

ISIL İŞLEM UYGULAMANIN
YÜKSEK DOZAJLI BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh.Hakan GÜLSEREN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Ocak 1993

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Şubat 1993

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Mehmet UYAN

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr.Saim AKYÜZ

Doç.Dr.Hulusi ÖZKUL

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ
ŞUBAT 1993

ÖNSÖZ

Tezimi yöneten ve çalışmalarım sırasında kıymetli bilgileri ve sabrı ile yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Mehmet UYAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda emeği geçen tüm İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Öğretim hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme bu vesile ile teşekkürü borç bilirim.

İstanbul, 1993

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
NOTASYON	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	3
1.1.1. Isıl İşlemler ile İlgili Genel Bilgiler	3
1.1.1.1. Isıl İşlemlerin Tanımı ve Sınıflandırılması	3
1.1.1.2. Isıl İşlemlerin Hidratasyona Etkileri	4
1.1.1.3. Isıl İşlem Etkileyen Faktörler	5
1.1.1.4. Isıl İşlem Çevrimi	6
1.1.1.5. Isıl İşlem Uygulamanın Başarı Derecesi	9
1.1.1.6. Atmosfer Basıncı Altında Buhar Kürü Yöntemi	9
1.1.2. Çimento ile İlgili Genel Bilgiler	11
1.1.2.1. Isıl İşlenecek Betonlar İçin Çimento Seçimi	11
1.2. Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi	12
1.3. Araştırmanın Kapsamı	13
1.4. Konuyla İlgili Çalışmalar	14

BÖLÜM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
2.1. Malzemenin Tanımlanması	18
2.1.1. Agreganın Özellikleri	18
2.1.2. Çimento Özellikleri	18
2.2. Beton Karışımları	20
2.3. Beton Üretimi-Karıştırma, Yerleştirme, Saklama	23
2.4. Uygulanan Isıl İşlem Çevrimleri	25
2.5. Numune Boyutları ve Sayıları	28
2.6. Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler ..	29
2.6.1. Taze Beton Deneyleri	29
2.6.2. Isıl İşlem Çevrimlerinin Uygulanması	30
2.6.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri	33
2.7. Deney Programı	34
BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI	36
3.1. Taze Beton Deney Sonuçları	36
3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	36
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ	46
4.1. Basınç Mukavemeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	46
4.2. Eğilme Mukavemeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	52
4.3. Özet Tablo	57
4.4. Ultrases Hızı Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	57
4.5. Kılcallık Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	59
4.6. Su Emme Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	60
BÖLÜM 5. SONUÇLAR	99
5.1. Basınç Mukavemeti ile İlgili Sonuçlar	99
5.2. Eğilme Mukavemeti ile İlgili Sonuçlar	100
5.3. Ultrases Hızı ile İlgili Sonuçlar	100
5.4. Kılcallık ile İlgili Sonuçlar	101
5.5. Su Emme ile İlgili Sonuçlar	101
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	107

NOTASYON

Q	: Mol başına kalori cinsinden aktivasyon enerjisi
R	: Gaz sabiti
T	: Mutlak sıcaklık
K	: Reaksiyon hızı
A	: Katsayı
S	: Alan
σ	: Eğilme mukavemeti
P	: Tekil yük
L	: Mesnet açıklığı
B	: Numune kesiti kenar boyutu
k	: Difüzyon katsayısı
S'	: Eğim
W _o	: Numunenin kuru ağırlığı
W _{dh}	: Numunenin suya doygun durumda havadaki ağırlığı
W _{ds}	: Numunenin suya doygun durumda su içindeki ağırlığı
V	: Ultrases hızı
L'	: Numune boyu
T'	: Ultrases geçiş süresi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No:

1.1. Isıl İşlem Çevrimi Dönemleri	7
2.1. Karışıma Giren Agregaların Granülometri Eğrileri	21
2.2. Karışım Agregasının Granülometri Eğrisi	23
2.3. Uygulanan Isıl İşlem Çevrimleri	27
2.4. Elektronik Kumandalı Isıl İşlem Fırını	28
2.5. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde Sıcaklık Değişimi	31
2.6. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Numunelerde Sıcaklık Değişimi	31
2.7. Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde Sıcaklık Değişimi	31
2.8. Isıl İşlem Uygulanmış Betonda Sıcaklık Değişimi	32
4.1. 1 Günlük Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	62
4.2. 28 Günlük Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	62
4.3. 90 Günlük Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	63
4.4. 20°C'de Saklanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	64
4.5. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	64
4.6. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	65
4.7. Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	65
4.8. 1 Günlük Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Dozaja Göre Değişimi	66
4.9. 28 Günlük Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Dozaja Göre Değişimi	66
4.10. 90 Günlük Numunelerin Basınç Mukavemetlerinin Dozaja Göre Değişimi	67
4.11. 300 Dozlu Betonların Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	68
4.12. 350 Dozlu Betonların Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	68
4.13. 400 Dozlu Betonların Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	69
4.14. 450 Dozlu Betonların Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	69
4.15. 500 Dozlu Betonların Basınç Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	70

4.16. 20°C'de Saklanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	71
4.17. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	71
4.18. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	72
4.19. Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde Basınç Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	72
4.20.1 Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	73
4.21. 28 Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	73
4.22. 90 Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	74
4.23. 20°C'de Saklanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	75
4.24. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	75
4.25. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	76
4.26. Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin Zamana Göre Değişimi	76
4.27.1 Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetlerinin Dozaja Göre Değişimi	77
4.28. 28 Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetlerinin Dozaja Göre Değişimi	77
4.29. 90 Günlük Numunelerin Eğilme Mukavemetlerinin Dozaja Göre Değişimi	78
4.30. 300 Dozlu Betonların Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	79
4.31. 350 Dozlu Betonların Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	79
4.32. 400 Dozlu Betonların Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	80
4.33. 450 Dozlu Betonların Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	80
4.34. 500 Dozlu Betonların Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	81
4.35. 20°C'de Saklanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	82
4.36. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	82
4.37. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	83
4.38. Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde Eğilme Mukavemetlerinin (A/C) Oranı İle Değişimi ..	83
4.39.1 Günlük Numunelerin Ultrases Hızlarının Uygulanan Kür İle Değişimi	84
4.40. 28 Günlük Numunelerin Ultrases Hızlarının Uygulanan Kür İle Değişimi	84
4.41. 90 Günlük Numunelerin Ultrases Hızlarının Uygulanan Kür İle Değişimi	85
4.42. 20°C'de Saklanmış Numunelerde Ultrases Hızlarının Zamana Göre Değişimi	86
4.43. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde	

Ultrases Hızlarının Zamana Göre Değişimi ...	86
4.44. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Numunelerde Ultrases Hızlarının Zamana Göre Değişimi ...	87
4.45. Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde Ultrases Hızlarının Zamana Göre Değişimi ...	87
4.46.1 Günlük Numunelerin Ultrases Hızlarının Dozaja Göre Değişimi.....	88
4.47.28 Günlük Numunelerin Ultrases Hızlarının Dozaja Göre Değişimi	88
4.48.90 Günlük Numunelerin Ultrases Hızlarının Dozaja Göre Değişimi	89
4.49.300 Dozlu Betonların Ultrases Hızlarının Uygulanan Kür İle Değişimi	90
4.50.350 Dozlu Betonların Ultrases Hızlarının Uygulanan Kür İle Değişimi	90
4.51.400 Dozlu Betonların Ultrases Hızlarının Uygulanan Kür İle Değişimi	91
4.52.450 Dozlu Betonların Ultrases Hızlarının Uygulanan Kür İle Değişimi	91
4.53.500 Dozlu Betonların Eğilme Mukavemetlerinin Uygulanan Kür İle Değişimi	92
4.54.20°C'de Saklanmış Numunelerde Ultrases Hızlarının (A/C) Oranı İle Değişimi	93
4.55. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde Ultrases Hızlarının (A/C) Oranı İle Değişimi	93
4.56. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Numunelerde Ultrases Hızlarının (A/C) Oranı İle Değişimi	94
4.57. Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde Ultrases Hızlarının (A/C) Oranı İle Değişimi	94
4.58.28 Günlük Numunelerde Difüzyon Katsayısının Dozaja Göre Değişimi.....	95
4.59.28 Günlük Numunelerde Difüzyon Katsayısının Uygulanan Kür İle Değişimi	95
4.60.28 Günlük Numunelerde Görünen Porozitenin Dozaja Göre Değişimi	96
4.61.28 Günlük Numunelerde Görünen Porozitenin Uygulanan Kür İle Değişimi	96
4.62.28 Günlük Numunelerde Ağırlıkça Su Emme Oranının Dozaja Göre Değişimi	97
4.63.28 Günlük Numunelerde Ağırlıkça Su Emme Oranının Uygulanan Kür İle Değişimi	97
4.64. Sertleşmiş Betonun Birim Hacim Ağırlığının Dozaja Göre Değişimi	98
4.65.1 m ³ Betonun Gerçek Bileşimde (A/C) Oranının Çimento Dozajı İle Değişimi	98

TABLO LİSTESİ

Sayfa No:

2.1. Agrega Özellikleri	19
2.2. Çimentonun Fiziksel Özellikleri	19
2.3. Çimentonun Mekanik Özellikleri	20
2.4. Karışım Agregasının Granülometrik Bileşimi	21
2.5. Isıl İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Betonların Bileşimleri (1 m ³) için ve Taze Beton Özellikleri	22
2.6. Birbirinden Bağımsız Isıl İşlem Çevrimlerinin Özellikleri	27
3.1. Basınç Mukavemeti Değerleri	39
3.2. Eğilme Mukavemeti Değerleri	40
3.3. Ultrases Hızı Değerleri	41
3.4. Difüzyon Katsayısı Değerleri	42
3.5. Birim Hacim Ağırlık Değerleri	43
3.6. Görünen Porozite Değerleri	44
3.7. Ağırlıkça Su Emme Oranı Değerleri	45
4.1. Çimento Dozajının Sıcaklığa Bağlı Olarak Basınç ve Eğilme Mukavemetlerine Etkisinin Özeti	56

ÖZET

Bu çalışmada betonun ilk yaşlardaki mukavemet gelişimini hızlandırmada yararlanılan ısıtma işlemlerin, yüksek dozajlı yani hidrasyon ısıtması yüksek betonlara uygulanması durumunda, betonun ilk ve ileri yaşlardaki mukavemetine ve diğer fiziksel özelliklerine ne şekilde etki ettiği araştırılmıştır.

Bu çalışmada beton agregası karışımının granülometri eğrisi TS 706 şartnamesine göre (A16-B16) referans eğrileri arasında kalacak şekilde ayarlanmıştır. En büyük agrega boyutu, granülometrisi ve su/çimento oranları sabit, dozajları sırasıyla 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olan beş farklı bileşimde beton üretilmiştir. En düşük dozajlı beton karışımının kıvamını kuru-plastik, en yüksek dozajlı beton karışımının kıvamını akıcı hale getiren su/çimento oranının 0.50 olduğu tesbit edilmiş ve tüm beton karışımlarında bu oran sabit tutulmuştur.

Üretildikten hemen sonra 20°C'de havada bekletilen numunelere "20°C'de saklanmış" adı verilmiştir. Uygulanan ısıtma işlem çevrimlerinin 8n bekleme süreleri, ısınma ve soğuma hızları, ısıtma işlem sıcaklıkları, bu sıcaklıkta bekleme süreleri birbirinden tamamen farklıdır. Bunlardan ısıtma işlem sıcaklıkları 40°C olana "yumuşak çevrim", 60°C olana "ılımlı çevrim", 80°C olana "sert çevrim" adı verilmektedir.

Deneyler sonucunda çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Betonlara uygulanan kuru işlem sıcaklığı arttıkça, 1 günlük numunelerin basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti ve ultrases hızı da artmıştır. Betonun her üç özelliğine de ılımlı ve sert çevrim uygulamaları 1. günde, diğer kuru uygulamalarına oranla en olumlu sonuçları vermiştir. İleri yaşlarda uygulanan üç ısıtma işlem çeşidi de, 20°C'de saklanan betonlara oranla basınç mukavemetini düşürmezken, eğilme mukavemetine basınç mukavemetine oranla daha olumsuz etki yapmıştır. Beton ultrases hızı değerleri ise ileri yaşlarda, ısıtma sıcaklıkları yüksek ılımlı ve sert çevrimlerden, 20°C'de saklanan numunelere oranla olumsuz etkilenmiştir. Su/çimento oranı sabit tutulduğundan dozaj arttıkça ısıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış betonlarda basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti ve ultrases hızı olumsuz yönde etkilenmiştir. Betonun difüzyon katsayısı da dozaj arttıkça yükselmiştir. 350 dozdan sonra dozajın artmasıyla porozite değerleri ısıtma işlemi betonlarda şahit betonlardan daha büyük çıkmıştır.

SUMMARY

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT APPLICATION ON PROPERTIES OF HIGH CONTENT CEMENT CONCRETE

Heat treatments are used to increase the early strength of concrete. The productivity of a form can be considerably increased at comparatively little cost. In addition it makes casting in the precast works and the construction site largely independent of the weather. No modern concrete works should therefore be without a heating system for concrete hardening. Different systems are in the mean time available on the market so that an optimal solution can be found for every application. The proper heating system can thus only be selected following thorough analyses at the intended location and comprehensive consultation.

The increasing utilization of concrete in industrial and private building projects is due in no small measure to the increase of the early strength of concrete that was achieved during the past few decades. Efforts to attain increasingly higher early strengths are aimed at raising the productivity in concrete construction still further. Through the acceleration of the development of strength at an early concrete age, continuous production processes are possible in particular in the manufacture of serial parts. In this way, the major part of all concrete production activities at the construction site and in the precast works will become independent of seasonal temperature fluctuations.

An increase of early strength of concrete can be achieved through.

- Utilization of rapid hardening cements
- as low as possible water/cement ratios
- use of accelerators
- heat application

The most widely used method among these is steam curing under atmospheric pressure, in other say "Application of Heat Treatment". Steam curing causes some reduction in strength of concrete at later ages,

while increasing the early strength. This observable fact was explored by many researchers for normal content cemented concrete. By this study, it was tried to find out the influence of steam curing on the properties of high content cemented concrete at early and later ages.

This study is presented in 5 chapters. In the first chapter general knowledge about the subject, designations, related literature, the purpose and the necessity of the study are given. The experimental work is handled in the second chapter. The characteristics of the concrete compositions, the proportions of concrete mixes, the methods of preparations and curing of concretes are given in this chapter. The types of heat treatment cycles and the experimental techniques used in tests are also given in the second chapter. The test results obtained of hardened concrete are listed and necessary explanations are given in the third chapter. Appraisals of test results and their discussion on the effect of the heat treatment are the subjects of the fourth chapter. The conclusions evolved from the study and proposals for further investigations are given in the last chapter.

Granulation curve of aggregate mixture belong concrete samples had been regulated so as to be between of (A15-B16) curves according to T.S. 706 list of conditions. The maximum aggregate size and grading of aggregate and effective water/cement ratios were kept constant. The cement content of mixes was changed from 300 kg/m^3 up to 500 kg/m^3 and the increasing step was 50 kg/m^3 .

The optimum water/cement ratio was obtained as 0.50 for all mixes. This ratio occurred with acceptable consistency of fresh concretes. Normal portland cement (PC 400) was used.

The following different heat treatment cycles have been applied: the presteaming period-holding, preset-temperature rise period, maximum temperature period-heat treatment temperature-and cooling period and also total cycling period were varied. When presteaming period is 4 hours, heating and cooling rate is 10°C/h , maximum temperature is 40°C and the total cycle time is 20 hours that cycle has been called "Long or smooth cycle". When presteaming periods are 2 and 1 hour, heating and cooling rates are 20°C/h and 30°C/h , maximum temperatures are 60°C and 80°C and the total cycle times are 12 hours and 8 hours those cycles were called "moderate" cycle and "short-hard" cycle.

Control mixes cured on the air at temperature 20°C

and 70 ± 5 percentage of humidity. And they were tested in order to demonstrate the relative influence of the heat treatment cycles on the properties of high content cemented concrete; with respect to normal dose concrete.

The parameters of the heat treatment cycles, have been collected and shown in the Table 1. In addition the functions of the cycles which variate by the temperature and time are shown in Figure 1.

Table 1- Properties of Cycle Parameters

CYCLE TYPE	DELAY (hour)	HEATING-COOLING RATE ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)	MAX. TEMP. ($^{\circ}\text{C}$)	TOTAL CYCLE TIME (h)
KEEP AT 20°C	----	-----	20	24
LONG CYCLE	4	10	40	20
MODERATE CYCLE	2	20	60	12
SHORT CYCLE	1	30	80	8

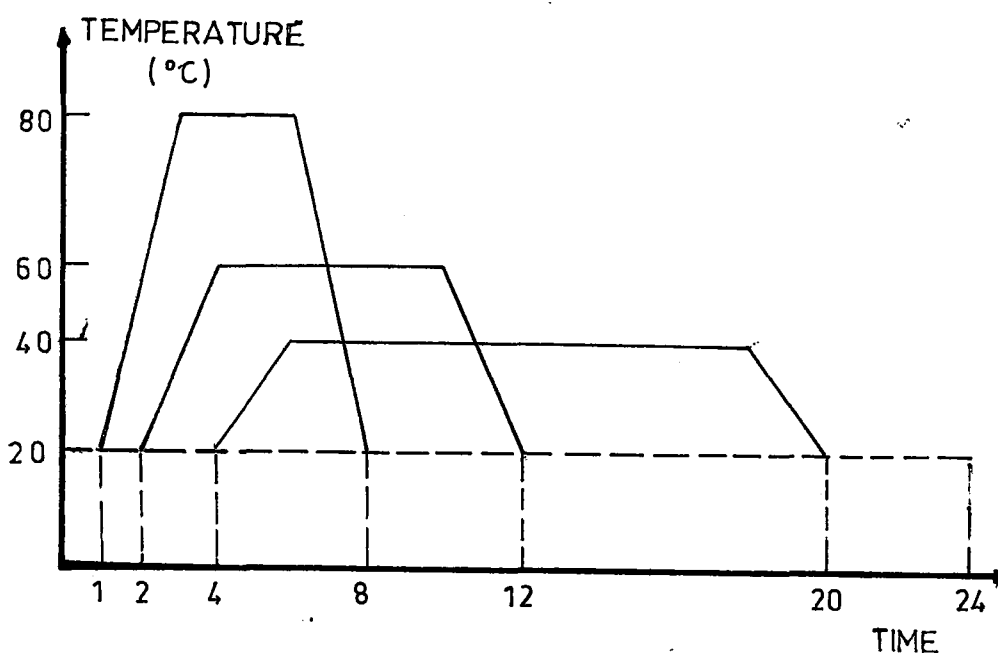


Figure 1- Applied Heat Treatment Cycles

On the hardened concrete specimens, the same testing program has been repeated for some experiments at the ages of 1, 28 and 90 . 9 piece of 7x7x28 cm. prismatic specimens had been manufactured for each of mixes. The ultrasonic velocity was measured at the ages of 1, 28 and 90 on prismatic specimens in the same manner. After which simple beam flexure test has been performed on the same prismatic specimens, and the modified compressive strength tests where conducted on their broken pieces. Just at the age of 28, after beam flexure test has been performed, the durability and water absorption trials were applied on the half of broken pieces.

The variation of concrete properties mentioned above with the change in cement content of concrete and heat treatment applies were shown on the graphs and the evaluations and discussions were based on these graphs.

Important results obtained in the study can be grouped as follows:

1) Results related to compressive strength

a) The highest strength values were obtained when the short cycle applied at the first day.

It had seen that when the heat treatment temperature was increased, strength has developed at the first day.

b) It's known that rapid hydration may cause a reduction in the strength usually attained at later ages when steam curing-heat treatment-applied. But in this study, later age strength of heat treatment applied concrete was not lower than control concrete. The reason can be explained due to keep the specimens on the air.

c) While keep constant water/cement ratio, to extend the dose of cement caused reduction in the strength of concrete both at early and later ages.

d) The most effectual results were obtained in content of 350 and 400 and by the way of applications short and moderate cycles.

2) Results related to flexural strength

a) In general, the way of effecting of heat treatment

the flexural strength of concrete is similar to that of the compressive strength.

b) The 1 day relative bending strength of concrete was influenced in positive direction from heat treatment.

c) While keep constant water/cement ratio, to extend the content of cement caused reduction in the flexural strength of concrete.

d) It's also the most effectual results were obtained in content of 350 and 400 and by the way of applications short and moderate cycles.

3) Results related to ultrasound velocity.

a) The 1 day relative ultrasound velocity of concrete was influenced in the same manner with comprehensive and flexural strength of concrete from heat treatment.

b) The ultrasound had decreased as long as increase amount of cement content.

c) At the later ages the relative ultrasound velocity of concrete was influenced in negative direction by the way of hard and moderate heat treatment applications.

As a conclusion to apply high temperatured heat treatments have increased the ultrasound velocity of concrete at early ages, but at the later ages it's influence became negative.

4) Results related to capilarity

a) Heat treatments and to rise up the cement content had increased to capilarity at the age of 28.

5) Results related to water absorption

a) Heat treatments and high volume cement had caused to rise up the water absorption.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz çağda nüfus hızla artmakta ve bu artış büyük kentlerde yoğunlaşmaktadır. Nüfusun artmasına paralel olarak konut ihtiyacı ortaya çıkmış ve hızlı konut üretebilmek için yapı sanayii prefabrikasyona yönelmiştir. Prefabrikasyonun gerektirdiği hızı sağlayabilmek, üretilen elemanların depolanması ve montajı sırasında gerekli ilk mukavemeti elde edebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin başlıcaları şunlardır:

- Portland çimentosu için inceliği ve çimento dozajını arttırmak,
- Priz hızlandırıcı katkı maddeleri kullanmak,
- Kristal çekirdekleri katmak,
- Isıl işlemler uygulamak.

Erken dayanım kazandırma yöntemleri arasında atmosfer basıncı altında buhar kürü uygulayarak sıcaklığı arttırmak, diğer bir deyişle "Isıl işlem uygulamak" en yaygın olanıdır. Bu çalışmada da ısıtıl işlem uygulama yönteminin yararlanılarak beton bileşim parametrelerinden çimento dozajının arttırılmasının, ısıtıl işlemle birlikte betonun ilk ve ileri yaşlardaki muhtelif özellikleri ne şekilde etkidiği araştırılmıştır.

Betona ısıtıl işlem uygulanması ilk yaşlardaki dayanımı arttırmakla birlikte, ileri yaşlardaki dayanımı ısıtıl işlem görmemiş betonlara kıyasla azaltabilir. Değişik ısıtıl işlem çevrimlerinin normal betonlara etkisi çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ancak, çimento dozajının bir fonksiyonu olan hidrasyon ısısına bağlı

olarak optimum ısıt işlemler sıcaklığının belirlenmesi bakımından literatürde çok sayıda araştırmaya rastlanamamıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, daha önce yapılan çalışmalardan faydalanılarak, betonun sertleşmesini hızlandırmak için kullanılan ısıt işlemlerden ve çimentonun tip ve dozajının betonun muhtelif özelliklerine ne şekilde etkidüğinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde çalışmanın amacı ve gerekçesinden de bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. Beton üretiminde kullanılan malzemeler tanımlanmış, özellikleri ayrı ayrı verilmiştir. Üretilen beton numunelerinin yerleştirme ve saklama koşulları, ayrıca uygulanan ısıt işlemler çevrimleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise sertleşmiş betona ait deney sonuçları tablolar halinde verilmiş ve gerekli açıklamalar yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, beton deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılarak, ısıt işlemler uygulamasının yüksek dozajlı beton özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise sonuçlardan bahsedilerek çimento dozajına bağlı olarak optimum ısıt işlemler sıcaklığı belirlenmeye çalışılmıştır.

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Isıl İşlemler İle İlgili Genel Bilgiler

1.1.1.1. Isıl İşlemlerin Tanımı ve Sınıflandırılması

Isıl işlemler, çeşitli teknolojilerden yararlanarak betonu ısıtmak suretiyle, betonun mukavemet kazanma sürecini kısaltmayı amaçlayan yöntemlerdir. Isıl işlemler uygulama prensiplerine göre şöyle sınıflandırılmaktadır:

- I. Betonun yerleştirilmeden önce ısıtılması (Sıcak beton),
 - a) Betonun oluşturan karma suyu ve/veya agreganın ısıtılması,
 - b) Taze betonun karıştırıcı içinde (buharla) veya özel kapta elektrotla ısıtılması
- II. Betonun yerleştirilmesinden sonra elemanın ısıtılması,
 - a) Betonun ve betonu oluşturan elemanın iç ısıtması,
 - b) Dış ısıtma (Atmosfer basıncında buhar kürü, basınçlı buhar kürü) [1] .

Basınçlı buhar kürü dışında kalan bütün ısıtma işlemleriyle sağlanan sıcaklıklar 100°C 'nin altında kalmakta ve bunların hidrasyon reaksiyonları üzerindeki etkileri birbirine benzer şekilde olmaktadır. Basınçlı buhar kürü (otoklavda buhar kürü) ise $160-190^{\circ}\text{C}$ arasında gerçekleşir ve elde edilen hidrasyon ürünleri, sıcaklığın 100°C 'in altında kaldığı diğer ısıtma yöntemlerinden farklıdır [2,3,4,5,6].

Basınç altında buhar kürü uygulaması dışındaki yöntemlerin arasındaki teknolojik farklar, uygulama

alanlarını ve ekonomik verimliliklerini etkiler. Ancak ısı işlemlerin çimento hidratasyon reaksiyonlarını ve beton özelliklerini etkilemede farklılık yaratmadığı için bu yöntemlerden "Isıl İşlem" terimi kullanılarak bahsedilmektedir [1,3]].

Betona kalıpta ısı işlem uygulanması ise fiziksel prensiplere bağlı olarak aşağıdaki şekilde gruplanabilir [7,8].

I. Konveksiyon yolu ile ısı uygulanması,

- a) Doygun buhar ile ısı transferi,
- b) Sıcak hava ile ısı transferi,

II. Kondüksiyon yolu ile ısı transferi,

III. Radyasyon (ışınım) yolu ile ısı transferi.

Bu çalışmada kullanılan ısı işlem yöntemi ise, doymuş buhar ortamında ısı transferi ile dış ısıtma uygulamasıdır. Bu yönteme yaygın olarak "Atmosfer basıncı altında buhar kürü" denir [3].

1.1.1.2. Isıl İşlemlerin Hidratasyona Etkileri

Çimento esas olarak kireç, silis, alümin ve demiroksitten oluşan hidrolik bir bağlayıcıdır. Bunlar fırında yüksek sıcaklıklarda elde edilmişlerdir. Sahip oldukları yüksek enerjilerini termodinamik kanunlara uygun olarak daha düşük seviyeye indirmek isterler. Bu nedenle çimentolar, suyla temasa gelmeleri halinde ise bu enerjilerini geri vermeye hazır hale geçerler ve çözünürler. Böylece hidratasyon başlamış olur [2,3,4,9]].

Sıcaklığın artması ise çimento bileşenlerinin çözünmesini, yani hidratasyonu hızlandırmaktadır. Sıcaklığın hidratasyon üzerindeki bu etkinliği, mukavemet gelişimini

hızlandırmada ısınnın kullanılması fikrini oluşturmuş ve böylece ısıll işlemler ortaya çıkmıştır. Çeşitli tekniklerden yararlanılarak uygulanan ısıll işlemlerin betonun sıcaklığını arttırmaları sonucu, aşağıda gösterilen ve 4 ile 100°C sıcaklıkları arasında geçerli olan ARRHENIUS denkleminde uygun olarak hidratasyon reaksiyonları hızlanır [2,3]

$$K = A e^{-Q/RT} \dots\dots\dots (1.1)$$

K : Reaksiyon hızı

A : Katsayı

Q : Mol başına kalori cinsinden aktivasyon enerjisi (kal/mol)

R : Gaz sabiti (1.986 kal/mol.°K)

T : Mutlak sıcaklık (°K)

Beton sıcaklığının artmasına paralel olarak hidratasyon reaksiyonlarındaki hızlanma ile betonun dayanımı kısa sürede yüksek değerler alır.

1.1.1.3. Isıl İşlem Etkileyen Faktörler

Isıl işlem uygulamasını etkileyen faktörleri, ÖZTEKİN [3,4] aşağıdaki şekilde gruplandırılabilceğini belirtmiştir;

1. Malzeme Özellikleri,

a) Beton bileşimi,

b) Betonun yerleştirme ve sıkıştırma olanakları,

2. Yapı elemanının geometrik özellikleri (boyut, biçim, yüzey/hacim oranı),

3. Isıl işlem çevrimi,

4. Teknolojik veriler (ortam nemi, homojenlik, kalıp türü, ısı geçiş katsayıları)

5. Saklama koşulları.

Bu faktörlerin içerisinde en önemlisi ısıtma işlemi çevrimidir. Küçük boyutlu ve basit biçimli elemanların ısıtılması daha kolay ve başarılı olmaktadır. Karmaşık geometrik şekilli kalıplarda, bir parçanın ısıtma deformasyonunun komşu parçalar tarafından engellenmesi sonucu iç gerilmeler artar. Isıtmanın ve soğutmanın elemanın bir yüzünden yapılması halinde de iç gerilmeler artar ve ısı dağılımı homojen olmaz. Isıtma işlemlerinin amacı, mukavemet artışını hızlandırarak betona kısa sürede en yüksek dayanımı kazandırmaktır. Ancak, ısıtma işlemleri erken yaşlarda dayanımı arttırmalarına karşın ileri yaşlarda mukavemet kayıplarına neden olabilir. Isıtma işlemi çevriminin her parametresi betonun özellikleri üzerinde etkin olmaktadır. Kısa ön bekleme süresi, yüksek sıcaklık artışı hızı, yüksek ısıtma sıcaklığı ve süresi, yüksek soğutma hızları, ısıtma işlemi sonucu ileri yaşlarda mukavemet kayıplarına neden olan ısıtma işlemi özellikleridir [10,11,12,13]

1.1.1.4. Isıtma İşlemi Çevrimi

Betonun yerleştirilmesinden sonra elemanın dışardan, ısıtılması yoluyla uygulanan ısıtma işlemlerinde; ısıtma işlemi çevrimi Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi esas olarak aşağıdaki aşamalardan oluşur [3,7,11,14]. Bu dönemlerin ısı derecesi ve dönem süresi çevrimin cinsine bağlı olarak değişen değerler alır.

1. Ön bekleme dönemi: (presteaming period)

Ürünün kalıplanmasının tamamlanmasından, sıcaklık uygulamasına kadar geçen süredir. Bu dönem ön tutma "holding", "preset" veya gecikme "delay" olarak da

adlandırılmaktadır.

2. Isıtma dönemi : (Temperature rise period)

Ürünün sıcaklığının arzu edilen bir maksimum sıcaklığa kontrollü bir hızla arttığı dönemdir. Sıcaklık artış hızı ürüne bağlıdır.

3. İşlem dönemi: (Period of maximum temperature)

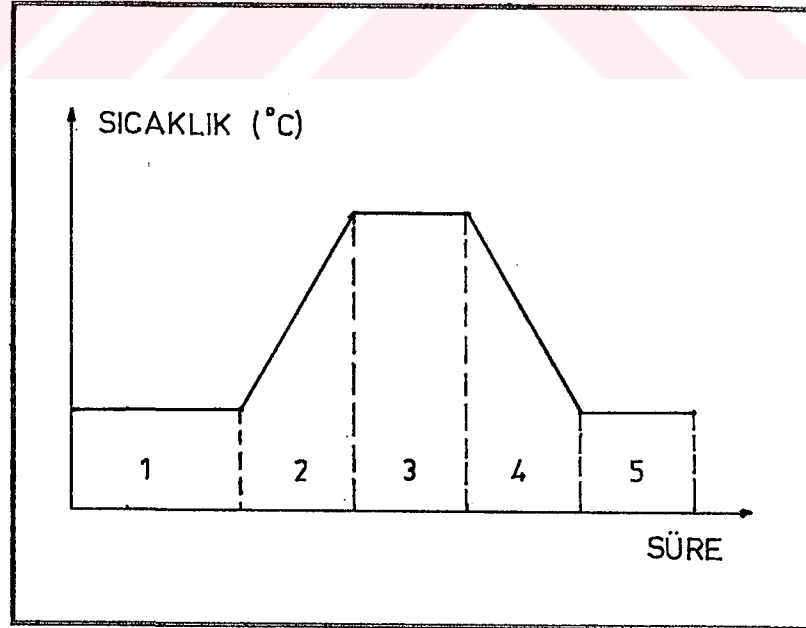
Ürünün veya ürünü kapatan hacmin sıcaklığının maksimum sıcaklıkta tutulduğu dönemdir.

4. Soğutma dönemi: (Cooling period)

Ürünün sıcaklığının kontrollü bir şekilde ortam sıcaklığına indirildiği dönemdir.

5. İşlem sonrası dönemi: (Curing)

Ortam sıcaklığına gelen elemanın nakliye ve satıştan evvel ortam sıcaklığı ve neminde korunduğu dönemdir.



Şekil 1.1. Isıl İşlem Çevrimi Dönemleri

ÖZTEKİN [3], ısıtma işlem çevrimlerinin süre, sıcaklık ve hız parametrelerine bağlı olarak üç grupta toplanabileceğini belirtmiştir.

1. Hızlı (Sert) çevrimler:

İşlem sıcaklığı $80-90^{\circ}\text{C}$ 'lere varan ve toplam çevrim süresi 6-7 saat olan çevrimlerdir. Günde üç rotasyona imkan verirler. Ön bekleme süresi 1 saat veya daha az, ısıtma ve soğutma hızı 30°C/saat civarındadır. Soğutma tamamlanmadan kalıp alınır.

2. Orta (İlımlı) çevrimler:

İşlem sıcaklığı 70°C civarında ve toplam çevrim süresi 9-11 saat olan çevrimlerdir. Günde iki rotasyona imkan verirler. Ön bekleme süresi 2-3 saat, ısıtma ve soğutma hızları $15-20^{\circ}\text{C/saat}$ olarak belirlenebilir. Soğuma tamamlanmadan kalıp alınır.

3. Yavaş (Yumuşak) çevrimler:

İşlem sıcaklığı 60°C 'yi aşmayan ve toplam çevrim süresi 20-22 saat olan çevrimlerdir. Ön bekleme süresi 4 saat, ısıtma ve soğutma hızları 10°C/saat dolayında olup, kalıp alınırken soğuma tamamlanmıştır [2,3,4]

Bazı yayınlarda ise [7] ısıtma işlem çevrimleri;

Uzun ön bekleme süresi, düşük ısıtma ve soğutma hızları, düşük maksimum sıcaklık gibi özellikteki çevrimler "ılımlı" ısıtma işlem, kısa ön bekleme süresi, yüksek ısıtma-soğutma hızları ve yüksek maksimum sıcaklık gibi özelliklere sahip çevrimler "sert" ısıtma işlem olarak iki grupta düşünülmektedir. Ayrıca ısıtma işlemlerin, üretilen elemanın beton blok, betonarme yapı elemanı olması yanında, yapı elemanının yüzey/hacim oranına bağlı olarak değiştiği teknolojik sınıflandırmalarda yapılmaktadır [14].

1.1.1.5. Isıl İşlem Uygulamanın Başarı Derecesi

Isıl işlem uygulamanın amacı, mukavemet gelişimini hızlandırmak suretiyle betona kısa sürede gerekli yüksek mukavemeti kazandırmaktır. Ancak, ısıtma işlemi erken yaşlardaki mukavemeti arttırmamasına karşın, genellikle geç yaşlardaki mukavemeti, normal şartlar altında kürlenmiş betonun dayanımına oranla düşürmektedir [2,3]. Mukavemetteki bu düşüş ise ısıtma işlem çevriminin sertlik derecesi arttıkça artmaktadır. Bu nedenle elverişsiz bir ısıtma işlem çevriminin uygulanması betona büyük zararlar verebilmekte ve sonuçta yapı elemanını kullanılmaz duruma getirebilmektedir. Isıtma işleminden dolayı ileri yaşlarda görülen mukavemet kayıplarının nedenlerinde aşırı hacim artışı, saklama koşulları etkilidir [2,3,4,9] .

Bu bakımdan ısıtma işlem uygulamanın başarı derecesi "Mukavemette kısa sürede sağlanan artışın yüksekliği ve uzun sürede gözlenen kaybın düşüklüğü" olarak değerlendirilmektedir [2,3]. Bunun için genellikle yumuşak (yavaş) çevrimler kullanılmakta, bu ise uzun süreli olduğundan maliyeti olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle de önemsiz yapı elemanlarında sert (hızlı) çevrimler uygulanarak, meydana gelebilecek bazı zararlı etkiler ihmal edilebilir.

1.1.1.6. Atmosfer Basıncı Altında Buhar Kürü Yöntemi

Beton sıcaklığının artmasına paralel olarak hidrasyon reaksiyonlarındaki hızlanma ile beton dayanımı kısa sürede yüksek değerler alır. Betonda dayanım artışının fazla olması için sıcaklık artışının yanında ortamın yeterince nemli ve doygun olması da gereklidir [15]. Betonun atmosferik basınçta buhar kürlenmesinin, beton çevre koşulları nem yönünden doymaya yakın olduğundan diğer yöntemlerin üstünde bir avantajı vardır. Isıtma işlemi sırasında betondan suyun buharlaşması en az olmaktadır.

Bu işlem özellikle kalıptan kısmen veya tamamen alınmış beton blok veya boru gibi yapı elemanlarında önem kazanır [14].

ÖZTEKİN [3], çalışmasında yapmış olduğu yayın taraması ve analizi sonucu olarak, ısıtıl işlemin beton üzerindeki etkisini iki değişik açıdan ele almanın gerekli olduğunu söylemiştir.

1. Sertleşmiş çimento hamuru yapısında, yüksek sıcaklıkta hidrasyon sonucu oluşan kaçınılmaz yapısal bozukluk (hidrasyon ürünlerinin heterojen dağılımı, artan kristalleşme ve porozite),

2. Aşırı genleşme, ısıtıl gerilmeler ve su kaybı sonucu oluşan kaçınılabılır fiziksel bozukluk (kalıcı hacim artışı, mikro ve makro çatlaklar, aşırı su kaybı ve kuru saklama koşulları nedeniyle tamamlanamayan hidrasyon).

Burada gözönüne alınması gerekli olan özelliklerden biri de ısıtıl işlemi olumsuz yönde etkileyen işlem parametrelerinin, (kısa ön bekleme süresi gibi) yapı elemanlarının üretim hızını olumlu yönde etkileyerek bir çelişki yaratmasıdır. Bu yüzden ısıtıl işlem uygulamaları yapı elemanından beklenen özelliklere göre büyük çeşitlilik gösterir. Örneğin, öngerilmeli beton elemanlarda yapı güvenliği nedeniyle yumuşak çevrimler yeğlenirken, beton duvar elemanlarında maliyet nedeniyle daha sert çevrimler uygulanabilir. Yani tüm elemanlar için optimum bir çevrimden söz etmek olanak dışıdır.

Fiziksel kusurlara neden olan aşırı su kaybı, buhar kürü uygulaması ile önemli ölçüde önlenabilmektedir. Basit bir teknolojiye sahip olduğu için tercih edilen buhar kürü uygulamasında, ortamı %100 bağıl nemle doyurmak pek mümkün olmamaktadır. Bunun yanında hidrasyon ısıtıl sonucu beton sıcaklığının ortam sıcaklığının üstüne çıkabilmesi, beton serbest suyu buhar basıncının ortamdaki

kısmi buhar basıncından yüksek olmasına ve beton suyunun buharlaşmasına neden olabilir.

Her şeye rağmen buhar, ısı ve nemin beton ürüne en ekonomik ve etkin şekilde temin edildiği bir yöntem olduğu için, atmosferik basınç altında buhar kürü uygulaması en yaygın ısıtma işlem uygulamasıdır.

1.1.2. Çimento İle İlgili Genel Bilgiler

1.1.2.1. Isıtılacak Betonlar İçin Çimento Seçimi

Isıtma işlemi için ideal bir çimento tanımlaması yerine, uyumlu çimento-ısıtma işlem ikilisini tanımlamak daha olumlu bir yaklaşım olarak bilinmektedir. Gerek çimento parametreleri, gerekse ısıtma işlem çevrimine ait parametreler hem kendi içlerinde hem de birbirleriyle girift ilişkiler göstermekte olup seçim için genel eğilimi yansıtmaktan öteye basit kurallar koymak olanaksız görülmektedir.

Uyumlu çimento-ısıtma işlem çevrimi ikilisinin seçiminde öncelikle gözönünde tutulması gereken nokta ısıtma işlem uygulamanın amacıdır. Bu amaç, en kısa sürede en yüksek ilk dayanımın sağlanması ise, ısıtma işlem altındaki genel davranışı açısından çok kötü bir portland çimentosu bile en iyi katkılı çimentoya tercih edilebilir.

Isıtma işlemi pratikte çimento hamuruna değil; beton, betonarme, öngerilmeli beton elemanlara uygulanmaktadır. Dolayısı ile pratik açıdan çimentonun değil, betonun ısıtma işlem altındaki davranışı önemlidir. Ancak çimento hamuru ile agrega fazlarından oluşan bir kompozit malzeme olarak betonun ısıtma işlem altındaki davranışının sağlıklı bir biçimde ortaya koyulabilmesi, çimento hamurunun ve agrega çimento hamuru aderansının ısıtma işlem altındaki

davranışlarının belirlenmesine bağlıdır [16].

1.2. Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi

Bu araştırmada, betonun ilk yaşlardaki mukavemet gelişimini hızlandırmada yararlanılan ısıtma işlemlerin, yüksek dozajlı yani hidrasyon ısıtması yüksek betonlara uygulanması durumunda, betonun ilk ve ileri yaşlardaki mukavemetine ve diğer fiziksel özelliklerine ne şekilde etkilediği araştırılmıştır.

Araştırma aşağıda belirtilen gerekçelere dayanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan literatür taramalarında, ısıtma işlem uygulamalarına çimento bileşiminin etkisinin araştırıldığı, yüksek çimento dozajının etkisinin ise incelenmediği görülmüştür.

Betonun bileşimindeki çimento dozajı arttıkça, açığa çıkacak olan hidrasyon ısıtması da artacaktır. Bu ısıya, ısıtma işleminden dolayı betona verilecek olan ısıtmanın da ilavesiyle oluşacak sıcaklık artışının betonun özelliklerine olumlu etki yapıp yapmayacağı da ortaya çıkarılmış olacaktır. Yüksek mukavemetli beton üretmek için çimentonun norm mukavemeti ve dozajı yüksek olmalıdır. Yüksek dozajlı betonlara ısıtma işlem uygulayarak, yüksek mukavemetli betonlara ısıtma işlem uygulamasının etkileri ortaya koyulabilir.

Farklı dozajlardaki beton karışımları için değişik ısıtma işlem tiplerinin uygulanması ile betonun ilk ve ileri yaşlardaki özelliklerinde meydana gelecek değişiklikler tespit edilip, optimum çimento dozajı ile ısıtma işlem çeşidi tespit edilebilir.

Isıl işlem uygulaması ile birlikte, yüksek mukavemetli ve yüksek dozajlarda portland çimentoları kullanmakla, yalnızca ısı işlem uygulamakla sağlanan ilk yaşlardaki mukavemet artışı daha da büyüyebilir. Dolayısıyla ısı işlemin süresini kısaltmak veya ısı işlem sıcaklığını azaltmak mümkün olacağından daha hızlı veya daha az kusurlu bir üretim gerçekleştirilebilir. Erken yaşlarda sağlanan ek mukavemet artışının elde edilmesiyle, soğuk havalardaki uygulamalarda ısı işleminden sonra, soğuk havadaki yavaş sertleşme dengelenmiş olur.

Dış etkilere dayanıklı, geçirimsiz bir beton elde etmek için çimento dozajını arttırmak gereklidir. Isıl işlem uygulaması ile oluşacak çatlaklar ve yüksek geçirimsizlik çimento dozajı arttırılarak giderilebilir.

1.3. Araştırmanın Kapsamı

Çalışmada dozajları 300 ile 500 arasında değişen 5 farklı bileşimde beton üretilmiştir. Üretilen betonların tümünde en büyük agrega boyutu 16 mm. olarak sabit tutulmuştur. Agrega karışım granülometrisi ve etkin su/çimento oranı sabittir.

Araştırmanın konusu açısından çimentonun türü de önemli bir faktör olmaktadır. Çalışmada hidrasyon ısısı yüksek PÇ 400 normal portland çimentosu kullanılmıştır.

Dozajları 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olarak değişen betonlara ön bekleme süreleri, ısınma ve soğuma hızları, ısı işlem sıcaklıkları ve toplam çevrim süreleri birbirinden farklı 3 tip ısı işlem uygulanmıştır. Bunlardan ön bekleme süresi 1 saat, ısınma ve soğuma hızları 30°C/saat, işlem sıcaklığı 80°C ve toplam çevrim süresi 8 saat olan ısı işleme "Sert Çevrim" denilmiştir.

Ön bekleme süreleri 2-4 saat, ısınma ve soğuma hızları $20-10^{\circ}\text{C}/\text{saat}$, işlem sıcaklıkları $60-40^{\circ}\text{C}$ ve toplam çevrim süreleri 12-20 saat olan çevrimlere ise sırasıyla "İlımlı Çevrim" ve "Yumuşak Çevrim" denilmiştir.

Isıl işlem uygulanan betonların özelliklerinin değişimini rölatif olarak inceleyebilmek için, her dozajdaki betonlardan sıcaklığı $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve rutubeti 70 ± 5 olan klima odasında havada kürlenmiş şahit betonlar üretilmiştir. Bu betonlardan çalışma içerisinde " 20°C 'de saklama" veya "İşlem sıcaklığı 20°C olan betonlar" şeklinde bahsedilmektedir.

Parametrelerin bu şekilde seçildiği çalışmada, üretilen betonların 1, 28 ve 90 günlük ultrases hızı, basınç ve eğilme mukavemetleri tespit edilip ayrıca 28. günde kılcallık ve su emme deneyleri uygulanarak numunelerin difüzyon katsayısı, birim ağırlık, görünen porozite ve ağırlıkça su emme oranları incelenmiştir.

Farklı dozajlardaki betonlara farklı ısıl işlemler uygulanarak betonun mukavemet kazanma hızının nasıl geliştiği araştırılmıştır.

1.4. Konuyla İlgili Çalışmalar

Atmosfer basıncı altında buhar kürünün normal dozajlı betonlara uygulanması pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmıştır [1,11,17,18,19,20,21]. Atmosfer basıncı altında buhar kürü uygulamasının yüksek dozajlı betonlara etkisi konusunda az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu konuda yapılmış çalışmalar yayın tarihlerine göre sıralanmıştır.

REINSDORF [22], sıcaklık farkına ve çimento dozajına bağlı olarak işlem sonu basınç dayanımının $\%15-40$ arasında kayba uğradığını gözledi.

ACI 517-70 [11], ısıt işlemler uygulamalarında portland çimentolarının birçok türünün kullanılabileceği, genelde bütün çimentoların hidratasyonlarının ısıt işlemler ile aynı derecede hızlandırıldığı belirtilmiştir.

POSTACIOĞLU [23], çimento dozajının betonun muhtelif özellikleri üzerine etkisini incelemek için yaptığı çalışmada aşağıda özetlenen sonuçları bulmuştur.

Çimento dozajının C_k gibi kritik değeri aşması durumunda, çimenro miktarının belirli bir artışına karşı gelen mukavemet artışı, çimento dozajı arttıkça azalmaktadır.

Eğilme mukavemeti çimento dozajı ile bir C_1 değerine kadar artmaktadır. Bu değer geçilince ya hiçbir artış olmamakta, ya da azalmaya başlamaktadır.

(DSİ), Devlet Su İşleri [24], 1972 yılında yaptırdığı bir çalışmada 300 dozlu normal portland çimentosuyla üretilen betona, 12 saat süreyle 80°C 'lik kür uygulanması durumunda, normal kürdeki 28 günlük mukavemetinin %50'sini aldığı, dozajın 500 kg/m^3 'e çıkarılmasıyla bu değer %55'e çıktığı, dozajın $200-250 \text{ kg/m}^3$ 'e düşürülmesi durumunda mukavemetin de düştüğü vurgulanarak, ısıt işlemler uygulanmasının harç fazı yüksek betonlarda daha etkili olduğu belirtilmiştir.

AL-RAWI [25], en etkili sonuç veren kür sıcaklığının, çimentonun kimyasal bileşimine bağlı olduğunu ve her tip çimentoya uygun hızlandırılmış kür sıcaklığı önerilmediğini belirtmiştir. Aynı zamanda hızlandırılmış kür uygulanmış betonların 18 saatlik basınç mukavemetine etkisi olarak çimentonun inceliği ile kür sıcaklığı arasında bir bağıntı bulunmadığını bildirmiştir.

ÖZTEKİN [3], ısıt işlemin etkinliğini belirleyen faktörler arasında, beton bileşiminde iri agrega/harç oranının da eklenmesi gerektiğini belirterek, betonun harç fazı ne kadar zenginse ısıt işleminden o oranda yararlandığını söylemektedir. 1978 yılında yaptığı "Beton Sertleşmesinde Kullanılan Isıt İşlemler" adlı çalışmasında [4], beton sertleşmesinde hızlı gelişme ve yüksek dayanım sağlayan; yüksek çimento dozajı, yüksek incelik, düşük su/çimento oranı, yüksek kompasite gibi faktörlerin, ısıt işlem sırasında da bu özelliklerini koruduklarını belirtmiştir.

Yine ÖZTEKİN [4] yaptığı geniş kaynak araştırması ve senteze dayanarak ısıt işlem uygulamasını etkileyen çimento parametrelerinin çok sayıda olduğunu belirtmiştir. Ayrıca ısıt işleme yatkın ideal bir çimento tanımlaması yerine, uyumlu çimento-ısıt işlem çevrimi ilişkisini tanımlamanın daha olumlu bir yaklaşım olduğunu bildirmektedir.

[10] no'lu literatürde geniş kapsamlı kaynak araştırmasına dayanılarak, portland tipi çimentoların tüm çeşitlerinin hızlandırılmış kür uygulamalarında kullanılabileceği, kullanılacak çimento tipinin normal kürlenmiş betonlarda olduğu gibi seçileceğini, optimum ısıt işlem çevriminin seçilen çimentonun tipine ve dozajına bağlı olduğunu, karışık çimento hidrasyon reaksiyonlarının sıcaklık, zaman, nem ve diğer kür şartlarından etkilendiği belirtilmiştir.

Özetle, yapılan çalışmalar sonucu normal beton uygulamalarında iyi sonuç veren çimentoların, ısıt işlem uygulamalarında da aynı sonuçları verdiği belirtilmektedir.

Sonuç olarak, yüksek dozajlı betonlara ısıt işlem uygulayarak, optimum ısıt işlem-çimento dozajı bağıntısını

belirleyen kapsamlı bir araştırma sonucuna rastlanamamıştır. Bu sebeple yapılan çalışmayla, bu alandaki araştırmalara katkıda bulunmaya çalışılmıştır.



BÖLÜM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemenin Tanımlanması

2.1.1. Agregaların Özellikleri

Beton numunelerinin üretiminde iri podima kumu ile Cebeci ocaklarından çıkarılan I ve II no'lu kırmataş agregaları kullanılmıştır. İri podima kumu 4 mm'lik, II nolu kırmataş agregası ise 16 mm'lik kare delikli elekten elenerek, elek altına geçen malzeme üretimde kullanılmıştır. Bu agregaların granülometreleri ve özgül ağırlıkları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Agregalar, karışım hesaplarında suya doymuş kuru yüzey olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.1.'de karışıma giren agregaların granülometri eğrileri ayrı ayrı gösterilmiştir. Agregaların maksimum boyutu 16 mm. seçilmiş ve TS 706'ya göre kare delikli elekten elek analizi yapılarak dane boyutları belirlenmiştir.

2.1.2. Çimento Özellikleri

Tüm deneylerde Rota Denizcilik tarafından yurt dışından ithal edilen PÇ 400 tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento kullanılmadan önce TS 24'e göre fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve sonuçların TS 19'da belirtilen PÇ 400 standardına uygunluğu tespit edilmiştir. TS 24'e göre bulunan fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Agrega özellikleri

Elek Göz Boyutu (mm)	Geçen Malzeme (%)							Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)
	0.25	0.50	1	2	4	8	16		
Podima kumu	6	38	60	78	100	100	100	2618	1565
Kırmataş I	5	7	9	11	27	73	100	2660	1403
Kırmataş II	1	1	1	1	1	1	100	2660	1449

Tablo 2.2- Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Blaine Özgül alanı	(m ² /kg): 341
90 µm elek üzerinde kalan	(%) : 2.4
200 µm elek üzerinde kalan	(%) : 0.1
Özgül ağırlık	(kg/m ³): 3150
Normal kıvam suyu	(%) : 27
Le Chatelier Deneyi	Soğukta: 1
(İğnelerin açılması, mm)	Sıcakta: 1
Priz başlangıcı	: 2 Saat 50 dk.
Priz bitimi	: 3 saat 55 dk.

Tablo 2.3. Çimentonun Mekanik Özellikleri

Numunenin Yaşı	Basınç Mukavemeti (N/mm ²)				Eğilme Mukavemeti (N/mm ²)	
	7. gün		28 gün		7 gün	28 gün
Tekil değerler	25.1	32.8	45.0	47.1	6.2	8.0
	27.0	32.9	45.7	48.7	7.4	8.1
	29.4	32.9	46.1	49.1	7.5	8.7
Ortalama	30.0		46.9		7.0	8.3

2.2. Beton Karışımları

Bu çalışmada üretilen betonların en büyük agrega boyutu sabittir ve 16 mm. seçilmiştir. Beton agregası karışımının granülometri eğrisi TS 706 şartnamesine göre (A16-B16) referans eğrileri arasında kalacak şekilde ayarlanmıştır. A16, B16 ve karışım agregasının granülo-metrik bileşimleri Tablo 2.4'de verilmiştir. Bunlara ait granülometri eğrileri şekil 2.2'de grafik olarak gösterilmiştir.

En büyük agrega boyutu, granülometrisi ve su/çimento oranları sabit, dozajları sırasıyla 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olan beş farklı bileşimde beton üretilmiştir. En düşük dozajlı beton karışımının kıvamını kuru-plastik, en yüksek dozajlı beton karışımının kıvamını akıcı hale getiren su/çimento oranının 0,50 olduğu tespit edilmiş ve tüm beton karışımlarında bu oran sabit tutulmuştur.

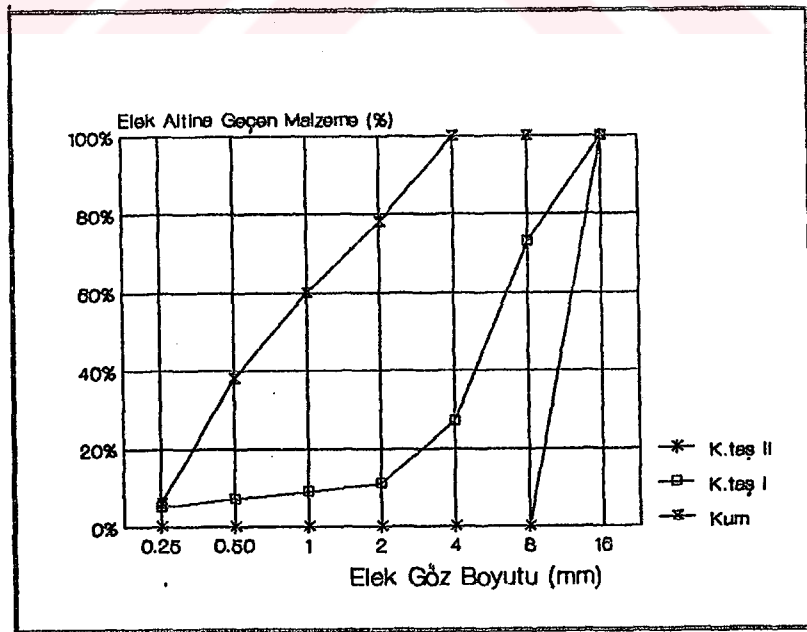
Böylece, farklı ısıtma işlem çevrimleri uygulamak üzere her bir bileşimden 4 karışım olacak şekilde toplam 20 karışım üretilmiştir. Üretilen bu betonlar üzerinde 1., 28. ve 90. günlerde deneyler uygulanarak bu betonların çeşitli özelliklerinin ısıtma işlem etkisinde değişimi

incelenmiştir.

Üretilen 5 farklı dozaj ve bileşimdeki betonların 1 m³'üne giren gerçek malzeme miktarları Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.4- Karışım Agregasının Granülometrik Bileşimi

Elek Göz Boyutu (mm)	Geçen Malzeme Miktarı (%)						
	0,25	0,50	1	2	4	8	16
A16	3	8	12	21	36	50	100
B16	8	20	32	42	56	76	100
Karışım	4	16	25	32	46	64	100

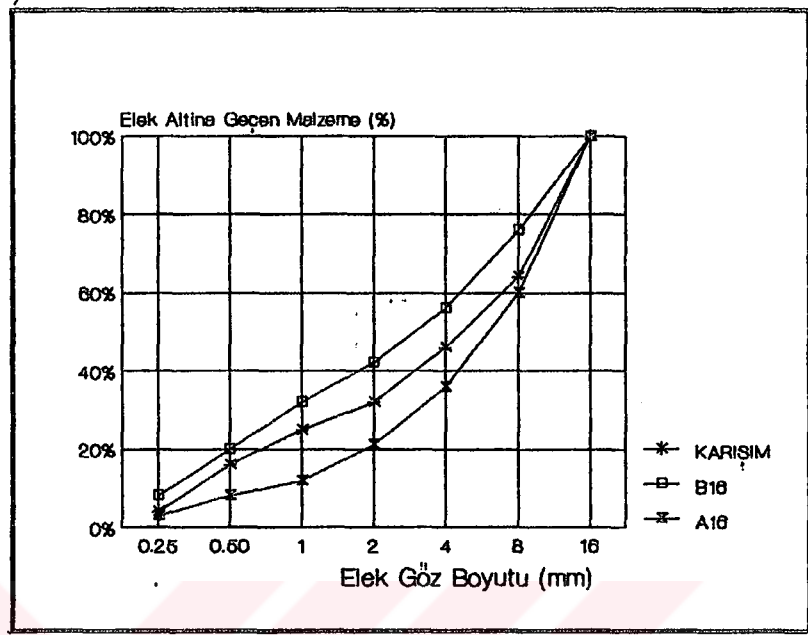


Şekil 2.1 Karışıma Giren Agregaların Granülometri Eğrileri

Tablo 2.5. Isıl İşlem Uygulanmış ve Uygulanmamış Betonların Bileşimi (1 m³ için) ve Taze Beton Özellikleri

Beton Türü		Podima Kumu (0-4) [kg]	Kırmatas No I [kg]	Kırmatas No II [kg]	Çimento [kg]	Su [kg]	Su Çimento [kg/kg]	Taze Birim Ağırlık [kg/m³]	Taze Beton özellikleri				Kompozite [m³/m³]	agrega çimento [m³/m³]
									İşlenebilirlik		Hava boşluğu			
									Ve-Be süresi sn	Çökme miktarı cm	Hesap ile [%]	Deney ile [%]		
20°C'de Saklama	300 Doz	681	792	495	304	152	0.500	2424	13	0.3	0.8	2.6	0.840	7.71
	350 Doz	647	752	470	354	177	0.500	2400	6	2	0.4	1.17	0.819	6.29
	400 Doz	613	711	445	405	201	0.496	2376	2.3	10	0.1	1.2	0.797	5.20
	450 Doz	576	669	418	455	227	0.499	2345	1	15.5	0	0.8	0.773	4.35
	500 Doz	544	632	395	507	253	0.499	2332	0.6	16	*	0.6	0.775	3.69
Yumuşak Çevrim	300 Doz	673	782	489	300	150	0.500	2394	12.2	0.3	2.0	1.7	0.830	7.72
	350 Doz	646	751	469	354	177	0.500	2398	6.4	1.5	0.5	1.5	0.813	6.28
	400 Doz	605	702	439	399	200	0.501	2344	1.8	11.5	1.4	1.4	0.787	5.21
	450 Doz	578	671	420	456	228	0.500	2353	1	14.5	*	0.9	0.776	4.36
	500 Doz	539	626	391	502	251	0.500	2310	0.5	17	0.1	0.8	0.748	3.69
İlmlü Çevrim	300 Doz	675	784	490	301	150	0.498	2400	12.5	0	1.7	2.0	0.832	7.71
	350 Doz	644	745	467	353	176	0.499	2389	5.7	1.5	0.9	1.5	0.814	6.26
	400 Doz	603	700	438	398	199	0.500	2338	2.7	9.8	1.3	1.2	0.785	5.21
	450 Doz	572	664	416	452	226	0.500	2329	0.8	14.5	0.6	1.0	0.768	4.35
	500 Doz	540	628	392	503	252	0.501	2316	0.5	16.5	*	0.8	0.749	3.69
Sert Çevrim	300 Doz	674	783	490	300	150	0.500	2396	12	0	1.9	2.4	0.831	7.73
	350 Doz	641	746	467	351	176	0.501	2379	6.7	1.5	1.3	1.5	0.812	6.29
	400 Doz	607	704	440	400	200	0.500	2351	3	5	1.1	1.4	0.789	5.21
	450 Doz	570	662	414	450	225	0.500	2322	1	13	1.0	1.2	0.765	4.36
	500 Doz	538	625	390	500	250	0.500	2304	0.5	16	0.4	0.9	0.746	3.70

* Hesaplanan hava boşluğu negatif çıktığından tabloda verilmemiştir.



Şekil 2.2. Karışım Agregasının Granülometri Eğrisi

2.3. Beton Üretimi-Karıştırma, Yerleştirme, Saklama

Beton üretimi 55 lt. kapasiteli, düşey eksenli, zorlamalı karıştırıcılı betoniyerde yapılmıştır. Agregat ile çimento kuru olarak 1 dakika karıştırıldıktan sonra gerekli miktarda su katılıp, karıştırma işlemine 1,5 dakika daha devam edilmiştir. Taze beton deneylerini yapmak üzere betoniyer durdurulup sırasıyla çökme, Ve-Be, taze birim ağırlık ve hava boşluğunun tayini deneyleri yapılmıştır. Beton tekrar betoniyere konarak kalıplara yerleştirilmeden önce 30 saniye daha karıştırılmıştır.

Betonlar kalıplarına titreşim tablası ile yerleştirilmişlerdir. Titreşim süresi, numunenin Ve-Be derecesinin 3 misli olarak seçilmiştir. Buna göre titreşim süreleri 5 sn ile 35 sn arasında değişmiştir. Beton kalıplara yerleştirilmeden önce iç kısımları hafif yağlanmıştır. Böylece hem betonun kalıplara yapışması

önlenmiş hemde daha pürüzsüz bir beton yüzeyi elde edilmiştir.

Kalıplarına yerleştirilen betonların üzeri hava ile temas etmesini önlemek amacıyla cam plakalarla kapatılmış, böylece numunelerin su kaybı önlenmeye çalışılmıştır.

Üretildikten sonra 20°C'de havada bekletilecek olan numuneler kalıba yerleştirildikten hemen sonra sıcaklığı 20°C₊₁C ve rutubeti %70_± 5 arasında değişen klima odasına taşınmıştır. 1 gün sonra kalıbı sökülen bu numuneler deney gününe kadar bu odada açıkta saklanmışlardır.

Isıl işlem uygulanacak numuneler ise kalıba yerleştirildikten hemen sonra M319 model Sistem Teknik firmasının üretimi olan elektronik ısııl işlem programlı fırına taşınmıştır. Elektronik ısııl işlem fırınına ait bir fotoğraf Şekil 2.4.'de gösterilmiştir. Numuneler fırına yerleştirildikten sonra ısııl işlem sırasında su kaybını engellemek için üzerleri cam plakalarla örtülmüş ayrıca fırının içine metal bir kap ile su konarak ortamın rutubetli kalması temin edilmiştir.

Fırının içindeki ısı dağılımının, fırın hacminin her noktasında aynı olmasını sağlayabilmek için, fırın içinde yükselmiş olan sıcak hava bir fan vasıtasıyla üstten emilip alttan tekrar üflenmektedir. Böylece sıcak havanın fırın içinde sirkülasyonu sağlanmış olmaktadır.

Numuneler fırına yerleştirildikten sonra, numunelere uygulanacak ısııl işlem çevrimine ait değişkenler ST319 model programlayıcı vasıtasıyla verilmiştir. ST319 programlayıcı hakkında daha fazla bilgi paragraf 2.6.2.'de verilmiştir.

Isıl işlem parametrelerinden ön bekleme dönemi numunelere fırın içinde uygulanmıştır. Isıl işlem çevrimi

sonunda, kalıplar fırından çıkartılıp, hava ile beton arasındaki ısı farkından etkilenmesine fırsat vermeden doğruca sıcaklığı $20\pm1^{\circ}\text{C}$ ve rutubeti $\%70\pm5$ olan klima odasına taşınmıştır.

Burada kalıpları sökülen numunelerden 1. günde deneye tabi tutulacak olanlar deney saatine kadar ahşap bir ızgara üzerinde, diğer günlerde deney uygulanacak olan numuneler ise her numune partisi dikey ve aralıklı dizilerek aralarından hava akımı geçebilecek şekilde deney gününe kadar bu ortamda bekletilmişlerdir.

2.4. Uygulanan Isıl İşlem Çevrimleri

Bu çalışmada betonlara 4 tip kür uygulanmıştır. Bunlardan birincisi, üretildikten hemen sonra klima odasına götürülen ve deney gününe kadar 20°C 'de havada bekletilen numunelerdir ki, bunlara " 20°C 'de saklanmış" adı verilmiştir. Diğer üç tip ısıtma işlemi ise ön bekleme süreleri, ısınma ve soğuma hızları ve ısıtma işlem sıcaklıkları birbirlerinden tamamen farklı çevrimleridir. Bunlardan ısıtma sıcaklıkları 40°C olana "yumuşak çevrim", 60°C olana "ılımlı çevrim", 80°C olana ise "sert çevrim" adı verilmektedir [3]. Isıtma işlem çevrimlerine ait sıcaklık ve süre parametrelerinin çevrim çeşidi ile değişimleri Şekil 2.3.'de verilmiştir.

Soğutma dönemi sonunda numuneler fırından çıkartılıp kalıplar sökülüştür. Kalıplar fırından çıkarıldığı anda numune iç sıcaklığı yumuşak çevrim uygulanan betonlarda 25°C , ılımlı ve sert çevrim uygulanan numunelerde ise 30°C ile 35°C civarında olduğu tesbit edilmiştir. Numune iç sıcaklıklarının yüksek değerlerde olmaması sebebiyle sakınca görülmemiştir. Ayrıca pratikte bu tür uygulamalara çok rastlandığı gibi, literatür [3,11,26]'de aşırı oranlarda olmamak şartı ile yüksek soğutma hızının genellikle tahrip edici etkisi olmadığı belirtilmektedir.

M319 model fırının dijital göstergelerinden hem fırının içindeki hava sıcaklığını hem de numunenin iç sıcaklığını okumak mümkündür. Bu çalışmada uygulanan ısıtma işlem çevrimlerinde, belirli aralıklarla beton iç sıcaklığı tespit edilmiş ve Şekil 2.5.-2.7.'de gösterilmiştir. Ayrıca KARAGÜLER [17] yaptığı çalışmada 15x30 cm boyutundaki silindirler üzerinde demir-konstantan termokupllar yardımı ile yüzey ve merkez sıcaklıklarını sürekli olarak bir kaydedici yardımı ile kaydetmiştir. Şekil 2.8'de ısıtma işlem çevrimlerinde zamana bağlı olarak ortam, yüzey ve merkez sıcaklıklarının değişimine ait bir örnek verilmiştir.

Isıtma işlem çevrimlerine ait parametreler Tablo 2.6.-da toplanmıştır. Dolayısıyla bu tabloda verilen işlem sıcaklıkları fırın içindeki havanın sıcaklığıdır. Doğaldır ki numunelerin sıcaklığı havanın sıcaklığını gecikmeli olarak takip edecektir. Fırın içindeki sıcaklığın ölçülmesinde bakırkonstantan termokupllardan yararlanılmıştır.

Isıtma işlem çevrimi sırasında ortamı sürekli rutubetli tutmak için fırın içersine metal bir kap ile su konmuştur. Ayrıca fırın içerisindeki hava bir fan yardımıyla üstten emilip, alttan tekrar üflenerek sıcaklığın fırının her yerinde üniform olması sağlanmıştır.

Tablo 2.6.'da değişik işlem sıcaklıkları için ağırlıklı olgunluk derecesi de verilmiştir. Ağırlıklı olgunluk derecesi PAPADAKIS'in [27] ileri sürdüğü bir kavramdır.

Sıcaklıktaki artışın hidratasyon reaksiyonlarını gittikçe hızlandırdığı düşüncesinden hareketle, her 10°C'lik sıcaklık artışına belirli bir ağırlık verilmiştir. Ağırlıklı olgunluk derecesi bu durumda,

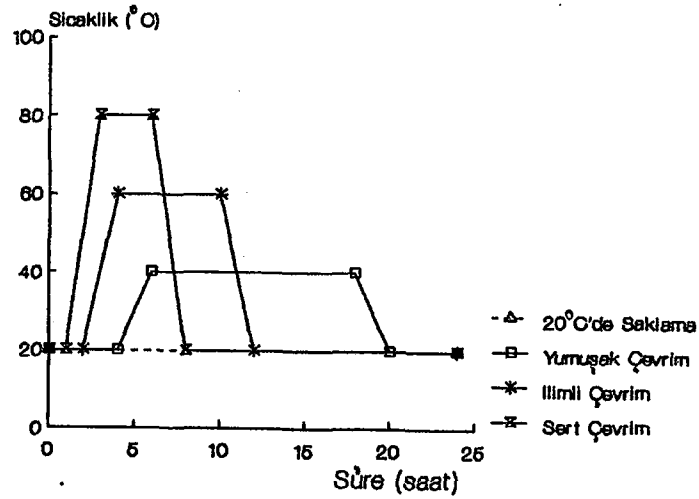
$$A.O.D. = \sum_{i=0}^n S_i A_i^n = S_1 A^0 + S_2 A^1 + S_3 A^2 + S_4 A^3 + \dots \quad (2.1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada;

- A.O.D. : Ağırlıklı olgunluk derecesi,
 S : Her bir 10°C 'lik dilimin alanı,
 A : Çimento cinsine bağlı olarak değişen bir sabittir. (Hesaplarda 1.8 alınmıştır),
 n : Sıcaklığın artan fonksiyonu olmak üzere 0,1,2,3,4,... değerlerini almaktadır.

Tablo 2.6. Birbirinden Bağımsız Isıl İşlem Çevrimlerinin Özellikleri

Çevrim Türü	Ön Bekleme Süresi (saat)	Isınma ve Soğuma Hızı ($^{\circ}\text{C}/\text{saat}$)	İşlem Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	İşlem Sıcaklığında Geçen süre (saat)	Hava Sıcaklığına Göre 24 Saatlik A.O.D. ($^{\circ}\text{C}\times\text{saat}$)
20 $^{\circ}\text{C}$ 'de saklama	---	---	20	24	480
Yumuşak Çevrim	4	10	40	12	1171
İlımlı Çevrim	2	20	60	6	2046
Sert Çevrim	1	30	80	3	3484



Şekil 2.3. Uygulanan Isıl İşlem Çevrimleri

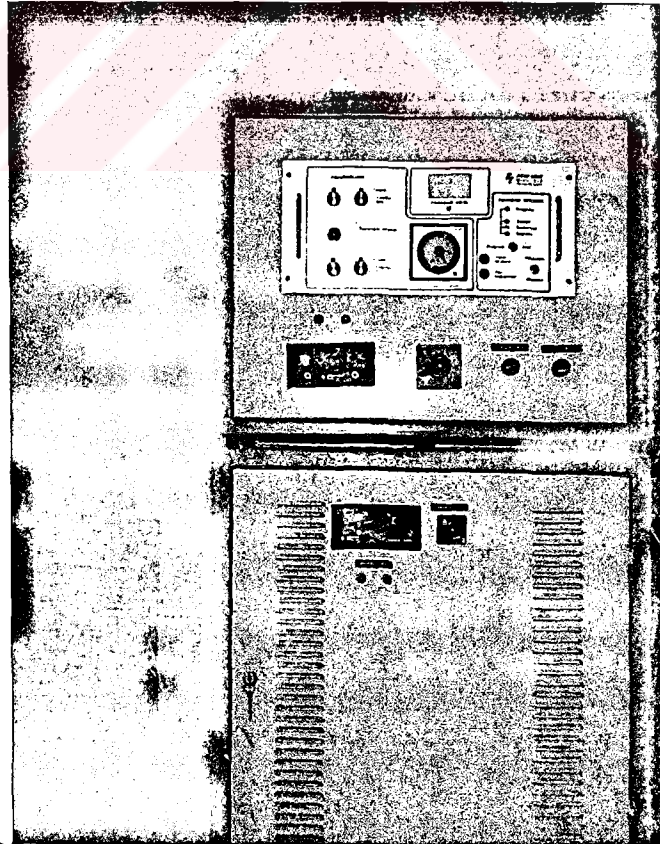
2.5. Numune Boyutları ve Sayıları

Her beton partisinde boyutları 7*7*28 cm. olan 9 adet prizmatik numune üretilmiştir. Isıl işlem uygulanacak numunelerde, ayrı zamanlarda üretilmiş aynı bileşimdeki şahit betonlarla homojenliğin kontrolü için üçer adet ilave numune de üretilmiştir.

Üretilen numuneler üzerinde sırasıyla ultrases hızı, eğilme mukavemeti, basınç mukavemeti, kapilerite ve su emme deneyleri yapılmıştır.

Ultrases hızı deneyi 1. günde 9 adet, 28 günde 6 adet ve 90. günde ise 3 adet numune üzerinde uygulanmıştır.

Eğilme mukavemeti deneyi 1., 28. ve 90. günlerde 3'er numune üzerinde yapılmıştır.



Şekil 2.4. Elektronik Kumandalı Isıl İşlem Fırını

Basınç mukavemeti deneyi, eğilme mukavemeti deneyinden arta kalan 6 parçanın, 1. günde 6'sı üzerinde, 28. günde 3'ü üzerinde ve 90. günde 6'sı üzerinde, 7*7 cm. boyutundaki çelik başlıklardan yararlanılarak yapılmıştır.

Kapilerite ve su emme deneyleri sadece 28. günde ve eğilme deneyinden arta kalan 6 parçanın 3'ü üzerinde uygulanmıştır.

2.6. Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler

2.6.1. Taze Beton Deneyleri

Beton karışımları hazırlandıktan sonra, taze betonlar üzerinde sırasıyla; çökme, Ve-Be, birim hacim ağırlık ve hava boşluğunun tayini deneyleri yapılmıştır. Taze birim ağırlığının belirlenmesinde 8 lt. hacimli birim ağırlık ölçme kabı kullanılmıştır. İşlenebilme özelliğinin ölçülmesi için çökme ve Ve-Be deneyleri yapılmıştır. Hava boşluğunun tayininde, hava boşluğu ölçme kabına doldurulan beton vibrasyon masası ile sıkıştırıldıktan sonra basınç uygulamak üzere çelik kabın üzeri aparatı ile sıkıca kapatılmıştır. Aparat sıfır referans noktasına kadar su ile doldurulup el pompası yardımıyla 2 kgf/cm^2 'lik basınç uygulanıp suyun beton boşlukları içine girmesi tekrarlı olarak ölçülmüştür. Bu miktar bize taze haldeki betonun 1 m^3 'ündeki hava boşluğu miktarını hacminin %'si cinsinden vermektedir.

Her beton partisi için tekrarlanan bu deneylerde sonuçların birbirine çok yakın çıkması, aynı bileşime sahip fakat farklı zamanlarda imal edilen beton türlerinin üretim esnasında karışım malzemelerinin hassas tartılmasına ve karışımın hazırlanması sırasında şartların mümkün olduğunca aynı tutulmasına bağlanabilir.

2.6.2. Isıl İşlem Çevrimlerinin Uygulanması

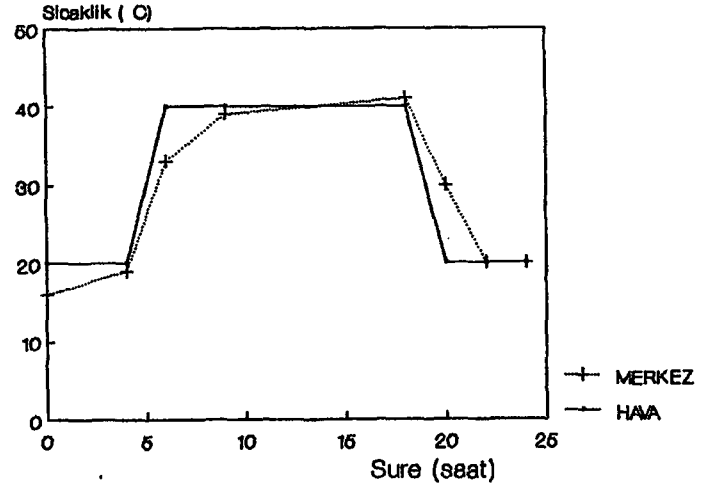
Isıl işlem çevrimlerinin uygulanması için Sistem-Teknik firmasına yaptırılan bir ısıtım fırını kullanılmıştır. Isıl işlem fırınının net iç ölçüleri 0,5x0,8x0,65 m. boyutunda olup, iç hacmi 260 lt'dir. Isıl işlem fırınının ve sıcaklık kayıt cihazının genel görünümü Şekil 2.4.'de verilmiştir.

Taze beton kalıplara yerleştirilip buharlaşma kaybını önlemek için üst yüzeyleri bir cam kapakla örtüldükten sonra ısıtım fırınına yerleştirilmişlerdir. Öncelikle 5 adet prizmatik numune yerleştirildikten sonra üzerlerine ahşap bir ızgara konulmuştur. Ahşap ızgaranın üstüne de 4 adet prizmatik numune yerleştirilmiştir. Isıl işlem çevrimleri sırasında dolabın rölatif rutubeti %90-%95 civarında kalmıştır. İlave bir önlem olarak da metal bir kabın içerisine su konularak dolabın nemi yüksek tutulmuştur. Deneyler sırasında numuneler kalıpları ile birlikte ısıtım işleminden önce ve sonra tartılmışlardır. Net beton ağırlığına oranla ağırlık kaybı %0.3 civarındadır. Bu değer ise ihmal edilebilir bir seviyededir.

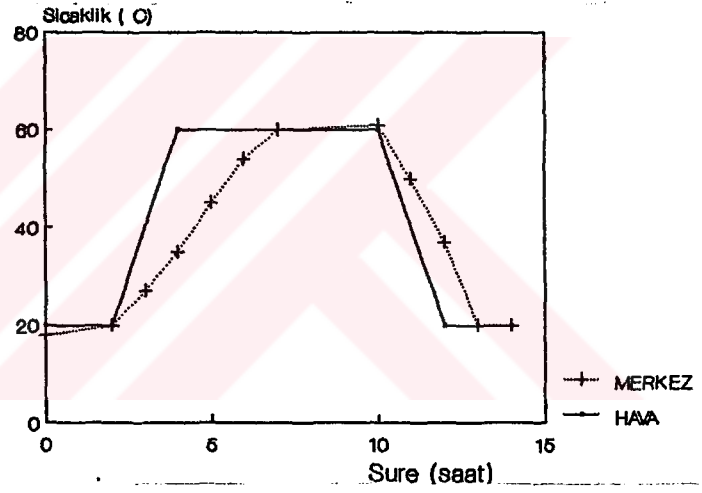
Isıl işlem fırınının ortam sıcaklığının kontrolü ST332-11 tipi bir kontrol cihazı ile sağlanmıştır. Ortam sıcaklığının kontrolü için kullanılan alet Pt-100 tipi bir direnç termometresidir. Sıcaklık kontrolü $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ayrımla yapılabilmektedir.

ST319 tipi bir program verici ile de ısınma ve soğuma hızları $0-99^{\circ}\text{C/saat}$ arasında, sıcaklık $0-100^{\circ}\text{C}$ arasında ve izotermal süresi ise (işlem sıcaklığında geçen süre) 0.2-12 saat arasında programlanabilmektedir.

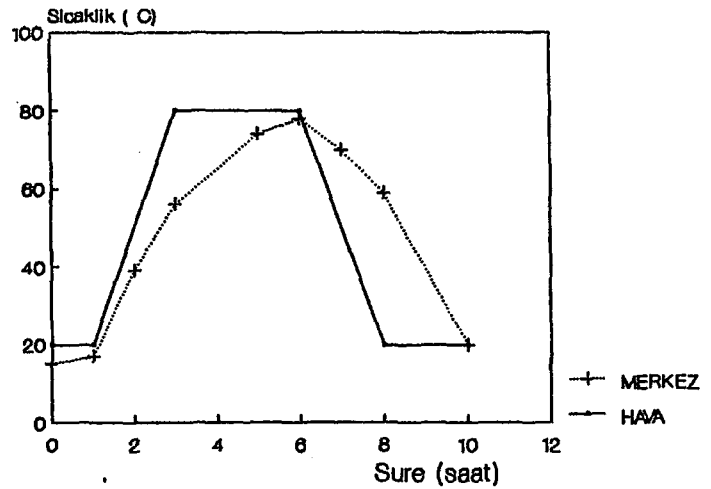
Dolabın içindeki sıcaklık dağılımının üniform olmasını sağlamak için sürekli olarak havayı yukarıdan aşağıya dolaştıran bir sirkülasyon fanı kullanılmıştır.



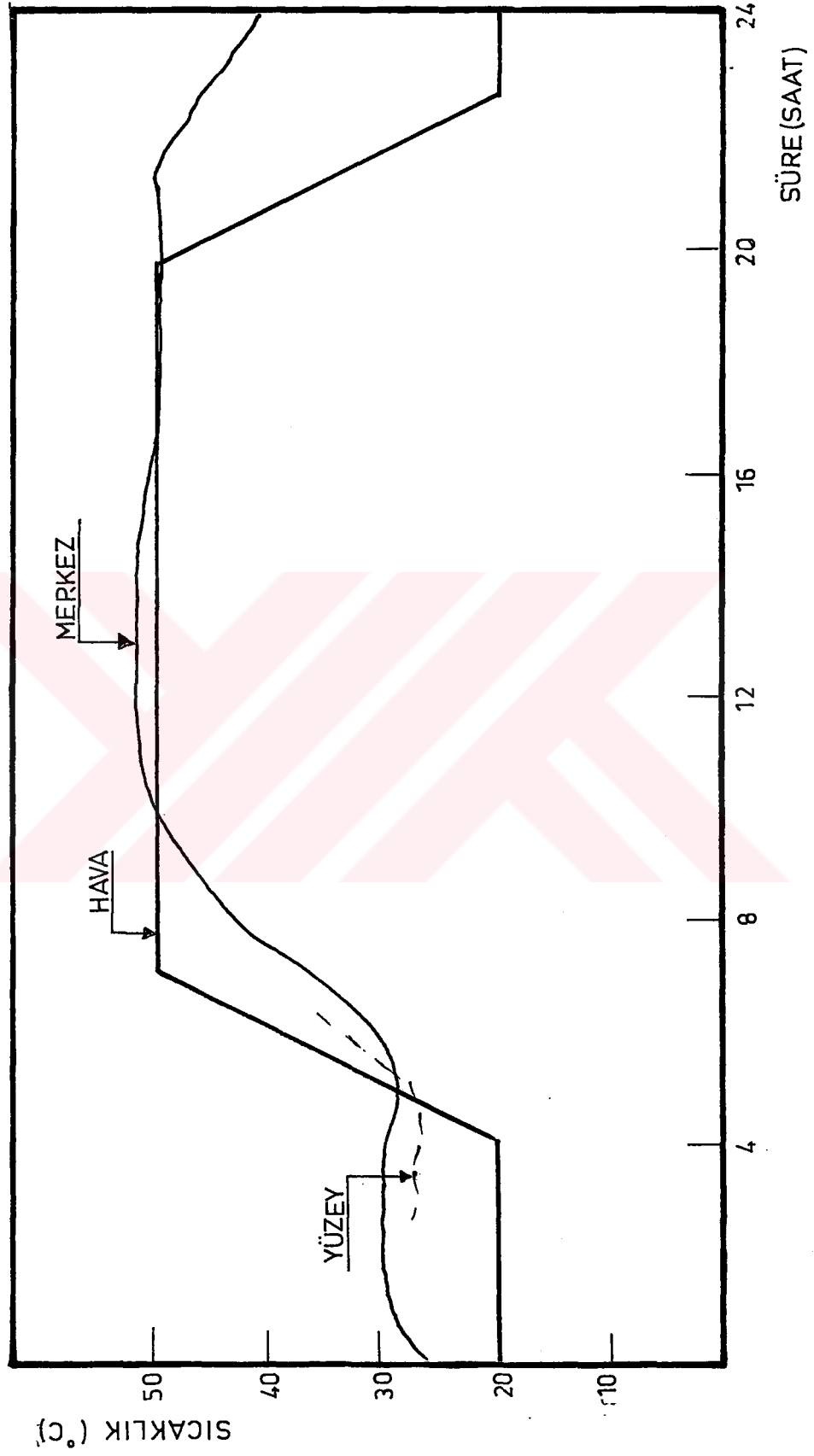
Şekil 2.5. Yumuşak Çevrim Uygulanmış Betonda Sıcaklık Değişimi



Şekil 2.6. Ilımlı Çevrim Uygulanmış Betonda Sıcaklık Değişimi



Şekil 2.7. Sert Çevrim Uygulanmış Betonda Sıcaklık Değişimi



Şekil 2.8. Isıl İşlem Uygulanmış Betonda Sıcaklık Değişimi

2.6.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş betonlar üzerinde 1., 28. ve 90. günlerde aynı deney programı uygulanmıştır. Numuneler önce ultrases hızı, sonra eğilme ve basınç mukavemeti deneylerine tabi tutulmuştur. 28 günlük numuneler üzerinde ise ilaveten kapilerite ve su emme deneyleri de yapılmıştır.

Ultrases hızı deneyinde 12 voltluk akümülatör ile çalışan dijital göstergeli WTW marka DIGI-EG c2 tip ultrases cihazı kullanılmıştır.

Eğilme deneyleri 20 ton kapasiteli Amsler marka Universal alet ile yapılmıştır. Eğilme deneyi uygulanırken kapasite 2 ton'a indirilmiştir. Deney numunelerinin mesnet açıklığı 25 cm. seçilmiş ve tekil yük açıklığının tam ortasından uygulanmıştır. Burkulma etkisini önlemek için mesnetlere kauçuk parçalar yerleştirilmiştir.

Basınç mukavemeti, eğilme deneyinden arta kalan parçalar üzerinde ölçülmüştür. Deneyden önce numunelerin üzeri gönye ile çizilmiş, 7x7 cm'lik çelik plakaları düşey doğrultuda üstüste yerleştirilerek saniyede 0.2 N/mm²'lik bir hızla basınç deneyi uygulanmıştır. Bu amaçla Amsler marka 1000 kN kapasiteli prestan yararlanılmıştır.

Sadece 28. günde yapılan kılcallık ve su emme deneylerinde, eğilme deneyinden arta kalan 6 parçanın 3'ünden faydalanılmıştır. Numuneler deneyden önce 60°C sıcaklıkta 48 saat etüvde bekletilerek sabit ağırlığa getirilmişlerdir. Bu süre sonunda etüvden çıkarılan numuneler desikatörde ortam sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Suyla temas eden yüzeyin yan yüzeyleri parafin ile izole edilerek kılcallık yolu ile su emmenin sadece bir yüzeyden olması sağlanmıştır.

Numunelerin suyla temas eden alt yüzeyleri taş kesme

makinası ile kesilerek hem yüzeyin düzgün olması, hem de numune boyutunun 7x7x7 cm olması sağlanmıştır. Deney başlangıcından itibaren numuneler 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64. dakikalarda tartılarak emdikleri su miktarı kaydedilmiştir. Tartılar duyarlılığı 0.1 gr olan bir terazi ile yapılmıştır.

Su emme deneyleri ise kılcallık deneyleri sonunda numunelerin içi su dolu bir kaba yerleştirilmesi ile başlamıştır. Numuneler 48 saat bu kabın içinde tutulduktan sonra çıkarılıp nemli bir bezle yüzeyleri kurulanmıştır. Önce suya doygün olarak havada, sonra su içinde tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir.

Bu sonuçlardan faydalanılarak sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı, ağırlıkça su emme oranı ve görünen porozite değerleri hesaplanmıştır.

2.7. Deney Programı

Bu çalışmada dozajları 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olan 5 farklı bileşimde beton üretilmiştir. Her parti betona işlem sıcaklıkları 20°C, 40°C, 60°C ve 80°C olmak üzere dört farklı ısı işlem çevrimi uygulanmıştır. Böylece toplam 20 parti beton üretilmiştir. Bu numunelerden 300 dozlu olup 20°C'de havada saklanmış betonlar şahit olarak seçilmiştir.

Ultrases hızı, eğilme ve basınç mukavemetleri 1., 28. ve 90. günlerde saptanmıştır. 1 günlük deneyler betonun kalıplara yerleştirilmesinden itibaren 24 saat±15 dakika içinde bitirilmiştir. 28 ve 90 günlük deneyler ise, 28. ve 90. gün içerisinde yapılmıştır. Eğilme mukavemeti 3 numune üzerinde denenerak bulunmuştur. 1. ve 90. günlerde basınç mukavemeti eğilme deneylerinden arta kalan 6 parça üzerinde, 28. günde ise eğilme deneylerinden arta kalan parçaların 3'ü üzerinde uygulanarak bulunmuştur.

Kılcallık ve su emme deneyleri ise 28. günde yapılmıştır. Bu deneylerde ise eğilme deneylerinden arta kalan parçalardan 3 tanesi gerekli işlemler yapıldıktan sonra kullanılmıştır.

Bu araştırmadaki tüm deneylerde sonuçların aritmetik ortalaması alınmış ve bu değerler kullanılmıştır.



BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilecektir. Bunun yanında sonuçların nasıl hesaplandığı açıklanacaktır.

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Taze beton özellikleri Tablo 2.5.'de beton bileşimiyle birlikte gösterilmiştir. Burada "Hesap ile" kolonunda verilen hava boşluğu yüzdeleri, betonun taze birim ağırlığı sonucundan faydalanılarak hesapla bulunmuştur; "Deney ile" kolonunda verilen hava boşluğu yüzdeleri ise doğrudan, hava boşluğunun tayini deneyinden alınmıştır. Ayrıca beton karışımı içerisindeki gerçek malzeme miktarları ve kompasitesi de hesapla belirlenerek Tablo 2.5.'de bu değerler gösterilmiştir.

3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Üretilen betonların basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti, ultrases hızı, difüzyon katsayısı, birim hacim ağırlık, görünen porozite, ağırlıkça su emme oranı değerleri sırası ile Tablo 3.1., Tablo 3.2., Tablo 3.3., Tablo 3.4., Tablo 3.5., Tablo 3.6. ve Tablo 3.7.'de gösterilmiştir. Bütün tablolarda deneylerden elde edilen sonuçların ortalama değerleri verilmiştir.

Sonuçlar mutlak değerleriyle birlikte, 300 dozlu 20°C'de havada saklanmış şahit numunelerin 28. günde elde edilen değerlerine de oranlanarak yüzde cinsinden rölatif

değerleri de verilmiştir. Parantez içindeki değerler bu rölatif yüzdeleri ifade etmektedir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi bu oranlara göre yapılacaktır.

Basınç mukavemeti deneylerinin değerlendirilmesinde mukavemetten bilinen basit gerilme formülü kullanılmış ve sonuçlar (N/mm^2) cinsinden hesaplanmıştır. Eğilme mukavemeti sonuçlarının hesaplanmasında ise,

$$\sigma = (1.5 \times P \times L) / B^3 \quad (N/mm^2) \dots\dots\dots (3.1)$$

P : Tekil yük (N)
L : Mesnet açıklığı (mm)
B : Numune kesiti kenar boyutu (mm)

formülü kullanılmıştır.

Kılcallık deneylerinde ise UYAN [28]'in geliştirdiği matematiksel modelden yararlanılmış ve bu modele göre numunelerin difüzyon katsayıları saptanmıştır. Difüzyon katsayısının hesaplanmasında kısaca şu şekilde hareket edilmiştir: Emilen su miktarı ($cm^3/cm^2=cm$) birimi ile düşey ekseninde, zamanın karekökü ise ($\sqrt{dakika}$) birimi ile yatay ekseninde gösterilerek deney sonunda elde edilen noktalar arasından en küçük kareler metoduna göre en uygun doğru geçirilmiştir. Daha sonra bu doğrunun eğiminden yararlanılarak difüzyon katsayısı (k):

$$k = S^2 \quad (cm^2/dak) \dots\dots\dots (3.2)$$

S : Eğim ($cm^2/\sqrt{dakika}$)

ifadesi ile hesap edilmiştir [29]

Birim hacim ağırlık, görünen porozite ve ağırlıkça su emme oranlarının hesaplanmasında ise aşağıda verilen formüller kullanılmıştır.

$$\text{Birim Ağırlık} = \frac{W_o}{W_{dh} - W_{ds}} \quad (\text{kg/m}^3) \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{Görünen Forozite} = \frac{W_{dh} - W_o}{W_{dh} - W_{ds}} \times 100 \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\text{Su Emme Oranı} = \frac{W_{dh} - W_o}{W_o} \times 100 \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

(Ağırlıkça)

W_o : numunenin kuru ağırlığı (kg)

W_{dh} : numunenin suya doygun durumda havadaki ağırlığı (kg)

W_{ds} : Numunenin suya doygun durumda su içindeki ağırlığı (kg)

Ultrases deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde ise mikrosaniye (μsn) olarak okunan ultrases geçiş süresi değerleri aşağıdaki formüle konularak numune içinden geçen sesin hızı bulunmuştur.

$$V = L' / T' \quad (\text{km/sn}) \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

L' : numune boyu (km)

T' : numune içinden ultrases geçiş süresi (sn)

V : ultrases hızı

Tablo 3.1- Basınç Mukavemeti Değerleri (N/mm²)

		Basınç Mukavemeti (N/mm ²)					
KUR	DOZAJ	1. GÜN		28. GÜN		90. GÜN	
20 C'de Saklama	300	23.2	(49)	47.5	(100)*	47.4	(100)
	350	13.1	(28)	41.3	(87)	44.6	(94)
	400	12.5	(26)	41.0	(86)	42.6	(90)
	450	14.4	(30)	40.4	(85)	41.8	(88)
	500	14.6	(31)	40.1	(84)	41.1	(87)
Yumuşak Çevrim	300	22.8	(48)	47.3	(100)	50.2	(106)
	350	30.7	(65)	44.9	(95)	48.2	(101)
	400	19.9	(42)	50.2	(106)	54.8	(115)
	450	17.5	(37)	43.3	(91)	43.8	(92)
	500	11.4	(24)	38.3	(81)	36.9	(78)
İlımlı Çevrim	300	34.2	(72)	46.6	(98)	51.0	(107)
	350	30.3	(64)	42.2	(89)	40.2	(85)
	400	24.3	(51)	37.6	(79)	42.7	(90)
	450	25.1	(53)	36.7	(77)	42.7	(90)
	500	26.0	(55)	36.3	(76)	39.1	(82)
Sert Çevrim	300	31.9	(67)	44.7	(94)	46.8	(99)
	350	31.8	(67)	47.1	(99)	45.2	(95)
	400	32.3	(68)	39.9	(84)	42.6	(90)
	450	26.1	(55)	39.1	(82)	39.3	(83)
	500	27.4	(58)	40.3	(85)	40.9	(86)

* Parantez içindeki değerler basınç mukavemetlerinin 20 ° C'de saklanmış 300 dozlu numunelerin 28. günündeki basınç mukavemetlerine göre yüzdeleridir.

Tablo 3.2- Eğilme Mukavemeti Değerleri (N/mm²)

		Eğilme Mukavemeti (N/mm ²)					
KÜR	DOZAJ	1. GÜN		28. GÜN		90. GÜN	
20 C'de Saklama	300	3.47	(57)	6.11	(100)*	6.61	(108)
	350	2.41	(39)	5.06	(83)	6.47	(106)
	400	2.52	(41)	4.61	(76)	6.42	(105)
	450	2.99	(49)	5.18	(85)	6.04	(99)
	500	3.27	(54)	4.68	(77)	6.11	(100)
Yumuşak Çevrim	300	4.18	(68)	5.88	(96)	6.64	(109)
	350	3.95	(65)	5.51	(90)	6.49	(106)
	400	3.38	(55)	5.97	(98)	6.95	(114)
	450	3.59	(59)	5.56	(91)	5.51	(90)
	500	2.56	(42)	4.79	(78)	5.01	(82)
İlımlı Çevrim	300	4.92	(81)	6.78	(111)	7.01	(115)
	350	4.63	(76)	5.20	(85)	6.72	(110)
	400	4.29	(70)	5.27	(86)	7.04	(115)
	450	4.22	(69)	4.36	(71)	5.68	(93)
	500	4.02	(66)	5.01	(82)	5.08	(83)
Sert Çevrim	300	4.27	(70)	5.74	(94)	6.11	(100)
	350	4.22	(69)	6.08	(99)	6.01	(98)
	400	4.54	(74)	4.86	(80)	5.22	(85)
	450	4.09	(67)	5.58	(91)	5.11	(84)
	500	4.34	(71)	4.99	(82)	5.29	(87)

* Parantez içindeki değerler eğilme mukavemetlerinin 20 ° C'de saklanmış 300 dozlu numunelerin 28. gündeki eğilme mukavemetlerine göre yüzdeleridir.

Tablo 3.3- Ultrases Hızı Değerleri (km/sn)

		Ultrases Hızı (km/sn)					
KUR	DOZAJ	1. GÜN		28. GÜN		90. GÜN	
20 C'de Saklama	300	4.403	(91)	4.831	(100)*	4.836	(100)
	350	3.889	(81)	4.735	(98)	4.711	(98)
	400	3.732	(77)	4.672	(97)	4.631	(96)
	450	3.640	(75)	4.568	(95)	4.590	(95)
	500	3.599	(74)	4.502	(93)	4.502	(93)
Yumuşak Çevrim	300	4.391	(91)	4.836	(100)	4.858	(101)
	350	4.601	(95)	4.704	(97)	4.644	(96)
	400	4.331	(90)	4.828	(100)	4.809	(100)
	450	4.196	(87)	4.714	(98)	4.634	(96)
	500	3.718	(77)	4.507	(93)	4.433	(92)
İlımlı Çevrim	300	4.654	(96)	4.695	(97)	4.757	(98)
	350	4.590	(95)	4.714	(98)	4.623	(96)
	400	4.422	(92)	4.598	(95)	4.595	(95)
	450	4.415	(91)	4.565	(94)	4.492	(93)
	500	4.314	(89)	4.361	(90)	4.357	(90)
Sert Çevrim	300	4.469	(93)	4.631	(96)	4.680	(97)
	350	4.426	(92)	4.621	(96)	4.505	(93)
	400	4.322	(89)	4.410	(91)	4.454	(92)
	450	4.171	(86)	4.334	(90)	4.241	(88)
	500	4.186	(87)	4.316	(89)	4.445	(92)

* Parantez içindeki değerler ultrases hızlarının 20° C'de saklanmış 300 dozlu numunelerin 28. gündeki ultrases hızlarına göre yüzdeleridir.

Tablo 3.4- Difüzyon Katsayısı Değerleri ($\text{cm}^2/\text{dakika}$)

Difüzyon Katsayısı ($\text{cm}^2/\text{dk.}$)			
KÜR	DOZAJ	28. GÜN	
20 C'de Saklama	300	54.8×10^{-5}	(100)*
	350	74.0×10^{-5}	(135)
	400	33.5×10^{-5}	(61)
	450	34.2×10^{-5}	(62)
	500	63.5×10^{-5}	(116)
Yumuşak Çevrim	300	18.5×10^{-5}	(34)
	350	18.8×10^{-5}	(35)
	400	18.5×10^{-5}	(34)
	450	29.9×10^{-5}	(55)
	500	50.2×10^{-5}	(92)
İlımlı Çevrim	300	16.9×10^{-5}	(31)
	350	13.7×10^{-5}	(25)
	400	48.0×10^{-5}	(88)
	450	55.2×10^{-5}	(101)
	500	80.0×10^{-5}	(146)
Sert Çevrim	300	33.1×10^{-5}	(60)
	350	26.2×10^{-5}	(48)
	400	75.6×10^{-5}	(138)
	450	68.1×10^{-5}	(124)
	500	59.5×10^{-5}	(109)

* Parantez içindeki değerler difüzyon katsayılarının 20°C 'de saklanmış 300 dozlu numunelerin difüzyon katsayılarına göre yüzdelileridir.

Tablo 3.5- Birim Hacim Ağırlık Değerleri (kg/m^3)

Sertleşmiş betonun birim hacim ağı. (kg/m^3)			
KÜR	DOZAJ	28. GÜN	
20 C'de Saklama	300	2324	(100)*
	350	2323	(100)
	400	2334	(101)
	450	2247	(97)
	500	2306	(99)
Yumuşak Çevrim	300	2411	(104)
	350	2410	(104)
	400	2329	(100)
	450	2313	(100)
	500	2243	(97)
İlımlı Çevrim	300	2365	(102)
	350	2366	(102)
	400	2296	(99)
	450	2257	(97)
	500	2226	(96)
Sert Çevrim	300	2349	(101)
	350	2332	(100)
	400	2096	(90)
	450	2265	(97)
	500	2250	(97)

* Parantez içindeki değerler sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı değerlerinin, 20° C'de saklanmış 300 dozlu sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim ağırlıklarına göre yüzdeleridir.

Tablo 3.6- Görünen Porozite Değerleri (%)

Görünen Porozite (%)			
KÜR	DOZAJ	28. GÜN	
20 C'de Saklama	300	13.3	(100)*
	350	12.9	(97)
	400	9.6	(72)
	450	11.3	(85)
	500	11.7	(88)
Yumuşak Çevrim	300	7.9	(59)
	350	7.7	(58)
	400	10.1	(76)
	450	11.2	(84)
	500	13.7	(103)
İlımlı Çevrim	300	8.3	(62)
	350	8.4	(63)
	400	13.1	(99)
	450	14.6	(110)
	500	15.9	(120)
Sert Çevrim	300	9.1	(68)
	350	9.5	(71)
	400	10.5	(79)
	450	12.5	(94)
	500	12.9	(97)

* Parantez içindeki değerler görünen porozite değerlerinin, 20° C'de saklanmış 300 dozlu numunelerin görünen porozite değerlerine göre yüzdeleridir.

Tablo 3.7- Ağırlıkça Su Emme Oranı Değerleri (%)

Ağırlıkça Su Emme Oranı %			
KUR	DOZAJ	28. GÜN	
20 C'de Saklama	300	5.73	(100)*
	350	5.55	(97)
	400	4.11	(72)
	450	5.04	(88)
	500	5.09	(89)
Yumuşak Çevrim	300	3.27	(57)
	350	3.19	(56)
	400	4.35	(76)
	450	4.85	(85)
	500	6.19	(108)
İlımlı Çevrim	300	3.51	(61)
	350	3.56	(62)
	400	5.72	(100)
	450	6.49	(113)
	500	7.15	(125)
Sert Çevrim	300	3.87	(68)
	350	4.06	(71)
	400	5.02	(88)
	450	5.50	(96)
	500	5.71	(100)

* Parantez içindeki değerler ağırlıkça su emme oranlarının, 20° C'de saklanmış 300 dozlu numunelerin ağırlıkça su emme oranlarına göre yüzdeleridir.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ

Bu bölümde, Bölüm 3'te verilen basınç, eğilme mukavemeti, ultrases hızı, difüzyon katsayısı, görünen porozite ve ağırlıkça su emme oranı değerlerine ait deney sonuçları değerlendirilecek ve irdelenecektir.

4.1. Basınç Mukavemeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Çimento dozajının bir fonksiyonu olan hidratasyon ısısisının dozaj arttıkça yükseldiği, ısıl işlem uygulamanın ve ayrıca portland çimentoları için dozajı arttırmanın betonun erken yaşlardaki mukavemetini arttırdığı bilinmektedir [4].

Yapılan bu çalışmada yüksek dozajlı yani hidratasyon ısısisı yüksek bir betona ısıl işlem uygulanmasının, 1 günlük basınç mukavemetini ne şekilde etkilediği araştırılmış ve aynı zamanda 28 ve 90 günlük deneylerle de ileri yaşlardaki basınç mukavemetinin ne yönde geliştiği incelenmiştir.

Bölüm 2'de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi dozajları 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olan 5 farklı bileşimde beton üretilmiştir. Her parti betona 4 farklı ısıl işlem kürü uygulanmıştır. Bu kürler 20°C'de havada saklama ve sırası ile ısıl işlem sıcaklıkları 40, 60, 80°C olan yumuşak, ılımlı ve sert çevrim uygulamasıdır.

Dozajları 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olan

betonların 1, 28 ve 90 günlük basınç mukavemetlerinin ısıtma işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimleri, 20°C-şahit-28 günlük mukavemetin yüzdesi cinsinden, Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Ayrıca yine aynı dozajdaki betonların, uygulanan 4 farklı ısıtma işlem kürüne göre, basınç mukavemetlerinin zamana göre değişimleri de Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'de gösterilmiş ve bu şekillerin de incelenmesiyle daha detaylı olarak aşağıda verilen sonuçlar çıkarılmıştır.

1. gün deneyleri sonunda her dozajdaki betonlarda, uygulanan ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça basınç mukavemeti de artmıştır. 1 günlük betonlarda, sert çevrim uygulanmış numunelerin diğer kürlere göre en yüksek mukavemeti verdiği görülmüştür. Her dozajdaki betonun ortalama değerlerine bakıldığında, yumuşak çevrim uygulaması 20°C'de saklanan betonların mukavemetini % 40 arttırırken, ılımlı çevrim % 85 ve sert çevrim %100 oranında arttırmıştır (Bkz. Şekil 4.1.).

Isıtma işlemin şiddeti arttıkça 1. gündeki mukavemetin daha yüksek oranlarda artması, amaçlanan ve beklenen bir sonuçtur. Bugüne kadar yapılan birçok çalışmada bu sonuç muhtelif araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur [11,19,21,23,25,26,28,30,31,32,33] Uygulanan ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça betona kazandırılan olgunluk derecesi de arttığından 1.günde en yüksek mukavemeti sert çevrim uygulanan betonlar vermiştir.

1. ve 28. günde yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığı zaman, her dozajdaki betonların ortalama değerlerine göre 20°C'de saklanan betonlar 1. günde 28 günlük mukavemetin ancak %37'sini kazanabilmiştir. Bu oran yumuşak çevrim uygulanmış numunelerde %45, ılımlı çevrim uygulanmış numunelerde %70 ve sert çevrim uygulanmış numunelerde ise % 73 olmuştur (Bkz. Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.).

Yine aynı şekiller incelendiğinde, 20°C saklanan betonların 90. gündeki mukavemetlerinin, 28 günlük mukavemete oranla dozaajların ortalamasına bakıldığında %4 arttığı, aynı oranın yumuşak çevrim uygulanmış numunelerde de %4, ılımlı ve sert çevrim uygulanmış numunelerde ise %8 ve %2 olduğu görülmüştür. Bu değerlere bakıldığında ısıtma işlemi uygulanmış betonların 90. gündeki mukavemet gelişimi, 28. güne oranla artış yönünde olmuş ancak 20°C'de saklanan betonlarla kıyaslandığında, sadece sert çevrim uygulanmış betonlarda çok küçük bir rölatif düşüş olduğu görülmüştür. Isıtma işlemi uygulamanın en büyük dezavantajı, betonun ileri yaşlardaki mukavemetini, ısıtma işlemi uygulanmamış betonların mukavemetine göre düşürüyor olmasıdır [16,34]. Mukavemetteki bu düşüşün sebepleri olan yapısal bozukluklar (hidratasyon ürünlerinin heterojen dağılımı, artan kristalleşme ve porozite gibi) ve fiziksel kusurları ÖZTEKİN [3] ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, ısıtma işlemi uygulanmış betonların ileri yaşlardaki mukavemetlerinin 20°C'de saklanan betonların nihai mukavemetlerinden pek farketmemesi, literatür bulgularıyla çelişkili bir sonuç vermektedir (Bkz. Şekil 4.2., Şekil 4.3.). Bu sonuç, araştırmada numunelerin su içinde tutulmayıp havada saklandıklarının belirtilmesiyle açıklanabilir [29]

Literatür [34] 'de bu konuya değinilerek, pratikte genellikle betonların rutubet kütüne pek az maruz kalmalarından dolayı buhar kütünün avantajının, daha düşük sıcaklıklarda sürekli rutubet kütüne tutulmuş betonlara göre değerlendirilen avantajından önemli derecede daha büyük olabileceği belirtilmiştir.

UYAN [2], çalışmasının esas deneylerinde ısıtma işlemi görmüş numunelerini deney gününe kadar rutubeti %78±3 olan klima odasında havada saklamış, 28 ve 90. günlerde yaptığı deneylerde bu numunelerin mukavemetlerinin 20°C'ye oranla arttığını belirtmiştir.

Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış betonların 1, 28 ve 90 günlük basınç mukavemetlerinin dozaja bağlı olarak değişimleri, 20°C-şahit-28 günlük mukavemetin yüzdesi cinsinden Şekil 4.8., Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'da gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1., 28. ve 90. günlerde yapılan deneylerde ısıtıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerde, dozaj arttıkça basınç mukavemetinin düştüğü görülmüştür. Yapılan bu çalışmada üretilen betonların tümünde su/çimento oranı sabit tutulduğundan, çimento dozajı arttıkça betonun agrega konsantrasyonu ve agrega/çimento oranı azalacaktır (Bkz. Şekil 4.65.). Bu durumda çimento miktarının artması, agregalar arasındaki mesafenin açılmasına ve beton içinde agreganın oluşturduğu taşıyıcı iskeletin bozulmasına, hatta bu iskeletin oluşmamasına sebep olacaktır.

ERNSTROY-SHACKLOCK [35], yüksek mukavemetli beton elde etmek için yaptıkları bir çalışmada aynı su/çimento oranına sahip karışımlarda agrega/çimento oranının artmasının mukavemeti yükselttiğini ve çimento yönünden zengin, başka bir deyişle agrega miktarı düşük betonların zayıf mukavemetli olabildiklerini belirtmişlerdir.

YALÇIN [36], yaptığı çalışmada aynı su/çimento oranı değerleri için çimento dozajı yükseldikçe betonun mukavemetinin düştüğünü, dozajın 200'den 250'ye çıkarılması ile basınç mukavemetinin %70 arttığını, ancak dozajın 250'den 300'e çıkarılması ile elde edilen artışın bu derece büyük olmadığını belirtmiştir. TANIRCAN [37], çalışmasında su/çimento oranını sabit tutularak, dozajları 122 ile 455 arasında değişen 6 parti karışım üretmiş ve yaptığı deneyler sonucunda basınç mukavemetinin çimento dozajı ile birlikte arttığını, ancak bu artışın 232 dozaja kadar olduğunu, bu değerden sonra çimento dozajı arttıkça basınç mukavemetinin azaldığını belirtmiştir.

ÖRNEK [38] ise su/çimento oranlarını sabit tutarak dozajları 134 ile 482 arasında değiştirerek 6 parti beton üretmiş ve en yüksek mukavemeti 255 dozlu betonun verdiğini söylemiştir.

1 günlük betonların tümünde, dozajın 300'den 500'e çıkarılmasıyla betonun 1. gündeki mukavemetinin düştüğü görülmüştür. Dozajın 300'den 500'e çıkartılırken her 50 kg/m³ artışına karşı gelen mukavemet kayıplarının ortalama alındığında, 300 dozlu betonun mukavemetine oranla bu kayıplar, 20°C'de saklanan betonlarda %42, yumuşak çevrim uygulanan betonlarda %18, ılımlı çevrim uygulanan betonlarda %23 ve sert çevrim uygulanmış betonlarda ise %8 olmuştur. Dozajın 300'den 350'ye çıkarılması ile 20°C'de saklanan betonlarda düşüş %43 olurken, sert çevrim uygulanan betonlarda ısıtma işlemi dozajın mukavemeti düşürücü etkisini dengeleyerek düşüş oranı sıfır olmuştur. Dozajın 300'den 400'e çıkarılması ile 20°C'de saklanan betonlarda meydana gelen düşüş %47 iken sert çevrimde %1 artış, dozajın 300'den 450'ye çıkarılması ile 20°C'de saklanan betonlarda %39 düşüş görülürken, sert çevrimde %18 düşüş ve dozajın 300'den 500'e çıkarılması ile 20°C'de saklanan betonlarda %37, sert çevrim uygulanan betonlarda ise %13 düşüş olduğu görülmüştür (Bknz. Şekil 4.8). Sonuçlara bakıldığında, 1 günlük betonların mukavemetinde, dozajın 300'den 500'e çıkarılması ile meydana gelen düşüş oranları uygulanan ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça azalmıştır. Özetle, ısıtma işlem sıcaklığındaki artış betonun 1. gündeki mukavemetine olumlu etki yapmış ve ısıtma işlemlerin 350 ve 400 dozlu betonlarda daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

28. ve 90. günlerde yapılan deneylerde de basınç mukavemeti dozaj arttıkça azalmıştır. Isıtma işlem uygulamasının bu azalma oranları üzerine etkisi yine aynı yönde olmuştur (Bknz. Şekil 4.9, Şekil 4.10.).

1. günde yapılan deneylerde, her dozajda sert çevrim ve ılımlı çevrim, 20°C'de saklanan betonlara göre daha iyi sonuç vermiştir. Şekil 4.11'e bakıldığında sert çevrim uygulaması 300 dozlu betonların 1. gündeki mukavemetini %37 arttırırken, ılımlı çevrim %47 arttırmış, yumuşak çevrimin hiçbir etkisi olmamıştır. 28. ve 90. günlerde ise uygulanan ısıtma işlem çevrimlerinin, 20°C'de saklanan betonların mukavemetine etki etmedikleri söylenebilir. 350 dozlu betonların 1. gündeki mukavemetini yumuşak çevrimin %132, ılımlı çevrimin %129 ve sert çevrimin %139 arttırdığı Şekil 4.12'den görülmektedir. Şekil 4.13'ün incelenmesinden ise 400 dozlu betonların 1. gündeki mukavemetini yumuşak çevrimin %62, ılımlı çevrimin %96 ve sert çevrimin %162 arttırdığı; 28. ve 90. günlerde ise yumuşak çevrimin arttırdığı, ılımlı ve sert çevrimin ise herhangi bir değişiklik yaratmadığı görülmüştür. Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'e bakıldığında 450 ve 500 dozajlı betonların 1. gündeki mukavemetini, yumuşak çevrim %20 civarında arttırırken, ılımlı çevrim %77 ve sert çevrim %85 civarında arttırmıştır. 28 ve 90 günlük mukavemetlere bakıldığında uygulanan ısıtma işlem çevrimlerinin arttırıcı veya azaltıcı etkilerinin olmadığı söylenebilir.

Bu sonuçlara bakıldığında 1 günlük betonlarda en etkili ısıtma işleminin sert ve ılımlı çevrimler olduğu, bu çevrimlerinde en yüksek sonuçları 350 ve 400 dozlu betonlarda verdiği görülmektedir. ılımlı ve sert çevrim uygulanan 350 ve 400 dozlu betonların 28 ve 90. günlerdeki mukavemetlerinin de, 20°C'de saklanan betonların mukavemetlerinden farklılık göstermemesi, su/çimento oranını sabit tutmak şartıyla ılımlı ve sert çevrimlerin 350 ve 400 dozlu betonlar için uygun ısıtma işlemleri olduğu, başka bir deyişle uygulanan ısıtma işlemlere göre en etkin sonucun 350-400 arasındaki dozajlarda elde edildiği söylenebilir.

Buraya kadar yapılan açıklamalara dayanarak, basınç mukavemeti ile ilgili elde edilen sonuçlar şöyle

Özetlenebilir : (1) Üretilen betonların 1. gündeki mukavemetleri uygulanan ısıtma işlem sıcaklığı ile birlikte artmıştır. Sert çevrim uygulanmış numuneler, uygulanan diğer kürlere göre en yüksek sonucu vermiştir. (2) Isıtma işlem uygulanmış betonların ileri yaşlardaki mukavemetinin, 20°C'de saklanan betonlara oranla düşmediği görülmüş ve bu sonuç beton numunelerinin, rutubeti %75±5 ve sıcaklığı 20±1°C olan ortamda havada saklanmış olmalarına bağlanmıştır. (3) Su/çimento oranını sabit tutmak şartıyla dozajı arttırmak betonun basınç mukavemetini düşürmüştür. (4) Dozajın artmasına karşılık, mukavemetteki düşüş oranı sert ve ılımlı çevrim uygulanmış numunelerde, 20°C'de saklanan numunelere oranla daha düşük çıkmıştır. (5) Isıtma işlem uygulamalarına göre en etkin sonuç 350-400 arasındaki dozajlarda elde edilmiştir. (6) Isıtma işlem uygulamasının yüksek dozajlı betonlara basınç mukavemeti yönünden olan etkisinin, normal mertebelerde dozaj içeren betonlara etkisinden pek fark etmediği söylenebilir.

4.2. Eğilme Mukavemeti Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Isıtma işlem uygulanmış yapı elemanlarının işlem merkezinden taşınarak depolanması veya kullanım yerine yerleştirilmesi sırasında, betonun özellikle eğilme mukavemeti önemli olmaktadır. Genellikle taşıyıcı yapı elemanlarında taşıma ve montaj sırasında meydana gelen çatlaklar çok önemli mukavemet kayıplarına neden olmaktadır.

Bu bakımdan, çalışmada ısıtma işlem uygulamasının yüksek dozajlı betonların eğilme mukavemetini ne şekilde etkilediği de araştırılmıştır.

Dozajları 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olan betonların 1,28 ve 90 günlük eğilme mukavemetlerinin uygulanan ısıtma işlem kürüne bağlı olarak değişimleri, 20°C-şahit-28 günlük mukavemetin yüzdesi cinsinden Şekil 4.20., Şekil

4.21. ve Şekil 4.22.'te gösterilmiştir. Ayrıca yine aynı dozajdaki betonların, uygulanan 4 farklı ısıtma işlem kürüne göre eğilme mukavemetlerinin zamana göre değişimleri de Şekil 4.23.-4.26.'da gösterilmiş ve bu şekillerinde topluca incelenmesi ile daha detaylı olarak aşağıda verilen sonuçlar çıkarılmıştır.

1 günlük betonlara bakıldığında, eğilme mukavemetinin her dozadaki betonlarda uygulanan ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça eğilme mukavemeti de artmıştır. Her dozajdaki beton için ortalama bir değer alındığında yumuşak çevrim uygulaması, 20°C'de saklanan betonlara göre eğilme mukavemetini %20 arttırırken, ılımlı çevrim %51 ve sert çevrim %46 arttırmıştır (Bknz. Şekil 4.20.). Sonuçların incelenmesinden görüleceği gibi ısıtma işlem uygulamaları basınç mukavemetinde olduğu gibi, eğilme mukavemetinin de 1. günde artmasına sebep olmuştur. Bunun nedeni basınç mukavemeti değerlendirilirken daha önce açıklanmıştır. Burada belirtilmesi gereken bir husus, ısıtma işlem uygulaması 1. günde betonun basınç mukavemetini, eğilme mukavemetine göre daha fazla arttırmıştır. Bu sonuç bugüne kadar yapılan çalışmaların bir bölümüne [1,6,26] aykırı düşerken, bir bölümüyle de aynı sonucu vermiştir. NURSE [39], HANSON [20] ve SAEMANN [40] gibi bazı araştırmacılar da ısıtma işlem uygulamanın eğilme mukavemetinin gelişimine, basınç mukavemetine oranla daha az katkıda bulunduğunu bildirmektedir.

1. ve 28. günde yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında, her dozajdaki betonların alınan ortalama değerlerine göre 20°C'de saklanan betonlar 1. günde 28 günlük mukavemetin %57'sini kazanmıştır. Bu oran yumuşak çevrim uygulanmış numunelerde %54, ılımlı ve sert çevrimlerde ise %83 ve %80 olmuştur (Bknz. Şekil 4.23.-4.26.).

Aynı şekiller incelendiğinde, 20°C'de saklanan betonlarda 90. gündeki mukavemet, 28. gündeki mukavemete oranla %23 artmış, bu oran yumuşak çevrim uygulanan betonlarda

da %11 artış, ılımlı ve sert çevrim uygulanan betonlarda ise %19 ve %2 artış şeklinde olmuştur.

Bu sonuçlara baktığımızda eğilme dayanımının 90. gündeki gelişimi, ısıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış betonlarda artış yönünde olmuş ancak, 20°C'de saklanan yani ısıtma işlem uygulanmamış betonların, ısıtma işlem uygulanmış betonlara göre 90. gündeki artışı daha fazla olmuştur.

Isıtma işlem uygulaması 1. gündeki betonun eğilme mukavemetini 20°C'de saklanan betonlara oranla arttırmış, ancak bu artış oranı, basınç mukavemetinde sağlanan orana göre düşük kalmıştır. İleri yaşlardaki mukavemet gelişimi ise, 20°C'de saklanan betonlardan ortalama olarak %50 daha az olmuş ve yine bu oranın basınç mukavemetinde sağlanan orana göre düşük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Isıtma işlem uygulaması betonun eğilme dayanımına, basınç dayanımına oranla ilk yaşlarda daha az olumlu tesir, ileri yaşlarda ise daha fazla olumsuz etki yaptığı görülmüştür.

Isıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış betonların 1, 28 ve 90 günlük eğilme mukavemetlerinin dozaja bağlı olarak değişimleri ise, 20°C-şahit-28 günlük mukavemetin yüzdesi cinsinden Şekil 4.27., Şekil 4.28. ve Şekil 4.29.'da gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1, 28 ve 90. günlerde yapılan deneylerde, ısıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerde dozaj arttıkça betonun eğilme mukavemetinin düştüğü görülmüştür. Bu beklenen bir sonuçtur. Isıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış betonların eğilme mukavemetlerinin, agrega/çimento oranlarına bağlı olarak değişimleri Şekil 4.34.-4.38.'de gösterilmiştir. Sabit su/çimento oranıyla üretilen betonlarda, çimento dozajı arttıkça mukavemetin düşmesinin sebebi basınç mukavemeti sonuçlarının irdelenmesi bölümünde açıklanmıştır.

20°C'de saklanan betonlarda dozajın 300'den 500'e çıkmasıyla eğilme mukavemeti 1. günde ortalama %20 azalmış, bu azalma yumuşak çevrim uygulanan betonlarda %19, ılımlı çevrim uygulanmış numunelerde %13 ve sert çevrim uygulanmış numunelerde ise %1 artış olmuştur (Bknz. Şekil 4.27.).

Isıl işlem uygulamanın eğilme mukavemetine, basınç mukavemetine göre daha az olumlu etki yaptığı düşünülrse, yukarıdaki sonuçların incelenmesinden dozajı arttırmanın basınç mukavemetine oranla eğilme mukavemetine daha az olumsuz etki yaptığı söylenebilir.

1. günde yapılan deneylerde, her dozda sert ve ılımlı çevrimler, 20°C'de saklanan betonlara oranla daha iyi sonuçlar vermiştir. Şekil 4.30.'a bakıldığında sert çevrim uygulaması 300 dozlu betonların mukavemetini %23 arttırırken, ılımlı çevrim %25 ve yumuşak çevrim %19 arttırmıştır. 28. ve 90. günlerde ise uygulanan ısıll işlemlerin 20°C'de saklanan betonun mukavemetine etki etmedikleri söylenebilir.

Şekil 4.30.-4.33.'ün topluca incelenmesinden en etkili çevrimlerin ılımlı ve sert çevrimler olduğu, bu çevrimlerinde en iyi sonuçları 350 ve 400 dozlu betonlarda verdiği görülmüştür.

Buraya kadar çıkarılan sonuçlardan, ısıll işlem uygulamasının her dozdaki betonların eğilme mukavemetlerine yaptığı etki, genellikle basınç mukavemetlerine gösterdiği etkiye benzer biçimde olmaktadır. Ancak ortaya çıkan farklar şöyle sıralanabilir :

- (1) 1. günde yapılan deneylerde ısıll işlem betonun eğilme mukavemetine, basınç mukavemetine oranla daha olumsuz etki yapmıştır.
- (2) Isıl işlem uygulanmış betonların, 20°C'de saklanmış betonlara oranla ileri yaşlardaki düşüş oranları, eğilme mukavemetinde daha belirgin olmuştur.
- (3) Dozajın arttırılmasıyla betonun basınç mukavemetinde görülen

azalma oranı, eğilme mukavemetinde küçülmüştür. (4) Betonun hem eğilme mukavemetinde hem de basınç mukavemetinde en olumlu etkiyi ılımlı ve sert çevrimler yapmış ve bu çevrimlerde de en yüksek sonucu 350 ve 400 dozlu betonlar vermiştir.

Tablo 4.1. Çimento Dozajının Sıcaklığa Bağlı Olarak Basınç ve Eğilme Mukavemetlerine Etkisinin Özeti (*)

Çimen- to Do- zajı	Uygulanan Kür	Basınç muk.			Eğilme muk.		
		1.G.	28.G.	90.G.	1.G.	28.G.	90.G.
300	20°C saklama	(-)	şahit	(0)	(-)	şahit	(+)
	Yumuşak Ç.	(-)	(0)	(+)	(-)	(-)	(+)
	Ilımlı Ç.	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)
	Sert Ç.	(-)	(-)	(0)	(-)	(-)	(0)
350	20°C saklama	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
	Yumuşak Ç.	(-)	(0)	(+)	(-)	(-)	(+)
	Ilımlı Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
	Sert Ç.	(-)	(0)	(-)	(-)	(0)	(0)
400	20°C saklama	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
	Yumuşak Ç.	(-)	(+)	(+)	(-)	(0)	(+)
	Ilımlı Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
	Sert Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
450	20°C saklama	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(0)
	Yumuşak Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Ilımlı Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Sert Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
500	20°C saklama	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(0)
	Yumuşak Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Ilımlı Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Sert Ç.	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

(*) Bu tabloda, şahit değerlere göre yüksek değerler (+), düşük değerler (-), şahit ile aynı değerler ise (0) ile gösterilmiştir.

4.3. Özet Tablo

Çalışmada denenen yüksek çimento dozajlarının, sıcaklığa bağlı olarak basınç ve eğilme mukavemetleri üzerine etkisinin, 20°C'de saklanmış 28 günlük şahit olarak seçilmiş betonun mukavemetinden düşük veya yüksek olduğu Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Burada şahit numuneye göre yüksek değerler (+) işareti ile, düşük değerler ise (-) işaretiyle gösterilmiştir. Eğer numunenin mukavemeti şahit numunenin mukavemetiyle aynı ise bu durumda (0) işareti ile ifade edilmiştir.

Bu tablonun hazırlanmasıyla, yüksek çimento dozajının ısıtıl işlem uygulamalarına etkisini basit bir şekilde açıklamak istenmiştir.

4.4. Ultrases Hızı Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Bu çalışmada, uygulanan kür'e, çimento dozajına ve betonun yaşına göre ultrases hızının değişimi Şekil 4.39.-4.57.'de gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Dozajları 300, 350, 400, 450 ve 500 kg/m³ olan betonların 1. gündeki ultrases hızları uygulanan kürün ısıtıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak artmıştır. Sert çevrim uygulanmış her betonun ultrases hızlarının ortalaması, 20°C'de saklanmış betonların ortalama ultrases hızına göre %12 daha iyi sonuç vermiştir. Bu artış oranı yumuşak ve ılımlı çevrim uygulanan betonlarda ise %11 ve %16 olmuştur (Bknz. Şekil 4.39.).

28. ve 90. günlerde ısıtıl işlem uygulaması, 20°C'de saklanan betonların ultrases hızlarına göre sadece

yumuşak çevrim uygulanan betonlarda artış sağlamış, ılımlı ve sert çevrim uygulanan betonlarda ise pek fazla fark göstermemiştir (Bknz. Şekil 4.40-4.41.).

Bu sonuçlara göre, işlem sıcaklığı yüksek ısıtma işlemleri uygulamak betonun ilk yaşlardaki ultrases hızını arttırmakla beraber ileri yaşlarda pek farketmemiştir. Bu sonuçlar betonun basınç mukavemeti ile paralellik gösterdiğinden, üretilen betonların ultrases hızı değerleri ile basınç mukavemetleri arasında bir bağıntı olabileceği söylenebilir.

Her üç deney gününde de en yüksek hız değerini 300 dozajlı betonlar vermiş, dozaj arttıkça ultrases hızı değeri düşmüştür. Aynı eğilim ısıtma işlemi uygulanmış betonlarda da kendini göstermiş, ancak ısıtma işlemi uygulanmış betonların 90. gündeki hız değerleri 1. gündeki hız değerlerine oranla pek fark etmediği görülmüştür (Bknz. Şekil 4.46.-4.48.).

Dozajın artmasıyla ultrases hızı değerinin düşmesi ve ileri yaşlarda 20°C'de saklanan betonlarda artıp, ısıtma işlemi uygulanan betonlarda ise 1. güne oranla pek fark etmemesi betonun basınç mukavemeti sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Bu sonuçların sebebinden basınç mukavemeti değerinin irdelenmesi bölümünde bahsedilmiştir.

20°C'de saklanan betonlarda ultrases hızı değeri zamanla artış göstermiş ve en yüksek değerine 90. günde ulaşmıştır (Bknz. Şekil 4.42.). Yumuşak çevrim uygulanmış betonlarda ultrases hızı değerleri 28. günde en yüksek değerine ulaşmış ve 90. günde aynı kalmıştır. Ilımlı çevrim uygulaması ise ultrases hızı değerini 1. günde yükseltmiş, 28. ve 90. günde ise aynı kalmıştır. Aynı etki sert çevrim uygulanmış numunelerde de görülmüştür (Bknz. Şekil 4.43.-4.45.).

Şekil 4.49.-4.53.'e topluca bakıldığında, her dozajdaki betonlarda 1. günde ılımlı çevrim uygulanmış betonlar en iyi sonucu verirken, 28. ve 90. günlerde ise yumuşak çevrim uygulanmış betonların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Buraya kadar yapılan açıklamaların ışığı altında, ultrases hızı değerleri ile ilgili elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir : (1) 1. günde ısıtma işlemi uygulaması her dozajdaki betonun ultrases hızını, 20°C 'de saklanan betonlara göre arttırmış ve en iyi sonucu ılımlı çevrim uygulanan betonlar vermiştir. (2) 28. ve 90. günlerde ise yumuşak çevrim uygulaması en olumlu sonucu vermiştir. (3) Dozaj arttıkça betonun ultrases hızı düşmüştür. (4) Her dozajdaki betonların ultrases hızı değerleri ile basınç mukavemeti arasında paralellik görüldüğünden, betonun bu iki özelliği arasında lineer bir bağıntı olduğu söylenebilir.

4.5. Kılcallık Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Atmosfer şartlarına maruz kalacak prefabrike yapı elemanlarında betonun kılcallık yolu ile su emme özelliği, yapı elemanının dayanıklılığı açısından önem kazanır. Öte yandan dozajın artması kılcal çatlakların artmasına sebep olabilir. Bu bakımdan, yapılan çalışmada üretilen betonların kılcallık özelliklerinin incelenmesine de yer verilmiştir.

Difüzyon katsayısının çimento dozajına bağlı olarak değişimi Şekil 4.58.'de ve uygulanan kür'e göre değişimi ise Şekil 4.59.'da gösterilmiştir. Şekillerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

28 günlük betonlarda dozajın 300'den 500'e çıkması ile, ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış betonların

difüzyon katsayısı, yani kılcallık yolu ile emilen su miktarı artmıştır. Bu artış ılımlı ve sert çevrim uygulanan betonlarda 350 dozdan hemen sonra büyük sıçrayış şeklinde olmuştur. Yumuşak çevrim uygulanmış numunelerde ise dozajın artmasına paralel olarak küçük artışlar olduğu görülmüştür. Bu sonuç ılımlı ve sert çevrim gibi işlem sıcaklıkları yüksek ısı işlemlerin yüksek dozajlı betonlara uygulanmasıyla, betonun iç yapısında oluşan mikro çatlakların artmasıyla açıklanabilir.

20°C'de saklanan betonlarda ise dozaj 350'den 400'e çıkarken betonun difüzyon katsayısı değeri %55 oranında düşmüş, dozaj 450'den 500'e çıktığında ise bu oran %86 artmıştır. UYAN [29]], çalışmasında çimento hamurunun agrega taneleri arasındaki boşluğu doldurmaya yeterli değilse beton bünyesinin büyük ölçüde boşluklu bir yapıya sahip olacağını ve kılcallığın artacağını, diğer taraftan çimento hamuru agrega taneleri arasındaki boşluğu doldurmaya yeterli ise kılcallığın küçüleceğini belirtmiştir. Ayrıca yoğurma suyunun kılcallığı etkileyen önemli faktörlerden biri olduğunu, işlenebilmeyi sağlamak için gereken optimum su miktarından fazla veya daha az su kullanmanın kılcallığı olumsuz yönde etkileyeceğini belirtmiştir. Buna göre, 20°C'de saklanan betonların difüzyon katsayısının 400 doza düşmesinin sebebi olarak çimento hamurunun agrega taneleri arasındaki boşluğu doldurmuş olması ile açıklanabilir. Difüzyon katsayısının 450 dozdan sonra önemli bir ölçüde artması ise su/çimento oranı sabit tutulduğu için dozaj arttıkça kullanılan su miktarının yoğurma suyu miktarından fazla olması ile açıklanabilir.

4.6. Su Emme Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Prefabrik yapılarda elemanın su emme özelliği bilhassa yapının dayanıklılığı ve konforu açısından önemlidir.

Su emme oranı betonun içindeki görünen poroziteyi verir. Bu nedenle yüksek dozajlı betonlarda, ısıtma işlemi uygulanması ile birlikte bu özelliğin de nasıl değiştiği araştırılmıştır.

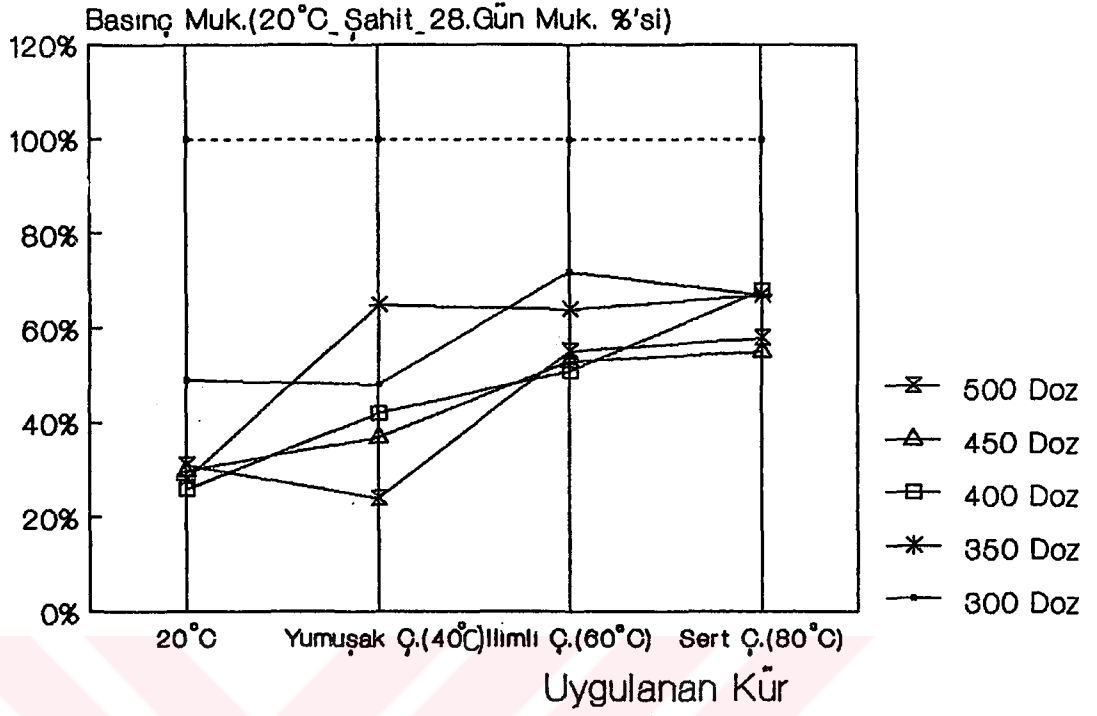
Bir numunenin su emme oranının içindeki boşluk oranına (görünen porozitesine) bağlı olduğu açıktır [6]. Bu çalışmada boşluk oranı ile, sürekli yani birbirine bağlı boşluklar kastedilmiştir.

Görünen porozite yani su emme oranının dozaja ve uygulanan kür'e göre değişimleri Şekil 4.60.-4.64.'de gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden ise aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

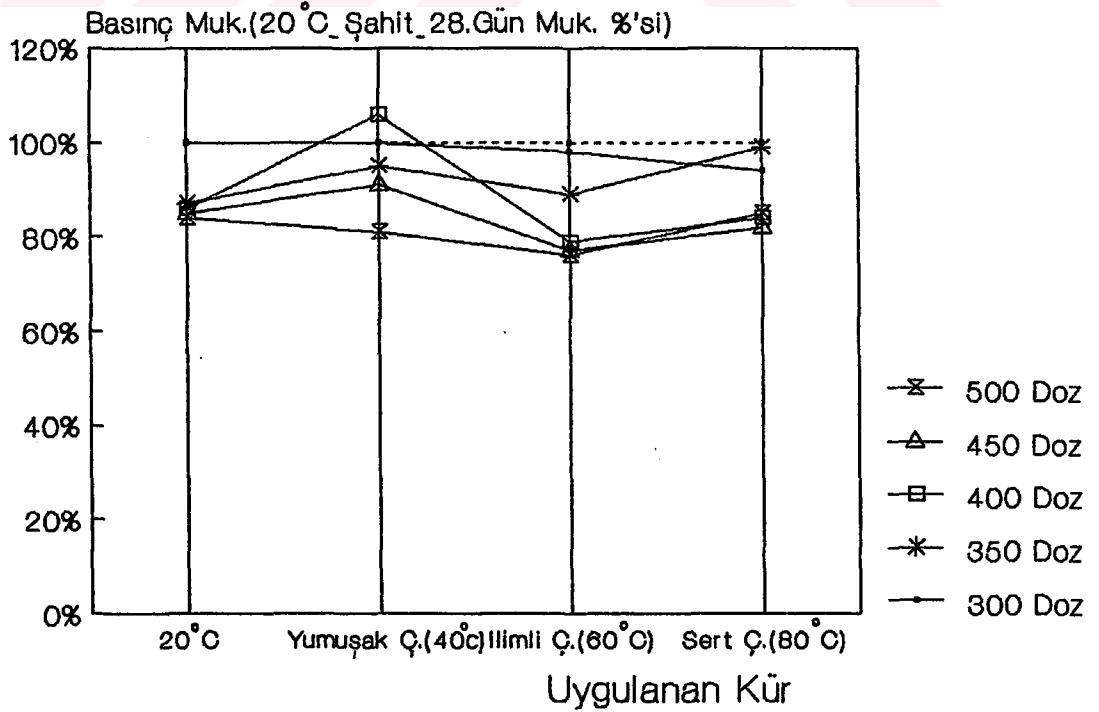
28 günlük numunelerde uygulanan 4 kür çeşidi için dozajın 300'den 350'ye çıkması ile görünen porozite değerlerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Ancak dozajın 350'den 500'e çıkması ile ısıtma işlemi uygulanmış betonların porozitesinde ortalama %59 artış görülmüştür.

350 doza kadar ısıtma işlemi uygulanmış numunelerin görünen porozite değerlerinin, 20°C'de saklanan betonların görünen porozite değerlerinden %59 daha küçük olduğu görülmüştür. Ancak 400 dozdan sonra, dozajın 500'e çıkmasıyla ısıtma işlemi uygulanan betonların ortalama porozite değerleri, 20°C de saklanan betonlardan %21 daha büyük olduğu görülmüştür.

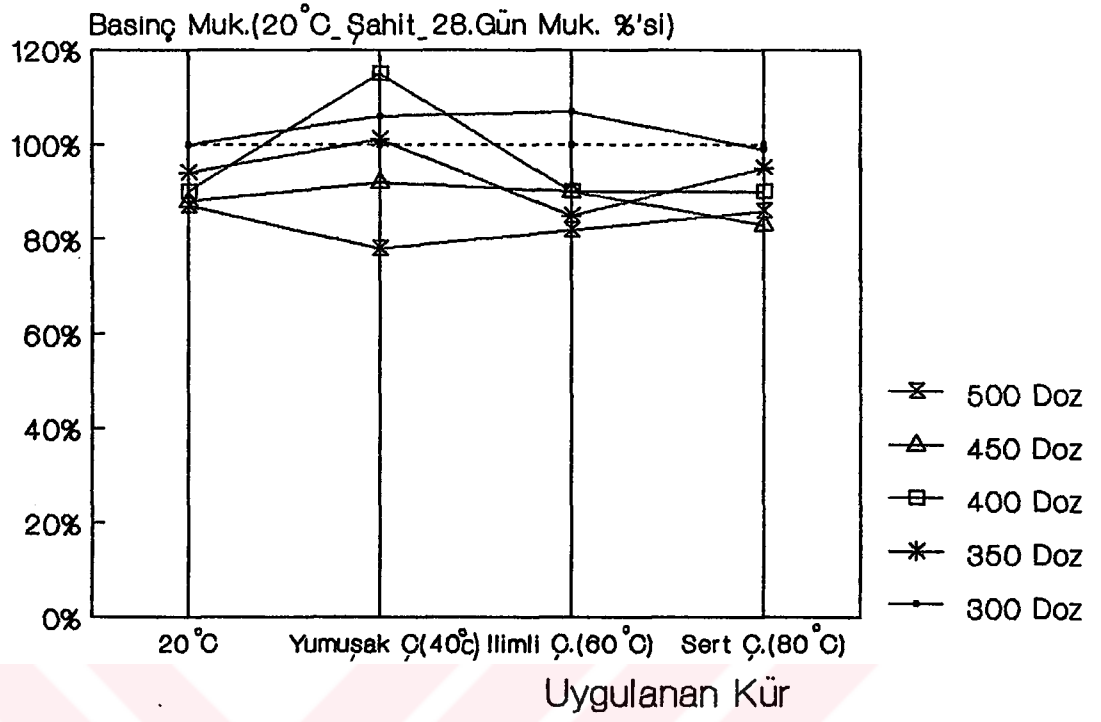
Bu sonuç sabit su/çimento oranı ile üretilen betonlarda dozajın artmasıyla betonun yoğurma suyu miktarının gereğinden fazla miktarlara ulaşarak betonda boşluklar oluşturmaya başlaması ile ve yüksek dozajlı betonların hidrasyon ısılarının uygulanan ısıtma işlemiyle birlikte sıcaklığı arttırarak beton iç yapısında kılcal çatlakların artmasıyla açıklanabilir.



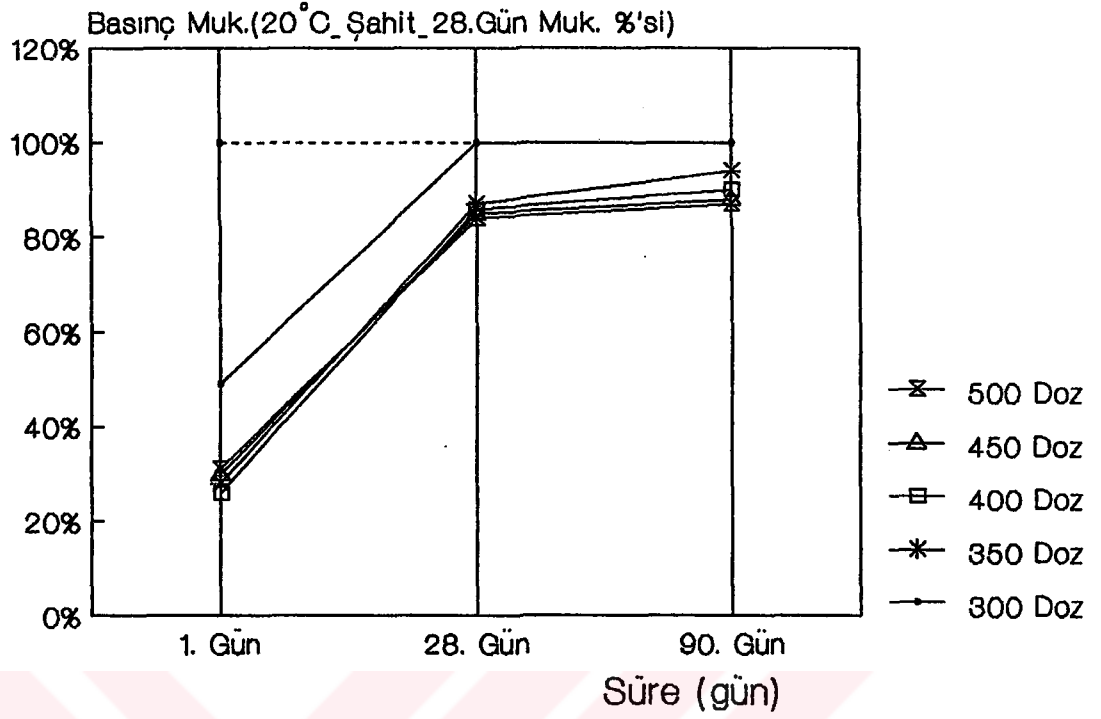
Şekil 4.1_ 1 Günlük Numunelerin
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



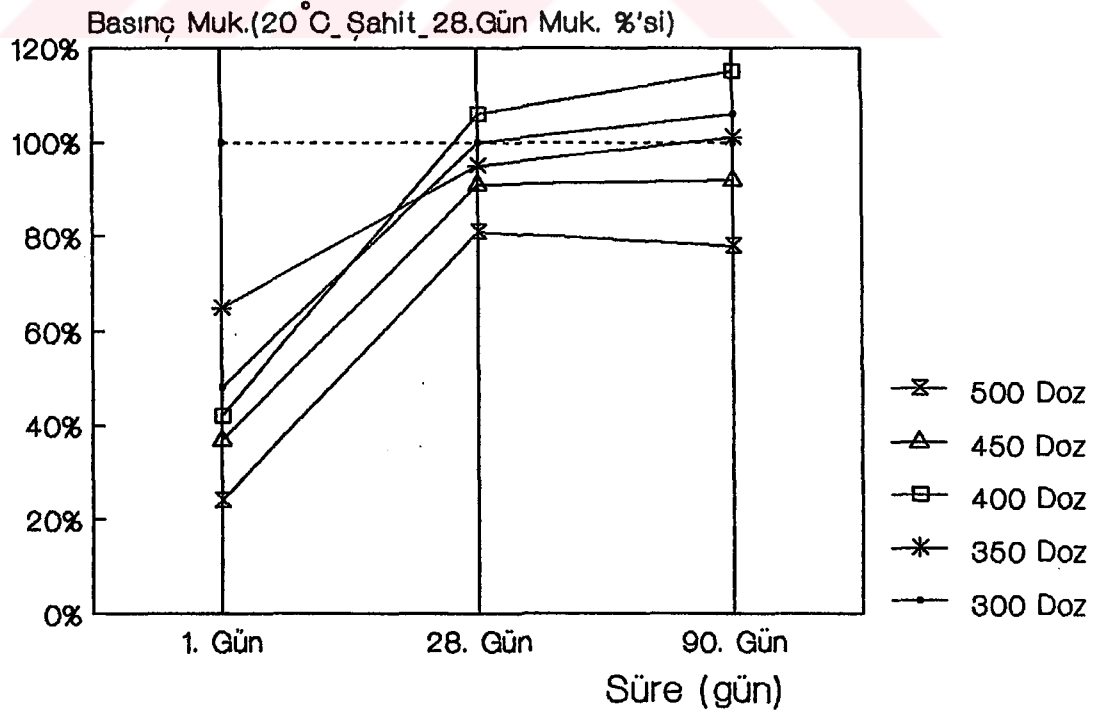
Şekil 4.2_ 28 Günlük Numunelerin
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



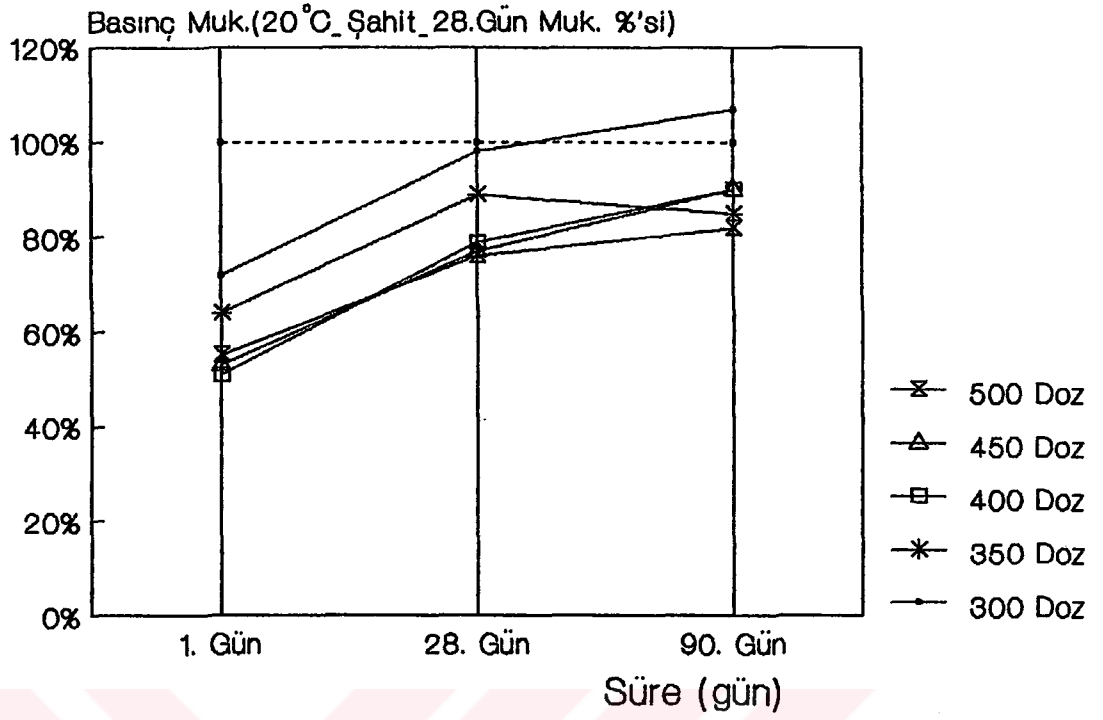
Şekil 4.8_ 90 Günlük Numunelerin
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



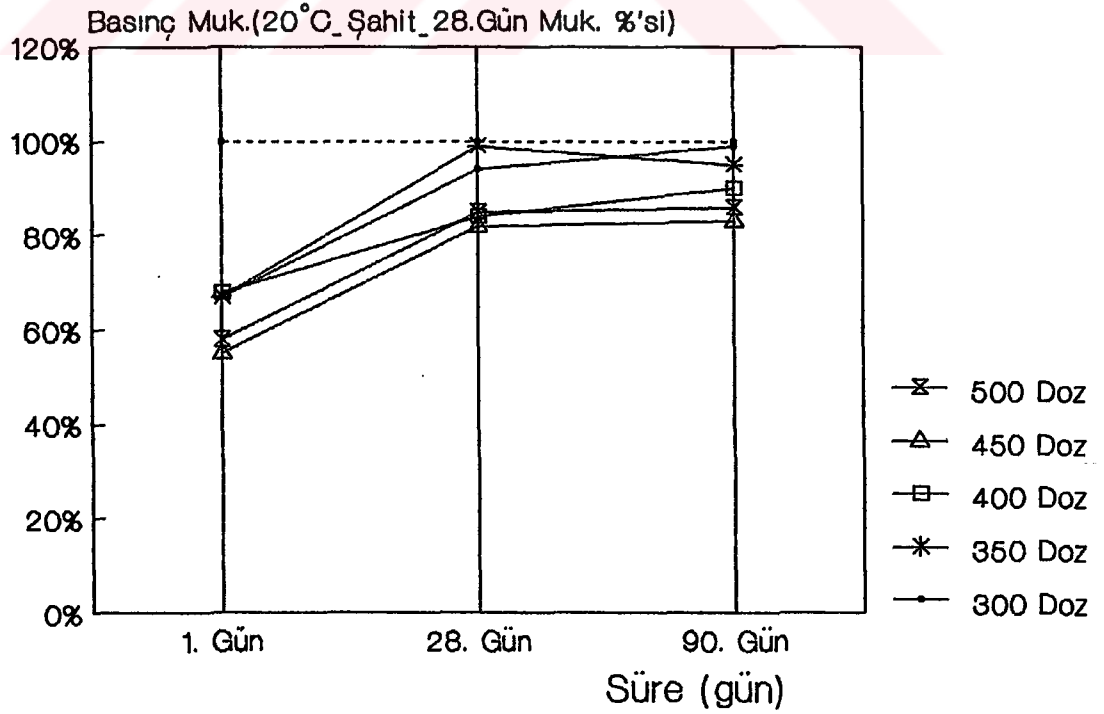
Şekil 4.4_ 20 °C'de Saklanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
Zamana Göre Değişimi



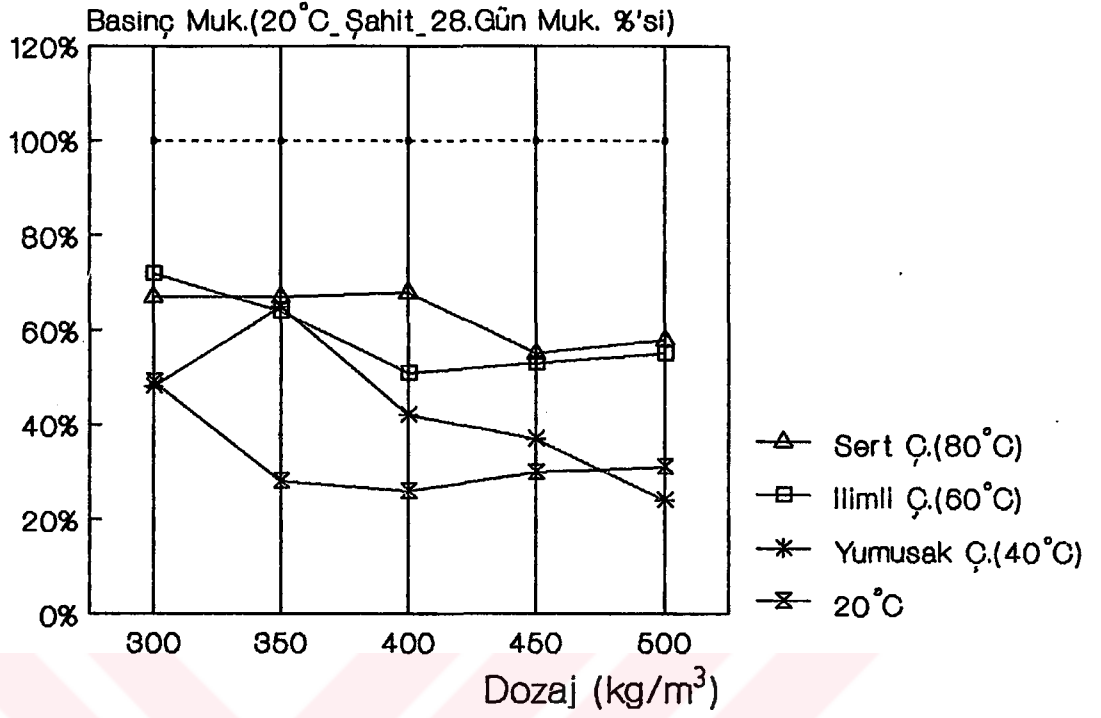
Şekil 4.5 Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
Zamana Göre Değişimi



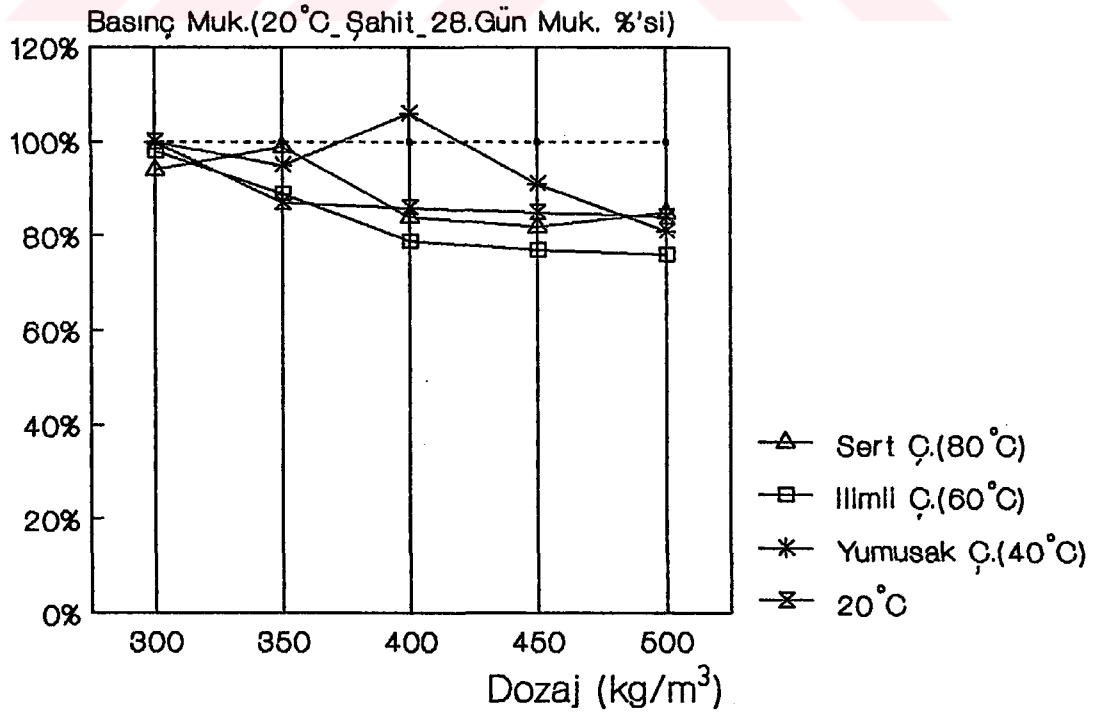
Şekil 4.6_ İlimli Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
Zamana Göre Değişimi



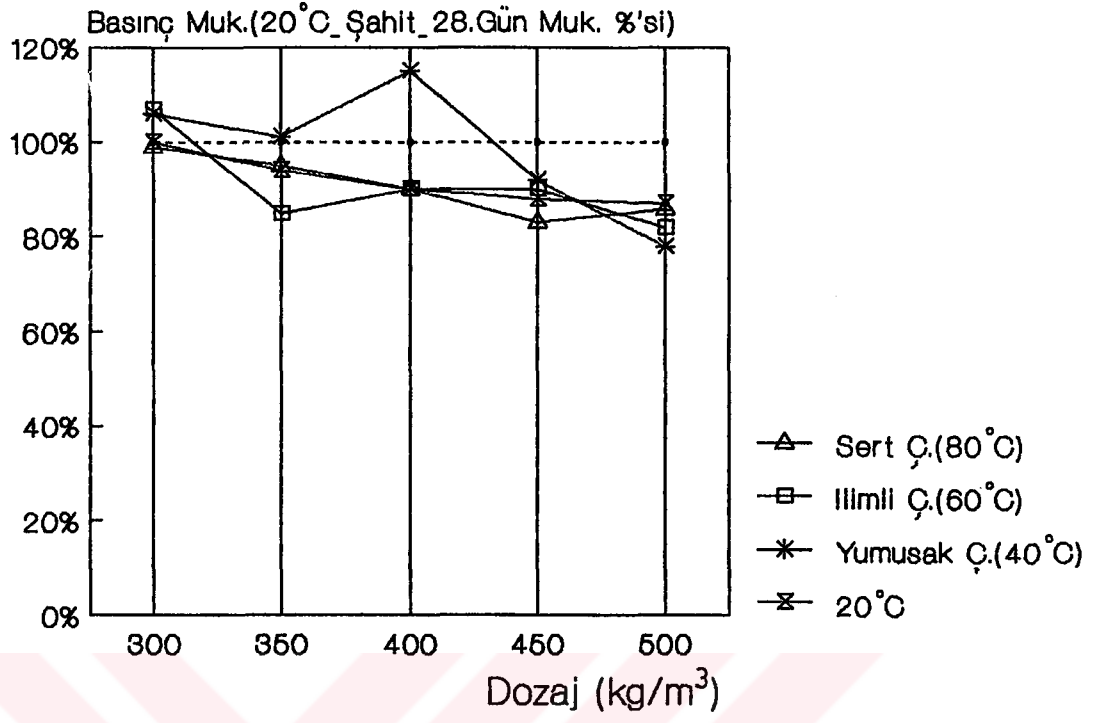
Şekil 4.7_ Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
Zamana Göre Değişimi



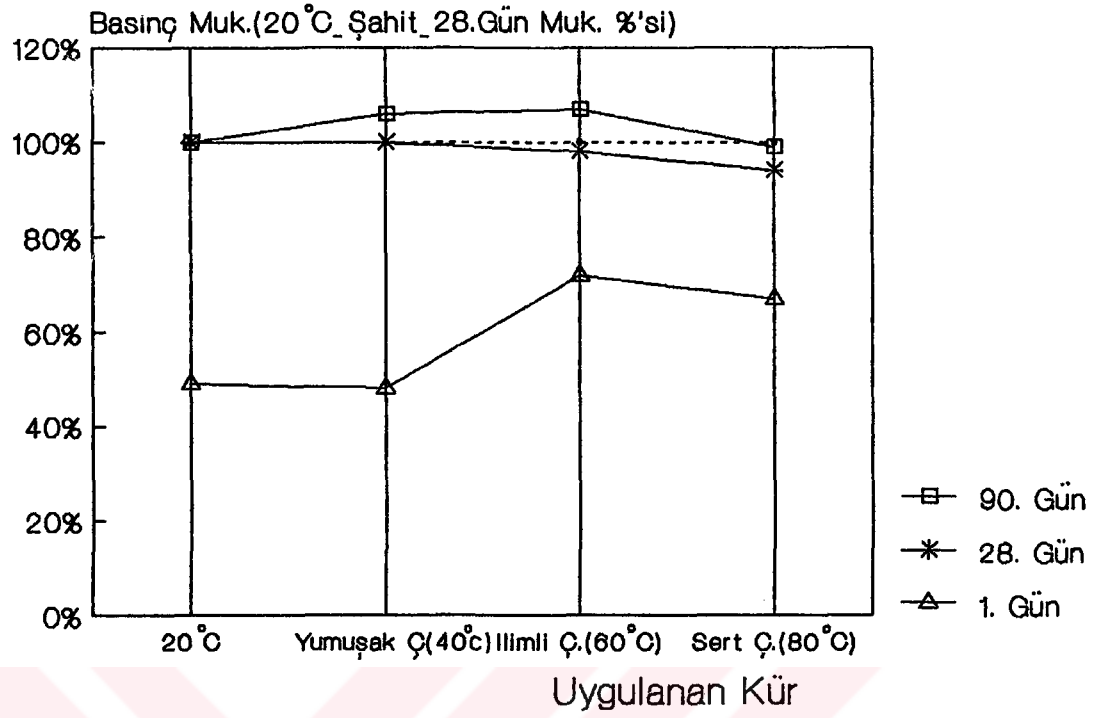
Şekil 4.8_ 1 Günlük Numunelerin
Basınç Mukavemetlerinin
Dozaja Göre Değişimi



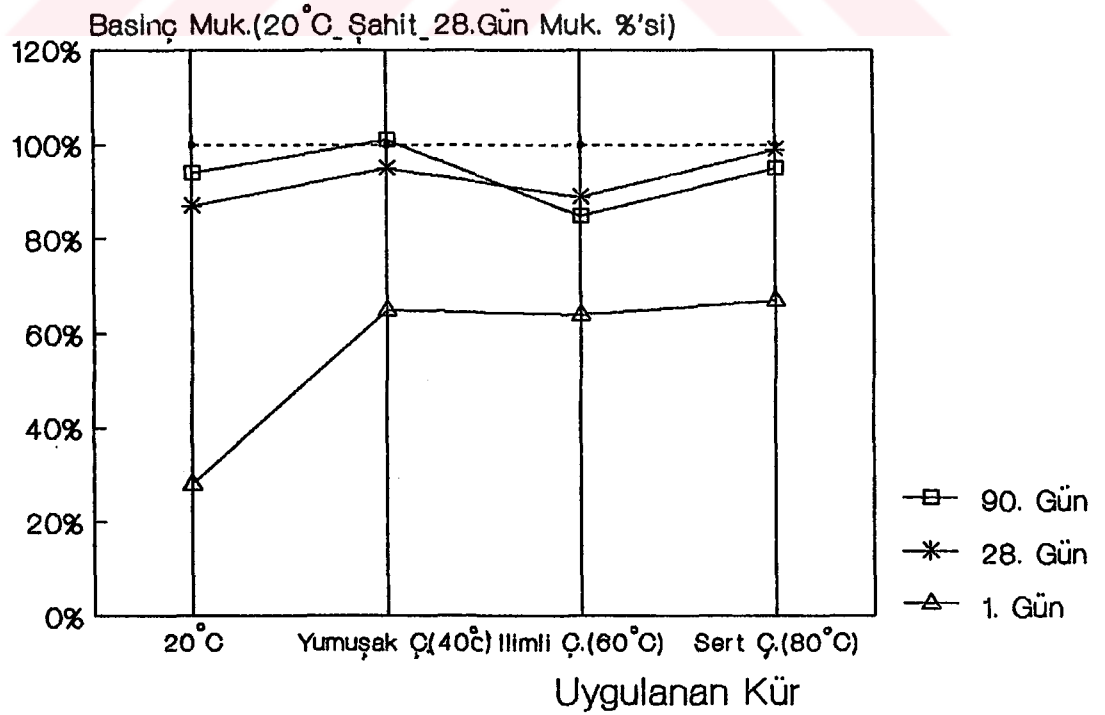
Şekil 4.9_ 28 Günlük Numunelerin
Basınç Mukavemetlerinin
Dozaja Göre Değişimi



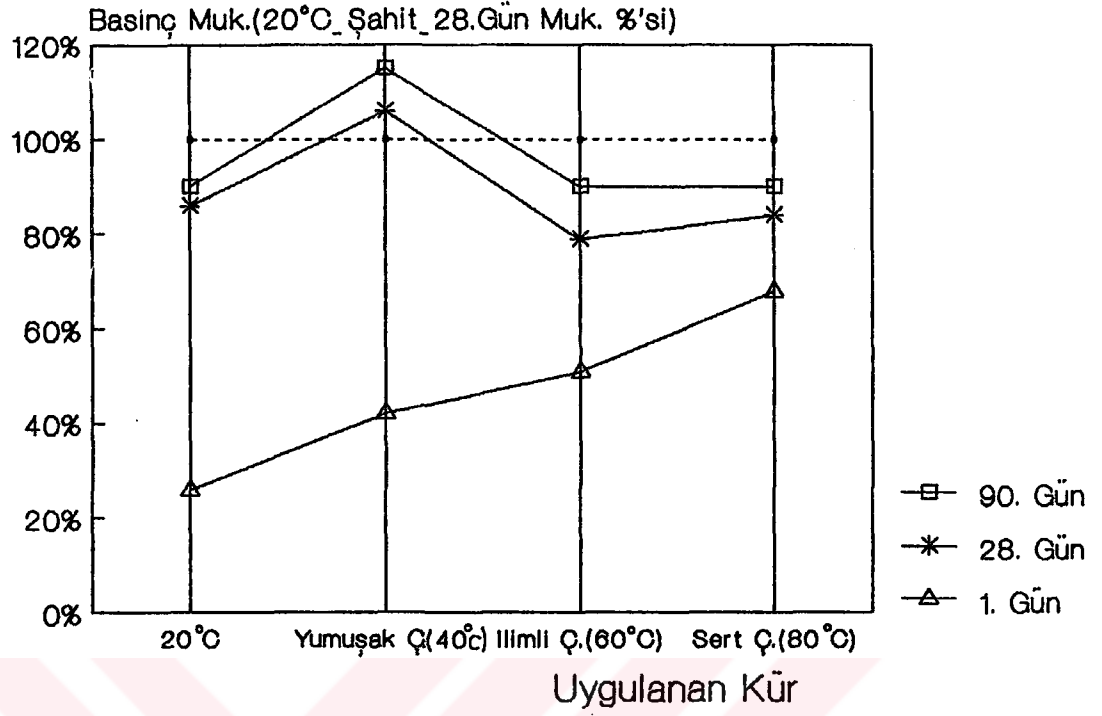
Şekil 4.10_ 90 Günlük Numunelerin
Basınç Mukavemetlerinin
Dozaja Göre Değişimi



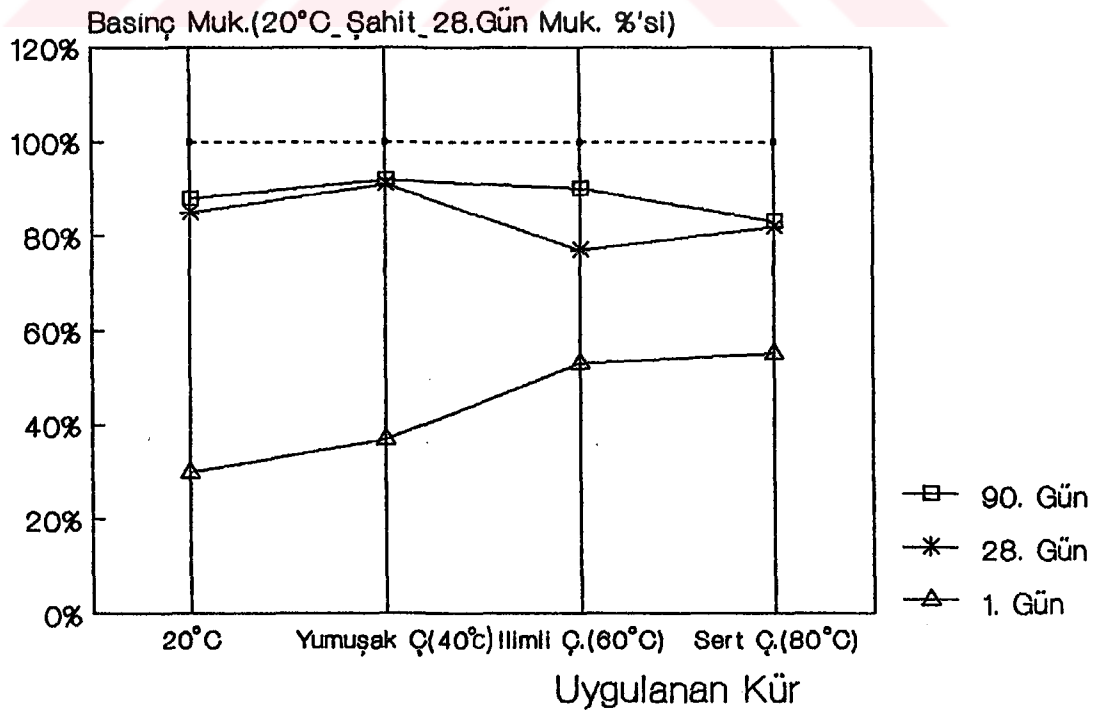
Şekil 4.11_ 300 Dozlu Betonların
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



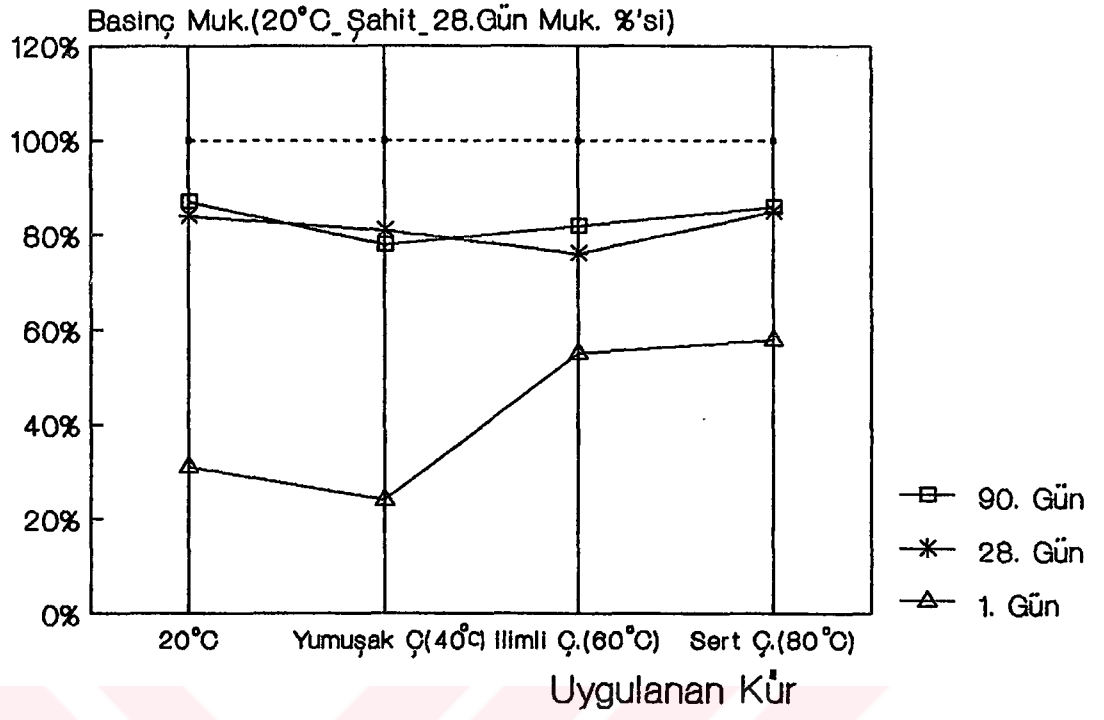
Şekil 4.12_ 350 Dozlu Betonların
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



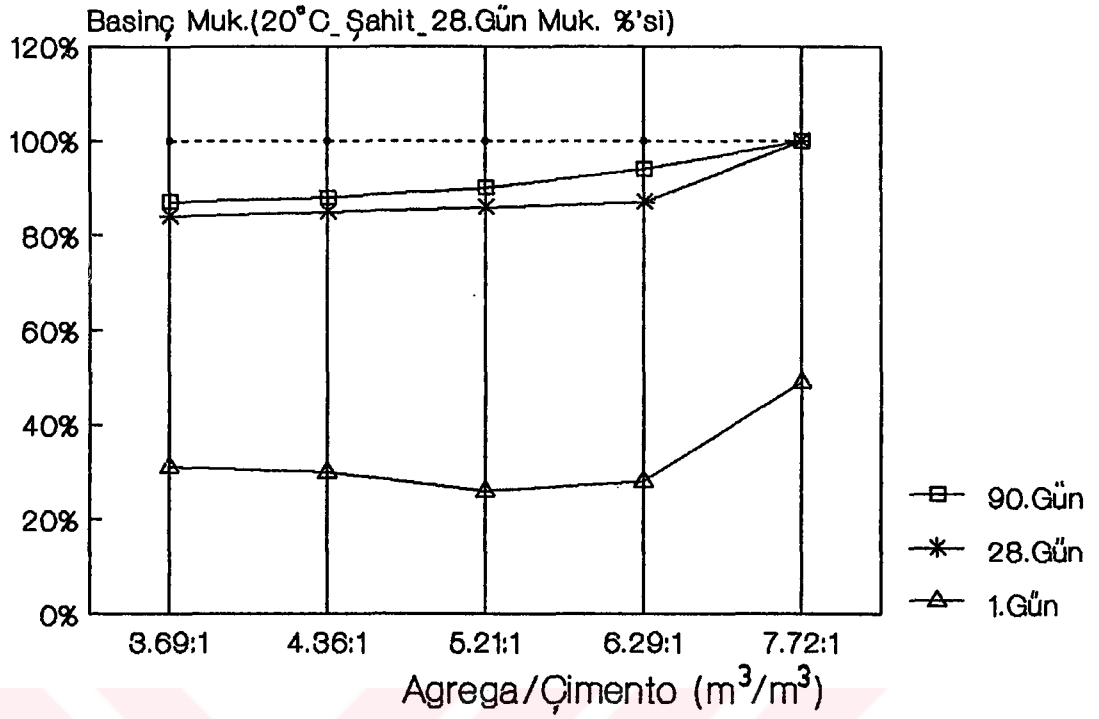
Şekil 4.13_ 400 Dozlu Betonların
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



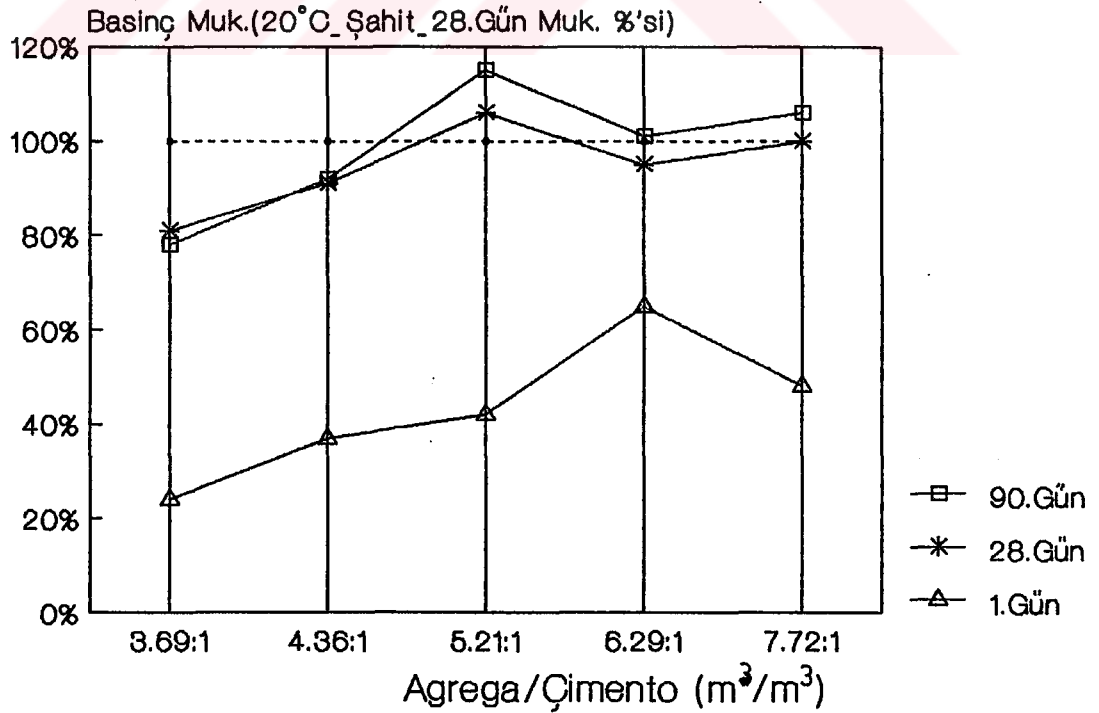
Şekil 4.14_ 450 Dozlu Betonların
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



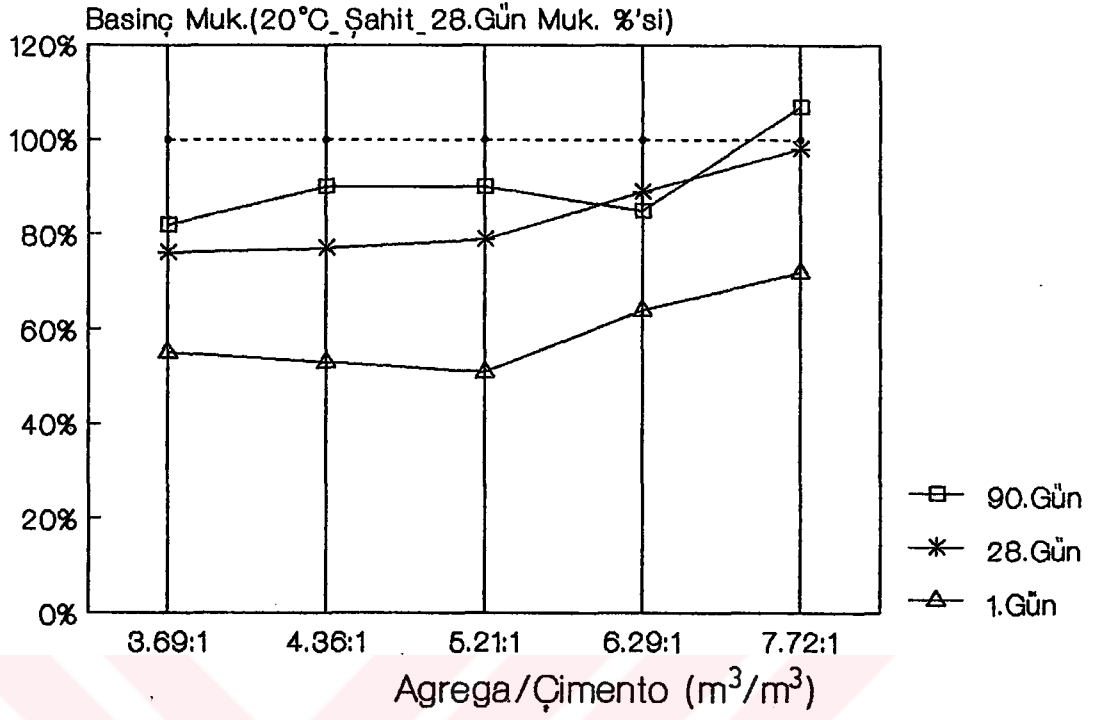
Şekil 4.15_ 500 Dozlu Betonların
Basınç Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



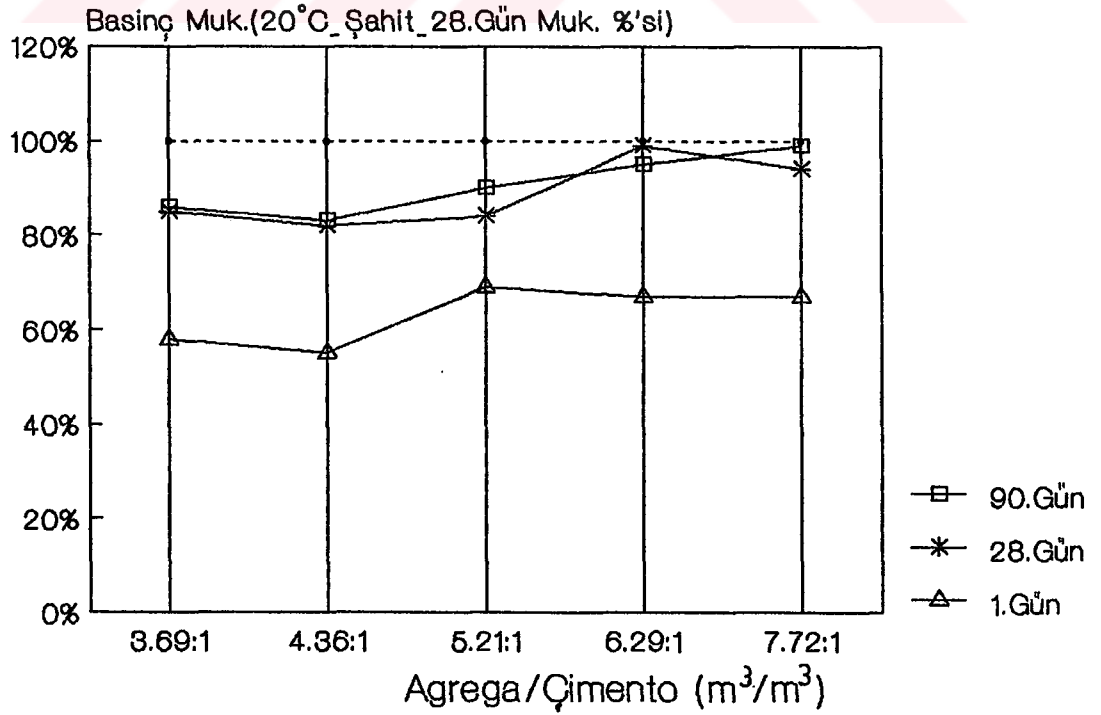
Şekil 4.16_20°C'de Saklanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
(A/C) Oranı İle Değişimi



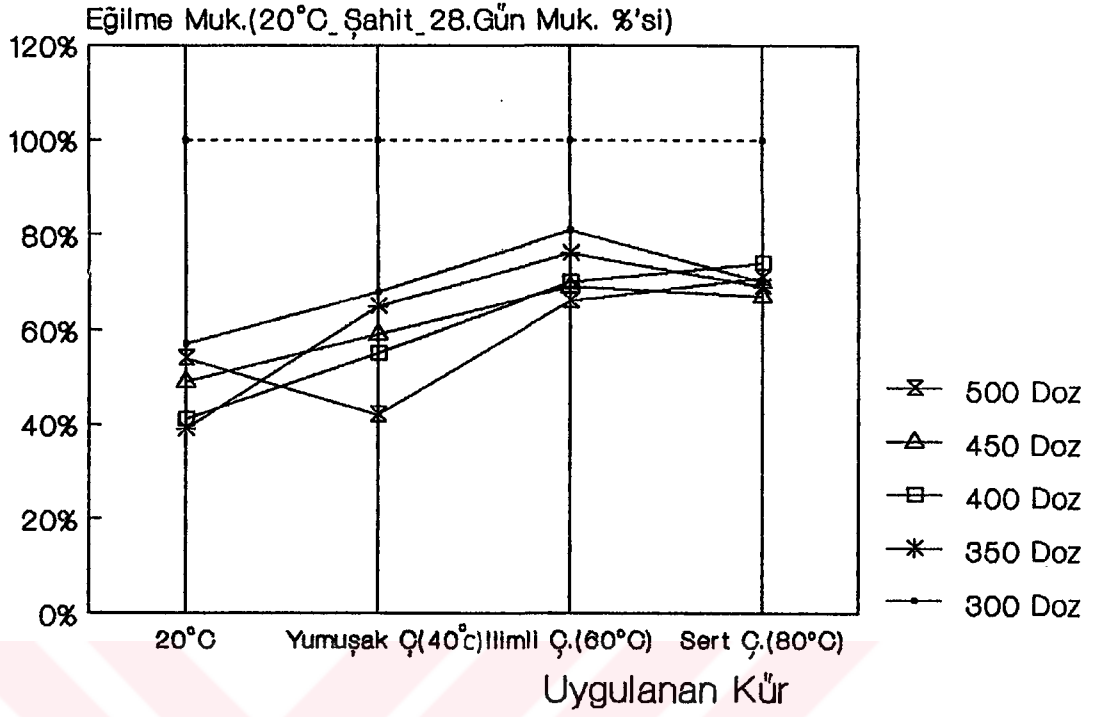
Şekil 4.17_Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
(A/C) Oranı İle Değişimi



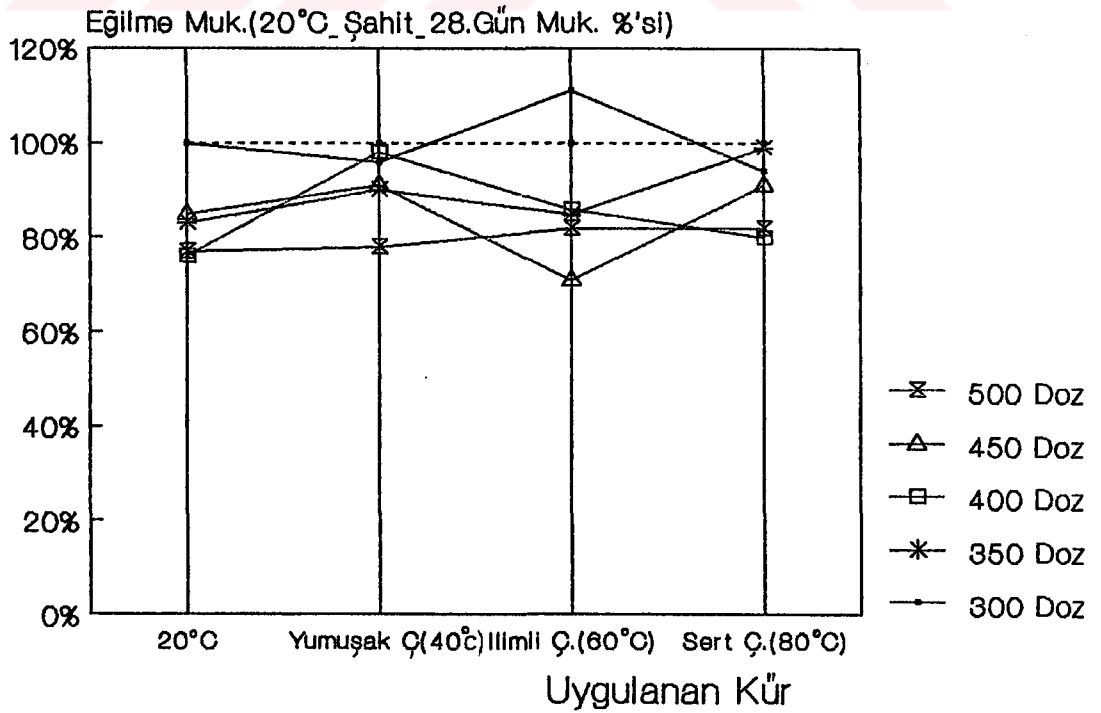
Şekil 4.18_İlmi Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
(A/C) Oranı İle Değişimi



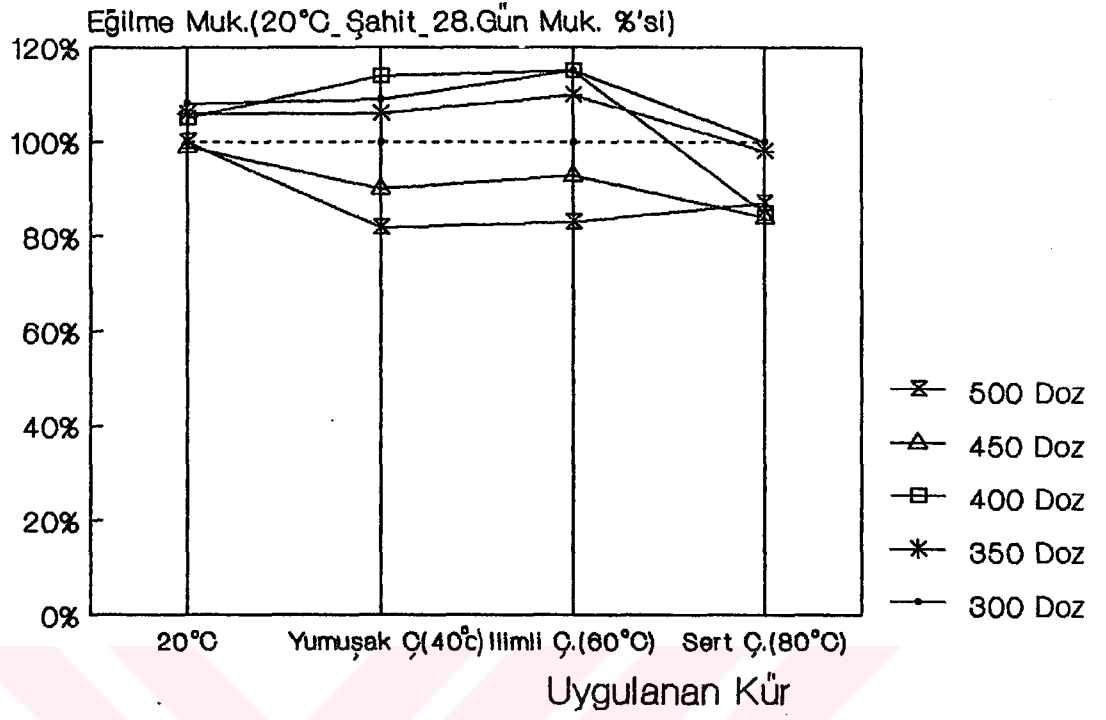
Şekil 4.19_Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Basınç Mukavemetinin
(A/C) Oranı İle Değişimi



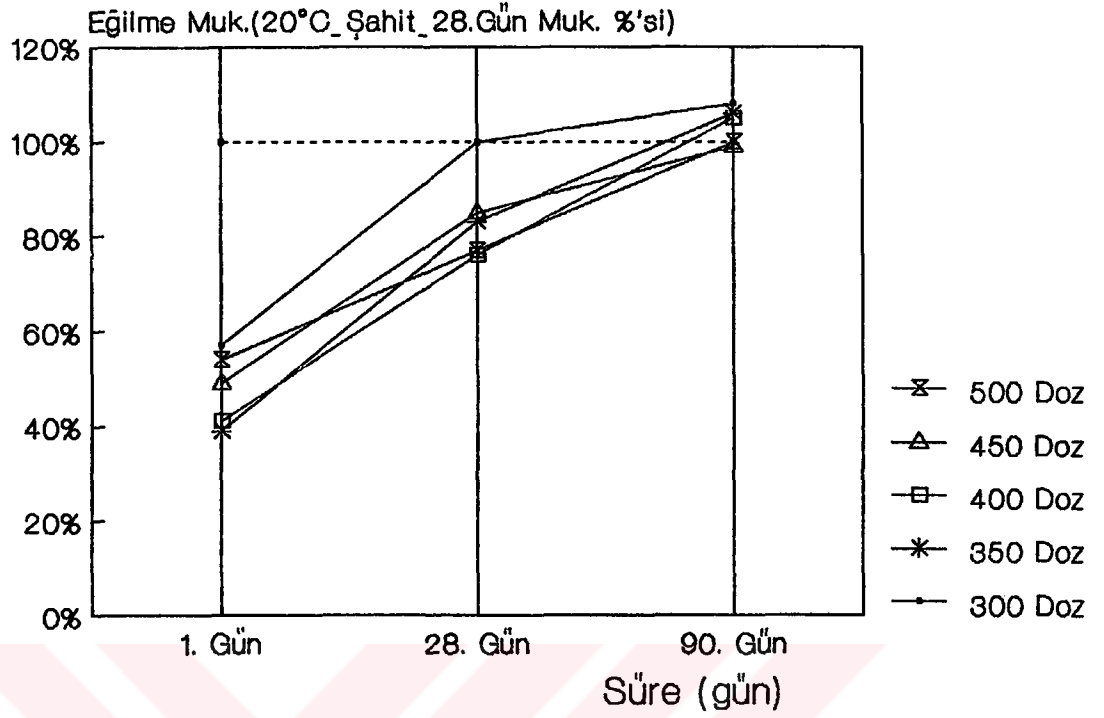
Şekil 4.20_ 1 Günlük Numunelerin
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kır ile Değişimi



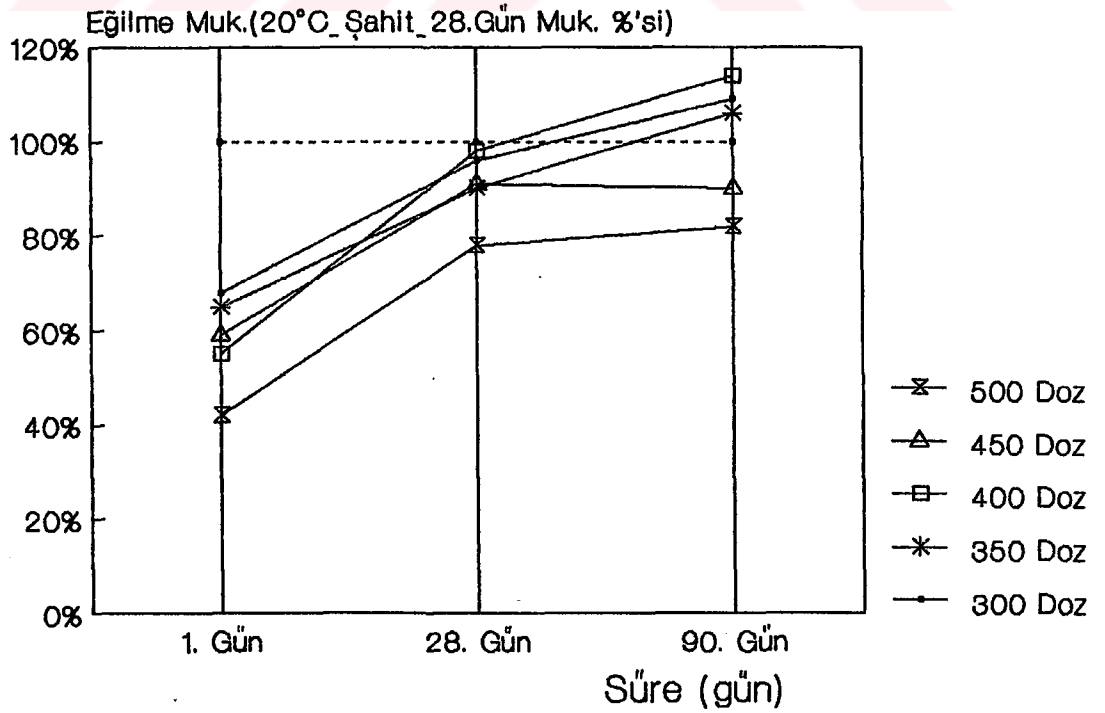
Şekil 4.21_ 28 Günlük Numunelerin
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kır ile Değişimi



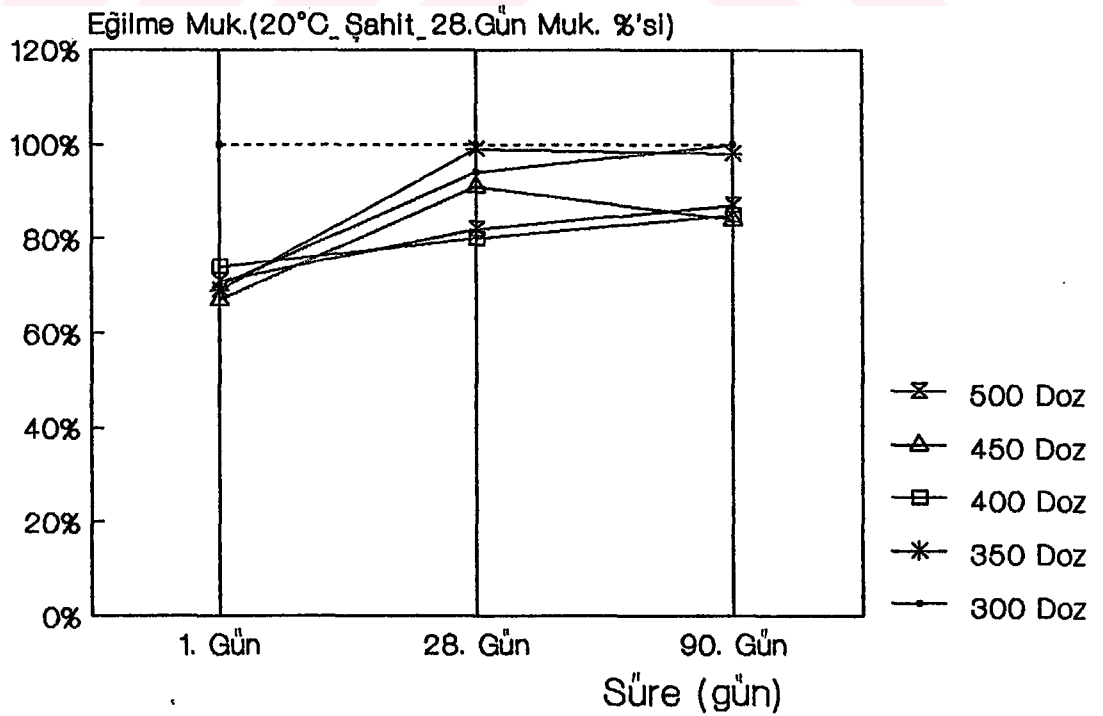
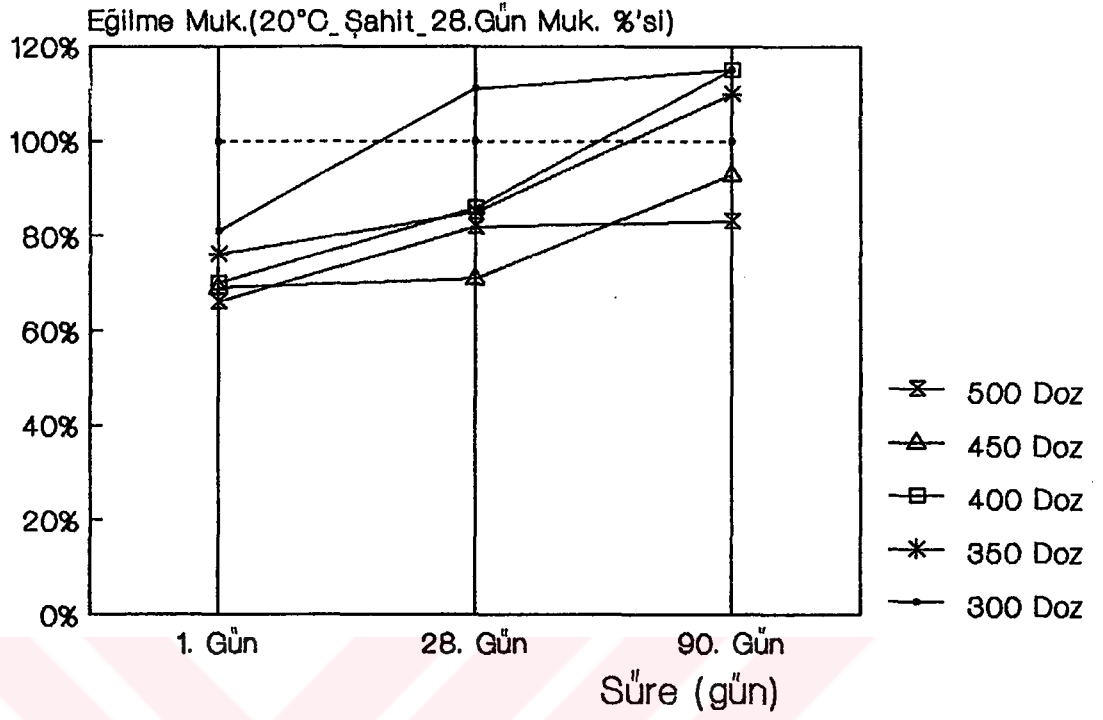
Şekil 4.22_ 90 Günlük Numunelerin
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi

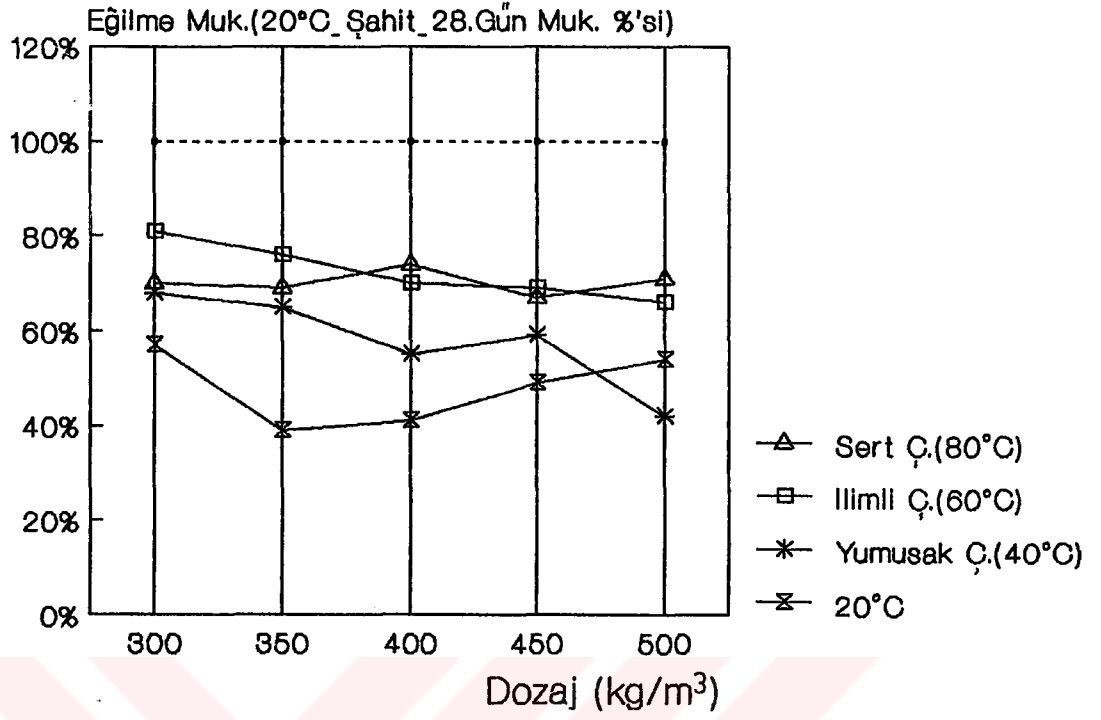


Şekil 4.23_20°C'de Saklanmış Numunelerde
Eğilme Mukavemetinin
Zamana Göre Değişimi

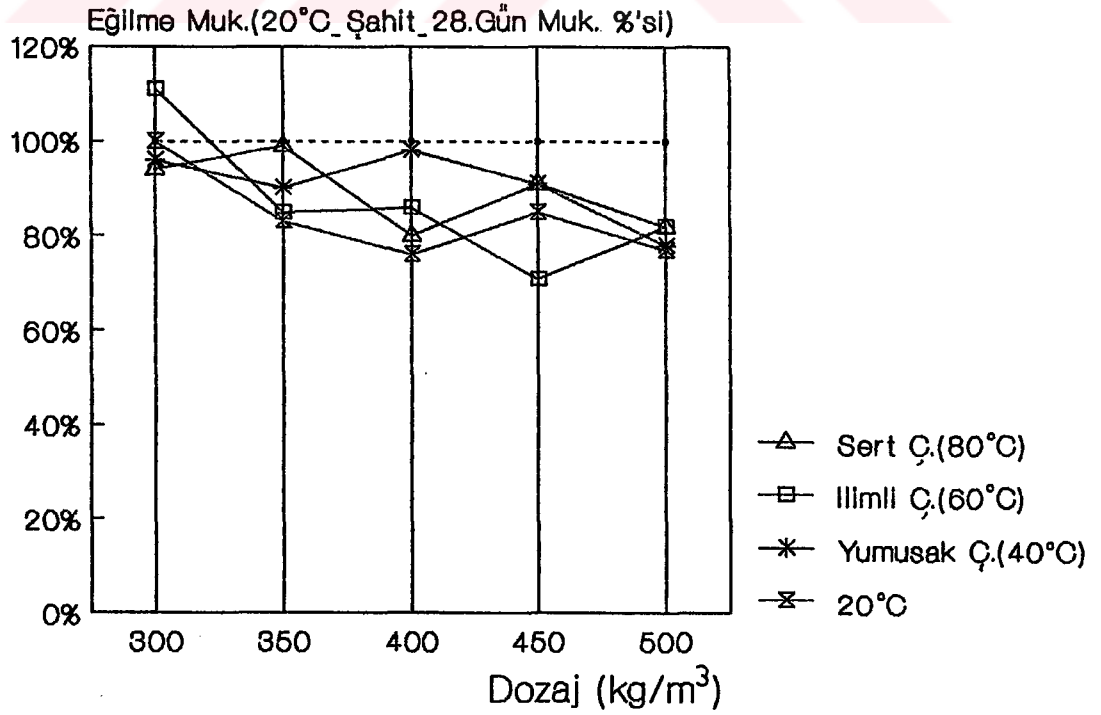


Şekil 4.24_Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Eğilme Mukavemetinin
Zamana Göre Değişimi

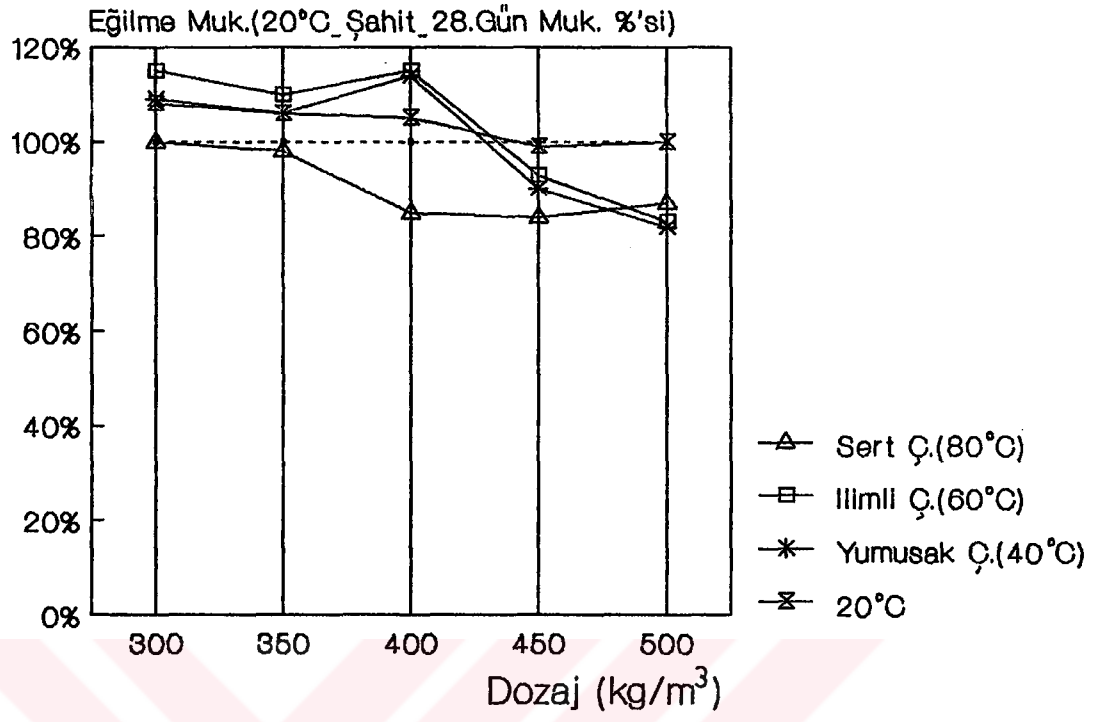




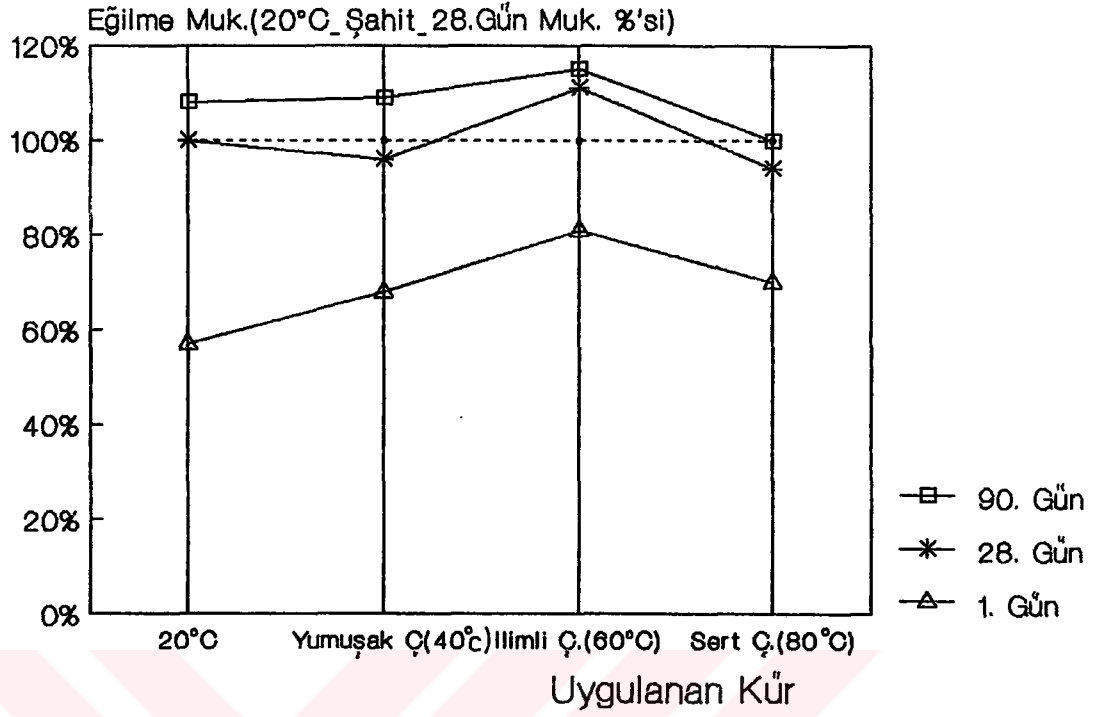
Şekil 4.27_ 1 Günlük Numunelerin
Eğilme Mukavemetlerinin
Dozaja Göre Değişimi



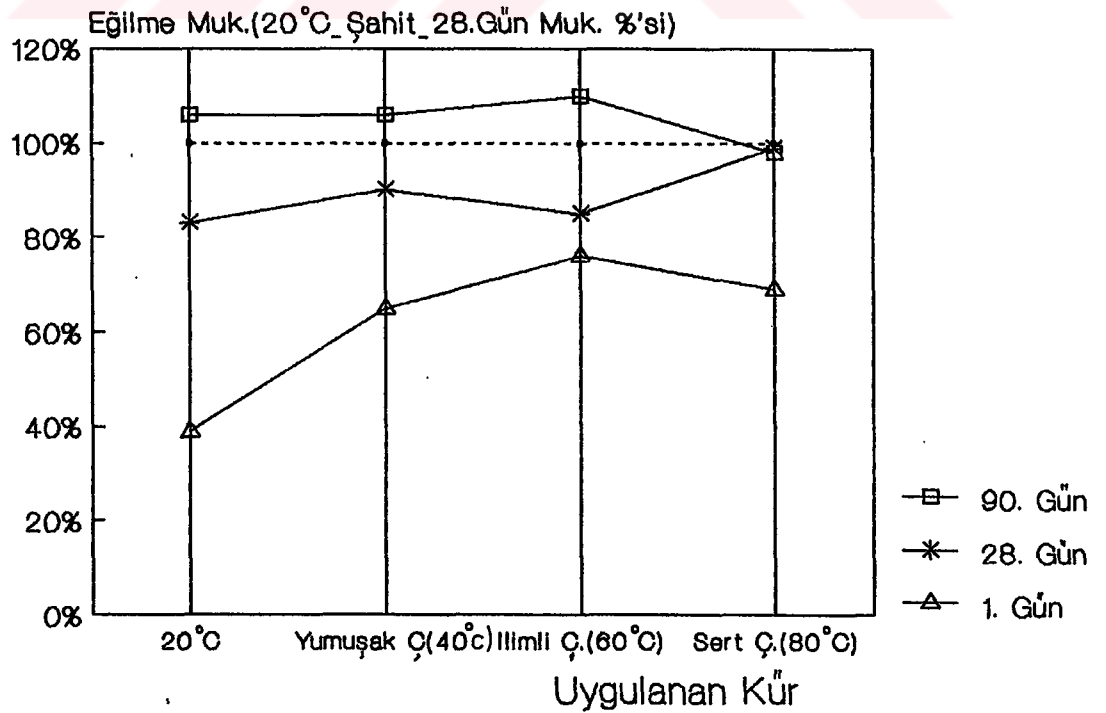
Şekil 4.28_ 28 Günlük Numunelerin
Eğilme Mukavemetlerinin
Dozaja Göre Değişimi



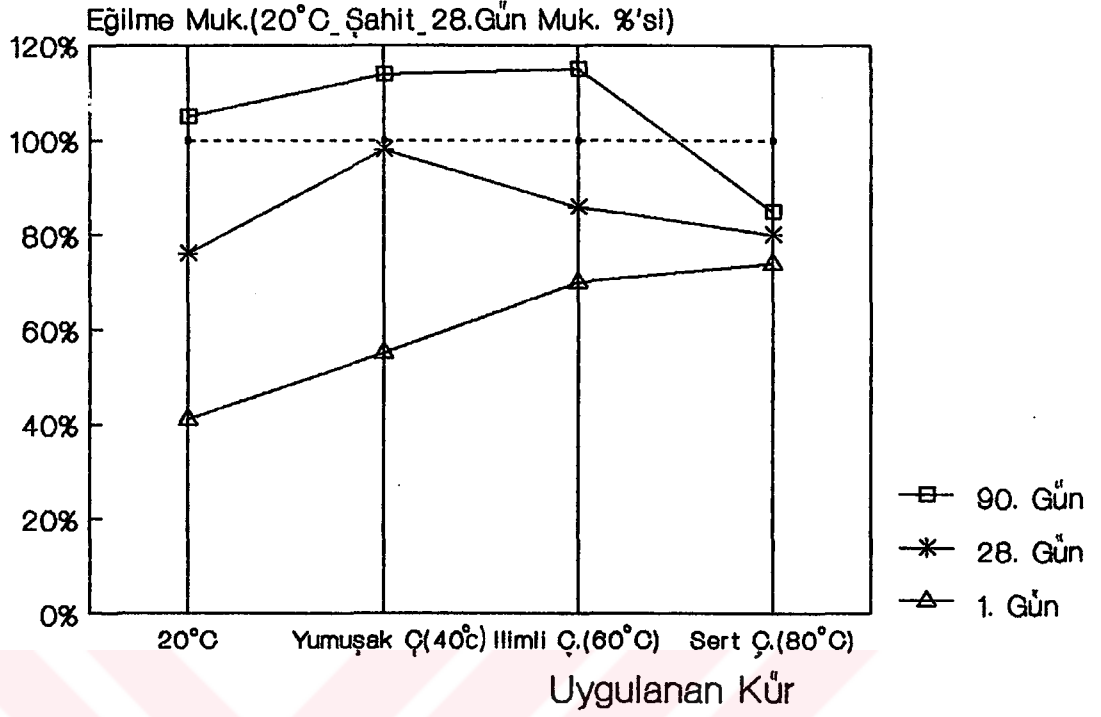
Şekil 4.29_ 90 Günlük Numunelerin
Eğilme Mukavemetlerinin
Dozaja Göre Değişimi



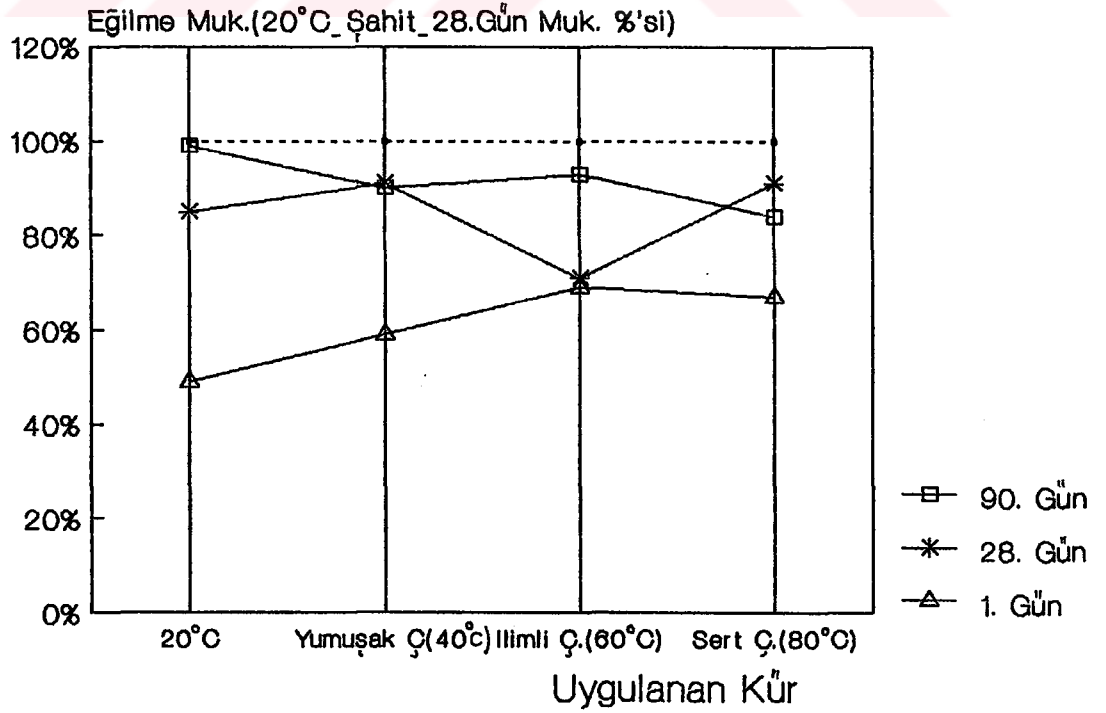
Şekil 4.30. 300 Dozlu Betonların
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kır ile Değişimi



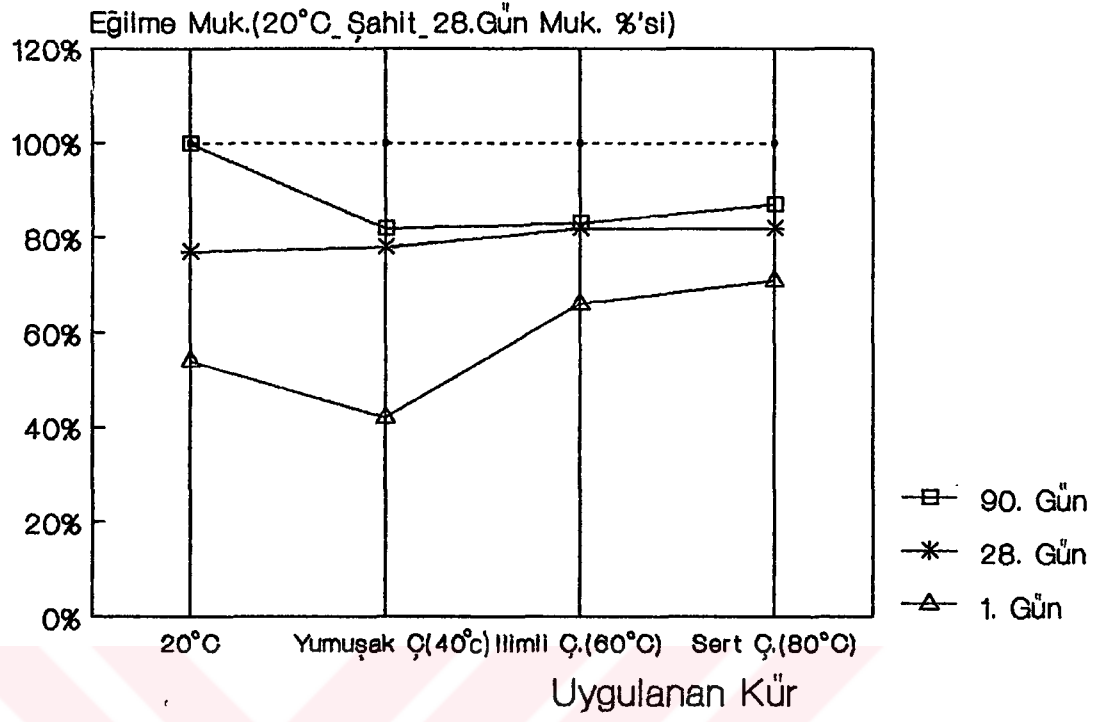
Şekil 4.31. 350 Dozlu Betonların
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kır ile Değişimi



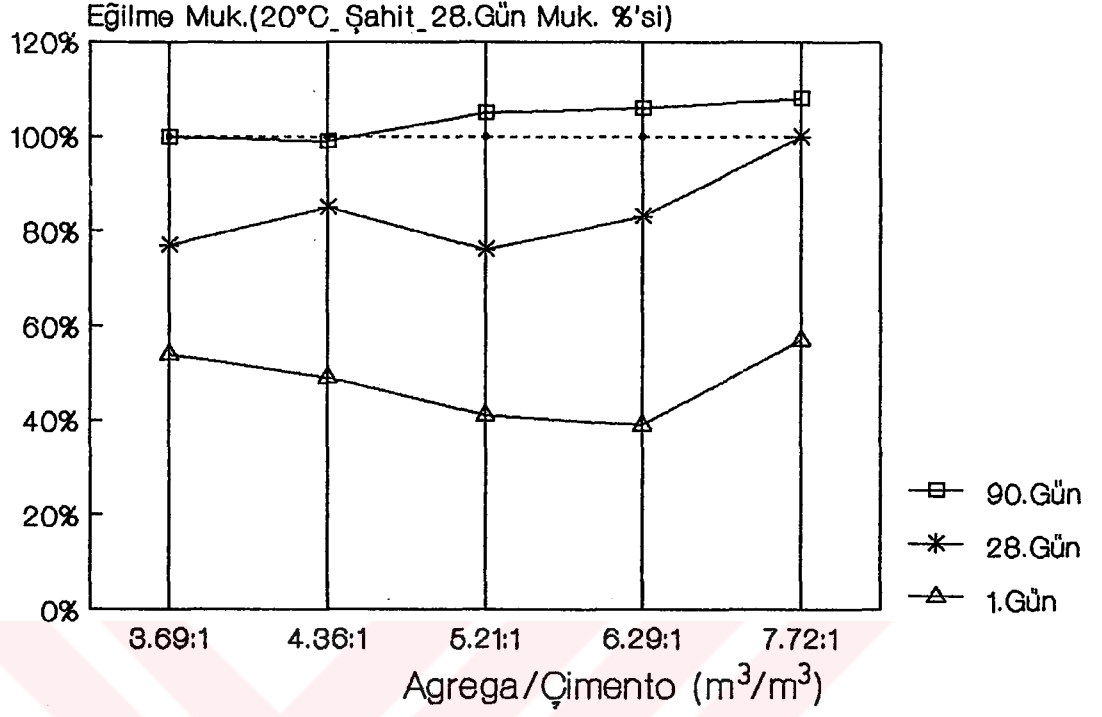
Şekil 4.32_ 400 Dozlu Betonların
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kır ile Değişimi



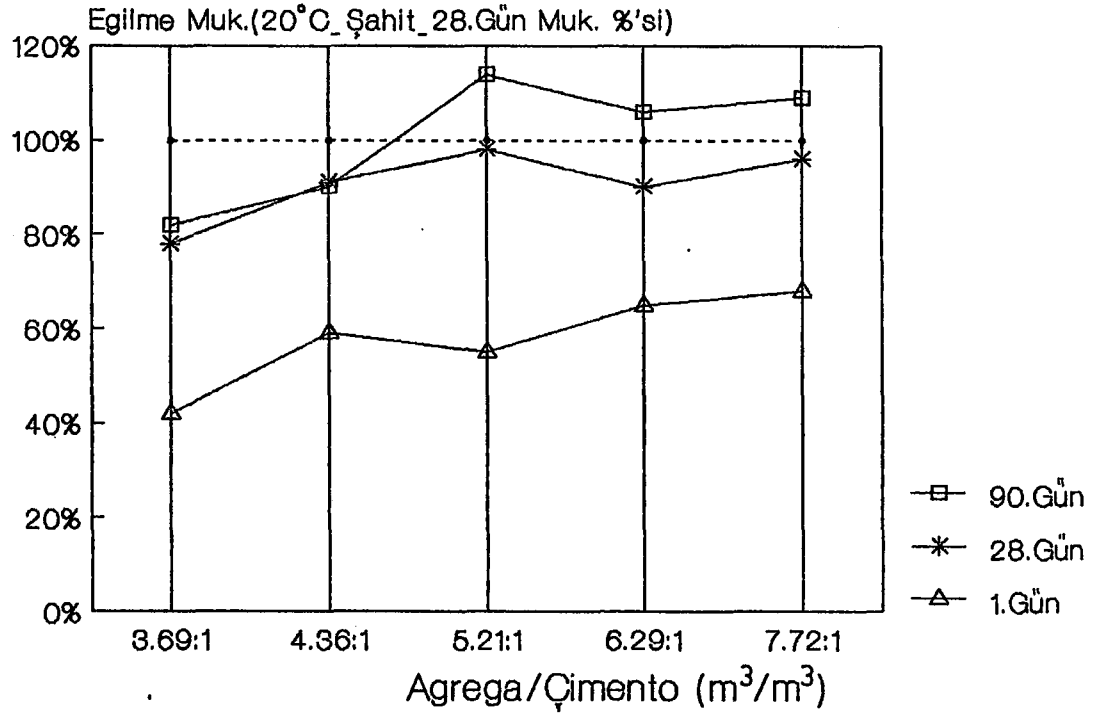
Şekil 4.33_ 450 Dozlu Betonların
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kır ile Değişimi



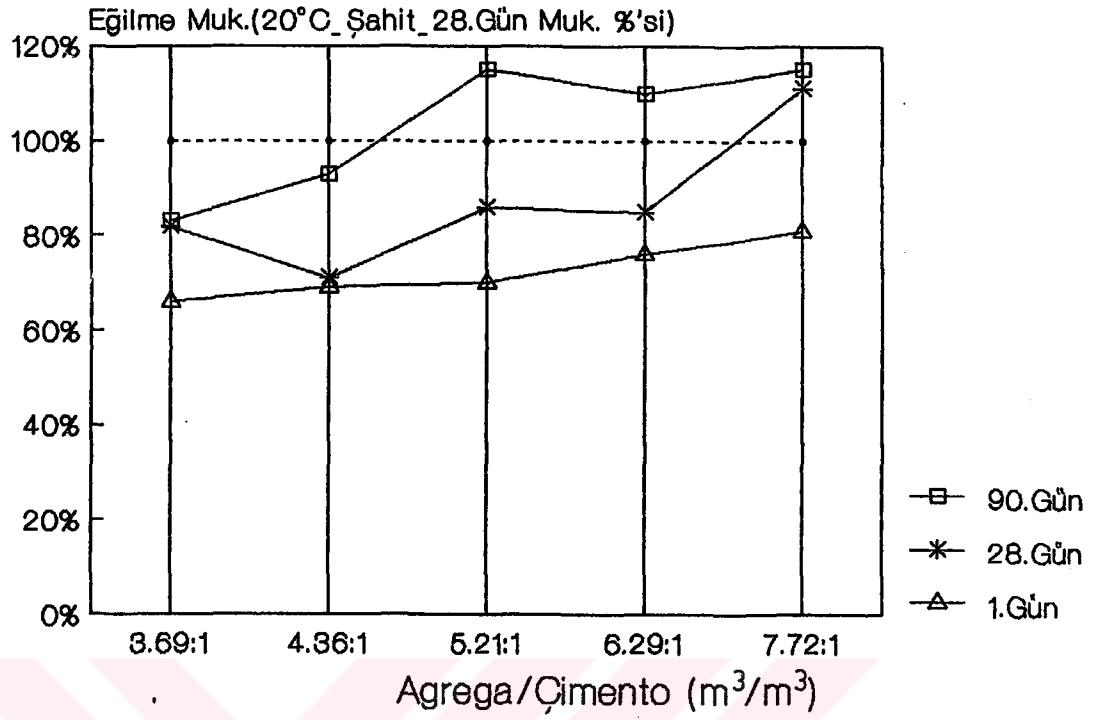
Şekil 4.34_ 500 Dozlu Betonların
Eğilme Mukavemetlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



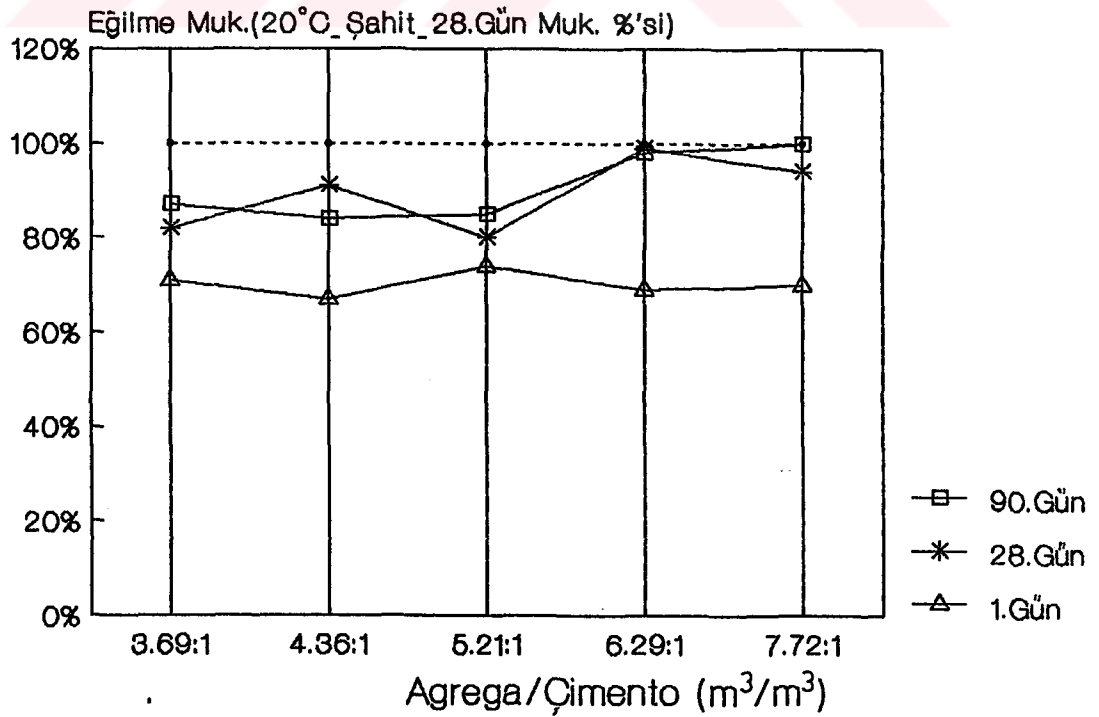
Şekil 4.35_20°C'de Saklanmış Numunelerde
Eğilme Mukavemetinin
(A/C) Oranı ile Değişimi



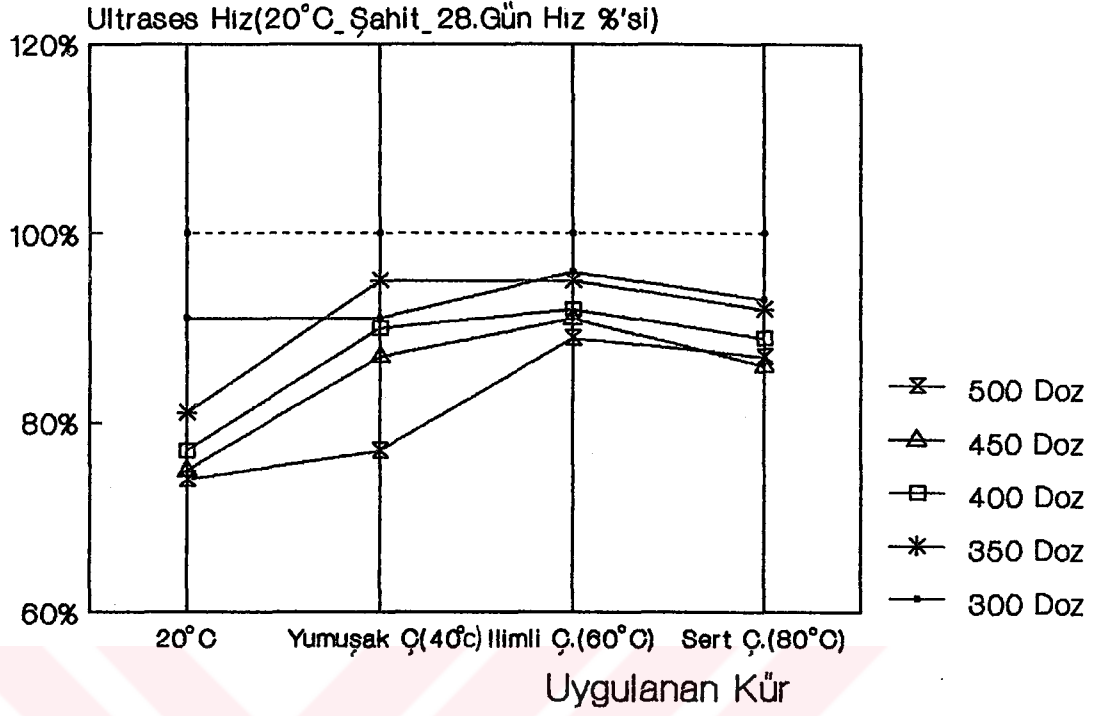
Şekil 4.36_Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Eğilme Mukavemetinin
(A/C) Oranı ile Değişimi



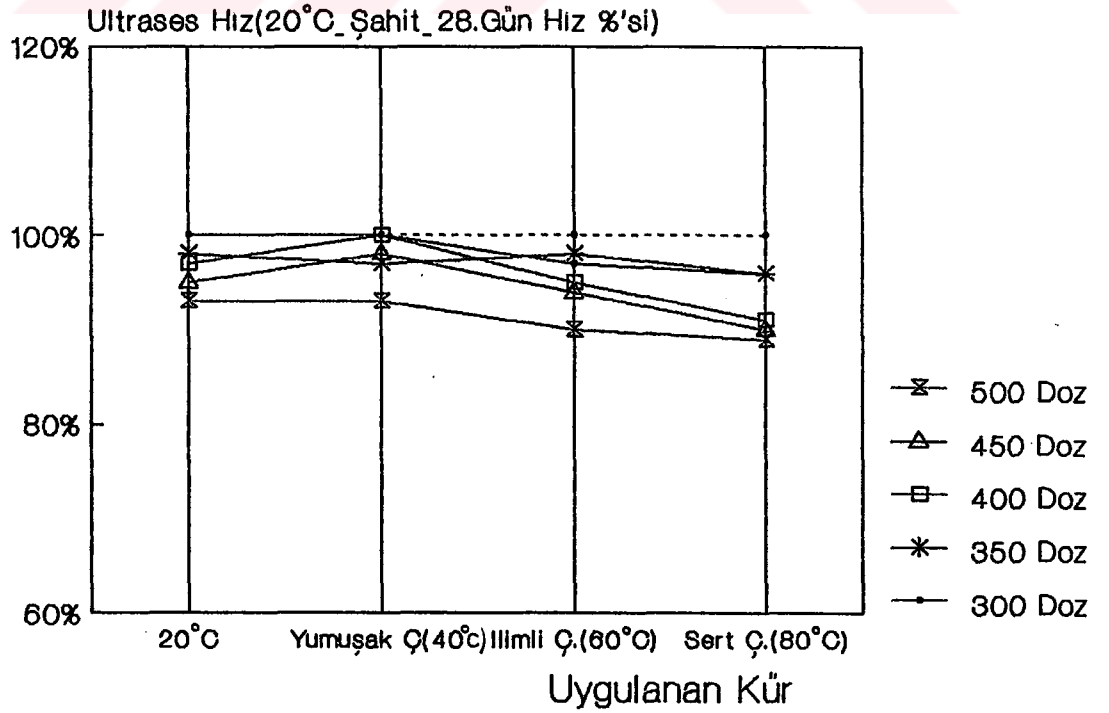
Şekil 4.37_İlimli Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Eğilme Mukavemetinin
(A/O) Oranı ile Değişimi



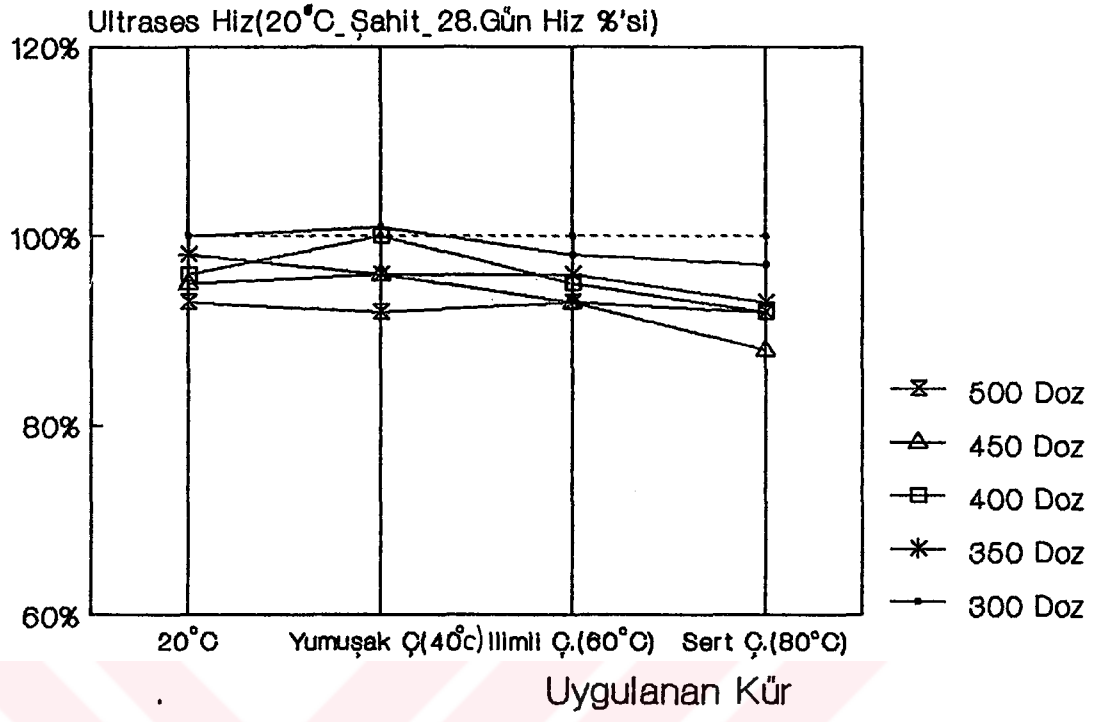
Şekil 4.38_Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Eğilme Mukavemetinin
(A/O) Oranı ile Değişimi



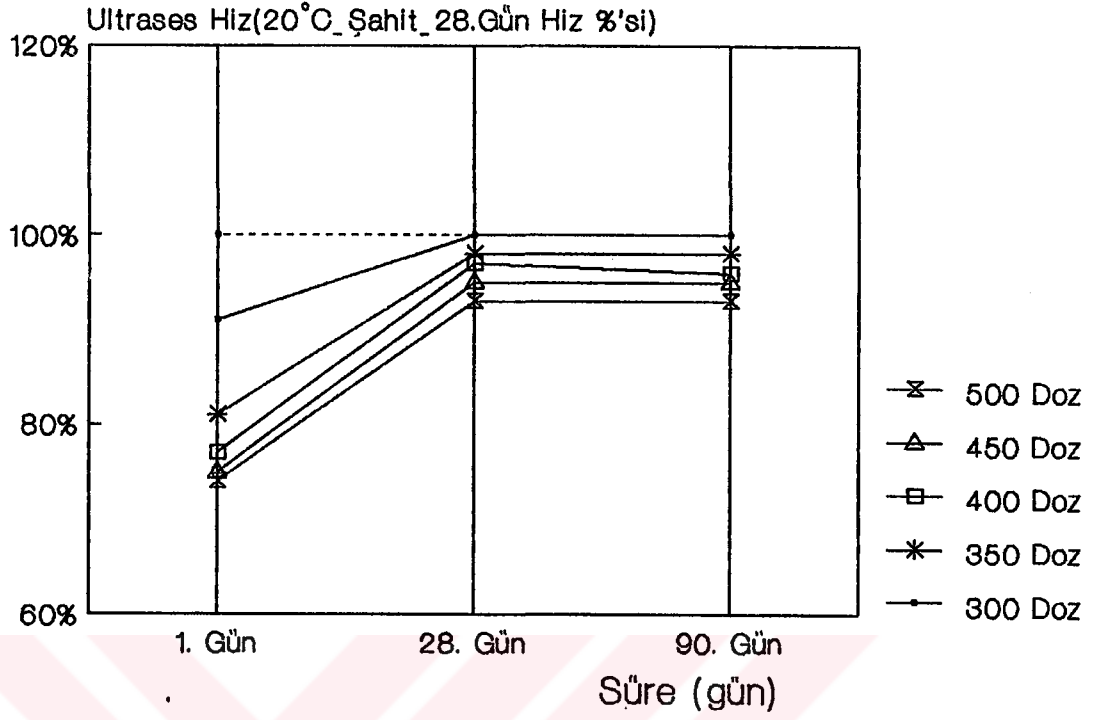
Şekil 4.39_ 1 Günlük Numunelerin
Ultrases Hızlarının
Uygulanan Kır İle Değişimi



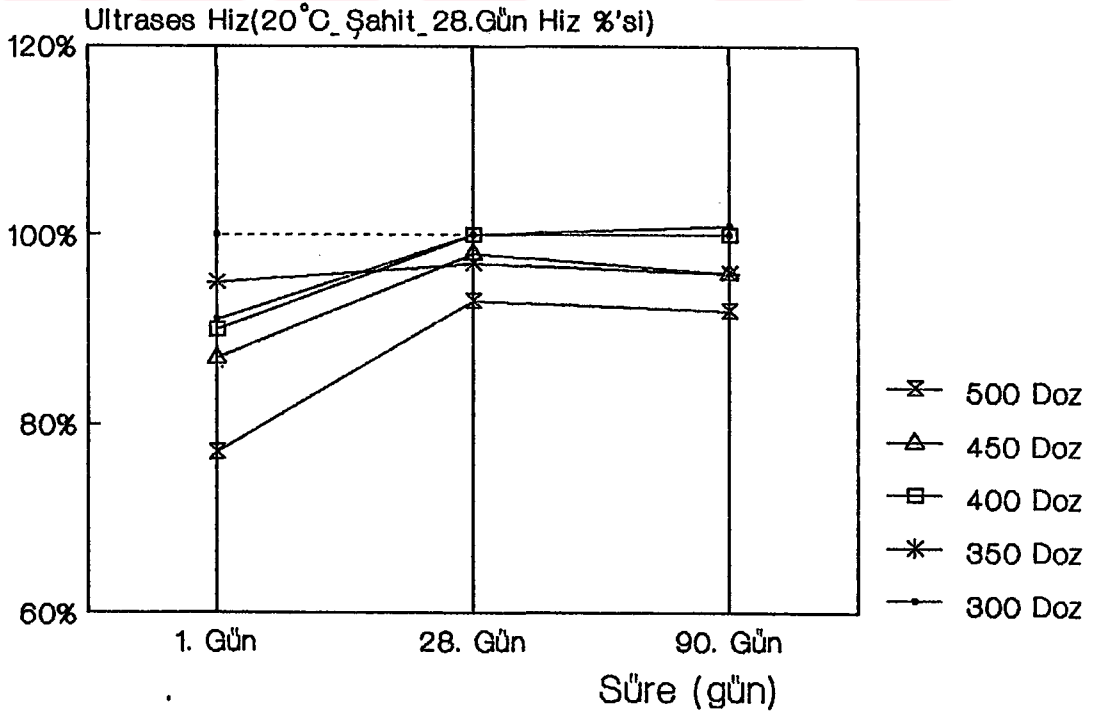
Şekil 4.40_ 28 Günlük Numunelerin
Ultrases Hızlarının
Uygulanan Kır İle Değişimi



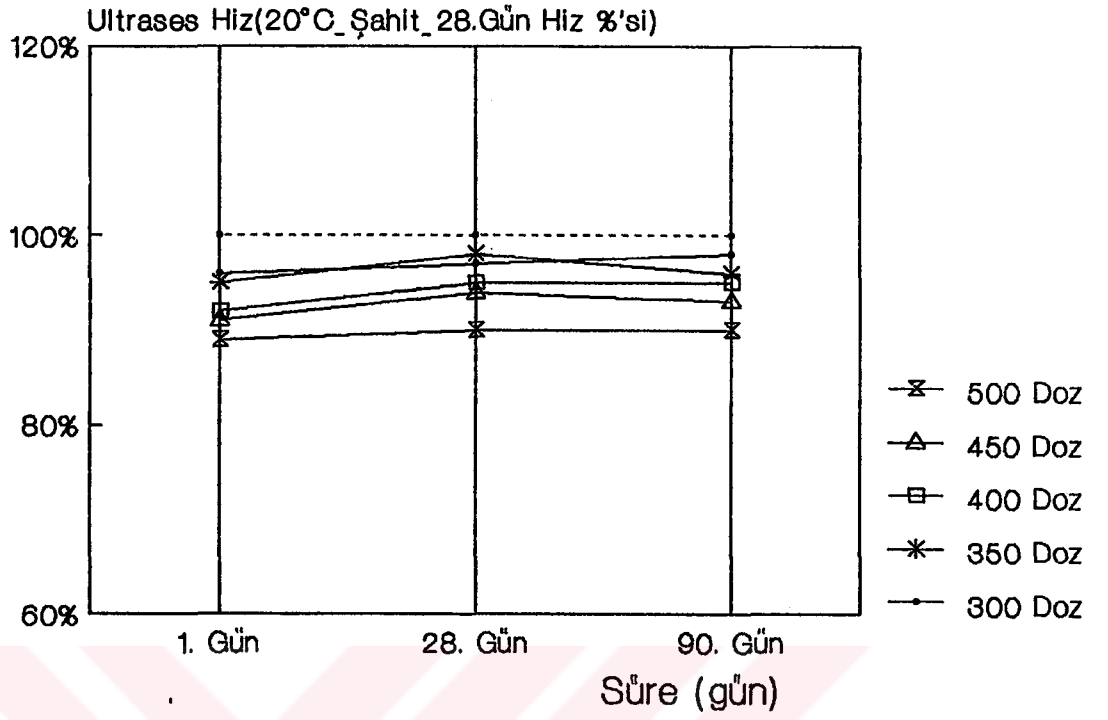
Şekil 4.41_ 90 Günlük Numunelerin
Ultrases Hızlarının
Uygulanan Kür ile Değişimi



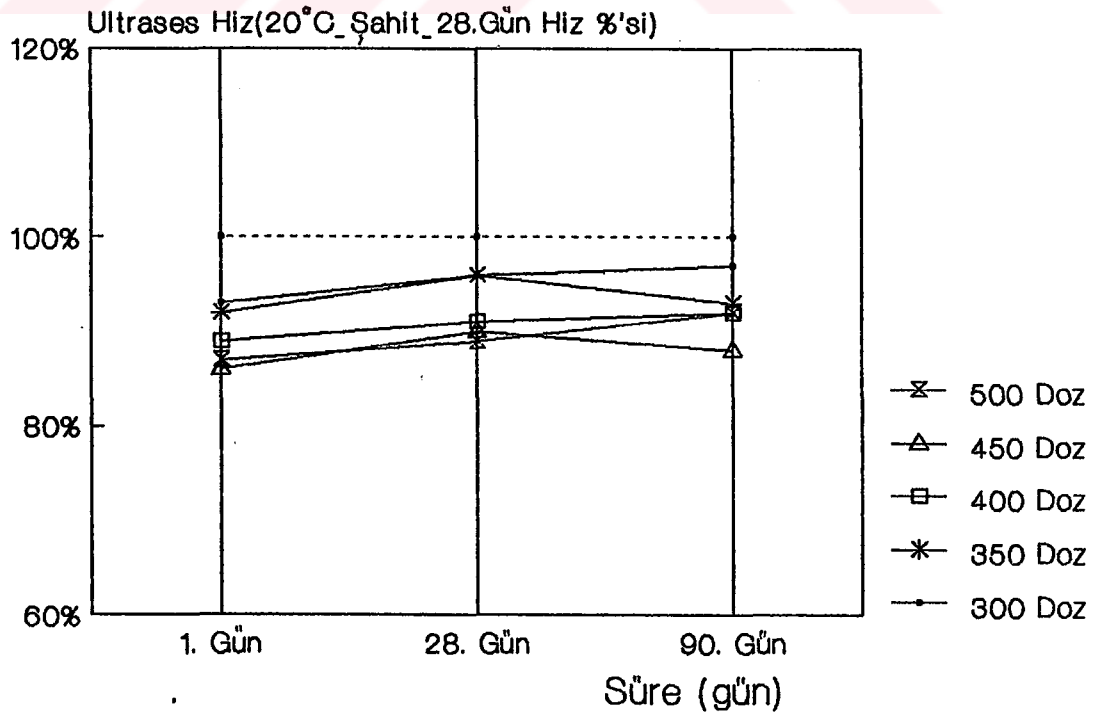
Şekil 4.42_20°C'de Saklanmış Numunelerde
Ultrases Hızlarının
Zamana Göre Değişimi



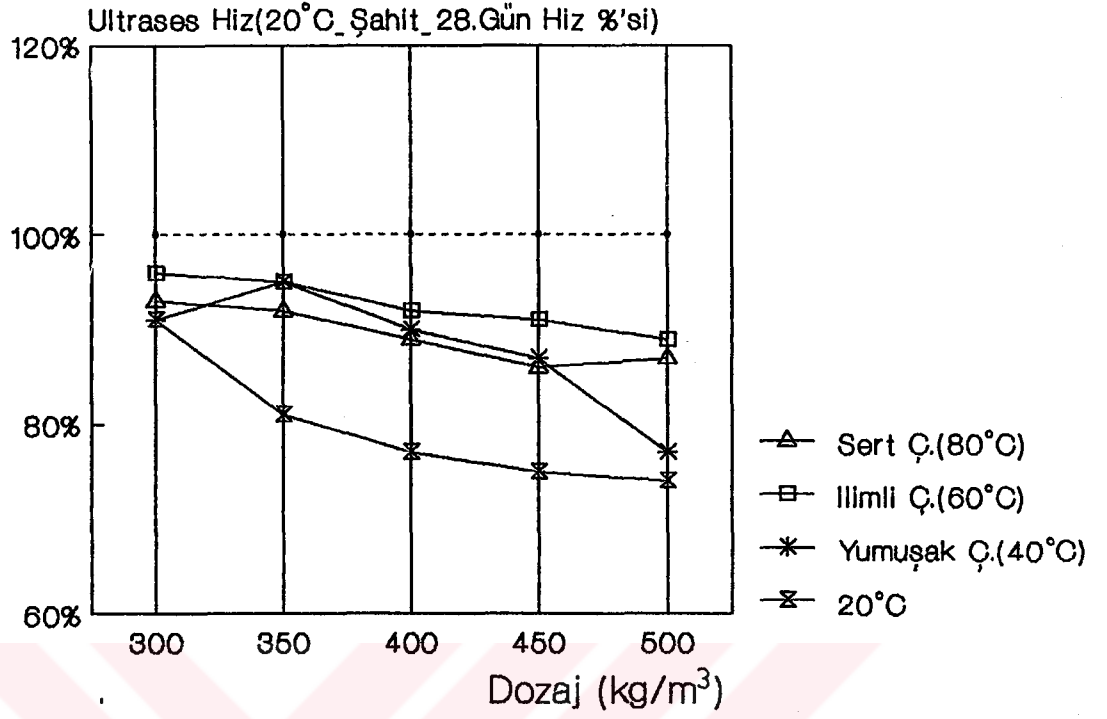
Şekil 4.43_Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Ultrases Hızlarının
Zamana Göre Değişimi



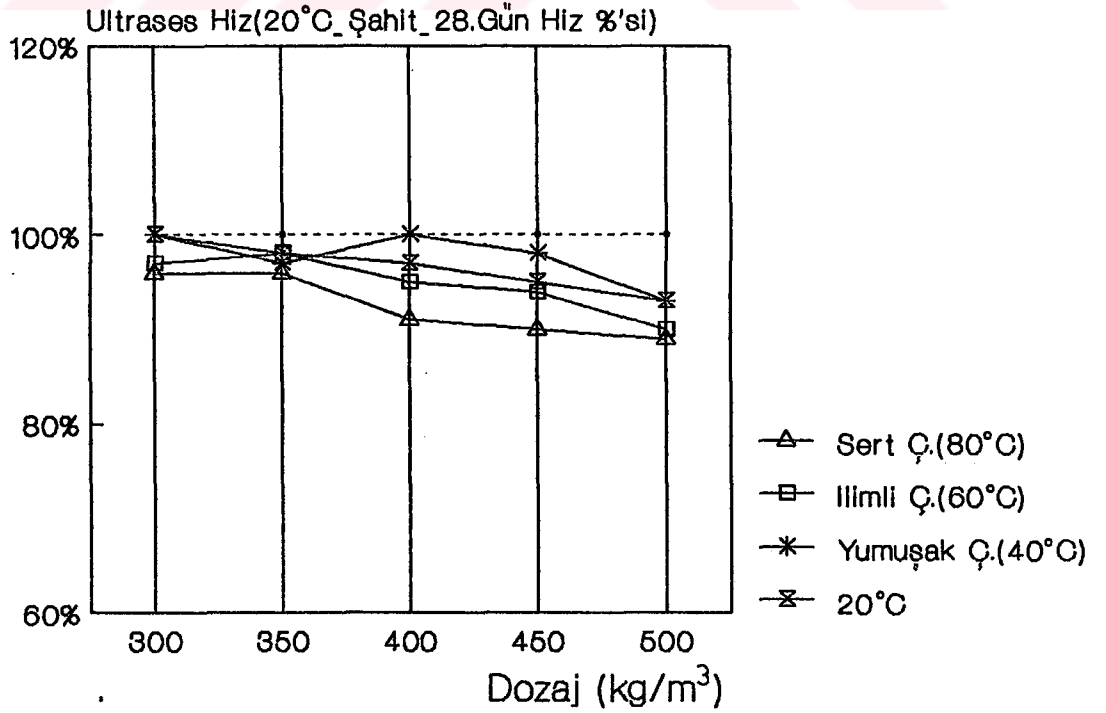
Şekil 4.4 4_ İlimli Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Ultrases Hızlarının
Zamana Göre Değişimi



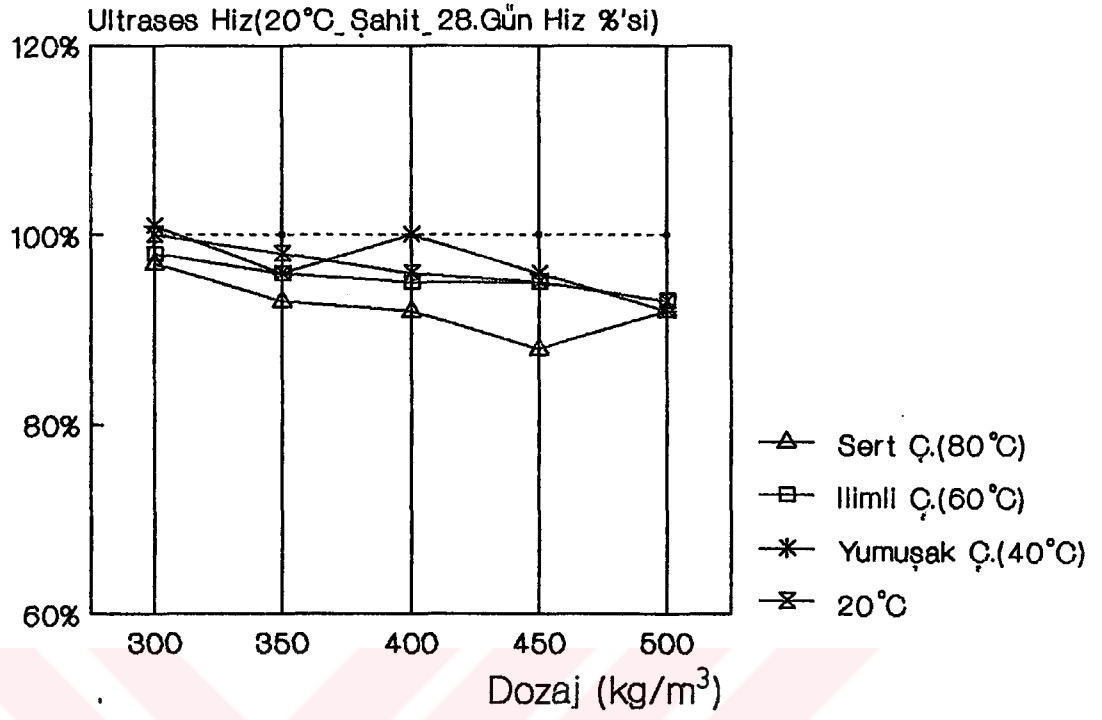
Şekil 4.4 5_ Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Ultrases Hızlarının
Zamana Göre Değişimi



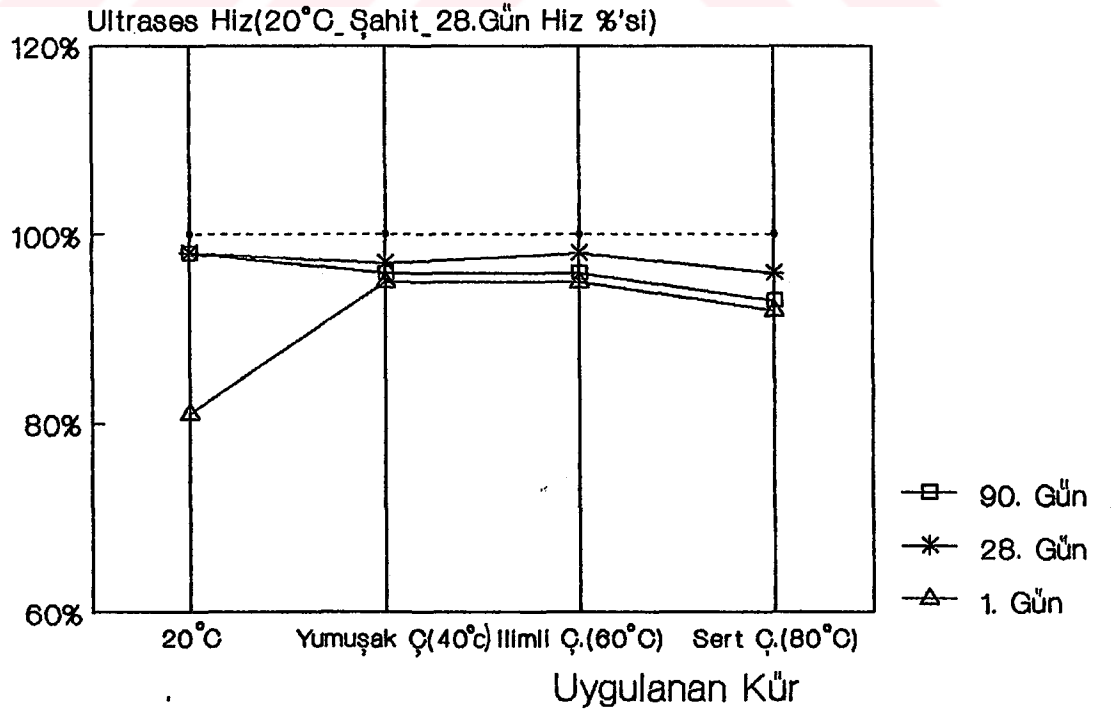
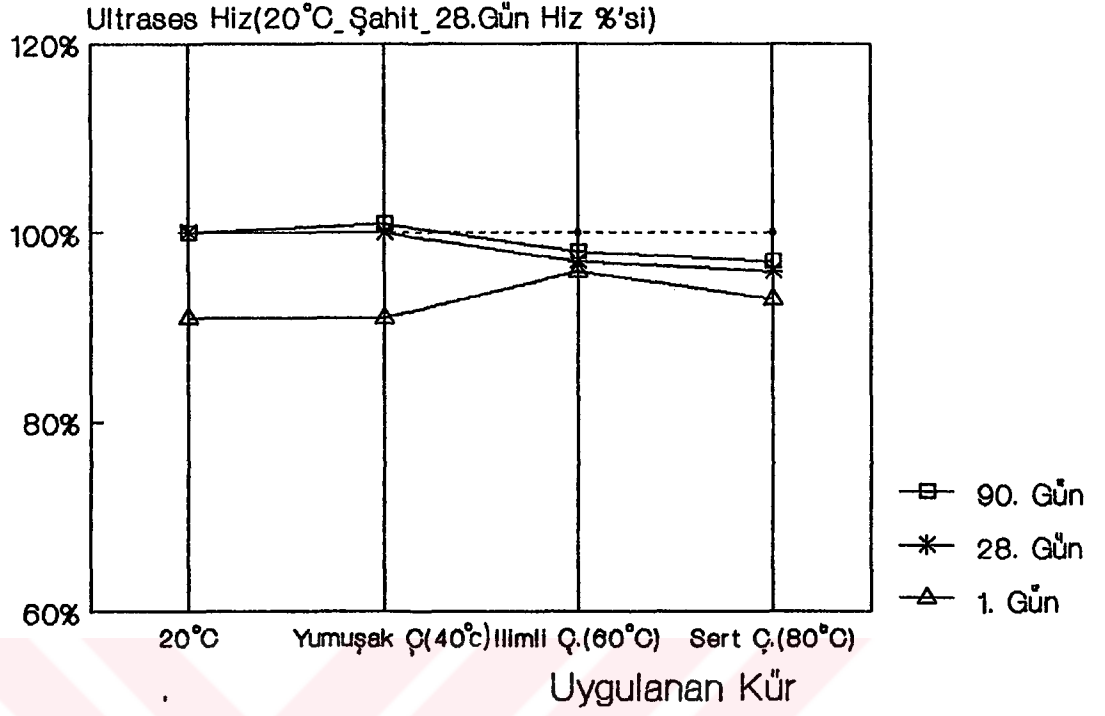
Şekil 4.46_ 1 Günlük Numunelerin
Ultrases Hizlerinin
Dozaja Göre Değişimi

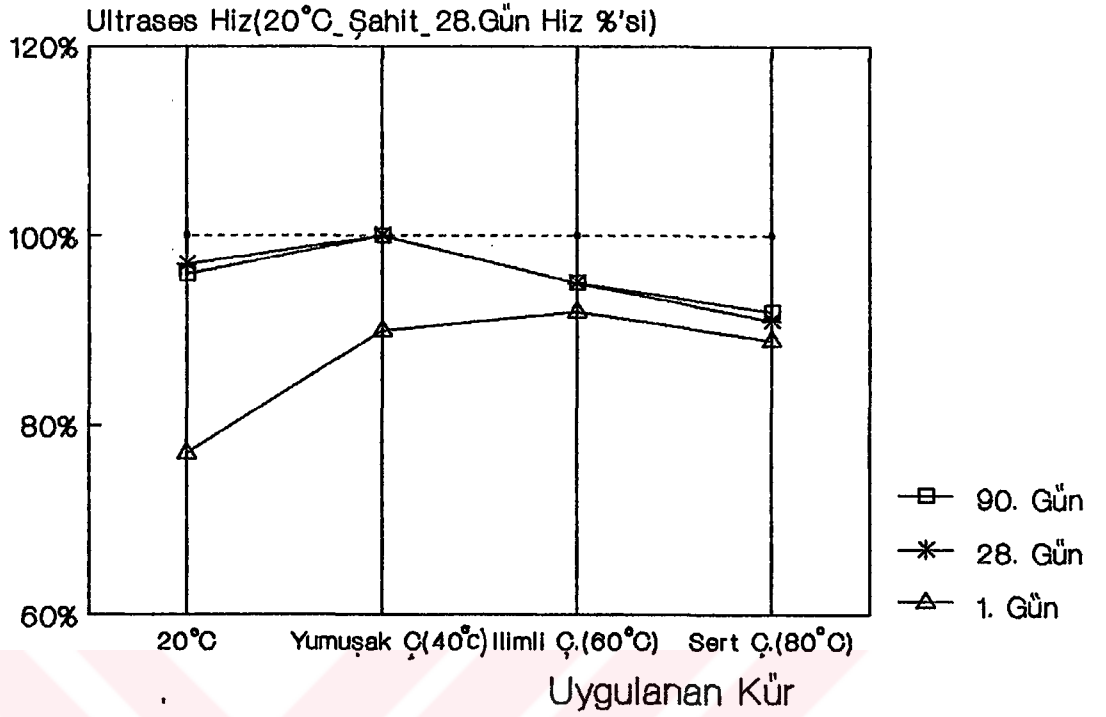


Şekil 4.47_ 28 Günlük Numunelerin
Ultrases Hizlerinin
Dozaja Göre Değişimi

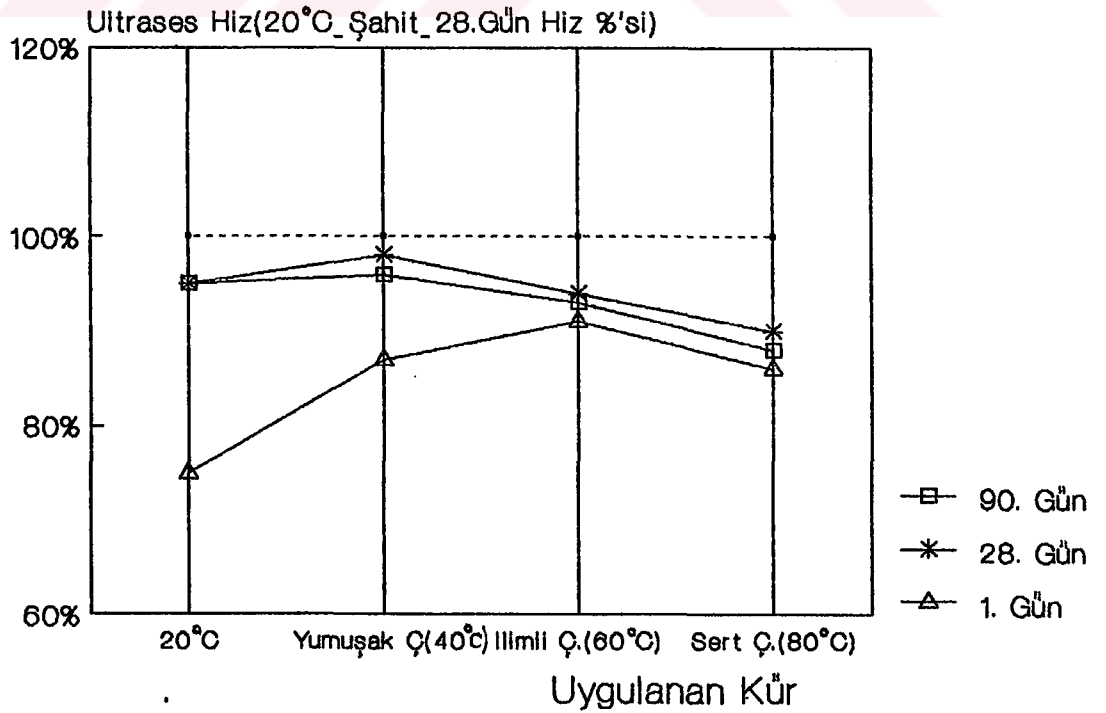


Şekil 4.48_ 90 Günlük Numunelerin
Ultrases Hızlarının
Dozaja Göre Değişimi

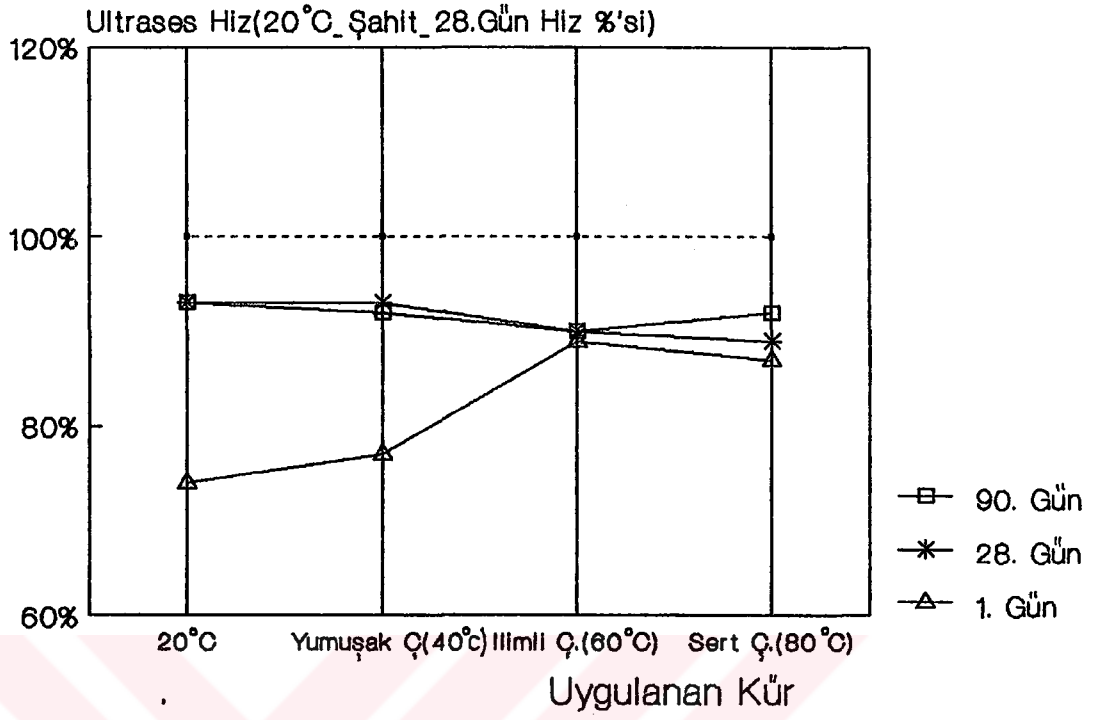




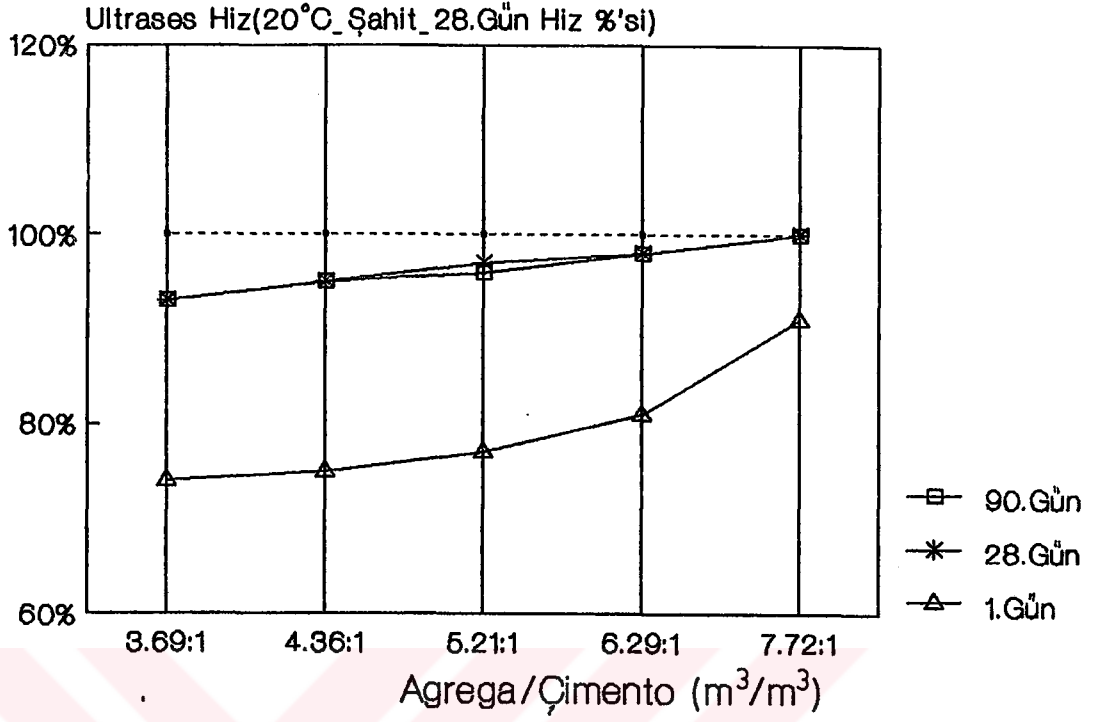
Şekil 4.51_ 400 Dozlu Betonların
Ultrases Hizlerinin
Uygulanan Kür İle Değişimi



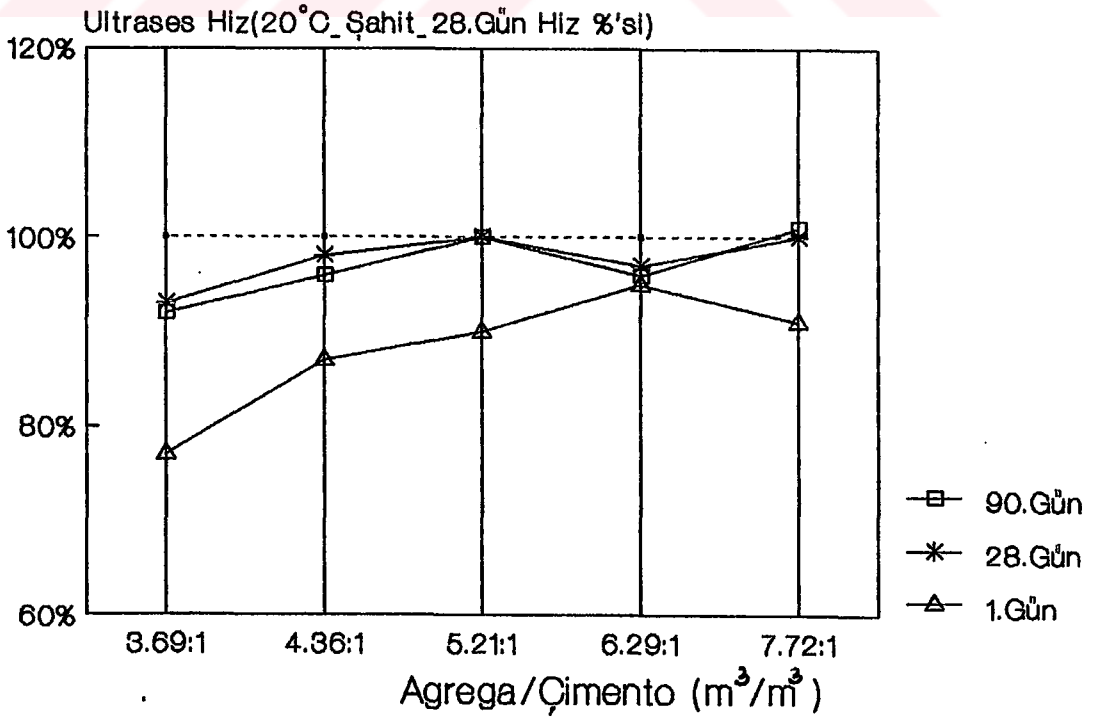
Şekil 4.52_ 450 Dozlu Betonların
Ultrases Hizlerinin
Uygulanan Kür İle Değişimi



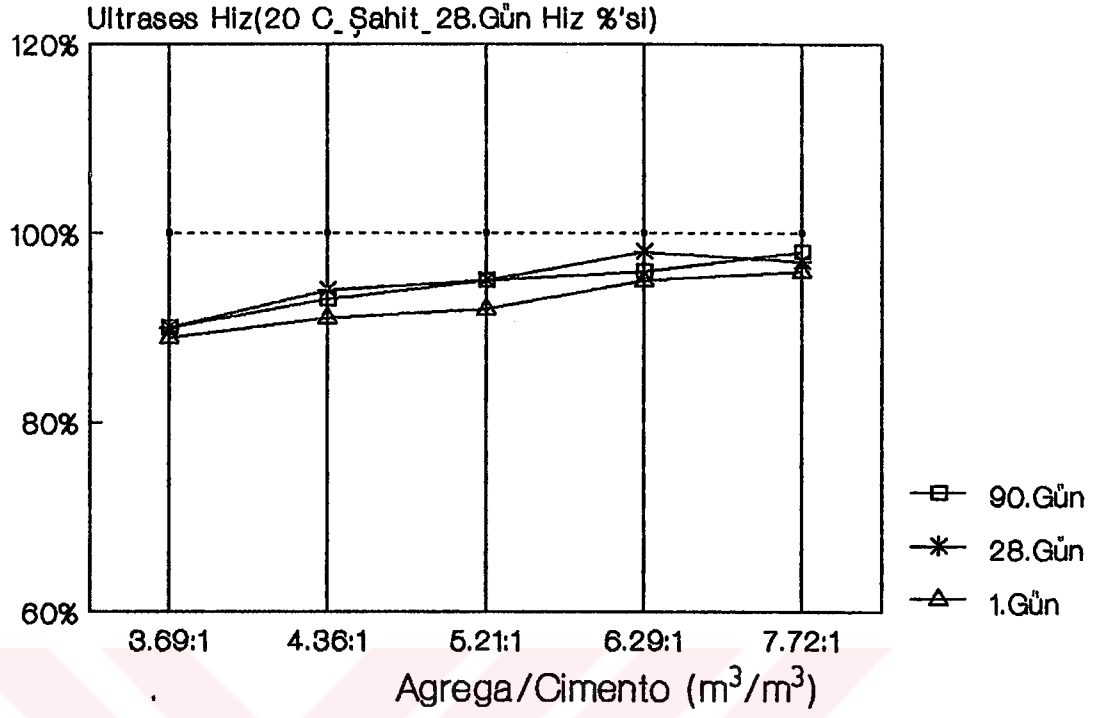
Şekil 4.53_ 500 Dozlu Betonların
Ultrases Hizlerinin
Uygulanan Kür ile Değişimi



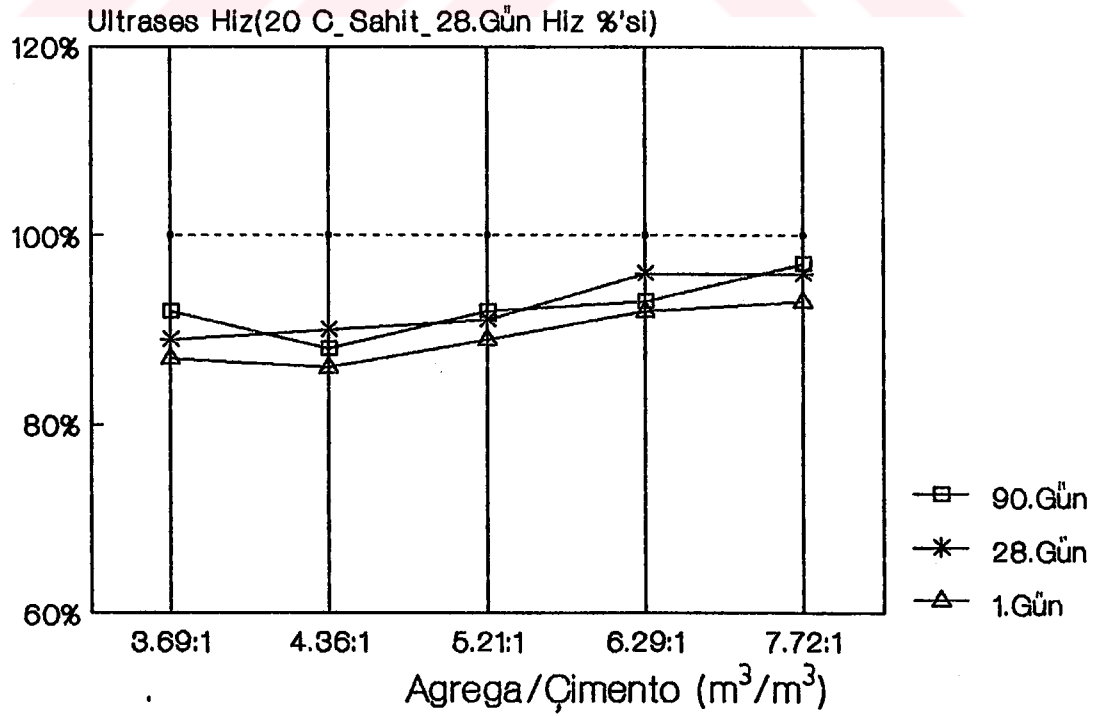
Şekil 4.54_20°C'de Saklanmış Numunelerde
Ultrases Hızlarının
(A/C) Oranı İle Değişimi



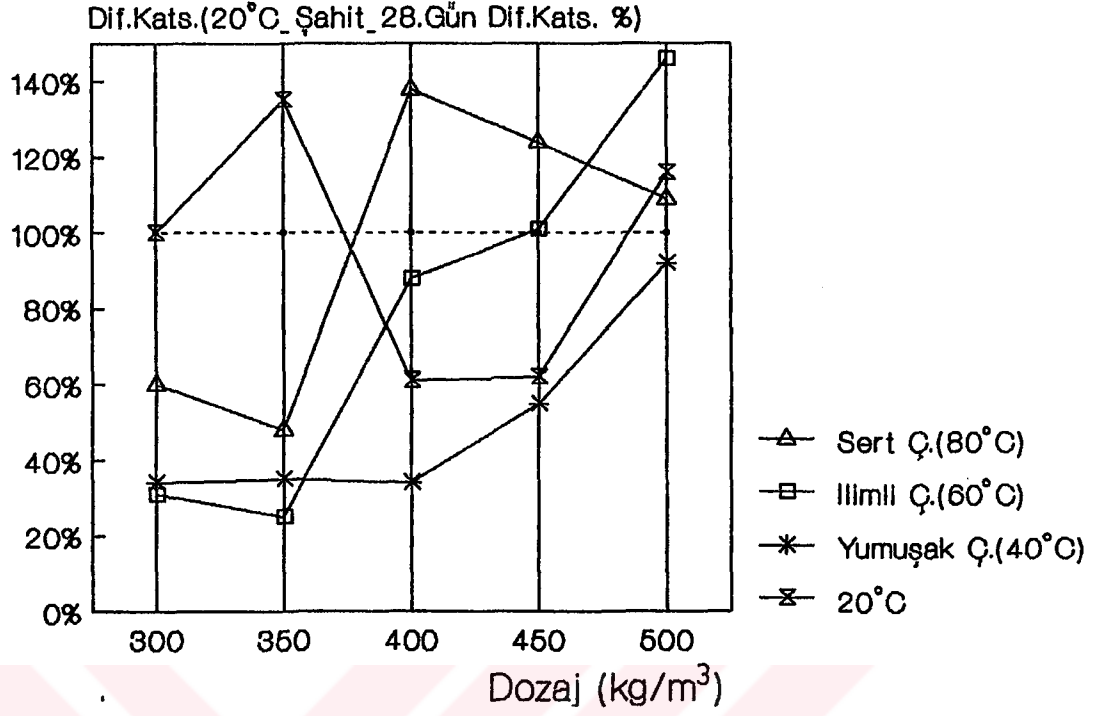
Şekil 4.55_Yumuşak Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Ultrases Hızlarının
(A/C) Oranı İle Değişimi



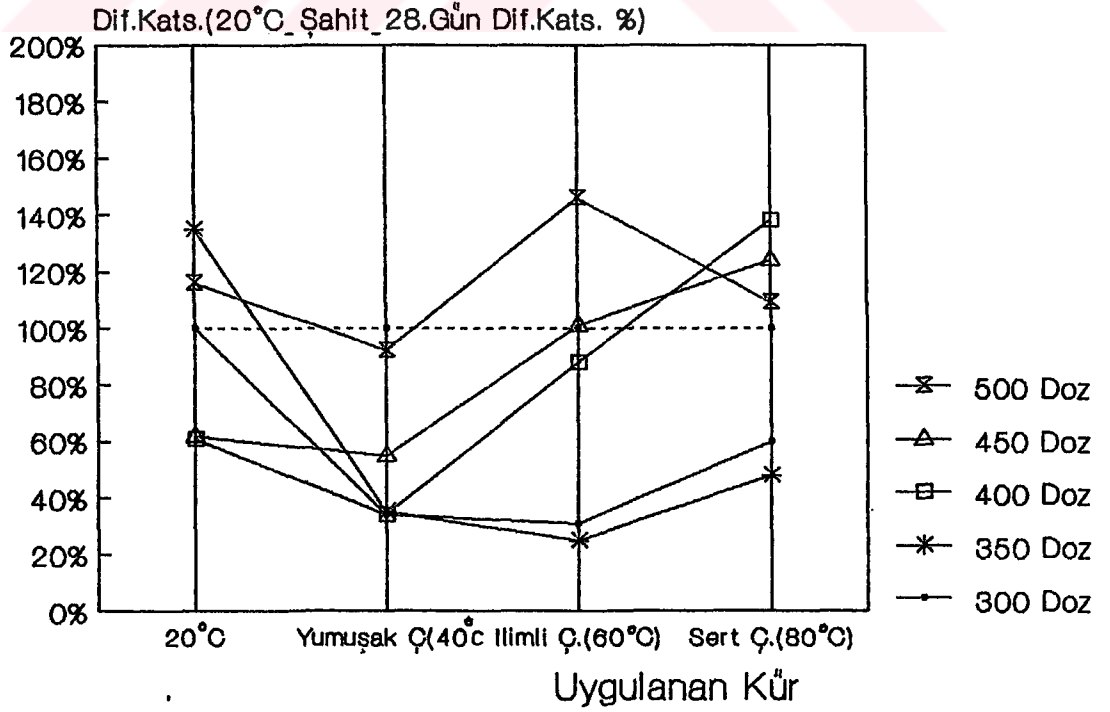
Şekil 4.56_İlmi Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Ultrases Hizlerinin
(A/O) Oranı ile Değişimi



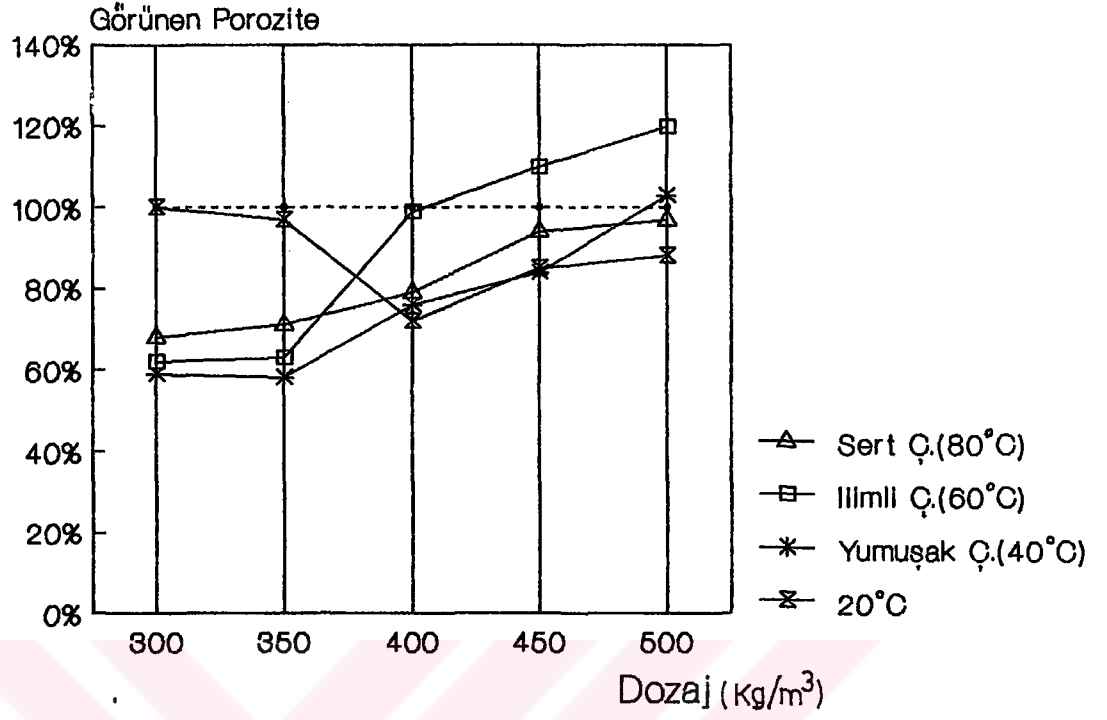
Şekil 4.57_ Sert Çevrim Uygulanmış Numunelerde
Ultrases Hizlerinin
(A/O) Oranı ile Değişimi



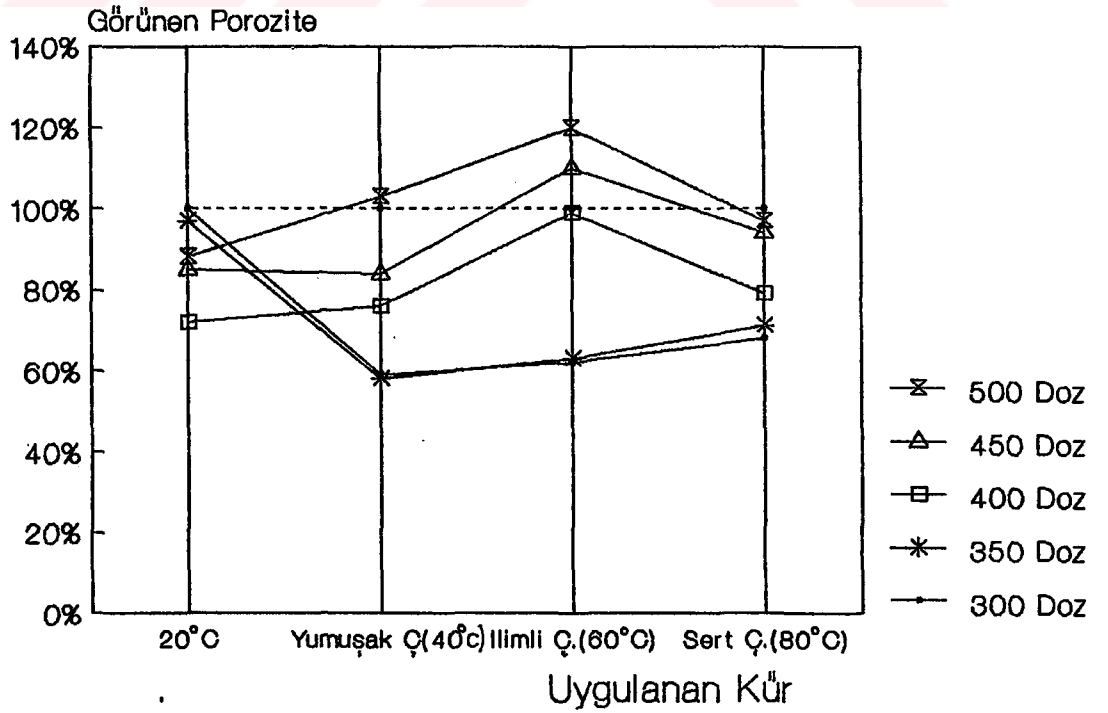
Şekil 4.58_ 28 Günlük Numunelerin
Difüzyon Katsayısının
Dozaja Göre Değişimi



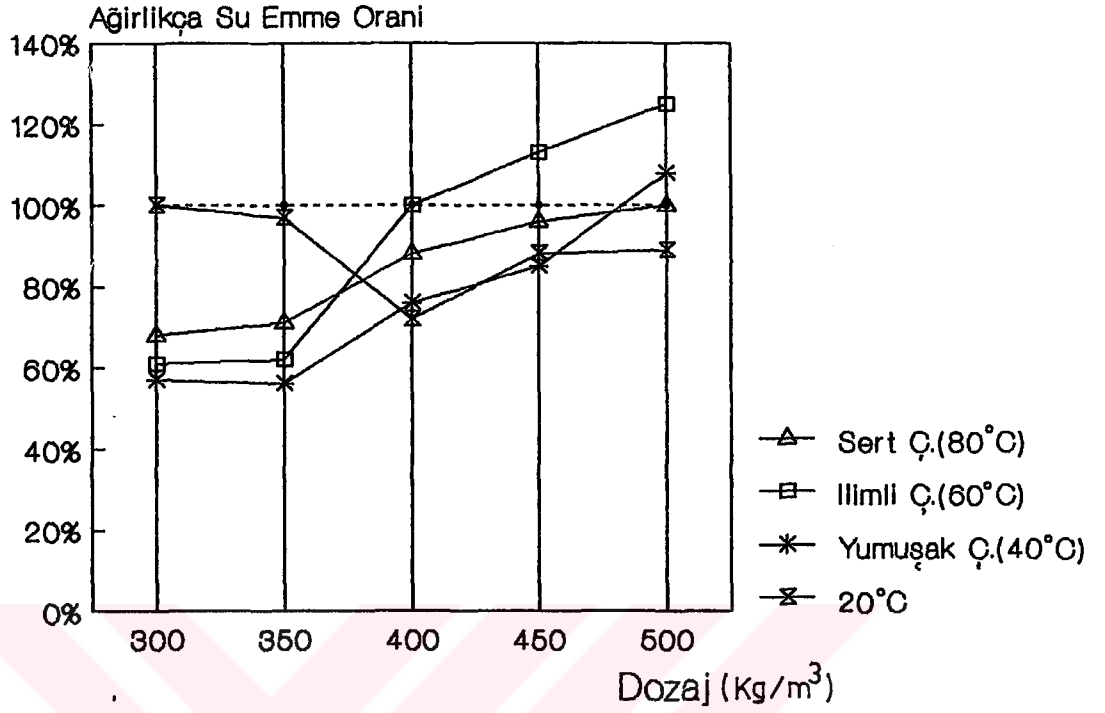
Şekil 4.59_ 28 Günlük Numunelerde
Difüzyon Katsayısının
Uygulanan Kür İle Değişimi



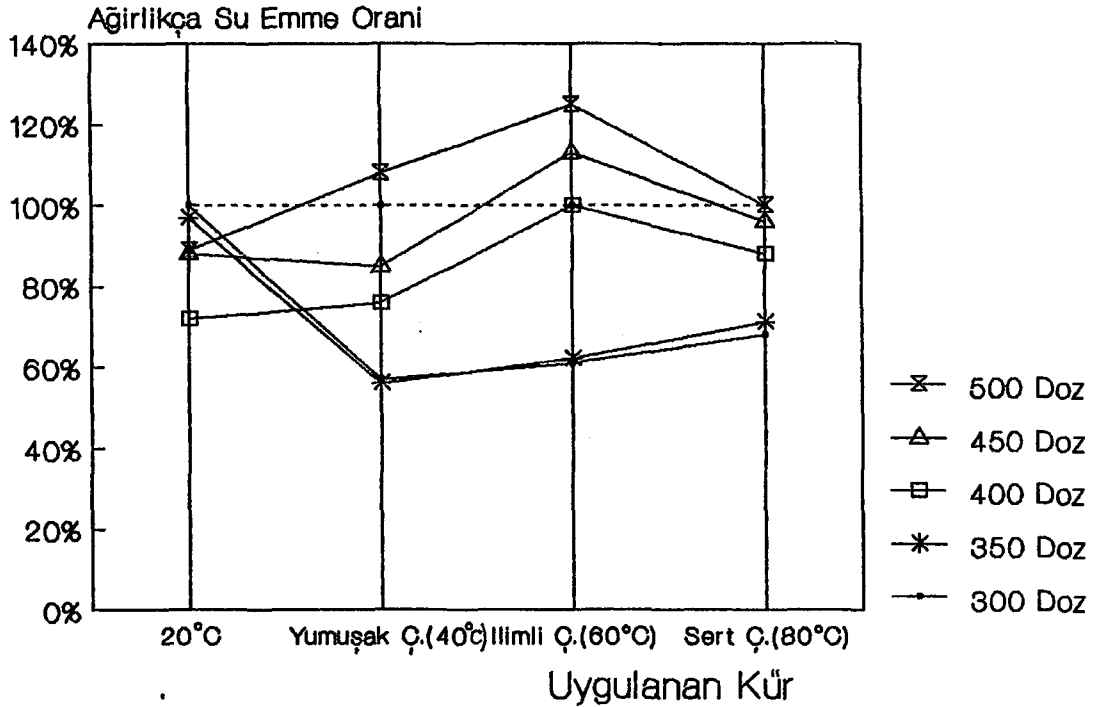
Şekil 4.60_ 28 Günlük Numunelerde
Görünen Porozitenin
Dozaja Göre Değişimi



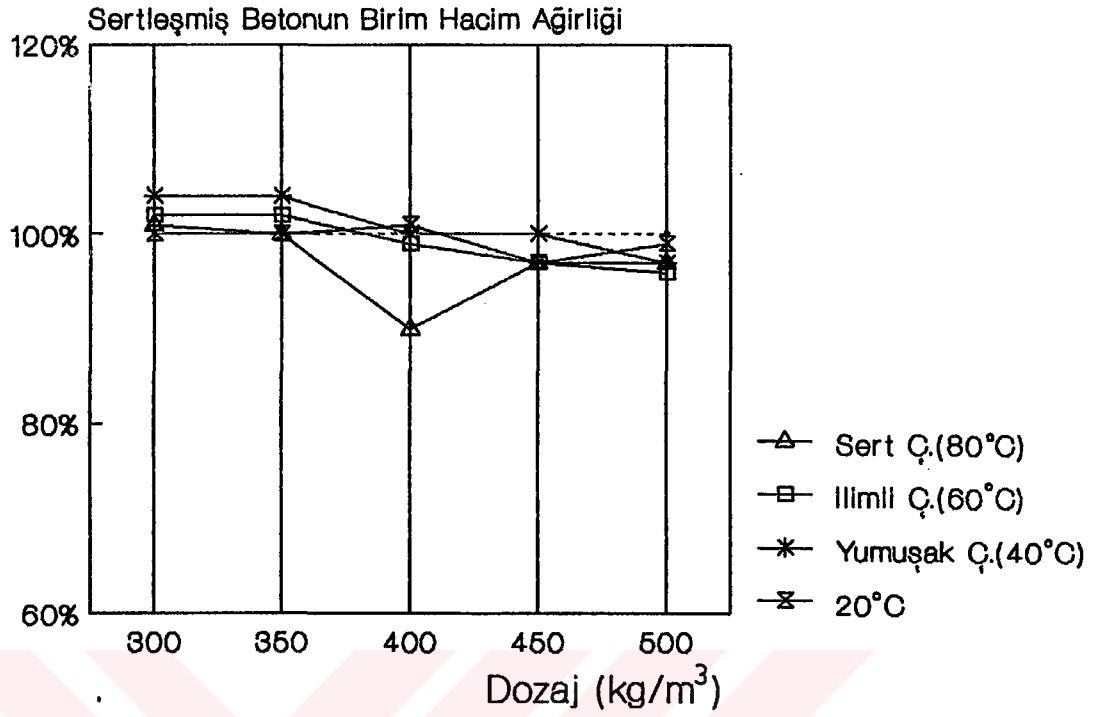
Şekil 4.61_ 28 Günlük Numunelerde
Görünen Porozitenin
Uygulanan Kür ile Değişimi



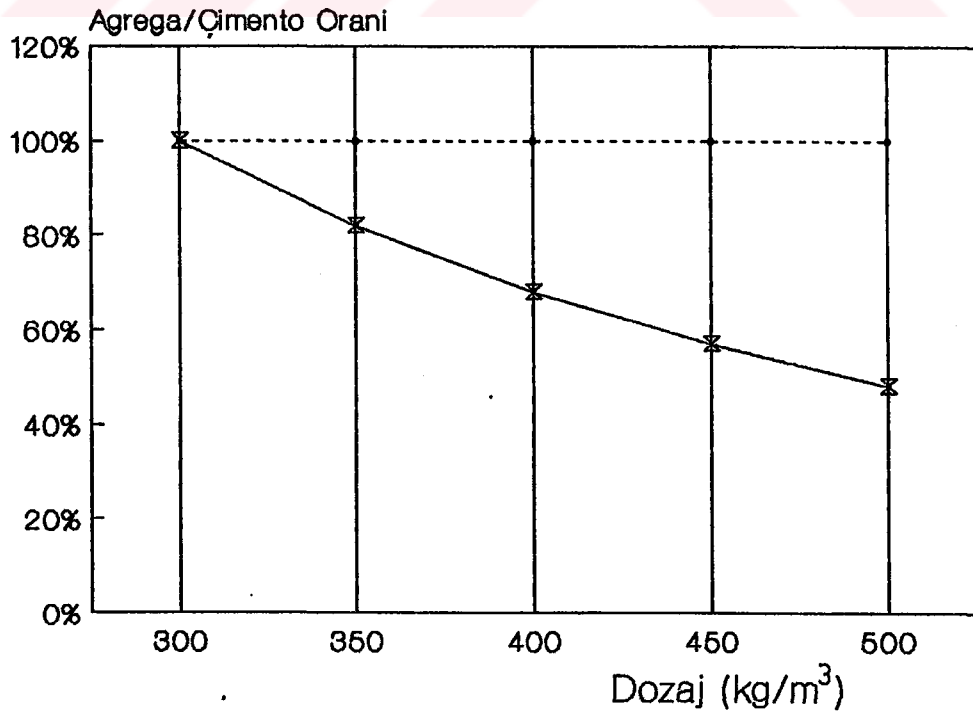
Şekil 4.62. 28 Günlük Numunelerde
Ağırlıkça Su Emme Oranının
Dozaja Göre Değişimi



Şekil 4.63. 28 Günlük Numunelerde
Ağırlıkça Su Emme Oranının
Uygulanan Kür ile Değişimi



Şekil 4.64_ Sertleşmiş Betonun Birim Hacim Ağırlığının Dozaja Göre Değişimi



Şekil 4.65_ 1 m³ Betonun Gerçek Bileşimde (A/C) Oranının Çimento Dozajı ile Değişimi

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar sırasıyla aşağıda özetlenmiştir.

5.1. Basınç Mukavemeti ile İlgili Sonuçlar:

a) Betonlara uygulanan kürün işlem sıcaklığı arttıkça, 1 günlük basınç mukavemetleri de artmıştır. 1. günde en yüksek sonucu işlem sıcaklığı 80°C olan sert çevrim uygulanmış betonlar vermiştir.

b) Üç tip ısıtıl işlem uygulanan betonlarda, ileri yaşlardaki mukavemet 20°C 'de sakalanan betonlara oranla düşmediği görülmüş ve bu sonuç beton numunelerinin, rutubeti $\%70\pm5$ ve sıcaklığı $20\pm1^{\circ}\text{C}$ olan ortamda havada saklanmış olmalarına bağlanmıştır.

c) Su/çimento oranını sabit tutmak şartıyla dozajı arttırmak, ısıtıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış (20°C 'de havada saklanmış) betonlarda basınç mukavemetini düşürmüştür.

d) Dozajın artmasıyla mukavemette meydana gelen düşüş oranı, sert ve ılımlı çevrim uygulanmış numunelerde, 20°C 'de saklanan numunelere oranla daha düşük çıkmıştır.

e) Isıtıl işlem uygulamalarında en etkin sonuç 350-400 arasındaki dozajlarda elde edilmiştir.

f) Isıtıl işlem uygulamasının basınç mukavemeti yönünden olan etkisinin, normal mertebelerde dozaj içeren

betonlara olan etkisinden pek farketmediği söylenebilir.

5.2. Eğilme Mukavemeti ile İlgili Sonuçlar

a) Isıl işlem uygulamaları 1. günde betonun eğilme mukavemetini, 20°C'de saklanan betonlara oranla arttırmış ve en olumlu sonucu ılımlı ve sert çevrim uygulamaları vermiştir. Ancak 1. günde eğilme mukavemetinde görülen bu artış oranı, basınç mukavemetinin artış oranı ile karşılaştırıldığında daha küçük kalmıştır.

b) İleri yaşlarda ısıtıl işlem uygulanmış betonların eğilme mukavemetlerinde, 20°C'de saklanan betonlara oranla görülen düşüş, basınç mukavemetine göre daha da belirginleşmiştir.

c) Dozajın artmasıyla betonun basınç mukavemetinde görülen azalma oranı, eğilme mukavemetinde küçülmüştür.

d) Betonun hem eğilme mukavemetinde, hem de basınç mukavemetinde en olumlu etkiyi ılımlı ve sert çevrim uygulamaları yapmış ve bu çevrimlerde de en yüksek mukavemeti 350 ve 400 dozlu betonlar vermiştir.

5.3. Ultrases Hızı ile İlgili Sonuçlar

a) Isıl işlem uygulamaları, 1. günde yapılan deneylerde her dozajdaki betonun ultrases hızını, 20°C'de saklanan betonlara göre arttırmış ve en iyi sonucu ılımlı çevrim uygulanan betonlar vermiştir.

b) 28. ve 90. günlerde ise yüksek sıcaklıklarda ısıtıl işlem uygulamasının dezavantajı ortaya çıkmış ve sadece yumuşak çevrim uygulanmış betonlar en olumlu sonucu vermiştir.

c) Çimentonun dozajı arttıkça betonun ultrases hızı düşmüştür.

d) Her dozdaki betonların ultrases hızı değerleri ile basınç mukavemeti arasında paralellik görüldüğü için betonun bu iki özelliği arasında lineer bir bağıntı olduğu söylenebilir.

5.4. Kılcallık ile İlgili Sonuçlar

a) Dozajın artmasıyla kılcallık artmıştır. Bu artış ılımlı ve sert çevrim uygulanmış numunelerde 350 dozdan sonra büyük bir sıçrayış ile, yumuşak çevrimde ise dozajın artmasıyla hemen hemen sabit oranda olmuştur.

b) Isıl işlem uygulanmış betonların difüzyon katsayısı, 20°C'de saklanan betonlarla karşılaştırıldığında yumuşak çevrim uygulamanın olumlu etkisi olduğu, ılımlı ve sert çevrim uygulanan betonların sadece 300 ve 350 dozlu betonlarda olumlu sonuç verip, yüksek dozajlı betonlara olumsuz etki yaptığı görülmüştür.

5.5. Su Emme ile İlgili Sonuçlar

a) Uygulanan 4 tip kür çeşidi için dozajın 300'den 350'ye çıkmasıyla görünen porozite değerlerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır.

b) Dozajın 350'den 500'e çıkmasıyla ısıtıl işlem uygulanmış betonların porozitesinde %59 artış olmuştur.

c) 350 doza kadar ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin ortalama porozite değerleri, 20°C'de saklanan betonların porozite değerlerinden %59 daha düşük çıkmıştır.

d) Dozajın 400'den sonra 500'e çıkmasıyla ısıtıl işlem uygulanmış betonların porozitesinde %59 artış olmuştur.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

uygulanan betonların ortalama porozite değeri, 20°C'de saklanan betonların porozite değerine göre %21 artmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçları gözönüne alarak ileri de aşağıdaki araştırmaların yapılması uygun olacaktır.

1) Bu araştırmada su/çimento oranı sabit tutulmuştur, ancak bir diğer araştırmada işlenebilmeyi sabit tutarak dozaj arttırılabilir.

2) Dozajın değişim aralığı, uygulanan ısı işlem parametrelerinin sayısı arttırılarak, optimum dozaj-ısı işlem bağıntısı kurulabilir.



KAYNAKLAR

- [1] ÖZKAN, L., "Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Uçucu Kül Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, (1986).
- [2] UYAN, M., "Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi", Doç.Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fak., (1982).
- [3] ÖZTEKİN, E., "Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Kullanılan Isıl İşlemler-Eğilme Dayanımına Etkileri", Doç.Tezi, K.T.Ü. İnşaat-Mimarlık Fak., (1977).
- [4] ÖZTEKİN, E., "Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Kullanılan Isıl İşlemler", Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi, Ankara, Ekim, (1978).
- [5] ACI COMMITTEE 516, "High Pressure Steam Curing Modern Practice and Properties of Autoclaved Product", JACI, Proceedings, V.62, Augst. pp.869-907, (1965).
- [6] UYAN, M., "Betona Isıl İşlem Uygulaması, Beton Özelliklerine Etkisi, Kanalet Boru Üretiminde Isıl İşlem Uygulaması", Beton Semineri D.S.I., Araştırma Sitesi, Ankara pp.139-150, 6-10 Şubat, (1984).
- [7] State of the Art Report, "Heat Treatment of Concrete", Draft July 1985, Betonwerk-Fertigteil Technik, Heft 9, pp.610-617, (1985).
- [8] CANSUN, O., "Beton Bünyeli Panolarla Prefabrikasyonda Frizin Hızlandırılması", Dizayn Konstrüksiyon, sayı 24, pp.17-20, Mart, (1987).
- [9] NURSE, R. W., "Steam Curing of Concrete", Mag. of Concrete Research, No. 2, (1949).

- [10] ACI COMMITTEE 517, "Accelerated Curing of Concrete Atmospheric Pressure-State of the Art", Journal A.C.I. 77: 429-448, (1980).
- [11] ACI 517-70, "Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete", (1970).
- [12] MIRANOV, "Some Generalizations in Theory and Technology of Acceleration of Concrete Hardening", RILEM, Moskova, (1964).
- [13] (PCI), Prestressed Concrete institute, "Quality Control for Plants and Production of Precast Prestressed Concrete Products", PCI, Chicago, Illionis, pp.31-32, (1977).
- [14] DANILOV, N. N., "Technologie der Industriellen Vorfertigung Von Beton-Und Stahlbetonelementen", VEB Verlag for Bauwesen-Berlin November, (1974).
- [15] NEVILLE, A. M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing, Third Edition, (1981).
- [16] ÖZTEKİN, E., "Isıl İşlenecek Betonlar İçin Çimento Seçimi", K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon (1980).
- [17] KARAGÜLER, M., "Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enst., Mayıs, (1988).
- [18] HIGGINSON, E. C., "Effect of Steam Curing on the Important Properties of Concrete", ACI Journal Forceeding V.58, Sept. pp.281-296, (1961).
- [19] MERRITT, R. R., JOHNSON, J. W., "Steam Curing of Portland Cement at Atmospheric Pressure", Highway Research Board Bulletin 355, (1962).
- [20] HANSON, J. A., "Optimum Steam Curing Purocedure in Precasting Plants", Journal of ACI, Forceeding Vol.60, January pp.75-100, (1963).
- [21] SAUL, A. G. A., "Principles Underlying the Steam Curing of concrete at Atmospheric Pressure", Magazine of Concrete Research, N.6, pp.127-140, (1951).

- [22] REINS DORF, S., "Improvement Relating to Low Pressure Steam Curing and Heating Concrete at Temperatures Up to 100°C", RILEM, Moskova, (1964).
- [23] POSTACIOĞLU, B., "Çimento Dozajının Betonun Muhtelif Özellikleri Üzerine Etkisi", I.T.Ü. İnşaat Fak., İstanbul, (1971).
- [24] DSI, Araştırma Dairesi Başkanlığı, "Buhar Kürü ile Beton İmali", Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Yayın No:539, Ankara, (1972).
- [25] AL-RAWI, R.S., "Choice of Curing Temperature for Accelerated Cured Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.6, pp.603-612, (1976).
- [26] ACI COMMITTEE 517, "Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete", Journal of the ACI, Proceed. V.66, Augst. (1966).
- [27] PAPADAKIS, M., "L'etuvage des produits en beton publication technique No.1, C.E.R.I.L.H., Epernon, (1967).
- [28] BUTT, M., KOLBASOV, V.M., TIMASHEV, V., "High-Temperature Curing of Concrete Under Atmospheric Pressure", Int. Symp. on the Chemistry of Cement, Tokyo, (1968).
- [29] UYAN, M., "Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı", Doktora Tezi, I.T.Ü. İnşaat Fak., (1977).
- [30] "Ön Yapımlı Beton Elemanlara Atmosfer Basıncı Altında Buhar Kürüyle Erken Dayanım Kazandırma Kuralları", Standart Tasarısı, T.S.E.
- [31] REINS DORF, Z., "Acceleration of Concrete Hardening by Heating the Concrete Grout influence of Composition Portland Cements on the Results of Steam Curing", RELAM, Moskova (1964).
- [32] SCHMID, R., SCHUTZ, R. J., "Journal of Prestressed Concrete Institute", 1-2, 37, (1957).

- [33] NARAYANAN, R., "Engineering 189, 580, (1980).
- [34] ACI COMMITTEE, S17, "Low Pressure Steam Curing",
Journal of the ACI, Proceed V.60, (1963).
- [35] ERNTROY, H. C., SHACKLOCK, B. W., "Design of High
Strength Concrete Mixes", Proc. of a
Symposium, on Mix Design and Quality
Control of Concrete, London 1954-ed.
Cement and Concrete ass, (1955), pp.55-73.
- [36] YALÇIN, N., "İnce Granülometreli Betonlarda Minimum
Çimento Dozajı", İ.T.Ü. İnşaat Fak.,
Bitirme Ödevi, (1984).
- [37] TANIRCAN, B., "Çimento Hamuru Hacminin Taze ve
Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerindeki
Etkileri", İ.T.Ü. İnşaat Fak., Bitirme
Ödevi, (1992).
- [38] ÖRNEK, N., "Çimento Hamuru Hacminin Taze ve
Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerindeki
Etkileri", İ.T.Ü. İnşaat Fak., Bitirme
Ödevi, (1992).
- [39] NURSE, R. W., "Chemical Fundamentals and Methods of
Accelerated Hardening of Concrete",
RILEM, Moskova, (1964).
- [40] SAEMANN, WARREN, WASHA, "The Effect of Curing on the
Properties Effecting Shrinkage Cracking
of Concrete Block J.ACI, May., (1955).

ÖZGEÇMİŞ

Hakan Gülseren 1967 yılında İstanbul'da doğdu. İstanbul'da 1978 yılında ilkokul, 1981 yılında ortaokul ve 1984 yılında da İstanbul Şehremini Lisesi'nde öğrenimini tamamladı.

1984 yılında girdiği İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden Mart 1989'da mezun oldu. 1990-91 yılları arasında bir şantiyede çalıştı.

1991 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak girdi ve halen bu göreve devam etmektedir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ