkileri iki nedene dayanmaktadır. Birisi bu maddelerin suyu itmesi, diğeri organik maddelerin bir kısmı erimeyerek çimentoda hidrate kristallerin oluşumunu önlemesidir. Agregada organik maddelerin fazla miktarda bulunması bunlarla üretilen betonun dayanımının % 50 azalmasına ve bazen çimentonun priz yapmamasına neden olabilir. Beton sertleştikten sonra organik bir madde ile temasda bulunmasının ise herhangi bir zararı bulunmamaktadır (Postacioğlu, 1975).

Agregada ince dağılmış, sertleşmeye zarar veren organik maddelerin belirlenmesi için, agreganın % 3'lük sodyum hidroksit çözeltisi ile etkileşiminden sonraki çözelti rengi, özel olarak hazırlanan referans çözelti rengi ile karşılaştırılır (Anon., 1982 a).

Belirli bir kaba doldurulan agreganın ağırlığının bulunduğu hacme oranı, hacim birim ağırlığı veya kısaca birim ağırlık olarak tanımlanır. Birim ağırlık değerine agreganın nem içeriği ve yerleştirme şekli etki eder. Özellikle kumlarda nem içeriğinin etkisi çok önemlidir. Beton uygulaması yönünden birim ağırlığın

saptanmasında, agreganın doygun-kuru yüzey durumu temel alınır. Agreganın yerleştirme şekli, belli bir hacme giren agrega miktarını etkilediğinden, gevşek birim ağırlık ve sıkı birim ağırlık olarak farklı iki birim ağırlığı sözkonusudur (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Beton karışım oranlarının saptanmasında ve beton üretiminde malzeme ölçülürken agreganın birim ağırlık değerinin bilinmesine gerek vardır. Bu özellik agreganın granülometrisi, boşluk miktarı, kusurlu malzeme durumu ile ilgili fikir de verebilmektedir. Betonarme betonları için kullanılacak agregaların birim ağırlığı genellikle 1500-1850 kg/m³ arasında değişmektedir (Postacioğlu, 1975).

Bağıl yoğunluk¹⁾ agrega ağırlığının hacmine eşit miktardaki suyun ağırlığına oranlamasıyla saptanır (Anon., 1976 b). Agreganın bağıl yoğunluğu da nem içeriğine bağlı olarak değişir. Nem içeriğine göre "kuru bağıl yoğunluk", "doygun-kuru yüzey bağıl yoğunluk" ve "görünen bağıl yoğunluk" gibi birkaç çeşit bağıl yoğunluk tanımlanabilir. Ancak beton karışım hesaplamalarında doygun-kuru yüzey bağıl yoğunluk kullanılmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Bir agreganın bağıl yoğunluğu beton karışım oranlarının hesaplanması için gerekir. Ayrıca agreganın ana maddesi konumunda bir fikir veren bu özellik genel olarak 2,2-2,7 arasında değerler almaktadır (Postacioğlu, 1975).

Agreganın su emmesi, sabit ağırlığa kadar kurutulan agreganın belli bir süre suya daldırılması sonunda oluşacak ağırlık farkı saptanarak belirlenir. Agreganın su emmesi kendisini oluşturan tanelerin ana maddesine, yapısına ve granülometrisine bağlı olarak değişir (Postacioğlu, 1975).

Agrega taneleri, nem içeriği yönünden tam kuru, kuru yüzeyli, doygun-kuru yüzey ve ıslak olmak üzere dört durumda olabilir. Beton karışım hesaplarında beton üretimi için gerekli agrega miktarı, doygun-kuru yüzey durumu esas alınarak ağırlık olarak hesaplanır. Doygun-kuru yüzey durumundaki agrega tanelerinin tüm boşlukları su ile dolmuş, fakat yüzeyi tamamen kurudur. Bu durumdaki agrega ne su emici ne de su verici özellikte olmadığından en uygun durumdadır. Yoğurma (karışım) suyu sadece

(1) Bağıl yoğunluk, Anon. (1977) ve Anon.'da (1976 b) belirtildiği gibi "Specific Gravity" yerine kullanılmıştır.

yüzeyde ince bir su tabakası oluşturmak için yeterlidir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

İri agrega tanelerinin şekli bu malzemedan üretilecek betonun özelliklerini önemli derecede etkiler. Beton özellikleri bakımından uygun agrega taneleri, küresel ve kübik şekle benzeyen tanelerdir. Bu şekillerden çok ayrılan uzun, yassı ve çubuk şeklinde olan tanelere kusurlu taneler denir. Kusurlu tanelerin karışımda belirli bir miktardan fazla bulunması, agreganın kompasitesini ve dolayısıyla betonun sıkılığını önemli ölçüde azaltmakta ve sonuçta düşük dayanımlı betonların elde edilmesine neden olmaktadır (Postacioğlu, 1975).

Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olan taneler şekilce kusurlu tanelerdir. Bu tanıma yassı disk şeklindeki tanelerle, uzun silindir ve çubuk şeklindeki taneler girer. Bir agrega örneğinde disk, çubuk ve silindir şeklindeki tane ağırlığının toplam ağırlığa oranı % 15'i aşmamalıdır (Ekmekyapar ve Örüng, 1993). Anon.'a (1980 a) göre ise tane boyutu 8 mm'nin üzerindeki agregalarda şekilce kusurlu tane oranı ağırlıkça % 50'den çok olmamalıdır.

Herhangi bir malzemenin bir darbe altında kırılmaya, parçalanmaya veya dağılmaya karşı göstermiş olduğu direnç aşınma dayanımı olarak belirtilmektedir (Uluata, 1981). Özellikle yol kaplaması ve hava alanı gibi yapılarda kullanılan agregaların aşınma ve darbeye karşı dayanımı büyük önem taşımaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Anon.'a (1980 a) göre agrega taneleri, istenen özellikli bir beton yapımına elverişli olacak kadar aşınmaya dayanıklı olmalıdır. Agreganın aşınmaya dayanıklılığı "Los Angeles aşınma deneyi" ile saptanır. Agregada 100 dönüş sonunda ağırlıkça % 10'dan, 500 dönüş sonunda % 50'den az kayıp olmalıdır.

Beton agregasının donmaya karşı dayanıklılığı, yinelenen donma çözülme olayının zararlı etkilerine karşı bırakılan agrega ile üretilen betonun ne derece dayanıklı olduğunun bir ölçüsü şeklinde belirtilir (Popovics, 1984).

Üretilen betonun donma-çözülme olayı sonunda parçalanmaması birçok etkenlere bağlı bulunmaktadır. Burada en önemli etki agrega taneleri tarafından oynanmaktadır.

Bunların donma-çözülme sonunda parçalanmaları bu malzeme ile üretilecek betonların da donmadan zarar görmesine neden olmaktadır. Böyle bir durumun olmaması için beton üretiminde kullanılacak olan agregaların donma çözülme etkisine karşı dayanıklı olması gerekir, bu da ancak deneylerle saptanabilmektedir (Postacıoğlu, 1975).

Doğal taşlarda ve dolayısıyla normal agregalarda bir miktar boşluk bulunur. Agregalardaki boşluk oranı bunların doymun-kuru yüzey durumuna gelmeleri için gerekli su miktarı kadardır. Boşluk oranının fazla olması agreganın donma-çözülme ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltmaktadır (Cimilli, 1986). Dayanıklılık agreganın gözenekli oluşuna, su emmesine ve yüzey durumuna bağlıdır. Agreganın su emmesi yüksek olduğunda donma-çözülme sonucunda dayanıklılığı azalmaktadır. Yüzey durumu, agrega ile çimento hamuru arasındaki kenetlenme (aderans) üzerinde etkili olmaktadır. Kenetlenme dayanımının yüksek olması durumunda betonlar donma-çözülmeyle karşı daha dayanıklıdır (Postacıoğlu, 1975).

Dona dayanıklılık deneyi 4 mm'den büyük tanelerin oluşturduğu tane sınıflarına uygulanır (Anon., 1981 a).

Dona dayanıklılık su içerisinde, havada ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltisi ile yapılabilir. Her üç yöntemde de agrega örneği 4-8, 8-16, 16-32 ve 32-63 mm'lik eleklerle tane sınıflarına ayrılır ve dona dayanıklılık deneyi bu tane gruplarına uygulanır (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Su ile yapılan donma dayanıklılık deneyinde, donma çözülme etkisi havada yapılandan daha fazla olmaktadır. Çünkü agrega taneleri içine giren suyun donma sırasında agrega hacmini artırması ve taneleri parçalamaya zorlaması buna neden gösterilebilir (Akman, 1990).

Suya doymun durumda sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için kullanılacak bir agreganın dona dayanıklı olması gerekir. Başka bir anlatımla suda donma deneyinde don kaybı oranı ağırlıkça % 4'ten büyük olmamalıdır (Anon., 1980 a).

Boşlukları tam olarak suya doygun bulunmayan ve sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için, kullanılacak agreganın dona dayanıklılığı, havada donma deneyinde don kaybı oranı ağırlıkça % 4'ten büyük olmaması durumunda genellikle yeterlidir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Agreganın dona dayanıklılığının belirlenmesi için, uygulanan yöntemlerden bir diğeri sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltisi ile yapılan yöntemdir. Bu yöntemle diğer yöntemlere göre, sonuca daha kısa sürede ve daha kolay ulaşılır (Anon.,1981 a). Bu yöntemle agrega taneleri içine giren sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltisi, sudan çıkarılan ve havada bir süre tutulan tane içinde, sodyum sülfat veya magnezyum sülfat kristallerinin oluşmasına neden olur. Bu durumda suyun donması sırasındaki hacim genişlemesine benzer bir genişleme oluşturur. Taneler donmaya karşı dayanıklı değilse bu hacim artması sonunda parçalanarak daha küçük boyutta tanelere ayrılır (Postacioğlu, 1975).

Don kaybı oranı, sodyum sülfat kullanılması durumunda ince agregada ağırlıkça % 15'den, iri agregada % 18'den ve magnezyum sülfat kullanılması durumunda ise ince agregada % 22'den, iri agregada % 27'den büyük olmamalıdır (Anon., 1980 a; Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, araştırmada kullanılan materyale ilişkin örneklerin elde edilmesi ve genel özelliklerinin saptanmasında uygulanan yöntemlerin kısa tanıtımı yanında, agreganın donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılığını belirlemek için uygulanan deney yöntemleri, denemelerde kullanılan kimyasal maddeler, araç ve gereçler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.1. Materyal

Araştırma materyalini Erzurum İli Pasinler ve Horasan İlçeleri yöresinde, Aras nehrinin biriktirdiği kum-çakıl yataklarından sağlanan agrega örnekleri oluşturmaktadır. Denemelerde kullanılan kimyasal madde, çeşitli araç ve gereçler de bu kısımda tanıtılmıştır.

3.1.1. Agregası (Kum-Çakıl)

Erzurum yöresinde yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılan Pasinler ve Horasan ilçelerinden sağlanan agregalar araştırma materyalidir.

3.1.2. Denemelerde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Dona dayanıklılığın belirlenmesinde susuz sodyum sülfat tuzu ve baryum klorürden yararlanılmıştır. Ayrıca diğer bazı deneylerde tannik asit, sodyum hidroksit ve hidroklorik asit çözeltileri de kullanılmıştır.

3.1.3. Denemelerde Kullanılan Araç ve Gereçler

Araştırma materyali olarak kullanılan agrega örnekleri, Şekil 3.1'de gösterilen bölgeler (örnek ayırıcı) kullanılarak denemeler için azaltılarak hazırlanmıştır.

Agreganın elek analizinde ve diğer eleme gerektiren işlemlerde Şekil 3.2'de gösterilen standart kare açıklıklı elek serisinden yararlanılmıştır. Tartımlarda 0.1-1 g'a duyarlı teraziler ve sıvı ölçümlerinde ise 1000 ml'lik silindirik cam ölçü kabı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Denemede kullanılan Horasan ve Pasinler agregaları ve bu örneklerin deneylere hazırlanması için ayrılmasında kullanılan bölgeler

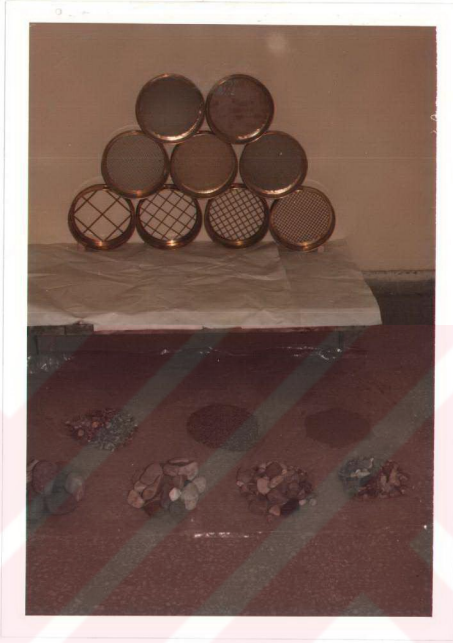
Kil-silt veya 0.063 mm'lik elekten geçen yıkanabilir madde miktarının saptanmasında ölçü silindiri kullanılmıştır.

Kil topakları veya çamurlu maddelerin saptanmasında 0,063-1 ve 8 mm açıklıklı elekler ile teraziden yararlanılmıştır.

Aşınmaya dayanıklılık deneyinde Şekil 3.3'de gösterilen Los Angeles aşınma makinası kullanılmıştır.

Agreganın bağıl yoğunluğunun saptanmasında tablalı ısıtıcı, silindirik ölçü kabı, tel sepet, kova ve teraziden yararlanılmıştır (Şekil 3.4).

Agreganın gevşek ve sıkı birim ağırlıklarının saptanmasında Çizelge 3.1'de teknik ölçüleri gösterilen birim ağırlık kapları kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.2. Standart elek serisi ile elekler üzerinde kalan agrega örnekleri

Organik madde Anon.'da (1982 a) standardında belirtilen kurallara göre saptanarak sonuç renk karşılaştırma çözeltisi ile karşılaştırılmıştır.

Sülfat miktarının saptanmasında 250 ve 500 ml'lik iki beher, 2 ve 0,09 mm açıklıklı elekler, örnekleri öğütmek için kullanılan değirmen ve teraziden yararlanılmıştır.

Dona dayanıklılığın saptanmasında örnekleri dondurmak için 600 lt hacminde ve -38°C 'a kadar soğutma kapasitesine sahip sıcaklığı ayarlanabilir derin dondurucu kullanılmıştır. Dondurucudan çıkarılan örneklerin $+20^{\circ}\text{C}$ 'da su içinde çözümlerini



Şekil 3.3. Los Angeles aşınma makinasının genel görünüşü



Şekil 3.4. Bağıl yoğunluk deneyinde kullanılan gereçler

Çizelge 3.1. Birim Ağırlık Tayini Deneylerinde Kullanılan Ölçü Kabı Boyutları

Agreganın en büyük tane boyutu (mm)	İç çapı (mm)	Yüksekliği (mm)	Kalınlığı (mm)	Yaklaşık hacmi (dm ³)
16,0	155	155	3,5	3
31,5	250	280	3,5	14
125,0	350	290	3,5	28

sağlamak için sıcaklığı ayarlanabilir termostatlı su tankı, örnek kapları ve elekler kullanılmıştır. Susuz sodyum sülfat tuzu ve baryum klorürden de yararlanılmıştır.

Denemelerde Atatürk Üniversitesi şebeke suyu ve gerektiğinde de saf su kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Birim ağırlığın belirlenmesinde kullanılan ölçü kapları

3.1.4. Denemelerde Kullanılan Agregaların Özelliklerinin Saptanması

Donma-çözülme dayanıklılığının saptanmasında kullanılacak agreganın diğer özelliklerini belirlemek için Anon.'da (1980 b) belirtilen ölçütlere göre yeterli miktardaki agregaya örneği alınarak, laboratuvara getirilmiştir.

Laboratuvarında bölgeçler (örnek ayırıcı) kullanılarak hazırlanan örneklerin granülometrisi, incelik modülü, bağıl yoğunluğu ve su emmesi ile birim ağırlığı, tane şekli, aşınma oranı, yıkanabilir madde miktarı, sülfat miktarı ve organik madde tayini deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları gruplara göre Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Agreganın granülometrisi Anon.'daki (1980 f) kurallara uyularak kare açıklıklı eleklerle yapılmıştır. Araştırma materyalini oluşturan Horasan ve Pasinler agregasına ilişkin deneylerle saptanan elek analizi değerleri Çizelge 3.3 ve 3.4'de verilmiştir. Bu değerlerle çizilen agreganın granülometri eğrisi ile Anon.'da (1980 a) normal betonlar için öngörülen granülometri sınır eğrileri de Şekil 3.6 ve 3.7'de gösterilmiştir.

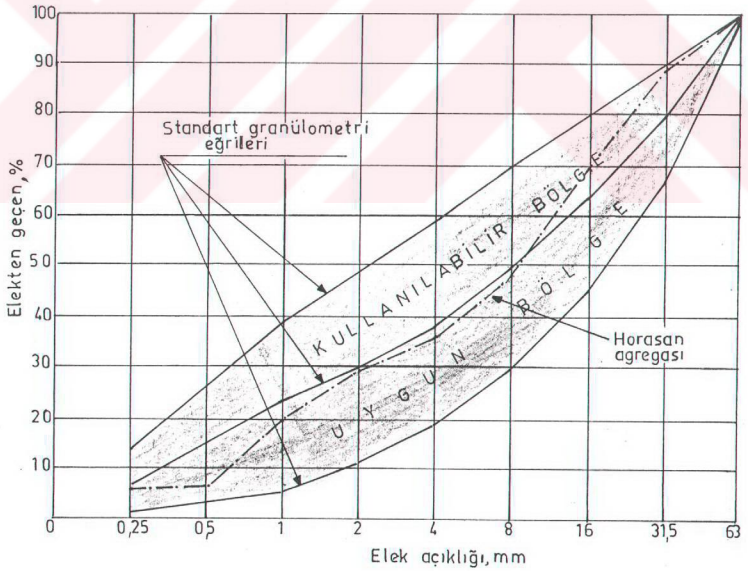
Anon.'da (1980 a) verilen standart granülometri eğrileri ile örneklerle ilişkin granülometri eğrileri karşılaştırıldığında; Horasan agregasının granülometri eğrisi 0,25-8 mm'lik tane sınıfları arasında uygun bölgede ve 8-63 mm'lik tane sınıfları arasında kullanılabilir bölgeye düşmektedir. Pasinler agregası ise 0,25-0,5 mm'lik tane sınıfları arasında uygun bölgede ve 0,5-63 mm'lik tane sınıfları arasında kullanılabilir bölgeye düşmektedir.

Çizelge 3.2. Agreganın Özelliklerine İlişkin Bazı Değerler

Agrega Çeşidi	Agrega Özellikleri															
	Bağıl yoğunluk						Su emme (%)		Birim ağırlık kg/m ³	Yıkanabilir madde (%)			Sülfat miktarı (%)	Organik madde (renk karşılaştırmasına göre)	Kusurlu tane miktarı (%)	
	Kuru yüzey		Doğru kuru yüzey		Görünen (zahiri)	İnce ag.				İri ag.						
	İnce ag.	İri ag.	İnce ag.	İri ag.	İnce ag.	İri ag.	İnce ag.	İri ag.	Karışık ag.	1 saat sonunda	24 saat sonunda	İnce ag.	İri ag.			
	Horasan ag.	2,4	2,3	2,5	2,3	2,6	2,4	3,3	2,1	1655	1626	1,5	2,8	0,9	0,0	Açık sarı
Pasinler ag.	2,3	2,1	2,4	2,1	2,5	2,2	3,2	2,5	1794	1720	0,5	1,1	0,8	0,0	Açık sarı	12,1

Çizelge 3.3. Horasan Agregasına İlişkin Elek Analizi Değerleri

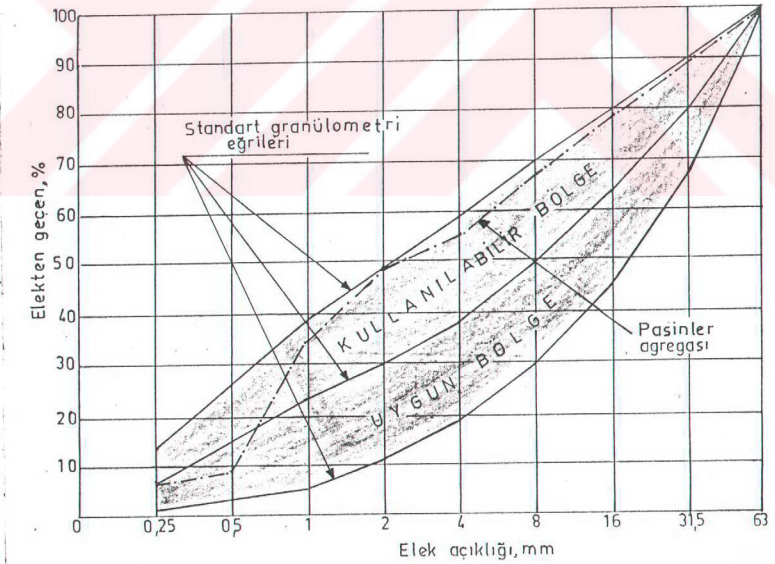
Elek açıklığı (mm)	Elekten geçen yığışımli miktar (%)	Elek üstünde kalan yığışımli miktar (%)
63,0	100,0	0,0
31,5	89,5	10,5
16,0	69,3	30,7
8,0	48,5	51,5
4,0	36,0	64,0
2,0	29,5	70,5
1,0	20,0	80,0
0,5	6,8	93,2
0,25	6,0	94,0



Şekil 3.6. Standart granülometri eğrileri ve Horasan agregası granülometri eğrisi

Çizelge 3.4. Pasinler Agregasına İlişkin Elek Analizi Değerleri

Elek açıklığı (mm)	Elekten geçen yığışımli miktar (%)	Elek üstünde kalan yığışımli miktar (%)
63,0	100,0	0,0
31,5	89,8	10,2
16,0	79,0	21,0
8,0	67,3	32,7
4,0	55,8	44,2
2,0	49,0	51,0
1,0	34,8	65,2
0,5	9,1	90,9
0,25	6,8	93,2



Şekil 3.7. Standart granülometri eğrileri ve Pasinler agregası granülometri eğrisi

Denemede kullanılan örneklerin incelik modülü Anon.'daki (1980 f) kurallar gözönünde tutularak;

$$\text{İncelik modülü} = \frac{\text{Elekler üzerinde kalan agreganın yığışımli ağırlık yüzdeleri toplamı}}{100}$$

eşitliğiyle belirlenir. Çizelge 3.3 ve 3.4'de görüldüğü gibi Horasan ve Pasinler agregasına ilişkin incelik modülü değerleri sırasıyla 4,9 ve 4,1'dir. Horasan agregasının incelik modülü değeri daha büyük olduğundan iri agregası Pasinler agregasından daha fazladır. Bu durum granülometri eğrilerinden de görülebilir.

Örneklerin bağıl yoğunluk ve su emme deneyleri Anon. (1980 c) ve Anon.'un (1976 b) öngördüğü yöntemlere göre görünen bağıl yoğunluk, kuru yüzey bağıl yoğunluk, doymun-kuru yüzey bağıl yoğunluk ve su emme yüzdeleri olarak saptanmıştır. Horasan ve Pasinler agregasına ilişkin bu özelliklerin değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Horasan agregasının görünen bağıl yoğunluğu, kuru yüzey bağıl yoğunluğu, doymun kuru yüzey bağıl yoğunluğu ve su emme değerleri sırasıyla ince agregada 2,6-2,4-2,5 ve % 3,3, iri agregada 2,4-2,3-2,3 ve % 2,1; Pasinler agregasının bağıl yoğunluk değerleri ise ince agregada 2,5-2,3-2,4 ve % 3,2, iri agregada 2,2-2,1-2,1 ve % 2,5 olarak belirlenmiştir.

Postacioğlu'na (1975) göre normal beton agregaları için bağıl yoğunluk değerinin 2,2-2,7 arasında olması gerektiği öngörülmüştür. Beton karışım hesaplarında kullanılan doymun kuru yüzey bağıl yoğunluk değeri, denemede kullanılan Horasan ve Pasinler agregasının doymun kuru yüzey bağıl yoğunluğuna ilişkin veriler sınır değerler arasında olduğu belirlenmiştir.

Birim ağırlık deneyi Anon.'da (1980 e) öngörülen kurallara uygun olarak gevşek ve sıkı birim ağırlık değerleri Çizelge 3.2'de görüldüğü gibi saptanmıştır.

Denemede kullanılan örneklerin sıkı ve gevşek birim ağırlıklarının Horasan agregasında sırasıyla 1826-1955 kg/m³ ve Pasinler agregasında ise 1720-1794 kg/m³ arasında olduğu belirlenmiştir. Betonarme betonları için kullanılacak agregası birim ağırlıklarının sınır değerleri 1500-1850 kg/m³ arasında değişmektedir

(Postacioğlu, 1975). Bu değerler gözönüne alındığında, Horasan agregasının sıkı birim ağırlık değeri sınır değerleri üzerinde ve gevşek birim ağırlık ise sınır değerler arasındadır. Pasinler agregasında ise bu değer sınır değerlerin arasında kalmaktadır.

Beton agregalarında tane şeklinin belirlenmesinde Anon.'da (1983) öngörülen kurallar gözönüne alınmıştır. Horasan ve Pasinler agregasında saptanan kusurlu tanelerin oranı Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Horasan ve Pasinler agregasında saptanan kusurlu tane oranı sırasıyla % 8-12,1 olarak belirlenmiştir. Ekmekyapar ve Örüng'te (1993) normal beton agregaları için kusurlu tane oranı % 15 sınır değerinin altında olması gerektiği öngörülmüştür. Denemede kullanılan agregalardan elde edilen değerler, kusurlu tane oranı için verilen % 15 sınırını aşmamaktadır.

Organik madde tayini Anon.'un (1982 a) öngördüğü yöntemle göre yapılmıştır. Agreganın içinde bulunduğu sıvı rengi, standartta belirtilen renk karşılaştırma çözeltisi ile karşılaştırılarak organik madde miktarı saptanmıştır. Karşılaştırma sonucunda örneklerin bulunduğu sıvının açık sarı renkte olduğu görülmüştür. Bunun açık sarı renkte olması, agregada organik maddenin olmadığını belirtmektedir.

Yıkanebilir madde miktarı Anon.'da (1980 d) belirtilen yöntemle göre yapılmış ve saptanan değerler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Anon.'a (1980 a) göre yıkanebilir madde miktarının ince agregada % 3-4'den, iri agregada ise % 0,5-2'den fazla olmaması gerekmektedir. Örneklerden saptanan değerler ise Horasan agregasında yıkanebilir madde miktarı ince agregada % 1,5-2,8, iri agregada % 0,9, Pasinler agregasının yıkanebilir madde miktarı ise ince agregada % 0,5-1,1, iri agregada % 0,8 değerleri saptanmıştır. Bu değerler standartta belirtilen değerlerin altındadır.

Agreganın aşınmaya dayanıklılığını belirlemek için Anon.'da (1981 c) belirtilen kurallar gözönünde tutularak agreganın aşınması Los Angeles makinası ile yapılmıştır. Örneklerden 100 ve 500 dönüş sonunda saptanan değerler Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Horasan agregasının 100 ve 500 dönüş sonundaki belirlenen değerleri sırasıyla % 2,9-14,4, Pasinler agregasında ise bu değer % 3,1-14,7 olarak saptanmıştır. Anon.'a (1980 a) göre 100 dönüş sonunda saptanan değer ağırlıkça % 10 ve 500 dönüş sonunda da % 50 den fazla olmamalıdır. Örneklerin 100 ve 500 dönüş sonundaki saptanan değerleri, standardın öngördüğü değerlerin altındadır.

Sülfat miktarı Anon.'un (1981 b) öngördüğü yöntemle göre belirlenmiştir. Anon.'a (1980 a) göre ise agregada içindeki sülfat miktarı ağırlıkça % 1'den fazla olmamalıdır.

Horasan ve Pasinler agregalarının yapılan deneylerinde sülfat miktarına rastlanmamıştır.

3.2. Yöntem

Bu kısımda denemede kullanılan örneklerin hazırlanması, agreganın donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılığının saptanması için uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

Çalışmada bu konudaki TSE (Türk standartları Enstitüsü) standartlarından büyük ölçüde yararlanılmış, bunların yetersiz kalması durumunda da ilgili diğer yabancı standartlara yer verilmiştir.

3.2.1. Agregada Örneklerinin Denemeye Hazırlanması

Araştırmada donma-çözülme dayanıklılığını saptamak için uygulanan deneme yöntemlerine yeterli olabilecek agregada örnekleri Anon.'da (1980 b) belirtilen ölçütlere uygun olarak hazırlanmıştır.

Laboratuvarında Şekil 3.3'de görülen bölgeçler (örnek ayırıcı) kullanılarak hazırlanan örnekler Anon.'a (1980 f) göre denemeler için 4-8, 8-16, 16-32 ve 32-63 mm'lik eleklerle tane sınıflarına ayrılarak Çizelge 3.6'da gösterilen yeterli miktardaki agregada örneği donma-çözülme deneyleri için kullanılmıştır.

3.2.2. Dona Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Saptanması

Agreganın dona dayanıklılığının kimyasal yöntemle saptanmasında Anon., (1976 a) ve

Anon.'a (1981 a) göre sodyum sülfat deneyi uygulanmıştır. Bu yöntemle göre 250 g susuz sodyum sülfat tuzu (Na_2SO_4) 1 litre saf suda çözülerek hazırlanmıştır. Çözeltinin kullanım sırasındaki yoğunluğunun $1,15-1,17 \text{ g/cm}^3$ arasında olmasına özen gösterilmiştir. Anon.'a (1980 b) uygun olarak oluşturulmuş deney örneği Anon.'un (1980 f) öngördüğü gibi elenerek Çizelge 3.6'da gösterilen tane sınıflarına ayrılmıştır. Yıkandıktan sonra $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'da değişmez ağırlığa kadar kurutulan agrega örneği Çizelge 3.6'da belirtilen miktarlar kadar alınmıştır. Tel sepetlerin içine konulan agrega örnekleri sodyum sülfat çözeltisinin bulunduğu Şekil 3.8'de gösterilen kablara daldırılmıştır. Çözelti hacminin, deney örneği hacminin en az 5 katı olması ve üst yüzeyinin daldırılan agreganın üstünde en az 5 cm yukarıda bulunması sağlanmıştır. Örnekler çözelti içinde bu durumda 18 saat bekletilmiş ve bu arada buharlaşmaya engel olabilmek için deney sırasında çözelti kabının üstü bir kapak ile kapatılmıştır. Daldırma süresinin sonunda, örnekler çözelti kabından çıkarılarak 15 dakika bekletildikten sonra $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'da değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur.

Çizelge 3.6 Dona Dayanıklılığın Saptanması İçin Gerekli Deney Örneği Miktarı

Tane sınıfları	Deney örneği miktarı (g)	
	Soğutma yöntemi için	Kimyasal yöntem için
4 - 8	1000	300
8 - 16	2000	500
16 - 32	4000	500
32 - 63	6000	1000

Oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulan örnekler, tekrar çözelti kabına daldırılmıştır. Daldırma ve kurutma işlemi toplam beş kez tekrarlanıp beşinci tekrardan sonra kurutulup, soğutulan deney örneği, alt tane büyüklüğünden bir küçük göz açıklıklı elek üzerine boşaltılıp su ile yıkanarak elenmiştir. Örneklerin sodyum sülfat çözeltisinden tamamen temizlendiği yıkamadan çıkan suya bir miktar baryum klorür katılarak beyaz çökelti görülmemesi ile saptanmıştır. Yıkama ve eleme işlemi tamamlanınca, örnekler değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup oda sıcaklığına

kadar soğutulduktan sonra elek üstünde kalan kısmı tartılmıştır. Don kaybı oranı % olarak $D = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100$ eşitliğiyle belirlenmiştir.

Burada;

D = Don kaybı oranı (%); G_1 = Deney örneğinin deney başlangıcındaki değişmez ağırlığı (g); G_2 = Deney örneğinin deney sonunda elek üstünde kalan kısmının değişmez ağırlığı (g).



Şekil 3.8. Sodyum sülfat deneyinde kullanılan çözelti kapları

3.2.3. Dona Dayanıklılığın Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanması (Suda Donma)

Agreganın dona dayanıklılığının şiddetli don etkisi altında saptanması amacıyla uygulanan deney yöntemi Anon.'a (1982 b) uyularak yapılmıştır. Anon.'a (1980 b) uygun olarak oluşturulmuş deney örneği Anon.'un (1980 f) öngördüğü gibi elenerek Çizelge 3.6'da gösterilen tane sınıflarına ayrılmıştır. Çizelge 3.6'da belirtilen miktarlar kadar alınan agregata örneği $105 \pm 5^\circ\text{C}$ değişmez ağırlığa kadar kurutulup, 16 mm'den büyük tane sınıfları yaklaşık iki eşit parçaya bölünerek herbiri ayrı ayrı tartılmıştır. Tartılan bu örnekler deney kaplarına konularak, kaptaki agregata

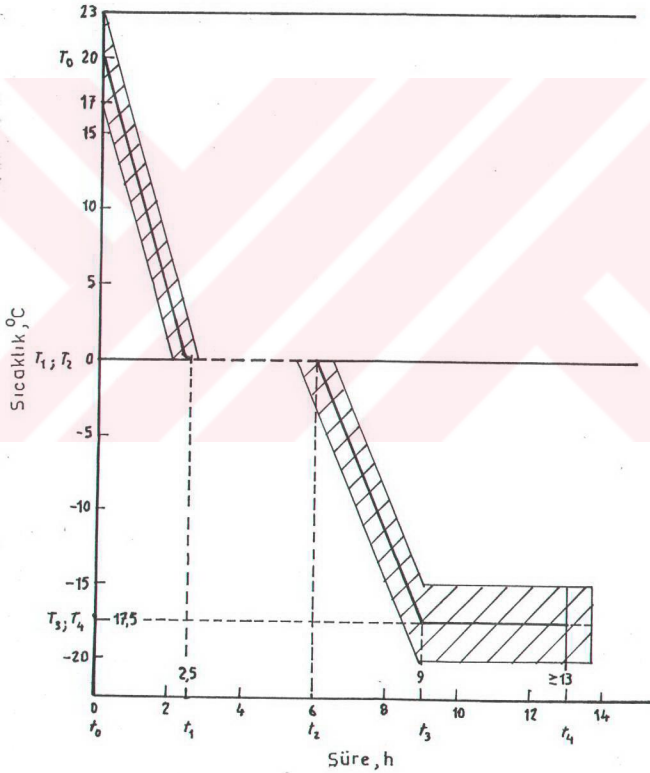
örneğin üst yüzeyinden 1 cm daha fazla olacak kadar su eklenmiştir. Oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra Şekil 3.9'da görülen soğutucuya konulan örneklerle donma işlemi uygulanmıştır. Soğutma ve donma işlemi Anon.'a (1982 b) göre Şekil 3.10'da görülen sürelerle uyulmuştur.



Şekil 3.9. Örneklerin dondurulmasında kullanılan soğutucu

Şekil 3.9'da görülen soğutma ve donma sürelerine göre örneklerin sıcaklığı 150 ± 30 dakika içerisinde $+20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'dan donma noktasına (yaklaşık 0°C) düşürülmüş ve bu sıcaklıkta 210 ± 30 dakika bekletilmiştir. Örneklerin sıcaklığı 0°C 'dan $-17,5^{\circ}\text{C} \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ 'luk sıcaklığa 180 ± 30 dakika içerisinde düşürülmüş ve bu sıcaklıkta 240 dakika bekletilmiştir. 13 saatlik soğutma ve donma dönemi sona erince örnek kapları soğutucudan çıkarılarak $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'luk su içinde bekletilmiştir. Bekleme süresi referans (agrega örneğinin bulunduğu kabın ortası) ölçüm yerinde yaklaşık 20°C 'luk

bir sıcaklığa erişildiğinde çözölme işlemi tamamlanmıştır. Bu süre yaklaşık 5 saat sürmüştür. Soğutma, donma ve çözölme sağlanınca bir devre tamamlanmış olup bu işlem 10 kez tekrarlanmıştır. Örnek kabı, alt tane büyüklüğünden bir küçük göz açıklıklı elek üzerine boşaltılıp yıkanarak elenmiştir. Daha sonra değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Elek altına geçen agreganın deney başlangıcındaki ağırlığına oranı, don kaybı olarak $D = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100$ eşitliğiyle saptanmıştır.



Şekil 3.10. Dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında saptanmasına ilişkin soğutma ve donma süreleri.

3.2.4. Dona Dayanıklılığın Orta Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanması (Havada Donma)

Agreganın dona dayanıklılığının orta şiddetli don etkisi altında saptanması için uygulanan deney Anon.'a (1981 a) göre belirlenmiştir. Anon.'a (1980 b) uygun olarak oluşturulmuş agrega örneği Anon.'un (1980 f) öngördüğü kurallara uyularak tane sınıflarına ayrılmıştır. Çizelge 3.6'da gösterilen miktar kadar alınıp $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'da değişmez ağırlığa kadar kurutulan agrega örnekleri tartılarak kaplara konulmuştur. 20°C 'daki suyun içinde 2 saat bekletildikten sonra çıkarılıp, alt tane büyüklüğünden bir küçük göz açıklıklı elek üzerine boşaltılıp bir dakika bekletilerek fazla suyun süzülmesi sağlanmıştır. Tekrar kaplara konarak $-17^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ 'a kadar soğutulmuş olan soğutucuya konan örnekler 6 saat bekletilerek dondurulduktan sonra soğutucudan çıkarılmıştır. Çıkarılan örnekler 20°C 'da su içinde Şekil 3.11'de gösterilen su tankında bir saat tutularak donun çözülmesi sağlanmıştır. Süzülme, donma ve çözülme sağlanınca bir devre tamamlanmış olmaktadır. Bu işlem 20 kez tekrarlanmıştır. 20'nci tekrarlanmanın sonunda kabın içindeki örnekler alt tane büyüklüğünden bir küçük göz açıklıklı elek üzerine boşaltılıp yıkanarak elenmiştir. Elek üzerinde kalan agrega örneği değişmez ağırlığa kadar kurutulup tartılmıştır. Don kaybı oranı, elekten geçen agrega ağırlığının başlangıçtaki agrega ağırlığına bölünmesiyle, $D = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100$ eşitliğiyle saptanmıştır.



Şekil 3.11. Soğutucudan çıkarılan örneklerin çözümlerini sağlayan su tankı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Erzurum yöresinde yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılan Horasan ve Pasinler argegasının donma-çözölmeye karşı dayanıklılığı, yöntem kısmında açıklanan deneyler uygulanarak saptanmıştır.

4.1. Kimyasal Yöntem (Na_2SO_4) Deney Sonuçları

Araştırmaya konu olan Horasan ve Pasinler agregalarının donma-çözölme dayanıklılığına ilişkin ortalama değerler Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Horasan Agregasının Sodyum Sülfatla Yapılan Donma-Çözölme Dayanıklılığına İlişkin Değerler

Tane sınıfları (mm)	Deney başlangıcındaki örnek ağırlığı (g)	Deney sonundaki örneklerin ortalama ağırlığı (g)	Ortalama don kaybı oranı (%)
4 - 8	300	278	7,3
8 - 16	500	459	8,2
16 - 32	500	488	2,4
32 - 63	1000	969	3,1

Çizelge 4.2. Pesinler Agregasının Sodyum Sülfatla Yapılan Donma-Çözölme Dayanıklılığına İlişkin Değerler

Tane sınıfları (mm)	Deney başlangıcındaki Örnek ağırlığı (g)	Deney sonundaki örneklerin ortalama ağırlığı (g)	Ortalama don Kaybı oranı (%)
4 - 8	300	267	11,0
8 - 16	500	445	11,0
16 - 32	500	479	4,2
32 - 63	1000	948	5,2

4.2. Suda Donma Deneyi Sonuçları

Hazırlanan Horasan ve Pasinler agregasına, yöntem kısmında açıklandığı gibi şiddetli don etkisi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Her iki örneğe, ikişer paralel deney uygulanarak sonuçların ortalaması alınmıştır.

Çizelge 4.3. Horasan Agregasının Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanan Donma-Çözünme Dayanıklılığına İlişkin Değerler

Tane sınıfları (mm)	Deney başlangıcındaki örnek ağırlığı (g)	Deney sonundaki örneklerin ortalama ağırlığı (g)	Ortalama don kaybı oranı (%)
4 - 8	1000	990	1,0
8 - 16	2000	1989	0,6
16 - 32	4000	3986	0,4
32 - 63	6000	5959	0,7

Çizelge 4.4. Pasinler Agregasının Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanan Donma-Çözülme Dayanıklılığına İlişkin Değerler

Tane sınıfları (mm)	Deney başlangıcındaki örnek ağırlığı (g)	Deney sonundaki örneklerin ortalama ağırlığı (g)	Ortalama don kaybı oranı (%)
4 - 8	1000	989	1,1
8 - 16	2000	1982	0,9
16 - 32	4000	3976	0,6
32 - 63	6000	5958	0,7

4.3. Havada Donma Değerleri Sonuçları

Horasan ve Pasinler agregasına orta şiddetli don etkisi uygulanarak donma-çözülme dayanıklılığı saptanmıştır. Örneklere ilişkin değerler Çizelge 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Horasan Agregasının Orta Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanan Donma-Çözülme Dayanıklılığına İlişkin Değerler

Tane sınıfları (mm)	Deney başlangıcındaki örnek ağırlığı (g)	Deney sonundaki örneklerin ortalama ağırlığı (g)	Ortalama don kaybı oranı (%)
4 - 8	1000	993	0,7
8 - 16	2000	1991	0,5
16 - 32	4000	3988	0,3
32 - 63	6000	5975	0,4

Çizelge 4.6. Pasinler Agregasının Orta Şiddetli Don Etkisi Altında Saptanan Donma-Çözülme Dayanıklılığına İlişkin Değerler

Tane sınıfları (mm)	Deney başlangıcındaki örnek ağırlığı (g)	Deney sonundaki örneklerin ortalama ağırlığı (g)	Ortalama don kaybı oranı (%)
4 - 8	1000	991	0,9
8 - 16	2000	1986	0,7
16 - 32	4000	3985	0,4
32 - 63	6000	5973	0,5

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu bölümde, Erzurum yöresinde yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılan Horasan ve Pasinler ilçelerinde, Aras nehrinin biriktirdiği kum-çakıl yataklarından sağlanan agregâ örneklerinin donma-çözölme dayanıklılıklarına ilişkin elde edilen veriler değêrlendirilerek, yöntemler arasındaki ilişki tartışılmıştır.

Horasan agregâsının donma-çözölme dayanıklılığının saptanmasında uygulanan sodyum sülfat deneyinden elde edilen değêrler 4-8, 8-16, 16-32 ve 32-63 mm'lik agregâ tane sınıflarına göre sırasıyla % 7,3; % 8,2; % 2,4 ve % 3,1 olarak bulunmuştur. Pasinler agregâsında ise bu değêrler aynı tane sınıflarına göre sırasıyla % 11; % 11; % 4,2 ve % 5,2 olarak saptanmıştır. Sodyum sülfatla yapılan don deneyinden elde edilen veriler, her iki agregâ grubunda da Anon.'da (1980 a) belirtilen sınır değêrlerin altında kalmıştır.

Dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında Horasan agregâsının donma-çözölme dayanıklılığına ilişkin sonuçlar 4-8, 8-16, 16-32 ve 32-63 mm'lik agregâ tane sınıflarına göre sırasıyla % 1,0; % 0,6; % 0,4 ve % 0,7 olarak bulunmuştur. Pasinler agregâsında ise aynı tane sınıflarına göre belirlenen değêrler sırasıyla %1,1; % 0,9; % 0,6 ve % 0,7 olarak bulunmuştur. Her iki gruptan elde edilen sonuçlar Anon.'da (1980 a) belirtilen % 4 sınır değêrinin altındadır.

Dona dayanıklılığın orta şiddetli don etkisi altında Horasan agregâsının donma-çözölme dayanıklılığına ilişkin elde edilen sonuçlar 4-8, 8-16, 16-32 ve 32-63 mm'lik agregâ tane sınıflarına göre sırasıyla % 0,7; % 0,5; % 0,3 ve % 0,4'tür. Pasinler agregâsından elde edilen veriler ise tane sınıflarına göre sırasıyla % 0,9; % 0,7; % 0,4 ve % 0,5 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre her iki gruptan elde edilen değêrler Anon.'da (1980 a) verilen % 4 sınır değêrinin altında kalmıştır.

Araştırmanın konusu olan Horasan ve Pasinler agregâsının donma-çözölme dayanıklılıklarının saptanmasında uygulanan yöntemler arasındaki ilişki incelendiğinde Horasan agregâsında 4-8 mm'lik tane sınıfına uygulanan sodyum sülfat, şiddetli don etkisi ve orta şiddetli don etkisinden elde edilen veriler sırasıyla % 7,3; % 1,0 ve % 0,7 olarak saptanmıştır. Bu sonuçlara göre sodyum sülfat deneyinden elde edilen değêr

diğerlerinin yaklaşık 7 ile 10 katı olarak bulunmuştur. Pasinler agregasında ise aynı tane sınıfında donma-çözülme deneylerinden elde edilen değerler sırasıyla % 11; % 1,1 ve % 0,9 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre sodyum sülfat don deneyinden elde edilen sonucun, diğerlerinin yaklaşık 10 ve 11 katı olduğu görülmüştür. 8-16 mm'lik tane sınıfı karşılaştırıldığında Horasan agregasında donma-çözülme deneylerinden elde edilen veriler sırasıyla % 8,2; % 0,6 ve % 0,5 dir. Bu değerlere göre sodyum sülfat deneyinden elde edilen sonuç, diğer deney sonuçlarının 14 ve 16 katı dolayındadır. Pasinler agregasında aynı tane sınıfında ise deney sonuçları % 11, % 0,9 ve % 0,7 değerleri bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, sodyum sülfat deneyi sonucu diğerlerinin 12 ve 16 katı olarak saptanmıştır. Horasan agregasının 16-32 mm'lik tane sınıflarından deney sonuçları % 2,4; % 0,4 ve % 0,3 olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sodyum sülfat deneyi sonucu, diğerlerinin 6 ve 8 katı kadardır. Pasinler agregasında ise % 4,2; 0,6 ve % 0,4 olarak bulunan deney sonuçlarına göre sodyum sülfat deneyi sonucu diğer deney sonuçlarının 7 ve 11 katı dolayındadır. Horasan agregasının 32-63 mm'lik tane sınıflarında deney sonuçları olarak % 3,1; % 0,7 ve % 0,4 değerleri saptanmıştır. Sodyum sülfat deneyi değeri diğerlerinin 4 ve 8 katıdır. Pasinler agregasında ise sırasıyla % 5,2; % 0,7 ve % 0,5 olarak bulunan değerlere göre sodyum sülfat değeri diğer deneylerden elde edilenlerin 7 ve 10 katı olarak bulunmuştur.

Horasan ve pasinler agregasının donma-çözülme dayanıklılığının saptanmasında uygulanan yöntemlerden sodyum sülfat, suda donma ve havada donma deneylerinden tane sınıflarına göre elde edilen verilerin toplam deney örneğindeki don kaybı oranı Horasan agregasında sırasıyla % 4,6; % 0,6 ve % 0,4'dür. Pasinler agregasında ise % 6,6; % 0,7 ve % 0,5 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre sodyum sülfat değeri Horasan agregasında suda ve havada donma-çözülmenin yaklaşık 8 ve 12 katı Pasinler agregasında ise 9 ve 13 katı dolayındadır.

Donma-çözülme dayanıklılığın saptanmasında uygulanan yöntemlerden; sodyum sülfat veya magnezyum sülfatla yapılan don deneyi, diğer yöntemlere göre sonuca daha kısa sürede ulaşılabilceğini göstermektedir. Agreganın donma-çözülme dayanıklılığının saptanmasında uygulanan yöntemlerden suda ve havada donma, diğer yöntemlere göre yapılması bakımından daha zor ve zaman alıcıdır. Buna karşılık agreganın gerçekteki şiddetli don etkisine karşı dayanıklılığının saptanması bakımından; laboratuvarda uygulanan bu yöntemlerin gerçek duruma benzerlik göstermesi önemlidir. Agreganın

donma-çözölme dayanıklılığın belirlenmesinde uygulanan yöntemlerden daha gerçekçi değerler alınması gerekiyorsa suda ve havada donma yöntemleri, sonuca kısa sürede ulaşılmaq isteniyorsa sodyum sülfat veya magnezyum sülfat deneyinin yapılması önerilir.

Denemelerde kullanılan Horasan ve Pasinler agregasının donma-çözölme dayanıklılığının, her üç yöntemle göre elde edilen değerlerin, standartta belirtilen sınır değerlerden daha düşük bulunması, Horasan ve Pasinler agregasının Erzurum ve çevresinde donma-çözölme dayanıklılığı yönünden beton yapılarda ve betonarme elemanlarda kullanılmasının bir sakınca yaratmayacağını göstermektedir.



KAYNAKLAR

- Akman, M.S., 1990. Yapı Malzemeleri. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, S.1-30.
- Albayrak, H.F., 1986. Beton Yapım Tekniği. Bayındırlık ve İskan Bak. D.S.İ.Genel Müd., No. 955, s. 2-8.
- Anonymous, 1976. Concrete and Mineral Aggregates, American Society for Testing and Materials, ASTM Standards, Part 14, Philadelphia.
- a) C88, Test For Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.
- b) E12, Def. of Terms Relating to Density and Specific Gravity of Solid, Liquids, and Gases.
- Anonymous, 1977. Mekanik Büyüklükleri ve Birimleri, TS 296. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980 a. Beton Agregaları, TS 706. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980 b. Beton Agregalarında Örnek Alma ve Deney Örneği Hazırlama Yöntemi, TS 707. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980 c. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TS 3526. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980 d. Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, TS 3527. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980 e. Beton Agregalarında Birim Ağırlıklarının Tayini, TS 3529. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1980 f. Beton Agregalarında Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, TS 3530. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1981 a. Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini, TS 3655. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1981 b. Beton Agregalarında Sülfat Miktarı Tayini, TS 3674. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1981 c. Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Tayini, TS 3694. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1982 a. Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini, TS 3673. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1982 b. Frost-Tau-Wechsel-Versuch. DIN 52104.

- Anonymous, 1983. Beton Agregalarında Tane Şekli Sınıfı Tayini, TS 3814. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1984. Ortalama, Ekstrem Sıcaklık ve Yağış Değerleri Bülteni, T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji Gn.Müd. Ankara.
- Cimilli, T., 1986. Yapı Malzemesi. Karadeniz Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Trabzon, s. 137-157.
- Ekmekyapar, T., Özüng, İ., 1993. İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Erzurum, No : 145, s. 67-106.
- Özçelik, N., 1984. İnşaat Bilgisi. İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul, No. 3195, s. 178-180.
- Popovics, S., 1984. Third International Conference on the Durability of Building Materials and Components. Volume 3, Technical Research Centre of Finland Espoo, s. 393.
- Postacıoğlu, B., 1975. Yapı Malzemesi Problemleri. İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, No. 1011, s. 134-291.
- Postacıoğlu, B., 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri. İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, No. 1176, s.1.
- Uluata, A.R., 1981. Beton Malzemeleri ve Beton, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi (Teksir), Erzurum, s. 29-74.