

14097

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ HAFİF BETONLARIN DEĞİŞKEN
YÜKLER ALTINDA ZAMANA BAĞLI DAVRANIŞLARI**

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Kemalettin YILMAZ

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Şubat 1989

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Mayıs 1989

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Saim AKYÜZ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Mehmet UYAN

Doç.Dr. Turan ÖZTURAN

MAYIS-1989

ÖNSÖZ

Ülkemiz doğal kaynakları arasında yer alan ve oldukça büyük rezervri bulunan ponza taşının konut sektöründe değerlendirilmesi henüz istenen bir düzeyde değildir. Elde edilmesi ek bir maliyeti gerektirmeyen bu malzemenin özelliklerinin yeterince bilinip anlaşılması hafif beton üretiminde daha rasyonel ve yaygın olarak kullanılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle çalışma konusu olarak bu malzeme seçilerek ponza taşı ile üretilen ısıl işlem uygulanmış hafif betonun uzun süreli değişken yüklemeler altındaki davranışı incelenmiş ve bu yöndeki bilgi birikimine katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

Beton yapılardan beklenen, yeterli mukavemette olmasının yanında ısı yalıtımını da sağlaması istenmektedir. Özellikle son yıllarda konutlarda enerji tasarrufuna gidilmesi yönüyle çalışmalar sürdürülmektedir. Artan nüfusun getirdiği yoğun yapılaşma, ısınma gereksinimi için toplam harcanan yıllık yakıt tüketimini artırmış ve bunun sonucu olarak bazı büyük kentlerimizde hava kirliliği insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Bu konuda yetkililer gerekli önlemler için değişik arayışlar içerisine girmişlerdir. Getirilen çare ve varılan sonuç her ne olursa olsun soruna çevre sağlığı ve yakıt maliyeti yönüyle bakıldığında ön çözüm konutların iyi bir yalıtımla üretilmesi olgusundan geçmektedir. Ponza taşı kullanılarak üretilen hafif betonların ısı yalıtım değeri normal betonlara oranla daha yüksek olduğundan iyi bir yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebilir.

Tez konusunun belirlenmesinde ve onu izleyen tez yönetiminde, çalışmalarım boyunca değerli ilgi ve katkılarını gördüğüm sayın hocam Prof.Dr.Saim AKYÜZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımda yardımlarını gördüğüm Öğr. Gör. Dr. M.Ali TAŞPINAR'a ve İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ :.....	ii
NOTASYON	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1 - GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	2
1.1.1. Hafif betonların özellikleri ve prefabrikas- yon	2
1.1.2. Hafif betonların sınıflandırılması	6
1.1.3. Hafif agregaların sınıflandırılması ve ülke- mizin hafif agregalar yönünden durumu	8
1.1.4. Betona erken dayanım kazandırma yöntemleri ve atmosferik basınç altında buhar kürü.....	10
1.1.5. Betonların sünme ve rötresi ile bunlara etki eden faktörler	15
1.2. Konu ile ilgili Çalışmalar.....	21
1.2.1. Atmosferik basınç altında buhar kürünün hafif betonlara etkisi	21
1.2.2. Betonun sünme rötresi	23
1.3. Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi	27
1.4. Araştırmanın Kapsamı	29
BÖLÜM 2 - DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	30
2.1.1. Kum	30
2.1.2. Kırmataş	30
2.1.3. Ponza taşı hafif agregası	31
2.1.4. Çimento	32

	<u>Sayfa</u>
2.2. Beton Karışımları.....	32
2.2.1. En büyük dane boyutu	32
2.2.2. Granülometrik bileşimler	33
2.2.3. Bileşim hesapları.....	35
2.2.4. Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve saklama koşulları.....	36
2.2.5. Uygulanan ısıtma işlem çevrimleri	39
2.3. Deneylerin Tanımlanması ve Kullanılan Yöntemler	41
2.3.1. Taze beton deneyleri	41
2.3.2. Isıtma işlem çevrimlerinin uygulanması	41
2.3.3. Sertleşmiş beton deneyleri	42
2.4. Deney Programı.....	43
 BÖLÜM 3 - DENEY SONUÇLARI	 46
3.1. Kısa Süreli Deney Sonuçları	46
3.2. Uzun Süreli Deney Sonuçları	49
 BÖLÜM 4 - DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDLENMESİ	 63
4.1. Taze Betonun Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	63
4.2. Kısa Süreli Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	63
4.3. Uzun Süreli Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	68
4.3.1. Betonun Zamana Bağlı Davranışı ve Değişken Yüklemler altındaki Sünmesinin Tahmini.....	68
4.3.2. Sünme deney sonuçlarından yararlanarak yükleme basamaklarındaki logaritmik sünme fonksiyonlarının hesaplanması	73
4.3.3. Logaritmik sünme fonksiyonlarından elde edilen "k" katsayılarının ısıtma işlem sıcaklığıyla değişiminin irdelenmesi	88
4.3.4. Değişken gerilmeler altındaki hafif betonun sünmesinin işlem sıcaklığıyla değişiminin tahmini ve sonuçların irdelenmesi	98
4.4. Rötire Deformasyonlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	106
 BÖLÜM 5 - SONUÇLAR	 111
KAYNAKLAR	114
EKLER	120
ÖZGEÇMİŞ	129

NOTASYON

Δ	: Hafif agreganın birim ağırlığı
E	: Hafif betonun elastisite modülü
σ	: Uygulanan gerilme (basamak gerilmesi)
ϵ_t	: Toplam deformasyon
ϵ_s	: Sünme deformasyonu
ϵ_r	: Rötire deformasyonu
t	: Zaman
t_b	: Basamak süresi
τ	: Beton yükleme yaşı
f_c	: Beton basınç dayanımı
ϵ_1, ϵ_2	: Basamaklarda hesaplanan deformasyonlar
a	: Logaritmik sünme fonksiyon sabiti
b	: Logaritmik sünme fonksiyon sabiti
$\phi(t)$	: Sünme fonksiyonu
k_1, k_2	: "a" sabitine ait katsayılar
k_3, k_4	: "b" sabitine ait katsayılar
C	: 1 m ³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı
T	: İşlem sıcaklığı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
1.1. Isıl işlem çevrimi	11
2.1. 1. Grup hafif beton agregasının granülometrik bileşimi	34
2.2. 2. Grup hafif beton agregasının granülometrik bileşimi	34
2.3. Uygulanan ısıtma işlem çevrimleri	40
3.1. A-20 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	54
3.2. B-40 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	55
3.3. C-60 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	56
3.4. D-70 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	57
3.5. E-95 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	58
3.6. F-20 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	59
3.7. G-50 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	60
3.8. H-80 Hafif beton serisine ait ϵ -t diyagramı	61
4.1. Beton basınç dayanımının yükleme yaşı ile değişimi	65
4.2. Elastisite modülünün yükleme yaşı ile değişimi	67
4.3. Lineer viskoelastik bir malzemenin davranışını gösteren yükleme programı ve ϵ -t diyagramı	68
4.4. Sabit gerilme altında sünme fonksiyonu grafiği.....	68
4.5. Gerilmenin zamana bağlı değişimini gösteren bir yükleme programı ve ϵ -t diyagramı ...	70
4.6. Gerilmenin kademeli azalmasını gösteren bir yükleme programı ve ϵ -t diyagramı.....	70
4.7. Yüklemenin süperpozisyon ilkesi gereği özdeşliğini gösteren yükleme programı	71
4.8. İki zaman aralığında σ gerilmesi altında oluşan şekil değiştirme	72
4.9. Sünme deney sonuçlarında "a" ve "b" katsayılarının hesaplanmasının örnek grafiklerle gösterimi	76
4.10. A-20 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	80

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.11. B-40 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	81
4.12. C-60 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	82
4.13. D-70 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	83
4.14. E-95 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	84
4.15. F-20 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	85
4.16. G-50 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	86
4.17. H-80 Serisi "a" ve "b" nin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasındaki bağıntı	87
4.18. 1.ci Grup hafif betonlarda " k_1 " ve " k_3 " kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	91
4.19. 1.ci Grup hafif betonlarda " k_2 " ve " k_4 " kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	92
4.20. 2.ci Grup hafif betonlarda " k_1 " ve " k_3 " kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	93
4.21. 2.ci Grup hafif betonlarda " k_2 " ve " k_4 " kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	94
4.22. Değişken gerilmeler altındaki hafif betonun sünme deney sonuçları ile tahmin değerleri- nin C - 60 kontrol betonu için karşılaştı- rılması	99
4.23. 1.ci Grup hafif betonlarda hesaplanan "a" kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	101
4.24. 1.ci Grup hafif betonlarda hesaplanan "b" kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	102
4.25. 2.ci Grup hafif betonlarda hesaplanan "a" kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	103
4.26. 2.ci Grup hafif betonlarda hesaplanan "b" kat- sayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi	104
4.27. Rötire deformasyonlarının işlem sıcaklığı ile değişimi (1.Grup hafif beton)	108
4.28. Rötire deformasyonlarının işlem sıcaklığı ile değişimi (2.Grup hafif beton)	109

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kumun Özellikleri	30
2.2. Ponza taşı agregalarının deney sonuçları ..	31
2.3. Agregaların karışım yüzdeleri	33
2.4. Agregaların karışımlarının granülometrik bile- şimleri	34
2.5. Beton bileşimi ve taze beton özellikleri...	37
2.6. Uygulanan ısıtma işlem çevrimleri	39
2.7. Uygulanan sünme deney programı	44
3.1. Kısa süreli deney sonuçları	47
3.2. Kısa süreli relatif deney sonuçları	48
3.3. A-20, B-40 Serilerine ait sünme deney sonuçları	50
3.4. C-60, D-70 Serilerine ait sünme deney sonuçları	51
3.5. E-95, F-20 Serilerine ait sünme deney sonuçları	52
3.6. G-50, H-80 Serilerine ait sünme deney sonuçları	53
3.7. Rötme deney sonuçları	62
4.1. Sünme deney sonuçlarından hesaplanan logarit- mik sünme fonksiyon sabitleri	78
4.2. Sünme deney sonuçlarından hesaplanan logaritmik sünme fonksiyon sabitleri	79
4.3. Hafif beton serilerine ait deney sonuçların- dan elde edilen "k" katsayıları	89
4.4. Hafif beton serilerine ait deney sonuçların- dan elde edilen relatif "k" katsayıları	90
4.5. Hafif beton serilerinin grafikten hesaplanan sünme fonksiyon sabitleri	96
4.6. Hafif beton serilerinin grafikten hesaplanan relatif sünme fonksiyon sabitleri	97
4.7. Deney sonuçlarından bulunan rötme deformasyonları	107
4.8. Deney sonuçlarından bulunan relatif rötme değerleri	107

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
A.1. A-20 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo.....	121
A.2. B-40 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo.....	122
A.3. C-60 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo.....	123
A.4. D-70 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo	124
A.5. E-95 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo	125
A.6. F-20 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo	126
A.7. G-50 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo.....	127
A.8. H-80 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo	128

ÖZET

Bu çalışmada ponza taşı hafif agregası kullanılarak üretilen iki farklı birim ağırlıktaki hafif betonun değişken yükler altında ve yüksüz durumdaki zamana bağlı davranışı incelenmiştir. Yalnız işlem sıcaklığı değişken tutulan bu betonlardan 1.Grup birim ağırlıkta 40 °C, 60 °C, 70 °C ve 95 °C, 2.Grup birim ağırlıkta ise 50 °C ve 80 °C de ısıtıl işlem uygulanmış ve ayrıca her iki grup betondan 20 °C de normal ortam sıcaklığında olmak üzere toplam 8 seriden oluşan beton üretilmiştir.

Çalışmada önce farklı işlem sıcaklığı uygulanmış, hafif betonların sünmesi değişken gerilmeler altında deneysel olarak bulunmuştur. Daha sonra seçilen bir logaritmik sünme fonksiyonuna bu deney sonuçları uygulanarak denklemdeki "a" ve "b" katsayılarının yükleme yaşı ile olan değişimi saptanmıştır. Sünme deneylerinde her yaştaki beton basınç dayanımının 1/3 ünün altında kalınarak gerilme uygulanmış ve lineer viskoelastik bir varsayım ile süperpozisyon ilkesinden yararlanılmıştır. Bulunan bu katsayıların logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasında iyi bir korelasyon olduğu görülmüştür.

Logaritmik sünme fonksiyonu yükleme yaşından bağımsız hale getirilerek "k" katsayıları ile ifade edilmiştir. Bu katsayılar tüm seriler için hesaplanmış ve beton kür koşullarıyla olan ilişkisi grafik olarak gösterilmiştir. Kurulan bu ilişkiden yola çıkılarak, herhangi bir işlem sıcaklığında tutulan betonun sünmesi yükleme yaşına bağlı olarak iyi bir yaklaşımla tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Değişken gerilmeler altındaki hafif betonun uzun süreli yüklemelerdeki davranışı üzerine ısıtıl işlemin etkisi, kısa süreli yüklemelerdeki aynı beton özelliklerine olan etkisi ile benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Ayrıca bu betonların yükleme yaşında basınç dayanımları ile elastisite modüllerinin işlem sıcaklığı ile bilinen ilişkisi vurgulanmış ve bu betonların rötre deformasyonları deneysel olarak bulunarak irdelenmiştir.

Çalışmada varılan sonuçlar tablo ve şekiller halinde verilerek değerlendirilmiş ve irdelenmesi yapılmıştır. Deney sonuçları ile kullanılan bağıntılar arasında iyi bir ilişkinin olduğu saptanmıştır. Diğer deney sonuçları da değerlendirilmiş olup Bölüm 5 de bulunan sonuçların kısa bir özeti verilmiştir.

S U M M A R Y

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE TIME DEPENDENT BEHAVIOR OF LIGHTWEIGHT CONCRETE UNDER VARIABLE STRESSES

Although a number of investigations have been carried out on the short term behavior of concrete, in practice, concrete structure is subjected to long term loading rather than short term loading. Under long term loading, strain increases with time. Hence, concrete exhibits time dependent behaviors which are called creep and shrinkage. The calculations of creep and shrinkage are especially important for prestressed concrete structures. There is no sufficient information about the long term creep behavior of concrete under variable stresses. Also, very little information is available on the effect of the acceleration of hardening on the long term loading of concrete. Since concrete is a widely used material in structural engineering, we need sufficient information about the creep of concrete for different curing conditions under variable stresses. This information is especially needed for both the further analysis of concrete and better understanding of the material behavior.

Today's construction industry is making use of prefabrication to speed up construction of residential structures. To be able to provide fast production, acceleration of hardening in concrete is required. Creep experiments are also time consuming under normal curing conditions. For this purpose, the widely used method is heat treatment. The application of heat treatment to concrete provides an early resistance, the construction elements thus obtained begin to carry service loads. Accelerated tests exhibit the fast increase in concrete resistance during early ages, at later stages heat treatment causes a reduction in the compressive strength compared to that of normal curing condition at 20 °C.

Normal concrete is used mainly for structural purposes. High unit weight of normal concretes pose some problems in their production and application.

The use of lightweight concretes especially in residential structures is of great practical importance owing to their superiority over normal concretes in respect of thermal insulating properties. The structural lightweight aggregate concretes are obtained by substituting the normal concrete aggregate with lightweight aggregate. If lightweight concrete is used, the decrease which is about 25 % of the total weight of structural system causes a decrease in the forces induced by earthquake. Hence, it is understood that the use of lightweight concrete is a good solution in the construction of buildings which are resistant to earthquake. Lightweight concretes are preferred for many advantages compared to normal concrete and used in structures except in construction elements where high strength is required.

Natural pumice lightweight aggregates brought from Nevşehir-Göreme region were used. Pumice, volcanic tuff, and volcanic cinders are the most abundant natural lightweight aggregates in Turkey. Eastern and central Anatolia, especially, have great pumice reserves. It is known that natural lightweight aggregates have lower strengths and endurances compared with artificial ones. In spite of this, it is possible to produce moderate strength semilightweight concrete when lightweight aggregate is combined with normal aggregates. Moreover, structural lightweight and insulating concrete (walls and panels) can be produced if necessary precautions against moisture effects are taken. The use of pumice aggregate in residential constructions at cold weather regions provides good results in thermal insulation and in the reduction of air pollution.

In this study the maximum particle size, the grading and the cement content of concrete were kept constant. Concretes cast were in two different densities, hence effective water content and unit weights were varied. In both mixes, the composition of concrete was kept constant. Concretes that have a certain curing cycle consist of eight series. For all series, the application of the heat treatment, the initial waiting time, heating rate and the cooling rate are two hours; 25 °C/hour and 10 °C/hour, respectively.

In the first group of concretes the heat treatment temperatures were kept at 20 °C, 40 °C, 60 °C, 70 °C and 90 °C. On the other hand, in the second

group concretes the heat treatment temperatures were 20 °C, 50 °C and 80 °C.

In this study after a certain heat treatment is applied, the creep of lightweight concrete has been experimentally measured under variable stresses. A logarithmic creep function is described to represent the creep of concrete under constant stress. The creep behavior of concrete with time varying mechanical properties under variable stresses has been calculated assuming a linear viscoelastic material. Then, the variation of the coefficients of this function with the age of loading are experimentally determined.

The study consists of five parts.

In the first part, an introduction is made to the subject of the investigation, definitions of some relevant terms and properties of lightweight aggregate are given. The influence of the heat treatment on the properties of concrete are explained.

Literature review dealing with the creep function of concrete are given, especially the creep behavior concrete under variable stresses is elaborated and a general evaluation of these works are made.

The second part is devoted to experimental work. The tests carried out on the materials used, the principles assumed, the concrete produced are listed and the main lines of the long term tests carried out on the hardened lightweight concretes are explained.

In the third part, experimental results are given. The results obtained from the short term and long term loadings are tabulated in the tables and are shown in the figures.

In the fourth part, the experimental results are discussed and evaluated. In this part, the variations of both compressive strength and modulus of elasticity with the age of loading are examined. Results obtained reveal that the heat treatment increases the strength of concrete parallel to the applied temperature in the early age of concrete, whereas, strength loss related to control specimens

is observed in the later ages. The same results are obtained between the modulus of elasticity and the age of loading of concrete. Creep experimental results are deeply examined in this part. Then, the shrinkage deformations are discussed and evaluated.

In fifth part, the conclusions are summarized. In this part, an overall evaluation of results obtained is made and suggestions are given for future research.

The conclusions which may be drawn from the present study as follows;

- 1) There was no segregation in fresh lightweight concrete,
- 2) Compressive strength and modulus of elasticity increase at early ages when heat treatment is applied, decrease in potential resistance values are seen in comparison to cured control specimens, in normal environmental conditions. This decrease varies with the unit weight of concrete.
- 3) A logarithmic expression is chosen as the creep function to express the time dependent behavior of concrete under variable stresses. In this creep function as shown below coefficient of (a) shows instantaneous strains, and (b) represents time dependent strains.

$$\epsilon(t) = \sigma_0 \cdot \phi(t)$$

$$\phi(t) = a + b \log_e (t + 1)$$

- 4) In the creep function, the coefficients (a) and (b) both decrease with the age of loading: (b) showing a higher rate of decrease than (a). There is a good correlation between the logarithm of the age of loading and the logarithms of (a) and (b). Thus, the creep function may be expressed in terms of the age of loading and temperature of heat treatment as below.

$$\phi(t, \tau, T) = a(\tau, T) + b(\tau, T) \cdot \log_e (t - \tau + 1)$$

5) Time dependent coefficients (a) and (b) of the logarithmic creep function can be expressed in terms of (k)'s which do not depend on the age of loading. It is also observed that there is a good relation between (k)'s and the temperature of the heat treatment process.

$$a = k_1 \cdot \tau^{k_2} \quad b = k_3 \cdot \tau^{k_4}$$

$$k_1 = k_1(T) \quad , \quad k_2 = k_2(T) \quad , \quad k_3 = k_3(T) \quad , \quad k_4 = k_4(T)$$

(Figs. 4.18, 4.19, 4.20, 4.21).

6) Using these coefficient, (a) and (b) were predicted for a certain heat treatment. To be able to check the heat treatment at 60 °C which are not included in the calculations of the parameters, both experimental and theoretical results show good agreement at this temperature.

t(day)		1	25	53	81	110	140
Experimental .10 ⁻⁶	a	140.62	68.17	57.57	52.33	48.85	46.27
	b	133.43	36.65	27.11	22.86	20.22	18.35
Theoretical .10 ⁻⁶	a	137.24	69.23	64.05	47.83	53.53	41.76
	b	127.85	38.28	29.62	25.63	19.30	15.70

7) At a certain temperature, there is no need to carry out tests for the intermediate ages of loading for the proposed method. Therefore, once the creep function for a certain lightweight concrete is determined its creep under variable stresses can be computed.

The theoretical predictions obtained using the proposed method were found to be in good agreement with the experimental results. Hence, it can be said that, assuming concrete to be linear viscoelastic material under service loads, this will not lead to a significant error.

BÖLÜM 1 - GİRİŞ

Günümüz yapı endüstrisinde hızlı nüfus artışını karşılamak için konut üretiminde prefabrikasyona yönelmiştir. Bu yapı sistemi klasik yapı sistemine göre daha kısa sürede konut yapımına olanak vermektedir. Prefabrikasyonun gerektirdiği hızı sağlayabilmek için beton ve betonarme yapı elemanlarının erken dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Erken dayanımın yükseltilmesi için bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmış ve değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler özetlenecek olursa; beton karışımına kristal çekirdekleri katmak, özel çimentolar kullanmak, priz hızlandırıcı ve akışkanlığı artırıcı katkıları kullanmak ve ısıtma işlem uygulamaktır. Bu yöntemlerin biri veya birkaçı birarada kullanılarak betona erken dayanım kazandırılır. Isıtma işlem yöntemlerinin içerisinde en yaygın olarak kullanılanı atmosferik buhar basıncı altında sıcaklığı artırma yöntemidir. Bu suretle, üretimde en önemli özellikler olan yüksek olma-yan maliyet, kaliteli üretim ve üretilen ürünlerin kısa sürede hizmete sunulması ile teknolojik verimlilik gerçekleştirilmiş olur.

Diğer taraftan, bilindiği gibi normal beton yapı mühendisliğinde çok yaygın uygulama alanı bulan bir malzemedir. Bu beton iyi bir taşıyıcı malzeme olmasına karşın birim ağırlığı dolayısıyla yapı ağırlığı fazla olup yapının ısı iletkenlik ve ses emme katsayıları oldukça yüksektir. Normal betonun birim ağırlığının azaltılmasıyla daha hafif yapı elemanları üretmek mümkündür. Yapı ağırlığının azaltılmasıyla deprem etkilerine karşı daha dayanıklı konutların yapılması gerçekleştirilmiş olur. Ayrıca yapı fiziksel özellikleri (ses emme, ısı yalıtımı gibi) iyileştirilmiş

bir yapı ortaya çıkar [1,2]* .

Yurdumuz hafif agrega doğal kaynakları içerisinde en bol ve en yaygın bulunanı ponza taşı hafif agregasıdır. Bu malzemenin orta ve doğu Anadolu'da oldukça büyük rezervi vardır. Üretiminde fazla bir enerjiye gereksinim göstermesi ve bolca bulunması bu malzemenin hafif beton üretiminde kullanılma olanaklarını artırmakta ve ekonomik yönden değerlendirilmesi sağlanmış olmaktadır. Ponza taşının prefabrikasyonda kullanılmasıyla konut sektöründe enerji tasarrufu yönüyle büyük yararlar sağladığı gibi, ülkemizin deprem kuşağında olduğu düşünüldüğünde ileriki bölümlerde açıklanacağı üzere deprem etkilerine karşı daha dayanıklı yapıların oluşturulmasında olumlu bir çözüm sağlamaktadır. Birçok araştırmada belirlenen bu üstün yararları yanında bazı sakıncaları olmakla birlikte orta sınıf dayanımlı betonlarda kullanılması önerilmektedir [3] .

Betonun ilk yaşlardaki dayanımını artırmak için uygulanan ısıtma işlemi erken yaşlardaki dayanımını artırırken ileri yaşlardaki dayanımını ısıtma işlemi uygulanmamış betonlara kıyasla azaltabileceği birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur [4,5] . Öte yandan ısıtma işlemi uygulamasının hafif betonun sünmesi üzerindeki etkileri tam olarak bilinmemektedir. Bu betonların sürekli yük altında normal betondan farklı bir davranış gösterdiği bilinmektedir. Hafif betonun yaygınlaşmaya başlaması ile birlikte yapı mühendisliğindeki önemide gün geçtikçe artmış ve betonun gerilme - deformasyon bağıntısı üzerine zamanın etkisinin bilinmesi kaçınılmaz bir hal kazanmıştır.

Yapılarda beton genellikle basamaklı değişken sabit yükler altında kalmaktadır. Sünme denilen sabit gerilme altında zamanla meydana gelen deformasyon, yükleme serbest

* Parantez içinde verilen sayılar yayın listesinde sunulan referans numaralarıdır.

halde zamanla oluşan rötre deformasyonundan farklıdır. Bu iki karakteristik beton özelliğinin başta öngerilmeli beton olmak üzere birçok beton ve betonarme yapıda bilinmesi istenmektedir. Bunun bilinmesi ise uzun zamanı gerektirmektedir. Kısa süreli deneylerden farklı olarak burada sonuçların elde edilmesi için geçecek süre üretimi geciktirecek ve için aksamasına neden olacaktır. Bunun için hafif betonların sünme ve rötresinin önceden tahmin edilmesi gereklidir.

Yukarıda anlatılan gerekçelere dayalı olarak, ısı  işlem uygulamasında işlem sıcaklığının bu yöndeki hafif beton özelliklerini ne yönde değiştirdiğini belirlemek üzere bu deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. İki farklı birim ağırlıkta hafif beton üretilerek, değişik iki granülometri-deki beton üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu araştırmada değişken gerilmeler altında, sünme deformasyonları deneysel olarak bulunduktan sonra bulunan sonuçları ifade etmek için logaritmik bir fonksiyon seçilmiş ve bu fonksiyondaki katsayıların yaşla değişimi saptanmıştır. Bu değişim belirlendikten sonra herhangi bir yaştaki betonun yapacağı sünme deformasyonunun işlem sıcaklığına bağlı tahminine çalışılmıştır. Ayrıca bu betonların rötre deformasyonları da bulunmuştur.

Sonuç olarak, uzun süreli yüklemelere maruz betonun toplam deformasyonunun hesaplanmasında, buradan beton ve öngerilmeli beton elemanların boyutlandırılmasında kullanılmak üzere sünme deformasyonlarının bilinmesine yardımcı olur.

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Hafif betonların özellikleri ve prefabrikasyon

Normal beton, konut sektöründe çok yaygın uygulama alanı bulan bir malzeme olmakla birlikte hızlı konut üretiminde istenen ihtiya a yeterince cevap veremediği

bilinmektedir. Yeterli kalite ve uygun maliyetle konut üretmek ancak endüstrileşme ile mümkündür [3,4] .

Daha kısa süre içinde fazla sayıda üretim yapmak olan endüstrileşmenin, makinalaşma, standardizasyon ve prefabrikasyon ile mümkün olabileceği anlaşılmıştır [5] . Makinalaşma, daha az insan gücüne gereksinim gösteren ve kalite kontrolünü sağlayan bir yöntemdir. Standardizasyon, yapı elemanlarının boyutlarını gelişigüzelikten kurtararak bir sisteme bağlanması ile üretimi kolaylaştırarak hem maliyet, hemde kalite yönünden iyileştirilmesidir. Prefabrikasyon, yapı elemanlarını fabrikada üreterek şantiye çalışmalarının bu elemanların montaj çalışması haline dönüştürülmesidir [6] .

Endüstrileşmenin en önemli safhası olan prefabrikasyon geleneksel yapım yöntemlerinden çok farklı olup ileri teknolojinin bir aşaması olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Bu üretim yöntemi ile konut yapımında mevsimin getirdiği olumsuz koşullardan fazla etkilenmeden yapım çalışmaları süreklilik kazanmaktadır. Prefabrikasyonda, üretilen elemanların taşıma sorunu önemli bir maliyeti oluşturmaktadır. Bu harcamaya etki eden faktörlerden biri taşınacak uzaklık ise diğer önemli etken taşınacak elemanın boyut ve ağırlığıdır. Bu maliyetin düşürülmesi ancak aynı hacimdeki elemanın ağırlığını azaltmakla olur. Bu amaçla değişik yöntemlerle gerçekleştirilen prefabrik hafif beton yapı elemanları üretilmektedir. Hafif betonların kullanılması taşıma masraflarını azalttığı gibi inşaat sahası içinde beton elemanların vinç ile taşınabileceği mesafeler artmakta ve bunların yapıda montajı kolaylaşmaktadır.

Hafif betonların prefabrikasyondaki üstünlüklerinin yanında başka üstünlükleri de vardır [7];

a) Ağırlığın azalması ile sabit yükten dolayı oluşan üstünlükler;

— Bina ağırlığı azalarak taşıyıcı elemanların (kiriş, kolon, temel) kesit boyutları küçük yapılabilir.

- Temel maliyeti azalır.
- Betonarme elemanlardaki donatı azalır.
- Kalıp ve iskele yapımı ile takviyesi kolaylaşır, maliyeti azalır.
- Betonun kalıbına taşınması ve yerleştirilmesi kolaylaşır, bu masraflarda ekonomi sağlar.
- Deprem etkilerine karşı güvenliği daha yüksek olup, binada meydana gelecek deformasyonları çatlamadan izler (enerji yutar).
- b) İç yapısının boşluklu olmasından ileri gelen üstünlükler;
 - Isı yalıtım değeri daha yüksektir, enerji tasarrufu sağlar.
 - Sese karşı daha yalıtkan olduğu söylenebilir.
 - Yangına karşı dayanımı normal betona kıyasla daha iyidir.
 - Soğuk iklim bölgelerinde ve özellikle donma-çözülme olayının sık tekrarlandığı bölgelerde don etkisine karşı daha dayanıklıdır.

Hafif betonların, normal betonlara göre sakıncaları;

a) Hafif agregalar, normal agregalar kadar yaygın bulunmadığından, belli yörelerden temin edilen bu agregaların fiyatı daha pahalıdır.

b) Hafif agregaların birim ağırlıklarının düşük olması nedeni ile betonda normal agregalarla birlikte kullanılması halinde taze beton içinde ayrışma olasılıkları daha yüksek olacaktır. Bu da betonun üretim kademelerindeki işlemlere daha çok özen gösterilmesini gerektirir. Yüksek dayanımlı beton elde etme olanağı zayıftır.

d) Neme karşı yalıtım gerektirir.

e) Hafif betonların elastisite modüllerinin düşük olması nedeni ile yük altında fazla deformasyon yaparlar.

f) Aşınmaya karşı dayanımı düşüktür.

g) Düşük çekme dayanımına sahip olduğu için daha fazla kayma donatısına gereksinme olur.

h) Sünme ve rötire değerleri normal betondan daha yüksektir. Fakat çekme dayanımı / basınç dayanımı oranının daha fazla olması dolayısıyla rötire süresince çatlama meydana

gelme olasılığı daha düşüktür.

Hafif betonların sakıncaları yanında faydalarının daha baskın olması nedeniyle özellikle duvar panoları, beton bloklar başta olmak üzere yüksek dayanım gerektirmeyen yapı elemanlarında kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır.

1.1.2. Hafif betonların sınıflandırılması

Betonun birim ağırlığının azaltılması genel olarak üç şekilde yapılır. Bunlar;

- Normal ağırlıklı agregaya yerine boşluklu olan doğal veya yapay hafif agregaların kullanılmasıyla elde edilen hafif beton.
- Beton içinde fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluk oluşturarak üretilen gaz ve köpük betonlar.
- Betonun ince agregasını çıkarmak yoluyla üretilen kumsuz betonlar [1, 7, 8, 9, 10, 11, 12] .

Her üç yöntemle hafif beton üretiminde amaç, beton içinde boşluk oluşturmaktır. Ancak boşluk oluşturma ya harç içinde ya iri agregada daneleri arasında yada agreganın içinde yapılır.

Hafif betonların sınıflandırılması, genellikle birim ağırlık ve dayanım koşuluna göre yapılmaktadır. ASTM C-330-69'a göre birim ağırlığı 1840 kg/m^3 'ü geçmeyen ve silindir basınç dayanımı 17 N/mm^2 'yi aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler [13]. DIN 1045 'e göre ise birim ağırlığı 2000 kg/m^3 'ün altında olan betonlar hafif betondur [14] . Ülkemizde taşıyıcı hafif beton, kuru birim ağırlığı 1900 kg/m^3 den az olan betonlardır. Taşdemir [7] , hafif betonlarla ilgili araştırmalarında, taze beton birim ağırlıklarına göre betonları daha sık aralıkta aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır;

- Hafif betonlar: Birim ağırlık $\leq 1900 \text{ kg/m}^3$

- Yarı hafif betonlar: $1900 \leq \text{Birim ağırlık} < 2100 \text{ kg/m}^3$
- Hafif agregalı normal betonlar: $2100 \leq \text{Birim ağırlık} < 2300 \text{ kg/m}^3$
- Normal betonlar: $\text{Birim ağırlık} \geq 2300 \text{ kg/m}^3$

TS 3234 [15] de ise bimsbeton için alt sınır 1000 kg/m^3 (B40) ve üst sınır 1300 kg/m^3 (B160) olarak verilmekte, TS 2828 Eylül 1986 'da [16] bimsbetondan mamul yapı elemanları için, yapı elemanının tipi, türü ve cinsine bağlı olarak en büyük birim hacim ağırlığı, basınç dayanımının minimum ve ortalama değerleri verilmektedir. Bu değerler boşluklu bloklar, dolu bloklar ve asmolen bloklar için ayrı ayrı belirtilmiştir.

Fonksiyonlarına göre hafif betonlar üç ayrı gruba ayrılmaktadır [1,12];

- a) Yalıtım betonları
- b) Orta dayanımlı betonlar
- c) Taşıyıcı betonlar

Hafif beton üretiminde başvurulan yöntem, betonun kullanımındaki fonksiyonuna göre hafif agregaya ile birim ağırlığı istenen düzeyde tutmaktır.

1.1.3. Hafif agregaların sınıflandırılması ve ülkemizin hafif agregalar yönünden durumu

Hafif beton üretiminde doğal veya yapay olarak elde edilen hafif agregalar kullanılmaktadır. Spratt [17], hafif agregaları oluşumlarına göre genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır;

- a) Doğal hafif agregalar: Ponza taşı, volkanik tuf, volkanik cüruf ve diatomit [18].
- b) Doğal malzemelerle üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, şist, perlit, arduvaz.
- c) Endüstriyel artıklardan oluşan hafif agregalar: Yüksek fırın cürufu, uçucu kül.
- d) Endüstriyel artıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş cüruf, genişletilmiş uçucu kül.
- e) Polimer kökenli malzemeler: Stropor.
- f) Organik malzemeler: Ahşap yongası, hızar talaşı.

Hafif agregalar, birim ağırlıkları bakımından kullanım amacına bağlı olarak şu şekilde sınıflandırılmıştır [7];

Hafif agreganın birim ağırlığı (kg/m ³)	Üretilen beton türü
$\Delta < 400$	Yalıtım betonu
$400 \leq \Delta < 650$	Yalıtım ve taşıyıcı beton
$\Delta \geq 650$	Taşıyıcı beton

Doğal olanlarından ponza taşı hafif agregası orta ve doğu Anadolu'da oldukça büyük rezervi vardır. Bunlarla ilgili geniş araştırma Sükan ve Ermutlu tarafından yapılmıştır [18]. Ponza taşı hafif agregası eski Roma'lılar zamanından beri kullanıldığı bilinmektedir. Yer altında erimiş lavların soğuması sırasında oluşan gazların meydana getirdiği

boşluk nedeniyle agrega boşluklu bir yapıya sahip olur. Farklı geometrik biçimlerde olan bu boşluklar birbirleriyle kısmen bağlantılıdır. Amorf bir yapıya sahip ponza taşı yaklaşık %75 boşluk içermektedir [20, 21, 22, 23] . Bu agregaların iklimi soğuk olan bu yörelerde bulunması enerji tasarrufu yönünden iyi bir çözüm sağladığı gibi, deprem kuşağı içerisinde yer alan bu bölgelerde deprem güvenliği yüksek konutların yapılmasına olanak verir. Ponza taşı hafif agregası ile üretilen betonlar taşıyıcı betonlar olarak kullanılabilmesi gibi ısı ve ses yalıtımı gibi önemli bir fiziksel özelliğe sahip olmasıyla de beton duvar panoları, beton blokları olarakta üretilip kullanılabilir. Ayrıca ponza taşının öğütülmesi ile elde edilen puzolanlar çimentoya ikame maddesi olarak katılabilir ve böylece çimentonun üretim maliyetini kısmen düşürür. Bu malzemenin ülkemizde yaygın olarak kullanımı henüz ileri bir aşamada değildir.

Bu çalışma, ponza taşı agregalı hafif betonun yukarıda belirtilen kullanımındaki olumlu yönleri nedeni ile henüz tam olarak bilinmeyen özelliklerinden yüklü ve yüksüz durumdaki zamana bağlı davranışının bilinmesine katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır. Ülkemizde bu agrega ile yalnız prefabrik duvar blokları ve asmolen bloklar üretilmektedir [22,24] . Yeni imar yönetmeliği gereği dış duvarlarda istenen ısı yalıtımını sağlamak açısından agreganın bu yönde de değerlendirilmesi kullanımını ülkemizde yaygınlaştırmaya başlamıştır. Bu agrega kullanılarak farklı birim ağırlıkta üretilen betonlar, yapının taşıyıcı kısmında yeterli bir dayanımla kullanımının yanı sıra fiziksel özellikleri iyileştirilmiş yapıların yapılmasına da olanak verir. Malzemenin bolca bulunduğu yörelerde kurulacak sanayi tesislerinde prefabrik yapı elemanlarının üretilmesiyle, ısı tasarrufu yönünden büyük yararlar sağlayacaktır [25,26,27,28] .

1.1.4. Betona erken dayanım kazandırma yöntemleri ve atmosferik basınç altında buhar kürü

Beton dayanımının erken kazanması ve servise konulması hızlı endüstrileşmenin bir sonucudur. Çeşitli yöntemler uygulanarak betona erken dayanım kazandırılır [29,30]. Bu yöntemlerle beton borular, kanaletler, duvar elemanlar, beton panolar, öngerilmeli betonarme elemanlar gibi çeşitli yapı elemanları üretilmektedir. Betona erken dayanım kazandırmada kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir [3,29].

- 1) Priz hızlandırıcı ve akışkanlığı arttırıcı katkıları kullanmak.
- 2) Isıl işlem uygulamak (atmosferik basınç altında).
- 3) Yüksek basınç altında sıcaklığı arttırmak.
- 4) Kristal çekirdekleri kullanmak (Jerm metodu).

Bu yöntemlerden en çok kullanılanı doygun buhar ortamında sıcaklığın artırılması olan ısı işlemidir. Yukarıda belirtilen ısı işlem yöntemleri arasındaki teknolojik farklar, uygulama alanlarını ve ekonomik verimliliklerini etkiler. Ancak ısı işlemlerin çimentonun hidratasyon reaksiyonları ve beton özellikleri üzerine gösterdiği etkilerde farklılık yaratmamaktadır. Bu nedenle bu yöntemlerden "Isı işlem" terimi kullanılarak bahsedilecektir [31].

Betona kalıpta ısı işlem uygulaması fiziksel yönden şu şekilde gruplandırılır [32, 33].

- I. Isı transferi ile ısı uygulaması.
 - a) Doygun buhar ile ısı transferi
 - b) Sıcak hava ile ısı transferi.
- II. Kondüksiyon yolu ile ısı transferi.
- III. Işıma yolu ile ısı transferi.

Bu araştırmada, en yaygın olarak kullanılan yöntem esas alınmış ve bu yöntem kullanılmıştır.

Buna göre doygun buhar altında ısı transferi ile dış ısıtma uygulamasıdır. Bu yöntem verilen ad "Atmosferik basınç altında buhar kürü" dür.

Isıl işlemler teknolojilerinden çok uygulama prensiplerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [31, 34] .

I. Betonun yerleştirilmesinden önce ısıtılması.

a) Betonun oluşturan karmasuyu ve/veya agreganın ısıtılması.

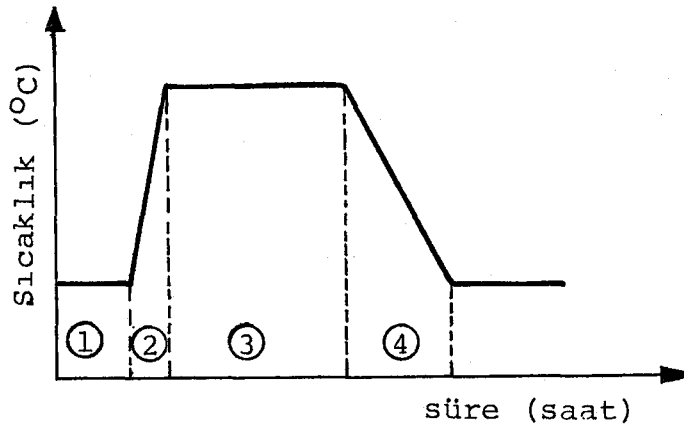
b) Taze betonun ısıtılması.

II. Betonun yerleştirilmesinden sonra elemanın ısıtılması.

a) İç ısıtma.

b) Dış ısıtma (Buhar kürü, sıcak hava, basınçlı buhar kürü, yağ kürü vb.).

Basınçlı buhar kürü dışındaki bütün ısıtma yöntemlerinde sıcaklık 100 °C 'nin altında kalmakta ve elde edilen hidratasyon ürünleride farklı olmamaktadır [30,34,38] . Betonun kalıbına yerleştirilmesinden sonra doygun buhar ortamında uygulanan ısıtma işlemi şekil 1.1 'de görüldüğü gibi aşağıdaki dönemleri içerir [31 , 35, 36, 37]



Şekil 1.1. Isıl işlem çevrimi

1. Ön bekleme dönemi

Üretilen elemanların kalıplanma işleminin tamamlanmasından ısıtmanın başlamasına kadar geçen süredir. Bu dönemin parametreleri sıcaklık ve üretimden sıcaklık başlangıcına kadar geçen süredir.

2. Isıtma dönemi

Elemanların istenen bir hızla belirlenen maksimum sıcaklığa kadar yükseldiği dönemdir. Bu döneme ait parametre sıcaklığın artış hızıdır.

3. İşlem dönemi

Elemanların belirlenen maksimum sıcaklıkta tutulduğu dönemdir. Maksimum sıcaklık (işlem sıcaklığı) ve tutulduğu süre bu dönemin parametreleridir.

4. Soğutma dönemi

Isıtmadaki işlem dönemi sonu erip elemanların istenen bir hızla ortam sıcaklığına indirildiği dönem olup soğutma hızı bu dönemin parametresidir.

5. İşlem sonrası dönem

Elemanların depolandığı ortamdan kullanıma kadar geçen süredeki sıcaklığıdır. Bu dönemde nem ve sıcaklık elemanlara etkiyen parametreleridir.

Betona erken dayanım kazandırma yöntemi uygulanarak;

- Üretime süreklilik kazandırarak, iklim koşullarının getirdiği olumsuz durumlardan kurtulmak,

- Yapıda kalıp alma süresini kısaltarak, kalıbı daha rasyonel şekilde kullanmak,

- Öngerilmeli betonlarda öngerme işleminin daha çabuk uygulanmasını sağlamak.

- Üretilen yapı elemanlarının depolarda bekleme süresini azaltarak, daha küçük depolama alanlarına gereksinim

duymak,

- Beton kalite kontrolünün daha kısa sürede yapılması ve sonuçların alınıp değerlendirilmesine olanak sağlamak mümkündür.

Isıl işlem dönemlerini belirleyen parametrelerin değişimine göre ısıtma işlem çevrimleri üç grupta toplanmıştır [31] ;

1- Hızlı (sert) çevrimler: İşlem sıcaklığı 80-90 °C arasında ve toplam çevrim süresi 6-7 saat olan çevrimler olup günde üç rotasyona olanak verirler. Ön bekleme süresi en fazla 1 saat, ısıtma ve soğutma hızı 30 °C/saat civarındadır.

2- Orta (ılımlı) çevrimler: İşlem sıcaklığı 70-75 °C civarında ve toplam çevrim süresi 9-11 saat olan, günde iki rotasyona olanak sağlayan çevrimlerdir. Ön bekleme süresi 2-3 saat ısıtma ve soğutma hızları 15-20 °C/saat olmaktadır.

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 dolayındadır.

Bazı yayınlarda ise ısıtma işlem çevrimleri, ön bekleme süresi uzun tutulan, düşük ısınma ve soğutma hızları ile düşük işlem sıcaklığında olanlara "ılımlı", kısa ön bekleme süresi, yüksek ısınma ve soğutma hızları ile yüksek işlem sıcaklığında olanlara ise "sert" ısıtma işlem çevrimleri olarak iki gruba ayrılmaktadır [36] .

Isıl işlemin amacı kısa sürede betona dayanım kazandırmaktır. Bunun yanında uzun süredeki özelliklerine yapacağı etki göz ardı edilemez. Özellikle yumuşak çevrimlerden sert çevrimlere geçildikçe ileri yaşlardaki beton özelliklerine ısıtma işlemin yapacağı etki artar. Genellikle bu etki dayanımda bir azalma olarak görülür ve bunun miktarı

uygulanan ısıt işlemin riskini oluşturur. Bu nedenle dayanımdaki bu kaybı asgari seviyede tutmak için beton niteliğine bağlı uygun ısıt işlemler seçilmelidir. Bu seçimde birbirine karşıt istemler olan faktörler arasında (süratli üretim, maliyet, dayanım kaybının azlığı) üretilen elemanın kullanımdaki fonksiyonuna bağlı bir denge kurularak optimum ısıt işlem çevrimi seçilir [29, 31] .

Beton bilindiği gibi çimentonun hidratasyonu ile mukavemet kazanır. Hidratasyon olayına etkiyen bütün faktörler dolayısı ile betonun mukavemetini de aynı şekilde etkiler. Hidratasyon reaksiyonu hızlandıkça buna paralel olarak betonun mukavemet kazanma hızı da yükselir. Bu reaksiyonlardaki artış sıcaklığa bağlı olarak ARRHENIUS denkleminde uygun şekilde gelişir [33] ;

$$K = A \cdot e^{-Q/R \cdot T} \quad (1.1)$$

Burada;

K: Reaksiyon hızı

A: Denklem sabiti

Q: Aktivasyon enerjisi (Kal./mol)

R: Gaz sabiti (1.98 kal./mol °K)

T: Mutlak sıcaklık (°K) dir.

Beton erken yaşlarda sıcaklık etkisiyle mukavemeti hızla artarken ortamın yeterince neme doymun olması da gereklidir. Bunu sağlamak için gerekli ısı atmosfer basıncı altında buhar kürü ile uygulanır. Bu kürleme 100 °C nin altındaki sıcaklıklara uygulanan doymun buhar ortamında yapılan kürlemedir [35] . Isıt işlem sırasında ortam neme doyurulduğundan ve betonda buharlaşma en aza indirildiğinden bu yöntemin diğer yöntemlere göre üstünlükleri vardır. Özellikle bu işlem kalıptan kısmen veya tamamen alınmış beton blok ve boru gibi yapı elemanlarında önem kazanır [30, 39] .

Isıl işlemi etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir [31] ;

1- Malzeme Özellikleri

a) Beton bileşimi

b) Betonun yerleştirme ve sıkıştırma olanakları

2- Yapı elemanının geometrik özellikleri

3- Isıl işlem çevrimi

4- Teknolojik veriler

5- Saklama koşulları

Bunlar arasında en önemli faktörün ısıtma işlem çevrimi olduğu bilinen bir durumdur. Bu çevrimin her parametresi beton özellikleri üzerinde etkin olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte ısıtma işlem, küçük boyutlu elemanlarda daha üniform bir ısınma meydana getireceğinden başarı nisbeti yüksektir. Bu elemanlarda ortam ısısının beton kütesine yayılması daha kolay ve çabuk gerçekleşerek ısınma ve soğutma dönemlerinde beton kütle ısısı ortam ısınına daha yakın izleyecektir. Ayrıca ısının beton içerisinde homogen dağılımından dolayı iç gerilmelerin oluşturduğu çatlamlar nedeni ile mukavemet kaybı azaltılmış olacaktır. Uygulanan ısıtma işlemin başarı derecesi, erken yaşlardaki dayanım artışına karşı ileri yaşlarda dayanımda azalma göstermemesi olarak nitelendirilir [29, 31] .

1.1.5. Betonların sünme ve rötresi ile bunlara etki eden faktörler

Beton zamana bağlı olmayan elastik şekil değiştirmelerden başka, bünyesinde çimento hamurunun bulunması nedeniyle önemli derecede zamana bağlı viskoz davranışlar da gösterir. Bu viskoz davranışlar betonda sünme ve rötire olarak adlandırılır. Sünme denilen olay uygulanan yük altında zamanla artarak oluşan deformasyondur. Rötire ise, betonun kurumakta iken serbest halde yaptığı büzülme şeklinde deformasyondur. Ölçüler bu iki şekil değiştirmenin

toplamını bize vermektedir. Bu nedenle sünme, yük uygulanmış numunenin toplam şekil değiştirmesi ile aynı koşullarda ve aynı yaştaki numunenin rötire şekil değiştirmesi arasındaki fark olarak kabul edilir. Ancak gerçekte sünme ile rötrenin birbirinden ayrılması çok güçtür. Zaten uygulamada mühendis için önemli olan, belirli bir gerilme altında ani deformasyondan sonra betonun belli bir süre sonunda yapmış olduğu toplam deformasyondur ki, buda rötire ile sünmenin toplamından ibarettir. Bu konuda araştırmacıların çoğunlukla benimsediği, rötreyi sünmeden ayırmaksızın birlikte ifade etmek gerekliliğidir (rötireli sünme). Bu çalışmada da aynı görüş esas alınarak olaya kısaca "sünme" adı verilecektir. Ayrıca yüksüz olarak betonun yapacağı rötire belirlenecektir.

Beton oda sıcaklığında sünme yapabilen bir malzemedir. Bu özellik betonun iç yapısından kaynaklanmaktadır. Betonun içinde devamlı olarak gelişme halinde bulunan ve viskoz bir karektere sahip bağlayıcı madde hamurunun yer alması böyle bir durumu meydana getirmektedir. Betonun sünmesine etki eden faktörler bilinmekte ise de bunların karşılıklı etkileşimleri ve etki dereceleri tam olarak belirlenmiş değildir. Beton yapısının çok karmaşık olması ve karakteristiklerinin zamanla değişmesi bu konudaki incelemeyi güçleştirmektedir [40].

Beton iç yapı olarak agrega ve çimento hamurundan meydana gelen iki fazlı bir kompozit malzemedir. Çimento, agrega danelerini birarada tutan bağlayıcı malzeme olup betonun zamana bağlı deformasyon yapmasına sebep olan fazdır. Agrega daneleri bu deformasyona katılmadıkları gibi aksi yönde frenlemeye çalışırlar.

Betonların sünmesine etki eden faktörler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir

- a) Betonun bileşimi
- b) Kür koşulları
- c) Yükleme yaşı

- d) Ortam koşulları (sıcaklık ve nem)
- e) Beton elemanının boyutu
- f) Uygulanan gerilme
- g) Zaman

a) Betonun bileşimi

Daha Öncede belirtildiği gibi sünme betonun viskoz karakterinden kaynaklanan bir durumdur. Bu karakteri oluşturan beton içindeki çimento hamurudur. Çimentonun cinsi, miktarı ve özellikleri bu deformasyonu etkileyen ve belirleyen en önemli bir parametredir. Bununla birlikte beton içinde çimentonun yaptığı sünmeyi frenlemeye çalışan diğer bir parametre agregadır. Burada da agregada danelerinin rijitliği, granülometrisi, bileşimdeki miktarı ve bu miktar içindeki iri agregada yüzdesi sünmeyi etkileyen agregada özellikleridir. Bunlardan agregada miktarı, rijitliği ve iri agregada yüzdesi arttıkça sünme daha az değer alır. Beton bileşim elemanlarından karma suyu miktarı arttıkça betonun viskoz karakteri gelişerek sünmenin büyük değer almasına neden olur. Yapılan birçok araştırmada sünme üzerinde su ve çimento miktarlarını ayrı ayrı düşünmek yerine su/çimento oranının etkisinin daha belirgin olduğu ve sünmenin bu oranın karesiyle orantılı olarak arttığı belirtilmektedir. Benzer şekilde bazı araştırmacılar sünmeyi beton bileşimine bağlı olarak farklı bağıntılar kullanarak ifade etmişlerdir [41,42,43] .

b) Kür koşulları

Beton üretildikten deneye alınacağı ana kadar geçen süre içerisinde tutulduğu ortam koşulları (kür koşulları) betonun sünmesi üzerinde çok etkin bir rol oynar. Taze betonun saklandığı ortamın sıcaklık derecesi ve rutubeti betonun kısa ve uzun süredeki özelliklerine önemli etki yaparak belirgin değişikliğe uğratar. Isıl işlem uygulaması betona kısa sürede dayanım kazandırdığı gibi sünmesinide %50 ye varan oranda azaltabilmektedir [29] . Sünmeyi etkileyen önemli faktör yükleme yapıldığı zamanda betonda

bulunan bağıl suyun miktarıdır. Bu suyun fazla miktarda bulunması halinde betonun yapacağı sünme ve rötrede fazla olur. Cook, Browne ve Blundell'in [44, 45] bu konuda yaptığı çalışmalarda betonun yüklemeye evvel tutulduğu kür koşullarının sünme üzerindeki etkilerinin değişim derecelerini incelemişlerdir. Tamamen kurutulmuş betonlar az sünme yaparlar. Fakat ısıtma işlem uygulaması yapılarak kurutulmuş betonların işlem sıcaklıklarının sünme üzerindeki etkileri henüz tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada hafif betonlarda ısıtma işlem uygulamasının sünme üzerindeki etkileri incelenmiştir.

c) Yükleme yaşı

Betonun yüklendiği andaki yaşının sünme üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu etki beton yaşının belli bir değerine kadar azalarak devam eder. Bu değer aşıldınca etki önemini kaybeder. Bir σ gerilmesi uygulandığında beton yaşı ne kadar küçükse sünme hızı o kadar fazladır. Bunun nedeni, erken yaştaki betonun rijitliği ileri yaştaki beton rijitliğine kıyasla daha az olmasındandır. Yani uygulanan σ gerilmesi sabit kalırken f_c basınç dayanımı, gelişen çimento hidratasyonu ile birlikte artacağından σ/f_c oranı zamanla azalma gösterecektir. Bu bakımdan uygulanan σ gerilmesi yerine σ/f_c oranını kullanmak daha gerçekçi olacaktır. Betonun en son sünme değeri üzerine ilk yükleme esnasında beton yaşının önemli etkisi vardır. Beton yaşı ne kadar küçükse en son sünme değeri de o kadar fazla olur [41].

d) Ortam koşulları

Beton servise alınıp yükleme yapıldıktan sonra ortamın iki karakteristik özelliği olan sıcaklık ve rutubetin beton özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Bu konuda yapılan birçok araştırmada rutubeti düşük ve sıcaklığı yüksek ortamda yüklemeye maruz bırakılan betonlarda sünmenin büyük değerler aldığı belirtilmektedir [45,46]. Beton içindeki suyun hareketini kolaylaştıran ortam koşulları

betonun sünme ve rötresini artış yönünde etkiler. Betonun viskozitesini artıran sıcaklık belli bir dereceye kadar sünmeyi artırırsada bu kritik değerin (70-95 °C) üzerinde betonda oluşan çekme gerilmeleri nedeniyle sünmede bir azalma görülür. Sünme deneyleri sabit ortam koşullarında yapılır. Beton sünmesine etki eden karakteristiklerin etkime dereceleri incelenirken ortamın bu belirleyici etkisi düşünülerek deney süresince aynı ortam koşulları muhafaza edilerek incelenmelidir [40].

e) Beton elemanının boyutu

Buharlaşmayı kolaylaştıran her etken betonun viskoz özelliğini de artırır. Betonun hava ile temas eden yüzeyi ne kadar büyükse buharlaşmanın o denli kolay olacağı ve bu durumda rötire ve sünmenin büyük değerlere ulaşacağı bir gerçektir. Yüzey alanının bu etkisi hacim / yüzey oranı ile belirtilmektedir. Buradan anlaşılabileceği üzere belirtilen oran arttıkça sünme bir azalma gösterecektir. Yani boyut ve kesitçe küçük elemanlarda suyun beton içerisinden buharlaşması kolaylaşarak sünme daha büyük değerler kazanır [47]. Yapılan çeşitli araştırmalarda boyutun belli bir değerinden sonra bu etki önemini kaybetmektedir. TS 500 'de eleman uzunluğunun 60 cm'den büyük olması halinde kesit boyutunun sünme üzerindeki etkisi kalmadığı kabul edilmektedir. Kuru havada saklanan betonlarda sünmenin nmune boyutlarına bağlılığı daha duyarlıdır.

f) Uygulanan gerilme

Belirli bir süre sonunda betonun yapmış olduğu sünme, uygulanan gerilmenin değerine bağlı olacağı bilinen bir durumdur. Gerilmenin belli bir sınırına kadar sünme ile orantılı olacağı yapılan birçok çalışmada ortaya konmuştur. Gerilme ile sünmenin orantılılığını gösteren bu sınır ($0,30 f_c - 0,70 f_c$) arasında değişebileceği ifade edilmiştir [41,48]. Burada f_c betonun gerilme uygulandığı andaki basınç dayanımıdır. Sünmede Hooke kanunu adı verilen ve gerilme ile sünmenin orantılılığını ifade eden denklem aşağıda verilmiştir;

$$\epsilon_s = \frac{\sigma}{E} \quad (1.2)$$

Burada E, gerilmenin uygulandığı andaki betonun elastisite modülü, σ uygulanan gerilme, ϵ_s ise sünme deformasyonudur. Gerilmenin sünmeye olan etkisinin yanında bir diğer husus yükleme yapıldığı anda betonun sahip olduğu basınç dayanımıdır. Dayanımları farklı olan betonlara aynı gerilme uygulansa bile yapacakları sünme farklı olacaktır. Dayanımı yüksek betonun sünmesi daha azdır. Bu yönüyle yüklemdeki gerilme yerine σ/f_c değişkeni cinsinden ifade edilmesinin daha uygun olacağı ve uygulanan gerilmenin tek başına sünme üzerinde belirleyici etken olamayacağı sonucuna varılmıştır [48].

g) Zamanın etkisi

Gerilme beton üzerinde sabit tutulurken sünme zamanla bir artış göstermektedir. Sünmenin artış hızı zaman ilerledikçe azalmaktadır. Yapılan çalışmalarda sünmedeki artışla zaman arasında bu ilişkiyi gösteren birçok matematiksel bağıntılar ileri sürülmüştür. Ayrıca bununla ilgili betonun viskoz karakterini yansıtan reolojik modellerden de yararlanılmış ve daha kısa sürede sonuç alınmasına olanak veren bu modeller yardımıyla sünmenin tahminine çalışılmıştır [41, 49, 50, 51]. Beton karakterlerine uygun olarak geliştirilen bu bağıntı ve modellerde sünme deformasyonu ile zaman arasında kurulan iyi bir korelasyonla betonun yükleme yaşına da bağlı olarak herhangi bir zamanda meydana gelen sünme deformasyonunun deneysel sonuçlara yakın kestirilmesi olanak dahilindedir.

Yapılan çalışmalarda betonun davranışı, zamanın fonksiyonu olarak değişik formlarda ifade edilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olanları etkin modül, sünme hızı ve süperpozisyon yöntemleridir [41, 49].

1.2. Konu ile ilgili Çalışmalar

1.2.1. Atmosferik basınç altında buhar kürünün hafif betonlara etkisi

Değişik ısı işlem çevrimlerinin normal betonlara etkisi çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir [52, 53, 54, 55, 56, 57] . Buna karşılık hafif betonlarla ilgili çok az sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda daha ziyade hafif betonların kısa süreli davranışlarına etkileri ele alınmıştır. Uzun süreli davranışı üzerindeki etkilerine ait çalışmalar sınırlı sayıda kalmaktadır. Araştırmalar genellikle genleştirilmiş kil hafif agregalı ve tek birim ağırlıktaki hafif betonlar üzerinde yapılmıştır. Konu ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Reinsdorf [58] , hafif betonlarda ısı işlem çevrim parametrelerinin beton yapı elemanlarına göre değişimini inceleyerek bazı sonuçlara varmıştır; bunlardan işlem sıcaklığının portland çimentosu kullanılması halinde 75°C , cüruf çimentosu kullanılması halinde ise 90°C ye kadar ısı işlem uygulamasının beton özelliklerine uygunluk göstereceği belirtilmiştir. Sonuçta ısı işlem uygulamasında normal ve hafif betonlar için çevrim parametrelerinin sınırlarını vermiştir. Buna göre hafif betonlarda ön bekleme süresinin minimum 1 saat, ısınma hızı maksimum 33°C/saat ve işlem sıcaklığının başta açıklandığı gibi $77-82^{\circ}\text{C}$ arasında olmasını önermektedir.

Hanson [59] , hafif betonlarla ilgili geniş araştırmalarında taze birim ağırlığı 1585 kg/m^3 olan silindirik hafif betonlar üretmiş, ısı işlem çevrim parametrelerinin her birisini belli aralıklarda değiştirerek ısı işlem uygulamış ve kürün bitiminden sonra 7 ve 28 günlük basınç deneyi, 18 saat ve 28 günlük elastisite modülü tayini ile yarma-çekme deneyleri yapmıştır. Bulduğu sonuçlara göre yüksek üretimli prekast plentlerinde ön bekleme süresini 3-5 saat, ısınma hızını 22°C/saat ve maksimum sıcaklığı 66°C ve ilerisinde almanın maksimum dayanım için olumlu sonuç vereceğini belirtmiştir.

Short ve Kinnburgh [60] , yaptıkları bir çalışmada atmosferik basınç altında buhar kürünü 60-80 °C sınırları arasında uygulamanın, ön bekleme süresinin 3 saat civarında olmasını gerektireceğini, ortam sıcaklığını geriden ısıtılan betonun sıcaklığının 70-80 °C de bir denge sıcaklığına erişildiğinde buharın kesilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Sonuçta buharın kesilmesi ile sıcaklığın 3-5 saat civarında düşeceği ve ıslanma periyodunun ise 16 saat süreceği öne sürülmüştür.

Uluslararası Beton Komitesi (CEB) ve Uluslararası Öngerilmeli Beton Birliğinin hazırladığı hafif agregalı beton yayınında [61] , hafif betonların daha düşük ısı kapasitesi ve daha büyük ısı yalıtım özelliğinden dolayı, normal betonlara kıyasla daha etkin buhar kürü uygulanabileceği belirtilmiştir.

Soroka ve Jaegerman [62] , cüruf hafif agregalı hafif betonlarda ısıtılma işlem çevrimi olarak, 1 saat ön bekleme süresinden sonra 60 °C de 3-5 saat ve 80 °C de 2-4. saat kürleme uygulamıştır. Bulduğu sonuçları normal betonla kıyaslayarak incelemiştir. Buhar kürünün rötreyi her iki betonda azalttığını, hafif betonun rötresinin normal betona göre daha yüksek olduğunu öne sürmüştür.

Karagüler [3] , ısıtılma işlem parametrelerinin hafif betonun kısa süreli özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada vardığı sonuçları şu şekilde özetlemiştir; Ön bekleme süresinin 7 saat olması durumunda 28.ci günde en yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Buna karşılık 4 saatlik ön bekleme süresi 28.ci günde basınç dayanımında ve ultrases hızında en az etkili olmuştur. Isınma hızının 25 °C/saat olmasıyla, özellikle 28.ci günde maksimum basınç ve eğilme dayanımları elde edilirken, elastisite modülleri 10 °C/saat ısınma hızı için maksimum olmaktadır. İşlem sıcaklığının 90 °C civarında basınç dayanımını maksimum yaparken, eğilme dayanımları ile elastisite modülleri 28.ci günde 50 °C için maksimum olmaktadır.

Karagüler'in kısa süreli yüklemelerdeki beton özellikleri ile ilgili yaptığı bu çalışmada ve bir başka çalışmasında [63], hafif beton üretiminde kullandığı ponza taşı ile bu çalışmada kullanılan ponza taşı aynı yöreden alınmıştır. Bu çalışma ve anılan diğer iki çalışma aynı ponza taşı ile üretilen hafif betonların farklı yönlerden incelenmesi bakımından birbirini tamamlar niteliktedir.

1.2.2. Betonun sünme ve rötresi

Betonlarda sünme ile ilk olarak 1905 yılında Woolson ilgilenmiş, bunu 1907'de Hatt'ın araştırmaları izlemiş, 1914'de Fereyssinet şantiyede yaptığı deneylerle bu konudaki çalışmalara önemli bir yön vermiştir. Özellikle 1950 den sonra konu ile ilgili çalışmalar yoğunluk kazanmış ve önemli bilgiler elde edilmiştir. Sünme dayanımı ile ilgili Coutinho tarafından ileri sürülen bir çalışmaya göre, sünme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık 0.95 katı değer almakta ve kırılma 1-2 saat içerisinde gerçekleşmektedir. Sünme dayanımı ile kırılma süreleri arasındaki farkın betonların değişik ortamlarda saklanmasından ileri geldiği belirtilmektedir [64].

Betonun sünmesi reolojik bir model olarak 1933'de Birgham ve Reiner tarafından ele alınmıştır. 1950'de Flügge ve yine aynı tarihte Fneudenttal betondaki sünme ve rölaksasyon olaylarını incelemişlerdir. 1959'da Neville farklı çimento harçlarında gecikmiş elastik şekil değiştirmeyi, Glucklich 1959'da düşük gerilme seviyelerinde sertleşmiş çimento hamurunun reolojik davranışını incelemişlerdir. 1960'da Hansen çimento hamurunun hacim konsantrasyonu, jelin yoğunluğu ve sünme arasında bir bağıntı geliştirmiş, betonun sünme davranışını ifade eden bir model önermiştir. 1975'de Brooks ve Neville kısa süreli deneylerden uzun süreli sünme ve rötrenin tahmini üzerinde araştırma yapmışlardır [41].

Hafif ve normal betonlarda sünmeyi zamanın bir fonksiyonu olarak inceleyen birçok araştırmacı, bu konuda matematiksel bazı bağıntılar ileri sürmüşlerdir [65, 66, 67, 68]. Verilen bu bağıntılarda betonun viskoelastik bir davranış biçimi gösterdiğini ortaya koyarak deneysel sonuçları matematiksel bazı bağıntılarla tanımlamışlardır.

Theurer [69], sıcaklığın sünme üzerindeki etkilerini araştırarak, bu etkilerin gerekçelerini belirtmiştir. Aynı konuda England ve Ross [70], da benzer bir çalışma ile önceki yapılan çalışmaya uygunluk gösteren bilgiler vererek sıcaklığın etkisini açık olarak ortaya koymuşlardır.

Ghosh [71], çimento hamuru üzerinde sabit bir ortamda yaptığı sünme deneylerinde, bir kısım numunelerin yüzeylerine özel bir madde sürerek tıkamış, diğerlerine böyle bir işlem yapmamıştır. Bu şekilde elde ettiği numunelere aynı σ/f_c oranında kalarak değişik yaşlarda yükleme yapmış ve bulduğu sünme değerleri ile numunenin yaşının logaritmasını karşılaştırmış ve iyi bir korelasyonun var olduğunu öne sürmüştür. Burada çimento hamurunda her yükleme yaşı için logaritmik sünme fonksiyonu bağıntısının betonla aynı olduğu sonucuna varmıştır.

Browne ve Blundell [45], yaptıkları deneysel çalışmada sürekli ısı ve yük altında uzun süreli nükleer güç istasyonlarında kullanılacak betonlar üzerinde meydana gelecek sünme ve rötreyi saptayabilmek için deneyler yapmışlardır. Çok uzun süreli tutulan bu deneylerde sabit bir rutubet altında 25 ila 95 °C sıcaklıklar arasında, 7 ila 400 günlük sürelerle yüklenen betonlarda meydana gelen sünme deformasyonlarının, zaman ve deformasyon ilişkisinde lineer logaritmik bir grafik çizdiğini belirtmişlerdir. Bu ilişkinin ileri zamanlarda daha iyi bir korelasyonla devam ettiğini belirten araştırmacılar yüksüz durumda meydana gelen rötreye deformasyonlarının çok küçük olduğunu öne sürerek bunun hesaplarda ayrıca dikkate alınmadığını ifade etmişlerdir. Elde ettikleri sünme deformasyonlarını

sıcaklık ve zamana bağılı olarak logaritmik bir sünme fonksiyonu ile kuramsallaştırdıktan sonra diğer bazı sonuçlarla karşılaştırmalarını yapmışlardır.

Zdenek ve Bazant [73] , sünme ile ilgili yaptıkları incelemede sünme parametrelerini ortaya koyarak bu parametrelerin (gerilme, beton yaşı, zaman, rutubet ve sıcaklık) önceden bilinen matematiksel bir bağıntıya uyarlamasını yapmışlardır. Ele aldıkları bu bağıntıyı kullanarak birim sünme fonksiyonunu değişik formlarda ifade etmişlerdir. Geliştirdikleri bu bağıntıyı bazı deney sonuçlarına uygulamışlar ve elde ettikleri bulguları diğer matematiksel bağıntıların sonuçları ile karşılaştırma yaparak iyi bir yaklaşımda bulunduklarını öne sürmüşlerdir.

Schwesinger ve arkadaşları [74] , doygun atmosferik buhar basıncı altında ve 130 °C sıcaklığa kadar, değişik ortamlardaki betonun sünmesini incelemişlerdir. Deneylerden elde ettikleri sonuçları daha önce bilinen test sonuçlarına uyum sağladığını öne sürmüşlerdir. Değişik rutubet ortamlarında belli aralıklarla havada ve/veya suda kür ettikleri betonlara 28 ve 365.ci günlerde farklı sıcaklık ortamlarında sabit yükleme yaparak deformasyonları bulmuşlardır. Elde ettikleri deformasyonların sıcaklığa bağlı değişiminin daha önce bilinen sonuçların derecelerine göre dağıldığını ifade etmişlerdir. Sonuçların tartışmaya açık olduğunu belirten araştırmacılar, buhara doygun koşullar altında, kapalı bir ortamda ve 130 °C sıcaklıktaki betonun sünmesinin, normal atmosfer koşullarında ve açık bir ortamda 20 °C sıcaklıktaki betonun sünmesinden 10 kat daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Aroutiounlan [75] , 1957 de normal betonların sünmesi ile ilgili muhtelif araştırmacıların deney sonuçlarını kullanarak betonun yükleme yaşına bağılı ve yatay asimtotu olan bir sünme fonksiyonu önermiştir.

Bazant ve Kim [43] , birtakım parametreler kullanarak betonun nonlinear sünmesini incelemişlerdir. Yine Bazant ve arkadaşları [76] tarafından betonun sünmesi ile ilgili daha karmaşık olan integral tipi bir bağıntı kullanmışlardır.

Akyüz ve Taşdemir [78] , başka çalışmacıların deney sonuçlarından yararlanarak yaptıkları bir incelemede değişken gerilmeler altındaki betonun sünmesinin oldukça iyi bir yaklaşımla tahmin edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Bu yazarlar aynı yöntemi bu kez hafif betonlara uygulamışlar ve yine tatminkar sonuçlar almışlardır [79] .

Marechal [46] , ısrının betonların sünmesi üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışmasında, bulduğu sonuçları zamanın logaritması cinsinden bir grafikte göstererek sünme ile $\log t$ arasında lineer bir bağıntının varlığını öne sürmüştür. Bu ilişkiye göre logaritmik sünme fonksiyonundaki "b" katsayısı 105 °C den küçük sıcaklıklarda kurutulmuş ve kurutulmamış betonlarda birbirinden bir hayli farklı değerler aldığını belirtmiştir. Araştırmacı kurutulmamış betonlarda "b" katsayısı evvela sıcaklık derecesi ile artarken bir maksimumdan geçtikten sonra azaldığını ifade etmiştir. Kurutulmuş betonlarda ise bu katsayının sıcaklıkla birlikte devamlı bir artış gösterdiği sonucuna varmıştır.

1.3. Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi

Hem doğada bulunan hemde yapay olarak üretilen hafif agregaların hafif beton üretiminde kullanılmaya başlaması ülkemiz için oldukça yenidir. Hafif beton, normal betona göre prefabrikasyon ve hızlı konut üretiminde daha etkin bir malzeme olması ve bunların sağladığı yararlar paragraf 1.1.1 'de açıklanmıştı. Bunlardan yurdumuzda doğal olarak kullanıma uygun, ençok bulunanı ponza taşı hafif agregasıdır.

Hızlı üretimi temin için, betona erken dayanım kazandırma yöntemlerinin uygulandığı birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuş ve bu konuda yapılan çalışmalardan görülmüştürki, belirlenen yöntemlerin içerisinde etkinlik, ekonomik olma ve kolay uygulanabilme açılarından dolayı en yaygın uygulanan ısıtıl işlem atmosferik basınç altında buhar kürü yöntemidir. Isıtıl işlemin betonun erken dayanımını yükseltirken, ileri yaşlardaki dayanımını ısıtıl işlem görmemiş betona kıyasla azaltabileceği bazı araştırmacılar tarafından betonun kısa süreli yüklemeler altındaki davranışına etkileri incelenerek belirtilmiştir. Fakat uzun süreli yüklemeler altındaki davranışı ile ilgili bilgi yetersizdir.

Ponza taşı ile üretilen hafif betonların kısa süreli özellikleri ile ilgili, Taşdemir [7] normal kür koşullarında, Karagüler [3] ısıtıl işlem uygulanmış olarak hafif betonların davranışlarını belirleyen çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada ise aynı yöreden temin edilen ponza taşı ile üretilen yukarıda anılan çalışmaların bir devamı sayılabilecek, aynı betonlara ısıtıl işlem uygulanarak değişken yüklemeler altında zamana bağlı davranışlarının işlem sıcaklığı ile değişimi incelenmiştir. Deneysel çalışmaların uzun sürmesi bu konuda sonuçların alınmasını zorlaştırmakta ve yapılacak işi geciktirmektedir. Bazı durumlarda betonun davranışını (sünme ve rötresini) önceden

tahmin etmek gerekebilir. Bunun iyi bir yaklaşımla tahmin edilebilmesi için bu betonlar üzerinde önceden yapılmış deneysel çalışmalardan yola çıkılarak elde edilen bazı bağıntılardan faydalanılır. Bu bağıntılar yardımı ile betonun sünmesi deneysel çalışma yapılmadan kestirilebilir. Uzun süreli yüklemeler altında hafif betonların davranış biçimlerini içeren çalışmalar çok kısıtlı sayıdadır. Özellikle ısıtma işlem görmüş hafif betonların değişken gerilmeler altındaki davranışı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olması bu konuda yapılacak çalışmanın orijinalliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, belirtilen nedenlerden sünme deformasyonları ısıtma işlem uygulaması altında araştırılmıştır. Araştırma iki farklı birim ağırlıktaki hafif beton sınıfında yapılmış olup farklı işlem sıcaklıklarında değişken gerilmeler altında betonun yapacağı deformasyonlar deneysel olarak bulunmuştur. Daha sonra bu sonuçlara uygunluk gösteren logaritmik bir sünme fonksiyonu seçilerek, fonksiyona ait denklem sabitlerinin işlem sıcaklığına ve yükleme yaşına bağlı değişimi incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı olarak, işlem sıcaklığı ile deformasyon arasında kurulan sistematik ilişki sayesinde herhangi bir sıcaklıkta işlem görmüş hafif betonun değişken gerilmeler altında ani deformasyonunun ve sünmesinin yükleme yaşına bağlı olarak tahminine olanak sağlanmış olmaktadır.

1.4. Araştırmanın Kapsamı

Deneyisel çalışma, iki farklı birim ağırlıktaki hafif beton üzerinde yapılmıştır. Bunlardan 1.Grup hafif betondan 5 seri, 2.Grup hafif betondan ise 3 seri olmak üzere toplam 8 seri beton üretilmiştir. Her iki grup betonda agrega cinsi, çimento cinsi, etkin su/çimento oranı aynı tutulmuştur. Araştırma, önce birim ağırlığı hafif betonun üst sınırına yakın olan beton üzerinde yapılmış, değerlendirmenin daha sağlıklı yapılması bakımından bu kez birim ağırlığı daha düşük olmak üzere ikinci bir hafif beton üzerinde yapılmıştır.

Betonlara uygulanan ısı işlem çevrimlerinde ön bekleme süresi 2 saat, ısınma hızı 25 °C/saat, soğutma hızı 10 °C/saat ve toplam çevrim süresi 22 saat olarak hepsinde sabit tutulmuş, ısı işlem çevrimlerinden yalnız işlem sıcaklığı değişken alınarak, araştırma bu yöndeki değişime göre yapılmıştır. 1.Grup beton serilerinde seçilen işlem sıcaklıkları 40 °C, 60 °C, 70 °C ve 95 °C olarak, 2.Grup beton serilerinde ise 50 °C ve 80 °C olarak belirlenmiştir. 1.ci Grup hafif betonlarda deney sonuçları seçilen sünme fonksiyonuna uygulanırken işlem sıcaklığı ile fonksiyon sabitleri arasında kurulan ilişkide 60 °C de işlem görmüş beton bu ilişkinin dışında tutulmuş ve yalnız hesap ve deney sonuçlarının kontrolü amacıyla kullanılmıştır.

Prizmatik beton numunelerine değişik yaşlarda basınç dayanımının 1/3 ünün altında kalmak üzere yükleme yapılmıştır. Basamaklı yüklemelerin (değişken gerilme) yapıldığı yaşlarda betonun basınç dayanımı ile elastisite modülü silindirik numunelerden yararlanılarak bulunmuştur. Yine röt-re için prizmatik numunelerden yararlanılmıştır. Sünme deneylerindeki okumalar 1.Grup beton serilerinde 200 gün, 2.Grup beton serilerinde ise 150 gün süre ile yapılmıştır.

Deneylerin uygulamasındaki ayrıntılı bilgiler ve sonuçların değerlendirilmesi ileriki bölümlerde sunulmuştur.

BÖLÜM 2 - DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri

2.1.1. Kum

Üretilen tüm beton serilerinde 2 mm 'nin altında kalan kısımda riva kumu kullanılmıştır. Bu kum üzerinde yapılan granülometri, özgül ağırlık, 24 saatlik su emme, gevşek birim ağırlık deney sonuçları Tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kumun Özellikleri

Kum cinsi	Elekten geçen kum % si				Özgül ağırlık (kg/m ³)	Su emme (%)	Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)	
	Elekt boyutu (mm)	0.25	0.50	1.00				2.00
Riva kumu		15	67	85	100	2630	0.65	1570

Yapılan deneyde kum içerisinde organik madde mevcut olmadığı, çamurlu madde miktarının görünen hacimce % 0.5 oranında olduğu görülmüştür.

2.1.2. Kırmataş

Kullanılan kırmataşlar 16/25 mm arasında olup, yalnız 1. Grup hafif beton üretiminde kullanılmıştır. Agreg-açimen-to hamuru arasındaki aderansı artırmak ve karışım da aynı homogenliği sağlamak amacıyla kırmataşlar yıkanıp kurutulmuştur. Bunların özgül ağırlıkları 2700 kg/m³, gevşek birim ağırlıkları 1450 kg/m³, 24 saatlik su emmesi %0.4 oranındadır.

2.1.3. Ponza taşı hafif agregası

Bu çalışmada hafif agregası olarak Nevşehir-Göreme yöresinden getirilen ponza taşı hafif agregaları kullanılmıştır. Bu agregalar, önce suda yüzdürülerek su üzerinde kalanları alıp, dibe çökenleri atılmış ve böylece hafif olmayan kısımların atılmasıyla kullanılan fraksiyonlar arasında homojenlik sağlanmıştır. Beton üretiminde kullanılmak üzere su üstünde kalanlar alınıp kurutulmuş, arkasından elenerek dane boyutlarına göre 2/4, 4/8, 8/16 mm 'lik üç gruba ayrılmıştır. Tablo 2.2. de su üstünde yüzen bu hafif agregalara ilişkin değerler gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Ponza taşı agregalarının deney sonuçları

Hafif agregası bölümü (mm)	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)		Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)	Kuru ağırlığa göre su emme % si		
	Fırın kurusu	Suya doygun		30 dak	24 saat	3 gün
2/4	770	950	440	20.5	29.5	35
4/8	760	910	430	18.5	25	32
8/16	745	895	410	16.7	24.5	31.5

Özgül ağırlık için ponza taşı öğütülmüş toz haline getirilerek 90 μ luk elekten elenmiştir. Daha sonra 105 °C de değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş, sıvısı benzin olan bir piknometrede özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. Buradan özgül ağırlık 2250 kg/m³ olarak bulunmuştur. Birim hacim ağırlık değerleri yukarıda verilmekle birlikte, hafif agregaların deney süresi içerisinde saklandığı ortam içerisinde saptanan doğal rutubetlerinin 2/4 mm de % 4.3, 4/8 mm de % 4.10 ve 8/16 mm de % 4.8 olduğu göz önüne alınarak hava kurusu birim hacim ağırlıklarının 2/4, 4/8 ve 8/16 mm dane grubu için sırası ile 890, 870 ve 860 kg/m³ olarak bulunmuştur.

2.1.4. Çimento

Bütün betonlarda Pınarhisar çimento fabrikasının ürünü olan PÇ. 325 çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun TS 24'e göre bulunan fiziksel ve mekanik özellikleri TS 19 da PÇ 325 normal portland çimentosu için istenilen değerleri sağlamaktadır. Bu özellikler aşağıda verilmiştir.

Fiziksel Özellikler

Blaine özgül yüzeyi	: 2800 cm ² /gr
4700 delikli elekte kalan	: % 6
950 delikli elekte kalan	: % 0.8
Özgül ağırlık	: 2.98 gr/cm ³
Normal kıvam suyu	: % 26
Priz başlangıcı	: 2 saat 20 dakika
Priz sonu	: 3 saat 35 dakika
Le Châtelier iğnelerinin toplam açılması	: 5 mm

Mekanik Özellikler (Rilem - Cembureau yöntemi ile)

	<u>7 günlük</u>	<u>28 günlük</u>
Basınç dayanımı (N/mm ²)	20.8	32.6
Eğilme-Çekme dayanımı (N/mm ²)	4.6	6.2

2.2. Beton Karışımları

2.2.1. En büyük dane boyutu

Bütün beton üretiminde 2 farklı en büyük agrega boyutu kullanılmıştır. Birinci grup birim ağırlıktaki hafif betonda en büyük agrega boyutu 25 mm, diğer granülometri-deki hafif betonda ise 16 mm seçilmiştir. Genellikle hafif agregalı betonlarda en büyük agrega boyutunun 25 mm 'yi geçmemesi önerilmektedir [7]. Bu kısıtlama dayanım ve şekil değiştirme özelliklerindeki olumsuzluktan öte ayrılmaya

neden olmasındandır. Betonlar üzerindeki şekil değiştirmelerin yapıldığı ölçü boyutu içinde bulunan danelerin sayısı arttıkça bu durum betonun gerçek davranışını da daha iyi yansıtmaktadır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan ponza taşı hafif agregalarında 16 mm üzerinde dane boyutuna pek rastlanmadığından her iki hafif betonda da bunun üzerinde ponza taşı mevcut değildir.

2.2.2. Granülometrik bileşimler

Üretilen bu iki değişik birim ağırlıktaki hafif betonlarda iki ayrı da granülometrik bileşim mevcuttur. En büyük dane boyutu 25 mm olan 1. Grup hafif beton serilerindeki agrega granülometreleri aynı olup (ISO A25-B25) eğrileri arasında olup A25 'e daha yakındır. En büyük dane boyutu 16 mm olan 2. Grup hafif beton serilerinde, yine agrega granülometrisi aynı olup TS 706 da verilen A16-B16 arasında ve A16 'ya daha yakındır. Tablo 2.3 de belirtildiği gibi her iki granülometrik bileşimde de 2 mm 'nin altında kum kullanılmıştır. 1. Grup hafif beton serilerinde 2-16 mm arası ponza taşı, 16-25 mm arasında kırmataş kullanılmıştır. 2. Grup hafif beton serilerinde ise 2-16 mm arasında tamamen ponza taşı kullanılmıştır.

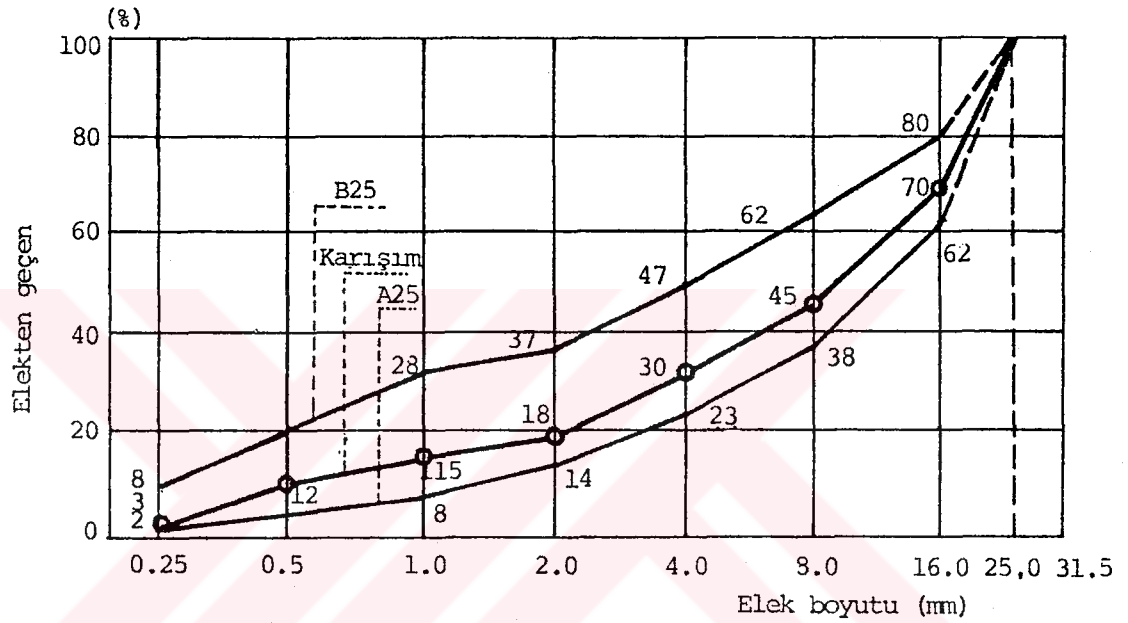
Tablo 2.3. Agregaların karışım yüzdeleri

Agraga cinsi	İnce kum ≤ 2 mm	Ponza taşı			Kırmataş
		2/4 arası	4/8 arası	8/16 arası	
Beton sınıfı	Agregaların karışım yüzdeleri				
1.Grup hafif beton	18	12	15	25	30
2.Grup hafif beton	22	18	30	30	-

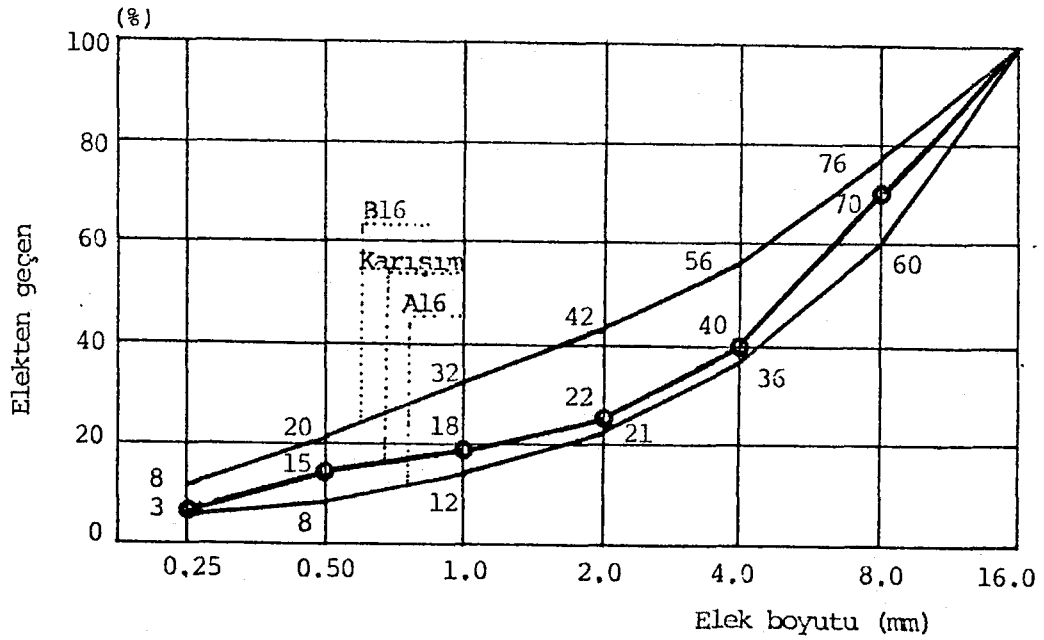
Her iki beton grubuna ait agrega karışımlarının granülometrik bileşimleri Tablo 2.4 de ve bunlarla ilgili eğriler Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 de gösterilmiştir. Yapılan üretimden sonra bu iki beton için ortalama taze beton birim ağırlıklar, 1745 ve 1415 kg/m³ olarak saptanmıştır.

Tablo 2.4. Agrega karışımlarının granülometrik bileşimleri

Elek boyutu (mm)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.0	25.0	31.5
Beton sınıfı	Elekten geçen agrega yüzdesi								
1.Grup hafif beton	3	12	15	18	30	45	70	100	100
2.Grup hafif beton	4	15	18	22	40	70	100	100	100



Şekil 2.1. 1.Grup hafif beton agregasının granülometrik bileşimi



Şekil 2.2. 2.Grup hafif beton agregasının granülometrik bileşimi

2.2.3. Bileşim hesapları

Üretilen betonlar iki değişik birim ağırlıkta olup bu betonlarda çimento dozajı 350 kg/m^3 alınmıştır. Beton karışımları plastik kıvamda ve etkin su/çimento oranı 0.50 olarak seçilmiştir. Tablo 2.5 de kullanılan bileşimler ve bunların kodları ile taze beton özellikleri verilmiştir.

Bu çalışmada iki değişik birim ağırlıktaki hafif betonlara (1745 ve 1415 kg/m^3), farklı sıcaklıkta ($T^\circ\text{C}$) ısıtılma işlem çevrimleri uygulanmış ve bu çevrimlerin betonların sünme ve rötresine olan etkilerindeki değişim incelenmiştir.

Bu iki hafif betonun seçiminde, taze birim ağırlığı hafif beton sınıfında kalınarak deneme betonları üretilmiştir. Bunların içerisinde en az boşluk bırakarak yerleşeni ve yeterli mekanik mukavemete sahip olanı seçilmiştir. Hafif betonların bileşim hesaplarında kullanılan hesap yöntemlerini Taşdemir [7], çalışmasında özetlemiş ve bunlardan mutlak hacim yöntemini kullanmıştır. Bu araştırmada da aynı yöntem kullanılmıştır.

Beton bileşim hesaplarında kullanılan notasyonlar ve izlenen yol aşağıda gösterilmiştir;

- C : 1 m^3 yerleşmiş betondaki çimento ağırlığı, kg.
- c : 1 m^3 yerleşmiş betondaki çimentonun mutlak hacmi, dm^3
- E : 1 m^3 yerleşmiş betondaki suyun ağırlığı, kg.
- e : 1 m^3 yerleşmiş betondaki suyun hacmi, dm^3 .
- E_p : Ön emdirme suyu, kg.
- δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı, kg/dm^3 .
- δ_{ai} : (i) agregasının birim hacim ağırlığı, kg/dm^3 .
- δ_e : Suyun özgül ağırlığı, kg/dm^3
- P_i : (i) agregasının karışım oranı
- V_a : Toplam agregata hacmi, dm^3
- h : 1 m^3 yerleşmiş betondaki hava hacmi, dm^3

E/C : Etkin su/çimento oranı, ağırlıkça

G_i : (i) agregasının ağırlığı, kg.

S_{ai} : (i) agregasının 30 dakikadaki su emme yüzdesidir.

Buna göre beton bileşimi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$V_a = 1000 - \left(\frac{C}{\delta_c} + E + h \right) \text{ yazılırsa,}$$

$$G_i = V_a \cdot P_i \cdot \delta_{ai}$$

$$E_p = \sum G_i \cdot S_{ai} \text{ dir.}$$

2.2.4. Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve saklama koşulları

Bileşimi deneme betonları ile bulunarak gerçek değerleri hesaplanan bu iki hafif beton grubundaki serilerin üretiminde 55 lt. kapasiteli Eirich marka, SKGI tipi, düşey eksenli zorlamalı bir betoniyer kullanılmıştır. Üretimde öncelikle hafif agregalar betoniyer teknesine boşaltılarak 30 dakikalık bir ön emdirmeye uygulanmıştır. Üretim için betoniye 50 lt. yerleşmiş beton için gerekli diğer su dışındaki malzemeler-kum, kırmataş ve çimento- ilave edilerek 1 dakika kuru karıştırılmış, daha sonra su ilave edilerek 2 dakika daha ıslak karıştırılmıştır. Taze beton üzerinde çökme deneyi Ve-be süresi tayini ve birim ağırlık deneyleri yapıldıktan sonra yeniden 30 saniye daha betoniyerde karıştırma işlemine devam edilmiştir.

Üretilen betonlar çapı 15 cm, yüksekliği 30 cm olan silindirik kalıplarla, 10x10x50 cm boyutundaki prizmatik kalıplara yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi, taze beton üç tabaka halinde ve her tabaka 25 kez şişlenerek uygulanmıştır. Bu işlemden sonra titreşim masası üzerinde iki değişik frekansta 10 sn 'lik bir titreşim uygulanmıştır. Titreşim masası Vibro-Verken marka, Vibroflux GD34 tipi,

Tablo 2.5. Beton bileşimi ve taze beton özellikleri

Beton kodu	1 m ³ betondaki gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri										
	Çimento (kg)	kum 0/2 (mm) (kg)	Hafif agregat 2/16 (kg)	Ön emdirme suyu (kg)	Kırma taş 16/25 (kg)	Su (lt)	Hava boşl. (%)	Komp. (m ³ /m ³)	Yaş birim ağırl. (kg/m ³)	Ve-be süresi (sn)	Çökme (cm)
A-20	350	331	273	52.6	565	175	1.1	0.814	1747	12.0	0.6
B-40	352	333	276	53.0	568	176	0.6	0.819	1758	11.2	0.7
C-60	348	329	271	52.1	561	174	1.6	0.809	1735	10.5	0.5
D-70	349	330	273	52.4	564	174.5	1.4	0.812	1743	10.6	0.5
E-95	349	330	273	52.4	564	174.5	1.4	0.812	1743	11.8	0.6
F-20	350	403	412	78	-	175	1.0	0.814	1415	10	0.4
G-50	348	402	410	77.6	-	174	1.7	0.810	1412	11	0.6
H-80	351	403	412	78	-	175	1.0	0.814	1415	12	0.3

frekansı 4500/dakika, genliği yüksüz durumda 0.3 mm, kapasitesi ise 2000 kg dır.

Beton numunelerinin sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra erken su kaybını önlemek için üzerleri cam plakalarla kapatılmıştır. Ardından kür odasına alınan numuneler $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ ve relatif rutubeti $\% 65 \pm 5$ olan klima odasına konulmuştur. Standart küre tabi tutulacak numuneler 1 gün sonra kalıbından çıkarılarak deney gününe kadar, ısıtıl işlem çevrimlerine tabi tutulacak numuneler ise ön bekleme süresi içerisinde bu odada bekletilmiştir. Isıtıl işlem uygulandıktan sonra numuneler klima dolabından alınıp, kalıplarından çıkartılarak aynı odada deney gününe kadar saklanmışlardır. Sünme ve rötire deneyleri yukarıda belirtilen ortam koşullarında sabit tutulan, bu klima odasında gerçekteştirilmiştir.

Her sıcaklık derecesindeki seride 15x30 cm boyutundaki silindirlerden basınç dayanımı ve elastisite modülleri- nin bulunması için 12 adet, 10x10x50 cm boyutundaki prizmatik numunelerden ise 5 adet numune üretilmiştir. Prizmatik numunelerin 3 tanesi sünme, 2 tanesi de rötire deneylerinde kullanılmıştır.

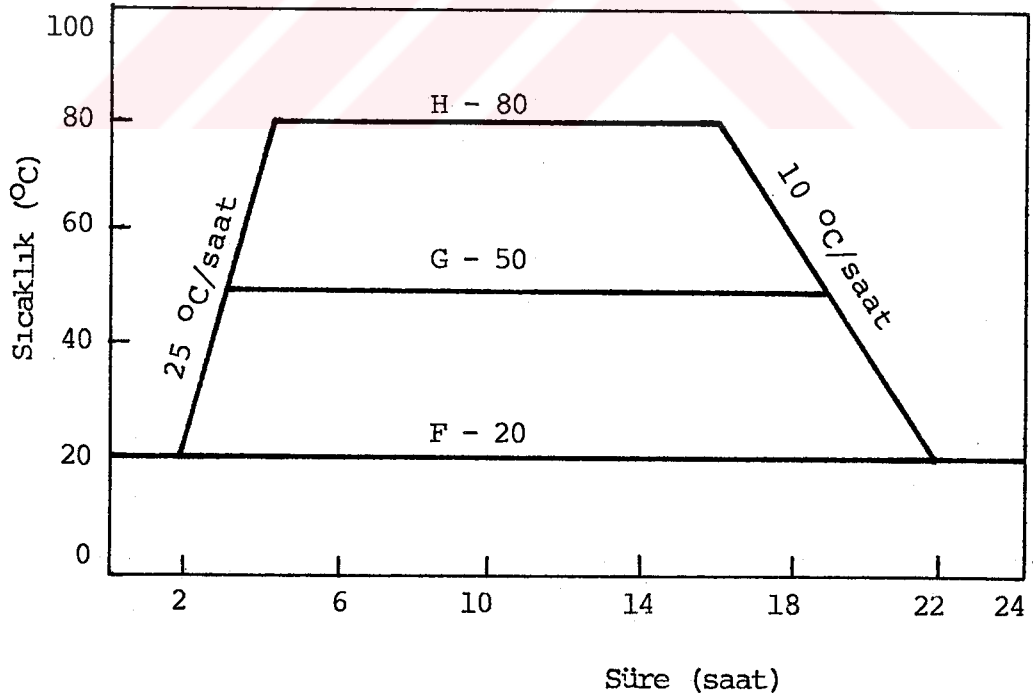
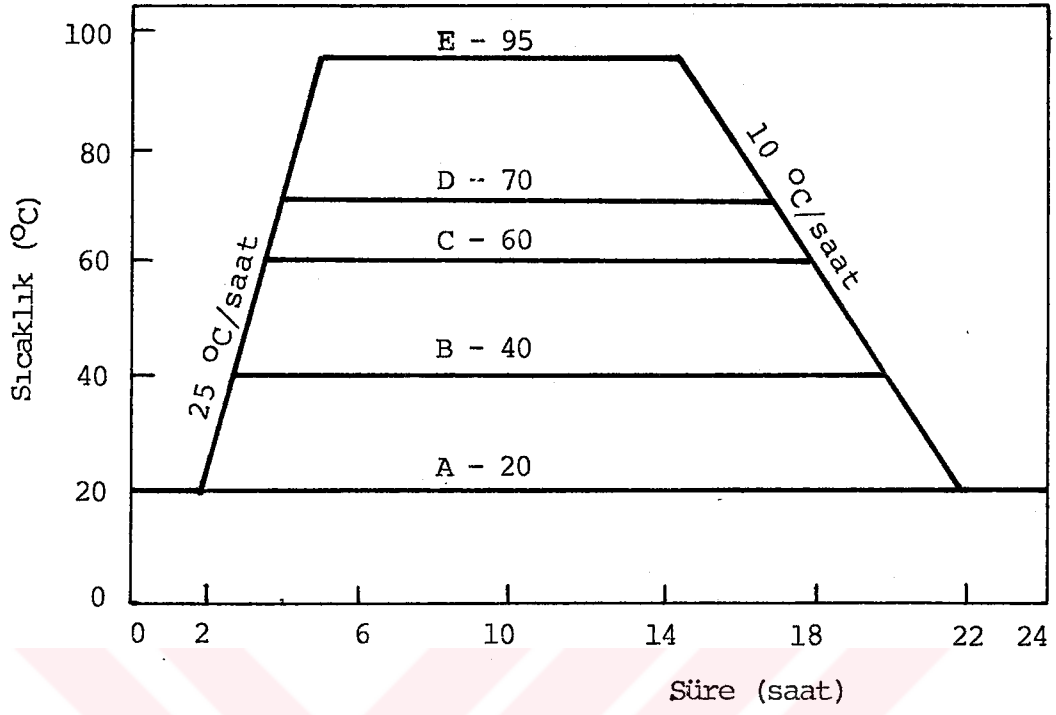
2.2.5. Uygulanan ısıtma işlem çevrimleri

Bu çalışmada ön bekleme süresi, ısınma hızı, soğutma hızı sabit alınarak, değişken parametre olarak ısıtma işlem sıcaklığı seçilmiştir. Tüm ısıtma işlem çevrimlerinde toplam çevrim süresi 22 saat olarak sabittir. Ön bekleme süresi (beton karma suyu katıldıktan numunelerin klima dolabına konana kadarki geçen süre) 2 saat, ısınma hızı 25 °C/saat, soğutma hızı 10 °C/saat olarak alınmıştır. Değişken olarak seçilen işlem sıcaklığının sünme parametrelerine yükleme yaşıyla birlikte nasıl etki ettiği incelenmiş olup ve yine rötre şekil değiştirmelerine olan etkisi araştırılmıştır.

Bu araştırmada 1.Grup beton serilerine 20 °C (standart kür), 40 °C, 60 °C, 70 °C ve 95 °C lik ısıtma işlem sıcaklığı uygulanmıştır. 2.Grup beton serilerine ise 20 °C (standart kür), 50 °C ve 80 °C lik işlem sıcaklığı uygulanmıştır. Uygulanan ısıtma işlem çevrimlerinin karakteristik değerleri Tablo 2.6 da, çevrimlerin grafik gösterimi ise Şekil 2.3 de verilmiştir.

Tablo 2.6. Uygulanan ısıtma işlem çevrimleri

Isıtma işlem kodu	Ön bekleme süresi (saat)	Isınma hızı (°C/saat)	İşlem sıcaklığı (°C)	İşlem sıcaklığında geçen süre (saat)	Soğutma hızı (°C/saat)
A	-	-	20	20	-
B	2	25	40	17 ¹² '	10
C	2	25	60	14 ²⁴ '	10
D	2	25	70	13	10
E	2	25	95	9 ³⁰ '	10
F	-	-	20	20	-
G	2	25	50	15 ⁴⁸ '	10
H	2	25	80	11 ³⁶ '	10



Şekil 2.3. Uygulanan ısıtım işlem çevrimleri

2.3. Deneylerin Tanımlanması Ve Kullanılan Yöntemler

2.3.1. Taze beton deneyleri

Üretilen taze betonlar üzerinde yaş birim ağırlık, standart çökme ile Ve-be deneyleri yapılmıştır. Yaş birim ağırlığın belirlenmesi için 8 litrelik bir çelik kap kullanılmıştır. Böylece taze beton karışımlarının istenen özellikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Her beton serisinde tekrarlanan bu deneylerde sonuçların birbirine çok yakın çıkması, malzemelerin hassas tartılması ile karıştırma ve yerleştirmedeki koşulların aynı tutulmasına büyük özen gösterilmesi sonucunda ulaşılmıştır.

2.3.2. Isıl işlem çevrimlerinin uygulanması

Isıl işlem çevrimlerinin uygulanmasında sistem-teknik firmasınca yapılan M-319 model elektronik kumandalı özel bir klima dolabı kullanılmıştır. Karagüler'in yaptığı çalışmada[3] ilk olarak kullanılan ve teknik özellikleri verilen dolap 260 litre hacminde ve iç ölçüleri 0.5x0.8x0.65 m boyutundadır.

Numuneler ön bekleme süresi sonunda saklama odasından alınarak klima dolabına yerleştirilmiş ve üst yüzleri cam bir kapakla örtülü vaziyette, üst üste gelen numuneler arasına ahşap bir ızgara konulmuştur. Dolabın içerisinde bir fan yardımı ile bu ızgaralar arasında hava sirküle edilerek sıcaklık dağılımının üniform olması sağlanmıştır. Isıl işlem çevrimleri sırasında dolabın relatif rutubeti %95 in üzerinde kalmıştır. İlave bir önlem olarak da iki adet su kabı konarak dolabın rutubeti yüksek tutulmuştur. Isıl işlem başlangıcında ve sonunda numuneler kalıplarıyla birlikte tartılarak ağırlık kaybının % 0.15-% 0.25 arasında kaldığı görülmüştür. Bu değer ise ihmal edilebilir bir mertebedir.

Numuneler fırına yerleştirildikten sonra elektronik kumanda vasıtasıyla fırın programlanmıştır. Bu program sırasında uygulanacak işlem sıcaklık derecesine göre ısıtma hızı, işlem sıcaklığında bekleme süresi ve soğutma hızı programlanarak fırının elektronik merkezine verilmiştir. Fırının teknik özelliğinden dolayı işlem sıcaklığından soğutmaya geçiş anı gözetlenerek kontrol edilmiştir. Isıl işlem çevriminin bitiminde numuneler dolaptan çıkarılarak sıcaklığı 20 °C olan klima odasına tekrar götürülerek kalıplarından sökülmüş ve deney gününe kadar burada muhafaza edilmiştir.

2.3.3. Sertleşmiş beton deneyleri

Paragraf 2.2.3 de belirtildiği gibi iki tip beton üretilmiştir. Bu betonlar üzerinde kısa ve uzun süreli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde asıl amacın hafif betonların eksenel basınç altında uzun süreli davranışının belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak değişik sıcaklıklarda kür edilmiş betonlar belli yaşlarda gerilmelere maruz bırakılarak sünme ve rötire deformasyonları bulunmuştur. Bu gerilmeler kademeli olarak değiştirilip, her yükleme basamağına karşı gelen betonun sünmesi bulunmuştur.

Betonun değişken gerilmeler altındaki davranışını tesbit için sünme çerçeveleri kullanılmıştır. Burada iki çelik tabla arasına bir çelik yay ile prizmatik beton numunesi seri halde yerleştirilmiştir. Aletin üst tarafında bulunan civataların sıkıştırılması ile yayın yüksekliği azaltılmakta ve bu suretle beton üzerine istenilen kuvvet uygulanabilmektedir. Daha önceden numunelerin 4 ayrı yüzeyinin orta kısımlarına 20 cm aralıkta işaretlenerek yapıştırılan pullar yardımıyla deformasyonlar ölçülebilmektedir. Farklı zaman aralıklarında yapılan bu okumalar her numune de 4 yüzeyin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Yalnız burada vaki olan kısalmadan dolayı yaylarda zamanla biraz gevşeme olmakta ve buna bağlı olarak da betona uygulanan

gerilmede bir miktar düşme meydana gelmektedir. Bu durum bu tür çerçevelerin olumsuz yönü olarak kabul edilir.

Betonların zamana bağlı deformasyonlarından bir diğeri olan rötre deformasyonları rötre çerçeveleri yardımı ile değişik zaman aralıklarında yapılan ölçümlerden bulunmuştur. Beton numunelerinin her bir yükleme basamağına karşı gelen yaşlardaki basınç dayanımları ile elastisite modülleri 15x30 cm lik silindirik numuneler üzerinde yapılan deneylerden bulunmuştur. Bu deneyler Amsler marka 500 ton kapasiteli bir preste yapılmıştır. Elastisite modülleri Rilem metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bunun için deformasyonları gösteren komparometreli çerçeve silindirik numunelere takılarak yük uygulanmış ve deformasyonlar kaydedilmiştir. Uygulanan yük silindir basınç dayanımının 1/3 ile 1/10 arasında yükleme ve boşaltma olarak yapılmıştır.

2.4. Deney Programı

Beton serilerine uygulanan deney programı Tablo 2.7 de gösterilmiştir. Beton serisindeki prizmatik numunelere yükleme yapılmadan önce aynı gün, silindirik numunelerden yararlanılarak bu serilere ait basınç dayanımları ile elastisite modülleri bulunmuştur. Her yükleme basamağından bu değerleri hesaplanan betona aynı yaştaki basınç dayanımının 1/3 ünün altında kalmak üzere yükleme yapılmıştır. 1 günlük numuneler üretimden 24 saat sonra yükleme deneyine alınmıştır.

Deneylerde iki ayrı grupta beton üretilmiştir. 1. Grup betondan beş seri kullanılarak 20 °C, 40 °C, 60 °C, 70 °C ve 95 °C de kür edilmiştir. 2. Grup betonda ise üç seri kullanılmış olup 20 °C, 50 °C ve 80 °C de kür edilmişlerdir.

Her beton serisinde 5 adet 10x10x50 cm boyutunda prizmatik numunelerle, 12 adet 15x30 cm lik silindirik numuneler üretilmiştir. Toplam numune sayısı $8 \times 5 = 40$ adet

Tablo 2.7. Uygulanan sünme deney programı

Betonun kodu	İlk yükleme Yaşı (gün)	1. Basamak yükleme			2. Basamak yükleme			3. Basamak yükleme			4. Basamak yükleme			5. Basamak yükleme			6. Basamak yükleme		
		N/mm^2 σ	σ/f_c	Gün t_b	N/mm^2 σ	σ/f_c	Gün t_b	N/mm^2 σ	σ/f_c	Gün t_b	N/mm^2 σ	σ/f_c	Gün t_b	N/mm^2 σ	σ/f_c	Gün t_b	N/mm^2 σ	σ/f_c	Gün t_b
A - 20	7	1.50	0.122	21	3.50	0.215	28	4.60	0.254	59	3.80	-	30	0	-	55	-	-	-
B - 40	3	1.30	0.112	18	3.50	0.229	28	4.00	0.247	28	5.70	0.324	28	4.70	-	27	0	-	68
C - 60	1	1.40	0.134	24	2.80	0.184	28	3.80	0.222	28	5.50	0.330	29	4.50	-	30	0	-	60
D - 70	1	1.00	0.095	7	2.80	0.222	32	3.80	0.246	30	5.20	0.337	44	4.20	-	29	0	-	57
E - 95	1	1.20	0.112	7	2.40	0.196	27	3.40	0.259	28	4.40	0.307	45	3.20	-	29	0	-	63
F - 20	7	1.80	0.158	21	2.70	0.189	28	3.20	0.200	28	2.50	-	28	0	-	38	-	-	-
G - 50	3	1.20	0.146	18	2.50	0.203	29	3.10	0.206	27	2.60	-	28	0	-	45	-	-	-
H - 80	2	1.50	0.157	24	3.00	0.229	28	3.40	0.234	28	2.80	-	28	0	-	40	-	-	-

prizmatik, $8 \times 12 = 96$ adet silindirik numune kullanılmıştır. Her serideki beton prizmalardan 3 adedi sünme, 2 adedi de rötire deneyinde kullanılmıştır. Her yükleme basamağı için o basamaktaki beton dayanımını bulmak amacıyla 3 adet silindirik numunesi kullanılmıştır.

Prizmatik numunelere sünme deneyi için başlangıçta uygulanan eksenel yükler artırılarak belli sürelerle uygulanmış daha sonra yükleme basamağı düşürülerek deneye devam edilmiş ve belirlenen süre sonunda da yük numuneler tamamen boşaltılmıştır. Sünme deneylerinde okumaların yapıldığı toplam süre 1. Grup beton serilerinde 200 gün, 2. Grup beton serilerinde ise 150 gün olarak alınmıştır. Tüm deneylerde, her seri için kullanılan numunelerden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak kesin değerler bu sonuçlara göre saptanmıştır.

Prizmatik numuneler üzerinde rötire çerçeveleri yardımıyla hafif beton serilerine ait rötire deformasyonları bulunmuştur. Her beton serisi için rötire ve sünme deformasyon ölçümleri aynı anda başlatılmıştır. Belirli zaman aralıklarında yapılan okumaların ortalaması alınarak betonun serbest halde ilk yükleme yaşından itibaren yapacağı rötire deformasyonu yükleme süresince bulunmuştur.

BÖLÜM 3 - DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada elde edilen deney sonuçları tablolar ve şekiller halinde verilecektir. Bu tablo ve şekillerde açıklanması gereken hususlar da yine bu bölümde ayrıca verilecektir.

3.1. Kısa Süreli Deney Sonuçları

Üretilen beton serilerindeki prizmatik numunelere sünme deneyi için yükleme yapılmadan önce her yükleme basamağındaki beton basınç dayanımları ile elastisite modülleri silindirik numunelerden yararlanılarak bulunmuştur. Böylece gerilmenin arttırıldığı her yükleme basamağındaki yaşta basınç dayanımı ile elastisite modülü bulunan betona, basınç dayanımının $1/3$ ünün altında kalınmak üzere uzun süreli deneyler için yükleme yapılmıştır.

Elastisite modülünün hesabında, betonun gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçta lineer davranış gösterdiği gözönüne alınarak, basınç dayanımının bu $1/3$ lük kısmından, (ölçü hatalarının önemli olabildiği ilk iki nokta dikkate alınmayarak) lineer korrelasyonla elastisite modülü hesaplanmıştır.

Bütün beton serilerine ait kısa süreli deney sonuçları Tablo 3.1 de verilmiştir. Sonuçların mutlak değerleri aynı birim ağırlıktaki serilerde, 20°C de normal kür edilmiş 28 günlük kontrol numunelerinden elde edilen değere oranlanarak Tablo 3.2 de relatif deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.1. Kısa süreli deney sonuçları

Beton kodu	Beton yaşı (gün)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Elastisite modülü $\times 10^3$ (N/mm ²)
A - 20	7	12.30	13.97
	28	16.25	17.11
	56	18.10	17.45
B - 40	3	11.60	12.90
	21	15.30	17.00
	49	16.20	18.00
	77	17.60	16.90
C - 60 Kontrol	1	10.40	13.00
	25	15.20	15.90
	53	17.05	17.40
	81	16.65	16.70
D - 70	1	10.47	13.76
	8	12.62	16.45
	40	15.45	17.00
	70	15.40	16.62
E - 95	1	10.70	13.30
	8	12.25	15.15
	35	13.10	15.45
	63	14.30	15.37
F - 20	7	11.40	9.49
	28	14.25	10.50
	56	16.00	10.76
G - 50	3	8.20	7.38
	21	12.30	10.00
	50	15.00	9.10
H - 80	2	9.50	7.81
	26	13.10	9.25
	54	14.50	8.38

Tablo 3.2. Kısa süreli relatıf deney sonuçları

Beton kodu	Beton yaşı (gün)	Basınç dayanımı f_c/f_{20}	Elastisite modülü E/E_{20}
A - 20	7	0.75	0.82
	28	1.00 [*]	1.00 [•]
	56	1.11	1.02
B - 40	3	0.71	0.75
	21	0.94	0.99
	49	0.99	1.05
	77	1.08	0.99
C - 60 Kontrol	1	0.64	0.76
	25	0.93	0.93
	53	1.05	1.07
	81	1.02	0.97
D - 70	1	0.64	0.80
	8	0.78	0.96
	40	0.95	0.99
	70	0.95	0.97
E - 95	1	0.66	0.78
	8	0.75	0.88
	35	0.81	0.90
	63	0.88	0.90
F - 20	7	0.80	0.90
	28	1.00 [☆]	1.00 [○]
	56	1.12	1.02
G - 50	3	0.57	0.70
	21	0.86	0.95
	50	1.05	0.87
H - 80	2	0.66	0.74
	26	0.92	0.88
	54	1.02	0.80

3.2. Uzun Süreli Deney Sonuçları

Üretilen betonlara 2. bölümde açıklandığı üzere Tablo 2.7 de gösterilen deney programı uygulanmıştır. Sünme çerçevesi kullanılarak uygulanan bu programla numunelere ait boyuna doğrultudaki toplam deformasyonlar (ϵ) bulunmuştur. Bu deformasyonlar 10x10x50 cm boyutundaki prizmatik numunelerin dört yüzüne 20 cm aralıkla yapıştırılan özel pullar yardımıyla demec no 1401 marka mekanik ekstansometre ile 10×10^{-6} hassasiyetle ölçülerek alınmıştır. Ölçümler farklı zaman aralıklarında numunelerin dört ayrı yüzeyinden yapılan okumaların ortalaması alınarak yapılmıştır. Yapılan ölçümlerden bu toplam deformasyonlar bulunduktan sonra sünme deformasyonları hesaplanmıştır. sünme deformasyonları (ϵ_s), toplam deformasyondan uygulanan yük altında meydana gelen ani deformasyonun çıkarılmasıyla elde edilmiştir.

Sünme deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6 da, bu ilişkiyi gösteren $\epsilon-t$ eğrileri ise Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8 de verilmiştir.

Rötre deneylerinde boyuna deformasyonlar rötre ölçme aleti yardımıyla 20×10^{-6} hassasiyetle ölçülerek her serideki betonlar için bulunmuştur. Bu serilerdeki betonlarda rötre deformasyon ölçümleri her seri için sünme deneyi ile aynı anda başlatılmıştır. Tablo 3.7 de rötre deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.3. Sertleşmiş beton serilerine ait sünme deney sonuçları

A - 20 Serisi

t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$	t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$
7	165	0	115	1270	949
8	248	83	116	1252	931
9	270	105	117	1244	923
11	325	160	120	1249	928
14	404	239	123	1252	931
16	434	269	125	1250	929
22	476	311	127	1259	938
28	510	345	130	1256	935
			135	1261	940
28	652	345	140	1268	947
29	675	368	145	1274	953
30	720	413			
32	778	471	145	1124	953
34	790	483	146	1100	929
36	806	499	147	1061	890
40	844	537	150	1036	865
42	872	565	153	1033	862
45	909	602	160	1017	846
50	944	637	168	981	810
56	981	674	180	977	806
			200	984	813
56	1016	674			
57	1054	712			
58	1054	712			
60	1091	749			
62	1095	753			
65	1110	768			
70	1148	806			
75	1177	835			
80	1198	856			
88	1217	875			
95	1232	890			
100	1244	902			
105	1255	913			
115	1291	949			

B - 40 Serisi

t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$	t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$
3	215	0	77	1471	1000
4	270	55	78	1479	1008
5	346	131	80	1506	1035
7	424	209	83	1543	1072
10	477	262	87	1576	1105
14	526	311	91	1611	1140
17	565	350	94	1625	1154
19	570	355	100	1636	1165
21	600	385	102	1653	1182
			105	1670	1199
21	734	385			
22	809	460	105	1609	1199
23	841	492	106	1608	1198
25	910	561	108	1607	1197
28	978	629	111	1597	1187
30	1009	660	114	1601	1191
35	1056	707	117	1605	1195
42	1133	784	120	1616	1206
45	1156	807	125	1633	1223
49	1173	824	132	1650	1240
49	1200	824	132	1394	1240
50	1217	841	133	1371	1217
51	1239	863	137	1314	1160
53	1263	887	140	1287	1133
55	1275	899	145	1270	1116
58	1291	915	152	1242	1088
62	1307	931	158	1217	1063
68	1344	968	165	1224	1070
75	1361	985	173	1232	1078
77	1376	1000	182	1231	1077
			190	1219	1065
			200	1212	1058

Tablo 3.4. Sertleşmiş beton serilerine ait sünme deney sonuçları

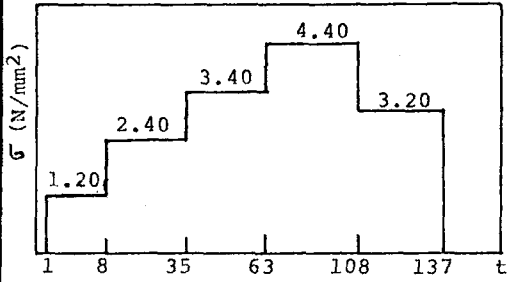
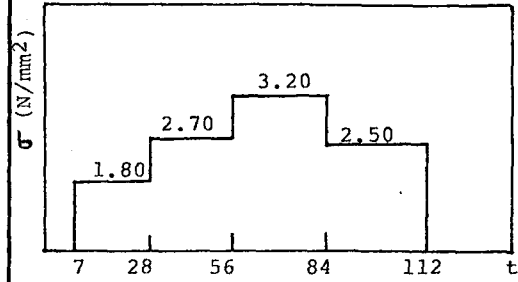
C - 60 Serisi
Kontrol betonu

t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶	t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶
1	210	0	81	1535	1141
2	324	114	82	1572	1178
3	380	170	83	1610	1216
4	425	215	85	1621	1227
7	536	326	87	1638	1244
10	590	380	90	1682	1288
13	642	432	95	1700	1306
15	672	462	98	1713	1319
18	715	505	105	1764	1370
20	748	538	107	1781	1387
25	782	572	110	1784	1390
25	853	572	110	1728	1390
26	918	637	111	1728	1390
27	950	669	113	1714	1376
30	1004	723	117	1716	1378
33	1025	744	120	1717	1379
35	1046	765	125	1727	1389
39	1076	795	132	1752	1414
40	1098	817	140	1770	1432
45	1124	843			
46	1130	849	140	1576	1432
50	1178	897	141	1523	1379
53	1199	918	143	1491	1347
			148	1440	1296
53	1243	918	152	1437	1293
54	1281	956	160	1415	1271
55	1293	968	175	1390	1246
57	1304	979	180	1387	1243
60	1325	1000	190	1383	1239
65	1376	1051	200	1385	1241
68	1400	1075			
72	1407	1082			
75	1439	1114			
80	1448	1123			
81	1466	1141			

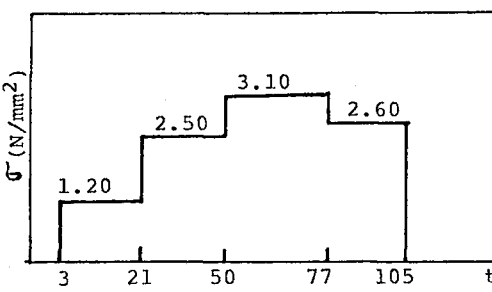
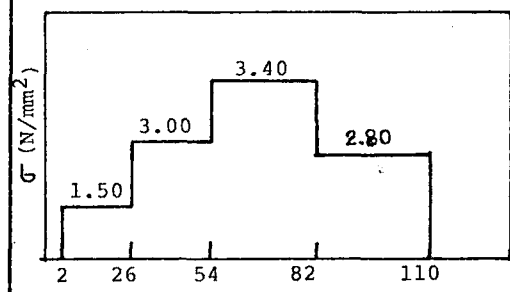
D - 70 Serisi

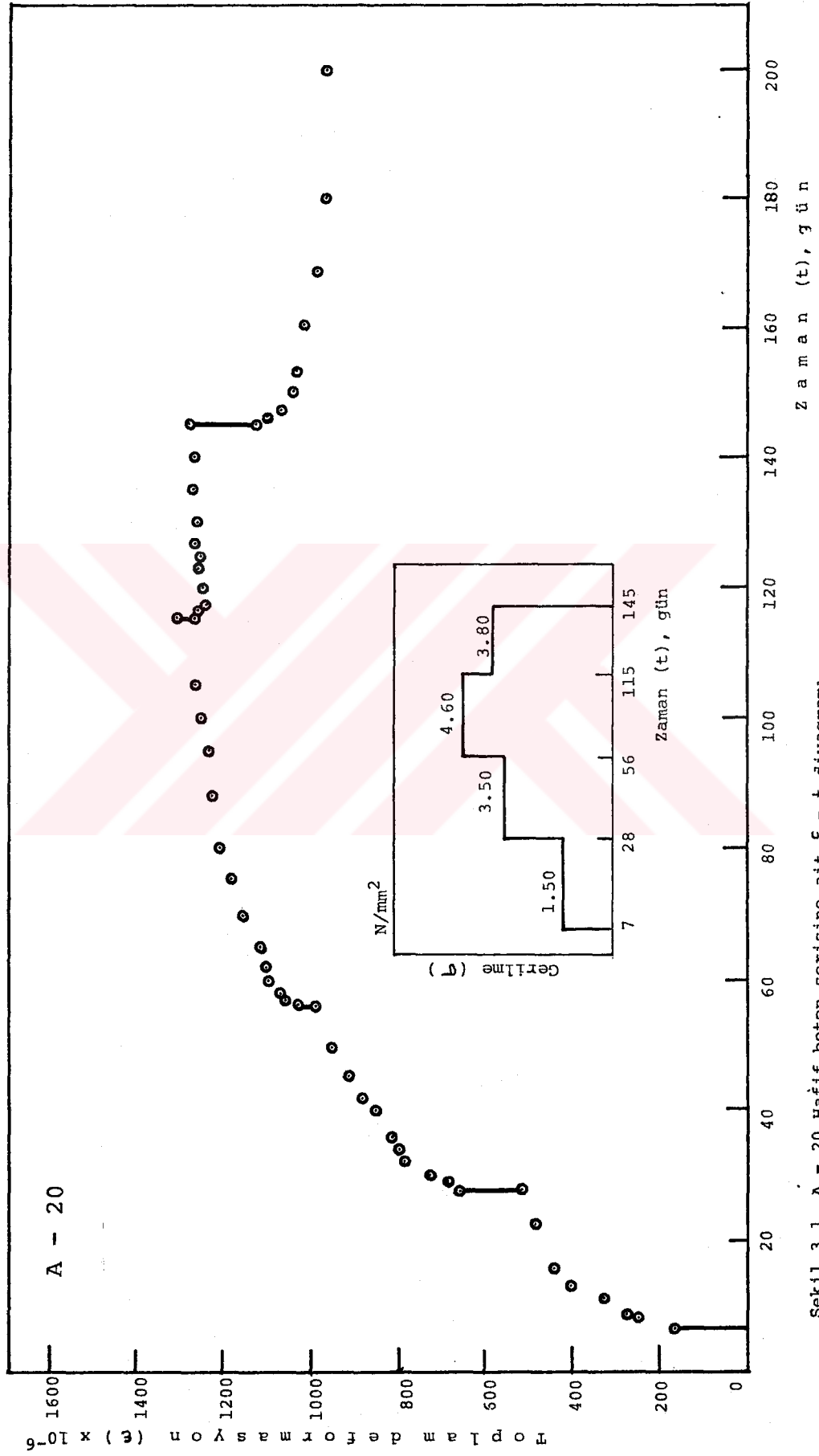
t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶	t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶
1	124	0	70	1350	939
2	192	68	71	1364	953
3	225	101	73	1372	961
5	265	141	77	1418	1007
7	315	191	80	1444	1033
8	326	202	85	1495	1084
			90	1520	1109
8	462	202	96	1548	1137
9	528	268	100	1566	1155
10	600	340	105	1596	1185
13	683	423	110	1618	1202
16	742	482	114	1631	1220
20	814	554			
25	874	614	114	1566	1220
28	893	633	115	1556	1210
30	898	638	117	1528	1182
33	925	665	120	1531	1185
35	943	683	125	1535	1189
38	955	695	130	1543	1197
40	983	773	133	1542	1196
			138	1547	1201
40	1042	723	143	1554	1208
41	1052	733			
43	1088	770	143	1348	1208
45	1119	800	144	1320	1180
48	1135	816	145	1295	1155
50	1157	838	147	1227	1087
53	1182	863	150	1218	1078
56	1206	887	155	1176	1036
60	1232	913	165	1148	1008
65	1235	916	178	1134	994
70	1258	939	180	1133	993
			200	1124	984

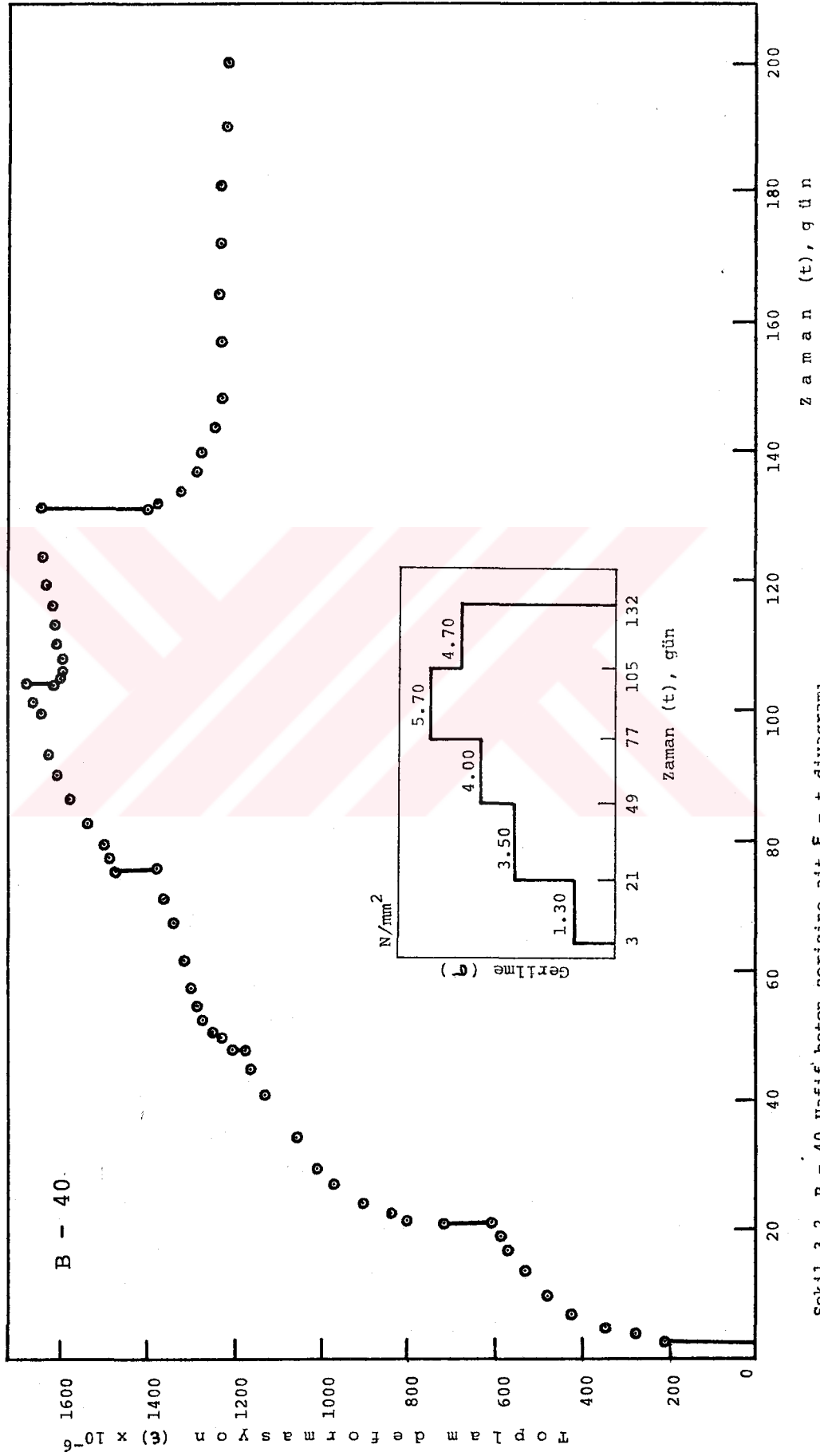
Tablo 3.5. Sertleşmiş beton serilerine ait sünme deney sonuçları

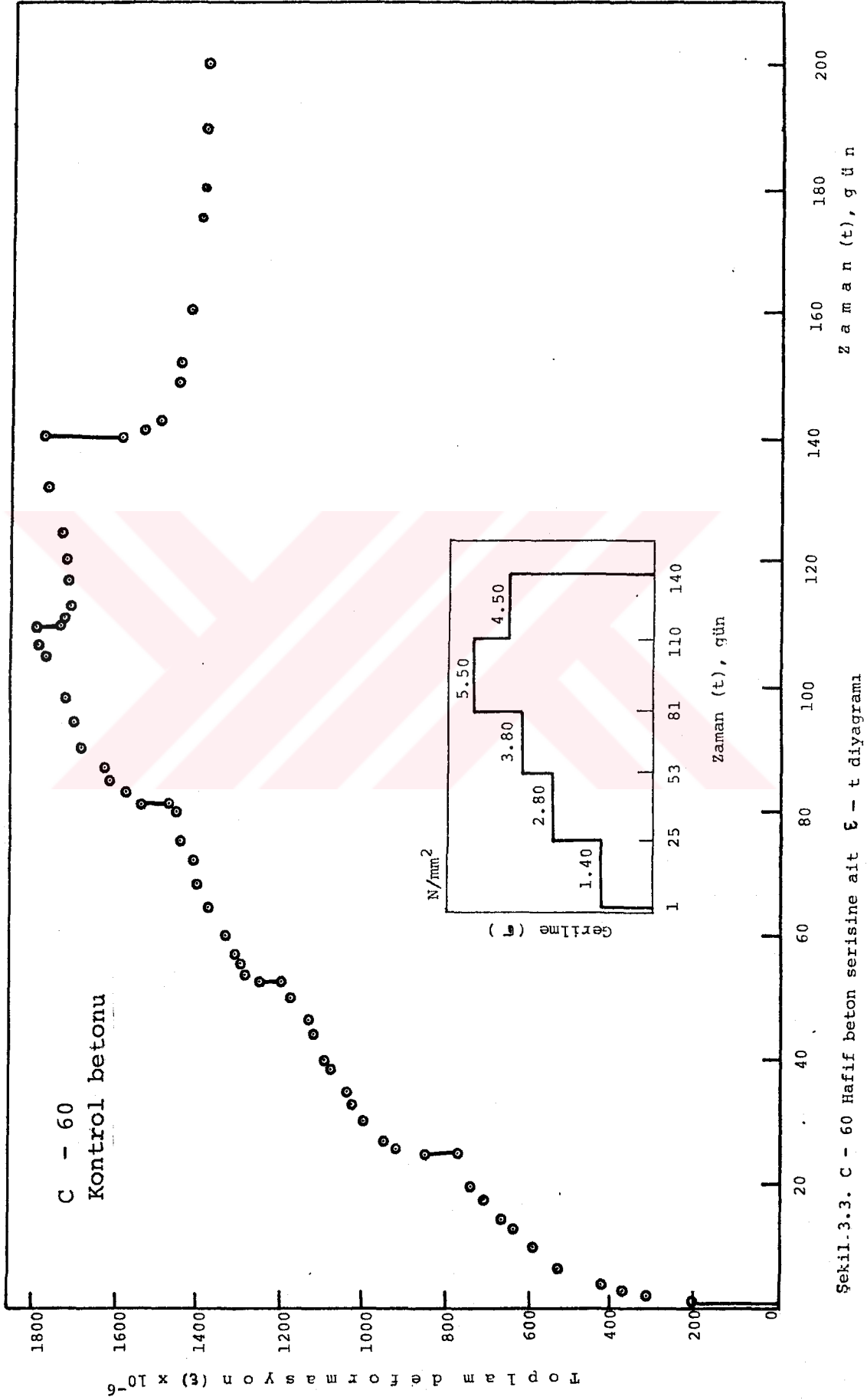
E - 95 Serisi						F - 20 Serisi					
											
t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶	t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶	t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶	t (gün)	ε x10 ⁻⁶	ε _s x10 ⁻⁶
1	92	0	63	1027	728	7	252	0	84	1519	1181
2	160	68	64	1053	754	8	415	163	85	1518	1180
3	188	96	65	1057	758	10	522	270	86	1516	1178
5	237	145	68	1105	806	12	620	368	88	1517	1177
7	257	165	70	1109	810	14	690	438	90	1520	1178
8	260	178	73	1134	835	18	770	518	94	1522	1173
			75	1156	857	21	818	566	96	1521	1178
8	364	178	78	1169	870	25	843	591	98	1520	1178
9	403	202	80	1177	878	28	862	610	102	1529	1180
10	456	255	84	1192	893				105	1530	1186
11	494	290	90	1203	904	28	977	610	110	1538	1196
12	507	306	95	1219	920	29	1026	659	112	1550	1212
15	539	338	100	1231	932	30	1066	699			
17	576	375	105	1262	963	32	1118	751	112	1349	1212
20	594	393	108	1280	981	35	1160	793	113	1515	1178
22	614	413				38	1204	837	115	1282	1144
25	641	440	108	1188	981	42	1221	854	118	1239	1102
30	653	452	109	1186	979	45	1262	895	121	1220	1083
35	715	514	110	1166	959	48	1293	926	125	1176	1039
			112	1163	956	50	1298	931	130	1158	1021
35	764	514	115	1126	919	52	1319	952	135	1154	1017
36	774	524	118	1148	941	56	1350	983	142	1151	1014
37	804	556	120	1143	936				150	1152	1015
38	824	574	125	1136	929	56	1391	983			
40	831	581	130	1132	925	57	1402	994			
42	858	598	137	1135	928	58	1414	1006			
45	887	637				60	1452	1044			
48	910	660	137	946	928	63	1480	1072			
50	922	672	138	884	866	65	1481	1073			
55	944	694	139	849	831	68	1519	1111			
60	961	711	140	819	801	71	1532	1124			
63	978	728	144	731	713	75	1547	1139			
			150	690	672	78	1553	1145			
			155	656	638	81	1562	1154			
			160	655	637	84	1589	1181			
			170	597	579						
			180	578	560						
			200	567	549						

Tablo 3.6. Sertleşmiş beton serilerine ait sünme deney sonuçları

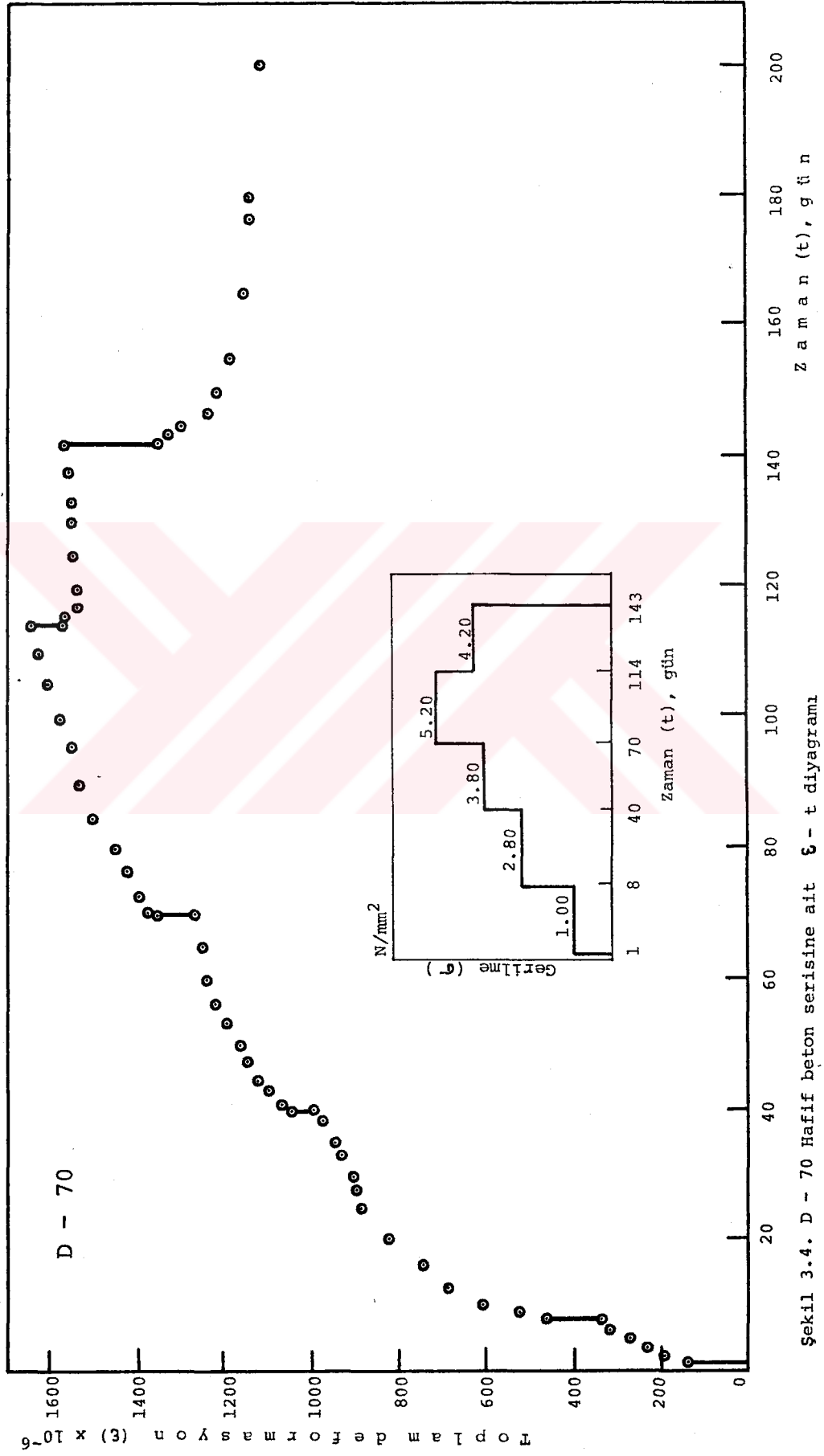
G - 50 Serisi						H - 80 Serisi					
											
t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$	t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$	t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$	t (gün)	ϵ $\times 10^{-6}$	ϵ_s $\times 10^{-6}$
3	225	0	77	1478	1108	2	265	0	82	1565	1193
4	313	88	78	1466	1096	3	364	99	83	1557	1185
5	397	172	79	1454	1084	5	520	255	85	1552	1180
7	448	223	80	1444	1074	7	570	305	90	1546	1174
10	543	318	83	1441	1071	10	635	370	93	1568	1196
14	588	363	85	1443	1073	12	700	435	100	1566	1194
18	615	390	90	1464	1094	15	714	449	104	1573	1201
21	680	455	94	1477	1107	18	768	503	108	1595	1223
			97	1489	1119	20	770	505	110	1603	1231
21	822	455	100	1500	1130	23	778	513			
22	864	497	102	1504	1134	26	840	585	110	1234	1231
23	935	568	105	1514	1144				111	1212	1209
25	974	607				26	1000	585	112	1172	1169
28	1049	682	105	1280	1144	27	1066	651	113	1114	1111
30	1072	705	106	1183	1047	28	1114	699	117	1070	1067
33	1097	730	107	1166	1030	30	1147	732	120	1027	1024
35	1119	752	110	1096	960	33	1183	768	125	1026	1023
38	1157	790	113	1081	945	36	1261	846	128	1013	1010
40	1178	811	115	1068	932	40	1299	884	132	981	978
45	1200	833	120	1024	888	43	1320	905	138	976	973
50	1250	883	124	1007	871	45	1336	921	145	973	970
			130	1015	879	50	1880	965	150	952	949
50	1292	883	138	1003	867	54	1419	1004			
51	1332	923	142	987	851						
52	1356	947	150	978	842	54	1439	1004			
54	1369	960				55	1474	1039			
57	1408	999				57	1499	1064			
60	1422	1013				60	1527	1092			
62	1452	1043				62	1533	1098			
65	1461	1052				65	1547	1112			
68	1481	1072				70	1573	1138			
70	1487	1078				73	1593	1158			
75	1508	1099				77	1614	1179			
77	1517	1108				80	1630	1195			
						82	1628	1193			

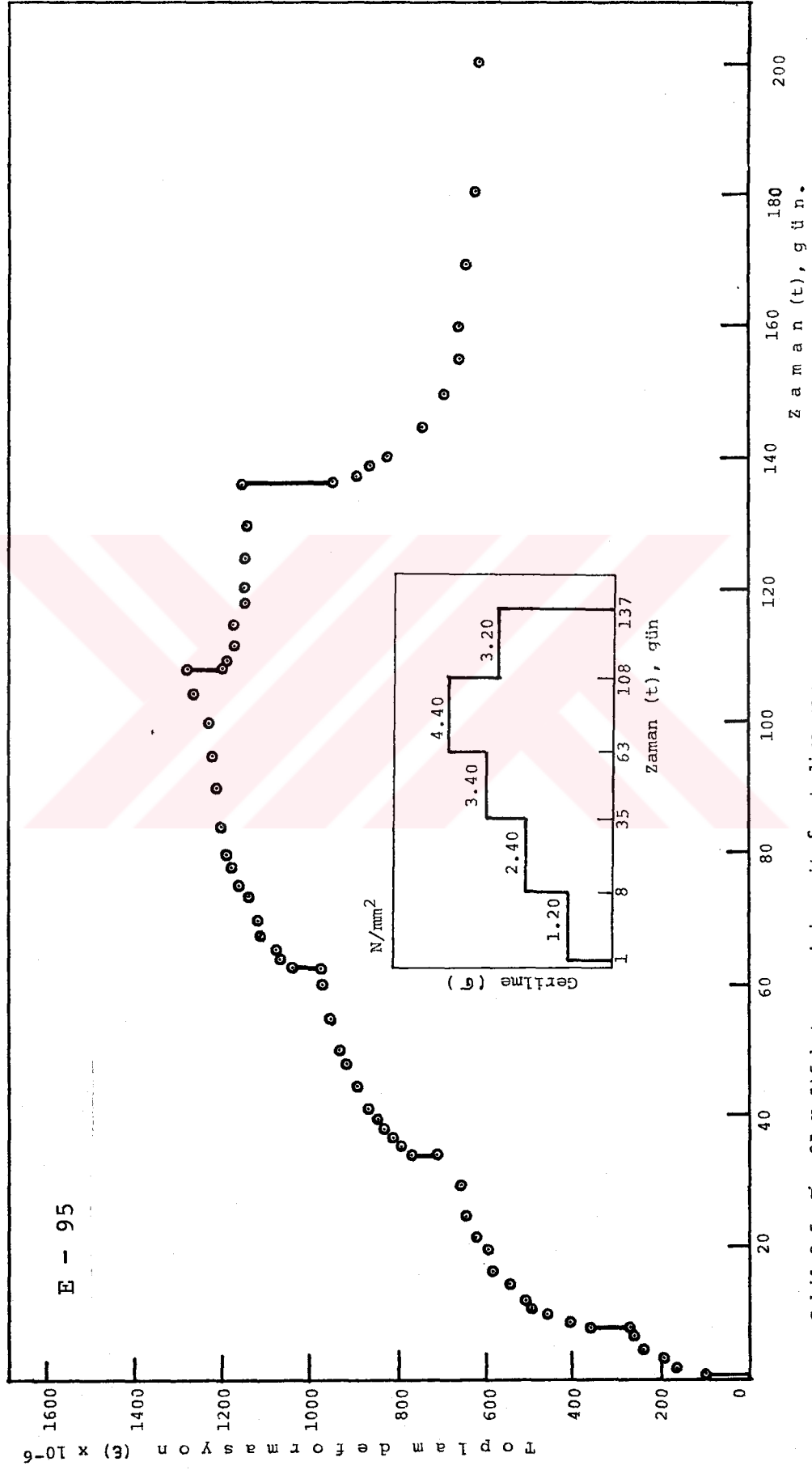
Şekil 3.1. A - 20 Haif beton serisine ait ϵ - t diyagramı

Şekil 3.2. B - 40 Hafif beton serisine alt ϵ - t diyagramı

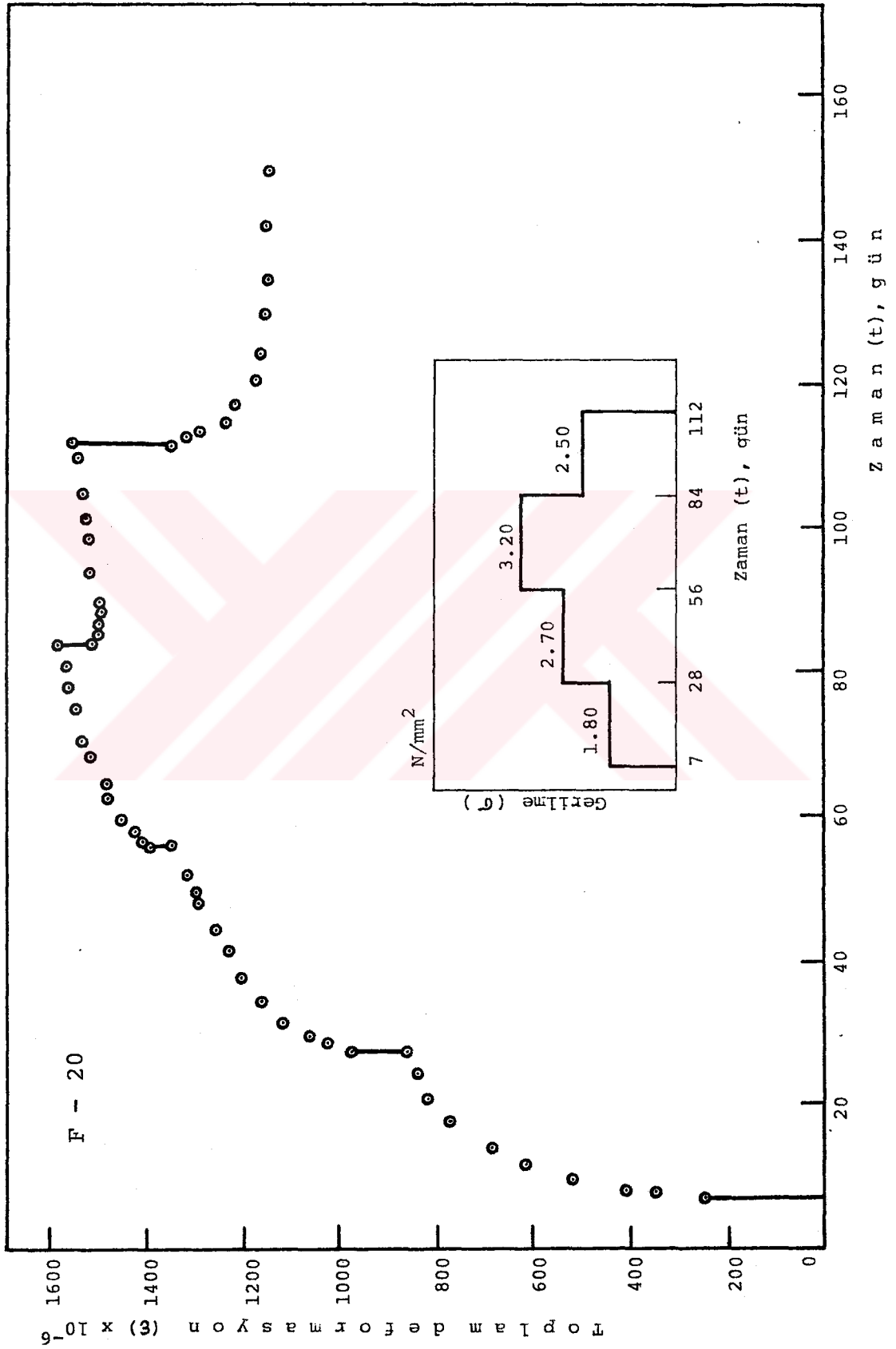


Şekil.3.3. C - 60 Hafif beton serisine ait $\epsilon - t$ diyagramı

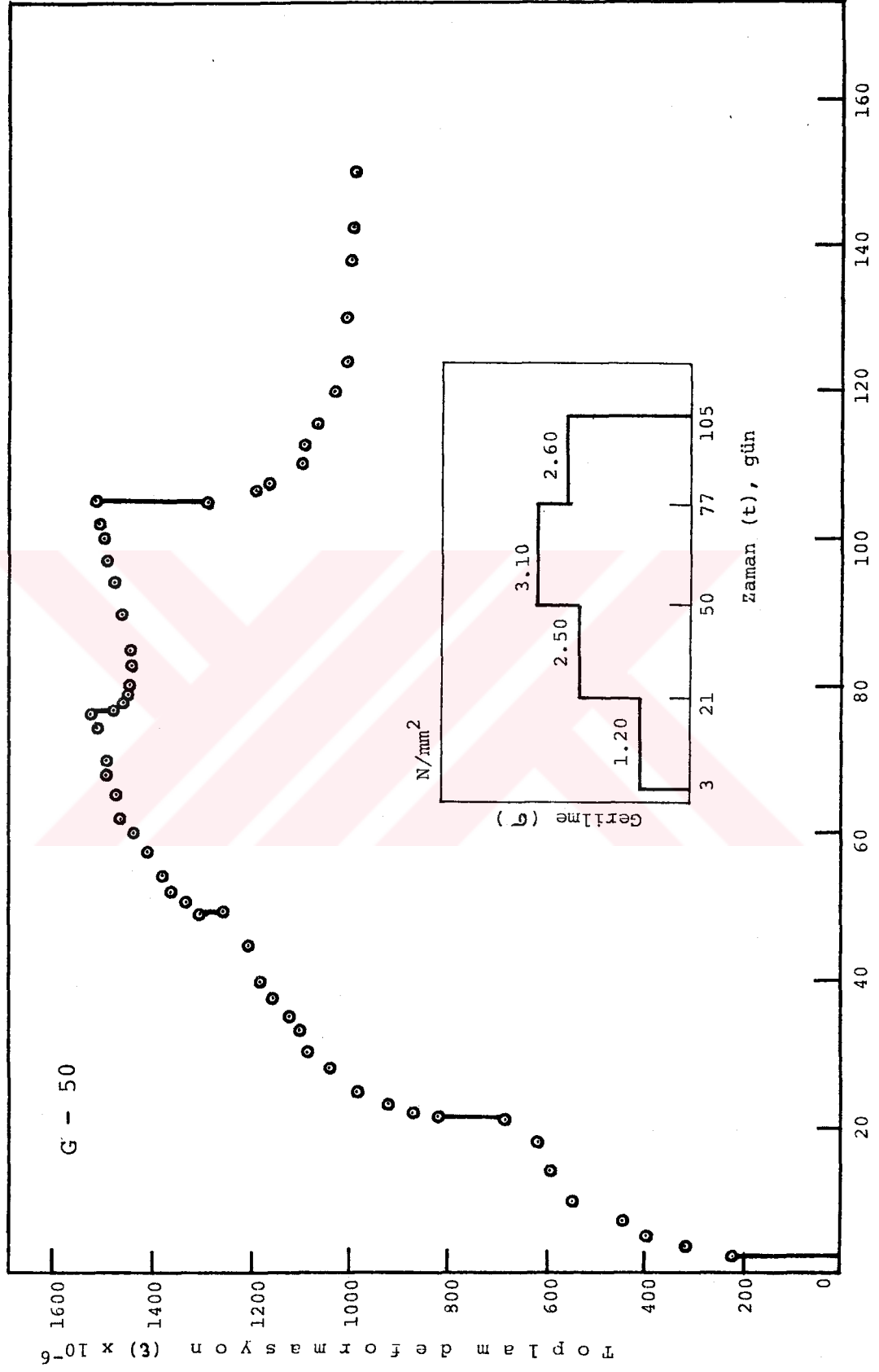
Şekil 3.4. D - 70 Hafif beton serisine alt ϵ - t diyagramı



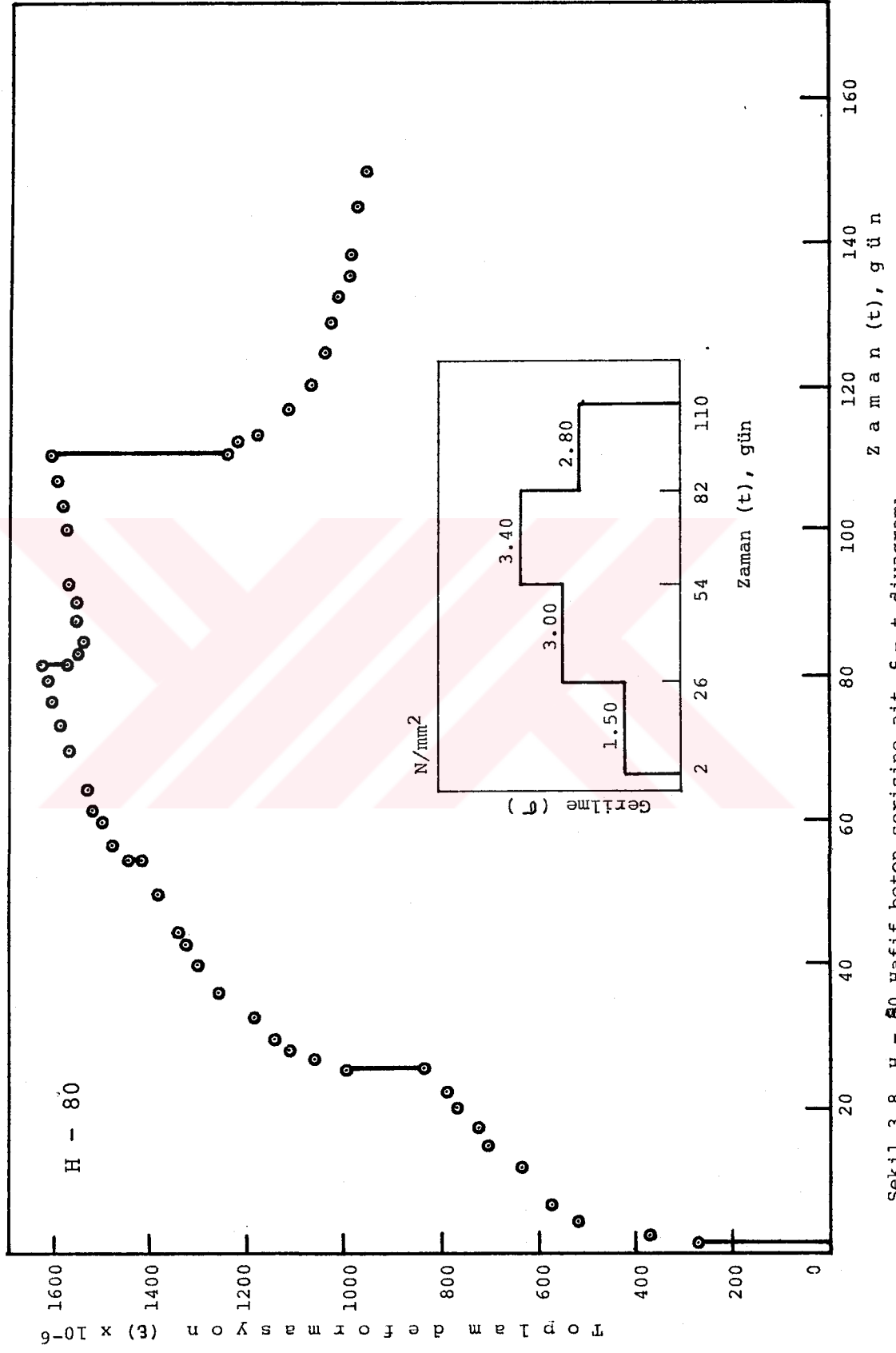
Şekil 3.5. E - 95 Hafif beton serisine ait $\epsilon - t$ diyagramı



Şekil 3.6. F - 20 Hafif beton serisine ait $\epsilon - t$ diyagramı



Şekil 3.7. G - 50 Hafif beton serisine ait ϵ - t diyagramı

Şekil 3.8. H - 80 Hafif beton serisine ait ϵ - t diyagramı

T Tablo 3.7. Rötire deney sonuçları

1. Grup hafif beton serileri ($\cdot 10^{-6}$)										2. Grup hafif beton serileri ($\cdot 10^{-6}$)									
A - 20		B - 40		C - 60		D - 70		E - 95		F - 20		G - 50		H - 80					
t	ϵ_r	t	ϵ_r	t	ϵ_r	t	ϵ_r	t	ϵ_r	t	ϵ_r	t	ϵ_r	t	ϵ_r				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1	35	1	20	1	35	1	26	1	22	1	18	1	16	1	10				
3	78	3	62	3	76	3	100	3	122	3	36	3	65	3	14				
5	120	5	78	5	185	7	245	7	315	5	45	7	148	5	50				
7	184	8	104	10	300	10	390	12	360	7	90	10	180	7	80				
10	228	15	256	17	450	15	550	15	440	10	140	15	222	10	110				
15	350	21	300	25	545	21	600	20	462	12	168	20	290	12	132				
21	500	30	412	36	600	28	645	27	550	15	215	25	310	15	154				
28	615	37	475	42	635	35	700	36	600	20	342	30	360	20	180				
35	640	45	530	50	680	41	720	45	616	25	450	40	395	25	198				
41	658	55	621	58	685	46	725	52	635	27	460	52	452	27	204				
46	690	64	645	65	688	50	730	60	650	32	515	65	475	32	228				
50	712	72	676	72	700	56	745	74	655	40	566	78	478	40	246				
56	718	90	750	84	715	65	740	86	660	52	670	90	478	52	282				
65	730	105	785	90	732	72	750	98	660	60	680	102	486	60	298				
72	775	122	800	105	738	85	752	112	662	78	800	115	490	78	365				
85	808	135	802	117	742	90	776	125	670	90	844	130	498	90	372				
90	810	144	802	128	745	100	780	130	678	102	956	145	510	102	380				
100	826	158	800	140	750	115	782	142	700	115	1006	160	510	115	395				
115	850	171	810	148	760	123	782	160	690	121	1022	172	512	121	398				
123	876	190	818	170	765	135	782	172	695	130	1035	180	514	130	410				
135	884	205	820	178	770	150	776	180	698	145	1110	200	558	145	424				
150	918	228	825	190	770	172	790	196	700	160	1212	230	565	160	426				
172	930	250	840	205	785	180	795	220	700	180	1230	250	602	180	430				
180	945			230	790	200	795	250	712	200	1280			200	448				
200	962			250	795	220	800			230	1320			230	452				
220	976																		
250	988																		

BÖLÜM 4 - DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Bu bölümde çalışmanın deneysel sonuçları ışığında, ısıtılma işlemi görmüş hafif betonların uzun süreli davranışları değerlendirilip irdelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak, taze betonların özellikleri ve kısa süreli yüklemeler altındaki basınç dayanımları ile elastisite modüllerinin yüklenme yaşıyla olan değişimleri irdelenmiştir.

4.1. Taze Betonun Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Tablo 2.5 in incelenmesiyle görülebileceği üzere her iki grup betonda Ve-Be sürelerinin aynı olmasına karşın, çökme değerleri farklı çıkmaktadır. Birinci grup beton serilerinde çökme miktarı daha fazladır. Bu değerlerin aynı birim ağırlıktaki beton serilerinde benzer çıkması beton üretiminde gereken hassasiyetin gösterildiğini ifade etmektedir.

Ayrıca her iki beton grubunda ayrışma görülmemiştir. Bunun nedeni, üretilen betonların 0/2 mm.lik ince agregada bölümünde kum kullanılması ile taze beton kohezyonunun yüksek olması ve bunun yanında hafif betonda, birinci grup serilerde 16/25 mm.lik iri bölümde kısmen kırmataş, ikinci grup hafif beton serilerinde ise hiç kırmataş kullanılmaması buna neden olarak açıklanabilir.

4.2. Kısa Süreli Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Yapılan bu çalışma hafif betonların kısa süreli yükler altındaki davranışının belirlenmesi olmamakla birlikte, sünme deneyleri için yükleme yapılmadan önce, her yükleme basamağındaki beton basınç dayanımı ile elastisite

BÖLÜM 4 - DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Bu bölümde çalışmanın deneysel sonuçları ışığında, ısıtıl işlem görmüş hafif betonların uzun süreli davranışları değerlendirilip irdelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak, taze betonların özellikleri ve kısa süreli yüklemeler altındaki basınç dayanımları ile elastisite modüllerinin yüklenme yaşıyla olan değişimleri irdelenmiştir.

4.1. Taze Betonun Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Tablo 2.5 in incelenmesiyle görülebileceği üzere her iki grup betonda Ve-Be sürelerinin aynı olmasına karşın, çökme değerleri farklı çıkmaktadır. Birinci grup beton serilerinde çökme miktarı daha fazladır. Bu değerlerin aynı birim ağırlıktaki beton serilerinde benzer çıkması beton üretiminde gereken hassasiyetin gösterildiğini ifade etmektedir.

Ayrıca her iki beton grubunda ayrışma görülmemiştir. Bunun nedeni, üretilen betonların 0/2 mm.lik ince agrega bölümünde kum kullanılması ile taze beton kohezyonunun yüksek olması ve bunun yanında hafif betonda, birinci grup serilerde 16/25 mm.lik iri bölümde kısmen kırmataş, ikinci grup hafif beton serilerinde ise hiç kırmataş kullanılmaması buna neden olarak açıklanabilir.

4.2. Kısa Süreli Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Yapılan bu çalışma hafif betonların kısa süreli yükler altındaki davranışının belirlenmesi olmamakla birlikte, sünme deneyleri için yükleme yapılmadan önce, her yükleme basamağındaki beton basınç dayanımı ile elastisite

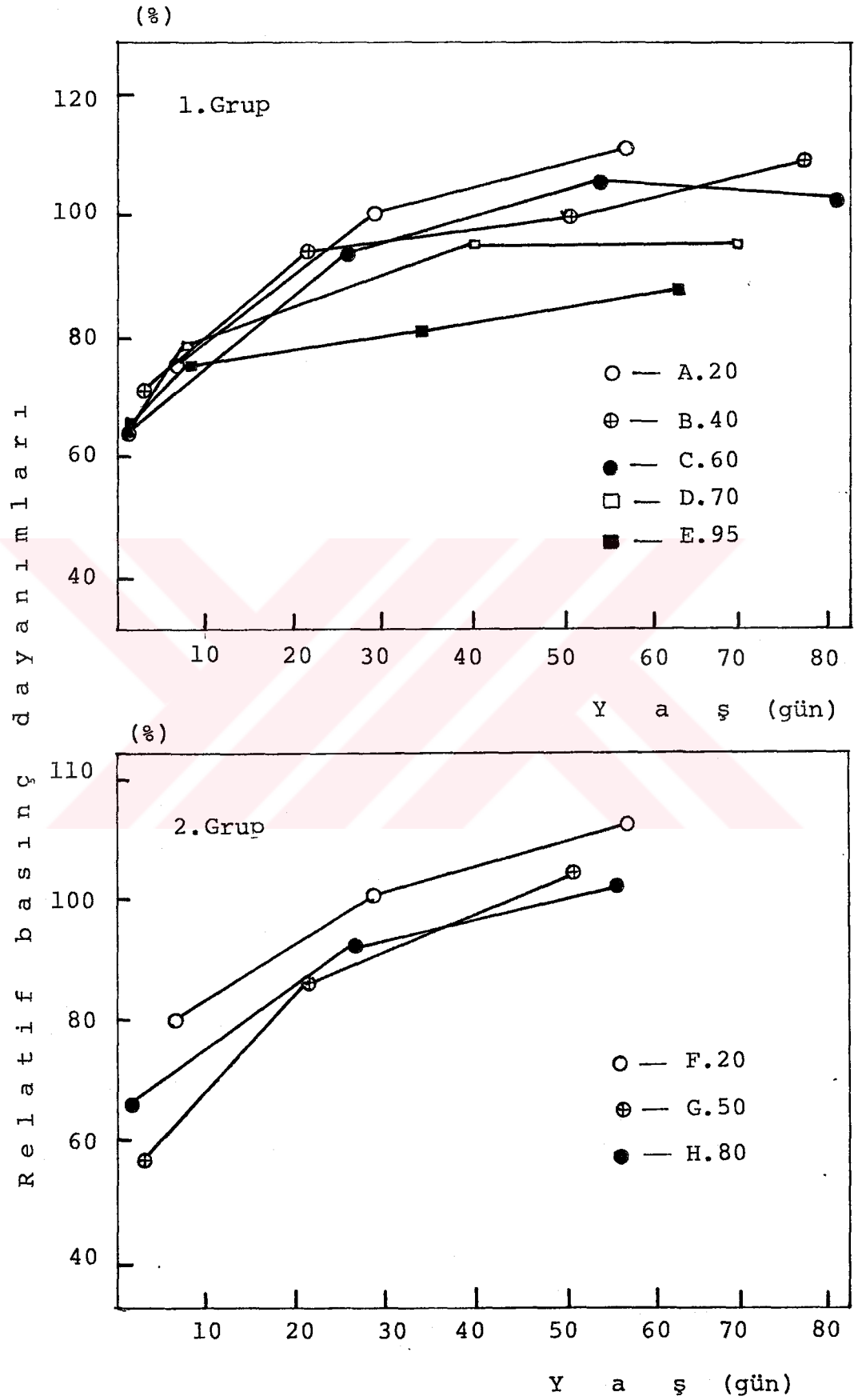
modülünün bilinmesi σ/f_c oranının belirlenmesi, lineer bölgedeki yerin tesbiti bakımından daha gerçekçi bir yaklaşımdır [41].

Tüm beton serilerine ait yükleme basamaklarındaki beton yaşına karşı gelen kısa süreli deney sonuçları Tablo 3.1 de gösterilmiştir. Tablo 3.2 de ise birinci grup betonda A-20 serisinin 28.ci gündeki değerlerine oranlanarak, ikinci grup betonda ise F-20 serisinin 28.ci gündeki değerlerine oranlanarak gösterilmiştir. Hafif betonların değişik zamanlardaki basınç dayanımları ile elastisite modüllerinin sünme deneylerindeki beton yükleme yaşı ile olan bu değişimleri 20 °C de kür edilmiş betonun 28 günlük değerlerinin yüzdesi cinsinden Şekil 4.1 ve 4.2 de gösterilmiştir.

Şekil 4.1 in incelenmesinde basınç dayanımlarının beton yaşı ile değişimlerini her serideki beton için şu şekilde özetlemek mümkündür;

- Beton basınç dayanımı ilk günlerde işlem sıcaklığı ile artarken belli bir gün sonunda dayanım hızı kontrol beton dayanım hızına göre daha az olmaktadır. Relatif basınç dayanımındaki gidiş çizgisi incelendiğinde ilginç ve dikkati çeken yönün 95 °C sıcaklıktaki eğrinin, grafiğin en alt bölgesinde ve diğerlerinden oldukça uzakta bulunmasıdır. Bu durum, işlem sıcaklığındaki artışla beton basınç dayanımını ileri yaşlarda azaltabileceğini göstermektedir. Isıl işlem görmüş betonlarda ileri yaşlardaki dayanım kontrol beton dayanımının altında kalmaktadır.

- Isıl işlem sıcaklığının betonun dayanım kazanma hızında belli bir azalmaya neden olduğu söylenebilir. Bu azalma birim ağırlığı fazla olan betonda (1.Grup) daha çoktur.



Şekil 4.1. Basınç dayanımının yükleme yaşı ile değişimi

- 1. Grup hafif beton serilerinde ilk günlerde en büyük artış D.70 betonunda meydana gelirken artış hızı , ileriki günlerde en aza inerek yataya asimtot hale gelmektedir. Benzer durum E.95 serisinde daha alt düzeyde meydana gelmektedir.

Isıl işlem uygulamasının hafif betonun erken yaşlardaki dayanımını artırdığı, ileri yaşlarda potansiyel dayanım artışıdaki azalmanın, normal beton için olandan daha az olduğu bilinmektedir [3] .

Bu değerlendirmenin ışığı altında buradaki sonuçlarla karşılaştırıldığında her iki sonucun benzer olduğu görülmektedir.

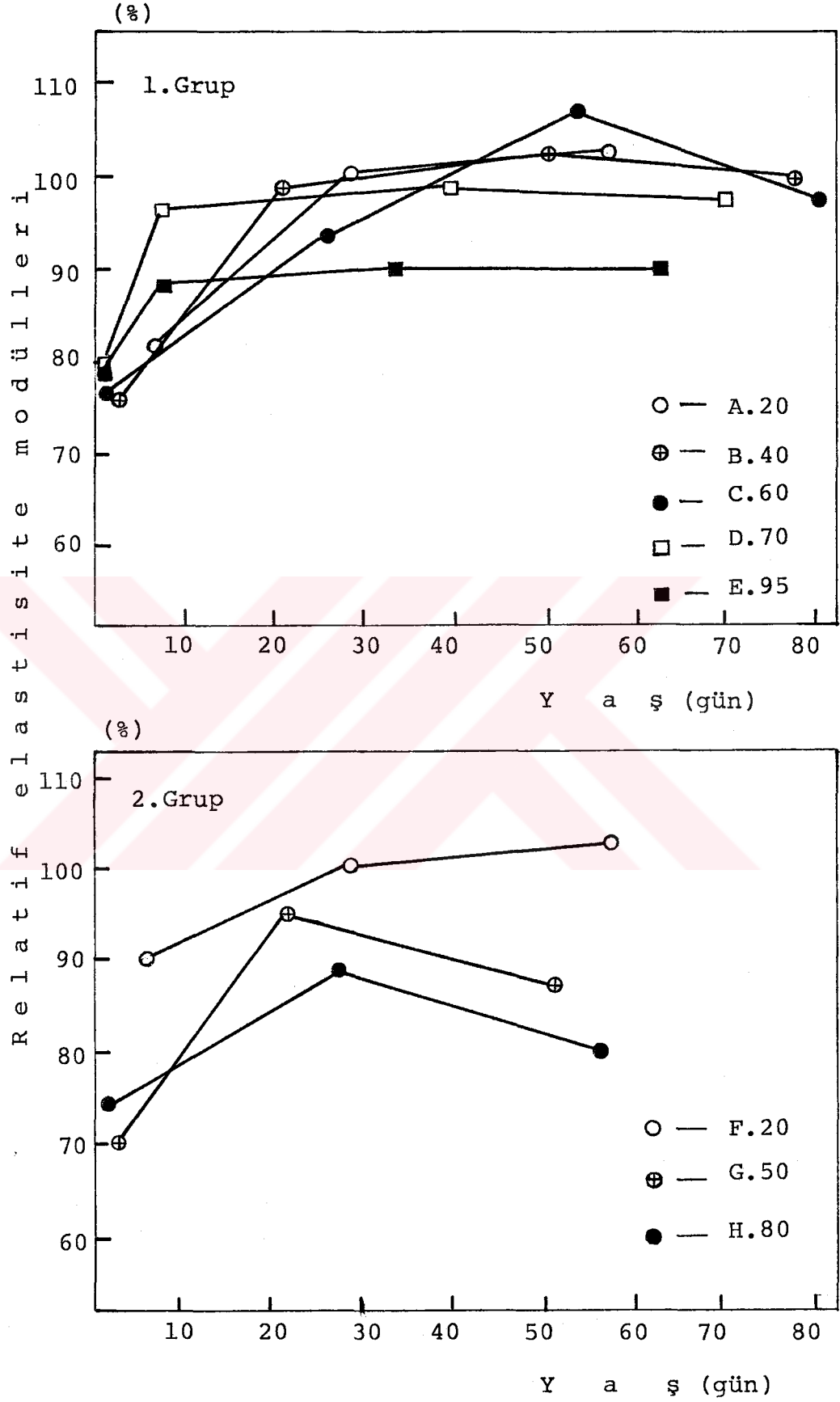
İşlem sıcaklığını çok yüksek tutmanın ileri yaşlardaki hafif beton dayanımını ısıtma işlem görmemiş betonlara göre azalttığı bir yana, ilk yaşlarda orta sıcaklık derecelerine (40-65 °C) kıyasla önemli sayılabilecek bir artış meydana getirmediği buradan açıkça görülmektedir. Kaldı ki uygulamada yüksek sıcaklık derecesi ile üretim yapmanın enerji maliyetine getireceği artış gözardı edilemez. Bu sonuç literatür [34] de belirtilen aynı hususları bir kez daha vurgular niteliktedir.

Şekil 4.2 nin incelenmesinde elastisite modüllerinin beton yaşı ile değişimlerini her serideki beton için şu şekilde özetlemek mümkündür;

- Elastisite modülü ile zaman arasındaki ilişkide en istikrarlı artış A.20 kontrol betonunda olmaktadır. Bu durum ısıtma işlem görmüş hafif betonun ileriki günlerde elastisite modülünde farklı miktarlarda olmak üzere azalma meydana gelebileceğini göstermektedir.

-İleri yaşlarda sıcaklık artışı ile relatif yüzdelerde azalma görülmekte, bu azalma 60 °C sıcaklıkta daha fazla nisbettedir. 50-60.cı yaş civarında elastisite modülü en yüksek değerini 60 °C sıcaklıkta almaktadır.

- Elastisite modülü C.60 serisinde bir maksimumdan geçerek azalmakta, 95 °C sıcaklıkta ise elastisite modülünün gidiş çizgisi diğerlerinden biraz daha aşağıda bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Elastisite modülünün yükleme yaşı ile değişimi

- 2.Grup hafif betonlarda 50-80 °C de elastisite modülü bir maksimumdan geçerek azalırken, 20 °C sıcaklıkta artış zamanla devam etmektedir.

Buradan çıkarılan sonuç, sıcaklığın artışı ile ileri yaşlarda elastisite modülünün azalmakta olduğudur. Bu sonuç aynı zamanda hafif betonların yükleme altında daha fazla deformasyon yapabileceğini gösterir.

4.3. Uzun Süreli Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Araştırmada deney serilerine ait uzun süreli deney sonuçları toplam ve sünme deformasyonları şeklinde bulunarak Bölüm 3 de verilmişti. Aynı bölümde yüksüz durumda meydana gelen rötre deformasyonları tüm seriler için bulunarak gösterilmiştir.

Sünme deney sonuçları kullanılarak hafif betonun sünmesi seçilen logaritmik bir fonksiyonla irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo ve şekiller halinde verilecektir.

4.3.1. Betonun Zamana Bağlı Davranışı ve Değişken Yükleme Altındaki Sünmesinin Tahmini

Bir malzemenin belli bir $\sigma(z)$ aksenal yükleme programına göre zamana bağlı şekil değiştirmesi,

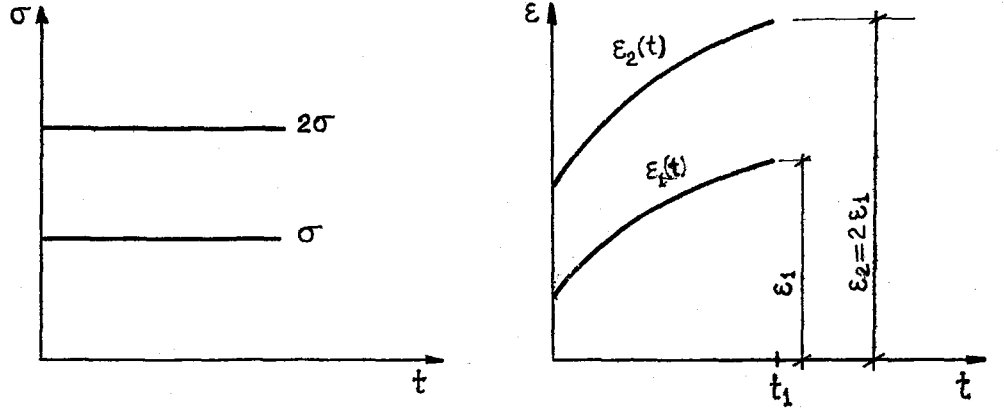
$$\epsilon(t) = f \left[\sigma(z) \right]_{z=0}^t \quad (4.1)$$

şeklinde bir fonksiyonelle gösterilir. Malzemenin lineer viskoelastik bir davranış göstermesi halinde (beton servis yüklerinde lineer viskoelastik olduğu varsayılarak) süperpozisyon ilkesi geçerlidir, başka deyişle yukarıdaki fonksiyonel doğrusaldır.

$$f \left[c \sigma(z) \right]_{z=0}^t = c f \left[\sigma(z) \right]_{z=0}^t \quad (4.2)$$

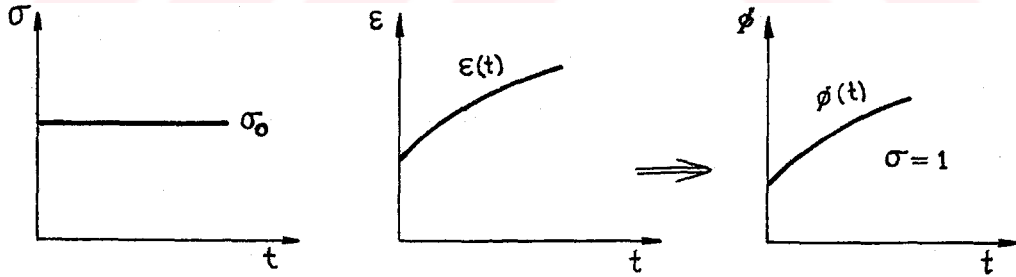
$$f \left[\sigma_1(z) + \sigma_2(z) \right]_{z=0}^t = f \left[\sigma_1(z) \right]_{z=0}^t + f \left[\sigma_2(z) \right]_{z=0}^t \quad (4.3)$$

Lineerliğin deneysel yoldan saptanması Şekil 4.3 de verilmiştir;



Şekil 4.3. Lineer viskoelastik bir malzemenin davranışını gösteren yükleme programı ve $\epsilon-t$ diyagramı

Bu lineer davranış koşullarından yararlanılarak σ_0 sabit gerilmesi altında birim sünme fonksiyonu aşağıdaki diyagramda görüldüğü şekilde,

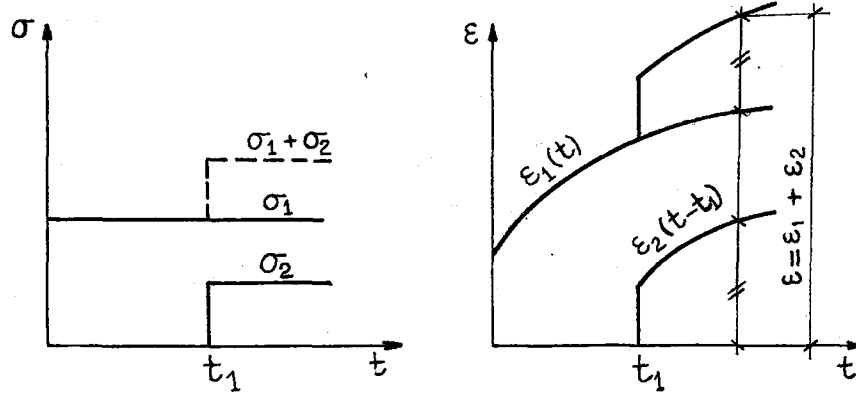


Şekil 4.4. Sabit gerilme altında sünme fonksiyonu grafiği

$$\phi(t) = \frac{\epsilon(t)}{\sigma_0} \quad , \text{ buradan } \epsilon(t) = \sigma_0 \cdot \phi(t) \quad (4.4)$$

olarak elde edilir. Bu denklemdaki birim sünme fonksiyonu veya kısaca sünme fonksiyonu diğer malzemelerden farklı olarak betonun yaşının da bir fonksiyonudur.

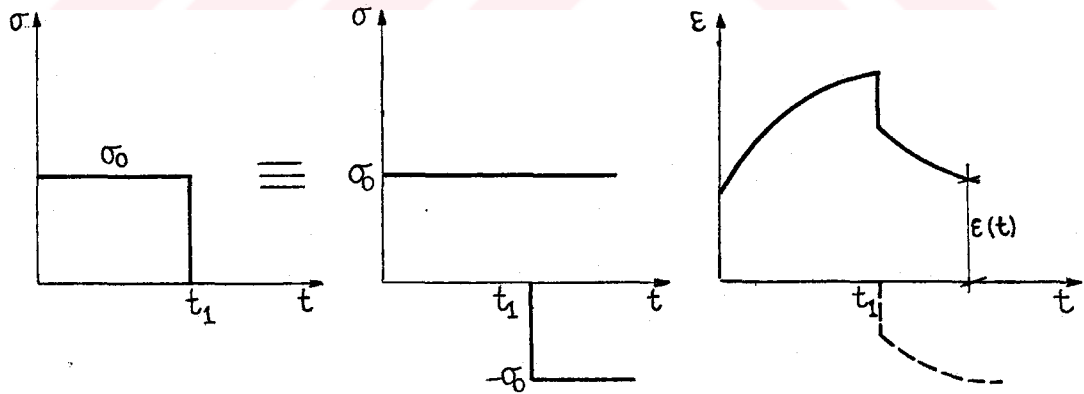
Uygulamada betona gelen gerilmeler kademeli olarak değişir. Bu durumda değişken gerilmelere maruz betonun zamana bağlı şekil değiştirmesinin tahmini için süperpozisyon ilkesi uygulanarak deformasyonlar hesaplanır.



Şekil 4.5. Gerilmenin zamana bağlı değişimini gösteren bir yükleme programı ve $\epsilon-t$ diyagramı

$$\epsilon(t) = \epsilon_1(t) + \epsilon_2(t-t_1) = \sigma_1 \phi_1(t) + \sigma_2 \phi_2(t-t_1) \quad (4.5)$$

Süperpozisyon yönteminde gerilme azalması negatif işaretli bir artma olarak varsayılmaktadır.

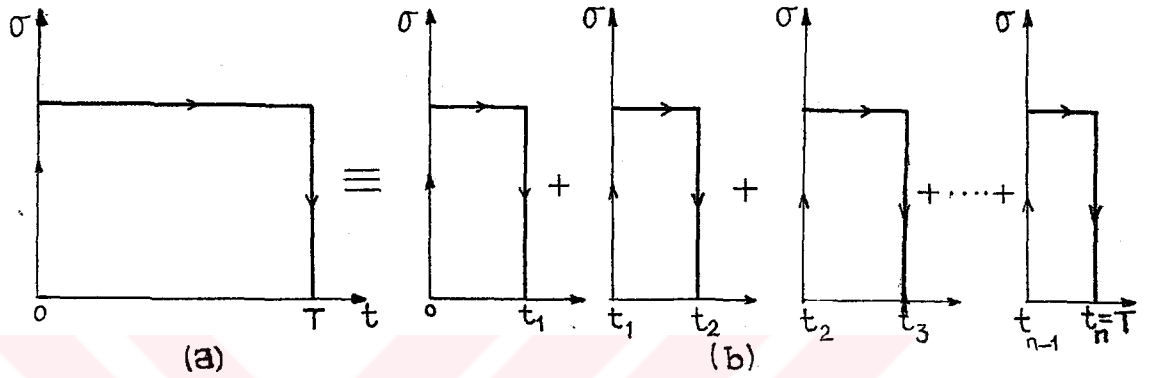


Şekil 4.6. Gerilmenin kademeli azalmasını gösteren bir yükleme programı ve $\epsilon-t$ diyagramı

$$\epsilon(t) = \sigma_0 \phi_0(t) - \sigma_1 \phi_1(t-t_1) \quad (4.6)$$

ϕ_0 , ϕ_1 ; sırasıyla yükleme ve boşaltma yaşlarına karşı gelen sünme fonksiyonlarıdır.

Herhangi iki ardışık yükleme arasında ϕ deki değişim $\varepsilon(t)$ 'yi etkilemez. $\varepsilon(t)$ yalnız yükleme basamaklarındaki değişen sünme fonksiyonlarının etkisindedir. Bunu göstermek için Şekil 4.7 a ve b deki yükleme programını gözönüne almak yeterlidir.



Şekil 4.7. Yüklemenin süperpozisyon ilkesi gereği özdeşliğini gösteren yükleme programı.

Bu durumda $t > T$ için $\varepsilon(t)$ şekil değiştirmesi,

$$\varepsilon(t) = [\sigma_0 \cdot \phi_0(t-0) - \sigma_0 \cdot \phi_1(t-t_1)] + [\sigma_0 \cdot \phi_1(t-t_1) - \sigma_0 \cdot \phi_2(t-t_2)] + \dots +$$

$$+ [\sigma_0 \cdot \phi_{n-1}(t-t_{n-1}) - \sigma_0 \cdot \phi_n(t-T)] = \sigma_0 \cdot \phi(t) - \sigma_0 \cdot \phi_n(t-T)$$

(4.7)

olarak elde edilir.

Elde edilen (4.7) denkleminde de görüleceği üzere şekil değiştirme sünme fonksiyonunun $(0, T)$ aralığında yaşa bağlı değişiminin etkisinde olmayıp ardışık iki yükleme anındaki sünme fonksiyonuna (ϕ) bağlıdır.

Şekil değiştirmenin yalnız yükleme basamaklarındaki sünme fonksiyonlarının etkisi altında olması dolayısıyla, betonun herhangi bir yaşındaki sünme fonksiyonunun diğer malzemelerin sünme fonksiyonlarının yapılarına benzemeyeceğini öne sürmek doğaldır. Günümüzde beton dahil tüm malzemelerin en çok kullanılan sünme fonksiyonlarının yapıları aşağıda belirtilmektedir [41, 52].

- a) Kuvvet fonksiyonu : $\phi_t = a + bt^n$
 b) Üstel fonksiyon : $\phi_t = a(1 - e^{-kt})$

(4.8)

c) Hiperbolik fonksiyon: $\phi_t = A + \frac{t}{a - bt}$

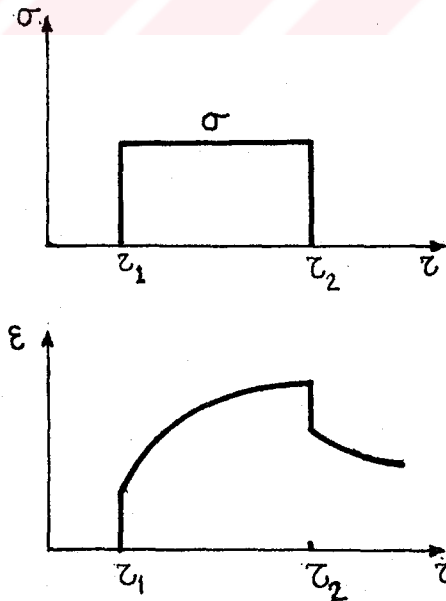
d) Logaritmik fonksiyon: $\phi_t = a + b \log_e (t+1)$

Bu çalışmada, hafif betonların davranışına uygunluk gösteren logaritmik sünme fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyondaki katsayılar, seçilen beton parametrelerine ve betonun yaşına bağlıdır.

Logaritmik sünme fonksiyonundaki katsayılar belli bir tip için beton yükleme yaşının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\phi(t-\tau, \tau) = a(\tau) + b(\tau) \log_e (t-\tau+1) \quad (4.9)$$

Burada τ , herhangi bir andaki betonun yükleme yaşını gösterir.



Şekil 4.8. İki zaman aralığında σ gerilmesi altında oluşan şekil değiştirme.

Şekil 4.8 de görüldüğü üzere $\tau_1 \leq t \leq \tau_2$ aralığında,

$$\xi(t) = [a_1 + b_1 \log_e (t - \tau_1 + 1)] \sigma(\tau_1) \quad \text{den,} \quad (4.10)$$

a_1 ve b_1 hesaplanır. $t \geq \tau_2$ ise,

$$\xi(t) = [a_1 + b_1 \log_e (t - \tau_1 + 1)] \sigma(\tau_1) - [a_2 + b_2 \log_e (t - \tau_2 + 1)] \sigma(\tau_2) \quad (4.11)$$

den de a_2 ve b_2 sabitleri hesaplanır.

Bu denklemle, değişken gerilmeli bir yükleme programı için her yükleme aralığına ait "a" ve "b" katsayıları hesaplanır. Yükleme yaşına göre bunların değişimleri log-log ölçeğinde gösterilmesi halinde $a(\tau)$ ve $b(\tau)$ nun değişimleri,

$$a(\tau) = k_1 \cdot \tau^{k_2} \text{ ve } b(\tau) = k_3 \cdot \tau^{k_4} \quad (4.12)$$

biçiminde yazılabildiği görülmüştür [79]. Burada k_1, k_2, k_3, k_4 birer katsayıdır ve zaman dışında kalan diğer parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada yukarıdaki katsayılar diğer tüm parametreler sabit tutulduğu için yalnız ısı işlem sıcaklığına (T °C) bağlıdır.

4.3.2. Sünme deney sonuçlarından yararlanarak yükleme basamaklarındaki logaritmik sünme fonksiyonlarının hesaplanması

Lineer viskoelastik bir varsayımla değişken gerilmeler etkisindeki hafif betonun sünmesini ifade etmek için seçilen fonksiyonun, deney sonuçları ile daha iyi uyum sağladığı Bölüm 4, paragraf 4.3.2 de açıklanmıştır.

Bu çalışmada seçilen logaritmik sünme fonksiyonu,

$$\phi(t) = a + b \log_e (t + 1) \quad (4.13)$$

şeklindedir.. Burada "a" sabiti uzun süreli yüklemedeki ani deformasyonu, "b" sabiti ise uzun süreli yüklemedeki sünme deformasyonunu ifade etmektedir.

"a" ve "b" sabitleri betonun yükleme yaşı ile değişken seçilen işlem sıcaklığının bir fonksiyonu olduğu kabul

edilerek aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\phi(t, \tau, T) = a(\tau, T) + b(\tau, T) \cdot \log_e(t - \tau + 1) \quad (4.14)$$

Burada τ , betonun yükleme yaşını, T ise işlem sıcaklığını göstermektedir.

Yapılan bu çalışmada deney sonuçlarından yararlanılarak yükleme basamaklarına karşı gelen "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması Tablo A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7 ve A.8 de gösterilmiştir. Hesap şu şekilde düşünülerek gerçekleştirilmiştir.

Önce 1.ci basamak yüklemedeki deformasyonların oluşumunda yer alan a_1 ve b_1 katsayıları,

$$\epsilon_1 = [a_1 + b_1 \log_e(t - \tau_1 + 1)] \sigma_1 \quad (4.15)$$

$$\phi_1 = a_1 + b_1 \log_e(t - \tau_1 + 1)$$

denkleminde görüldüğü gibi hesaplanmıştır. (ϵ_1) toplam deformasyonuna karşı gelen zaman fonksiyonunun $\log_e(t - \tau_1 + 1)$ değerleri bulunarak doğrusal korelasyonla yükleme yaşına karşı gelen bu sabitler hesaplanmıştır.

Daha sonra değişken yüklemenin 2.ci basamağına ait a_2 ve b_2 sabitlerini hesaplamak için,

$$\epsilon_2 = \epsilon_t - [a_1 + b_1 \log_e(t - \tau_1 + 1)] \sigma_1$$

$$\epsilon_2 = [a_2 + b_2 \log_e(t - \tau_2 + 1)] \sigma_2$$

$$\phi_2 = \frac{\epsilon_2}{\sigma_2} \quad (4.16)$$

denklemini kullanılarak önce ϵ_2 deformasyonları hesaplanmış

daha sonra basamaktaki sabitler bulunmuştur. Burada,

ϵ_t : Basamakdaki toplam deformasyonu

ϵ_2 : 2.ci Basamak yüklemesine ait toplam deformasyon

τ_2 : Basamakdaki yükleme yaşını

σ_2 : 2.ci basamakta uygulanan gerilme artışı veya kısaca basamak gerilmesini

ϕ_2 : 2.ci basamakdaki sünme fonksiyonunu

a_2, b_2 : 2.ci basamakdaki logaritmik sünme fonksiyonunu göstermektedir.

2.ci basamak yüklemeye ait ϵ_2 deformasyonları bulunduktan sonra bu değerler karşı gelen $\log_e(t - \tau_2 + 1)$ değerleri basamakdaki zaman dilimlerinde hesap edilmiştir.

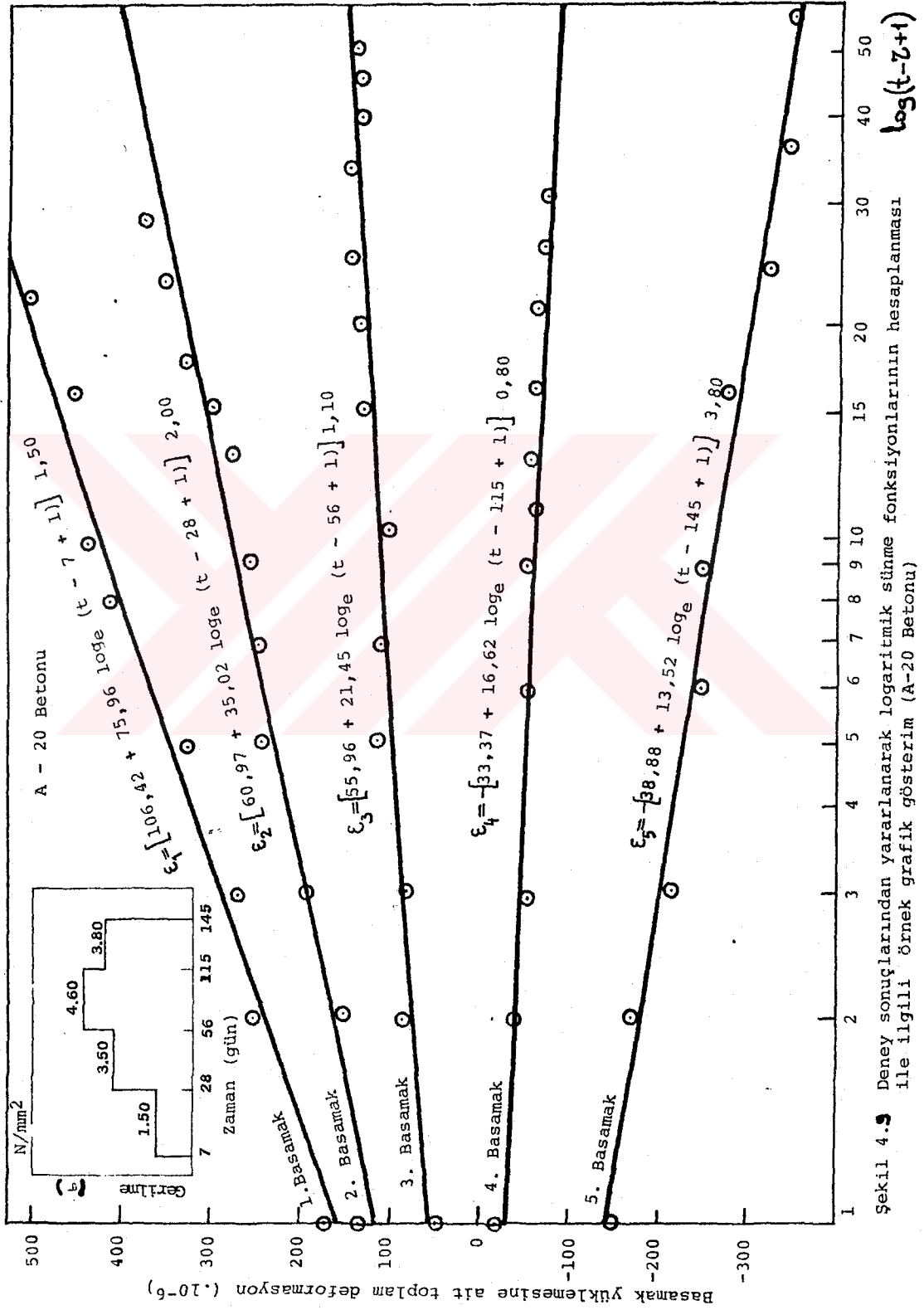
Daha sonra lineer korelasyonla bu basamakdaki a_2 ve b_2 katsayıları bulunmuştur. Ayrıca bu katsayılarla ait korelasyonlar hesap edilerek gösterilmiştir.

Diğer basamaklardaki katsayılar benzer şekilde hareket edilerek hesaplanmıştır. Boşaltmalarda gerilmeler eksi işaretli bir yükleme olarak kabul edilmiştir. Deney sonuçlarından yararlanarak yükleme basamaklarındaki "a" ve "b" katsayılarının hesaplanmasının ifadelendirdiği örnek grafik gösterim Şekil 4.9 da gösterilmiştir.

Buna göre 4 ila 5.ci basamak aralarındaki bir $\epsilon(t)$ süresinde toplam deformasyon yazılacak olursa,

$$\begin{aligned} \epsilon(t) &= \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4 \\ \epsilon(t) &= \sigma_1 \cdot \phi_1 + \sigma_2 \cdot \phi_2 + \sigma_3 \cdot \phi_3 - \sigma_4 \cdot \phi_4 \end{aligned} \quad (4.17)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde 4 ayrı sünme fonksiyonu ve 8 adet denklem sabiti mevcuttur. (4.17) denklemindeki (ϕ) ler açık olarak yazıldığında (4.15) denkleminde görüleceği üzere a_1, a_2, a_3, a_4 ile b_1, b_2, b_3, b_4 katsayıları yukarıdaki denklemin sabitleri olduğu görülür.



Tüm beton serilerinde, "a" ve "b" katsayılarının farklı yükleme yaşlarına karşı gelen değerleri bulunduğundan sonra log-log ölçeğinde beton yükleme yaşı ile olan değişimleri Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 de ve bulunan sonuçlar Tablo 4.1 ve 4.2 de gösterilmiştir. Bu değişimde "a" ve "b" nin korelasyon değerleri yine hesaplanarak tabloda verilmiştir.

Şekillerin incelenmesinde görüleceği üzere "a" ve "b" nin logaritmalarıyla yükleme yaşının logaritması arasında iyi bir korelasyon vardır. Bu katsayıların logaritmaları yükleme yaşının logaritmasıyla azalmaktadır, fakat bu azalma farklı eğimlerde olmaktadır. "b" nin eğimi "a" ya oranla daha fazladır. "b" nin bu değişimdeki korelasyonu "a" nin korelasyonundan daha yüksek olmakla birlikte her ikisinde çok iyi bir düzeydedir.

Konunun amacında da belirtildiği gibi "a" ve "b" nin yükleme yaşıyla olan bu değişimi belirlendikten sonra, herhangi bir yaştaki betonun sünme fonksiyonu bu değişimden yararlanarak bulunabilir. Sünme fonksiyonu bulunan betonun belli bir gerilme altında yapacağı toplam ve sünme deformasyonları büyük bir yaklaşımla kestirilebilmektedir [79] .

Böylece elde edilen $a(\tau_i)$ ve $b(\tau_i)$ nin yükleme yaşıyla olan değişimleri,

$$\begin{aligned} a(\tau) &= k_1 \cdot \tau^{k_2} \\ b(\tau) &= k_3 \cdot \tau^{k_4} \end{aligned} \quad (4.18)$$

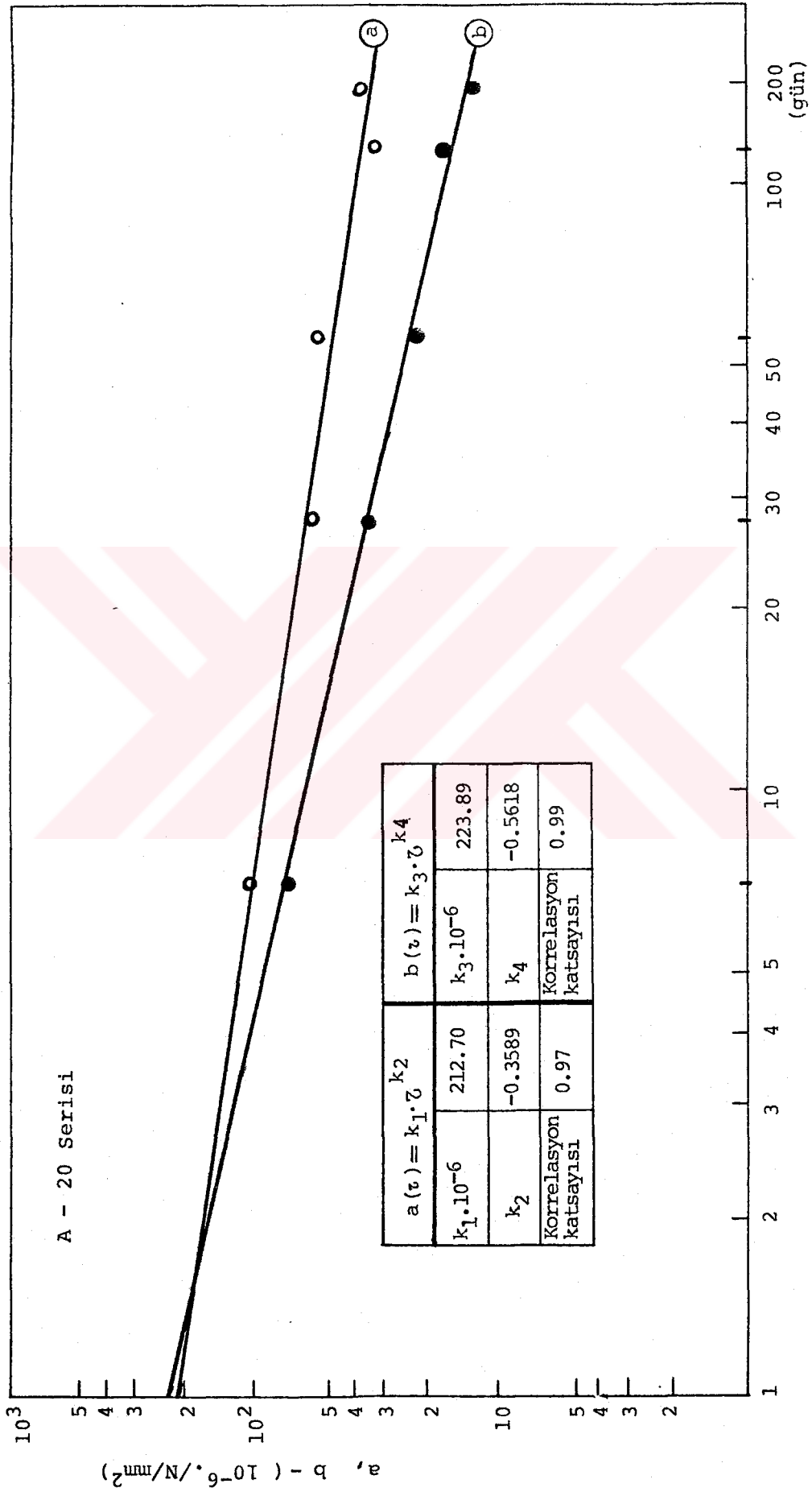
biçiminde yazılabilir. Burada k_1, k_2, k_3, k_4 yükleme yaşından bağımsız hale getirilmiş birer katsayıdır. Bu katsayılar genelde saklama koşulu, işlem sıcaklığı, su/çimento, vb. gibi parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada işlem sıcaklığı dışındaki bütün parametreler sabit tutulduğu için söz konusu katsayılar yalnız işlem sıcaklığına bağlı olur. "a" ve "b" lerin yükleme yaşına bağlı gidiş diyagramlarından yararlanılarak bulunan "k" katsayıları Tablo 4.3 de gösterilmiştir. Sonuçta (4.18) denklemindeki

Tablo 4. 1. Sünme deney sonuçlarından hesaplanan logaritmik sünme fonksiyon sabitleri (1.grup betonlar)

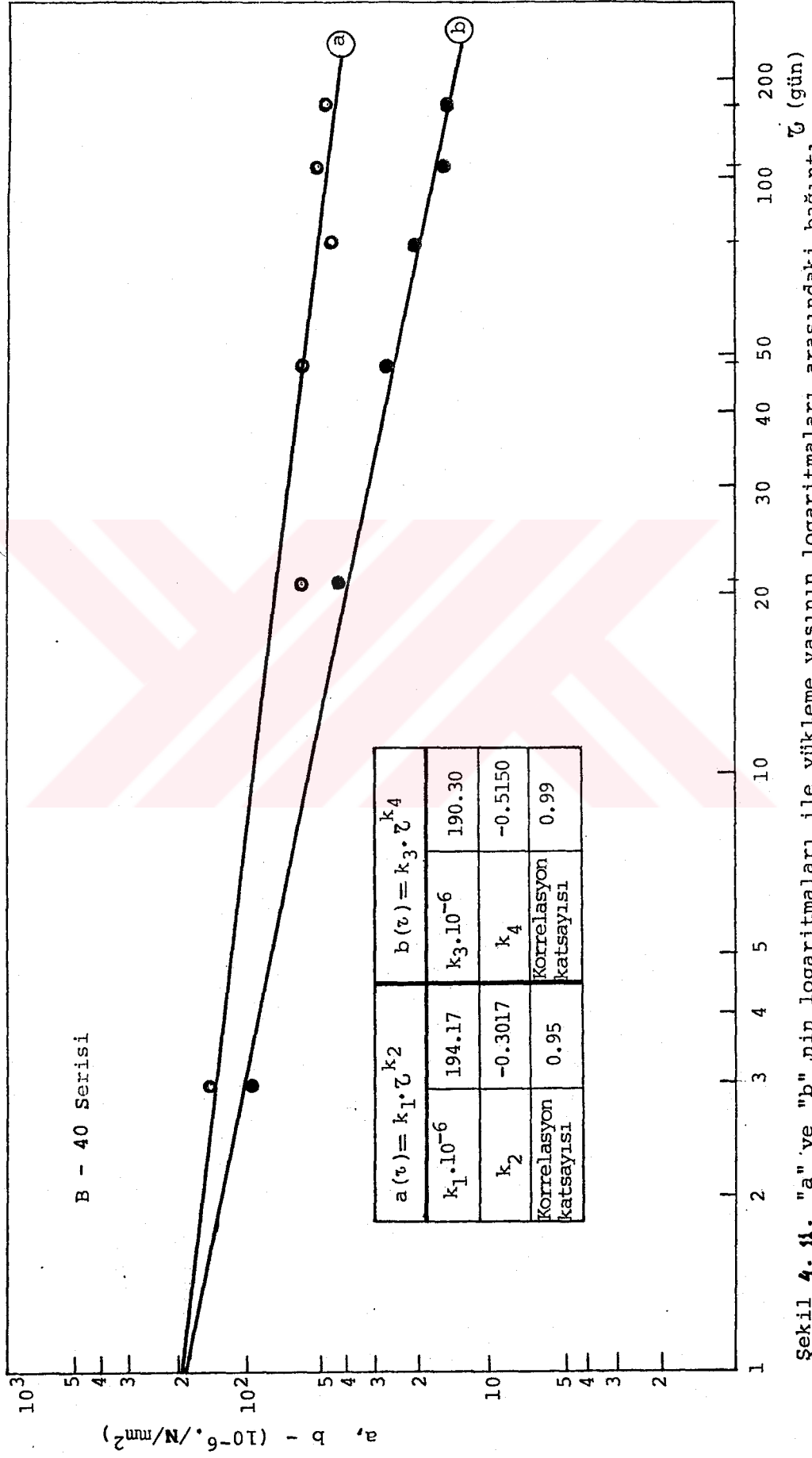
Beton kodu	1. Grup hafif beton serilerine ait "a" ve "b" katsayıları ($\times 10^{-6} ./N/mm^2$)						
A - 20	t (gün)	7	28	56	115	145	-
	a	106.42	60.97	55.93	33,37	33.88	-
	b	75.96	35.02	21.45	16.62	13.52	-
	Korrelasyon katsayısı	0.99	0.98	0.97	0.96	0.99	-
B - 40	t (gün)	3	21	49	77	105	132
	a	154.33	63.20	62.08	46.33	52.73	48.75
	b	102.26	43.83	26.44	20.46	16.21	15.11
	Korrelasyon katsayısı	0.99	0.98	0.90	0.97	0.95	0.98
Kontrol C - 60	t (gün)	1	25	53	81	110	140
	a	137.74	69.23	64.05	47.83	53.53	41.76
	b	127.85	38.28	29.62	25.63	19.30	15.70
	Korrelasyon katsayısı	0.99	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99
D - 70	t (gün)	1	8	40	70	114	143
	a	123.07	74.41	61.66	42.64	53.04	46.65
	b	95.53	57.68	31.62	30.50	25.82	18.60
	Korrelasyon katsayısı	0.99	0.98	0.97	0.96	0.98	0.99
E - 95	t (gün)	1	8	35	63	108	137
	a	85.39	79.88	56.55	49.25	55.80	57.91
	b	66.56	53.31	39.11	32.48	29.87	33.41
	Korrelasyon Katsayısı	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.99

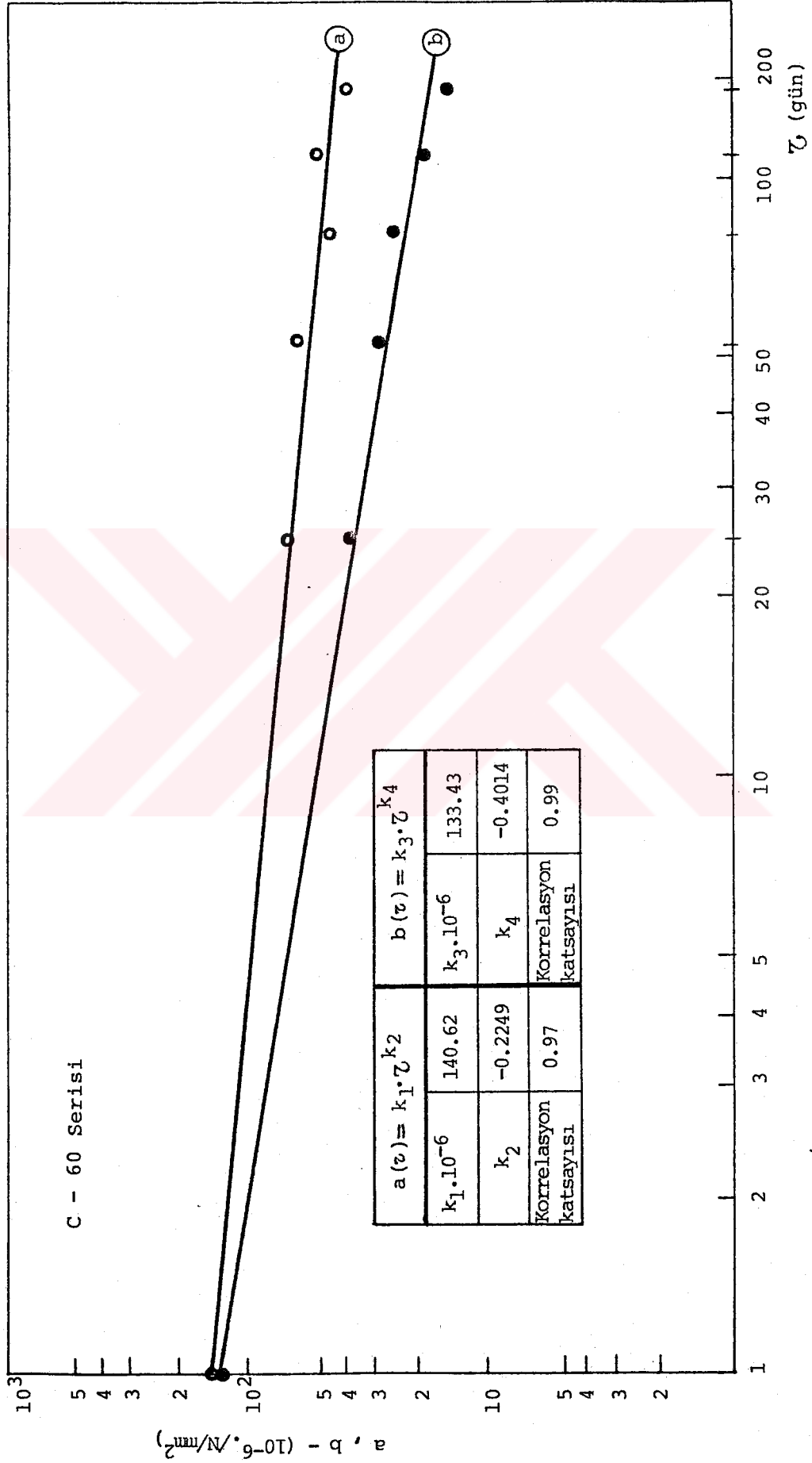
Tablo 4.2. Sünme deney sonuçlarından hesaplanan logaritmik sünme fonksiyon sabitleri (2.grup betonlar)

Beton kodu	2.Grup hafif beton serilerine ait "a" ve "b" katsayıları ($\times 10^{-6} ./N/mm^2$)					
F - 20	t (gün)	7	28	56	84	112
	a	145.33	112.68	91.56	81.06	73.48
	b	111.16	65.41	42.42	33.90	31.69
	Korrelasyon katsayısı	0.99	0.99	0.94	0.96	0.99
G - 50	t (gün)	3	21	50	77	105
	a	183.47	117.97	97.72	113.66	91.59
	b	124.72	65.14	49.57	36.96	37.37
	Korrelasyon katsayısı	0.99	0.99	0.98	0.91	0.99
H - 80	t (gün)	2	26	54	82	110
	a	173.15	116.30	118.57	116.71	119.66
	b	116.90	54.12	40.85	32.10	35.99
	Korrelasyon katsayısı	0.99	0.99	0.93	0.95	0.99

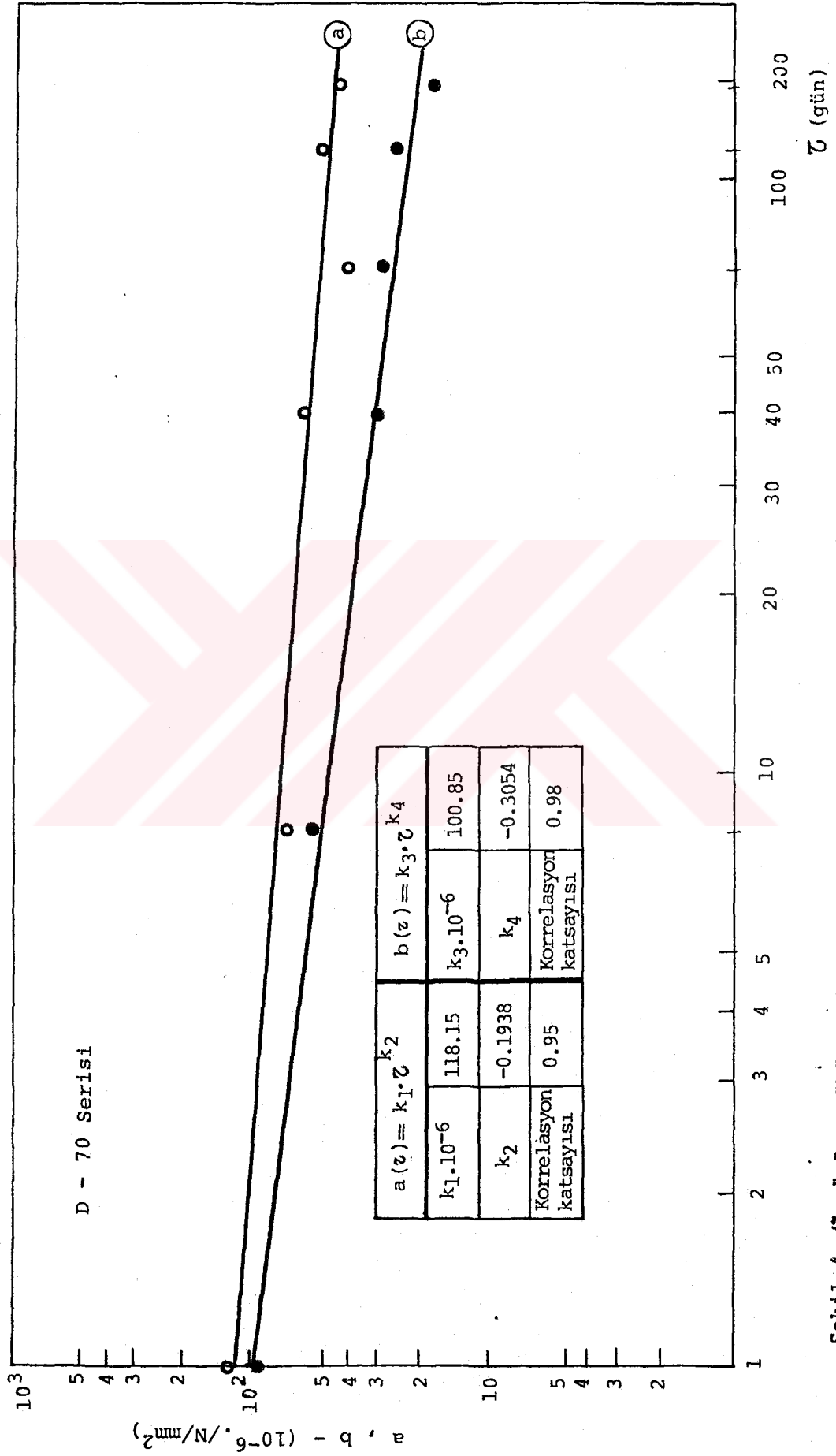


Şekil 4. 10. "a" ve "b" nin logaritmalari ile yikleme yasinin logaritmalari arasindaki bağıntı

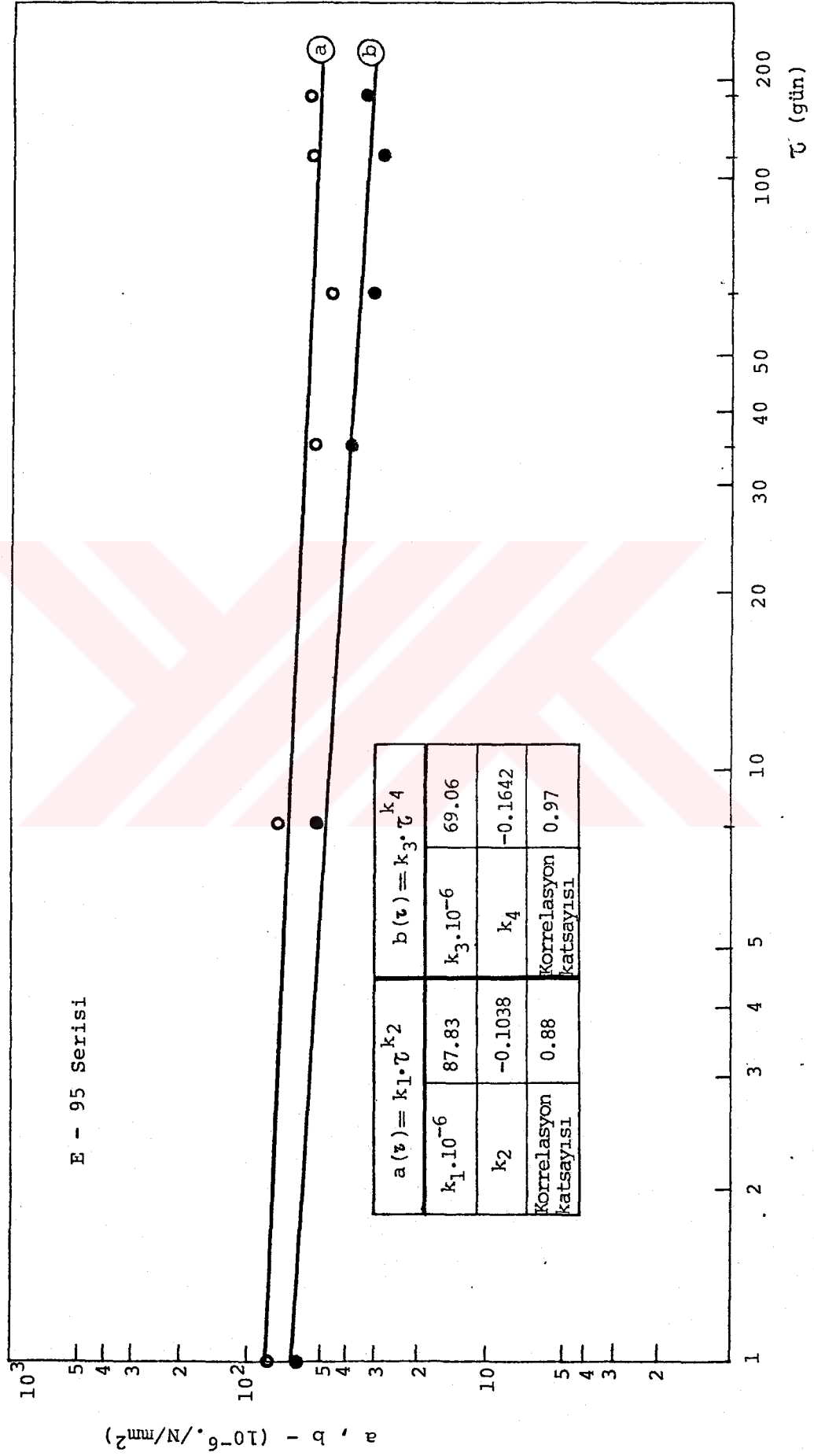




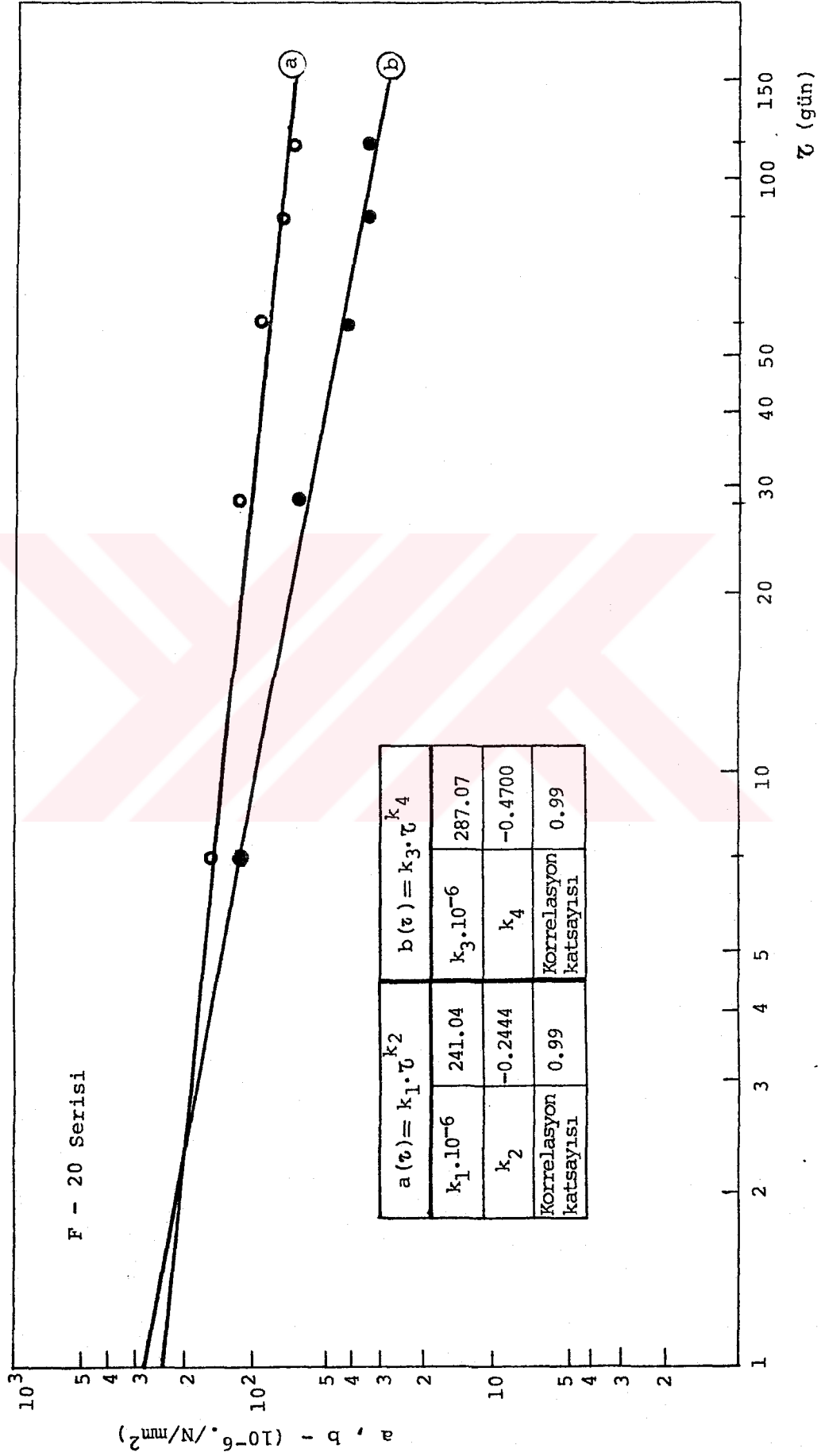
Şekil 4. 12. "a" ve "b" nin logaritmalari ile yükleme yaşının logaritmalari arasındaki bağıntı



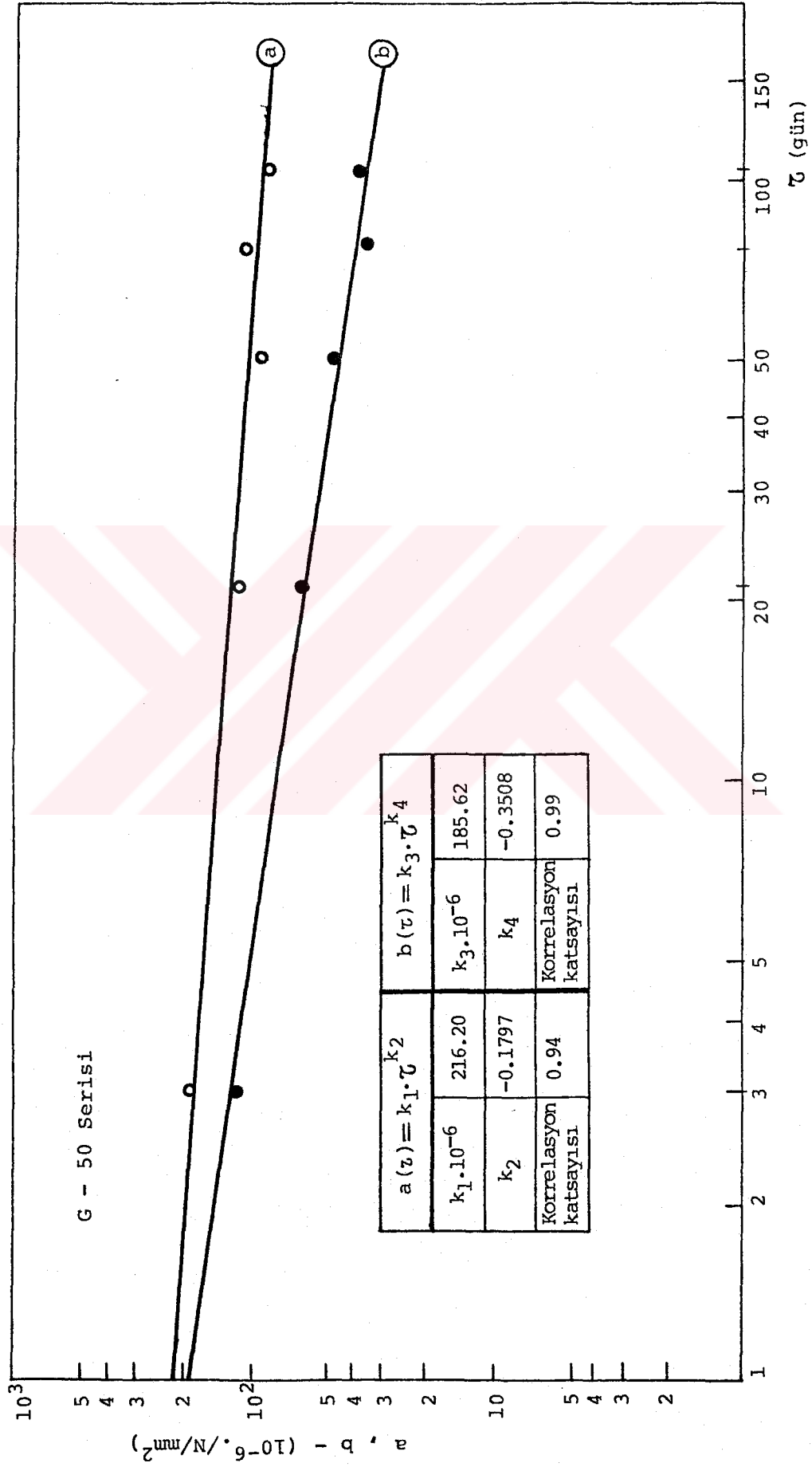
Şekil 4.13. "a" ve "b" nin logaritmalari ile yükleme yaşının logaritmaları arasındaki bağıntı



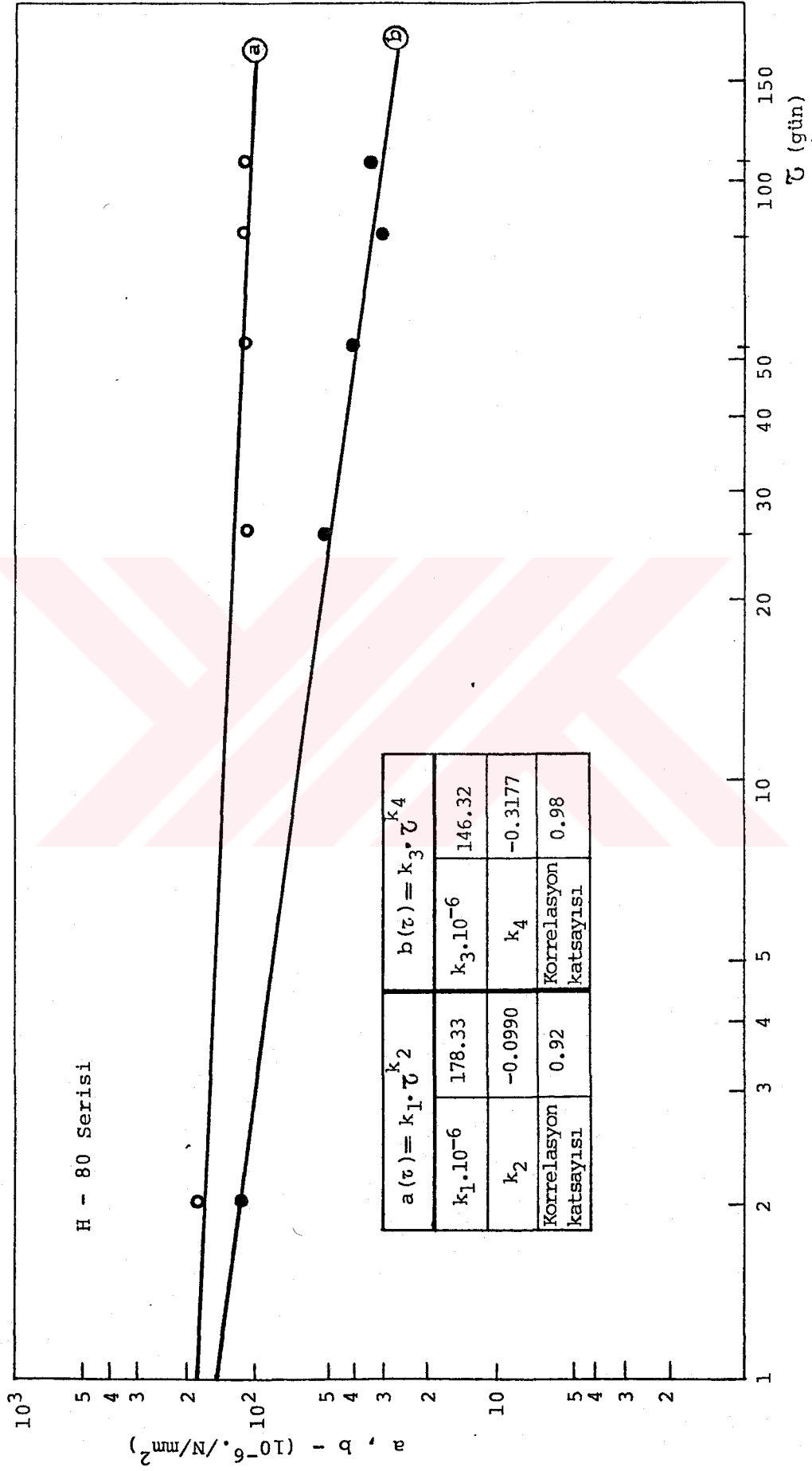
Şekil 4.44. "a" ve "b" nin logaritmalari ile yikleme yaşının logaritmalari arasındaki bağıntı



Şekil 4.15. "a" ve "b" nin logaritmatmaları ile yükleme yaşının logaritmatmaları arasındaki bağıntı



Şekil 4.16. "a" ve "b" nin logaritmalari ile yükleme yaşının logaritmalari arasındaki bağıntı



Şekil 4.17. "a" ve "b" nin logaritmalari ile yıklme yaşının logaritmalari arasındaki bağıntı

"a" ve "b" katsayıları aynı beton için yalnız yükleme yaşına bağlı bir bilinmeyenli denklem haline dönüştürülmüştür. Sonuçta lineer viskoelastik bir varsayım ile belli bir gerilme altında meydana gelen deformasyonları herhangi bir yükleme yaşına göre iyi bir yaklaşımla tahmin etmek olanak dahilindedir.

4.3.3. Logaritmik sünme fonksiyonlarından elde edilen "k" katsayılarının ısı işlem sıcaklığıyla değişiminin irdelenmesi

Bölüm 1 de açıklandığı gibi yapılan bu çalışma hafif betonun zamana bağlı davranışı değişken seçilen ısı işlem sıcaklığıyla irdelenmiştir. Kür koşullarından işlem sıcaklığı parametresi beton serisi olarak isimlendirilmiştir.

Sünme deney sonuçlarından viskoelastik bir varsayım ile yararlanılarak süperpozisyon ilkesi uygulanmış ve seçilen logaritmik sünme fonksiyon sabitleri yükleme yaşına bağlı olarak önceki paragrafta hesaplanmıştı. Yine bu sabitler yalnız yükleme yaşına bağlı bir fonksiyon haline dönüştürülerek (4.18) denklemde gösterilmiştir. Bu denklemdeki (a) sabitine ait k_1, k_2 , (b) sabitine ait k_3, k_4 katsayıları yükleme yaşından bağımsız, yalnız işlem sıcaklığına bağlı birer katsayıdır.

Tüm beton serilerinde bu katsayıların işlem sıcaklığıyla değişimleri Şekil 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 de gösterilmiştir.

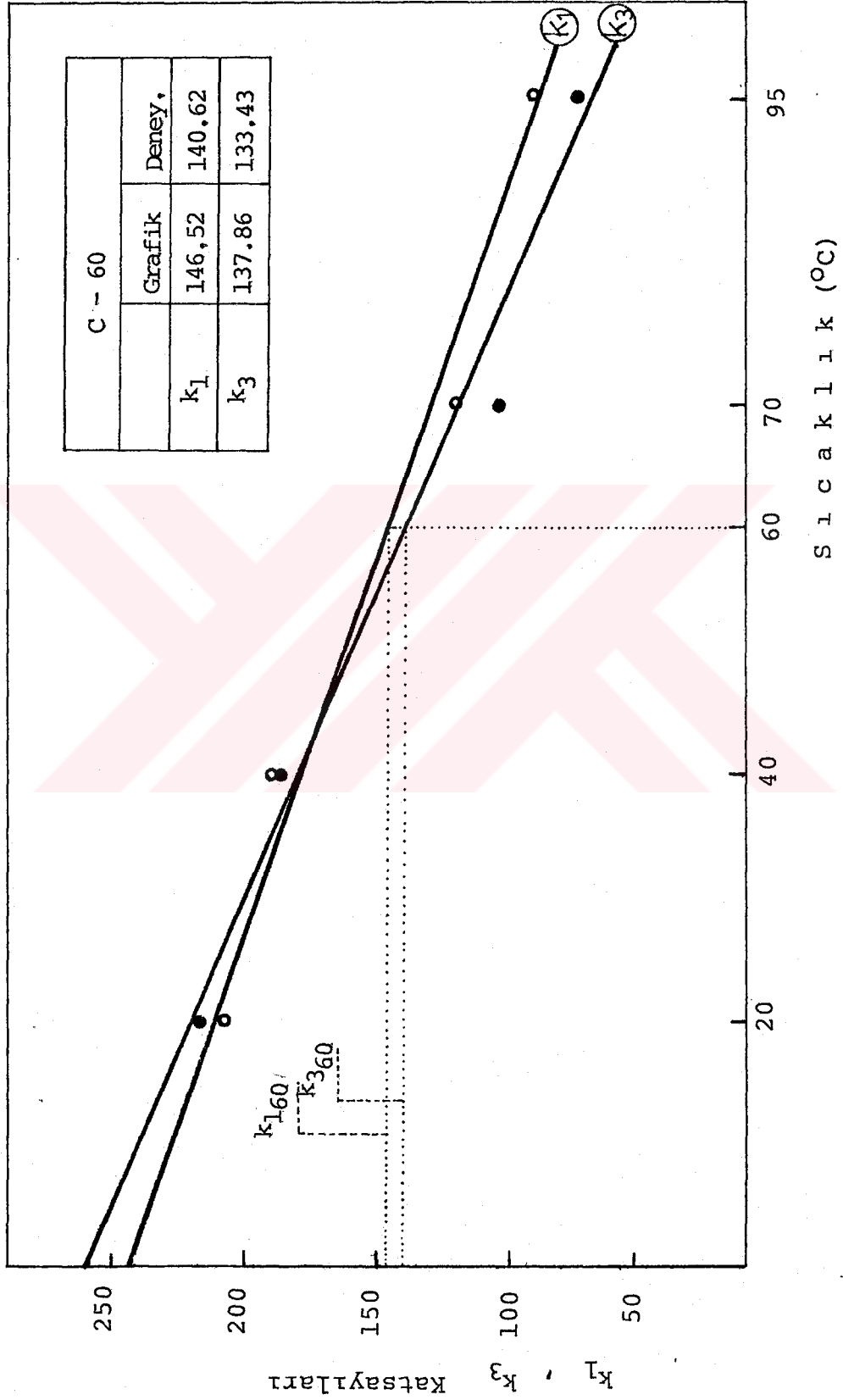
Bu şekillerin incelenmesinden görüleceği gibi, 1.ci grup hafif betonlarda "k" katsayılarının işlem sıcaklığıyla olan değişiminde C-60 serisi bu değerlendirmenin dışında tutulmuştur. "k" gidiş doğruları A-20, B-40, D-70, E-95 serileri dikkate alınarak çizilmiş, C-60 serisi kontrol amacıyla kullanılmıştır. Grafikten 60 °C ye karşı gelen "k" katsayıları ile deney sonuçlarından bulunan "k" katsayıları anılan şekillerde gösterilmiştir. Tablo 4.3 deki "k" katsayıları 1.ci grup için A-20 deki, 2.ci grup için F-20 deki değerlere oranlanarak bulunan relatif deney sonuçları Tablo 4.4 de gösterilmiştir.

Tablo 4. 3 . Hafif beton serilerine ait sünme deney sonuçlarından elde edilen "k" katsayıları

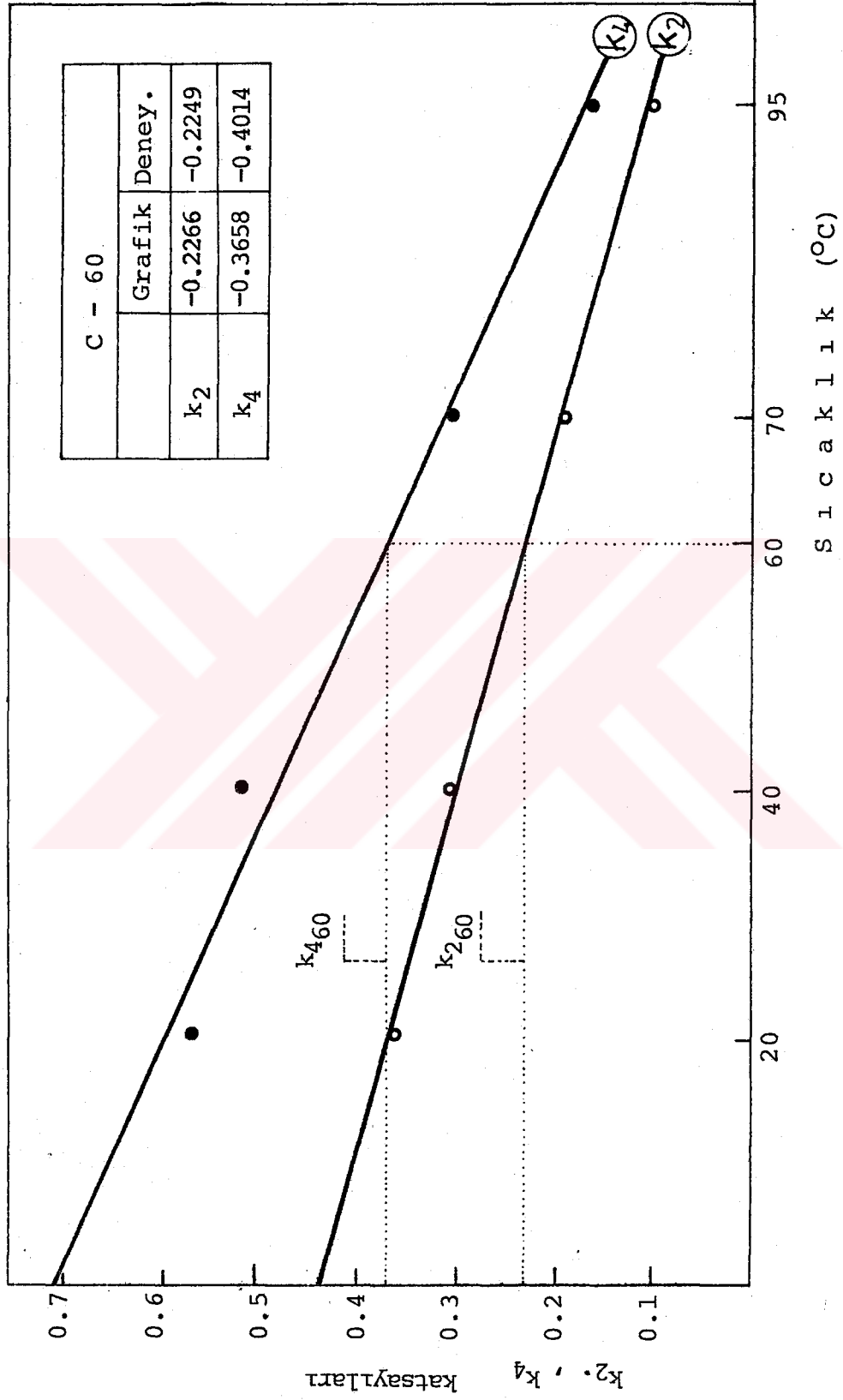
Beton kodu	$a(z) = k_1 \cdot z^{k_2}$			$b(z) = k_3 \cdot z^{k_4}$		
	$k_1 \cdot 10^{-6}$./N/mm ²	k_2	Korrelas. katsayısı	$k_3 \cdot 10^{-6}$./N/mm ²	k_4	Korrelas. katsayısı
A - 20	212.70	-0.3589	0.97	223.89	-0.5618	0.99
B - 40	194.17	-0.3017	0.95	190.30	-0.5150	0.99
C - 60	140.62	-0.2249	0.97	133.43	-0.4014	0.99
D - 70	118.15	-0.1938	0.95	100.85	-0.3054	0.98
E - 95	87.83	-0.1038	0.88	69.06	-0.1642	0.97
F - 20	241.04	-0.2444	0.99	287.07	-0.4700	0.99
G - 50	216.20	-0.1797	0.94	185.62	-0.3508	0.99
H - 80	178.33	-0.0990	0.92	146.32	-0.3177	0.98

Tablo 4.4. Hafif beton serilerine ait sünme deney sonuçlarından hesaplanan relatif "k" değerleri

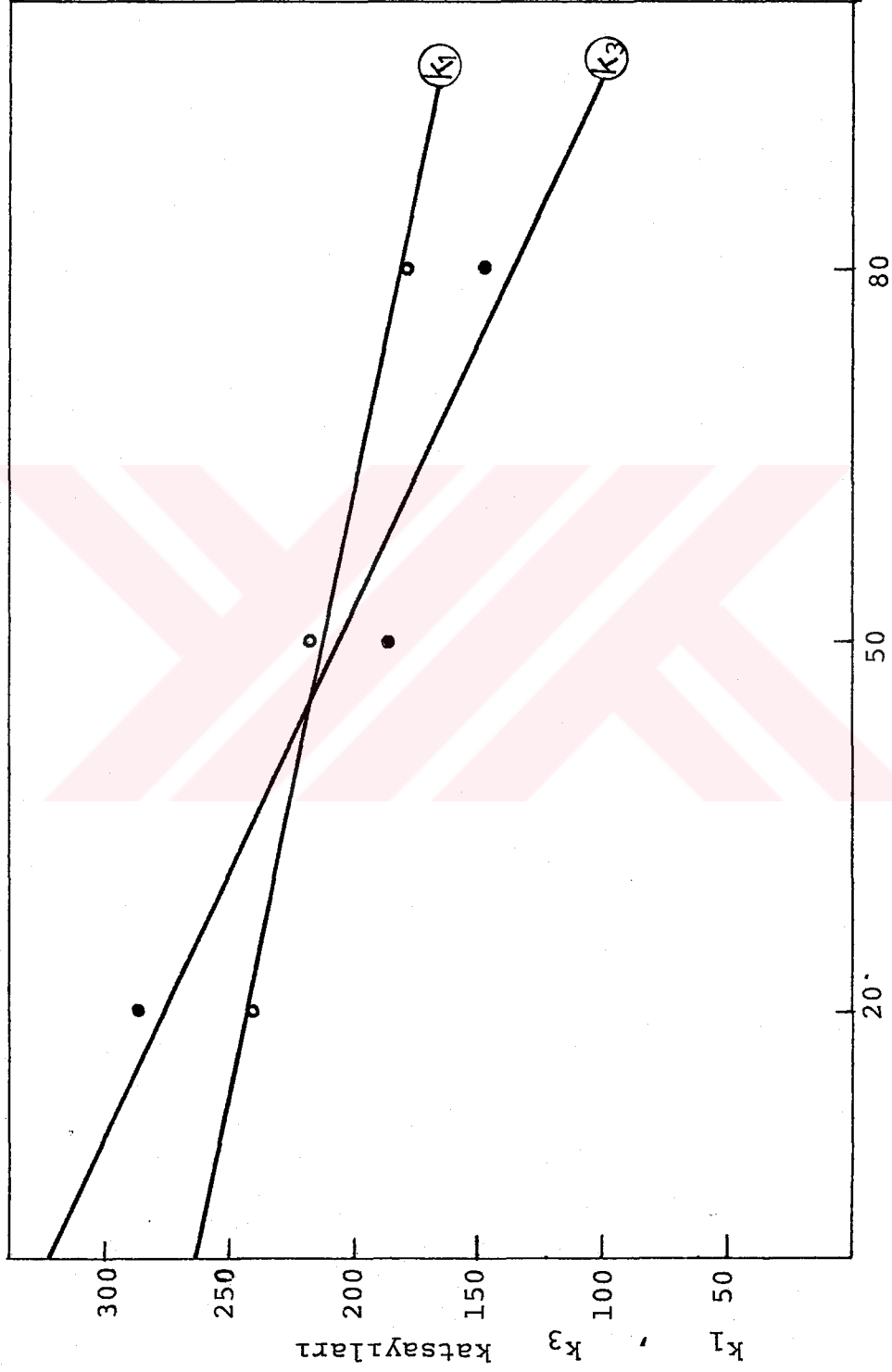
Beton kodu	$a(\tau)/a(\tau)_{20}$			$b(\tau)/b(\tau)_{20}$		
	k_1/k_1^*	k_2/k_2^*	Korelas kats.	$k_3/k_3^{\oplus}$	$k_4/k_4^{\bullet}$	Korelas kats.
A-20	1.00 [*]	1.00 [*]	0.97	1.00 [⊕]	1.00 [•]	0.99
B-40	0.91	0.84	0.95	0.85	0.92	0.99
C-60	0.66	0.63	0.97	0.60	0.71	0.99
D-70	0.56	0.54	0.95	0.45	0.54	0.98
E-95	0.41	0.29	0.88	0.31	0.29	0.97
Beton kodu	k_1/k_1^*	k_2/k_2^*	Korelas kats.	$k_3/k_3^{\oplus}$	$k_4/k_4^{\bullet}$	Korelas kats.
F-20	1.00 [*]	1.00 [*]	0.99	1.00 [⊕]	1.00 [•]	0.99
G-50	0.90	0.73	0.94	0.65	0.74	0.99
H-80	0.74	0.41	0.92	0.51	0.68	0.98



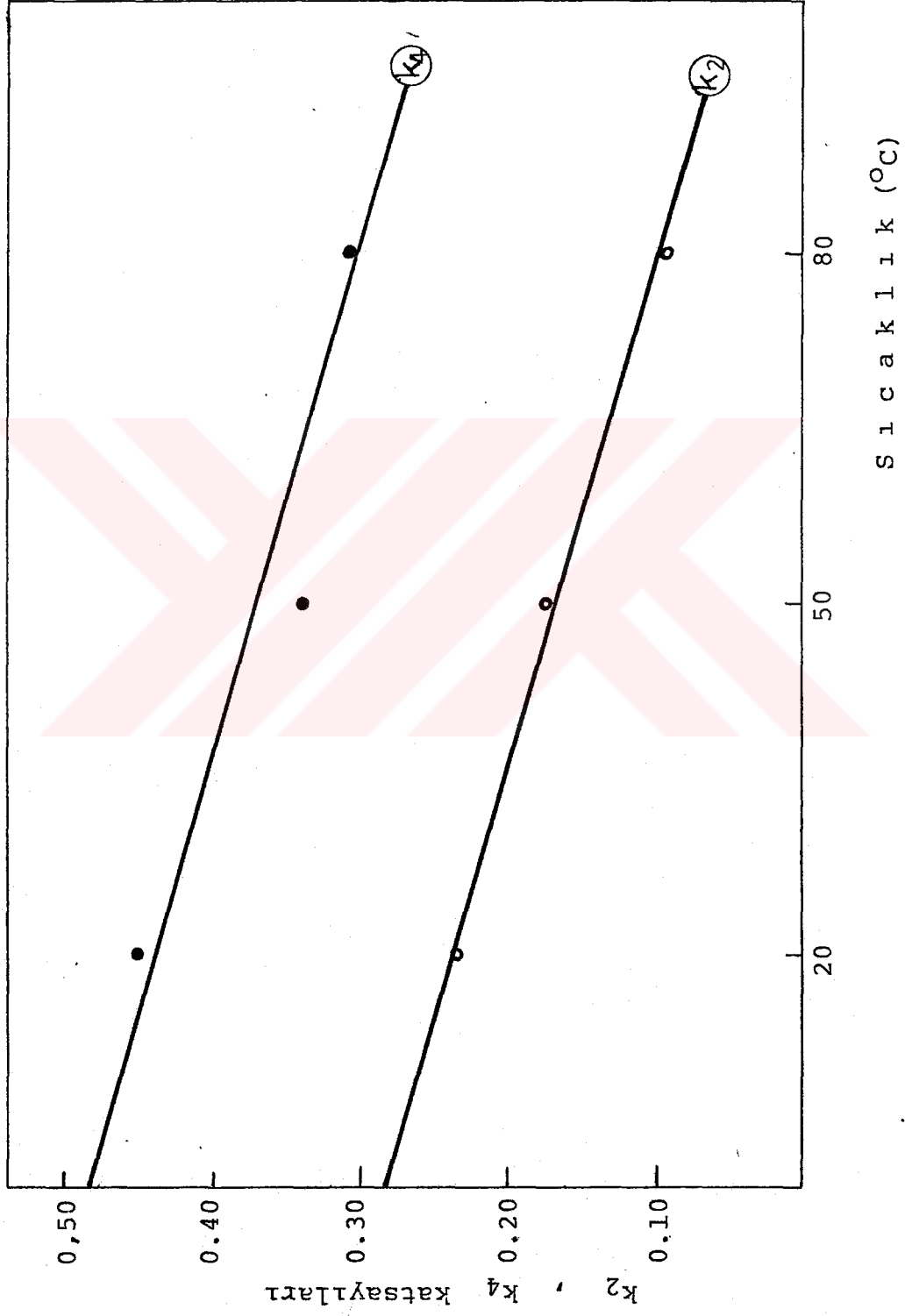
Şekil 4.18. 1.ci Grup betonlarda "k₁" ve "k₃" katsayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi



Şekil 4.19. 1.ci Grup hafif betonlarda " k_2 " ve " k_4 " katsayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi



Şekil 4.20. 2.ci Grup hafif betonlarda " k_1 " ve " k_3 " katsayılarının işlem sıcaklığı ile değişimi



Bu tablo ve şekillerin incelenmesinde şu sonuçlara varılmıştır:

a) 1.ci grup hafif betonda "k" katsayılarının işlem sıcaklığı ile değişiminde iyi bir doğrusal korelasyon mevcuttur. Kontrol olarak seçilen ve k_1 , k_2 , k_3 , k_4 katsayılarının belirlenmesinde ve dolayısıyla "a", "b" sabitlelerinin hesaplanmasında gözönüne alınmayan C-60 kontrol serisinde grafikten bulunan değerlerle deney sonuçlarından elde edilen değerler arasındaki farkın oldukça az olduğu görülmüştür. Bu değerlerin birbirine oldukça yakın çıkması işlem sıcaklığının hafif betonlarda "k" katsayıları ile iyi bir korelasyonda olduğunu göstermektedir. Buradan herhangi bir işlem sıcaklığındaki betonun sünmesinin grafikte verilen ilişkideki "k" katsayıları ile tahmin etmenin önemli bir hataya neden olmayacağı söylenebilir.

b) Her iki hafif beton grubunda " k_1 " ve " k_3 " sıcaklık derecesindeki artışla azalmaktadır. Fakat bu azalmanda " k_3 " ün eğimi " k_1 " e oranla daha fazladır. Bu sonuç sünme deformasyonunun yükleme yaşı ile olan azalma ilişkisinin ani deformasyonun benzer ilişkisine oranla daha yüksek olduğunu göstermektedir.

c) Tablodaki relatif deney sonuçlarından görüldüğü gibi "k" katsayılarındaki en büyük azalma " k_2 " ve " k_4 " de olmaktadır. İşlem sıcaklığının 95 °C olması halinde bu değerler (k_1 , k_2 , k_3 , k_4) 20 °C ye oranla sırası ile yüzde 59, 71, 69 ve 71 oranında azalmaktadır.

d) 2.ci grup hafif betonda "k" katsayıları aynı şekilde işlem sıcaklığı ile azalmaktadır. Genelde bu azalma diğer beton grubuna oranla daha yavaştır. 50 °C de en fazla azalma " k_3 " katsayısında olup 20 °C'ye oranla yüzde 65 nisbetindedir. 80 °C deki en fazla azalma ise " k_2 " katsayısında olmaktadır.

Buradan "k" katsayılarının işlem sıcaklığına duyarlılığı 1.ci grup betonlarda, yani birim ağırlığı fazla olan betonlarda daha yüksek olduğu görülür. Bu sonuç birim ağırlığı düşük olan betonların değişken gerilmeler

Tablo 4. 5. Hafif beton serilerinin grafikten hesaplanan sünme fonksiyon sabitleri

t (gün) Beton kodu	"a" katsayıları ($\times 10^{-6}$./N/mm ²)						"b" katsayıları ($\times 10^{-6}$./N/mm ²)					
	1	7	28	56	90	200	1	7	28	56	90	200
A - 20	212.70	105.79	64.32	50.15	42.30	31.76	223.89	75.03	34.43	23.33	17.87	11.41
B - 40	194.17	107.96	71.06	57.65	49.96	39.27	190.30	69.85	34.21	23.94	18.75	12.43
C - 60	140.62	90.77	66.46	56.86	51.11	42.71	133.43	61.10	35.02	26.52	21.92	15.91
D - 70	118.15	81.03	61.94	54.15	49.40	42.31	100.85	55.66	36.45	29.49	25.52	19.99
E - 95	87.83	71.76	62.14	57.83	55.05	50.67	69.06	50.17	39.96	35.65	32.98	28.93
F - 20	241.04	149.82	106.76	90.13	80.26	66.03	287.07	115.02	59.96	43.28	34.63	23.79
G - 50	216.20	152.40	118.80	104.88	96.31	83.43	185.62	93.94	57.82	45.37	38.43	39.05
H - 80	178.33	147.08	128.22	119.71	114.22	105.54	146.32	78.85	50.76	40.73	35.03	27.18

Tablo 4. 6. Hafif beton serilerinin grafikten hesaplanan relatif sünme fonksiyon sabitleri

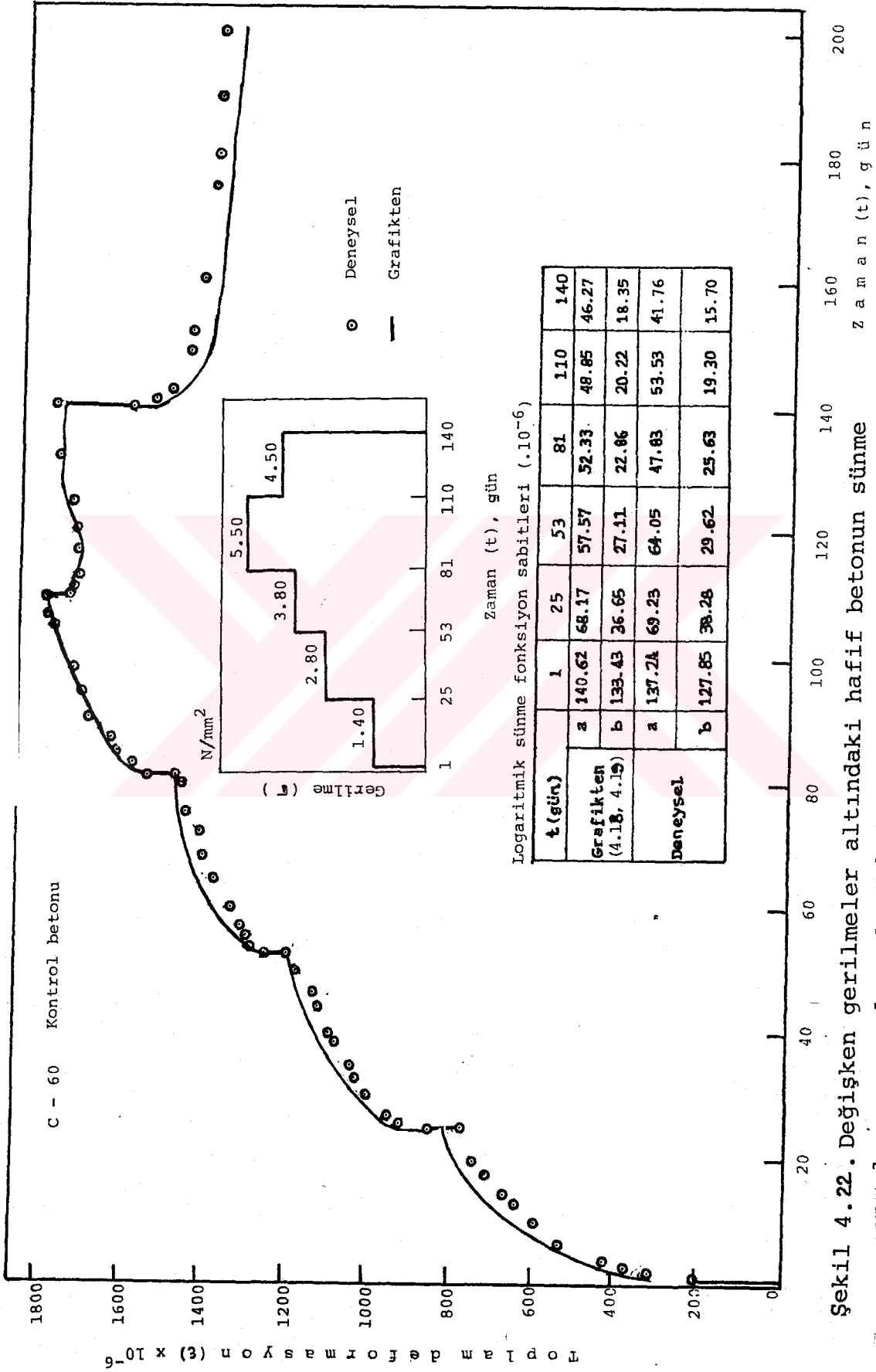
t (gün) Beton kodu	Relatif "a _t /a ₂₈ " değerleri						Relatif "b _t /b ₂₈ " değerleri					
	1	7	28	56	90	200	1	7	28	56	90	200
A - 20	3.30	1.64	1.00 [*]	0.78	0.66	0.49	6.50	2.18	1.00 [*]	0.68	0.52	0.33
B - 40	3.02	1.68	1.10	0.90	0.78	0.61	5.53	2.03	0.99	0.70	0.54	0.36
C - 60	2.19	1.41	1.03	0.88	0.79	0.66	3.88	1.77	1.02	0.77	0.64	0.46
D - 70	1.84	1.26	0.96	0.84	0.77	0.66	2.93	1.62	1.06	0.86	0.74	0.58
E - 95	1.36	1.12	0.97	0.90	0.86	0.79	2.00	1.46	1.16	1.04	0.96	0.84
F - 20	2.25	1.40	1.00 [⊕]	0.84	0.75	0.62	4.79	1.92	1.00 [●]	0.72	0.58	0.40
G - 50	2.02	1.43	1.11	0.98	0.90	0.78	3.09	1.57	0.96	0.76	0.64	0.48
H - 80	1.67	1.38	1.20	1.12	1.07	0.99	2.44	1.32	0.85	0.68	0.58	0.45

altında zamanla daha fazla sünme yapacağını ifade eder. Aynı şekilde bu betonlarda ani deformasyonlarında fazla olacağı sonucuna varılır. Öte yandan işlem sıcaklığının bu deformasyonlara olan etkiye şekli zamanla değişiklik gösterir. Bu deformasyonlar yüklemenin ilk yaşlarında işlem sıcaklığındaki artışla azalırken ileri yaşlardaki yüklemelerde bu durum aksi yönde bir ilişki göstermektedir.

4.3.4. Değişken gerilmeler altındaki hafif betonun sünmesinin, işlem sıcaklığıyla değişiminin tahmini ve sonuçların irdelenmesi

Isıl işlem görmüş hafif betonların değişken gerilmeler altında zamana bağlı davranışını tesbit için "k" katsayılarının işlem sıcaklığıyla değişimini gösteren Şekil 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21 deki grafiklerden yararlanılarak sünmenin tahminine çalışılmıştır. Bunun için seçilen altı zaman diliminde (1, 7, 28, 56, 90, 200 gün) geri dönüş gerçekleştirilerek hem "a" ve "b" nin tahminine olanak sağlanmış, hem de sünme deney sonuçlarının istenen şekilde irdelenmesine çalışılmıştır. 60 °C işlem sıcaklığı için deney sonuçlarıyla bulunan tahmin değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.22 de gösterilmiştir. Bu diyagramdan görüldüğü üzere deney sonuçlarıyla grafikten bulunan tahmini değerler arasında oldukça iyi bir yaklaşım mevcuttur. Grafikten hesaplanan değerler, deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, yükleme basamaklarında tahmin değerleri deney sonuçlarının biraz üstünde kalmakta, boşaltmalarda ise bu durum tersine dönmektedir. Her iki durumda da deformasyonların nisbeten birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Tablo 4.5 de bulunan sonuçlar 1.ci grup beton için A-20 serisi 28.ci günündeki değerlerine, 2.ci grup beton için F-20 serisinin aynı gündeki değerlerine oranlanarak bulunan relatif sonuçlar Tablo 4.6 da gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 de görülmektedir.



Şekil 4.22. Değişken gerilmeler altındaki hafif betonun sünme deney sonuçlarıyla tahmin değerlerinin C-60 kontrol betonu için karşılaştırılması

Bu tablo ve şekillerin incelenmesinden özetle şu sonuçlar çıkarılmıştır;

"a" nın relatif değerleri Şekil 4.23 ve 4.24 ün incelenmesinden görüleceği gibi,

- 1.ci günde işlem sıcaklığının artışı ile a_t/a_{28} oranı belirgin olarak sürekli bir azalma göstermektedir. Bu dikkati çeken azalma farklı eğimlerde olmak üzere her iki grup beton için söylenebilir. Bu sonuç ısıtıl işlemin daha önce bilinen bir doğal sonucu olduğunu gösterir.

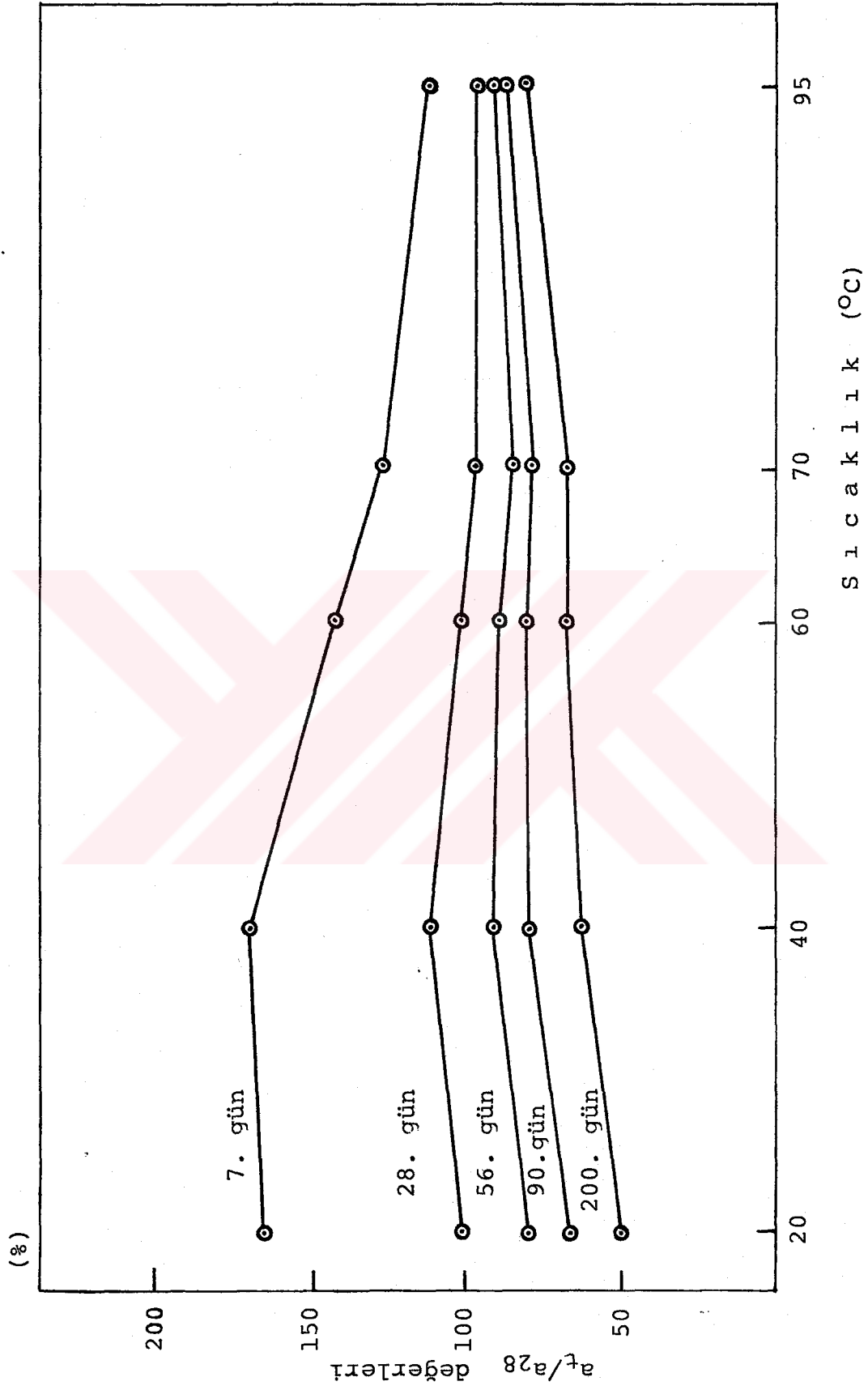
- 7.ci gün, 1.ci grup betonda ısıtıl işlem sıcaklığıyla bu oran artarken bir maksimumdan geçerek 95°C ye kadar azalmaktadır. 2.ci grup beton için belirgin bir eğilim görülmemiştir.

- 28 ve 56.cı günlerde, 1.ci grup betonlar için 7.ci gündeğine benzer gidiş gösteriyorsa da, işlem sıcaklığı yükseldikçe "a" değerinde artış gözlenmektedir. 2.ci grup betonlarda işlem sıcaklığıyla sürekli artış durumundadır.

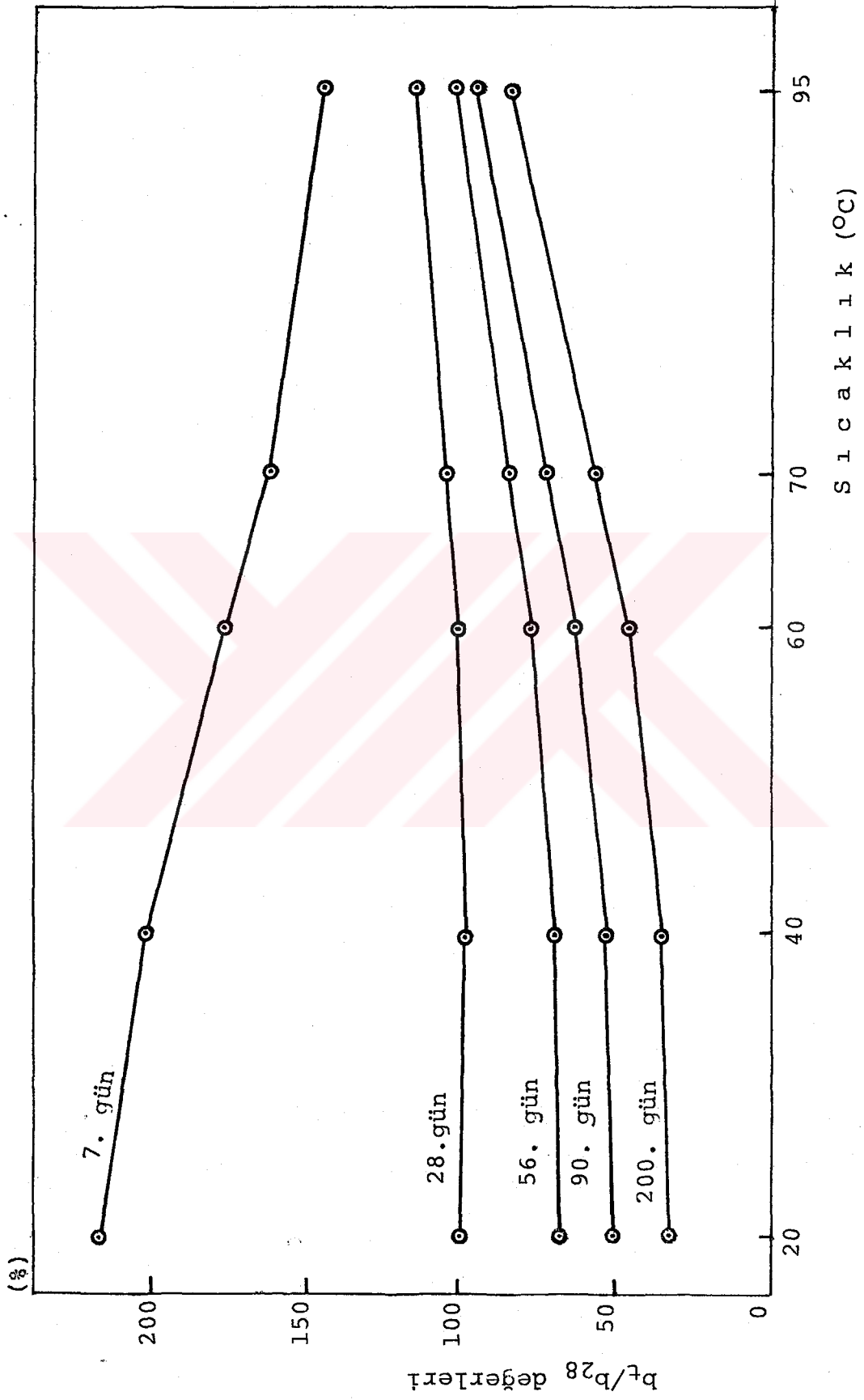
- 90 ve 200.cü günlerde ise, işlem sıcaklığıyla a/a_{28} oranının değişimi her iki betonda benzer olarak artış eğiliminde olduğu görülmektedir.

Buradan şu sonucun çıkarılması mümkündür. Birçok araştırmada belirtildiği gibi işlem sıcaklığı betonun ilk yaşlardaki dayanımına olumlu etki yapmasına karşın, ileri yaşlarda ısıtıl işlem görmemiş betonlara kıyasla dayanımda bir azalma görülmektedir [34]. Bilindiği gibi "a" kat sayısı betonun ani deformasyonunu ifade eden sünme fonksiyonundaki bir sabittir. Isıtıl işlemin ileri yaşlarda sıcaklık derecesine bağlı meydana getirdiği bu dayanım kaybı nedeni ile aynı gerilme altında daha fazla deformasyon yapacağı açıktır. Bu sonuç kısa süreli deney sonuçlarından da bilinmektedir.

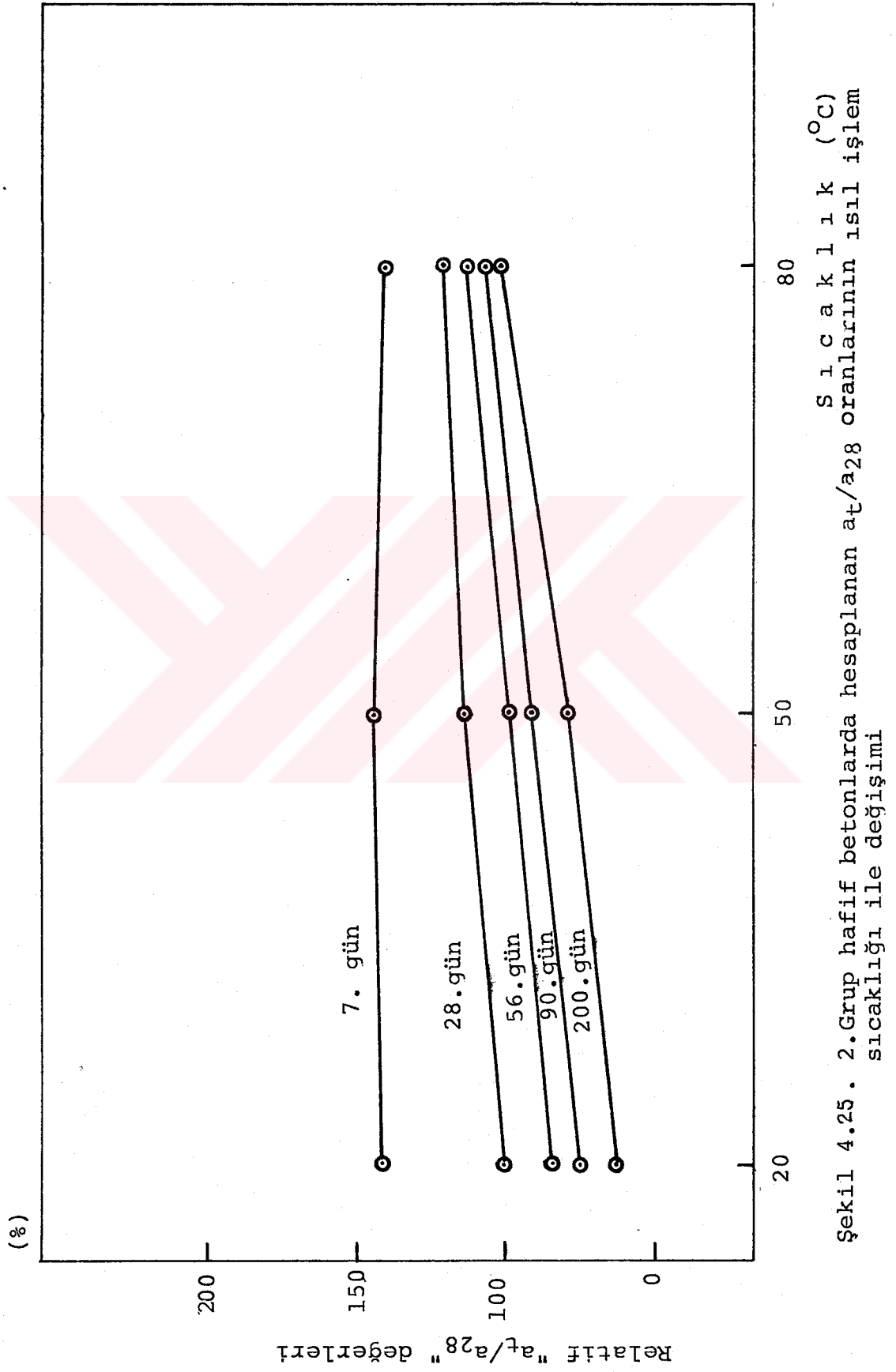
Diğer çalışmalarda da belirtilen bu sonuç yapılan bu çalışmada varılan sonuçla uyum halindedir. Bu sonuca göre hafif betonlarda logaritmik sünme fonksiyonundaki a/a_{28} oranı yüklemenin ilk yaşlarında işlem sıcaklığının

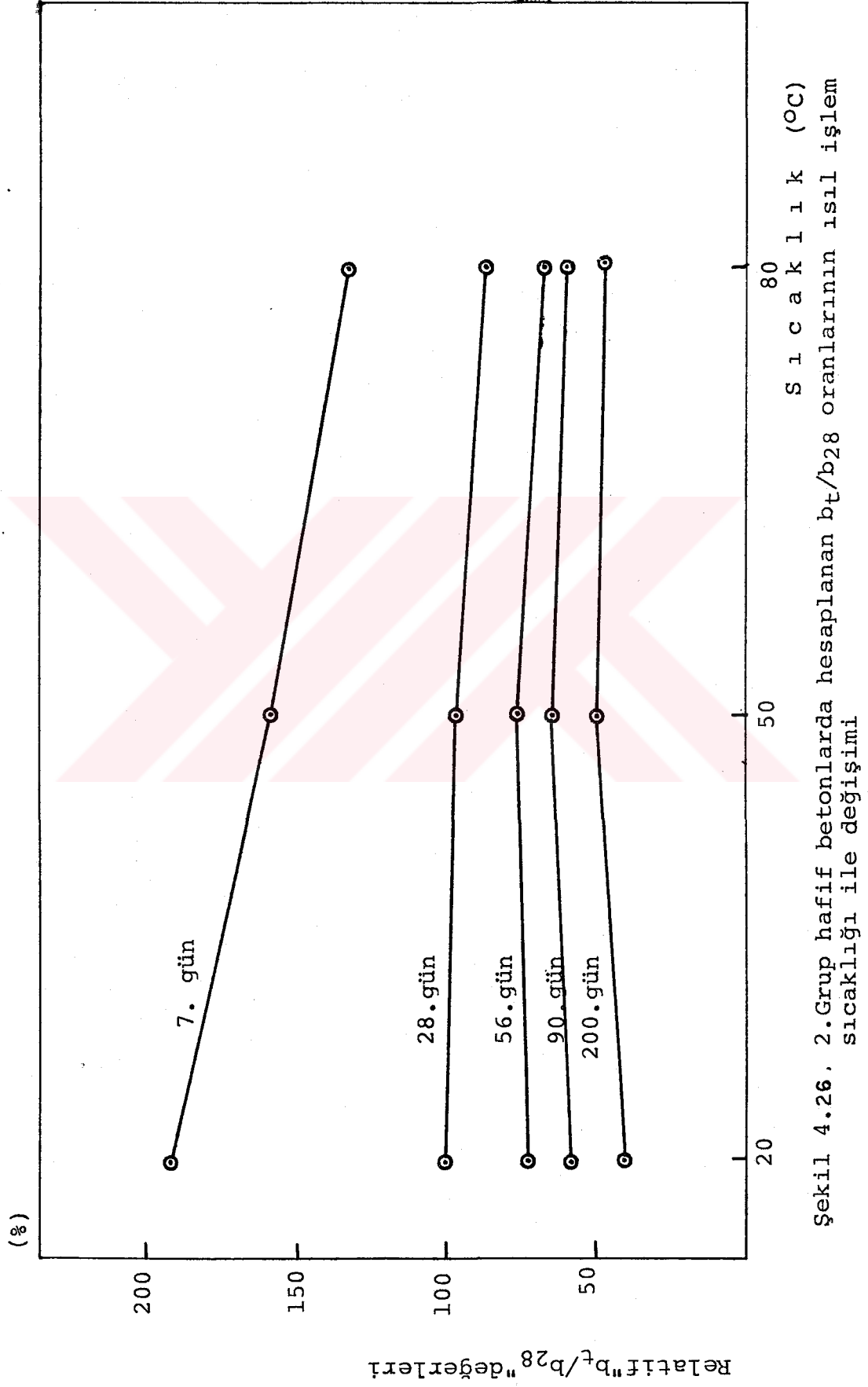


Şekil 4.23. 1.ci Grup hafif betonlarda hesaplanan a_t/a_{28} oranlarının işlem sıcaklığı ile değişimi



Şekil 4.24 1.ci Grup hafif betonlarda hesaplanan b_t/b_{28} oranlarının işlem sıcaklığı ile değişimi





artmasıyla birlikte azalırken, ileri yaşlarda aynı sıcaklık artışına karşın artma eğilimi görülmüştür. Bu sonuç işlem sıcaklığının ileri yaşlarda dayanım kaybına neden olduğu sonucu ile açıklanabilir.

b/b₂₈ oranının Şekil 4.23 ve 4.25 in incelenmesinden varılan sonuçlar ise,

- 1.ci günde her iki grup betonda işlem sıcaklığına bağlı azalma daha belirgin olarak görülmektedir. Bu azalmadaki eğim 1.ci grup betonda daha fazladır. Buradan b/b₂₈ oranındaki nisbi fazlalık a/a₂₈ dekine göre çok yüksektir. a/a₂₈ de oran 3,30 iken b/b₂₈ de 6.50 kat olmaktadır.

- 7.ci günde bu katsayı işlem sıcaklığındaki artışla giderek azalmakta fakat bu azalmanın hızı ileri sıcaklıklarda düşmektedir.

- 28 ve 56.cı günlerde, 1.ci grup betonlarda b/b₂₈ oranının düşük sıcaklıklardaki eğilimi pek açık olmayıp, sıcaklık arttıkça bu değerin arttığı ve artışın sıcaklığın ilerleyişi ile daha belirginleştiği görülmektedir. 2.ci grup betonlarda her hangi bir şey söylemek mümkün görülmemektedir.

- 90 ve 200.cü günlerde ise bu katsayı 1.ci grup betonlarda yine bir önceki yaşlardaki davranış biçimini devam ettirmektedir, fakat bir miktar artma mevcuttur. 2.ci grup betonlarda ise yine işlem sıcaklığındaki artışla benzer durum biraz daha düşük eğilimde görülmektedir.

Bu değerlendirmeler özetlenerek şu sonuçlar çıkarılabilir;

Betonun ani deformasyonunu ifade eden "a" katsayısının işlem sıcaklığı ile olan değişimine benzerlik gösteren "b" katsayısı, daha önce açıklandığı gibi betonun sün-deformasyonunu ifade etmektedir. Bu deformasyon uygulanan gerilmeden ziyade gerilme/basınç dayanımı oranına bağlı bir değişim içerisindedir [41] .sarıyla uyushmaktadır. Yani aynı gerilme altında tutulan iki betondan basınç dayanımı düşük olanın yapacağı sünme deformasyonu da fazla olmaktadır. Buradan hareketle "a" katsayısının değerlendirilmesinde kısa süreli deney sonuçlarıyla olan benzer

davranış şekli, "b" katsayısının yorumu içinde söylenebilir. Bu sonuca göre ileri yaşlarda "b" katsayısı işlem sıcaklığındaki artışa paralel yönde artmaktadır. Bu artış birim ağırlığı düşük hafif betonlarda biraz daha yavaş seyir göstermektedir.

Öte yandan kütleme anında farklı kuruma koşullarından kaynaklanan iç yapıdaki bir takım kılcal çatlaklar ve kusurlar betonun sünmesini etkileyen diğer bir önemli neden olarak söylenebilir.

4.4. Rötire Deformasyonlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Zamana bağlı diğer bir deformasyon türü olan rötire deformasyonları tüm beton serilerinde bulunarak Bölüm 3, Tablo 3.7 de gösterilmiştir.

Çalışma, hafif betonun sünmesi ağırlıklı bir araştırma olmakla birlikte bu betonların serbest halde yaptıkları deformasyonların bilinmesi birçok yönlerden gerekmektedir. Ayrıca sünme deformasyonlarındaki mertebesini ve gelişme seyrini takip açısından da önemli sayılabilir.

Rötire değerleri deformasyon-zaman diyagramında çizildikten sonra sünme deformasyonlarında olduğu gibi belli günlerdeki (1, 7, 28, 56, 90, 200 gün) değerleri alınarak Tablo 4.7 de gösterilmiştir. Bölüm 3 de belirtildiği gibi rötire deformasyon ölçümleri her beton serisinde sünme deformasyonları ile aynı anda başlatılmıştır.

Bulunan bu sonuçlar 1.ci grup betonlarda A-20 serisinin 28.ci günündeki değerine, 2.ci grup hafif betonlarda ise F-20 serisinin 28.ci günündeki değerine oranlanarak bulunan relatif değerler Tablo 4.8 de bunların işlem sıcaklığı ile değişimi Şekil 4.27 ve 4.28 de gösterilmiştir. Bu sonuçlardan şu değerlendirmeleri yapmak mümkündür;

- Rötire deformasyonları zamanla artmaktadır. Bu artışta rötire hızı giderek azalmaktadır.

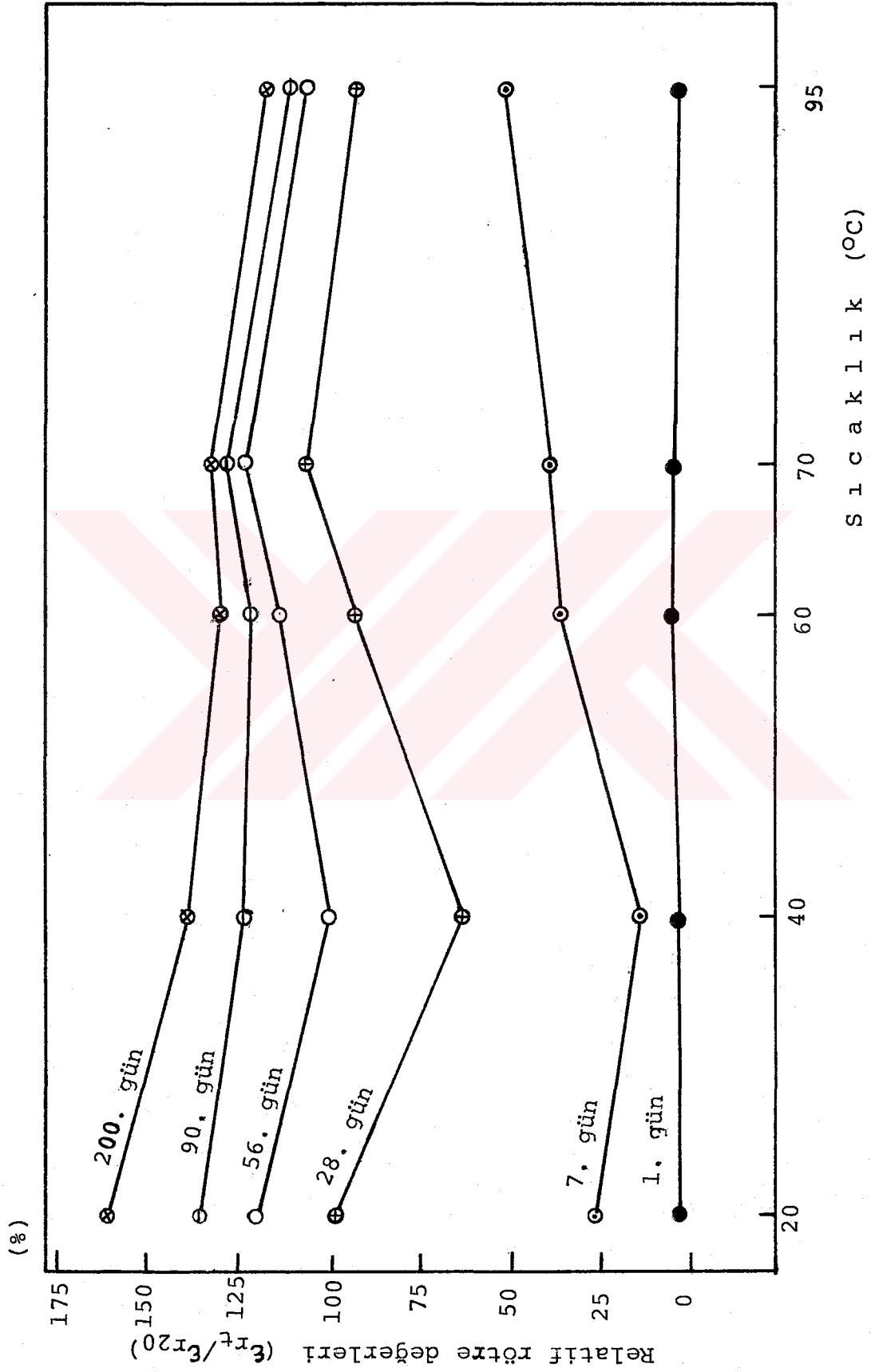
- İşlem sıcaklığı ile rötire deformasyonları arasındaki ilişkide 1.ci gününde bir belirginlik yoktur.

Tablo 4.7. Deney sonuçlarından bulunan rötre deformasyonları

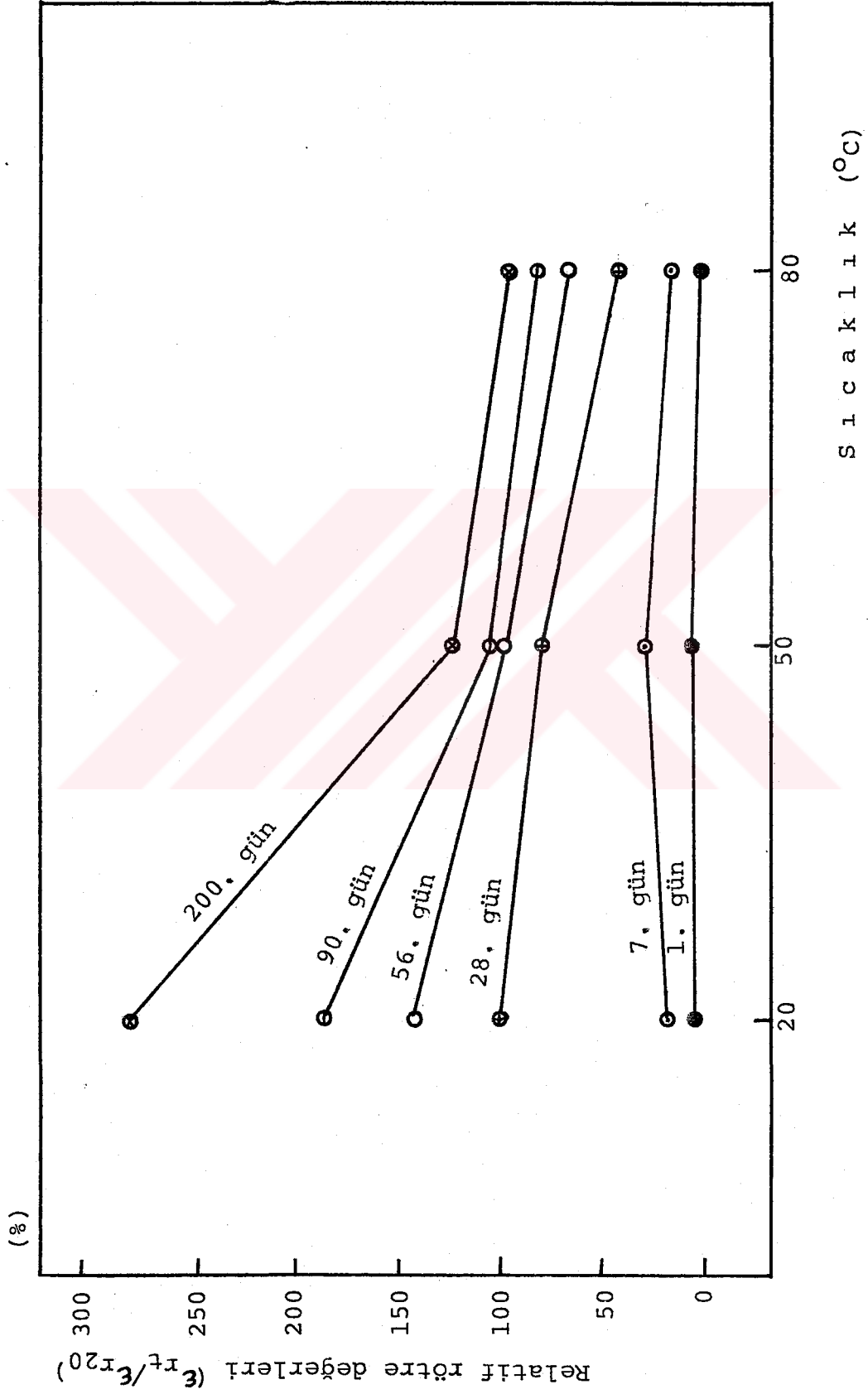
Beton kodu	Rötre Deformasyonu (ϵ_r): 10^{-6}					
	1	7	28	56	90	200
A-20	35	184	615	718	810	962
B-40	20	96	380	600	750	820
C-60	35	220	560	682	732	780
D-70	26	245	645	745	776	795
E-95	22	315	530	640	660	700
F-20	18	90	470	675	844	1280
G-50	16	148	350	460	478	558
H-80	10	80	210	290	372	448

Tablo 4.8. Deney sonuçlarından bulunan relatif rötre değerleri

Beton kodu	$\epsilon_r/\epsilon_{r28}$ değerleri					
	1	7	28	56	90	200
A-20	0.05	0.30	1.00 [*]	1.17	1.32	1.56
B-40	0.03	0.16	0.62	0.98	1.22	1.33
C-60	0.05	0.36	0.91	1.10	1.19	1.27
D-70	0.04	0.40	1.05	1.21	1.26	1.29
E-95	0.03	0.51	0.86	1.04	1.07	1.14
F-20	0.03	0.19	1.00 [*]	1.44	1.80	2.72
G-50	0.03	0.31	0.74	0.98	1.02	1.18
H-80	0.02	0.17	0.45	0.62	0.79	0.95



Şekil 4.27.. Rötre deformasyonlarının işlem sıcaklığı ile değişimi
(1. Grup betonlar için)



Şekil 4.28 . Rötre deformasyonlarının işlem sıcaklığı ile değişimi
(2.Grup betonlar için)

- 7.ci günde 20 ila 40 °C arasında azalırken daha sonra artış eğilimi görülmektedir. Bu artış kontrol değerinin %51'ine ulaşmaktadır.

- 28 ve 56.cı günlerde rötire deformasyonları sıcaklık artışı ile farklı değişimler göstermektedir. Önce belirgin bir azalma gösterirken, belli bir minimumdan geçerek artmakta ve en sonda tekrar azalma eğilimine dönüşmektedir.

- 90 ve 200.cü günlerde ise benzer eğilim daha düşük seviyede olmaktadır. 60 ve 70 °C civarında, ileri yaşlarda rötire deformasyonlarında bir benzerlik dikkati çekmektedir.

İkinci grup betonlarda ise,

- 1.ci ve 7.ci günlerde tam bir belirginlik görülmemektedir.

- 28 ve 56.cı günlerde rötire deformasyonları işlem sıcaklığı ile birlikte azalmaktadır. Bu azalmada sıcaklık dereceleri arasındaki eğimler farklıdır.

- 90 ve 200.cü günlerde ise, sıcaklığa bağlı bu azalmanın 20-50 °C arasında daha yüksek eğimde olduğu görülmektedir. Fakat 50-80 °C arasında eğim düşmektedir.

Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse, 1.ci grup betonlarda sıcaklık artışı ile rötire deformasyonları azalırken, ileri yaşlarda belirgin olmayan iniş ve çıkışlar göstermektedir. 2.ci grup betonlarda ise bu azalma daha fazla nisbette olup 200.cü günde 20 °C'deki beton serisinde rötire deformasyonları belli miktarda artarken 50 °C ve 80 °C'deki serilerde ise artışın hemen hiç olmadığı söylenebilir. Bu sonuç sıcaklığın rötire deformasyonlarına, düşük birim ağırlıktaki betonda daha etkin olduğunu gösterir.

Rötrenin işlem sıcaklığı ile değişiminde 1.Grup betonlarda 90.cı günden itibaren, 2.Grup betonlarda ise 28.cı günden itibaren genel bir azalma karakteri göstermesi, sıcaklığın bu betonların iç yapılarındaki etkisinin belirtilen günlerden itibaren daha kararlı bir hal kazandığı ile açıklamak mümkündür.

BÖLÜM 5 - SONUÇLAR

Bu araştırmada elde edilen bazı önemli sonuçları aşağıdaki maddelerde özetlemek mümkündür;

1) Hafif betonlarda ısıtıl işlem uygulamasının erken yaşlarda beton dayanımını artırdığı, ileri yaşlarda ise dayanım kaybına neden olduğu görüşü bu çalışmada bir kez daha vurgulanmıştır.

2) Hafif betonun sünmesini ifade etmek için seçilen logaritmik fonksiyondaki "a" ve "b" sabitlerinin yükleme yaşı ile değişimleri azalan yöndedir. Bu değerlerin logaritmaları ile yükleme yaşının logaritması arasında iyi bir korelasyon olduğu görülmüştür.

Belirtilen ilişkide "b" sabitinin eğimi "a" ya oranla daha fazladır. Bu durum hafif betonun değişken yüklemeler altındaki sünme deformasyonun, ani deformasyona oranla zamanla daha çok azaldığını göstermektedir. Beton yükleme yaşı arttıkça, sünme deformasyonundaki bu azalma hızının ani deformasyondaki azalma hızına oranla yüksek olması, normal betonlara benzer şekilde hafif betonların sünmesinde de zamanla büyük azalma görüleceği ve bu azalma nisbetinin kısa süreli yüklemelerdeki ani deformasyonlara göre daha fazla olacağı saptanmıştır.

3) Isıtıl işlem sıcaklığındaki artışın ilk yükleme yaşlarında betonun sünmesini azalttığı görülmektedir. Bu azalma çalışılan sıcaklıklarda birinci grup betonlar için maksimum %70, ikinci grup betonlar için ise maksimum %50 nisbetindedir. İleri yaşlarda ise bu durum aksi yönde gerçekleşmektedir. Aynı oranlar bu kez artış yönünde olmak üzere birinci grup betonlar için maksimum %60, ikinci grup betonlar için ise maksimum %16 lık nisbi bir artış görülmüştür.

4) Yükleme yaşına bağımlı olarak düşünülen sünme fonksiyonundaki "a" ve "b" sabitleri,

$$a(\tau) = k_1 \cdot \tau^{k_2}$$

(4.18)

$$b(\tau) = k_3 \cdot \tau^{k_4}$$

şeklinde ifade edilerek işlem sıcaklığı ile "k" katsayıları arasında iyi bir ilişki kurulabileceği gösterilmiştir. Bu ilişkiye göre "k" katsayıları ile işlem sıcaklığı arasında iyi bir doğrusal korelasyon mevcuttur. Bu doğrusal ilişkiden yararlanılarak herhangi bir sıcaklıkta işlem görmüş hafif betonun değişken yükler altındaki zamana bağlı davranışı iyi bir yaklaşımla tahmin edilebilmektedir. Bu sonucu göstermek amacıyla verilen ilişkinin dışında tutulan C-60 kontrol betonu için hesap edilen tahmini değerlerle deneysel değerler Şekil 4.22 de gösterilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere değişken gerilmeler altında deneysel olarak bulunan sünme deformasyonları ile hesapla bulunan sünme deformasyonları oldukça birbirine yakın çıkmaktadır. Bu iki deformasyonlar arasında maksimum %17'lik bir fark görülmüştür.

5) Deneysel çalışmada kullanılan iki farklı birim ağırlıktaki hafif betonun sünmesi karşılaştırıldığında birim ağırlığı düşük olanı sünmesinin daha çok olduğu sonucuna varılmıştır. Bu iki beton grubunda sünme değerleri yüklemenin ilk zamanlarında daha az olduğu fakat yükleme yaşı arttıkça bu farkın giderek arttığı görülmüştür. Her iki grup beton için normal ortam koşullarında 20 °C de kür edilmiş (A.20- F.20) betonun sünmesi dikkate alındığında, birim ağırlığı büyük olanın (A.20) sünmesi daha düşük birim ağırlıktaki betonun (F.20) sünmesinin yaklaşık %78-48'i oranında olduğu ve bu aralıkta kalarak yükleme yaşı ile değiştiği saptanmıştır.

6) Elde edilen gözlemlere dayanarak hafif betonları servis yükleri altında lineer viskoelastik varsayımının önemli bir hataya neden olmayacağı söylenebilir.

7) Rötire deformasyonları ısıtıl işlem sıcaklığı ile azalmaktadır. Fakat bu azalmada belirgin bir değişim karakteri görülmemiştir. Bu sonucu, ısıtıl işlem anında ısıtılının beton kütleline üniform olarak yayılmamasından kaynaklanabileceği ile açıklamak olasıdır.

Bu çalışmada varılan sonuçlar, hafif beton araştırıcılığı içerisinde bağımsız bir bilgi birikiminin oluşmasına neden olacağı düşünülmekle gerçekleştirilmiştir. Ancak belirtilmesi lazım ki betonun uzun süreli davranışındaki işlevinin tüm yasalarının bir tek araştırmada belirlenebileceği düşünülemez. Elde edilen sonuçlarla bu yasalar hiç değilse bir ölçüde açıklanabilir.

İleriki Araştırmalar İçin Öneriler

Bu çalışmanın kapsamı dışında olan, fakat incelenen konu ile bütünlük oluşturacağı düşünülmekle eksikliği hissedilen ve bu araştırmanın devamı olabileceği düşünülen hususlar şunlardır;

a) Betonda sünmenin oluşumuna neden kabul edilen çimento miktarı, etkin su/çimento bazında değiştirilerek, bu oranın değişimi ile ısıtıl işlemin aynı beton özelliklerine etkiye şekli ve derecesi incelenmelidir.

b) Bu araştırmada kullanılan 10x10x50 cm.lik prizmatik numunelere ek olarak daha farklı biçim ve boyutta hafif beton üzerine ısıtıl işlem uygulanarak, boyut ve biçim etkisi benzer olay içerisinde ortaya çıkarılmalıdır.

c) Aynı beton bileşiminde, hafif agrega miktarı değiştirilerek farklı birim ağırlıktaki hafif betonlarda sünmenin işlem sıcaklığıyla değişimine hafif beton birim ağırlığının etkisi daha ayrıntılı olarak incelenmelidir.

d) Yukarıda alınan ileri araştırmalarda bulunacak deney sonuçları, gerek bu çalışmada kullanılan bağıntı, gerekse başka bağıntı veya modellerle ifade edilip edilemeyeceği saptanmalıdır. Parametrelerin değişimini ifade eden bir bağıntı mevcutsa buda belirtilmelidir.

K A Y N A K L A R

- [1] NEVILLE, A.M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing, London, (1975).
- [2] PRICE, W.H. and CORDAN, W.A., "Tests of Lightweight -Aggregate Concrete", ACI Journal, Proceedings, Vol. 45, No.8, pp.581-600, April (1949).
- [3] KARAGÜLER, M., "Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs (1988).
- [4] CANSUN, O., "Türkiye'de Prefabrik Yapı Parçaları Üretmek Üzere Kurulacak Fabrikaların Dağılımı ve Bireysel Kapasiteleri", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, (1979).
- [5] KULAKSIZOĞLU, E., "Mimarlık Alanında Çağdaş İnşaat Sistemleri, Gelişimi ve İlgili Tasarım Olanakları", Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, (1973).
- [6] TAPAN, M., "Betonarme Büyük Boyutlu Prefabrik Elemanlarla Çok Katlı Konut Üretiminde Tasarım Kısıtlamaları Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, (1973).
- [7] TAŞDEMİR, M.A., "Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları", Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, (1982).
- [8] POSTACIOĞLU, B., "Yapı Malzemesi Dersleri-Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton", İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu-İstanbul, (1975).
- [9] AKMAN, M.S., "Yapı Malzemeleri", İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ders Notları, İ.T.Ü. Kütüphanesi, sayı:1336, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, (1987).
- [10] AKMAN, M.S., "Hafif Betonlar", Türkiye Mühendislik Haberleri, pp. 30-35, Haziran (1962).
- [11] "Overseas Building Notes, Manufacture and Application of Lightweight Concrete", No.152, October (1973).
- [12] AKMAN, M.S., TAŞDEMİR, M.A., "Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu", I.Ulusal Perlit Kongresi, 20-22 Aralık, Ankara, pp. 40-48, (1977).
- [13] ASTM C 330-69, "Standart Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
- [14] ÇETMELİ, E., "Yeni Alman Betonarme Şartnamesi (DIN 1045, 1972), Betonarme Hesap Esasları, Kesitlerin Boyutlandırılması ve Donatının Yerleştirilmesi", Uluğ Kitabevi, İstanbul, (1974).

- [15] TS 3234, "Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodları", T.S.E., Ankara, Eylül (1978).
- [16] TS 2823, "Bimsbetondan Mamül Yapı Elemanları", T.S.E., Ankara, Eylül (1986).
- [17] SPRATT, B.H., "The Structural Use of Lightweight Aggregate Concrete", Cement and Concrete Association, December (1974).
- [18] SÜKAN, T., ERMUTLU, E., "Doğal Hafif Agregalarla Hafif Beton Araştırması", TÜBİTAK, Proje No:MAG-31 Ankara, (1966).
- [19] "Türkiye'de Diatomit Envanteri", Maden Teknik Araştırma Enstitüsü Yayınlarından, No.138, Ankara, (1968).
- [20] SCHÜTZ, F.R., "Bims und Bimsbau", Sonderdruck aus "Der Dachdecker-Meister", pp. 1-12, Ausgabe, April (1965).
- [21] NEUNAST, A., THEINER, J., "Bims-Bauen mit Bimsbaustoffen", Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld, (1981).
- [22] İHTİYAROĞLU, E., "Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerinde Araştırmalar", İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, No: 5-76, Ankara, (1974).
- [23] ERCİYES, Y., "Bims ve Bims Betonu Üzerine Araştırmalar", İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, No: 5-17, Ankara, (1963).
- [24] YILMAZ, Z., "Kayseri Sünger Taşı ile Hafif Beton Araştırması", İ.T.Ü. Maçka İnşaat Fakültesi, M.M.L. Tezi, İstanbul, (1980).
- [25] SCHÜTZ, F.R., "Voll-und Hohlblocksteine der Güteklasse 50 aus Naturbims", Sonderdruck aus "Betonstein-Zeitung", Heft 10/65, 31. Jahrgang, (1965).
- [26] NEUNAST, A., "Wandbaustoffe aus Naturbims Verarbeitung und Bauphysikalische Eigenschaften", Sonderdruck aus der Zeitschrift "Das Baugewerbe", Heft 2, (1970).
- [27] NEUNAST, A., "Der Schallschutz Von Wänden aus Bimsbaustoffen", Sonderdruck aus, "Industrie-Anzeiger", Nr.70, Ausgabe, "Industrie und Bauwesen" (3. Heft), Verlag W. Girardet, Essen, vom 22 August (1969).
- [28] NEUNAST, A., "Bimsbaustoffkunde" Verband Rheinischer Bimsbaustoffwerke e.v., Januar (1970).

- [29] UYAN, M., "Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkileri", Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Mart (1982).
- [30] UYAN, M., "Betona Isıl İşlem Uygulamasının Beton Özelliklerine Etkisi ve Beton Borular İçin Isıl İşlem Uygulama Esasları", Beton Semineri, D.S.İ., Araştırma Sitesi-Ankara, pp. 139-150, Şubat (1984).
- [31] ÖZTEKİN, E., "Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Kullanılan Isıl İşlemler-Eğilme Dayanımına Etkileri", Doçentlik Tezi, K.T.Ü. İnşaat-Mimarlık Fakültesi Trabzon, (1977).
- [32] CANSUN, O., "Beton Bünyeli Panolarla Prefabrikasyonda Prizin Hızlandırılması", Dizayn Konstrüksiyon, sayı: 24, pp. 17-20, Mart (1987).
- [33] COPELAND, L.E., KANTRO, D.L., VERBECK, G., "Chemistry of Hydration of Portland Cement", Int. Symp. on the Chemistry of Cement, Washington, (1960).
- [34] ÖZTEKİN, E., "Beton Sertleşmesinin Hızlandırılmasında Kullanılan Isıl İşlemler", Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi, Ankara, (1978).
- [35] ACI Committee 517, "Low Pressure Steam Curing", Journal of the ACI, Proceed. v. 60, August, pp. 953-986, (1963).
- [36] State-of-the Art Report, "Heat Treatment of Concrete", Draft, July 1985, Betonwerk-Fertigteile-Techink, Heft 9, pp. 610-617, (1985).
- [37] WADDEL, J.J., "Concrete Construction Handbook", Mc Graw-Hill Book Company, second Edition, (1974).
- [38] ACI Committee 516, "High Pressure Steam Curing: Modern Practice and Properties of Autoclaved Products", Journal of the ACI, Proceedings, v. 62, August, pp. 869-907, (1965).
- [39] ACI Committee 517, "Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete", Journal of the ACI, Proceed, Vol. 66, pp. 629, (1969).
- [40] POSTACIOĞLU, B., "Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri-Cilt I", İ.T.Ü. Kütüphanesi, sayı 1176, İ.T.Ü. Matbaası, (1981).
- [41] NEVILLE, A.M., "Creep of Concrete", North-Hollanda, (1970).
- [42] LORMAN, W.R., "The Theory of Concrete Creep", ASTM Proc. 40, pp. 1082-1102, (1940).

- [43] State-of-Art Report on "Creep and Shrinkage of Concrete: Mathematical Modeling", by Rilem Committee TC 69 Chaired by Z P Bazant, in Preprints 4 th Rilem Intern. pp. 39-456, (1986).
- [44] COOK, D.J., HAQUE, M.N., "The Tensile and Fracture of Dessicated Concrete and Mortar on Water Sorption. Materials and Structures", No: 39, (1974).
- [45] BROWNE, R.D., BLUNDEL, R., "The Influence of Loading Age and Temperature on the Long Term Creep Behaviour of Concrete in a Sealed, Moisture Stable, State", Rilem. Vol. 2, No: 8, pp. 133-145, (1969).
- [46] MARECHAL, J.C., "Le Fluage du Béton en Fonction de la Température Materials and Structures", No: 8, (1969).
- [47] GAMBLE, B.R., PARROTT, L.J., "Creep of Concrete in Compression During Drying and Wetting", Magazine of Concrete Research, Vol. 30, No. 104, pp. 129-138, September (1978).
- [48] HERMITE, R.L., MAMILLON, M., "Retrait et Fluage des Bétons", Annales de l'ITBTP. September (1968).
- [49] ROSS, A.D., "Creep of Concrete Under Variable Stress", ACI, Journal, Vol. 54, pp. 739-758, (1958).
- [50] TROXELL, G.E., RAHAEL, J.M. and DAVIS, R.E., "Long-Term Creep and Shrinkage tests of Plain and Reinforced Concrete", Proc. ASTM 58, pp. 1101-1120, (1958).
- [51] BAZANT, Z.P., OSMAN, E., "Double Power law for basic Creep of Concrete", Mat. et constr. Vol. 9, pp.3-11, (1976).
- [52] FINDLEY, W.N., LAI, J.S., and ONARAN, K., "Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials", North-Holland Applied Mathematics and Mechanics, Amsterdam, (1976).
- [53] HIGGINSON, E.C., "Effect of Steam Curing on the Important Properties of Concrete", ACI Journal, Proceeding, Vol.58, sept., pp.281-296, (1961).
- [54] Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete", ACI 517-70, (1970).
- [55] POSTACIOĞLU, B., "Beton-Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt I, Bağlayıcı Maddeler", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, (1986).

- [56] ÖZKAN, L., "Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Uçucu Kül Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi", Y.L. Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran (1986).
- [57] SARIBAŞ, P., "Isıl İşlem Uygulaması ile Birlikte Doğal Puzolan Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkisi", Y.L. Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran (1987).
- [58] REINSDOREF, S., "Leichtbeton", band I, "Leichtbetone aus Porigen Zuschlagstoffen, VEB Verlag für Bauwesen-Berlin, pp.276-292, (1961).
- [59] HANSON, J.A., "Optimum Steam Curing Procedures for Structural Lightweight Concrete", Journal of ACI, Proceedings Vol. 60, pp.661-672, Sept. (1963).
- [60] SHORT, A., KINNBURGH, W., "Ligweight Concrete", CR Books Ltd (AMaclaren Company), London, (1968).
- [61] CEB/FIB, Manual of Design and Technology, "Light-weight Aggregate Concrete", The Construction Press, (1977).
- [62] SOROKA, I., JAEGERMAN, C.H., "Steam-Curing of Lightweight Aggregate Concrete Under Atmospheric Pressure", Building Research Station-Faculty of Civil Engineering, Technion Israel, Institute of Technologie, Haifa, Israel Prepared for Submission to the 8 th International Congress of the Precast Industry (BIBM), Stresa, Italy, May (1975).
- [63] KARAGÜLER, M., ÖZKUL, H., "Atmospheric Pressure Steam Curing of Lightweight Concrete Made With Pozzolana Substitued Cement", Proceeding of the Second International Conference, Vol.1, pp.3.33-3.46, Tripoli, October (1986).
- [64] COUTINHO, A. de SOUSA, A., "A Contribution to the Mechanisme of Concrete Creep Materials an Structures", No:55, (1977).
- [65] ALİ, L., KESLER, C.E., "Mechanisms of Creep in Concrete", Symp. on Creep of Concrete Institute, No.2, pp. 35-63, (1964).
- [66] WALLO, E.M., KESLER, C.E., "Prediction of Creep in Structural Concrete", Engineering Experiment Station Bulletin, No: 498, Urbana, Collenge of Engineering, Universty of Illinois, (1968).
- [67] ATAN, Y., "Viskoelastik bir Katı Cisim Olarak Betonun Gerilme-Deformasyon Bağıntısı", İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 26, sayı: 4, (1968).

- [68] TROST, H., "Sannungs-Dehnungs-Gesetz eines Viskoelastischen Festkörpers wie Beton und Folgerungen für Stabtragwerke aus Sthahlbeton und Spanbeton", Juni, (1966).
- [69] THEUER, A.U., "Effect of Temperature on the Strees Deformation of Concrete", Journal of Research, Nat. Bareak of Standarts, 18, No:1, (1937).
- [70] ENGLAND, G.L., ROSS, A.D., "Reinforced Concrete Under Thermal Gradients", Magazine of Concrete Research, Vol.14, No:40, (1962).
- [71] GHOSH, R.S., "Creep of Portland Cement at early ages", Materials and Structures No:26, (1972).
- [72] BERNHARDT, C.J., "Creep and Shrinkage of Concrete", Rilem, No:8, pp.145-148, (1969).
- [73] ZDENEK, P., BAZANT, Z.P., "Limitations of Strain-Hardening Model for Concrete Creep", Cement and Concrete Research, Vol.17, pp.505-509, (1987).
- [74] SCHWESINGER, P., EHLERT, G. and WÖLFEL, R., "Creep of Concrete at elevanted Temperatures and Boundary Conditions of Moisture", Cement and Concrete Research, Vol.17, pp.263-272, (1987).
- [75] AROUTIOUNIAN, N.K., "Applications de la Théorie du Fluage, Eyrolles", Paris, (1957).
- [76] BAZANT, Z.P., TSUBAKI, T. and CELEP, Z., "Singular history integral for Creep rate of Concrete", The Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 109, pp.866-884, (1983).
- [77] PERSÖZ, B., "Introduction à l'étude de la rhéologie", Dunod, Paris, (1960).
- [78] AKYÜZ, S., TAŞDEMİR, M.A., "On the Creep of Concrete Under Variable Stresses", İ.T.Ü. Bulletion, Vol.38, No:3, pp.401-408, (1985).
- [79] AKYÜZ, S., TAŞDEMİR, M.A. and UZUNHASANOĞLU, N., "The time, dependent behaviour of Lightweight Concrete Under Variable stresses", IV. National Mechanical Congress, pp. 160-171, Bayramoğlu Received, May 9, (1985).



E K L E R

Tablo A.1. A-20 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo

Yükleme Basamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyisel		Basamaklardaki sünme def. (x10 ⁻⁶)					Toplam hesap. sünme defor. .10 ⁻⁶
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	
1. Basamak	7	0	165	0	0					0
	8	1	248	83	79					79
	9	2	270	105	125					125
	11	4	325	160	183					183
	14	7	404	239	237					237
	16	9	434	269	262					262
	22	15	476	311	316					316
	28	21	510	345	352					352
2. Basamak	28	0	652	345	352	0				352
	29	1	675	368	357	49				406
	30	2	720	413	362	76				438
	32	4	778	471	371	112				483
	34	6	790	483	380	135				515
	36	8	806	499	388	154				542
	40	12	844	537	402	179				581
	42	14	872	565	408	190				598
	45	17	909	602	417	202				619
	50	22	944	637	431	220				651
3. Basamak	56	28	981	674	446	236				682
	56	0	1016	674	446	236	0			682
	57	1	1054	712	448	238	16			702
	58	2	1054	712	450	240	26			716
	60	4	1091	749	455	244	38			737
	62	6	1095	753	459	249	46			754
	65	9	1110	768	465	255	54			774
	70	14	1148	806	473	263	64			800
	75	19	1177	835	482	271	71			824
	80	24	1198	856	490	278	76			844
	88	32	1217	875	502	288	83			873
	95	39	1232	890	511	295	87			893
	100	44	1244	902	518	300	90			908
	105	49	1255	913	523	305	92			920
	115	59	1291	949	535	314	97			946
4. Basamak	115	0	1270	949	535	314	97	0		946
	116	1	1252	931	535	314	97	-10		936
	117	2	1244	923	537	315	98	-15		935
	120	5	1249	928	540	317	100	-24		933
	123	8	1252	931	543	319	100	-29		933
	125	10	1250	929	544	321	101	-31		935
	127	12	1259	938	546	322	102	-34		936
	130	15	1256	935	549	324	103	-36		940
	135	20	1261	940	553	328	104	-41		944
	140	25	1268	947	558	331	105	-43		951
	145	30	1274	953	562	334	106	-45		957
5. Basamak	145	0	1124	953	562	334	106	-45	0	957
	146	1	1100	929	563	335	106	-46	-36	922
	147	2	1061	890	564	335	107	-47	-57	902
	150	5	1036	865	566	337	108	-47	-92	872
	153	8	1033	862	569	338	109	-48	-113	855
	160	15	1017	846	574	342	110	-51	-142	833
	168	23	981	810	580	346	111	-53	-163	821
	180	35	977	806	587	352	114	-53	-184	816
	200	55	984	813	600	361	117	-59	-206	813

Tablo A.2. B-40 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo

Yüklemeye Basamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyssel		Basamaklardaki sünme deformasyonu (x10 ⁻⁶)						Toplam hesap. sünme deform. .10 ⁻⁶
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	6	
1. Basamak	3	0	215	0	0						0
	4	1	270	55	92						92
	5	2	345	131	146						146
	7	4	424	209	214						214
	10	7	477	262	277						277
	14	11	526	311	330						330
	17	14	565	350	360						360
	19	16	570	355	377						377
2. Basamak	21	18	600	385	391						391
	21	0	734	385	391	0					391
	22	1	809	460	398	67					465
	23	2	841	492	405	106					511
	25	4	910	561	417	155					572
	28	7	978	629	433	200					633
	30	9	1009	660	443	222					665
	35	14	1056	707	465	261					726
3. Basamak	42	21	1133	784	490	298					783
	45	24	1156	807	500	310					810
	49	28	1173	824	512	325					837
	49	0	1200	824	512	325	0				837
	50	1	1217	841	515	328	9				852
	51	2	1239	863	517	331	14				862
	53	4	1263	887	523	337	20				880
	55	6	1275	899	528	343	25				896
4. Basamak	58	9	1291	915	535	351	30				916
	62	13	1307	931	544	360	34				938
	68	19	1344	968	557	373	39				969
	75	26	1361	985	570	386	43				999
	77	28	1376	1000	574	390	44				1008
	77	0	1471	1000	574	390	44	0			1008
	78	1	1479	1008	576	392	45	24			1037
	80	3	1506	1035	579	395	46	48			1068
5. Basamak	83	6	1543	1072	584	399	46	68			1097
	87	10	1576	1105	591	405	49	83			1128
	91	14	1611	1140	597	411	50	101			1159
	94	17	1625	1154	601	415	52	110			1178
	100	23	1636	1165	610	423	52	111			1196
	102	25	1653	1182	612	425	53	113			1203
	105	28	1670	1199	616	428	53	117			1214
	105	0	1609	1199	616	428	53	117	0		1214
6. Basamak	106	1	1608	1198	617	428	53	118	-11		1205
	108	3	1607	1197	620	432	54	121	-22		1205
	111	6	1597	1187	624	435	54	124	-32		1205
	114	9	1601	1191	627	438	55	126	-37		1209
	117	12	1605	1195	631	441	55	129	-42		1214
	120	15	1616	1206	634	444	56	132	-45		1221
	125	20	1633	1223	640	449	57	135	-49		1232
	132	27	1650	1240	647	455	58	140	-54		1246
7. Basamak	132	0	1394	1240	647	455	58	140	-54	0	1246
	133	1	1371	1217	648	456	59	141	-55	-49	1200
	137	5	1314	1160	652	460	60	143	-57	-127	1131
	140	8	1287	1133	655	462	59	145	-58	-156	1107
	145	13	1270	1116	660	466	60	147	-60	-187	1086
	152	20	1242	1088	666	470	60	151	-63	-216	1068
	158	26	1217	1063	671	475	61	153	-65	-234	1061
	165	33	1224	1070	677	480	62	156	-67	-251	1057
8. Basamak	173	41	1232	1078	684	485	63	159	-69	-266	1056
	182	50	1231	1077	690	490	64	162	-71	-279	1056
	190	58	1219	1065	696	495	64	165	-72	-290	1058
	200	68	1212	1058	703	500	65	168	-74	-301	1061

Tablo A.3. C-60 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo

Yükleme Basamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyisel		Basamaklardaki sünme deformasyonu (x10 ⁻⁶)						Toplam hesap. sünme defor. .10 ⁻⁶
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	6	
1. Basamak	1	0	210	0	0						0
	2	1	324	114	124						124
	3	2	380	170	197						197
	4	3	425	215	248						248
	7	6	536	326	348						348
	10	9	590	380	412						412
	13	12	642	432	459						459
	15	14	672	462	485						485
	18	17	715	505	517						517
	20	19	748	538	536						536
2. Basamak	25	24	782	572	576						576
	25	0	853	572	576	0					576
	26	1	918	637	583	37					620
	27	2	950	669	583	59					542
	30	5	1004	723	609	96					705
	33	8	1025	744	626	117					743
	35	10	1046	765	636	129					765
	39	14	1076	795	656	145					801
	40	15	1098	817	660	149					809
	45	20	1124	843	681	163					844
3. Basamak	46	21	1130	849	685	166					851
	50	25	1178	897	700	175					875
	53	28	1199	918	711	180					891
	53	0	1243	918	711	180	0				891
	54	1	1281	956	714	182	21				917
	55	2	1293	968	717	184	33				934
	57	4	1304	979	724	187	48				959
	60	7	1325	1000	733	192	62				987
	65	12	1376	1051	747	199	76				1022
	68	15	1400	1075	755	203	82				1040
4. Basamak	72	19	1407	1082	765	207	89				1061
	75	22	1439	1114	773	211	93				1077
	80	27	1448	1123	784	216	99				1099
	81	28	1466	1141	786	217	100				1103
	81	0	1535	1141	786	217	100	0			1103
	82	1	1572	1178	789	218	103	30			1138
	83	2	1610	1216	791	219	102	48			1160
	85	4	1621	1227	795	220	104	70			1189
	87	6	1638	1244	799	222	105	85			1211
	90	9	1682	1288	805	225	108	100			1238
5. Basamak	95	14	1700	1306	815	228	111	118			1272
	98	17	1713	1319	820	231	113	126			1290
	105	24	1764	1370	833	235	118	140			1326
	107	26	1781	1387	836	237	119	144			1336
	110	29	1784	1390	841	239	120	148			1348
	110	0	1728	1390	841	239	120	148	0		1348
	111	1	1728	1390	843	239	121	150	-13		1340
	113	3	1714	1376	846	241	122	152	-27		1334
	117	7	1716	1378	852	243	124	157	-40		1336
	120	10	1717	1379	857	245	125	161	-46		1342
6. Basamak	125	15	1727	1389	864	247	127	166	-54		1350
	132	22	1752	1414	874	251	130	172	-61		1366
	140	30	1770	1432	884	255	133	178	-66		1384
	140	0	1576	1432	884	255	133	178	-66	0	1384
	141	1	1523	1379	866	255	133	179	-67	-49	1337
	143	3	1491	1347	888	256	134	181	-68	-98	1293
	148	8	1440	1296	894	258	135	184	-71	-155	1245
	152	12	1437	1293	899	260	136	186	-73	-181	1227
	160	20	1415	1271	908	263	139	191	-76	-215	1210
	175	35	1390	1246	924	269	143	198	-81	-253	1200
	180	40	1387	1243	929	271	144	201	-82	-262	1201
	190	50	1383	1239	939	274	146	205	-85	-278	1201
	200	60	1385	1241	948	277	148	209	-87	-291	1204

Tablo A.4. D-70 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo

Yüklem Basamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyssel		Basamaklardaki sünme deformasyonu (x10 ⁻⁶)						Toplam hesap. sünme defor. .10 ⁻⁶
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	6	
1. Basamak	1	0	124	0	0						0
	2	1	192	68	66						66
	3	2	225	101	105						105
	5	4	265	141	154						154
	7	6	315	191	186						186
	8	7	326	202	199						199
2. Basamak	8	0	462	202	199	0					199
	9	1	528	268	210	71					281
	10	2	600	340	220	114					334
	13	5	683	423	245	186					431
	16	8	742	482	265	227					492
	20	12	814	554	286	266					552
	25	17	874	614	307	300					607
	28	20	893	633	318	316					634
	30	22	898	638	325	325					650
	33	25	925	665	334	338					672
	35	27	943	683	340	346					686
	38	30	955	695	347	357					704
3. Basamak	40	32	983	723	352	363					715
	40	0	1042	723	352	363	0				715
	41	1	1052	733	355	366	22				743
	43	3	1088	770	359	372	44				775
	45	5	1119	800	364	378	57				799
	48	8	1135	816	370	386	70				826
	50	10	1157	838	374	391	76				841
	53	13	1182	863	380	397	84				861
	56	16	1206	887	385	404	91				880
	60	20	1232	913	391	412	97				900
	65	25	1235	916	399	421	104				924
	70	30	1258	939	406	430	110				946
4. Basamak	70	0	1350	939	406	430	110	0			946
	71	1	1364	953	407	431	111	29			978
	73	3	1372	961	410	435	113	60			1018
	77	7	1418	1007	415	441	117	88			1061
	80	10	1444	1033	419	445	119	102			1085
	85	15	1495	1084	424	452	122	118			1116
	90	20	1520	1109	430	459	126	130			1145
	96	26	1548	1137	436	466	129	141			1172
	100	30	1566	1155	440	471	131	147			1189
	105	35	1596	1185	445	476	134	153			1208
	110	40	1613	1202	449	481	136	161			1227
	114	44	1631	1220	452	484	138	163			1237
5. Basamak	114	0	1566	1220	452	484	138	163	0		1237
	115	1	1556	1210	453	485	138	165	-18		1224
	117	3	1528	1182	455	487	139	168	-36		1213
	120	6	1531	1185	457	491	140	172	-50		1210
	125	11	1535	1189	461	494	142	175	-64		1208
	130	16	1543	1197	465	499	144	178	-73		1213
	133	19	1542	1196	467	502	145	181	-77		1218
	138	24	1547	1201	471	506	147	184	-83		1225
	143	29	1554	1208	474	510	149	184	-88		1229
	143	0	1348	1208	474	510	149	184	-88	0	1229
	144	1	1320	1180	475	511	149	185	-89	-54	1177
	145	2	1295	1155	475	513	149	186	-89	-86	1148
6. Basamak	147	4	1227	1087	474	515	150	188	-91	-126	1110
	150	7	1218	1078	477	519	151	190	-93	-162	1082
	155	12	1176	1036	482	526	152	195	-97	-200	1058
	165	22	1148	1008	488	534	155	200	-102	-245	1030
	178	35	1134	994	495	535	157	201	-108	-280	1000
	180	37	1133	993	496	536	158	202	-109	-284	999
	200	57	1124	984	506	546	161	208	-115	-317	989

Tablo A.5. E-95 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması ile ilgili tablo

Yükleme Basamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyisel		Basamaklardaki sünme deformasyonu ($\times 10^{-6}$)						Toplam hesap. sünme defor. $\times 10^{-6}$
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	6	
1. Basamak	1	0	92	0	0						0
	2	1	160	68	56						56
	3	2	188	96	88						88
	5	4	237	145	129						129
	7	6	257	165	155						155
	8	7	260	178	167						167
	8	0	364	178	167	0					167
	9	1	403	202	176	44					220
2. Basamak	10	2	456	255	184	70					254
	11	3	494	290	193	89					282
	12	4	507	306	199	102					301
	15	7	539	338	217	133					350
	17	9	576	375	226	148					374
	20	12	594	393	240	164					404
	22	14	614	413	246	173					419
	25	17	641	440	257	185					442
	30	22	653	452	271	200					471
	35	27	715	514	285	213					498
3. Basamak	35	0	764	514	285	213	0				498
	36	1	774	524	286	215	27				528
	37	2	804	556	289	217	43				549
	38	3	824	574	291	219	55				565
	40	5	831	581	296	223	70				589
	42	7	858	598	298	237	81				616
	45	10	887	637	305	232	94				631
	48	13	910	660	309	237	103				649
	50	15	922	672	313	241	108				662
	55	20	944	694	320	248	119				687
	60	25	961	711	327	254	128				709
	63	28	978	728	331	257	132				720
	63	0	1027	728	331	257	132	0			720
	64	1	1053	754	332	258	132	22			745
4. Basamak	65	2	1057	758	333	260	134	35			762
	68	5	1105	806	337	263	138	58			796
	70	7	1109	810	339	265	140	67			811
	73	10	1134	835	343	268	143	78			832
	75	12	1156	857	346	270	145	83			844
	78	15	1169	870	349	273	147	90			859
	80	17	1177	878	350	275	149	93			866
	84	21	1192	893	354	278	153	100			885
	90	27	1203	904	359	282	157	108			906
	95	32	1219	920	365	286	161	113			925
	100	37	1231	932	367	290	164	118			939
	105	42	1262	963	371	293	167	122			953
	108	45	1280	981	374	295	168	125			962
	108	0	1188	981	374	295	168	125	0		962
	109	1	1186	979	376	296	169	125	-25		941
	110	2	1166	959	376	296	170	126	-39		929
5. Basamak	112	4	1163	956	377	297	171	127	-58		914
	115	7	1126	919	380	299	172	129	-75		905
	118	10	1148	941	381	301	173	131	-86		900
	120	12	1143	936	382	302	174	132	-92		898
	125	17	1136	929	385	305	177	135	-104		898
	130	22	1132	925	389	308	178	138	-112		901
	137	29	1135	928	393	312	186	140	-122		904
	137	0	946	928	393	312	181	140	-122	0	904
	138	1	884	866	394	312	181	141	-123	-74	831
	139	2	849	831	395	313	182	141	-124	-118	789
6. Basamak	140	3	819	801	396	313	183	142	-125	-148	761
	144	7	731	713	397	315	184	143	-129	-222	688
	150	13	690	672	401	317	185	147	-135	-282	633
	155	18	656	638	403	320	187	149	-138	-315	606
	160	23	655	637	405	321	192	152	-142	-340	588
	170	33	597	579	411	326	192	153	-149	-377	556
	180	43	578	560	415	330	195	155	-154	-405	536
	200	63	567	549	423	337	199	159	-162	-445	511

Tablo A.6. F-20 Serisi "a" ve "b" katsayılarının Hesaplanması
ile ilgili tablo

Yükleme Başamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyssel		Basamaklardaki sünme def. (x10 ⁻⁶)					Toplam hesap. sünme defor. 10 ⁻⁶
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	
1. Basamak	7	0	252	0	0					0
	8	1	415	163	138					138
	10	3	522	270	277					277
	12	5	620	368	358					358
	14	7	690	438	416					416
	18	11	770	518	497					497
	21	14	818	566	540					540
	25	18	843	591	588					588
2. Basamak	28	21	862	610	618					618
	28	0	977	610	618	0				618
	29	1	1026	659	627	40				667
	30	2	1066	699	635	64				699
	32	4	1118	751	651	95				746
	35	7	1160	793	673	122				795
	38	10	1204	837	693	140				833
	42	14	1221	854	717	160				877
	45	17	1262	895	733	170				903
	48	20	1293	926	747	179				926
	50	22	1298	931	757	185				942
	52	24	1319	952	766	189				955
3. Basamak	56	28	1350	983	782	199				981
	56	0	1391	983	782	199	0			981
	57	1	1402	994	786	200	14			1000
	58	2	1414	1006	790	202	23			1015
	60	4	1452	1044	798	206	33			1037
	63	7	1480	1072	808	210	44			1062
	65	9	1481	1073	815	214	49			1078
	68	12	1519	1111	825	219	54			1098
	71	15	1532	1124	835	223	58			1116
	75	19	1547	1139	847	228	63			1138
	78	22	1553	1145	855	231	65			1151
	81	25	1562	1154	863	234	68			1165
4. Basamak	84	28	1589	1181	871	238	70			1179
	84	0	1519	1181	871	238	70	0		1179
	85	1	1518	1180	873	239	72	-16		1168
	86	2	1516	1178	876	240	72	-26		1162
	88	4	1517	1177	881	242	72	-38		1157
	90	6	1520	1178	886	244	77	-46		1161
	94	10	1522	1173	895	247	77	-57		1162
	96	12	1521	1178	900	249	79	-61		1167
	98	14	1520	1178	904	251	79	-65		1169
	102	18	1529	1180	912	254	82	-70		1178
	105	21	1530	1186	919	257	84	-74		1186
	110	26	1538	1196	929	260	84	-78		1195
5. Basamak	112	28	1550	1212	932	262	86	-80		1200
	112	0	1349	1212	932	262	86	-80	0	1200
	113	1	1315	1178	934	262	87	-81	-55	1147
	115	3	1282	1144	938	263	87	-82	-110	1097
	118	6	1239	1102	944	265	88	-85	-154	1058
	121	9	1220	1083	949	267	89	-86	-182	1037
	125	13	1176	1039	956	269	91	-89	-209	1018
	130	18	1158	1021	964	273	93	-93	-233	1004
	135	23	1154	1017	971	275	93	-94	-252	993
	142	30	1151	1014	982	280	95	-97	-272	988
	150	38	1152	1015	993	284	96	-100	-290	983

Tablo A.7. G-50 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması
ile ilgili tablo

Yükleme Başamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyssel		Basamaklardaki sünme def. (x10 ⁻⁶)					Toplam hesap. sünme defor. 10 ⁻⁶
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	
1. Basamak	3	0	225	0	0					0
	4	1	313	88	103					103
	5	2	397	172	167					167
	7	4	448	223	241					241
	10	7	543	318	312					312
	14	11	588	363	372					372
	18	15	615	390	416					416
2. Basamak	21	18	680	455	442					442
	21	0	822	455	442	0				442
	22	1	864	497	449	59				508
	23	2	935	568	457	93				550
	25	4	974	607	470	137				607
	28	7	1049	682	489	177				666
	30	9	1072	705	500	196				696
	33	12	1097	730	515	218				733
	35	14	1119	752	524	230				754
	38	17	1157	790	537	245				782
	40	19	1178	811	545	255				800
3. Basamak	45	24	1200	833	564	273				837
	50	29	1250	883	580	289				869
	50	0	1292	883	580	289	0			869
	51	1	1332	923	583	294	21			898
	52	2	1356	947	586	297	33			916
	54	4	1369	960	592	302	48			942
	57	7	1408	999	601	309	62			972
	60	10	1422	1013	609	315	71			995
	62	12	1452	1042	614	320	76			1010
	65	15	1461	1052	621	325	82			1028
	68	18	1481	1072	628	330	88			1046
4. Basamak	70	20	1487	1078	632	334	91			1057
	75	25	1508	1099	643	342	97			1082
	77	27	1517	1108	647	345	99			1091
	77	0	1478	1108	647	345	99	0		1091
	78	1	1466	1096	650	346	100	-13		1083
	79	2	1454	1084	651	348	101	-20		1080
	80	3	1444	1074	653	349	102	-26		1078
	83	6	1441	1071	659	353	105	-36		1081
	85	8	1443	1073	662	354	107	-41		1082
	90	13	1464	1094	671	361	110	-49		1093
	94	17	1477	1107	678	366	113	-53		1104
5. Basamak	97	20	1489	1119	683	369	115	-56		1111
	100	23	1500	1130	687	372	117	-59		1117
	102	25	1504	1134	690	374	118	-60		1122
	105	28	1514	1144	695	377	120	-62		1130
	105	0	1280	1144	695	377	120	-62	0	1130
	106	1	1183	1047	696	379	120	-63	-67	1065
	107	2	1166	1030	698	380	121	-63	-107	1029
	110	5	1096	960	702	382	122	-65	-174	967
	113	8	1081	945	706	385	124	-67	-213	935
	115	10	1068	932	709	387	125	-68	-233	920
	120	15	1024	888	716	391	127	-70	-269	895
5. Basamak	124	19	1007	871	720	395	128	-71	-291	881
	130	25	1015	879	727	400	131	-74	-317	867
	138	33	1003	867	736	405	133	-76	-343	855
	142	37	987	851	741	408	135	-77	-354	853
	150	45	978	842	750	414	137	-80	-372	849

Tablo A.8. H-80 Serisi "a" ve "b" katsayılarının hesaplanması
ile ilgili tablo

Yükleme Başamağı	t (gün)	t _b (gün)	Deneyssel		Basamaklardaki sünme def. ($\times 10^{-6}$)					Toplam hesap. sünme defor. $\cdot 10^{-6}$
			$\epsilon \cdot 10^{-6}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-6}$	1	2	3	4	5	
1. Basamak	2	0	265	0	0					0
	3	1	364	99	121					121
	5	3	520	255	243					243
	7	5	570	305	314					314
	10	8	635	370	385					385
	12	10	700	435	420					420
	15	13	714	449	463					463
	18	16	768	503	497					497
	20	18	770	505	516					516
2. Basamak	23	21	778	513	542					542
	26	24	840	585	564					564
	26	0	1000	585	564	0				564
	27	1	1066	651	571	56				627
	28	2	1114	699	578	89				667
	30	4	1147	732	590	130				720
	33	7	1183	768	608	168				776
	36	10	1261	846	623	194				817
	40	14	1299	884	643	219				862
3. Basamak	43	17	1320	905	655	234				889
	45	19	1336	921	664	242				906
	50	24	1380	965	682	260				942
	54	28	1419	1004	696	273				969
	54	0	1439	1004	696	273	0			969
	55	1	1474	1039	699	275	11			974
	57	3	1499	1064	706	281	23			1010
	60	6	1527	1092	715	287	32			1034
	62	8	1533	1098	721	292	36			1049
4. Basamak	65	11	1547	1112	729	298	41			1068
	70	16	1573	1138	742	308	46			1096
	73	19	1593	1158	750	313	49			1112
	77	23	1614	1179	759	320	52			1131
	80	26	1630	1195	766	324	54			1144
	82	28	1628	1193	771	327	55			1153
	82	0	1565	1193	771	327	55	0		1153
	83	1	1557	1185	773	328	56	-13		1144
	85	3	1552	1180	777	331	57	-26		1139
5. Basamak	90	8	1546	1174	787	338	59	-42		1142
	93	11	1568	1196	793	343	60	-48		1148
	100	18	1566	1194	806	350	63	-57		1162
	104	22	1573	1201	813	354	64	-61		1170
	108	26	1595	1223	819	357	65	-64		1177
	110	28	1603	1231	822	359	66	-65		1182
	110	0	1234	1231	822	359	66	-65	0	1182
	111	1	1212	1209	824	360	66	-65	-70	1115
	112	2	1172	1169	826	361	67	-66	-111	1077
	113	3	1114	1111	823	362	67	-68	-140	1044
	117	7	1070	1067	834	366	68	-70	-210	988
	120	10	1027	1024	838	368	69	-70	-240	965
	125	15	1026	1023	845	373	70	-72	-279	937
	128	18	1013	1010	849	375	71	-74	-297	924
	132	22	981	978	855	378	71	-75	-316	913
	138	28	976	973	863	382	73	-77	-339	902
	145	35	973	970	871	388	74	-80	-361	892
	150	40	952	949	877	392	75	-82	-374	888

Ö Z G E Ç M İ Ş

Kemalettin Yılmaz, 1955 yılında Erzurum'da doğdu. İlk ve Ortaokulu İstanbul-Çağlayan'da, Lise'yi 1971 yılında Maçka Sanat Enstitüsü'sünde tamamlayarak, aynı yıl dışarıdan İstanbul Atatürk Erkek Lisesini bitirdi.

1972 yılında girdiği İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi'nden (Yıldız) mezun olduktan sonra 2 yıl serbest çalıştı. 1980 yılında Sakarya Mühendislik Fakültesi'nde başladığı M.M.L.S.Eğitimi 1981 de tamamlayarak aynı yıl kısa dönem askerlik görevini yaptı.

1981 yılında İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi'nde Uzman-Asistan olarak başladığı görevine, 1985 den itibaren aynı Fakülte'nin Sakarya Meslek Yüksek Okulu kadrosunda Öğretim Görevlisi olarak devam ettirmektedir.