

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONYA
II. ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ
ZEMİN VE YERALTI SUYUNUN
BETON ÜZERİNE ETKİSİ**

Mustafa ONÜÇYILDIZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT ANABİLİM DALI
Konya 1991

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONYA İL. ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ
ZEMİN VE YERALTI SUYUNUN BETON ÜZERİNE ETKİSİ**

**T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi**

Mustafa ONÜÇYILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT ANABİLİM DALI**

Bu tez 22 Mart 1991 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Tamer YILMAZ
(Danışman)

Doç. Dr. Süreyya Baş
(Üye)

Doç. Dr. Lütfi Saltabaş
(Üye)

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sırasında değerli bilgi ve deneyimlerinden daima faydalandığım tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tamer YILMAZ'a,

Tezin düzenlenmesi safhasında yardımcı olan Sayın Öğr. Gör. Ali UMUCALILAR'a,

Arazi çalışmaları için Ekskavatör, taşıt ve eleman temin eden SELÇUKLULAR İş Makinaları Servisi'ne, KÖROĞLU Kauçuk Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Hasan KÖROĞLU'na,

Beton numunelerin hazırlanması ve basınç dayanım deneylerinin yapılmasında Laboratuvarlarını bana açarak yardımcı olan UZMAN Prefabrik İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. yetkililerine,

Toprak ve yeraltı suyu numunelerinin analizlerinde yardımcı olan Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü elemanlarına,

Gerek arazi çalışmalarında gerekse laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan İnşaat Mühendisliği Bölümü Teknisyeni Sayın Naci ALATLI'ya,

Ayrıca bu tezin yazılmasında bilgisayar sistemlerini hizmetime sunan DİZGİ OFSET çalışanlarına, teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Araştırma, Konya II. Organize Sanayi Bölgesi zemin ve yeraltı suyunun beton üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır.

II. Organize Sanayi Bölgesi, yoğun sanayi yapılarının yer aldığı, yörenin en çukur alanı olması nedeniyle de yüksek yeraltı suyu etkisinde kalan bir bölge olup etkin bir drenaj sisteminden yoksundur.

Bölgede zemin yüzeyine 80 cm kadar yaklaşabilen ve yapıların temel betonunu olumsuz yönde etkileyen yeraltı suyu içerisindeki magnezyum, sülfat ve klor iyonlarının konsantrasyonları sırası ile 6991 mg/l, 27301 mg/l ve 30255 mg/l değerlerine kadar ulaşabilmektedir. Bu suyun etkisinde bulunan bölge toprakları da çok tuzlu ve sodyumlu olup 250 cm'lik toprak profilinde tuzluluk 38.94 milimhos/cm, değişebilir sodyum yüzdesi ise 28.30 değerine kadar yükselebilmektedir.

Yukarıda toprak ve yeraltı suyu özellikleri belirtilen bu alanda 2.5 m derinliğinde, 1.5 m genişliğinde ve 4 m uzunluğunda açılan bir deneme çukurunda, laboratuvarda üretilen BS16 sınıfı silindirik beton numunelerden (ϕ 15 cm, h=30 cm) 48 adet yerleştirilmiştir. 28 gün dayanım kazandıktan sonra yerleştirilen bu numuneler, aylık periyodlarla 8 ay boyunca ve her defasında 6'şar adet olmak üzere çıkarılarak basınç dayanım testine tabi tutulmuştur.

Aynı işlem Fakülte Bahçesi'nde yeraltı suyu sorunu olmayan bir alanda da tekrarlanmıştır. Çalışmada Fakülte Bahçesi Lokasyon 1, II. nci Organize Sanayi Bölgesi Lokasyon 2 adı ile anılmıştır.

Araştırma sonunda Lokasyon 1 koşullarında 87 günlük beton numunelerinde basınç dayanımı yönünden olumlu yönde, Lokasyon 2 ortamında ise 59 günden itibaren olumsuz yönde önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Deneme sonunda başlangıca göre Lokasyon 1'de ortalama 24.15 kg/cm²'lik bir basınç dayanımı artışı gözlenirken, Lokasyon 2'de ortalama 140.20 kg/cm²'lik bir basınç azalması belirlenmiştir.

Araştırma sonunda, hızlı bir yapılaşmanın görüldüğü araştırma alanının beton yapıları olumsuz yönde etkilediği belirlenmiş ve bu etkilerin en aza indirilmesi için uygulanması gerekli görülen önlemler tavsiye edilmiştir.

ABSTRACT

This research was done in order to find out the effects of groundwater on concrete in the Second Organized Industrial Region of Konya.

The Second Organized Industrial Region, occupying the heavily constructed industrial plants, forms the lowest plain in the environment. The water table in the region is very high, and there is no sufficient drainage system.

The groundwater level occasionally reaches as close as 80 centimeters to the surface, and this may affect the stability of the buildings in the site. The concentration of magnesium, sulfate and chloride ions in the groundwater was measured to be 6991 mg/l, 27301 mg/l and 30255 mg/l respectively. Soil under the influence of groundwater in the region is rich in salt and sodium. Examination of 250 centimeter soil profile in the site indicates that saltiness is 38.94 millimhos/cm, and changeable sodium percentage is around 28.30.

In the site, a trench, 2.5 m deep, 1.5 wide and 4 m long, was excavated. C16 type 48 cylindrical concrete samples (\varnothing 15 cm, h=30 cm) were made in the laboratory. 28 days later, these concrete samples were made in the laboratory. 28 days later, these concrete samples were placed into the trench for 8 months. Every month, after the samples had been placed, 6 of the samples were taken out to apply the uniaxial strain strength test.

Same procedures have been done in the yard of the Faculty of Engineering and Architecture, Selçuk University, where there is no groundwater problem concerning the construction stability.

In this study, the faculty yard and the Second Organized Industrial Region are called as Location 1 and Location 2, respectively.

At the end of this study, significant differences were determined in location 1 after 87 days and in location 2 after 59 days. Comparing to the beginning, it is observed that the mean strain strength increased 24.15 kg/cm² in location 1 and decreased 140.20 kg/cm² in location 2.

At the end of the investigation, it is observed that there is a heavy construction in the study area where concrete constructions have been affected by groundwater in a negative way. In order to minimize these effects, necessary precautions which must be taken have been recommended.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ	1
2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Sülfat İyonu İle İlgili Çalışmalar	4
2.2. Klor İyonu İle İlgili Çalışmalar	8
2.3. Jips İle İlgili Çalışmalar	9
3. MATERYAL VE METOTLAR	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. Araştırma yeri, toprak ve yeraltı suyu özellikleri	11
3.1.2. İklim özellikleri	14
3.1.3. Beton karma suyu, çimento ve agrega özellikleri	16
3.2. Metotlar	18
3.2.1. Arazi çalışmalarında uygulanan metotlar	18
3.2.1.1. Beton numune ve yeraltı suyu gözlem kuyularının açılması	18
3.2.1.2. Deneme konularına göre beton numunelerin kuyulara yerleştirilmesi ve çıkarılması	20
3.2.1.3. Toprak ve su numunelerinin alınması	20
3.2.2. Laboratuvar çalışmalarında uygulanan metotlar	21
3.2.2.1. Toprak ve yeraltı suyu numunelerinin analiz metotları	21
3.2.2.2. Beton numunelerin hazırlanması	22
3.2.2.3. Beton numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesi	23
3.2.3. Araştırmadan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde uygulanan metotlar	25
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE SONUÇLARIN TARTIŞILMASI	26
4.1. Toprak Numunelerin Analiz Sonuçları	26
4.2. Yeraltı Suyu Numunelerinin Analiz Sonuçları	28
4.3. Beton Numunelerin Basınç Dayanımları	32
5. ARAŞTIRMA ALANINDA ALINMASI GEREKLİ ÖNLEMLER	39
5.1. Aktif Önlemler	40
5.2. Pasif Önlemler	42

1. GİRİŞ

Yapı alanında günümüzde yaygın olarak kullanılan ve giderek daha da iyileştirilen özellikleriyle geleceğin de yapı malzemesi gözüyle bakılan betonun/betonarmenin uzun süre kendisinden beklenen işlevi sürdürülebilmesi için, tekniğine uygun imalat yanında zararlı dış etkilerin, dayanım yönünden, beton/betonarme üzerindeki olumsuz sonuçlarını en aza indiren önlemlerin de alınması gerekir.

Zararlı dış etkiler fiziksel, kimyasal ve mekanik olaylar sonunda betonun/betonarmenin bünyesinde bozulmalara yol açtığından, yavaş olmakla beraber, belirli bir dayanım azalmasına neden olurlar.

Betonun/betonarmenin bünyesini bozan kimyasal olaylar genellikle sulu ortamlarda görülmektedir; ya zararlı etkiye sahip iyon içeren su ile beton arasında veya toprak/zemin ile beton arasında oluşan bu olaylar, özellikle zemin ve zemin suyu zararlı kimyasal etki yapabilecek alanlarda inşa edilecek yapıların temel betonu yönünden önemlidir.

Son yıllarda köyden kente olan göç ve hızlı sanayileşme nedeniyle artan yapılaşma, inşaat alanlarının da hızla genişlemesine yol açmaktadır. İnşaat alanı seçiminde ise altyapı hizmetlerinin götürüldüğü veya kolayca götürülebileceği alanlar öncelik kazanmaktadır; bu önceliğin belirlenmesi sırasında bazan zemini sorunlu alanlar da inşaat alanı olarak seçilebilmektedir. Örneğin; Tümosan, Konya II. Organize Sanayi Bölgesi ve gelecekte Konya Uluslararası Tarım Fuarı Alanı olarak düşünülen yaklaşık 8000 ha'lık "Aslım Bölgesi"nde zemin ve zemin suyu, bu bölgede tesis edilecek yeşil alanlara olduğu kadar inşa edilen ve edilecek olan yapıların temel betonuna da zararlı etkiler yapabilecek niteliktedir. Gerçekten, bölgedeki korozif etkenler araştırılıp gereken önlemler alınmadan inşa edilmiş bulunan betonarme yapılarda zamanla ortaya çıkan bozulmalar açık olarak görülmektedir.

Bu araştırma ile Konya II. Organize Sanayi Bölgesi'nde zemin ve zemin suyunun/yeraltı suyunun inşa edilen ve edilecek olan betonarme yapıların temel betonuna yapacağı etkilerin ve dayanım azalmasının belirlenmesiyle deneysel olarak elde edilen bilgilerin ışığında inşaat öncesi ve sonrası alınması gereken önlemlerin saptanması amaçlanmıştır.



2. KONU İLE İLGİLİ ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Uygun bir drenaj sisteminin tesis edilmediği, kurak ve sıcak bölgelerde zaman içerisinde zemin yüzeyine yakın yüksek yeraltı suyunun kalitesi düşmekte, bu suyun etkilediği zeminde profil boyunca yüksek konsantrasyonlara ulaşan tuzlar birikmektedir.

Bu tür alanların inşaat alanı olarak değerlendirilmesi sonucu inşa edilen yapıların özellikle temellerinde yer alan beton ve betonarme elemanlar, ortamın olumsuz etkisi sonucu korozyona uğramaktadır.

Korozyon sözlükte paslanma, aşınma, çürüme, bozukluk, çürüklük, yenme şeklinde tanımlanmaktadır. Teknik açıdan önceleri sadece metallere özgü bir deyim olarak kullanılan korozyon sözcüğü günümüzde taş ve beton gibi malzemeler için de kullanılmaya başlanmıştır.

Betonun korozyona uğramasında pek çok faktör rol oynamaktadır. Ancak bunlardan en önemlileri SO_4^{2-} ve Cl^- kaynaklı korozyondur. Bu nedenle bu bölümde, bu araştırmanın gerçekleştirildiği bölgede yapılan çalışmalara yer verildikten sonra SO_4^{2-} ve Cl^- kaynaklı çalışmaların özetleri ayrı başlıklar halinde verilmiştir. Bunlara ilaveten bölge zemininde çok miktarda bulunması nedeniyle jipsin de olumsuz yönleri ayrı bir başlık halinde işlenmiştir.

Bu araştırmanın yapıldığı bölgede yapılan bir çalışmada; bölge zemininde sülfat miktarını 5000 mg/kg, zemin suyunda sülfat miktarını 3000 mg/l, magnezyum miktarını ise 1500 mg/l'nin üzerinde olduğunu saptayan Ağacık (1), ortamın beton üzerine çok kuvvetli zararlı etki yapacağını belirtmiştir.

Bölge yeraltı suyunda ve bölge zemininde bulunan sülfat, magnezyum ve klor iyonlarının standartlarda belirtilen değerlerin çok üzerinde olduğunu belirten Yılmaz (2), bölgede drenaj sorunu çözülmediği takdirde fiziki yapıların inşaatında çeşitli sorunlarla karşılaşılacağını bildirmektedir.

Bölge topraklarının bol miktarda jips ve sülfat iyonu içerdiğini belirten Akçelik (3), zeminin konsolide olmadığını ve konsolidasyon oturmalarının sorun olacağına işaret etmektedir.

Onüçyıldız(4), bölgede yer alan yapıların korozyona uğramasında, bölge zemini ve yeraltı suyunda bulunan sülfat, magnezyum ve klor iyonlarının etkili olduğunu bildirmektedir.

2.1. Sülfat İyonu ile İlgili Çalışmalar

Sülfat iyonu içeren ortamda beton yapıların dayanımlarını önemli ölçüde kaybetmesi ve kütle kaybına uğraması, sülfatın olumsuz etkisi ve çimentonun hidratasyon ürünlerinde kohezyonun bozulması ile açıklanmaktadır (5).

Betonla temas halinde bulunan sülfat iyonu, çimento hamurunun katı bileşenlerinden düşük sülfatlı kalsiyum alüminat monosülfat hidrateyi ($C_3A \cdot C\bar{S}H_{18}$) yüksek sülfatlı hale yani Candlot tuzuna ($C_3A \cdot C_3\bar{S}H_{32}$) dönüştürmektedir. Sülfat iyonu ayrıca kalsiyum hidroksiti jipse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) çevirmekte ve nihayet daha geniş hacimli ürünlerin oluşması sonucu beton parçalanmaktadır (6).

Candlot tuzunun etkisiyle betonun parçalanmasına sebep, bileşiminde bulunan 32 molekül sudur. Bundan dolayı betonda önemli ölçüde (~%200) hacim artışı olmaktadır. Hacim artışı sonucu oluşan çekme gerilmelerinin etkisi ile betonun dayanımı azalmakta ve olayın gelişmesi sonucu beton tahrip olabilmektedir (7).

Çimento içerisinde bulunan alçıdan dolayı Candlot tuzu (Ettringite, Çimento Basılı) priz ve sertleşme esnasında da oluşmaktadır. Hidratasyon sırasında oluşan Candlot tuzunun sınırlı olması ve başlangıçta betonun deformasyon yapma kabiliyetinin büyük olmasından dolayı zarar oluşmamaktadır. Beton yeterli dayanımı kazandıktan sonra, ortamdaki sülfat iyonunun etkisi sonucu oluşan tuz çok büyük tahrip kuvvetine sahip bulunmaktadır. Sülfat iyonunun etkilediği betonun harap olma durumunun şiddetli ve karakteristik olduğunu ileri süren Bied (6) bu etkiyi "Beton, bombaya maruz kalmış bir cismin görünüşüne sahiptir." diye açıklamaktadır. Bu karakteristik korozyon Resim:2.1'de görülmektedir (8). Yeraltı suyu ve zemininde bulunan sülfat iyonunun etkinlik dereceleri için verilen değerler Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (7,9).



Resim: 2.1. Sülfat iyonunun beton üzerindeki karakteristik etkisi

Çizelge 2.1. Zemin ve suda bulunan sülfat iyonunun zararlı etkinlik derecesi için sınır değerler.

Etkinlik Derecesi	Hafif	Şiddetli	Çok Şiddetli
Suda SO_4^- (mg/l)	200 ~ 600	600 ~ 3000	> 3000
Zeminde SO_4^- (%)	0,10 0,20	0,20 ~ 0,50	> 0,50
Zeminde SO_4^- (mg/kg)	2000 ~ 5000	> 5000	-

Betonda sülfat korozyonunun şiddeti, sülfat iyonunun konsantrasyon derecesine, çimento içindeki bileşenlere, sülfat iyonunun oluşturacağı bileşimin cinsine ve miktarına, betonla temas süresi ve şekline (ıslanma-kuruma) bağlıdır. Sodyum ve kalsiyum sülfatla korozyona uğrayan beton yumuşamakta, magnez-

yum sülfaat ile ise beton yüzeyinde sert bir kabuk oluşarak parçacıklar şeklinde bozulma olmaktadır (6,10).

Sülfaat etkisi etkin madde konsantrasyonu ile artmakta birlikte $MgSO_4$ için %0.5, Na_2SO_4 için %1 değerinden itibaren artış yavaşlamaktadır (7).

Kılcal yolla yeraltı su seviyesinin üstündeki yapı bölümlerine taşınan suyun buharlaşması sonucu konsantrasyon giderek artmakta ve zararlı etkinlik derecesi tahmin edilenin çok üstüne çıkmaktadır. Kılcallık yolu ile yükselen suyun betonda yaptığı etki Resim 2.2'de verilmektedir (8).



Resim: 2.2. İtalya'daki bir köprüde betonarme korozyonunun ilerlemiş durumu.

Çeşitli tuz bileşiklerini oluşturan iyonların bileşim değerleri Çizelge: 2.2'de verilmektedir (8).

Çizelge: 2.2'nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi $CaSO_4$ 'ün %70.6'sını sülfaat iyonu oluşturmaktadır. Suda 2 g/l gibi çok fazla çözünebilen $CaSO_4$ 'ün 0,21 g/l'den fazla bulunması halinde zararlı etki başlamaktadır (6).

Çizelge: 2.2. Çeşitli tuz bileşiklerini oluşturan iyonların bileşim değerleri.

Ca SO ₄ 1000	Ca 294	SO ₄ 706	CaO 412	SO ₃ 588
Na ₂ SO ₄ 1000	2 Na 324	SO ₄ 676	Na ₂ O 436	SO ₃ 564
Mg SO ₄ 1000	Mg 202	SO ₄ 798	MgO 335	SO ₃ 665
Na Cl 1000	Na 393	Cl 607		
Mg Cl ₂ 1000	Mg 255	2 Cl 745		

Na₂SO₄ kalsiyum alüminat hidratlara etkimektedir. Ortamda MgSO₄ bulunduğu takdirde sülfat iyonu kalsiyum silikat hidrata da etkimektedir. Bu etkiye Mg (OH)₂'in ve SiO H₂O bileşiğinin çözünürlülüğü düşük olduğu için reaktanlardan biri tükenene kadar devam etmektedir; sonuçta ortamda magnezyum iyonunun bulunması sülfat iyonunun etkisini daha da şiddetlendirmektedir (7).

Beton içinde bulunan gözeneklerde oluşan CaSO₄, CaSO₄ 2H₂O, MgSO₄ 10H₂O, Na₂SO₄ bileşikleri yüksek kristalizasyon basıncına sahip bulunmaktadır. Bu basıncın artması sonucu beton çatlamakta ve tahrip olmaktadır (5).

Ortamın rutubetli, sıcaklığın +4°C civarında bulunması, çimentodaki alümin miktarının % 0,4 - %1 arasında olması ve ortamda bulunan jipsin de %1'den büyük bir değer alması halinde ise sülfatlı bir bileşim olan Thaumasite minerali oluşmakta ve betonu iki hafta gibi kısa bir sürede tahrip etmektedir (6).

Ülkemizde, fazla miktarda sülfat iyonu içeren zemine sahip alanlar bulunmaktadır. Bu alanlarda inşa edilecek yapılarda kullanılacak olan çimentonun bulunması sorun olmuştur. Ülkemizde üretilen çimentoların sülfata karşı dayanıklılığını belirlemek ve sülfatlı cüruf çimentosu üretiminde kullanılacak olan

cürufun saptanması amacı ile yapılan bir araştırmada Kocaçıtak (10), üretilen çimentoların sülfata karşı dayanıksız olduğunu, Karabük cürufu kullanılarak üretilen çimentonun uygun olacağını; ancak %80'den az cüruf içeren çimentoların da aşırı sülfat korozyonuna dayanıklı olmayacağını belirtmektedir.

2.2. Klor İyonu İle İlgili Çalışmalar

Suların kimyasal yönden en zararlı bileşenleri sülfatlardır. Saf NaCl, CaCl₂ ve KCl'ün betona zararlı bir etkisi olmamaktadır. Su içerisinde az miktarda CaCl₂'ün bulunması betonun prizini çabuklaştırmakta ve sonuçta mukavemet artışını hızlandırmaktadır. Bazı hallerde, özellikle sodyum ile birlikte klorürlerin bulunması sülfatların çözünürlüğünü, dolayısı ile sülfat iyonunun oluşturacağı hasarı azaltıcı etki yapmaktadır. Bu etkilere karşılık CaCl₂ konsantrasyonu yüksek olan sular beton için belirli derecede zararlı olmaktadır.

Su içerisinde bulunan klor iyonu, su seviyesindeki değişimler sonucu zemin profilinde CaCl₂'ü oluşturarak çökelmektedir. Betonda bulunan kirecin yıkanarak azalması ve kılcal yolla boşluklarda CaCl₂'ün kristalleşmesi bir iç basınç doğmasına neden olmaktadır (7).

İçeriğinde NaCl ve CaCl₂'ü çok fazla bulunduran bir çözelti olarak tanımlanan Salamura'nın belirli bir bileşimi yoktur. Bu çözelti betonda, gerekli önlemler alınmadığı takdirde çok hızlı bir şekilde hasara neden olmaktadır (6).

Klorürlerin zararlı etkisi $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaCl_2 \cdot 10H_2O$ (kalsiyum klora alüminat) oluşması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. NaCl ve KCl, betona zararlı etki yapmamakla birlikte bu tür klorürler iyon değiştirme yolu ile zararlı etkilerini göstermektedirler. Sodyum ve potasyum iyonlarını tutan çimentodaki silis jeli, alkali maddelerin konsantrasyonunun zamanla artmasıyla hidrate halinde çözeltiliye karışmakta ve bunun sonucunda da ayrışma başlamaktadır. MgCl₂'ün su içindeki konsantrasyonu %5 - 15 arasında olduğu zaman, betonlar devamlı bir şekilde tahrip olmaktadır. MgCl₂ ayrıca HCl asidini oluşturarak zararlı etkisini ortaya koymaktadır (6).

Klorürlü çözeltiler en büyük zararlı etkilerini beton içinde bulunan donatıların korozyonuna neden olmakla göstermektedirler. Korozyon sonucu pas tabakası oluşmakta, donatının çapı küçülerek sonuçta donatının taşıyacağı kuvvet azalmaktadır. CaCl_2 'ün etkisinde kalan donatıda oluşan korozyon Resim: 2.3'de görülmektedir (8).



Resim: 2.3. Çelik donatıda CaCl_2 'ün oluşturduğu korozyon.

Beton içerisindeki çeliğin korozyonunu inceleyen Doğan ve Yalçın (11), çeliğin beton içerisindeki korozyon hızının; betonun yapısına, rutubete, pas payı kalınlığına ve ortamdaki klor iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini belirtmektedirler.

Çeliğin korozyonu önemli bir hacim artışı ile birlikte oluşmaktadır. Bu hacim artışı betonun çatlamasına ve dökülmesine neden olmaktadır. Betonarme elemanlarda eleman eksenine paralel ve eleman uzunluğunca meydana gelen çatlakların nedeni, donatı korozyonu olarak gösterilmektedir (6).

2.3. Jips İle İlgili Çalışmalar

Su ile temas eden jipsin ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) çözünmesi sonucu açığa çıkan sülfat iyonu zemin ve sudaki sülfat iyonu konsantrasyonunun yükselmesine neden olmaktadır. Ayrıca jipsin çözünmesiyle, zemin bünyesinde boşluklar ve bu boşlukların sıkışması sonucu oturmalar meydana gelmektedir. Jipsin erime oranı ortamda bulunan NaCl ile artmaktadır (12).

Jips, buharlaşmanın fazla olduğu mevsimlerde bünyesinde bulunan 2 molekül (%20) suyun buharlaşması sonucu hacmi küçülerek anhidrite (CaSO_4) dönüşmektedir. Anhidrit su ile temas ettiği takdirde bünyesine 2 molekül su alarak şişme ve kabarmalar oluşturarak tekrar jipse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dönüşmektedir (12).

Zemin içerisinde bulunan jips, zamanla yeraltı suyunun etkisiyle temel betonunun içerisine işleyerek hacim genişlemesine neden olmaktadır. Ülker (12), %4 ve daha fazla SO_3 içerecek şekilde içine jips işleyen betonlarda tehlikeli derecede şişmelerin olacağını sonuçta betonun bozulup parçalanması ile birlikte taşıma gücünün de azalacağını belirtmektedir.

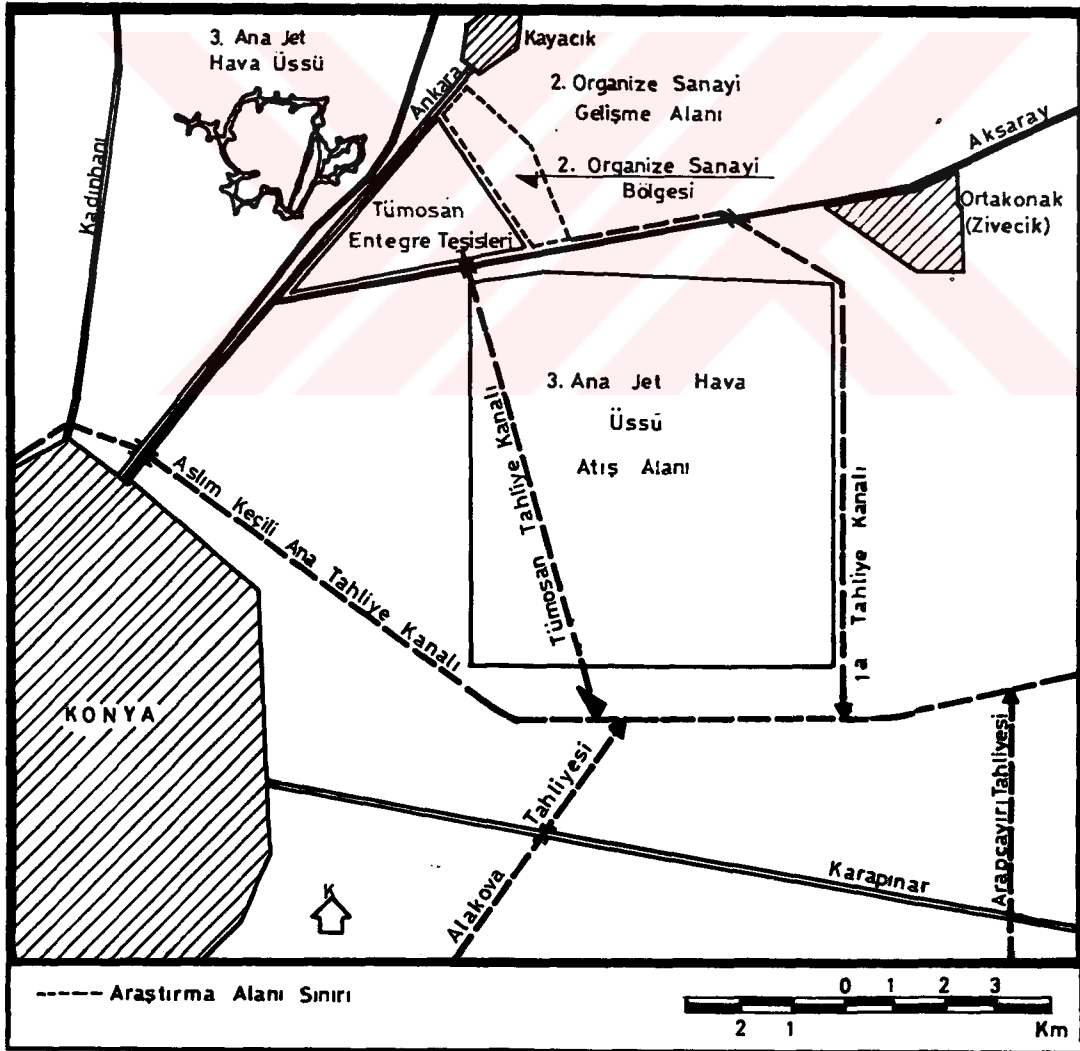
3. MATERYAL VE METODLAR

3.1. Materyal

Bu bölümde araştırma yeri, zemin ve yeraltı suyu ile iklim özelliklerinin yanında beton numunelerinin üretiminde kullanılan malzemelere ait bilgilere yer verilmiştir.

3.1.1. Araştırma yeri, zemin ve yeraltı suyu özellikleri

Konya şehir merkezinin kuzey doğusunda Konya-Ankara ve Konya-Aksaray karayolları arasındaki üçgen alanda bulunan araştırma yeri şehir merkezinden yaklaşık 15 Km uzaklıktadır (Şekil: 3.1).



Şekil: 3.1. Araştırma alanı ve çevresindeki ana tahliye kanalları.

Araştırma yeri toprakları, Konya Kapalı Havzası'nda 164876 ha alana yayılan Hidromorfik Alüvyal toprakların bir kısmını oluşturur. Çok fena drenaj şartlarının hakim olduğu araştırma alanı toprakları, arazi kullanma kabiliyeti yönünden 6. ve 7. sınıf arazi sınıfına girmektedir (2).

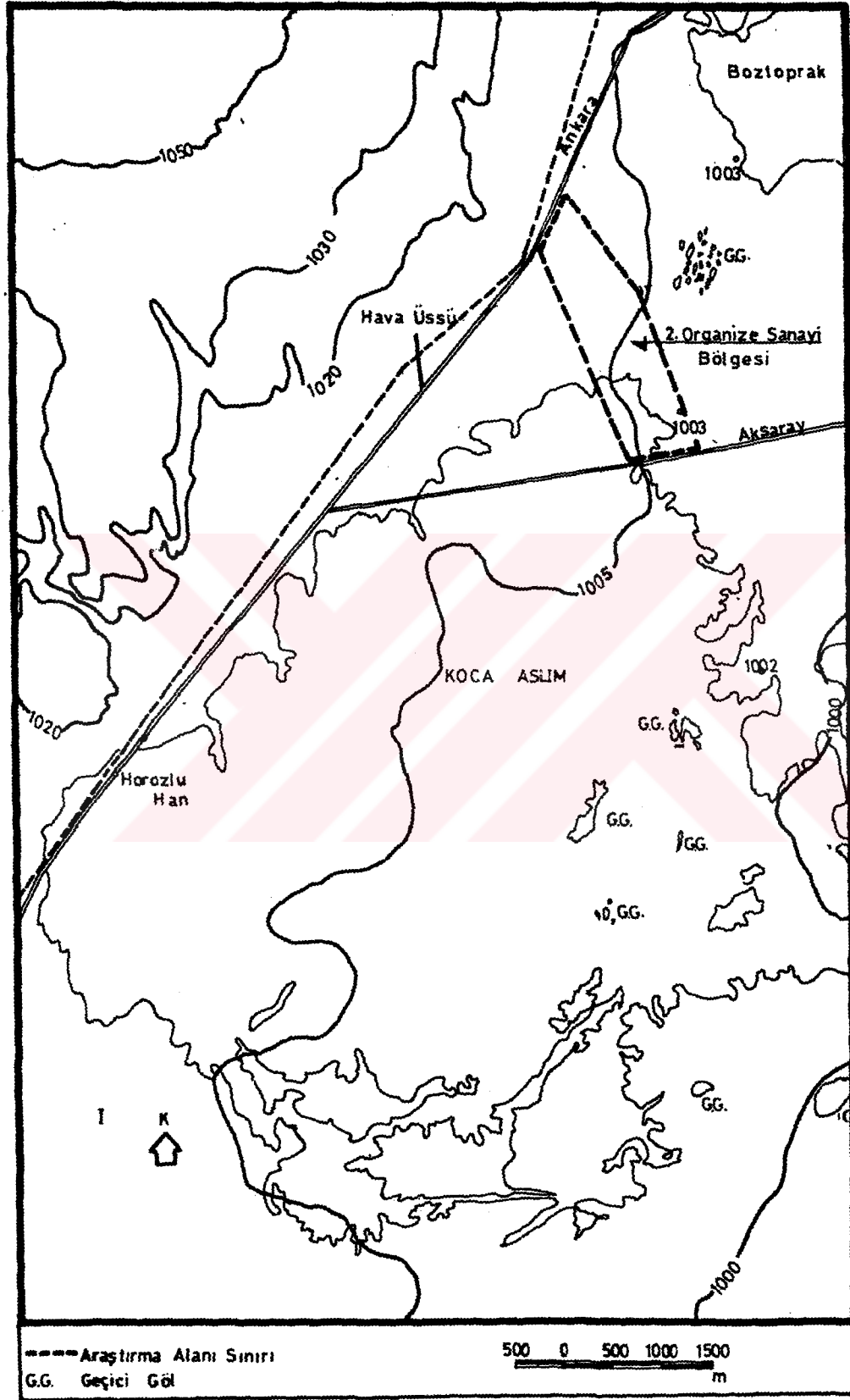
Araştırma alanı, suyu seven ve tuza dayanıklı türlerden oluşan özel bir bitki örtüsü ile kaplıdır. Topoğrafya düz veya iç bükey, meyil düz veya düze yakındır. Deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1004 m'dir (Şekil 3.2). Bölgenin en düşük kota sahip kısmında bulunan araştırma alanı, etrafındaki yüksek alanlardan gelen yeraltı suları ile beslenmektedir. Bu beslenmede yağışlar ile kent merkezinin evsel ve endüstriyel atık sularının da payı bulunmaktadır (2).

Araştırmanın gerçekleştirildiği alanda DSİ tarafından yapılan bir sondaj sonucu zemin profil özellikleri aşağıda verilmiştir (1).

0~1.5 m arası, az siltli, kumlu kil ve kahve renklidir. 1.5~3.0 m arası, az kumlu kil, balçık şeklinde, plastik özellikte ve jips parçaları bulunmaktadır. 3.0~4.5 m. arası kumlu kil (marn özelliğinde), jips parçaları olup açık beyaz renklidir. 4.5 ~6.0 m arası, az kumlu kil, gri renkli ve plastik özelliktedir. 6.0~7.5 m arası, az kumlu kil, gri renkli ve jips içermektedir. 7.5~9.0 m arası, az kumlu kil, gri renkli, plastik özellikte ve jips mevcuttur. 9.0~9.5 m arası, az siltli kumdur. 9.5~10.5 m arası, az siltli kil olup bej renkli ve jipslidir. 10.5~12.0 m arası ise, az kumlu kil, jipsli, beyaz renkli ve plastik özelliktedir. 12.0~12.5 m arası, az kumlu kil, bej renklidir. 12.5~15.0 m arası, az killi kum-çakıl olarak tanımlanmaktadır.

Araştırma iki farklı bölgede gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi Fakülte bahçesinde seçilen deneme alanıdır. Diğeri ise yukarıda bazı özellikleri verilen ve yüksek yeraltı suyunun etkisinde kalan II. Organize Sanayi Bölgesi'nde seçilen deneme alanıdır (Şekil 3.2).

Bu iki farklı bölgede açılan beton numune kuyu yerlerini birbirinden ayırmak ve farklı iki bölgeyi kısaca tanımlamak için Fakülte bahçesinde açılan kuyu yeri Lokasyon 1, II. Organize Sanayi Bölgesinde açılan kuyu yeri ise Lokasyon 2 olarak tanımlanmıştır. İlerideki bölümlerde bu iki farklı bölge Lokasyon 1 ve Lokasyon 2 şeklinde anılacaktır.



Şekil 3.2: Araştırma alanı topoğrafik haritası

Lokasyon 1'de yeraltı suyu sorunu yoktur; Lokasyon 2'de ise deneme başlangıcında yeraltı suyu gözlem kuyusundan alınan su örneğinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge: 3.1'de verilmiştir.

Çizelge: 3.1. Lokasyon 2 'de bulunan yeraltı suyunun kimyasal özellikleri

pH	Elektriksel İletkenlik $EC_2 \cdot 10^6$ (micromhos/cm)	Kasyonlar (me/l)					Anyonlar (me/l)				
		Na	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Toplam	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Toplam
7,30	111050	696,00	8,80	58,00	526,10	1288,70	-	11,87	847,23	429,50	1288,60

4. Sınıf sulama suyunun başlangıç tuzluluk değeri 2250 micromhos/cm, yine 4. sınıf sulama suyunun başlangıç sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) 16 olarak bilindiğine göre, bu suyun elektriksel iletkenlik değeri 111050 micromhos/cm'dir. SAR değeri ise 40.94 olarak hesaplanır. Bu sayısal veriler bize deneme alanı yeraltı suyunun aşırı derecede düşük kaliteli bir su olduğunu göstermektedir.

3.1.2. İklim özellikleri

Araştırma alanının özel iklimi yoktur, alan İç Anadolu İklimi'nin etkisi altındadır. Yazlar kurak ve sıcak, kışlar yağışlı ve soğuk geçer. Yıllık ortalama yağış 332.70 mm, yıllık ortalama buharlaşma ise 1173.10 mm'dir. Yıllık ortalama nisbi nem %59.83'dür.

Bazı önemli iklim elemanlarının çok yıllık ortalamaları Çizelge: 3.2'de gösterilmiştir (13). Araştırma yılı olan 1990 yılına ait değerler ise Konya Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanarak aynı çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.2- Konya ili'ne ait bazı meteorolojik değerler

Çok yıllık ortalama												
Meteorolojik Elementler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.3	1.7	5.3	11.0	15.8	19.8	23.2	22.8	18.0	12.3	6.5	1.8
Ortalama Yağış (mm)	40.9	34.8	39.8	30.2	43.6	25.4	7.0	5.5	11.4	30.2	28.4	35.5
Ortalama Buharlaşma (mm)	21.4	32.0	66.1	103.2	117.5	146.3	201.8	202.5	138.0	81.9	39.5	22.9
Ortalama Nisbi Nem (%)	78	74	65	57	56	49	41	40	47	59	72	80
Araştırma yılına (1990) ait değerleri												
Ortalama Sıcaklık (°C)	-4.5	-0.2	5.8	10.1	13.8	19.3	23.7	21.3	17.4	12.0	7.6	2.4
Ortalama Yağış (mm)	9.2	24.9	3.0	17.1	41.4	8.0	0.2	-	25.7	27.3	22.5	51.7
Ortalama Buharlaşma (mm)	-	-	-	16-30 Nisan 27.7	69.9	129.7	168.3	149.4	104.2	68.2	1-10 Kasım 11.8	-
Ortalama Nisbi Nem (%)	76.4	77.8	55.4	58.1	60.8	47.3	42.7	40.6	48.3	55.6	71.4	78.1
Ocak, Şubat, Mart, Aralık aylarında buharlaşma ölçülmemiştir. 16-30 Nisan, 1-10 Kasım tarihleri arasında buharlaşma ölçülmüştür.												

3.1.3. Beton karma suyu, çimento ve agrega özellikleri

Beton; çimento, agrega ve suyun uygun oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Araştırmada kullanılan beton numunelerinin hazırlanmasında beton karma suyu olarak kullanılan su, şehir şebekesinden sağlanmıştır. Bu suya ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Beton karma suyu olarak kullanılan şehir şebeke suyunun kimyasal özellikleri

pH	Elektriksel İletkenlik $EC_a \cdot 10^6$ (micromhos/cm)	Katyonlar (me/l)					Anyonlar (me/l)				
		Na	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Toplam	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Toplam
7,65	790	1,60	0,20	4,00	3,80	9,60	-	6,40	0,70	2,50	9,60

Araştırmada kullanılan beton numunelerinin üretiminde katkılı Portland Çimentosu (KPC 325) kullanılmıştır. Kullanılan çimentodan alınan numunelerin, Konya Çimento Sanayi A.Ş. laboratuvarlarında TS 19'a (14) uygunluğu araştırılmıştır. Bu araştırma sonucu elde edilen değerler, standard değerleri ile birlikte Çizelge 3.4'de verilmiştir.

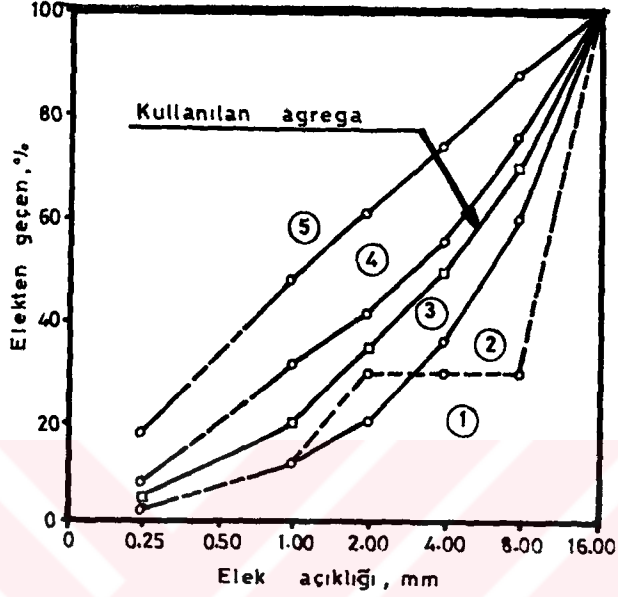
Çizelge: 3.4'ün incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, TS 19 değerleri ile numune değerleri büyük bir benzerlik içerisindedir.

Beton numunelerinin hazırlanması sırasında doğal agrega ocaklarından elde edilen agrega kullanılmıştır. Betonlarda kullanılacak olan agreganın granülometri eğrileri, en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak Şekil: 3.3'de gösterilmiştir (15,16). Kullanılacak olan agreganın tane dağılımı, 3 numaralı bölge uygun bölge olduğu için bu bölgede bulunacak şekilde seçilmektedir. Bu olmadığı takdirde 4 numaralı bölge, zorunlu durumlarda ise 2 numaralı bölgeye düşen (kesikli) tane dağılımları da kullanılabilir (16).

Çizelge 3.4- Araştırmada kullanılan çimentoya ait değerler ile TS19'da aranan değerler

Özellik		TS 19'da İstene Değerler	Araştırmada Kullanılan Çimentoya Ait Değerler
Kükürtdioksit (SO ₃) En çok %		3,50	3,45
Magnezyumoksit (MgO) En çok %		5,00	2,07
Kızdırma Kaybı En çok %		4,00	1,99
Çözünmeyen Kalıntı En çok %		10,00	8,64
Priz	Başlama Süresi	≥ 1 saat	3 saat 16 dak.
	Sona Erme Süresi	≤ 10 saat	4 saat 26 dak.
Hacim Genişlemesi		≤ 10 mm	4 mm
200 Mikron Elek Üzerinde kalan		≤ % 1.0	% 0,4
90 Mikron Elek Üzerinde kalan		≤ % 14.0	% 9,1
Özgül Yüzey		≥ % 2400 cm ² /g	2900 cm ² /g
Basınç Dayanımları (kg/cm ²)	7 Gün	210	228
	28 Gün	325	348
Eğilmede Çekme Dayanımları (kg/cm ²)	7 Gün	40	49
	28 Gün	55	65

Doğal agregada ocağından sağlanan agregada yıkanarak elenmiş ve elek çaplarına göre ayrı ayrı depolanmıştır. Daha sonra, tane dağılımı 3 numaralı bölgede kalacak şekilde kullanılacak olan agregada elde edilmiştir.



Şekil: 3.3. Karışık agregada ve araştırmada kullanılan agregada granülometri eğrileri

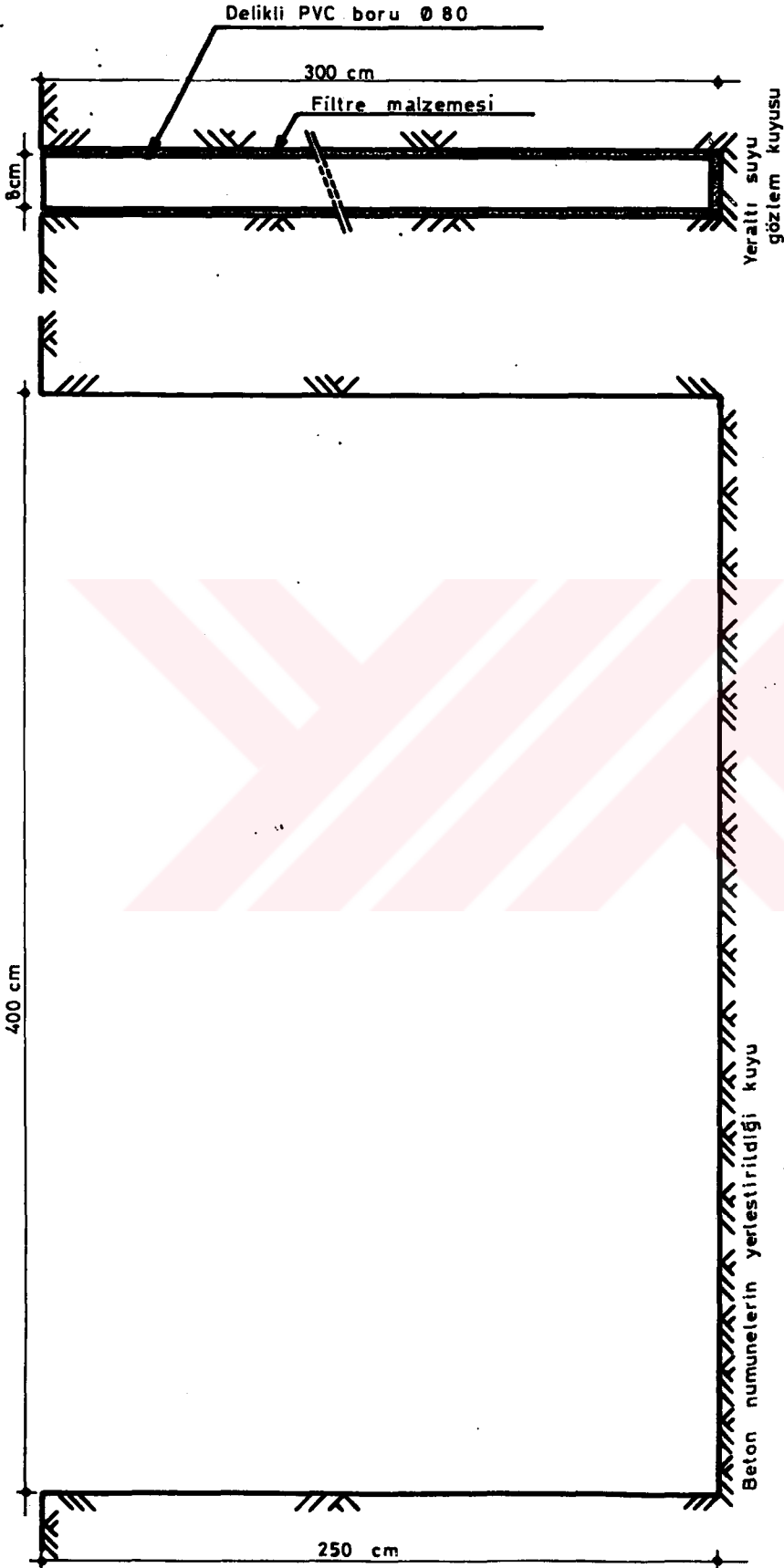
3.2. Metotlar

Bu bölümde araştırma verilerini elde etmek amacıyla ile arazi koşullarında beton numune ve yeraltı suyu gözlem kuyularının açılması, beton numunelerinin kuyulara yerleştirilmesi, deneme konularına göre kuyulardan çıkartılan beton numunelerinin basınç dayanım testlerinin yapılması, toprak ve yeraltı suyu numunelerinin alınması yanında laboratuvarında ve verilerin değerlendirilmesinde uygulanan metotlara yer verilmiştir.

3.2.1. Arazi çalışmalarında uygulanan metotlar

3.2.1.1. Beton numune ve yeraltı suyu gözlem kuyularının açılması

Beton numunelerini yerleştirmek amacıyla ile Lokasyon 1 ve Lokasyon 2'de 2.5 m derinliğinde, 1.5 m genişliğinde ve 4 m uzunluğunda kuyular açılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Lokasyonlarda açılan deney kuyuları

Lokasyon 2'de beton numune kuyusunun hemen yanında 3 m derinliğinde bir gözlem kuyusu açılmıştır. Çapı 8 cm olan delikli PVC boru ile kaplanan bu gözlem kuyusunda PVC boru etrafı kum ve çakıldan oluşan bir filtre malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil: 3.4). Bu gözlem kuyusunda bir aylık periyotlarla yeraltı suyu seviyesinin zemin yüzeyinden olan uzaklığı ölçülmüş ve yeraltı suyunun kimyasal analizini yapmak üzere yeraltı suyu numuneleri alınmıştır.

Lokasyon 1'de yeraltı suyu sorunu olmadığından, açılan beton numune kuyusu yanına yeraltı suyu gözlem kuyusu açılmamıştır.

3.2.1.2. Deneme konularına göre beton numunelerin kuyulara yerleştirilmesi ve çıkarılması

Beton numune kuyularından numunelerin çıkartılma süresi deneme konularını oluşturmuştur. 28 günlük beton numuneler kuyuların tabanına ve birbirlerine değmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu yerleştirmenin yapıldığı günden itibaren 1,2,3,4,5,6,7 ve 8 ay sonra her defasında kuyulardan 6 adet numune alınarak basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Bu şekliyle deneme 8 konudan oluşmuş ve her konu için 6 numune test materyali olarak kullanılmıştır.

Lokasyonların her birisine başlangıçta $6 \times 8 = 48$ adet beton numunesi yerleştirilmiş ve numunelerin üzeri kazılan malzeme ile profil sırasına göre doldurulmuştur.

Bir aylık periyotlarla bu kuyular tekrar açılmış ve her seferinde 6 numune alınarak kuyu tekrar doldurulmuştur.

Kuyuların doldurulmasında ve açılmasında Ekskavatör'den yararlanılmıştır.

3.2.1.3. Toprak ve su numunelerinin alınması

Arazide her iki lokasyonda da kuyu yerleri belirlendikten sonra, kuyu merkezinden 0-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm, 150-200 cm ve 200-250 cm profil derinliklerini temsil eden toprak örnekleri alınmıştır. Deneme başlangıcında alınan bu numuneler deneme sonunda da aynı derinliklerden alınarak laboratuvara

getirilip bazı fiziksel ve kimyasal analizlere tabi tutulmuşlardır. Lokasyon 1 zeminini sorun içermediğinden deneme sonunda toprak numunesi alınmamıştır.

3.2.2. Labaratuvar çalışmalarında uygulanan metotlar

3.2.2.1. Toprak ve yeraltı suyu numunelerinin analiz metotları

Bütün kimyasal analizler, lokasyonlardan deneme öncesi ve sonrası alınan toprak, Lokasyon 2'den ise her ay alınan yeraltı suyu numunelerinde yapılmıştır.

Yapılan ön çalışmada Lokasyon 2'ye ait toprak numunelerinde fazla miktarda jips belirlendiğinden jipsin çözünürlüğünü önlemek için, gerek deneme öncesi gerek deneme sonrası alınan toprak numuneleri analizlerden önce alkol ile muameleye tabi tutulmuştur. Lokasyon 2'de deneme sonunda 200-250 cm derinlikten alınan toprak numunesinin tamamına yakını jips olduğundan analizi yapılmamıştır.

Lokasyon 2'de bulunan yeraltı suyunun içerdiği anyon ve kation miktarlarının çok fazla olması nedeniyle, yeraltı suyu numuneleri analizlerden önce 1/50, 1/100 ve 1/500 oranında seyreltilmiştir.

Elektriksel iletkenlik: Yeraltı suyu ve toprak numunelerinin saturasyon ekstratından elektriksel iletkenlikleri ölçülmüştür. Ölçmede Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Labaratuvarı Metod 4a ve Metod 72 kullanılmıştır (17).

pH: pH belirlenmesi, toprak numuneleri saturasyon ekstratında ve yeraltı suyu numunelerinde yapılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Labaratuvarı Metod 21c kullanılmıştır (17).

Kalsiyum ve magnezyum: Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının saptanmasında Versenat metodundan yararlanılmıştır (17).

Sodyum ve potasyum: Sodyum ve potasyum iyonlarının belirlenmesi Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı'nın Metod 10a ve 11a'da belirttiği Flame Fotometre ile yapılmıştır (17).

Klor ve sülfat: Klor ve sülfat iyonlarının saptanması sırasıyla gümüş nitrat titrasyonu (Metod 13) ve baryum sülfat olarak çöktürme yoluyla (Metod 14a) yapılmıştır (17).

Karbonat ve bikarbonat: Karbonat ve bikarbonat iyonlarının tayinleri Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı Metod 12'de verilen sülfirik asit titrasyonu ile yapılmıştır (17).

Katyon değiştirme kapasitesi ve değişebilir sodyum: Katyon değiştirme kapasitesi ve değişebilir sodyum toprak numuneleri saturasyon ekstratında sırası ile Metod 19 ve Metod 18'e göre amonyum asetat ile belirlenmiştir (17).

Jips: Toprağın içerdiği jips, Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı'nın Metod 22c'de verdiği seyreltme ile kalsiyum, magnezyum artırma yolu ile belirlenmiştir (17).

3.2.2.2. Beton numunelerinin hazırlanması

Araştırmada 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde beton numuneler kullanılmıştır (18). Bu boyutlardaki numune üretimi için iç çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan PVC boru parçaları kalıp olarak kullanılmıştır.

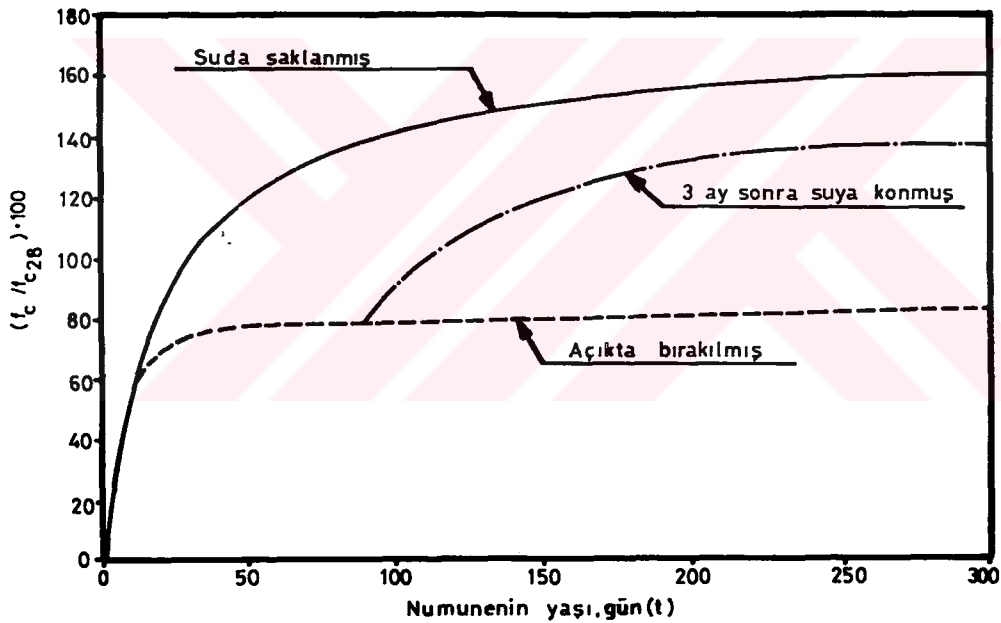
Numuneleri emniyetle üretebilecek şekilde agrega, su ve çimento temin edilmiştir. Su/Çimento oranı, BS16 (160 kg/cm²) sınıfı beton elde etmek için 0.55 olarak alınmıştır. Numune üretiminde kullanılan agreganın en büyük tane çapına (16 mm) ve çökme değeri 2-5 cm alınarak 1 m³ beton için gerekli su miktarı (185 kg), çimento miktarı da (350 kg) hesaplanmıştır (16,19).

Yukarıda belirtilen miktarlardaki agrega, su ve çimento betoniye de karıştırılarak elde edilen beton hamuru, kalıplara olabildiğince 3 eşit miktarda olmak üzere yerleştirilmiştir. Her yerleştirme işleminden sonra demir çubuk ile şişlenerek sıkıştırılmıştır.

Hazırlanan beton numuneler 24 saat kalıp içerisinde laboratuvar şartlarında bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda kalıplardan çıkartılan numuneler bütün yüzeyleri serbest su altında kalacak şekilde ve 28 gün süre ile su içinde tutulmuştur.

3.2.2.3. Beton numunelerinin basınç dayanımlarının belirlenmesi

Betonun en belirgin özelliği basınç dayanımıdır. Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımına göre yapılır. Basınç dayanımı tesbit edilirken küp, prizma veya silindir biçimli numuneler kullanılır (18). Normal şartlarda beton dayanımının başlangıç dayanımına oranı ile zaman arasındaki ilişki Şekil: 3.5'de gösterilmiştir (19).



Şekil 3.5. Beton dayanımının başlangıç dayanımına oranı ile zaman arasındaki ilişki.

Şekil: 3.5 incelendiğinde, betonun basınç dayanımının çok büyük bir kısmını ilk 28 günde kazandığı görülür.

Betonların en karakteristik dayanımı 28 günlük dayanımıdır. TS 500'de (20) beton sınıflaması, karakteristik dayanım temel alınarak yapılmıştır. Araştırmada kullanılan BS16 beton sınıfı için verilmiş olan bazı değerler Çizelge 3.5'de verilmektedir.

Çizelge: 3.5. BS16 silindir deney numunelerinin sahip olması istenen basınç dayanım değerleri.

fck, Karakteristik basınç dayanımı (kg/cm ²)		160
Silindir deney numunelerinin basınç dayanımları	fc tek numune en az (kg/cm ²)	fck - 30 130
	fcm ortalama (kg/cm ²)	200
	\bar{f}_{cm} ortalama (kg/cm ²)	en az 190

28 gün laboratuvarında bakımı yapılan numunelerden tesadüfen seçilen 6 tanesine bu sürenin sonunda, ayrıca her ay periyodik olarak Lokasyonlardan getirilen 12 tane beton numunesine basınç dayanım testi uygulanmıştır.

Bu numunelere çimento alçı karışımı 5 mm kalınlığında başlık yapılarak, 23°C ± 2°C sıcaklıkta açıkta 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda numuneler prese yerleştirilmeden önce çapları ölçülerek basınca maruz kesit alanı (cm²) hesaplanmıştır.

Numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesinde 50 tonluk, hidrolik ve elle kumandalı pres kullanılmıştır.

Basınca maruz yüzey alanı hesaplanan beton numuneler prese yerleştirilerek yükleme yapılmıştır. Yükleme, darbe etkisi yapmayacak bir şekilde ve sabit bir hızla numune kırılıncaya kadar devam edilmiştir. Yükleme hızı yaklaşık 2.5 kg/cm²/saniye civarında tutulmuştur. Prese yerleştirilen numunenin kırıldığı an pres ibresinin gösterdiği yük (kg) okunmuştur. Alan (cm²) ve yük (kg) varlığında numunelerin basınç dayanımı;

$$f_{ct} = \frac{P}{A} \quad \text{eşitliği ile hesaplanmıştır (21).}$$

Burada:

f_{ct} = Numunelerin basınç dayanımı, kg/cm^2
(t indisi beton deney numunesinin yaşını gösterir)

P= Kırılma yükü, kg

A= Deney yükü uygulama yönüne dik deney numunesi kesit alanı,
 cm^2 'dir.

3.2.3. Araştırmadan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde uygulanan metotlar

Lokasyon içi elde edilen değişik verilerin birbiri ile karşılaştırılmasında t testi, Lokasyonlar arası verilerin karşılaştırılmasında varyans analizi uygulanmıştır (22).

Gerek Lokasyon içi gerekse Lokasyonlar arası değişkenler arasındaki ilişkinin önemli olup olmadığını belirlemek için ise regresyon analizinden yararlanılmıştır (23).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Bu bölümde toprak ve yeraltı suyu analiz sonuçlarına ayrıca beton numunelerin basınç dayanımlarına yer verilmiştir.

4.1. Toprak Numunelerinin Analiz Sonuçları

Lokasyon 1'den deneme başlangıcında, Lokasyon 2'den deneme başlangıcı ve deneme sonunda alınan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1'in incelenmesinden de anlaşılacağı gibi; Lokasyon 1 adı ile anılan Fakülte bahçesinde açılan beton numune kuyusu toprak profilinin tüm katlarında pH değerleri 7.5~7.7 arasında değişirken elektriksel iletkenlik değeri 4 milimhos/cm'nin altında kalmıştır. Hakim katyon Mg^{++} hakim anyon ise HCO_3^- olup, 250 cm'lik toprak profilinin tüm katlarında değişebilir sodyum yüzdesi değeri 15'in altındadır.

Lokasyon 2 adı ile anılan II. Organize Sanayi Bölgesi'nde deneme başlangıcında alınan toprak örnekleri analiz sonuçlarına göre; pH profil boyunca 8.2~8.3 arasında, elektriksel iletkenlik değerleri ise 11.42~38.94 milimhos/cm arasında değişmiştir. Aynı lokasyonda değişebilir sodyum yüzdesi 13.41~28.30 arasında değer alırken profil boyunca Na^+ ve Cl^- hakim katyon ve anyon olarak ortaya çıkmıştır.

Elektriksel iletkenlikleri 4 milimhos/cm'den fazla, pH'ları 8.5 civarında ve değişebilir sodyum yüzdeleri 15'den yüksek topraklar tuzlu-sodyumlu topraklar, elektriksel iletkenlik değeri 4 milimhos/cm'den pH'ları 8.5'dan ve değişebilir sodyum yüzdeleri 15'den küçük topraklar normal topraklar olarak adlandırılır (24). Bu tanımdaki değerle lokasyon 1 ve 2'de belirlenen değerler karşılaştırıldığında Lokasyon 1 topraklarında tuzluluk ve sodyumluluk sorunu olmadığı buna karşın Lokasyon 2 topraklarının çok tuzlu ve sodyumlu topraklar olduğu sonucuna varılır. Suda çözünebilir katyonlar ve anyonlar Lokasyon 2'de Lokasyon 1'den 1132 kat daha fazladır; bu değerleri oluşturan ve betonda korozyonu hızlandıran magnezyum, klor ve sülfat iyonlarının 250 cm'lik toprak profilinin ortalaması

Çizelge 4.1 - Lokasyonlara göre toprakların kimyasal özellikleri

Lokasyon	Numunelerin alınma zamanı	Derinlik (cm)	pH (Çamurda)	Elektriksel İletkenlik $EC_{25} 10^3$ (milihmhos/cm)	Suda Çözünbilir Katyonlar (me/l)				Suda Çözünbilir Anyonlar (me/l)				Değişebilir Na^+ (%)	KDK (me/l)	Bünye			
					Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Toplam	$CO_3^{=}$	HCO_3^-	Cl^-				$SO_4^{=}$	Toplam	
1	Deneme Başlangıcı	0 ~ 50	7,5	0,35	0,08	0,10	0,02	0,02	0,22	-	0,10	0,08	0,04	0,22	-	1,60	25,7	C
		50 ~ 100	7,5	0,50	0,10	0,20	0,02	0,08	0,40	-	0,22	0,15	0,03	0,40	-	1,21	29,7	C
		100 ~ 150	7,6	0,35	0,09	0,13	0,02	0,03	0,27	-	0,16	0,07	0,04	0,27	-	1,74	27,6	C
		150 ~ 200	7,7	0,40	0,09	0,15	0,03	0,04	0,31	-	0,18	0,07	0,06	0,31	-	1,80	26,8	C
		200 ~ 250	7,6	0,45	0,10	0,15	0,02	0,08	0,35	-	0,20	0,10	0,05	0,35	-	1,83	27,2	C
2	Deneme Başlangıcı	0 ~ 50	8,3	11,42	31,00	36,80	162,50	1,90	232,20	-	2,39	208,10	22,00	232,49	33,75	13,81	25,31	CL
		50 ~ 100	8,3	24,53	36,50	70,00	182,50	1,90	290,90	-	2,66	211,50	76,00	290,16	41,66	16,00	29,44	CL
		100 ~ 150	8,2	27,68	41,50	62,20	231,00	1,30	336,00	-	3,19	275,00	58,00	336,19	44,00	22,84	24,91	CL
		150 ~ 200	8,2	29,68	41,50	85,50	311,75	1,80	440,55	-	3,20	340,00	97,00	440,20	47,00	23,20	40,37	CL
		200 ~ 250	8,3	38,94	52,00	91,00	314,00	1,90	458,90	-	3,90	375,00	80,30	459,20	60,25	28,30	45,89	CL
Deneme Sonu	0 ~ 50	8,1	29,20	24,00	81,92	213,75	1,25	320,92	-	1,82	262,50	56,58	320,90	36,41	15,19	20,84	CL	
	50 ~ 100	8,1	28,20	46,50	78,90	193,75	1,10	320,25	-	1,82	250,00	68,40	320,22	74,66	9,00	21,54	CL	
	100 ~ 150	8,4	32,60	50,00	103,90	201,25	0,99	356,14	-	1,59	295,00	59,51	356,10	82,66	18,62	21,36	CL	
	150 ~ 200	8,5	36,90	55,50	107,90	237,50	1,03	401,93	-	2,66	335,00	69,24	401,90	225,80	36,69	21,42	CL	
	200 ~ 250	Tamama yakını Jips olduğundan analiz edilmiştir.																

olarak 2 nolu lokasyonda 1 nolu lokasyona göre sırası ile 470, 3000 ve 1500 kat fazla olduğu görülür (Çizelge 4.1).

Lokasyon 2'de deneme öncesi ve sonrası belirlenen değerler karşılaştırıldığında deneme sonu belirlenen değerlerin daha yüksek olduğu görülür. Özellikle profilin 0-100 cm derinliğinde görülen bu artışları Yılmaz (25), bölgede özellikle buharlaşmanın çok fazla olduğu yaz aylarında üst toprağın suyunu kaybetmesine ve alt toprakla arasında oluşan nem potansiyeli farkından dolayı tuzlu yeraltı suyunun kapilarite ile profil içerisinde yükselmesine bağlamaktadır.

4.2. Yeraltı Suyu Numunelerinin Analiz Sonuçları

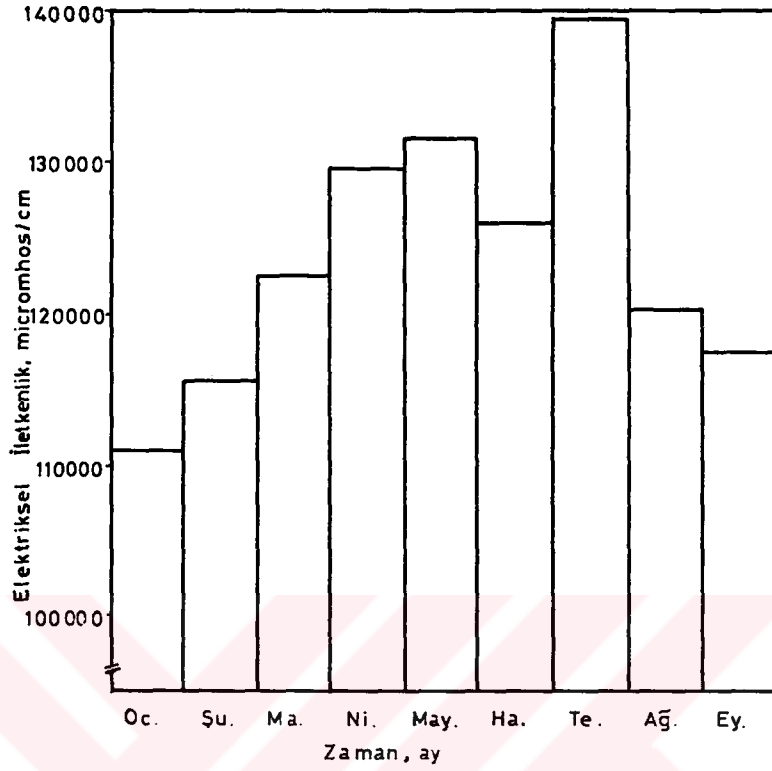
Lokasyon 2'de bulunan yeraltı suyu gözlem kuyusundan alınan su numuneleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge: 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2'nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi, araştırma süresince yeraltı suyu seviyesi 80 cm ~ 235 cm arasında değişmiştir. Kış aylarında oluşan yüksek yeraltı su seviyesi ilkbahar aylarından başlayarak yaz ayları sonuna kadar sürekli olarak zemin yüzeyinden uzaklaşmaktadır. Bu olay bölgedeki yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi meteorolojik elemanlarla açıklanabilir. Çizelge 3.2'de görüldüğü gibi, çok yıllık ortalama yağış değerleri Ocak ayından itibaren ilerleyen aylarda daha küçük değerlere ulaşmaktadır. Azalan yağışla birlikte zemin yüzeyinden derine sızma ve yeraltından beslenmenin azalması yanında aylık ortalama sıcaklık değerlerinin artması zemin yüzeyinden olan buharlaşmayı teşvik etmekte sonuçta yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinden hızla uzaklaşmaktadır.

Yağış azlığı yanında aylık ortalama sıcaklık değerinin yükselmesine paralel olarak ortamda, buharlaşma sonucu sadece yeraltı suyu seviyesi düşmekle kalmayıp yeraltı suyu tuz içeriği de artmaktadır. Bu artış Şekil: 4.1'de de çok açık bir şekilde görüldüğü gibi; sıcak ve kurak yaz aylarında en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Nitekim, Ocak ayı yeraltı suyu elektriksel iletkenlik değeri 111050 micromhos/cm olduğu halde bu değer Temmuz ayında 139525 micromhos/cm değerine yükselmiştir. Bu değişimin doğal sonucu olarak katyon ve anyonların

Çizelge 4.2 - Lokasyon 2 yeraltı suyu kimyasal analiz sonuçları

Numunenin Alındığı Tarih	Su Seviyesi (cm)	pH	Elektriksel İletkenlik $EC_{25} 10^6$ (micromhos/cm)	Kationlar (me/l)				Anyonlar (me/l)					
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Toplam	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Toplam
13 - Ocak 1990	80	7.30	111050	58,0	526,10	696,0	8,80	1288,90	-	11,87	847,23	429,50	1288,60
13 - Şubat 1990	80	7.60	115860	59,8	516,75	724,22	9,18	1309,95	-	12,08	850,13	447,28	1309,49
13 - Mart 1990	85	7.50	122500	65,6	578,50	739,48	9,31	1392,89	-	12,31	852,27	527,79	1392,37
13 - Nisan 1990	98	7.40	129600	68,4	553,25	765,26	9,28	1396,19	-	12,69	840,65	542,81	1396,15
13 - Mayıs 1990	113	7.40	131850	63,9	547,20	790,39	9,23	1410,72	-	12,51	845,37	552,46	1410,34
13 - Haziran 1990	135	7.60	126000	58,2	547,33	779,50	9,10	1394,13	-	12,39	850,87	531,50	1394,76
13 - Temmuz 1990	165	7.20	139525	55,4	582,58	763,61	9,46	1411,05	-	12,21	830,06	568,78	1411,05
13 - Ağustos 1990	220	7.30	120300	52,0	569,25	755,30	9,26	1385,81	-	11,97	828,65	544,70	1385,32
13 - Eylül 1990	235	7.20	117470	52,3	557,30	746,10	9,17	1364,87	-	11,83	821,12	532,25	1365,20

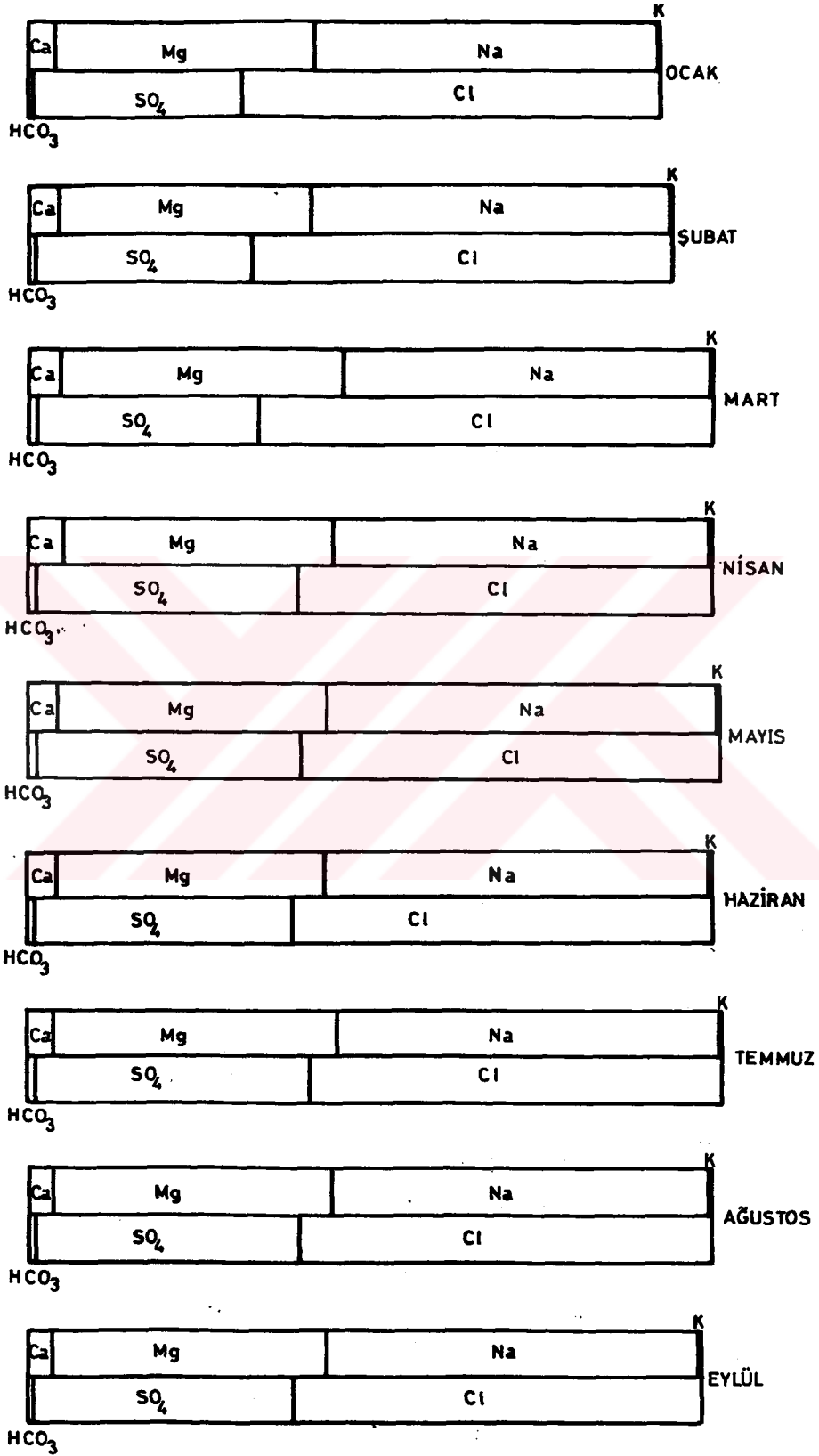


Şekil 4.1: Yeraltı suyu elektriksel iletkenlik değerlerinin aylara göre değişimi

toplam değerinde de değişimler olmaktadır. Nitekim Ocak ayında 1288,90 me/l olan katyonlar toplamı Temmuz ayında 1411,05 me/l değerine kadar yükselmiştir. Bu sayısal değerler Çizelge: 3.3'de verilen beton karma suyu analizinde belirlenen değerle (9.60 me/l) karşılaştırıldığında, araştırma alanı yeraltı suyunun Konya kenti içme ve kullanma suyundan 140 kez daha fazla tuzlu olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yeraltı suyunda bulunan tuzları açık bir şekilde gösterebilmek için Çizelge: 4.2'deki değerlerden yararlanılarak Şekil: 4.2'de verilen Sütun diyagramları hazırlanmıştır.

Şekil: 4.2'de görüldüğü gibi, yeraltı suyunda bulunan hakim tuzlar NaCl ve MgSO₄'dir. Bunlardan NaCl suda erimiş halde bulunan tuzlardan %50'den fazlasını oluşturmaktadır.



Şekil 4.2: Yeraltı suyu sütun diyagramları

Sütun diyağramlarından yararlanarak yeraltı suyunda bulunan tuzlar ve tuzları oluşturan iyonlar mg/l cinsinden Çizelge: 4.3'de gösterilmiştir. Çizelge: 4.3'de görüldüğü gibi yeraltı suyunun 1 litresinde bulunan tuz miktarı 75.2 g ile 83.5 g arasında değişmektedir. Akdeniz deniz suyunun 1 litresinde 38.7 g tuz bulunduğu düşünüldüğünde araştırma alanı yeraltı suyunun tuzluluğunun yüksek olmasının önemi daha da anlaşılmış olur.

4.3. Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı

Lokasyon 1 ve Lokasyon 2 koşullarında değişik sürelerde bekletilen beton numunelere ait basınç dayanım değerleri Çizelge: 4.4'de gösterilmiştir.

Çizelge: 4.4'ün incelenmesinden de anlaşılacağı gibi; 28 günlük numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri 205.84 kg/cm² olup bu değer deneme süresince Lokasyon 1'de numune yaşı arttıkça artış gösterirken Lokasyon 2'de azalma göstermiştir. Deneme sonunda 271 günlük numunelerin ortalama basınç dayanımı değeri Lokasyon 1'de 229.99 kg/cm² olarak saptanırken, Lokasyon 2'de bu değer 65.64 kg/cm² olarak belirlenmiştir.

Deneme süresince sürekli olarak Lokasyon 1'de görülen basınç dayanımı artışı ile Lokasyon 2'de görülen basınç dayanımı azalışının önemli olup olmadığını kontrol etmek için regresyon analizi yapılmıştır. Bu amaçla numune yaşı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi tanımlama şansı olan 4 ayrı denklem esas alınmış ve bu denklemler için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge: 4.5).

Çizelge: 4.5'de görüldüğü gibi; Lokasyon 1'deki ilişki en iyi şekilde $f_c = a + bt$ denklemi, Lokasyon 2'deki ilişki ise en iyi şekilde $\ln f_c = a - bt$ denklemi ile tanımlanmaktadır. Bu denklemler için hesaplanan korelasyon katsayıları ise sırası ile $r_1 = 0.985895$ ve $r_2 = -0.995954$ olup 0.01 düzeyinde önemlidir.

Bu sayısal veriler, Lokasyon 1'de beton numune yaşı arttıkça basınç dayanımında önemli artışlar olduğunu, Lokasyon 2'de ise önemli azalmalar olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3 Araştırma alanı yeraltı suyunda bulunan bazı iyonların bileşim değerleri (mg/l)

Bileşim	İyon	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
NaCl	Na	16008,00	16557,06	17008,04	17600,98	18178,97	17928,50	17563,03	17371,90	17160,30
	Cl	40717,00	42266,87	43259,58	44767,71	46237,82	45600,75	44671,19	44185,05	43646,85
MgSO ₄	Mg	4600,44	4794,72	5694,00	5845,20	6012,84	5828,28	6307,08	6056,04	5901,36
	SO ₄	23002,20	23973,60	28470,00	29226,00	30064,20	29141,40	31535,40	30280,20	29506,80
MgCl ₂	Mg	1709,16	1400,76	1241,76	793,32	549,00	747,24	683,88	769,08	790,20
	2 Cl	6765,43	5544,68	4915,03	3140,23	2173,13	2957,83	2707,03	3044,28	3127,88
CaSO ₄	Ca	922,60	954,40	1065,80	1114,20	1027,80	916,20	863,80	800,60	809,40
	SO ₄	3136,84	3244,96	3623,72	3788,28	3494,52	3115,08	2936,92	2722,04	2751,96
Ca(HCO ₃) ₂	Ca	237,40	241,60	246,20	253,80	250,20	247,80	244,20	239,40	236,60
	2 H ₂ CO ₃	961,47	978,48	997,11	1027,89	1013,31	1003,59	989,01	969,57	958,23
KCl	K	343,20	358,02	363,09	361,92	359,97	354,90	368,94	361,14	357,63
	Cl	655,60	683,91	693,6	691,36	687,64	677,95	704,77	689,87	683,17
Toplam tuz (mg/l)		75238,54	76692,50	81959,04	82641,40	83670,20	82496,60	83544,32	81891,01	80674,89

Çizelge 4.4- Farklı lokasyonlarda değişik sürelerde bekletilen beton numunelerde belirlenen basınç dayanım değerleri

Numune yaşı (gün)	Lokasyon	Beton numunelerinin basınç dayanımları (Kg/cm ²)						
		1	2	3	4	5	6	Ortalama
28	Laboratuvar	207.96	207.11	207.40	203.72	206.55	202.30	205.84
59	1	206.55	207.40	206.26	205.98	205.70	205.42	206.22
	2	181.65	175.99	175.42	177.12	172.31	173.73	176.04
87	1	212.21	209.38	211.07	211.36	211.92	211.64	211.26
	2	147.13	148.26	149.39	149.68	149.11	144.30	147.98
118	1	215.04	215.60	215.88	215.32	216.45	216.73	215.84
	2	127.32	127.89	126.75	125.62	121.66	128.17	126.24
148	1	217.02	217.58	214.75	219.85	219.56	214.89	217.28
	2	110.34	115.72	116.30	115.16	115.44	106.95	113.32
179	1	220.69	220.41	220.13	219.85	219.56	221.26	220.32
	2	106.10	106.40	104.12	105.25	103.27	104.41	104.93
209	1	221.54	222.11	221.83	218.17	217.30	222.68	220.61
	2	86.01	85.16	84.60	87.99	86.86	87.43	86.34
240	1	226.35	226.07	225.50	224.66	223.52	224.93	225.17
	2	76.96	79.51	79.79	80.64	80.36	80.92	79.70
271	1	229.18	229.47	229.75	230.03	230.60	230.88	229.99
	2	65.64	64.51	64.80	65.36	66.49	67.06	65.64

Çizelge 4.5: Beton yaşı ile basınç dayanımı ilişkisini tanımlayan denklemler ve korelasyon katsayıları

Denklemler	Korelasyon katsayısı	
	Lokasyon 1 r_1	Lokasyon 2 r_2
$f_c = a \pm bt$	0,985895	-0,976191
$f_c = a \pm b \ln t$	0,938427	-0,992303
$\ln f_c = a \pm bt$	0,985658	-0,995954
$\ln f_c = a \pm b \ln t$	0,942552	-0,962374

Numune yaşı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi gösteren denklemler bu denklemlerden yararlanarak çizilen grafikler Lokasyon 1 için Şekil: 4.3'de Lokasyon 2 için Şekil: 4.4'de gösterilmiştir.

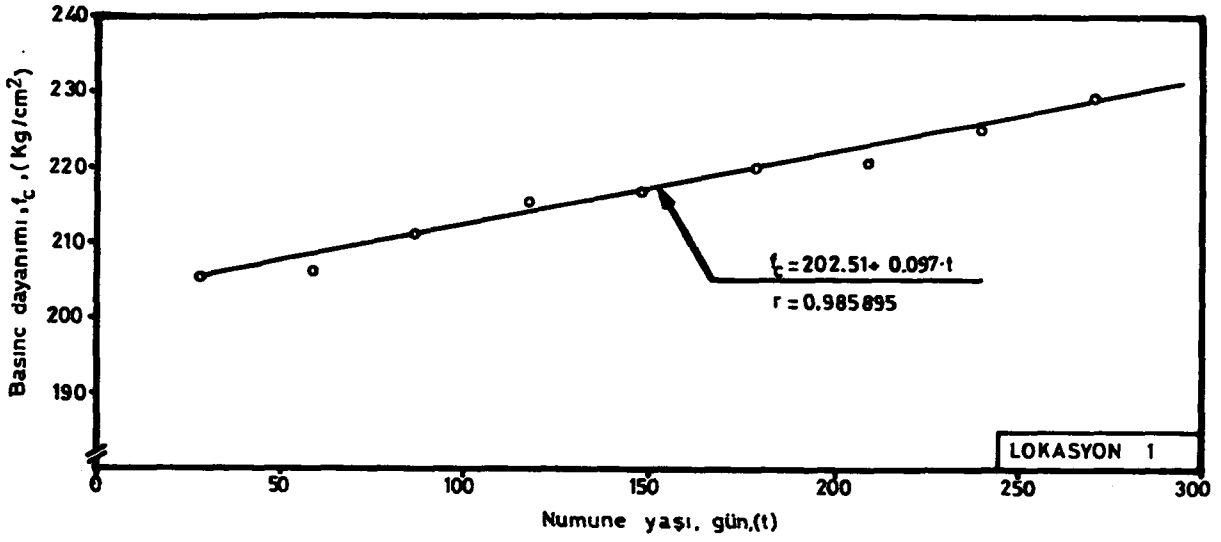
Başlangıç basınç dayanım değerleri aynı olmasına karşın deneme süresince görülen değişmelerin lokasyonlara göre istatistiksel olarak önemli olup olmadığını kontrol amacı ile ortalama değerlerden yararlanarak varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6: Varyans analiz tablosu

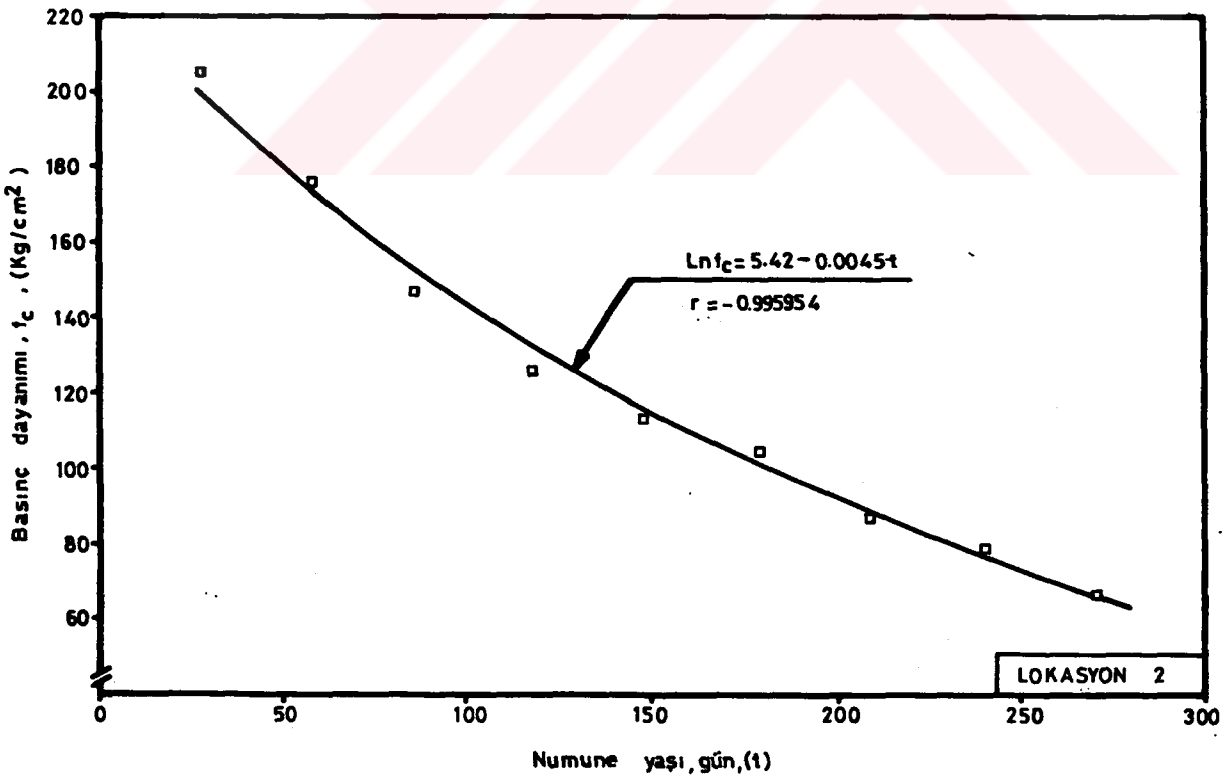
Varyans Kaynakları	Serbestlik derecesi SD	Kareler toplamı KT	Kareler ortalaması KO	Hesaplanan F değeri	Çetvel F değeri	
					0.05	0.01
Lokasyonlar arası	1	39809	39809	35.84	4.49	8.53
Hata	16	17774	1110.88			
Genel	17	57583				

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi; Lokasyonlar arası için hesaplanan F değeri 35.84 olup 0.01 düzeyinde anlamlıdır. Bu durum, başlangıçta birbirine eşit olan basınç dayanım değerlerinin Lokasyon koşullarından önemli derecede etkilendiğini göstermektedir. Bu etkilenmede Lokasyon 1'de görülen basınç dayanım artışından ziyade Lokasyon 2'deki basınç dayanım azalması daha etkili olmuştur. Zira deneme başlangıcı ve değişik yaşlarda belirlenen basınç dayanım değerleri arasındaki farklar Lokasyon 2'de daha fazla olmuştur. Nitekim deneme başlangıç ve bitimi arasında belirlenen basınç dayanım değerleri arasındaki farklar Lokasyon 1 ve 2'de olmak üzere sırası ile 24.15 kg/cm² ve -140.20 kg/cm²'dir.

Betonun zamanla basınç dayanımı kazanması beklenen bir olay olup Lokasyon 1 koşullarının beton basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemediğini göstermektedir. Lokasyon 2'de deneme süresince sürekli azalmaya başlayan basınç dayanım değerleri deneme sonunda başlangıç değerinin yaklaşık 1/3'üne ulaşmıştır. Bu durum Lokasyon 2'nin beton basınç dayanımını azaltıcı ortam koşullarına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3: Numune yaşı basınç dayanımı ilişkisi



Şekil 4.4: Numune yaşı basınç dayanımı ilişkisi

Varılan bu yargıyı Lokasyonlar içi için hesaplanan t istatistiği değerleri de doğrulamaktadır (Çizelge: 4.7).

Çizelge 4.7: Farklı lokasyonlarda bekletilen beton numunelerinin ortalama basınç dayanım değerleri (kg/cm²) ve bunların t istatistiği değerleri

Lokasyon	Beton numunelerinin yaşı, gün (t)								
	28 (1)	59 (2)	87 (3)	118 (4)	148 (5)	179 (6)	209 (7)	240 (8)	271 (9)
1	205.84	206.22	211.26	215.84	217.28	220.32	220.61	225.17	229.99
2	205.84	176.04	147.98	126.24	113.32	104.93	86.34	79.70	65.64

Kontrol	t istatistiği değerleri		Cetvel t değeri	
	Lokasyon 1	Lokasyon 2	0.05	0.01
t ₁₋₂	0.39	18.39**	2.228	3.169
t ₁₋₃	5.31**	46.29**		
t ₁₋₄	10.31**	58.53**		
t ₁₋₅	8.87**	51.12**		
t ₁₋₆	15.08**	96.10**		
t ₁₋₇	11.27**	110.65**		
t ₁₋₈	18.95**	66.04**		
t ₁₋₉	24.90**	138.81**		

** işaretli t değeri 0.01 düzeyinde anlamlıdır.

Nitekim Lokasyon 1'de 87 günlük numunelerde basınç dayanımı yönünden 28 günlüklere göre olumlu yönde önemli farklılık ortaya çıkarken Lokasyon 2'de 59 günde olumsuz yönde önemli derecede farklılık ortaya çıkmıştır.

5. ARAŞTIRMA ALANINDA ALINMASI GEREKLİ ÖNLEMLER

Günümüzde yoğun bir yapılaşmanın görüldüğü II. Organize Sanayi Bölgesi'nde yapılan bu araştırma sonunda, bölge yeraltı suyu ve bu suyun etkisinde uzun yıllar kalan bölge zemininin bileşiminde bulunan bazı iyonların beton/betonarme üzerine çok şiddetli zararlı etki yapacak düzeyde olduğu saptanmıştır.

Beton/betonarme üzerine zararlı etki yapan iyonların başında Mg, SO₄ ve Cl iyonları gelmektedir. Sekiz aylık araştırma süresince bu iyonların konsantrasyonlarının sırası ile 6201 - 6991 mg/l, 20616 - 27301 mg/l ve 29150 - 30255 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir.

Magnezyum ve sülfat iyonlarının klor iyonu ile birlikte bulunması halinde, magnezyum iyonunun 100 mg/l'den, sülfat iyonunun 600 mg/l'den fazla olması durumunda yeraltı suyu betonda çok şiddetli korozyona neden olmaktadır (26).

Yeraltı suyunda bulunan sülfat iyonu, Doğu Alman Normu'na (26) göre 1500 mg/l'yi, Alman Çimento Üreticileri Birliği'ne (8) göre 2500 mg/l'yi ve TS 3440'a (9) göre 3000 mg/l'yi geçmesi halinde beton üzerinde çok şiddetli kimyasal zararlı etki yapmaktadır.

Yine yeraltı suyunda klor iyonunun, Doğu Alman Normu'na (26) göre 1000 mg/l'yi geçmesi halinde şiddetli kimyasal etki başlamaktadır.

Araştırma alanı yeraltı suyu ve zemininde belirlenen sayısal değerlerle literatür değerleri karşılaştırıldığında, araştırma alanı değerlerinin çok şiddetli kimyasal zararlı etkinin başladığı değerlerin çok üzerinde olduğu görülür.

Bu sayısal veriler araştırma alanının, önlemler alınmadan her türlü inşaatın yapımına uygun olmadığını ve yapılan inşaatların da ilerideki yıllarda arzu edilmeyen durumlarla karşılaşabileceğini göstermektedir. Nitekim bölgede yapımı tamamlanarak hizmete giren bazı binalarda görülen çatlaklar ve sıva dökülmeleri ayrıca kanalizasyon şebekesine ait baca elemanlarının parçalanması gelecek için endişeleri artırmaktadır.

Araştırma alanında beton tahribatı üç ana nedene dayandırılabilir (6).

1- Betonların geçirimli olması ve rutubeti emebilmesi,

2- Hidratasyon sonunda serbest kirecin meydana gelmesi,

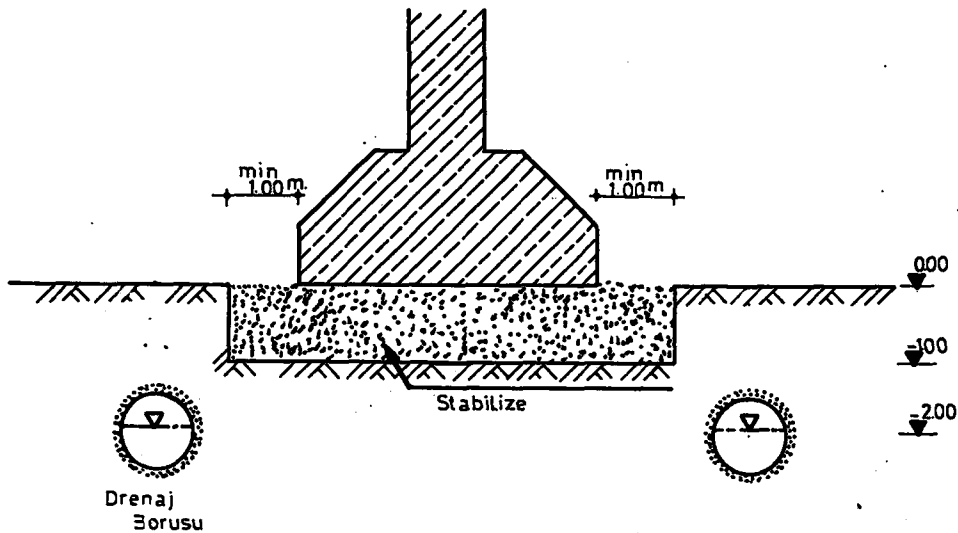
3- Çözeltideki sülfatların ve diğer bazı maddelerin çimentodaki karmaşık bileşimlerle reaksiyon yaparak hacim genişlemesine neden olan tuzların oluşması.

Ortamın betona olan zararlı etkisinin en aza indirilmesi veya yok edilmesi istenirse bu üç olayın meydana gelmesinin önlenmesi gerekir. Unutmamak gerekir ki çeşitli iyonların zararlı etkileri sonucunda tahrip olmuş olan betonun tamiri imkansız olup (27), hasar gören betonun yeniden imal edilmesi gerekmektedir.

Bölgede beton/betonarme yapıların üretimi, bakımı ve korunması bir bütün olarak düşünülürse aşağıdaki önlemlerin alınması, bölgenin özelliği nedeniyle de önlemlerden bir kaçının beraber uygulanmasında yarar görülmektedir.

5.1. Aktif Önlemler

1- Drenaj-İslah: Araştırma alanında yeraltı suyu seviyesi etkin bir drenaj şebekesi ile kontrol altına alınmalıdır. Drenaj şebekesi bütün proje alanına yayılmadığı takdirde Şekil 5.1'de görüldüğü gibi temel pabuçlarının sağ ve solundan drenaj boruları geçirilerek temel emniyete alınmalıdır.



Şekil 5.1. Araştırma alanında önerilen temel yapısı

2- Geçirimsiz Perde: Yapının zemine oturacak olan kısımlarına geçirimsiz perde yapılmalıdır. Bu işlemle yapının su ve zemin ile olan teması önlenebilecektir.

3- Yeraltı suyunun kimyasal ve biyolojik yollardan nötralize edilmesi de düşünülebilir.

4- Betonun katodik koruması da yapılabilir.

5- Yalıtım: Bu işlem pahalı ve uygulaması zor bir tedbirdir. Yalıtımdan amaçlanan, beton yüzeylerinin uygun koruyucu madde ile kaplanması suretiyle beton bünyesine kütle transferinin önlenmesidir. Kaplamanın su içinde bulunan iyonları geçirmemesi ve özellikle dış etkenlere karşı dayanıklı olması istenir. Kaplama maddelerinin, uzun süre içinde çatlama, parçalanma ve dağılması suretiyle etkilerini kaybetmeleri muhtemeldir.

Oluşturulan yalıtım tabakası beton yapı elemanının yüzeyine tam ve iyi yapışacak nitelikte olmalı, zamanla aşınıp çatlayarak geçirimli hale gelmemeli, sıcaklık farklarından ve dondan zarar göreceği nitelikte olmamalıdır. Yalıtımda geçirimsizliği bozacak çatlak ve aralıklar bulunmamalı, yapım sırasında zorunlu olarak oluşacak iş derzlerinde de yukarıda anılan özellikler sağlanmalıdır.

Yalıtım maddeleri çok çeşitli olup başlıcaları şunlardır.

a- Korozyona dayanıklı seramikler ve doğal taşlarla kaplama, zemin içinde kalan elemanların bir kil katmanı ile kaplanması, ahşap ile kaplama, sandviç beton geçirimsizliği düşük yalıtım maddeleridir. Beton yüzeyine basınç altında çimento şerbeti uygulanması veya bitüm içirilmesi de sayılabilir.

b- Magnezyum ve çinko florosilikat.

c- Sentetik reçineler, epoksi esaslı maddeler, akrilik plastikler.

d- Mastik asfalt, emülsiyon asfalt.

e- Petrol ürünü diğer boyalar ve izolasyon maddeleri.

5.2. Pasif Önlemler

1- Çimento Cinsi: Zararlı etkileri önlemede çimento cinsi önemlidir. Portland çimentolarının zararlı etkilere karşı dayanımı çok düşüktür. SO_4^{2-} miktarı, suda 400 mg/l'den fazla, zeminlerde ise 3000 mg/kg'dan fazla ise, sülfat etkisine dayanıklı çimento cinslerinin kullanılması gereklidir (8). Uçucu küllü ve traşlı çimentolar zararlı etkilere bilhassa sülfatın etkisine karşı dayanıklı olmalarına rağmen kesin bir emniyet sağlamazlar.

Araştırma alanında, sülfat iyonunun zararlı etkisine karşı en emin çimento Sülfatlı Cüruf Çimentosu ya da diğer adıyla Süper Sülfat Çimentosu olduğundan bu çimento veya Alüminli Çimento kullanılmalıdır.

2- Betonun Özellikleri: Betonun zararlı kimyasal etkilere dayanıklılığı, zararlı etkili maddelerin betonun içine sızarak girebilme derecelerine bağlı olarak değişmektedir. Bu ise betonun geçirimsizliği ile yakından ilgili olduğundan, zararlı kimyasal etkilere dayanıklılığın sağlanabilmesi için betonun geçirimsizliğinin sınırlanması yoluna gidilir. Bu amaçla elden geldiği kadar yoğun, kompasitesi yüksek ve çimento dozajı belirli bir değerin altında olmayan beton üretilmelidir. Beton kitlesi bazı nedenlerle geçirimsiz hale getirilemiyorsa betonun yüzeyinde bir geçirimsizlik tabakası oluşturulur. Bu da aktif önlemlerden yalıtım kısmına girmektedir.

Üzerinde önemle durulması gereken diğer bir nokta da betonun içine kılcalık yolu ile suyun girmesi veya betonun rutubet emmesidir. Bu olay beton içinde kılcal boruların bulunmasından meydana gelmektedir. Kılcal boruların çapları ne kadar küçükse ve bu borular ne kadar fazla miktarda bulunuyorsa bu yol aracılığı ile beton içine fazla miktarda sıvı girerek zararlı etkisini kolaylıkla göstermektedir. Böyle bir durumun gerçekleşmemesi için kılcal boruların tıkanması gerekmektedir. Betonun yüzeyine sürülecek çözeltilerle veya bir katkı maddesi kullanılarak özel beton ya da hava ile tıkalı beton üretilerek kılcal boruların tıkanması sağlanmaktadır. Ayrıca beton üretiminde gerektiğinden biraz fazla miktarda çimento kullanılmalı ve boyutları küçük taneler karışımında fazla bulunmamalıdır (7).

1 m³ betonda çimento miktarı 350 kg'dan daha küçük bir değer alınmalıdır. Su miktarı su/çimento oranı ağırlıkça hiç bir vakit 0,44 den daha büyük olmamalıdır (6).

İçersinde jips kristalleri bulunan agregalar ile kireç ve kireç bağlantılı kum taşları agregalar olarak kullanılmamalıdır. İçersinde %25'den fazla sülfür ve sülfat bulunduran agregalar kullanılmamalıdır. Agregalar granülometrisi uygun olmalıdır.

Kompozite ve düşük geçirimsizliğin sağlanması halinde betonun söz konusu zararlı etkiye dayanıklı olması beklenir. Ancak beton ilk yaşlarda bu dayanıklılığını kazanmamış olduğundan belirli bir olgunluk derecesine gelinceye kadar (portland ve sülfatlı çimentolarda 14 gün, trash çimentolu betonlarda 21 gün) zararlı ortamlarla temasının önlenmesi gerekir.

Betonun dökümü olabildiğince tek bir iş kademesinde ve ara verilmeden tamamlanmalıdır. Betonun olabildiğince vibratör ile sıkıştırılması tercih edilmelidir. Beton karışımı hazırlanırken geçirimsizliği azaltıcı ve işlenebilirlik özelliğini artırıcı katkı maddeleri kullanılmalıdır. Priz hızını artıran veya azaltan ve priz etkileyen hiç bir katkı maddesi kullanılmamalıdır. Rötrelere çatlaklarının oluşması önlenmelidir. Betonun dökümü peşi sıra betonun bakımına ve kürüne çok özel özen gösterilmeli ve bu konuda yapılacak işlemler yerine getirilmelidir. Beton yapı elemanlarının birbirlerinden derzlerle ayrılması zorunluluğu söz konusu olduğunda, bu derzlerin geçirimsizliği sağlanmalıdır.

Yukarıda önerilen önlemlerin yanında proje aşamasında aşağıdaki önlemlerin alınmasında yarar vardır.

Tasarım aşamasında ve uygulama sırasında yapı elemanlarının yüzey/hacim oranı en aza indirilmelidir. Keskin köşelerden ve derzlerden kaçınılmalıdır. Yapı elemanı kalınlığı belirli bir değerin üstünde olmalıdır (>40 cm). Donatıların pas payı büyük tutulmalıdır (en az 5 cm). Donatı miktarı donatı yüzdesi küçük tutularak hesaplanmalıdır. Kesitlerde donatı miktarının az olmasıyla betonun donatı arasından kolaylıkla geçmesi sağlanacak ve donatılar devamlı bir şekilde betonla sarılmış olacaktır. Temel yapılarında beton kesiti büyütülmeli, pas payı artırılmalı, donatı aralığı büyük tutulmalıdır.

Yapının statik ve betonarme hesaplarında malzemenin emniyet gerilmeleri küçük tutulmalıdır. Çelik emniyet gerilmesi 1400 kg/cm^2 yerine 1000 kg/cm^2 alınmalıdır. Böylece donatının deformasyonu sonucu uzamalar azalacak ve betonun çatlaması büyük ölçüde önlenmiş olacaktır. Beton için alınacak emniyet gerilmesi de, yine aynı nedenden dolayı normal koşullar için kabul edilen değerin $2/3$ 'üne eşit olmalıdır (6). C16 için 160 kg/cm^2 yerine 100 kg/cm^2 alınmalıdır.

Yeterli dayanıklılığı sağlamak amacıyla özel betonlar da yapılabilir.

Bölgede yapılan inşaatlarda bu önlemlerin titizlikle alınması, inşaatların gelecekteki durumları açısından önemlidir. Önlemlerin alınmaması halinde beton yapı elemanlarında ilerideki günlerde hasarın oluşacağı bu araştırma sonucunda belirlenmiş bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1- AĞACIK, G., 1986. Konya II. Organize Sanayi Bölgesi Sülfat Problemi ile ilgili Rapor. DSİ Genel Müdürlüğü. Ankara.
- 2- YILMAZ, T., 1989. II. Organize Sanayi Bölgesi'nde Zeminin ve Zemin Suyunun Yaratabileceği Problemler ve Çözüm Yolları. TMMOB İMO Konya Şubesi Haber Bülteni. Konya. 2: 8-12
- 3- AKÇELİK, N., 1986. Konya II. Organize Sanayi Bölgesi Ayaklı Su Deposu ve Sosyal Tesisler Temel Zemininin Etüdü. TCK Genel Müdürlüğü. Ankara.
- 4- ONÜÇYILDIZ, M., 1989. Zararlı Kimyasal Etkiye Sahip Zemin ve Zemin Suyunun Beton ve Betonarme Üzerine Etkileri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Semineri. Konya.
- 5- ÇAKIR, A.F., 1990. Korozif Ortam Olarak Beton. DSİ Genel Müdürlüğü. Korozyon ve Katodik Koruma Semineri. İznik.
- 6- POSTACIOĞLU, B., 1986. Beton Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- 7- GÜNER, A., 1984. Kimsasal Zararlı Ortamda Beton Üretim-Bakım ve Önlemler. DSİ Genel Müdürlüğü. Beton Semineri. Ankara.
- 8- BICZOK, I., 1968. Betonkorrosion-Betonschutz. Bauverlag GmbH, Wiesbaden, Berlin.
- 9- TS 3440, 1982. Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- 10- KOCAÇITAK, S., 1982. Türk Çimentolarının Sülfata Karşı Dayanımlarının Araştırılması. TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu Proje No 547. Ankara.
- 11- DOĞAN, M., YALÇIN, H. 1989. Çeliğin Beton İçindeki Korozyonu. Korozyon Dergisi. Ankara. 1 3: 125-130.
- 12- ÜLKER, R., GÜMÜŞOĞLU, Ç., 1980. Jipsin Temel Betonuna Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Millî Komitesi Bülteni-ZEMİN. Ankara. 2 3: 105-111.
- 13- Türkiye Gözlem Sonuçları. 1988. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Ankara.
- 14-TS 19, 1985. Portland Çimentoları. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- 15- TS 706, 1980. Beton Agregaları. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- 16- TS 802, 1985. Beton Karışım Hesap Esasları. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- 17- U.S.A. Salinity Laboratory Staff. 1953. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils. U.S.D.A. Agricultural Handbook No: 60.

- 18- TS 3068, 1978. Laboratuvarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- 19- ERSOY, U., 1985. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı. Bızım Büro Basımevi. Ankara.
- 20- TS 500, 1984. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- 21- TS 3114, 1978. Beton Basınç Dayanımı Deney Metodu. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara.
- 22- YURTSEVER, N., 1984. Deneysel İstatistik Metodlar. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları Genel Yayın No: 121 Teknik Yayın No: 56, Ankara.
- 23- MORDECAI, E., 1967. Methods of Correlation and Regression Analysis (Linear and Curvilinear). John Wiley, New York.
- 24- AYYILDIZ, M. 1986. Sulama Suyu Kalitesi ve Sulamada Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No 636, Ankara.
- 25- YILMAZ, T., 1989. Konya Çumra Ovası Sulama Proje Alanında Drenaj Sorunu. Konya Ovaları Projeleri Paneli. Konya.
- 26- TGL 11357, 1963. Beton in Aggressiven Wässern. Amt für Standardisierung, Berlin
- 27- SÖNMEZ, A.Ü., 1990. Betonda Sülfat Korozyonu ve Önleyici Tedbirler. İnşaat Sektöründe PANEL Dergisi. Ankara. 9: 14-28-29.

Dokümantasyon Merkezi