

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ - FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

K. O.
MERKEZ KÜTÜPHANESİ
Dem. No: 10545
Fiyat: 100 —

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ
TOPRAKLARININ
ÇİMENTO VE KİREÇLE
STABİLİZASYONU

Doktora Tezi

İLKİN BALTA
Yüksek Mühendis

Trabzon, 1984

*

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
Şekil Listesi	viii
Tablo Listesi	ix
Kullanılan Simgeler	x
I. GİRİŞ	1
1. Çalışmanın Amacı	1
2. Stabilizasyon-İyileştirme Kavramı	2
3. Benzer Çalışmalar	3
II. GENEL BİLGİLER	4
1. Zemin Özellikleri	4
1. Toprakların Oluşumu (Pedoloji)	4
2. Kil Mineralleri	5
3. Kil Minerallerinin Tanımlanması	8
4. Su-Kil Sistemi	9
2. İyileştirme ve Stabilizasyon	10
1. Genel Tarifler	10
2. Fiziksel Özelliklerde İyileşmeler	11
3. Kil-Su-Kireç Sistemi	12
4. Su-Çimento Sistemi (Hidratlanma)	13
5. Kirecin İyileştirme ve Stabilizasyon Mekanizmaları	14
6. Çimento Stabilizasyonunda Mekanizmalar	16
7. Etkileşim Denklemleri ve Ürünleri	18
8. Etkileşimlerde Bazı Toprak Özellikleri	20
3. Doğu Karadeniz Bölgesi Toprakları	21
1. İklim Özellikleri	21
2. Jeoloji	22
3. Jeomorfolojik Özellikler	24
4. Toprak Özellikleri	25
5. Lateritler ve Lateritik Topraklar	29

III.	YÖNTEM VE MALZEME	31
1.	Malzeme	31
1.	Araştırmada Kullanılan Toprakların Ana Özellikleri	31
2.	Katkı Maddeleri	33
2.	Fiziksel ve Kimyasal Deneyler	33
1.	Su Muhtevası ve Kıvam Limitlerinin Ölçümü	33
2.	Dane Dağılımı ve Özgül Ağırlık	34
3.	Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deneyleri	34
4.	Organik Maddeler ve pH Ölçümü	35
3.	Dayanım Deneyleri	36
1.	Örneklerin Hazırlanması	36
2.	Serbest Basınç ve Çekmeye Dayanımın Ölçümü	38
3.	Minerallerin Tanımlanması	40
IV.	DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	41
1.	Dayanım Deneyleri	41
1.	Sıkıştırma (Kompaksiyon) Özellikleri	41
2.	Katkı Oranının Dayanıma Etkisi	44
3.	Zaman-Dayanım İlişkileri	54
4.	Kuru Birim Hacim Ağırlığı-Dayanım	54
5.	Serbest Basınç ÷ Çekme Dayanımı Oranları	56
6.	Dayanım-Toprak Özellikleri İlişkileri	61
2.	Mineralojik Açıdan İnceleme	65
1.	Örneklerin Mineral Yapıları	65
2.	Katkı Maddelerinin Mineral Yapıları	68
3.	Yeni Ürünlerin Oluşumu	68
4.	Ürün-Dayanım İlişkisi	80
5.	Toprak-Kireç Etkileşiminde Olaylara Bir Bakış	83
3.	Genel Değerlendirme	86
1.	Sonuçlar	86
2.	Uygulama İçin Öneriler	87
3.	Yapılması Önerilen Çalışmalar	89
	KAYNAKÇA	90
	ÖZGEÇMİŞ	98

Çimento ve kireç ile zemin stabilizasyonu konusunun çeşitli yönlerine değinen yabancı dil-lerdeki literatür büyük bir hacim tutar. Elde edilen bilgi birikiminden birçok pratik prob-leme yansıtılabilen öneriler ancak genel bir çerçeve içinde kalmaktadır. Böyle bir çerçeve içinde ise birçok toprağın stabilizasyona karşı potansiyeli yanlış bir biçimde ve düşük dü-zeyde değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nin yerinde problem beş toprağı üzerinde çimento ve kireç katkılarıyla uygulanacak stabilizasyonun olanakları araştırılarak değerlendirilmiş ve alınan sonuçların genel değerlendirmeler karşısında bir-çok açıdan tipik olmadığı görülmüştür.

Araştırma programına alınan topraklar ağır kilden (CH) kumlu leme (SM) değışen dokuda, %16-53 kil içeren ve yerinde problem gösteren malzemelerdir. Topraklara %1.5-15 arasında değı-şen kireç/çimento karıştırılıp sıkıştırıldıktan sonra üç değışik sürede kür edilmiş ve yol mühendisliğinde malzeme kalitesi kontrolü için ana kriter olan dayanımları ölçülmüştür. Da-yanımların katkı oranı, zaman, kuru birim hacim ağırlıkları ile bağıntısı yanında killerin mineralojik özellikleri ve malzemelerde beliren etkileşim ürünlerinin etkisi ana değışken-ler olarak ele alınmıştır. Stabilizasyonda etkili olan kimyasal ve mineralojik toprak özel-liklerini yansıtan pedolojik toprak sınıflaması üzerinde durulmuş ve inşaat mühendisleri için standard bilgi olmayan killerin oluşumu ve mineralojik özellikleri gibi konular tezin genel bilgiler bölümünde kısaca işlenmiştir. Bu bölümde ayrıca pedolojik değerlendirmeye esas olan iklim, jeoloji ve jeomorfolojik yapı özellikleri özetle açıklanmış ve bölgenin bir toprak haritası verilmiştir. Bu arada, bölgenin lateritik karakterli kırmızı (krasnozem) topraklarına ağırlık verilerek bunlara esas olan genetik özellikler de kısaca işlenmiştir.

Stabilizasyon işleminin topraklara fiziksel ve fiziko-kimyasal etkilerinin tartışıldığı Bö-lüm II de özellikle kireç ile stabilizasyonun temel mekanizmalarına değinilmiş ve Bölüm IV de olaylara bir bakış açısı getirilerek portlandit ve kalsit kristalleşmelerinin gözlenme-siyle stabilizasyon etkinliğinin izlenebileceğı gösterilmiştir. Araştırmaya giren malzeme-lerin tanıtılıp uygulanan yöntemlerin açıklandığı Bölüm III de, çeşitli deneylerin stabili-ze malzemeler üzerinde uygulanma özellikleri de tartışılmıştır.

Deney sonuçları ve bunların geniş bir değerlendirilmesi Bölüm IV de yapılmıştır. Yol üstya-pılarında malzemeye esas olacak dayanım kriterinin çekmeye göre alınması doğru olacaktır. Bu amaçla basınç dayanımını esas alıp çekme dayanımının tahminen belirlenmesinin getirebi-leceğı hatalar azımsanamaz. Özellikle lateritik kırmızı toprakların davranışları literatür-deki genel çizgilerin dışındadır. Stabilizasyonla toprakların belirli bir dayanıma ulaş-a-bilme potansiyellerinin değerlendirilmesinde kıvam limitleri, dane dağılımı, pH değeri gibi toprak özelliklerinin belirleyici kesin etkilerinin olmadığı görülmüştür. Stabilizasyonun kimyasal etkileşimleri içinde toprakların birincil ve ikincil mineralleri, alofanları ve çe-şitli amorf oksitleri de yer almaktadır. Etkileşimlerin ürünleri olarak kalsiyumun hidrat-lanmış çeşitli silikatları, alüminatları ve siliko-alüminatları ile karma yapıli mineraller saptanmıştır. Bağlayıcı özellikli olan bu ürünlerden alüminatların miktarı ile malzeme da-yanımları arasında kuvvetli ve doğrusal regresyon ilişkisi de gösterilmiştir. Kireçli mal-zemelerdeki etkileşimlerin ve buna paralel olarak dayanım artışlarının izlenip değılendi-rilmesinde, "kullanılmamış-kireç" kavramı önerilerek üç bölgele bir etkileşim açıklaması yapılmıştır. Pratikte karışımların çimento ve kireç yüzdelerinin belirlenmesine yardımcı ol-mak amacıyla basit abaklar verilmektedir.

IMPROVEMENT OF THE EASTERN BLACK SEA
SOILS BY THE USE OF CEMENT AND LIME

The Turkish part of Eastern Black Sea has limited alluvial deposits due to its geological, topographic and climatic characteristics. Sand and gravel along the limited beaches and riverbeds are nearly exhausted as a result of exploitation for use in concrete. The highway engineer faces a shortage of select materials, especially for secondary roads to be constructed at higher locations. The limited residual soil cover on igneous bedrock, left over from landslides, contains a high proportion of clays. These conditions have suggested the feasibility of soil improvement by the use of additives such as lime and cement in road building.

This thesis consists of four chapters. The first two chapters present findings of a literature survey on soil stabilization with special reference to cement and lime. There is a considerable volume of literature on the subject. These however are based mainly on research and practice in the developed countries of temperate climate zones. They have derived a series of recommendations, established codes of practice and standards to meet their particular requirements. Most of these recommendations, codes and standards are considered inapplicable in the developing countries, especially that they lead to overdesign and uneconomic solutions; and also that they are not pertinent to the specific environment and soils. It has been suggested that comprehensive research should be carried out on the soils of the tropical/sub-tropical zones to evaluate their potentialities in stabilization and to understand their behaviour in engineering structures when stabilized.

Civil engineers normally try to solve soil stabilization problems by investigating the effects of percent additive used and duration of cure on the strength of the stabilized materials produced. In this study the emphasis is placed on the mineralogical factors. An understanding of the mechanisms behind strength gain was postulated with the intention of reaching realistic and economic solutions for the problems encountered. The variables considered were the strengths in compression and tension, the percentages of additives, the clay minerals and the cementitious products of chemical reactions. Five residual soils were selected from the study area for the purpose.

Eastern Black Sea region has two main climatic zones: sub-humid and per-humid with restricted areas of some dryness. Lang's climatic factor is in the range of 47 to 172 throughout the region but mostly over 100 which puts the climate in the class "moderately hot and rainy". The coastal area is characterized "humid, meso-thermal" and "humid, sub-tropical". The mean monthly temperatures are up to 23 °C on the coastal strip and 4 to 20 °C in the inner zone below 600 m of elevation. Mean annual precipitations are shown in Fig.3 (page 22) according to the latest data collected.

The main geological feature of the study area are the formations of Upper Cretaceous volcanisms which are mostly submarine. These formations are composed of pyroclasts and lavas of basic and acidic nature and are intercalated with some sedimentary material. These formations constitute the series of dacite, of some volcano-sedimentaries, mostly basaltic, and some turbidites. There are Tertiary formations of basaltic and andesitic lavas and

pyroclasts with some sedimentaries thinly intercalated, to the west of the area. Sediments of Eocene and of more recent times are mostly to the east of the area, around Artvin. Quaternary formations are confined to the coastal zone which are composed of marls, sandstones and limestones. Some terrace formations of gravel, sand and silt are typical to this period. Alluvial deposits are restricted to the river banks. Fig.4 (p.23) shows the geological structure of the area.

Geomorphologically, the area is hilly and shows mountainous character almost everywhere, even in the coastal range as a result of glacial activity in Pleistocene-Holocene. Ground formations get steeper to the south and reach the mountain ranges. Terraces are observed below 600 m due to the regression of the Black Sea during Tertiary. Fig.5 (p.25) shows the topographic features.

A soil map of the study area showing the great soil groups (Fig.6, p.26) has been prepared by collating the data acquired by various sources. The soil groups that are of importance are the krasnozems (red soils) and red-yellow soils, reddish brown soils, brown earths and geltozems (yellow soils) to some extent. The red soils are the weathering products of ferro-magnesian rocks rich in oxides and hydroxides of iron. This group of soils is characterized by clays such as hydrated halloysite, allophanes, goethite-hematite. The geltozems have spodic character. The properties and behaviour of the red soils suggest possible lateritic character.

The third chapter describes the testing methods employed and the properties of the samples. The soils used in the investigation were sampled from locations of the study area are shown on Fig.7 (p.30). The properties of the soils are summarized in Table II (p.32) where the symbols AKÇ, ARK, ÇYK, PZR and YOM stand for Akçaabat, Araklı, Çaykara, Pazar and Yomra, the names of the towns nearest to the sampling sites. These five soils were selected from 52 samples regarding properties such as colour, texture, place of formation and climate. The gradation curves of the five samples are in Fig.8 (p.31).

The additives used in the research programme are a pozzolanic Portland cement produced at the Trabzon factory and a slaked calcitic lime from Bartın, also on the Black Sea coast. The properties of the additives are detailed on Table III (p.33).

Testing methods generally conform to the Turkish Standard TS 1900 and the British Standards. Samples for strength measurement were prepared in accordance with BS 1924:1975. Fig.10 (p.37) shows the details of the compaction mould. Soils were first air-dried, pulverised and sieved to have a maximum diameter of 2 mm. The dry unit weights to be attained were deduced from standard Proctor compaction results. The additive and the air-dry soil were weighed to the prescribed amounts and mixed thoroughly and distilled water added thereafter while rubbing continuously by hand to prevent lumps. No delay was allowed between mixing and compaction. Specimens were compacted statically and extruded from the mould by means of a hydraulic jack (Fig.10) and weighed to ± 1 g before being wrapped in polyethylene paper to be hermetically sealed. The specimens were then cured at 22 ± 1 C for one, two and four weeks. The percentages of additive used ranged between 1.5 and 15.

Unconfined compression strength measurements were carried out in accordance with BS 1377:1975. An indirect tensile test (Brazilian test) was employed to determine the tensile strength of the specimens. Fig.11 (p.38) shows the rig and the testing arrangement. The rate of travel of the machine platen was 1.5 mm per minute for both tests.

Mineralogical analyses were conducted on powders using x-ray diffraction procedures. Samples were prepared by grinding the natural/stabilized soils in an agate mortar with pestle exerting negligible pressure. Powders were sieved through 45 μm and placed on the sample holders taking utmost care to prevent orientation. Radiation was $\text{CuK}\alpha$ which produced moderate fluorescent effects in the samples containing excessive iron.

The results obtained in the testing programme and a detailed evaluation are presented in Chapter IV. The data from the compaction tests are shown in Figs.12 and 13 (pp.42,43). The soils with lateritic properties (ARK, PZR) yielded results which contradict the hitherto accepted trend that lime stabilized soils exhibit a decrease in their maximum dry unit weights and an increase in their optimum moisture contents compared with the compaction characteristics of unstabilized soils. Regression equations representing increase of strength with the additives are listed in Tables IV and V (pp.44,48) and it is concluded that strength-admixture relationship can be represented adequately in a linear form. The coefficients of correlation in the regression analyses were above 0.95. Figures 14 to 17 (pp.45-47) show the effects of lime and cement on the unconfined compressive (q_u) and tensile strength (q_t) in dimensionless form where q_o stands for the strength of the compacted natural soils. The variations in strength of lime treated samples are greater than those observed with cement. Moreover, striking similarity obtained for the non-plastic ÇYK soil and the plastic YOM soil ($I_p=27$, $A_c=1.23$) leads one to question the frequently stated principle that plasticity is the governing property in deciding on the feasibility of lime stabilization for a soil.

The relationships of strength-time-percent additive for cement and lime are presented in Figs. 18 to 22 (pp.49-53). Rate of gain of strength with time in the first two weeks of cure is higher than the rate in the next fortnite. The differences become more marked with increasing percentages of admixture. It appears that the chemical reaction potential increases with the percent additive but decreases with time.

A regression analysis was performed to determine the exponential relationship between the strength and dry unit weight. The results are presented in Table VI and Fig.23 (pp. 55,56). It is observed that strengths increase even when dry unit weights decrease. Coefficients of correlation are well above 0.84 except in one case where it was 0.78.

The ratio of the unconfined compressive strength to the tensile strength was calculated for all mixes. This was of interest in order to find out whether it increased from about 5.6 to the theoretical 8, thus confirming change of behaviour from plastic to brittle. The results are presented in Table VII and Figs.24 to 26 (pp.56,58 and 60). In general, lime stabilized samples gave $q_u \div q_t$ values in excess of 8 whereas cement stabilized samples gave values below 8, especially for the samples in the upper strength range. The results imply that in designing highway pavements the stabilized materials must be evaluated on the basis of tensile strength and that an estimation of q_t from q_u might bring considerable errors. Lateritic soils require particular attention in this respect.

The practising engineer is inclined to use simple parameters, easily measured in the laboratory, to decide on the kind and extent of stabilisation. Figs.27-29 (pp.62-64) show the influence of certain soil properties on the strengths attained and on the quantity of both cement and lime required for a foreseen level of strength. The results lead no firm conclusion other than that clay content may be the most significant variable in deciding on the amount of admixture.

X-ray diffractograms of the soil samples are given in Figs.30 and 32 to 36 (pp.66 and 70-74). Soil clay minerals are indicated on the figures. X-ray diffractograms of the cement and lime used are in Fig. 31 (p.67).

Some new minerals are identified in the stabilized samples. These -with the symbols of cement chemistry- are some CAH and CAH·C polymorphs, tobermorites and some other CSH minerals, namely foshagite, gyrolite, hillebrandite, okenite, truscottite, xnotlite, some quaternary compositions as CASH and finally some mixed minerals. X-ray diffractograms of the stabilized samples are given in Figs.32 to 36 (pp.70-74) and major diffraction data are presented in Tables IX and X (p.69). It appears that cationic diffusion in the samples is somewhat impeded and the reaction products duly exhibit high C/S and C/A values.

It is seen in XRD analysis of the treated samples that the peaks of the clay minerals, feldspars and quartz appear to be appreciably diminished, sometimes up to 45% of the original intensities. The peaks attributed to CAH·C minerals get higher intensities with increasing lime. A typical example is given in Fig.37 (p.75). It is noticed here that 001 peak of CAH minerals translate from 8-7.6 Å position to 7.6-7.5 Å. It is also well worth to notice that the minerals of CSH(I) type transfer into another type of CSH as lime contents are increased (Figs.37-39, pp.75-77). The allophanic minerals that appear in XRD's of ARK and PZR soils in halo form also diminish with both cement and lime (Figs.33,35,40,41; pp.71,73,78,79). The XRD characteristics on the whole, suggest that the products arrange themselves in skin formation around soil particles and peds.

It was thought that the peak areas of cementitious reaction products as they appear in X-ray diffractograms, might be related to the strengths of the materials. A regression analysis on the lime stabilized materials support this hypothesis. Table XI (p.80) shows the equations found with their correlation coefficients and the probabilities of rejection. The parameter A here represents the areas in square centimeters of the 8.2 Å and 7.6 Å peaks in total. Fig.42 (p.81) shows the relationships.

Another hypothesis is that the peak areas of the clay minerals themselves are also related to the strengths but in a negative way. To test this hypothesis two montmorillonite peaks, 14.7 Å and 4.47 Å, were taken and Table XII (p.82) shows the regression equations found on lime stabilized YOM material where A_1 and A_2 stand for the two peak areas respectively, in square centimeters.

In order to explain the mechanisms of improvement by lime in soils and the characteristics of strength gain in relation to lime contents and chemical reactions, it is proposed that the quantities of portlandite and calcite as they appear in X-ray diffractograms be used in expressing the efficiency of the process. That fraction of lime which is not consumed in chemical reactions is represented by these two minerals correlate inversely with the levels of strength attained. Fig.44 (p.84) shows the relationship with strength on the materials. It appears that the development of strength takes place in three consecutive regions. In the first region the mechanism is mainly of physico-chemical nature. In the second region the cation exchange capacity is satisfied and diffuse cementation mechanism (puzzolanic reactions) is prominent. The third zone is reached when the development of cementation by chemical reactions are impeded by the products of earlier reactions covering the soil peds and a particular region. It is postulated that at the beginning pH dependent cation exchange is the major mechanism followed by molecular lime adsorption and beyond the point of lime retention the mechanism is solely of pozzolonic nature.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa	Başlık
1	9	Kristallerde tanımlanabilen atomik düzlemlerden X-ışını yansımaları
2	12	Kireç katılan toprakların kil fraksiyonlarında katyon değişimi olayı
3	22	Doğu Karadeniz yağış haritası
4	23	Doğu Karadeniz jeoloji haritası
5	25	Doğu Karadeniz yükselti haritası
6	26	Doğu Karadeniz toprak haritası
7	30	Araştırmaya alınan toprak örneklerinin yerleri ve anakayaçları
8	31	Toprak örneklerinin dane çapı dağılımları
9	35	Dane birim hacim ağırlığı deney düzeni
10	37	Dayanım örneklerini hazırlama kalıbı
11	38	Dolaylı çekme deney düzeni
12	42	Karışımlarda kuru birim hacim ağırlıkların katkı oranıyla değişimi
13	43	Karışımlarda optimum su muhtevasının katkı oranıyla değişimi
14	45	Çimentolu örneklerde katkı oranının serbest basınç dayanımlarına etkisi (boyutsuz gösterim)
15	46	Çimentolu örneklerde katkı oranının çekme dayanımına etkisi (boyutsuz gösterim)
16	47	Kireçli örneklerde katkı oranının serbest basınç dayanımına etkisi (boyutsuz gösterim)
17	47	Kireçli örneklerde katkı oranının çekme dayanımına etkisi (boyutsuz gösterim)
18	49	AKÇ toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi
19	50	ARK toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi
20	51	ÇYK toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi
21	52	PZR toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi
22	53	YOM toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi
23	55	Çimentolu örneklerde dayanım- $\gamma_{k \max}$ ilişkisi
24	57	Örneklerde $q_u - q_t$ ilişkisi
25	59	Çimentolu örneklerde $q_u : q_t$ oranları
26	60	Kireçli örneklerde $q_u : q_t$ oranları
27	62	Dayanımlarda $3q_0$ düzeyine ulaşmak için gereken katkı oranı üzerinde kil oranının etkisi
28	63	Toprakların granülometrik özelliklerinin katkı gereksinimine etkisi
29	64	Toprakların w_L , I_P ve pH değerlerinin katkı gereksinimine etkisi
30	66	Araştırmaya alınan toprakların XRD grafikleri
31	67	Katkı malzemelerinin XRD grafikleri
32	70	AKÇ toprağının katkısız ve %15 çimento, kireç katkılı örneklerinin XRD grafikleri
33	71	ARK toprağının katkısız ve %15 çimento, kireç katkılı örneklerinin XRD grafikleri
34	72	ÇYK toprağının katkısız ve %15 çimento, kireç katkılı örneklerinin XRD grafikleri
35	73	PZR toprağının katkısız ve %15 çimento, kireç katkılı örneklerinin XRD grafikleri
36	74	YOM toprağının katkısız ve %15 çimento, kireç katkılı örneklerinin XRD grafikleri
37	75	YOM toprağı ve kireçli örneklerinin XRD grafikleri

38	76	YOM toprağı ve çimentolu rneklerinin XRD grafikleri
39	77	YK toprağı ve kireçli rneklerinin XRD grafikleri
40	78	ARK toprağı ve çimentolu rneklerinin XRD grafikleri
41	79	ARK toprağı ve kireçli rneklerinin XRD grafikleri
42	81	XRD grafiklerindeki 8.2 Å ve 7.6 Å bağlayıcı ürün doruk alanları toplamının kireç oranıyla değişimi
43	82	YOM toprağının kireçli karışımlarında 14.7 Å ve 4.47 Å montmorillonit doruklarının değişimi
44	84	Kireçli karışımlarda 4.93 Å portlandit ve 3.04 Å kalsit doruk alanlarının değişimi ve boyutsuz dayanım grafikleri
45	88	imento katkı oranının belirlenmesi için önerilen abaklar
46	88	Kireç katkı oranının belirlenmesi için önerilen abak

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>	<u>Başlık</u>
I	7	Kil minerallerinin genel yapısı ve sınıflandırılması
II	32	İncelenen toprakların ayrıntılı zellikleri
III	33	Kullanılan imento ve kirecin zellikleri
IV	44	imentolu karışımlarda 28 günlük dayanım-katkı oranı regresyon denklemleri
V	48	Kireçli karışımlarda 28 günlük dayanım-katkı oranı regresyon denklemleri
VI	56	imentolu karışımlarda dayanım-kuru birim hacim ağırlığı bağıntısı
VII	58	örneklerde $q_t = m q_u + \bar{q}_0$ regresyon değerleri
VIII	58	örneklerde $q_u \div q_t$ oranları
IX	69	imentolu karışımlarda beliren bağlayıcı ürünler ve bunların XRD büyüklükleri
X	69	Kireçli karışımlarda beliren bağlayıcı ürünler ve bunların XRD büyüklükleri
XI	80	Toprak-kireç karışımlarında yeni ürün oluşumu-dayanım bağıntıları
XII	82	YOM-kireç karışımında montmorillonit doruklarındaki azalmanın dayanımlara etkisi

KULLANILAN SİMGELELER

- A_c : Aktivite
 ba : Toplam bazlar ÷ alümina, moleküler oran
 C_r : Süreklilik katsayısı
 C_u : Uniformluk katsayısı
 ϕ : Karışıma giren çimento oranı, toprağın kuru ağırlığına göre, %
 d : Kristallerin Miller indisli bir yüzeyine ait boyut, Å
 I_p : Plastisite indisi, %
 k : Karışıma giren kireç oranı, toprağın kuru ağırlığına göre, %
 ki : Silika alümina moleküler oran
 q_o : Katkısız toprakta dayanım, basınç/çekme, kg/cm^2
 q_t : Çekme dayanımı, kg/cm^2
 q_u : Serbest basınç dayanımı, kg/cm^2
 S/R : Toplam seskioksitler ÷ silika, moleküler oran
 V_a : Sıkıştırılmış örneklerde hava boşluğu oranı (TS 1900), %
 γ_k : Kuru birim hacim ağırlık, t/m^3
 γ_{kmax} : Sıkıştırılmış örneklerde ulaşılan enbüyük γ_k , t/m^3
 w_L : Likit limit, %
 w_{opt} : Sıkıştırılmış örneklerde γ_{kmax} a karşılık gelen su muhtevası (TS1900), %
 Δw_{opt} : Sıkıştırılmış katkılı ve katkısız toprakların w_{opt} değerleri arasındaki far, %
 2θ : XRD deneyinde alıcı (detektör) açısı, derece

I. GİRİŞ

I.1. Çalışmanın Amacı

Ülkemizde mühendislik dalında uygulanan standartların çoğunluğu ve teknolojiler yabancı ülkelerde geliştirilmiştir. Bunları üreten gelişmiş ülkelerin kendi şartlarına göre benimsedikleri çözümleri vermek amacıyla düzenlenen bu yöntemler hemen her zaman yüksek maliyetli olmanın yanı sıra, bir ileri teknolojiler bütünü ve bunun dayandığı ekonomik güç gerektirmektedir. Öte yandan, enerji sorunu da artık her alanda ciddi bir etken olmuştur. İşte bu noktaları gözönünde bulundurarak, yabancı standartları çokca uyguladığımız karayollarımızda Türkiye koşullarına uygun, ileri teknoloji gerektirmeyen, maliyetleri ve enerji girdileri düşük çözümlerin araştırılıp geliştirilmesi gerekmektedir.

Ulaşım yolları, inşaat mühendisliğinde toprağın en çok kullanıldığı yapılar olarak tariflenebilir. Boy-en oranı sonsuz bu temel ve üstyapı sisteminde, karşılaşılan taban zeminleri çoğunlukla trafik yüklerini taşıyamazlar. Bu gibi durumlarda tabanın taşıma gücü sıkıştırma (kompaksiyon) işlemiyle artırılabilir. Ancak yüksek yağışlı bölgelerde ve özellikle kil oranı yüksek olan zeminlerde sıkıştırma ile sağlanan iyileşme geçici olmakta, su ile temas ettiklerinde taban zeminlerinin hızla kaybolan kaliteleri üstyapının da hasar görmesine neden olmaktadır. Düşük kaliteli malzemeyi kaldırmanın -söz konusu olan büyük hacımlar için- çok pahalı ve hatta imkansız olması, bunlardan yeni malzemeler üretmek fikrini akla getirmiş ve makûl bir çözüm olarak stabilizasyon birçok ülkede standard uygulama haline gelmiştir. Bu arada hizmet düzeyi azalmış yollarda da temel ve kaplama yenilenmesinde stabilizasyon başarıyla uygulanabilmektedir.

Doğu Karadeniz iklimsel özellikleri, topoğrafik ve jeolojik yapısı nedeniyle alüviyal malzemelerin kıt, plastik killerin yaygın olduğu bir bölgedir. Deniz ve dere kenarlarındaki agrega malzemelerinin kullanımı, uzun yıllar sürerek günümüze kadar gelen sorumsuz uygulamalardan sonra, yasaklanmıştır. Böylece, inşa edilen devlet, il ve köy yolları için seçme malzeme bulunması ve temini, giderek artan akaryakıt fiyatlarının da etkisiyle yüksek maliyetlere ulaşmaktadır. Kullanılacak malzemelerin ülkemiz şartlarına uygun teknolojilerle üretilmesi gerçeğini gözönünde bulundurarak bazı soruların cevaplandırılmasına yönelik çalışmaların gerekli olduğu açıktır. Doğal ve artık malzemelerin yeri, özelliği ve hacımları; malzeme kaynaklarımızın ekonomik ve etkin bir değerlendirilmesi; üretim teknolojisinin hangi düzeyde olduğu ve bu teknoloji ürünlerinin gerçekçi bir şekilde nasıl denetleneceği ve değerlendirilebileceği henüz yanıtlanmamış önemli sorunlardır.

Yeni bir malzeme üretmek olan stabilizasyon uygulamalarına ilişkin araştırmaların çok büyük bir bölümü ılıman iklimli bölgelerin toprakları üzerinde yapılmış ve böylece elde edilen bulgulardan bazı öneriler dizisi çıkarılmıştır.

Ancak bu önerilerin sub-tropik ve tropik iklimli bölgelerin toprakları için geçerli çözümler getiremediği, bu topraklara daha değişik açılardan bakmak gerektiği son yılların araştırmalarıyla vurgulanmaktadır. Aynı görüş içinde, birçok ülkede başarıyla uygulanan çimento ve kireç stabilizasyonunun Doğu Karadeniz bölgesi topraklarındaki etkisini araştırmak bu çalışmanın amacı olmuştur.

Zemin stabilizasyonunun arazi uygulaması konusunda literatüre geçmiş hemen tüm bilgiler deneme-yanılma yoluyla elde edilmiştir. İnşaat mühendislerinin konuya -artık gelenekselleşmiş olan- yaklaşımı, katkı miktarı -dayanım kazancı- zaman değişkenleri arasındaki ilişkileri incelemeye ek olarak, toprak özelliklerini iyileştirme mekanizmasının mineralojik incelenmesine ağırlık verilmiştir. Böylece, dayanım kazancının ardındaki etkenlerin daha iyi anlaşılacağı sonuçta daha gerçekçi ve ekonomik uygulamalara gidilebileceği umulmaktadır.

I.2. Stabilizasyon - İyileştirme Kavramı

Bir zemini, çeşitli nedenlerle, problemlili olarak değerlendiren inşaat mühendisi çözüme doğru üç yoldan birini seçer. İlk düşünülen sözkonusu zemini kazıp götürerek yerine istenen nitelikteki bir malzemeyi koymaktır. Ancak, taşınacak hacimler büyüdükçe bu yöntem ekonomik olmaktan uzaklaşacaktır. Bu durumda akla gelebilecek ikinci bir çözüm, zemini doğal şartlarıyla olduğu gibi kabul edip projenin yapısal elemanlarında boyutları ve malzeme kalitesini artırmak olabilir. Ancak genellikle maliyet yine kabul edilemez bir düzeye çıkabilmektedir. Bu noktadan sonra görünen üçüncü bir yol, zeminin özelliklerini arzuladığımız yönde değiştirmeyi denemektir. İnsanlar bu tür denemeleri binlerce yıl önceleri düşünerek uygulamışlar ve toprağa, eskinin samanından bugünün kimyasal maddesine kadar değişen ve gelişen katkı maddelerini eklemek, ve onu sıkıştırmak, ısıtmak, dondurmak, kurutmak gibi işlemlerle sonuç almaya çalışmışlardır. İşte stabilizasyon ya da iyileştirme olarak anılan bu tür işlemlerle zeminlerin mühendislik özelliklerinde -çevre ve yükleme şartlarına göre- gerekli görülen değişikliklerin elde edilmesiyle güvenli, ucuz ve doğal bir malzeme üretilmesi amaçlanmaktadır.

Karayollarının yapım ve bakım işlerinde enerjiden tasarruf etmeyi sağlayabilen uygulamalar arasında artık stabilizasyon yöntemleri başta gelmektedir. Bunun yanında genel maliyetleri azaltma, basit ve hızlı bir yapımı sağlama, kırsal bölgelere hizmet götürme kolaylığı ve çevreye uyum da sağlanmaktadır.

Katkılar ile stabilizasyon işlemleri bütün ulaşım sistemlerine ait inşaatlarda, akarsu yapıları ve sulama kanalları gibi başka alanlarda da her yönden başarıyla uygulanmaktadır. Kullanılan maddeler arasında çimentolar, kireç (bunun yanında uçucu kül gibi mineral artıklar), çeşitli bitümler, kloridler, ligninler, melas, ve özel kimyasal bileşikler sayılabilir.

I.3. Benzer Çalışmalar

Karayolu amaçları için stabilizasyon çalışmaları ülkemizde 1958-59 da kireç ve 1961-63 de çimento katkılarıyla yapılan küçük çaplı deneme ve uygulamalarla başlanmıştır. Bu tarihlerde üniversitelerimizde de, İ.T.Ü. ve daha çok O.D.T.Ü. de, katranlar ve asfalt emülsiyonları, yüksek fırın cürufu ve uçucu küller, lignosülfat ve bitümler, çimento ve kireç katkılarıyla değişik amaçlı stabilizasyonların laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bu arada askeri amaçlara yönelik bazı araştırmalar ülkemizde ve A.B.D. de yapılmıştır.

Tarımsal amaçlar için toprakların iyileştirilmesi çalışmaları da burada anılabilir. Genelde asidik ve çok asidik olan Doğu Karadeniz toprakları üzerinde ziraat mühendisleri de kireç katkısıyla toprakların pH 'larını değiştirme çalışmaları yapmaktadırlar. Bu tür çalışmalar, inşaat mühendisliğinin genel stabilizasyon/iyileştirme amaçlarına göre düşünülen az katkılı kireç uygulamalarına benzerlik göstermekte ise de, varılmak istenen amaçlar arasında esaslı farklar bulunmaktadır. Tarımda kireç uygulaması O ve A horizonlarında yapılırken inşaat mühendisinin ilgili alanı B ve C horizonlarıdır.

II. GENEL BİLGİLER

II.1. Zemin Özellikleri

II.1.1. Toprakların Oluşumu-Pedoloji

İnşaat mühendisleri 1960 lara kadar zeminlerin mekanik özelliklerini toprakların makro özelliklerine başlama eğiliminde olmuştur. 1940 lardan sonra başta killi zeminler olmak üzere zeminlerin mikro özellikleri ile mineralojisi ve fiziko-kimyasının mekanik özellikler üzerinde büyük ölçüde etkin olduğu gösterilmiş^{8,9,11,17} ve bundan sonra killer başta olmak üzere toprakların oluşumu ayrıntılarıyla incelenmeye başlanmıştır.

Toprakları morfolojik ve genetik açılarından ele alan bilim dalına pedoloji ve bu temele dayalı toprak sınıflamasına da pedolojik sınıflama denilmektedir. Önceleri sadece tarım ve ormancılık amaçları için kullanılan bu bilim dalı şimdi zemin mühendisliğinde de yaygın uygulama bulmaktadır.^{1,3}

Topraklar anakayacın jeolojik çevrim içinde ayrışması ile yerinde, yada çeşitli yollarla taşınarak oluşurlar. Buna bağlı olarak, pedolojik sınıflamaya giren etkenler iklim, bitki örtüsü, anakayaç, topoğrafik özellikler ve zaman değişkenleriyle anlatılabilir. Bu faktörlerden bir veya birkaçındaki farklılık killerin de farklı özelliklerde oluşmalarını sağlar.^{7,6} Ilıman iklimlerde mühendislik amaçları için kabul edilmez gösterilen yüksek plastisiteli toprakların tropik/subtropik bölgelerde temel/alttemel malzemesi olarak kullanılabilmesi topraklarda yapı ve bağlayıcı faktörünün rolünü vurgulamaktadır. Kolloidlerin öznel etkisinden kaynaklanan bu nitelikler kimyasal işlemlerin önemini de ön plana çıkarmaktadır.^{1,3,16,3}

Pedolojik ayrımı belirleyen etkenler iç ve dış morfolojik karakteristikler olarak iki yoldan tanımlanabilir. Birinci grupta toprak profilindeki horizonların derinlik ve kalınlıkları, renkleri gibi özellikler sayılabilir. Dış morfolojik karakteristikler ise toprak oluşumunu doğrudan etkileyen iklim, doğal bitki örtüsü, rölyef ve yaşı kapsar. Kuşkusuz, yakın çevrede anakayaç (anamalzeme) hakim etken olarak gösterilebilir.

Su ve geçirimsizlik faktörleri toprak oluşumunda özel bir yer almaktadır. Özellikle ince daneli zeminler çok miktarda su ve organik madde tutabildiklerinden böyle bir ortamda bitkiler de hızla gelişmekte ve bu da toprak profilinin gelişimini hızlandırmaktadır. Ayrışma hızı ortamın geçirimsizliğine bağlı olduğundan anakayacın geçirimsiz, buna karşın toprağın kaba dokulu olması halinde hız en üst düzeye çıkacaktır. Bol yağışlı ve nemli iklimde asidik anakayaçlar en kolay ve en hızlı yıpranma-ayrışma göstererek asidik killerin belirmesini sağlar. Öte yandan, nem ve yıkanmanın yüksek olması alkali anakayaçları bile asidik topraklara dönüştürebilmekte ancak genelde bu şartlardaki ayrışma daha uzun zaman almaktadır.

Topoğrafyanın toprak oluşumuna etkisi başlıca üç şekilde açıklanabilir. Yağlı-

şın enfiltre olan ve akışa geçen miktarı topoğrafyadan etkilenmekte, toprağın erozyonla kaybolma hızı değişmekte ve zeminin boşluksuyunda süspansiyon ve çözelti şeklinde bulunan maddelerin hareketi (taşınması) yönlendirilmektedir. Bu olayların etkisi nemli/sıcak iklimlerde daha da artar. Arazinin eğim etkisi ince dokulu anakayaçlarda çarpıcı olurken doku kaba ise aynı etkinlik izlenemez. İnce doku ile birlikte eğim de yüksek ise gelişecek solum sığ kalacaktır.

Drenaj özellikleri yetersiz ise biraz derinlerdeki toprağın rengi iyi havalanma ve oksidasyonu belirten sarı, kırmızı ve kahverengiden açık ve donuk kahverengi, gri ve benekli sarı renklerine dönerken kimyasal reaksiyon ortamının varlığı izlenmektedir. Kötü drenajda ince daneleri içeren birikme horizonu Bt görünmezken B horizonunun yerini gri/mavimsi-gri renkli bir tabaka (Bg, yani gleyleşmiş B) alır. Böyle bir Bg horizonundaki demir, bolca su ve organik maddelerle, 2+ değerlikli olmuştur.

Yaşça ve litolojik olarak benzer anakayaçların yer aldığı dar bir bölgede topoğrafya ve drenaj etkenlerinin, ayrı ayrı yada birarada, önemli farklılıklar gösterebilmesi sonucunda, gelişen toprak profillerinde de farklılaşma önemli ölçülere varabilmektedir. Bu özellikler içinde gelişen toprakların oluşturdukları gruplara katena, yada, toprakların topodizisi denilmektedir.¹⁴⁷

Toprağın en üst katmanının (A horizonu) renginin belirlenmesinde organik madde önemli etkindir: Gri, koyu gri, koyu kahverengi gibi. Eğer drenaj kötü ise renk üstte koyu altlarda açık gri olur. Drenaj orta ise derinlerdeki griyi yer yer sarı bantlar keser. Eğer ortam havalandırmaya olanak verir, kimyasal olayların gereksindiği sıcaklık ve nem de bulunursa demir oksitleri hidratlanarak kırmızı ve sarı renkleri yada bunların karışımlarını alır. Aşırı hidratlanan demir oksitleri sarıdır; ancak hidratlanan azaldıkça kırmızılaşır. Bu arada humus miktarı da artarsa renk maun (kırmızımsı kahverengi) olur. Horizonların nemliliği bir mevsimden diğerine geçerken ıslak-kuru arasında değişiyor ise renk iki yada daha çok sayıdaki rengin karışımından oluşur. Böylesi bir karma renklilikte, renklerden biri benekli yada değişken görünümde olursa tanımlamaya benekli/alaca terimi de eklenir.

Yukarıda sıralanan örneklerden anlaşılacağı gibi özellikle yerinde oluşmuş (rezidüel) topraklarda pedolojik sınıflandırma önem kazanmaktadır. Genel anlamda çevre etkilerinin hakim olduğu zonal, bunların hiç etkilemediği azonal, ve geçiş durumunda olan intrazonal toprakların ayrıntısına giren büyük toprak gruplarının inşaat mühendisinin pratik amaçları için değer taşıdığı da söylenememektedir.

II.1.2. Kil Mineralleri

Silikat bileşikler olan kil minerallerinin hemen tümü tabakalı silikatlar grubuna girerler. Buna istisna olanlar, ipliksi silikatlar grubuna giren iki mineral ile amorf yapıda olan alofanlardır. Minerallerin kristal yapısını silika dörtyüzlüleri ile gibsit (alüminyum hidroksit) yada brusit (magnezyum

hidroksit) sekizyüzlüleri oluşturur. Bir tabaka oluşturan silika dörtyüzlülerinin ideal formülü Si_2O_5 dir; ancak 4+ değerlikli silikonlardan bazılarının yerini 3+ değerlikli alüminyum, demir ve 2+ değerlikli magnezyum ve benzeri elementler (yalnız yada birarada olarak) alabilirler. Benzer şekilde, gipsit ve brusit tabakalarında da alüminyum ve magnezyumlardan bazılarının yerlerini magnezyum/alüminyum, silis, demir, kalsiyum, sodyum gibi elementler alabilirler. Katyonların bu yerdeğişimi olayına eşyerli (izomorf) değişim denir. Değişime giren yerlerin sayıca oranı, normal olarak, binde ikiden dördte bire kadar değişir. Bu arada, sekizyüzlüler tabakasındaki hemen tüm katyon yerlerini demir/krom gibi elementlerin aldığı durumlar da, özellikle klorit sınıfı minerallerde, çokca görülür.

Bu tür katyonik değişiklikler elektriksel dengenin bozulması sonucunu doğurur. Si^{4+} yerini Al^{3+} ve Al^{3+} yerine Mg^{2+} gibi değişimler minerallerin oluşturduğu danelerde negatif elektriksel yüzey yükü fazlalığına neden olur. Değişimler daha yüksek değerlikli katyonlarla olabilir ise de, bunlar sayıca az ve önemsiz kalırlar. Negatif yük fazlalığının bir kısmını, tabakaların dışında yer alan katyonlar giderirler. Bu dış katyonlardan bazıları yerlerini montmorillonitte olduğu gibi başka katyonlara kolayca bırakabilirken bazıları da mikalardaki potasyum gibi kolayca yerlerinden alınamazlar.




Minerallere ve bunların kristalleri ile danelerine çok önemli özellikler kazandıran negatif yükün büyüklüğü, bu minerallerin gruplandırılmasında esas alınmıştır. Oluşturulan mineral grupları, sekizyüzlü tabakada 3+ ve 2+ değerlikli katyonlardan birinin baskın oluşuna göre alt-gruplara ayrılırlar. Katyonların çoğunluğu 3+ değerlikli ise, bunlara ait yerlerin üçte ikisi dolu olacağından, bu alt gruba ikili-sekizyüzlü (dioktahedral); çoğunluk 2+ değerlikli ise, yerlerin tümü dolacağından, üçlü-sekizyüzlü (trioktahedral) adı verilerek ayırım yapılır (Tablo-I).



Tabakalı silikatlar dışında kalan minerallerden ikisi hormitler adıyla bilinen ipliksi silikatlardır. Bunların önemli yapısal elemanı anfibollerden oluşan bir çift silikat zinciridir. Birbirlerine paralel giden bu zincirlerin arasında magnezyum, ve zeolitik (zayıf bağlı) su bulunur. Burada da Mg yerine bol miktarda Al, Fe yada başka elementler geçebilir.

Toprakların kil boyutundaki daneleri genellikle kil minerallerinden birkaçının biraraya gelmesiyle belirmektedir. Bu oluşumda farklı gruptan tabakalı minerallerin yanyana gelmesi de sözkonusudur. Böyle bir oluşumda belirlenebilen bir düzen olabileceği gibi, tümüyle rasgele bir biçimde tabaka dizilişi de mümkündür.^{8,72}

Buraya kadar sözü edilen minerallerden farklı bir grup da, yapılarında kristal özellikleri belirlenemeyen silikatlardır. Alofan adı verilen bu minerallerin yapılarında, silikon dörtyüzlüsü ve metalik iyonların sekizyüzlüleri yanında başkaca birimlerin de (fosfat dörtyüzlüsü gibi) bulunduğu kabul edilir.⁵⁵ Alofanlar çok parçalanmış latosollarda, daha çok demir oksitleriyle birlikte yoğunlaşmış olarak bulunurlar. Seskioksidik alofan denilen bu minerallerin halloysit yada kaolinitin parçalanma ürünü oldukları sanılmaktadır.¹⁴⁴

Tablo I: KİL MİNERALLERİNİN GENEL YAPISI VE SINIFLANDIRILMASI^{14,55,69}

TİP	GRUP	ALTGRUP	ÖRNEK MİNERALLER	TEMEL YAPI *	TEMEL BOYUT (Å)
1:1	Kandit	Kaolinler	Kaolinit, Dikit, Nakrit, Halloysit		7.2 (10.1)
		Serpantinler (ve Septekloritler)	Serpantinler, Krizotil, Lizardit, Amezit, Şamozit, Grinalit		
2:1	Pirofilit ve Talk	Pirofilitler Talklar	Pirofilit Talk		10
	Smektitler	Montmorillonitler Saponitler	Montmorillonit, Beydelit, Nontronit Saponit, Hektorit, Sokonit		14
	Vermikülit	Diok. Vermikülitler Triok. Vermikülitler	Diok. Vermikülitler Triok. Vermikülitler		10.5-14
	Mika	Diok. Mikalar Triok. Mikalar	Muskovit, Paragonit, Seladonit Biyotit, Flogopit		10
	İllit	Diok. İllitler Triok. İllitler	İllit, Bramalit, Glokonit Triok. İllitler		10
	Gevrek Mika	Diok. G. Mikalar Triok. G. Mikalar	Margarit Klintonit		10
2:1:1	Klorit	Diok. Kloritler Triok. Kloritler	Diok. Kloritler Peninit, Klinoklor, Proklorit		14
Karma	Düzenli Düzensiz		Allevardit, Rektorit, Proklorit Mika+Mont., İllit+Verm, Verm.+Klorit		
İpliksi	Hornitler		Paligorskit, Sepyolit	Zincir	
Amorf	Alofan		Alofanlar	Amorf	

*  Gibsit/Brusit;  Silika

Tabakalı silikatlarda yanyana gelen silika ve gipsit/brusit tabakalarının ortak sınır düzlemi içinde kalan atomlar her iki tabakaya da aittir. Böylece bunlar arasındaki bağlar çok kuvvetlidir (birincil valans). Kristallerin birim hücreleri arasında oluşan bağlar ise oldukça zayıftır ve çevre şartları altında kopabilirler. Tabaka içlerindeki ve tabakalar arasındaki katyonlar da bağ kuvvetlerini etkilerler. Örneğin yüzey yükü fazla olan mikalarda, silikonlardan bazıları yerine alümina geçtikten sonra oluşan yük dengesizliği silika tabakaları arasına giren potasyumlarla karşılanır. Potasyum iyonunun çapı silika dörtyüzlüsünün içlerine doğru girebilmesine elvermekte ve komşu kristal tabakaları kuvvetli bağlarla birarada tutulmaktadır. Böylece kristal yapısında dilinim olsa bile, su ve diğer polar moleküllü sıvılar karşısında hemen hiç şişme olmaz. Klorit grubu minerallerde de, sekizyüzlülerdeki eşyari değişimlerin birbirlerine karşıt işaretli yüzey yükü oluşturabilmeleri sayesinde tabakalar çok kuvvetle birarada tutulabilirler. Kloritlere has bu özellik ile sağlanan bağ kuvvetlenmesinin düzeyine göre bu minerallerin dış ortama karşı davranışları farklı düzeyde olur. Ancak bağ zayıflığı nedeniyle çokca şişebilen kloritler de görülmektedir.⁷

Al^{3+} gibi küçük çaplı ve yüksek değerlikli katyonlar, anyonlar üzerinde kuvvetli bir deformasyon ve polarizasyon etkisi yaparlar. Böylece tabaka yüzey hidroksillerinin bağ kuvvetleri güçlenir ve kristal birim hücrelerinin b eksenindeki boyu kısalır. Dörtüzlü ve sekizyüzlülerin boyutları bunların birbirlerine tam olarak uyuşmalarına elvermez. Bu ve başka nedenlerle silikat yapılarında iç gerilmeler oluşur. Ancak bazı olaylarla bu gerilmeler bir ölçüde dengelenebilmektedir.

Tabakalı silikatlarda kristal birim hücrelerinin c boyutu (Miller indisleriyle 001 düzlemleri arası uzaklık) birer dörtüzlü ve sekizyüzlüden oluşarak 1:1 tabakalı olarak anılanlarda 7 \AA , iki dörtüzlü ve bunlar arasındaki bir sekizyüzlüden oluşup 2:1 tabakalı diye anılanlarda 10 \AA , ve bu 2:1 yapısına dışardan bir sekizyüzlünün daha eklenmesiyle oluşarak 2:1:1 tabakalı olarak anılanlarda da 14 \AA kadardır. (Tablo-I).

II.1.3. Kil Minerallerinin Tanımlanması

Kil minerallerinin tanımlanmasında x-ışını yöntemleri, ısıl yöntemler, elektron optiği ve kızılötesi ışın spektroskopisinden yararlanılmaktadır^{9,14,84,85,114}. Bu araştırmada x-ışını yansımaları (XRD) yöntemi kullanılmıştır.

X-ışınları sıcak katot tüpüyle elde edilirler. Uygulanan yüksek gerilimin düzeyi ve filtreleme yoluyla, kullanılacak olan ışın tüpten yayılan ışın spektrumundan ayrılır.⁸⁰ Bu ışın bir madde üzerine gönderildiğinde iki tür foton saçılması meydana gelir. Maddeyi oluşturan atomların elektronlarıyla çarpışan fotonların hareket doğrultuları ve bu arada bazen de enerjileri değişir. Eğer elektronun baş enerjisi fotonun enerjisinden küçük ise, foton enerjisinin birkısmı elektrona geçerken elektron da yörüngesinden koparak iyonlaşır. Bu sırada foton da enerjisinden kaybetmiş ve yansıyan ışınının dalgaboyu büyümüştür. Bu tür saçılmalara Compton saçılması (olayı) denir. Eğer fotonun çarptığı elektronun baş enerjisi fotonun taşıdığı enerjiden büyük ise, çarpışmadan sonra fotonun saçılmasında enerji değişikliği olmaz ve gelen-yansıyan ışınlar aynı dalgaboyunda kalır. Bu tür saçılmalara da uyarlı ışınım (Rayleigh olayı) denir.

Bir kristalin yapısına giren atomların oluşturdukları çeşitli düzlemler tanımlanabilir. Bir dane içindeki belirli cins atomların oluşturduğu bir düzlemde n adet vardır; ve bunlar birbirlerine paralel olarak eşit uzaklıkta bulunurlar (Şekil-1). Bu düzlemlere belirli bir θ açısı ile gelen paralel fotonların oluşturacakları uyarlı ışınım, eğer

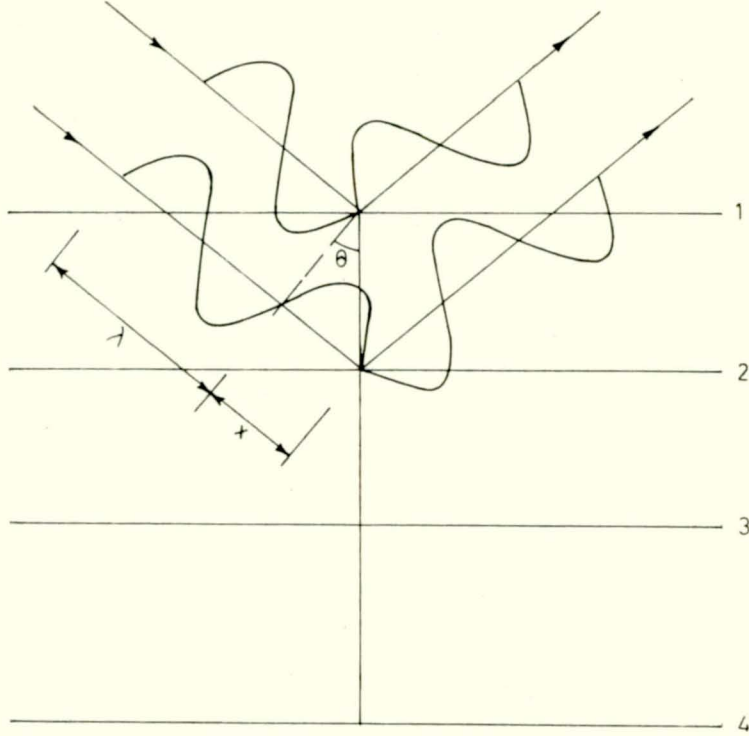
$$x = d \sin \theta = n \frac{\lambda}{2}, \quad n=1,2,3,\dots$$

şartı sağlanıyorsa, birbirleri arasında bir faz farkı olmadan, kuvvetlenerek yansır. Başka bir deyişle, Bragg yasası olarak bilinen

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

eşitliğini sağlayan θ açısı durumunda -belirli bir dalgaboyu için- yansıyan ışınım şiddeti enbüyük değerine ulaşacaktır. Ancak, tanımlanan düzlemler

arasında başka cinsten gerçek bir düzlem olursa, yansıyacak ışınının zayıflaması ve hatta sönmesi de mümkündür. Kristal yapıları minerallerin x-ışını yansıması yöntemiyle tanımlanmalarında bunlardan Bragg yasasına uyarak bir dizi değişik düzlemlerden yansıyan ışınlarla ilişkin θ ve d değerleri kullanılır. Hesaplama kolaylığı bakımından tanımlamalarda θ ve λ ya göre belirlenen d değerleri esas alınır. Mineral türünün saptanması için, deneyde elde edilen d değerleri standartlarda verilenlerle karşılaştırılır.



Şekil-1: Kristallerde tanımlanabilen atomik düzlemlerden X-ışını yansıması

II.1.4. Su - Kil Sistemi

Zemin suyunun yapısı, çarpık hidrojen-bağ'lı 'tesadüfi ağlar' modeli ile daha iyi anlaşılabilir. Eldeki veriler de birçok bu modele uymaktadır.^{53, 67, 89} Kil suyla karşılaştığında, su molekülleri kil dane yüzeyine adsorbe olur. Bir tabaka suyun adsorbe oluşundaki bağ kuvveti yaklaşık 10 kilobar olup suyun adsorbe oluşu sırasında enerji açığa çıkar. Adsorbe su molekülleri arasındaki hidrojen bağının normal suyunkinden zayıf olduğu da anlaşılmıştır.¹⁰¹ İyonların ve polar moleküllerin sisteme etkisi daha çok elektrostatik yoldan olur. Katyonlar özellikle küçük yada fazlaca yüklü-seler suyun koordinasyon sayısını arttırarak kendilerine de bağlarlar. An-yonların etkisi katyonlara göre daha azdır. Bunların hidrasyon sayıları genellikle küçük olup, bu geometri içinde suyun hareket serbestliği artmaktadır. Büyük hidrofilik iyonlar ve moleküller çevrelerinde sıkı bir su yapısı yaratma eğilimindedirler.

Mineral yüzeylerinin su ile ilişkileri daha da karmaşık bir görünümündedir. Su az olduğunda, yüzeye kuvvetle adsorbe edilmekte ancak az da olsa yüzeye paralel doğrultularda hareket serbestliği bulunmaktadır. Yüzey bir tabaka su ile kaplandığında bu serbestlik daha da artmaktadır. Bu bağ kuvvetleri minerale göre değişmekte ve bazılarında yüzey oksijenleriyle su arasında hidrojen bağı oluşmaktadır. Su miktarı artınca bağ kuvvetleri ve termodinamik özellikler değişir. Sonuçta suyun yapısı ve su-kil ilişkisi de etkilenmektedir. Mineral yüzeylerinden beş-altı tabaka kadar sonra suyun yapısı ve içyükül (dielektrik) değişmezi gibi özellikleri normal suyunkine eşit olurken sadece akışkanlık özellikleri farklılık gösterir.⁵³

Uzun menzilli çekme ve itme kuvvetleri kil-su sisteminin özelliklerini değiştirir. Boşluk suyunun kimyası ve katyonları gibi özellikler de kuvvetleri etkiler. Kuvvetlerin değişimiyle flokülasyon veya dispersiyon oluşturularak doku ve yapı değişikliği yoluyla mekanik özellikleri etkilemenin mümkün olduğu artık standard zemin mekaniği bilgisidir.⁸² Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi konusuna bu açıdan bakmak tereddütlerin giderilmesine yardımcı olmaktadır. Örneğin, killerin sıkışma ve şişme davranışları "yaygın çift-tabaka" (DDL) teorisi ile açıklanabilmektedir.¹⁵⁰ Kil daneleri arasındaki kuvvetler iyon değişimi, pH arttırılması gibi etkenlerle DDL de oluşturulacak değişiklikler yoluyla etkilenir. Bu tür açıklamalar, mühendislik amaçları için toprakların yapılarında ve özelliklerinde istenen değişikliklerin elde edilebilmesine yönelik çalışmalara ışık tutmaktadır.¹²⁰

II.2. İyileştirme ve Stabilizasyon

II.2.1. Genel Tarifler

Toprak-kireç ve toprak-çimento karışımlarında önemli sayılabilecek mekanik dayanım artışı olmadığı halde bazı mühendislik özelliklerinde olumlu gelişmeler elde edilmesine 'iyileştirme' denir. Bu anlam içinde iyileştirmeyi karakterize eden değişiklikler plastisite indisinin düşmesi; sıkıştırma işleminde optimum su muhtevası, süspansiyonlarda deflokülasyona karşı direnç, ve kohezyonun artmasıdır. Bu sırada mekanik dayanım da belirgin ölçüde artmışsa sistemde elde edilen özellik değiştirmenin iyileştirmeden de öteye ulaştığı kabul edilir. Stabilizasyon terimiyle anlatılmak istenen de bu ikinci aşamadır.

Özelliklerde elde edilen iyileşmelerin yapılan karışımların inceliği ve homogenliği ölçüsünde arttığı görülmektedir. Bu nedenle laboratuvar çalışmalarında inceltmeye ve karıştırmaya büyük özen gösterilir. Arazideki uygulamalar için de, karışımlarda olabilecek en büyük dane büyüklüğü ve benzeri kurallar konulmuştur. Karışımlardaki büyük topraklar amaçlanan sonuçları oluşturacak işlemlere tümüyle giremezler. Bunların işlemlere katılmadaki güçsüzlüklerini açıklayan üç hipotez bulunmaktadır. Ancak bu hipotezler, ideal karışımların dayanım kazancını açıklamak için verilenlerin ilerletilmeleriyle ortaya konulmaktadır. Hipotezlerden ilkinine göre katkı uygulanmasıyla toprakları çevre-

leyen incelerden oluşmuş matris oluşacak şişmeyi önleyebilecek kadar güçlüdür; ve bu parçalardan sisteme bir yardım gelmesine gerek kalmadan sonuç alınmış olur. İkinci hipotezle savunulanlar, birincinin ek olarak, parçaların üstündeki geçirimsizliği çok az olan 'kaplama'ların da parça içlerine su girişini engellediği şeklindedir. Üçüncü hipotezde ise, sıkıştırma işleminde yaratılan pompalamanın etkisiyle kireç ve çimento danelerinin toprakların içlerine taşındığı ve, bazı kimyasal tepkilerden sonra, buralarda iskeletli bir yapının oluştuğu öne sürülmektedir.²³

II.2.2. Fiziksel Özelliklerde İyileşmeler

Burada düşük katkı miktarlarıyla yapılan ince karışımlarda kısa süreler içinde görülen değişiklikler söz konusudur. Topraklarda, artan katkı miktarıyla plastik limitin yükselmesi genel görünümüdür. Plastik limitin tanımı toprağın dane ve toprakları arasındaki bağların sürekli olarak kırılıp yenilediği su içeriği olarak yapılırsa⁶⁴, bu tanıma dayanarak stabilize sistemlerde sözkonusu bağların kuvvetlendirildiği şeklinde bir açıklama getirilebilir. Birçok toprağı az çimento katkısıyla plastik halden NP ye dönüştürmek mümkündür.

Kireç katkısıyla likit limitte görülen değişikliğe ilişkin olarak verilen genellemeler ise çelişkilidir. Değişikliğin artma¹⁷ ve azalma⁷³ şeklinde olacağı söylenir. Ancak birçok araştırmacı genel bir kuralın verilemeyeceğini kabul eder.^{15,109,142} Burada belirleyici olan toprak özellikleri, cins ve miktar bakımından özkasyonların durumu ve kation değişim kapasitesidir.^{29,51,74} Çimento katkılı topraklar ise çoğunlukla NP dir.

Karışımların hazırlanmasından kısa bir süre sonra kil boyutundaki danelerin azalıp silt ve kum boyutundakilerin arttığı görülmektedir. Özellikle kireç katkısı halinde bu değişimi sağlayan bağlayıcı kuvvetler oldukça zayıf ise de kuvvetler kırıldıktan sonra yeniden oluşabilmektedirler.^{128,149}

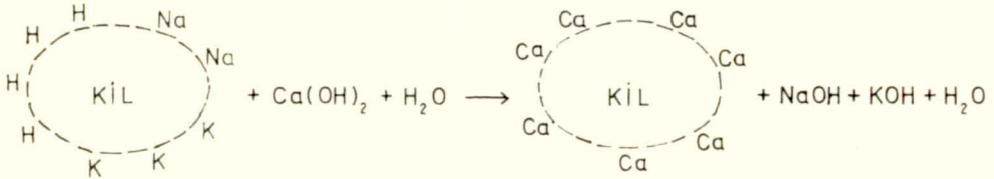
Islanmayla oluşan hacim artışı ve buna paralel olan şişme basıncı azalmakta, büzülme limiti ise yükselmektedir. Çimento pastasının bilinen büzülme özelliği dolayısıyla çimento stabilizasyonunda toprağın hacimsal değişim özellikleri katkı miktarına bağlı olacaktır. Genellikle kumlu ve çakıllı toprakların büzülmesi artarken plastik toprakları azalmaktadır.¹³⁷ Sıkıştırılmış karışımların geçirimsizliklerinin de büyük değerlere ulaştığı görülmektedir.^{68,113}

Suda beklemiş örneklerde mekanik dayanım kazancının çok kısa süreler içinde elde edildiği açıkça görülmektedir. Suyu batırılmış örneklerde ise kazanç kısa sürede kolay gözlenemeyebilir. Karışımların üçeksenli basınç deneyiyle ölçülen kohezyon değerleri kısa zamanda birkaç kat artmaktadır.¹⁴¹ Stabilize sistemler donma-çözülme etkisine de daha iyi karşı durmaktadırlar.^{101,115} Belirli bir sıkıştırma enerjisine karşılık gelen optimum su muhtevası artan kireç/çimento katkısıyla artmakta, kuru birim ağırlık ise genelde azalmaktadır. İstanbul Boğazı topraklarının düşük plastisiteli olanlarında bu genel davranışın tam tersinin görüldüğü bildirilmiştir.¹⁰⁹ Bu değişimler için getirilen genel açıklama kolloidlerin adsorbe ettikleri kalsiyum ve hidroksil iyonlarından dolayı daha fazla su tuttukları ve oluşturulan topaklanmayla

birlikte sistemin birim/hacim ağırlığının da kireç tarafından düşürüldüğü seklindedir.^{20,30}

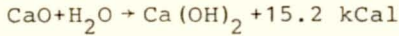
II.2.3. Kil - Su - Kireç Sistemi

Kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) su ile karıştırıldığında, kireç danelerinin yüzeylerinden kalsiyum ve hidroksil iyonları çözünür. Sisteme kil de eklenirse, iyonlardan kil danelerine bağlananlar olacaktır. Ayrıca, çözünen kirecin yeniden kristalleşmesi de mümkündür; ancak başlangıçta çözünme hızı kristalleşme hızından daha büyük kalacağından, sistem iyonlarla doymunluğa erişene dek kireç çözünmesi sürer. Sözkonusu hızlar eşitlendiğinde ise, çözünmüş ve kristalleşmiş kireç biraradadır. Bu aşamaya gelindiğinde hidroksil iyonlarının sayısı, başka bir deyişle ortamın bazikliği olabilecek en büyük değere ulaşmıştır. Bu arada konsantrasyonu aşırı artan kalsiyum katyonları da, sisteme katılan toprağın kil misellerindeki (micelle) öz-katyonların yerlerini alırlar (Şekil-2). Bu katyonik yerdeğişim Hofmeister serisine uyarak gelişir.¹⁵⁰ Gapon denkleminin de ayrıca geçerli olabileceği ileri sürülmektedir.¹⁶⁵



Şekil-2: Kireç katılan toprakların kil fraksiyonlarında katyon değişimi olayı⁴²

Eğer kullanılan kireç sönmemiş ise sıcaklık ve basınç



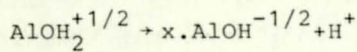
şeklinde eşzamanlı olarak artar.

Kalsiyum gibi, 2+ ve daha fazla değerlikli katyonların hidroksit çözeltileri killeri ile karıştırıldıktan hemen sonra, danelerin 1+ ve 2+ değerlikli öz-katyonları yerlerini çözeltideki katyonlara bırakırlar. Bu olayla eşzamanlı olarak çözeltinin hidroksit molekülleri de bir fiziksel adsorbsiyon yoluyla kil dane yüzeylerine kuvvetle bağlanır. Bu adsorbe hidroksitler, suya olan isteklerinin belirlediği bir düzeyde hidratlanmış olarak yer alırlar. Örneğin, kalsiyum hidroksit molekülleri, dane çevresini bir tabaka kireç ile kaplayacak kadar adsorbe olurlar.^{32,33} Ancak, böylesine yüksek bir adsorbsiyon olabilmesi için, çözelti aşırı doymun olmalıdır. Fakat bu durumda bile adsorbsiyonun gelişimi, kireç kristallerine çok yakın olan danelerle sınırlı kalır.^{134,136}

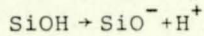
Bu olaylar sırasında kil daneleri arasındaki boşluksuyunun elektrolitleri azalmaz. Çünkü, çözeltiden ayrılan katyonların yerine, ortamı doymun tutan yenileri gelmektedir. Böylece kolloidal danelerin elektriksel çift tabakaları genişletilmemiş olur. Hatta tersine daralma olasıdır. Çünkü oluşan yüksek bazik ortam içindeki adsorbe katyonlar danelerarası çekim kuvvetlerini artıracaktır.¹⁵⁰ Fakat bu yolla daneler arasında sağlanan yaklaşma, dane-katyon sisteminin hidratasyon düzeyinin belirlediği bir sınırdadır.⁶⁵ Katyon değişimleriyle kolloidal sistemin zeta-potansiyeli düşecek ve oluşan topaklan-

malarla danelerarası boşlukların da boyutları küçüleceğinden kılcal kuvvetler güçlenecektir.²⁷

Yerdeğişimine giren katyonlar ölçüldüğünde, hidroksit bileşiğinden gelen katyonların kilin öz-katyonlarından sayıca fazla olduğu görülür.¹⁶ Bu fazlalığa iki olay neden olur: a) Ortamın artan bazikliğiyle birlikte kil danelerinin katyon değişim kapasiteleri de artar; b) alkali toprak metallere 'tamamlanmamış çözünme' diye bilinen özellikleri yoluyla, verdikleri MOH⁺ şeklindeki katyonları da değişime girer ve sayıyı artırır. Kil-su-kireç sisteminde oluşturulan yüksek pH'nın, kil daneleriyle birlikte, organik maddelerin katyon değişim kapasitelerini de artırdığı bilinmektedir.^{13,65,131,134} Artışın nedeni pH'nın düzeyine bağımlı olarak, kristallerden ve moleküllerden kopabilen protonlardır.⁷¹ Yükselen pH ile birlikte bağ enerjileri daha güçlü olan protonlar da koparılır. pH'nın 5-8 değerleri arasındaki proton veriş



şeklinde kil kristallerinin kırık kenarlarından olur. Bundan sonra, yaklaşık pH10 a kadar gelişen proton verişleri, kristallerin dörtyüzlü silika tabakalarından



şeklinde sürer. pH'nın daha da yükselmesi ile kristallerden alümina ve silikalar da çözünerek sistem tamponlanmış olur.

Yukarıda sözü edilen katyonik yerdeğişimlerdeki katyon fazlalığından bir bölümünün kil daneleriyle kimyasal tepkimelere girdikleri⁶⁵ ve sonuçta çözünmez özellikli, belki de amorf yapıya bileşiklerin oluştuğu öne sürülmektedir.^{132,134} Sistemde gelişen adsorbsiyonların iyonik biçimden daha çok, çözünen elemanların ve tepkimelerden gelen ürünlerin adsorbsiyonu şeklinde olduğu da gösterilmiştir.^{133,134,160}

Alkali toprak metallere adsorbsiyon/çözünme özellikleri konusuna yukarıda değinilirken söylenenler, kalsiyum ve sodyumun hidroksit bileşiklerinde gözlenen davranış-sonuç ilişkileri birarada değerlendirildiğinde, çelişkili görünmektedir. Artan pH ile birlikte NaOH da harcanmakta, ancak, hemen hiç deneyecek kadar az adsorbe olmaktadır. Çünkü sodyumun oluşturduğu alüminat ve silikat bileşikleri kolayca çözünmektedir. Oysa kalsiyumun bu tür bileşikler çözünmez özelliktedir.¹⁶⁰

II.2.4. Su - Çimento Sistemi (Hidratlanma)

Portland çimentosunun daneleri başlıca C₃S, C₂S, C₃A ve C₄AF (katı eriyik) bileşiklerinin (C=CaO, S=SiO₂, A=Al₂O₃, F=Fe₂O₃) küçük kristallerinden oluşur. Bunlara ek olarak K, Na, Mg, Ti, Mn gibi elementlerin oksitlerinin oluşturduğu ikincil bileşikler de bulunur. Lea, bu elemanların hidratlanmaları sırasındaki etkileşimleri basitleştirerek bir özetini vermiştir.⁸³ Çimento elemanları hidratlanmada su ile etkileşime girerler ve sonuçta bazı ürünler oluşur. Bu ürünlerin başlıcaları hidratlı silikatlar, hidratlı alüminatlar ve kalsiyum hidroksittir (kireç). Silikat ve alüminat fazları kar-

maşık olup başlangıçta hemen tümü tam olarak kristalli yapıda değildir. Bu arada kalsiyum hidroksitin bir kısmı da diğer fazlarla karışık durumda bulunur ve kısmen kristalleşir. Buradaki olayları belirtmek amacıyla kullanılan hidratlanma terimi ile hidroliz şeklindeki etkileşimleri de içeren bir kimyasal tepkimeler bütünü anlatılmak istenmektedir.

Hidratlanmış bileşiklerin suda çözünübilirlikleri çok düşük düzeydedir ve etkileşime giremeyen çimento danelerine kuvvetlice bağlı kalırlar. Hidratlanmanın gelişiminin çimento danelerinin çaplarının sürekli olarak azalması şeklinde olduğu söylenebilir. Ancak hidratlanmanın hızı da sürekli olarak düşer ve uzun bir zaman sonunda bile sistemde etkilenmemiş çimento daneleri bulunur. Kolloidal boyutlardaki hidratasyon ürünleri çok büyük ve suya karşı istekli olan yüzey alanları yoluyla serbest suyun önemli bir bölümünü adsorbe ederler.

Başlangıçta hemen tümünün jel (pelte) halinde oldukları varsayılan ürünlerin kireç ile birlikte olarak gösterdikleri mekanik dayanımın kökenini açıklayan iki hipotez vardır. Bunlardan ilk tezi veren Le Chatelier'ye göre çimentonun bileşenlerinden daha az çözünebilir özellikte olan ürünler, ortamın aşırı doygun çözeltisi içinde, birbirine bağlı, yüksek yapışma ve bağlanma özellikleri olan ince-uzun kristaller biçiminde yoğunlaşırlar. Bunlara mukavemet kazandıran iç kuvvetler elektromanyetik ve kimyasal asıllıdırlar. İkinci görüşü getiren Michaelis'e göre, kalsiyumun alüminat, sülfoalüminat ve hidroksit kristalleri ilk mukavemeti verirler. Sonra kalsiyum hidroksite (kireç) doygun ortamda silikatlarla tepkimeler başlayarak hemen hiç çözülmez olan CSH ları oluştururlar. Sonuçta pelteye benzer bir kitle ortaya çıkar. Hidratlanma geliştikçe ve bu kitleden dışarıya çıktıkça pelte sertleşir. Araştırmacılar her iki tezi de destekleyen bulgular vermektedirler.^{83, 98}

Yukarıda toprak-su-kireç sisteminde değinilen olaylar toprak-su-çimento sisteminde de geçerlidir. Ancak olayların buradaki gelişimi çimentonun ortama verdiği kireç miktarı ile sınırlı kalacaktır.

II.2.5. Kirecin iyileştirme ve Stabilizasyon Mekanizmaları

Topraklara uygulanan iyileştirme işlemiyle kolloidal sistemde çekim kuvvetleri artırılmaktadır. Böylece kuvvetler bileşkesi net bir çekime dönüştürülerek daneler arasında güçlü bağlar oluşturulur. Bileşke kuvvetin ulaşacağı düzey iyileştirmedeki başarıyı belirleyecektir. Ancak bu yolla sağlanabilecek gelişmeler sınırsız değildir. Çünkü daneler arasında bağ oluşumunu sağlayan kolloidal özelliklerin aşamayacakları bir üst sınır bulunmaktadır.^{67, 150}

Kil-kireç karışımlarının bazı mühendislik özelliklerinde hızla gelişen iyileşmelerin ardından karışımların mekanik özelliklerinde de aynı hızda bir gelişme her zaman görülememektedir. Bu farklılık katkı miktarı düşük olan karışımlarda daha da büyüktür. Sonuçta belirgin bir mekanik dayanım artışının gözlenebilmesi için ya çok uzun süreler beklemek yada katkı miktarını fazlaca artırmak gerekmektedir. Değişikliklerin kısa ve uzun dönemde belirmediğini gözleyen bir çok araştırmacı kısa ve uzun dönemde etkili olabilen bazı

sistem-içi tepkimelerin bu sonucu doğurduğunu düşünerek 'iki fazlı etkileşim' anlayışını kabul etmişlerdir.^{27, 32, 57, 58, 64} Onlara göre, önce gelen kısa dönemli fazda bazı fiziko-kimyasal olaylar gelişip sona ermektedir. Uzun dönemli tepkimeler 'puzolanik' karakterli olup ürünleri önce amorf iken daha sonra kristalli hale dönüştürürler.

Yukarıdaki görüşler içinde iyileşmeyi ve stabilizasyonu gerçekleştirdikleri öne sürülen mekanizmalar etkinliklerine göre şöyle sıralanabilir^{33, 58, 68, 81}:

- Katyon değişimiyle topaklanma,
- Boşluksuyu elektrolitlerinin çoğalmasıyla topaklanma,
- Kirecin karbonatlaşması,
- Yükselen pH'nın yarattığı çekim kuvvetleri,
- Kireç moleküllerinin fiziksel adsorpsiyonu ve ardından gelen kimyasal etkileşimlerle yakın daneleri bağlayan ürünlerin oluşumu,
- Puzolanik etkileşimler.

Sistemde gelişen etkileşimlerin açıklanmasında 1970 lerin başına kadar yukarıdaki olaylar dizisi verilirken bunlardan biri yada birkaçı iyileşmenin nedeni olarak gösterilmiştir. Ancak, anılan ilk üç mekanizmanın olayın tümünü açıklamada yetersiz kaldığı ve puzolanik etkileşimlerin de yalnız uzun dönemde etkili olabildiği tartışmasız kabul edilmiştir.^{19, 24, 32, 68} Daha sonra Stocker "yaygın bağlanma" (diffuse cementation) olarak adlandırdığı bir mekanizmanın, diğer tüm mekanizmaların da üstünde rol oynayarak, her düzeydeki stabilizasyonu sağladığını öne sürmüştür.^{13, 2, 13, 6}

Önerilen bu mekanizmalar üç ana bölümde açıklanabilir:

- Katyon değişimi ve puzolanik etkileşimler: Topraklara çok az bir miktarda başlayıp azar azar artırılarak kireç katıldığında plastik limitin giderek düştüğü fakat serbest basınç direncinin hemen hiç değişmediği ve bazen de azaldığı görülür. Ancak, toprağın türüne göre, belirli bir kireç miktarından sonra serbest basınç direnci artmaya başlarken plastik limit aynı kalmaktadır. Konuya ilk değinen araştırmacıların bu gözlemleri değerlendirirken vardıkları sonuç, sözkonusu ara noktaya kadar olan katkı miktarlarında kirecin toprakta bağlı tutularak stabilizasyon için temel işlevi olan puzolanik etkileşime giremediği şeklinde olmuştur. Daha sonra geliştirilen bu açıklama "kireç tutma" (lime retention) kuramı adını almıştır.^{64, 65} Bu görüşe göre, kireç ile killi topraklar arasındaki etkileşimler, hemen başlayarak plastisitede düşme oluşturanlar, ve sıkıştırılmış toprağın uzun dönemde dayanım kazanmasını sağlayan bağlayıcı puzolanik olaylar olmak üzere iki tiptir.²⁸ Bu açıklamaya göre, kireç tutma olayının son bulması puzolanik etkileşimlerin başlaması için bir önşart olmaktadır. Ancak, kireç tutma ile sadece pH arasında bir ilişki kurulabilmiştir⁶⁴ ki bu da aslında katyon değişiminin pH ya bağımlılığından ileri gelmektedir. Bu kuramı eleştiren Stocker^{13, 4, 13, 6} eldeki bilgileri yorumlayıp kendi bulgularıyla biraraya getirerek özetle şu ana sonuçlara varır: Düşük kireç katkılarında puzolanik etkileşimler başlamakta ancak gelişmeleri çabucak yavaşlamaktadır. 'Kullanıldığı' söylenen kirecin düşük pH larda çokca ve hızla, yüksek pH larda ise azalarak harcanması iki fazda oluşan etkileşimi gösteremez. Hidroliz olaylarında da çoğunlukla

etkileşim hızı böyledir. Ancak, ilk oluşan ürünler killerin reaktif yüzeylerini kaplayarak tepkimeleri geliştirecek olan difüzyonu zorlaştırmaktadır.

- b) Kireç moleküllerinin fiziksel adsorbsiyonu : Konuya eğilen Diamond ve Kinter'in yaklaşımları şöyledir.^{32,33} İlk anlarda kireç molekülleri hızla adsorbe olurlar. Stokiyometrik dengeye yaklaşan kalsiyum ve hidroksil iyon miktarları kabaca kireç tutma noktasına karşılık gelir. Bu noktadan sonra hızı azalarak süregelen adsorbsiyonlar ile kil yüzeylerine alınan kireç moleküllerinin yavaş gelişen tepkimeleri kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşiklerini oluşturur. Bu ürünler danelerin kenar-kenar ve kenar-yüzey dokunma noktalarına yerleşirler. Yapılan eleştirilere göre tepkimelerin bu şekilde oluşabilmesi için kalsiyum katyonlarının, sınırlı da olsa, kristal içlerine doğru sızması gerekir. Ayrıca ilk oluşacak ürünlerle üzerleri kaplanan kil kristallerinde tepkimelerin gelişebilmesi olanaksızdır. Yöneltilen eleştirilere karşı Diamond ve Kinter, oluşan ürünlerin koptuğunu ve olayların gelişimini sağlayacak taze kristal yüzeylerinin her zaman bulunacağını öne sürmektedirler. Önerilen bu mekanizmaya karşı getirilen diğer eleştiriler özetle iki noktada toplanmaktadır. Birincisi, kireç tutma kuramına yapılan eleştiriler burada da geçerli görülmektedir. İkinci olarak, adsorbsiyon için kil kristallerinde bulunması gereken kireç moleküllerine uygun yapı özellikleri pek yoktur; eğer var ise x-ışını kırınımı yöntemiyle gözlenebilmesi gerekir.⁵⁷ Adsorbsiyon eğer olacaksa kil daneleri kireç kristallerine çok yakın bulunmalıdır.¹³⁶ Bu nedenlerle önerilen mekanizmanın geniş çapta iş görebildiği söylenemez ve ancak kireç katkısı fazla olan karışımlarda geçerli olabilir.^{100,134}
- c) Tepkime (reaksiyon) ürünlerinin adsorbsiyonu : Bu başlık altında, Stocker'ın önerdiği mekanizma^{131,136} yer almaktadır. Stocker'a göre, bağlayıcı ürünleri oluşturan tepkimelerin başlaması için daha önce kirecin adsorbe olması gerekmez. Katyon değişim kapasitesini tatmin edenler dışındaki tüm kalsiyum iyonları tepkimelere girerler. Bu tepkimeler, kil kristallerinin kırık kenarlarıyla kirecin doğrudan etkileşmesi biçimindedir. Böylece, küçük miktarlarda kalsiyum alüminat ve silikat bileşikleri oluşur. Çok benzer bileşimleri olan bu ürünler oluştukları kenarların üzerlerinde yada yakınlarında birikirler. Bu sırada ürünleri adsorbe eden kenar ve yüzeylerden komşu olanlar arasında bağlar oluşur. Bu biçimde gelişen adsorbsiyonlarla kil danelerini bağlarken stratejik noktalar kullanılmış olur. Katılan kireç oranı çok düşük de olsa fiziksel özelliklerdeki değişimler hızla ve büyük çapta olabilmektedir. Mekanizmanın açıkladığı biçimde gelişen olayların sağladığı bağ oluşumlarının giderek güçlenmeleri ve büyük sayılara ulaşmasıyla uzun dönem içinde mekanik dayanım kazançları elde edilmektedir.

II.2.6. Çimento Stabilizasyonunda Mekanizmalar

Sıkıştırılmış toprak-çimento karışımlarında çimentonun çeşitli bileşenlerinin hidratlanmaları değişik hızlarda gelişerek bağlayıcı özellikli amorf ve çok küçük kristalli ürünler oluştururlar. Bu ürünler karışımın erken ve geç zamanlardaki fiziksel ve mekanik özelliklerini sağlarlar. Söz konusu bağlayıcılık

esas olarak kimyasal olup, komşu çimento daneleri ve bunlar ile toprak dane yüzeyleri arasında bağ oluşması şeklindedir. İnce daneli topraklar için, hidratlanma sırasında açığa çıkan kirecin etkisiyle, ince danelerin bağlanması da ek bir mekanizmadır. Bu nedenle çimento etkisini toprakların ince ve kaba daneli oluşlarına göre iki grupta incelemek doğru olur.

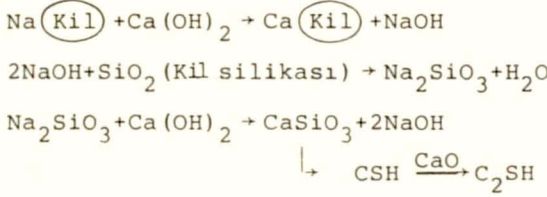
Killi topraklarda çimentonun hidratlanması ve sertleşmesi olayları özetle iki bölüme ayrılarak incelenebilir^{50,61} Bu görüşle çimentonun hidratlanması (hidroliz ile birlikte) birincil olaylar olarak ele alınır. Olaylarda önce bilinen hidratlanma ürünleri oluşur ve ortamın pH sı yükselir. Çünkü bu sırada ortama kalsiyum hidroksit de girmektedir. Daha sonra gelişen ikincil olaylarda kil de rol alır. Çimentodan açığa çıkan kalsiyum iyonları önce katyon değişimi yoluyla killeri kalsiyum formuna dönüştürürler. Çimentodan gelen diğer katyonik elemanlarla birlikte ortam içinde artan elektrolit topluluğunun başlattığı bir kil daneleri topaklanması sözkonusu olup bu topaklanma katyonlarıyla daha da kuvvetlenir. Böylece danelere adsorbe olan kalsiyum hidroksit bunlara ve amorf parçacıklara kimyasal hücumu başlar. Bu kolloidal parçacıklardan koparılan silika ve alüminaların kireç ile etkileşimleri de ikincil bağlayıcı ürünleri meydana getirir. Böylece, birincil olayların sağladığı kireç ile ikincil olaylar gelişir ve ortaya çıkan ikincil ürünler de yakınlarındaki amorf yada kristalize kolloidal parçacıklara bağlanarak yoğunlaşırlar. Bu ikincil ürünlerin, kil danelerinin yüzey yada kenarları üzerinde oluşmasıyla, topaklanmış danelerin birbirlerine yaklaşan ve değen noktaları arasında bağlayıcı köprüler kurulmuş olur. Bu bağlardan daha da kuvvetli olanları, çimento daneleri ile çevrelerindeki kil daneleri (miselleri) arasında, çimentonun hidratlanma ürünleri yoluyla oluşacaktır. Bu ürünler ile killerin çok benzeyen kristal yapıları epitaksiyel bir gelişimin de olabileceğini akla getirmektedir.⁶¹

Oluşan kil-çimento yapısındaki birincil ürünler normal çimento pastası ürünlerinden kimyasal açıdan farklıdır. Birincil ürünlerde kalsiyum miktarı, başka olaylara da katılma nedeniyle, daha az olacaktır. Bu bağlara ek olarak ikincil olaylarla kazanılan bağlar toprak-çimento karışımının mukavemetini ve stabilitesini daha da güçlendirmektedir.

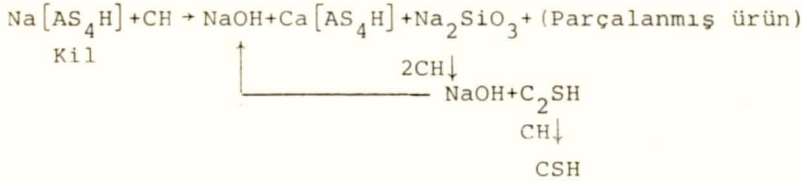
Çok kaba daneli topraklarda çimentonun etkisi beton karışımlarındaki benzer; ancak boşlukların büyük bölümü, kullanılan düşük yüzdeler sonucu çimento pastası ile dolu olmaz. Kumlardaki bağlanma danelerin birbirlerine değdikleri noktalarda belirmektedir. Uniformluluk ve süreklilik katsayılarına bağlı olarak boşluklar azalıp küçüldükçe danelerin değme noktalarının sayısı ve alanları (koordinasyon sayısı) artacağından çimento ile bağlanma da daha kuvvetli ve yaygın olacaktır. Bu şekilde dane dağılımı iyi oldukça, belirli bir dayanım artışı için gerekecek çimento miktarı da azalacaktır. Benzer nedenlerle, herhangi bir toprak için sağlanabilecek maksimum bağlanma, karışımın olabildiğince boşluksuz hazırlanıp sıkıştırılmasıyla sağlanabilir. İşlemden kullanılacak suyu, hem sıkıştırmayı ve hem de çimentonun hidratlanmasını sağlayacak şekilde dengelemek zorunluluğu vardır.

II.2.7. Etkileşim Denklemleri ve Ürünleri

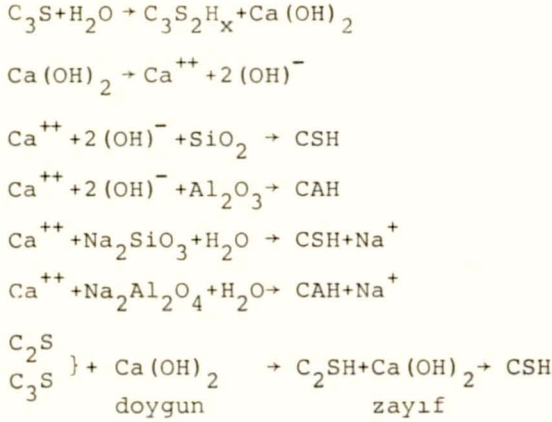
Topraklar ile kireç/çimento arasındaki tepkimelerin özet gösterimlerinden bazıları, Croft²⁰ ve Willoughby ve di.¹⁶⁰ ne göre (çimento kimyası simgeleriyle A=Al₂O₃, C=CaO, H=H₂O, S=SiO₂)



Şeklinde dir. Ingles ve Metcalf⁷⁰ da tepkimeleri



şeklinde özetlemiştir. Moh⁹¹ ise çimento için



denklemlerini vermiştir.

Toprak-kireç etkileşiminde beliren en önemli ürünlerin, Portland çimentosunun hidrasyon ürünlerine benzeyen birçok CSH ve CAH'lar olduğu bilinmektedir. Bunların yanında önemli olmayan bazı bileşikler de bulunmuştur. Bazı araştırmacıların saptayıp literatüre geçirdikleri ürünler şöyle özetlenebilir:

- | | |
|--|--|
| 1. Yalnızca CaCO ₃ | Goldberg ve Klein (1952) ⁵¹ |
| 2. Kristalleşmeleri zayıf yeni mineraller | Eades ve Grim (1960) ³⁷ |
| 3. Kuvars ve mika ile etkileşim belirtileri | Eades ve di. (1962) ³⁸ |
| 4. Uzun dönemde C ₄ AH ₁₃ | Hilt ve Davidson (1960) ⁶⁴ |
| | Davidson ve di. (1965) ²⁷ |
| 5. Tobermorit, CSH(I), CSH(II) ve C ₄ AH _n | Glenn ve Handy (1963) ⁵⁰ |
| | Ruff ve Ho (1966) ¹¹⁸ |
| | Ford ve di. (1982) ⁴¹ |

- | | |
|---|---|
| 6. Tobermorit, CSH(I), C_3AH_{16} ve $CAH(d=7.6\text{\AA})$;
pirofillit ve kuvars ile CSH oluşumu | Diamond ve di. (1964) ³¹ |
| 7. Alofanlar ile CASH tipi dörütlü bileşikler | Diamond ve Kinter (1965) ³² |
| 8. CSH, CAH, CASH'lar ve uzun dönemde
nordstrandit ve gipsit şeklinde ürünler | Willoughby ve di. (1968) ¹⁶⁰ |
| 9. $C_{11}S_{4.5}AH_{11}$ | Stocker (1975) ¹³⁶ |

Bu ürünler ilk anlarda pelte (jel) biçimindeyken giderek kristalleşme göstermişlerdir.

Hidratlanmış kalsiyum silikatlar (CSH) genellikle amorf olarak bilinirler. Ancak elektron mikroskopu gözlemlerinde kristal karakteri de görüldüğü bildirilmektedir.^{11,160} Gözlenebilen kristal yapıları, bilinen diğer tabakalı silikatlara benzemektedir; ancak kristalleşme a ve b eksenleri boyunca iyi olsa da, kristaller üzerine moleküler düzeyde adsorbe olan kireç^{32,132} dolayısıyla fazlaca değişen $CaO:SiO_2$ (C/S) oranı c eksenini boyunca uzaklıkları değiştirir. Bu silikatların morfolojileri pelte biçiminde ince/kalın ve düz/kıvrımlı tabakalar veya ipliksi ve halloysiti andıran tüpsü yapı özelliklerinde olabilmektedir.

Çimento kimyasının en çok bilinen bileşiği olan tobermorit konumuz içindeki CSH'lar arasında literatürde en çok sözü edilen üründür. Ancak burada, tobermorit adı ile bir grup mineral anlatılmaktadır. Hidratlanma ve kireç adsorpsiyonunun düzeyine bağlı olarak bu grup içindeki minerallerin c eksenindeki birim hücre uzunluğu (tabaka kalınlığı) 9 ilâ 14 Å arasında değişmektedir. Tobermoritlerden en çok bilinenler 9.3, 10, 11, 12.6 ve 14 Å tabaka kalınlığı olanlardır. Bunlarda C/S oranı yaklaşık 5/6 ve kristal-bağlı su molekülleri sayısı da 2 ilâ 9 arasındadır. Pelte halindeki tobermoritlerin tabaka yüzeyleri, yüksek miktarda kireçli çözelti içinde kalsiyum iyonlarını kuvvetle adsorbe ederek (+) işaretiyle yüklenirler.¹³⁴ Kireç miktarının azalması halinde yükün işareti değişebilir ise de, tobermoritlere komşu olan kil kristal yüzeyleri yine de eksi işaretli olarak yüklenmiş olacağından, kil ve tobermorit yüzeylerinin ortaklaşa adsorbe ettikleri kalsiyum iyonlarının kaybolması gerekmez. Şişmez özellikli ve kil dane yapılarına kuvvetle bağlanarak onları çevreleyen bu peltemsi ürünler tüm sistemin su karşısında şişmesine de engel oluştururlar. Bu şekildeki kil-jel yapısının iyice gelişmesiyle karışım sisteminin suya batmamış haldeki dayanımı da artacaktır.

CSH yapıları içine Si^{4+} yerine Al^{3+} ve Fe^{3+} girebilmektedir. Bu eşyerli değişim 1:6 oranına kadar yükselen değerlerde görülebilmektedir. Bu ve başka nedenlerle karma yapıllı oluşumlar da mümkündür.

Literatürde bildirilen birçok CSH bileşiklerini çamur/pasta halinde hazırlanan örnekler üzerinde gözlenmişlerdir. Bu tür ortamlarda yaklaşık da olsa suya doygunluk içinde, kolaylaşan katyon ve anyon difüzyonu sayesinde, düşük C/S oranlı bileşikler oluşmaktadır. Uygulama koşullarında hazırlanıp sıkıştırılmış örneklerde ise etkileşim olayları suya doygun ortamda gelişmemekte, difüzyon mekanizmasının etkinliği daha azalmakta ve örneklerin hemen her yerinde aşırı yükselen Ca^{2+} konsantrasyonu nedeniyle etkileşim bölgelerinde bol olarak

bulunan Ca^{2+} u çokca içeren, yüksek C/S oranlı bileşikler oluşmaktadır. Bu tür hidratlanmış silikatlardan önemli bir kristal yapısı gösterenlere, pratik şartlarda hazırlanıp sıkıştırılmış örneklerde rastlanmamakta, ancak etkileşimleri hızlandıran yüksek sıcaklıklı, nemli ve basınçlı ortamlarda kristalleşme belirgin olarak görülebilmektedir.

CAH'lar dengeli, yada yarı-dengeli olarak kübik ve altıyüzlü olan çeşitli yapılar şeklinde kolayca kristalleşirler. Bu nedenle polimorfları pek çoktur. Kristal yapıları içinde olası katyonik bir eşyerli-değişim yanında kalsiyum karbonat adsorbsiyonu birçok halde yaygın olarak görülebilmektedir.

Etkileşim ürünlerinin büyük çoğunluğunun daneler üzerinde bir kaplama (deri oluşumu) şeklinde yerleştikleri anlaşılmaktadır. XRD incelemesi yapıldığında zayıf ta olsa görülebilen kristal biçimli ürünlerden hemen hepsi elektron yansımaları analizlerinde görülmemektedir.¹⁶⁰

II.2.8. Etkileşimlerde Bazı Toprak Özellikleri

Toprakların kireç/çimento ile karışımlarında gelişen etkileşimlerde rolleri görülen bazı toprak özellikleri konusunda literatürde önemli bilgi birikimi bulunmaktadır.

a) pH: Etkileşim için silika ve alüminaları kil kristallerinden çözecek kadar yüksek alkali ortamın gerekli olduğunda birçok araştırmacı birleşmektedir.^{20,22,31,38} Ancak, toprakların doğal pH ları ile stabilizasyona, özellikle kireç stabilizasyonuna cevapları arasında çoğu kez anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Ilıman iklim bölgelerinin topraklarında görülebilen bazı ilişkiler¹³⁹ tropik ve sub-tropik iklim bölgelerinin topraklarında genellikle görülememektedir.^{58,94}

b) Katyon değişim kapasitesi (CEC): Kireç stabilizasyonunda, toprakların serbest basınç dayanımları ile CEC değerli (<10 meq/100 g) arasında ilişki bulunduğu bildirilmiştir.⁵⁹ Ancak, CEC 'nin pH 'ya olan bağımlılığı yüzünden CEC 'yi pH dan soyutlamak pek mümkün olamaz; ve pH ile anlamlı ilişki gösteren topraklarda CEC ile de anlamlı bir etkinlik ilişkisi bulunacağı söylenebilir.⁵⁸

c) SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 (FeO) : Bu elemanlar üzerine yapılan araştırmalar birçok toprak için genellikle pek anlamlı olmayan ve bazen de, umulanın tam tersi bağıntılar göstermektedir.^{58,93} Stocker'a göre, kil kristallerinden, silika ve alüminaların çözülebilmesi, etkileşim hızını kontrol eden mekanizma değildir.¹³⁶

d) Organik maddeler : Bir görüşe göre organik maddeler dayanım kazancını önlemekte^{3,20}, yalnızca birkaç aylık süre için geciktirmektedir.¹⁴⁹ Ayrıca, hidrojen peroksit işlemiyle görülemeyen organik nitrojen de etkili olmaktadır. Bir başka deyişle organik maddelerin miktarından çok cinsleri önemlidir.¹²⁴ Birçok tropik ve subtropik bölge topraklarında, % 1 den fazla organik karbonun bile önemseneyecek olumsuz etkisi görülmemiştir.⁵⁸

e) Toprak cinsi : Kil minerallerinin stabilizasyona cevaplarının fiziksel ve kimyasal bakımdan farklı oluşları dolayısıyla, birçok araştırmacı^{58, 160} toprak cinsinin önemini vurgulamış ve killerin mineralojik açıdan ayrıntılı tanımlanmasını içeren uygulama yöntemleri önermişlerdir.²⁴ Avustralya'nın 15 büyük toprak grubunu kapsayan bir araştırma sonunda, stabilizasyona cevap ile mineralojik, kimyasal ve fiziksel özellikler arasında önemli bir ilişki görülemediği bildirilmiştir.⁶⁸ Söz konusu araştırmayla varılabilen sonuçlar kirecin killi, çimentonun da kumlu topraklarda daha etkin olduğu; ve %1 den çok organik madde bulunması halinde dayanım kazancının büyük ölçüde gerileyeceği şeklinde iki genelleme ile kalmıştır. Kireç ve çimento stabilizasyonunun, başarısında toprak cinsi etkisinin diğerlerinden daha kritik olduğu anlaşılmaktadır.⁶⁸ Bazı araştırma sonuçlarıyla kireç ile toprak elemanlarının etkileşiminde, kil mineral cinsinden çok kil-boyutundaki dane miktarının önemli olduğu; ve az ayrılmış topraklarda, çok ayrılmışlara oranla daha iyi sonuçlar alınacağı şeklindeki tezleri destekleyen bulgular alındığı bildirilmektedir.¹¹

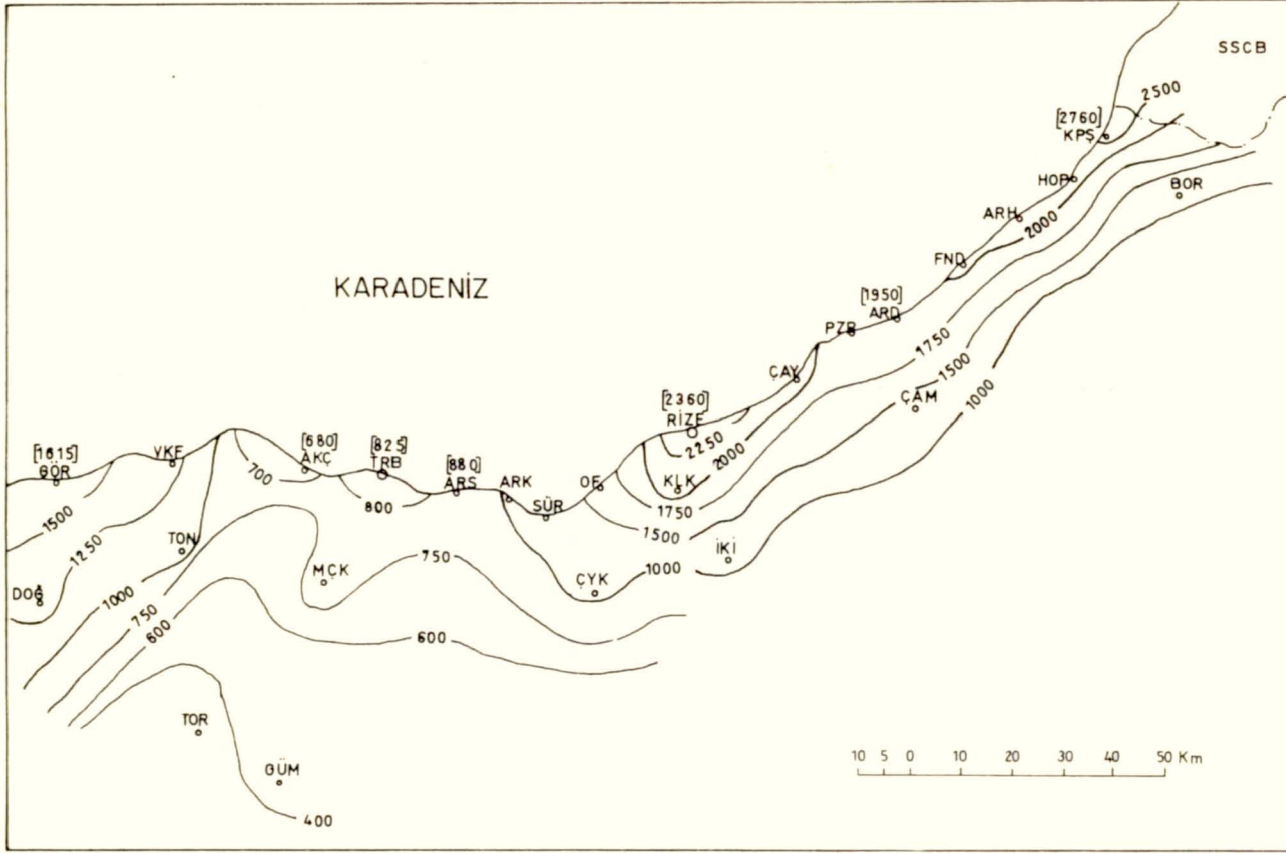
f) Sülfatlar : Sülfat bileşiklerinin özellikle toprak-çimento karışımlarına zararlı etkileri gösterilmiştir.¹²² Bunlar çimentonun hidratlanmasını engellemekte ve hacimleri da büyüyerek parçalanmaya neden olmaktadır. Ancak, kil miktarı önemli olmayan bazı topraklarda etkileri görülmemektedir.

II.3. Doğu Karadeniz Bölgesi Toprakları

II.3.1. İklim Özellikleri

Bölge ikliminin sıcaklık özellikleri bakımından tekdüze olduğu söylenebilirse de yağış için farklı üç kesim tanımlamak mümkündür. Vakfıkebir-Araklı arasında kalarak ve güneyde Kalkanlı (Zigana) dağlarına kadar uzanan kesimde yağışın yıllık ortalaması 600-900 mm/y. arasında kalarak düzensiz bir şekilde değişirken Vakfıkebir'den batıya doğru artarak 1000-1700 mm/y. ve Araklı'nın doğusunda kalan kesimde de 1000-2500 mm/y. değerlerine ulaşır. Yağışlar, sıradağların kısıtlamasıyla kıyıya paralel bir alan içinde kalmaktadır.³⁶ Bölgeye dağılmış 45 adet istasyonun son yıllara kadar dayanan verilerine göre çizilen yağış haritası Şekil-3 de verilmektedir.

Aylık ortalama sıcaklıklar sahil kesiminde 7-23 °C ve iç kesimlerde (400-600 m yüksekliğe kadar) 4-20 °C arasında değişmektedir. Yapılan hesaplara göre Lang iklim faktörü²⁶ değerleri 47 ile 172 arasında değişmekle birlikte çoğunlukla 100 ün üzerindedir. Bu durumda, ihmal edilebilecek yarı-kurak yerler yanında alanın büyük bir çoğunluğu yarı-nemli (sub-humid), nemli ve çok nemli (per-humid) iklim özellikleri göstermektedir. Köppen'in genetik iklim sınıflamasına göre yapılan değerlendirmelerle²⁶ bölgenin genel iklim karakteri "mutedil sıcak ve yağmurlu" olmaktadır. Buna "don devresi olmayan sıcak-mutedil iklim" de denilmiştir.⁶² Köppen sınıflamasına göre Trabzon için Cfa, Rize için de Cfa-rv gösterimi uygun düşmektedir. Kıyı kesimlerinin genel iklim karakteri için "hümid, mezotermal"⁵⁶ ve "hümid, yarı tropikal"⁶³ deyimleri de verilmektedir.

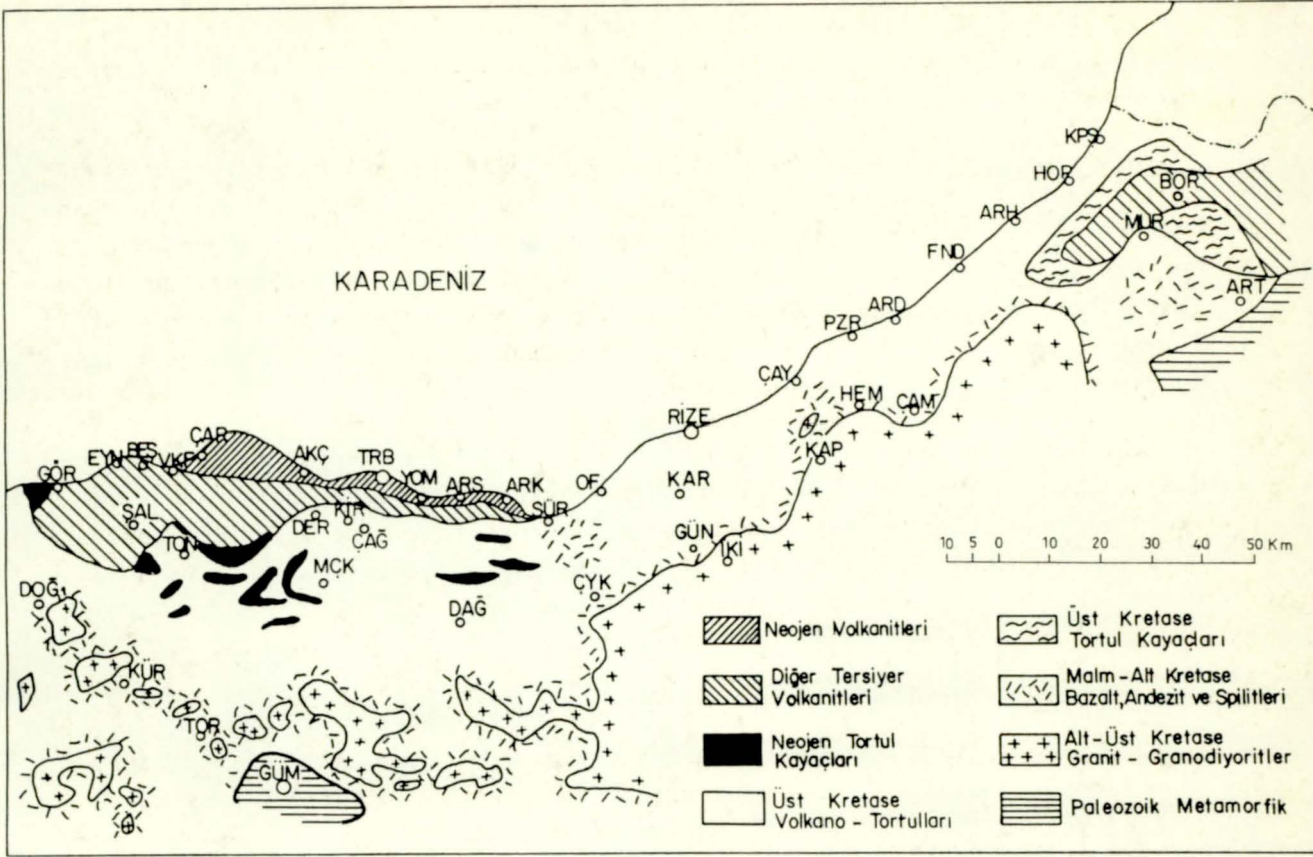


Şekil-3: Doğu Karadeniz yağış haritası

II.3.2. Jeoloji

Karadeniz Bölgesi ve dağlarının jeoloji literatüründeki adı Pontidler'dir. Samsun'un doğusunda kalan kesim Doğu Pontidler olarak anılır. Doğu Pontidler, Amasya-Erzincan-Erzurum-Kağızman çizgisiyle Anadolu anakarasından ayrılırlar. Doğu Pontidler'de sıradağların oluşturduğu çizgi ile Kuzey ve Güney olarak iki zon ayrımı yapılmaktadır. Bu çalışmanın kapsamı Doğu Pontidler Kuzey Zonu içinde kalarak doğudan Harşit Çayı ve güneyden de sıradağların (Soğanlı vd.) etekleriyle tariflenmiştir. Bu alan aşağıda yalnız bölge olarak anılacaktır. Bölgenin son verilere göre düzenlenen jeolojik haritası Şekil-4 te verilmiştir.

Jeolojik temeli oluşturan Paleozoik başkalaşım kayaların çok küçük bir alanda, Çaykara'nın kuzeyindeki Şerah gölü yakınlarında yüzeylendikleri görülmektedir. Bu temel üzerinde volkanitlerin egemenliğindeki Alt Bazik Seri (Malm-Alt Kretase, Lias?) yer alır. Seriyi başlıca bazalt, andezit, diyabaz ve spilit gibi volkanitler ile bunların piroklastları oluşturur. Seride mermer ve kristalize kireçtaşı bantları (Malm-Alt Kretase) ve granodiyoritik kayaların (Alt-Üst Kretase) geniş sokulumları da yer yer görülmektedir. Bu kristalize kireçtaşları Maçka-Hamsiköy ve Meryemana yörelerinde yüzeyleyirler.^{46, 107}



Şekil-4: Doğu Karadeniz jeoloji haritası

Üst Kretase bölgede etkin bir denizaltı volkanizması ile belgindir. Volkanizma önce dasitik sonra bazaltik karakterde olmuştur. Bu devreye ait oluşumlar, geniş anlamda, bir volkano-tortul seri olarak görülürler. Serinin altını, dasitik lav, tüf ve breşler içindeki iki dasit kuşağı (cevherli ve mor) oluştururken üst seviyelere doğru bazik volkanizma ürünleri (sık sık yastık lavlı) görülür ve bunları da türbidit karakterli tortullar (Maastricht-Paleosen) üstler. Bu volkano-tortullar daha çok kumtaşı, marn, kireçtaşı, tüf, tüfit ve bazaltlardan oluşurlar. Üst Kretase'nin bu volkanik ve tortul formasyonları Alt Bazik seriyi üstlerken Avusturya fazına bağlanan uyumsuzluklar gösterir ve Anadolu faziyla da (Paleosen-Eosen) Tersiyer volkanitlerinden ayrılırlar. Bu formasyonların serilere bölünmesi, sırasıyla, Dasit Serisi, Volkano-Tortul Seri ve Türbidit Serisi (yada Tüfitik Kireçtaşı-Marn Serisi) adları altında yapılmaktadır.^{75, 107, 108}

Bölgenin daha çok batı kesimlerinde Üst Kretase formasyonlarını üstleyen ve genelde bazalt ve andezitlerin lavları ile piroklastlarından oluşan kayaçlar (Alt Tersiyer) Üst Bazik Seri'yi oluştururlar. Bu serideki Vakfıkebir civarının denizaltı bazalt lavları ve piroklastları ince tortullarla başka cinsten kayaçları da içererek arakatlıdır.⁷⁵ Eosen yaşlı ve daha genç tortulların yüzeylenmeleri çok seyrek ve daha çok Artvin-Borçka-Ardanuç yörelerinde yer alırlarken türbidit karakteri gösterirler. Bu tortullar içinde kumtaşı, kireçtaşı, marnlı kireçtaşı ve tüfit gibi kayaçlar da ardışık olarak bulunur-

lar:¹⁰⁶ Eosen volkanizması genellikle andezit ve bazalt (arada riyolit ve dasit) türünden olmuştur. Ojit-andezitler, bu zamanın tipik volkanik kayacı olarak, oldukça yaygındırlar.

Akçaabat-Araklı arasında E-W uzanımıyla yer alan oldukça genç (Neojen ?) alkali bazaltik lavlar yer alır. Buralarda, kıyı kesiminde, ve özellikle Trabzon yöresinde felspatoidli volkanik kayalar dikkati çekerken çoğunlukla olivinli ve yer yer de ojitli volkanitler niteliğinde görülürler. Bu oluşumlarla birlikte gelişen, ancak denizin küçük koylarıyla sınırlı kalan tortul kayalar bazalt ve tüfler ile ardışıklı olarak başlıca Pazar, Akçaabat (Sarmasiyen) ve Trabzon'da (Ponsiyen) bulunmaktadır.^{4,5, 105, 108}

Kuaterner'e ait bazı genç (Pliyo-Pleistosen ?) oluşumlar yalnız kıyı boyunca ve çok sınırlı alanlarda marn, kumtaşı ve kireçtaşı olarak bulunmaktadır. Bu zamanın çakıl, kum ve siltten oluşan teras tortulları 150 m yükseltiye kadar yer yer görülebilmektedir. Alüviyal depolar ise ancak akarsular boyunca ve bunların denize ulaştıkları yerlerde oluşmuştur.^{4,5, 75, 105}

II.3.3. Jeomorfolojik Özellikler

Doğu Karadeniz'in düzlükleri yalnızca büyük derelerin denize döküldükleri yerlerde ve küçük çapta oluşmuştur. Kıydan güneye gidildikçe arazi hızla yükselerek sıradağlara ulaşır. Batıda, Alacadağ'da 2000 m ile başlayan yükselti Soğanlı Dağlar'ın hemen her yerinde 3000 m nin üzerindedir. Doğuda yükselti Çoruh nehrine yaklaşırken azalır ve sonra yine artar. Şekil-5 de bölgenin bir yükseklik haritası verilmiştir. Bölgenin jeomorfolojik birimleri basitçe şu birimlere bölünebilir:^{56, 112} 1. Ön dağlar: a) alçak ön dağlar (<200 m), b) yüksek ön dağlar (<600 m); 2. Tepelik arazi (<1000m); 3. Sıra dağlar. Buzul çağıının bıraktığı izler sonucu kıyıya yakın yükseltiler de morfolojik açıdan yüksek dağ karakteri taşımaktadır. Buzullar, günümüzde de Tatos Dağları üzerinde izlenmektedir.

Ön dağlar bölgesinde bazı teras formasyonları da tanımlanmaktadır. Bu teraslar, Karadeniz'in Tersiyer'den sonra başlayan alçalmasıyla, genellikle Pliosen-Holosen zaman dilimi içinde ve kabaca sekiz karakteristik kademede oluşmuşlardır.^{4,5, 63} Terasların bu kademeleri için verilen yükseklikler 11, 42, 100, 120, 190-200, 250-270, 325 ve 400 m dir. Dağların genel konumuna bakıldığında batıdan doğuya gidildikçe deniz kıyısına yakınlaştıkları ve yükseltilerinin de arttığı görülmektedir.

200 m yükselti çizgisi izlendiğinde beliren genel karakter şöyledir: Batıdan doğuya gidildikçe, kıyıya oldukça yakın olan çizgi Sürmene'den sonra kıydan uzaklaşmaya başlamakta, arada iki küçük yaklaşma dışında Sarp'a kadar böyle sürmektedir. 500 m çizgisi izlendiğinde ise 200 m çizgisi karakterinin tam aksi görülmektedir. Böylece, yukarıda sözü edilen teraslardan altıncısından sonra eğimin iyice arttığı açıktır. Buna paralel olarak, kırmızı topraklar (krasnozemler) bölgesinin yayılma sınırı da bu teras yükseltisiyle belirlenmektedir. Bu biçime benzer özelliklerle yerleşen sarı topraklarda (geltozemler) anakayaç etkeninin daha ağır basması nedeniyle yayılım sınırları morfolojik özelliklerden pek etkilenir görünmektedir.^{63, 52, 116}



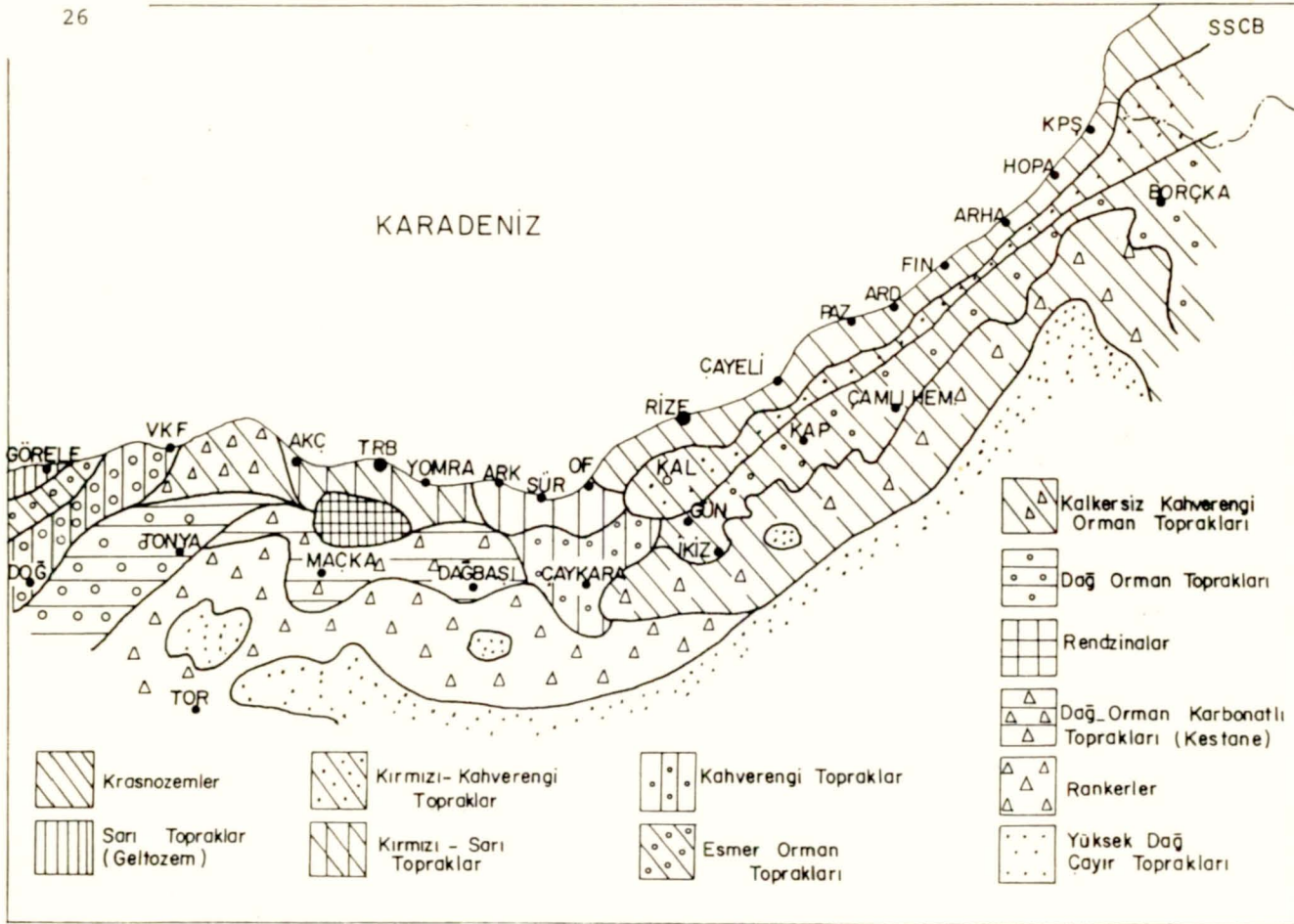
Şekil-5: Doğu Karadeniz yükselti haritası

II.3.4. Toprak Özellikleri

Eldeki bilgilerin karşılaştırmalı olarak biraraya getirilmesiyle hazırlanan bölge toprak haritası Şekil-6 da verilmektedir. Yoğun çay ve fındık tarımı nedeniyle sadece kıyı kesimlerinde ciddi olarak incelenmiş olan, büyük çoğunluğu yerinde oluşmuş toprakların genetik açıdan tümüyle tanındığı henüz söylenememektedir.

Bölgenin ekonomik açıdan önemli olan kesimlerinde kırmızı topraklar yaygın olarak yer alır. Bu topraklara verilen krasnozem adı, benzer şartlardaki Batı Gürcistan (SSCB) topraklarının tanıtılmasında kullanılarak literatüre girmiştir. Ortalama 600 m yükseltiye kadar çıkarak deniz kıyısına paralel bir kuşak oluşturan bu toprak bölgesinin genişliği, içerilere giren dar vadiler dışında, birkaç kilometredir. Ancak İyidere vadisi boyunca Kalkan-dere ve İkizdere civarlarına ve Fırtına deresi boyunca da Çamlıhemşin yakınlarına kadar sokulmaktadır.

Krasnozemlerin anakayaçlarını genelde Üst Kretase volkanitleri olan dasit, bazalt, andezit-bazaltlar ile bunların oluşturduğu temel üzerinde yer alan Neojen volkano-tortulları ve tortul kayaçları oluşturmaktadır. İyi drenaj şartları altında ve yüksek nemli-ılıman ortamda yaklaşık 1700 mm/yıl ve daha yüksek yağış altında oluşmuşlardır. Doğal bitki örtüsü yaprağını döken ve



Şekil-6: Doğu Karadeniz toprak haritası

devamlı yeşil kalan türdendir (rododendron, azelya). Yüksek yağış altında bile asit reaksiyonlu (hemen tüm horizonlarda $pH < 5$) topraklara dönüşmüşlerdir. Asidik anakayaçlar üzerinde oluşan topraklarda profil gelişmesi çok daha hızlı olmuş ve erozyona çok elverişli arazi formlarında bile çok büyük derinliklere varan (30 m den çok) solum'lu profiller oluşmuştur. Krasnozemlerle örtülü olup yüksek yağış alan dik yamaçlar olası heyelan alanları olarak tespit edilmiştir.¹⁰²

Ferromagnezyen minerallerin parçalanması ve asit şartlarda yıkanmasıyla oluşan demir oksitleri ve oksid-hidratlarının mobilize edilip taşınması sonucu B horizonu, kırmızının tonlarından oluşan karakteristik renklerini kazanmıştır. Demir bileşiklerinin çeşitli kristal ve amorf formlarının kazandırdığı özellikleriyle bu topraklar lateritik topraklar⁴⁹ grubuna girmektedir. Genetik oranlar için bildirilen değerler $ki=3.4-6$ ve $S/R=2.2-4.6$ dir.⁶³ Bu araştırmaya giren iki toprakta ise oranlar, sırasıyla 2.98 ile 3.13 ve 1.76 ile 1.96 bulunmuştur. Bu grup topraklara hakim olan karakteristik kil mineralleri suluhalloysit, götit ve hematit olarak tanımlanmıştır.

Araştırma bölgesinde önemli bir ağırlığı olmayan geltozemlerin (sarı topraklar) Doğu Karadeniz kıyı şeridindeki yerleşimleri pek de az değildir. Anakayaçları genelde Üst Kretase ve Tersiyer volkanitleri, volkano-tortulları ve

yer yer de Neojen tortulları olmaktadır. Bozuk sayılabilecek drenaj şartlarında 1000-1700 mm/y yağış alan Sürmene ve Görele civarında, krasnozemler ile aynı jeomorfolojik karakterli yerleşimde bulunmaktadır. Krasnozemlere oranla daha az alkali yıkanması, yüzeysel gleyleşme ve renk verici demir oksid-hidratlarıyla tanınabilirler ve aynı doğal bitki örtüsüne sahiptirler. Bu sınıfa giren topraklarda B horizonunun genetiksel oranları için silika/alümina ve silika/seskioksitler olarak, sırasıyla 6-11.5 ve 5.2-8.7 değerleri verilmiştir.¹⁴³ Profillerin pH sı, anakayaç ve yağış-drenaj şartlarına bağlı olarak hafif asit-nötr, ancak hemen her zaman 7 den küçük olmaktadır. Drenaj özelliklerinin de etkisiyle, limonit ve başkaca demir oksid-hidratları yanında, kil mineralleri olarak çeşitli mikalar ile bunların karma yapılı bazı oluşumları birikme horizonunda bolca bulunur. Yer yer gözlemlenen bazı profillere podzolik (spodik) karakter atfedilebileceği konusunda tartışmalar^{56,62} olmuş, Topraksu¹⁴³ haritalarında podzolik olarak verilen karakter Hızalan ve arkadaşları⁶³ tarafından kabul edilmiştir. USDA'nın¹⁴⁶ genel spodosol tanımlaması bu profillere daha uygun görünmektedir.

Kırmızı-sarı topraklar, kırmızı ve sarı topraklar arasında bir geçiş oluştururlar. Genetik özelliklerce bu iki toprak grubuna benzerlerken profil gelişmelerinin zayıflığı ve anakayaçlarının yer yer alkalın oluşuyla onlardan ayrılırlar. Yağış ve drenaj özellikleri bunlara karakteristik sarımsı kırmızı, portakal, benekli sarı, kırmızımsı kahverengi renk özellikleri kazandırmıştır. Yerleştikleri küçük bölge içinde, teras formasyonlarına da bağlı olarak, yer yer derin ancak genelde sığ oluşmuş profil özellikleriyle diğer iki grup topraktan ayrılırlar.

Kırmızımsı kahverengi topraklar, krasnozemlerin hemen güneyinde bu formasyona benzer biçimde kıyı şeridinde paralellik içinde, genellikle yaklaşık 1000 m ye kadar çıkan yükseltilerde, ortalama 1500-1750 mm yağış alan nemli-ılıman ve pek dik olmayan arazilerde iyi drenaj şartlarında oluşmuşlardır. Anakayaçlarını volkano-tortullar, marn ve şistler, ince dokulu bazaltlar ve bazen de kireçtaşları oluşturur ve kalkerli olabilen formasyonlar üzerinde bile aşırı yıkanma etkisi altında asitten nötre kadar değişebilen horizonlar gösterirler. Değişik doğal bitki örtüsü ve yağış-sıcaklık özellikleriyle kırmızı topraklardan ayrılırlar. Solum'un derinliği genelde birkaç metreyi geçmemektedir.

Esmer orman toprakları, kahverenginin çeşitli koyuluktaki tonlarıyla renklerini göstererek ormanlık bölgelerin 800-1200 mm/y yağışlı ve 4-8-12°C yıllık ortalama sıcaklığı olan, genelde 800-1200 m yükseltilerde, kil taşları, mikasistler ve bazı volkano-tortullar üzerinde oluşmuşlardır. 50-90 cm gibi sığ bir solum içindeki horizonlarda kil birikimi çok az görülür ve pH hemen her yerde 6 dan küçüktür. İyi drenaj şartlarında ise esmer renk ve Bt horizonu belirgindir. Erozyona elverişli arazide ise horizonlar ACR olarak görünür.

Kahverengi topraklar bölge içinde daha çok Çaykara civarı ve Vakfıkebir'den güney-batıya, Doğan kent'e doğru yerleşirler. Bunların anakayaçlarını Alt Bazik Seri içinde yer alan bazalt (çoğu ince dokulu, bazıları yastık-lav), andezit ve spilitler ile marn, şistler ve kireçtaşları oluşturur. Genel olarak 800-1200 mm/y yağış ve 10-12°C lık yıllık ort. sıcaklık altında çayır,

çalılık ve genellikle yaprak dökken orman örtüsü altında, orta drenaj şartlarıyla oluşmuş, genelde nötr-hafif bazik reaksiyonlu topraklardır. Profil gelişmeleri genelde pek derin değildir. Yerleşim yükseltileri yaklaşık olarak 300-600 m arasında kalmaktadır. Karakteristik kil mineralleri çeşitli miktardır.

Kırmızı-kahverengi orman toprakları (KKOT) volkano-tortullar, yastık-lavlı bazaltlar, tortul kayalar ve granit/granodiyoritler üzerinde, ortalama 800-1000 mm/y yağış alan ve genelde 5-7°C (bazen 12-14°C) yıllık ortalama sıcaklığı olan yerlerde, dökülen/iğne yapraklı orman ve günümüzün fındıklıkları altında oluşmuş, bazıları yıkanmış asit reaksiyonlu (pH<6.5) topraklardır. Arazinin erozyona elverdiği şartlarda çoğu kez B horizonu görülmez ve solun birçok yerde 40-70 cm derinliklerle sınırlı kalır. Kil mineralleri kloritik ve karma yapılarıdır.

Kestane renkli topraklar Maçka civarında ve buradan doğuya doğru yayılmaktadır. Daha çok alkali özellikte olan çeşitli tortullar (Neojen) ve volkano-tortullar (Üst Kretase) üzerinde, 600-800 mm/y yağış ve 6-10°C yıllık ortalama sıcaklıkta, seyrek ağaçlı ve otlakları olan çevrede oluşmuş, kalsifikasyon ve kil birikmesi (Bt) gösteren alkali (pH=8) topraklardır. Prizmatik yapıda bloklu görünümünde iyi bir drenaj ile horizonlar arasındaki renk geçişi kahverengiden kırmızı kahverengiye doğru değişmektedir.

Dağ-orman toprakları, kestane renklilerden anakayaç ve biraz daha yüksek yağışlar ile farklılık gösterirler. Bunlarda anakayaçlar asidik ve yağış da 1000-1200 mm/y'dir. Bu topraklar KKOT topraklarına da benzerlikler gösterirler. Ancak, daha yüksek yağış ve drenaj şartlarıyla bazaların yıkanması, kil birikmesi (Bt) ve solun'un gelişimiyle daha olgun karakter kazanmış profilleri vardır. Bölgede Tonya'dan batıya ve güney-batıya doğru yayılmışlardır.

Rendzinalar bölgenin Trabzon-Maçka arasındaki küçük bir alanında yer alır. Buralardaki kireçtaşları, marnlar ve alkali bazaltlar üzerinde iyi drenaj şartları ve oldukça zengin organik maddelerin etkisiyle önemli kalsifikasyon göstermektedirler. Genelde bitki örtüsü yeşil/rododendron, yağış 600-800 mm/y, yıllık ortalama sıcaklık 10-12°C'dir. Yüzeyde renk oldukça koyu kahve iken derinlerde açık renk alır. Karakteristik kil mineralleri kloritler, vermikülitler ve bazı karmalardır.

Oldukça yüksek bölgelerde (1200-1800 m) ve 300-500 mm/y yağış altında, çeşitli asidik anakayaçlar üzerinde oluşmuş ve intrazonal olan çayır toprakları (ranker'ler) genelde oldukça asit reaksiyonlu ve sığ ACR horizonludurlar. Zayıf drenajlı, seyrek iğne yapraklı ağaç örtüsü ve çayırılık altında oluşmuşlardır. Oldukça iri daneli bünyelerinin renkleri sıcaklık ve yağışa göre açık/koyu kahverengiden sarı-portakal rengine kadar değişmektedir.

Çayır toprakları bölgesinden daha yükseklerde yer alan yüksek dağların (>1800 m) klasik toprakları "yüksek dağ-çayır toprakları" olarak anılırlar. Çok değişik anakayaçlar (genelde splitize granit ve granodiyoritler) üzerinde 600-800 mm/y yağış alan ve don devresi bulunan kesimlerde oluşmuşlardır. Buzulçağı sonrası formasyonları olan bu topraklar kötü drenaj ve erozyon ile çok sığ AR profili göstermektedirler.

II.3.5. Lateritler ve Lateritik Topraklar

inceleme konusu alanın bazı toprakları lateritik özellikleriyle dikkat çekmektedir. Bunlar arasında ilk göze çarpanı, lateritlerin en çok kabul gören tanımına da temel alan, havaya açık bırakıldığında sertleşerek briket yapılabilmesidir. Laterit adı Latince'de briket anlamına gelen Later sözcüğünden türetilmiştir. Diğer yandan bunların mühendislik deneylerine hazırlanma ve işlenmelerindeki uygulamalar (karıştırma, örseleme süresi gibi) sonuçları fazlasıyla etkilediği dikkat çeker. Bu tür topraklar için literatürde Laterit ve Lateritik olarak iki ad kullanılmakta, sözkonusu özellikleri kuvvetle gösteren topraklara laterit ve bu özelliklere bir dereceye kadar sahip olanlara da lateritik toprak denilmektedir.⁴⁹

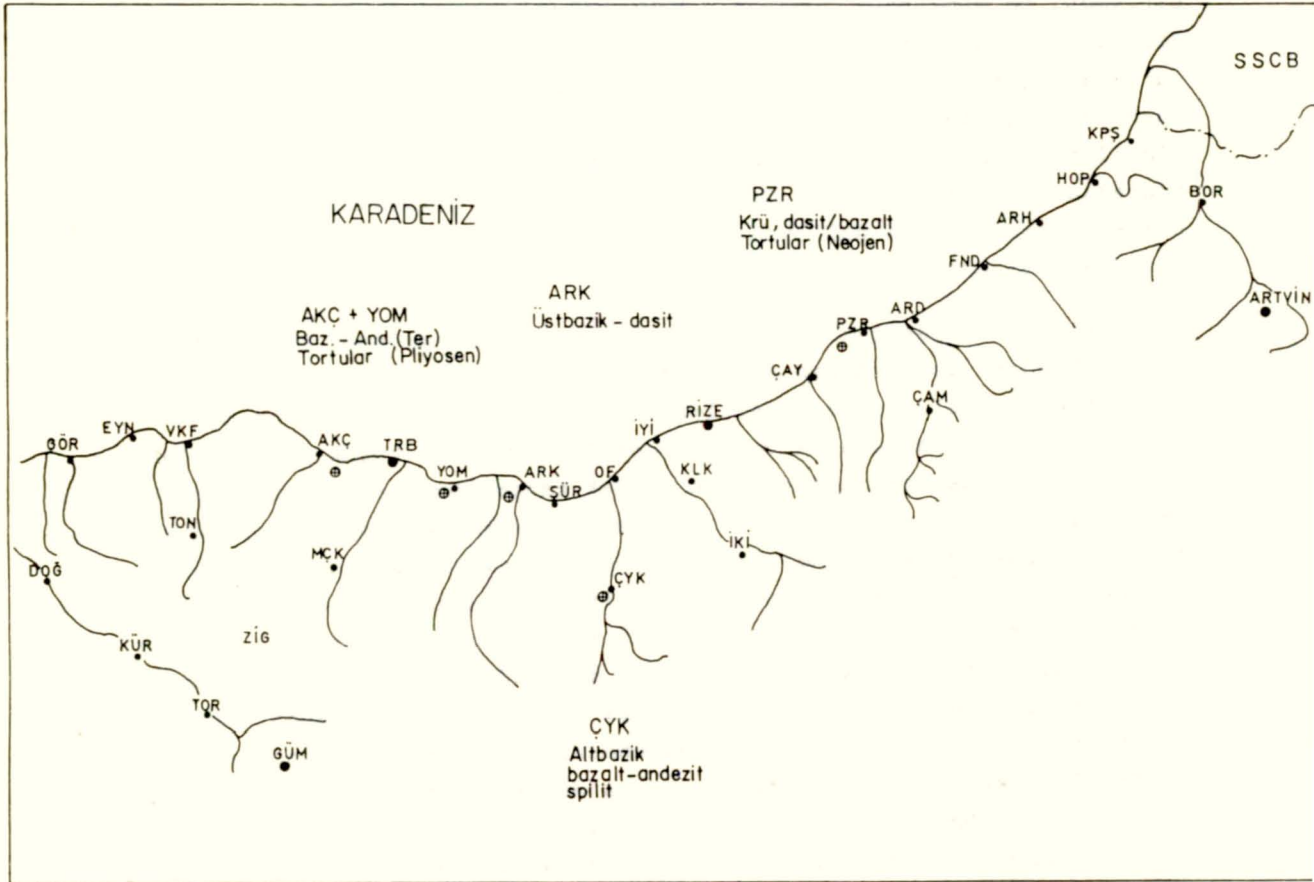
Lateritleri ve lateritik toprakları oluşturan ana olay, laterizasyon adı verilen, tropik/subtropik iklimlerin yüksek sıcaklık ve yağışlı ortamında ferro-alümino silikatları çokca içeren kayalardan iyi drenaj şartlarında sızan suların, hidroliz olayı ile, kayaların alkali metallerini yıkaması ve oksitlenen demirin çökelekler halinde birikmesi şeklindedir. Yıkama sırasında kristalize mineraller, amorf silikatlar ve siliko-alüminatlar (alofanlar) da oluşur.¹⁴⁴ Demirin bu tür birikiminin yanında, uzaklardaki başka formasyonlardan yeraltı suyu yardımıyla taşınıp formasyona getirilmesiyle birikmesi de mümkündür. Dünyanın bazı bölgelerinde, özellikle tropik iklimlerde, bugün de lateritler oluşabilirken, bazı yerlerde de, artık var olmayan iklim şartlarında oluşum gelişmiş ve sona ermiştir. Bu oluşumlar derinlerde kalmış olabileceği gibi erozyon sonucu açığa çıkmış yada taşınmış da olabilirler. Dar bölgelerde bile, oluşum etkenlerinin pek az değişimiyle, topraklarda önemli bileşim farklılıkları ortaya çıkabilmekte, montmorillonit, sulu-halloysit, meta halloysit ve alofanlar bir arada -ve çoğu kez karma yapıda- bulunabilmektedir.

Lateritler ve lateritik toprakların tanımlanması kimyasal bileşime göre de yapılmaktadır. Toprakların silika (SiO_2) ve seskioksitleri (Fe, Al, Ti ve Mn elementlerinin 2/3 oranlı oksitleri, R_2O_3) arasındaki molar oran, S/R ile gösterilerek kullanılmakta ve bu oranı 1.33 ve daha küçük olanlar laterit, 1.33-2 arasındakiler de lateritik olarak tanımlanmaktadır. Ancak mühendislik amaçlarını tatmin edemeyen bu tanım ve ayırlama yerine, bu toprakların morfolojik karakterlerini öne alan bir yaklaşım mühendislerce benimsenmektedir. Bu yaklaşıma göre, lateritler ve lateritik topraklar fazlaca parçalanmış bir malzeme olarak Fe ve Al nin 2/3 oksitleri bakımından zengin, alkalileri ve ikincil silikatları pek az iken önemli miktarda kuvars ve kandit grubu mineral içeren, doğal durumda sert bir yapı gösteren yada ıslanma/kuruma sırasında sertleşebilme özelliği olan malzemelerdir.⁴⁹ Burada mühendislik açısından en önemli nokta serbest alümina ve/veya demir oksitlerinin çoğunlukla pelte halinde iken toprak danelerini kaplamasıdır. Bu kaplamalar daneler arasında çimentolanma oluşturarak, danelerin yüzey aktivitelerini ve özgül yüzeylerini düşürerek toprakların mühendislik özelliklerini çarpıcı bir şekilde etkilerler.^{48, 92, 123, 144}

Genel olarak yapıldığı gibi lateritler ve lateritiklerde de sınıflandırmanın

dane dağılımı ve plastisite özelliklerine göre yapılmasının tatminkar sonuçlar vermediği bilinmektedir.^{4,8,12,3} Buna neden olarak, yöntem etkisi yanında, toprakların ayrışma/yıpranma dereceleri, kimyasal ve mineralojik bileşimleri, kökenleri, morfolojileri ve buldukları çevre şartlarının da arazide ve laboratuvarındaki davranışlarını etkilediği verilmektedir. Bunların ardından da uygun bir sınıflamanın nasıl yapılabileceği sorusu üzerindeki görüşler üç temel kriterin değerlendirilmesinde birleşmektedir: Toprakların sertleşme özellikleri, kimyasal bileşimleri ve morfolojik karakteristikleri.

Araştırma programına alınan topraklara bakıldığında (Şekil-7, Tablo-II) bunlardan ikisinin (ARK, PZR) S/R oranları ikiden küçük bulunmaktadır. Oranları ikiden büyük olanlardan ikisi de (AKÇ, YOM) yerinde ve havada sertleşme özelliklerini, diğer çift ile birlikte, açıkça göstermektedirler. Bu dört toprakta da çeşitli mühendislik deneylerinde uygulanan işleme özellikleriyle değişen sonuçlar bulunmuştur. Bunların morfolojik ve mineralojik karakterleri de yukarıda değinilenlere paralellikler göstermektedir. Örneklerden biri (ÇYK) 3 ten de küçük S/R oranı verdiği halde sözü edilemeyen özelliklere sahip değildir. Bu bulguların ışığında, bölgenin kırmızı, sarı ve sarı-kırmızı topraklarında, mühendislik ilgi alanı içinde kalarak, lateritik özelliklerin bulunduğu savunulabilir duruma gelmiştir.



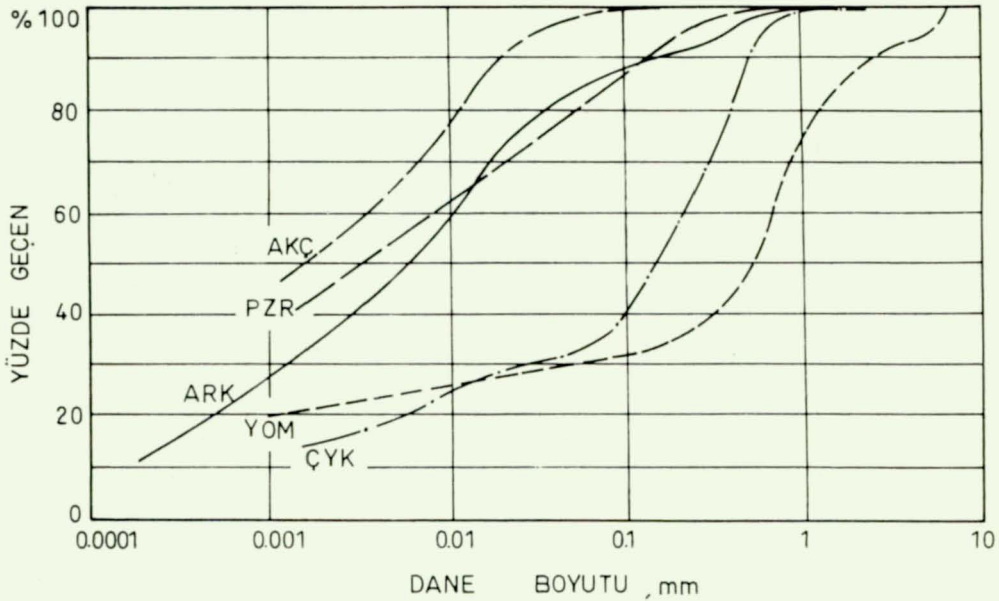
Şekil-7: Araştırmaya alınan toprak örneklerinin yerleri ve anakayaçları

III. YÖNTEM VE MALZEME

III.1. Malzeme

III.1.1. Araştırmada Kullanılan Toprakların Ana Özellikleri

Jeolojik ve pedolojik yeknesaklığa rağmen çalışma alanından alınan örnekler arasından, ilk elemelerde, renk, doku, oluşum yeri, yörenin yağışı, derinlik gibi faktörler gözönünde tutularak 52 toprak seçilmiş, sonra bunlar arasından kapladıkları alan ve mineral yapısı başta olmak üzere değişik etkenlere dayanarak beş tanesi ayrılmıştır. Bu topraklar tez içinde Akçaabat (AKÇ), Araklı (ARK), Çaykara (ÇYK), Pazar (PZR) ve Yomra (YOM) olarak anılacaktır. Toprakların yerleri ve anakayaçları Şekil-7 de gösterilmiş ve yazılmıştır. Bunların ayrıntılı özellikleri Tablo-II de sunulmuş, dane dağılım eğrileri de Şekil-8 de verilmiştir.



Şekil-8: Toprak örneklerinin daneçapı dağılımları

AKÇ toprağı, Akçaabat ilçe merkezinde, spor salonu inşaat alanının güneydoğu ucunda B1 (Bt) horizonundan (ortalama derinliği 2.5 m) alınmıştır. Yükselti yaklaşık 25 m dir. ARK, Araklı deresinden yaklaşık 500 m batıda, yükseltisi yaklaşık 100 m olan tepenin ortalama 3m derinlikli Bt horizonundan alınmıştır. ÇYK, ilçe merkezindeki köprüden 500 m kadar güneyde, karayolu yarmasından, ortalama 2 m derinlikli B horizonundan alınmıştır. PZR, ilçenin 3 km batısındaki Balıkçı ve Sivrikale derelerinin arasında kalan kesimin tam orta yerindeki karayolu heyelanı aynasından, yaklaşık 6 m derinlikli Bt horizonundan alınmıştır. YOM, kasaba içinden, B (Bt+Bg) horizonundan alınmıştır. Ortalama derinliği 4 m dir. Yakın çağlara kadar deniz içinde bulunduğu tahmin edilmektedir.

Tablo-II: İNCELENEN TOPRAKLARIN AYRINTILI ÖZELLİKLERİ

Toprak	AKÇ	ARK	ÇYK	PZR	YOM
Toprak sınıfı					
AASHIO	A-7-5[20]	A-7-5[20]	A-6[0]	A-7-5[20]	A-7-6[3]
USDA (1960)	Kil	Kil	Kumlu Lem	Siltli Kil	Kumlu Kil
FAA	E-12	E-12	E-6	E-12	E-9
Birleştirilmiş	CH	MH	SM	MH	SC
Pedolojik ^{1,4,7}	Kırmızı-Sarı	Krasnozem	Kahverengi	Krasnozem	Podz.Geltozem
BSCS ^{1,2}	CE	CV	MLS	CV	SCH
Kimyasal bileşim, %					
SiO ₂	61.5	41	50.1	42.2	54.7
Al ₂ O ₃	18.2	23.4	21	22.9	21.8
Fe ₂ O ₃	11.5	25.3	12.2	21.5	10.6
MgO	1.5	.8	6.1	2.1	1.4
Na ₂ O+K ₂ O+CaO	3.	1.7	1.7	1.7	2.9
TiO ₂	2.	1.9	1.1	2.1	1.8
Moleküler oranlar					
ki	5.73	2.98	4.05	3.13	4.27
ba	.22	.10	.13	.11	.21
S/R	4.09	1.76	2.95	1.96	3.25
Organik madde, %	1.2	1.1	1.3	1.2	1.2
pH	4.88	5.30	7.49	5.90	7.62
Renk	Portakal	Kırmızı	Kahve	Kırmızı-Kahve	Gri
Özgül ağırlık	2.74	2.70	2.74	2.78	2.75
Dane dağılımı, %					
Çakıl	-	-	-	-	12
Kum	2	15	65	16	56
Silt	45	49	19	34	10
Kil	53	36	16	46	22
C _u	75	66	670	525	6500
C _r	.15	1.5	4.27	.17	32
Kıvam limitleri, %					
Likit Limit	97	90	26	83	53
Plastik limit	30	65	-	53	26
Doğal su muhtevası	87	78	22	73	55
Büzülme limiti	-	32	18	29	16
Plastisite indisi	67	25	NP	30	27
Likitlik indisi	.85	.52	NP	.67	1.07
Doğrusal büzülme	-	18	4.4	18	6.
Hacimsal büzülme	-	45	13	45	17
Sıkıştırma özelliği					
Y _{kmax} , t/m ³	1.41	1.18	1.86	1.27	1.75
ω _{opt} , %	19	44	15	39	19
V _a , %	5	6	9	10	5
Aktivite, A _c					
Skempton	1.26	.69	NP	.65	1.23
Seed ve di.	1.40	.81	NP	.73	1.59

III.1.2. Katkı Maddeleri

Araştırmada Trabzon Çimento Fabrikasının KPÇ 325 çimentosu ve BARKİSAN, Bartın Kireç Sanayii'nin söndürülmüş, torbalanmış toz kireci kullanılmıştır. Malzemelerin bazı özelliklerine ait değerler Tablo-III de verilmektedir.

Tablo-III: KULLANILAN ÇİMENTO VE KİREÇİN ÖZELLİKLERİ*

Kimyasal Analiz, %	ÇİMENTO	KİREÇ
	CaO	49.2
MgO	1.4	2.6
SiO ₂	30.3	1.8
Al ₂ O ₃	8.4	} 1.7
Fe ₂ O ₃	2.9	
SO ₃	2.4	
Diğer	2.5	
Kızdırma kaybı	2.9	21.9
Serbest kireç	1.6	
Mekanik Analiz (% geçen)		
Elek 950	100	99
900	99.7	
4700	95.5	
4900		90
Dane özgül ağırlığı	2.98	2.59
Özgül yüzey, cm ² /g	4074	
Donma (saat)		
Başlama	3 3/4	
Son	4 1/2	
Le Chatelier, mm		
Soğukta	2	
Sıcakta	2	

* Bu analizler üretici kuruluşlarca yapılmıştır.

III.2. Fiziksel ve Kimyasal Deneyler

III.2.1. Su Muhtevası ve Kıvam Limitlerinin Ölçümü

Su muhtevası ölçümünde kullanılan etüvde kurutma yöntemi katkılı örnekler için bazen çok hatalı olabilmektedir.^{11,124} Bu yolla belirlenen su miktarındaki hata katkı maddesi miktarının beşte birine kadar çıkabilmektedir. Katkı maddesi ile killerin etkileşimi sonucu meydana gelen ürünlerin hidratlandıkları bilinmektedir. Bu hidratlanma suyu, yöntemde uygulanan sıcaklıkta buharlaşmamakta ve ayrıca bu sıcaklıklarda sözkonusu etkileşim ürünleri daha da çoğalmaktadır. Elektromanyetik mikrodalga fırınlarında kurutarak en çok bir çeyrek saatte buharlaşmayı sona erdirmek, yeni ürünlerin oluşumuna fırsat vermeden, konuya çözüm getirildiği bildirilmiştir.¹¹⁹ Böyle bir olanağın bulunmadığı bu çalışmada kızılötesi ışınlarıyla çabuk kurutma sağlayan bir nem

terazisinin kullanılması yoluna gidilmiştir. Bu terazide uygulanan güç aya- rıyla sağlanan kurutma hızının alınan sonuçlar üzerinde etkili olduğu bilin- mektedir; ayrıca yöntemin ölçme hassasiyeti de oldukça sınırlıdır. Bu neden- lerle bir kalibrasyon çalışması yapılarak optimum alet ayarlarının bulunması gerekmiştir. Olabildiğince hassas hazırlanan su içeriği örnekleri için aletin verdiği değerlerdeki bağıl hatanın $\pm 5\%$ mertebesinde kaldığı görülmüştür. Bunun yanında özellikle yüksek su içerikli örnekler için, BS1924:1975¹¹ Deney 1A'ya göre de uygulama yapılarak, gerektiğinde yöntemlerin sonuçlarının bağdaştırıl- ması yoluna gidilmiştir. Katkısız örnekler için yapılan uygulama TS1900:1975^{14,5} Deney 1A'ya göre olmuştur.

Likit limit değerlerinin saptanmasında TS1900:1975 Deney 2A'ya göre Casagrande' nin yöntemi ve BS1377:1975 Deney 2A'ya göre koni penetrasyonu^{12,5,16,2} yöntemi uy- gulanmış, tüm sonuçlar arasında uyum olmakla birlikte, tekrarlanabilirliği daha üstün görülen ikinci yöntemin değerleri kullanılmıştır. Plastik limit ve plas- tisiye indisi değerlerinin saptanmasında TS1900:1975 'e uyulmuştur. Yine bu standarda uygun olarak tek eksenli büzülme ve ASTM D427'ye⁵ uygun olarak da bü- zülme limiti değerleri saptanmıştır.

III.2.2. Dane Dağılımı ve Özgül Ağırlık

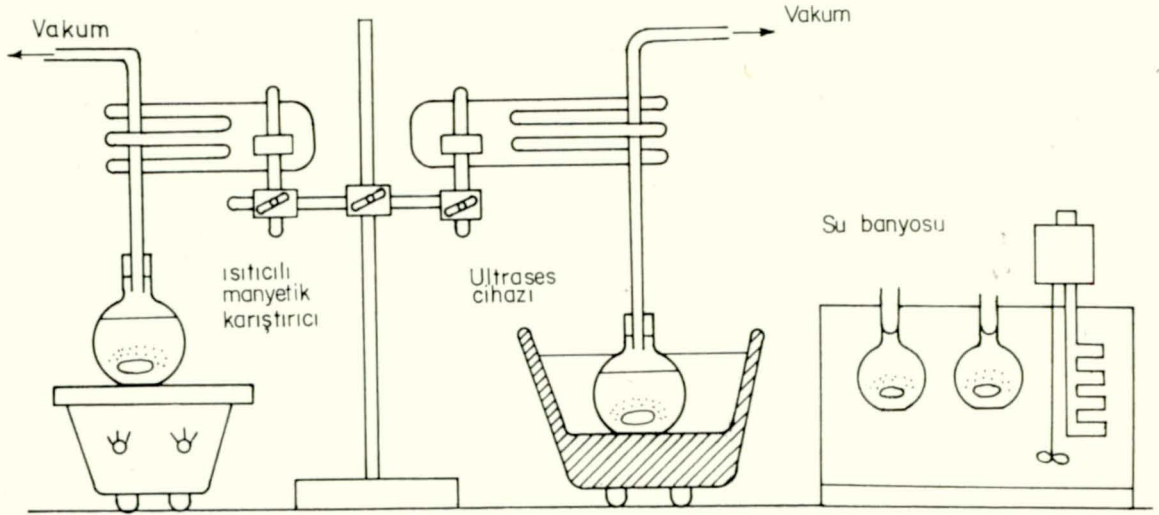
Dane çapları dağılımının saptanmasında TS1900:1975'e^{14,5} genel olarak uyan ıslak eleme ve pipet analizi yöntemleri uygulanmıştır. Islak elemelerde Dumbleton³⁵ ve West ve Dumbleton'un^{15,5,15,6} önerileri dikkate alınmıştır. Pipet analizinde ön- işleme kaybı dikkate alınmayarak Sherwood^{12,3} ve BS1377:1975'in¹⁰ önerilerine uyulmuştur.

Özgül ağırlık deneyi için yapılan işlemler genel çizgisiyle TS1900:1975 Deney 6 ya uygun olmuş, ancak örnek havasının alınmasında şöyle bir yol tutulmuştur: 100 ml lik piknometre şişesine 80 ml kadar havası alınmış su ve üzerine de ör- nek doldurulduktan sonra bir de manyetik çubuk konulmuş ve ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda, vakum da uygulayarak, bir süspansiyon elde edilene kadar karış- tırılmıştır. Daha sonra şişe, vakum kaynağına (kendi kapağı ile değil, bir las- tik tapa yardımıyla) bağlanmış ve bir ultrases cihazının havuzundaki sıcak (yaklaşık 60°C) suya daldırılarak, ultrases enerjisi ile birlikte vakum uygu- laması, şişedeki kaynamayı kontrol altında tutacak şekilde ayarlanmıştır. Bu işlem, kaynama durdurulduğunda hava kabarcıklarının görülemediği ana kadar sürdürülmüş ve şişenin suyu tamamlanıp havası yeniden alındıktan sonra su banyosuna aktarılmıştır (Şekil-9).

III.2.3. Sıkıştırma (Kompaksiyon) Deneyleri

Katkılı örneklerin sıkıştırma özelliklerinin belirlenmesinde, yapılan işlem- lerde geçen zamanın etkisi önemli olmaktadır. TS1900:1975^{14,5} yada BS1924:1975' e¹¹ göre yapılan deneylerde, kullanılması gereken örnek miktarının fazlalığı nedeniyle, deneye hazırlama ve uygulama için harcanan zaman büyüktür. Bu zaman kaybı nedeniyle malzemenin gerçek özelliklerinin belirlenememesi tehlikesi var- dır.^{8,6,12,4} Gerekecek çok sayıda sıkıştırma deneyini gecikmeden gerçekleştirmek

ve minimum hacimde toprak kullanarak koşulları yakından kontrol etmek amacıyla Harvard Minyatür Kompaksiyon deneyi kullanılmış ise de, özellikle pompalanma nedeniyle su kaybı olduğundan, uygulama sürdürülememiştir. Çalışma TS1900:1975 ve BS1924:1975 e uygun olarak 2.5 kg lık tokmakla yapılan deneylerle tamamlanmıştır.



Şekil-9: Dane birim hacim ağırlığı deney düzeni

III.2.4. Organik Maddeler ve pH Ölçümü

Toprakların organik madde miktarının saptanmasında hidrojen peroksit yöntemi³ kullanılmıştır. Potasyum bikromat ile oksidasyon yönteminde uygulanan demir-iki-sülfat ile titrasyon için gereken sodyumdifenilaminsülfonat'ın ($\text{NH}_2 \cdot \text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{NaSO}_3$) elde edilememesi nedeniyle bu yöntem kullanılamamıştır.

Kolloidal çözeltilerde elektrometrik yolla pH ölçülmesinde, birkaç nedene bağlı hatalar oluşmaktadır. Bunlardan en önemlisi, referans elektrodunun ucunu kolloidlerin tıkaması yüzünden, elektrodun kendi çözeltisi ile ölçümü yapılacak çözelti arasında gereken iki yönlü iyon difüzyonunun farklı hızlarda oluşmasıdır. Bunun sonucu olarak uçta içe/dışa iletilen elektrik akımı da beklenenden farklı olur. Bir diğer deyişle, uçta bir potansiyel yaratılır.¹⁵⁰ Bu potansiyelin değeri çözeltilerin iyonik özelliklerine ve ucun vereceği akış özelliklerine bağlıdır. Potansiyeli en aza indirmenin bir yolu yüksek akış sağlayabilen bir ucu olan elektrod kullanmaktır.^{158,159} Ancak bu araştırmada düşük akışlı bir referans elektrodu (Beckman no.39402, seramik uçlu kalomel) kullanmak zorunlu olmuştur. Cam elektrod ise Beckman no.39301 dir.

Toprak-su karışımlarında cam elektrodun potansiyeli, elektrodun bulunduğu yere (süspansiyon yada çözelti) bağlı değilken, kalomel elektrodun, ya da kullanılıyorsa tuz köprüsünün, potansiyeli süspansiyon yada çözelti içinde

bulunuşuna göre farklı olmaktadır.¹⁵⁷ Süspansiyon olayı yada Donnan elektromotor kuvveti denilen bu potansiyel farkı, artan süspansiyon konsantrasyonu ile daha da büyümekte ve sonuçta ölçülen pH değeri de küçülmektedir. Elektrod ucundaki potansiyel değeri belirlenemediğinden, özellikle asidik süspansiyonların pH değerlerinin gerçek çözeltilerin pH'larıyla doğrudan karşılaştırılmayacağı hatırdta tutulmalıdır.¹⁵⁰

III.3. Dayanım Deneyleri

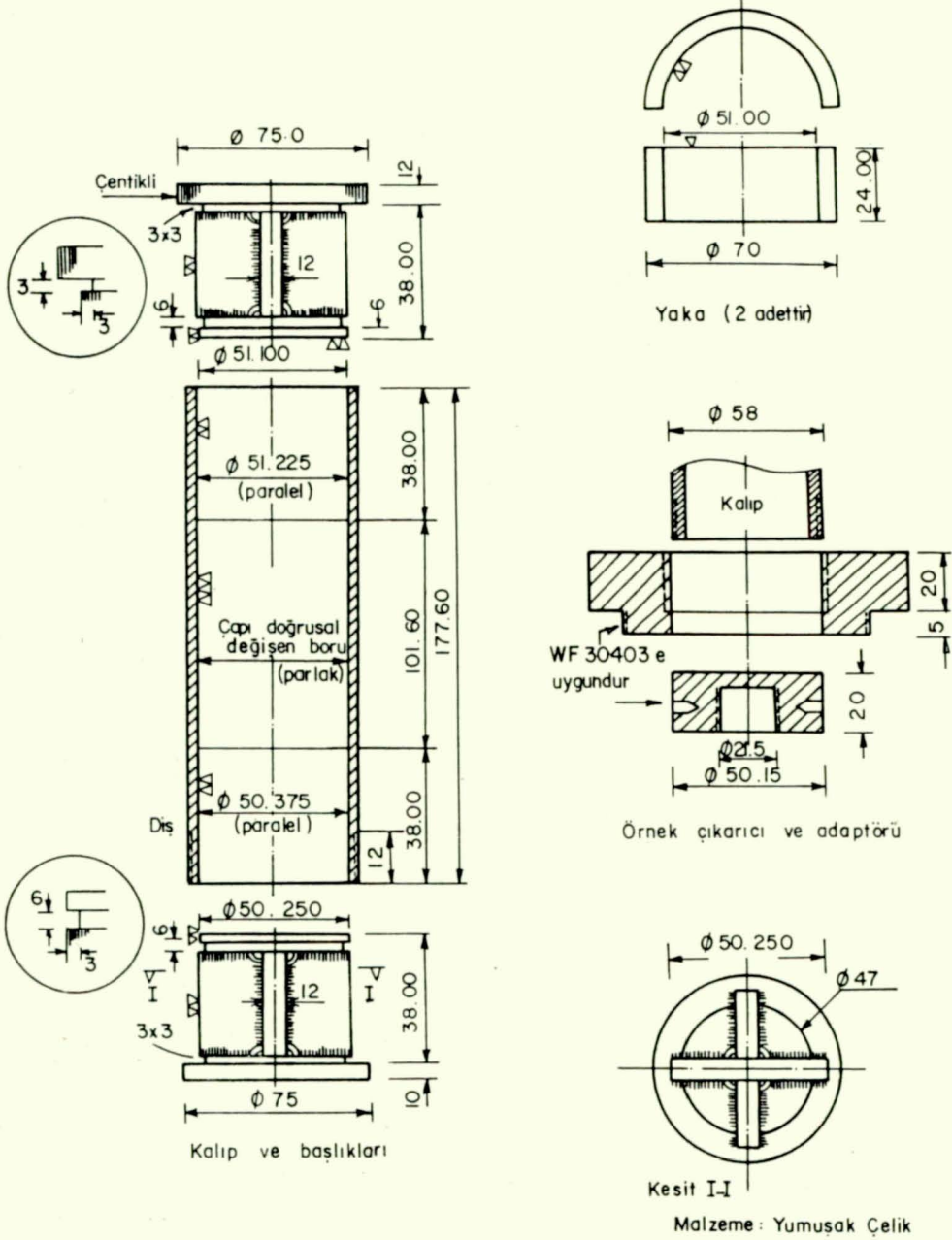
III.3.1. Örneklerin Hazırlanması

Dayanım deneyleri için örnek hazırlanmasında önceden saptanarak uygulanması öngörülen kuru birim hacim ağırlığa göre kalıba girecek malzeme miktarının hesaplanması gerekmektedir. TS1900:1975¹⁴⁵ Deney 1A'ya göre önceden belirlenen su muhtevası, örnek hazırlama esnasında, kızılötesi ışınli nem terazisinde yapılan ölçüm ile kontrol edildikten sonra, hesaplanan kuru ağırlığa karşılık gelen katkı miktarı da, ağırlık esasına göre, belirlenen oranda hesaplanmıştır. Toprak ve katkı maddesi derin bir plastik tekne içinde elle karıştırıldıktan sonra arzu edilen su muhtevasına getirmek üzere gerekli su miktarı kısım kısım verilmiştir. Bu işlem sırasında, homogenliği sağlamak için, sık sık elle karıştırıp ufalama yoluyla topaklanmalar tam olarak önlenmiştir. Böyle etkin bir karıştırmanın arazi koşullarında sağlanması çok zordur; ancak literatüre girmiş benzer koşullu laboratuvar çalışmalarıyla uyum amaçlanmıştır. Hazırlanan karışımlardan örnek kalıplanması için hiç zaman kaybedilmeden hareket edilmiştir.

Dayanım deneyi örneklerinin sıkıştırma kalıbı olarak BS1924:1975¹¹ de verilen kalıp, bazı küçük ölçü değişiklikleri ve kullanma kolaylığı veren bir sistem değişikliği ile kullanılmıştır. Örnek çıkarılmasında hidrolik pres kalıp için bir vidalı adaptör ve uygun bir piston takılarak kullanılmıştır. Şekil-10 da kalıp düzeni gösterilmektedir. Kalıba gevşek halde konulan malzemeye geniş bir hacim sağlamak amacıyla, alt başlığın kalıba girişini sınırlayan bir çift yaka kullanılmıştır. Böylece yaklaşık 206 cm³ hacimli olacak örneklerin malzemesi gevşek durumda yaklaşık 312 cm³ lük bir hacim içine yerleştirilmektedir.

Örnek kalıbı temizlenip hafifce yağlandıktan sonra altbaşlık ölçülerine göre sert ağaçtan yapılmış bir başlığa -arada yakalar da bulunurken- oturtulmuştur. Arzulanan kuru birim hacim ağırlığa göre hesaplanan miktardaki malzeme küçük bir polietilen torba içinde tartılıp bir huni ve çelik şiş yardımıyla üç kısımda kalıba yerleştirilmiştir. Bir çelik tampon yardımıyla örneğin üst yüzeyi düzeltildikten sonra kalıbın üst ve altındaki başlık yuvalarının yüzeyleri elle topraktan temizlenip başlıklar yerlerine oturtulmuş ve kalıp sıkıştırma presinin çerçevesine yerleştirilmiştir. Başlıkların kalıp içine itilmeleri için dört ton kapasiteli bir hidrolik pres kullanılmıştır. Preste sıkıştırma tamamlandığında kuvveti kaldırmadan bir dakika kadar beklenilmiştir. Böylece sıkıştırılan örnek hidrolik kriko yardımıyla kalıptan çıkarılmıştır. Çıkarılan örnek ±1 g duyarlılıkta tartıldıktan sonra polietilen kağıtla kaplanıp hava almaz bir şekilde paketlenerek tekrar ±1 g duyarlılıkla

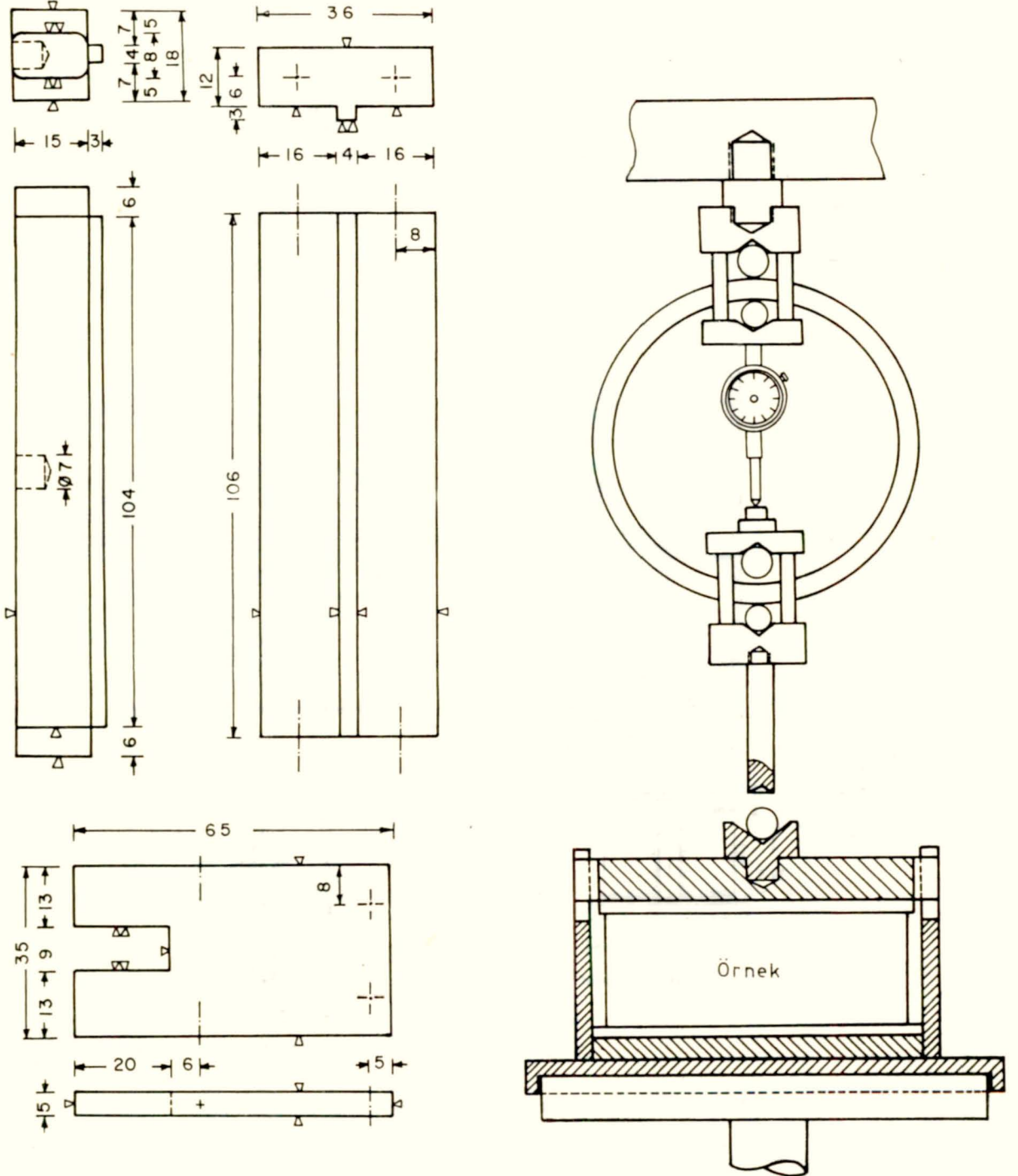
tartılmış ve her iki tartı ilgili formdaki yerlerine yazılmıştır. Böylece hazırlanıp etiketlenen örnekler daha sonra kür dolabına yerleştirilerek $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bir, iki ve dört hafta sürelerle bekletilmiştir. Proktor olarak bilinen dinamik yöntemle (tokmaklama) elde edilen optimum su muhtevası-maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerlerini kullanarak statik yöntemle sıkıştırılmış örneklerde dayanımın değişmediği gösterildiğinden¹²⁰ sonuçlarda fark belirmeyeceği açıktır.



Şekil-10: Dayanım örneklerini hazırlama kalıbı

III.3.2. Serbest Basınç ve Çekmeye Dayanımın Ölçümü

Örneklerin serbest basınç dayanımları BS1377:1975'e¹¹ uygun olarak yapılmıştır. Deneyin yükleme düzeninde (Şekil-11) yükleme başlığına bir küresel mafsal konulmuştur. Bu uygulamayla deney sonuçları arasındaki farklılıkların (varyansın) azaltıldığı görülmüştür. Örnekler deneyden önce $\pm 1g$ duyarlılıkla tartılmış, boyları kompasla $\pm 0.1mm$ duyarlılıkla ölçülmüş ve deney formuna yazılmıştır. Deneyde uygulanan yükleme hızı 1.5mm/dak. dır.



Şekil-11: Dolaylı çekme deney düzeni

Doğal ve stabilize topraklarda çekme dayanımının bulunması için doğrudan çekme kuvveti uygulanması birçok zorluklar çıkarmakta ve bazı hatalardan kaçınmak mümkün olmamaktadır. Deneysel hatalardan uzaklaşabilmek amacıyla, aslında beton malzemeler için geliştirilen, bir dolaylı çekme deneyi, doğal ve stabilize toprak örnekleri için de kullanılmaktadır.^{5,77} Brezilya deneyi, silindir çatlatma deneyi, yarma deneyi adları verilen bu deneyin dayandığı teorinin analizi çeşitli yükleme ve deformasyon halleri için yapılmıştır.^{4,3,66,164} Bu haller için geçerli olabilecek bazı pratik denklemler yardımıyla malzemelerin elastik parametrelerinin de hesaplanabileceği bildirilmektedir.¹

Çekme dayanımının bulunması için bir başka dolaylı çekme deneyi de, çifte-zımbalama adıyla, Fang ve Chen tarafından önerilmiştir.⁴⁰ Stabilize malzemelerde bu deneyin yarma deneyine üstünlükleri olduğu bildirilmektedir.³⁹ Bunlardan en önemlisi, kırılmanın en güçsüz bağları olan noktalardan geçen çizgi boyunca oluşacağını gösterilmiş olmasıdır. Deneye ilişkin mekanik davranışın elastik ve plastik analizleriyle elde edilen hesap denklemlerine giren bir parametre malzeme tipi ve örnek boyutlarına bağımlı olmaktadır. Bu bağımlılık nedeniyle, deneyin belirli malzemeler üzerinde uygulanabilirliği ancak konuya ilişkin detaylı araştırmaların verilerine dayandırılarak gerçekleştirilebilir.³⁹ Böyle bir araştırma yapılamadığından üstün yanları bulunan çifte-zımbalama deneyi uygulanamamıştır.

Klasik çizgisel yükleme halinin geçerliliğine genelde elverişli olmayan stabilize malzemeler için, düzgün yayılı yük halini sağlayabilmek amacıyla, yüzeyine eğrilik verilmiş yükleme başlıkları önerilmiştir.⁷⁸ Aynı amaçla önerilen oturma şeritleri, sonuçları %5 ilâ 25 kadar büyültmekte, ancak varyasyonu da azaltmaktadır.⁶ Bununla birlikte, teoride ve deneysel çalışmalarla gösterilmiştir ki, eğer yükleme şeridi genişliği, yüklemekten dolayı örneğin kısalmış çap uzunluğunun 0.27 sinden daha küçük tutulursa, deney yönteminin hata sınırları içinde kalınarak, gerilme hesabı klasik Frocht denklemiyle yapılabilir.⁴³ Bu şekildeki yükleme şeridi genişliği şartının sağlanmasıyla deneyin klasik teoriye göre geçerli olabilmesi, bir başka anlamda, malzemede 'serbest basınç dayanımı/çekme dayanımı' oranının üçten daha büyük olmasıyla mümkündür.³⁸

Deney düzeni Şekil-11 de verilmektedir. Uygulamada Frydman⁴³ ve Thompson'un¹³⁸ önerilerine uyularak 4 mm lik yükleme şeridi genişliği alınmıştır. Şekil-10 da görüldüğü gibi, iki ucunun çapları arasında 0.85 mm lik fark bulunan (<2%) örneklerde yükleme başlığına oturtulan küresel mafsallı yüklemenin düzgün yayılı olmasını sağlar. Yüklemenin tam olarak merkezsiz yapılabilmesi amacıyla, yükleme makinasının hareketli piston başlığına oturtulan bir disk üzerine çizilen yerleştirme şablonundan faydalanılmıştır. Bunun yanında, yüklemenin tam çap doğrultusunda olabilmesini sağlamak amacıyla da, örnek uçlarının yanına gelen yükleme düzeneği yan parçalarının her iki yanına, tam çap düzeyinde, vidalanarak dışarıya 7.9 mm çıkıntı oluşturan pimler referans alınarak örneklerin yerleştirilmesi yapılmıştır. Örnekler deneyden önce ± 1 g duyarlılıkta tartılmış, kompasla ± 0.1 mm duyarlılıkta boyları ölçülmüş ve ilgili form'a işlenmiştir. Deneyden sonra da kırılmış malzemeden örnek alınarak su muhtevası saptanmıştır. q_u , q_t dayanımlarının ölçülmesinde 5'er örnek kullanılmıştır.

III.3.3. Minerallerin Tanımlanması

Killerin x -ışını yöntemiyle incelenmesinde bunların -başkaca kolloidler için de olduğu gibi- kendilerine yabancı danelerden ayıklanmaları, bir başka deyişle saflaştırılmaları istenir, ve bu amaç için dane büyüklüğü esasına göre hareket edilir. Mikron ölçeğindeki bir ayırlama da ancak süspansiyondan çöktürme yöntemiyle mümkündür. Ancak, bu araştırmada bu yöntem kullanılamamıştır. Çünkü, katkılı örneklerde yapılan mineral analizinden amaç, belirli bir kür süresinden sonra, bunların doğal minerallerinde oluşmuş yapısal değişiklikleri ve bunların yanında, eğer varsa, yeni oluşan mineralleri incelemektir. Bu incelemede, varsayılan ortam koşullarının değiştirilerek, yöntemin gerektirdiği peptize olmuş halde süspansiyon oluşturma ve ardından kuruma şeklindeki şartların yaratılması inceleme konusu elemanları da değişik biçimlere sokacaktır. Burada sözkonusu olan mineralojik yapı değişiklikleri ve yeni mineral oluşumları suya doygun ortamda gelişimlerini sürdürecekler ve peptizasyon sırasında da büyük çoğunluğu pelte biçiminde oldukları bilinen yeni mineraller (etkileşim ürünleri) üzerinde kimyasal (katyonik) ve yapısal değişikliklerin oluşması da kaçınılmazdır. Bu nedenlerle ayırlama ASTM eleği No 400 den ($45 \mu\text{m}$) kuru eleme şeklinde yapılmıştır. Elemeden önce örneklerin inceltilmesi işlemi de, minimum basınç ve darbe uygulanarak, agat havanda öğütürerek yapılmıştır. Ancak, zaten ince olan kireç ve çimento malzemesi örnekleri için öğütme gerekmemiştir. Örnek tutucu olarak $15 \times 21 \times 0.2$ mm kavitasyonu olan lâm camları kullanılmıştır. Örnek yerleştirmede, yönlenmeye neden olmayacak şekilde hareket edilerek, Carrol'un önerilerine¹⁴ uyulmuştur.

Deneylerde kullanılan XRD üretim ve ölçüm düzeni JEOL firmasının JDX-Seri 8S sistemidir. Radyasyon üretimi, 40 kV gerilim ve 32 mA akım altında, bakır katotlu Philips 'broad focus' tüpüyle yapılmıştır. Kalkış açısı 4.5° , filtreler Ni/Co dur. Sistemin 170 mm yarıçaplı düşey tip goniometresinde uygulanan açısal tarama hızı dakikada bir derecedir. Radyasyon doğrultucularında, örneğe gelen ve yansıyan ışınlar için, yatay ve düşey açıklıklar, sırasıyla 4.5° ve 1° , alıcı açıklığı ise 0.2 mm olarak uygulanmıştır. Sistemin foton sayıcısı bir Geiger-Müller tüpü olup çalışma gerilimi plato başlangıcı olan 1150 V dur. Sinyal ölçme düzeni genlik ayırımı modunda (PHA) kullanılmış ve buna ilişkin alet ayarlarından doğrusal yükseltici, genlik ayırımının ortalaması ve penceresi ile sayım ortalaması (zaman değişmezi) değerleri optimum rezolüsyon şartlarına göre araştırılıp, sırasıyla, 32/ext, 3.50 V, 3.00 V ve 2 saniye olarak seçilmiştir.

Bu çalışmadaki toprak örneklerinde bolca bulunan çeşitli demir bileşikleri nedeniyle, bunlara gönderilen bakır radyasyonundan kaynaklanan uyarsız dalgalar (Compton olayı) foton sayımındaki gürültü düzeyini yükseltip sayımların gerçek hatasını arttırmıştır. Kobalt tüp kullanılarak giderilebilecek hatanın bu çalışma amaçları için önemsenecek düzeyde olmadığı da anlaşılmıştır.

IV. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

IV.1. Dayanım Deneyleri

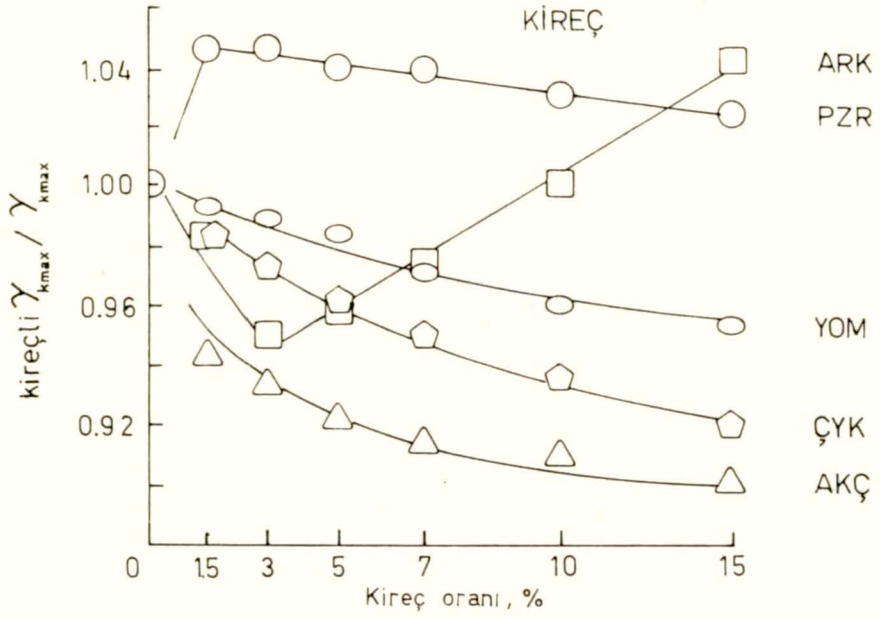
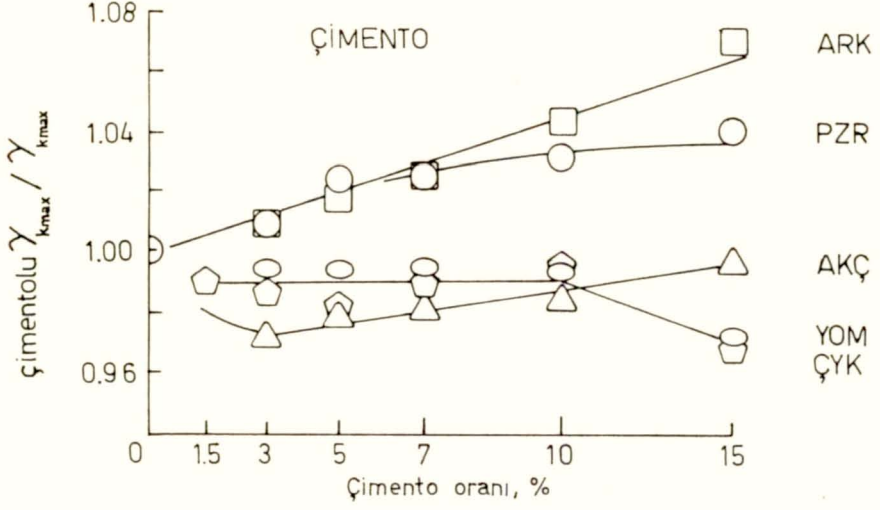
IV.1.1. Sıkıştırma (Kompaksiyon) Özellikleri

Killi toprakların stabilizasyonunda çimento genellikle öncelik verilmeyen bir katkı malzemesidir. Genel kural olarak, bu tür toprakların kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin artan çimento katkısıyla giderek düşeceği kabul edilir. Eğer karıştırma-sıkıştırma işlemleri kısa sürede bitirilemez ise sözkonusu düşüşler daha da çok olmaktadır. Bu çalışmada örneklere aynı oranlarda çimento ve kireç katılarak karışımlar üzerindeki etkilerinin karşılaştırılabilmesine olanak sağlanmıştır. Araştırmaya alınan toprak örneklerinden ikisinde (Araklı ve Pazar), artan çimento katkısıyla birlikte, genel kuralın tersine maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının da arttığı görülmüştür (Şekil-12). Lateritik özellikleri olan bu iki toprak, kireç katkılı karışımlarında da, genel eğilime uyumsuz davranışlar göstermektedirler. Kireçli karışımlarda her zaman γ_{kmax} düşüşleri beklenirken, Pazar toprağı sürekli olarak daha yüksek değerler vermekte, Araklı toprağı da %10 a kadarki kireç oranlarında artan-azalan eğilimli düşüşler gösterdikten sonra yükselmektedir.

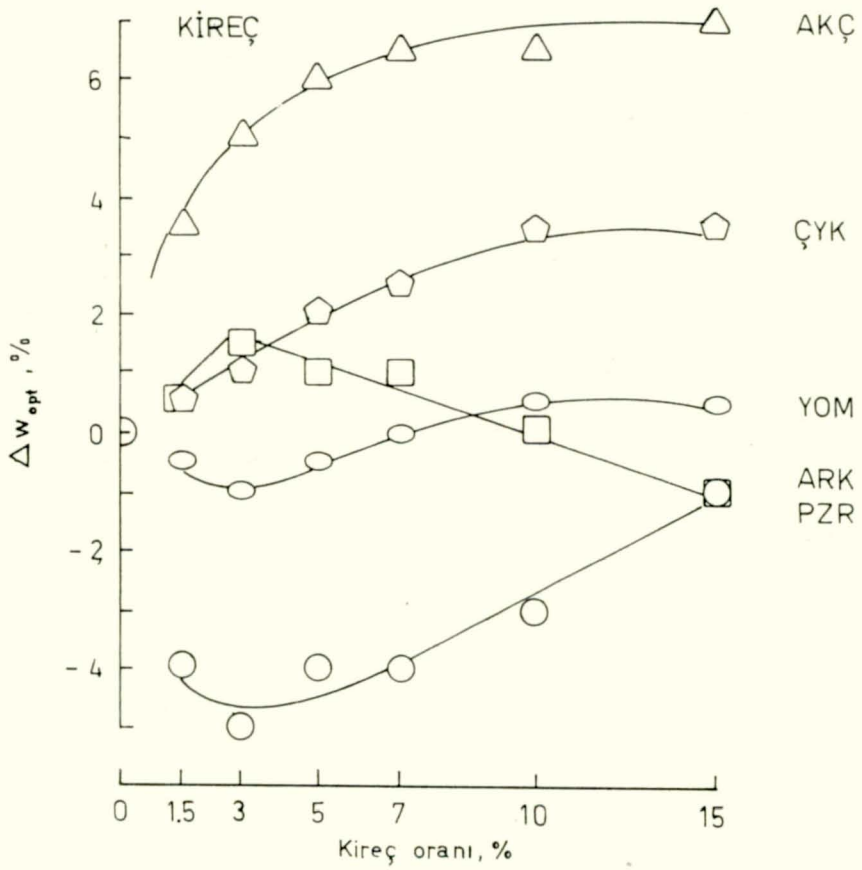
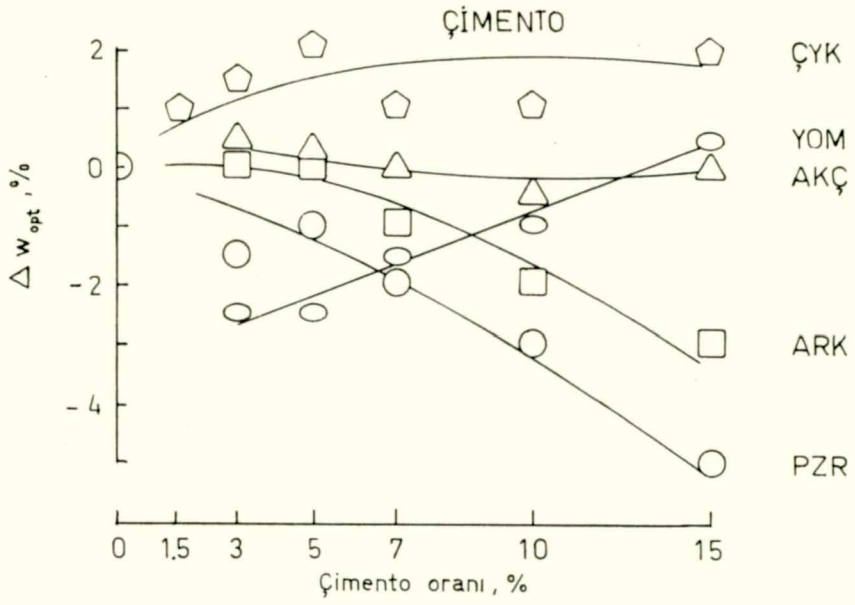
Kireç ve çimentolu karışımlardaki γ_{kmax} düşüşlerine rağmen, örneklerin dayanımlarının artışlar gösterdiği de burada belirtilmelidir. Çimento ile γ_{kmax} yükselmeleri gösteren Araklı ve Pazar topraklarının ulaştıkları değerler, yine de diğer üç toprağı a ait değerleri aşamayarak, 1.19-1.26 ve 1.28-1.32 t/m³ arasında değişmektedir. Kireç katkılı Araklı toprağı, araştırmaya giren topraklar içinde en düşük γ_{kmax} değerlerini alan (1.12-1.23 t/m³) karışımları vermiştir. Pazar+kireç karışımlarında γ_{kmax} lar, Akçaabat+kireç karışımlarına çok yakın değerlerle, 1.30-1.33 t/m³ arasında kalmıştır.

Toprak+çimento ve toprak+kireç karışımları optimum su muhtevalarının genel bir eğilim içinde, katkısız toprağınkinden yüksek olması beklenir. Bu araştırmaya giren topraklardan Çaykara dışındakilerin çimento ve/veya kireçli karışımları sözkonusu genel eğilimin dışında davranışlar göstermektedirler (Şekil-13). Özellikle, laterit karakterli Araklı ve Pazar toprakları kireç ile ve podzolik Yomra toprağı kireç ve çimento ile w_{opt} larında düşüş ve yükselişler gösterebilmektedirler.

Değişmez sıkıştırma enerjisi uygulanan bölge topraklarının değişken $\gamma_{kmax}-w_{opt}$ değerleri vermesi kil minerallerinin suyla karşılaştığında kabul edilmiş kompaksiyon teorisinin^{120,121} dışında bir davranışa girdiğini göstermiştir. Bir başka deyişle, katkı maddeleriyle yapılan sıkıştırmada optimum noktanın dağınık, ya da floklu yapı tarafında elde edilmesi olasıdır. Bu da kil minerallerinde yapısal bir değişikliğin göstergesi anlamını taşıyabilir.



Şekil-12: Karışımlarda kuru birim hacim ağırlıklarının katkı oranıyla değişimi



Şekil-13: Karışımlarda optimum su muhtevasının katkı oranıyla değişimi

IV.1.2. Katkı Oranının Dayanıma Etkisi

Bu konuda eldeki bilgiler, artan katkı oranına bağlı olarak kuru birim hacim ağırlıklarının bir üst limite kadar yükselmesi ve sistemin katkı etkilerine doymasından sonra da düşüş eğiliminde olmasıdır. Serbest basınç dayanımındaki (q_u) değişimlerin de kuru birim hacim ağırlıktakileri yakından izlemesi olağandır. Çekme dayanımı (q_t), özellikle çimento katkılı topraklarda oluşan mikro büzülme çatlakları nedeniyle q_u daki artışları izlememektedir.

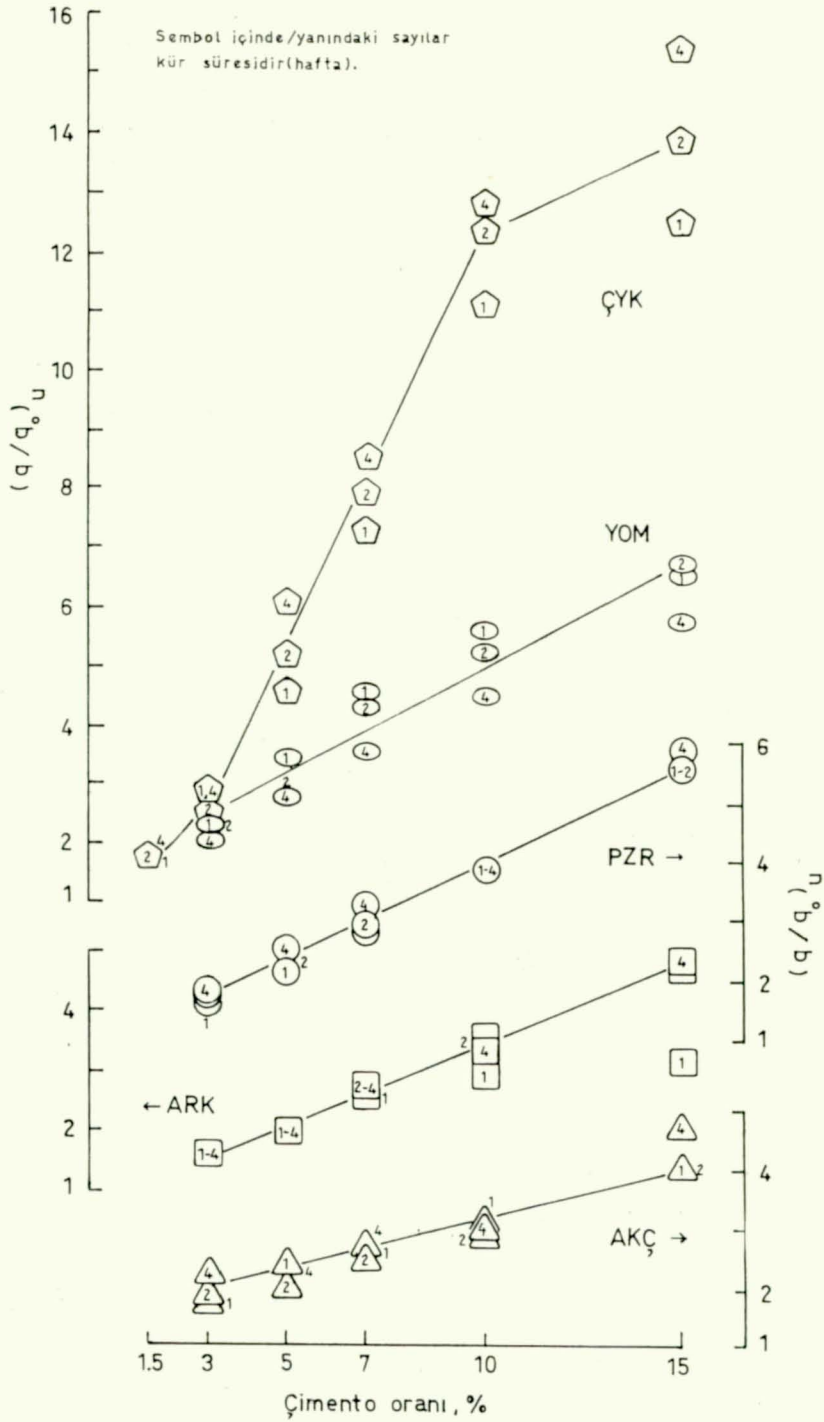
İncelenen beş toprağa %1.5-15 arasında değişen oranlarda kireç ve çimento katılmış ve dayanım artışları kontrollü kür sonrasında ölçülmüştür. Bilimsel incelemelerde araştırmacı genellikle iki değişken arasındaki bağıntıyı doğrusal, üstel ve kuvvet fonksiyonları türünden regresyonlar yardımıyla bulmaya çalışır. Çoğun gözden kaçan nokta üstel ve kuvvet fonksiyonu olarak hazırlanan grafiklerde sapmaların kolaylıkla gizlenebilmesidir. Bu nedenle doğrusal bağıntılar genellikle daha gerçekçi olmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda, tüm örneklerde 28 günlük dayanım-katkı oranı bağıntılarının doğrusal birer denklemle basitçe ifade edilebilecekleri görüldüğünden, Tablo-IV ve Tablo-V te dayanım denklemlerinin

$$\text{Dayanım } (q_u, q_t) = a + b \times (\text{Katkı } \%)$$

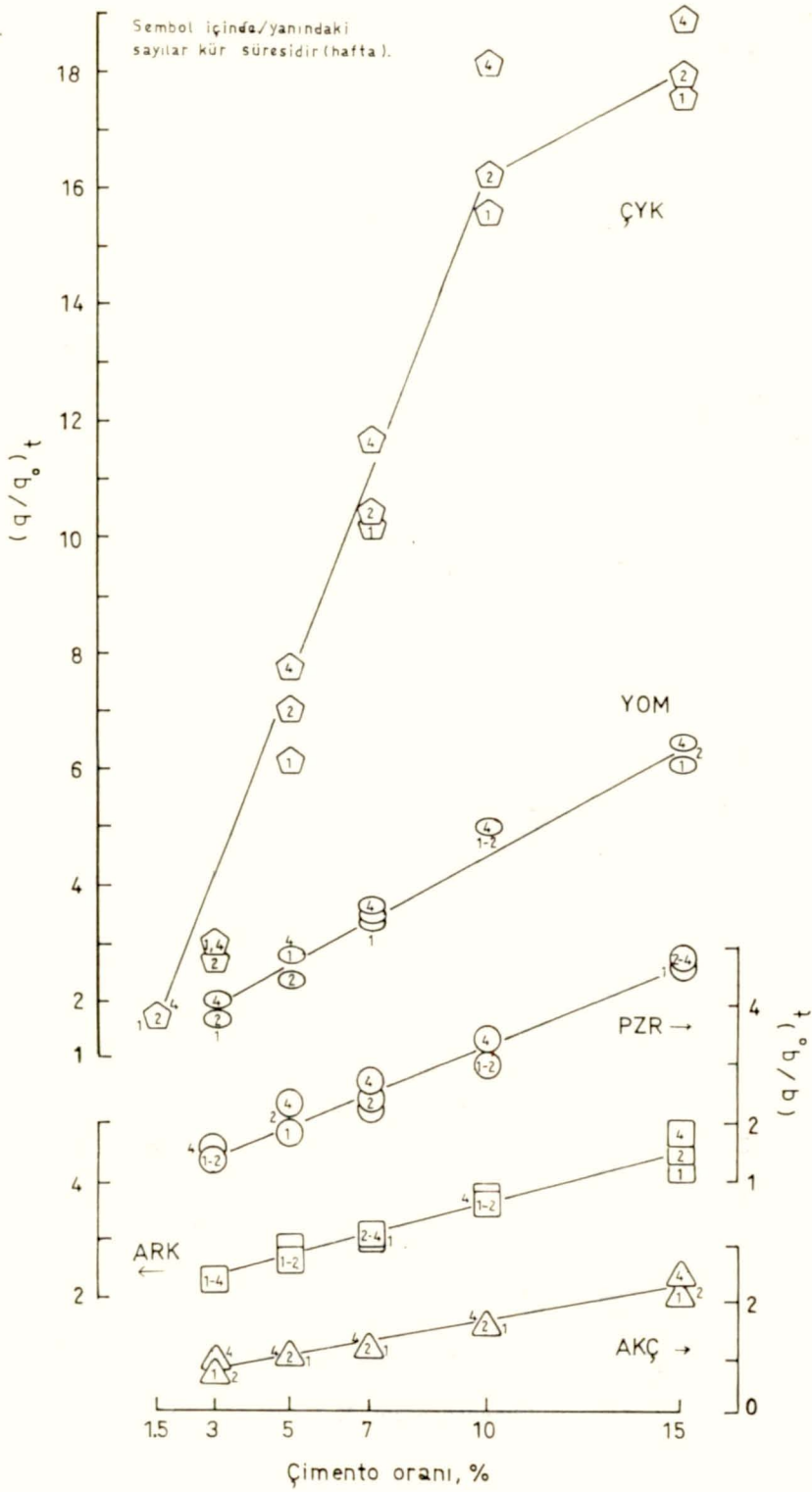
biçiminde verilmesi tercih edilmiştir. Çimentolu karışımların regresyonlarında korelasyonların 0.95 in üstünde, red olasılıklarının da 0.01 in (çoğu kez 0.005 in) altında çıktığı görülmüştür. Kireçli karışımlarda korelasyon katsayıları Çaykara ve Yomra'nın q_t değerleri için, katkı oranının %1.5-15 aralığında, 0.88 e kadar düşmüş ise de, tüm değerleri için yine 0.95 in üzerinde olmuş ve red olasılıkları da 0.01 den küçük bulunmuştur. Ancak bu iki toprak için %3 ve %5 katkı oranlarıyla sınırlanan bölgelerde aranılan regresyonların verdikleri korelasyonlar 0.97 den büyük olmuş ve red olasılıkları 0.01 den küçük kalmıştır (Tablo-V). Pazar ve Yomra malzemeleri kireç regresyon denklemlerinde görünen negatif sabit terimler dayanım kazancının kireç oranıyla ani değişiminden kaynaklanmaktadır (Şekil-16, 17).

Tablo-IV: ÇİMENTOLU KARIŞIMLARDA 28 GÜNLÜK DAYANIM-KATKI ORANI
REGRESYON DENKLEMLERİ ($3 \leq \text{ç} \leq 15\%$, kg/cm^2)

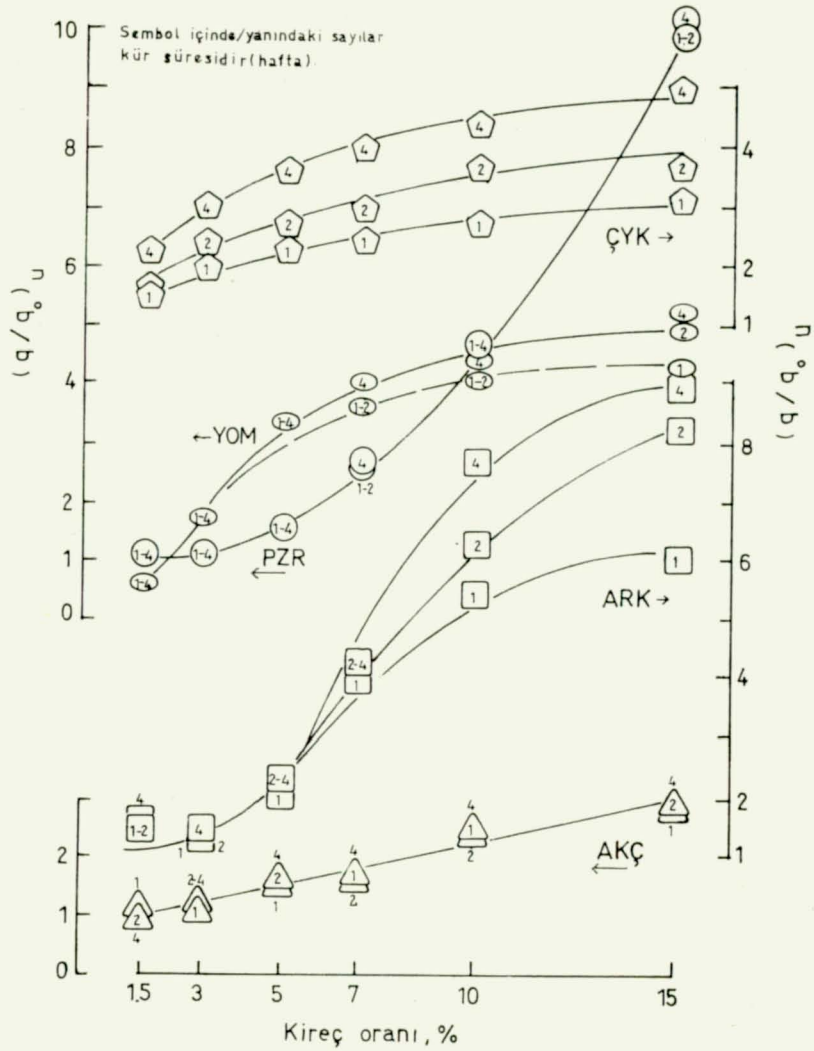
Toprak	Serbest Basınç Dayanımı, q_u		Çekme Dayanımı, q_t	
	Regresyon denklemi	Standard hata	Regresyon denklemi	Standard hata
AKÇ	$1.101\text{ç} + 7.36$	1.47	$0.186\text{ç} + 0.39$	0.20
ARK	$1.165\text{ç} + 2.50$	0.34	$0.124\text{ç} + 0.44$	0.03
ÇYK	$3.080\text{ç} + 1.35$ ($\text{ç} \geq 1.5$)	2.71	$0.423\text{ç} + 0.13$ ($\text{ç} \geq 1.5$)	0.62
PZR	$1.835\text{ç} + 3.16$	0.77	$0.166\text{ç} + 0.47$	0.03
YOM	$2.489\text{ç} + 9.73$	1.20	$0.379\text{ç} + 0.88$	0.14



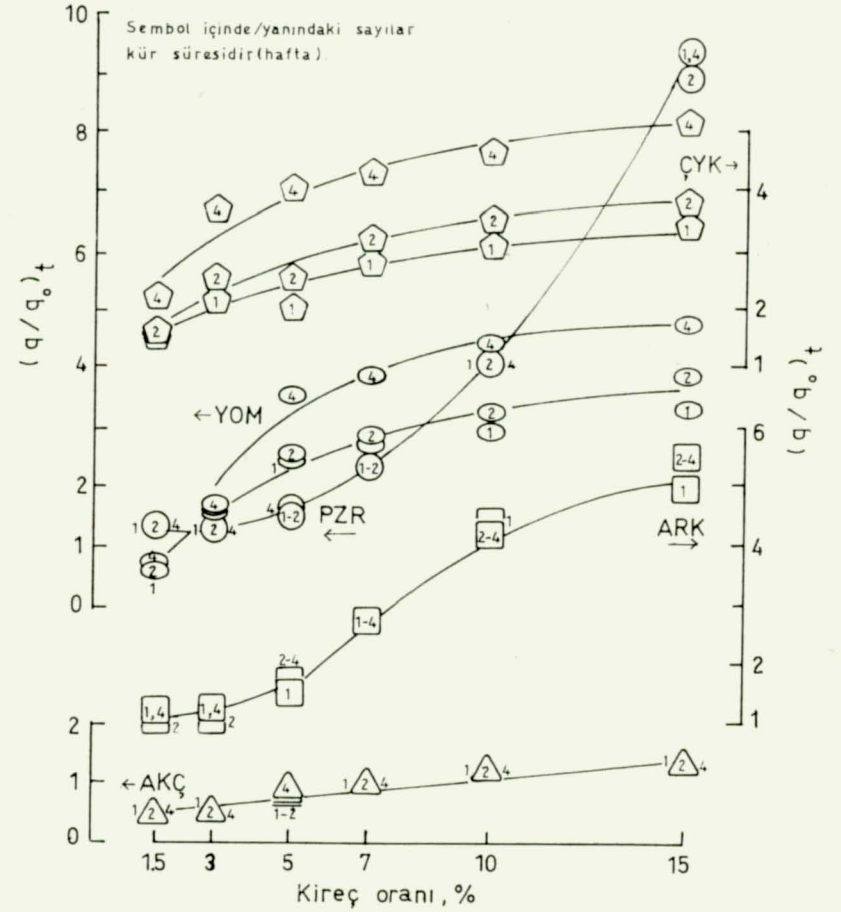
Şekil-14: Çimentolu örneklerde katkı oranının serbest basınç dayanımlarına etkisi (boyutsuz gösterim)



Şekil-15: Çimentolu örneklerde katkı oranının çekme dayanımına etkisi (boyutsuz gösterim)



Şekil-16: Kireçli örneklerde katkı oranının serbest basınç dayanımına etkisi (boyutsuz gösterim)



Şekil-17: Kireçli örneklerde katkı oranının çekme dayanımına etkisi (boyutsuz gösterim)

Tablo-V: KİREÇLİ KARIŞIMLARDA 28 GÜNLÜK DAYANIM-KATKI ORANI
REGRESYON DENKLEMLERİ (kg/cm²)

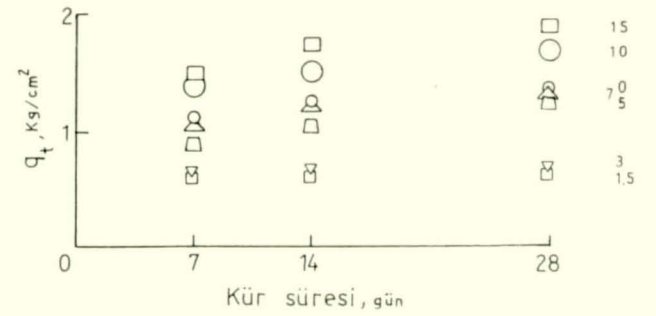
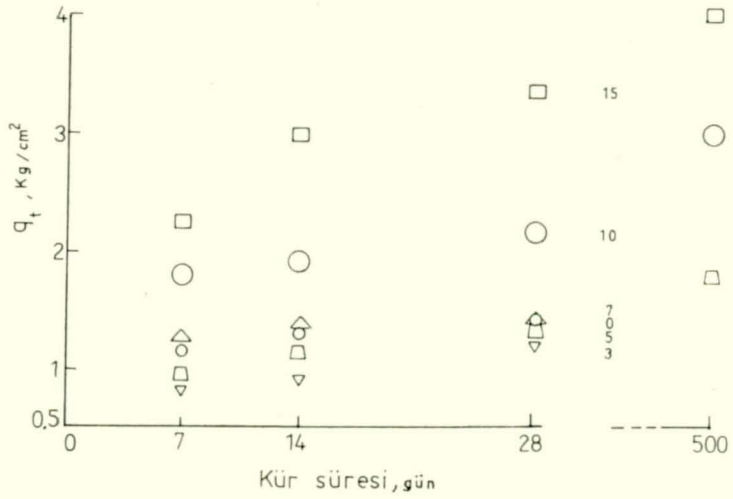
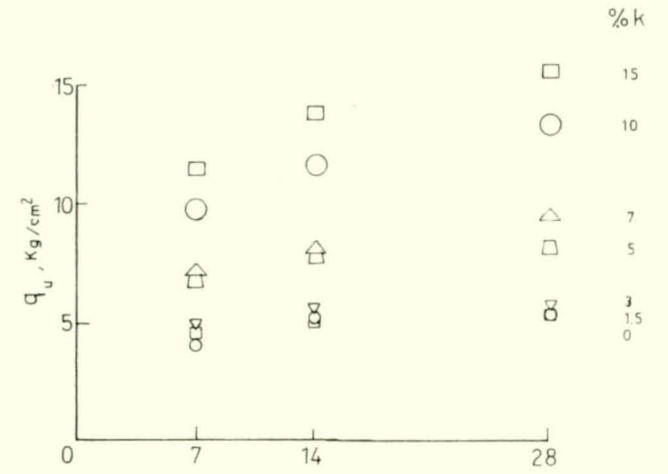
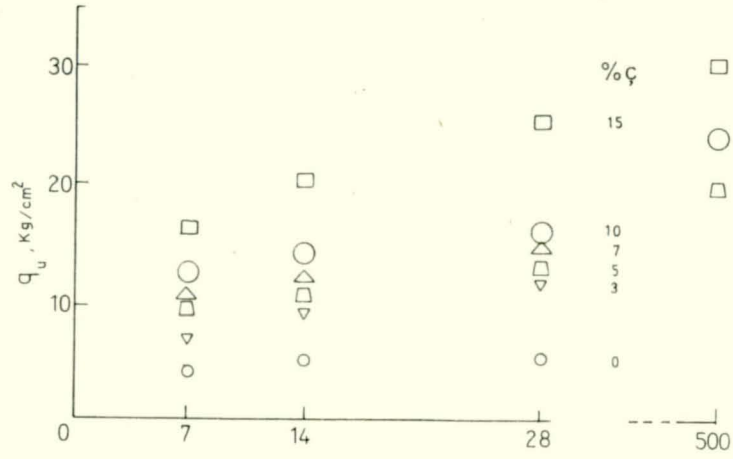
Toprak	Serbest Basınç Dayanımı, q_u		Çekme Dayanımı, q_t	
	Regresyon denklemi	Standard hata	Regresyon denklemi	Standard hata
AKÇ	$0.814k + 3.87$ ($1.5 \leq k \leq 15$)	0.59	$0.100k + 0.56$ ($1.5 \leq k \leq 15$)	0.15
ARK	$2.580k + 0.56$ (")	3.07	$0.188k + 0.33$ (")	0.19
ÇYK	$0.478k + 7.82$ ($k \geq 3$)	0.32	$0.035k + 1.02$ ($k \geq 3$)	0.02
PZR	$4.617k - 17.42$ ($k \geq 5$)	2.80	$0.475k - 0.47$ ($k \geq 5$)	0.24
YOM	$6.216k - 4.16$ ($k \leq 5$)	0.22	$0.792k - 0.60$ ($k \leq 5$)	0.06

Çimento katkılı örneklerin q/q_0 şeklindeki (q_0 =katkısız haldeki dayanım) boyutsuz dayanım değerlerine çimento yüzdesinin etkisi Şekil-14 ve 15 te verilmektedir. Şekillerde, Çaykara dışındaki topraklara uygulanan katkı oranı değerleri aralığının tümü boyunca doğrusal ilişkiler görülmektedir. Kireç katkılı örneklerin boyutsuz dayanım-katkı oranı grafikleri Şekil-16 ve 17 dedir. Bu şekillerde kireç katkı oranının dayanım üzerindeki etkinliğinin çimentoya oranla çok değişken olduğu, işlemde fayda görmeyen Akçaabat örneği dışında, diğer dört toprak üzerinde açıkça görülmektedir. Çimento ve kireçli örneklerin bu özellikleri katkı maddelerinin topraklarla etkileşim biçimlerinin (tepkimelerdeki benzerliğe karşın) farklı olduğunu göstermektedir.

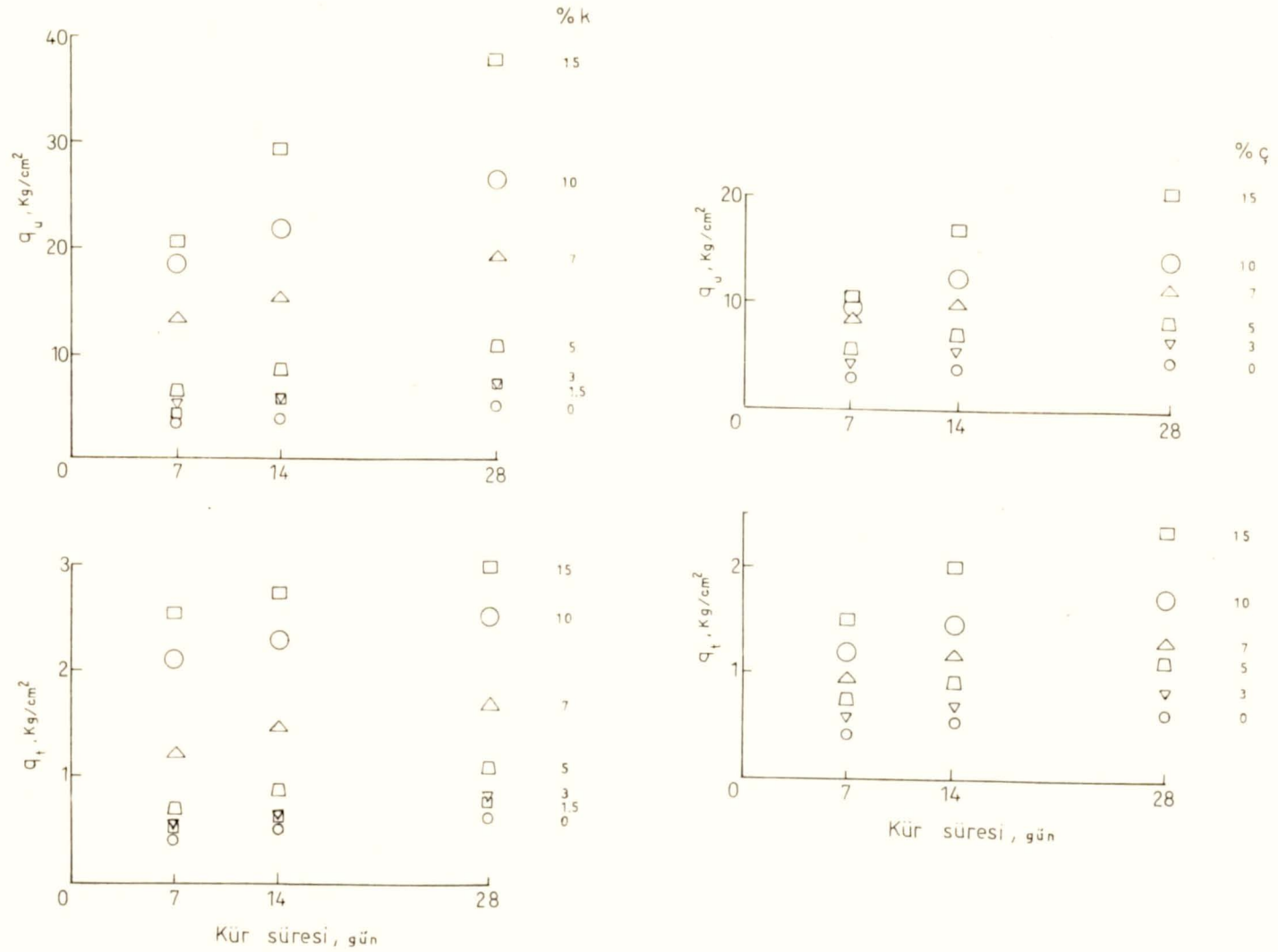
Kireç katkılı örnekler arasında Çaykara ve Yomra topraklarının dayanım-kireç yüzdesi ilişkileri benzerlik gösterirken diğer üç toprak farklı ilişkiler vermektedir. Çaykara ve Yomra örneklerinin ana özelliklerine bakıldığında dane dağılımı, pH ve bazı kimyasal bileşim özellikleri benzerlik göstermektedir. Çarpıcı bir fark olarak Çaykara NP iken Yomra'da $I_p=27$ ve $A_c=1.23$ olduğu izlenmektedir (Tablo-II). Bu durumda plastisitenin kireç katkısına uygun ortam hazırlayan tek özellik olduğu somut bir bulgu olarak öne sürülemez.

Araştırmaya alınan topraklardan Çaykara dışındakilerde çimento ve kireçli karışımların çekme ve serbest basınç dayanımları farklı oranlarda kazanç göstermiştir (Şekil-14,15,16,17). Bu farklılık özellikle Akçaabat ve Araklı topraklarında çok belirgindir. Bu iki toprakta serbest basınç dayanımı kazançları -oransal olarak- çekme dayanımı kazançlarının yaklaşık iki katına çıkmıştır. Bu sonuçlar toprakların yüksek oranda büzülme çatlakları oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. Çaykara toprağı NP, diğerleri ise çok yüksek ve aşırı yüksek plastisiteli olduğuna göre plastisite göstermeyen Çaykara toprağında, kür sırasında büzülme çatlaklarının belirlenmediği böylece doğrulanmaktadır.

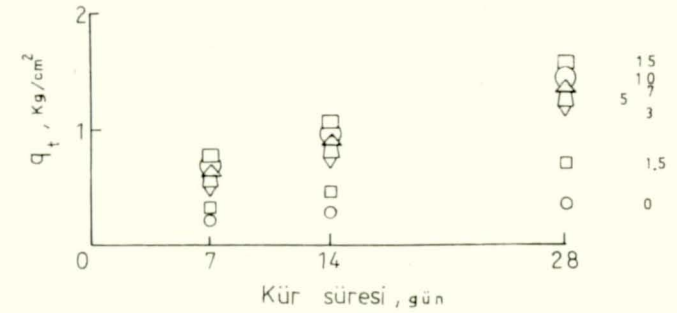
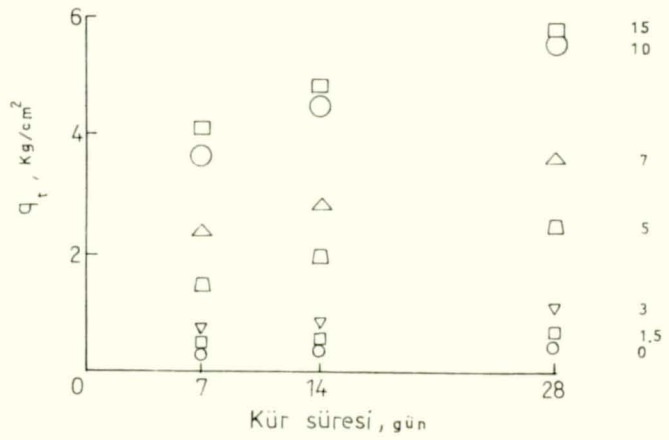
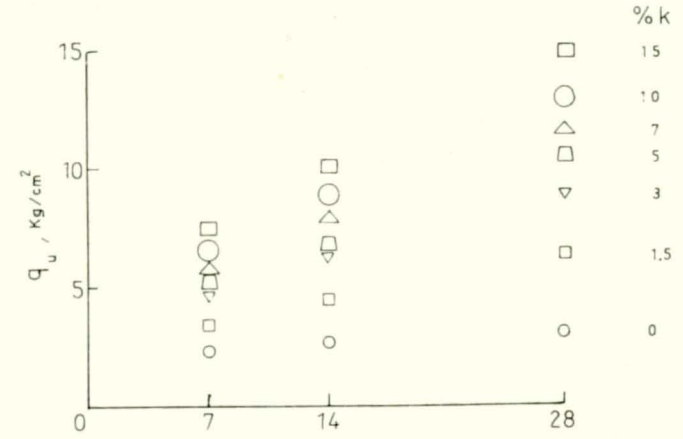
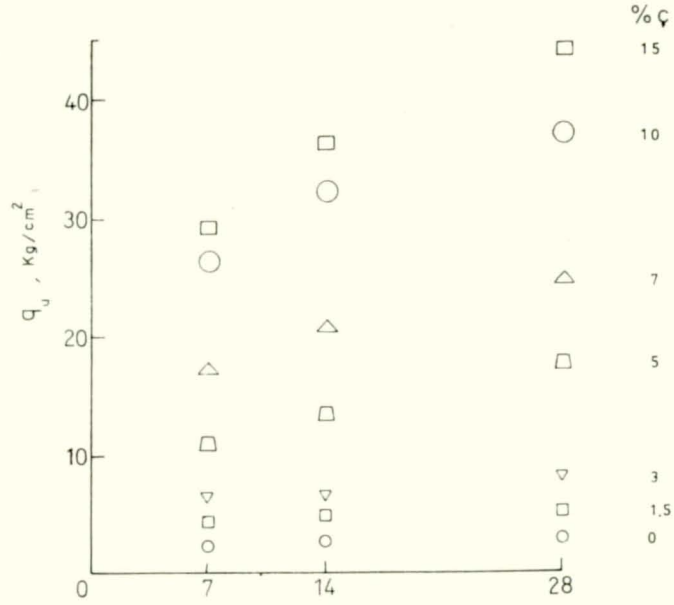
Çaykara toprağının çimentolu, özellikle kireçli karışımlarının dayanım kazançları kür süresi ile birlikte yüksek artışlar göstermiştir. Plastisitesi diğer topraklardan aşırı yüksek Akçaabat malzemesinin çimentolu karışımlarında kayda değer bir artış olmazken (Şekil-14,15) Araklı ve Yomra'nın ancak yüksek kireç oranlı karışımlarındaki artışlar önemlidir (Şekil-16,17).



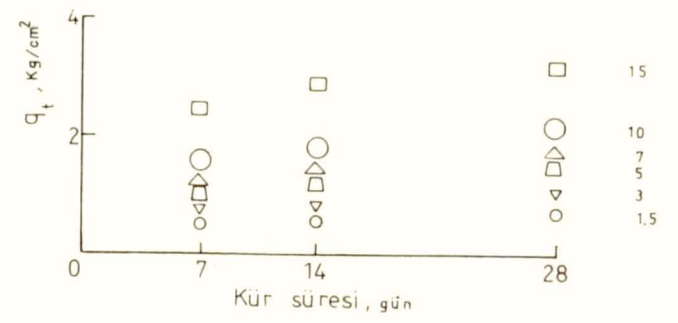
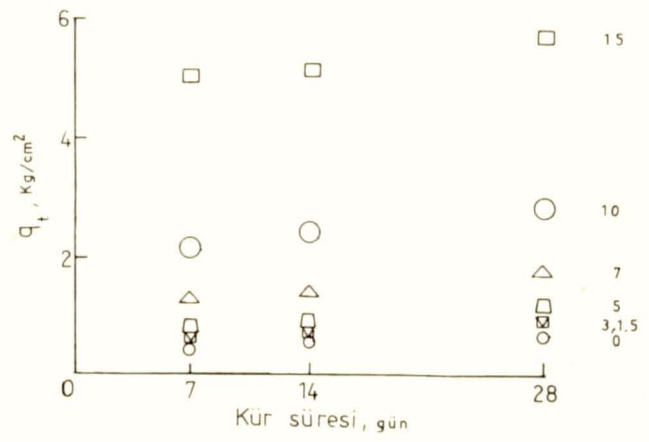
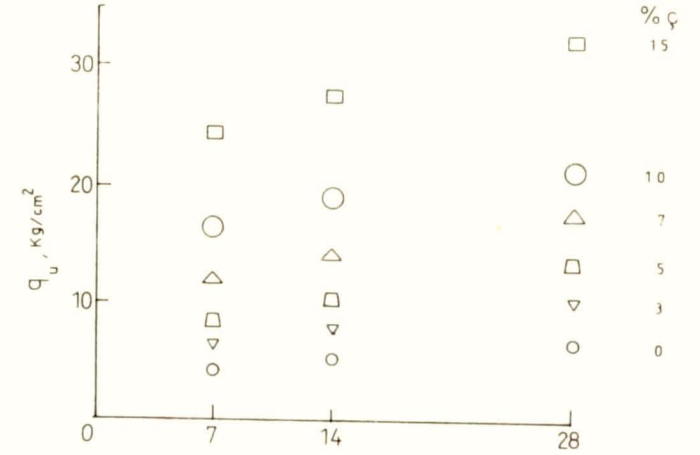
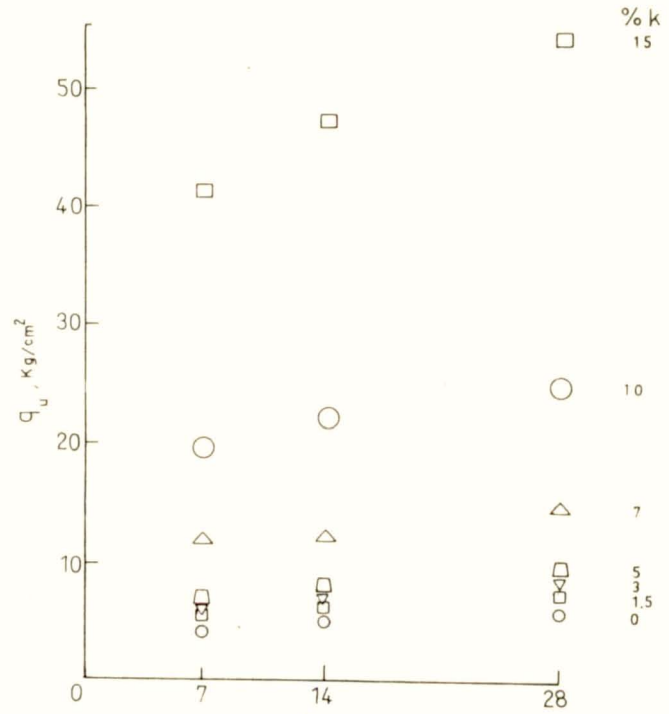
Şekil-18: AKÇ toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi



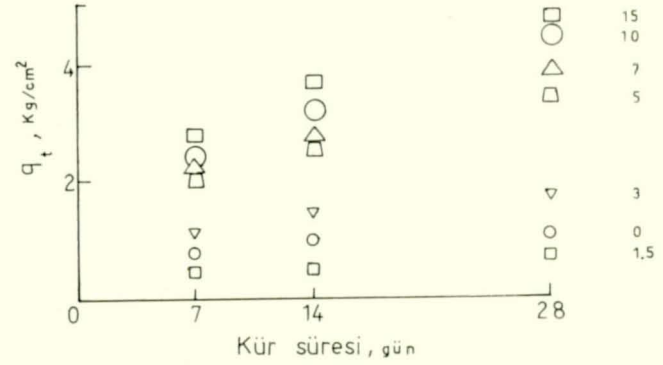
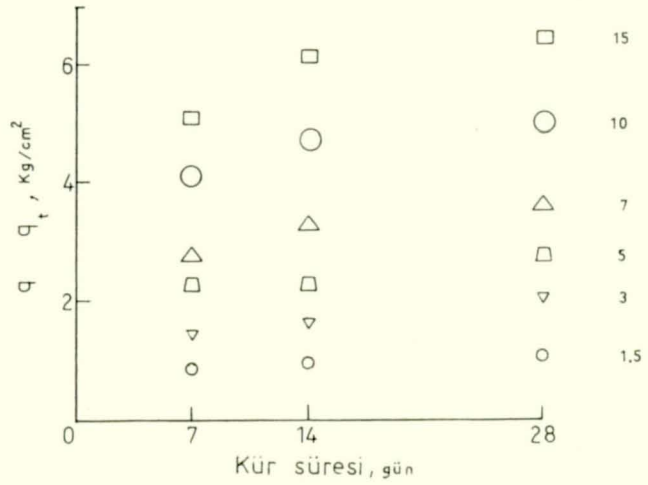
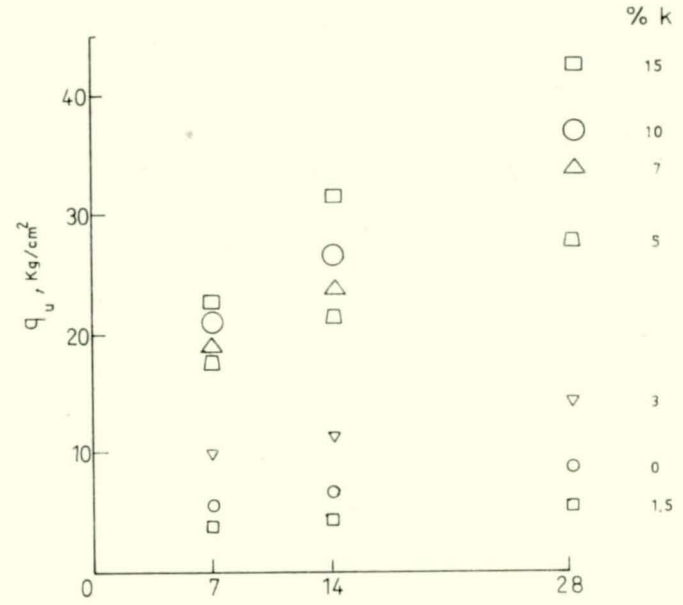
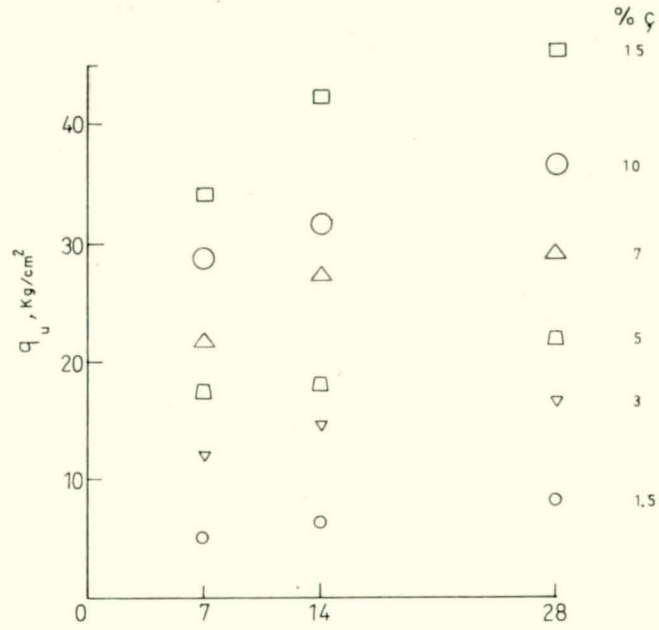
Şekil-19: ARK toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi



Şekil-20: ÇYK toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi



Şekil-21: PZR toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi



Şekil-22: YOM toprağıyla oluşturulan malzemelerde dayanım-zaman ilişkisi

Dayanım-katkı oranı ilişkilerinin, bu aşamada, oluşturulan malzemelerin görebilecekleri hizmet ve ekonomik olmak açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Karayolları kaplamalarında temel tabakasına malzeme olarak üretilen stabilize topraklar için belirlenen dayanım kriteri en az 15 kg/cm^2 lik serbest basınç dayanımıdır. BS1924:1975 e göre hazırlanan örneklerin 28 günlük standard kür sonunda 15 kg/cm^2 lik dayanıma ulaşabilmeleri için bunlara katılması gereken katkı oranları şöyledir: Akçaabat toprağı %13 çimento, %15 ten çok kireç katkısına ihtiyaç duymaktadır; böylece bu malzemenin ekonomik sınırlar içinde temel malzemesi olarak stabilize edilemeyeceği anlaşılmaktadır. Araklı toprağı %14 çimentoya ihtiyaç gösterirken kireç için çok daha düşük bir değer (%8) yeterli olmaktadır. Çaykara toprağı %5 çimento ile stabilize olurken kirecin yararı önemsiz kalmaktadır ($> \%15$). Pazar toprağının heriki katkı için isteğı çimentoya %10, kirece %9 olarak yaklaşık eşittir. İncelenen topraklarla üretilebilen en ekonomik malzeme Yomra toprağıyla olmuştur. Bu toprak %3 çimento ve %4 kireç ile istenen 15 kg/cm^2 lik dayanıma 28 günde ulaşmaktadır.

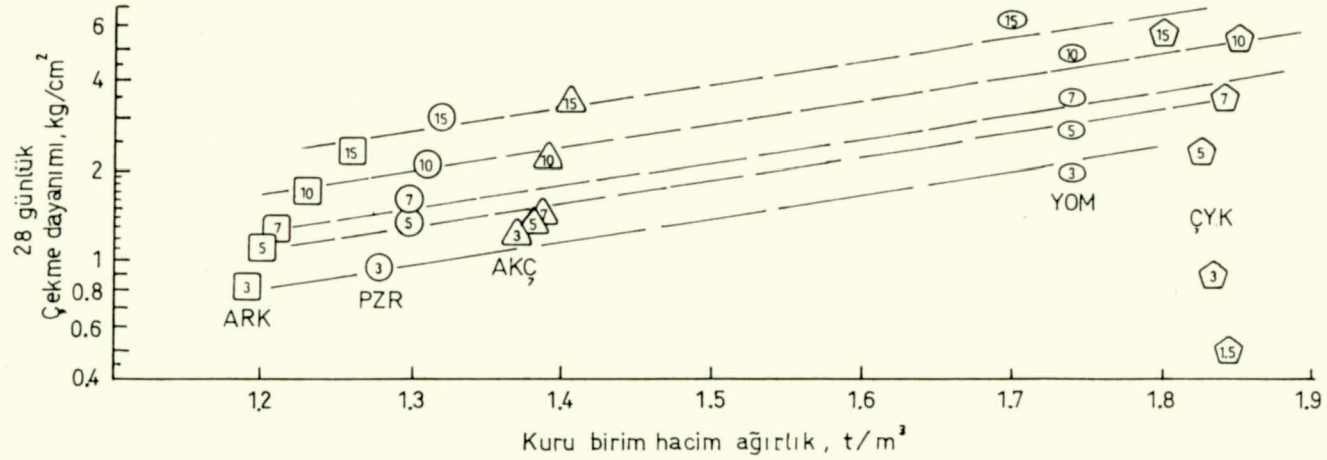
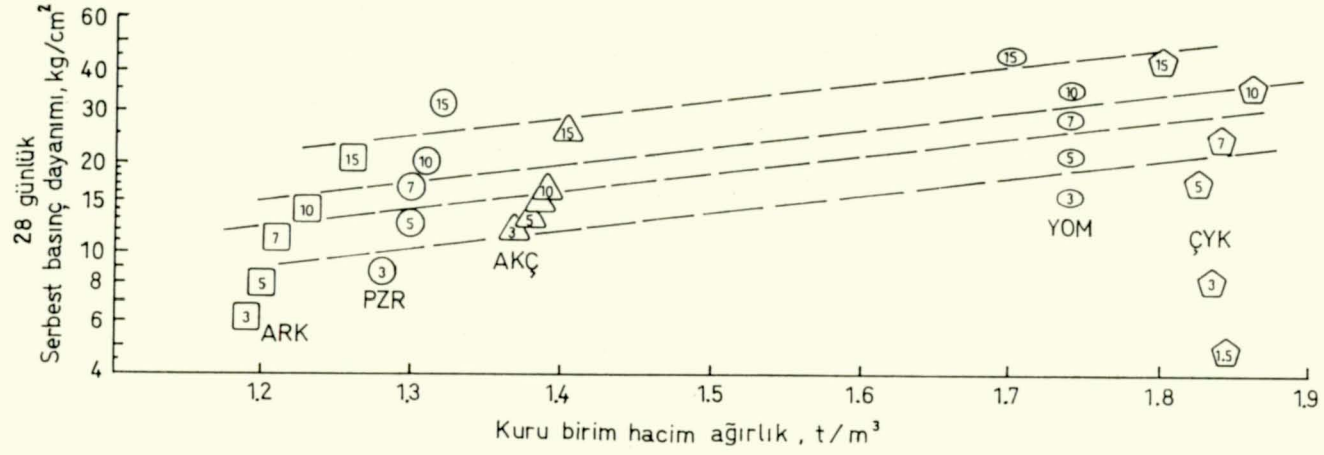
IV.1.3. Zaman-Dayanım İlişkileri

Araştırmaya alınan toprak örneklerinin serbest basınç ve çekme dayanımları üzerinde, değişik katkı oranlarına göre, kür süresi olarak zamanın etkilerine ilişkin grafik gösterimler Şekil-18,19,20,21 ve 22 de verilmektedir. İncelenen karışımların tümünde mekanik dayanımların, uygulanan kür süreleri boyunca değişen hızlarda arttığı görülmektedir. Bu artışlar, bağlayıcı ürünlerin bollaşması ve daha güçlü bağlar oluşturan biçimlere girmeleri yollarıyla sağlanmışlardır.

Örneklerin zaman içindeki dayanım kazanma hızları çoğunlukla ilk ondört gün içinde, sonraki ondört güne göre daha fazladır. Kazançlardaki bu hız farkı katkı oranları yükseldikçe daha da belirgin olmaktadır. Bu özellikler, kimyasal etkileşim potansiyelinin katkı miktarıyla birlikte arttığını, buna karşılık, kür süresi içinde giderek azaldığını göstermektedir. Akçaabat toprağı örneklerinin çimento karışımları 500 gün süreyle kür'e bırakıldığında dayanım artışının kesintisiz sürdüğü de izlenmiştir (Şekil-18). Dayanım artış hızlarının değişik katkı yüzdelerinde uyum gösterdiği de gözden kaçmamaktadır.

IV.1.4. Kuru Birim Hacim Ağırlığı-Dayanım

Toprak-çimento karışımlarının mekanik dayanımlarıyla kuru birim hacim ağırlıkları arasında üstel fonksiyon biçiminde bir ilişki kurulabildiğı literatürde gösterilmiştir.^{69,70} Bu araştırmaya giren beş toprağın %5 ve daha çok çimento içeren örnekleri de üstel fonksiyon formundaki bir regresyonu önemli derecelerde doğrulamaktadır. Bu ilişkilere örnek olarak, 28 günlük serbest basınç ve çekme dayanımlarını, kuru birim hacim ağırlıklarının fonksiyonu olarak gösteren regresyon denklemleri Tablo-VI da verilmektedir. Bu ilişkilere ait koralasyonların biri dışında (0.78) hepsi 0.84 den büyük ve red olasılıkları 0.02 den küçüktür. İlişkiler Şekil-23 deki grafiklerde gösterilmektedir. Buradan Çaykara ve Yomra malzemelerinin yüksek katkı oranlarında γ_k daki düşüşlere rağmen dayanım kazancı gösterdikleri de izlenmektedir.



Şekil-23: Çimentolu örneklerde dayanım- $\gamma_{k \max}$ ilişkisi

Tablo-VI: ÇİMENTOLU KARIŞIMLARDA DAYANIM-KURU BİRİM HACİM AĞIRLIĞI BAĞINTISI (kg/cm²)

ÇİMENTO ORANI %	SERBEST BASINÇ DAYANIMI		ÇEKME DAYANIMI	
	$\ln q_u =$	Standard hata	$\ln q_t =$	Standard hata
5	0.537 $\gamma_k + 0.34$	0.07	0.596 $\gamma_k - 0.67$	0.04
7	0.551 $\gamma_k + 0.43$	0.06	0.766 $\gamma_k - 0.84$	0.05
10	0.688 $\gamma_k + 0.32$	0.05	0.850 $\gamma_k - 0.82$	0.03
15	0.579 $\gamma_k + 0.64$	0.06	0.758 $\gamma_k - 0.55$	0.05
7,10,15	0.608 $\gamma_k + 0.46$	0.12	0.796 $\gamma_k - 0.74$	0.12
10,15	0.636 $\gamma_k + 0.47$	0.10	0.805 $\gamma_k - 0.68$	0.08

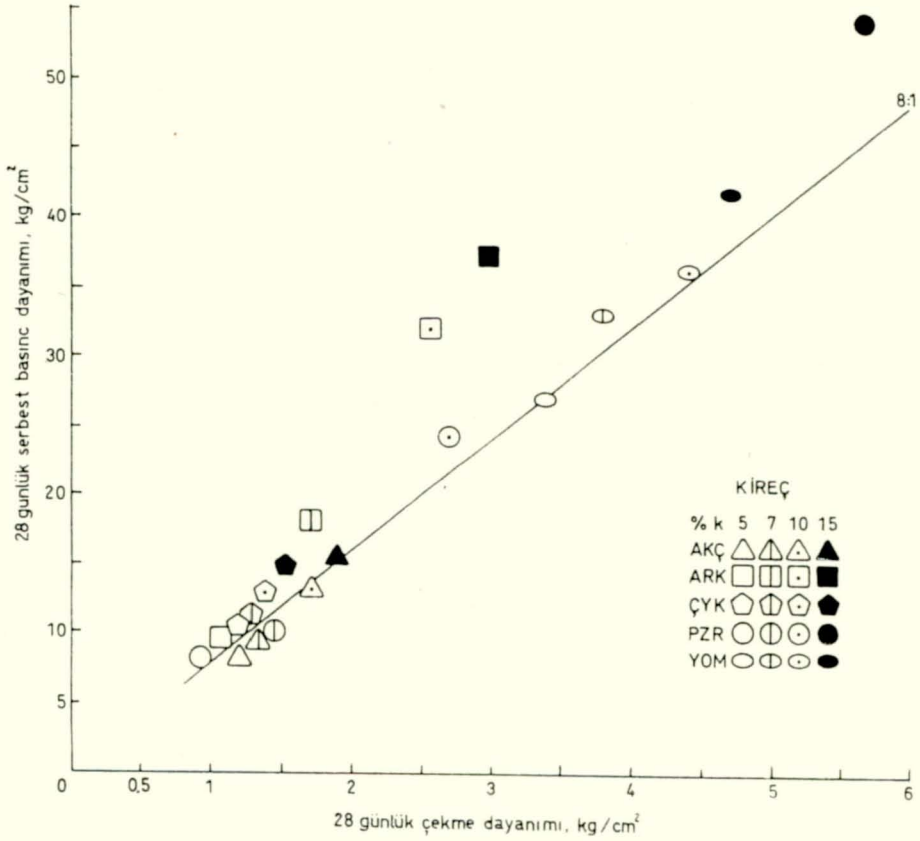
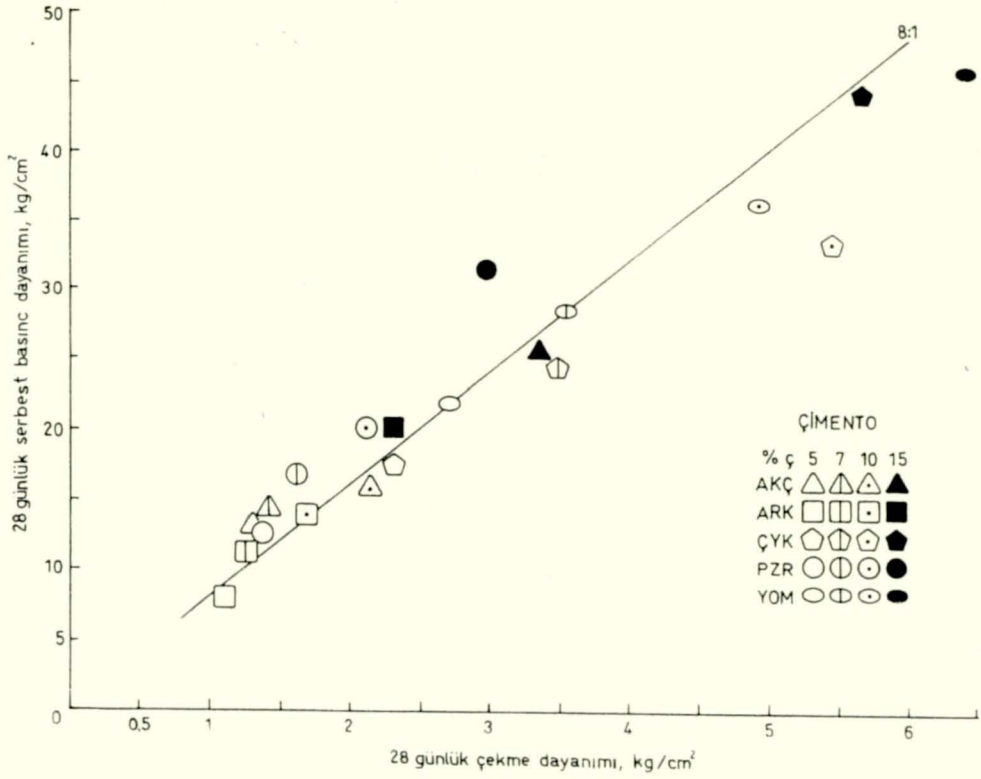
IV.1.5. Basınç ÷ Çekme Dayanımı Oranları

Plastik özellikleri olan killerin stabilizasyon işlemi gördüklerinde mekanik özelliklerin gevreye dönüştüğü bilinmektedir. Rijit-plastik veya elasto-plastik deformasyon modelleri stabilize malzemelere uygun değildir.⁶⁹ Eğer bunlar için Griffith teorisi¹⁰³ geçerli ise serbest basınç ve çekme dayanımları arasındaki oranın 8 dolayında olması beklenir. Hesaplanan ve deneyle bulunan çekme dayanımları arasındaki farka dikkati çeken Griffith bu farkı çok küçük boyutlu ancak yaygın çatlaklara dayandırmıştır. Mohr kırılma teorisinin öngördüğü $q_u \div q_t$ oranı ise, malzemenin içsel sürtünmesine bağlı olarak 1 ile 5.83 arasında değişir. Griffith çatlaklarının kapanabildiği düşünüldüğünde, malzemenin içsel sürtünme katsayısı ve oluşan çatlakları kapayabilecek gerilmeye bağlı olarak teorisinin öngördüğü $q_u \div q_t$ oranı 4 den 9.65 e kadar değişebilmektedir.^{69, 103} Buradan, $q_u \div q_t$ oranlarını değerlendirebilmek için çatlak kapatma gerilmelerinin ve malzemelerin içsel sürtünme katsayılarının önceden değerlendirilmesi gerektiği anlaşılır. Stabilize topraklar için Mohr-Paul analizine göre hesaplanarak bildirilen sürtünme katsayıları 0.5-0.6 değerlerindedir.⁶⁹ Bu nedenlerle farklı malzemeler için $q_u \div q_t$ oranlarının da farklı olması beklenir.

Araştırmaya alınan toprakların çimento ve kireç katkılı bir kısım örneklerinin $q_u - q_t$ ilişkileri Şekil-24 te verilmektedir. Örneklerin q_t değerlerinin

$$q_t = m q_u + \bar{q}_0$$

biçiminde ifade edilen regresyonlarına ait değerler Tablo-VII de verilmiştir. Bu denklemlere ait korelasyonlar 0.98 den büyük, red olasılıkları da 0.01 den küçüktür. Toblodaki 1/m değerleri $q_u \div q_t$ oranlarını vermektedir. Araklı-kireç karışımlarının Şekil 24 de görülen yüksek q_u değerli üç noktası dikkate alınmadığında, bu karışımların $q_u \div q_t$ oranları 14 günlük kür süresi için 10.75 den 10.12 ye ve 28 günlük kür süresi için de 13.89 dan 11.53 e düşmektedir. Kür süresi farkı gözetmeksizin yapılan regresyon hesaplarıyla bulunan $q_u \div q_t$ oranları katkısız haldekilerle birlikte Tablo-VIII de gösteril-



Şekil-24: Örneklerde q_u - q_t ilişkisi

miştir. Sonuçlar Griffith teorisi ile iyi bir uyum göstermektedir. Bu hesaplarda da Araklı-kireç karışımlarının sözkonusu üç noktası dikkate alınmadığında (bir başka deyişle $q_u < 30 \text{ kg/cm}^2$ olarak) oran 12.07 den 9.30 a düşmektedir.

Tablo-VII: ÖRNEKLERDE $q_t = m q_u + \bar{q}_0$ REGRESYON DEĞERLERİ (kg/cm^2)

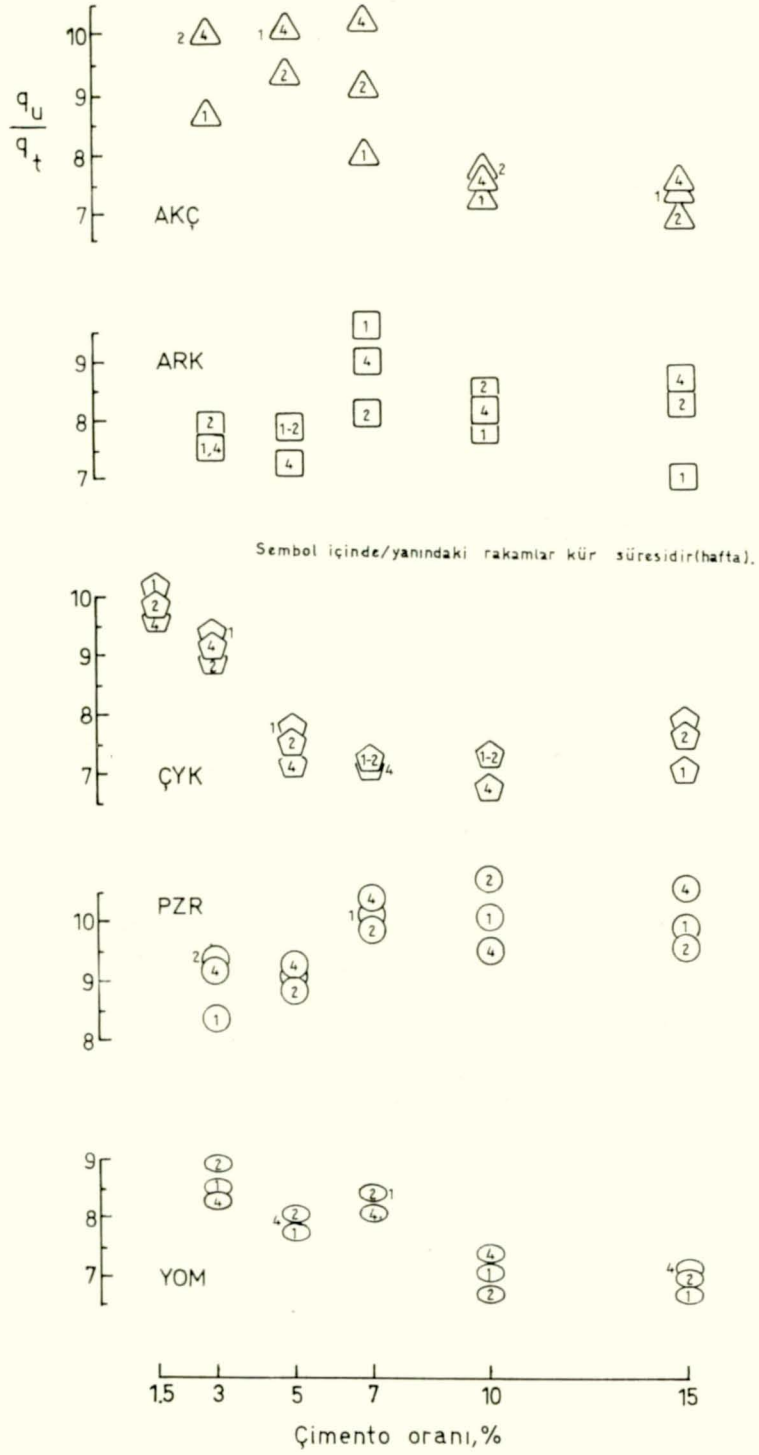
Toprak	Kür süresi, hafta	ÇİMENTOLU ÖRNEKLER				KİREÇLİ ÖRNEKLER			
		m	$\frac{1}{m}$	\bar{q}_0	Standard Hata	m	$\frac{1}{m}$	\bar{q}_0	Standard Hata
AKÇ	1	0.164	6.10	-0.42	0.11	0.140	7.14	-0.04	0.07
	2	0.178	5.35	-0.86	0.05	0.128	7.81	0.04	0.09
	4	0.163	6.13	-0.75	0.16	0.124	8.06	0.07	0.10
ARK	1	0.138	7.25	-0.08	0.11	0.122	8.20	-0.09	0.15
	2	0.113	8.85	0.09	0.02	0.093	10.75	0.13	0.05
	4	0.106	9.43	0.18	0.06	0.072	13.89	0.31	0.07
ÇYK	1	0.148	6.76	-0.22	0.04	0.108	9.26	-0.01	0.01
	2	0.138	7.25	-0.09	0.10	0.104	9.62	0.03	0.02
	4	0.141	7.09	-0.13	0.25	0.098	10.20	0.14	0.07
PZR	1	0.095	10.50	0.11	0.04	0.118	8.47	-0.05	0.06
	2	0.101	9.90	0.04	0.09	0.106	9.43	0.07	0.06
	4	0.091	11.00	0.19	0.06	0.102	9.77	0.16	0.04
YOM	1	0.166	6.02	-0.71	0.21	0.118	8.48	0.04	0.05
	2	0.164	6.10	-0.77	0.24	0.118	8.49	0.004	0.05
	4	0.151	6.62	-0.59	0.10	0.115	8.69	0.09	0.13

Tablo-VIII: ÖRNEKLERDE $q_u \div q_t$ ORANLARI

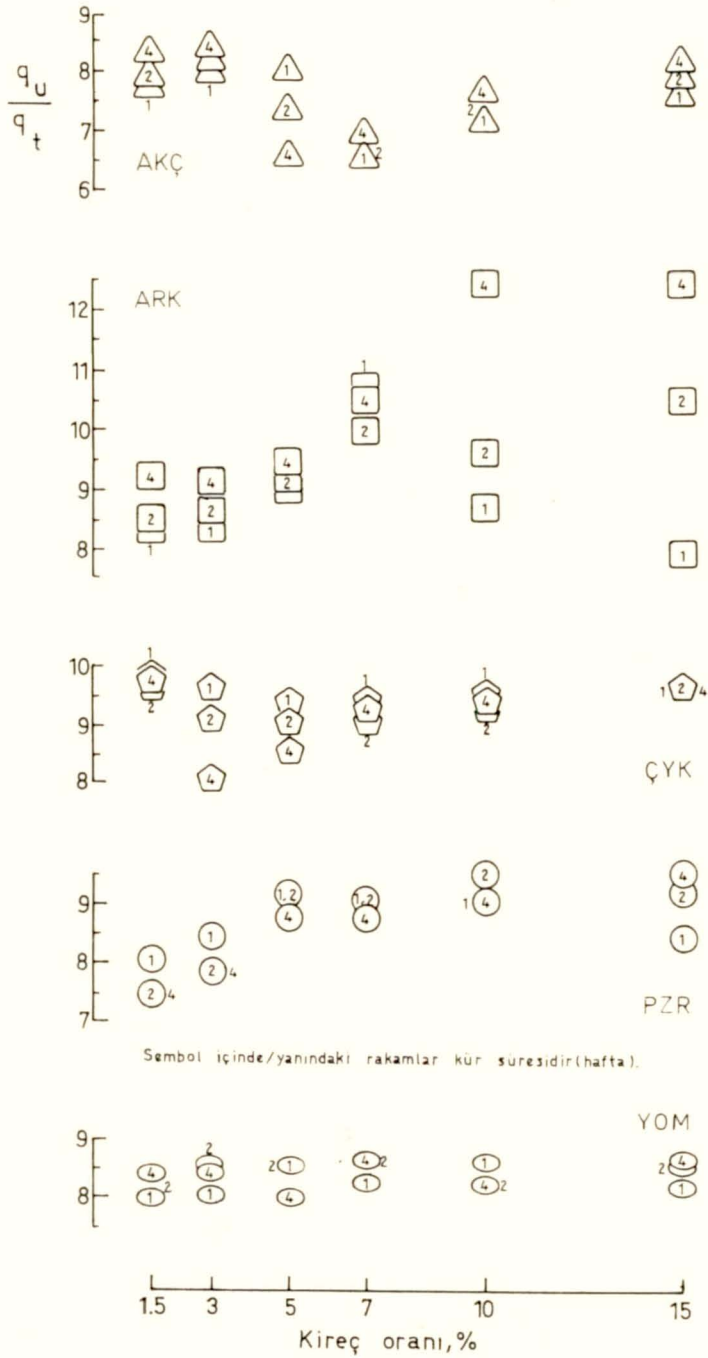
Katkı	TOPRAKLAR					Ortalama
	AKÇ	ARK	ÇYK	PZR	YOM	
Çimento	6.45	9.01	7.09	10.55	6.39	7.08
Kireç	7.80	12.07	9.13	9.30	8.60	9.40
—	3.74	6.74	9.79	8.32	7.02	

Şekil 25 ve 26 da çimento ve kireçli örneklerin katkı oranıyla değişen $q_u \div q_t$ oranları gösterilmiştir. Kireçli örneklerde oranlar büyük çoğunlukla $8 \div 1$ in üzerinde kalırken çimentolu örneklerin özellikle yüksek dayanımlılarında oranlar $8 \div 1$ in altında kalmaktadır.

Yukarıda anılan $q_u \div q_t$ oranları örneklerin ideal koşullarda ve teorik yaklaşıma uygun olarak değerlendirilmiştir. Deney sırasında teorinin öngörmediği iki etkenin oranları değiştirebileceği de gözönünde tutulmalıdır. Brezilya çatlatma deneyinde örneklerde deney sistemiyle önemsenecek bir girişim olmadığı halde serbest basınç deneyinde pres tablası ile örnek tabanları arasında oluşan sürtünme ve yapışmanın sonuçları etkilediği bilinmektedir. En basit varsayım bu



Şekil-25: Çimentolu örneklerde $\frac{q_u}{q_t}$ oranları

Şekil-26: Kireçli örneklerde q_u/q_t oranları

durumun $q_u \div q_t$ oranını yükselteceği söylenebilecektir. Teoride öngörülme- yen ikinci özellik boşluk suyu basınçları etkisidir. Doygun olmayan örneklerde u_w değerlerinin serbest basınç ve dolaylı çekme koşullarında nasıl etkin ol- duğu bilinmemekle beraber benzer olduklarını öne sürmek güçtür.

Kireçli karışımlarda gözlenen oranların genellikle çimentolulardan büyük bu- lunması dikkati çeken bir diğer husustur. Brezilya çatlatma deneyinin,örnek- lerde bulunan serbest (etkileşime girmemiş) kirece karşı, serbest basınç de- neyine kıyasla daha hassas olması bu sonucu doğurabilir.⁷⁰ Dahaçok montmoril- lonitik topraklar için bildirilen bu oran düşüklükleri, bu araştırmaya giren montmorillonitli Akçaabat ve Yomra topraklarında da görülmektedir (Tablo-VII, VIII).

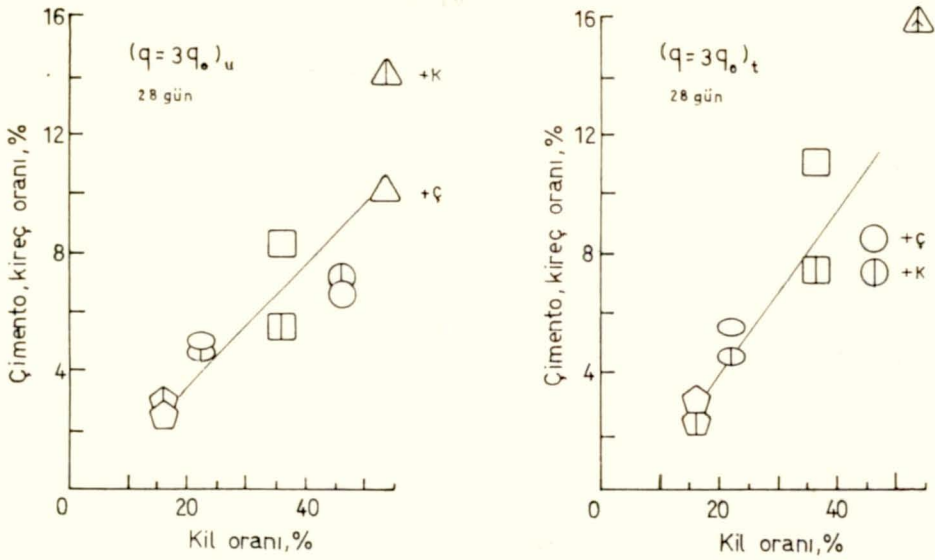
Lateritik özellikteki Araklı ve Pazar topraklarında artan çimento ve kireç katkısıyla serbest basınç dayanımının çekme dayanımına göre daha çok artış gösterdiği izlenmiştir (Şekil-14,17). Diğer üç örnekte ise bu davranışın tersi olmakta, ya da oranlarda değişiklik görülmemektedir. Bu noktada, jel yapılı ve kristalleşmiş bileşiklere bağlanan su dolayısıyla örneklerde su muhtevası dü- şüşleri (oto-desikasyon) sözkonusudur. Sıkıştırma sırasındaki su muhtevaları katkısız haldekenden de oldukça düşük olan (Şekil-13) bu iki örnekte toprakla- rın amorf bileşenlerinin de katıldıkları kimyasal olayların (Bölüm IV.2.3) oto- desikasyonu sonucu büzülme çatlakları oluşabilmektedir. Böylece çekme deneyinde gözlenen dayanım değeri de düşük çıkmaktadır.

Tablo-VII,VIII ve Şekil-24,25 ve 26 nın bir değerlendirmesi yapıldığında $q_u - q_t$ ilişkilerinin toprak, katkı cinsi ve oranı,ve zaman ile önemli farklılıklar gösterebildiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçla, stabilize toprakların belirli bir kür süresi sonunda bilinen bir dayanım değerinden (q_u yada q_t) giderek diğeri- nin bulunabilmesi için bir kural (bir regresyon denklemi) getirebilmek, ancak özelliklerinin sınırları belirtilmiş topraklar ve katkı türleri ile katkıların yine sınırlanmış kullanım oranları için sözkonusu olabilecektir. Diğer bir de- yişle, toprağın stabilize edilmesi mekanik açıdan tekrarlanabilir özellikleri tümüyle sağlamamaktadır.

IV.1.6. Dayanım-Toprak Özellikleri İlişkileri

Uygulayıcı mühendis arzulanan dayanım düzeyinin gerektirdiği katkı oranının, toprakların basitçe ve hızla tanımlanabilen özelliklerine bağlanmasını ister. Bu özelliklerin önde gelenleri kil yüzdesi, pH değerleri, kaba danelerin kile oranı ve kıvam limitleridir. Bu çalışmada da çimento ve kireçli karışım örnekle- rinde sabit katkı oranlarında dayanımın artan kil yüzdesiyle düşüş gösterdiği beklendiği gibi bulunmuş ancak kil minerallerinin farklılığı nedeniyle kesin bir bağıntı saptanamamıştır.

Toprakların dayanımları genel olarak katkı oranı ile artar. Belirli bir dayanım değerine ulaşmak için gereken katkı oranı da toprakların kil yüzdesiyle birlik- te artmaktadır. Sıkıştırılmış katkısız topraklarda elde edilen dayanımların üç katı düzeyinde dayanımları veren toprak+çimento/kireç karışımlarına gereken çimento ve kireç yüzdelerinin de kil oranıyla yaklaşık doğrusal arttığı Şekil-27



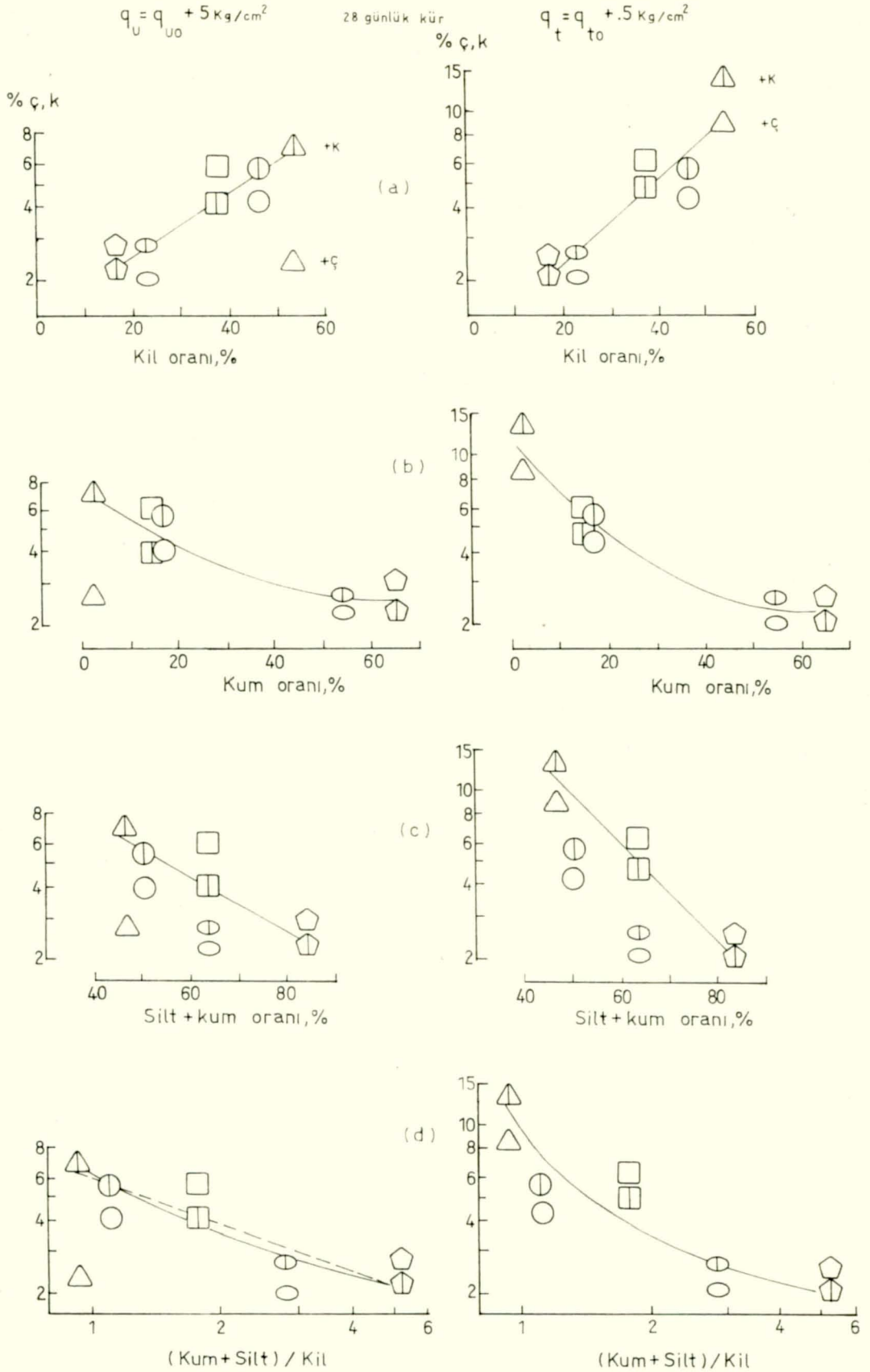
Şekil-27: Dayanımlarda $3q_0$ düzeyine ulaşmak için gereken katkı oranı üzerinde kil oranının etkisi

de izlenmektedir. Burada yüksek plastisiteli Akçaabat toprağının basınç ve çekme dayanımları için gereksindiği çimento ve kireç miktarlarının diğerlerinden büyük farklılıkları yanında örnekler kabul edilebilir düzeylerde gereksinimler göstermektedir.

Kil oranının katkısız toprağa göre kazanılması düşünülen dayanım artışı üzerindeki etkisine bakıldığında (Şekil-28a) saptanan dayanıma ulaşmak için gerekli katkı oranlarının üstel bir fonksiyon ilişkisi içinde kil oranıyla birlikte arttığı görülmektedir. Bu şekilde tanımlanan dayanım kazancının gerektirdiği katkı oranı üzerinde toprakların w_L, I_P ve pH sınır etkileri Şekil-29 da verilmektedir. Şekillerde, gerekli katkı miktarının likit limit ve plastisite indisi ile arttığı; toprakların artan doğal pH ları, kum ve silt oranları ile düştüğü izlenmektedir.

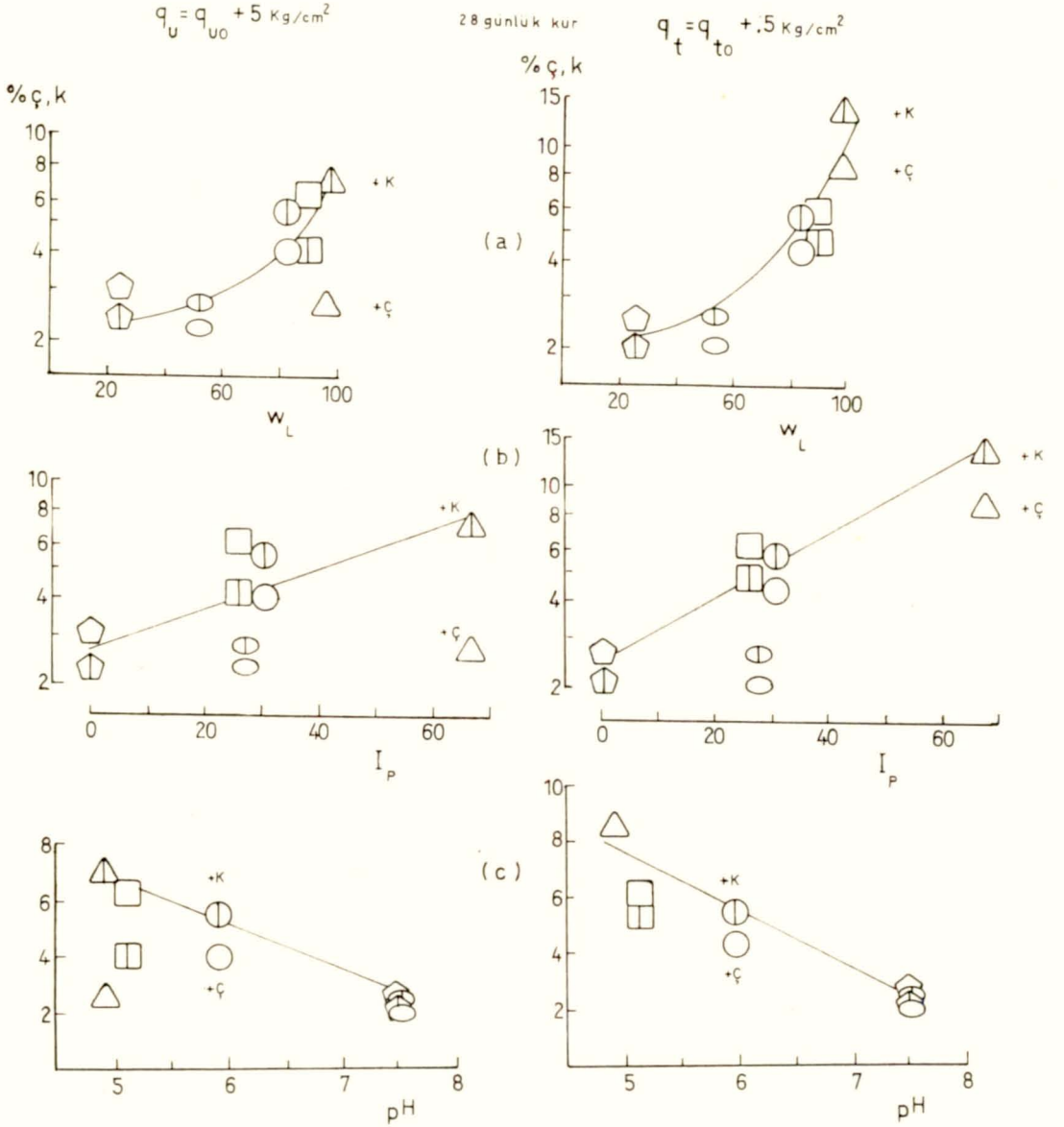
Plastisite indisleri, kum ve silt oranları bakımından benzer olan Araklı, Pazar ve Yomra topraklarının gereksindikleri çimento ve kireç oranları arasında önemli farklar vardır. Stabilizasyonun pratik amaçları için bu toprakların değerlendirilmesinde plastisite indislerinin kriter olamayacağı böylece anlaşılmaktadır. Şekil-28c de kumlu kil (SCH) olan Yomra dışındaki toprakların kireçli karışımlarına ait dayanımlarda silt+kum oranının etkili olduğu görülürken, bunların çimentolu karışımları üzerinde bir etki izlenmemektedir. Ancak (kum+silt)/kil şeklinde tanımlanan parametrenin, log-log olarak çizilen grafikte (kuvvet fonksiyonu) belirgin bir etkinlik ilişkisi özellikle kireçli karışımlar için görülebilmektedir (Şekil-28d).

Toprakların ihtiyaç gösterdikleri katkı oranlarının az/çok olması konusunda etkili olan bazı toprak özelliklerinden söz edilebilir (Şekil-27,28,29). Akçaabat toprağı çok yüksek plastisitesi (CH) nedeniyle uygulanabilir katkı oranı sınırları içerisinde iyileşmiş olmaktan öteye gidememektedir. Yine



Şekil-28: Toprakların granülometrik özelliklerinin katkı gereksinimine etkisi

yüksek plastisiteli Araklı toprağı üzerinde çimentonun etkisi zayıf kalırken kireç etkili olabilmektedir. NP olan Çaykara toprağında (SM) kireç pek etkili olamazken çimento beklendiği gibi başarılıdır. Yine bir MH olan Pazar toprağında kireç ve çimento hemen aynı başarıyı göstermektedir. İncelerinin plastisitesi yüksek, ancak bir SC olan Yomra toprağında çimento ve kireç büyük etkinlik göstermiştir. Bu sonuçlarda gradasyon etkisi, kum, çakıl ile birlikte önemli miktardaki reaktif (montmorillonit) kilin de herhalde önemi bulunmaktadır (Şekil-8 ve Şekil-36).



Şekil-29: Toprakların w_L , I_P ve pH değerlerinin katkı gereksinimine etkisi

IV.2. Mineralojik Açıdan İnceleme

IV.2.1. Örneklerin Mineral Yapıları

Doğu Karadeniz Bölgesi toprakları üzerinde yapılmış önceki bilimsel çalışmalarında hakim mineraller olarak illit ve halloysit bildirilmiştir.^{56,63} Bu bulgular yörenin jeolojik yapısı, iklimi ve yerinde oluşan toprakların çokluğu açısından da gerçekçi görünmektedir.

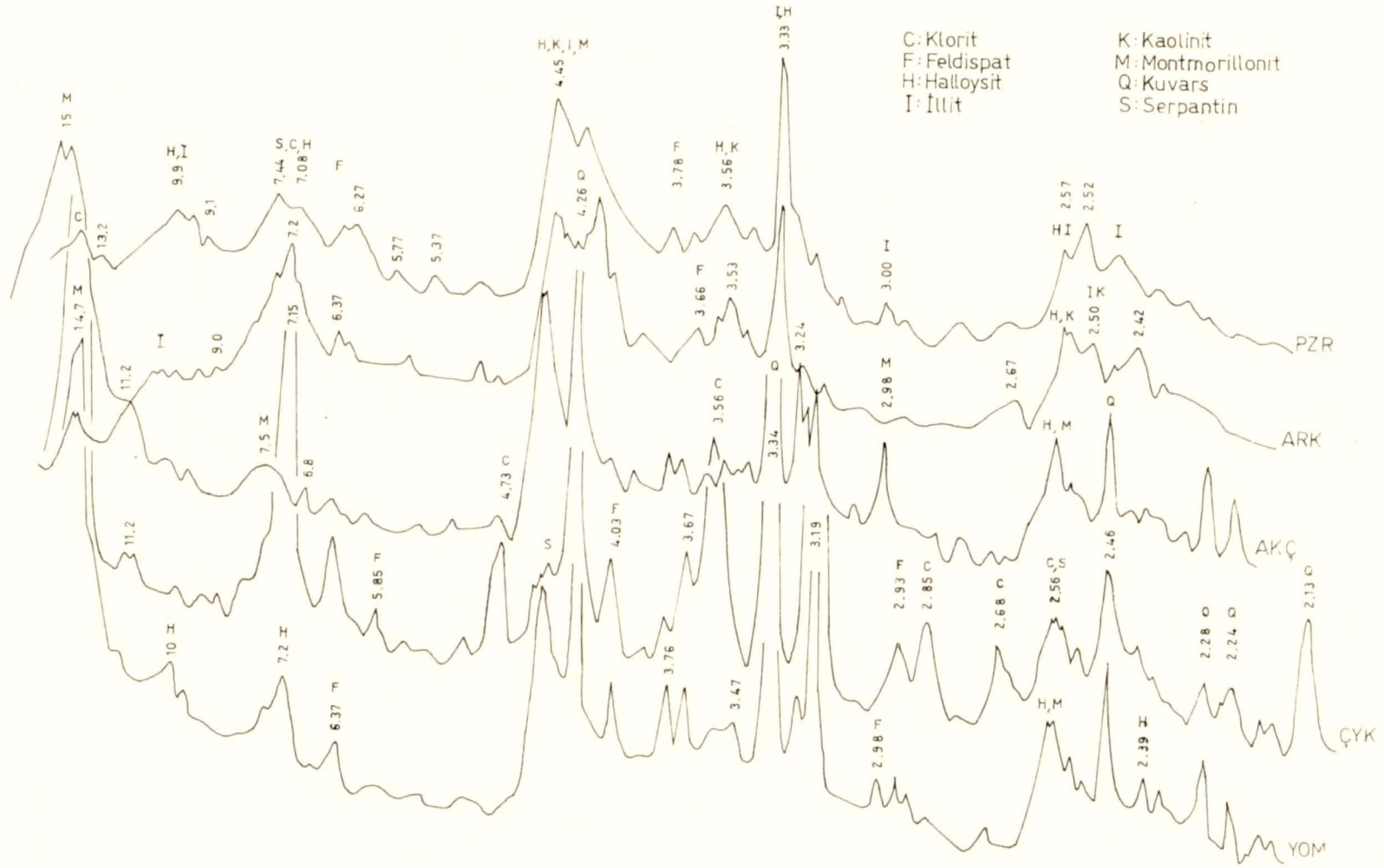
Bu çalışmada incelenen toprakların sadece coğrafi ve pedolojik açıdan farklı seçildiği Bölüm III.1.1 de anlatılmıştı. Seçimde mineraller özellikle gözönüne alınmadığından bu yönde önyargı bulunmadığı, alınacak sonuçların bölge topraklarının ortalama mineral yapısını temsil edeceği düşünülmüştür.

Araştırmaya alınan beş toprak örneğinin x-ışını yansıma grafikleri (difraktogramları) Şekil-30 ve 32-36 da verilmiştir. İzlenen belirgin özellik yansımaların geniş ve zayıf olması ve komşu yansımaların girişim yapmalarıdır. Bu tür yansımalar tamamlanamamış kristalleşmeler ve bunların küçük boyutlu olmaları biçiminde yorumlanmıştır. Karma yapıli minerallerin varlığını gösteren yansımalar da gözden kaçmamaktadır. Kristallerin temel yüzeylerinden (00 ℓ) yansımalar tam anlamıyla bütünleşmiş değildir. Üçgen biçimini alan 11 ℓ gibi bölge yansımaları fazlaca görünürken 02 ℓ gibi özel diziler bulunmamaktadır.

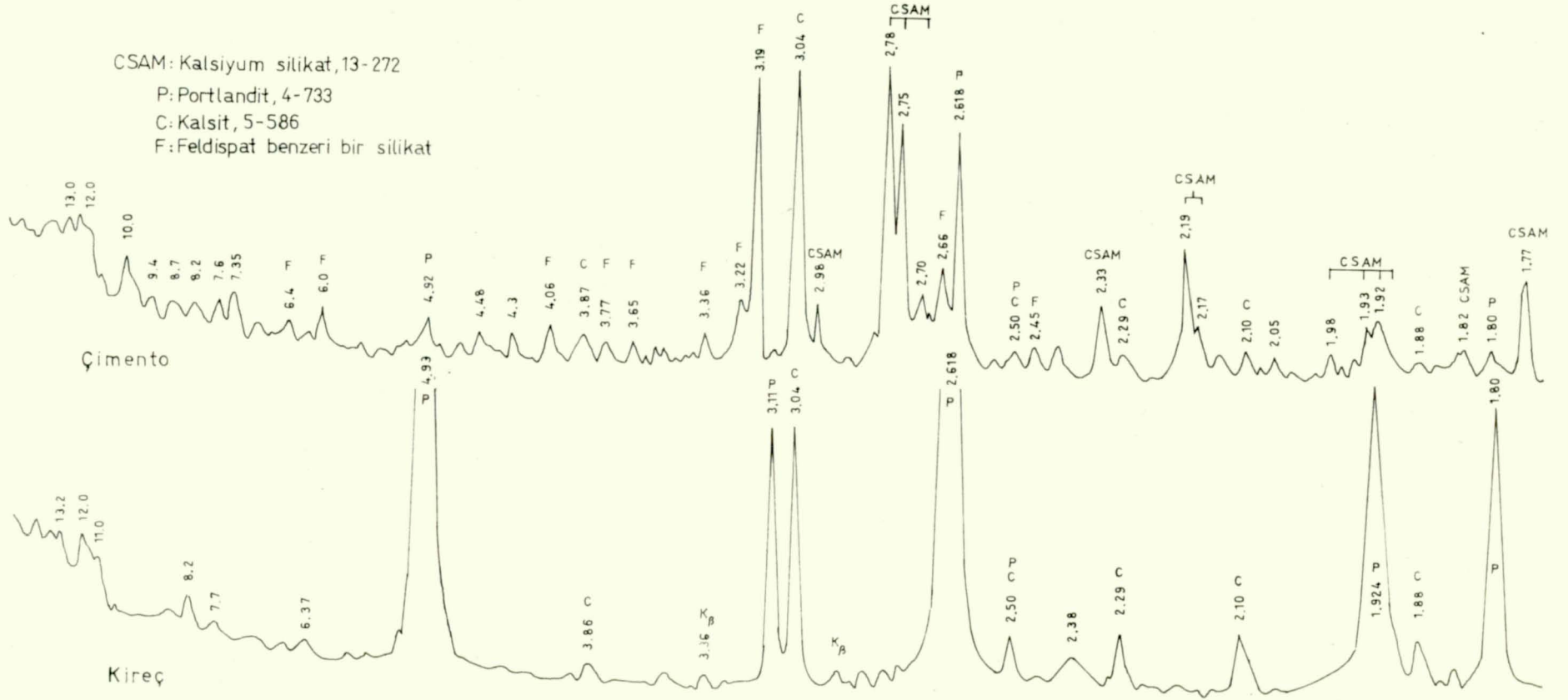
Akçaabat örneğine hakim olan kil minerali montmorillonitdir. Bunun yanında bir miktar halloysit ve illit belirten doruklar da izlenmektedir. Difraktogramın 6.8 Å luk doruğu anlamlandırılmamıştır. Montmorillonitin Fe³⁺ l₁ (ASTM kartı 2-0008) olabileceği anlaşılmaktadır. Halloysitler meta- ve sulu-halloysit olarak, feldispatlar da alkali ve plajiyoklaz olarak karışıktır. Örnekte bol miktarda kuvars da bulunmaktadır.

Araklı toprağında, bir orto-hegzagonal kloritin⁹ hakimiyetinde meta ve sulu-halloysit ile illit ve çarpık b eksenli kaolinit birlikte bulunmaktadır. Örnekte feldispat dorukları biraz zayıf ancak açıkça görülürken kuvars dorukları hiç görünmemektedir. Difraktogramın başlangıcından yaklaşık 3 Å değerine kadar (30° 2 θ , CuK α) ortaya çıkan yay şeklindeki yansımalar amorf bileşikleri göstermektedir. Toprağın genetik özelliklerine bakıldığında alofan türü mineraller ve bazı amorf oksi-hidratların da bulunması beklenir. Örnekte demir, alüminyum ve titan oksitleri ile oksi-hidratlarını belirten bir dizi doruk görülebilmektedir. Alofanların da çoğu kez bu tür oksitlerle birlikte bulundukları bilinmektedir. Toprak oluşumunun birer parçalanma ürünü olan bu bileşenler onun lateritik bileşenleridir. Bunlar arasında lepidokrasit, hematit, manyetit, götit, gipsit ve diyaspor ile brukit (anataz) belirgindir.

Çaykara toprak örneğinin hakim kil minerali klorit olup bir miktar serpantin, feldispatlar ve kuvars görünmektedir. Beliren klorit dorukları, bir monoklinik-klorit olarak Klorit Ia (Sudoite, ASTM kartı 16-362) benzeri bir mineral göstermektedir. Serpantin olarak bir orto-serpantin (6-tabakalı, Antigorit 6 O, ASTM kartı 9-444) görünmektedir. Feldispatlar daha çok anortitli düşük sıcaklık plajiyoklazlarıdır.



Şekil-30: Araştırmaya alınan toprakların XRD grafikleri (<45µm)



Şekil-31: Katkı malzemelerinin XRD grafikleri

Pazar toprağı illit, halloysit, kaolinit, klorit, serpantin ve bazı demir oksitlerinin karışımı olarak görülmekte olup kuvarsi hemen hiç yoktur. Araklı toprağındaki gibi burada da alofanik minerallerin belirtileri vardır. Klorit şişebilen bir tür olarak görülürken halloysit yine meta ve sulu halloysit olarak karışık, illit de üçlü-sekizyüzlü olarak bulunmaktadır. Örnekte önemli miktarda lepidokrasit, götit, manyetit, magemit, hematit ve siderit vardır. Difraktogramın 13.2, 9.1, 5.77 ve 5.37 Å luk zayıf dorukları açıklanamamıştır.

Yomra toprak örneğinin mineralleri, bir montmorillonitin hakimiyetinde meta ve sulu-halloysit, alkali ve daha çok plajiyo feldispatlardır. Önemli miktarda kuvars ve biraz da klorit belirtisi vardır.

IV.2.2. Katkı Maddelerinin Mineral Yapıları

Araştırmada kullanılan çimento örneğinin difraktogramında (Şekil-31) bir kalsiyum-alüminyum-magnezyum silikat, bol miktarda portlandit ve biraz da kalsit belirlenmiştir. Bunların yanında bir dizi doruk da kil minerallerine benzer feldispat türü bir silikat göstermektedir. Belirlenen ana silikat bileşiği $54\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ formüllü bir kalsiyum silikat "katı eriyik" dir (ASTM kartı 13-272). Kullanılan kireç örneğinin difraktogramında ise (Şekil-31) portlandit ($a=4.93 \text{ Å}$) ve çok az miktarda kalsit tanımlanmıştır.

IV.2.3. Yeni Ününlerin Oluşumu

Araştırmaya konu topraklarla oluşturulan çimento ve kireç karışımlarının yapılan XRD incelemelerinde (çimento kimyası simgeleriyle) CAH lar ve CAH-C ler, tobermoritler ve foshagit, girolit, hillebrandit, okenit, traskotit, ksonotlit gibi CSH lar ile, bazı CASH bileşiklerinin mineral yansımaları görülmüştür (Tablo-IX, X ve Şekil-32,33,34,35,36). Yansıma çizimlerinde beliren bu kristalleşmiş veya pelte halindeki CSH ve CAH ların genel olarak verdikleri yansımaların dışında kalanların karma yapıdaki bileşikler olduğu düşünülmektedir. Bunlardan önemli olabilecek bazıları 9.6-8.2, 7.85, 7.8, 7.56 7.53, 7.25, 6.8-6.55, 6.4, 6.25-6.1, 5.7-5.6, 5.4, 5.05, 4.9 Å ve daha küçük değerlerde görülmektedirler. Bu tür yapıların -ve özellikle hidratlanma düzeyi bakımından çok değişiklik gösterebilen silikatların- alüminatlar ve bunlara bağlanabilen CaCO_3 ile birlikte karma tabakalanma özellikleri gösterebildikleri bilinmektedir.

Kireç ve çimento karışımlarıyla oluşturulan stabilize sistemlerde katyonik difüzyonun hızlı olmadığı anlaşılmaktadır: Hızlı gelişmeyen difüzyon, etkileşim bölgelerindeki Ca^{2+} yoğunluğunu fazlaca düşürememiş ve oluşan etkileşim ürünlerinde C/S ve C/A oranları yüksek kalmıştır. Bu nedenle çok miktarda CSH(I) ve CSH(II), tobermorit 9-14 Å ve C_4AH_{13} gibi bileşikler görünmektedir.

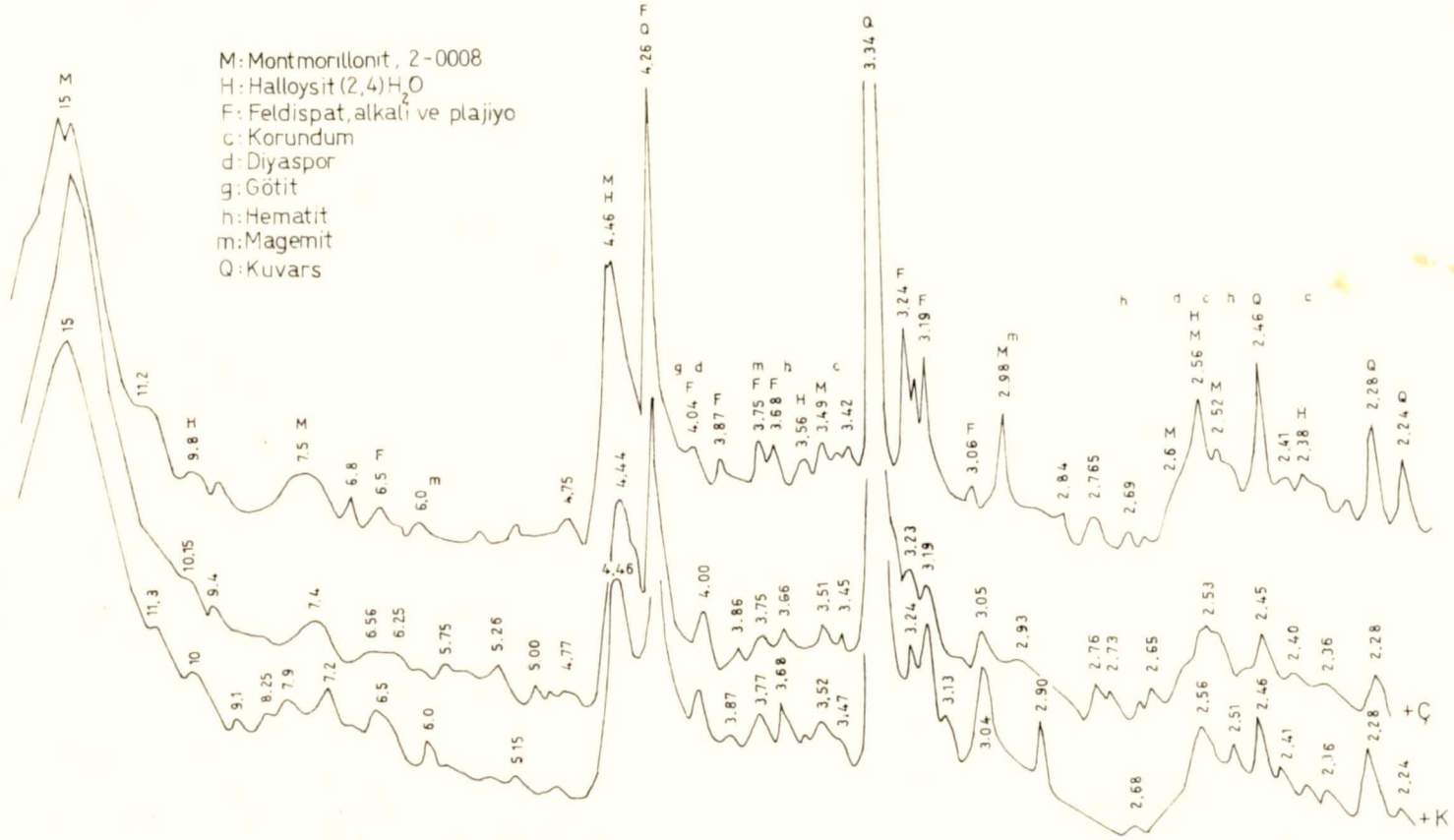
Toprak örneklerinin heriki katkı ile yapılan karışımlarında, beliren doruklardan kil minerallerine ait olanlarda, beklendiği gibi katkı oranı ve zaman ile artan zayıflamalar görülmektedir. Zayıflayan bu tür dorukların şiddetleri ana mineralinkinin %45 ine kadar düşmüştür (Şekil-32,33,34,35,36).

Tablo-IX: ÇİMENTOLU KARIŞIMLARDA BELİREN BAĞLAYICI ÜRÜNLER VE BUNLARIN XRD BÜYÜKLÜKLERİ (ÅNGSTRÖM)

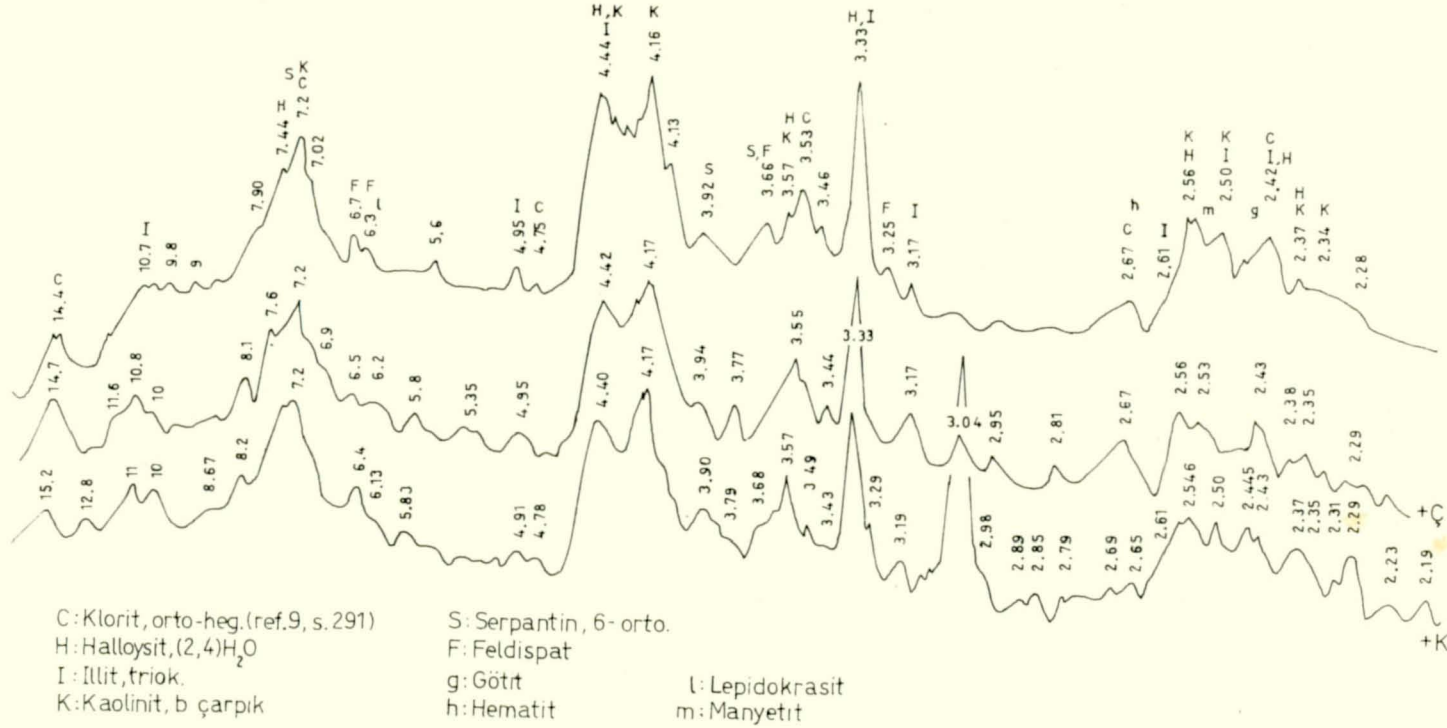
AKÇ	ARK	ÇYK	PZR	YOM	BAĞLAYICI ÜRÜNLER
14.7	17, 14.7	14.4	17, 14.7	17, 13	CSH(I), Tob. 14 Å
	11.6, 10.8		11.5	12.1, 11.6	CSH(I,II), Tob. 11, 12 Å
10.15, 9.4	10.0	10.2, 9.3	10.0	10.3, 9.8	Tob. 9, 10 Å
		8.35	9.0	9.1, 8.25	CSH, CAH
7.40	8.10	7.55-7.50	8.0-7.9	7.93	CAH
	7.60		7.60	7.63	CAH-C
	7.20, 6.90		7.25	7.42, 7.22	CAH, CSH
6.56, 6.25	6.20		6.63, 6.20	6.30	CSH, CASH
5.75	5.80	5.83	5.87, 5.61	5.63	CSH, Tob. 11, 12 Å
5.26	5.35	5.40	5.45		CAH
5.00	4.95	5.00	5.00	5.11	Tob. 10 Å
4.77		4.75		4.70	CSH, Tob. 9 Å
4.35			4.20		CSH
4.00, 3.85	3.93	4.13	4.08, 3.87	3.95, 3.87	CAH, CSH
3.75	3.77	3.75	3.78	3.77	CAH-C, CAH
3.66	3.55	3.72, 3.67	3.60	3.66, 3.60	CSH
3.51			3.50	3.51	CAH
3.45	3.44	3.47	3.21	3.34, 3.23	CSH
3.18, 3.05	3.17, 3.04		3.16, 3.08	3.08	CSH, Tob. 9-14 Å
2.93	2.95		2.95	2.96	Tob. 10 Å
			2.85	2.90, 2.85	CAH, CAH-C
2.76	2.81	2.82, 2.79	2.78	2.78	CSH, Tob., CSH(I,II)
2.73		2.73, 2.71	2.74	2.75	CSH
2.65	2.67	2.65, 2.60	2.69, 2.65	2.69, 2.65	CAH, CSH
2.53	2.56, 2.53	2.54	2.56, 2.53		CSH, CAH, CAH-C
2.48, 2.45	2.48	2.46		2.49	CSH, CAH
2.40	2.43, 2.38	2.43	2.42		CAH, CAH-C
2.35	2.35, 2.31		2.36, 2.31		Tob.
2.28	2.29, 2.26	2.28		2.28, 2.26	CAH, CSH, Tob.
	2.23	2.20	2.22		CAH
		2.04		2.04	CSH, CAH
		1.83		1.83	Tob., CSH(I,II)
		1.67		1.67	CSH, CAH

Tablo-X: KİREÇLİ KARIŞIMLARDA BELİREN BAĞLAYICI ÜRÜNLER VE BUNLARIN XRD BÜYÜKLÜKLERİ (ÅNGSTRÖM)

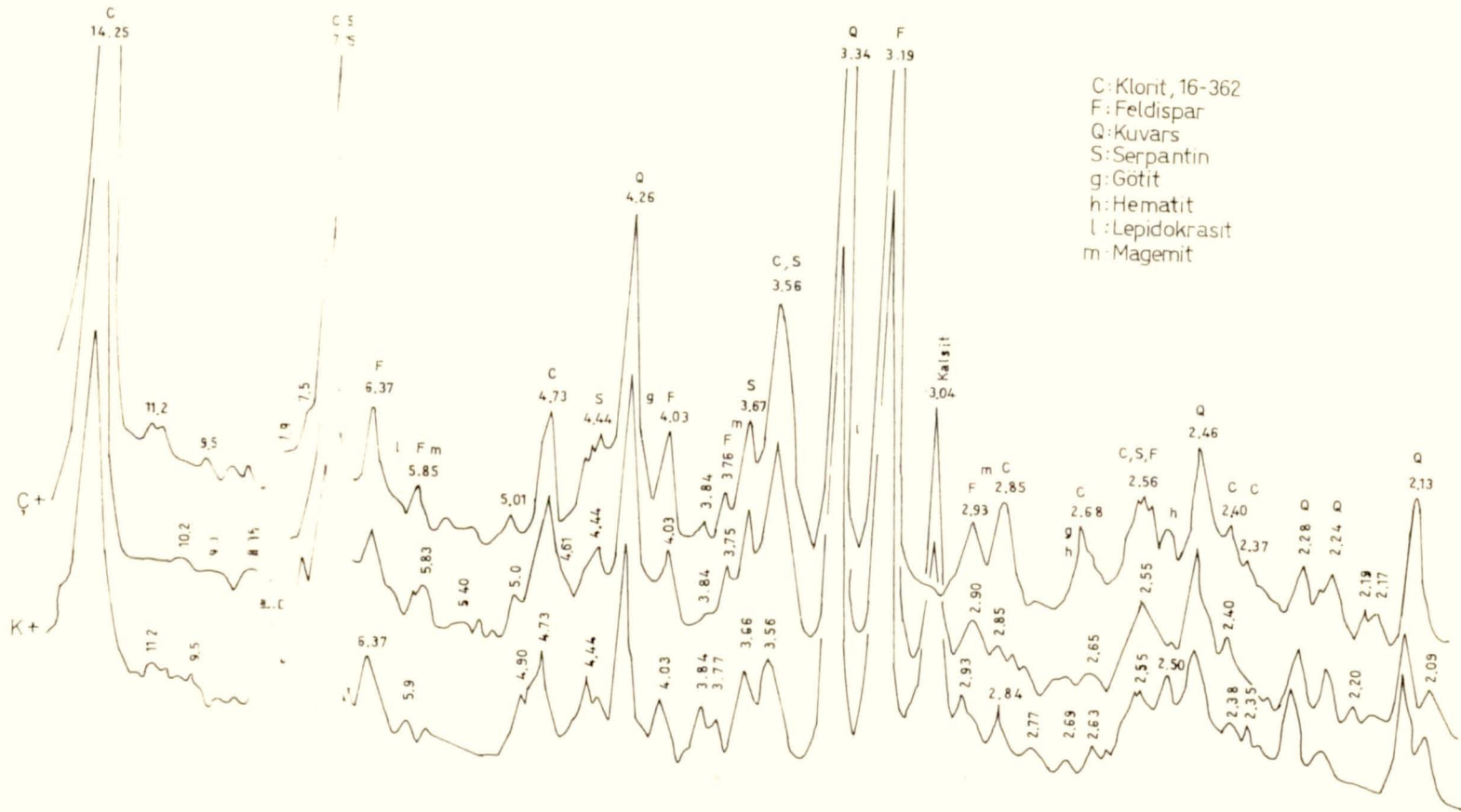
AKÇ	ARK	ÇYK	PZR	YOM	BAĞLAYICI ÜRÜNLER
17-14	15-13	14	16-14		CSH(I)Tob. 14 Å
			13-12	12.2	CSH, Tob. 12 Å
11-10	12-9	11.2-9.5	11.6-10.7		CSH(I,II), Tob. 11 Å
9.0	9-8.5		10-9.3	9.38	CSH, Tob. 9 Å
8.25, 7.90	8.20	8.00		8.20, 7.95	CAH
	7.50	7.50	7.60	7.60, 7.56	CAH-C
6.50	6.40, 6.12	6.20	6.70, 6.37		CASH, CSH
	5.80, 5.57		5.90, 5.45		CSH, Tob.
5.15	5.16		5.25		CAH, CAH-C, CSH
	4.91, 4.78	4.80, 4.75	4.83	4.80	CSH, Tob.
	4.65	4.65			Tob. 14 Å
	4.28	4.45			CAH
4.15	4.11	4.13			CSH, CAH
	4.04, 3.93				CSH, CAH
3.87, 3.77	3.85, 3.79	3.84, 3.77	3.80, 3.70	3.78	CAH, CAH-C
3.68	3.65, 3.57		3.60	3.56	CSH, Tob. 9 Å
3.52	3.49, 3.34	3.51	3.50, 3.36	3.52	CSH, CAH
3.25, 3.20	3.29, 3.19		3.24, 3.19		CSH, Tob. 9 Å, 14 Å
3.13	3.12	3.08, 3.04	3.12, 3.07	3.11, 3.04	Tob. 9-14 Å
3.00	2.98	2.98, 2.94	2.99, 2.98		Tob. 10-14 Å
2.90	2.89, 2.85	2.90, 2.84		2.86	CAH, CAH-C, CSH
2.80	2.79	2.82, 2.80			CSH(I,II), Tob.
2.74		2.77	2.73		CSH, Tob. 14 Å
	2.69, 2.65	2.69			CSH, CAH
	2.61	2.61		2.60	Tob., CASH
2.50	2.54, 2.50	2.50	2.56, 2.52	2.52, 2.49	CAH, CSH, CAH-C
	2.45, 2.43	2.44			CAH
	2.41, 2.37	2.38	2.40		CAH, CAH-C
	2.35, 2.31	2.35, 2.32	2.36		Tob.
2.29	2.29	2.28	2.28	2.28	Tob., CSH, CAH
	2.23, 2.19		2.21		CAH
		2.13, 2.08		1.95	Tob.
		1.83			Tob., CSH(I,II)
				1.67, 1.63	CSH, CAH



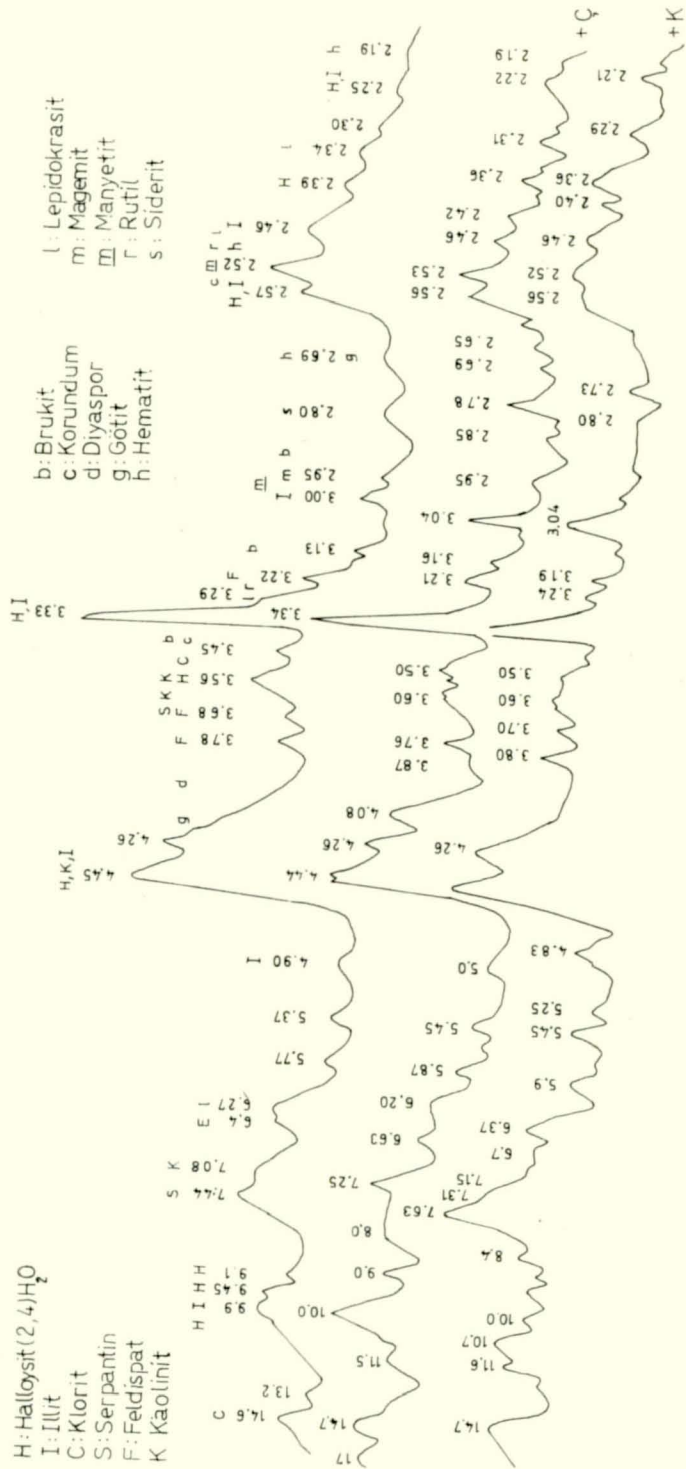
Şekil-32: AKÇ toprağının katkısız ve %15 çimento (+Ç), kireç (+K) katkılı örneklerinin XRD grafikleri; kür 28 gün.



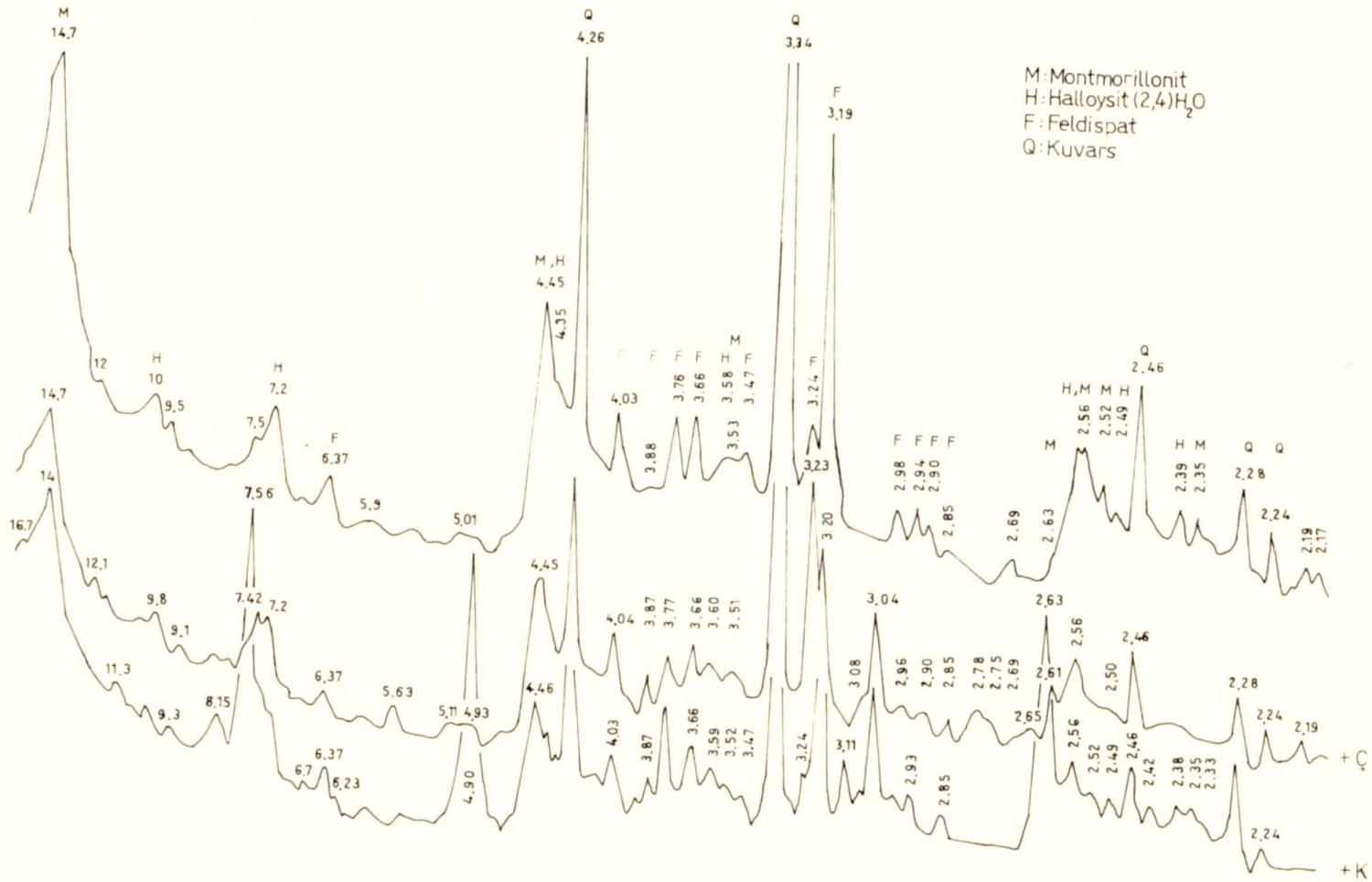
Şekil-33: ARK toprağının katkısız ve %15 çimento (+Ç), kireç (+K) katkılı örneklerinin XRD grafikleri; kür 28 gün.



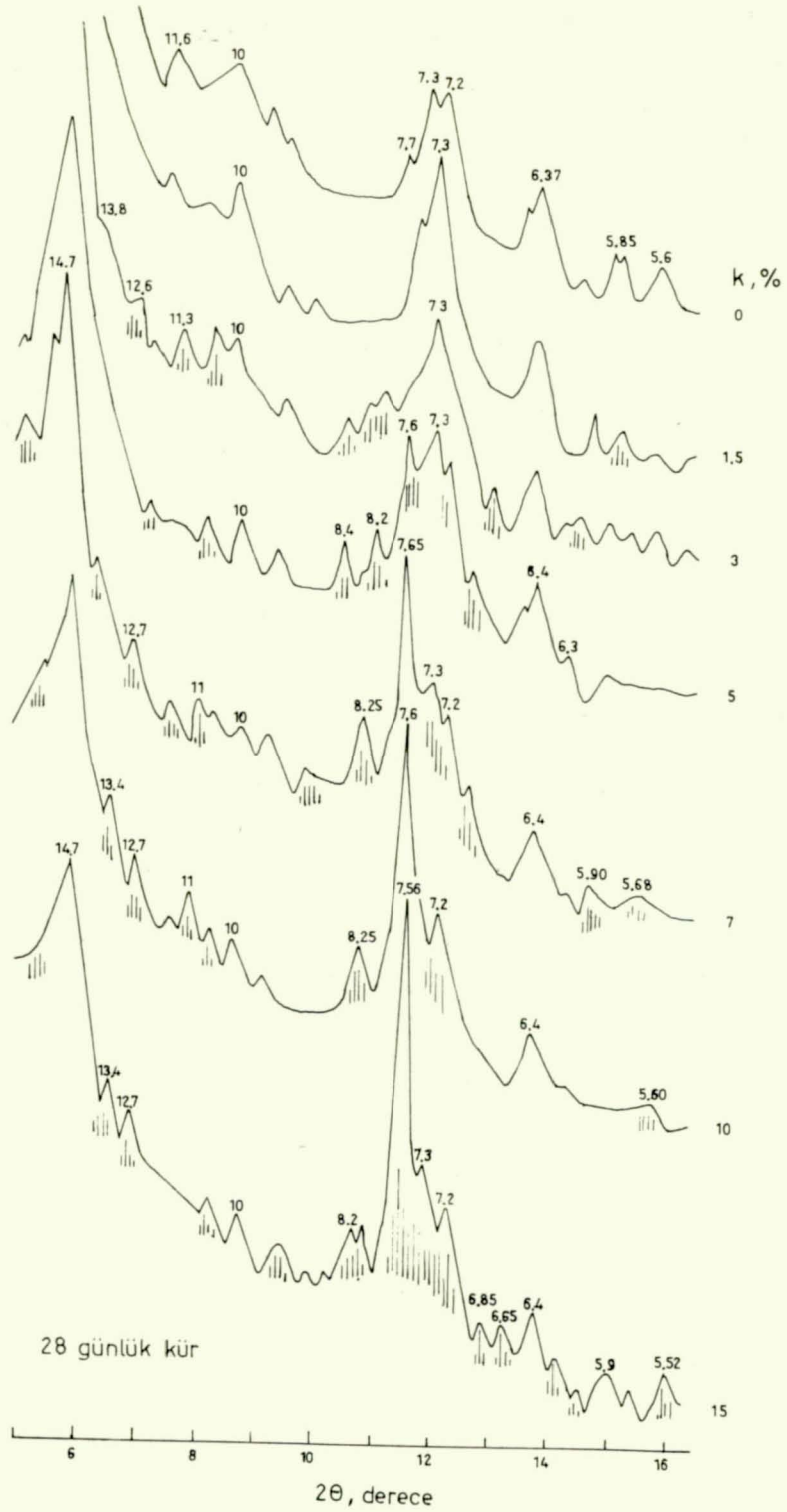
Şekil 34: ÇYK toprağının katkısız ve %15 çimento (+Ç), kireç (+K) katkılı örneklerinin XRD grafikleri; kür 28 gün.



Şekil-35: PZR toprağının katkısız ve %15 çimento (+Ç), kireç (+K) katkılı örneklerinin XRD grafikleri; kür 28 gün.



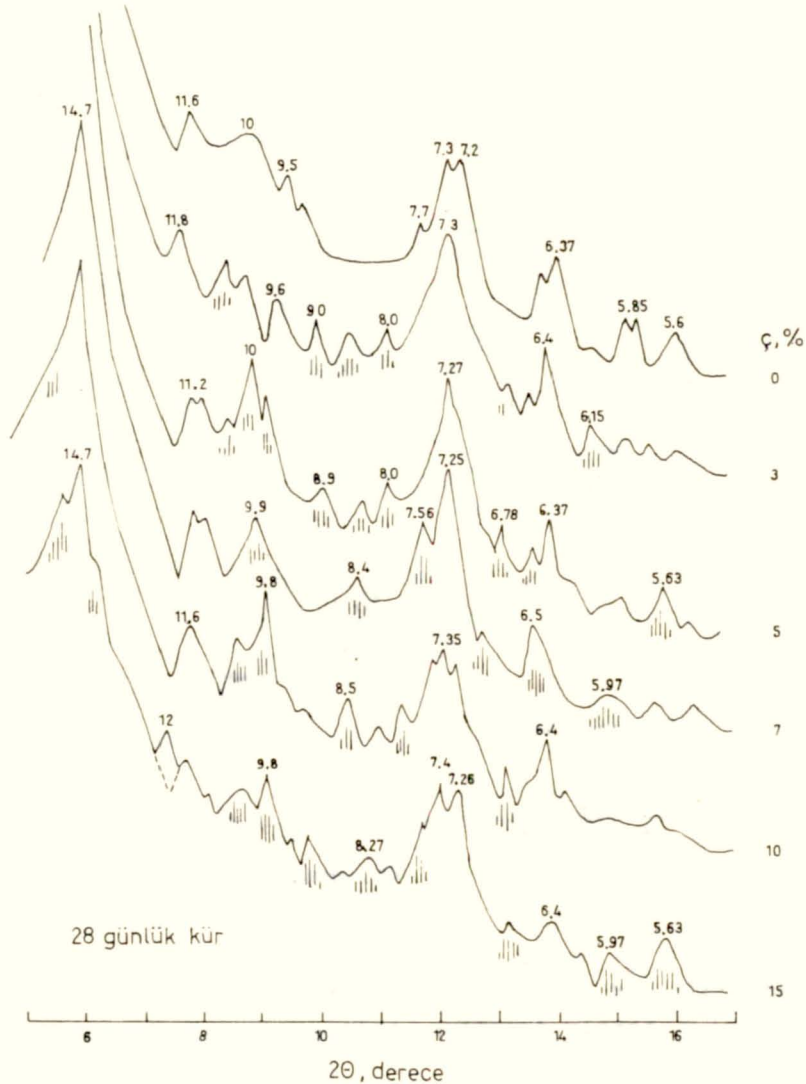
Şekil-36: YOM toprağının katkısız ve %15 çimento (+Ç), kireç (+K) katkılı örneklerinin XRD grafikleri; kür 28 gün.



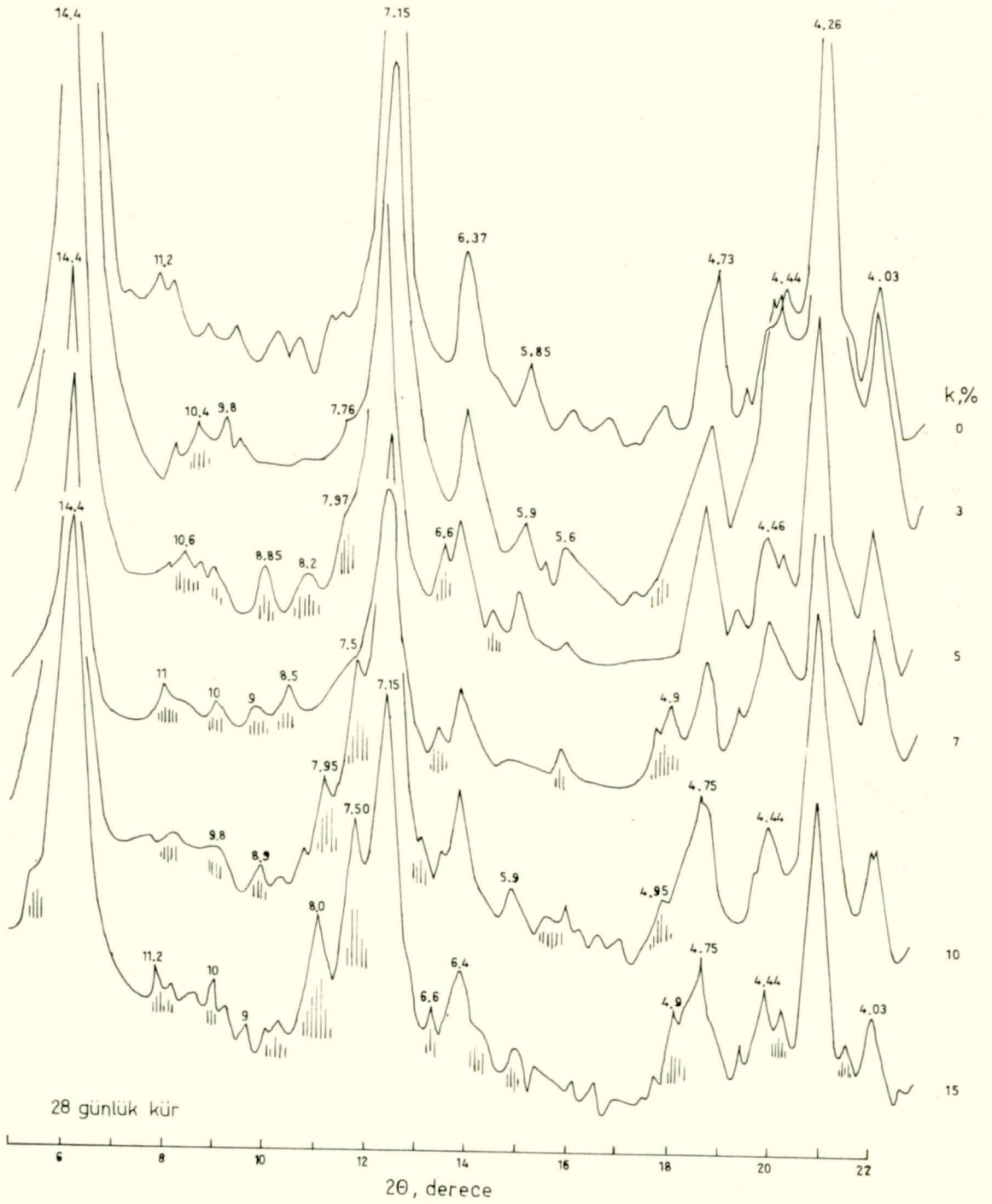
Şekil-37: YOM toprağı ve kireçli örneklerinin XRD grafikleri; taralı doruklar etkileşim ürünlerine aittir.

Killerin yanında feldispat türü minerallerin de yansıma şiddetlerinde düşüşler görülmektedir. Bu grup minerallerin 6.4-6.3 Å, 4.03 Å ve 3.24-3.18 Å doruklarında ölçülen şiddet düşüşleri %40 a kadar varmaktadır. Bunların yanında kuvars'ın da etkileşimlere girdiği düşen doruk şiddetlerinden anlaşılmaktadır. Parçalanan bu elemanlardan oluşan silikatlar -beklendiği gibi- margarit, anortit ve albit benzeri bileşiklerdir (Tablo-IX,X). Kuvars'ın mineral yapısındaki farklılıkların işlemlere farklı aktiflikler getirdiği ve buna bağlı olarak değişen oranlarda tobermorit cinsi ürünler verebildiği bilinmektedir.^{1,2,9}

Artan kireç katkısıyla birlikte x-ışını yansımalarında görülen CAH.C dorukları da büyümektedir. Tipik bir örnek olarak Şekil-37 de YOM+K karışımının yansımaları gösterilmiştir. Böylece bu minerallerin de miktar olarak arttığı anlaşılmaktadır. Şekilde ayrıca CAH minerallerinin 8 ve 7.6 Å luk (001) düzlemi yansımaları 7.6-7.5 Å büyüklüğüne doğru kaydığı görülmektedir. Bu gruptaki C_4AH_{13} ün, çeşitli polimorflarına göre, 8.2-7.9 Å olan (001) yansımasının kısmen su kaybı ve karbonatlaşma ile 7.6-7.55 Å değerlerine düştüğü bilinmektedir.^{2,0}



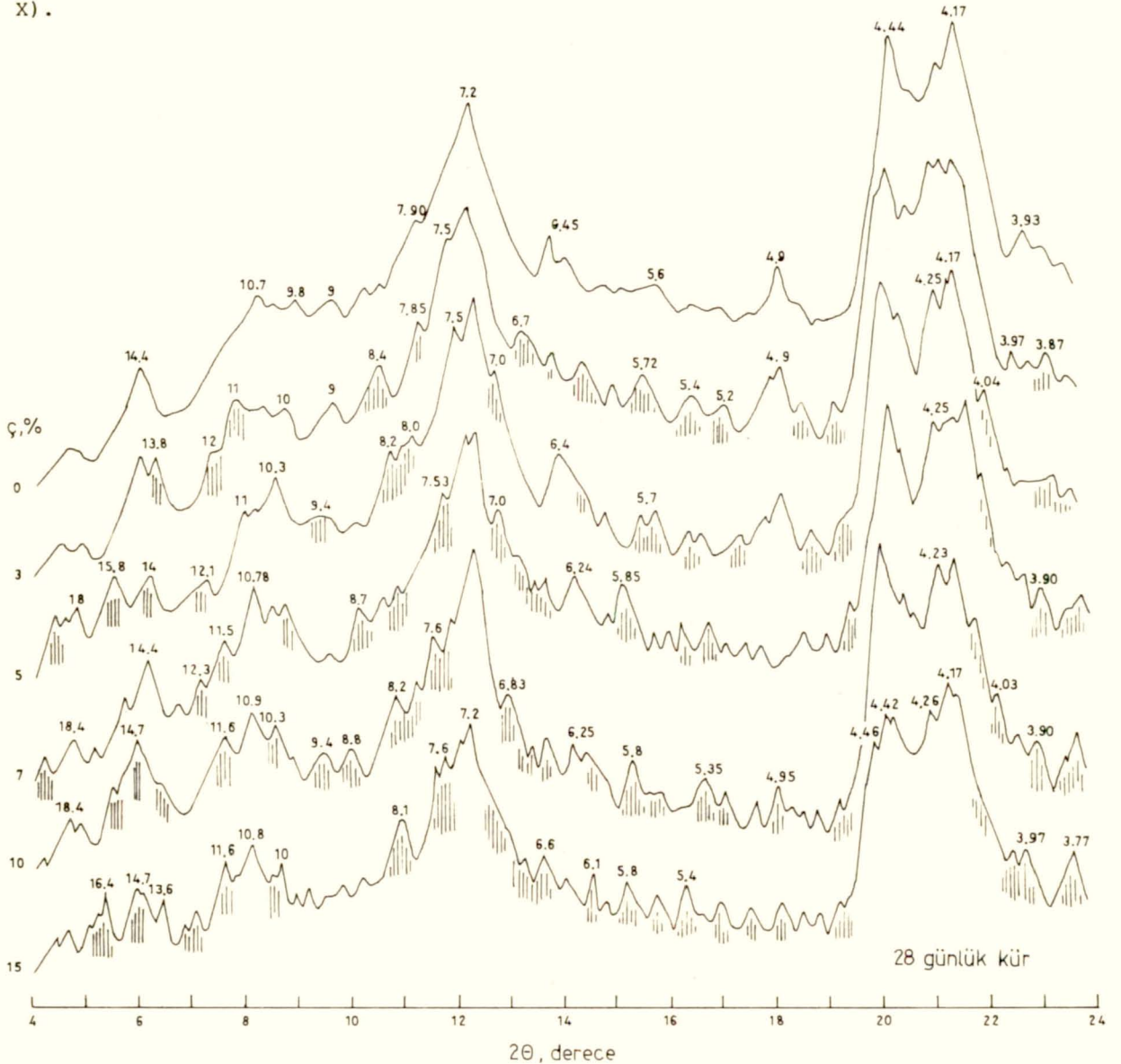
Şekil-38: YOM toprağı ve çimentolu örneklerinin XRD grafikleri; taralı doruklar etkileşim ürünlerine aittir.



Şekil-39: ÇYK toprağı ve kireçli örneklerinin XRD grafikleri; taralı doruklar etkileşim ürünlerine aittir.

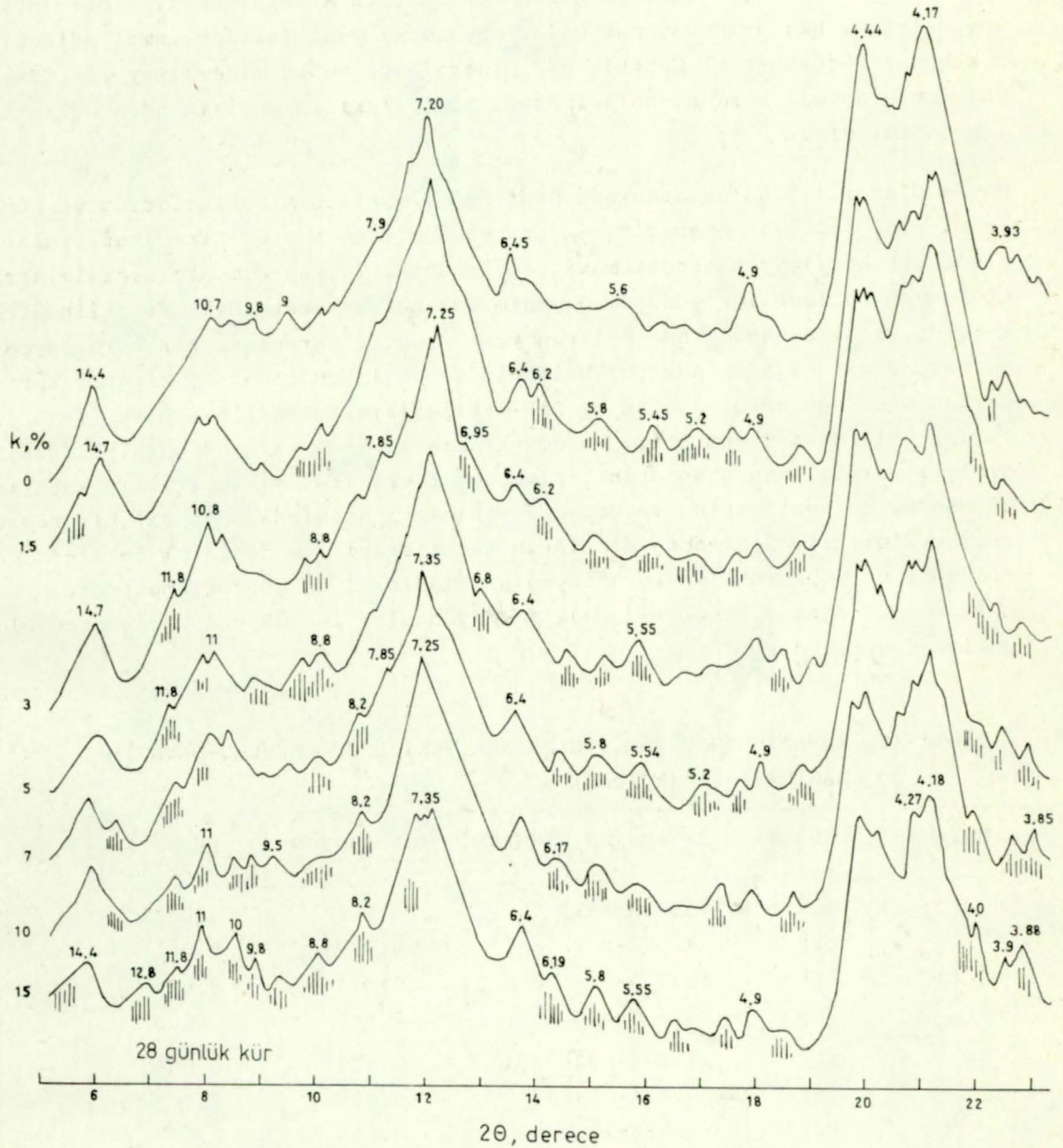
CSH ların bileşimleri üzerinde kireç miktarının da etkili olduğu görülmektedir: Düşük katkı oranlarında CSH(I) gibi görünen ürünler, katkı miktarı arttıkça daha büyük C boyutlu kristalin silikatlara doğru kaymaktadırlar (Şekil-37,38,39).

Genetik özellikleriyle alofanik mineraller ve bazı amorf oksitler ile oksihidratları içeren doğal Pazar ve Araklı topraklarının XRD grafiklerinde, yaklaşık 3 Å a kadar ortaya çıkan yay (hâle) biçimli yansımalar, bunlara kireç ve çimento katılmasından sonra zayıflamaktadır. Artırılan katkı miktarı ile birlikte zayıflamanın da arttığı izlenmektedir (Şekil-33,35,40,41). Bu toprakların gösterdikleri yüksek dayanım değerlerine bakıldığında, seskioksidik alofan olabilen bu tür oluşumların büyük miktarda bağlayıcı ürün oluşturmaları anlaşılmaktadır. Toprakların amorf fazları ile CASH olarak bilinen dörtlü ürün fazlarının oluşturmaları da bilinmektedir. Her iki toprak için de bu tür dörtlü fazların varlıklarına ilişkin önemli belirtiler vardır (Tablo-IX, X).



Şekil-40: ARK toprağı ve çimentolu örneklerinin XRD grafikleri; taralı doruklar etkileşim ürünlerine aittir.

Silikatlar ve alüminatların XRD analizlerindeki dorukları (pikleri) birbirlerine çok yakın belirerek girişim yapmaktadırlar. Bu nedenle bunların öznel biçimleri arasında ayırım yapabilmek fazlasıyla zor olmuştur. Ayrılamada bir başka olumsuz etken de yansıma şiddetlerinin gürültü düzeyine göre zayıf kalmalarıdır. Bunun en önemli nedeni ürünlerin dane kaplanması (deri oluşumu) biçiminde yerleşmeleridir. Sonuçta, elde edilebilen normal doruk yükseklikleri gürültü düzeyinin ancak 2-3 katına ulaşabilmekte ve tanımlamada güçlükler getirmektedir. Bu arada, zaman yada başka nedenlerle şiddetlenen bazı yansımaların karma yapıları minerallerin oluşumunu gösterebilecekleri de gözönünde tutulmalıdır.



Şekil-41: ARK toprağı ve kireçli örneklerinin XRD grafikleri; taralı doruklar etkileşim ürünlerine aittir.

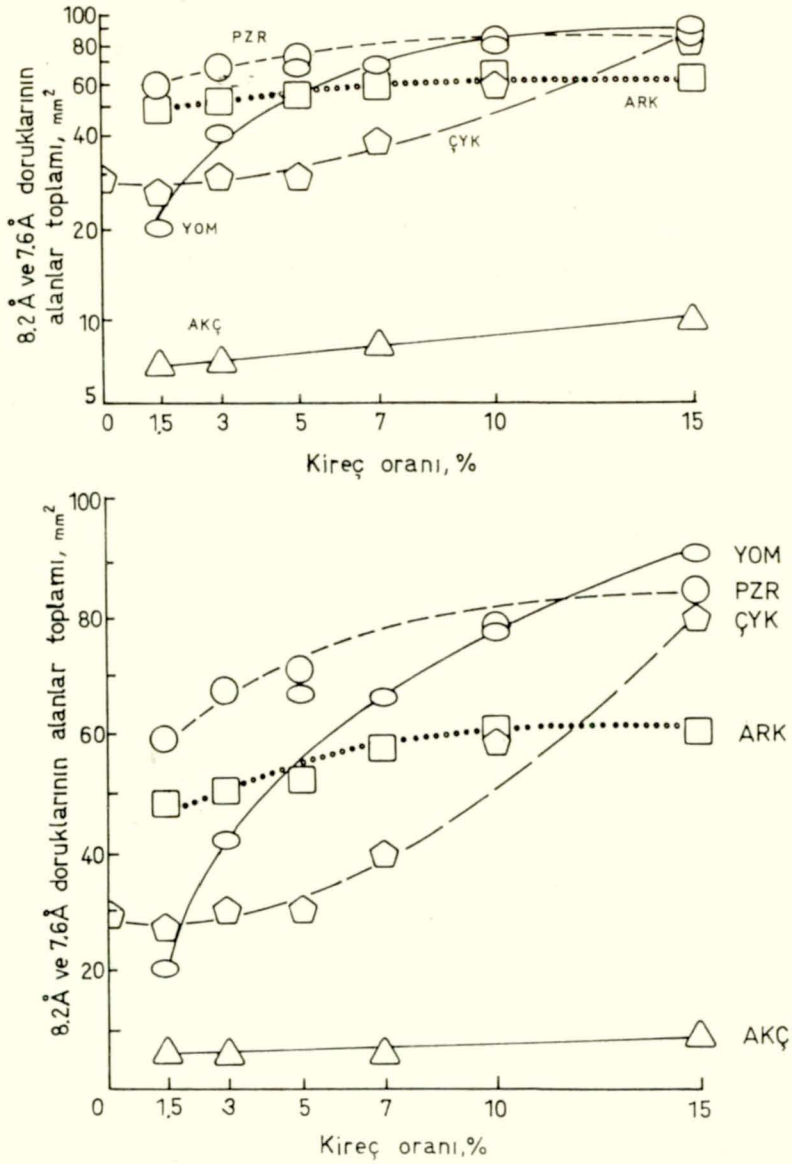
IV.2.4. Ürün-Dayanım ilişkisi

Karışımlarda mekanik dayanım artışları, gelişen bazı etkileşim ürünlerinden kaynaklandığına göre, bunların miktarları ile ulaşılan dayanım düzeyleri arasında da bir bağıntı bulunması doğal sonuçtur. Ancak burada miktar olarak ürünlerin belirli bir ölçümle saptanması sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu noktada, ürünlerin x-ışını yansımaları çizimlerinde beliren doruklarının altında kalan alanların kullanılabilmesi düşünülmüştür. X-ışını yansımaları analizlerine giren minerallerin miktarları ile bunların alanları arasında bir orantı olduğu bilinmektedir.⁸⁰ Ancak burada önemli iki noktaya ilişkin kabuller söz konusudur: a) Karşılaştırmaya giren her durumda kristal özellikleri (boyutlar, sistem, hidratlanma, katyonlar) aynıdır; yada farklar ihmal edilebilecek kadar küçüktür. b) Çeşitli kil mineralleri ve bu mineraller ile CSH ve CAH lar arasında Lorentz-polarizasyon faktörlerinin değişiminden doğan farklar önemsizdir.

Dayanımlar ile ürünler arasında beklenen ilişkilerin varlıklarını ve bunların önemlerini saptamak amacıyla, araştırmaya alınan toprak-kireç karışımları üzerinde bir korelasyon araştırması yapılmıştır. Toprak-çimento karışımlarının da sözkonusu beklentiler yönünde dayanım kazançları gösterdikleri bilinmektedir. X-ışını yansımaları analizinde beliren yeni ürünler arasında bir korelasyon araştırmasına girebilecek düzeyde belirgin ve değişken olanlar, kireçli karışımlardan dördünde görülen, CAH ve CAH.C bileşiklerine ait 8.2 A ve 7.6 A luk doruklar olarak saptanmıştır. Bu dorukların altında kalarak gürültü düzeyi çizgisi ile sınırlanan alanların toplam değerleri ile, sıkıştırılmış karışımların 28 günlük serbest basınç ve çekme dayanımları arasında doğrusal bir regresyon araştırılmıştır. Sözkonusu alanların katkı oranı ile değişimi Şekil-42 de verilmekte ve dayanım-alan korelasyonları Tablo-XI de gösterilmektedir. Burada A=Alan (8.2 Å ve 7.6 Å dorukları) cm², dayanımlar ise 28 gün kür sonucu elde edilen değerlerdir.

Tablo-XI: TOPRAK-KİREÇ KARIŞIMLARINDA YENİ ÜRÜN OLUŞUMU-DAYANIM BAĞINTILARI (kg/cm²)

DAYANIM	TOPRAK	REGRESYON DENKLEMİ	KORELASYON KATSAYISI	RED OLASILIĞI
q _u	ARK	19.4 A-89.3	0.966	0.01
	ÇYK	1.55A-3.2	0.777	0.05
	PZR	18.3 A-114	0.871	0.05
	YOM	5.4 A-6.2	0.985	0.005
q _t	ARK	1.44A-6.36	0.985	0.005
	ÇYK	0.15A+0.44	0.688	0.1
	PZR	1.87A-11.5	0.869	0.05
	YOM	0.62A-0.62	0.984	0.005

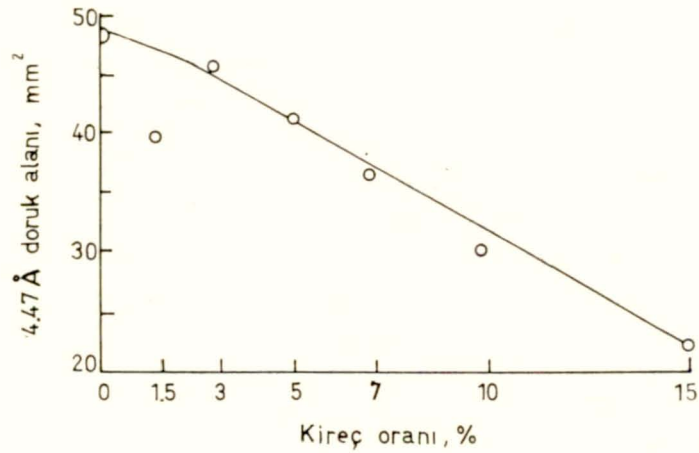
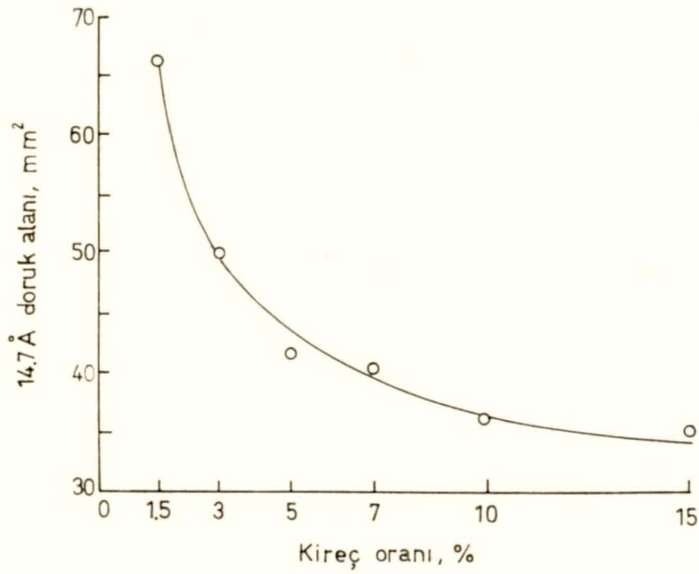


Şekil-42: XRD grafiklerindeki 8.2 Å ve 7.6 Å bağlayıcı ürün doruk alanları toplamının kireç oranıyla değişimi; kür 28 gün.

Stabilizasyonun puzolanik olaylarına kaynak oluşturan toprak elemanları arasında kil mineralleri de sayılmaktadır. Bu görüşle gelişen kimyasal olaylarda parçalanarak kristalli danelerden kaybolan kil minerallerinin miktarı ile stabilizasyonun ulaştırdığı dayanım düzeyi arasında bir ters (negatif) korelasyon bulunacaktır. Böyle bir korelasyonun varlığı Yomra toprağının kireçli karışımları üzerinde araştırılmış ve ilgi çeken bağıntılar bulunmuştur. Bu toprağın 14.7 Å ve 4.47 Å luk 001 ve 11+, 02+ montmorillonit doruklarının (Şekil-36) alanları kullanılan kireç miktarı ile birlikte azalmaktadır (Şekil-43). Bu alanlar ile dayanımlar arasında varsayılan doğrusal ve üstel regresyon denklemlerine ilişkin korelasyonlar Tablo-XII de verilmektedir. Burada A_1 =Alan (14.7 Å) ve A_2 =Alan (4.47 Å) olarak cm^2 ölçüsündedir. Bu açık bağıntının diğer topraklarda saptanması, onların mineralojik yapılarının daha karmaşık oluşlarıyla zor olmaktadır.

Tablo-XII: YOMRA-KİREÇ KARIŞIMINDA MONTMORİLLONİT DORUKLARINDAKİ AZALMANIN DAYANIMLARA ETKİSİ (kg/cm²)

DAYANIM	REGRESYON DENKLEMİ	KORELASYON KATSAYISI	RED OLASILIĞI
q_u	$77 - 5.66 A_1$	-0.950	0.01
	$115.2 - 45.9 \ln A_2$	-0.827	0.04
q_t	$9 - 0.657 A_1$	-0.959	0.01
	$13 - 5.11 \ln A_2$	-0.797	0.06



Şekil-43: YOM toprağının kireçli karışımlarında 14.7 Å ve 4.47 Å montmorillonit doruklarının değişimi; kür 28 gün.

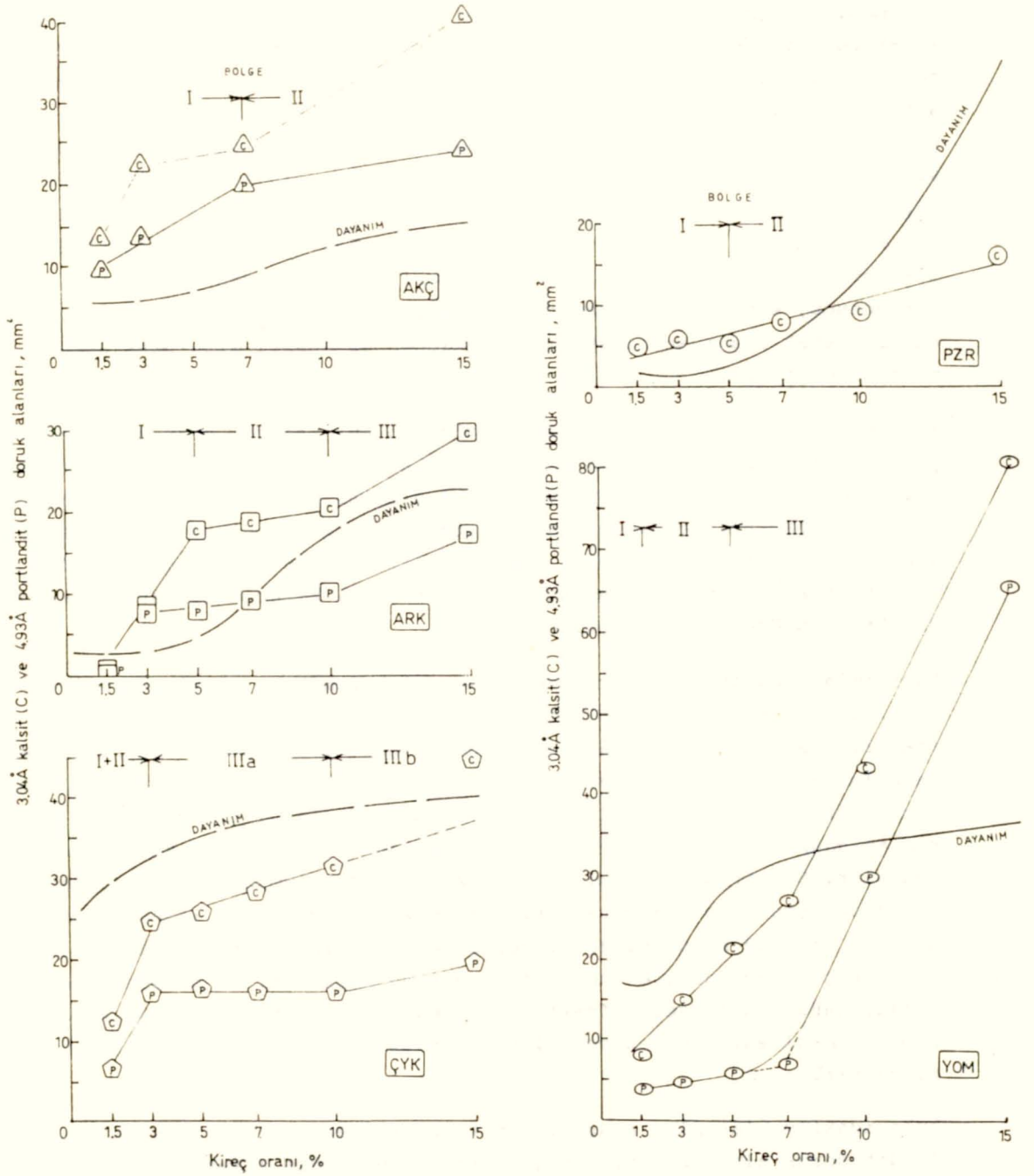
IV.2.5. Toprak-Kireç Etkileşiminde Olaylara Bir Bakış

Toprak-kireç karışımlarında sistem içi olaylar fiziko-kimyasal olarak başlayıp gelişmekte ve, pH'nın da etkilediği katyon değişim kapasitesinin tatmin edilmesiyle eşzamanlı olarak, sistemin birçok noktasında bağlanmayı sağlayan kil-kireç etkileşimleri de başlamaktadır. Olayların yaygınlığı ölçüsünde sistemin bağlanmış noktalarının sayısı da artmaktadır. Bağlanmanın yaygınlığını artırmanın bir yolu, karışımın çok ince bir şekilde yapılması olabileceği gibi, katkı maddesi miktarını da artırarak, sistemin daha çok sayıdaki noktasına bağlayıcı ulaşmasını sağlamak da olabilir. Olaya bu açıdan bakıldığında dayanım ile katkı miktarı arasında doğrusal bir ilişki beklenir. Ancak, değişen katkı miktarı ile birlikte, birçok fiziksel ve kimyasal faktörün gelişen olaylarda aldıkları rollerin etkinlikleri de değişmektedir. Bu tür değişiklikler sonucu, karışımların çeşitli mühendislik özellikleri için katkı oranına bağlı olarak aranılan ilişkilerde beklenen doğrusallıktan uzaklaşmalar görülmeye de doğaldır.

Yaygın bağlanma (pozolanik etkileşimler) olayı içinde, çözünen kirecin difüzyonu ve kil-kireç etkileşimlerinden sonra, etkileşim ürünlerinin ve kirecin kil dane yüzeylerine adsorbsiyonu gibi olayların meydana geldiği bilinmektedir. Ancak bu olayların gelişimi bazı sistem özelliklerine bağımlı olmaktadır. Sistem içindeki difüzyonun düzeyi ve kolloidlerin elektro-kimyasal yüzey özellikleri bu noktada önem kazanmaktadır. Sistemdeki kirecin miktarı (konsantrasyonu) da bütün bu özellikleri etkileyecektir.

Karışımlara dayanım kazancı özelliklerini kazandıran olaylarda belirli bir toprak için baş rol kireçte olduğuna göre, kimyasal olaylarda kullanılan kireç miktarı ile ulaşılan dayanım arasında ilişki bulunacaktır. Tepkileşime girerek kaybolması nedeniyle, olaylarda kullanılan kireç miktarı yerine, kullanılmayarak kristal halinde (portlandit) kalan bölümü ele alınırsa x-ışını difraktogramlarındaki 4.93 \AA luk (001) doruğu ve daha başkalarıyla kireci saptamak mümkün olur. Bu sırada kullanılmayan kirecin bir bölümünün karbonatlaşarak kalsit'e dönüşmesi de sözkonusudur. Etkileşimlere girmeyen kirecin ne kadarının kristal biçimde bulunabileceği gerçekte sistemin elektro-kimyasal özelliklerine ve boşluksuyundaki elektrolit dengesine bağlıdır. Bu dengenin hep aynı kalacağı kabul edilirse, difraktogramlarda beliren portlandit ve kalsit doruk alanlarını kullanılmayan kireç miktarının bir göstergesi olarak ele almak mümkün olacaktır.

Yukarıdaki yaklaşımla, araştırılan toprak-kireç örneklerinde kalsit ve portlandit doruk alanlarının, karışımlara giren (brüt) kireç yüzdesi ile değişimleri Şekil-44'de verilmektedir. Şekillerde beliren durum şöyle değerlendirilebilir: Akçaabat toprağında kullanılan kireç miktarı %7'lik katkı oranı civarında değişerek, bu değerden sonra artmaktadır. Araklı toprağı için %5 ve %10 oranlarının sınır oluşturduğu üç farklı bölge görülmektedir. Kullanılmayan kireç miktarı orta bölgede yaklaşık aynı kalırken, bölgelerin diğer ikisinde artma eğilimi vermektedir. Çaykara toprağında da yaklaşık %3 ve %10 katkı oranlarıyla sınırlanan üç bölgeden söz edilebilir. Bunlardan ilki ile ikinci-



Şekil-44: Kireçli karışımlarda 4.93 Å portlandit ve 3.04 Å kalsit dörük alanlarının değişimi ve boyutsuz dayanım grafikleri; kür 28 gün.

sinin sınırları (%3) açıkca belirli olurken üçüncüsünü (%10) tariflemek zor olmaktadır. Pazar toprağının karışımlarında portlandit hiç görülmemiştir. Bu karışımlarda beliren zayıf kalsit belirtilerine bakılırsa iki bölgeden sözedilebilir. Yomra toprağının karışımları da yine açıkca iki bölge tanımlanmaktadır.

Yukarıdaki yorum genelleştirildiğinde, araştırmaya alınan topraklar için, dayanım-iç olaylar-kireç yüzdesi ilişkileri bakımından ayrımlanabilecek bölgeler aynı şekiller üzerinde işaretlenmiştir. Şekillerde ayrıca, üretilen malzemelerde mekanik dayanımın kazanç grafikleri de boyutsuz biçimleriyle verilmektedir. Getirilen bu görüşün ışığında Şekil-44 e bakıldığında, karışımlara giren ve kullanılan katkı miktarlarının dayanıma etkileri üç aşamada izlenebilmektedir. Genel olarak, kirecin ilk birkaç yüzdelik değerine kadar dayanımın gelişimi yavaş olurken (I) daha sonraki birkaç yüzdelik katkılarda fazlaca artmakta (II) ancak giderek yavaş bir gelişim ortamına (III) -Pazar örneği dışında- girmektedir. Pazar toprağında portlandit doruklarının da tanımlanmaması, bu örneğin farklı özelliğinin bir kanıtıdır.

Bölge-I de gelişen olaylar, pH yükselmesiyle birlikte katyon değişimi şeklinde olmaktadır. Katyon değişim kapasitesi tam olarak tatmin edilmese de kil-su-kireç sisteminde elektriksel kuvvetlerin bileşkesi çekme'ye doğru değişmekte ve böylece ölçülen mekanik dayanımlar genel olarak artmaktadır. Ancak, daha önce, çok düşük katkı oranlarındaki dayanımlar da düşük olabilmektedir. Sistem içinde bağlayıcı ürün etkileşimlerinin de başladığı bu bölgede dayanım kazancını sınırlayan etkenler olarak bağlanan nokta (dane) sayısının azlığı ve yapısal değişimlerin henüz yeterince gelişmemesi gösterilebilir.

Bölge-II ye girildiğinde sistemde yaygın bağlanmayı sağlayacak yapısal ve kimyasal şartları oluşturmaya yetecek miktarda katkı maddesi bulunmaktadır. Bu durumda, katyon değişim kapasitesi artık tatmin edilmiş olarak, bağlanmanın giderek yaygınlaşmasıyla dayanım da hızla artmaktadır.

Bölge-III şartlarına erişildiğinde artan katkı miktarına karşılık kirecin ulaşabildiği bağlanma noktalarının sayısı kısıtlı kalmaktadır. Çünkü, önceden oluşmuş bol miktardaki bağlayıcı ürünler, adsorbe oldukları kil yüzey ve kenarlarını kalınca bir örtü biçiminde kaplamaktadır. Bu ürünler sistemin boşlukları içinden yapılacak katyonik difüzyona da engel olmaktadır. Bu nedenlerle, sisteme eklenen kireçten yararlanarak ek bağlayıcı ürünlerin oluşması da giderek zorlaşmaktadır. Böylece, elde edilebilen dayanım kazançları da giderek kısıtlanmaktadır.

Yukarıdaki kabullerden çıkararak, "kireç tutma" kavramına⁶⁴ (Bölüm II.2.5) dayanan üç bölgeyi etkileşimi⁶⁵ tariflemek mümkün olabilir. Bu tür bir bölgeleme ile olayların her aşamada bağımsız ve ardışık biçimde gelişip son buldukları öne sürülmektedir. Bu görüşle süreci, öncelikle pH ya bağlı katyon değişiminin¹³ egemen olduğu olaylar; bunu izleyerek yine pH ya bağlı katyon adsorbsiyonu³³ ve ulaşılan "kireç tutma" noktasından sonra artık tüm sisteme egemen olan puzolanik etkileşimler olarak sıralayabiliriz. Homogenliği ideal düzeyde olan karışımlar için böyle bir sıradan söz edilebilir. Uygulama şartlarında oluşturulmuş bir

karışım içinde ise sistem geneline göre yüksek oranda Ca^{2+} konsantrasyonuna ulaşan noktalar bulunacaktır. Bu nedenle, karıştırmadan kısa bir süre sonra sözü edilen olayların her türünün birarada gelişmesi doğaldır. Buna bağlı olarak türler için bir süre kısıtlaması da söz konusu olmayacaktır.^{13,4}

IV.3. Genel Değerlendirme

IV.3.1. Sonuçlar

1. Doğu Karadeniz Bölgesinin değişik yerlerinden alınan ve farklı jeolojik-pedolojik koşullarda oluşmuş beş killi toprak laboratuvarında çimento ve kireçle stabilizasyona elverişlilikleri açısından incelenmiştir. Bunlardan dördü her iki katkı malzemesine de olumlu cevap vermişlerdir. Tüm örneklerde katkı yüzdesi (k) ile dayanım arasında

$$\frac{q_u}{q_t} = a + b k$$

tipinde bir doğrusal bağıntının geçerliliği gösterilmiştir.

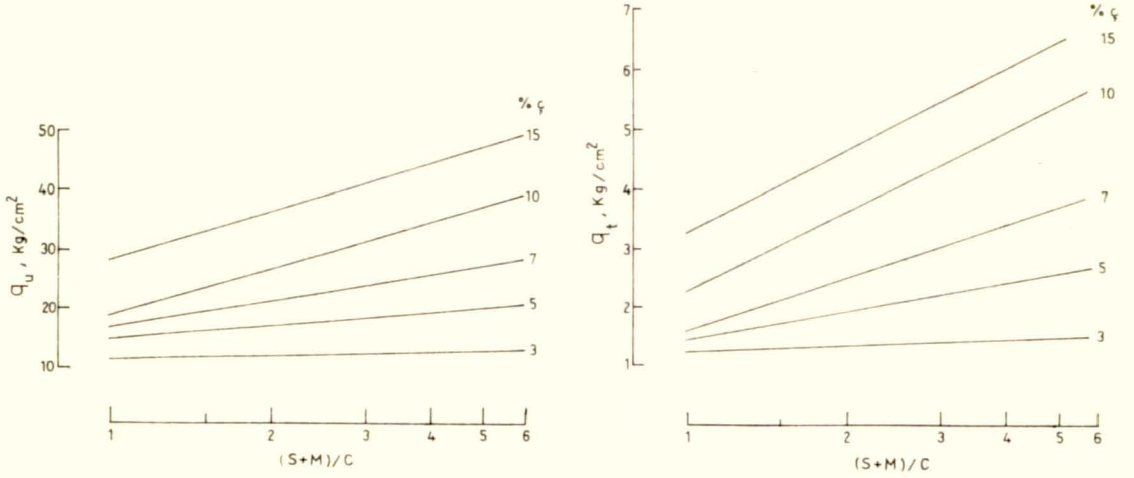
2. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan kireç ve çimentolu örneklerde serbest basınç ve çekme dayanımlarındaki artışlar farklı hızlarda olmuştur. Deney ve kırılma koşullarının etkisi ötesinde, bunun kür sırasında beliren büzülme çatlaklarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Buna göre üst yapı hesaplarında stabilize örneklerin dayanım kriterinin çekme mukavemeti olarak alınması daha gerçekçi bir yaklaşım olarak görülmektedir.
3. Örneklerin dayanımında kür süresine bağlı artışlar da doğrusal bir bağıntıyla yeterli duyarlılıkta gösterilebilir. Dayanımların kazanç hızı ilk iki hafta içinde en yüksek düzeydedir. Bu özellik, artırılan katkı oranı ve yükselen kimyasal etkileşim potansiyeli ile birlikte daha da belirginleşmektedir.
4. Birbirine yakın katkı oranlarında, kuru birim hacim ağırlıktaki artışın genelde dayanım artışı ile paralel olduğu söylenebilirse de sonuçlar bunun bir kural olarak alınamayacağını göstermektedir. Kuru birim hacim ağırlık dayanım ilişkisinin üstel fonksiyonlara yüksek korelasyonlarda uyum gösterdiği bulunmuştur.
5. Stabilize topraklar plastikten gevrek yapıya dönüştüklerinden dayanım artışları yanında serbest basınç ÷ çekme dayanımı oranları doğal duruma göre yükselmektedir. Bu oran çimentolu örneklerde ortalama 7.1, kireç katkısı ile 9.4 olarak bulunmuştur. Oranlar toprağın türü, katkı yüzdesi ve kür süresinden etkilendiğinden, basınç dayanımından çekme dayanımının tahmin edilmesi azımsanmayacak hatalar gösterebilecektir.
6. Stabilizasyon işlemlerinde toprakların mineralojik ve genelde pedolojik özellikleri en etkin rolü oynamaktadır. Bazı örneklerin sonuçları literatürün tipik verilerine benzerlik göstermişse de, lateritik özellikleri olan iki toprak (ARK, PZR) farklı davranmıştır.

7. Stabilizasyon sürecinde mineraloji hakim etken olduğundan belirli dayanım ulaşmak için kıvam limitleri, dane dağılımı, pH değeri, hatta kil yüzdesi gibi mineral yapısının dolaylı göstergeleri olan özelliklerin kesin etkisi olamayacağı teyid edilmiştir. Genel bir eğilim olarak katkı maddesi gereksiniminin kil yüzdesi, likit limit ve plastisite indisi ile üstel biçimde arttığı; artan pH değeri ve kum/silt oranları ile düştüğü bulunmuştur.
8. Çimento ve kireç katkısıyla toprakların birincil mineralleri yanında ikincil mineralleri olan feldispatlar, kuvars ve lateritik toprakların alofanları ile amorf oksitleri de kimyasal tepkimelere girmektedir. Bu minerallerin X-ışını analizinde beliren doruk şiddetlerinde, artan katkı oranı ve kür süresi ile birlikte, ana mineralin %45 ine kadar düşüşler olmuştur. Sonuçların incelenmesinden, şimdiye kadar toprak-kireç etkileşimleri için literatürde öne sürülen ve birbiriyle çelişir gibi görünen kireç tutma, katyonik adsorbsiyon ve yaygın bağlanma kuramlarının belirli ölçülerde geçerli olduğu anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak malzemelerdeki dayanım artışları incelenen topraklarda üç bölge ile açıklanmaktadır.
9. Çimento ve kireçli malzeme örneklerinde oluşan bağlayıcı etkileşim ürünleri olarak hidratlanmış kalsiyum silikatlar (CSH), kalsiyum alüminatlar (CAH) ve bunların karbonatlıları (CAH.C) ile dört fazlı (CASH) ve karma yapıları mineraller bulunmuştur. Bu mineraller, jel/kristal biçimleriyle toprak danelerini kaplamaktadır. Toprak-kireç karışımlarının dayanımları ile CAH türü bağlayıcı miktarları arasında önemli doğrusal regresyon ilişkilerinin varlığı gösterilmiştir. Bu karışımların etkileşim sürecinin değerlendirilmesinde kullanılmış-kireç kavramı daha gerçekçi görünmüştür. Böylece dayanım kazançlarının gözlenmesi portlandit ve kalsit belirlenmesiyle yapılabilecektir.
10. Kireçli ve özellikle çimentolu karışımlarda oluşan bağlayıcı ürünler genelde düşük kalsiyum ÷ silika ve kalsiyum ÷ alumina oranlıdır. CAH larda karbonlaşma ve su verme yoluyla değişik polimorflara geçişler izlenmektedir. CSH ların 001 boyutu katkı oranı ile birlikte büyümüştür.

IV.3.2. Uygulama için Öneriler

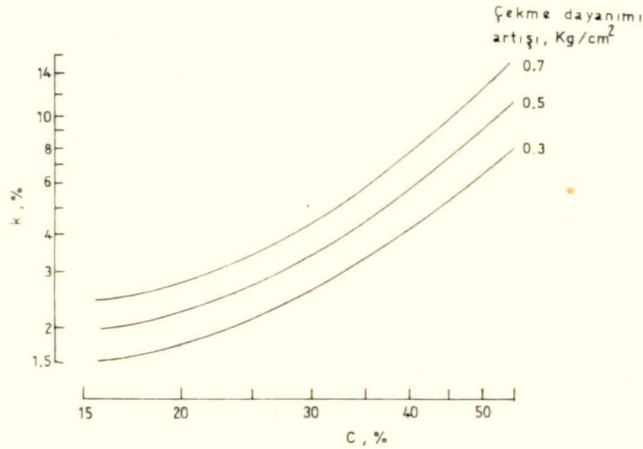
Arazide karşılaşılan problemlerli topraklarda stabilizasyon uygulamasına karar verildiğinde sorumlu mühendis için gerektirdiği stabilizasyon katkısının cins ve miktarını saptama durumundadır. Verilecek kararlar amaca uygun ve ekonomik bir çözüm oluşturmalıdır. Geçmişteki stabilizasyon uygulamaları kararlara yardımcı olabilirse de güvenilir ve ekonomik sonuçlara ulaşabilmek için kullanılacak önerilerin ele alınan problemde ne derece geçerli olduğu bilinmelidir. Eldeki pratik bilgi birikiminin yetersiz yada geçersiz bulunması durumunda verilecek kararların basit bir laboratuvar araştırmasına dayandırılması gerekecektir. Ancak böyle bir çalışma için gerekli olanak yada zaman bulunmayabilir. Bu noktada toprakların bazı mühendislik özellikleri

ile değişik katkı cins ve miktarlarındaki stabilizasyona cevapları arasında kurulabilmiş ilişkilerin bulunabilmesi önem kazanmaktadır. Uygulamacı mühendise bu düşünceler içinde yardımcı olmak amacıyla, bu tezde incelenen topraklarla oluşturulan çimento ve kireçli malzemelerin mekanik dayanım-katkı oranı-toprak özelliği ilişkileri araştırılmıştır. Ortaya çıkarılarak anlamlı bulunan ilişkiler Şekil-45 ve 46 da verilmektedir.



Şekil-45:Çimento katkı oranının belirlenmesi için önerilen abaklar;
kür 28 gün.

Çimentolu karışımlarda en etkin özellik olarak TS1900 a göre ölçülen kum (S) ve silt (M) toplamı yüzdesinin kil (C) yüzdesine oranı olarak bulunmuştur. Şekil-45 te verilen abak erişilmek istenen serbest basınç ve çekme dayanımlarının tariflenen bu parametreye göre gerektireceği katkı yüzdesini göstermektedir. Uygulayıcı burada bulduğu çimento yüzdesini esas alarak kendi araştırmasına başlayabilir.



Şekil-46: Kireç katkı oranının belirlenmesi için önerilen abak;
kür 28 gün.

Kireçli malzemelerde doğal toprağın kil yüzdesinin (C) en anlamlı ve basit bir gösterge olduğu kabulü ile Şekil-46 daki abak geliştirilmiştir. Burada hedeflenen dayanım, katkıdan dolayı belirecek çekme dayanımı artışı olarak tanımlanmaktadır. Uygulayıcı önce sıkıştırılmış katkısız toprağın çekme dayanımını ve kil muhtevasını ölçecek ve grafiğe buna göre girip gerekli kireç yüzdesini okuyacaktır. Değerlendirmeler sırasında 28 günlük kür sonucu $q_u \div q_t$ oranının 8-10 arasında belireceği hatırd tutulmalıdır.

IV.3.3. Yapılması Önerilen Çalışmalar

Her araştırma programı gibi burada da yapılan incelemeler yeni sorunlar ve çalışma konularını ortaya çıkartmıştır. Bundan sonrası için planlanan ve diğer araştırmacılara önerilen başlıklar şöyle sıralanabilir.

1. Kısıtlayıcı nedenlerle araştırmada sadece beş örneğin incelenebilmesi mümkün olmuştur. Çalışmaların yaygınlaştırılarak araştırma sonuçlarının bölge toprakları için genel uygulanabilirliği gösterilmelidir.
2. Killi topraklarda stabilizasyonun başarısının mineralojik ve kimyasal özelliklere bağlı olduğu gerçeği karşısında özellikle kireç uygulamasında, beliren bağlayıcı ürünlerin açıkça tanımlanması ve bunların malzeme özellikleri üzerindeki etkilerinin kesinleştirilmesi önem taşımaktadır. X-ışını yöntemleri yanında katyon değişim kapasitesi ölçümleri bu alanda olumlu bir yaklaşım olabilir.
3. Bölge topraklarının rezidüel ve birçok yerde lateritik nitelikleri gözönüne alındığında pedolojik verileri kullanarak geniş alanlarda geçerli olabilecek uygulama önerileri gösterilebilir. Bu amaca uygun olarak sistematik bilgi birikimi sağlanmalı ve değerlendirilmelidir.
4. Türkiye'de stabilize zeminlerin mekanik özelliklerinin arazide ve laboratuvarında değerlendirilmesi için önerilmiş standard deney yöntemleri bulunmamaktadır. Örneklerin hazırlanması ve boyutlarının küçültülmesi, hızlandırılmış kür uygulaması, mekanik dayanımların daha basit ve gerçekçi yollardan ölçümü, ve arazide değerlendirme konularında yeni çalışmalara gereksinme vardır.
5. Doğu Karadeniz Bölgesinde problem yaratan yüksek su muhtevalı zeminlerde iyileştirme ve stabilizasyon uygulaması üzerinde, kireç ve çimentonun bir arada kullanılması bu konuda yeni bir görüş olarak getirilebilir.

KAYNAKÇA

Kısaltmalar:

AARB	Australian Road Research Board
ICSMFE	International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
HRR	Highway Research Record
TRR	Transportation Research Record
TRRL	Transport and Road Research Laboratory

1. Adedimila A.S. (1980) Indirect tensile test equations for tensile and elastic properties of materials, Proc. Instn Civ. Engrs (London) Part 2, 69(3):175-84.
2. Aitchison G.D. (ed., 1964) Mechanisms of soil stabilization, Proceedings of a Colloquium held at Syndal, Victoria, Tech. Rep. No.4, CSIRO Div. Soil Mech., Melbourne.
3. Akroyd T.N.W. (1964) Laboratory Testing in Soil Engineering, Soil Mech. Ltd. London.
4. Aly-Sabry M.M., Parcher J.V. (1979) Engineering properties of soil-lime mixes, Proc. ASCE 105(TE1):59-70.
5. ASTM (1977) Annual Book of Standards, Part 19, ASTM, Philadelphia.
6. Bofinger H.E. (1970) The measurement of the tensile properties of soil-cement, Report LR 365, TRRL, Crowthorne.
7. Brindley G.W. (1961a) Chlorite minerals, bkz. G.Brown (ed.1961), Chpt.VI.
8. (1961b) x-ray diffraction by layer lattices with random layer displacements, bkz.G.Brown (ed.1961), Chpt. XII.
9. Brown G. (ed., 1961) The X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals, 2nd. ed., Mineralogical Society, London.
10. BSI (1975a) Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes (BS1377), British Standards Institution, London.
11. (1975b) Methods of Test for Stabilized Soils (BS1924), British Standards Institution, London.
12. (1981) British Standard Code of Practice for Site Investigations (formerly CP2001), British Standards Institution, London.
13. Carlson R.M., Overstreet R. (1967) A study of ion exchange behaviour of the alkaline earth metals, Soil Sci. 103:213
14. Carroll D. (1970) Clay Minerals: A guide to Their X-Ray Identification, Spec. Paper 126, The Geol. Soc. America, Boulder, Colorado.
15. Cartmell H.S., Bergh A.O. (1957) Lime stabilization of soils for use as road foundation in Northern Rhodesia (Zambia), Overseas Bull. No.9, TRRL, Crowthorne.
16. Chaussidon J. (1963) Application of the Gouy theory to divalent cations: saturated clay suspensions, Soil Sci. 95:131-
17. Clare K.E., Cruchley A.E. (1957) Laboratory experiments in stabilization of clays with hydrated lime, Géotechnique 7(2):97-111.

18. Coleman J.D., Farrar D.M., Marsh A.D. (1964) The moisture characteristics, composition and structural analysis of a red clay from Nyeri, Kenya, Géotechnique 14(3):262-76.
19. Croft J.B. (1964a) The pozzolanic reactivities of some New South Wales fly ashes and their application to soil stabilization, Proc. ARRB 2(2):1144-68.
20. (1964b) The processes involved in lime stabilization of clay soils, Proc. ARRB 2(2):1169-200, discussion:1200-3.
21. (1966a) An investigation into the methods of selecting shales for pavement construction, Proc. ARRB 3(2):1260-83, discussion:1283-5.
22. (1966b) The cementitious stabilization of soils from Red-Brown Earth and 'Black Soil' profiles in New South Wales, Proc. ARRB 3(2):1529-57, discussion 1557-61.
23. (1967) The structures of soils stabilized with cementitious agents, Engng. Geol. 2(2):63-7.
24. Croft J.B., Nettleton A.F.S. (1964) Influence of clay mineralogy on the development of strength in stabilized clays from podzolic profiles with particular reference to the Sydney area, Proc. ARRB 2(2):1204-24.
25. Cumberledge G., Hoffmann G.L., Bhajandas A.C. (1976) Curing and tensile strength characteristics of aggregate-lime-pozzolan, HRR 560: 21-9.
26. Darry R.G., Chorley R.J. (1968) Atmosphere, Weather and Climate, Methuen, London.
27. Davidson D.T., Demirel T., Handy R.L. (1965) Soil pulverization and lime migration in soil-lime stabilization, HRR 92:103-18.
28. Davidson D.T., Handy R.L. (1960) Soil stabilization with lime, lime-pozzolan, chlorides, lignin derivatives and other chemicals, and construction; bkz. K.B. Woods (editor-in-chief) 'Highway Engineering Handbook', McGraw-Hill, New York, s.21-98 den 133 e.
29. Davidson D.T., Hilt G.H. (1961) Isolation and investigation of a lime-montmorillonite crystalline reaction product, HRB Bull. 304.
30. Davidson D.T., Noguera G., Sheeler J.B. (1959) Powder versus slurry application of lime for soil stabilization, ASTM Spec. Tech. Publ. 254:244-52.
31. Diamond S., White J.L., Dolch W.L. (1964) Transformation of clay minerals by calcium hydroxide attack, Clays Clay Mins 12: 359-64, Pergamon, New York.
32. Diamond S., Kinter E.B. (1965) Mechanisms of soil-lime stabilization: An interpretive review, HRR 92:83-96, discussions:96-102.
33. (1966) Mechanisms of soil-lime stabilization, Public Rds. 33(12):260-5.
34. Dumbleton M.J. (1967) Origin and mineralogy of African red clays and Keuper Marl, The Q Jl. Engng Geol. 1(1):39-45.
35. (1968) The classification and description of soils for engineering purposes: a suggested revision of the British system, Report LR 182, TRRL, Crowthorne.

36. Durukanoğlu H.F. (1980) Doğu Karadeniz dağları üzerinde engebe pertürbasyonlarının incelenmesi; doktora tezi, Temel Bilimler Fak., İ.T.Ü., İstanbul.
37. Eades J.L., Grim R.G. (1960) Reaction of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization, HRB Bull. 262:51-63.
38. Eades J.L., Nicholas F.R., Grim R.E. (1962) Formation of new minerals with lime stabilization as proven by field experiments in Virginia, HRB Bull. 335:31-9.
39. Fang H.Y. (1976) Discussion, HRR 560:29-30.
40. Fang H.Y., Chen W.F. (1971) New method for determination of tensile strength of soils, HRR 345:62-8.
41. Ford C.M., Moore R.K., Hajek B.F. (1982) Reaction products of lime-treated Southeastern soils, TRR 839:38-40.
42. Foth H.D., Turk L.M. (1972) Fundamentals of Soil Science, 5th ed., J.Wiley, New York.
43. Frydman S. (1964) The applicability of the Brazilian (indirect tension) test to soils, Aust. J Appl. Sci. 15(4):335-43.
44. Gast R.G. (1962) An interpretation of self-diffusion measurements of cation in clay-water systems, J.Coll. Sci. 17:492-500.
45. Gattinger T.E. (der., 1962) Türkiye Jeoloji Haritası: Trabzon (1:500000), M.T.A., Ankara.
46. Gedikoğlu A. (1978) Harşit granit karmaşığı ve çevre kayaçları (Giresun-Doğankent), yayınlanmamış doçentlik tezi, K.T.Ü. Trabzon.
47. Gedikoğlu A., Pelin S., Özsayar T. (1979) The main lines of the geotectonic development of the East Pontids in Mesozoic era, Proc. GEOCOME-I, MTA ve TJK, Ankara.
48. Gidigasu M.D. (1971) Parameters for classification of fine-grained laterite soils of Ghana, HRR 374:57-79.
49. (1976) Laterite Soil Engineering: Pedogenesis and Engineering Principles, Elsevier, Amsterdam.
50. Glenn G.R., Handy R.L. (1963) Lime-clay mineral reaction products, HRR 29:70-82.
51. Goldberg I., Klein A. (1952) Some effects of treating expansive clays with calcium hydroxide, ASTM Spec. Tech. Publ. 142:53-71.
52. Gorbounov N.I. (1954) Composition mineralogique des krasnozem, Proc. IC-Soil Science, SSCB Bilimler Akademisi, Moskova.
53. Graham J. (1964) The influence of water on the physical properties of soils: Microscopic (atomistic) aspects, Review Paper D6-1, bkz. G.D. Aitchison (ed., 1964).
54. Grim R.E. (1962) Applied Clay Mineralogy, McGraw Hill, New York.
55. (1968) Clay Mineralogy, 2nd. ed., McGraw Hill, New York.
56. Gülçur F. (1958) Rize mntakasında hümid şartlar altında gelişmiş bazı bakir toprakların kil fraksiyonlarında kimyasal ve mineralojik özellikler üzerine araştırmalar, İÜ Orman Fak.Dergisi 8(2):35-89.
57. Handy R.L., Demirel T., Ho C. (1965) Discussion, HRR 92:96-9.
58. Harty J.R., Thompson M.R. (1973) Lime reactivity of tropical and subtropical soils, HRR 442:102-12.

59. Herrin M., Mitchell H. (1961) Lime-soil mixtures, HRB Bull. 304:99-138.
60. Herzog A. (1964) The structure of clay-cement; paper no.2, bkz. G.D. Aitchison (ed.1964).
61. Herzog A., Mitchell J.K. (1963) Reactions accompanying stabilization of clay with cement, HRR 36:146-71.
62. Hızalan E. (1954) Trabzon ve Rize toprakları üzerinde araştırmalar, AÜZF yillığı 3(2):292-329.
63. Hızalan E., Mermut A., Akalan İ. (1980) Doğu Karadeniz bölgesi toprakları üzerine araştırmalar; yayınlanmamış rapor, AÜZF Toprak Kürsüsü, Ankara.
64. Hilt G.H., Davidson D.T. (1960) Lime fixation in clayey soils, HRB Bull. 262:20-32.
65. Ho C., Handy R.L. (1963) Characteristics of lime retention by montmorillonitic clays, HRR 29:55-69.
66. Hondros G. (1959) The evaluation of Poisson's ratio and the modulus of materials of a low tensile resistance by the Brazilian (indirect tensile) test with particular reference to concrete, Aust. J.Appl.Sci. 10:243-68.
67. Ingles O.G. (1962) Bonding forces in soils, Proc. ARRB 1(2):999-1047.
68. (1968) Advances in soil stabilization, 1961-1967, Rev. Pure and Appl. Chem. 18:291-310.
69. Ingles O.G., Frydman S. (1966) The effect of cement and lime on the strength of some soil minerals and its relevance to the stabilization of Australian soils, Proc. ARRB 3(2):1504-25.
70. Ingles O.G., Metcalf J.B. (1972) Soil stabilization: Principles and Practice, Butterworths, Sydney.
71. Jackson M.L. (1963a) Aluminum bonding in soils-a unifying principle in soil science, Proc. Soil Sci. Am. 27:1-18.
72. (1963b) Interlayering of expansible layer silicates in soils by chemical weathering, Clays Clay Mins 11:29-46, Pergamon, New York.
73. Jan M.A., Walker R.D. (1963) Effect of lime, moisture and compaction on a clay soil, HRR 29:1-12.
74. Johnson A.L. (1952) Discussion, ASTM Spec. Tech. Publ. 142:70-1.
75. Kamitani M. (1978) Survey of the Trabzon area; yayınlanmamış rapor, MTA, Ankara.
76. Keller W.D. (1964) Processes of origin and alteration of clay minerals, bkz. C.I. Rich, G.W.Kunze (eds,1964), s.3-76.
77. Kennedy T.W., Hudson W.R. (1968) Application of the indirect tensile test to stabilized materials, HRR 235:36-48.
78. Kennedy T.W., Moore R.K. (1971) Estimations of indirect tensile strengths for lime-treated materials, HRR 351:66-77.
79. Kennedy T.W., Moore R.K., Anagnos J.N. (1971) Estimations of indirect tensile strengths for cement-treated materials, HRR 351:112-4.
80. Klug H.P., Alexander L.E. (1974) X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials, 2nd. ed., J.Wiley-Interscience, New York.

81. Laguros J.G., Jha K. (1977) Stabilization of Oklahoma shales, Report ORA 158-602, Univ. Oklahoma, Norman, ABD.
82. Lambe W.T., Whitman R.V. (1969) Soil Mechanics, John Wiley, New York.
83. Lea F.M. (1965) The Chemistry of Cement and Concrete; Arnold, London.
84. Mackenzie R.C. (ed., 1957) The Differential Thermal Investigation of Clays, Mineralogical Soc., London.
85. (ed., 1970) Differential Thermal Analysis, Vol.1 -Fundamental Aspects, Academic P., London.
86. Mateos M., Davidson D.T. (1963) Compaction characteristics of soil-lime-flyash mixtures, HRR 29:27-41.
87. McDowell C. (1966) Evaluation of soil-lime stabilization mixtures, HRR 139:15-24.
88. Millard R.S. (1962) Road building in the tropics, J.Appl.Chem. 12(8):342-57.
89. Mitchell J.K. (1976) Fundamentals of Soil Behaviour, John Wiley, New York.
90. Moh Z.C. (1962) Soil stabilization with cement and sodium additive, Proc. ASCE 88 (SM6):81-105.
91. (1965) Reactions of soil minerals with cement and chemicals, HRR 86:39-61.
92. Moh Z.C., Mazhar F.M. (1969) The effects of method of preparation on index properties of lateritic soils, Proc.VII-IC.SMFE 1:23-35, Mexico.
93. Moore J.C., Jones R.L. (1971) Effect of soil surface area and extractible silica, alumina and iron on lime stabilization characteristics of Illinois soils, HRR 351:87-92.
94. Moore R.K., Brown G.C. (1977) Development of soil stabilization guidelines for Alabama soils, HPR Report No.84, Dept.Civ.Engng, Auburn Univ., Alabama.
95. Moore R.K., Kennedy T.W. (1970) Factors affecting the tensile strength of cement-treated materials, HRR 315:64-80.
96. Moore R.K., Kennedy T.W., Kozuh J.A. (1971) Tensile properties for design of lime-treated materials, HRR 351:78-86.
97. Neubauer C.H., Thompson M.R. (1972) Stability properties of uncured and lime treated fine-grained soils, HRR 381:20-6.
98. Neville A.M. (1977) Properties of Concrete, 2nd.ed., 2nd.print, Pitman, London.
99. Newill D. (1961) A laboratory investigation of two red clays from Kenya, Géotechnique 11(4):302-18.
100. Ormsby W.C., Kinter E.B. (1968) Kaolin-lime-water systems: Part 2-electron microscope observations, Public Rds. 35:45.
101. Önalp A. (1970) The mechanism of frost heave in soils with particular reference to chemical stabilization; unpublished Ph.D. thesis, Dept. Civil Engng, Univ. Newcastle-upon-Tyne.
102. (1980) Doğu Karadeniz Heyelanları, Rapor, TÜBİTAK-MAG441, Ankara.
103. (1982) İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt I, K.T.Ü. yayınları No.187, Trabzon.
104. (1983) İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt II, K.Ü. yayınları No.3, Trabzon.
105. Özsayar T. (1971) Geologie und Paläontologie des Gebietes östlich Trabzon (Anatolien), Giessener Geologische Schriften No.1, Justus Liebig Universität, Giessen.

106. Özsayar T., Pelin S., Gedikoğlu A. (1981a) Artvin yöresi yastık lavlarının yaşına ilişkin paleontolojik veriler, KTÜ Yerbilimleri Dergisi-Jeoloji 1(1):38-44.
107. (1981b) Doğu Pontidler'de Kretase, KTÜ Yerbilimleri Dergisi-Jeoloji 1(2):65-114.
108. Pejatovic S. (1973) Survey of the Turco-Yugoslav exploration 1968-73, yayınlanmamış rapor, MTA, Ankara.
109. Peynircioğlu A.H., Kumbasar V., Toğrol E. (1964) Research on soil stabilization with lime, Report, Dept. SMFE, Fac.Civ. Engng, İTÜ, İstanbul.
110. Pike D.C. (1979) Variability in grading results caused by standard sample reduction techniques, Report SR489, TRRL, Crowthorne.
111. Plaster R.W., Noble D.F. (1970) Reactions and strength development in portland cement-soil mixtures, HRR 315:46-63.
112. Polynov B.B. (1935) Sols des region de l'URSS an climate Mediterranéen humid subtropical, Trans. Int.Soc. Soil Sci.A1:29-70, Moscow.
113. Quirk J.P. (1964) The nature and strength of interparticle bonds in naturel and stabilized soils, Review Paper D3-1, bkz. GD. Aitchison (ed., 1964), ref.2.
114. Rich C.I., Kunze G.W. (eds, 1964) Soil Clay Mineralogy: A Symposium, U North Carolina P, Chapel Hill.
115. Robnett Q.L., Thompson M.R. (1976) Effects of lime treatment on the resilient behaviour of fine-grained soils, TRR 560:11-20.
116. Romashkevich A.I. (1974) Soils of The Weathering Crusts of The Humid Subtropical West Georgia, Publ. House Nauka, Central Dept. Oriental Literature, Moscow.
117. Rosenqvist I.Th. (1946) Om leirers kvikkaktighet, Oslo Veglaboratoriet Medd.Statens Vegvesen, 4:5-12, Oslo.
118. Ruff C.G., Ho C. (1966) Time-temperature, strength-reaction product relationships in lime-bentonite-water mixtures, HRR 139:42-60.
119. Ryley M.D. (1969) The use of a microwave oven for the rapid determination of moisture content of soils, Report LR280, TRRL, Crowthorne.
120. Seed H.B., Mitchell J.K., Chan C.K. (1960) The strength of compacted cohesive Soils, Proc. Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, s.877-964.
121. Seed H.B., Woodward R.J., Lundgren R. (1963) Prediction of swelling potential for compacted clays, Trans. ASCE 128:1140.
122. Sherwood P.T. (1962) The effect of sulphates on cement and lime stabilized soils, Roads. Rd. Constr. 40(470):34-40.
123. (1967) Classification tests on African red clays and Keuper Marl, The Q Jl. Engng Geol. 1(1):47-55.
124. (1968) The properties of cement stabilized materials, Report LR205, TRRL, Crowthorne.
125. Sherwood P.T., Ryley M.D. (1970) An investigation of a cone-penetrometer method for the determination of the liquid limit, Géotechnique 20(2):203-8.
126. Skempton A.W. (1953) The colloidal activity of clays, Proc. III-IC.SMFE 1:57, Zürich.

127. Sloane R.L. (1965) Early reaction determination in two hydroxide-kaolinite systems by electron microscopy and diffraction, Clays Clay Mins 13:331-9, Pergamon, New York.
128. de Sousa-Pinto C., Davidson D.T., Laguros J.G. (1962) Effect of lime on cement stabilization of montmorillonite soils, HRB Bull. 353:64.
129. Srinivasan N.R. (1967) Influence of structural state of silica on lime-silica reactions, HRR 192:1-13.
130. Stocker P.T. (1964) Discussion, Proc. ARRB 2(2):1233-5.
131. (1969a) The structure and swelling divalent clays-an interpretative review, Aust. Rd. Res. 3(7):49.
132. (1969b) Diffusion and diffuse cementation in lime and cement stabilized clayey soils-summary of an interpretative review, Aust.Rd.Res. 3(9):49.
133. (1972a) Diffusion and diffuse cementation in lime and cement stabilized clayey soils- physical aspects, Proc. ARRB 6(5): 235-85.
134. (1972b) Diffusion and diffuse cementation in lime and cement stabilized clayey soils, Spec.Rep. 8, ARRB, Melbourne.
135. (1974) Diffusion and diffuse cementation in lime and cement stabilized clayey soils-studies of plasticity and aggregation, Aust.Rd.Res. 4(6):51-75.
136. (1975) Diffusion and diffuse cementation in lime and cement stabilized soils-chemical aspects, Aust.Rd.Res. 5(9):6-47.
137. Tait J.B. (1981) Cement stabilization for New Zealand roads, Tech.Recom. TR5, RRU, National Roads Board, Wellington.
138. Thompson M.R. (1965) Split-tensile strength of lime stabilized soils, HRR 92:69-80.
139. (1966a) Lime reactivity of Illinois soils, Proc.ASCE 92(SM5).
140. (1966b) Lime treated soils for pavement construction, Proc. ASCE 92(SM5).
141. (1966c) Shear strength and elastic properties of lime-soil mixtures, HRR 139:1-14.
142. Toğrol E. (1965) On soil stabilization with lime, İTÜ Bülteni 18:17-24.
143. TOPRAKSU (1973-1975) Toprak Kaynağı Envanter Raporları: Artvin, Giresun, Gümüşhane, Rize, Trabzon; Toprak-Su Gn.Md., Ankara.
144. Townsend F.C., Manke P.G., Parcher J.V. (1971) The influence of sesquioxides on lateritic soil properties, HRR 374:80-92.
145. TSE (1975) İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri (TS 1900), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
146. (1977) İnşaat Kireçleri (TS30), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
147. USDA (1951) Soil Survey Manual, Handbook No.18, US Dept.Agric., Washington.
148. (1975) Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys; Handbook no.436, US Dept. Agric., Washington.
149. van Ganse R.F. (1974) Immediate amelioration of wet cohesive soils by quicklime, HRR 501:42-50.

150. van Olphen H. (1963) Clay Colloid Chemistry for Clay Technologists, Geologists and Soil Scientists, Interscience, New York.
151. Volk V.V., Jackson M.L. (1964) Inorganic pH-dependent cation exchange charge of soils, Clays Clay Mins 12:281, Pergamon, New York.
152. Wang J.W., Mateos M., Davidson D.T. (1963) Comparative effects of hydrolic, calcitic and dolomitic limes in soil stabilization, HRR 29:42-53.
153. Weaver C.E., Pollard L.D. (1973) The Chemistry of Clay Minerals, Elsevier, Amsterdam.
154. West G., Dumbleton M.J. (1970) The mineralogy of tropical weathering illustrated by some West Malaysian soils, The Q Jl. Engng Geol. 3(1):25-40.
155. (1972a) Wet sieving for the particle size distribution of soils, Report LR 437, TRRL, Crowthorne.
156. (1972b) Flow charts for the British Standard particle-size distribution tests for soils, Report LR468, TRRL, Crowthorne.
157. Westcott C.C. (1975) Standard techniques for pH measurements with troublesome samples, Indust. Appl. Data Sheet, Beckman Sci. Instr. Div., Fullerton, California.
158. (1976) Selection of a reference electrode, Tech. Inf. Data Sheet, Beckman Sci. Instr. Div., Irvine, California.
159. (1977) pH measurement technique, Tech. Inf. Data Sheet, Beckman Sci. Instr. Div., Irvine, California.
160. Willoughby D.R., Gross K.A., Ingles O.G., Silva S.R., Spiers V.M. (1968) The identification of reaction products in alkali stabilized clays by electron microscopy, x-ray and electron diffraction, Proc. ARRB 4(2):1368-408.
161. Wilson S.D. (1964) Suggested method of test for moisture-density relations for soils using Harvard compaction apparatus, bkz. "Procedures for Testing Soils", ASTM Committee D-18, 4th, ed., s. 160-2.
162. Wood D.M. (1982) Cone penetrometer and liquid limit, Géotechnique 32(2): 152-7.
163. Woollorton F.L.D. (1976) Foreword (önsöz), bkz. Gidigasu M.D. (1976) ref.49.
164. Wright P.J.F. (1955) Comments on an indirect tensile test on concrete cylinders, Mag. Concr. Res. 7:87-96.
165. Yong R.N., Warkentin B.P. (1975) Soil Properties and Behaviour, Elsevier, Amsterdam.

ÖZGEÇMİŞ

1946 Pazar, Rize doğumlu olan yazar Kabataş Erkek Lisesi'nden sonra İstanbul Teknik Üniversitesi'nden İnşaat Yüksek Mühendisi olarak 1969 da mezun olmuş ve Karadeniz (Teknik) Üniversitesi'ne girmiştir. Evli, bir çocukludur. Halen K.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Birer kongre ve simpozyuma sunulmuş ortak bildirisi vardır:

Balta,İ., Önalp, A. (1982) Stabilizasyon açısından Doğu Karadeniz killilerinin mineralojisi, *TÜBİTAK VI. Bilim Kongresi Tebliğleri*, s.641-5, *TÜBİTAK 528, Ankara.*

Önalp,A.,Balta,İ. (1983) Doğu Karadeniz Bölgesi topraklarının mühendislik özellikleri, mineralojisi ve kireç katkısıyla iyileştirme, *Kil Mineralleri Simpozyumu, TÜBİTAK/ÇÜ, 21-26 Şubat 1983, Adana.*