

Çeşitli Çim, Elde Edil. Bet, Deh, ve  
Reh, ile Day. Ara, Bağ.

Mustafa Boybay

1979

İSTANBUL DEVLET MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK AKADEMİSİ - TEMEL BİLİMLER FAKÜLTESİ

# ÇEŞİTLİ ÇİMENTOLARDAN ELDE EDİLEN BETONLARIN DEHİDRATASYON ve REHİDRATASYONLARI ile DAYANIMLARI ARASINDAKİ BAĞINTILAR

İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi

Temel Bilimler Fakültesince FEN DOKTORU

Unvanının verilmesi için kabul edilen tezdır

Mustafa BOYBAY

EDMM 4. Kimya Asistanı

Tezin Dekanlığa Verildiği Tarih : 5 Mart 1979

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Haziran 1979

Doktorayı yöneten : Prof. Dr. Hüseyin NURAL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Memnune BİLDİK

Doç. Dr. Hüseyin GÜLENSOY

ELAZIĞ DEVLET MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK

AKADEMİSİ MATBAASI

1979.

YILDIZ UNİVERSİTESİ  
GENEL KİTAPLIĞI

R 361

Kot : .....  
Alındığı Yer : Pen Bil. Enst. ....  
Tarih : 7/9/1987 .....  
Fatura : .....  
Fiatı : 1000TL .....  
Ayniyat No : 1/6 .....  
Kayıt No : 44896 .....  
UDC : 54 378.242 .....  
Ek : .....

\*



Comp  
✓

# ÇEŞİTLİ ÇİMENTOLARDAN ELDE EDİLEN BETONLARIN DEHİDRATASYON ve REHİDRATASYONLARI ile DAYANIMLARI ARASINDAKİ BAĞINTILAR

İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi  
Temel Bilimler Fakültesince FEN DOKTORU  
Unvanının verilmesi için kabul edilen tezdır

Mustafa BOYBAY

EDMMA Kimya Asistanı

Tezin Dekanlığa Verildiği Tarih : 5 Mart 1979

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Haziran 1979

Doktorayı yöneten : Prof. Dr. Hüseyin NURAL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Memnune BİLDİK

Doç. Dr. Hüseyin GÜLENSOY

Bu alışma sırasında sürekli yardımlarını esirgemiye Prof. İbrahim Hakdiyen, Prof. Dr. Hüseyin Nural, Prof. Memnune Bildik ve Doç. Dr. Hüseyin Gülensoy'a Teşekkürlerimi sunar

Ayrıca, deneylerin büyük bir bölümünü laboratuvarları yapmama müsaade eden Elazığ imento Fabrikası idarecilerine ve çalışmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm laboratua personeline teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| ÖZET                                    | III |
| SUMMARY                                 | V   |
| 1 GİRİŞ                                 | 1   |
| 2 METODLAR ve CİHAZLAR                  | 11  |
| 2.1 Deneyisel Çalışma Programı          | 11  |
| 2.1.1 Ön Araştırma Programı             | 11  |
| 2.1.2 Dehidratasyon Çalışmalarının      |     |
| Esasları                                | 13  |
| 2.1.3 Differansiyel Termik Analiz (DTA) |     |
| Esasları                                | 15  |
| 2.1.4 Rehidratasyon Çalışmalarının      |     |
| Esasları                                | 17  |
| 2.2 Kullanılan Malzeme ve Özellikleri   | 24  |
| 2.2.1 Kum                               | 24  |
| 2.2.2 Çimentolar                        | 25  |
| 2.3 Nümuneler ve Ölçme Tekniği          | 27  |
| 2.3.1 Nümunelerin Hazırlanması ve       |     |
| Muhafazası                              | 27  |
| 2.3.2 Dayanım Ölçümleri                 | 27  |
| 2.3.3 Çimento Analizleri                | 28  |
| 2.3.4 Dehidratasyon                     | 28  |
| 2.3.5 Rehidratasyon                     | 28  |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.6 DTA lar                                                       | 29  |
| 2.3.7 Ön Araştırma Sonuçları                                        | 29  |
| 3 DENEYSEL ÇALIŞMA ve NETİCELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ                 | 45  |
| 3.1 Ön Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi                     | 45  |
| 3.1.1 Dayanım Üzerinde s/ç Oranının Etkisi                          | 45  |
| 3.1.2 Dayanım Üzerinde k/ç Oranının Etkisi                          | 49  |
| 3.1.3 Dayanımların Mukayesesi                                       | 52  |
| 3.2 Dehidratasyon Sonuçları                                         | 54  |
| 3.2.1 Temperatur - Ağırlık kaybı Bağıntılar                         | 54  |
| 3.2.2 Temperatur - Dayanım Bağıntılar                               | 60  |
| 3.2.3 DTA Sonuçları                                                 | 63  |
| 3.3 Rehidratasyon Sonuçları                                         | 77  |
| 3.3.1 Suda Bekletme Yolu ile Rehidratasyon                          | 77  |
| 3.3.2 Basıncılı Buhar ile Rehidratasyon                             | 82  |
| 3.3.3 Rehidratasyon ile Bağlanan Su                                 | 91  |
| 3.3.4 Rehidratasyon ve Dehidratasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması | 99  |
| 4 SONUÇLAR                                                          | 124 |
| 5 LİTERATÜR                                                         | 129 |
| HAL TERCÜMESİ                                                       |     |

## Ö Z E T

Yüksek temperaturün etkisi ile meydana gelen çeşitli dehidratasyon reaksiyonları sonucunda, betonlarda dayanım kaybı olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, dehidratasyonla dayanım kaybına uğramış betonlara rehidratasyonla tekrar dayanım kazandırma olanakları araştırıldı.

Alüminli, curuf, portland ve traslı çimentolarla hazırlanan beton numunelerinin dayanımlarına, harçtaki su/çimento ve kum/çimento oranlarının etkileri incelenerek maksimum dayanımın alüminli ve portland çimentosu ile hazırlanan betonlarda 0,5/2,5/1,0 su/kum/çimento oranında, curuf ve traslı çimento ile hazırlananlarda ise 0,4/2,0/1,0 su/kum/çimento oranında gerçekleştirileceği saptandı.

Her çimento türü ile maksimum dayanım sağlayan su/kum/çimento oranlarında hazırlanan beton numuneleri 100-1000°C arasında değişik sıcaklıklarda dehidratize edildi. Dehidratasyon sonucunda beton numunelerinin sıcaklık yükselmesine bağlı olarak ağırlık ve dayanım kaybına uğradıkları saptandı. Alüminli çimento ile hazırlanan numunelerde 100°C'de önemli ölçüde dayanım kaybı olduğu halde, diğer numunelerde çoğunlukla, 300°C'nin üzerinde dayanım kaybı olmaktadır. Dayanım kaybı en fazla

traslı, ikinci derecede portland, üçüncü derecede curuf-  
lu ve enaz da aluminli çimento ile hazırlanan betonlarda  
olmaktadır. Örneğin, traslı, portland, curuf ve alumin-  
li çimento ile hazırlanıp 1000°C de 5 saat ısıtılan nü-  
munelerde ağırlık kaybı sırasıyla % 14,44, % 13,03, % 12,73  
ve % 14,06 dır. Aynı numunelerde ilk değerlerine oranla  
basınç dayanımı azalması ise sırasıyla % 93,35, % 92,28  
% 92,15 ve % 91,05 oranında olduğu bulundu.

Dehidratasyon süresince beton numunelerinde olu-  
şan reaksiyonlar DTA çalışmaları ile de izlenerek bulu-  
nan sonuçlar kontrol edildi.

Dehidratasyon ile dayanım kaybına uğramış beton-  
lar iki yöntemle (suda bekletilerek ve basınçlı buhar  
uygulanarak) rehidratize edildi ve dehidratasyonla kay-  
bedilen dayanımın rehidratasyonla bir dereceye kadar  
tekrar kazandırılabilceği görüldü. Aluminli çimento i-  
le hazırlanıp 1000°C de dehidratize edilmiş betonlarda  
bu şekilde geriye kazandırılan dayanım, dehidratasyonla  
kaybedilen dayanımın % 41,36' sı; curufllu, portland ve  
traslı çimento ile hazırlanıp 700°C de dehidratize edil-  
miş betonlarda ise dehidratasyon sonucu kaybolan dayanı-  
mın sırasıyla % 80,15'i, % 76,34'dü ve % 97,11'i olabil-  
mektedir.

## S U M M A R Y

It is previously known that the strength of concrete will decrease as a result of the reactions of the dehydration which are occurred with the effect of a high temperature. In this study the possibilities of gaining the original strength of dehydrated concrete were searched by rehydration.

The effects of water/cement and sand/cement ratios in the mortar to the strength of the concretes prepared by separately using aluminous, blast-furnace slag, portland and trass cements were investigated. It was found that the maximum strength for the concretes prepared by aluminous and portland cements with the mixture of water, sand and cement in the ratios of 0.5, 2.5, 1.0 respectively were obtainable, on the other hand, for the concretes prepared by blast-furnace slag and trass cements with the mixture of water, sand and cement in the ratios of 0.4, 2.0, 1.0 respectively were seen.

The concrete samples, which are prepared by the ratios of water/sand/cement in order to provide the maximum strength for each cement species, were dehydrated at various temperatures between 100 - 1000°C. It was found that as a result of dehydration, the concrete samples are imposed by the loss of weight and strength

according to the increase in temperature. Although the samples prepared with aluminous cement indicate much strength loss at  $100^{\circ}\text{C}$ , the strength loss of other samples arise at above  $300^{\circ}\text{C}$ . The degree of loss of strength in the concrete samples prepared by trass, portland blast-furnace slag and aluminous cement is in the decreasing order respectively. For instance, the lost weights of the samples prepared by trass, portland, blastfurnace slag and aluminous cements and heated for five hours at  $1000^{\circ}\text{C}$  were obtained as 14.44 %, 13.03 %, 12.73 % and 14.06 % respectively. The compression strengths for the same samples, with the respect to their original values, were decreased at the ratios of 93.35 %, 92.28 %, 92.15 % and 91.05 respectively.

The reactions occurred in the concrete samples during the dehydration process were also followed by DTA and the results were controlled.

Dehydrated concrete samples were rehydrated by two applications which were keeping in water and applying high-pressure steam, and it was obviously seen that with rehydration, it was possible to regain partly the loss of strength resulted in the process of dehydration. The lost strength of aluminous cement concrete dehydrated at  $1000^{\circ}\text{C}$  is regained by 41.36 %, above mentioned lost strength in the process of dehydration at  $700^{\circ}\text{C}$  is regained in the

concretes prepared from blast-furnace slag, portland and trass cements by 80.15 %, 76.34 %, and 97.11 % respectively.

## 1 GİRİŞ

Çok geniş kullanılış alanları olan çeşitli betonların dayanımlarının sürekli olması, betonlardan beklenen en önde gelen bir özelliktir. Çeşitli etkiler sonunda betonların uğradıkları dayanım kayıpları, bilindiği gibi, büyük maddi zararlara ve hatta can kayıplarına sebep olmaktadır.

Betonların dayanımının sürekliliğine, temperatür değişimleri, rüzgar, tabii ve endüstriyel gazlar ve sıvılar, bazı elektrolitik ortamlar... gibi dış etkenler ile, agrega-su, agrega-alkali, beton bünyesinde zamanla oluşabilen diğer reaksiyonlar, hacim değişimleri... gibi iç etkenler önemli ölçüde etki etmektedir.

Bilhassa yüksek temperatürlerin sebep olduğu dayanım değişimleri, atom reaktörleri, fırınlar, füze platformları ve pek çok sınaî tesislerde problem olarak önemini hala sürdürmektedir. Bu yüzden ki, çimento pastasının, beton harcının ve betonun yüksek temperatürlerdeki dayanımları, ısı kapasiteleri, ısı iletkenlikleri, yoğunlukları, hacim değişiklikleri v.s. pek çok araştırmalara konu teşkil etmiştir.

Araştırmalar, betonların dolgu maddelerinin yüksek ısılara karşı kararlı olmadığını, temperatürün

yükselmesi ile meydana gelen dehidratasyonlar sonunda , gerek betonun ve gerekse beton harcı ve hidratize çimentonun özelliklerinin ve bu arada bilhassa betonların dayanımlarının doğrudan doğruya etkilendiklerini ortaya koymuştur (1,2).

Temperatürün betonu dayanımına etkisi, bilhassa 300°C den sonra kendini göstermektedir (3).

Temperatür değişimleri ile betonlarda görülen çatlama ve çatlamaların sebebinin,  $\text{Ca(OH)}_2$ 'in dehidratasyonu ile oluşan  $\text{CaO}$ 'in rehidratasyonu sonunda meydana gelen hacim değişiklikleri olduğu ortaya konmuştur. Buna engel olmak için de, uygun bir stabilizör, tercihen seramik stabilizörler, kullanılarak  $\text{CaO}$ 'in bağlanmasına çalışılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (4).

Tüm dehidratasyon reaksiyonları az veya çok tek yönlü, oldukça yavaş ve oluşması ısıtma hızına bağlı reaksiyonlardır. Her ne kadar, rehidratasyon reaksiyonları daima çok düşük hızda olursa da bütün dehidratasyon reaksiyonlarının tek yönlü olmadığı da bilinmektedir.

Betonda aranan ilk ve en mühim özellik, bilindiği gibi dayanımdır. Dayanıma etki eden bütün faktörler, genellikle diğer mekanik özellikleri de etkilerler.

Dayanım, bu yüzden ki, betonun kalitesini belirlemek için bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Da -

yanım, doğrudan doğruya, sertleşen çimento pastasının yapısı ile ilgilidir ve hidrasyon ilerleyişini değiştiren bütün faktörler, sonuç olarak betonların dayanımlarını da etkilerler.

Çimentoyu oluşturan bileşenlerin birbirinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde bulunmaları , değişik hidrasyon hızlarına sahip olmaları ve çeşitli hidrasyon ürünleri vermeleri, muhakkak ki betonların dayanımları üzerinde çok etkili olmaktadır. Örneğin, alüminli çimento normal bir priz yapmasına rağmen hızla dayanım kazanmaktadır. 24 saatte maksimum dayanımının % 80'ine erişebilmektedir. Puzzolanlı çimentolar ise, genellikle yavaş bir şekilde dayanım kazanmaktadırlar. Bununla beraber, eriştikleri maksimum dayanım neticede gene normal portland çimentosunun seviyesinde olabilmektedir (3,6).

Curuf çimentolarında ise, dayanım, önce normal portland çimentosundan düşük, daha sonra ise yüksek - tir. Çimentodaki cüruf yüzdesi arttıkça, dayanım azalmaktadır (7,8).

Betonun dayanımına etki eden diğer faktörler ; çimentonun inceliği, ateş zayılatı miktarı, çözünmeyen kısım ve hava miktarıdır. Su/çimento oranı ve betonun sıkıştırılma derecesi de, dayanıma etki eden diğer iki önemli faktördür. Su/çimento oranı ile dayanım arasın-

daki bağıntı, genellikle,

$$S=K \left( \frac{c}{c+e+a} \right)^2$$

veya

$$S=(K_1/K_2)^{w/c}$$

eşitlikleri ile verilmektedir. Burada; S: dayanım, K'lar:sabite, w/c:hacimca su/çimento oranı, c,e ve a: sırasıyla su, çimento ve havanın net hacimlarıdır.

Su/çimento oranının artması çimento pasta - sındaki poroziteyi arttırdığından, sonuç olarak dayanım azalmaktadır (9,10). Diğer yandan, betonların dayanımı hidratize kalsiyum silikat miktarının suya olan oranı ile de lineer şekilde bağıntılıdır (11).

Betonun önemli bir dolgu maddesi olan agrega ve kum'un kendilerine özgü mekanik özellikleri, çimento ve su ile olan ilgileri ve betonda meydana getirdikleri poroziteler, betonların dayanımlarına etki eden faktörlerdir. Kum ve agrega oranlarının iyi ayarlanması, tane büyüklüklerinin iyi seçilmesi, betonun kompozitesinin (çimento, kum ve iri agreganın  $1 m^3$  içinde işgal ettikleri hakiki toplam hacim) yüksek olmasına, diğer bir anlamda ise betondaki boşlukların küçük olmasına etki etmektedir. Bu da betonun dayanımı ile yakından ilgilidir (12).

Araştırmalar, yüksek fırın cürufu agregasının yüzeyinin çimento ile kimyasal bir bağ yaptığını ve dolayısıyla yüksek dayanımlı betonlar verdiğini, dolomitik yapıdaki agregaların ise çimento ile yüzeysel yer değiştirme reaksiyonlarına girerek genleşmeye uğradığını ve sonuç olarak da düşük dayanımlı betonlar verdiğini ortaya çıkarmıştır (13). Diğer bir ilginç çalışmada da, bağlı  $\text{SiO}_2$  ihtiva eden minerallerde, kireç- $\text{SiO}_2$  reaksiyonu yavaşladığı ve dolayısıyla bu tür minerallerin serbest  $\text{SiO}_2$  ihtiva edenlere nazaran daha düşük bir dayanıma sebep olduğu bulunmuştur (14).

Betonların dayanımlarına, basınçlı buhar kürünün büyük etkileri olmaktadır. Araştırmalar, betonun normal olarak 28 günde kazandığı dayanımın % 60'ına 24 saat gibi çok kısa bir sürede buhar kürü ile erişebildiğini ortaya koymuştur (15,16,17).

Diğer bir çalışmada da, buhar küründe temperatürün yüksek oluşunun önceleri betonun dayanımını arttırdığı, daha sonra ise dayanımın düşmesine sebep olduğu tesbit edilmiştir (18).

Betonun maruz kaldığı yüksek temperatürlerin de (yangın v.s. gibi) betonun dayanımına etkisi olmaktadır ve bu husus birçok araştırmalara konu teşkil etmiştir. Temperatürün yükselmesi betondaki agreganın genleşmesine yol açmaktadır. Genleşme genel olarak agreganın cinsi ile yakından ilgilidir.

Temperatürün yükselmesi keza, çimento ile agrega arasındaki termal deformasyon farkının ortaya çıkmasına sebep olur ve bütün bunlar sonunda da, betonun dayanımının düşmesine yol açan çatlaklar meydana gelir (19).

Ateşe dayanıklı beton imalinde daha ziyade alüminli çimentolar tercih edilmektedir. Ancak kullanılan agreganın cinsi çok önemlidir. Erimiş alumina agregası ve beyaz kalsiyum aluminat çimentosundan yapılan betonun 1800°C ye kadar dayandığı tesbit edilmiştir (13).

Normal betonların 250°C ye kadar ısıtılmalarının dayanıma etkisi düzensizdir. Fakat, 300°C den sonraki ısıtmalar, betonlarda sürekli bir dayanım kaybına sebep olmaktadır (3,20,21).

Isınma süresinin dayanıma etkisini tesbit etmek için yapılan araştırmalarda enteresan sonuçlar ortaya çıkmıştır. Şöyle ki: Yüksek temperatürlerde kısa bir süre ısıtma, betonun dayanımını hafifçe arttırmaktadır (22). Bundan başka, yüksek temperatürlerdeki dayanım kaybı, kuru betonlarda daha düşük olmaktadır (23). Ayrıca, betonlarda, temperatür yükselmesinin eğilme dayanımını basınç dayanımından daha fazla etkilediği gösterilmiş bulunmaktadır (24).

Betonların temperatürün yükselmesi ile uğradıkları dayanım kayıpları, muhakkak ki, herşeyden önce

betonun dehidratasyonu ile yakından ilgilidir. Betondaki çimento hidratasyon ürünlerinin dehidratasyonlarının ne şekilde gerçekleştiğini aydınlatmak için sayısız denemek derecede çok çalışmalar yapılmıştır.

Çimento pastasındaki su, çevre şartlarına ve çimentonun özelliklerine bağlı olarak, başlıca, serbest su, jel suyu, kapiler su ve bileşenlere bağlı su hallerinde bulunur. Ve genel olarak, buharlaşabilen ve buharlaşamayan su olarak da iki ayrı şekilde düşünülebilir. Buharlaşamayan su, kimyasal olarak bağlı bulunan suyun bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Buharlaşan su ise, kapilerlerde ve jel'de yüzey kuvvetleri ile tutulan sudur. Portland çimentosundaki buharlaşamayan suyun, çimento bileşimindeki oksitlerin bir lineer fonksiyonu olduğu ileri sürülmektedir (25).

Temperatürün yükselmesi, sırasıyla, önce buharlaşabilen su ile  $\text{Ca(OH)}_2$  ve diğer hidratize ürünlerin dehidratasyonunu, daha sonra da  $\text{CaCO}_3$  'ün bozunmasını ve çeşitli dönüşümleri ortaya çıkarmaktadır. Hidratize ürünlerin bu şekildeki dehidratasyonları esnasında, çimento pastasının ısı absorpsiyonunun, solid fazın fizikokimyasal karakterinin ve bütün kütlenin porozitesinin değişmesine paralel olarak, termik özelliklerde de değişimler meydana geldiği gösterilmiş bulunmaktadır (26).

Dehidratasyon boyunca ortaya çıkan reaksiyonlara bağılı olarak sürekli bir ağırlık azalması da kendini göstermektedir. Araştırmalar sonunda, ağırlık azalmasının, 100-400°C de nem ve serbest suyun uzaklaşması ile, 400-600°C de hidratasyon suyu ve buharlaşamayan suyun dehidratasyonu ile ve 700°C den sonra ise  $\text{CaCO}_3$  in bozunması ile meydana geldiği anlaşılmış bulunmaktadır (24).

Hidratize çimento komponentlerinin dehidratasyonlarının TGA ve DTA ile takip edilişleri esnasında, esas olan endotermik olayların yanı sıra, bazı ekso termik reaksiyonların bulundukları da ortaya çıkarılmıştır (27).

Dehidratasyon üzerine, bunlardan başka, ısınma hızının, çimentonun bileşiminin, pastanın yaşının, ortamın neminin v.s. önemli etkileri olduğu bir gerçektir. Yapılan çalışmalarda, ısıtma esnasındaki dehidratasyon hızı ve büzölmeler esas alınarak, betonun porozitesinin temperaturün bir fonksiyonu olduğu matematik bir ifadeyle de belirtilmiş bulunmaktadır(9).

Isıtma sonunda dayanımlarını kaybetmiş bulunan betonların rehidratasyonları üzerinde fazlaca bir çalışma yapılmış değildir. Bu husustaki çalışmaların en dikkat çeken, hidratize çimentodaki  $\text{Ca(OH)}_2$  in gösterdiği değişiklikler üzerinde yapılmıştır.  $\text{Ca(OH)}_2$  in 400-450°C de su kaybetmesi ile meydana gelen  $\text{CaO}$ , bi-

lahare rehidratasyona uğruyarak yeniden  $\text{Ca(OH)}_2$ 'e dönüşürken, % 70-80 oranında hacim artışına sebep olmaktadır. Bu da, betonda önemli çatlamlar meydana getirmektedir. Böyle bir ısıtmada,  $\text{CaO}$ , ayrıca, hidratize kalsiyum ve alüminyum silikatların bozulmalarından da teşekkül edebilmektedir. Betonun ateşe dayanıklılığını sağlamak için ise, araştırmacılar,  $\text{CaO}$ 'in yeniden  $\text{Ca(OH)}_2$ 'e dönüşmesine mani olunmasının gerektiğini, bunun için de seramik stabilizörler adı verilen (çeşitli killeri, kromit, cüruf v.s. gibi) malzemeleri kullanarak  $\text{CaO}$ 'in bağlanmasının şart olduğunu göstermişlerdir (4,19).

Dehidratize edilmiş olan beton numunelerinin rehidratasyonlarının incelenmesinde DTA ve X-Işınlarından da istifade edilmektedir. Daha ziyade bünyedeki kimyasal değişmelerin aydınlatılmasının amaçlandığı bu tip çalışmaların birinde, 7 günlük bir çimento pastasının  $1200^\circ\text{C}$  de dehidratize edilmesi ile ele geçen numunelerin rehidratizasyonu incelenmiştir. Çalışmalarda, ortamın neminin ve mevcut  $\text{CO}_2$ 'nin rehidratasyona etkisi, % 45-55 nemde,  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{Ca(OH)}_2$ , % 98 nemde ise  $\text{Ca(OH)}_2$ 'nin yanı sıra mevcut  $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 'in hidratasyonu ile Ca-hidrosilikatların teşekkül ettikleri tesbit edilmiştir (28).

Takdim edilen bu çalışmada, dehidratasyon ve rehidratasyon ile dayanımlar arasındaki bağıntılar et-

raflıca incelenmiş ve dehidratize olmuş betonlara rehidratasyon ile yeniden dayanım kazandırma imkanları araştırılmıştır. Bu amaçla da, alüminli, curuf, portland ve traslı çimentolar örnek olarak alınmış ve bu dört tür çimento ile, önce, en yüksek dayanım verecek olan su/kum/çimento oranları tesbit edilmiştir. Ortaya çıkarılan maksimum dayanımı havi beton türlerinin daha sonra 100-1000°C arasındaki dehidratasyonları, bu esnadaki kütle kayıpları ve dayanımları sistematik olarak incelenmiştir. Dehidratasyon çalışmaları ayrıca DTA ile de takip edilmiştir. Bu şekilde dehidratize olmuş bulunan beton nümunelerinin yeniden hidratize edilip edilemeyecekleri ve dayanımlarının ne ölçüde geri kazandırılabileceği ayrıntılı bir şekilde ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

## 2 METODLAR ve CİHAZLAR

### 2.1 Deneysel Çalışma Programı

Bu araştırmada alüminli, curuf, portland ve traslı çimento türleri kullanıldı. Önce, bu çimentolardan su/kum/çimento oranı, s/k/ç, değişik çeşitli betonlar hazırlanıp, bunların 30 gün dayanımları ölçülmek suretiyle yapılan bir ön çalışma ile esas araştırma için en uygun s/k/ç oranları saptandı.

#### 2.1.1 Ön Araştırma Programı

Kullanılan çimento türlerinin her biri ile önce kum/çimento, k/ç, oranları (ağırlıkça 3 kısım kum, bir kısım çimento) sabit, su/çimento, s/ç, oranları değişik yedi beton numunesi üzerinde çalışıldı (TABLO 1).

TABLO 1'deki s/k/ç oranlarına göre hazırlanan beton numunelerinin 30 gün süresince belirli aralıklarla eğilme ve basınç dayanımları ölçüldü. Bulunan sonuçlardan çekme ve basınç dayanımları  $\text{kgf/cm}^2$  olarak hesaplanıp dayanım-zaman eğrileri çizildi (ŞEKİL 1,2, 3,4,5,6,7). k/ç oranı aynı olan betonlarda s/ç oranı -

TABLO 1 : s/ç oranları değişik beton nümunelerinin sembollerle gösterilmesi

| s/ç oranı | 0,2                          | 0,3                          | 0,4                          | 0,5                          | 0,6                          | 0,7                          | 0,8                          |
|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| k/ç oranı | 3,0                          | 3,0                          | 3,0                          | 3,0                          | 3,0                          | 3,0                          | 3,0                          |
| Semboller | 24 A<br>24 C<br>24 P<br>24 F | 34 A<br>34 C<br>34 P<br>34 F | 44 A<br>44 C<br>44 P<br>44 F | 54 A<br>54 C<br>54 P<br>54 F | 64 A<br>64 C<br>64 P<br>64 F | 74 A<br>74 C<br>74 P<br>74 F | 84 A<br>84 C<br>84 P<br>84 F |

Not: 1 - A: alüminli, C: cüruf, P: portland ve F: traslı çimentoyu göstermektedir.  
dır.

2 - Sembollerin başındaki rakamlar s/k/ç oranını belirtmektedir. Örneğin,  
24 A sembolü, s/k/ç oranı 0,2 / 3,0 / 10 olan alüminli çimento ile hazırlanan beton numunesini göstermektedir.

nın dayanıma etkisini göstermek için her nümunenin dayanım - zaman eğrisinden bulunan maksimum dayanımları ile s/ç oranı arasında bir eğri çizildi (ŞEKİL 8 ).

k/ç oranının betonun dayanımına etkisini incelemek için, ŞEKİL 8 den basınç ve çekme dayanımları ile işlenebilme özelliği de göz önünde tutularak, s/ç oranı alüminli ve portland çimentoları ile hazırlanan betonlarda 0,5 , curuf ve traslı çimentolarda ise 0,4 olarak alındı. Her çimento türünden k/ç oranları farklı 5 beton numunesi hazırlanarak (TABLO 2), yine 30 gün süresince belirli aralıklarla eğilme ve basınç dayanımları ölçüldü. Bulunan sonuçlardan dayanım-zaman eğrileri çizildi (ŞEKİL 9,10,11,12,13). s/ç oranı aynı olan betonlarda k/ç oranının dayanıma etkisini göstermek için her nümunenin dayanım-zaman eğrisinden bulunan maksimum dayanımlar ile k/ç oranı arasında bir eğri çizildi (ŞEKİL 14).

Çizilen eğriler incelenerek ilerideki dehidratasyon ve rehidratasyon denemeleri için en uygun beton numunelerinin, 53A, 42C, 53P ve 42T olduğu saptandı.

### 2.1.2 Dehidratasyon Çalışmalarının Esasları

Hidratasyon ile dayanım kazanmış beton numuneleri, değişik sıcaklıklarda farklı süreler bekletilmek suretiyle dehidratize edildi. Isıtma ile ortaya çı-

TABLO 2 : Her çimento için tesbit edilen s/ç oranı sabit, k/ç oranla -  
rı değişik beton nümunelerinin sembollerle gösterilmesi.

| s/ç oranı | 1,5                          |                              | 2,0                          |                              | 2,5                          |     | 3,5 |     | 4,0 |     |
|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| k/ç oranı | 0,5                          | 0,4                          | 0,5                          | 0,4                          | 0,5                          | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,4 |
| Semboller | 51 A<br>51 P<br>41 C<br>41 T | 52 A<br>52 P<br>42 C<br>42 T | 53 A<br>53 P<br>43 C<br>43 T | 55 A<br>55 P<br>45 C<br>45 T | 56 A<br>56 P<br>46 C<br>46 T |     |     |     |     |     |

Not : Sembollerin başındaki rakamlar s/k/ç oranını belirtmektedir.

Örneğin, 41 T sembolü, s/k/ç oranı 0,4 / 1,5 / 1,0 olan tras-  
lı çimento ile hazırlanan beton nümunesini göstermektedir.

kan ağırlık kaybı da sepiandıktan sonra nümunelerin e -  
gilme ve basınç dayanımları ölçüldü ve dehidratasyonun  
dayanıma etkisi incelendi.

Ön çalışma sonucu seçilen 53A, 42C, 53P ve 42T  
beton nümuneleri hazırlanıp 24 saat rutubet sandığın -  
da bırakıldıktan sonra tartılıp 28 gün suda bekletildi.  
Sudan çıkarılan nümuneler 4 saat açık havada bekletildik-  
ten sonra tartıldı. Bu şekilde hazırlanan nümune serile-  
ri ayrı ayrı muffle fırınında 100, 200, 300, 400, 500,  
600, 700, 800, 900 ve 1000°C de sırasıyla bir, üç ve beş  
saat ısıtıldı (TABLO 3). Fırından çıkarılan nümuneler  
açık havada soğutulduktan sonra tartıldı ve dayanımları  
ölçüldü.

Elde edilen sonuçlardan yararlanarak, farklı ı -  
sıtma süreleri için, ağırlık kaybı-temperatür, basınç  
dayanımı-temperatür ve çekme dayanımı-temperatür eğri-  
leri çizildi. Bu sonuçlardan, her çimento türü için, ı-  
sıtma süreleri de göz önüne alınarak, temperatürün ağırlık  
kayı ve dayanıma etkisi ile ağırlık kaybı-dayanım  
bağıntısı karşılaştırmalı incelenerek değerlendirildi.

### 2.1.3 Differansiyel Termik Analiz (DTA) Esasları

Dehidratasyon reaksiyonlarını incelemek için ay-  
rıca nümunelerin DTA larının da yapılması uygun görüldü.

TABLO 3 : Dehidratasyon nümünelerinde kullanılan semboller

| Dehid.<br>Temp.<br>(°C) | Is.Sü.<br>(saat) | S E M B O L L E R      | Dehid.<br>Temp.<br>(°C) | Is. Sü.<br>(saat) | S E M B O L L E R          |
|-------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|
| 100                     | 1                | A1F1, C1F1, P1F1, T1F1 | 600                     | 1                 | A6F1, C6F1, P6F1, T6F1     |
|                         | 3                | A1F3, C1F3, P1F3, T1F3 |                         | 3                 | A6F3, C6F3, P6F3, T6F3     |
|                         | 5                | A1F5, C1F5, P1F5, T1F5 |                         | 5                 | A6F5, C6F5, P6F5, T6F5     |
| 200                     | 1                | A2F1, C2F1, P2F1, T2F1 | 700                     | 1                 | A7F1, C7F1, P7F1, T7F1     |
|                         | 3                | A2F3, C2F3, P2F3, T2F3 |                         | 3                 | A7F3, C7F3, P7F3, T7F3     |
|                         | 5                | A2F5, C2F5, P2F5, T2F5 |                         | 5                 | A7F5, C7F5, P7F5, T7F5     |
| 300                     | 1                | A3F1, C3F1, P3F1, T3F1 | 800                     | 1                 | A8F1, C8F1, P8F1, T8F1     |
|                         | 3                | A3F3, C3F3, P3F3, T3F3 |                         | 3                 | A8F3, C8F3, P8F3, T8F3     |
|                         | 5                | A3F5, C3F5, P3F5, T3F5 |                         | 5                 | A8F5, C8F5, P8F5, T8F5     |
| 400                     | 1                | A4F1, C4F1, P4F1, T4F1 | 900                     | 1                 | A9F1, C9F1, P9F1, T9F1     |
|                         | 3                | A4F3, C4F3, P4F3, T4F3 |                         | 3                 | A9F3, C9F3, P9F3, T9F3     |
|                         | 5                | A4F5, C4F5, P4F5, T4F5 |                         | 5                 | A9F5, C9F5, P9F5, T9F5     |
| 500                     | 1                | A5F1, C5F1, P5F1, T5F1 | 1000                    | 1                 | A10F1, C10F1, P10F1, T10F1 |
|                         | 3                | A5F3, C5F3, P5F3, T5F3 |                         | 3                 | A10F3, C10F3, P10F3, T10F3 |
|                         | 5                | A5F5, C5F5, P5F5, T5F5 |                         | 5                 | A10F5, C10F5, P10F5, T10F5 |

Noti: A153A, C42C, P153P ve T142T beton nümünelerini, bunları izliyen 1,2,...10 rakamları ısıtma temperaturünü, F1, F3 ve F5 ise ısıtma süreçlerini belirtmektedir. Örneğin, C1F3 sembolü 42C beton nümunesinin 3 saat 100°C de dehidratasyona tabi tutulduğunu göstermektedir.

Nümuneler dehidratasyon reaksiyonlarında olduğu gibi hazırlanıp belirtilen sıcaklıklarında net 3 saat ısıtıldıktan sonra açık havada soğutuldu (TABLO 4). Daha sonra öğütülüp DTA ları yapıldı. Ayrıca 53A, 42C, 53P ve 42T beton nümunelerinden birer örnek hiç ısıtılmadan öğütülüp DTA ları yapıldı.

Elde edilen grafikler, dehidratasyon çalışmalarından elde edilen dayanım-sıcaklık ve ağırlık kaybı-sıcaklık eğrileri ile karşılaştırılarak değerlendirildi.

#### 2.1.4 Rehidratasyon Çalışmalarının Esasları

Isıtılmakla dehidratize edilen nümunelerin tekrar hidratasyonuna (rehidratasyonuna) çalışıldı. Farklı sıcaklıklarda farklı süreler ısıtılarak dehidratize edilen nümuneler iki şekilde rehidratize edilmeye çalışıldı:

(1) Suda bekletilerek: Dehidratize nümuneler tartıldıktan sonra 28 gün suda bırakıldı ve daha sonra dayanımları ölçüldü (TABLO 5).

(2) Otoklavda basınçlı buhar uygulanarak: Dehidratize nümunelere 5 ve 10 saat otoklavda basınçlı buhar uygulandıktan sonra 28 gün suda bekletilip dayanımlarının ölçülmesi düşünüldü. Ancak, portland çimentosu

TABLO 4 : DTA nümunelerinde kullanılan semboller.

| Dehid.<br>Temp.<br>(°C) | S E M B O L L E R      |
|-------------------------|------------------------|
| ---                     | AOD, COD, POD, TOD     |
| 100                     | A1D, C1D, P1D, T1D     |
| 200                     | A2D, C2D, P2D, T2D     |
| 300                     | A3D, C3D, P3D, T3D     |
| 400                     | A4D, C4D, P4D, T4D     |
| 500                     | A5D, C5D, P5D, T5D     |
| 600                     | A6D, C6D, P6D, T6D,    |
| 700                     | A7D, C7D, P7D, T7D     |
| 800                     | A8D, C8D, P8D, T8D     |
| 900                     | A9D, C9D, P9D, T9D     |
| 1000                    | A10D, C10D, P10D, T10D |

Not: Sembollerdeki rakamlar dehidrasyon temperaturünü (-O- hiç ısıtılmadığını) belirtmektedir. Örneğin, P5D sembolü, 53P nümunesinin 3 saat 500°C de ısıtıldıktan sonra DTA'nın yapıldığını göstermektedir.

TABLO 5 : Su ile rehidratize edilen nümunelerde kullanılan semboller

| Dehid.<br>Temp.<br>(°C) | Is.Sü.<br>(saat) | S E M B O L L E R          |  |  | Dehid.<br>Temp.<br>(°C) | Is.Sü.<br>(saat) | - S E M B O L L E R            |  |  |
|-------------------------|------------------|----------------------------|--|--|-------------------------|------------------|--------------------------------|--|--|
| 100                     | 1                | A1F1H, C1F1H, P1F1H, T1F1H |  |  | 600                     | 1                | A6F1H, C6F1H, P6F1H, T6F1H     |  |  |
|                         | 3                | A1F3H, C1F3H, F1F3H, T1F3H |  |  |                         | 3                | A6F3H, C6F3H, P6F3H, T6F3H     |  |  |
|                         | 5                | A1F5H, C1F5H, F1F5H, T1F5H |  |  |                         | 5                | A6F5H, C6F5H, P6F5H, T6F5H     |  |  |
| 200                     | 1                | A2F1H, C2F1H, P2F1H, T2F1H |  |  | 700                     | 1                | A7F1H, C7F1H, P7F1H, T7F1H     |  |  |
|                         | 3                | A2F3H, C2F3H, P2F3H, T2F3H |  |  |                         | 3                | A7F3H, C7F3H, P7F3H, T7F3H     |  |  |
|                         | 5                | A2F5H, C2F5H, P2F5H, T2F5H |  |  |                         | 5                | A7F5H, C7F5H, P7F5H, T7F5H     |  |  |
| 300                     | 1                | A3F1H, C3F1H, P3F1H, T3F1H |  |  | 800                     | 1                | A8F1H, C8F1H, P8F1H, T8F1H     |  |  |
|                         | 3                | A3F3H, C3F3H, P3F3H, T3F3H |  |  |                         | 3                | A8F3H, C8F3H, P8F3H, T8F3H     |  |  |
|                         | 5                | A3F5H, C3F5H, P3F5H, T3F5H |  |  |                         | 5                | A8F5H, C8F5H, P8F5H, T8F5H     |  |  |
| 400                     | 1                | A4F1H, C4F1H, P4F1H, T4F1H |  |  | 900                     | 1                | A9F1H, C9F1H, P9F1H, T9F1H     |  |  |
|                         | 3                | A4F3H, C4F3H, P4F3H, T4F3H |  |  |                         | 3                | A9F3H, C9F3H, P9F3H, T9F3H     |  |  |
|                         | 5                | A4F5H, C4F5H, P4F5H, T4F5H |  |  |                         | 5                | A9F5H, C9F5H, P9F5H, T9F5H     |  |  |
| 500                     | 1                | A5F1H, C5F1H, P5F1H, T5F1H |  |  | 1000                    | 1                | A10F1H, C10F1H, P10F1H, T10F1H |  |  |
|                         | 3                | A5F3H, C5F3H, P5F3H, T5F3H |  |  |                         | 3                | A10F3H, C10F3H, P10F3H, T10F3H |  |  |
|                         | 5                | A5F5H, C5F5H, P5F5H, T5F5H |  |  |                         | 5                | A10F5H, C10F5H, P10F5H, T10F5H |  |  |

Not: Sembollerdeki rakamlar sırasıyla dehidratasyon temperaturı ve süresini belirtmektedir. Örneğin, T2F5H sembolü, 42T nümunesinin 5 saat 300°C de ısıtıldıktan sonra euda bırakılarak rehidratize edildiğini göstermektedir.

ile hazırlanan nümunelerden 600°C ve daha yukarı temperatrlerde ısıtılmış olanların otoklavda çatladıkları ve dağıldıkları görüldü. Bu durum diğerk çimentolarla hazırlananlarda 700°C dan itibaren ısıtılanlarda ortaya çıktı. Bunu önlemek için otoklavda buhar basıncı 2,5 dan 1,0 atmosfere düşürülerek ve ayrıca ısıtma ve soğutma hızları da değıştirilerek çeşitli denemeler yapıldı. Ancak, nümunelerin otoklavda konmadan önce bir müddet su da bekletilmesi ile çatlama ve dağılmalarının önlenileceğı saptandı. Bu nedenle, rehidratize edilecek dehidratize nümunelerin önce 12 saat suda, bunu muteakiben 4 saat havada bekletildikten sonra otoklava yerleştirilmeleri uygun görüldü (TABLO 6).

Rehidratasyon ile bağlanan suyun incelenmesi için, nümunelerin önce adi rtubetinin uzaklaştırılması düşünüldü. Hazırlanan nümuneler bir etüvde 5 saat 105°C de kurutulduktan sonra tartılarak belirli temperatrlerde dehidratize edilen nümunelerin bir kısmı 12 saat suda, diğerk kısmı da 5 saat otoklavda basınçlı buhar ile rehidratize edildiler ve etüvde tekrar 5 saat 105°C de kurutulduktan sonra ağırlık kayıpları kontrol edildi (TABLO 7).

Her çimento türü için nümunelerin rehidratasyon sonucu uğradıkları değışimler ve gösterdikleri dayanımlar, dehidratasyon temperatürü , süresi ve rehidratasyon yöntemi de göz önünde bulundurularak, hidra -

TABLO 6: Basıncılı buhar ile rehidratize edilen nümunelerde kullanılan semboller

| Rehid.<br>Temp.<br>(°C) | Is. Sü.<br>(saat) | S E M B Ö L L E R                     |                                        |
|-------------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
|                         |                   | Otoklavda 5 saat bekletilen nümuneler | Otoklavda 10 saat bekletilen nümuneler |
| 100                     | 1                 | A1F1B5, C1F1B5, P1F1B5, T1F1B5        | A1F1B10, C1F1B10, P1F1B10, T1F1B10     |
|                         | 3                 | A1F3B5, C1F3B5, P1F3B5, T1F3B5        | A1F3B10, C1F3B10, P1F3B10, T1F3B10     |
|                         | 5                 | A1F5B5, C1F5B5, P1F5B5, T1F5B5        | A1F5B10, C1F5B10, P1F5B10, T1F5B10     |
| 200                     | 1                 | A2F1B5, C2F1B5, P2F1B5, T2F1B5        | A2F1B10, C2F1B10, P2F1B10, T2F1B10     |
|                         | 3                 | A2F3B5, C2F3B5, P2F3B5, T2F3B5        | A2F3B10, C2F3B10, P2F3B10, T2F3B10     |
|                         | 5                 | A2F5B5, C2F5B5, P2F5B5, T2F5B5        | A2F5B10, C2F5B10, P2F5B10, T2F5B10     |
| 300                     | 1                 | A3F1B5, C3F1B5, P3F1B5, T3F1B5        | A3F1B10, C3F1B10, P3F1B10, T3F1B10     |
|                         | 3                 | A3F3B5, C3F3B5, P3F3B5, T3F3B5        | A3F3B10, C3F3B10, P3F3B10, T3F3B10     |
|                         | 5                 | A3F5B5, C3F5B5, P3F5B5, T3F5B5        | A3F5B10, C3F5B10, P3F5B10, T3F5B10     |
| 400                     | 1                 | A4F1B5, C4F1B5, P4F1B5, T4F1B5        | A4F1B10, C4F1B10, P4F1B10, T4F1B10     |
|                         | 3                 | A4F3B5, C4F3B5, P4F3B5, T4F3B5        | A4F3B10, C4F3B10, P4F3B10, T4F3B10     |
|                         | 5                 | A4F5B5, C4F5B5, P4F5B5, T4F5B5        | A4F5B10, C4F5B10, P4F5B10, T4F5B10     |
| 500                     | 1                 | A5F1B5, C5F1B5, P5F1B5, T5F1B5        | A5F1B10, C5F1B10, P5F1B10, T5F1B10     |
|                         | 3                 | A5F3B5, C5F3B5, P5F3B5, T5F3B5        | A5F3B10, C5F3B10, P5F3B10, T5F3B10     |
|                         | 5                 | A5F5B5, C5F5B5, P5F5B5, T5F5B5        | A5F5B10, C5F5B10, P5F5B10, T5F5B10     |

| Dehid.<br>Temp.<br>(°C) | Is.Sü.<br>(saat) | S E M B O L L E R                     |                                        |
|-------------------------|------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
|                         |                  | Otoklavda 5 saat bekletilen numuneler | Otoklavda 10 saat bekletilen numuneler |
| 600                     | 1                | A6F1B5, C6F1B5, P6F1B5, T6F1B5        | A6F1B10, C6F1B10, P6F1B10, T6F1B10     |
|                         | 3                | A6F3B5, C6F3B5, P6F3B5, T6F3B5        | A6F3B10, C6F3B10, P6F3B10, T6F3B10     |
|                         | 5                | A6F5B5, C6F5B5, P6F5B5, T6F5B5        | A6F5B10, C6F5B10, P6F5B10, T6F5B10     |
| 700                     | 1                | A7F1B5, C7F1B5, P7F1B5, T7F1B5        | A7F1B10, C7F1B10, P7F1B10, T7F1B10     |
|                         | 3                | A7F3B5, C7F3B5, P7F3B5, T7F3B5        | A7F3B10, C7F3B10, P7F3B10, T7F3B10     |
|                         | 5                | A7F5B5, C7F5B5, P7F5B5, T7F5B5        | A7F5B10, C7F5B10, P7F5B10, T7F5B10     |
| 800                     | 1                | A8F1B5, C8F1B5, P8F1B5, T8F1B5        | A8F1B10, C8F1B10, P8F1B10, T8F1B10     |
|                         | 3                | A8F3B5, C8F3B5, P8F3B5, T8F3B5        | A8F3B10, C8F3B10, P8F3B10, T8F3B10     |
|                         | 5                | A8F5B5, C8F5B5, P8F5B5, T8F5B5        | A8F5B10, C8F5B10, P8F5B10, T8F5B10     |
| 900                     | 1                | A9F1B5, C9F1B5, P9F1B5, T9F1B5        | A9F1B10, C9F1B10, P9F1B10, T9F1B10     |
|                         | 3                | A9F3B5, C9F3B5, P9F3B5, T9F3B5        | A9F3B10, C9F3B10, P9F3B10, T9F3B10     |
|                         | 5                | A9F5B5, C9F5B5, P9F5B5, T9F5B5        | A9F5B10, C9F5B10, P9F5B10, T9F5B10     |
| 1000                    | 1                | A10F1B5, C10F1B5, P10F1B5, T10F1B5    | A10F1B10, C10F1B10, P10F1B10, T10F1B10 |
|                         | 3                | A10F3B5, C10F3B5, P10F3B5, T10F3B5    | A10F3B10, C10F3B10, P10F3B10, T10F3B10 |
|                         | 5                | A10F5B5, C10F5B5, P10F5B5, T10F5B5    | A10F5B10, C10F5B10, P10F5B10, T10F5B10 |

Not: Sembollerdeki B5 ve B10 sırasıyla otoklavda 5 ve 10-saat basınçlı buhar tatbik edildiğini belirtmektedir. Örneğin, T3F5B10 sembolü 42T numunesinin 5 saat 300°C'de dehidratize edildikten sonra 10 saat otoklavda rehidratize edildiğini göstermektedir.

TABLO 7 : Rehidratasyondan sonra kurutulmuş nümunelerde kullanılan semboller.

| Dehid.<br>Temp.<br>(°C) | S E M B O L L E R |        |        |       |
|-------------------------|-------------------|--------|--------|-------|
| 200                     | A2KS,             | C2KS,  | P2KS,  | T2KS  |
|                         | A2KB,             | C2KB,  | P2KB,  | T2KB  |
| 300                     | A3KS,             | C3KS,  | P3KS,  | T3KS  |
|                         | A3KB,             | C3KB,  | P3KB,  | T3KB  |
| 400                     | A4KS,             | C4KS,  | P4KS,  | T4KS  |
|                         | A4KB,             | C4KB,  | P4KB,  | T4KB  |
| 500                     | A5KS,             | C5KS,  | P5KS,  | T5KS  |
|                         | A5KB,             | C5KB,  | P5KB,  | T5KB  |
| 600                     | A6KS,             | C6KS,  | P6KS,  | T6KS  |
|                         | A6KB,             | C6KB,  | P6KB,  | T6KB  |
| 700                     | A7KS,             | C7KS,  | P7KS,  | T7KS  |
|                         | A7KB,             | C7KB,  | P7KB,  | T7KB  |
| 800                     | A8KS,             | C8KS,  | P8KS,  | T8KS  |
|                         | A8KB,             | C8KB,  | P8KB,  | T8KB  |
| 900                     | A9KS,             | C9KS,  | P9KS,  | T9KS  |
|                         | A9KB,             | C9KB,  | P9KB,  | T9KB  |
| 1000                    | A10KS,            | C10KS, | P10KS, | T10KS |
|                         | A10KB,            | C10KB, | P10KB, | T10KB |

Not:Sembollerdeki S ve B harfleri sırasıyla suda ve otoklavda bekletilerek rehidratize edildiğini belirtmektedir. Örneğin, A7KS sembolü, 53A nümunesinin 5 saat 700°C de dehidratize, müteakiben 12 saat suda bekletildikten sonra kurutulduğunu göstermektedir.

tasyon ve dehidratasyon sonrası dayanımlar ile karşılaştırılarak değerlendirildi.

## 2.2. Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Betonun dayanımına etki eden en önemli faktörler kullanılan çimento ve kumdur. Çok fazla deneye dayanan bu çalışmada daima aynı kum ve çimentonun kullanılması na dikkat edildi. Bunun için söz konusu malzemeler güvenilir kaynaklardan başlangıçta bol miktarda sağlanarak özel şekilde muhafaza edildi.

### 2.2.1 Kum

Bilindiği gibi kum betonun dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, bütün deneylerde kimyasal ve fiziksel özellikleri mümkün olduğu kadar aynı olan bir kum kullanılmak istenildi. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği tarafından Pınarhisar'da TS 819'a göre hazırlanan Rilem-Cembureau Standard Kumu kullanıldı.

Homojenliğin korunması için her deneyde net 1350 gr. ağırlığındaki kum torbaları bölünmeden kullanıldı.

### 2.2.2 Çimentolar

Bu araştırmada Elazığ Çimento Fabrikasının PÇ 325 (TS 19) portland çimentosu, Trabzon Çimento Fabrikasının TÇ 30-70 (TS 26) traslı çimentosu ve Fransa'nın çimento Fondu Lafarge (6F.IMP) alüminli çimentosu kullanıldı. Bu çimentoların her biri ayrı ayrı harman edilerek iyice karıştırıldıktan sonra ağzı kapaklı teneke-lerde özel şekilde muhafaza edildi.

Curuf çimentosu ise, Elazığ Çimento Fabrikasından alınan klinker ile İskenderun Demir ve Çelik Fabrikalarından sağlanan granüle curuftan şu şekilde hazırlandı.

İskenderun Çimento Fabrikası için TS 20'a uygun olarak hazırlanan granüle curuf 8 saat 105°C de kurutulduktan sonra klinker ve alçı taşı ile beraber bir bilyalı değirmende öğütülerek 100 kgr CÇ 325 (TS 20) çimentosu elde edildi. Ağırlıkça 10 kısım curuf, 10 kısım klinker ve 1 kısım alçı taşı karıştırılması ile hazırlanan curufllu çimento diğer çimentolar gibi muhafaza edildi.

Her dört çimento türünün kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları TABLO 8 de görülmektedir.

TABLO 8 : Çimentoların Özellikleri

| KİMYASAL ANALİZ                |                                       | ÇİMENTO TİPİLERİ |       |          |        |  |
|--------------------------------|---------------------------------------|------------------|-------|----------|--------|--|
|                                |                                       | Alümina          | Çürüf | Portland | Toplam |  |
| KİMYASAL ANALİZ                | Çözünen $SiO_2$                       | 3,72             | 25,41 | 19,79    | 17,02  |  |
|                                | Çözünmeyen $SiO_2$                    | 1,28             | 0,54  | 1,90     | 15,40  |  |
|                                | $Al_2O_3$                             | 41,11            | 7,20  | 5,73     | 4,92   |  |
|                                | $Fe_2O_3$                             | 16,79            | 3,32  | 4,04     | 3,28   |  |
|                                | CaO                                   | 35,91            | 52,16 | 60,27    | 52,15  |  |
|                                | Serbest CaO                           | -                | 0,42  | 0,23     | -      |  |
|                                | $H_2O$                                | 2,29             | 4,29  | 2,01     | 1,24   |  |
|                                | $SO_3$                                | 2,29             | 2,57  | 2,06     | 2,30   |  |
|                                | Atoğ kayıpları                        | 0,15             | 0,50  | 1,70     | 3,34   |  |
|                                | Tesbit edilemeyen (Alkali Okisitleri) | 1,04             | 4,01  | 0,50     | 0,35   |  |
| Ortalama ağırlık ( $gr/cm^3$ ) |                                       | 3,60             | 3,19  | 3,22     | 3,20   |  |
| Ortalama yüzey ( $cm^2/gr.$ )  |                                       | 3206             | 3460  | 3000     | 3652   |  |
| FİZİKSEL ANALİZ                | Elek. iletkenlik (%)                  | 3,4              | 7,8   | 11,0     | 3,0    |  |
|                                | 4700 deyim/ $cm^2$                    |                  |       |          |        |  |
|                                | 900 deyim/ $cm^2$                     | 0,1              | 0,2   | 0,4      | 0,4    |  |
|                                | Soğukta (mm)                          | 0,0              | 1,0   | 0,0      | 1,0    |  |
|                                | Sıcakta (mm)                          | 0,0              | 0,0   | 2,0      | 1,0    |  |
|                                | Normal kıvam suyu (%)                 | 23,78            | 25,00 | 28,0     | 31,0   |  |
| P r i z                        | Bağlama (enst.dak.)                   | 6,05             | 2,40  | 2,00     | 4,05   |  |
|                                | Sonu (enst.dak.)                      | 7,05             | 3,20  | 3,20     | 4,40   |  |

### 2.3 Nümuneler ve lme Teknigi

Nümunelerin hazırlanması, muhafazası ve testle -  
rinin standartlara uygun olarak yapılmasına imkan nis -  
betinde çalışıldı.

Deneyssel alışmalar için Elazığ imento Fabrika -  
sının Kimya, Fizik ve Beton, Elazığ Devlet Mühendislik  
ve Mimarlık Akademisinin Kimya ve Malzeme ve Maden Tet -  
kik Araştırma Enstitüsünün Teknoloji laboratuvarlarından  
faydalanıldı.

#### 2.3.1 Nümunelerin Hazırlanması ve Muhafazası

Beton nümuneleri Elazığ imento Fabrikası Beton  
Laboratuvarında Bölüm 2.1.1 deki s/k/ oranlarına göre  
Rilem Cembureau metodu (TS 24) esaslarına uygun olarak  
hazırlandı. Bütün suda bekletme işlemleri TS 24 esas -  
larına göre yapıldı.

#### 2.3.2 Dayanım lmleri

Çekme dayanımı, destek silindirleri arasındaki  
uzaklığı, L, 10cm alan bir eğilme aleti ile ölçülen da -  
yanımdan hesaplandı (TS 24). Basınç dayanımı ise kırma  
presi ile doğrudan doğruya ölçüldü. Dayanım sonuçları  
kgf/cm<sup>2</sup> olarak verildi.

### 2.3.3 Çimento Analizleri

Analizler Elazığ Çimento Fabrikası laboratuvarlarında TS 24 ve TS 684'e göre yapıldı. Stok nümunele-  
rin muhafazası TS 23'e uygun olarak gerçekleştirildi.

### 2.3.4 Dehidratasyon

Isıtma işlemleri, Akademi Kimya Laboratuvarında 1100°C ye kadar ısınabilen normal bir muffle fırınında yapıldı.

Dehidratize edilecek nümuneler soğuk fırına konulduktan sonra fırının sıcaklığı 8-9°C/dak. 1ık bir yükselme ile istenilen dehidratasyon temperaturüne getirildi ve nümuneler bu temperaturde net 1,3 ve 5 saat bekletildi.

Gerekli tartımlar 0,5 gr duyarlıkta yapıldı.

### 2.3.5 Rehidratasyon

Suda bekletme işlemleri Fabrika Laboratuvarında, otoklav işlemleri ise Akademi Kimya Laboratuvarında vertikal tipi otomatik ayarlı bir otoklavda 1,0-1,5 atm. basıncında yapıldı.

Nümuneler otoklavda 1,0-1,5 atm. buhar basıncında net 5 veya 10 saat tutulduktan sonra, soğuması için

açılmadan 2 saat bekletildi. Dehidratize nümuneler otoklava konmadan önce Akademi Laboratuvarında  $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$  deki suda 12 saat bırakıldı.

#### 2.3.6 DTA lar

Fabrika ve Akademi Laboratuvarlarında hazırlanan nümunelerin, MTA Enstitüsü Teknoloji Laboratuvarında yatay fırınlı normal bir DTA cihazında analizleri yapıldı. Cihazın ısınma hızı  $20^{\circ}\text{C}/\text{dak.}$  olarak seçildi; in - nert madde olarak kızdırılmış kaolin kullanıldı; kağıt hızı 240 mm/saat; rekorder hassasiyeti 0,1 mV olarak tesbit edildi. Çalışmalarda temperatur üst sınırı olarak  $1000^{\circ}\text{C}$  alındı.

#### 2.3.7 n Araştırma Sonuçları

Araştırmada kullanılacak uygun nümunelerin seçimi için yapılan ön çalışmanın deneysel sonucu ları grafikler halinde gösterildi:

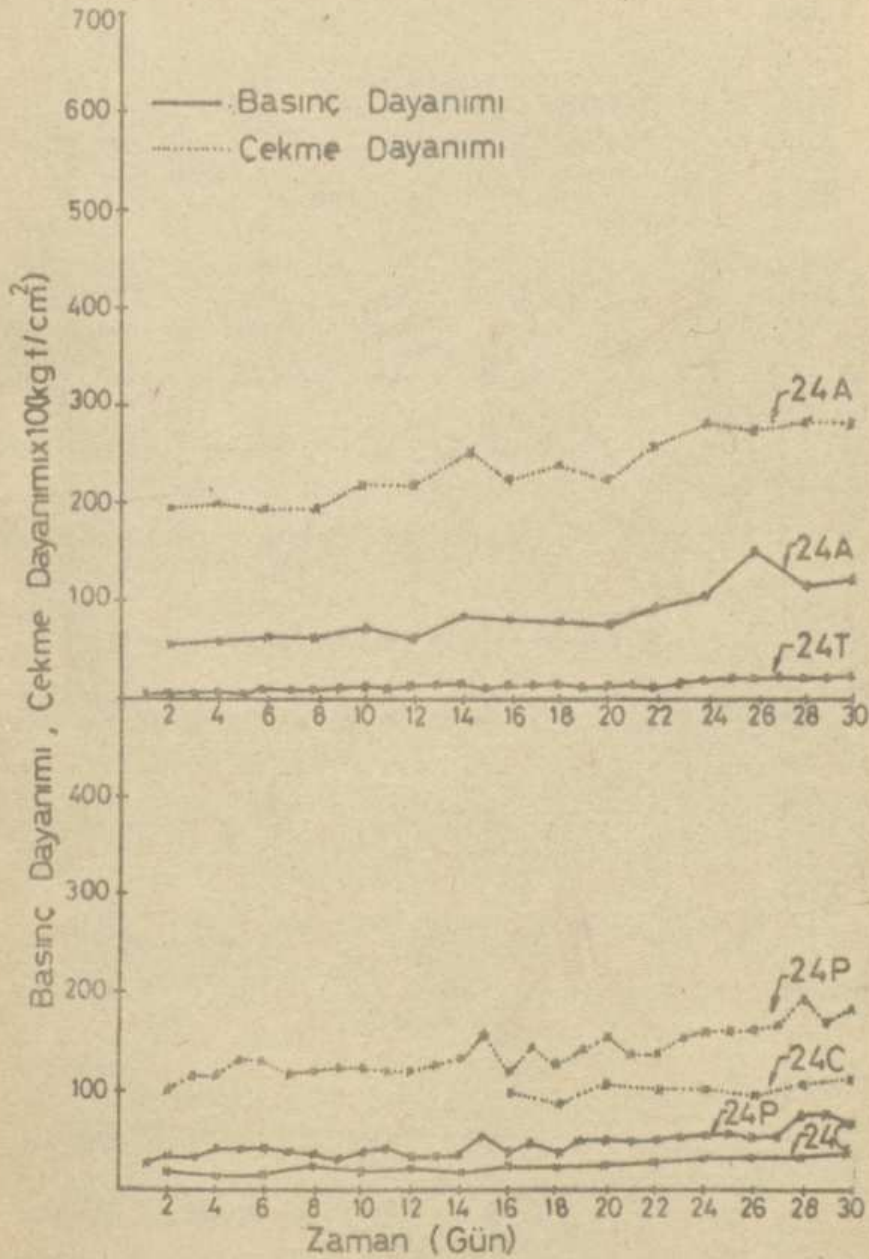
(1) TABLO 1 deki verilere göre dört imento türü ile hazırlanan s/k/ oranı aynı beton nümunelerinin çekme ve basınç dayanım sonucu ları zamanın fonksiyonu olarak aynı grafikte gösterildi (ŞEKİL 1,2,3,4,5,6,7).

(2) Her imento ile hazırlanan nümunelerin da - yanım-zaman egrilerinin maksimum değerleri s/ oranının

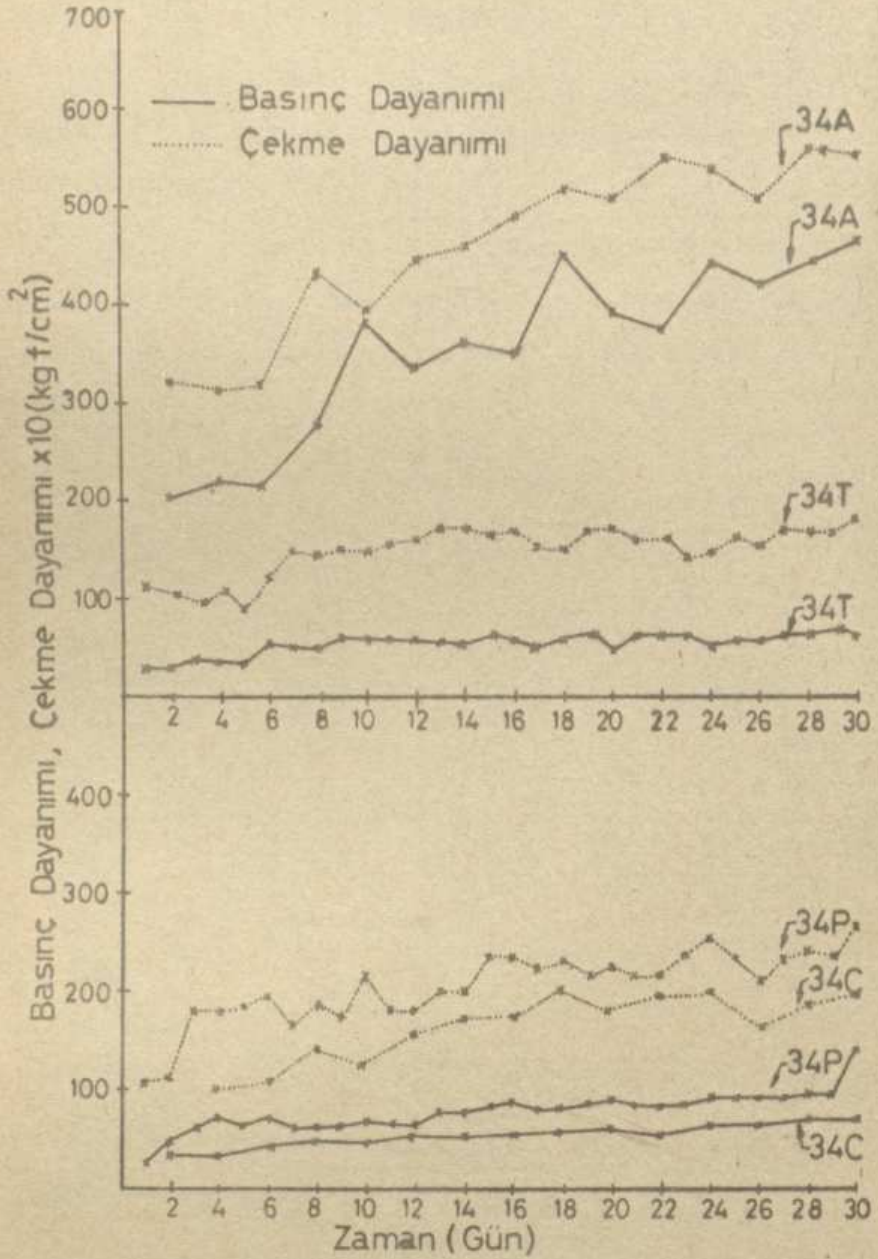
fonksiyonu olarak grafikte gösterildi (ŞEKİL 8).

(3) TABLO 2 deki verilere göre hazırlanan nümünelerin dayanım sonuçları, dayanım-zaman eğrileri olarak çizildi (ŞEKİL 9,10,11,12,13).

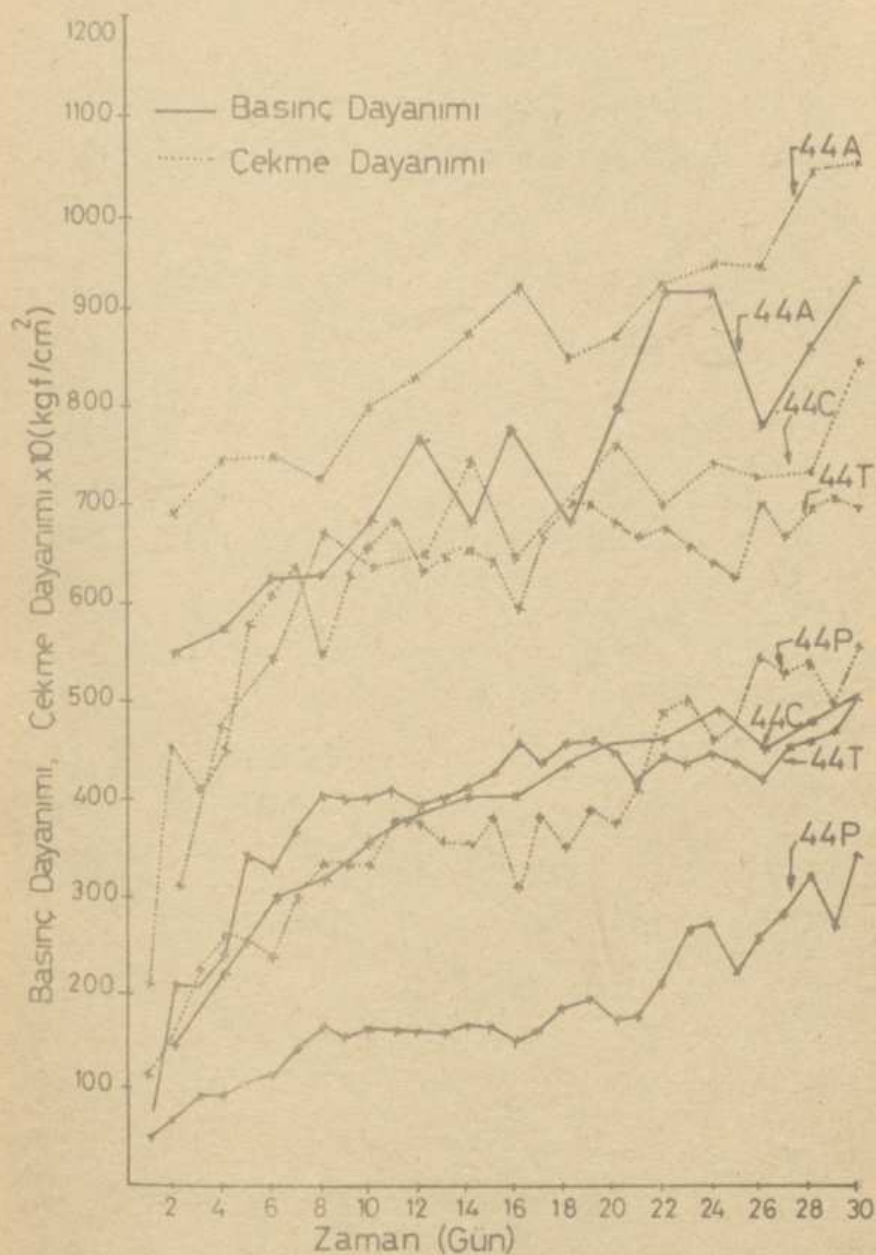
(4) Her çimento ile hazırlanan k/ç oranı farklı nümünelerin dayanım-zaman eğrilerinin maksimum değerleri k/ç oranının fonksiyonu olarak grafikte gösterildi (ŞEKİL 14).



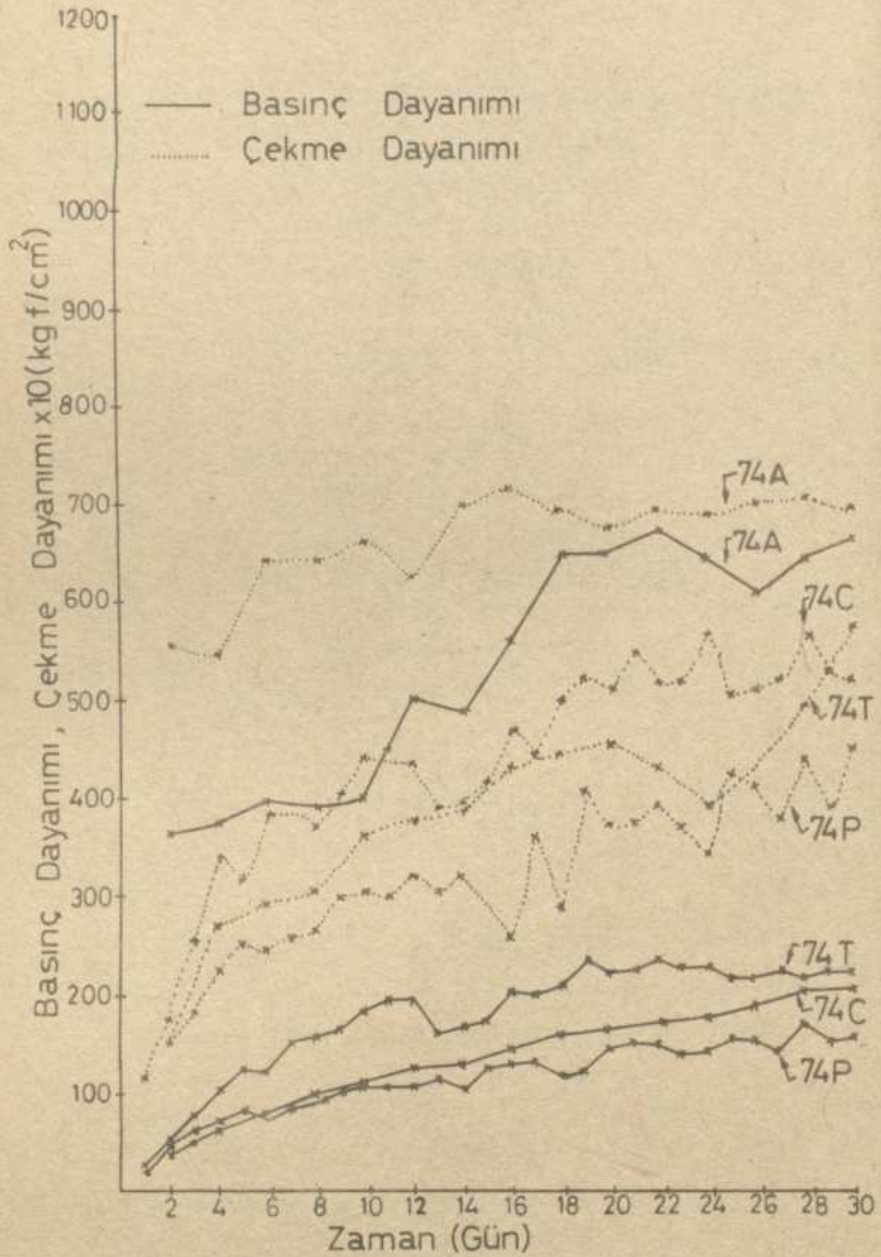
ŞEKİL 1: 24A, 24C, 24P ve 24T beton nümunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



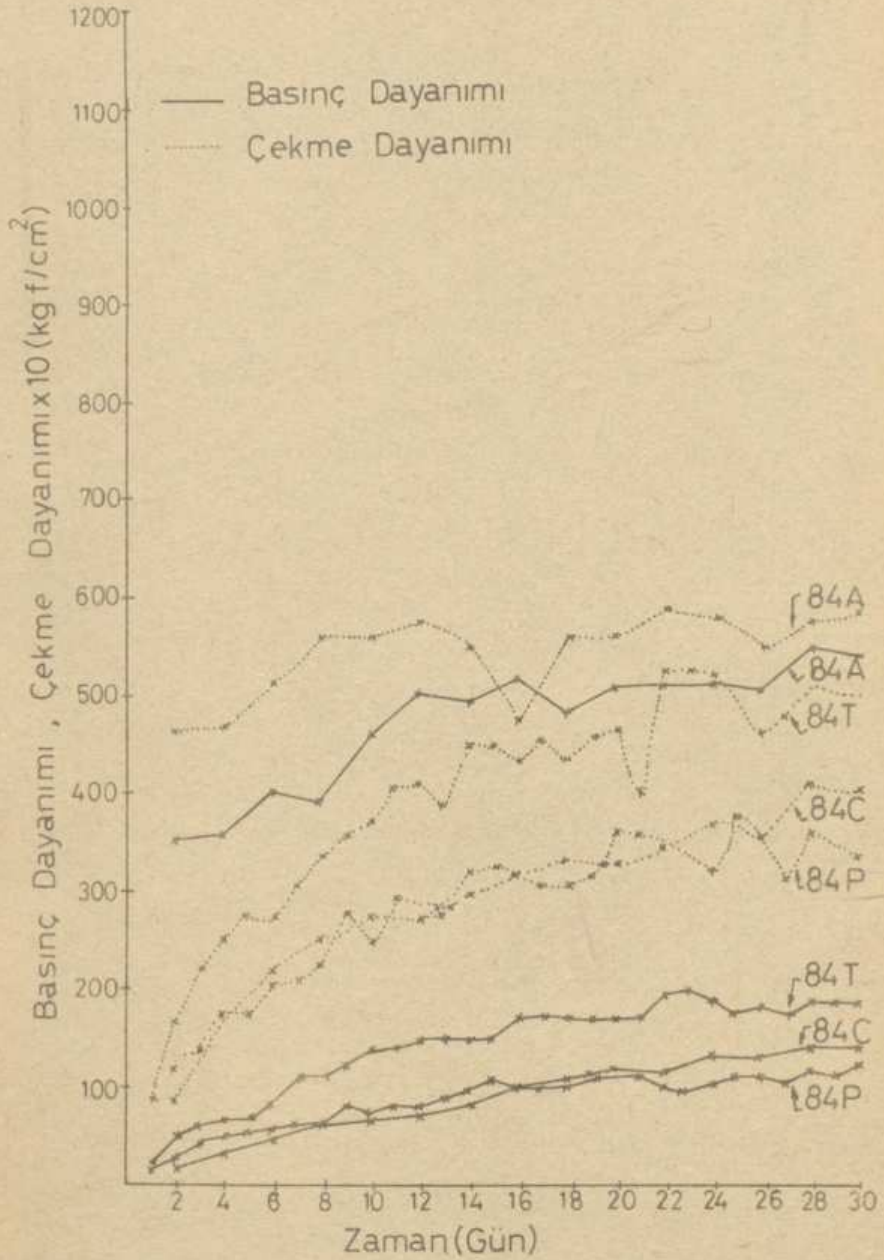
ŞEKİL 2: 34A, 34C, 34P ve 34 T beton nümunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



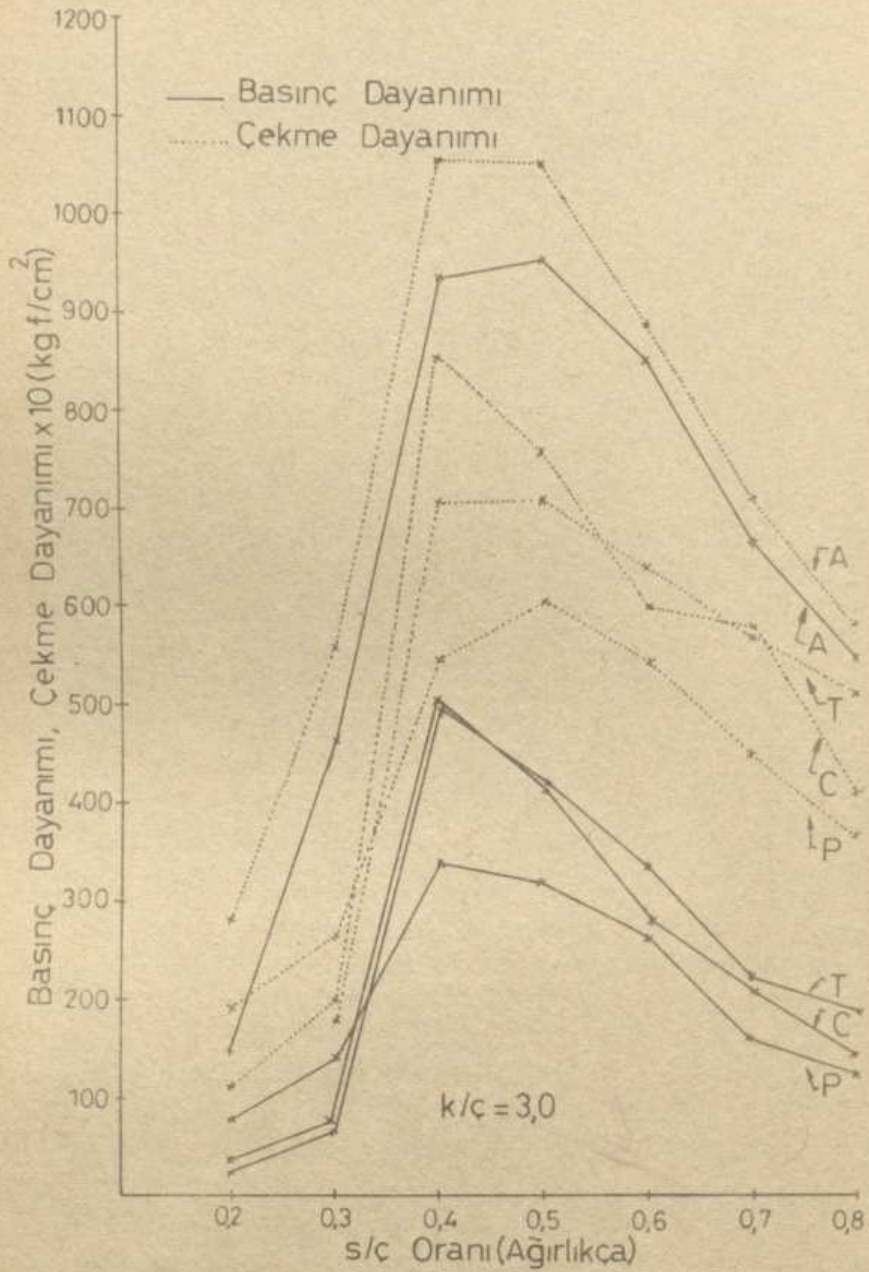
SEKİL 3. 44A, 44C, 44P ve 44T beton nümunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



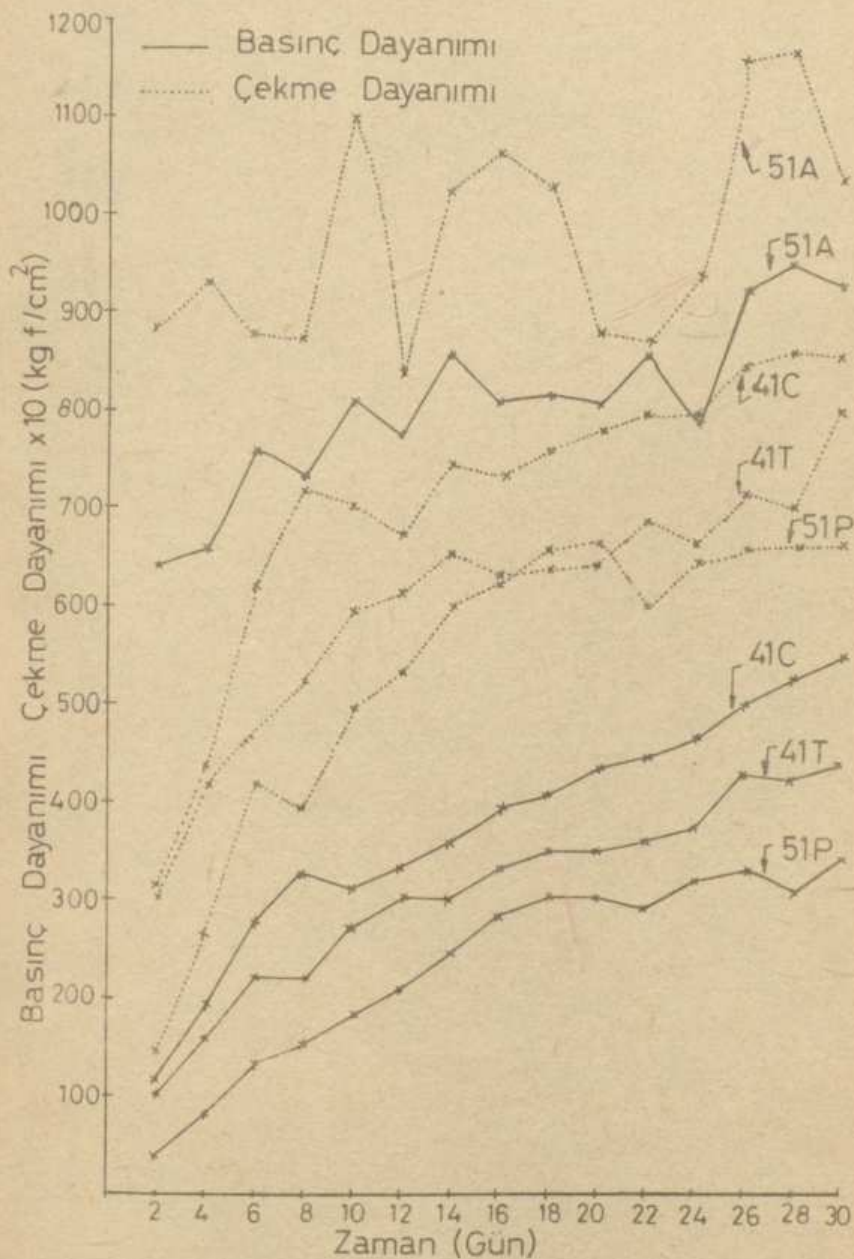
ŞEKİL 6: 74A, 74C, 74P ve 74T beton numunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



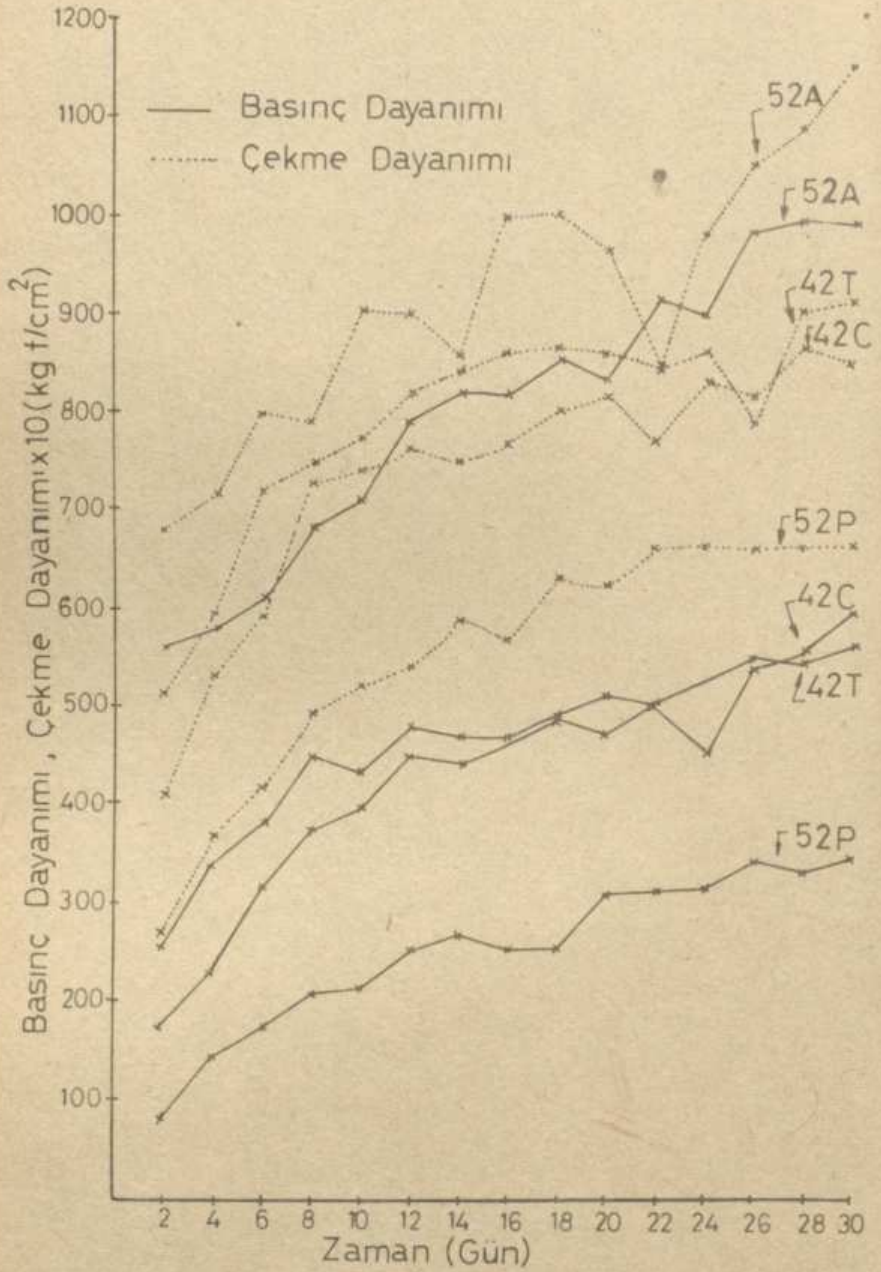
SEKİL 7: 84A, 84C, 84P ve 84T beton numunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



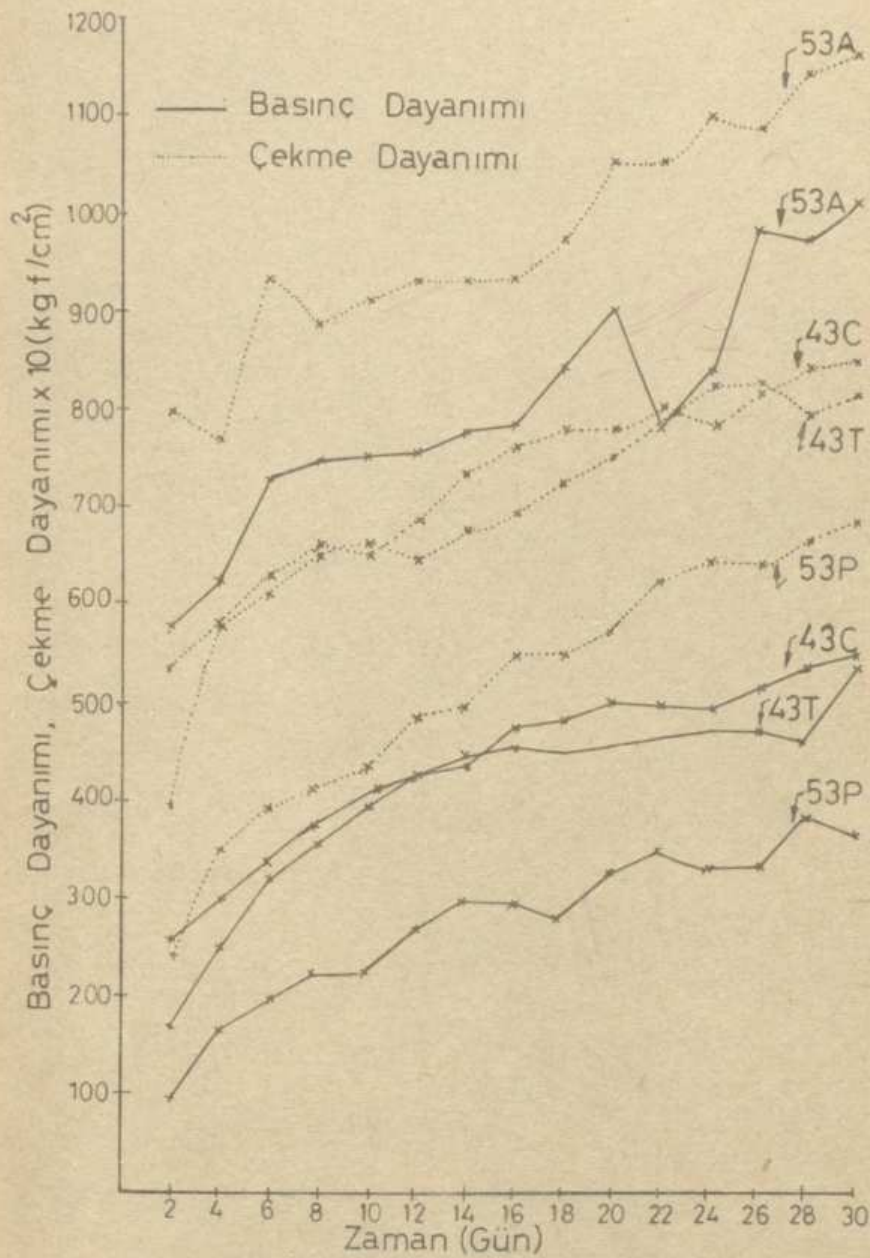
ŞEKİL 8: Alüminli, curuf, portland ve traslı çimentolarla hazırlanan betonların s/ç oranına bağlı olarak 30 günlük maksimum dayanımlarının değişimi



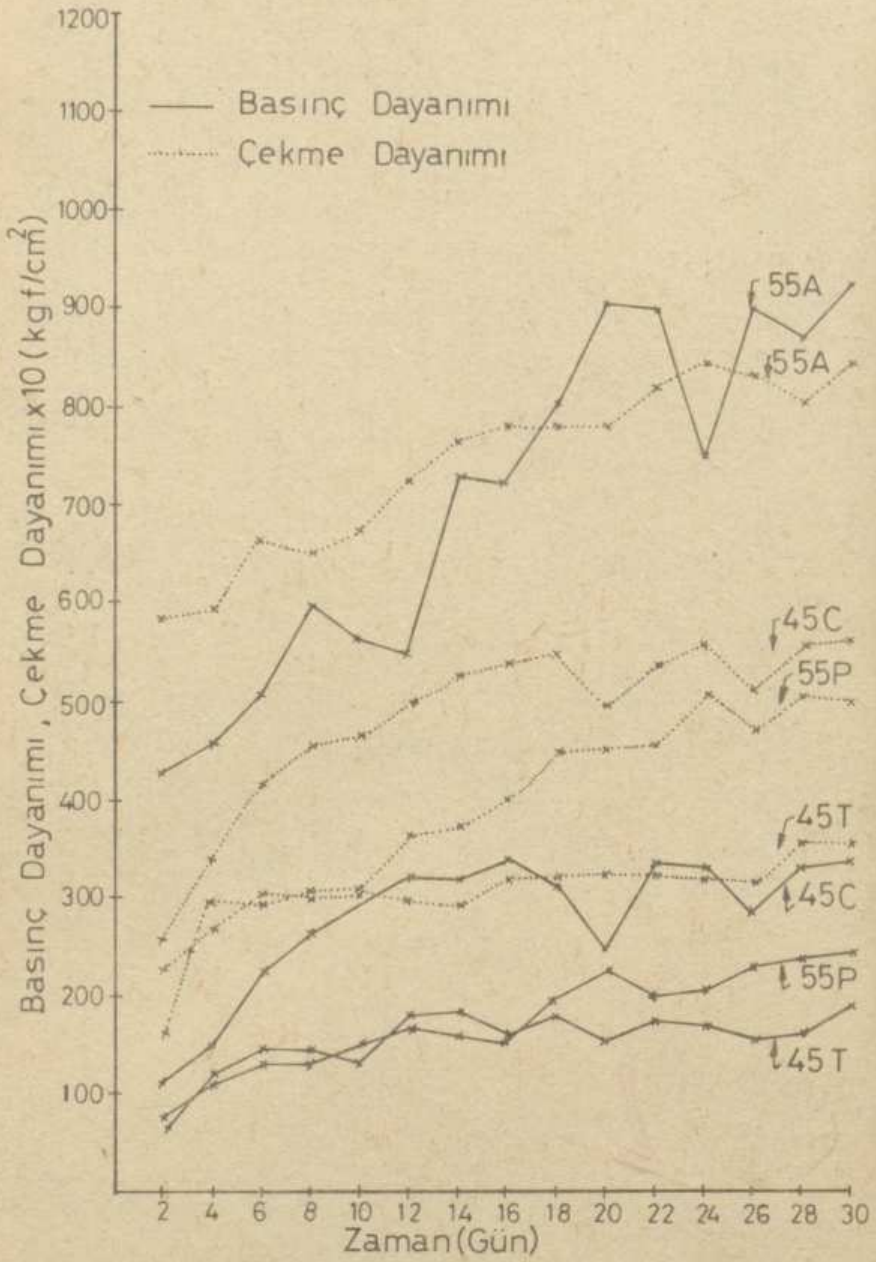
ŞEKİL 9: 51A, 41C, 51P ve 41T beton numunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



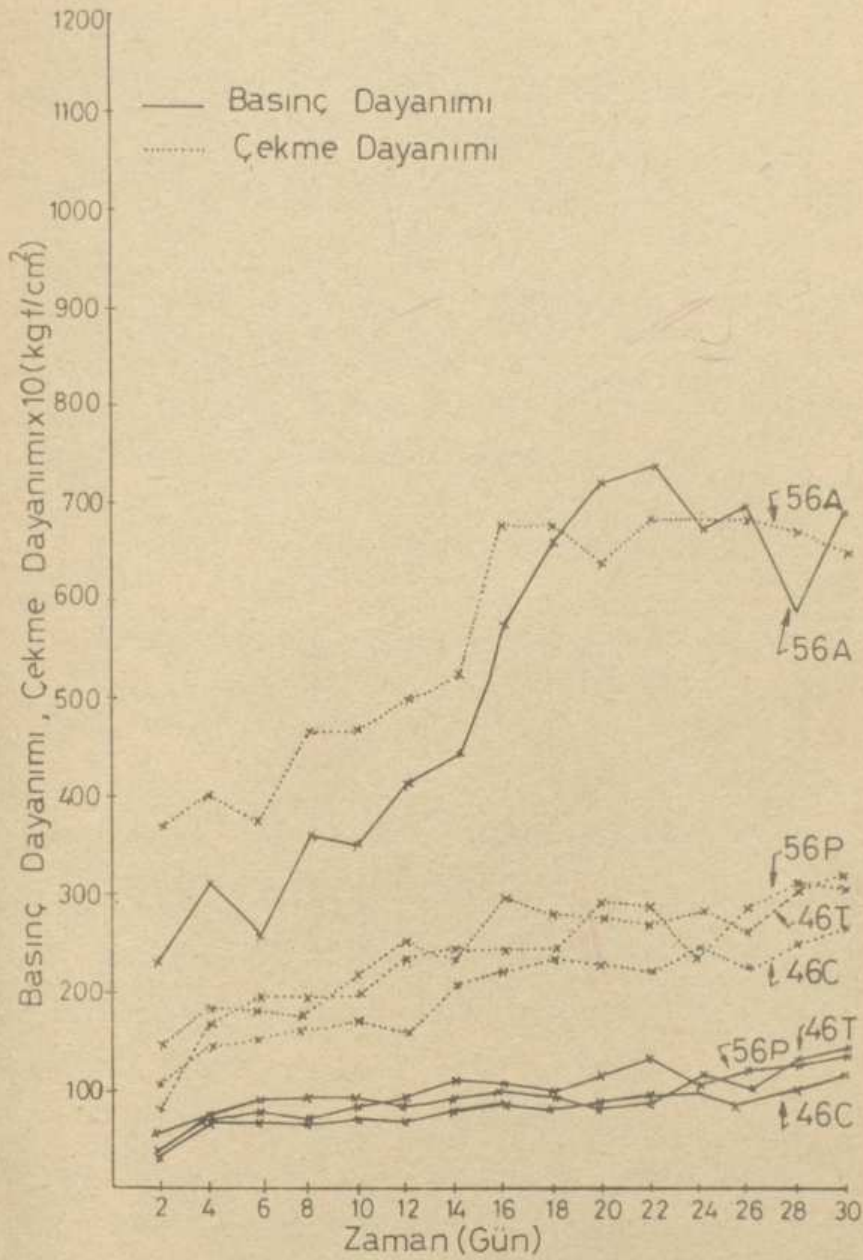
ŞEKİL 10: 52A, 42C, 52P ve 42T beton nümunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



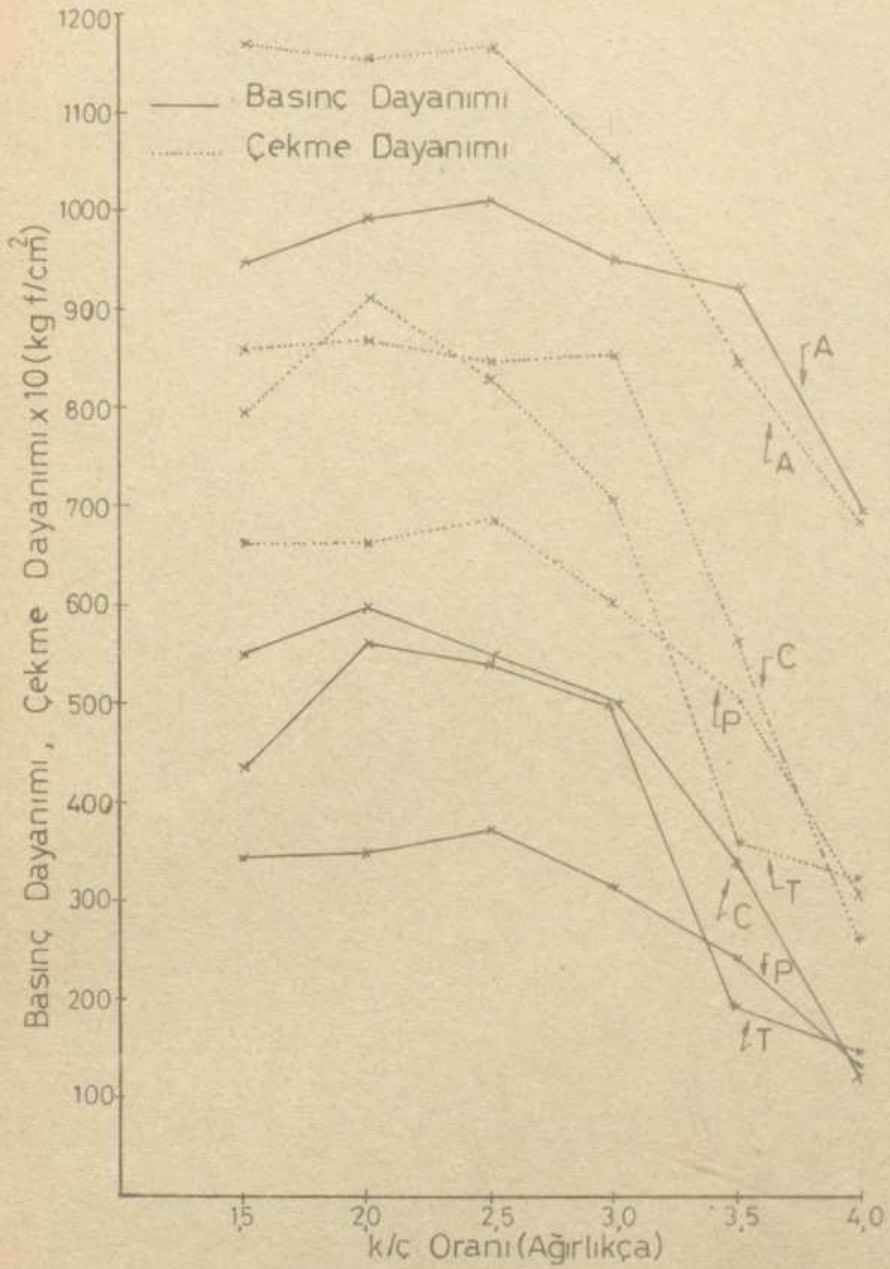
ŞEKİL 11: 53A, 43C, 53P ve 43T beton nümunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



ŞEKİL 12: 55A, 55C, 55P ve 45 beton nümunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



ŞEKİL 13: 56A, 46C, 56P ve 46T beton nümunelerinin 30 güne kadar dayanımlarının değişimi



SEKİL 14: Alüminli, curuf, portland ve traslı çimentolarla hazırlanan betonların k/c oranına bağlı olarak 30 günlük maksimum dayanımlarının değişimi

### 3. DENEYSSEL ÇALIŞMA ve SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1 Ön Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu Bölümde, daha önce elde edilen ön araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmış ve s/k/ç oranları ile yaşları saptanmış olan dört değişik beton numunesinde, s/ç ve k/ç oranlarının:

(1) Zamana bağlı olarak dayanımın gelişmesi üzerindeki etkileri;

(2) Maksimum dayanım değeri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

##### 3.1.1 Dayanıma s/ç Oranının Etkisi

TABLO 1 de belirtilen s/k/ç oranlarına göre hazırlanan numunelerin dayanım sonuçları, zamanın fonksiyonu olarak, ŞEKİL 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 de görülmektedir.

Yaşlanma ile beton dayanımlarının arttığı, s/ç oranının değişmesiyle de dayanım artış hızının değiştiği görülmektedir. Alüminli, curuf, portland ve trasslı çimentolar ile hazırlanan numunelerin 2, 10 ve 20 günlük dayanımlarının 30 günlük maksimum dayanımlarına

oranları (basitçe dayanım oranları) % olarak, TABLO 9 da verilmiş bulunmaktadır.

Bu tablo incelendiğinde, alüminli çimento ile hazırlanan nümunelerde çekme dayanım oranlarının basınç dayanım oranlarından daha büyük olduğu görülmektedir. 84A, 74A ve 64A ( TABLO 1 ) nümunelerinde s/ç oranının azalmasına paralel olarak görülen dayanım oranındaki düşme yaşlanma ile azalmaktadır. 64A, 54A, 44A ve 34A nümunelerinde de dayanım oranı artışının azalmakta olduğu, 24A nümunesinde ise dayanım oranının tekrar düştüğü görülmektedir. Bu dayanım oranı düşüşü 2 günlük 34A nümunesinde de olmaktadır. s/ç oranı çok düşük olan nümuneler suda muhafaza edilirken bir miktar su alarak hidratasyonu devam ettirdiklerinden dayanımları da yaşlanma ile daha fazla artmaktadır. s/ç oranının artması ile taneler arasındaki mesafe fazlalaşmakta ve sürekli jel oluşumu ancak zamanla meydana gelmektedir. Bu oranın daha da artması, hidratasyon ürünlerinin konversiyon reaksiyonlarını hızlandırdığından, zamanla dayanımın artışının azalmasına sebep olmaktadır.

Curuf çimentosu ile hazırlanan nümunelerde de ölçülebilen çekme dayanım oranlarının, basınç dayanım oranlarından daha fazla olduğu görülmektedir. s/ç oranının artmasına paralel olarak görülen dayanım oranı

TABLO 9 : Betonların yaşlarına bağlı olarak dayanımlarının maksimum değere (30 gün) erişmesi üzerine s/ç oranlarının etkilerine örnekler

| s/ç                | Yaş(gün) | 0,2               |                 | 0,3               |                 | 0,4               |                 | 0,5               |                 | 0,6               |                 | 0,7               |                 | 0,8               |                 |
|--------------------|----------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
|                    |          | Dayanım Oranı (%) | Çekme Oranı (%) | Dayanım Oranı (%) | Çekme Oranı (%) | Dayanım Oranı (%) | Çekme Oranı (%) | Dayanım Oranı (%) | Çekme Oranı (%) | Dayanım Oranı (%) | Çekme Oranı (%) | Dayanım Oranı (%) | Çekme Oranı (%) | Dayanım Oranı (%) | Çekme Oranı (%) |
| Kullanılır Çimento | 2        | 45,0              | 69,0            | 46,5              | 58,6            | 59,9              | 66,3            | 54,7              | 57,6            | 52,8              | 66,1            | 55,2              | 78,6            | 65,3              | 80,2            |
|                    | 10       | 60,0              | 76,8            | 75,9              | 78,5            | 74,3              | 79,4            | 76,4              | 77,7            | 69,0              | 76,2            | 67,9              | 91,1            | 84,9              | 97,4            |
|                    | 20       | 75,0              | 83,7            | 88,7              | 92,6            | 87,8              | 88,3            | 84,7              | 98,3            | 86,3              | 89,1            | 91,3              | 98,3            | 95,4              | 99,9            |
| Curuf              | 2        | 33,3              | -               | 45,6              | -               | 30,6              | 38,8            | 22,0              | 37,5            | 14,9              | 24,9            | 16,7              | 28,0            | 13,0              | 21,7            |
|                    | 10       | 50,0              | -               | 69,6              | 71,0            | 70,6              | 82,2            | 63,4              | 79,7            | 59,7              | 62,7            | 55,5              | 68,2            | 46,7              | 67,7            |
|                    | 20       | 66,7              | 32,7            | 84,8              | 91,1            | 90,9              | 91,9            | 85,1              | 92,1            | 81,8              | 82,3            | 79,5              | 82,9            | 82,6              | 82,6            |
| Portland           | 2        | 41,7              | 52,8            | 49,2              | 44,1            | 22,3              | 30,7            | 30,9              | 41,2            | 30,3              | 35,3            | 30,3              | 33,7            | 23,1              | 31,9            |
|                    | 10       | 50,0              | 63,8            | 66,7              | 68,5            | 51,9              | 60,4            | 68,0              | 73,2            | 63,0              | 67,7            | 67,8              | 70,0            | 66,7              | 74,4            |
|                    | 20       | 46,7              | 75,0            | 88,9              | 85,5            | 59,7              | 70,0            | 86,6              | 92,8            | 84,8              | 93,3            | 90,9              | 82,5            | 92,3              | 86,2            |
| Tresla             | 2        | 20,0              | -               | 45,5              | 64,2            | 41,8              | 63,3            | 36,6              | 57,1            | 34,0              | 45,1            | 24,0              | 33,2            | 26,4              | 34,0            |
|                    | 10       | 33,3              | -               | 86,4              | 86,8            | 81,1              | 92,6            | 75,8              | 83,0            | 77,5              | 79,7            | 78,7              | 83,1            | 72,7              | 75,6            |
|                    | 20       | 66,7              | -               | 93,2              | 91,2            | 95,9              | 85,0            | 89,4              | 98,4            | 98,0              | 89,0            | 94,7              | 96,2            | 89,3              | 93,7            |

Not : Bütün numunelerde k/ç oranı 3,0 dir.

düşüşünde yaşılanma ile azalma olmaktadır. Bu dayanım oranı düşüşü, taneler arası bağların ve jel sistemi teşekülünün güçleşmesinden ileri gelebilir. Ayrıca, çok düşük s/ç oranında da hidratasyonun gecikmesi ile tekrar dayanım oranında düşüş ortaya çıkmaktadır.

Portland çimentosu ile hazırlanan nümunelerden, yalnız 20 günlük 74P ve 84P nümuneleri ile 2 ve 20 günlük 34P nümunesinin çekme dayanım oranları, basınç dayanım oranlarından daha düşük olduğu görülmektedir. Çok düşük s/ç oranında normal bir dayanım oranı düşüşü olmaktadır. Ancak s/ç oranının artması ile beklenen dayanım oranı düşüşü görülmemektedir. Bu da çimento inceliğinin düşük olması ve dolayısıyla sürekli jel oluşumunun daha da gecikmesinden ileri gelebilir.

Traslı çimento ile hazırlanan nümunelerden çekme dayanımları ölçülebilen 2 ve 10 gün yaşlandırılmış nümunelerden çekme dayanım oranlarının basınç dayanım oranlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Çok düşük s/ç oranında hidratasyonun yavaşlaması ile dayanım oranı çok düşmektedir. s/ç oranının artması ile de zamanla azalan normal bir dayanım düşmesi görülmektedir.

Dayanımlara s/ç oranının etkisi ŞEKİL 8 de görülmektedir. Çok düşük s/ç oranlarında hidratasyon ve sıkışmanın tam olmaması dayanım düşmesine sebep olmaktadır. Genellikle, maksimum dayanım s/ç oranı 0,3 -

0,6 arasında olan nümunelerde görülmektedir. Tras ve curufun hidratasyonu için, diğeri bileşenlerin hidratasyonundan oluşan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  'a ihtiyaç olduğundan, düşük s/ oranı curuf ve traslı çimentolu nümunelerde daha fazla etkili olmaktadır. Aluminli çimentonun daha fazla hidratasyon suyuna ihtiyaç olduğundan, düşük s/ oranı dayanımın daha fazla düşmesine sebep olmaktadır. Maksimum dayanımdan sonra s/ oranının artması beton dayanımının lineer olarak, fakat daha yavaş düşmesine sebep olmaktadır.

Çekme dayanımları da basınçla aynı yönde fakat farklı miktarda değışmektedir. Düşük s/ oranında rt-renin fazla olması ile meydana gelebilen mikro çatlaklar, genel olarak, çekme dayanımını daha fazla etkilemektedir. Aluminli çimentolu nümunelerde s/ oranının yükselmesinin dayanımı daha fazla düşürdüğü görülmektedir.

### 3.1.2 Dayanıma k/ Oranının Etkisi

TABLO 2 de belirtilen s/k/ oranlarında hazırlanan nümunelerin dayanım sonuçları zamanın fonksiyonu olarak, ŞEKİL 9, 10, 11, 12 ve 13 de görülmektedir.

Genel olarak, dayanımlar zamanla ve k/ oranına bağılı olarak bir artış göstermektedir. Aluminli, curuf, portland ve traslı çimentolar ile hazırlanan n-

munelerin 2, 10 ve 20 günlük dayanımlarının 30 günlük dayanımlarına oranları (basitçe dayanım oranları) % olarak TABLO 10 da verilmiş bulunmaktadır.

Bu tablo incelendiğinde, aluminli imento ile hazırlanan nümunelerde k/ oranının artışı ile genellikle bir dayanım oranı düşüşü görülmektedir. Bu dayanım oranı azalması, s/ oranının artışı ile ortaya çıkan normal dayanım oranı düşüşüne paraleldir. Ayrıca yaşlanma ile azalan bu dayanım oranı düşüşü 20 günlük nümunelerde tekrar bir artışı da göstermektedir. k/ oranı çok düşük nümunelerde, sabit olan s/ oranının etkinliği arttığından, buna paralel olarak normal bir dayanım oranı artışı ortaya çıkmaktadır. k/ oranı çok yüksek olan nmunelerdeki dayanım oranı değişmesi s/ oranı çok düşük nmunelerinkine benzemektedir.

Diğer imentolar ile hazırlanan betonlarda genellikle, k/ oranının artması ile azalan etkin s/ oranı dayanım oranını artırmaktadır. Özellikle traslı ve curuflu çimentolar ile hazırlanan k/ oranı daha yüksek nümunelerde, bağlayıcı fazın tüm tanecikleri sarmasının güçleşmesi sonucu olarak dayanım oranında düşüşü görülmektedir.

Dayanımların k/ oranları ile değişimi, şEKİL 14 de görülmektedir. Genel olarak, s/ oranının sabit tutulması ile k/ oranının dayanıma etkisi az olmaktadır. k/ oranının artması ile, kum tanelerinin tuttuğu su

TABLO 10: Betonların yaşlarına bağlı olarak dayanımlarının maksimum değere (30 gün) erişmesi üzerine k/ç oranlarının etkileri-  
ne örnekler

| Kullanılan Çimento | k/ç | 1,5                       |                         | 2,0                       |                         | 2,5                       |                         | 3,0                       |                         | 3,5                       |                         | 4,0                       |                         |
|--------------------|-----|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                    |     | Basıncı Dayanım Oranı (%) | Çekme Dayanım Oranı (%) | Basıncı Dayanım Oranı (%) | Çekme Dayanım Oranı (%) | Basıncı Dayanım Oranı (%) | Çekme Dayanım Oranı (%) | Basıncı Dayanım Oranı (%) | Çekme Dayanım Oranı (%) | Basıncı Dayanım Oranı (%) | Çekme Dayanım Oranı (%) | Basıncı Dayanım Oranı (%) | Çekme Dayanım Oranı (%) |
| Alüminiyum         | 2   | 68,9                      | 76,2                    | 56,8                      | 62,5                    | 56,8                      | 68,5                    | 54,7                      | 57,6                    | 46,9                      | 68,6                    | 32,9                      | 53,7                    |
|                    | 10  | 83,4                      | 86,6                    | 75,7                      | 83,3                    | 74,4                      | 78,4                    | 76,4                      | 77,7                    | 61,4                      | 79,4                    | 52,7                      | 69,2                    |
|                    | 20  | 87,8                      | 91,3                    | 86,4                      | 91,3                    | 83,0                      | 90,3                    | 84,7                      | 98,3                    | 87,1                      | 92,1                    | 95,0                      | 98,3                    |
| Curuf              | 2   | 21,6                      | 37,0                    | 29,5                      | 47,3                    | 30,6                      | 46,6                    | 30,6                      | 38,8                    | 34,0                      | 45,6                    | 32,4                      | 40,0                    |
|                    | 10  | 59,7                      | 82,2                    | 68,8                      | 85,7                    | 72,6                      | 77,8                    | 70,6                      | 82,2                    | 88,4                      | 82,0                    | 67,6                      | 64,5                    |
|                    | 20  | 79,0                      | 91,1                    | 85,6                      | 94,6                    | 91,4                      | 88,5                    | 90,9                      | 91,9                    | 94,9                      | 97,5                    | 82,3                      | 86,7                    |
| Portland           | 2   | 11,9                      | 21,4                    | 23,0                      | 40,6                    | 25,2                      | 35,2                    | 30,9                      | 41,2                    | 30,8                      | 32,2                    | 28,6                      | 27,3                    |
|                    | 10  | 52,3                      | 75,1                    | 62,2                      | 78,7                    | 58,5                      | 63,3                    | 68,0                      | 73,2                    | 62,8                      | 72,9                    | 66,7                      | 66,3                    |
|                    | 20  | 88,1                      | 98,9                    | 89,6                      | 94,7                    | 84,7                      | 83,3                    | 86,6                      | 92,8                    | 83,3                      | 90,6                    | 88,1                      | 95,4                    |
| Tıraslı            | 2   | 23,0                      | 38,2                    | 45,4                      | 56,0                    | 50,9                      | 65,0                    | 41,8                      | 63,3                    | 37,1                      | 61,5                    | 39,8                      | 47,4                    |
|                    | 10  | 62,6                      | 75,0                    | 79,8                      | 83,1                    | 80,7                      | 81,1                    | 81,1                      | 92,6                    | 75,0                      | 81,1                    | 65,9                      | 67,5                    |
|                    | 20  | 81,6                      | 80,9                    | 91,1                      | 92,9                    | 90,7                      | 95,8                    | 95,9                      | 85,0                    | 90,3                      | 87,4                    | 70,5                      | 85,8                    |

Not : Curuf ve tıraslı çimentolu numunelerde s/ç oranı 0,4 ; alüminiyum ve portland çimentolu numunelerde ise 0,5 dir.

miktarına bağılı olarak, etkin s/ç oranının azalması, bütün taneciklerin bağlayıcı ile tutulmasının zorlaşması ve sıkışmanın tam olmaması gibi nedenlerle dayanım düşmektedir. k/ç oranı 1,5 - 3,0 arasında dayanım maksimum olmaktadır. Yüksek k/ç oranında dayanım düşüşü daha sürekli olmaktadır. Alüminli ve portland çimentoları ile hazırlanan nümunelerde daha yüksek k/ç oranında maksimum dayanıma erişilmektedir.

### 3.1.3 Dayanımların Karşılaştırılması

Beton dayanımına s/k/ç oranından başka, ŞEKİL 8 ve 14 de görüldüğü gibi, kullanılan çimento türünün de önemli ölçüde etkisi olmaktadır (TABLO 11).

s/k/ç oranının dayanıma etkisi de kullanılan çimento türü ile değişmektedir. Örneğin, s/k/ç oranı 0,2/3,0/1,0 olan alüminli, curuf, portland ve traslı çimentolu nümunelerde sırasıyla basınç dayanımlarının oranı, 1,00/0,25/0,52/0,17 çekme dayanımları oranı ise 1,00/0,39/0,69/ - olduğu halde s/k/ç oranı 0,8/3,0/1,0 olan ve aynı çimentolardan hazırlanan nümunelerde basınç dayanımlarının oranı, 1,00/0,26/0,22/0,35; çekme dayanımlarının oranı, 1,00/0,69/0,64/0,89 olmaktadır.

Çimentoların TABLO 8 de gösterilen özellikleri, bölüm 2.3.7 deki eğrilerle karşılaştırıldığında çimen-

TABLO 11 : s/k/ç oranı 0,4/3,0/1,0 olan nümunelerin 30 günlük maksimum dayanımları

| Kullanılan Çimento                     | Alüminli | Curuf  | Portland | Traslı |
|----------------------------------------|----------|--------|----------|--------|
| Basınç Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 928,12   | 500,00 | 339,06   | 496,88 |
| Çekme Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )  | 105,42   | 85,41  | 55,22    | 70,79  |

to bileşiminin ve fiziksel özelliklerinin dayanıma etkileri kolayca görülecektir. Alüminli çimentonun farklı bileşimi ve inceliğinin fazla olması hidratasyonu hızlandırmakta ve bunun sonucu olarak bu nümunelerde dayanım yüksek olmaktadır. Portland çimentosu ile hazırlanan nümunelerde ise çimentonun inceliği diğerlerine göre daha az olduğundan, başka bir deyimle, toplam yüzey daha küçük olduğundan, hidratasyon da bununla orantılı olarak daha yavaş gelişmektedir. Çimento tanelerinin nisbeten büyük olması aynı zamanda çimentonun kum tanelerini kafi derecede sarmasına imkan vermemektedir. Bu da, sonuç olarak, dayanımın daha düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu özelliklerin çekme dayanımında daha az etkili olmaları, bağlayıcı fazın çekme dayanımında ikinci derecede rol oynadığını göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan traslı çimento, Trabzon Çimento Fabrikasından getirtilmiş, curuf çimentosu ise değişik bileşimde bir klinker kullanılarak özel şekilde hazırlanmıştır. Bu nedenle curuf ve traslı çimentolarda ortaya çıkan dayanım farklılıklarını doğrudan doğruya çimentonun bileşimine bağlamak mümkün olmamaktadır.

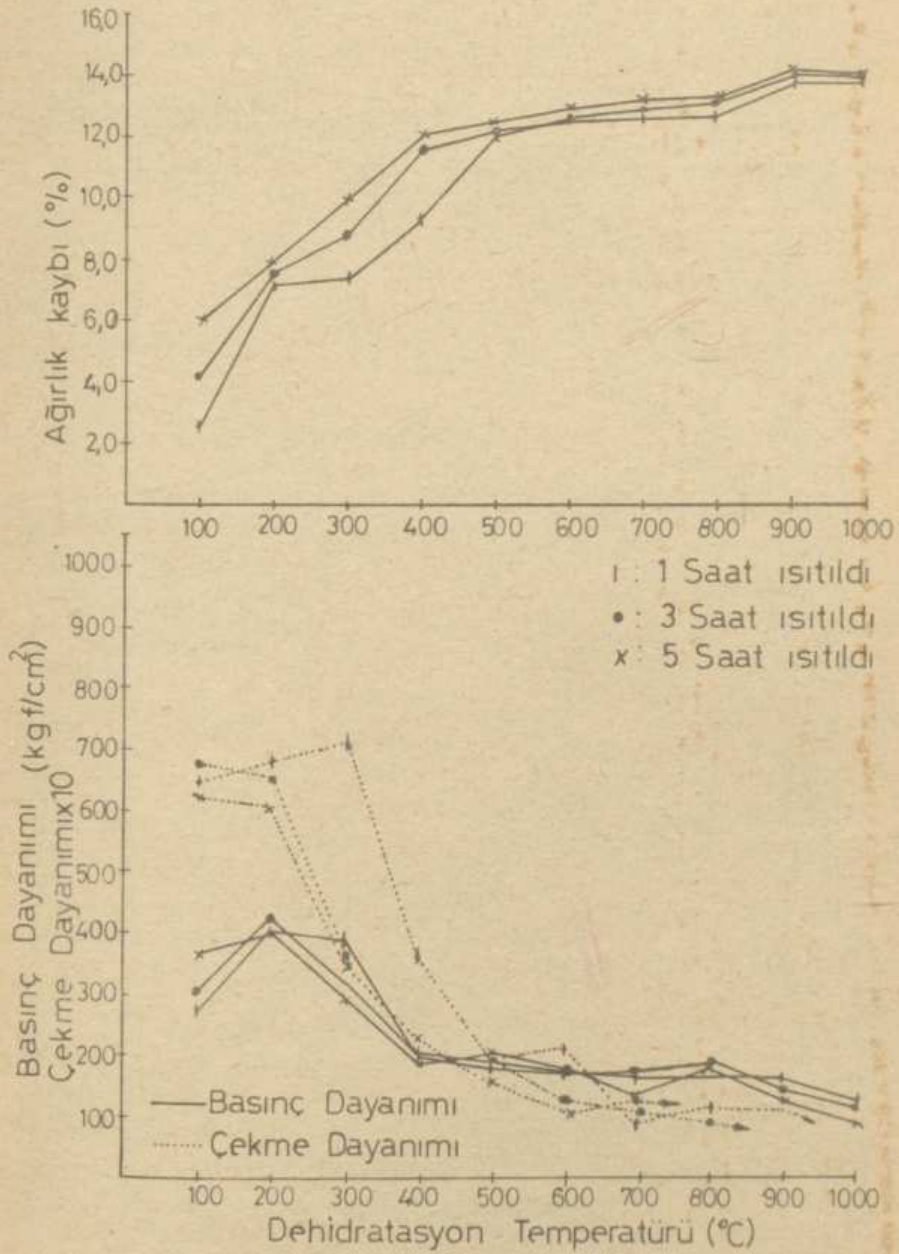
### 3.2 Dehidratasyon Sonuçları

Bu bölümde, daha önce bölüm 2.1.1 de saptanmış s/k/ç oranlarında hazırlanan numunelerin 28 günlük hidrasyonundan sonra, çeşitli sıcaklıklarda farklı süreler ısıtmakla dehidratasyonlarına çalışıldı.

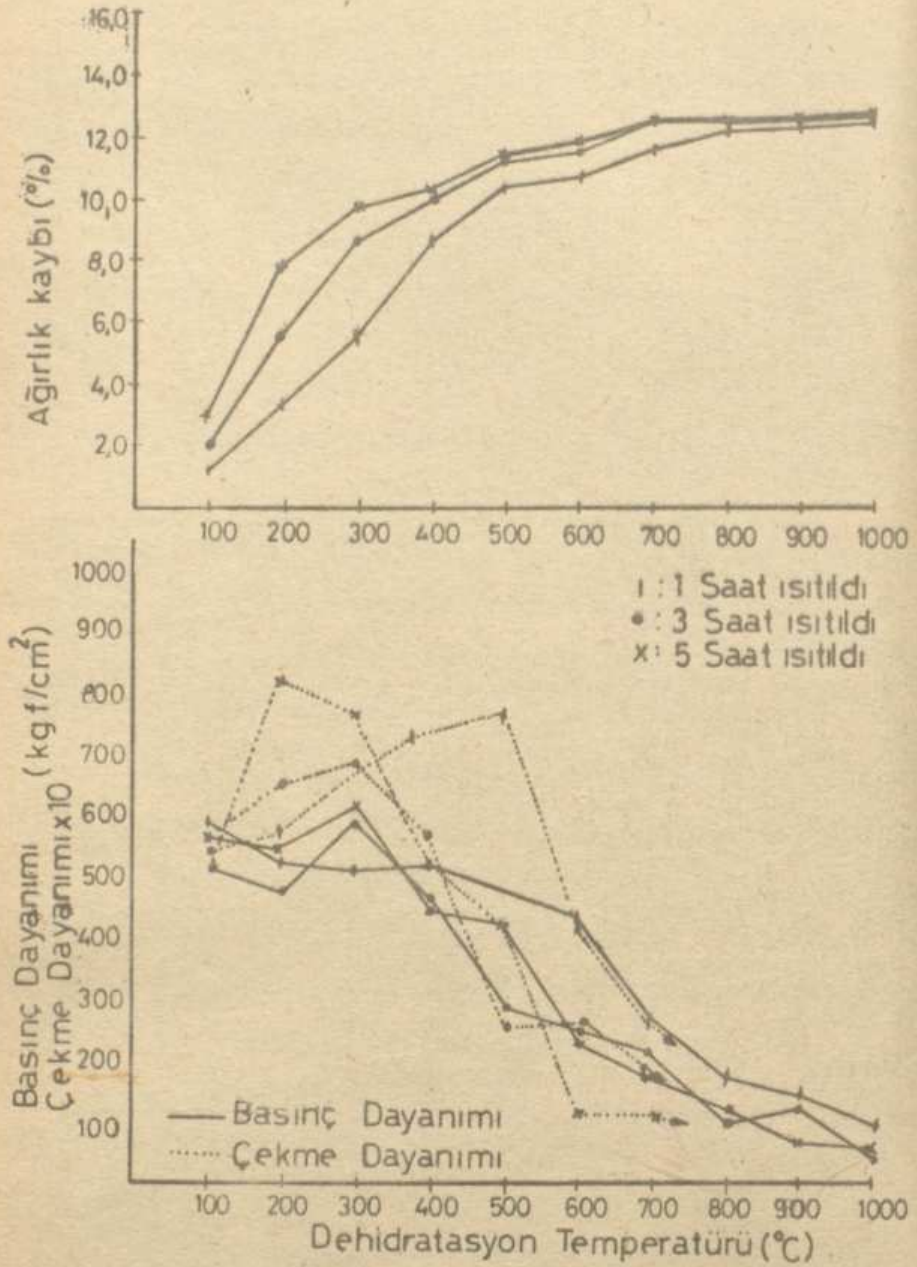
Dehidratasyon ile ortaya çıkan dayanım ve ağırlık değişimleri, farklı ısıtma süreleri için, sıcaklığın fonksiyonu olarak incelendi. Ayrıca bölüm 2.1.3 deki esaslara göre hazırlanan numunelerin DTA ları da yapılarak sıcaklığın yükselmesi ile dehidratasyon ve bünyede meydana gelen değişimler incelendi.

#### 3.2.1 Sıcaklık - Ağırlık Kaybı Bağıntıları

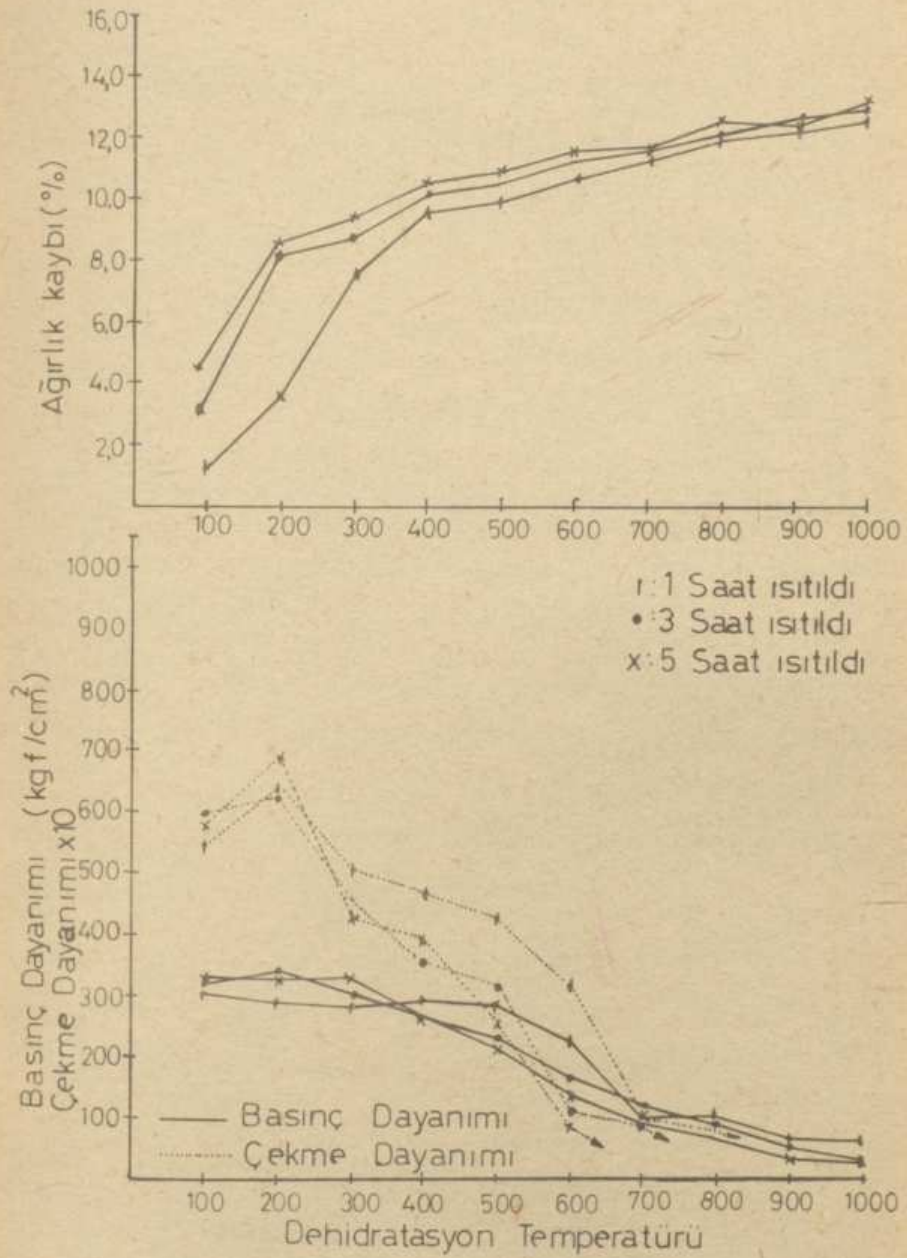
Bölüm 2.1.2 deki esaslara göre dehidratize edilen beton numunelerinin ağırlık kayıpları sıcaklığın fonksiyonu olarak ŞEKİL 15, 16, 17 ve 18 de görülmekte-



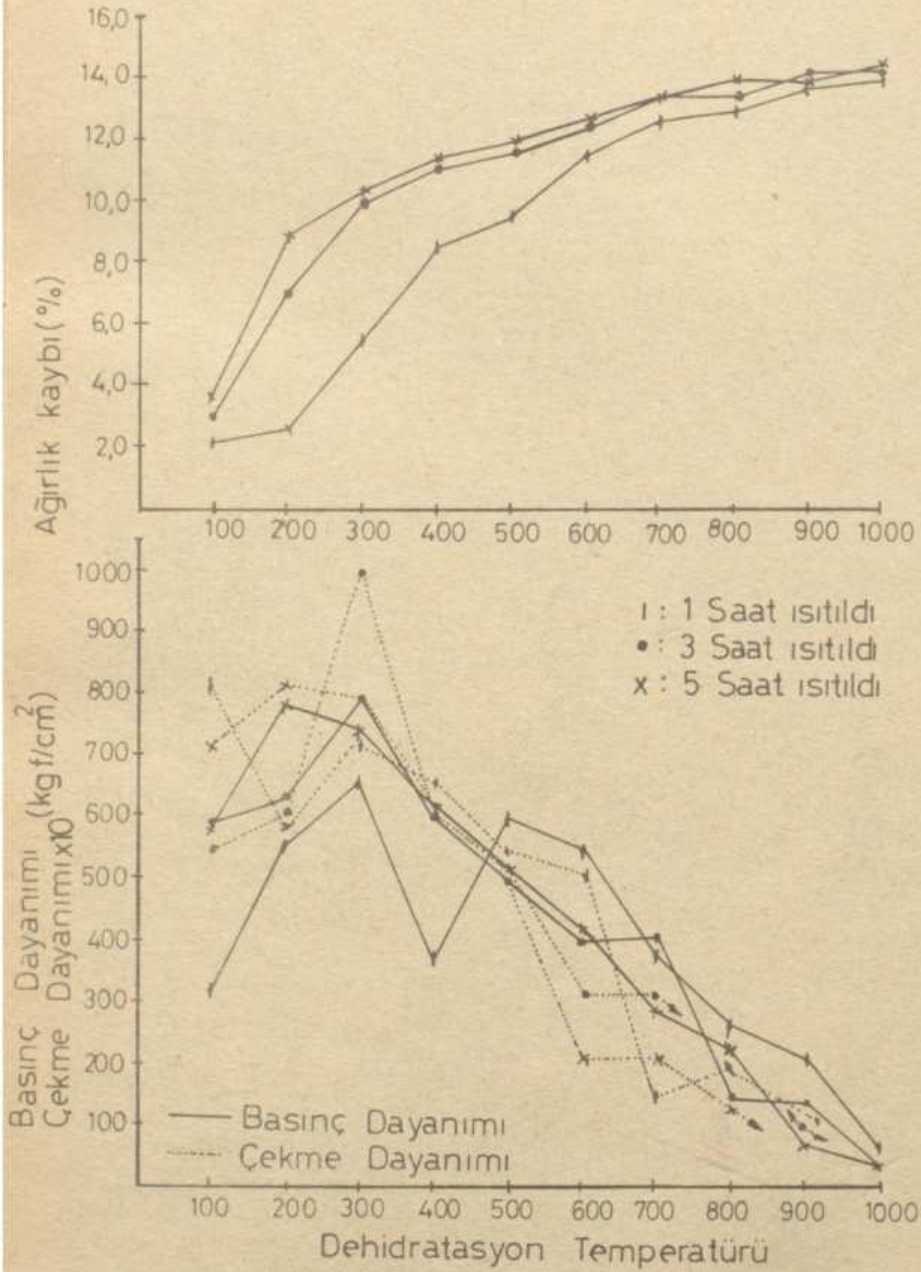
ŞEKİL 15.53A nümunelerinin dehidratasyondan sonraki ağırlık değişimi ve dayanımları



ŞEKİL 16: 42C numunelerinin dehidratasyondan sonraki ağırlık değişimi ve dayanımları



ŞEKİL 17 : 53P numunelerinin dehidratasyondan sonraki ağırlık değişimi ve dayanımları



ŞEKİL 18: 42 T numunelerinin dehidratasyondan sonraki ağırlık değişimi ve dayanımları

dir.

Grafiklerin incelenmesinden de görüleceği gibi , betonlar ısı ile sürekli bir ağırlık kaybı göstermektedirler. Isıtma süresinin ağırlık kaybına etkisi daha ziyade düşük sıcaklıklarda kendini göstermektedir.

Genel olarak düşük sıcaklıklarda ağırlık kaybı daha fazladır. Numunelerin rutubet sandığında ve su banyosunda aldığı su ile buharlaşma sonucu kaybettiği su göz önüne alınmayıp yalnız karışım suyu dikkate alınarak, 53A ile 53P numunelerinde ağırlıkça % 12,50 ve 42C ile 42T numunelerinde ise % 11,76 oranında çeşitli şekillerde su bulunduğu saptanmıştır.

Ağırlık kaybı - sıcaklık eğrileri incelendi -ğinde numuneler muhafaza edilirken de bir miktar su aldıkları ve bu tür suyun en fazla traslı da olmak üzere sırasıyla alüminli, curuf ve portland çimento lu numunelerde bulunduğu anlaşılmaktadır (TABLO 12 ).

Daha ziyade serbest suyun uzaklaştığı 200°C de ve  $\text{Ca(OH)}_2$  ' ın dehidratize olduğu 500 - 600°C lerdeki ısıtmalarda en az ağırlık kaybı alüminli çimento ile hazırlanan numunelerde olmaktadır.

Görüldüğü gibi beton numunelerinin dehidratasyonları doğrudan doğruya ağırlık kaybı ile izlenmektedir. 200°C ye kadar ağırlık kaybı daha çok serbest suyun buharlaşmasından, 600°C ye kadar ise buna ilaveten, buhar-

lağamıyan su olarak da bilinen, hidratasyon suyunun ayrılmasından ileri gelmektedir. Genellikle dehidratasyon 800°C de son bulduğu halde daha yüksek sıcaklıklarda de  $\text{CaCO}_3$ 'ün bozunması gibi bazı reaksiyonlar ağırlık kaybına sebep olmaktadır.

TABLO 12 : Betonların çeşitli sıcaklıklarda 5 saat ısıtılması ile uğradıkları ağırlık kayıpları na örnekler

| Nümune | 200°C de ağırlık kaybı(%) | 400°C de ağırlık kaybı(%) | 800°C de ağırlık kaybı(%) | 1000°C de ağırlık kaybı (%) |
|--------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 53A    | 7,91                      | 12,01                     | 13,32                     | 14,06                       |
| 42C    | 7,80                      | 10,38                     | 12,44                     | 12,73                       |
| 53P    | 8,50                      | 10,69                     | 12,69                     | 13,03                       |
| 42T    | 8,79                      | 11,39                     | 14,04                     | 14,44                       |

### 3.2.2 Sıcaklık - Dayanım Bağıntıları

Nümunelerin ısıtılması ile meydana gelen dayanım değişimleri de yine ŞEKİL 15, 16, 17 ve 18 de verilmiş bulunmaktadır. Bu grafiklerde ısıtma süresi ve sıcaklığının beton dayanımına etkisi görülmektedir.

(1) Alüminli çimento ile hazırlanan nümuneler:Bu nümuneler düşük sıcaklıklarda önemli ölçüde dayanım kaybetmeye başlamaktadırlar. Örneğin, 3 saat 100°C de bekletilen nümunenin ( $\text{AlF}_3$ ) basınç dayanımı, ilk day-

niminin % 29,32'i ve çekme dayanımı ise ilk dayanımının % 57,28'i kadar olmaktadır. Isıtma temperaturünün yükselmesi ile dayanım düşüşü artmaktadır. Fakat 200°C de daha az etkilendiği görülmektedir. Örneğin, A2F3 nümunesinin basınç dayanımı, ilk dayanımının % 41,05'i ve çekme dayanımı, ilk dayanımının % 56,28'i olduğu halde, A4F3 nümunesinin basınç dayanımı, ilk dayanımının % 19,75'i ve çekme dayanımı ise ilk dayanımının % 17,08'i kadardır. 800°C de dehidratize edilen numunelerde dayanım kaybı nisbeten daha az görülmektedir. Örneğin, A8F3 nümunesinin dayanımı A7F3 den daha yüksektir. Bu oluşmaya başlayabilecek seramik bağlardan ileri gelebilir. Isıtma temperaturünün daha da artması, meydana gelen hacim değişiklikleri sonucu, dayanımı düşürmeye devam etmektedir. A10F3 nümunesin basınç dayanımı ilk dayanımının % 11,42'i kadar olmaktadır.

(2) Curuf çimentosu ile hazırlanan numuneler:

300°C' ye kadar ısıtılan numunelerin dayanımında fazla bir değişiklik görülmezken, temperaturün daha da artması ile sürekli bir dayanım kaybı ortaya çıkmaktadır. Örneğin, orijinal dayanımlarına oranla, C5F5 nümunesinde basınç dayanımı, % 70,68 ve çekme dayanımı, % 48,65 kadar olduğu halde, C8F5 nümunesinde basınç dayanımı, % 18,8 olmaktadır. Hidrolik bağlanma son bulunca ısıtma temperaturünün daha da yüksek olması dayanımı nisbeten az etkiliyerek C10F5 nümunesinde basınç dayanım, ilk

dayanımının % 7,85'i kadar olmaktadır.

(3) Portland çimentosu ile hazırlanan nümuneler:

Bu nümunelerde de sürekli dayanım düşüşü 300°C den sonra görülmektedir. 700°C' ye kadar dehidratize edilmekle özellikle çekme dayanımı daha fazla azalmaktadır. Örneğın, P5F3 nümunesinde basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk değerlerinin % 61,38 ve % 45,74' olduğu halde P7F3 de % 29,27 ve % 13,43'; P10F3 de ise basınç dayanımı ilk değerinin % 8,13' kadar olmaktadır.

(4) Traslı çimento ile hazırlanan nümuneler : Bu

nümunelerin dehidratasyonunda ise 300°C'ye kadar dayanım artışı, 300°C'nin üzerinde ise sürekli dayanım düşüşü olmaktadır. Örneğın, T7F5 nümunesinde basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk dayanımının % 52,08 ve % 23,08'i olurken T9F3 de % 24,93 ve % 12,18'i; T10F3 de ise basınç dayanımı ilk değerinin % 6,65'i kadar olmaktadır.

Genel olarak mikro çatlıkların oluştğu yüksek temperaturlerde ısı, çekme dayanımını basınç dayanımından daha fazla etkilemektedir.

Curuf, portland ve traslı çimentolarla hazırlanan betonların, 300°C ye kadar ısıtılmalarında ortaya çıkan ağırlık kaybı çok fazla olduğu halde dayanım kaybı fazla değildir. Hatta özellikle traslı çimento ile hazırlanan nümunelerde dayanımın arttığı görülmektedir.

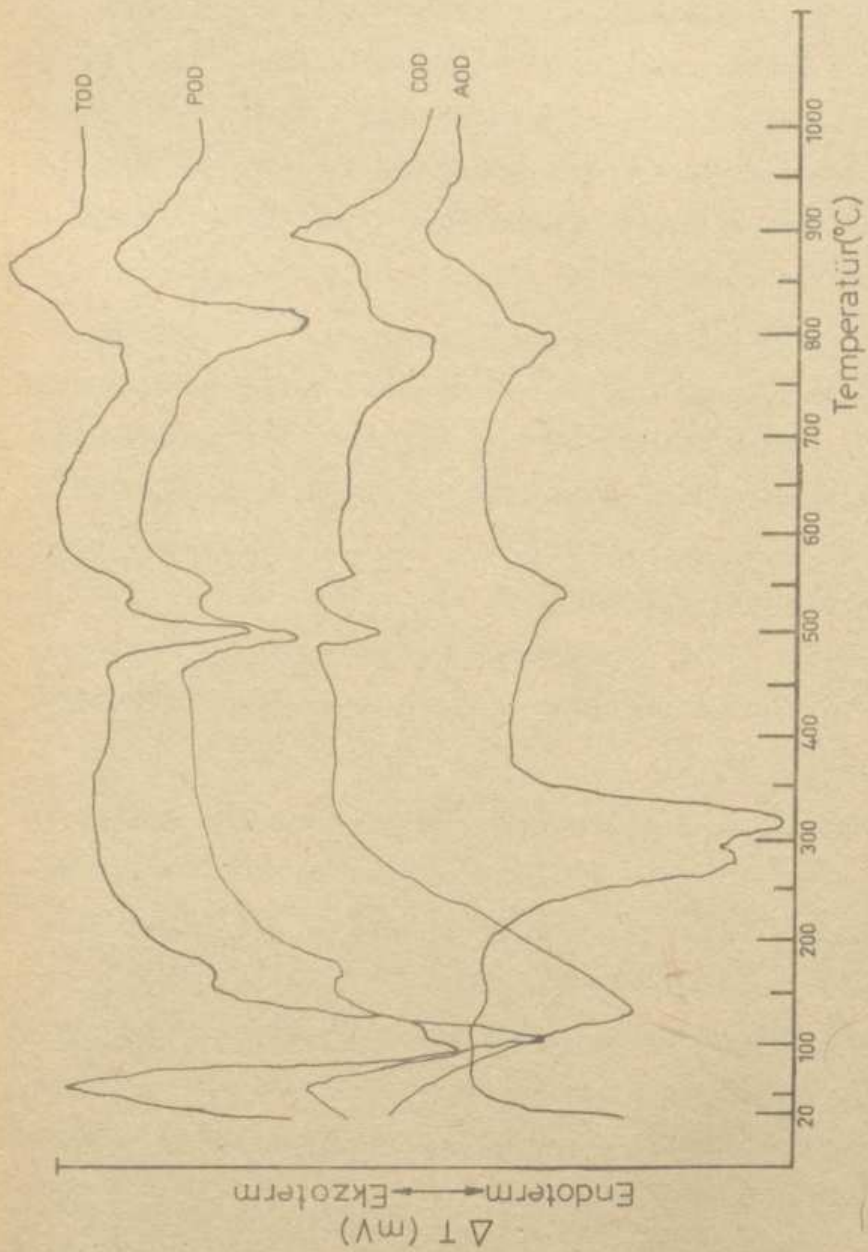
Bu durum hidratasyon hızının artmasından ileri gelmektedir. Alüminli çimento ile hazırlanan numuneler ise bu konuda istisna teşkil etmektedir. Grafiklerde de görüldüğü gibi bu numunelerin 100°C de ısıtılmaları dahi önemli dayanım kaybına sebep olmaktadır. 300°C'nin üstündeki ısıtmalarda ise porozite artışı ve hidrolik bağlanmanın zayıflaması sonucu genellikle, sürekli ağırlık kaybı (dehidratasyon) ile beraber dayanım kaybı da olmaktadır.

5 saat 1000°C de dehidratize edilen beton numunelerinden ilk dayanımlarına nazaran en fazla dayanım kaybı alüminli sonra sırasıyla curufllu, traslı ve en az portland çimentolu numunelerde görülmektedir.

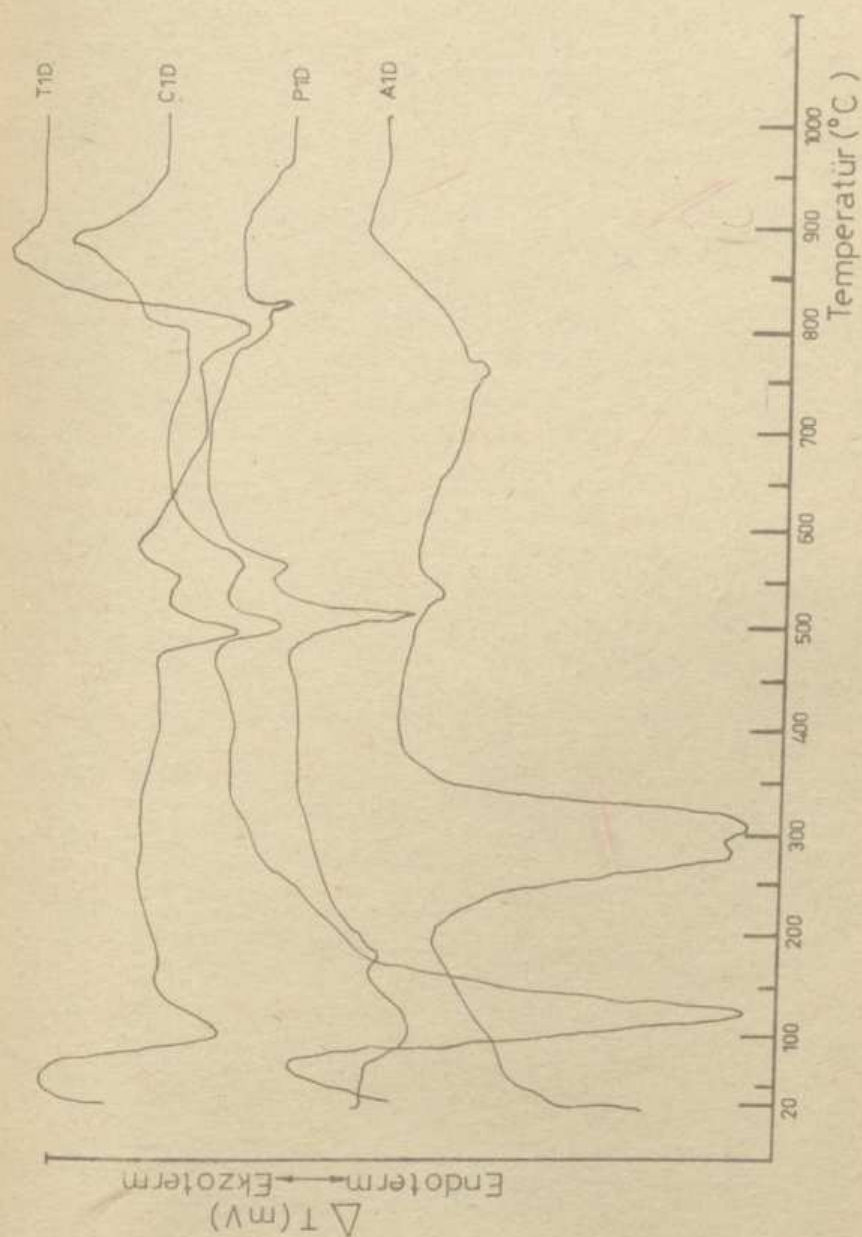
### 3.2.3 DTA Sonuçları

DTA eğrileri ŞEKİL 19-29 da verilmiş bulunmaktadır.

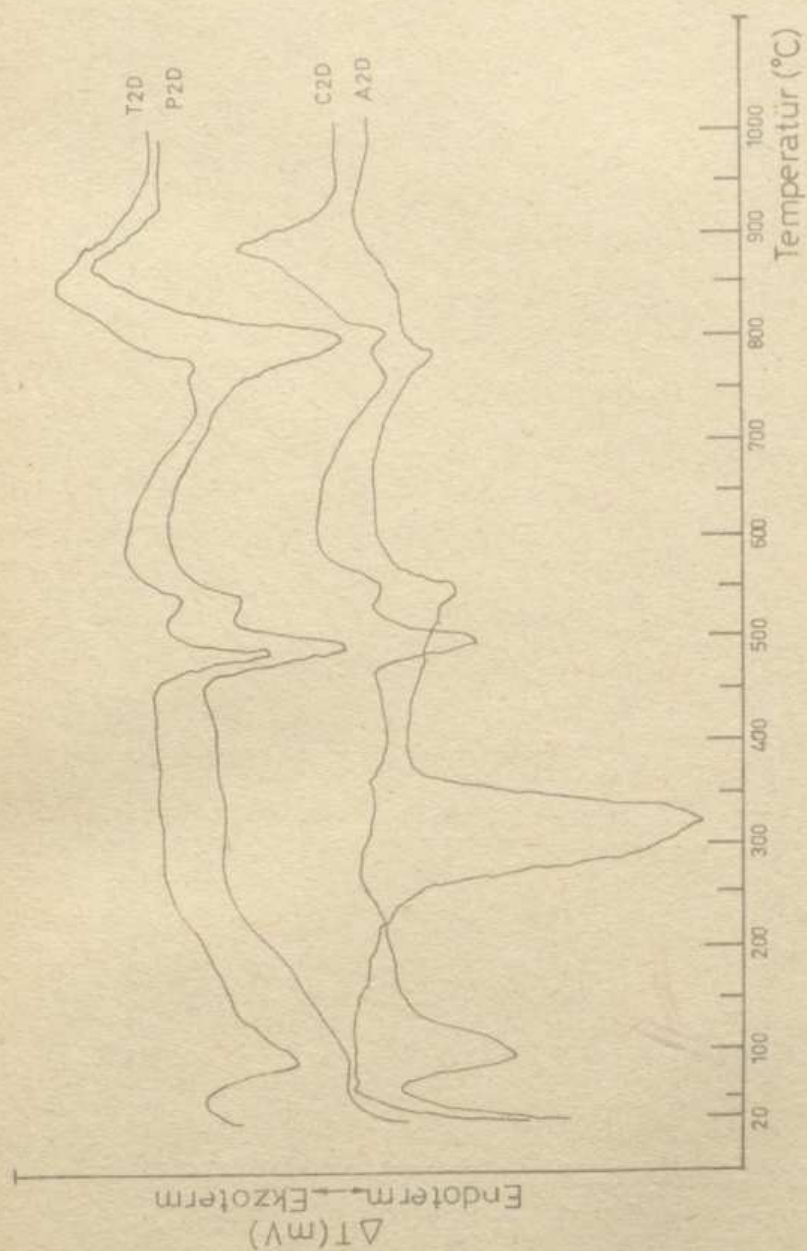
Genel olarak her dört çimento türü ile hazırlanan beton numunelerinin orijinal halde, 100°C ve 200°C de dehidratize edildikten sonra yapılan DTA larının incelenmesi, bunların 200°C de dahi bir miktar serbest su ihtiva edebildiklerini göstermektedir. Alüminli çimentolu numunelerde 200 - 400°C de görülen şiddetli bir endotermik pik, 300°C de ısıtılan örneklerin DTA larında da kendini göstermektedir. Genellikle, 100 - 200°C civarın-



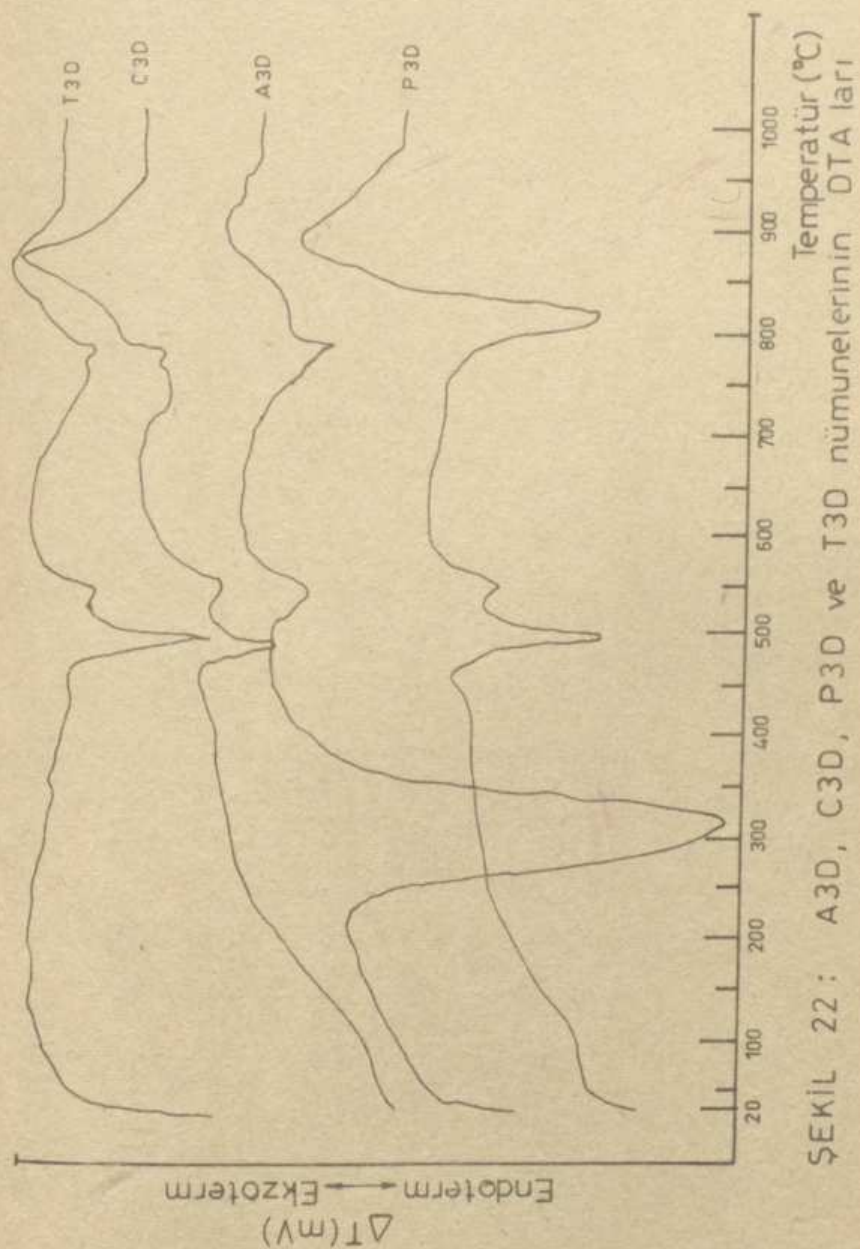
SEKİL 19: AOD , COD , POD ve TOD nümunelerinin DTA ları



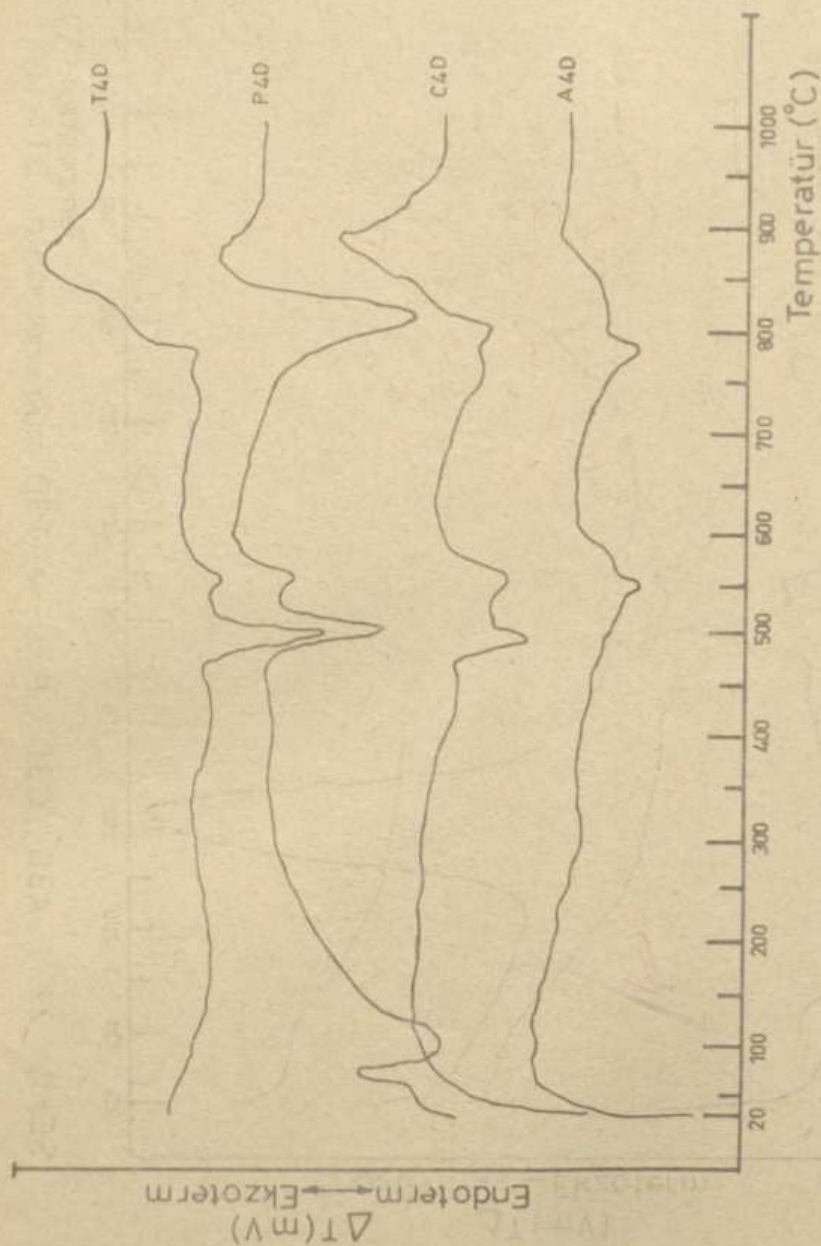
ŞEKİL 20: A1D, C1D, P1D ve T1D numunelerinin DTA ları



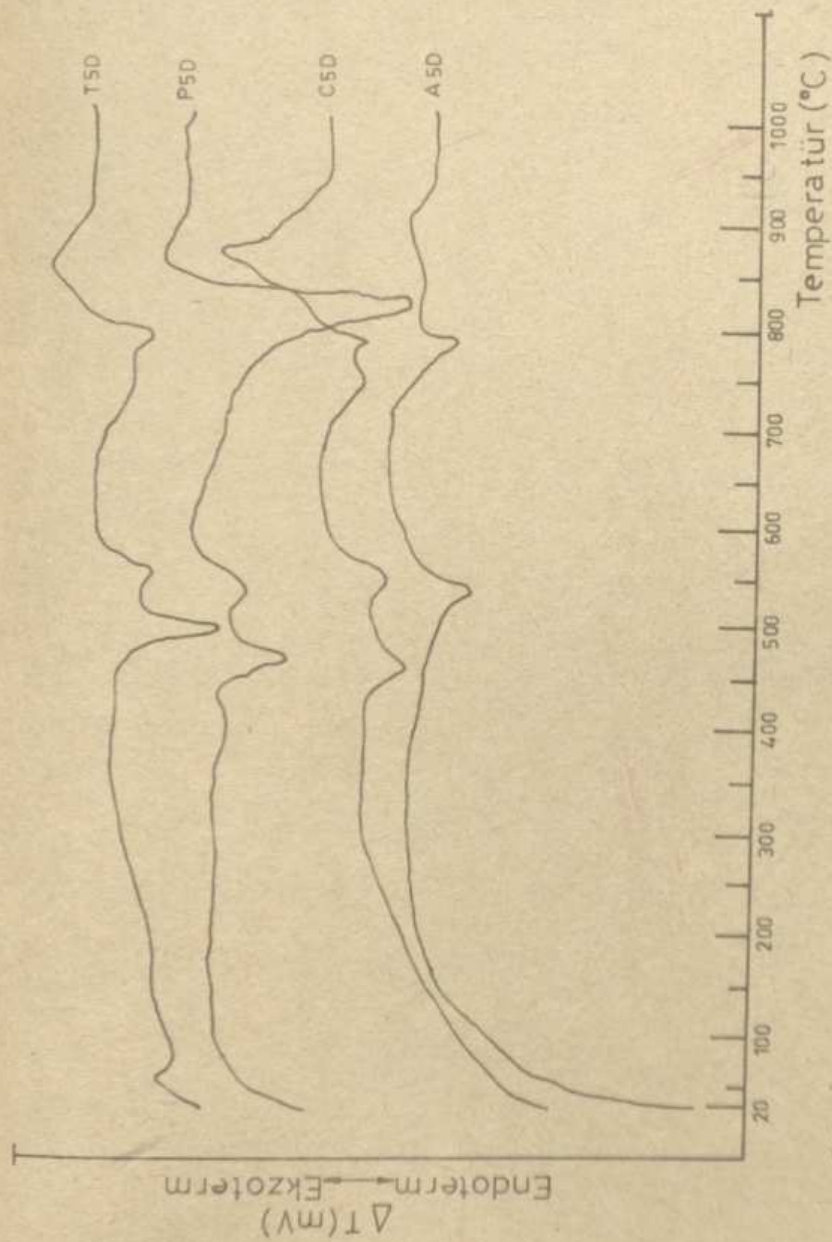
ŞEKİL 21: A2D , C2D , P2D ve T2D nümunelerinin DTA ları



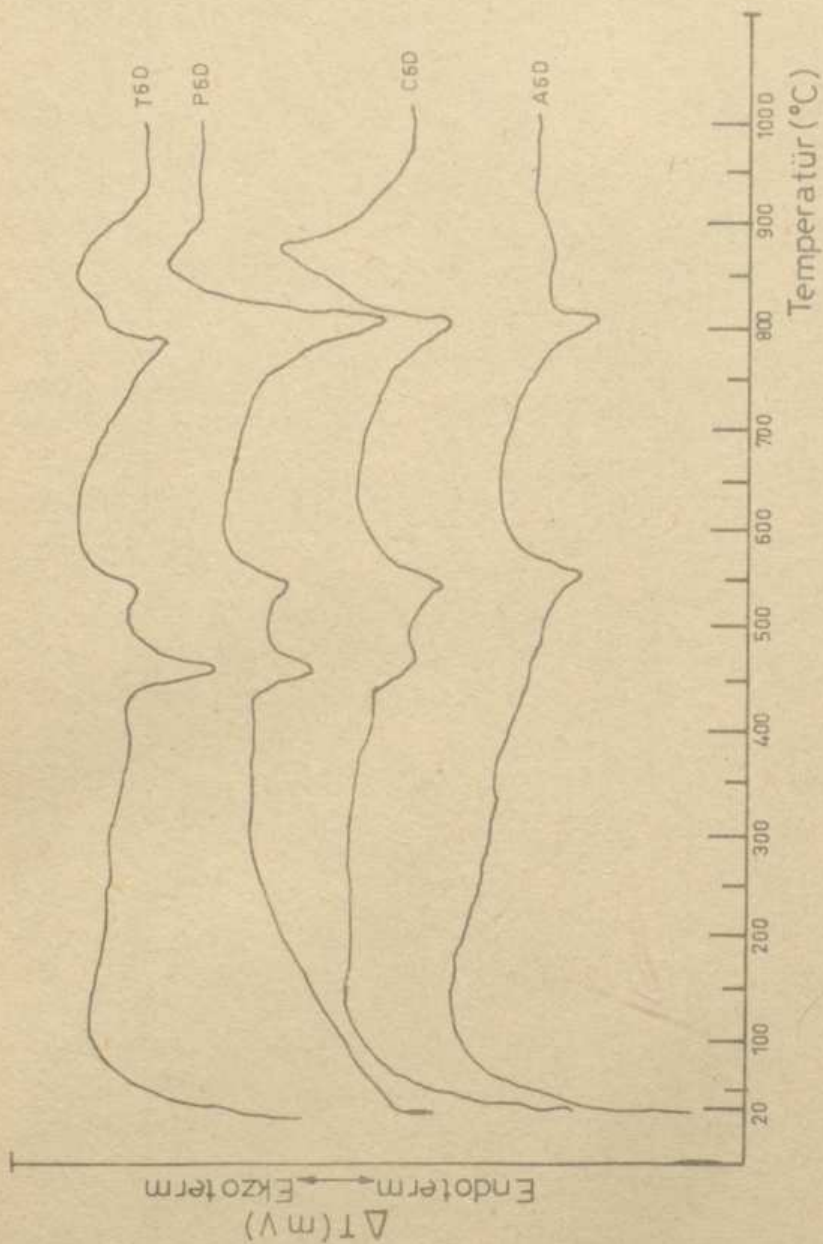
ŞEKİL 22: A3D, C3D, P3D ve T3D nümunelerinin DTA ları



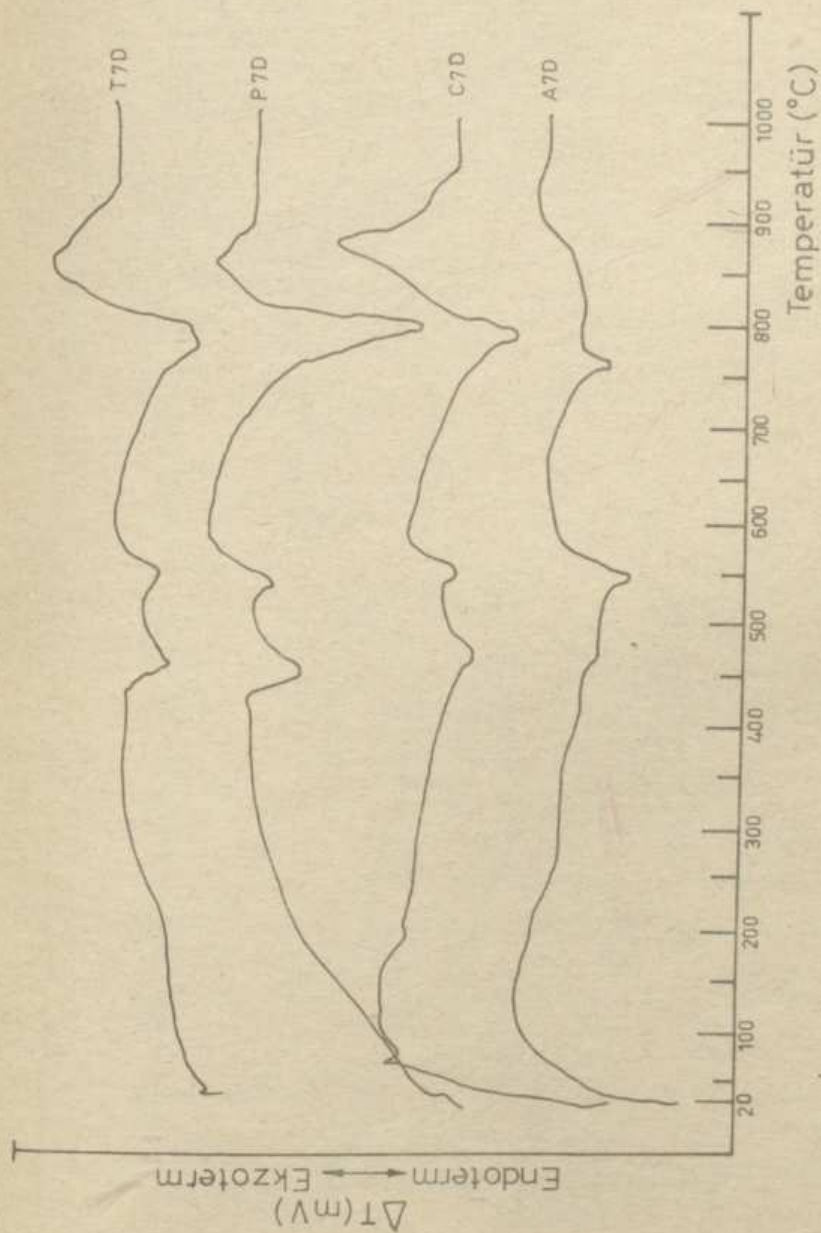
ŞEKİL 23: A4D, C4D, P4D ve T4D nümunelerinin DTA ları



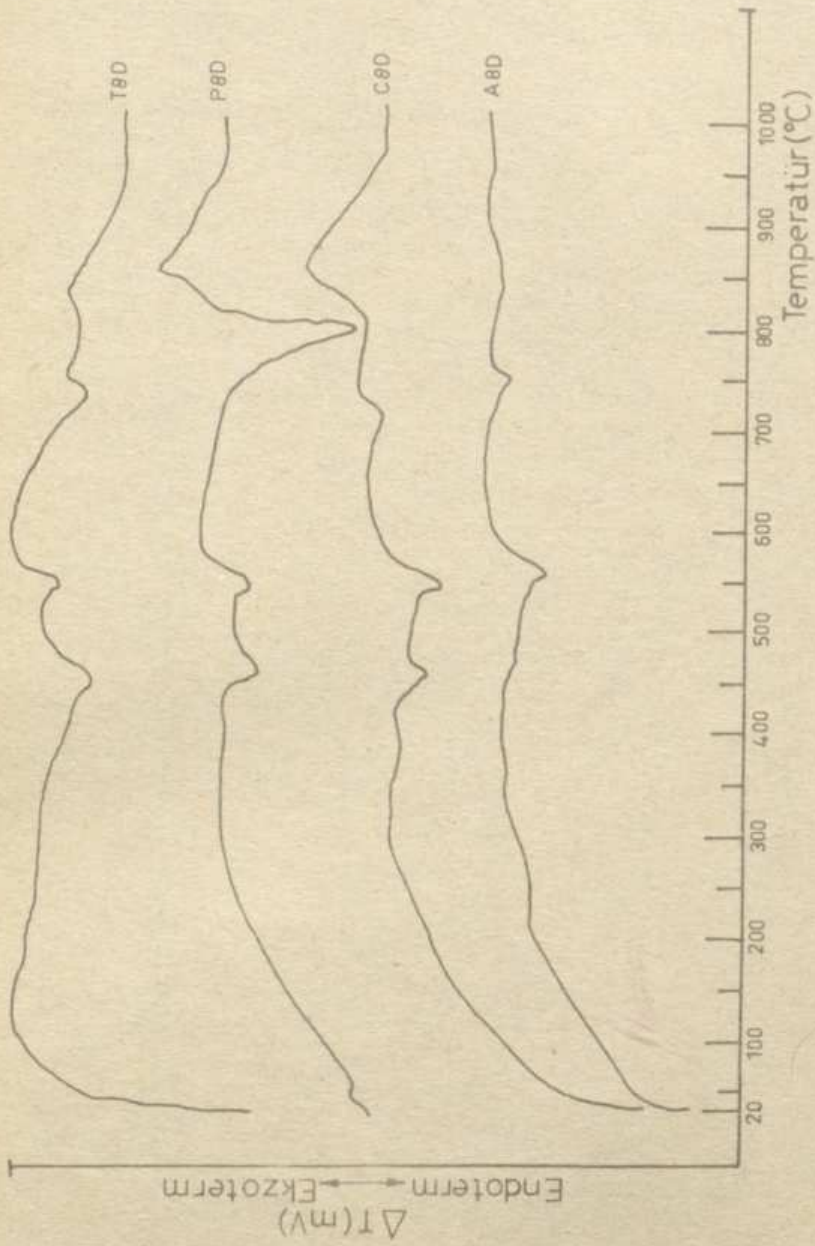
ŞEKİL 24: A5D , C5D , P5D ve T5D nümunelerinin DTA ları



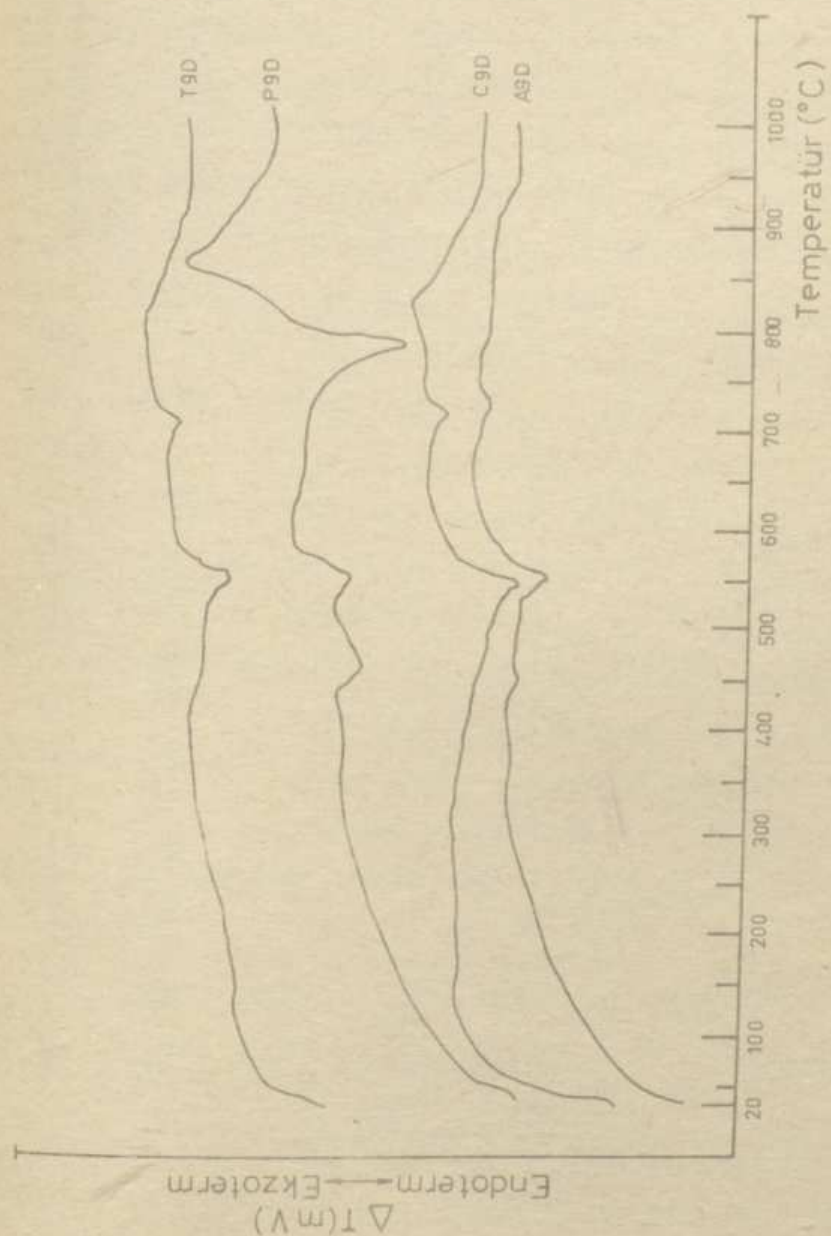
ŞEKİL 25: A6D , C6D , P6D ve T6D nümunelerinin DTA ları



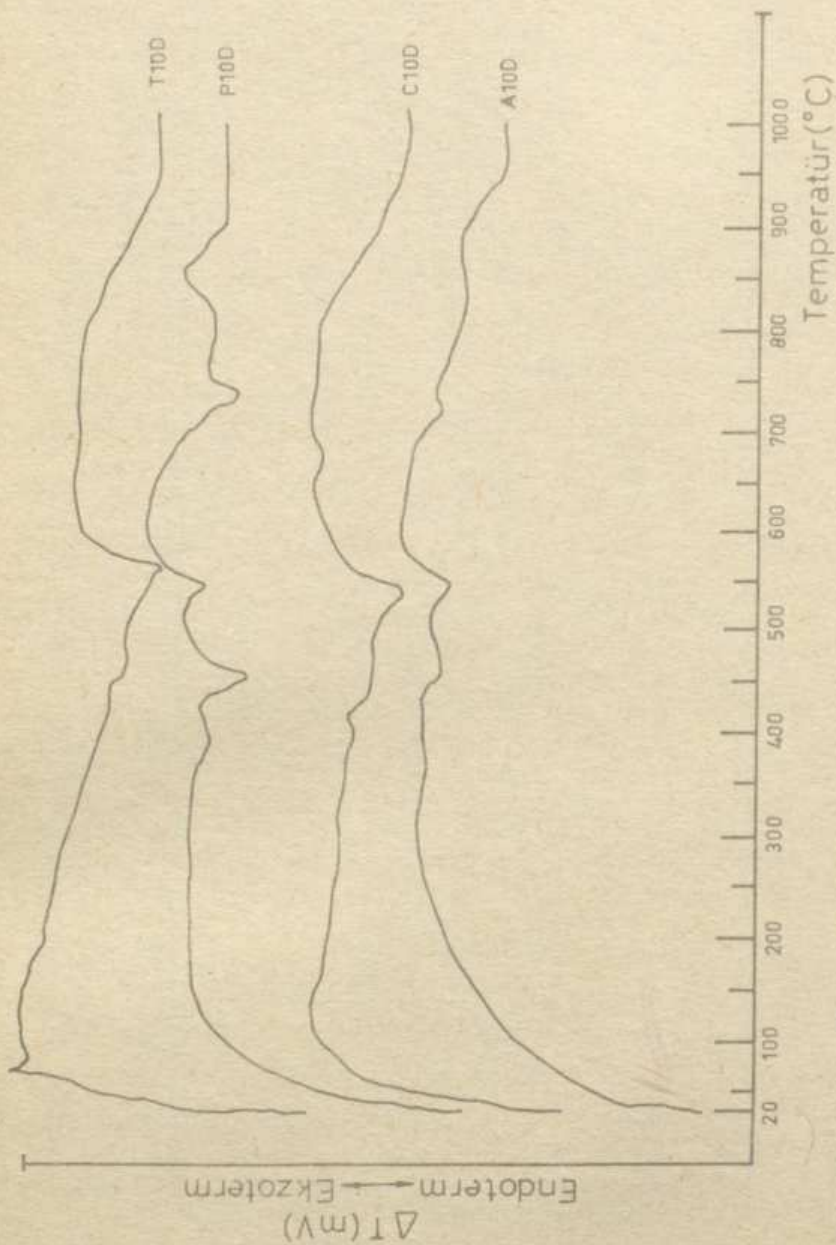
ŞEKİL 26: A7D , C7D , P7D ve T7D nünunelerinin DTA ları



ŞEKİL 27: A8D , C8D , P8D ve T8D nümunelerinin DTA ları



ŞEKİL 28: A9D, C9D, P9D ve T9D numunelerinin DTA ları



SEKİL 29 : A10D , C10D , P10D ve T10D nümunelerinin DTA ları

da oluşan ilk endotermik reaksiyonu serbest, adsorbe ve bir miktar da hidratasyon suyunun buharlaşması ile, 450-600°C de oluşan ikinci endotermik reaksiyonu da  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in dehidratasyonu ile açıklamak mümkündür. 700-950°C de ise bir takım endotermik ve exotermik reaksiyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu alandaki endotermik reaksiyonu  $\text{CaCO}_3$  in ayrışmasına, ekzotermik reaksiyonu da imento bileşenlerinin modifikasyonlarına bağlamak mümkündür.

Alüminli imento ile hazırlanan nümunelerin DTA larında 300°C civarında görülen kuvvetli endotermik reaksiyonlar, diğerlerinden farklı olarak bunların ihtiva ettikleri hidratize alüminatların, özellikle  $\text{C}_3\text{AH}_6$ 'nın, dehidratasyonundan ileri gelmektedir. Nümunelerin hazırlanma koşulları alüminli çimentonun kararsız hidratasyon ürünlerinin dönüşümlerine de musait olduğundan bu nümunelerde önemli miktarda  $\text{C}_3\text{AH}_6$  bulunabilmektedir. 550°C civarında görülen endotermik reaksiyon, ise  $\text{C}_3\text{AH}_6$  ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in dekompozasyon ve dehidratasyonlarından ileri gelebilir. Ayrıca, 700-850°C de endotermik ve 850-950°C de ekzotermik reaksiyonların da meydana geldiği görülmektedir.

Diğer imentolar ile hazırlanan nümunelerin DTA larında daha ziyade serbest ve jel suyunun uzaklaşması ile ortaya çıkan endotermik pikler curuf ve traslı nümunelerde daha şiddetli görülmektedir. Bu nümunelere ait reaksiyonlar genel olarak CSH sisteminin,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve

$\text{CaCO}_3$ ' in dehidratasyon ve dokompozasyonlarından ileri gelmektedir. 400 ve 600°C arasında görülen reaksiyonlara, sırasıyla  $\text{Mg(OH)}_2$  , CSH, hidratize aluminatlar, serbest  $\text{Ca(OH)}_2$  ve diğer reaksiyonlardan ortaya çıkan  $\text{Ca(OH)}_2$ ' in dehidratasyonları sebep olmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda görülen endotermik reaksiyonlar kalsiyum aluminet, silikat ve karbonatlardan  $\text{C}_{12}\text{A}_7$  ,  $\beta$ -CS ve CaO' in meydana gelmesi ile ortaya çıkarken, ekzotermik reaksiyonlar da çimento bileşenlerinin çeşitli modifikasyonlarından ve özellikle CaO ile  $\text{SiO}_2$  arasındaki reaksiyonlardan ileri gelebilir.

Yüksek sıcaklıklarda dehidratize edilen numunelerde  $\text{Ca(OH)}_2$  ve  $\text{CaCO}_3$  ile ilgili beklenmeyen piklerin ortaya çıkması havanın rutubet ve  $\text{CO}_2$  'nin etkisi sonucunda olabilir.

Dehidratasyonun devam etmesinin bu şekilde hem ağırlık kaybı eğrileri ve hem de buna paralel olarak DTA çalışmaları ile izlenmesi beton numunelerindeki muhtelif suların bünyeden çıkarılmalarının kalitatif ve kantitatif olarak gözlenmesini mümkün kılmaktadır. Sadece sıcaklık yükselmesi ile oluşan ağırlık azalmasından yararlanarak çimento bileşenlerinde ortaya çıkan modifikasyon değişikliklerini saptamaya imkan yoktur. Beklenen veya beklenilmeyen bu şekildeki modifikasyon değişiklikleri ancak modifiye fazların entalpileri arasındaki farklar demek olan termik reaksiyonların tesbiti

ile mümkün olabilir.

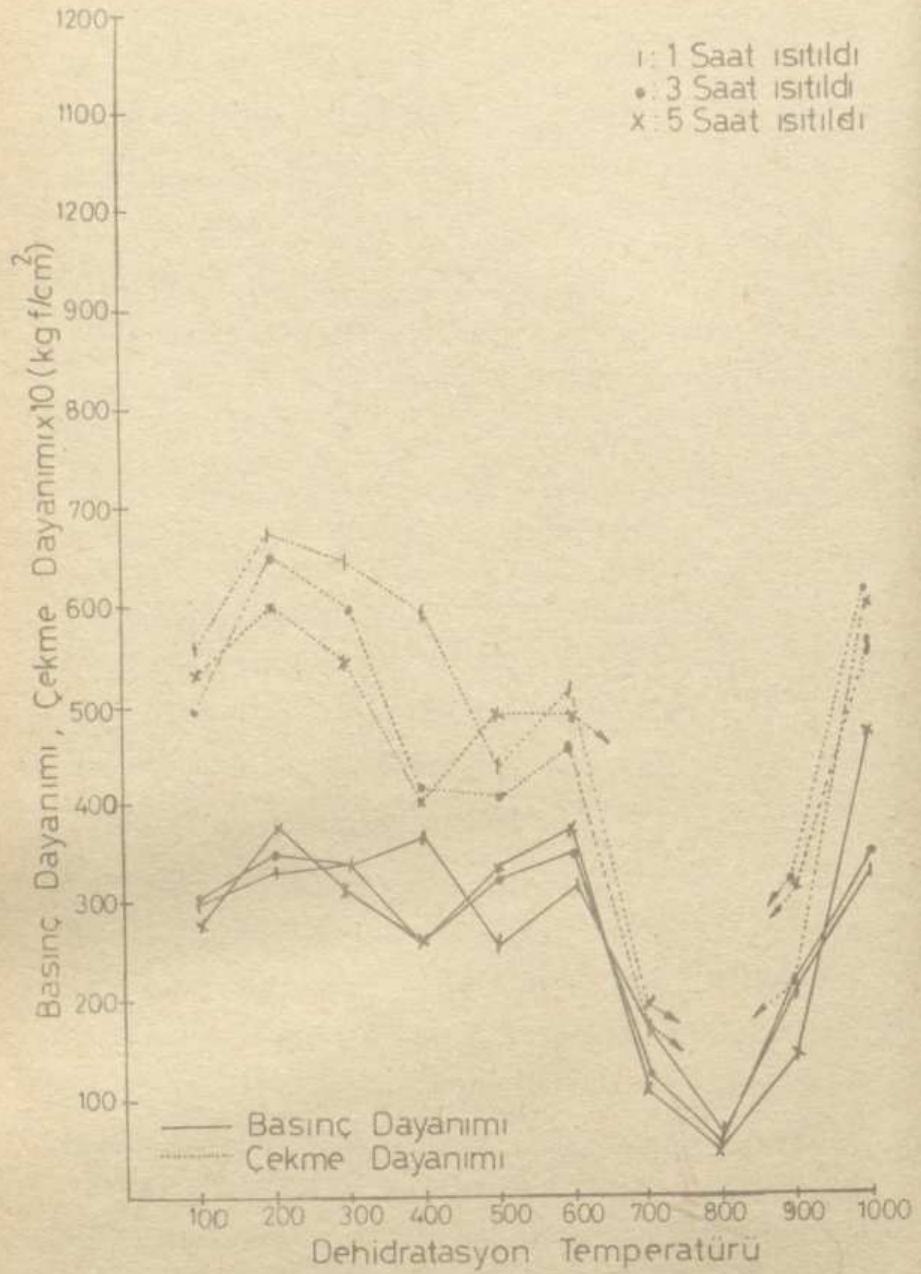
### 3.3 Rehidratasyon Sonuçları

Bölüm 2.1.4 deki esaslara göre dehidratize edilmiş olan beton numuneleri rehidratize edildi. Rehidratasyonun ilerlemesi, ağırlık kaybı ve dayanım değişimleri ile incelendi.

#### 3.3.1 Suda Bekletme Yolu ile Rehidratasyon

##### (1) Alüminli çimento ile hazırlanan numuneler:

Beton numunelerinin rehidratasyondan sonraki dayanımları ŞEKİL 30 da görülmektedir. 600°C ve daha düşük sıcaklıklarda dehidratize edildikten sonra rehidratize edilen numunelerin (A6F5H numunesine kadar) dayanımlarına, özellikle basınç dayanımlarına, dehidratasyon sıcaklığının fazla bir etkisi görülmektedir. Fakat 700-800°C de dehidratize edilen numunelerde ani dayanım düşüşü olmaktadır. 900-1000°C de dehidratize edilen numunelerde ise dayanım tekrar yükselmektedir. Örneğin, A6F3H numunesinde basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk değerlerinin % 34,57 ve % 39,19'ü olurken, A8F3H numunesinde ise, basınç dayanımı ilk değerinin % 5,09'i kadar olmaktadır. A10F3H numunesinde ise ilk değerinin % 34,88 ve % 52,46'sına kadar yükselmektedir.



ŞEKİL 30: 53A nümunelerinin su ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları

Alüminli çimento ile hazırlanan nünunelerin rehidratasyondan sonraki dayanımlarına dehidratasyon temperaturünün etkisi ilginçtir. 600°C ye kadar dehidratasyon temperaturü dayanımı etkilemediği halde 700 - 800°C de önemli ölçüde dayanımı düşürdüğü ve daha yüksek dehidratasyon temperaturünde ise temperatur artışına paralel olarak dayanımın da arttığı anlaşılmaktadır.

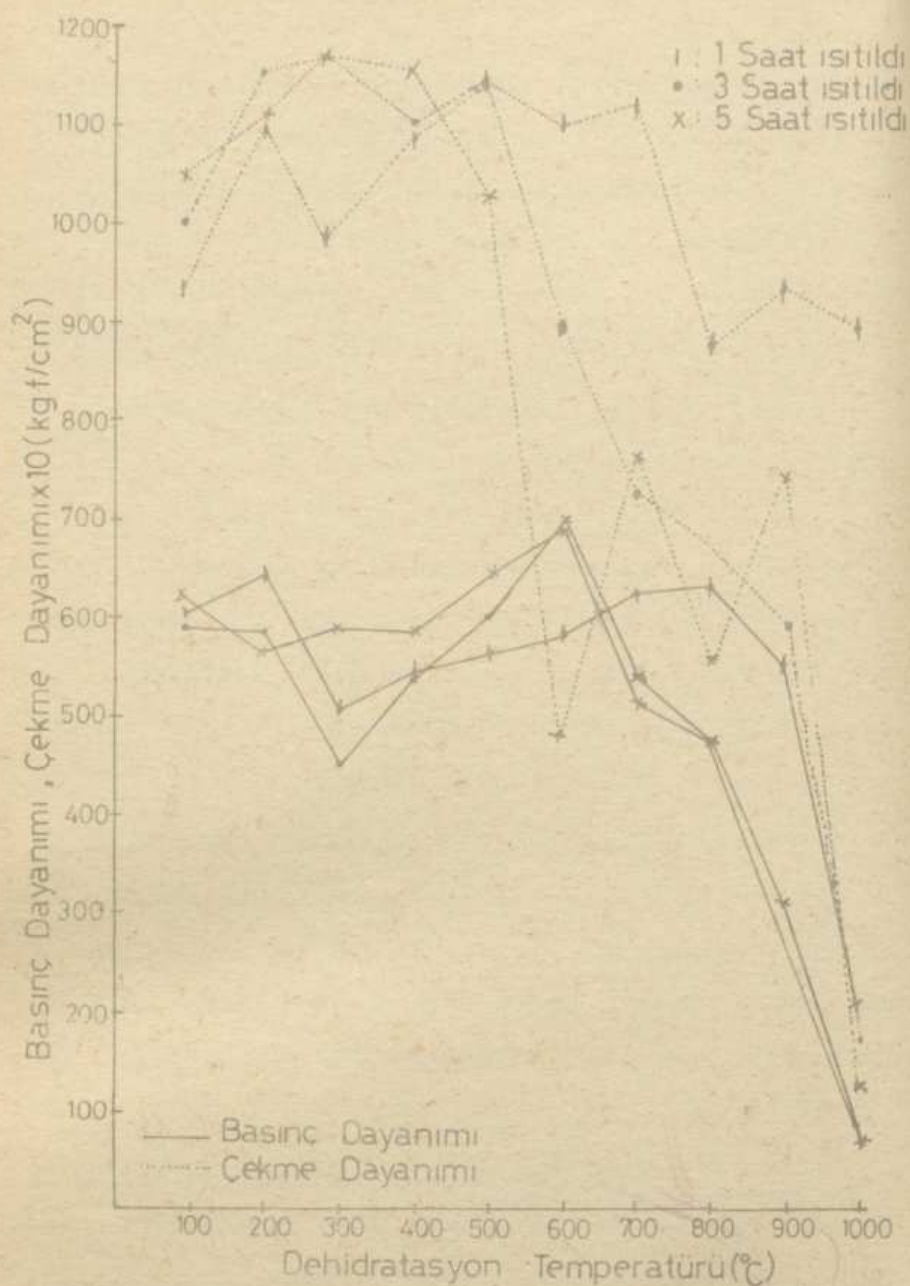
(2) Curuf çimentosu ile hazırlanan nünuneler :

Beton nünunelerinin rehidratasyondan sonraki dayanımları, ŞEKİL 31 de görölmektedir. C7F3H nünunesinden itibaren basınç dayanımında, C5FH nünunesinden itibaren çekme dayanımında sürekli bir düşüş olmaktadır. Örneğin, C7F5H nünunesinde basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk değerlerinin % 85,86 ve % 88,52'i , C10F5H nünunesinde % 10,73 ve % 14,06'i kadardır.

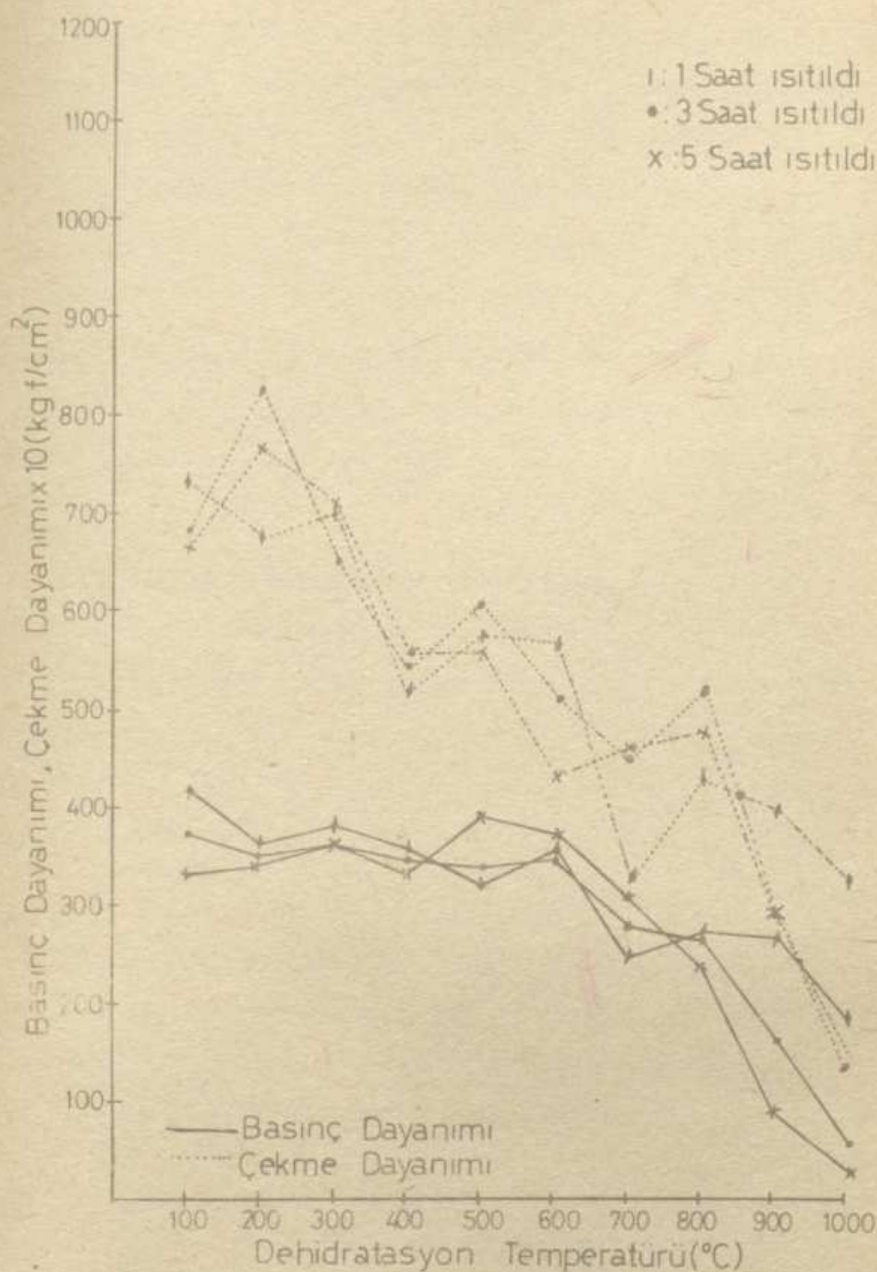
Böylece 600°C ye kadar dehidratize edilen nünunelerin rehidratasyon ile eriştikleri maksimum dayanımlarına dehidratasyon temperaturünün etkisinin olmadığı, fakat daha yüksek temperaturlerin bu maksimum dayanımı, temperatur yükselmesine paralel olarak, düşürdüğü görölmektedir.

(3) Portland çimentosu ile hazırlanan nünuneler:

Nünunelerin rehidratasyondan sonraki dayanımları, ŞEKİL 32 de görölmektedir. Dehidratasyon temperaturünün yükselmesi ile rehidratasyon sonucu erişilen maksimum çekme dayanımı sürekli düştüğü halde basınç dayanımında bu



ŞEKİL 31: 42°C numunelerinin su ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları



ŞEKİL 32: 53P nümunelerinin su ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları

düşüş daha ziyade 700°C den itibaren ortaya çıkmaktadır. Örneğin, P6F3H nümunesinde basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk dayanımlarının % 91,16 ve % 74,47'i olurken, P8F3H nümunesinde % 71,14 ve % 76,53'ü olmaktadır. P10F3H nümunesinde ise ilk değerlerinin % 14,63 ve % 19,90'ı olduğu saptanmıştır.

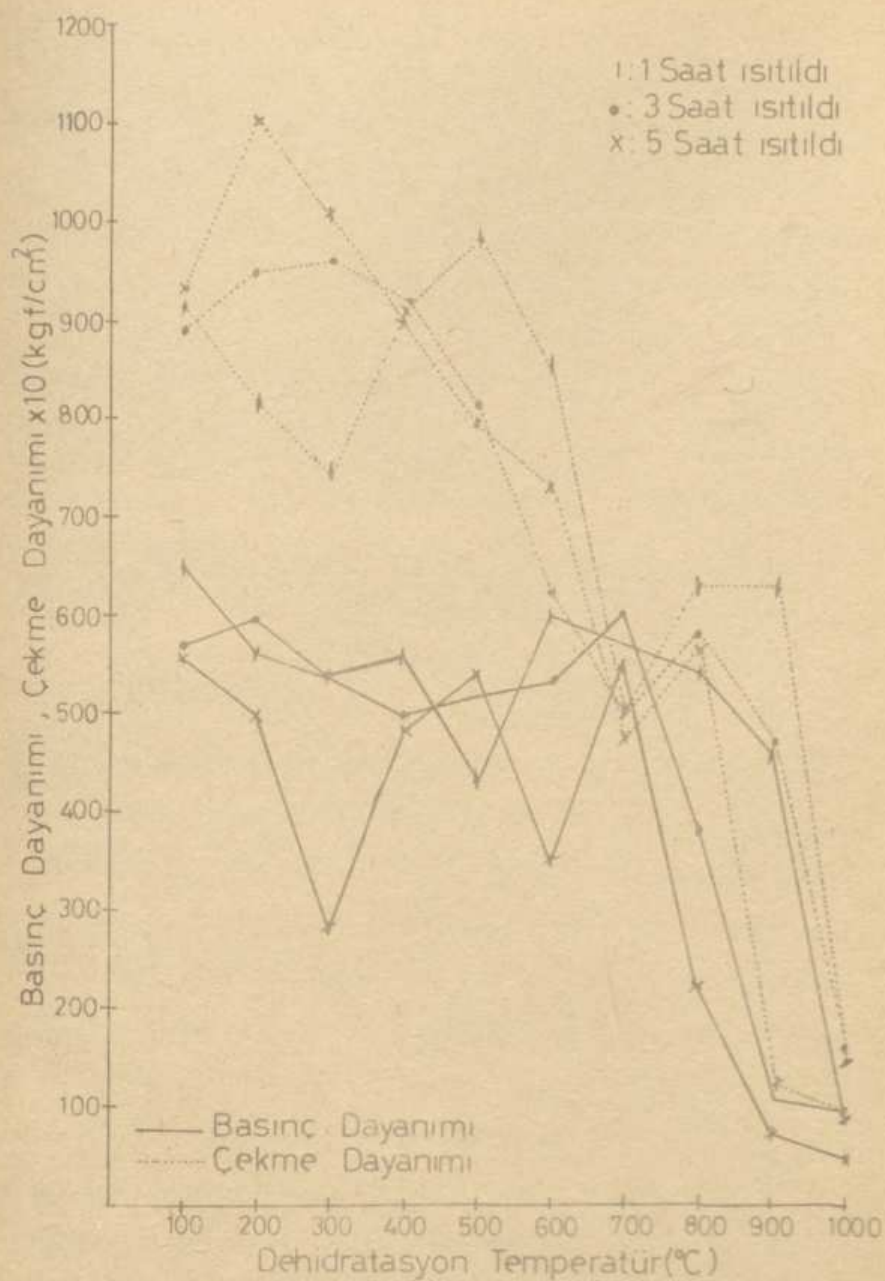
Portland çimentolu numunelerde rehidratasyon ile erişilen maksimum dayanımı dehidratasyon sıcaklığının özellikle 600°C den sonra, sürekli olarak düşürdüğü görülmektedir.

(4) Traslı çimento ile hazırlanan numuneler: Numunelerin rehidratasyondan sonraki dayanımları, ÇEKİL 33 de görülmektedir. T7F5H nümunesinden itibaren sürekli dayanım düşüşü ortaya çıkmaktadır. Örneğin, T7F5H nümunesinde basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk dayanımlarının % 98,62 ve % 52,18'i olurken T10F5H nümunesinde % 9,42 ve % 10,26'sı kadar olmaktadır.

Traslı çimentolu numunelerde rehidratasyon ile erişilen maksimum dayanıma 700°C'ye kadar, dehidratasyon sıcaklığının etkisinin olmadığı, daha yüksek sıcaklıkların ise sürekli dayanım kaybına sebep olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.3.2 Basınçlı Buhar ile Rehidratasyon

(1) Alüminli çimento ile hazırlanan numuneler :

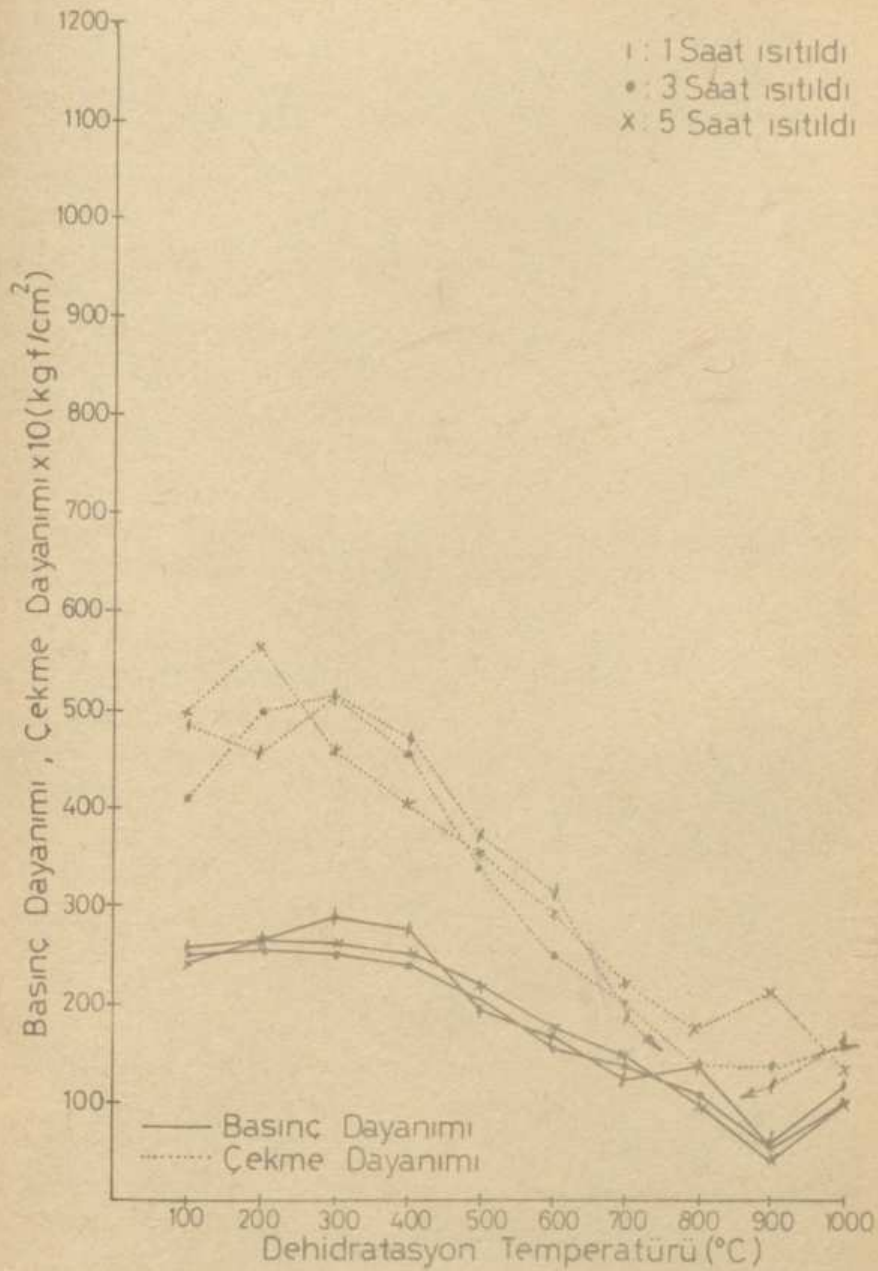


ŞEKİL 33: 42T numunelerinin su ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları

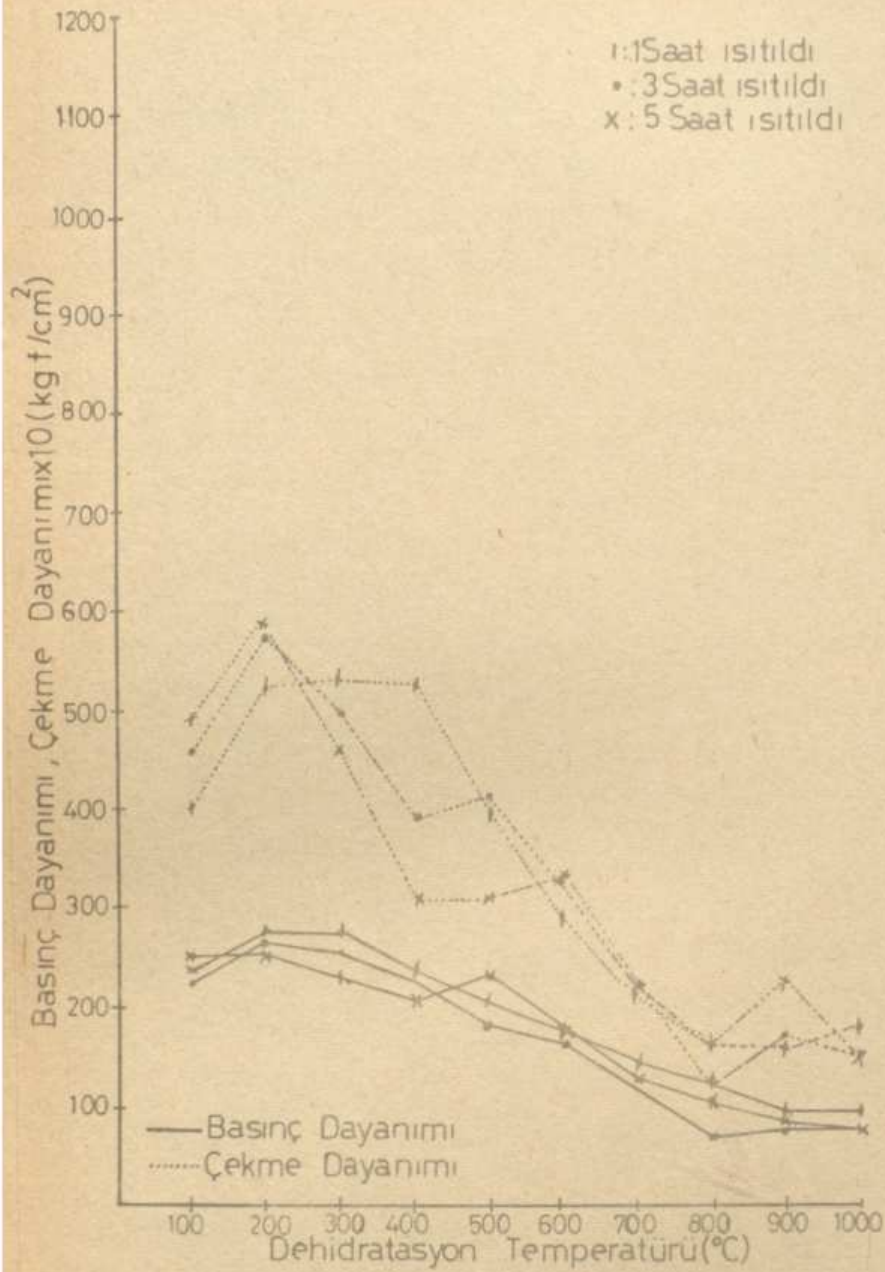
Rehidratize edilen nümunelerin dayanımları, ŞEKİL 34 ve 35 de görülmektedir. Basınçlı buhar uygulama süresinin rehidratasyon sonrası maksimum dayanıma fazla bir etkisi görülmemektedir. 300-900°C arasında dehidratize edilen nümunelerde rehidratasyon sonrası dayanım, dehidratasyon temperaturünün artışı ile sürekli olarak dŖmektedir. Örneğın, A6F3B5 nümunesinin rehidratasyon sonucunda basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk değeri- lerinin % 16,36 ve % 21,81 'i ; A10F3B5 nümunesinde ise % 10,34 ve % 14,27 'si kadar olmaktadır.

(2) Curuf çimentosu ile hazırlanan nümuneler:Rehidratize edilen nümunelerin dayanımları, ŞEKİL 36 ve 37 de görülmektedir. Yine otoklavda bekletme süresinin ve 600°C ye kadar dehidratasyon temperaturünün, nümunelerin rehidratasyon ile erişebilecekleri maksimum dayanıma fazla bir etkisi görülmemektedir. Daha yüksek temperaturlerde dehidratize edilen nümunelerin rehidratasyon sonrası dayanımlarında sürekli bir dŖme olmaktadır. Örneğın, C6F3B5 nümunesinin rehidratasyon sonucunda basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk dayanımlarının % 96,33 ve % 97,70'i olurken C10F3B5 nümunesinde ise % 8,63 ve % 12,84' olmaktadır.

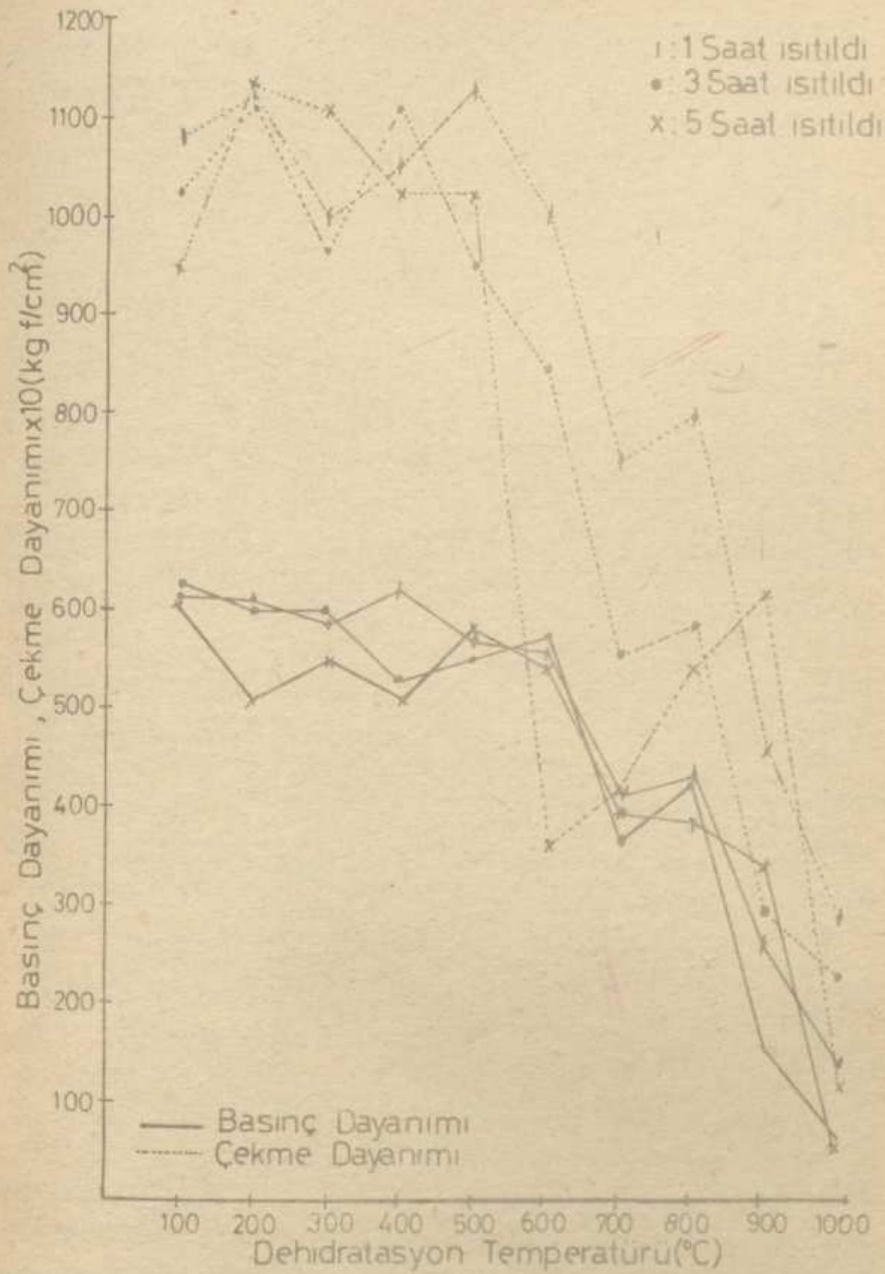
(3) Portland çimentosu ile hazırlanan nümuneler:Rehidratize edilen nümunelerin dayanımları, ŞEKİL 38 ve 39 da görülmektedir. Dehidratasyon temperaturünün artışı ile rehidratasyon sonrası dayanımlarda sürekli bir



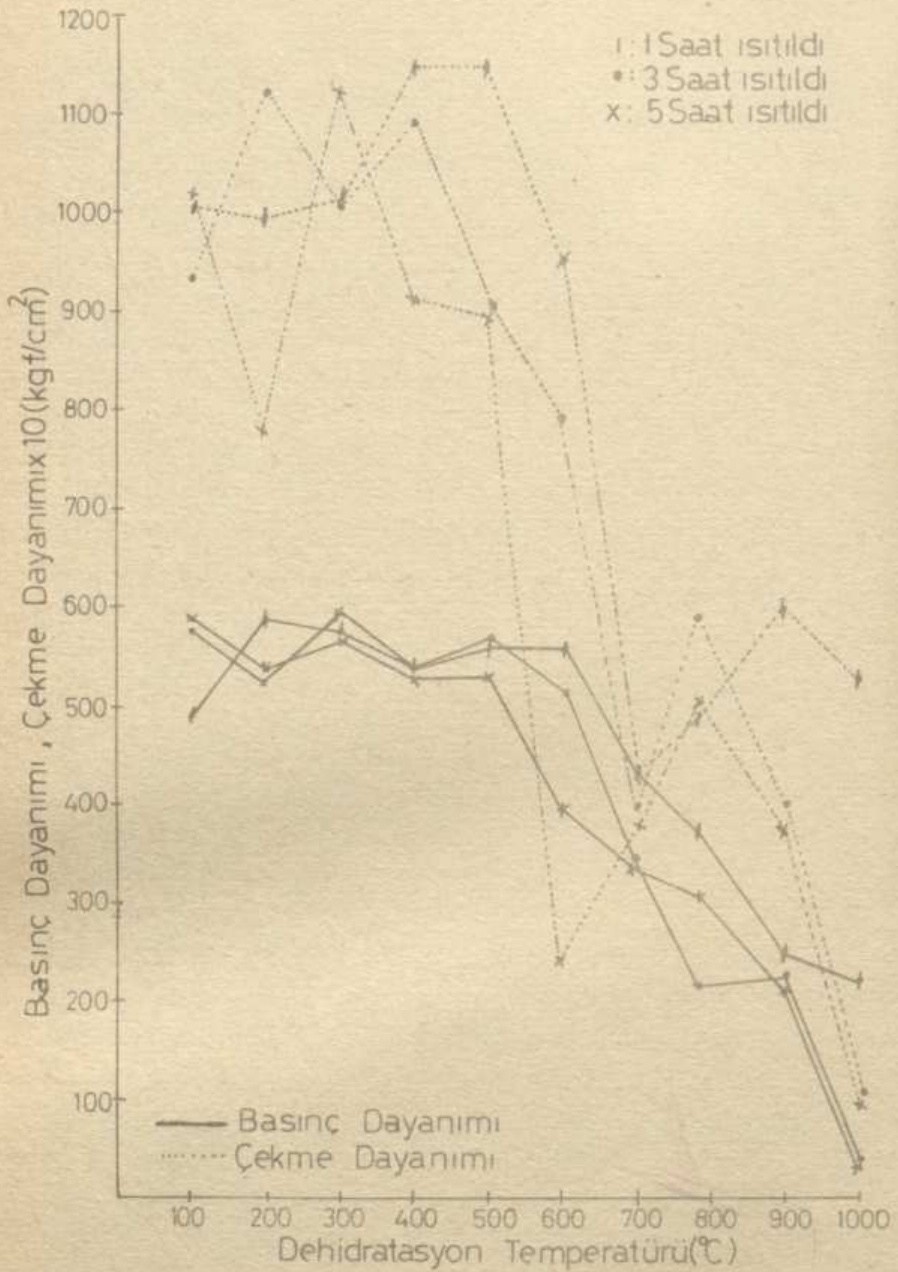
ŞEKİL 34: 53A nümunelerinin 5 saat basınçlı buhar uygulama ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları



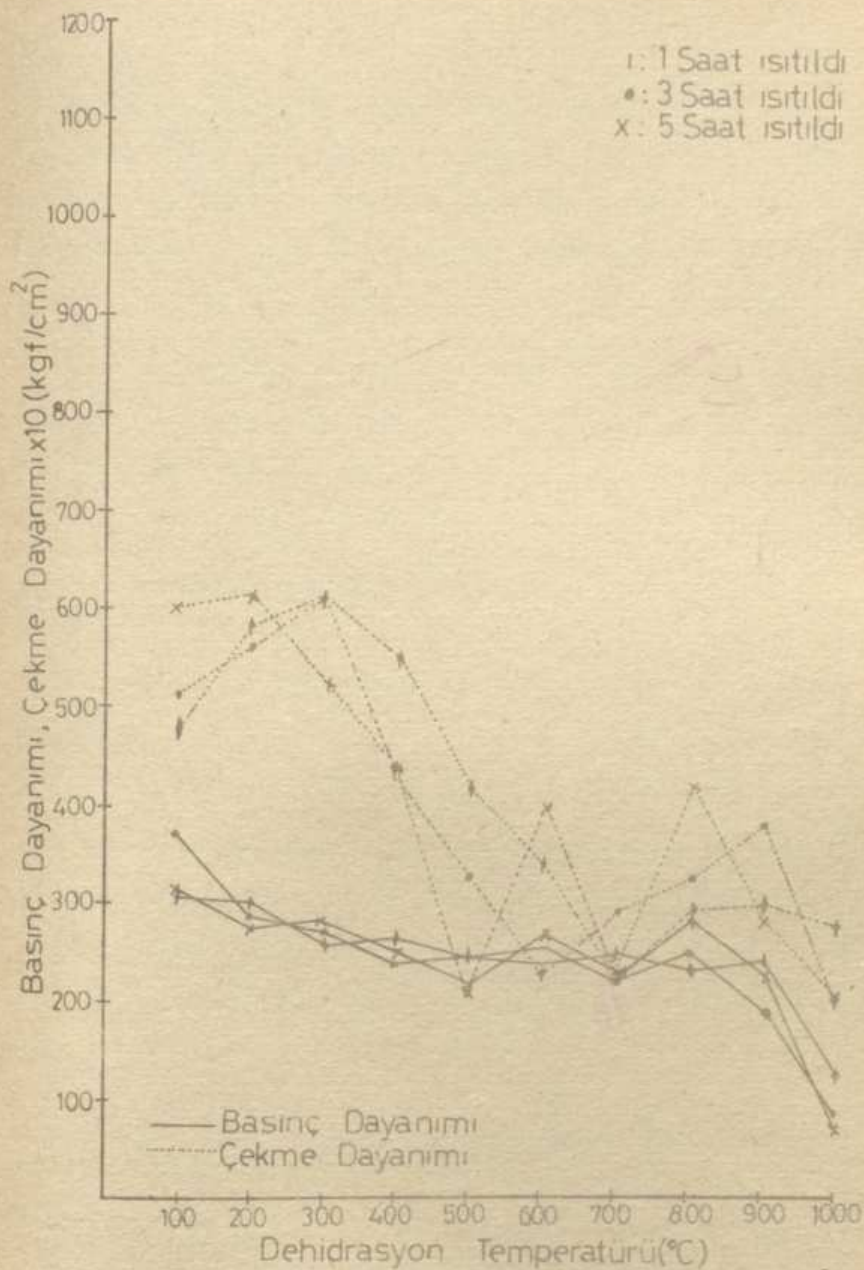
ŞEKİL 35: 53A nümunelerinin 10 saat basınçlı buhar uygulaması ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları



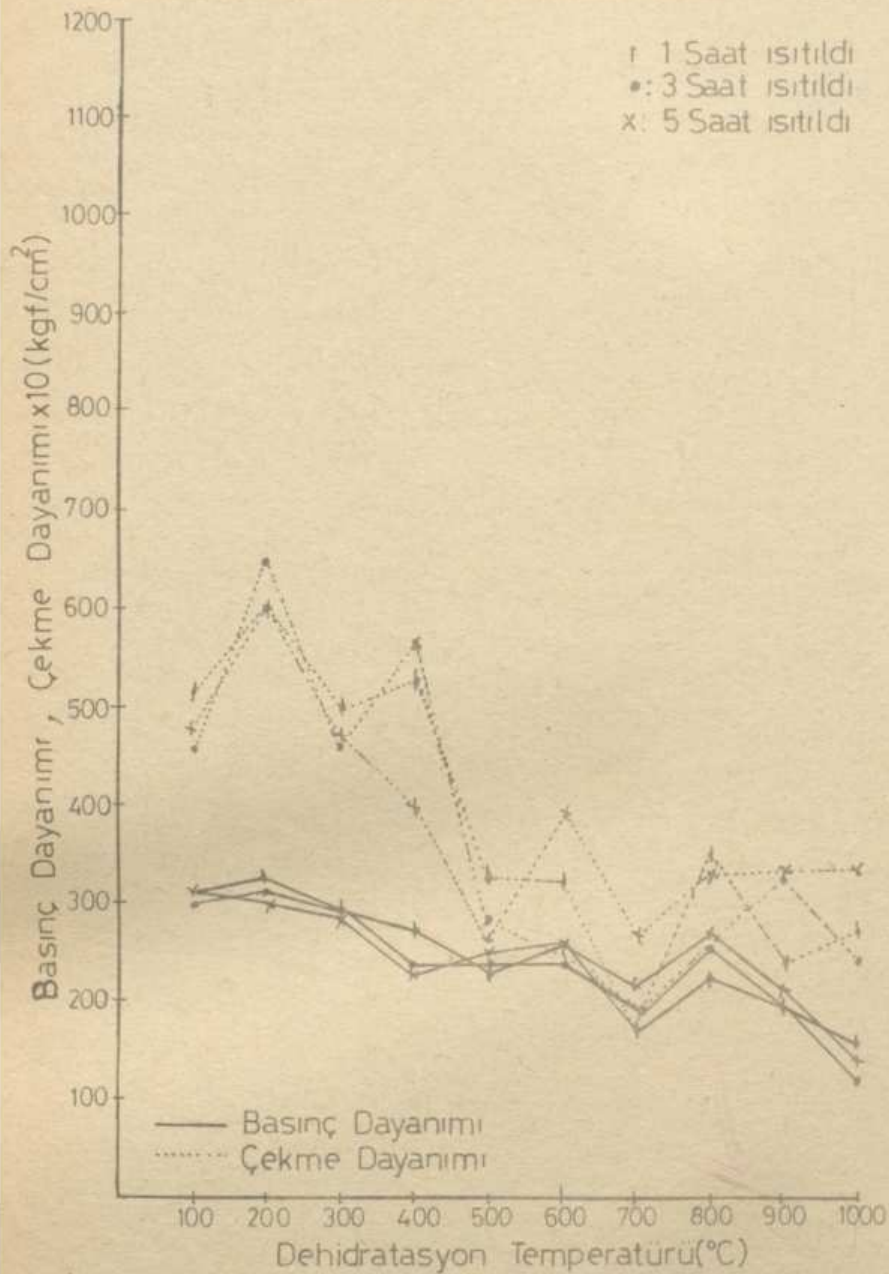
ŞEKİL 36: 42C numunelerinin 5 saat basınçlı buhar uygulaması ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları



ŞEKİL 37: 42C nümunelerinin 10 saat basınçlı buhar uygulaması ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları



ŞEKİL 38: 53P nümunelerinin 5 saat basınçlı buhar uygulaması ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları



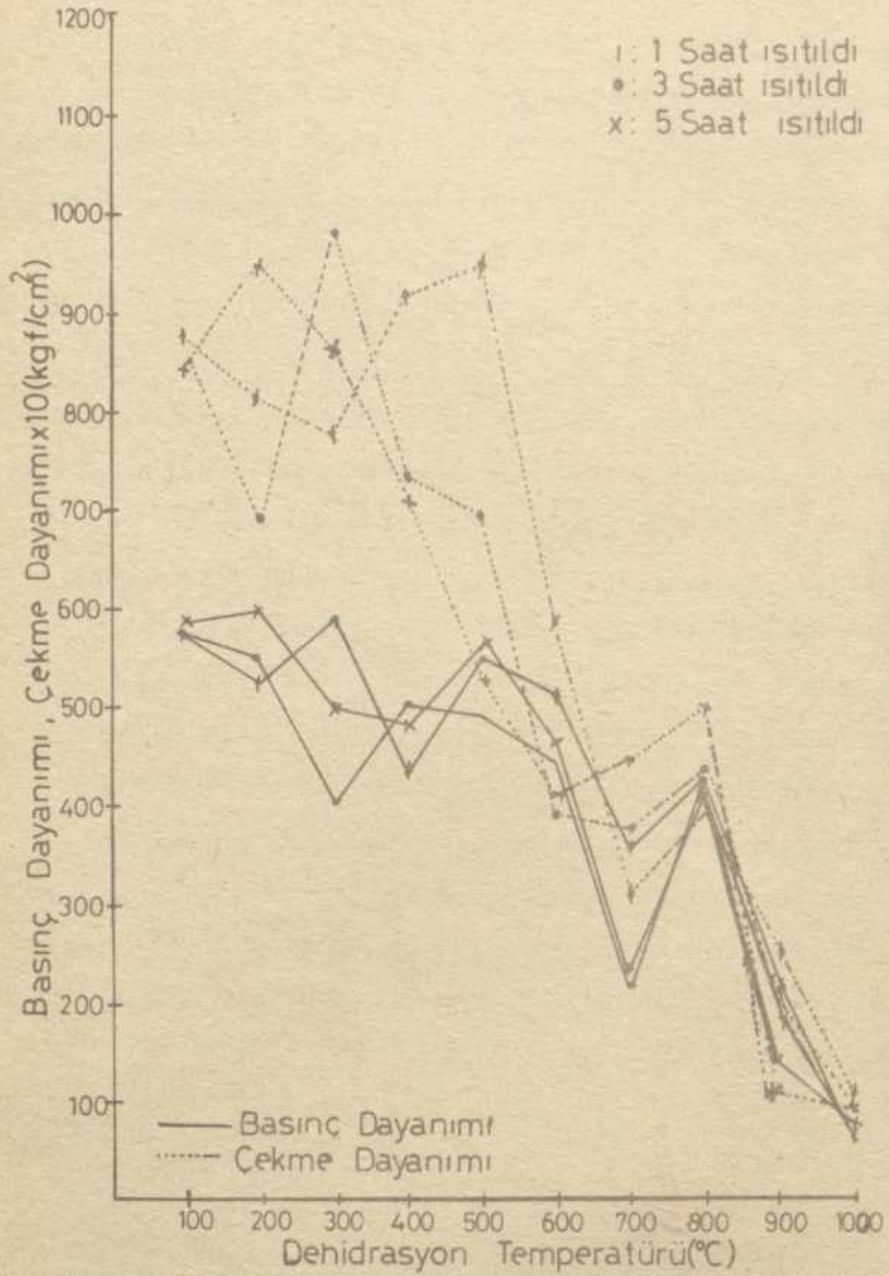
ŞEKİL 39: 53P numunelerinin 10 saat basınçlı buhar uygulaması ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları

düşme olmaktadır. 800°C ve daha yüksek sıcaklıklarda dehidratize edilen numunelerde bu düşüş daha da hızlanmaktadır. Örneğin, P7F5B5 numunesinin rehidratasyon sonucunda basınç ve çekme dayanımları sırasıyla ilk dayanımlarının % 60,16 ve % 33,17'si olurken, P10F5B10 numunesinde ise % 37,40 ve % 48,98'i kadar olmaktadır.

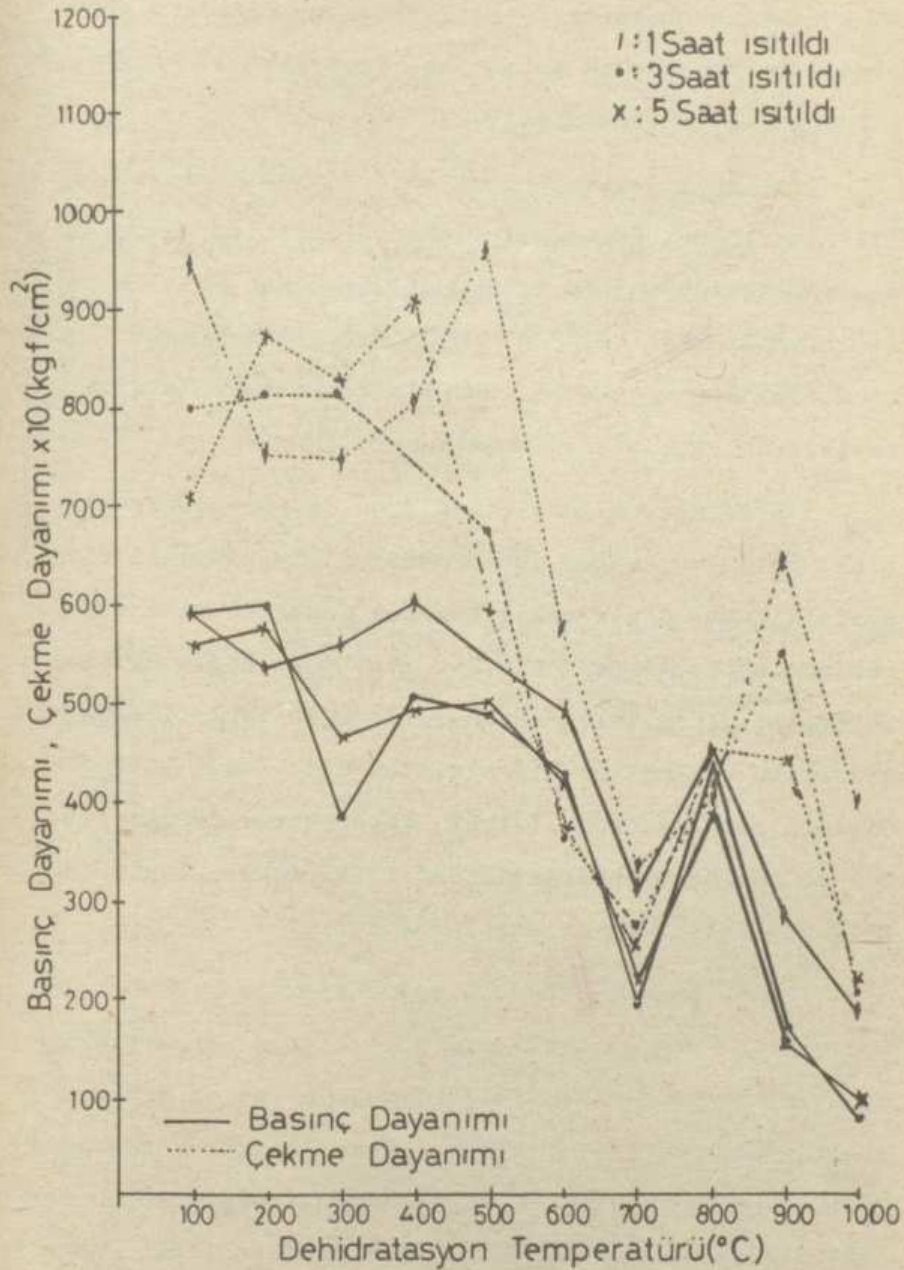
(4) Traslı çimento ile hazırlanan numuneler: Rehidratize edilen numunelerin dayanımları, ÇEKİL 40 ve 41 de görülmektedir. Dehidratasyon sıcaklığının artışı ile genel olarak numunelerin rehidratasyon sonrası dayanımları da düşmekle beraber 800°C den daha yüksek sıcaklıklarda dehidratize edilen numunelerde bu düşüş daha fazla olmaktadır. Ayrıca, 700°C de ısıtılan numunelerde de 800°C de ısıtılanlara oranla dayanım düşüşünün daha fazla olduğu görülmektedir. Örneğin, T7F3B5 numunesinin rehidratasyon sonucunda basınç ve çekme dayanımı sırasıyla ilk değerlerinin % 37,40'ı ve % 40,77'si olurken, T8F3B5 numunesinde % 81,44 ve % 46,02'si, T10F3B5 numunesinde ise % 13,30 ve % 10,26'sı olduğu görülmüştür.

### 3.3.3. Rehidratasyon ile Bağlanan Su

Rehidratize edilen betonlardaki bağlı su miktarını saptayabilmek için suda veya otoklavda bekletilmiş olan numuneler 5 saat 105°C de kurutulmuştur. Bu şekil-



ŞEKİL 40:42T nümunelerinin 5 saat basınçlı buhar uygulaması ile rehidrasyonundan sonraki dayanımları



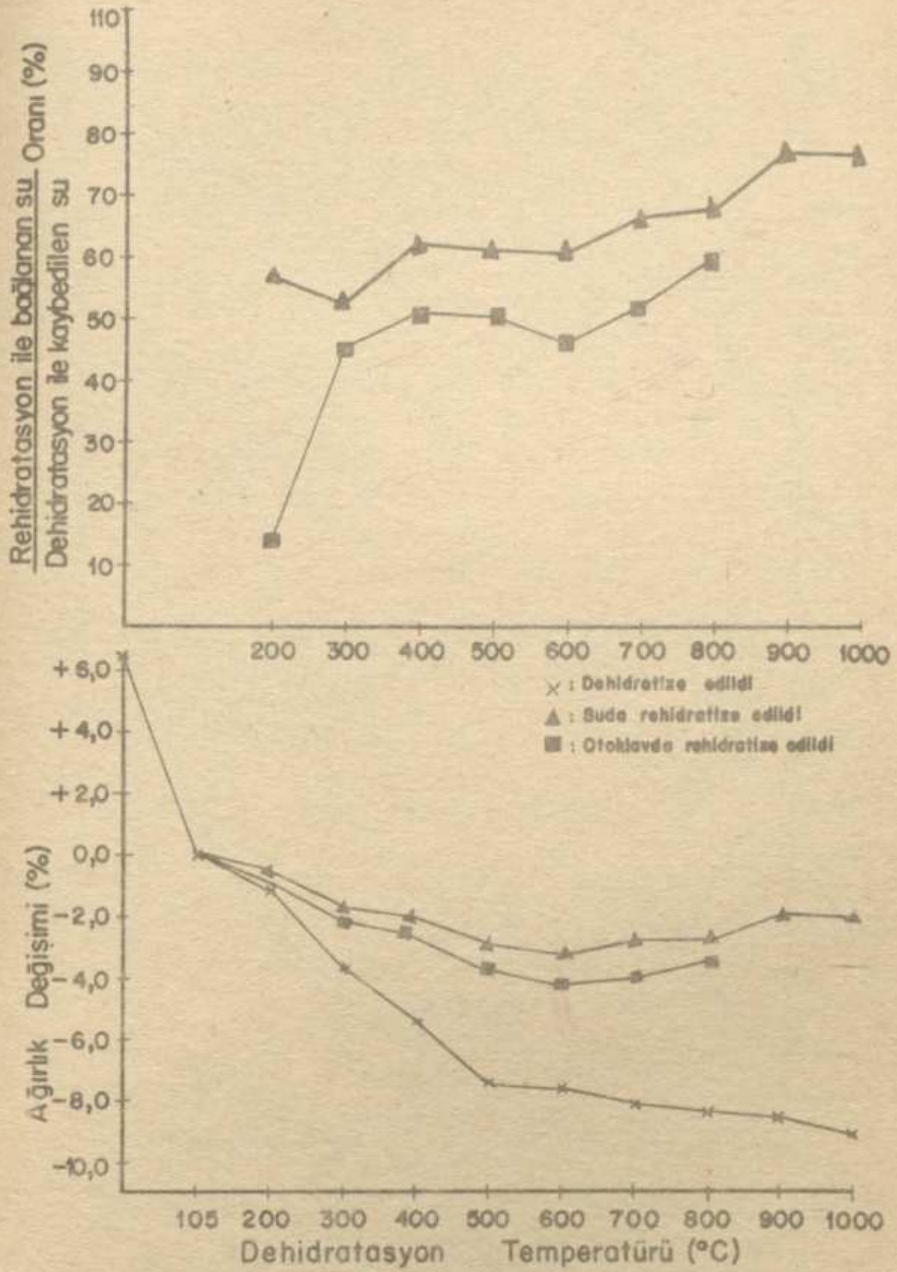
ŞEKİL 41: 42 T nümunelerinin 10 saat basınçlı buhar uygulaması ile rehidratasyonundan sonraki dayanımları

de kurutulanan nümunelerde rehidratasyon öncesine göre ortaya çıkan ağırlık artışı rehidratasyon ile bağlanan su olarak kabul edilmiştir.

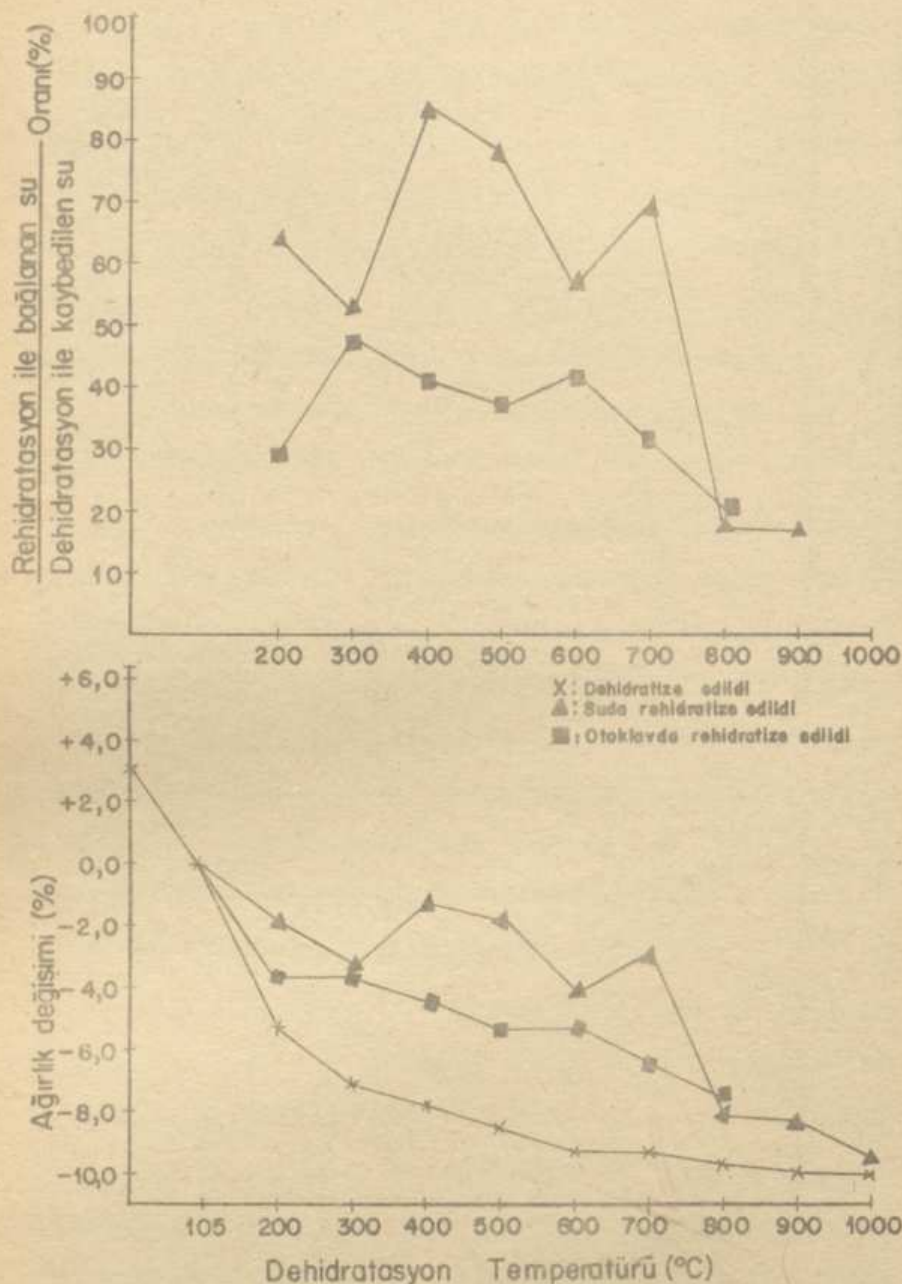
Aluminli, curuf, portland ve traslı çimentolar ile hazırlanan nümunelerin dehidratasyon ve bunu izleyen rehidratasyonları sonucu ortaya çıkan ağırlık değişimleri, şEKİL 42,43,44 ve 45 de görülmektedir. Ayrica rehidratasyonun gerçekleşme dereceleri de aynı grafiklerde verilmiş bulunmaktadır.

Grafiklerin incelenmesinden de görülebileceği gibi, bütün nümuneler dehidratasyon ile, sürekli bir ağırlık kaybı göstermekle beraber, suda ve otoklavda rehidratasyonları sonunda bir miktar su bağlıyabilmektedirler. Genellikle, nümunelerin suda bekletilerek rehidratize edilmeleri ile nispeten daha fazla su bağladıkları görülmektedir. Yüksek temperatrde dehidratize edilen nümuneler otoklavda dağıldıklarından bunların bağlayabilecekleri su saptanamamıştır.

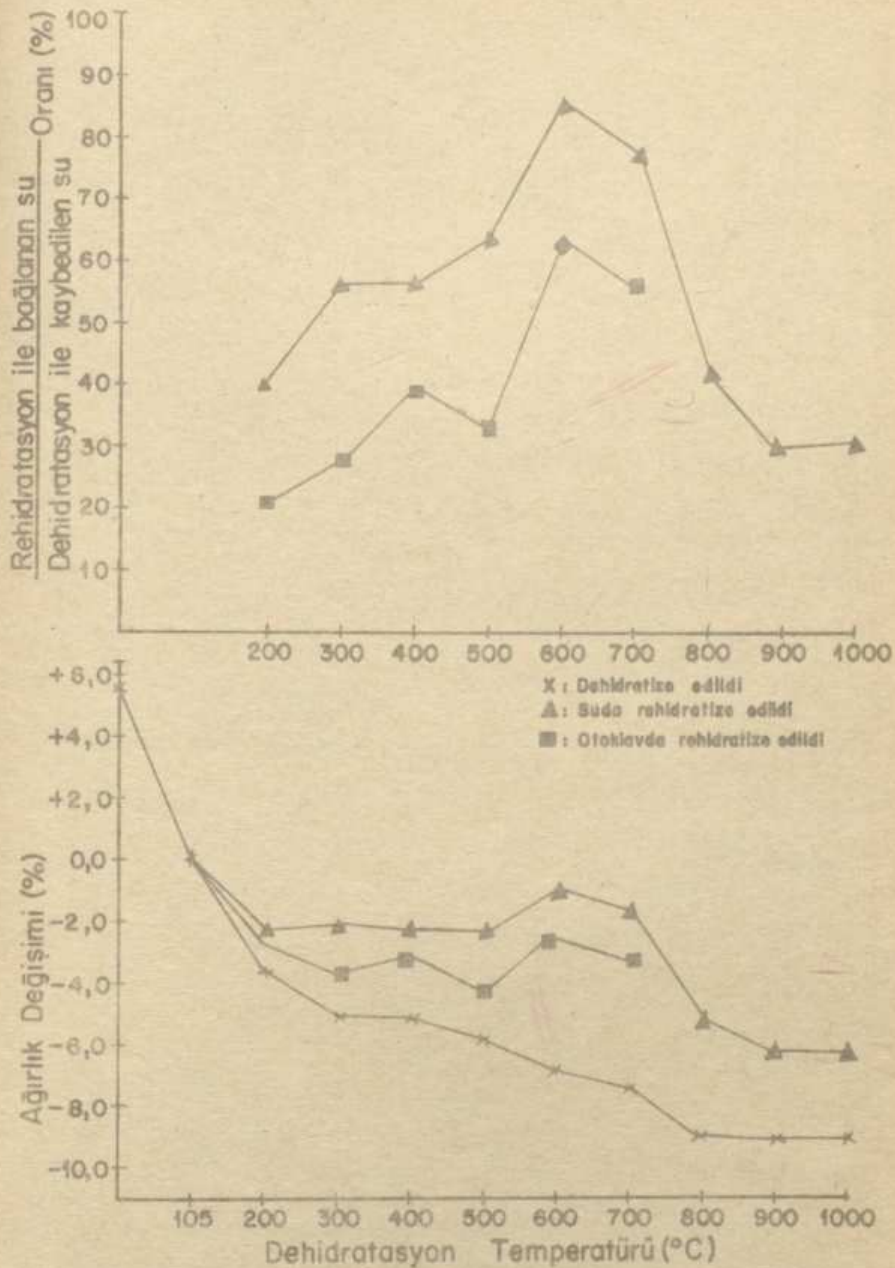
Daha önce (bölüm 3.3 de) yüksek temperatrlerde dehidratize edilen bir kısım nümunelerin uğradıkları dayanım kayıplarını rehidratasyon ile tekrar kazanmalarının mümkün olmadığı ortaya çıkmıştı. Aynı temperatrlerde dehidratize edilen nümunelerin rehidratasyon ile bağladıkları suyun da, özellikle curuf ve traslı nümuneler için, çok az olduğu şekillerde açıkça görülmektedir.



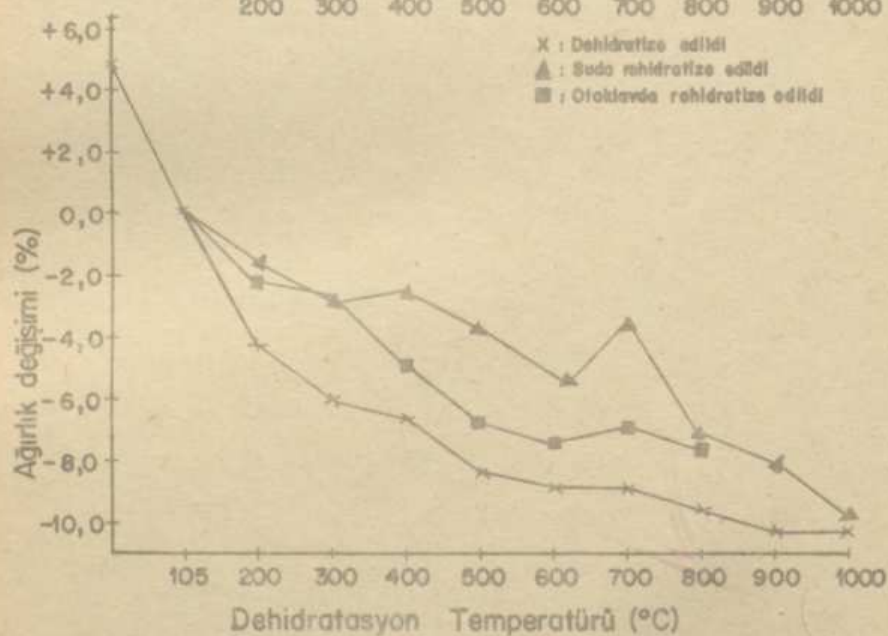
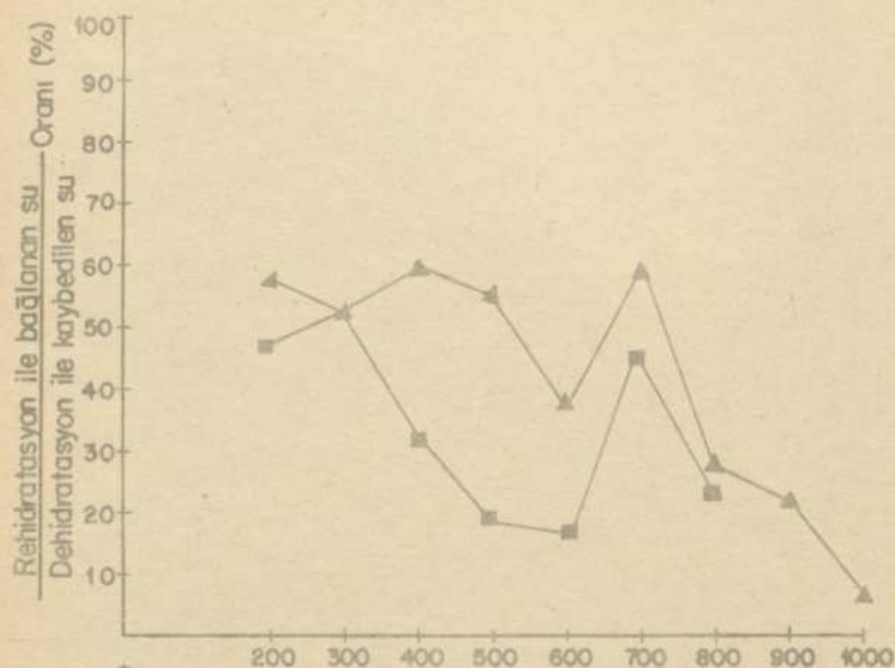
ŞEKİL 42: 53 A nümunesinin dehidratasyon ve rehidratasyon ile uğradığı ağırlık değişimi.



ŞEKİL 43 : 42 C nümunesinin dehidratasyon ve rehidratasyon ile uğradığı ağırlık değişimi .



ŞEKİL 44 : 53P numunesinin dehidratasyon ve rehidratasyon ile uğradığı ağırlık değişimi.



ŞEKİL 45 : 42T numunesinin dehidratasyon ve rehidratasyon ile uğradığı ağırlık değişimi.

### 3.3.4 Rehidratasyon ve Dehidratasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

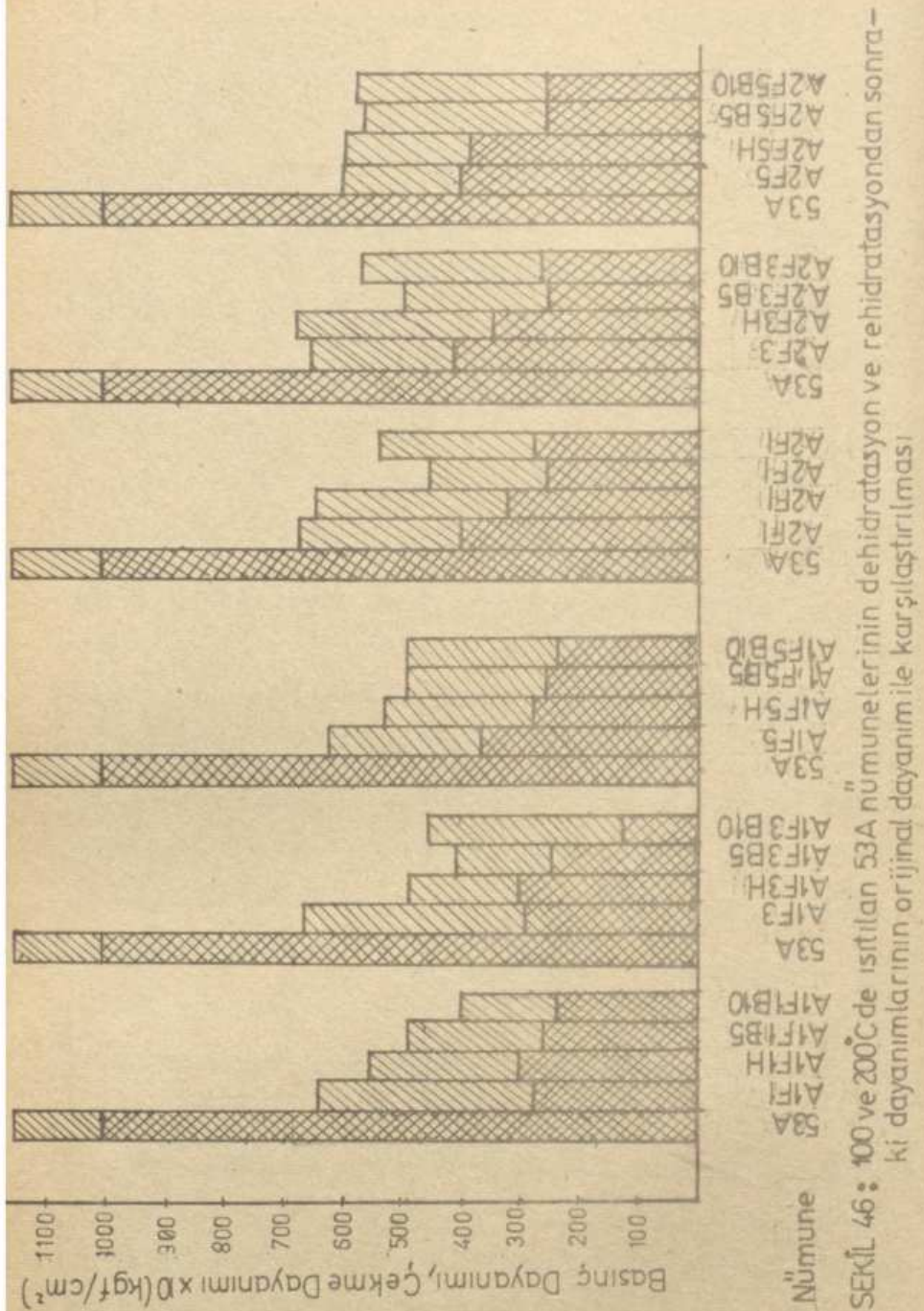
Beton nümuneleri, 30 günlük maksimum dayanımları için bölüm 2.1.1 , dehidratasyon çalışmaları için bölüm 2.1.2 ve rehidratasyonları için bölüm 2.1.4 deki esaslara göre hazırlandı.

Bu bölümde nümunelerin, hidratasyon, dehidratasyon ve rehidratasyonları sonucu gösterdikleri dayanım değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.

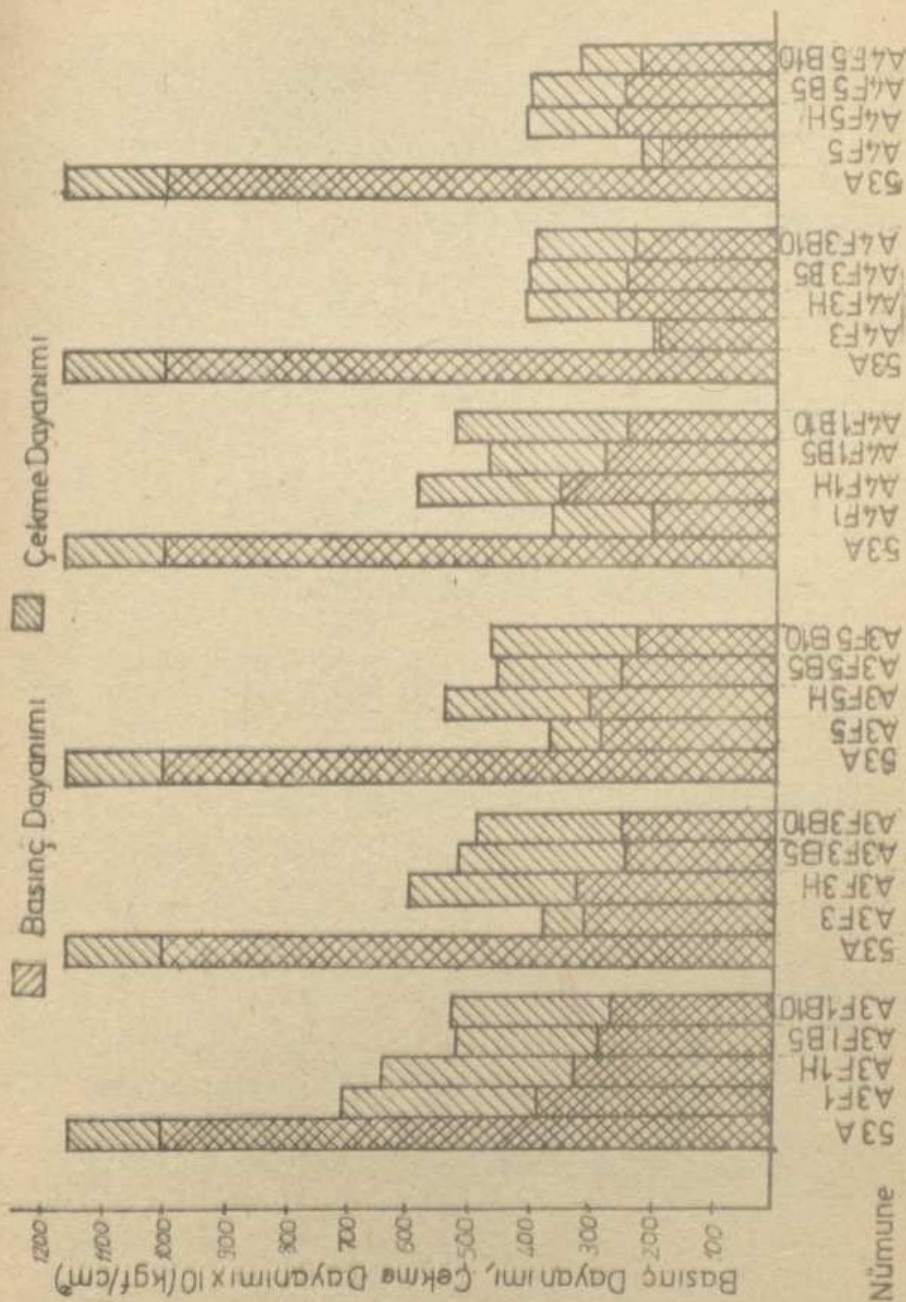
#### (1) Alüminli çimento ile hazırlanan nümuneler :

53A nümunelerinin hidratasyon, dehidratasyon ve rehidratasyon sonucundaki dayanımları, ŞEKİL 46,47,48,49 ve 50 de verilmiş bulunmaktadır. Şekillerde, nümunelerin hidratasyon ile kazandıkları basınç ve çekme dayanımlarını dehidratasyon sonucu önemli ölçüde kaybettikleri görülmektedir. Dehidratasyon sıcaklık ve süresinin bu dayanım düşüşlerine fazla bir etkisi de olmamaktadır.

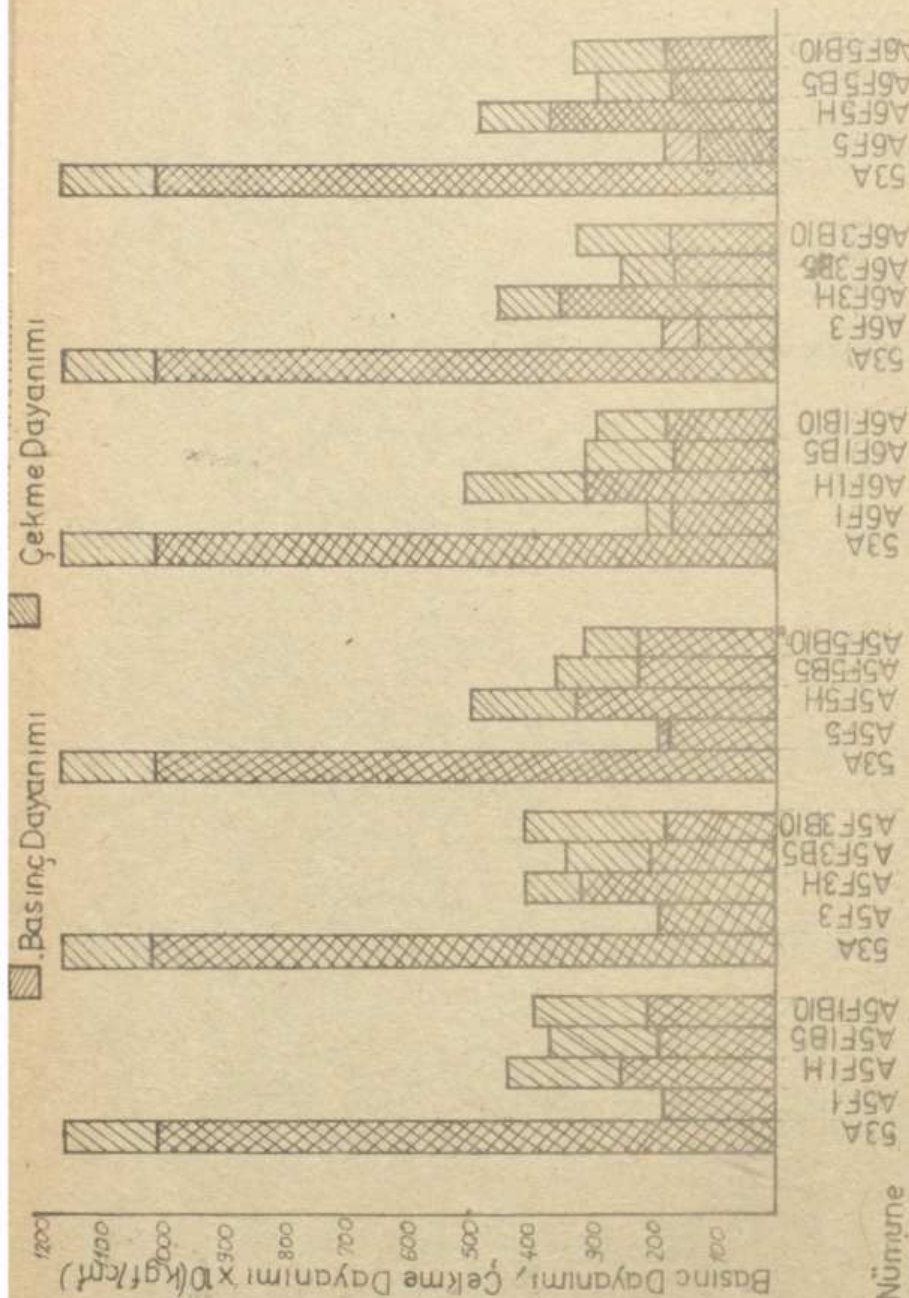
Dehidratasyon sonucu ortaya çıkan dayanım kaybının suda bekletmek ile az da olsa bir miktar geri kazanıldığı da görülmektedir. 600°C'ye kadar dehidratize edilen nümunelerde bu dayanım kazanma, dehidratasyon sıcaklık ve süresine paralel olarak artmaktadır. 900 ve 1000°C de ısıtılan nümunelerde de rehidratasyon ile önemli ölçüde dayanım kazanmaktadırlar. Örneğin, A6F5 nümunesinde rehidratasyondan önce 178,13 kgf/cm<sup>2</sup> olan ba-



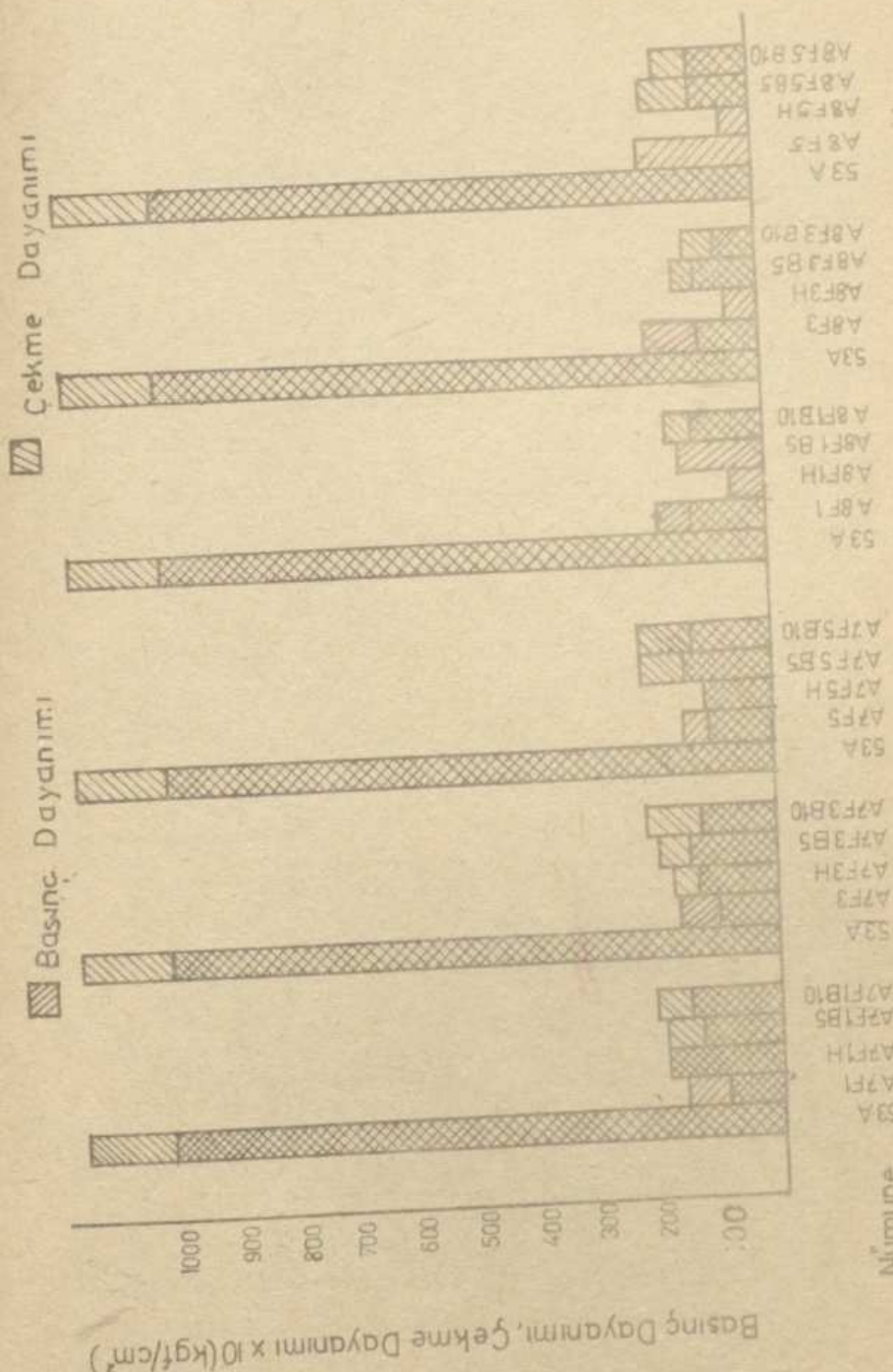
SEKİL 46: 100 ve 200°C'de ısıtılan 53A numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyondan sonra ki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması



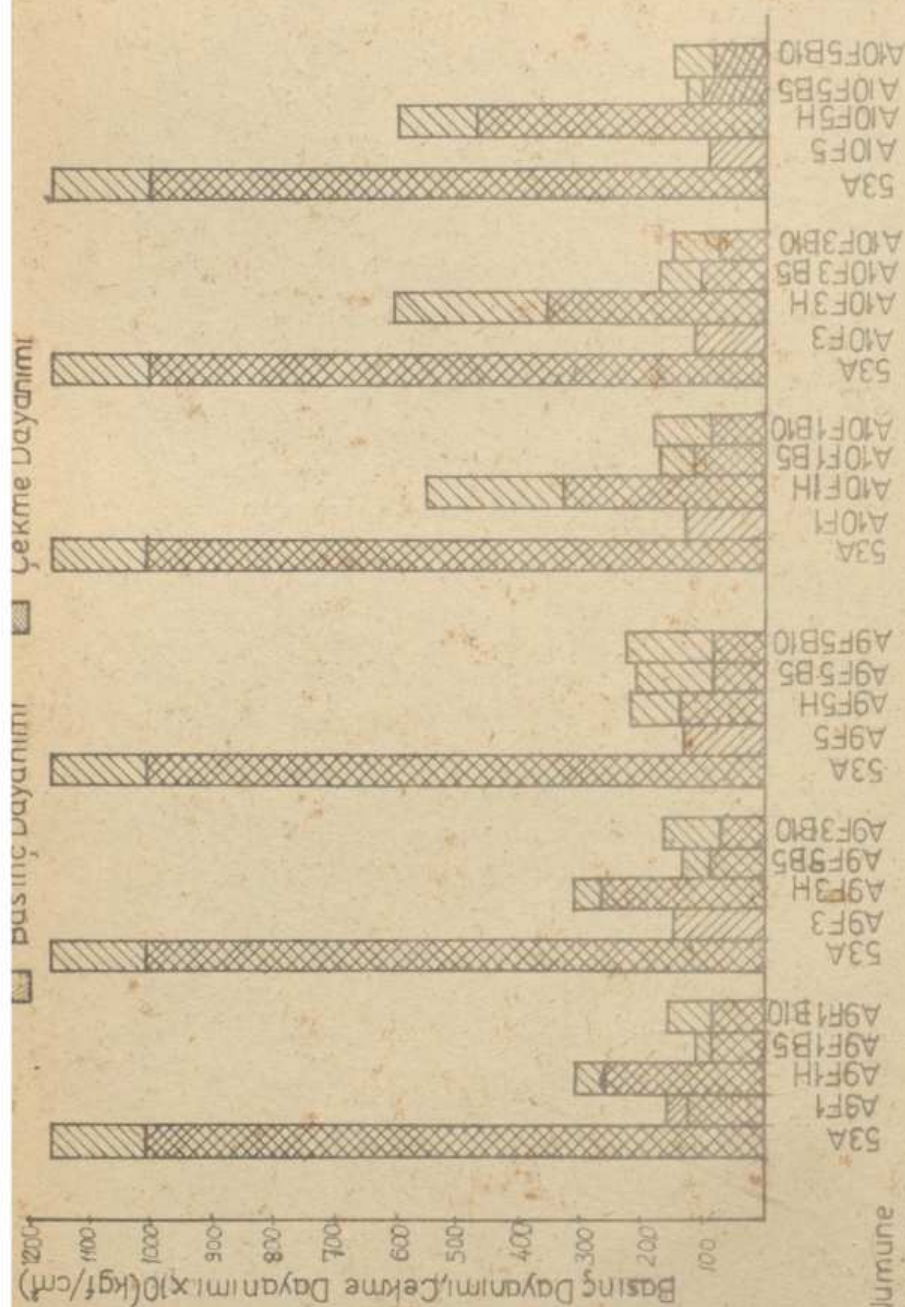
SEKİL 47: 300 ve 400°C'de ısıtılan 53A numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyondan sonra



SEKİL: 48:500 ve 600°C de ısıtılan 53A numunelerinin dehidratasyon verilerinin karşılaştırılması.



SEKİL 4 9: 700 ve 800°C de ısıtılan 53A numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyondan önceki, sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması.



Numune

SEKİL 50:900 ve 1000°C de ısıtılan 53A numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon dan:

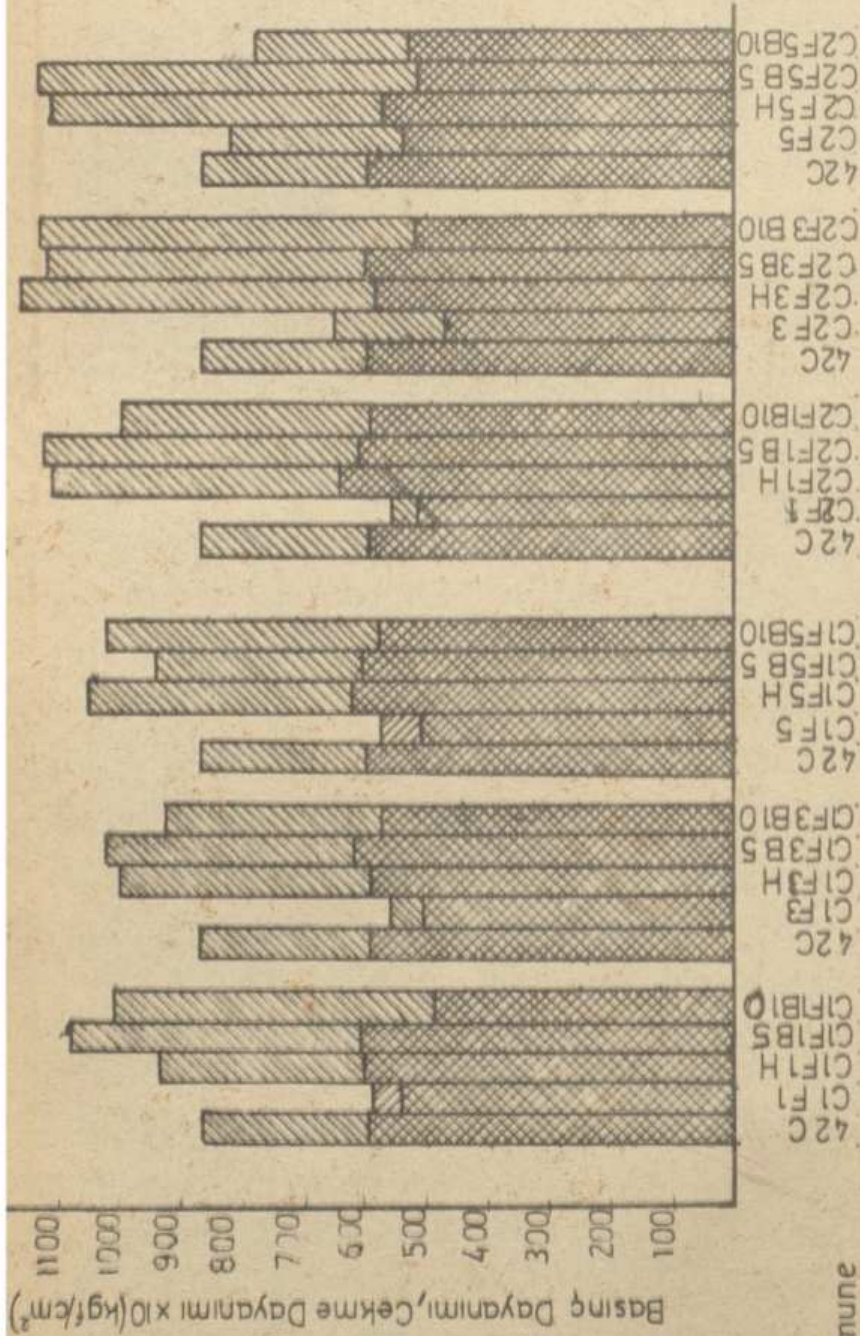
sohraki dayanımlarının orijinal dayanımla karşılaştırılması

sinç dayanımının, rehidratasyon ile 371,88 kgf/cm<sup>2</sup>' ye ve ALOF5 nümunesinde ise 90,63 kgf/cm<sup>2</sup> den 471,88 kgf/cm<sup>2</sup> ye çıkmaktadır.

Dehidratasyonla kaybedilen dayanımların, nümunelere basınçlı buhar uygulamakla tekrar kazandırılması - nin mümkün olmadığı, hatta daha fazla dayanım düşüşüne neden olabileceği anlaşılmaktadır.

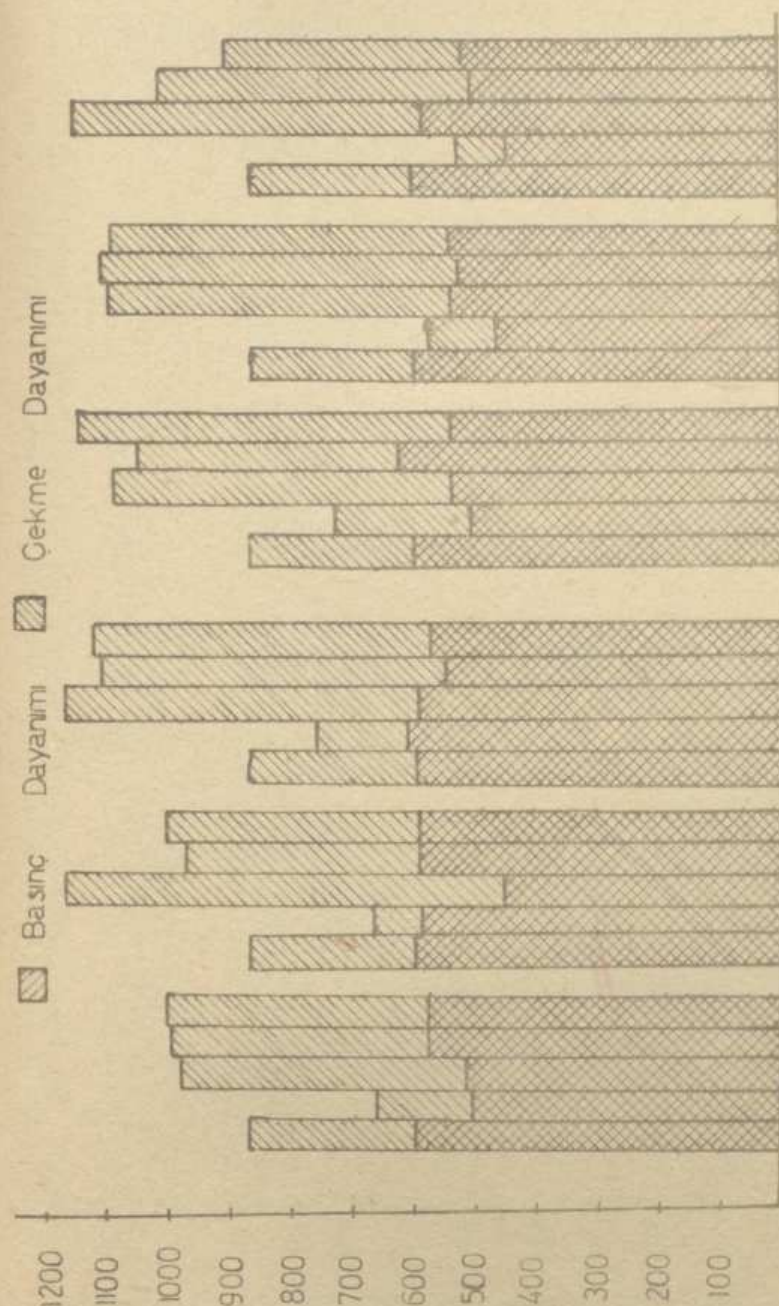
(2) Curuf çimentosu ile hazırlanan nümuneler:420 nümunelerinin, hidratasyon, dehidratasyon ve rehidratasyon sonundaki dayanımları, ÇEKİL 51,52,53,54 ve 55 de verilmiş bulunmaktadır. Dayanımların dehidratasyon - dan etkilendiği ve özellikle çekme dayanımında bu etkinin daha düşük sıcaklıklarda ortaya çıktığı görülmektedir. Dehidratasyon sıcaklığının artışı ile dayanım düşüşü de önemli ölçüde artmaktadır.

Dehidratasyon sonucu ortaya çıkan dayanım kaybının özellikle, suda bekletmek ile önemli ölçüde geri kazanıldığı yukarıdaki şekillerde açıkça görülmektedir. 400°C ye kadar dehidratize edilen nümunelerde rehidratasyon ile dayanım artışının çekme dayanımında çok fazla olduğu ve hatta orijinal dayanımının üstüne çıktığı saptandığı halde basınç dayanımından fazla bir değişim olmamaktadır. 700°C ye kadar dehidratize edilen nümunelerin rehidratasyon sonucunda basınç dayanımları orijinal nümunenin dayanımı ile hemen hemen aynı seviyede kalırken daha yüksek sıcaklıklarda dehidratize edi -



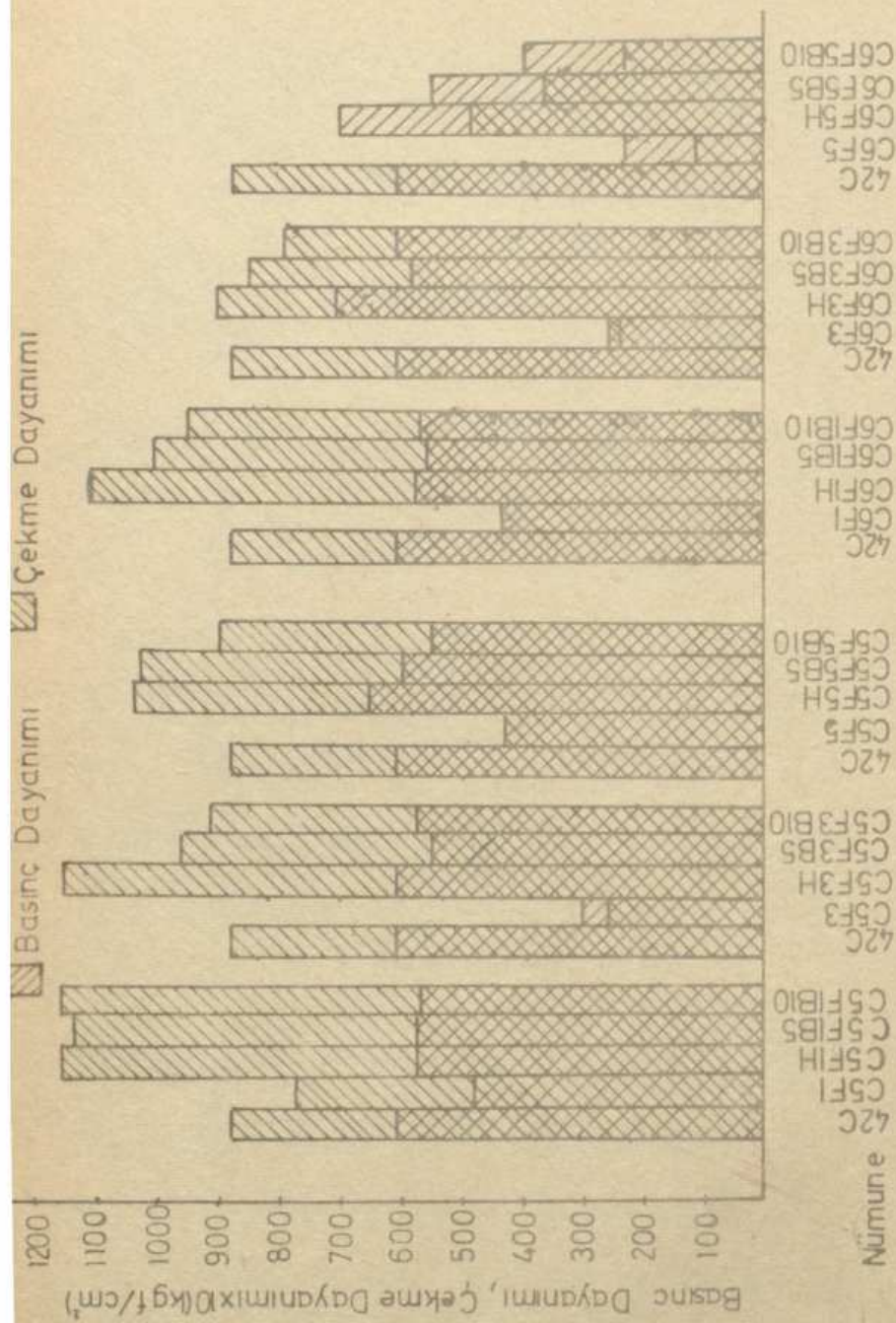
ŞEKİL 51 : 100 ve 200% de ısıtılan 42C nümünelerinin dehidratasyon ve rehid-rasyondan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması.

Basıncı Dayanımı, Çekme Dayanımı  $\times 10(\text{kgf cm}^2)$

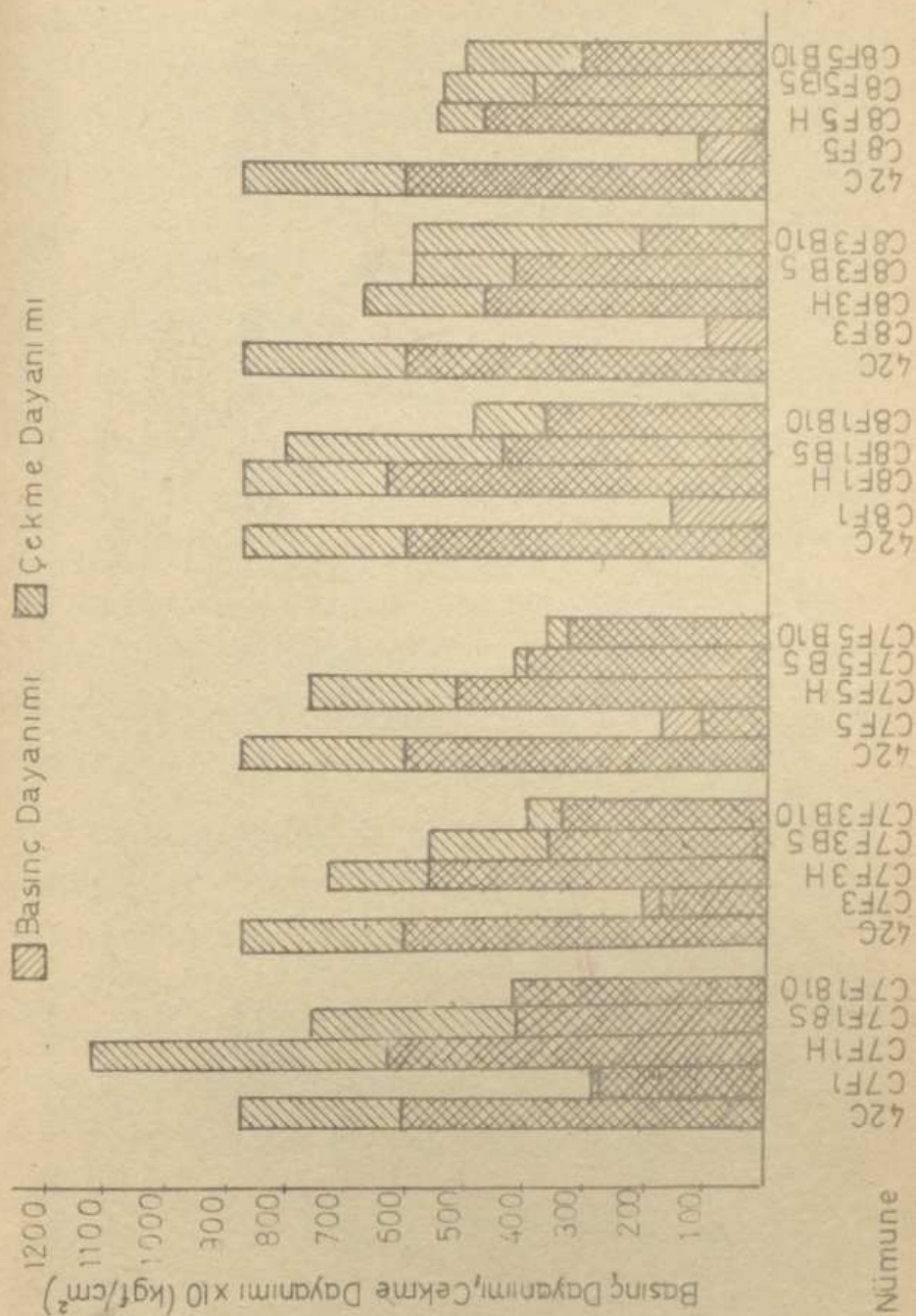


Nümuneler

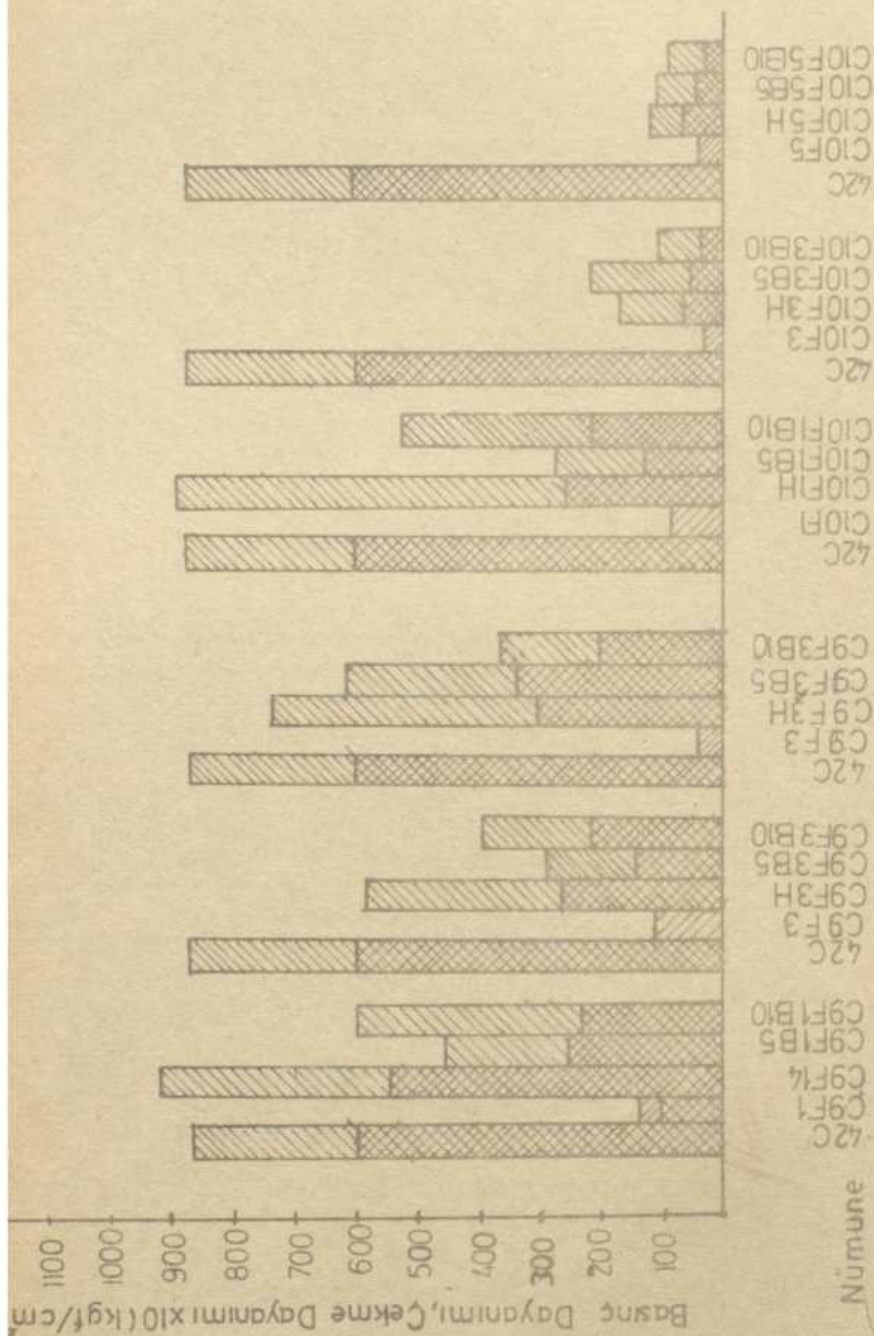
SEKİL 52: 300 ve 400°C de ısıtılan 42C nümunelerinin dehidratasyon ve rehid.



SEKİL 53: 500 ve 600°C de ısıtılan 42C nümunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon dan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması



SEKİL 54 : 700 ve 800 % de ısıtılan 42C nümunelerinin dehidratasyon ve rehid-



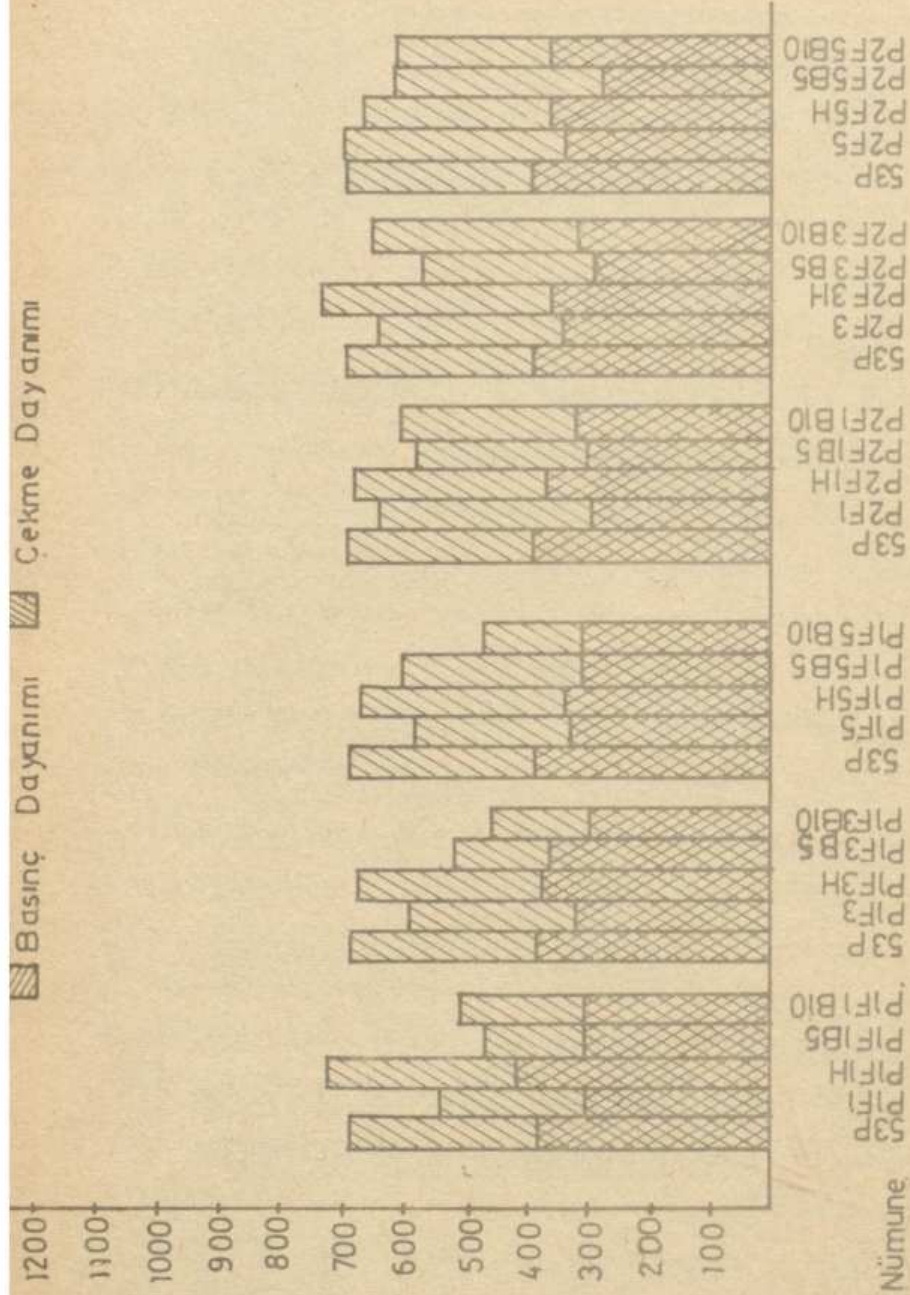
SEKİL : 55 900 ve 1000°C de ısıtılan 42C nümunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon dan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması

lenlerin rehidratasyon sonrası dayanımlarında önemli azalmalar görülmektedir. Örneğin, C5F5 nümunesinde, rehidratasyon ile basınç dayanımı,  $421,88 \text{ kgf/cm}^2$  den  $102,73 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye çıkmaktadır. C9F5 nümunesinde ise basınç dayanımının rehidratasyonla,  $53,13 \text{ kgf/cm}^2$  den  $337,50 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye, ölçülemeyecek kadar küçük olan çekme dayanımının ise  $62,01 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye kadar yükselmektedir.

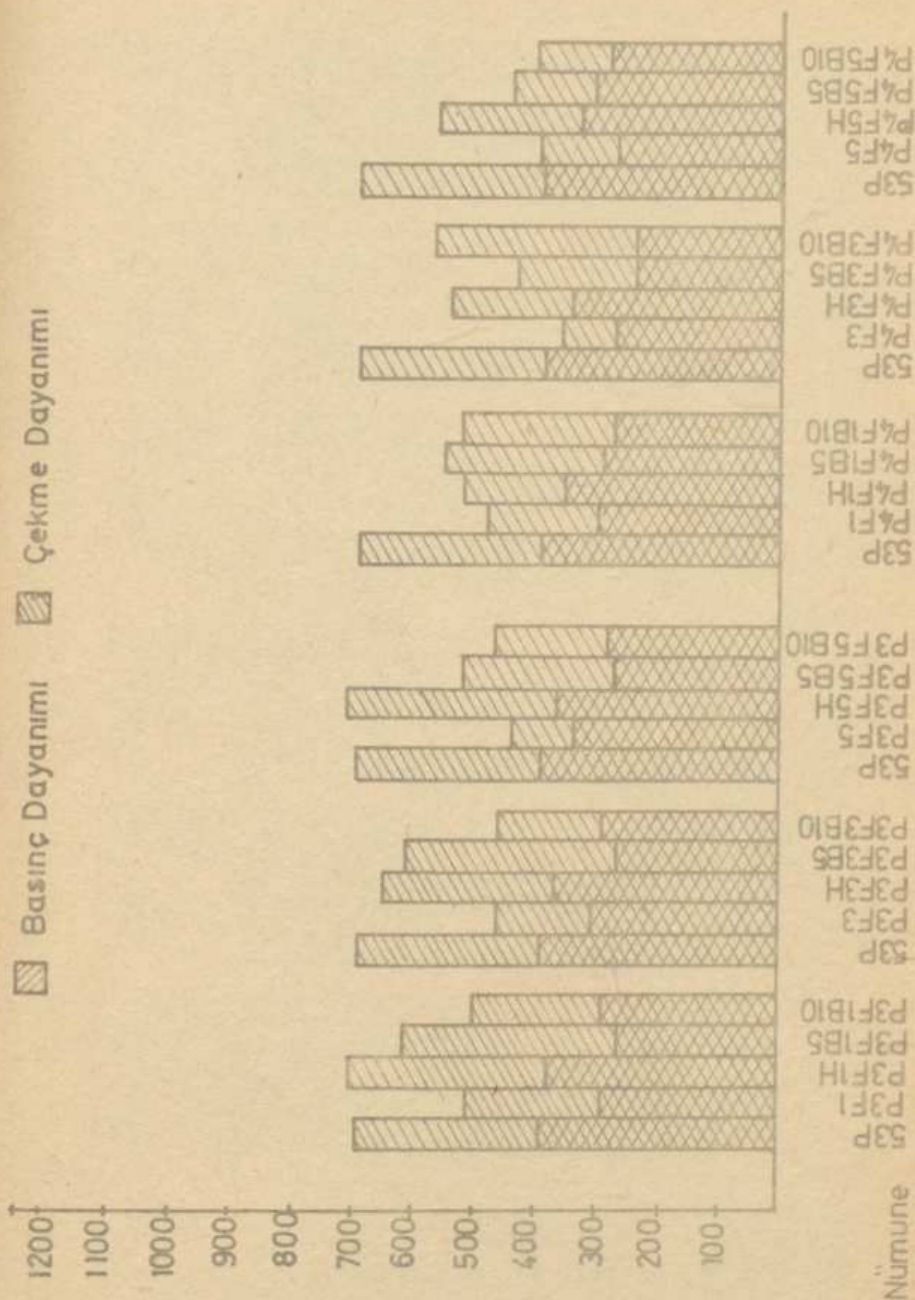
(3) Portland çimentosu ile hazırlanan nünuneler:

53P nünunelerinin hidratasyon, dehidratasyon ve rehidratasyon sonundaki dayanımları ŞEKİL 56, 57, 58, 59 ve 60 da verilmiş bulunmaktadır.  $600^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar dehidratize edilen nünunelerde dehidratasyon ile ortaya çıkan dayanım kaybının hemen hemen tamamı rehidratasyon ile geri kazanılmaktadır. Fakat bu dayanım artışında basınçlı buhar uygulaması daha az etkili olmaktadır.

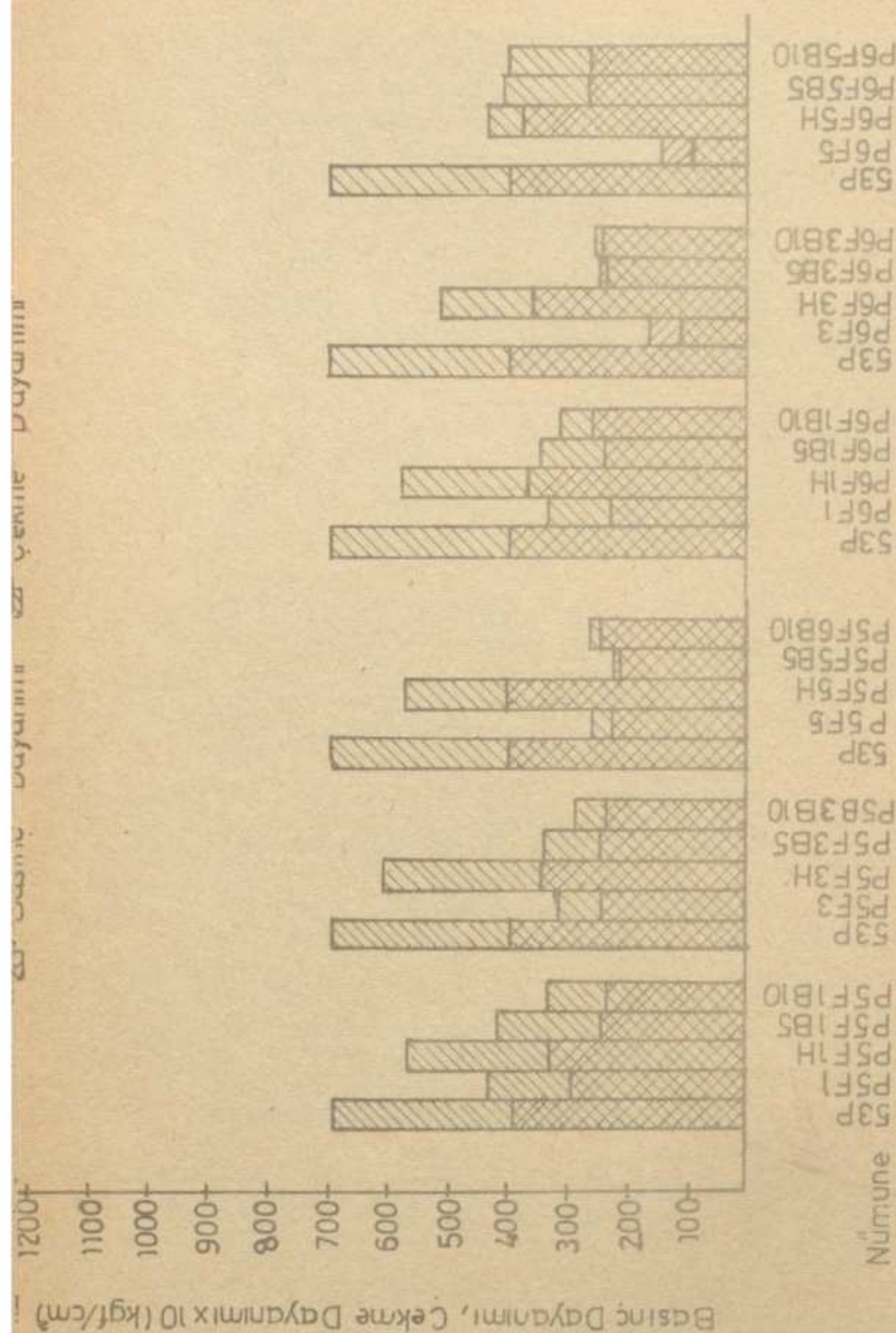
Genellikle, dehidratasyon temperaturünün artışı rehidratasyonla erişilebilen maksimum dayanımın düşmesine ve basınçlı buhar uygulamasında ise rehidratasyonun etkinliğinin artmasına sebep olmaktadır. Örneğin, basınç dayanımı  $140,63 \text{ kgf/cm}^2$  olan P6F5 nümunesinin, suda bekletilmesi ile basınç dayanımı,  $375,00 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye ve basınçlı buhar uygulaması ile  $259,38 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye;  $8,89 \text{ kgf/cm}^2$  olan çekme dayanımı ise, suda bekletilerek  $43,06 \text{ kgf/cm}^2$  ve basınçlı buhar uygulaması ile  $39,43 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye çıkmaktadır. Basınç dayanımı  $29,69 \text{ kgf/cm}^2$  olan P10F5 nümunesinde ise suda bekletilerek dayanımın



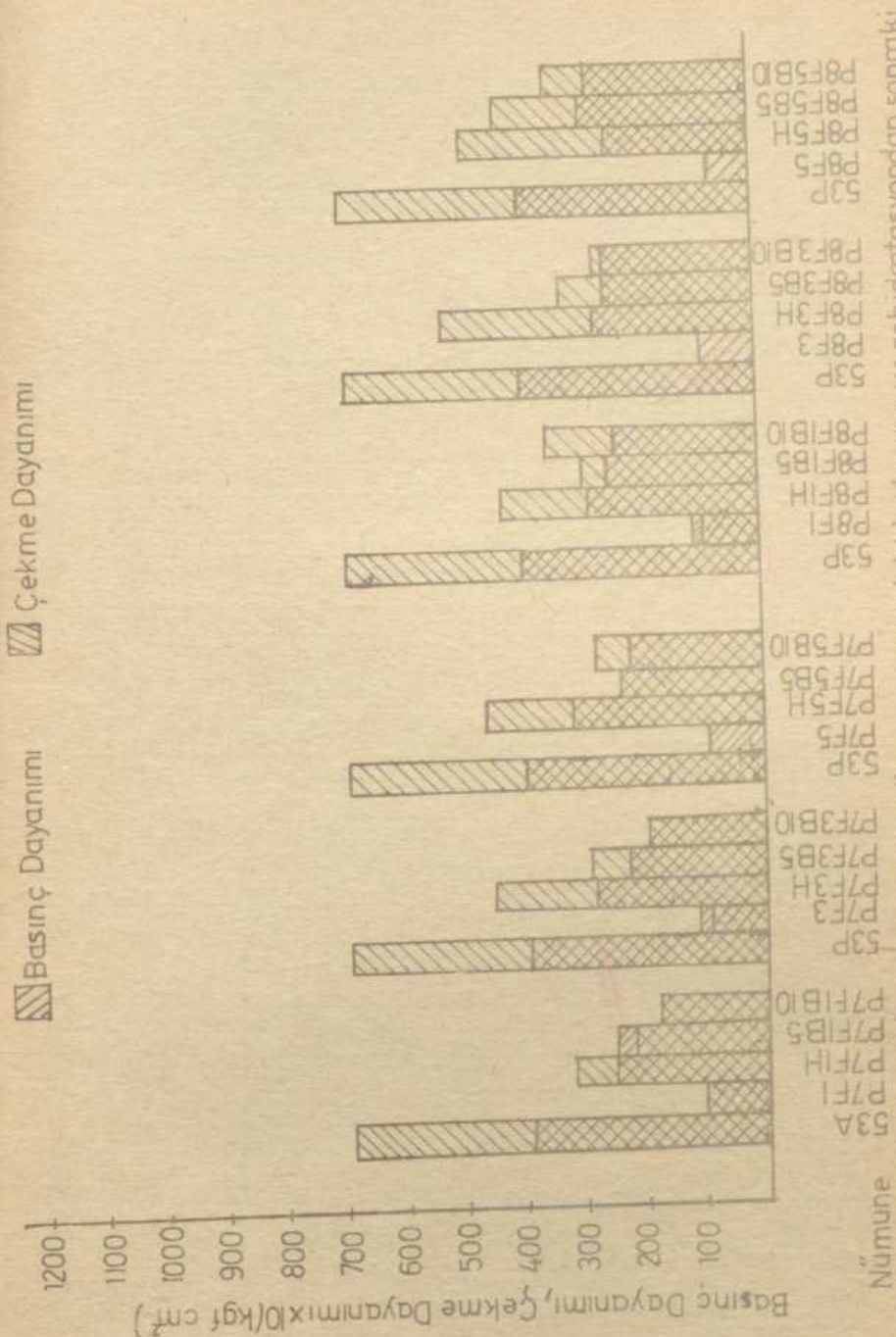
SEKİL 56: 100 ve 200°C de ısıtılan 53P numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon-  
dan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması



Şekil 57: 100 ve 400°C de 53P numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon -

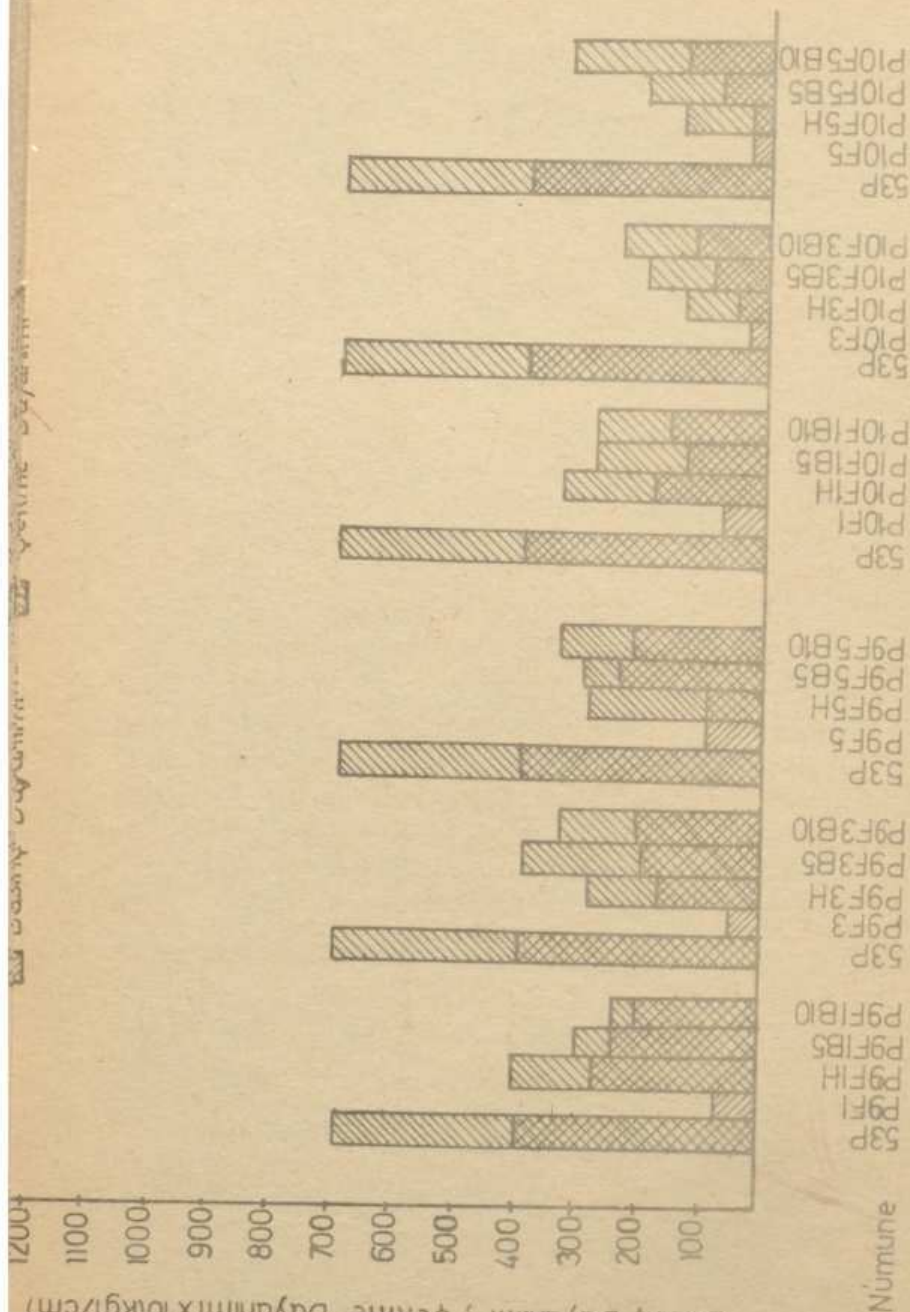


SEKİL 58: 500 ve 600°C de isticilan 53P nümünelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon-  
dan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması.



Nümune  
SEKİL 59: 700 ve 800°C de ısıtılan 53P nümünelerinin dehidratasyon ve rehidratasyondan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması.

Basınç Dayanımı, Çekme Dayanımı (kgf/cm<sup>2</sup>)

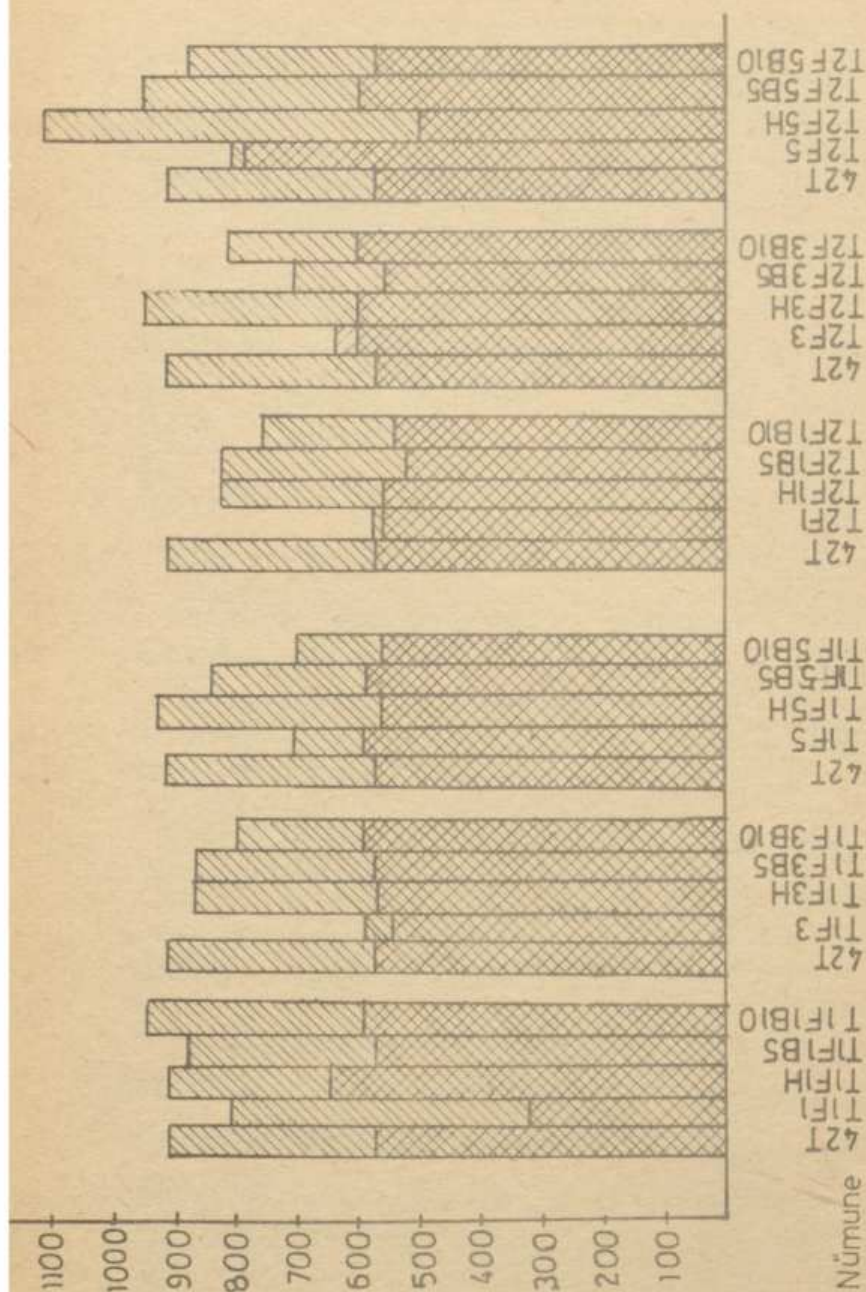


ŞEKİL 60: 900 ve 1000°C'de ısıtılan 53P nümunelerinin dehidratasyondan ve rehidratasyondan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması

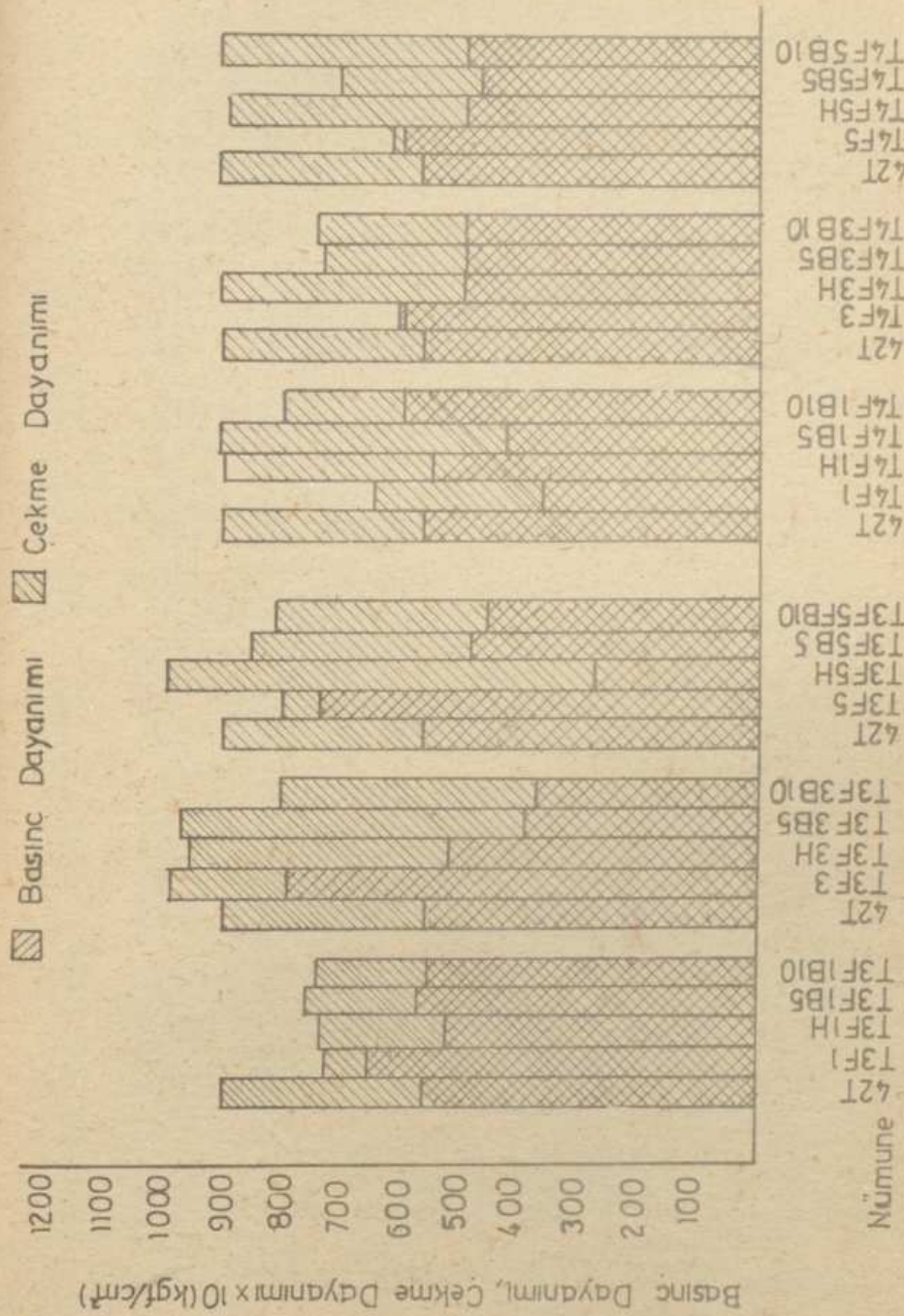
37,50 kgf/cm<sup>2</sup>'ye ve 10 saat basınçlı buhar uygulaması ile 143,75 kgf/cm<sup>2</sup>'ye; ölçülemeyecek kadar küçük olan çekme dayanımının da, suda bekletilerek 14,33 kgf/cm<sup>2</sup> ye ve 10 saat basınçlı buhar uygulaması ile 33,70 kgf/cm<sup>2</sup>'ye kadar yükselebilmektedir.

(4) Traslı çimento ile hazırlanan nümuneler: 42T nümunelerinin hidratasyon, dehidratasyon ve rehidratasyon sonundaki dayanımları, ŞEKİL 61, 62, 63, 64 ve 65 de verilmiş bulunmaktadır. 500°C ye kadar dehidratize edilen nümunelerde orijinal basınç dayanımları ile dehidratasyon ve rehidratasyon sonrası dayanımları arasında fazla bir fark olmamaktadır. Çekme dayanımının ise 400 ve 500°C de dehidratize edilen nümunelerde daha düşük olduğu görülmektedir.

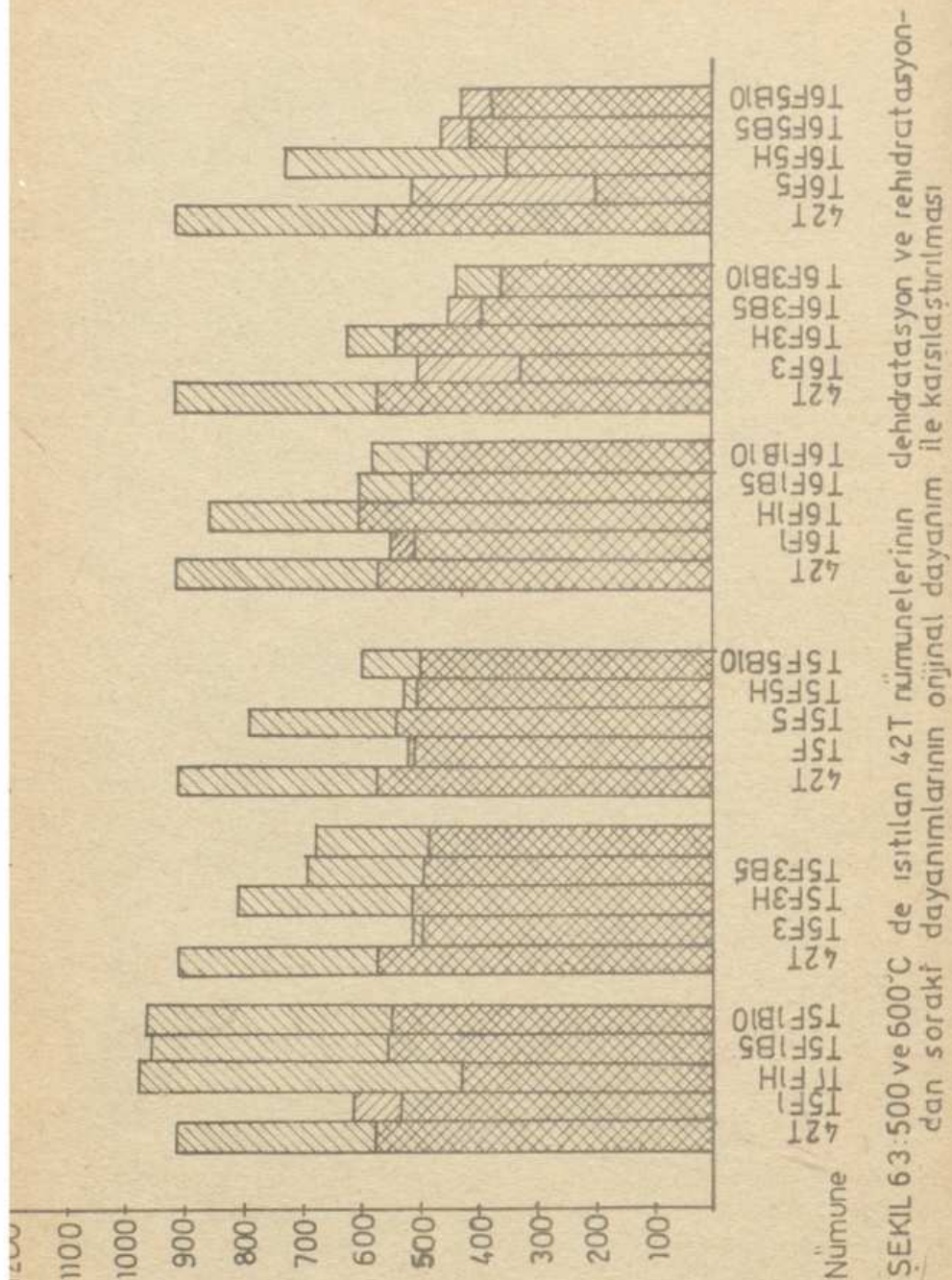
700°C ye kadar dehidratize edilen nümunelerde ortaya çıkan dayanım kaybı, özellikle suda bekletmek ile, geri kazanıldığı, dehidratasyon temperaturünün artmasının rehidratasyon sonucu erişilen maksimum dayanımı azalttığı, basınçlı buhar uygulanmasında ise rehidratasyonun etkinliğini artırdığı şekillerde açıkça görülmektedir. Örneğin, basınç dayanımı 406,25 kgf/cm<sup>2</sup> olan T6F3 nümunesinde, dayanım suda bekletilerek 537,50 kgf/cm<sup>2</sup>'ye ve 5 saat basınçlı buhar uygulaması ile 446,88 kgf/cm<sup>2</sup>'ye; 31,59 kgf/cm<sup>2</sup> olan çekme dayanımı, suda bekletilerek, 62,60 kgf/cm<sup>2</sup>'ye ve basınçlı buhar uygulaması ile 39,20 kgf/cm<sup>2</sup>'ye çıkmaktadır. Ba-



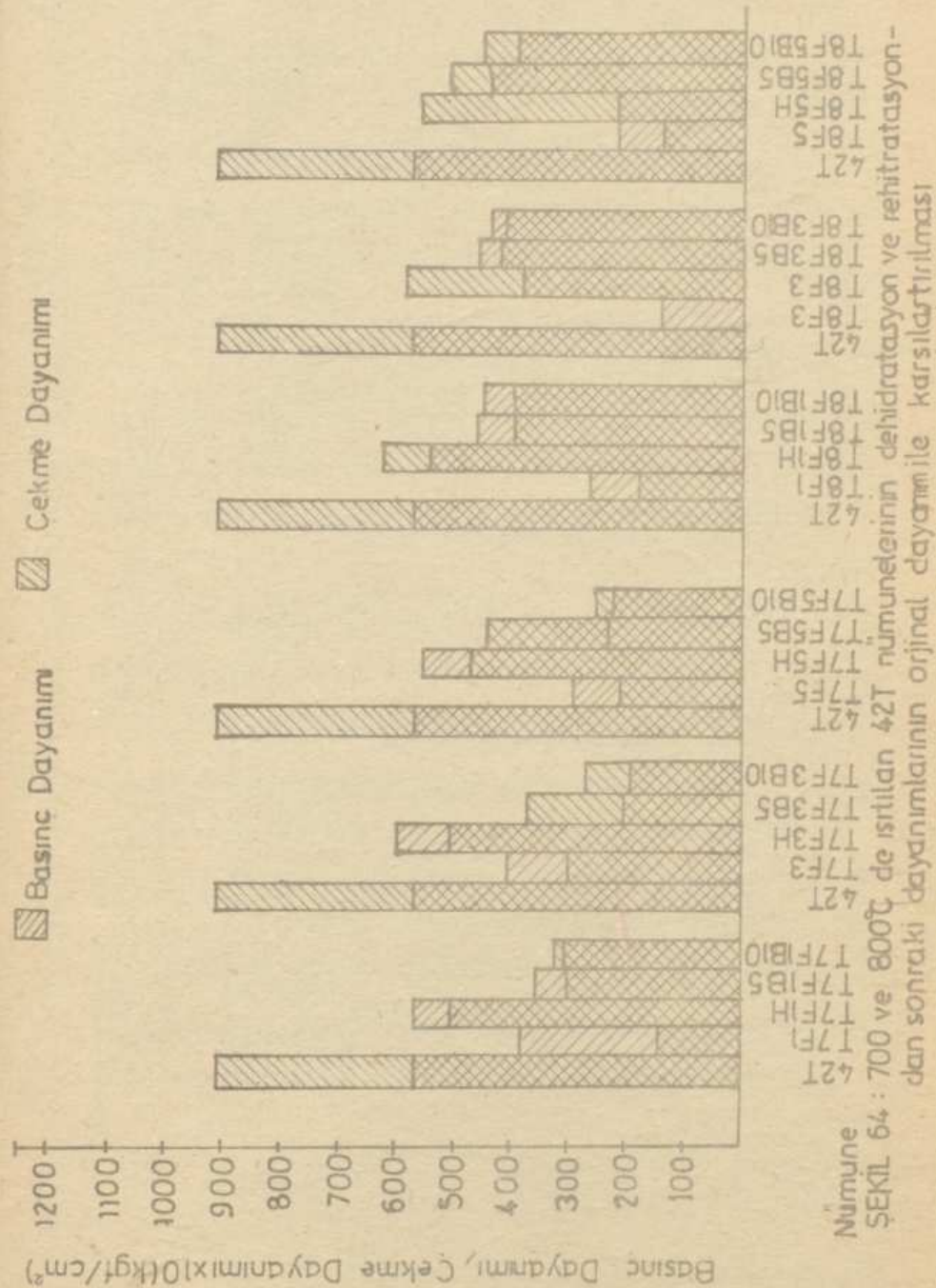
ŞEKİL 61: 100 ve 200°C'de ısıtılan 42T numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon-  
dan sonraki dayanım ile karşılaştırılması.

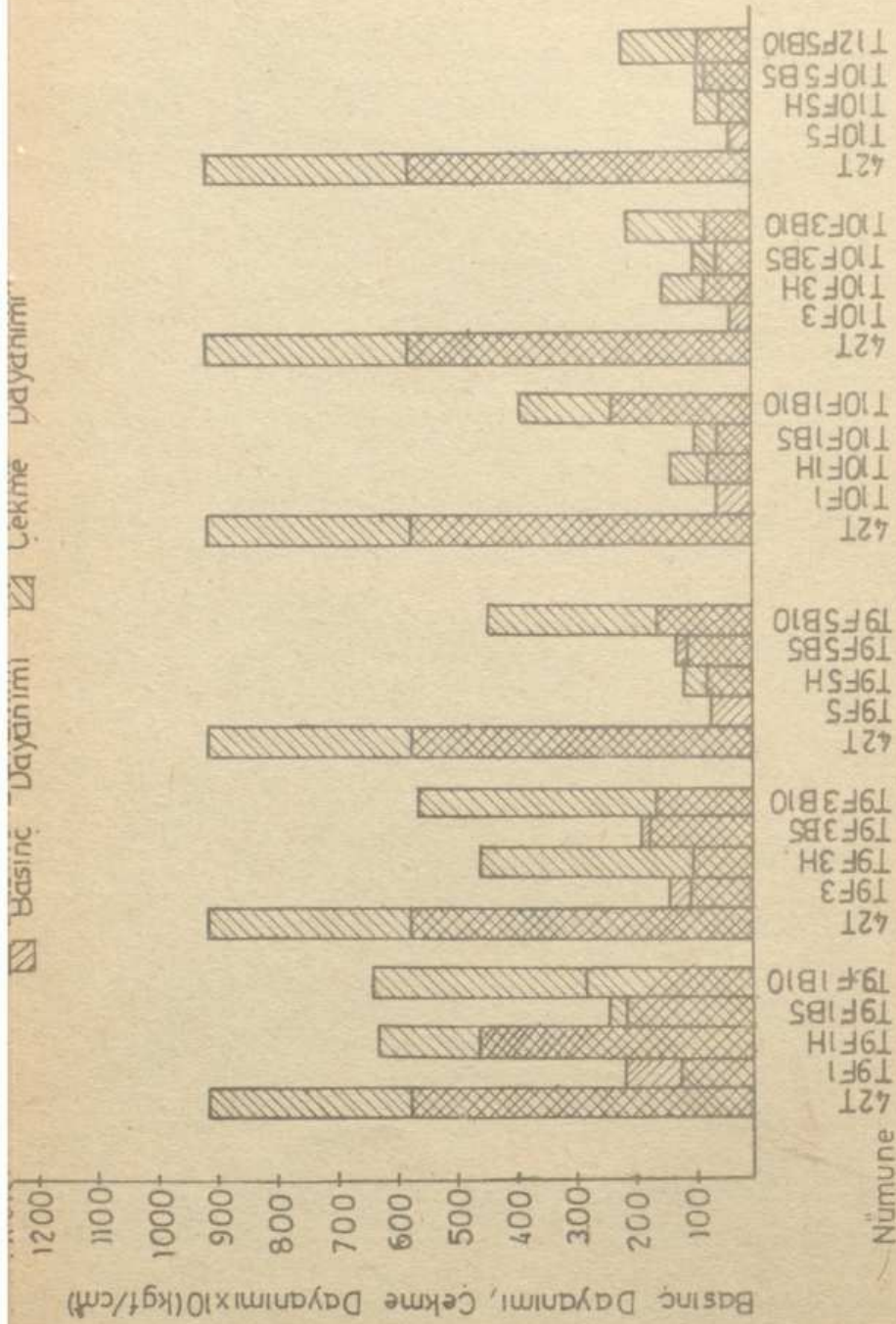


SEKİL 62: 300 ve 400°C ısıtılan 42T numunesinin dehidratasyon ve rehidratasyon-  
dan sonraki dayanımlarının eminal dayanımı ile karşılaştırılması



SEKİL 63: 500 ve 600°C de ısıtılan 42T numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon-  
dan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması





SEKİL 55: 900 ve 1000°C de ısıtılan 42T numunelerinin dehidratasyon ve rehidratasyon-  
dan sonraki dayanımlarının orijinal dayanım ile karşılaştırılması.

sınç dayanımı  $68,75 \text{ kgf/cm}^2$  olan T9F5 nümunesinde ise basınç dayanımı, suda bekletilerek,  $78,13 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye ve 10 saat basınçlı buhar uygulaması ile  $159,38 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye; ölçülemeyecek kadar küçük olan çekme dayanımı da suda bekletilerek  $11,70 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye ve basınçlı buhar uygulaması ile  $43,64 \text{ kgf/cm}^2$ 'ye kadar yükseldebilmektedir.

Görüldüğü gibi normal olarak kullanılan çimento-nun tür ve bileşimine ve s/k/ç oranına bağlı olan betonların dayanımı genellikle uygulanan dehidratasyon temperaturünden ileri derecede etkillenmektedir. Bununla beraber bu dayanım kaybının bir miktarının dehidratize beton nümunelerinin suda bekletilmesi ile veya otoklavda buhar uygulanması ile iade edilebileceği de bir gerçek olarak ortaya çıkmaktadır.

Takdim edilen şekillerin (ŞEKİL 46-65) ayrıntılı incelenmesinden, rehidratasyon ile geri kazanılan dayanımların hangi tür çimentodan hazırlanan betonlarda ne derecede gerçekleştirilebildiği açıkça görülebilecektir. Keza hangi sıcaklıkta dehidratasyona uğrayan beton nümunesinin rehidratize edilerek ne oranda yeniden dayanım kazanabileceği yine aynı şekillerden kolaylıkla çıkarılabilir.

#### 4. SONUÇLAR

1. Dört değişik tür çimento ile hazırlanan betonların özelliklerine s/ç , k/ç oranları etki etmektedir. Bu çalışma sonucunda :

a- Aluminli çimento için maksimum dayanımın s/ç= 0,5 ve k/ç= 2,5 oranlarında gerçekleşebileceği ortaya konmuştur. Bu oranlarda hazırlanan nünunelerin 30 gün yaşlandırma sonunda kazandıkları maksimum

$$\text{Çekme dayanımı} = 116,42 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Basınç dayanımı} = 1012,50 \text{ kgf/cm}^2$$

olarak bulunmuştur.

b- Curuf çimentosu için maksimum dayanımın s/ç= 0,4 ve k/ç= 2,0 oranlarında gerçekleşebileceği bulunmuştur. Bu oranlarda hazırlanan nünunelerin 30 gün yaşlandırma sonucunda kazandıkları maksimum

$$\text{Çekme dayanımı} = 86,58 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Basınç dayanımı} = 596,88 \text{ kgf/cm}^2$$

olarak bulunmuştur.

c- Portland çimentosu için maksimum dayanımın s/ç= 0,5 ve k/ç=2,5 oranlarında gerçekleşebileceği saptanmıştır. Bu oranlarda hazırlanan nünunelerin 30 gün yaşlandırma sonucunda kazandıkları maksimum

Çekme dayanımı = 68,80 kgf/cm<sup>2</sup>

Basınç dayanımı= 384,38 kgf/cm<sup>2</sup>

olarak bulunmuştur.

d- Traslı çimento için maksimum dayanımın s/ç=0,4 ve k/ç= 2,0 oranlarında gerçekleşebileceği bulunmuştur. Bu oranlarda hazırlanan nümunelerin 30 gün yaşlandırma sonucunda kazandıkları maksimum

Çekme dayanımı = 91,26 kgf/cm<sup>2</sup>

Basınç dayanımı= 564,06 kgf/cm<sup>2</sup>

olarak bulunmuştur.

2. Dört değişik tür çimento ile maksimum dayanım verecek şekilde hazırlanmış beton nümunelerinin temperaturün yükselmesine bağlı olarak ağırlık azalmasına ve buna paralel olarak da dayanım kaybına uğradıkları saptanmıştır.

a- Alüminli çimento ile hazırlanan nümuneler 1000°C de 5 saat ısıtılınca maksimum ağırlık azalmasına (% 14,06) uğradığı ve bu sırada basınç dayanımının da orijinal dayanıma göre % 91,05 oranında azaldığı bulunmuştur. 100°C de ısıtılan nümunelerde ise ağırlık azalması % 2,63 olduğu anda basınç dayanımı % 72,87 ve çekme dayanımı % 44,53 oranında düşmektedir.

b- Çuruf çimentolu nümuneler 1000°C de 5 saat ısıtılınca maksimum ağırlık azalmasına (% 12,73) uğradığı ve bu sırada basınç dayanımının orijinal dayanı-

ma göre % 92,15 oranında azaldığı saptanmıştır. 500°C de ısıtılan nümunelerde ise, ağırlık azalması % 10,41 olduğu anda basınç dayanımı % 20,42 ve çekme dayanımı % 11,48 oranında azalmaktadır.

c- Portland çimentolu nümuneler 1000°C de 5 saat ısıtılınca maksimum ağırlık azalmasına (% 13,03) uğramakta, basınç dayanımı da orijinal dayanıma göre % 92,28 oranında düşmektedir. 400°C de ısıtılan nümunelerde ise, ağırlık düşmesi % 10,69 olduğu anda basınç dayanımı % 30,08 ve çekme dayanımı % 42,35 oranında azalmaktadır.

d- Traslı çimento ile hazırlanan nümuneler 1000°C de 5 saat ısıtılınca maksimum ağırlık azalmasına (% 14,44) uğramakta, bu sırada basınç dayanımı da orijinal dayanıma göre % 93,35 oranında azalmaktadır. 500°C de ısıtılan nümunelerde ise, ağırlık azalması % 11,96 olduğu zaman basınç dayanımı % 8,59 ve çekme dayanımı % 44,23 oranında düşmektedir.

3. 100°C tan 1000°C ya kadar 100 er derece aralıklarla dehidratize edilmiş nümunelerinin rehidratasyonlarının bir dereceye kadar mümkün olduğu saptanmıştır.

a- Alüminli çimento ile hazırlanıp 600°C de 5 saat dehidratize edilen beton nümunelerinin suda bekletilerek yapılan rehidratasyonla kaybettikleri suyu % 60,42 oranında tekrar bağlayabilecekleri ve kaybettik-

leri basınç dayanımını da % 23,32 oranında tekrar kazanabilecekleri saptanmıştır. 1000°C de dehidratize edilen nümunelerin ise suda bekletmekle % 77,36 oranında tekrar su bağladığı ve % 41,36 oranında basınç dayanımı kazanabileceği bulunmuştur.

b- Curuf çimentosu ile hazırlanıp 600°C de 5 saat dehidratize edilen beton nümunelerinin kaybettikleri suyu suda bekletilerek gerçekleştirilen rehidratasyonla % 55,56 oranında tekrar bağliyabilecekleri ve kaybettikleri basınç dayanımını % 127,59 oranında geri kazanabilecekleri saptanmıştır. 800°C de dehidratize edilen nümunelerin ise suda bekletmekle % 17,54 oranında tekrar su bağladıkları ve % 73,55 oranında basınç dayanımı kazanabilecekleri bulunmuştur.

c- Portland çimentosu ile hazırlanıp 600°C de 5 saat dehidratize edilen nümunelerin kaybettikleri suyu suda bekletilerek yapılan rehidratasyonla % 86,49 oranında tekrar bağliyabilecekleri ve kaybedilen basınç dayanımını % 96,15'ni geri kazanabilecekleri bulunmuştur. 900°C de dehidratize edilen nümunelerin ise suda bekletilerek yapılan rehidratasyonla % 30,00 oranında tekrar su bağliyabilecekleri, kaybettikleri basınç dayanımını % 15,84 oranında geri kazanabilecekleri ve basınçlı buhar uyguliyarak yapılan rehidratasyonla ise kaybettikleri basınç dayanımını % 49,77 oranında tekrar kazanabilecekleri saptanmıştır.

d- Traslı çimento ile hazırlandıktan sonra 700°C de 5 saat dehidratize edilen beton nümunelerinin kaybettikleri suyu, suda bekletilerek yapılan rehidratasyonla % 60,42 oranında tekrar bağliayabilecekleri, kaybedilen basınç dayanımlarının % 97,11'ini geri kazanabilecekleri görülmüştür. 900°C de dehidratize edilen nümunelerin ise suda bekletilerek yapılan rehidratasyonla, % 22,03 oranında tekrar su bağliayabilecekleri, kaybettikleri basınç dayanımını % 1,89 oranında geri kazanabilecekleri ve basınçlı buhar uyguliyarak yapılan rehidratasyonla ise kaybedilen basınç dayanımını %18,30 oranında kazanabilecekleri bulunmuştur.

## 5. LITERATUR

1. R.H. BOGUE, Chemistry of Portland Cement (New York, Reinhold, 1955).
2. F. BUVAT, Ann. Inst. Tech. Batiment Trav. Publics , 18 , 1280-9 (1965).
3. A.M. NEVILLE, Properties of Concrete (New York, Hasted, 1973).
4. V. LACH, Proc. 9th. Conf. Silicate Ind. (Budapest , 1968).
5. T.Z. HARMATHY, ACI Journal Proc., 65 (11), 959-64 (1968).
6. A.M. NEVILLE, J. New Zealand Inst. E., 14 (3), 73-6 (1959).
7. D.L. BLOEM, Nat. Ready-Mixed Concr. Assoc. Publ. , 90 , 11 (1959).
8. T. ATICILAR, T.Ç. Müst. Bult., 127 , 3-8 (1977).
9. R. JUNG, Proc. Int. Sym. , RILEM, 1 , 89-107 ( IUPAC, 1973 ).
10. Y.M. BUTT, V.M. KOLBASOV and L.E. BERLIN, Bet. Zhelezbeton , 11 , 9-10 (1974).

11. H. MARMOR, H. LAAS; T. VIHOLEMM and H. VAPLIS ,  
Betonov, 55-9 (1971).
12. B. POSTACIOĞLU, Yapı Malzemeleri Dersleri, 213  
(1975).
13. F.M. LEA, The Chemistry of Cement and Concrete  
(London, Arnold, 1976).
14. T. THORVALDSON, Proc. Amer. Concr. Inst. , 52 , 771  
(1959).
15. RILEM Sym. , Shrinkage of Hydraulic Concr. , (Mad-  
rit, 1968).
16. K. TAKIMOTO, H. TAKAHASHI and S. TAKAQI, Jap. Cem.  
Eng. Assoc. , 13th. Gen. Meeting, 30 (1959).
17. A.M. NEVILLE, Proc. Inst. C.E. , 25 , 287 - 324  
( London , 1963 ).
18. H. UCHIKAWA and S. UCHIDA, Sementa Giusto Nempo,  
29 , 61-66 (1975).
19. L.K. DORONIN, N.V. MIKHAILOV and P.A. REBINDER ,  
Pekl. Akad. Nauk. , 172 (1), 145-8 (1967).
20. J.C. SAEMANN and G.W. WASHA, J.Amer. Concr. Inst.,  
54 , 385-95 (1957).
21. T. HARADA, J. TAKED, S. YAMANE and F. Furumura,  
Concr. Nucl. React. Proc. Int. Sem. , 1 , 377-406  
(1970).

22. T.HARADA, ACI. Sem. on Concr. for Nucl. React. ,  
16, (W.Berlin, 1970).
23. D.J. HANNAT, Engeneering, 197 , 302 (London 1964).
24. N.G. ZOLDNERS, Mines Branch Res. Report, R 64 (Ot-  
tawa, 1960).
25. D.L. KANTRO and L.E. COPELAND, Proc. 4th. Int. Sym.  
on the Chem. of Cem., 429-52 (Washington, 1960).
26. T.Z. HARMATHY and L.W. Allen, Journal Amer. Concr.  
Inst. , 70 (2), 132-42 (1973).
27. G.L. KALOUSEK and K.T. GREENE, Transp. Res. Circ.,  
176 , 30-41 (1976).
28. V. LACH, Zem-Kalk-Gips, 52 (2), 57-61 (1970).

## HAL TERCÜMESİ

Mustafa BOYBAY, 1951 yılında Adıyaman'da doğmuş, 1968 yılında Ankara Kimya Sanat Enstitüsünü, 1969 yılında Diyarbakır Ziya Gökalp Lisesini ve 1974 yılında ODTÜ Fen ve Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl Elazığ Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisinde kimya dersi uzmanı olarak göreve başlamıştır. 1975 yılından beri aynı Akademide kimya asistanı olarak çalışmaktadır.

