İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ★FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONDA SU/ÇİMENTO ORANININ VE YÜKLEME YAŞININ SÜNME ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Timur Karaoğlu

501981075

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :15.Mayıs.2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 31.Mayıs.2002

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Saim AKYÜZ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. M.Ali TAŞDEMİR

Prof. Dr. Turan ÖZTURAN (B.Ü.)

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Betonda sünme olayını incelemek için yazılan bu tezde yapılan deneyler yaklaşık 5 ay sürmüştür. Deneyler İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi laboratuarlarında yapılmıştır. Tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Saim AKYÜZ'e ve Yapı Malzemesi laboratuarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2002 İnş. Müh. Timur KARAOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **İİ**

İÇİNDEKİLER ..... **İİİ**

NOTASYON LİSTESİ ..... **V**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **Vİ**

TABLO LİSTESİ ..... **Vİİİ**

ÖZET ..... **İX**

SUMMMARY ..... **Xİ**

BÖLÜM 1 ..... **1**

GİRİŞ 1

1.1.GENEL *1*

1.2.AMAÇ VE KAPSAM *3*

BÖLÜM 2 ..... **5**

SÜNME 5

2.1.SÜNME OLAYININ GENEL TANIMI *5*

2.1.1 Betonda görülen deformasyon türleri 7

2.1.2 Sünmenin Mekanizması 7

2.1.3 Sünmeye Etki Eden Faktörler 12

2.1.4 Sünme-Rötre İlişkisi 20

2.2.BETON İÇİN SÜNME FONKSİYONU *20*

2.2.1 Lineer Viskoelastisenin Temel Denklemleri 22

2.2.2 Betonun Eksenel Basınç Etkisinde Modellenmesi 23

BÖLÜM 3 ..... **27**

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 27

3.1.DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ *27*

3.1.1.Çimento 27
3.1.2.Su 28
3.1.3.Akışkanlaştırıcı 28
3.1.4.Agrega 28
3.2.TAZE BETON DENEYLERİ *30*
3.3.SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ *32*
3.3.1. Basınç Deneyi 32
3.3.2. Sünme Deneyi 32
BÖLÜM 4 ..... **35**
DENEYLERLE İLGİLİ SONUÇLAR 35
4.1.BASINÇ DENEYİ SONUÇLARI *35*
4.2.SÜNME DENEYİ SONUÇLARI *36*
4.2.1. Sünme Fonksiyonları 37
4.2.2. Gevşeme Fonksiyonları 39
4.3.SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ SONUÇLARI *41*
SONUÇLAR **42**
KAYNAKLAR **44**
EKLER **47**

NOTASYON LİSTESİ

ε	:	Zamana bağlı deformasyon
ε_o	:	Ani deformasyon
ε_r	:	Rötre deformasyonu
ε_p	:	Plastik deformasyon
C	:	Kalsiyum
S	:	Silikat
A	:	Alüminat
F	:	Ferrit
σ	:	Gerilme
ψ	:	Poisson oranı
R	:	Betonun mukavemeti
t	:	Zaman
f	:	Sünme fonksiyonu
g	:	Gevşeme fonksiyonu
ω	:	Özgül sünme
w	:	Su/çimento
e	:	Su miktarı
c	:	Çimento

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa no

Şekil 2.1 Yük boşaltıldığında oluşan tipik sünme eğrisi.....6
Şekil 2.2 Yük boşaltıldığında oluşan gerilme şekil değiştirme eğrisi.....6
Şekil 2.3 t=0 da uygulanan sabit gerilme için şekil değiştirme eğrisi.....21
Şekil 2.4 Katı cisim modeli.....24
Şekil 3.1 Prizmalara pimlerin yapıştırılma ölçüleri.....33
Şekil 4.1 w=0,35 için rötre eğrisi.....48
Şekil 4.2 w=0,55 için rötre eğrisi.....49
Şekil 4.3 w=0,75 için rötre eğrisi.....50
Şekil 4.4 14.gün w=0,35 için sünme eğrisi.....51
Şekil 4.5 14.gün w=0,55 için sünme eğrisi.....52
Şekil 4.6 14.gün w=0,75 için sünme eğrisi.....53
Şekil 4.7 14.gün w=0,35 için rötresiz sünme eğrisi.....54
Şekil 4.8 14.gün w=0,55 için rötresiz sünme eğrisi.....55
Şekil 4.9 14.gün w=0,75 için rötresiz sünme eğrisi.....56
Şekil 4.10 14.gün w=0,35 için α doğrusu.....57
Şekil 4.11 14.gün w=0,55 için α doğrusu.....58
Şekil 4.12 14.gün w=0,75 için α doğrusu.....59
Şekil 4.13 28.gün w=0,35 için sünme eğrisi.....60
Şekil 4.14 28.gün w=0,55 için sünme eğrisi.....61
Şekil 4.15 28.gün w=0,75 için sünme eğrisi.....62
Şekil 4.16 28.gün w=0,35 için rötresiz sünme eğrisi.....63
Şekil 4.17 28.gün w=0,55 için rötresiz sünme eğrisi.....64
Şekil 4.18 28.gün w=0,75 için rötresiz sünme eğrisi.....65
Şekil 4.19 28.gün w=0,35 için α doğrusu.....66
Şekil 4.20 28.gün w=0,55 için α doğrusu.....67
Şekil 4.21 28.gün w=0,75 için α doğrusu.....68
Şekil 4.22 42.gün w=0,35 için sünme eğrisi.....69
Şekil 4.23 42.gün w=0,55 için sünme eğrisi.....70
Şekil 4.24 42.gün w=0,75 için sünme eğrisi.....71
Şekil 4.25 42.gün w=0,35 için rötresiz sünme eğrisi.....72

Şekil 4.26 42.gün w=0,55 için rötresiz sünme eğrisi.....73
Şekil 4.27 42.gün w=0,75 için rötresiz sünme eğrisi.....74
Şekil 4.28 42.gün w=0,35 için α doğrusu.....75
Şekil 4.29 42.gün w=0,55 için α doğrusu.....76
Şekil 4.30 42.gün w=0,75 için α doğrusu.....77
Şekil 4.31. E1 katsayısının her w için yükleme günene bağlı değişimi.....78
Şekil 4.32. E2 katsayısının her w için yükleme günene bağlı değişimi.....79
Şekil 4.33. E1 formülündeki a katsayılarının w oranına bağlı değişimi.....80
Şekil 4.34. E2 formülündeki b katsayılarının w oranına bağlı değişimi.....81
Şekil 4.35. α katsayısının her yükleme günü için w oranına bağlı değişimi 82
Şekil 4.36. A katsayılarının yükleme gününe bağlı değişimi.....83
Şekil 4.37. B katsayılarının yükleme gününe bağlı değişimi.....84
Şekil 4.38. A katsayılarının w oranına bağlı değişimi.....85
Şekil 4.39. B katsayılarının w oranına bağlı değişimi.....86
Şekil 4.40. C katsayılarının yükleme gününe bağlı değişimi.....87
Şekil 4.41. D katsayılarının yükleme gününe bağlı değişimi.....88
Şekil 4.42. C katsayılarının w oranına bağlı değişimi.....89
Şekil 4.43. D katsayılarının w oranına bağlı değişimi.....90

TABLO LİSTESİ

Sayfa no

Tablo 2.1.	Deformasyonların sınıflandırılması.....	7
Tablo 2.2.	Yüklemeden evvel ve sonra değişik rutubet ortam koşullarında tutulmuş numunelerin sünmesi.....	17
Tablo 3.1.	Çimentonun fiziksel özellikleri.....	27
Tablo 3.2.	Çimentonun mekanik özellikleri.....	28
Tablo 3.3.	Agreganın elek analiz sonuçları.....	29
Tablo 3.4.	Agreganın birim ve özgül ağırlıkları.....	29
Tablo 3.5.	Üretilen betonlarda 1 m^3 için gerekli malzeme miktarı.....	31
Tablo 4.1.	14 günlük basınç mukavemetleri.....	35
Tablo 4.2.	28 günlük basınç mukavemetleri.....	35
Tablo 4.3.	42 günlük basınç mukavemetleri.....	36
Tablo 4.4.	14 günlük sünme deneyinde kullanılan gerilmeler.....	36
Tablo 4.5.	28 günlük sünme deneyinde kullanılan gerilmeler.....	36
Tablo 4.6.	42 günlük sünme deneyinde kullanılan gerilmeler.....	36
Tablo 4.7.	Sertleşmiş beton deney sonuçları.....	41

ÖZET

BETONDA SU/ÇİMENTO ORANININ VE YÜKLEME YAŞININ SÜNME ÜZERİNE ETKİLERİ

Betonda meydana gelen deformasyonlar çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir: Bunlar kısa sürede oluşan deformasyonlar ve zamana bağlı meydana gelen deformasyonlar. Değişmez gerilme altında zamana bağlı deformasyona sünme adı verilir. Beton zamana bağlı deformasyon yapabilir, dolayısıyla sünme yapabilen yapı malzemesi olarak anılır. Sünme sonucunda kompozit bir malzeme olan betonda ve donatılı betonlarda gerilmeler doğar ve gerilme yayılış degişmesine yol açar. Betonarme ve öngerilmeli beton yapılarda bu olayla karşılaşıldığından dolayı sünme olayının etkileri kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır.

Beton zamanla mekanik özellikleri değişen bir malzemedir. Zamanın yanında birtakım yapısal parametreler de bu özelliklerini etkiler. Bu çalışmada zaman ve yapısal parametrelerden su/çimento oranının betonun viskoelastik davranışına etkileri ele alınmıştır. Üç farklı su/çimento oranına sahip betonlar, herbiri doğrusal viskoelastik bölgede kalacak şekilde 14., 28., ve 42. günlerde değişmez eksenel gerilme altında tutularak rötresiz sünme deformasyonları okunmuş ve buradan sünme diyagramları elde edilmiştir.

Bu deneyde yapılan çalışmalar agrega konsantrasyonu ve diğer tüm değişkenler sabit tutularak su / çimento oranın (%35, %55, %75) ve yükleme yaşının (14, 28, 42) sünme olayı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu parametreler ışığında çizilen sünme diyagramlarıyla bu yukarıda adı geçen parametrelerin sünme olayına etkileri incelenmiştir. Bu incelemeler yapılırken bu diyagramların katı cisim modeline

uyduğu tespit edilmiş ve bu model ışığında sünme fonksiyonları ve Laplace-Carson dönüşümlerinden yararlanılarak gevşeme fonksiyonları elde edilmiştir.

Bu yukarıda sözü geçen diyagramlar ve fonksiyonlar elde edilirken bu değerler gerilmeler bağımsız hale getirildi. Bunun amacı değişken olan mukavemeti sabit σ/R oranının içindeki R nin değişken olmasından dolayı uygulanan gerimenin farklı olmasıdır.

Bu fonksiyonlar elde edildikten sonra ve çizilmiş olan diyagramlardan su / çimento oranın artmasıyla ve yükleme yaşının artmasıyla sünmenin yine arttığı gözlenmiştir.

SUMMMARY

THE EFFECTS OF WATER / CEMENT RATIO AND LOADING AGE ON CREEP AT CONCRETE

In a general manner to introduce the topic we can say that creep is a slow continuos deformation of a material dependent to time under constant stress.

Lots of materials have creep property but there are some important differences between concrete and many other common structural materials. Before giving knowledge about creep of concrete, we should know what sort of material is concrete. Concrete is a multi-phase material, consisting of particles of aggregate embedded in a matrix of cement paste. In time-dependent deformation cement paste plays dominant role and aggregate can be considered as a modifier of creep event. First of all, concrete is a heterogeneous material at virtually any level of observation. Because it consists of cement gel, hydrated cement, unhydrated cement, aggregate and water. Finally concrete differs from some other materials, for instance steel (At a macroscopic level steel is considered homogenous and isotropic). Another important point is that, concrete is manufactured on site which may effect the variability of concrete and the stability of its properties.

Creep in general may be described in terms of different stages. In the primary creep range, the rate of creep decreases with time. If the material exhibits a minimum creep rate, the secondary creep range (sometimes called stationary creep) designates the range of steady state creep. The straight line relation of secondary creep may be a convenient approximation when the magnitude of this creep is large compared with primary creep.

Actual materials exhibit a general variety of behaviour. However, by means of idealisation deformations of concrete can be simplified and classified as in Table A1.

Table A1. Classification of deformation at concrete

Deformation	**Instantaneous**	**time-dependent**
Recoverable	Elastic	delayed elastic
Irrecoverable	Plastic	Viscous

On a phenomenological basis, several mechanisms of creep can be distinguished. They are: mechanical deformation theory, viscous flow, plastic flow, seepage of gel water, delayed elasticity and microcracking. But none of them is capable of explaining phenomena. It is possible that the actual creep involves two or more mechanisms. The only statement that can made is that the presence of some evaporable water is essential to creep. However, the changes in the creep behaviour of concrete at high temperatures suggest that at that stage the water ceases to play a role and the gel itself becomes subjected to creep deformation. It would appear that creep is a function of the relative amount of the unfilled space, and it can be speculated that it is the voids in the gel that govern both strength and creep. The volume of voids, of course, a function of the water-cement ratio and by the degree of hydration. But we can say that the capillary voids do not remain full even against full hydrostatic pressure of the ambient medium. Thus internal seepage is possible under any storage conditions. The fact that creep of non-shrinking specimens is independent of the ambient humidity would indicate that the basic cause of creep “in air” and “in water” is the same. It is probable that the slow, long-term part of creep is due to causes other than seepage but the deformation can develop only in the presence of some evaporable water. This would suggest viscous flow or sliding between gel particles. Such mechanisms are compatible with the influence of temperature on creep and can explain also the big amount of irreversible character of long-term creep.

There are lots of factors influencing creep. Some of these properties are minor, many are indirect and can be accounted for by other properties of concrete, but it is important to determine all factors for understanding the creep event. They are as follows.

- Generally the type of cement is not very important for creep. However creep is related to the stress-strength ratio for the concrete and as we know strength is related to cement type.

- It is accepted that aggregates are materials which completed their deformation. Aggregates act as a restraint to reduce the potential deformations of the paste. The aggregate content and modulus of elasticity are the most important parameters affecting creep of concrete. Aggregate size, grading and surface texture have little influence.

- The effective factor on creep is not the stress itself but the value of stress-strength ratio act as a dominant role in creep event. It is relevant to note that, creep is found to increase approximately linearly with the applied stress up to stress-strength ratios of about 0,3 to 0,8.

- There is no doubt that creep increases an the water-cement ratio. While investigating the effect of water-cement ratio on creep, one parameter cannot be studied independent from other parameters because the change in water-cement ratio would cause a change in strength of concrete.

- The rate of creep decreases when concrete age increases.

- Creep decreases with an increase in the size of the specimen. The influence of shape of the concrete member is very small on creep.

- Humidity is one of the environmental influences on creep. In particular, it was observed that drying concrete creeps at higher ultimate creep than concrete which remains wet or dry.

- Temperature is the second major environmental factor on creep. It has been observed that increasing temperature increases the creep significantly.

- Concrete kept continuously wet creeps less than that cured in air.

Finally we can say that a lot of factor influence an creep but there is also a relation between these factors. Under uniform compression creep occurs not only in the axial direction but also in the normal directions. As in elastic strain, the ratio of lateral deformation to the former deformation can be termed as creep Poisson's ratio. From the experimental data, it can be 0, a value about 0,05 or the values at elastic deformation situation.

The factors influence on creep are valid for shrinkage too. Although the deformation-time curves and magnitude of deformations of creep and shrinkage look like each other, there are strong indications that their mechanisms are different.

Various mathematical methods have been suggested to represent the time dependence behaviour of materials. It was observed the following empirical power function of time describes creep of many different materials with good accuracy over a wide span of time:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon(\infty)(1 - e^{-\alpha t}) \qquad (1)$$

where ε is the strain, t is the time, α is a constant , ε_o is the time independent strain and $\varepsilon(\infty)$ is the time-dependent finally strain. If we take the logarithm of equation (1) :

$$1 - \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0} = e^{-\alpha t} \quad , \quad B = \varepsilon_\infty - \varepsilon_0$$

$$\ln\left(1 - \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}\right) = -\alpha t$$

Then if $\ln(1 - \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0})$ versus t plotted, it gives a straight line of slope α .

In this study, it is aimed to explain the effects of water-cement ratio and loading age on creep. In the first chapter, the general view about phenomena is given. In the second chapter the structure of concrete, the effect of creep on concrete, mechanism of creep, the factors influencing creep, creep Poisson's ratio, the relation between creep and shrinkage, the non-linear viscoelastic behaviour of concrete under uniaxial stress, time-dependent functions at non-linear creep situation are explained. In the third chapter experimental work and the materials that are used in the concrete mixture are given. In the fourth chapter experimental results and their conclusions are given.

In creep experiment prismatic concrete specimens of 10 x 10 x 50 cm were used. Three water-cement ratio are used to determine the effects of water-cement ratio:%35, %55, %75 and three loading ages are used for this experiment:14, 28, 42. Three of specimens are not loaded for determine the shrinkage of three different water-cement ratio. Totally we used 12 specimens: 3 for shrinkage, 3 for 14^{th} loading age, 3 specimen for 28^{th} loading age and 3 specimen for 42^{th} loading age. We used a constant stress level : $\sigma/R=0,30$. Longitudinal creep strains are measured from the specimens by using demec strain meter. Strain-time functions were obtained from experimental results and non-linear creep functions were also calculated.

The results obtained in the experimental work can be outlined as follows :

- For the same σ/R, when the loading ages increase, the creep functions which are independent of stress, decrease.

- For the same σ/R, when the water/cement ratio increases, the creep functions which are independent of stress, increase.

- In this study, we see that concrete shows linear viscoelastic type of behavior at the range of $\sigma/R=0.3$

- The α coefficient in the general form of the creep function $f(t,\tau_1) = A + B(1 - e^{-\alpha t})$ does not change with the increasing or decreasing of the loading age and water/cement ratio.

- The coefficients A and B at the creep function, decreases with the increasing of loading age and increases with the increasing of water/cement ratio.

- The coefficients C and D at the relaxation function, decreases with the increasing of loading age but decreases with the increasing of water/cement ratio.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1.GENEL

Beton çok fazlı bir kompozit malzemedir. Çimento hamuru içine gömülmüş agrega parçaları içeren malzeme de diyebiliriz. Agregalar gelişmesini tamamlamış ve ancak yüksek gerilme altında betona nazaran çok az şekil değiştirme yapan katı cisimlerdir. Betonda, sünme çimento hamuru fazında olur ve agregaların sünme yapmadıkları kabul edilir.

Metaller ancak yüksek sıcaklıkda sünme yaparken betonların sünmesi oda sıcaklığında meydana gelir. Metaller ile beton arasındaki bu önemli fark bu iki cismin iç yapılarında hemen hemen hiçbir benzerliğin bulunmamamsından ileri gelmektedir. özellikle beton içinde devamlı olarak gelişme halinde ve viskoz bir karaktere sahip bağlayıcı madde hamurunun yer alması böyle bir durumu meydana getirmektedir.

Beton birbirinden çok farklı karakteristiklere sahip fazlardan meydana gelmektedir. Bu fazları iki ana grupta toplayabiliriz. Bu fazlardan biri kum ve çakıl (veya agrega) taneleridir. İkinci faz agrega tanelerini birbirine bağlayan bağlayıcı madde veya çimento hamurudur. Agrega tanelerini gelişmesini tamamlamış katı cisim olarak tanımlamak mümkündür. Bunlar yük altında ani ve sonlu deformasyon yaptıklarından sünme olayı bu fazda oluşmaz. İkinci faz olan çimento hamuru fazı gerçekte değişik elemanlardan oluşmaktadır. Çimento su ile karşılaştığında andan itibaren belirli bir süre geçtikten sonra bu fazda : - hidratasyon yapmış çimento,

bunun büyük bir kısmını jeller meydana getirir. - hidratasyon yapmamış çimento taneleri veya anhidr elemanlar. – su: çimento hamurunda su serbest su, kılcallık suyu ve jel suyu olmak üzere üç şekilde bulunur.

Mikroskopik seviyede, çimento hamuru hidratasyon yağmış çimento yapmış çimento taneleri matrisi içine gömülmüş, hidratasyon yapmamış çimento taneleri içerir. Çimento su ile karşılaştığı andan itibaren belirli bir süre geçtikten sonra bir faz oluşur. Zaman ilerledikçe bir taraftan anhidr elemanların ve suyun miktarlarının azalmasıyla, diğer taraftan hidratasyon yapan çimento miktarının artmasıyla bu fazın bileşimi zamanla değişmektedir. Çimentonun hidratasyonu sonunda şerit jeller meydana gelir. Bu jeller 10 000 A^0 uzunlukta, 20 – 30 A^0 kalınlıkta ve 100 A^0 genişliğindedirler. 1 cm3 çimento hamurunda 7 x 10^{16} jel elemanı olduğu tahmin edilmiştir, fakat boyutlarından ötürü bir tek jel elemanının şekli gözlenememiştir. Jeller çok boşluklu bir kütle meydana getirmektedir. Çimento hamurunda boşlukların toplamı görünen dış hacmin %28'i civarındadır. Bu boşlukların çapı 15 A^0 civarındadır. Bunun anlamı, bir katı yüzey üzerine 4 su molekülünden fazlasının absorbe edilemeyeceğidir. Hidratasyon sonunda meydana gelen jellerin bir kısmı birbirleriyle kaynak şeklinde birleşmişlerdir. Bu tür birleşme çimento hamurunun bir kuvvet altında elastik deformasyon yapmasına olanak sağlar. Jellerin diğer bir kısmı ise bir "Coagulation" bağlantısıyla veya su tabakaları arasındaki molekül bağlantılarıyla birbirleriyle birleşmiş durumdadır. Bu çeşit bağlantılar ikinci fazın zamana bağlı olarak deformasyon yapmasına sebep olur. Şu halde hidratasyon yapmış çimento elemanları bağlayıcı madde fazının ve bunun bir sonucu olarak betonun sünme yapmasında en önemli rolü oynamaktadır.

Bu aşamada betonun ne çeşit bir malzeme olduğunu sorabiliriz. Elastik mi veya viskoz mu veya plastik midir? Gevrek mi veya sünek mi? Çok az malzeme beton gibi çeşitli kategoriler içine girer. Bazı durumlarda beton elemanlarda çatlaklar görülebilir hatta bazen ezilme bile gözlenebilir ancak beton gerçekte, kırılmadan önce küçük bir uzama yapan gevrek bir malzeme değildir. Yani, kırılmadan önce büyük uzamalar yapabilir. Bunun sonucunda betonarme kolonlar düktil bir şekilde kırılabilir ve betonarme kirişler büyük miktarda dönme yapabilir. Betonda meydana gelen deformasyonlar çeşitli şekilde sınıflandırılabilir. Zaman içinde meydana gelen deformasyon türüne sünme adı verilir. Sabit bir yükün devamlı etkisi altında bulunan

bir cismin herhangi bir anda yapmış olduğu toplam deformasyon, ani deformasyon, ani deformasyon ile sünmenin toplamına eşittir. Beton sünme yapabilir bir yapı malzemesi olarak anılır.

Sünmenin betonun davranışına ve mukavemetine etkisi ne kadar ifade edilmiş olsa da, şimdi bile çoğu durumlarda genel bir analiz mümkün değildir. Bunun başlıca sebepleri sünmenin elastik deformasyonla birleşimi ve sabit gerilme şartları altındaki sünme verilerinden değişken gerilme altındaki sünmeyi tahmin etmedeki zorluklar. Sünmenin etkilerinin uygulanan gerilmeye bağlı olduğunu belirtmek önemlidir. Bu ya bir yüktür ya zorlamadır veya sınırlama deformasyonudur. Sünme yük gerilmelerinin sadece dağılımına etki eder fakat deformasyon gerilmelerinin büyüklüğü bile sünme tarafından belirlenir. Hiperstatik yapılarda iki çeşit gerilme de oluştuğu için bu tip yapılar statikçe kararlı yapılara göre daha duyarlıdır.

Betonda ortaya çıkan bir olayda rötredir. Sebebi kılcal suyun buharlaşarak çimento hamurunu terk etmesidir. Rötre sünmeyle birlikte veya sünmeye karşı rol oynayabilir. Örneğin öngerilmeli betonlarda iki etkide aynı yöndedir fakat betonarme yapılarda ve normal dolu ebatlı betonlarda rötre sünmeye karşı etki yapar.

Sünme deformasyonun uygulanan gerilme ile artmakta olduğunu biliyoruz. Sünme gerilmenin belirli bir değerine kadar uygulanan gerilme ile orantılı bir artış gösterirken bu belirli değerin geçilmesi halinde, orantılığın geçerli olması halinde bulunacak değerden çok daha büyük değerler almaktadır. O halde beton, büyük bir gerilme altında sünme etkisine bırakılacak olursa, meydana gelen deformasyonun çok büyük değerlere ulaşması sonunda mukavemetini kaybetme olasılığı ile karşı karşıyadır. İşte burada betonun sünme mukavemeti denilen bir karakteristik devreye girer. Uygulanan gerilme bu mukavemete eşit veya büyük olursa sünme olayı kısa veya uzun bir süre sonunda kırılma ile son bulmaktadır.

1.2.AMAÇ VE KAPSAM

Yapılan bu çalışmada amaç su/çimento oranın ve yükleme yaşının değişmesiyle betonun sünmesinin nasıl değiştiğini incelemektir.

Birinci bölümde betonun iç yapısı, bu iç yapının sünme üzerine etkisi, sünmenin betona etkisi kısaca anlatılmıştır.

İkinci bölümde, sünme oluşum teorileri, sünmeye etki eden faktörler, sünme Poisson oranı, sünme-rötre ilişkisi, betonun tek eksenli gerilme altında viskoelastik davranışı, sünme halinde zaman fonksiyonları ve kullanılmaları açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ve özellikleri, yapılan deneyler hakkında bilgi verilmektedir.

Dördüncü bölümde betonun lineer sünme davranışı kabulüne göre şekil değiştirme-zaman fonksiyonları elde edilmiştir. Değişik su/çimento ve yükleme yaşlarında yüklemeler yapılmış ve her numuneye ait şekil değiştirme-zaman grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler ışığında sünme fonksiyonları bulunmuş ve birbirleriyle karşılaştırılarak yükleme yaşının ve su/çimento oranının betonun sünmesi üzerine etkisi incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde de bu çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

BÖLÜM 2

SÜNME

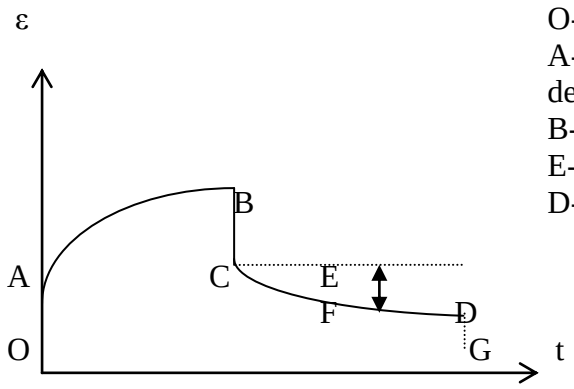
2.1.SÜNME OLAYININ GENEL TANIMI

Sünme, sabit gerilme etkisindeki bir malzemenin sürekli deformasyonu olarak tanımlanabilir. Bir cisme bir kuvvet uygulanıp bunun uygulanmasına devam edilmesi halinde, esas itibariyle iki türlü deformasyon meydana gelmektedir. Bunlardan biri kuvvetin uygulanması anında meydana gelen deformasyon diğeri ise bu deformasyonun devamında zamanla birlikte artmakta olan geciken deformasyondur. Bu deformasyon yukarıda bahsi geçen sünmedir. Şu hlde sabit bir yükün devamlı olarak etkisi altında bulunan bir cismin herhangi bir anda yapmış olduğu toplam deformasyon meydana gelen ilk deformasyon ile sünmenin toplamına eşittir.

Cisimlerin sünme ile ilgili özelliklerinin bilinmesinde birçok bakımdan gerekmektedir. Sünme sonunda meydana gelen deformasyon bazı nedenlerle veya bağ kuvvetleriyle meydana gelmemesi cisim için bazı gerilmelerin doğmasına sebep olur veya gerilme yayılış değişmesine yol açar. Bu gibi hallerde betonarme ve öngerilmeli beton yapılarda karşılaşıldığından dolayı sünme olayının etkileri bu yapı sistemlerinde kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır.

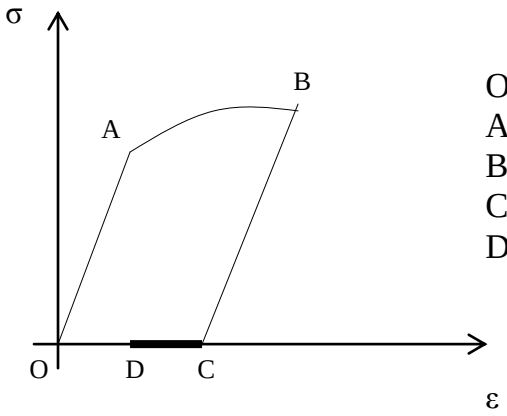
Cisim malzemenin mukavemetinden küçük olmak üzere oldukça büyük bir bir gerilme etkisi altında devamlı bir şekilde bulunursa, sünmenin büyük değerler almasının bir sonucu olarak mukavemetini kaybedebilir. Buradan cisimlerde, sünme mukavemeti olarak adlandırılacak yeni bir karakteristiğin varlığı ortaya çıkmaktadır. Cisme devamlı olarak etkiyen gerilme bu karakteristikten büyük olması halinde cismin sünme etkisiyle mukavemetini kaybetmesi beklenmelidir.

Sabit bir yük altında uzun süre şekil değiştirmeye uğrayan cisimde gerilme kaldırıldıktan sonra (B noktası) şekil 2.1 de gösterilen tipik sünme eğrisi ve şekil 2.2 de gösterilen gerilme şekil değiştirme eğrisi oluşur.



O-A:Elastik ani deformasyon
A-B:Viskoz(sünme) deformasyon
B-C: Ani elastik toparlanma
E-F: Gecikmiş toparlanma
D-G: Kalıcı deformasyon

Şekil 2.1 Yük boşaltıldığında oluşan tipik sünme eğrisi



O-A : Ani deformasyon
A-B : Viskoz(sünme) deformasyon
B-C : Ani elastik toparlanma
C-D : Gecikmiş toparlanma
D-O : Kalıcı deformasyon

Şekil 2.2 Yük boşaltıldığında oluşan gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Cismin sabit gerilme altında veya gerilme sıfıra indirilmiş iken cismin zamanla değişen deformasyon yaptığı anlaşılmaktadır. Yalnız zamana bağlı olarak değişen bu deformasyon türüne viskoz deformasyon denir. Yükün uygulanmasıyla meydana gelen deformasyonun yük kaldırıldıktan sonra belirli bir süre içinde kaybolması halinde bir visko-elastik deformasyonla karşılaşılır. Bir yükün devamlı uygulanması sonunda cismin yaptığı deformasyonun bir kısmı plastik ise o zaman visko-plastik deformasyon söz konusudur.[1]

2.1.1 Betonda görülen deformasyon türleri

Tablo 2.1 Deformasyonların sınıflandırılması

Deformasyon	**Ani**	**Zamana bağlı**
Kalıcı	Plastik	Viskoz
Elastik	Ani elastik	Geciken elastik

Betonda görülen deformasyon türlerini şekil 2.1 de görmek mümkündür. Eğrideki O-A kısmı ani elastik deformasyondur. A-B kısmı geciken elastik deformasyonu yani viskoz elastik deformasyonu göstermektedir. D-G kısmı ise kalıcı deformasyonu gösterir. Viskoz deformasyon cisimlerde gerilmenin plastik limit denilen belirli bir değeri aşması halinde meydana gelir. Böyle bir limitin bulunmaması cismin akışkan olduğunu gösterir. Betonun önemli özelliklerinden biri pratik bakımdan plastik limitin sıfır olmasıdır. Bu durum sünme olayında betonun bir akışkan gibi düşünülebileceğini ve bu cisimde bir viskozite katsayısının söz konusu olabileceğini göstermektedir. Viskoz deformasyonda, deformasyon hızı zamana bağlı değildir. Betonda sünme olayında deformasyon hızı genellikle zamanla azaldığından bu şart yerine gelmemektedir. Yalnız gerilme uygulanmasından belirli bir süre geçtikten sonra deformasyon hızlarında azalma zamanla önemini kaybetmekte, başka bir deyişle cisim gittikçe viskoz deformasyon karakterine uygun bir şekilde deformasyon yapmaktadır. Bu durumdan dolayı genel olarak betonlarda sünme halinde viskoz deformasyon yaptıkları kabul edilir.[1,2]

2.1.2 Sünmenin Mekanizması

Sünmenin mekanizması hakkında birçok teori öne sürülmüştür fakat hiçbir teori gerçek sünme olayındaki faktörleri tam olarak açıklayamaz. Bu teoriler sırasıyla mekanik deformasyon, viskoz akma, plastik akma, su sızıntısı(seepage), katı çözüm

teorisi, mikroçatlama olarak sıralanabilir. Aşağıda bu teoriler hakkında bilgi verilecektir.

Mekanik Deformasyon:

Bu teoride betonun yük altındaki davranışı yükten dolayı çimento bağlayıcısının, kapiler yapısının şeklindeki değişmesinin bir sonucu olarak oluşan dış gerilmelere atfedilir. Bir basınç gerilmesi altında su kılcallarının deforme olduğunu ve suyun kılcallık çapının daha büyük olduğu bir noktaya yer değiştirdiği ifade edilir. Böylece kapiler suyun geldiği yerde çekme gerilmesi düşmüş olur. Böylece bu olaya neden olan basınç gerilmesi azalır. Bununla birlikte, kılcallardaki suyun buhar basıncı belirli bir değere azalıncaya kadar buharlaşması sonucu higrometrik denge bozulur. Kılcal suda çekme gerilmesi yükselir ve dengeyi korumak için katı fazdaki basınç da artar. Sonuçta oluşan deformasyon sünmeyi oluşturur. Yükün boşaltılmasıyla kılcal yapının içindeki su ve hava fazları arasındaki basınç farklarının sonuç değişimleri kılcalların orijinal şekline dönüşmelerini sağlayacak kuvvet oluşturur. Böylece sünme tamamıyla geri dönebilir bir olay olarak kabul edilmiştir. Bu olay tabii ki su içindeki sünmeyi açıklamaz ve günümüzde de kabul edilmemektedir.[3]

Plastik Teoriler:

Bu teoride betonun sünmesinin, kristal kafesin içindeki düzlemler boyunca kaymanın bir sonucu olarak kristal akışı şeklinde olabileceği önerilmektedir.

Plastisitenin bazı şekilleri kırılmaya yakın gerilmelerde betonun deformasyonel davranışına girebilir fakat normal yükler altındaki betonun sünme davranışında bir anlam ifade etmez.

Viskoz ve Visko-Elastik Akış Teorileri

Viskoz akış teorisi en önemli sünme teorilerinden biridir ve teoriyi destekleyen önemli sebepler vardır. Teorinin temel fikri, hidrate çimento bağlayıcısı yapı içindeki kimyasal değişmelerin sonucu olarak viskozitesi zamanla artan yüksek derecede

akışkan bir sıvıdır. Beton yüklendiğinde çimento akışı agreganın varlığından dolayı dirençle karşılaşır ve bu direnmenin bir sonucu olarak agregada, çimento bağlayıcısı üzerinde gerilme zamanla azalırken daha fazla gerilme meydana gelir. Çimento bağlayıcısının sünmesi uygulanan yükle orantılı olduğundan, yük viskoz malzemeden agregaya transfer edildiği için sünme oranı azalır. İşaret edilmiştir ki sünme oranı agrega özelliklerine değil çimento bağlayıcısının durumuna bağlıdır. Viskoz akım teorisine göre cisimde sabit bir hacim olmalı, sünme poisson oranı 0,5'e yakın olmalı gerilme-uzama ve gerilme oranları – uzama oranları arasında her gerilmede bir orantı bulunmalıdır.[3]

Katı Çözüm Teorisi:

Bu teoride sünme, rötrenin katı çözüm teorisi ile benzer bir yolla açıklanmaya çalışılmıştır. Bir jel içindeki buhar basıncı uygulanan gerilmeden etkilenir ve bunun sonucu olarak jeldeki su miktarı ve jelin hacmi azalır. Tamamen suya doymuş beton suya daldırıldığında bile jel suyu gerilme altındadır. Bu kararlı hal beton su içinde durduğu müddetçe devam eder fakat ilk kurumada geriye dönüşümlü bir değişme başlar. Benzer bir geri dönüşüm değişimi gerilmenin uygulanmasıyla yaşanır. Böylece sünme ve rötre ortak bir sebebe dayanmış olur. Bu teori kuru betonların düşük derecede sünmesi için hesaba katılabilir fakat ortalama nem içeren betonların yüksek sünmelerinde uygun değildir.[3]

Su Sızıntısı (seepage) Teorisi:

Sünme teorileri içinde en geçerli olanı ve olayları en iyi şekilde açıklayan teoridir. Rutubet bakımından dengede bulunan betona bir basınç kuvveti uygulanınca çimento hamuruna isabet eden kuvvet jel elemanları ile absorbe su veya jel suyu tarafından karşılanılacaktır. Bu basınç kuvveti altında betonun ani bir deformasyon yaptığı ve bunun sonucunda hacminde bir azalma olduğu bilinmektedir. Bu hacim azalmasının jel boşluklarının hacimlerinin azalmasına yol açması gayet doğaldır. Boşluklardaki su buharı miktarı aynı kalırken hacim azalması rutubet miktarının artması demektir.

Böylelikle bozulan rutubet dengesinin tekrar kurulabilmesi için boşluklardaki su özellikle absorbe su sızıntı yolu ile rutubeti daha düşük bölgelere yönelecektir. Eğer absorbe su atmosferle temas halinde ise buharlaşma yolu ile betondan ayrılacaktır fakat genelde böyle bir durumla karşılaşılmaz. Absorbe su daha ziyade kılcal su ile irtibat halindedir. Rutubet dengesinin bozulması sonunda hareketli su bu kılcal suya karışır. Burada suyun difüzyon yolu ile de hareketi bahis konusu olabilir. Fakat çimento hamurundaki boşlukların çok düşük olması buralarda su buharının bulunması ve bunun absorbe edilmesi bu tür hareketin gerçekleşmesine önemli ölçüde engel olur.

Böylelikle absorbe su bulunduğu yerden ayrıldığında iki önemli sorun oluşur. Birincisi taşıyıcı su kalınlığının azalması ve faza isabet eden gerilmenin çimento jeline aktarılması başka bir deyişle çimento jelini etkileyen gerilmenin artması, ikincisi ise ayrışma basıncının azalması bu suretle iç yapıdaki çekme gerilmesinin daha küçük değerler almasıdır.

Özetlenecek olursa su sızıntısı teorisine göre sünme, jel ortamı arasında kuvvet uygulanması sonunda kaybolan rutubet dengesinin bir gecikmeyle tekrar kurulmasından ileri gelmektedir. su sızıntısı teorisi bazı faktörlerin sünmeyi neden etkilediklerini gayet iyi açıklar. Örneğin betonun kuru havada tutulmasında sünmenin büyük değerler aldığını biliyoruz. Böyle bir durumda kuvvet altında bulunan çimento hamuru boşluklarındaki rutubet derecesiyle ortamın rutubet derecesi arasındaki fark büyük bir değere yükselir. Bu rutubet farkının büyümesi sonunda fazla miktarda absorbe suyun çimento jelinden ayrılması sünmenin artmasına yol açar. Fakat teori yük uygulanmadan evvel kuru havada gerilme uygulandıktan sonra su içinde tutulan betonların sünmesinin nasıl arttığını açıklayamamaktadır.[3]

Mikroçatlakların Sünmeye Katkısı:

Meyers, toplam sünme deformasyonun %10 ile %25 inin mikroçatlaklar nedeniyle meydana geldiğini belirtmiştir. Bununla birlikte, kırılamaya yakın yüklerde mikroçatlakların rolü daha büyük olur. Önemli bir noktada, mikroçatlakların

uygulanmış yükle ilgili sünme deformasyonunun sadece bir kısmından sorumlu olduğudur. Buda geriye dönüşümlü kısmıdır.[3]

Sünme Mekanizmasında Genel Görüş:

Genelde sünme mekanizması olarak su sızıntısı kabul edilmektedir. Üzerinde birleşilen genel mekanizma şu şekildedir.

Sünmenin meydana gelebilmesi için buharlaşabilen suyun bulunması şarttır. Yani sünme olayına sebep beton içinde suyun bulunmasıdır. Çimento jelinin tespit ettiği absorbe su en son değerini aldıktan sonra betonun sünmesine devam ettiği görülmüştür. Sünmenin 20-30 sene gibi çok uzun süre devam etmesinde su sızıntısından farklı mekanizmalar bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi zeolitik suyun ortamın rutubetine ve uygulanan gerilmeye bağlı olarak hareket etmesidir. Suyun kristaller arasındaki tabakadan yarılması elemanları birbirine yaklaştırarak deformasyonu arttırır. Tabaka kalınlığının az olması, zeolitik suyun bu hareketini büyük ölçüde güçleştirdiğinden ve suyun uzaklaşması çok düşük bir hızla vaki olduğundan sünme uzun süre devam eder.

Diğer bir mekanizma Van der Walz kuvvetlerinin çok küçük değerler alması sonunda kristal elemanlarının birbiri üzerinde gayet yavaş bir şekilde hareket etmesi ve kaymasıdır. Böylelikle meydana gelen viskoz deformasyon sünmenin kaybolmayan kısmını oluşturur. Son durumlarını aldıktan sonra elemanlar iyolan ve kovalan bağlarla birbirleriyle birleşirler.

Bu teorilerden su sızıntısı teorisinin diğerlerine göre daha doyurucu olduğu düşünülmektedir. Bu açıdan bakıldığında betonun sünmesini etkileyen iç parametrelerin yanında ortamın da önemi ortaya çıkar. Hauggant ve Ark.[4] ortam sıcaklığı ve su içeriğinin erken ve daha ileri yaşlarda betonun sünmesine etkisini bir matematik modelle açıklamaya çalışmışlardır. Kovler K. [5,6,7] betonun basınç ve çekme etkisinde sünmesini, sünme etkisindeki rötre ile rötre etkisindeki sünmenin toplamının fiziksel mekanizmasını açıklamak istemiştir. Grange L.P. ve Bazant Z.P. [8], betonu elastik özellik taşıyan agrega ile sünme yapan sertleşmiş çimento hamurunun paralel modelin seri şeklinde bir kombinasyonu şeklinde varsayarak

sünmesini hesaplamışlardır. Le Roy ve Ark [9] aynı paralelde bir çalışma yapmıştır. Bazant Z.P. , XI, Y.P. [10], yeni deneysel yöntemle mikro kırılma ve gerilme altında rötreden oluşan sünmede bu iki bileşeni birbirinden ayırmışlardır ve bunun geçerliliğini göstermişlerdir. Uzunhasanoğlu ,Ark [11],Akyüz S.ve Taşdemir M.A.[12] betonun zamanla mekanik özelliklerinin değişmesini gözönüne alarak zamanla değişen yüklerin altındaki betonun davranışını belirleyen bir formulasyona gitmişlerdir. Arshad A. ve Ark [13], kapalı ve kuru ortamda tutulan normal (30 Mpa), orta (70 Mpa) ve yüksek (100 Mpa) dayanımlı betonların erken rötre, termik ve sünme deformasyonlarını ölçerek karşılaştırma yapmışlardır.

2.1.3 Sünmeye Etki Eden Faktörler

Çimento ve Katkıların Sünmeye Etkisi:

Çimentonun kimyasal birleşimiyle sünme arasında açık bir bağlantı konulmadığı halde, bu konu çimento türleri üzerinde yapılan deneylerde karşılaştırma yoluyla incelenmiştir. Portland çimentosu bileşenleri C_3A ve C_4AF ($A=Al_2O_3$; $F=Fe_2O_3$) deki artış veya C_3S deki düşüş sünmeyi arttırır. Bir sıralama yapmak gerekirse en az sünme alüminli çimentoda, daha sonra portland tipi çimentolarda görülür. Letiye ve puzolanlı portland çimentoları daha fazla sünme yapma eğilimindedirler. Uçucu küllü çimentolarda çimentonun yerini alan uçucu kül miktarı %25'i geçmedikçe bu tip çimentoların sünmesinde bir artış meydana gelmemektedir. Kül miktarının %25'i geçmesi halinde sünmede artma başlar. Çimento dozajının sünme üzerindeki etkisi ise şöyledir: Sünmeye sebep olan çimento olduğuna göre bağlayıcı madde dozajının artmasıyla sünmenin büyük değerler alması beklenmelidir. Hakikaten çimento hamurunun betondan daha fazla sünme yapması bu sonucu açıkça desteklemektedir fakat yapılan bir kısım deneylerde sünmenin çimento dozajı arttıkça azaldığı görülmüştür. Bu konuda sonuçların tutarsız olması deneylerin aynı koşullar altında yapılmamasından, beton üretiminde kullanılan su miktarının aynı bir ilkeye göre saptanmamış olmasından, betonların değişik özelliklere sahip olmasından, deneyin (σ/R) oranının aynı değeri için yapılmamasından ileri gelebilir.

Katkı maddeleri bilindiği gibi suyun yüzey gerilimini ve çimento jelinin fiziksel yapısını, içindeki boşlukların boyutunun dağılımını değiştirir. Bu değişiklik beton içinde suyun daha kolay ve yavaş hareket etmesini sağlar. Suyun daha kolay hareket etmesi halinde sünme artar, aksi halde azalma gösterir. Sonuç olarak beton üretiminde katkı maddesi kullanılması halinde bunların bazılarının sünmeyi arttırma eğiliminde olduklarına dikkat edilmelidir.[1]

Agreganın Sünmeye Etkisi:

Bir önceki maddede çimento türünün sünmeye etkisinden bahsedilmişti. Fakat betonda çimento hamuru ikinci bir fazla sünme yapmayan agrega ile birarada bulunur. Bununla birlikte bu durum agreganın sünme üzerinde etkili olmadığı anlamına gelmez.

Agreganın sünmeye etkisinde en önemli faktörler porozitesi ve E elastisite modülüdür. Agregalar çimentonun sünmesini frenlemek suretiyle betonun sünmesini etkiler. Frenleme etkisinin büyük olması halinde beton az sünme yapmakta aksi halde ise sünmesi artmaktadır. Agreganın E elastisite modülünün büyük olması halinde agreganın deformasyona daha fazla karşı koyabilmesi nedeniyle frenleme etkisi büyük olacak ve böyle bir agregayı kullanarak üretilen beton az sünme yapacaktır. Agreganın E elastisite modülü minerolojik yapısıyla yakından ilgilidir. Porozitenin etkisi ise, porozitenin artmasıyla agreganın elastisite modülünün azalmasına yol açtığı için gerçekleşmektedir. Porozitesi büyük olan agregaların kullanıldığı betonlar fazla sünme yapma eğilimindedirler. Agrega şekli, tane boyutu, yüzey yapısının sünmeye etkileri oldukça azdır.[1,3]

Gerilme-Mukavemet Oranının Sünmeye Etkisi:

Sünmeyi etkileyen gerilmenin mutlak değeri değil, σ/R oranının değeridir. Yapılan deneysel çalışmalardan ortaya, sünme ve uygulanan gerilme arasında, 1 ile 3 gün arasında yüklenen numuneler hariç lineer bir ilişki tespit edilmiştir. Süpheye düşülen kısım ise bu ilişkinin üst limitidir. Gerilme-mukavemet oranının 0,30 ile 0,75 arasında bir üst limit olabileceği gözlenmiştir. Genelde beton mukavemetinin

%50'sine karşı gelen gerilmelere kadar sünme deformasyonunun uygulanan gerilmeyle lineer ilişkide olduğu varsayılır. Sonuçta betonların sünmesi, pratik bakımdan σ/R oranıyla orantılı olarak değişir. R gerilmenin uygulandığı zaman betonun sahip olduğu mukavemettir. Çimento tipinin ve bakım koşullarının etkileri σ/R faktörünün etkisi yanında önemsiz kalmaktadır.

Değişik gerilme düzeylerinde yüklenmiş beton numunelerin karşılaştırılmasında özgül sünme kavramından yararlanılabilir. Bu özgül sünme kavramı sünmenin sadece R ye bağlı değildir ayrıca sünme bu oranın yükselme hızıyla da ilgilidir.

Özgül sünme (φ) = $\varepsilon(t) / \sigma$

Beton mukavemetinin %50'sine karşı gelen gerilmeler lineer sayılabileceği için $\sigma/R<0,50$ olduğunda iki durumla karşılaşılabilir. Eğer gerilme sünme mukavemetinden küçük olursa bu durumda beton fazla miktarda sünme yapmasına rağmen mukavemetini kaybetmez. İkincisi betonun sünme mukavemet değerini aşan büyük gerilmelere maruz kalmasıdır. Bu tür gerilmeler, betonun basınç mukavemetinin küçük olmasına rağmen, belirli bir süre uygulandıktan sonra betonun kırılmasına sebep olur.[14]

Su / Çimento Oranının Sünmeye Etkisi:

Yapılan deneylerde değişik su/çimento oranına sahip fakat aynı günde yüklenen ve aynı gerilme/mukavemet oranına sahip numunelerde, su/çimento oranı en düşük olduğu zaman sünmenin en düşük olduğu gözlenmiştir. Fakat sünmeye su/çimento oranı etkisini incelerken bir parametre diğerinden bağımsız olarak incelenemez çünkü su/çimento oranındaki bir değişme çimento dozajında ve beton mukavemetinde bir değişme anlamına gelir. Eğer özgül sünme ile ilişkisi incelenirse, özgül sünme su/çimento oranındaki bir artış ile artar. Sünme analizinde su/çimento oranını incelerken numuneler aynı gerilme/mukavemet oranında yüklenmelidirler. Lorman'a göre sünme yaklaşık olarak su/çimento oranının karesiyle orantılıdır.[15,16]

Betonun Yaşının Sünmeye Etkisi:

Betonun en son sünme değeri üzerine yükleme esnasında betonun yaşının bir etkisi vardır. Bu etki betonun yaşının belirli bir değerine kadar devam eder, bu değer geçilince önemini kaybeder. Hidratasyonun sünme üzerindeki etkisi beton üretildikten 28 gün geçtikten sonra önemini kaybetmektedir. %50 rutubetli yerde tutulan betonlarda suyun bu tür hareketlerinde bir azalma geldiğinde sünme de azalmaktadır. su içinde tutulan betonlarda etkili ve etkisizlik bölgelerini ayıran beton yaşı 28 olarak tespit edilmiştir.

Gerilme uygulandığı esnada betonunun sünme üzerinde ihmal edilmebir etkisi vardır. Zira beton genç iken veya yaşı küçük iken çimento hamuru, hidratasyon olayının yavaş bir şekilde gelişmesinden dolayı büyük rijitliğe sahip olmadığından dolayı deformasyona karşı koyma özelliği gelişmiş durumda değildir. Yani belirli bir σ gerilmesi uygulandığı vakit betonun yaşı ne kadar küçük ise meydana gelen sünme özellikle nihai sünme o kadar büyük değerler alır. Yashin ve Polivkanın yaptığı deneylerde de bu gözlemlenmiştir. Aynı gerilme/mukavemet oranına sahip numunelerde 3 günlük iken yüklenen numuneler $130x10^{-6}$ sünme yaparken, 6 günlük iken yüklenen numuneler $110x10^{-6}$ sünme değerleri almıştır.[3,1]

Numune Şekli, Boyutu ve İzotropisinin Sünmeye Etkisi:

Çeşitli araştırmalar numune boyutunun sünme üzerinde etkisi olduğunu göstermiştir. Numune boyutu arttığında ölçülen sünme düşer fakat numune kalınlığı yaklaşık 90 cm'yi aştığında boyut etkisi ihmal edilebilir. Genellikle sünme üzerindeki boyut etkisi yapılan deneylerde yüklemeyi izleyen ilk dönemde en büyüktür fakat haftalar geçtikten sonra tüm boyutlardaki numunelerde aynı sünme oranı gözlenir.

Kesit boyutlarının artması ile sünme için iki tür engelle karşılaşılır. Birincisi boyutun büyümesiyle kesit ortasına doğru gidildikçe buharlaşmada belirgin bir azalma meydana gelir. İkincisi boyutun artmasıyla suyun dolaşımı esnasında daha çok engelle karşılaşılır. Bu iki tür etkime boyut artmasıyla suyun beton içinde hareketinin azalmasından dolayı sünmenin daha küçük değerler almasına yol açmaktadır. Bu açıklamadan boyut artışının rötre üzerindeki bilinene etkisinin sünme içinde geçerli

olduğu anlaşılmaktadır. Su içinde saklanan betonlarda, rutubet dağılımı homojen olduğu için sünme numune boyutuna bağlı değildir.

Hansen ve Mattock betonun sünme ve rötresinin elemanın V/S oranının fonksiyonları olduğuna işaret etmişlerdir. Burada V elemanın hacmi, S bu hacme ait yüzey alanını göstermektedir. Yapılarda genellikle prizmatik çubuklar kullanıldığı için eleman boyutunun büyük olması halinde V/S oranı F/M oranına dönüşür. Nurada F elemanın kesit alanı, M ise bu alana ait çevrenin toplam uzunluğudur. F/M yerine 2F/M oranı alınırsa bu kesitin ortalama çapını gösterir. Kesit boyutu V/S veya 2F/M oranı ile birlikte artmaktadır. Yukarıdaki sonuçlara göre bir elemanın V/S oranının veya ortalama yarıçapının küçülmesi halinde sünme değerlerinde belirgin bir artış meydana gelecektir. Hansen ve Mattock tarafından yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre V/S oranının 15 cm'den büyük değerleri için boyutun sünme üzerinde etkisi yoktur. V/S oranı 15'den büyük olan elemanlar yüzeyi tıkalı betonların sünmesini yaparlar. Kritik değer olarak 15 cm alındığı takdirde, kare kesitli bir elemanda kesit boyutunun 60 cm'den büyük olması halinde boyut etkisi kaybolmaktadır. Kesit boyutlarından birinin diğerinin yanında büyük olması halinde (döşeme ve perdelerde) V/S oranının d/2 ye eşit olduğu kolayca görülür. (d: döşeme veya perde kalınlığı). O halde bu gibi durumlarda boyutun sünme üzerindeki etkisi kalınlığı 30 cm'den büyük değerler alması halinde ortadan kalkmaktadır.

Beton elemanın sünme etkisi şekil etkisi ise çok küçüktür. Numunenin şekli, içindeki rutubet dağılımına etki eder. Örneğin aynı V/S karakteristiklerine sahip prizma ve silindirde, prizma silindirden daha fazla sünme yapar. Sonuçta numunenin şekil etkisi boyut etkisi yanında önemsiz denebilecek kadar azdır ve çoğu pratik amaçlar için ihmal edilebilir.[1]

Nemin Sünme Üzerine Etkisi:

Bu özellik sünme üzerindeki çevre etlilerinden biridir. Yapılan deneylerde kuruyan betonun ıslak veya kuru kalan betonlardan daha fazla sünme yaptığı gözlenmiştir. Sünmeyi etkileyen en önemli faktör gerilme uygulandığı vakit betonda bulunan bağlı olmayan suyun miktarıdır. Bu suyun fazla miktarda bulunması halinde beton fazla rötre ve sünme yapmaya elverişli bir durumdadır. Gluklich ve Ishai'nin çalışmalarına

göre tamamen kurutulmuş betonlarda pratik bakımdan sünme meydana gelmemektedir. Beton yüklenmeden evvel yüksek rutubetli bir ortam içinde tutulması halinde içinde bulunan su miktarında belirgin bir azalma olmayacaktır. Böyle bir beton yükleme yapıldıktan sonra rutubeti düşük olan bir ortama götürülürse, buharlaşmaya elverişli bir ortamın bulunmasıyla beton içindeki suyun hareketi kolaylaştığından dolayı fazla sünme yapmaya başlar. Buradan yükleme yapılmadan ve yükleme yapıldıktan sonra betonun bulunduğu ortam koşullarının sünme üzerinde gayet önemli etkileri bulunduğu anlaşılmaktadır. Yüklemeden evvel ve sonraki rutubet miktarlarının muhtelif kombinasyonlarını yaparak bunlarla sünmenin ne şekilde değiştiği incelenmiştir. Rötresiz sünme gözönünde tutularak ve betonun devamlı su içinde tutulması halinde sünmeyi 1,00 olarak alarak rutubetin muhtelif durumlarına göre betonun sünmesi Tablo 2.2'de gösterilen değerleri almaktadır.

Tablo 2.2 Yüklemeden evvel ve sonra değişik rutubet ortam koşullarında tutulmuş numunelerin sünmesi

Yüklemeden evvel	**Yüklemeden sonra**	**Sünme(Rötresiz)**
Su içinde	Su içinde	1,00
Kuru havada	Su içinde	1,70-2,20
Rutubetli havada	Rutubetli havada	2,10-2,70
Kuru havada	Kuru havada	3,10-3,40
Su içinde	Kuru havada	4,00-4,50

Tablodaki değerlerde ortamın rutubet derecesi %40-50 iken havanın kuru olduğu %65-75 arasında iken rutubetli olduğu kabul ediliyor. Bu tablodaki değerlerin incelenmesinden şu önemli sonuç çıkmaktadır. Sünme betonun az rötre yapmasını sağlayan ortam şartlarından, rötrenin en büyük değerler almasına sebep olan ortam koşullarına geçildiği vakit maksimum değerini almaktadır.[1]

Yüzeyleri tıkalı betonların sünmesi, yüzeyleri tıkanmamış betonlara göre daha küçük değerler almaktadır. Fakat betonun sünme yapmasında içindeki suyunun dışarıya

çıkmasının herhangi bir rolü yoktur. Yüzleri tıkalı betonların daha az sünme yapmasının nedeni, suyun buharlaşma olanağı önemli derecede azalmış olduğundan ve ayrıca bu durumda beton içindeki havanın sıkışması dolayısıyla su hareketi bir hayli kısıtlandığı içindir. Rüzgarlı ortamda kalan betonların içindeki su hareketinin fazla olması nedeniyle sünmenin büyük değerler alması beklenir. Tamamen kurutulmuş betonun sünme yapmadığı yukarıda açıklanmıştı. Böyle bir beton suya doyurulacak şekilde ıslatılacak olursa tekrar sünme yapmaya başlar. Islatılan betonlarda çimentonun hidratasyon olayının tekrar başlamasıyla ince çatlaklar oluşur. Bu çatlakların meydana gelmesi betonun mukavemetini düşürdüğü için sünme yolu ile kırılmayı da büyük ölçüde kolaylaştırır. Yangın etkisine maruz kalmış betonların ıslatılmasında belirtilen bu hususlar gözönünde bulundurulmalıdır.[3]

Sıcaklığın Sünmeye Etkisi:

Sıcaklık sünme olayında ikinci önemli çevresel etkidir. Sıcaklığın sünme üzerinde etkisi şu şekilde açıklanabilir. Sıcaklığın artmasıyla suyun daha akıcı olmasından dolayı beton içinde hareketi kolaylaşır. Bu durumun sünmeyi arttırdığını biliyoruz. Sıcaklığın belirli bir değeri aşması halinde meydana gelen su buharı basıncı beton içinde bir takım çekme gerilmeleri meydana getirir. Bu tür gerilmelerin doğmasıyla betona uygulanan basınç gerilmesi azaldığından sünmede bir azalma başgösterir. Sıcaklığın belirli derecede artması halinde sünmede meydana gelen artış çeşitli araştırmalarda birbirinden bir hayli farklı değer almaktadır. bu çatışan verilerin nedeni ve maksimum oranın varlığı açık değildir. Bunun zaman ve sıcaklık gibi değişik önyüklemelerin bir sonucu olabileceği önerilmiştir.[1,3,16]

Kür Koşullarının Sünmeye Etkisi:

Yapılan araştırmalarda hızlandırılmış kür yapıldığında yani betonda kür süresi azaltıldığında sünmenin azaldığı görülmüştür. Hansen'in aynı mukavemete sahip betonlarda yaptığı deneylerde bu çok açık olarak saptanmıştır. Sünme değerleri 1 ile 3 yıl arasında yük altında bulunan numunelerde kısa süreli deneylerden daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Daha kısa kür sürelerinde çimento hamurunun porozitesi daha yüksek hidratasyon derecesi daha azdır. Kürdeki bir sıcaklık artışı sünmede önemli azalmalara neden olur. Gözlenen azalmalar öncelikle sünmenin

kalıcı bileşenlerinde oluşur ve büyüklükçe benzer koşullar altındaki kuruma rötresi için gözlenen değerlere benzer. Bu gözlemler yükseltilmiş sıcaklıkların C-S-H'nin yaşlanma sürecini arttırdığı varsayımı ile açıklanabilir.[3]

Sünmeye Etki Eden Faktörlerin Genel Değerlendirmesi:

Sünme olayları zaman ve uygulanan gerilme ile yakından alakalıdır. Uygulanan gerilme ne kadar büyükse bunun meydana getireceği sünmenin de o kadar fazla olacağı açıktır. Gerilmenin uygulama süresi artarken betonun yaptığı sünme de gittikçe büyük değerler alacaktır. Betonun bütün mekanik karakteristikleri betonun bulunduğu ortam şartlarının etkisi altındadır. Bu şartlar rutubet ve sıcaklıktır ki betonun sünmesini etkileyen diğer bir faktör grubudur. Yukarıda anlatılan üç faktörün (zaman, gerilme ve ortam koşulları) betonun iç yapısıyla hiçbir ilişkisi bulunmamaktadır.

Halbuki mikroskopik içyapı nasıl betonun mukavemetini etkiliyorsa aynı şekilde sünme ile ilgili karakteristikleri etkisi altında bulundurması son derece doğaldır. O halde sünme betonun içinde bulunan çimento miktarına veya çimento dozajına, su miktarına, su/çimento oranına, agrega miktarına bağlı olarak değişik değerler alacaktır. Ayrıca kullanılan malzemenin karakteristikleri de sünme üzerinde belirgin etkilere sahiptir. Özellikle belirli karakteristiklere sahip bazı çimentolar kullanılması sünmenin daha büyük değerler almasına yol açar. Betonun üretimi esnasında bazı amaçlarla katkı maddesi karıştırılmaktadır. Bu maddeler az miktarda kullanılmalarına rağmen betonun sünmesini büyük ölçüde etkileyebilirler. Diğer bir faktörde beton üretim koşullarıyla ilgilidir. Özellikle beton kalıbına yerleştirme metotlarının yeterli veya yetersiz olmasına göre boşluk durumu bakımından çok değişik olan betonlar elde edilir. Boşluk miktarının ve boşluk karakteristiklerinin ise sünme üzerinde çok büyük etkileri vardır.

Sonuç olarak sünme olayında çok sayıda faktörün etken olduğu görülmüştür. Ancak bunların da birbirleri arasında karşılıklı etkileri vardır ve bu durum sünme olayının incelenmesini önemli derecede güçleştirmektedir.

Betona üniform basınç gerilmesi uygulandığında oluşan yanal deformasyonun, boyuna deformasyona oranına Poisson oranı denir ve υ ile gösterilir. Poisson oranı malzemenin önemli karakteristiklerinden biridir. σ gerilmesine uygulanmasına devam edildiği vakit cisim gerilmenin doğrultusunda sünme yaparken buna dik doğrultudaki yanal deformasyon zamanla birlikte artacaktır. Zamanla artış gösteren yanal deformasyonu εg ile gösterecek olursak

$$\upsilon=\varepsilon g/\varepsilon r$$

oranı sünme halinde Poisson oranını verir. Betonun sünmedeki Poisson oranını saptamak için yapılan çalışmalarda çok değişik ve farklı sonuçlar elde edilmiştir.

- υ, 0 veya sıfıra çok yakın
- υ, 0.05 civarında
- υ, elastik deformasyon halindeki değerleri almaktadır.

Bu durumun nedeninin ölçme metotlarının farklı olması düşünülebilir. Ayrıca yanal sünme deformasyonu ile rötre aksi yönde geliştikleri için bu tür deformasyonun toplam yanal deformasyonu azaltması ve Poisson oranının bu nedenle küçük değerler alması ile açıklanabilir.[1]

2.1.4 Sünme-Rötre İlişkisi

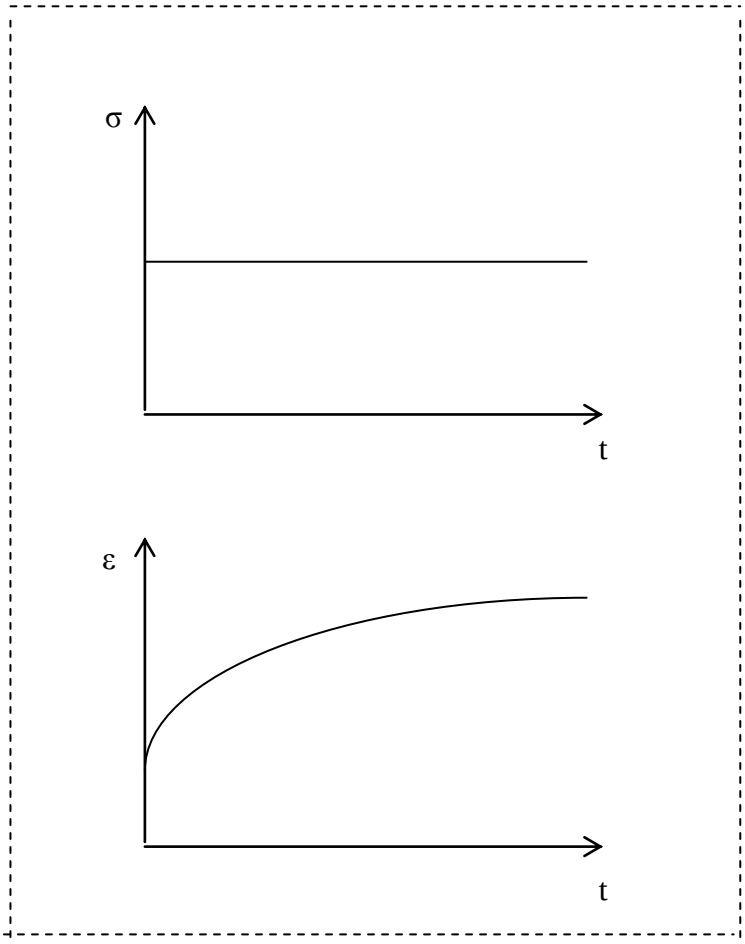
Sünmeyi etkileyen faktörler rötre içinde geçerlidir. Rötrenin önemli bir özelliği hemen hemen bütünüyle geriye dönüşebilen bir olay olmasıdır. Kuru ortamda tutularak büzülmesi sağlanmış bir deney elemanı suda bırakılırsa yine şişer ve başlangıçtaki durumuna gelir. Rötre ve sünmenin deformasyon-zaman eğrileri ve şekil değiştirme büyüklükleri gibi özellikleri birbirine benzese de rötre ve sünmenin oluşma mekanizmalarının farklı olduğunu gösteren deliller vardır.[3,14]

2.2.BETON İÇİN SÜNME FONKSİYONU

Visko-elastik malzemelerin davranışı lineer yaylar ve yağ kutularından (dashpot) oluşmuş değişik modellerle ifade edilmiştir. Bu modellerin sünme-zaman eğrileri

t=0+ da sonlu bir sünme oranı ile başlar ve bir süre sonra asimptotik olarak sınırlı bir uzamaya veya sınırlı bir sünme oranına yaklaşır. Bu şartların hiçbiri kesinlikle birçok visko-elastik malzemenin gerçek davranışını ifade etmez. Deneysel çalışmalarda görülmüştür ki, birçok plastikler, ahşap, bazı metaller ve de beton çok hızlı (aslında sonsuz) bir sünme oranı ile t=0+ da başlar. Şekil 2.2 de gösterilmiş olduğu gibi yük kaldırıldığında da sünme oranında azalma görülür.

Böylece basit mekanik modellerin visko-elastik malzeme davranışını kesin bir tanımla ifade etmediği görülmüştür. Non-lineer sünmede t=0 anında sabit bir gerilme uygulanırsa, σ sabit gerilmesi nedeniyle zamana bağlı oluşan şekil değiştirme şekil 2.3 de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 t=0 da uygulanan sabit gerilme için şekil değiştirme eğrisi

2.2.1 Lineer Viskoelastisenin Temel Denklemleri

Zamanla mekanik özellikleri değişmeyen doğrusal (lineer) viskoelastik malzemelerde gerilme geçmişi bilindiğinde eksenel yüklemede şekil değiştirmenin bir t anındaki değeri [19,20,21]

$$\varepsilon(t) = \sigma(0) f(t) + \int_0^t f(t-\tau)\dot{\sigma}(\tau) d\tau \qquad (2.1)$$

dir. Tersine birim şekil değiştirme geçmişi bilindiğinde ise gerilmenin gene bir t anındaki değeri

$$\sigma(t) = \varepsilon(0) g(t) + \int_0^t g(t-\tau)\dot{\varepsilon}(\tau) d\tau \qquad (2.2)$$

olur. Burada f(t) ve g(t) sırası ile sünme ve gevşeme fonksiyonlarıdır. Gerek gerilme, gerekse birim şekil değiştirmenin başlangıcı t=0 olarak alınmıştır. σ(0) ve ε(0) da t=0 anındaki sıçramalardır.

ve (2.2) Laplace dönüşümleri alınacak olursa sırasıyla

$$\hat{\varepsilon}(s) = \sigma(0)\,\hat{f}(s) + [s\,\hat{\sigma}(s)\,\hat{f}(s) - \sigma(0)\,\hat{f}(s)] = s\,\hat{\sigma}(s)\,\hat{f}(s) \qquad (2.3)$$

ve

$$\hat{\sigma}(s) = s\,\hat{\varepsilon}(s)\,\hat{g}(s) \qquad (2.4)$$

Herhangi bir u(t) fonksiyonu için Laplace-Carson dönüşümünün

$$u^*(s) = s\,\hat{u}(s)$$

olduğu hatırlanacak olursa (2.3) ve (2.4) denklemlerinden s karmaşık değişkenine bağlı

$$\varepsilon^*(s) = f^*(s)\sigma^*(s) \qquad (2.5)$$

$$\sigma^*(s) = g^*(s)\varepsilon^*(s) \qquad (2.6)$$

$$f^*(s)g^*(s) = 1 \qquad (2.7)$$

bağıntıları elde edilir. (2.5) ve (2.6) bağıntılarının Hooke yasasının formunda olduğu hemen görülmektedir. Buna lineer elastisite ile lineer viskoelastisite arasındaki karşıtlık ilkesi denir. Böylece Laplace Carson dönüşümleri ile (2.1) ve (2.2) denklemleri adi iki cebirsel denklem haline gelmiş olmaktadır. Buradan çıkan sonuç şudur:

Lineer viskoelastik bir problemi çözmek için;

1) İçinde bilinmeyen olan t ye bağlı denklemin Laplace-Carson dönüşümü alınır.

2) Elde edilen cebirsel denklemden bilinmeyen bulunur.

3) Ters Laplace-Carson ile t ye bağlı aranan fonksiyona geçilir.

Yukarıda belirtilen yöntem her ne kadar kolay bir iş gibi gözükse de çoğu zaman bu adımların gerçekleşmesi büyük zorluklar hatta olanaksızlıklar gösterir. Bu arada lineer elastik malzemenin üç eksenli haldeki bünye denklemleri ile lineer viskoelastik malzemenin üç eksenli davranışını belirleyen denklemlerin Laplace-Carson dönüşümleri ile aynı formda olduğunu belirtmek gerekir. Fakat tek eksenli haldekinden farklı olarak sünme ve gevşeme fonksiyonları ikişer tanedir. [17]

2.2.2 Betonun Eksenel Basınç Etkisinde Modellenmesi

Deneysel olarak, f_c betonun basınç dayanımını, $\sigma_0<f_c$, da betona etkiyen basınç gerilmesini göstermek üzere σ_0 / f_c nin belirli bir değerinin üstünde beton lineer viskoelastik bir davranış göstermediği veya Boltzmann süperpozisyon ilkesine uymadığı saptanmıştır[14]. Bununla beraber hesaplama bakımından gösterdiği kolaylık nedeniyle lineer sünme hipotezini kabul etmek uygulamadaki gerilme sınırları içinde pek de aykırılık göstermemektedir. Kaldıki deneyler $\sigma_0/f_c \leq 1/3$ için betonun lineer viskoelastik olduğunu göstermektedir.

Beton ayrıca eskiyen yani zamanla mekanik özellikleri değişen bir malzemedir. Örneğin (1) denklemi herhangi bir gerilme geçmişi için aşağıdaki şekli alır.

$$\varepsilon(t) = \sigma(0)\, f(t-0,0) + \int_0^t f(t-\tau,\tau)\,\dot{\sigma}(\tau)\,d\tau \qquad (2.8)$$

Başka deyişle sünme fonksiyonu sadece $t-\tau$ nun değil betonun yaşının da fonksiyonu olmaktadır. Herhangi bir τ_1 anında σ_0 değişmez yükü altında birim şekil değiştirme

$$\varepsilon(t) = f(t-\tau_1,\tau_1)\sigma_0 \qquad (2.9)$$

Betonun yukarıda belirtilen gerilme sınırı altında sünmesi genel olarak yatay bir asemptot göstermektedir. Bu nedenle betonun sünme fonksiyonlarını eksponansiyel ve hiperbolik olmak üzere iki gruba ayırmak mümkün olur. Eksponansiyel sünme

fonksiyonu betonun belli bir τ_1 yaşında değişmez bir σ_0 yükü altındaki birim şekil değiştirmenin zamanla değişmesinin [3]

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \alpha(\varepsilon(\infty) - \varepsilon(t)) \quad , \quad \varepsilon(0) = \varepsilon_0 \qquad (2.10)$$

diferansiyel denklemine uyduğu varsayımından hareketle elde edilir. (10) un çözümünden

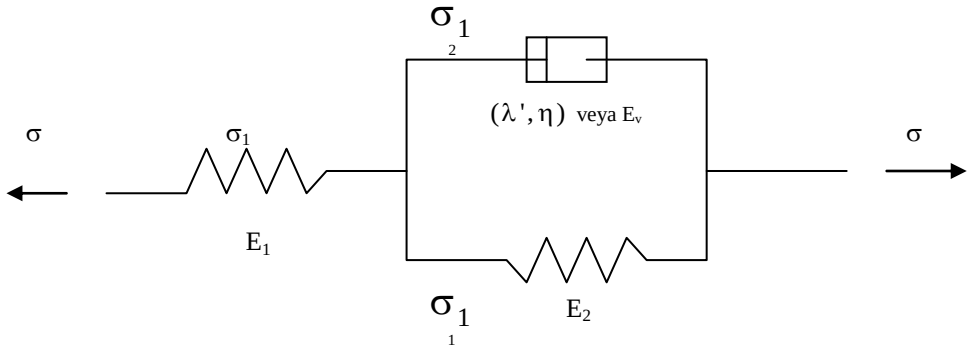
$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon(\infty)(1 - e^{-\alpha t}) \qquad (2.11)$$

Buradan f(t, τ_1) sünme fonksiyonu

$$f(t, \tau_1) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{\varepsilon_0}{\sigma_0} + \frac{\varepsilon_\infty}{\sigma_0}(1 - e^{-\alpha t}) = A + B(1 - e^{-\alpha t}) \qquad (2.12)$$

olarak elde edilir. A, B ve α betonun yaşına bağlı birer fonksiyondur. Eksponansiyel sünme fonksiyonlarının daha genel hallerinde A, B ve α'nın sadece betonun yaşının değil su/ çimento oranının(w), agrega konsantrasyonunun, bulunduğu ortamın bağıl neminin de fonksiyonu olurlar.

Eksponansiyel bu form reolojik modellerden katı cisim modellerine uymaktadır.



Şekil 2.4. Katı cisim modeli

Modeldeki E_1 ve E_2 yay sabitleri, λ've η da amortisördeki Navier-Stokes denklemine uygun akışkanın viskozite değişmezleridir. Navier-Stokes denklemi bilindiği gibi Lamme denklemine benzer olarak

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \lambda'\dot{\theta}\delta_{ij} + 2\eta\dot{\varepsilon}_{ij} \qquad (2.13)$$

şeklinde verilmiştir. Burada –p durgun haldeki hidrostatik basınç $\dot{\theta} = \dot{\varepsilon}_{11} + \dot{\varepsilon}_{22} + \dot{\varepsilon}_{33}$ yi gösterir. (13) denklemindeki p, viskoz katı cisimler için diğer tanelerin yanında çok küçük kalır ve tek eksenli durumda sıkışabilir sıvılarda

$$\sigma_{1_2} = \lambda' \dot{\theta} + 2\eta \dot{\varepsilon}_1 \qquad (2.14)$$

olur. Burada $\theta = \sigma_{1_2}/(3\lambda'+2\eta)$ olduğu kolayca hesaplanır. $\sigma_1 = \sigma_{1_1} + \sigma_{1_2}$ olduğu gözönüne alınarak birtakım ara işlemlerden sonra bu modelin sünme fonksiyonu

$$f(t) = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}(1 - e^{-\frac{E_2}{E_v}t}) \qquad (2.15)$$

olarak bulunur. Burada $E_v = \frac{\eta(3\lambda'+2\eta)}{\lambda'+\eta}$ dir ve Lamme denklemindeki $E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}$ ye benzemektedir. Başka deyişle E_v katılaşmış akışkanın bir tür elastiklik modülüdür.

Yatay asemptot veren diğer sünme fonksiyonu, hiperbolik bir fonksiyon olan [3]

$$f(t) = A + B\frac{t}{\alpha + t} \qquad (2.16)$$

denklemidir.

Betonun sünmesi için önerilen ve yatay asemptot göstermeyen bir form da sünme hızının zamanla ters orantılı olması varsayımı ile kurulan [3]

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\alpha}{t+1} \qquad \varepsilon(0) = \varepsilon_0$$

Şeklinde bir diferansiyel denklemden hareketle elde edilen

$$f(t, \tau_1) = A + B\ln(t+1) \qquad (2.17)$$

sünme fonksiyonudur.

(2.5), (2.6), (2.7) denklemlerinden yararlanarak daha önce verilen algoritma ile lineer viskoelastik bir problemi kapalı olarak çözmek için her şeyden önce karşımıza çıkan fonksiyonların Laplace-Carson dönüşümlerinin kolayca alınabilmesi gerekir. Bu

açıdan bakıldığında (2.12), (2.16), (2.17) sünme fonksiyonları içinde sadece (2.12) deki sünme fonksiyonu uygun görünmektedir.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1.DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

3.1.1.Çimento

Beton numunelerin üretiminde PÇ 42,5 türü çimento kullanılmıştır. Çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri TS 24'e göre belirlenmiş ve Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de bu özellikler gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Çimentonun fiziksel özellikleri

Blaine özgül alanı (m^2/kg)	405
90 mm elek üstünde kalan(%)	0,8
200 mm elek üstünde kalan(%)	0,2
Özgül ağırlık (kg/m^3)	3100
Normal kıvam suyu(%)	28
Priz başlangıcı	2 saat 25 dakika
Priz sonu	4 saat

Tablo 3.2 Çimentonun mekanik özellikleri

Yaş	Basınç muk.(N/mm^2)	Eğilme muk.(N/mm^2)
7 gün	39,9	7,0
28 gün	56,9	8,5

3.1.2.Su

Yapılan deneylerde İstanbul şehir suyu kullanılmıştır.

3.1.3.Akışkanlaştırıcı

Yapılan deneylerde AYDOS Superflow M140 sentetik polimer bazlı, yüksek oranda su azaltıcı ve mukavemet arttırıcı süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Bu akışkanlaştırıcı betona katkı maddesi olarak eklenmeden önce süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin sünme üzerindeki etkileri incelenmiştir ve su miktarı aynı olduğu durumlarda düşük slump değerine sahip olan katkısız betonlarla ve akıcı kıvamlı katkılı betonların betonların sünmesinde bir farklılık olmadığı ortaya çıkmıştır.[18]

3.1.4.Agrega

Üretilen beton numunelerde kullanılan agregalara TS 3530'a göre elek analizi yapılmıştır. Deney sonunda agrega yığının (%) kaçının bir elek altına geçebileceği saptanır. Deney kumlarda 1 kg, kırmataş1 ve kırmataş2'de 3 kg numune üzerinde yapılmıştır. Örnek agrega yığınının orta yüksekliğinden bir boru ile sondalıyarak alınmıştır. Yığının muhtelif yerlerinden toplanan 10 kadar numune karıştırılıp, eşit yükseklikte bir daire şeklinde zemine serilmiştir. Daha sonra 4 eşit dilime ayrılır. Dilimlerden karşılıklı 2'si alınıp, tekrar dairesel olarak yayılmıştır. Bu dörtleme işleminde numune miktarı kumda 1 kg, kırmataş1 ve kırmataş2'de 3 kg oluncaya kadar devam edilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere en büyük agrega çapı 22 mm seçilmiştir. Kullanılan agreganın (kum, kırmataş1 ve kırmataş2) granülometrik bileşenleri Tablo 4.3 te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Agreganın elek analiz sonuçları

Elek(mm)	**22**	**16**	**8**	**4**	**2**	**1**	**0,5**	**0,25**
Kum	100	100	100	100	98,37	94,51	41,59	4,75
Kt1	100	100	57,7	16,65	5,17	4	3,29	2,46
Kt2	100	66,41	0,65	0	0	0	0	0
Karışım	100	89,92	55,39	40,83	36,24	34,48	15,71	2,52

Bu elek analizi sonuçlarına göre agregaların karışım oranları kum %35, kırmataş No1 %35, kırmataş No2 %30 olarak belirlenmiştir.

Birim ağırlık tayini TS 3529'a göre, özgül ağırlık tayini TS 3526'a göre yapılmıştır. Agrega birim ve özgül ağırlıkları Tablo 3.4 de gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Agreganın birim ve özgül ağırlıkları

Agrega türü	Birim ağırlık(kg/m^3)	Özgül ağırlık(kg/m^3)
Kum	1420	2620
Kt1	1500	2730
Kt2	1470	2720

Deneylerde kullanılan kum üzerinde organik madde tayini TS 3673'e göre yapılmıştır. Çözelti rengi açık sarı olarak saptanmıştır. TS 3527'e göre yapılan ince madde tayini deneyinde kumdaki ince madde oranı %2 olarak bulunmuştur.

3.2.TAZE BETON DENEYLERİ

Yapılan taze beton deneylerinde değişik su/çimento oranları kullanılmıştır. Bunun nedeni su/çimento oranının betonun sünmesine olan etkisinin incelemektir. Bu amaç doğrultusunda 0,35-0,55-0,75 olmak üzere üç çeşit su/çimento oranı kullanılmıştır. Ancak su/çimento etkisinin incelenebilmesi amacıyla betonlardaki agrega konsantrasyonu sabit tutulmuştur ve bu oran %70 olarak tespit edilmiştir. Bu beton çeşitleri hazırlanırken betonun yerleştirilebilir kıvamda olmasına dikkat edilmiştir ve bu amaç doğrultusunda gereken betonlarda süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Bu betonlar üretilirken her su/çimento oranı için deneme betonları üretilmiştir ve bu deneme betonlarında yapılan slump ve birim ağırlık deneyleri ile gerçek betondaki malzeme miktarları hesaplanmıştır. Bu deneyler esnasında göz önünde bulundurulan en önemli konu su/çimento oranlarının belirlenen değerlerde sabit kalması ve daha öncede belirtildiği gibi betonun yerleştirilebilir olmasıdır. Bu nedenden dolayı deneme betonlarında bu özellikleri koruyabilmek amacıyla gereken değerleri sağlayabilmek için betondaki su miktarında hiçbir değişiklik yapılmamış sadece betona akışkanlaştırıcı eklenerek beton yerleştirilebilir kıvama getirilmeye çalışılmıştır. Aşağıda her beton çeşidi için $1m^3$ beton üretmek için kullanılan malzeme miktarı tablo halinde verilmiştir.

Her beton çeşidi için 1 m^3 beton üretmek için kullanılan malzeme miktarı ve taze beton özellikleri Tablo 3.5 de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 3.5 Üretilen betonlarda $1m^3$ için gerekli malzeme miktarı

Su/çimento	**0,35**	**0,55**	**0,75**
Su(dm^3/m^3)	151,65	179,05	193,34
Çimento(kg/m^3)	433,27	325,54	257,79
Kt1(kg/m^3)	667,18	673,59	679,92
Kt2(kg/m^3)	573,98	579,49	584,94
Kum(kg/m^3)	645,03	651,22	657,34
Akışkanlaştırıcı(kg/m^3)	8,67	3,26	0
Hava boşluğu	5,18	5,78	6,66
Kompozite(lt/m^3)	843,17	815,17	800
Birim ağırlık (kg/m^3)	2471,11	2408,89	2373,33
Hava boşluğu(lt/m^3)	5,18	5,78	6,66
Çökme (cm)	6	5	6

Deneyde 3 adet rötre, 3 adet w=0.35, 3 adet w=0.55 ve 3 adet w=0,75 lik numunelerdeki deneylerde kullanılmak üzere 10 x 10 x 50 cm lik prizmalar için ve basınç deneyinde kullanılmak üzere her su/çimento oranına ayrı ayrı boyutları 15 cm lik küplerde her su/çimento oranı için 3 adet beton numunesi üretilmiştir. Bu betonlar her biri bir defada üretilmek üzere 50 lt'lik betonyere malzemeler konulup önce karıştırılmış daha sonra su yavaş yavaş eklenerek gerekli olan betonlar hazırlanılmıştır. Bu betonlar hazırlandıktan sonra daha önceden yağlanarak hazırlanmış olan kalıplara mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde yerleştirilmeye çalışılmıştır. Daha sonra vibrasyon aletinde betonun suyu yüzeye çıkana kadar vibre edilmiştir.

3.3.SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

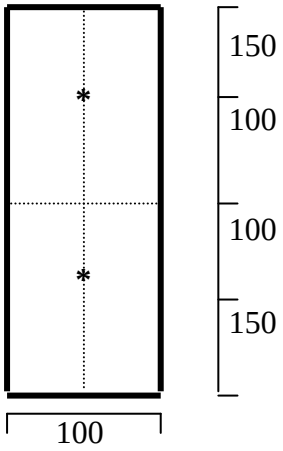
3.3.1. Basınç Deneyi

Basınç deneyi bir boyutu 15 cm olan küpler üzerinde yapılmıştır. Bu deneyin amacı sünme deneyinde prizmalara uygulanacak basıncı tayin etmektir. Bunun için her su/çimento oranı için ve uygulanacak olan üç değişik yükleme yaşı için 9 adet küp kırılmıştır. Bu dokuz numuneden üçü 14. gün, üçü 28. gün diğer üçü ise 42. Gün kırılmış ve bu günlerdeki betonların basınç dayanımları bulunmuştur. Bu kırılma işlemi sabit yükleme hızıyla basınç makinesinde yapılmıştır. Beton numuneler döküldükten bir gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 13 gün $20^{O}C$ lik havuz içinde bekletilmiştir. 13 gün sonunda bütün numuneler havuzdan çıkarılmış ve $20^{O}C$ lik ve %60 bağıl nemli odada bekletilmişlerdir. Bu 13. günde havuzdan çıkarılışın nedeni 14. günde yapılacak yükleme nedeniyle prizmaların 1 gün önce kuruması amacıyla havuzdan çıkarılmasıdır. Bütün numuneler eşit kür koşullarının sağlanıp kür parametresinin sünme üzerindeki etkisini kaldırmak için bütün numuneler aynı günde havuzdan çıkarılmış ve yüklü olanlar ve yüklü olmayıp yüklenilmeyi bekleyenler hepsi aynı ortamda saklanılmıştır.

3.3.2. Sünme Deneyi

Sünme deneyi 10x10x50 cm beton prizmalar üzerinde yapılmıştır. Taze birim ağırlık deneyinde belirtilen bileşenlerin gerçek miktarları kullanılarak her su/çimento oranı için 3'er tane olmak üzere 9 adet ve rötre için şahit numuneler de 3 adet olmak üzere toplam 12 adet beton numune prizma çelik kalıplara dökülmüştür. Dökümden 1 gün sonra numuneler kalıptan çıkarılmış ve 13 gün süreyle $20^{O}C$ lik suda bekletilmişlerdir. Havuzdan çıkarıldıktan sonra yüklü olanlar ve yüklü olmayanlar $20^{O}C$ lik ve %60 bağıl nemli odada saklanmıştır. Deneyler başlamadan bir gün önce prizmaların karşılıklı iki yüzüne Şekil 4.1 de gösterildiği gibi metal pimler epoxy-resin esaslı bir yapıştırıcıyla yapıştırılmıştır. Düşey şekil değiştirmeleri ölçmek için

kullanılacak pim dairesel biçimde, yaklaşık 2 mm kalınlığında ve üzerinde alet ucunun girebileceği bir delik bulunur. Bu rötre dahil 12 numune numaralandırılmış ve iki yüze A, B isimleri verilmiştir.



Şekil 3.1 Prizmalara pimlerin yapıştırılma ölçüleri (mm)

Numunelere uygulanacak yükler, küpler üzerinde yükleme günlerinde yapılan basınç deneyleri sonuçlarına göre bulunmuştur. Sünme deneyi için yaylı sistem seçilmiştir. İki çelik tabla arasına bir çelik yay ile prizma şeklindeki beton numunesi seri şekilde yerleştirilmiştir. w=0,35 lik numunelerde basınç mukavemeti çok yüksek olduğundan ve uygulanacak yükün yüksek olmasından dolayı çift yaylı sistem kullanılmıştır. Aletin üst tarafında vidaların sıkıştırılmasıyla yayın uzunluğu (yüksekliği) azalmakta ve bu suretle beton üzerine istenilen kuvvet uygulanmaktadır. Bu durumda beton eprüvetin eksenine paralel doğrultuda pimlerle işaretlenen iki nokta arasındaki mesafede değişiklik çok duyarlı bir şekilde ölçülerek sünme bulunmaktadır. Sünme ve rötre nedeniyle numune boyunda meydana gelecek değişmelerden dolayı yaylarda gevşemeler başlar ve bu yüzden betona uygulanan kuvvet azalmaya başlayacağı için özellikle ilk zamanlarda vidalar gereği kadar sıkıştırılarak yay yüksekliğinin deneyin başındaki değerleri alması sağlanmalıdır. Bunun sebebi yükün uygulanmasından sonraki ilk dönemde sünme hızının çok yüksek olmasıdır ve hızın yüksek olmasından dolayı beton numunedeki kısalma ve buna bağlı olarak da yayın boyunda ilk zamanlarda hızlı bir değişme olur. Sünme okumaları numunelerin 2 yüzünde yapılmıştır. Okumalar yükün uygulanmasını takip eden ilk dönemlerde her gün daha sonra deformasyon eğrilerinin gidişatına göre gitgide seyreltilerek yapılmıştır.

Ortamın sıcaklığı sabit olduğundan etalon okumaları yapılmamıştır. Pimler için kullanılan ölçme aleti direkt olarak şekil değiştirmeyi vermektedir. Rötrelerin etkisini bulmak için de her su/çimento oranı için ayrı ayrı birer şahit prizma bırakılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEYLERLE İLGİLİ SONUÇLAR

4.1.BASINÇ DENEYİ SONUÇLARI

Beton üretim tarihinden 14, 28 ve 42. günlerde basınç deneyleri yapılmıştır. Her beton kırılma gününde her su/çimento oranı için birer küp kırılmıştır. Yapılan basınç deneyi sonucu bulunan basınç mukavemetleri (R) aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4.1. 14 günlük basınç mukavemetleri

Su/çimento	**w=0,35**	**w=0,55**	**w=0,75**
Numune no	1	2	3
R(kg/cm^2)	448,89	213,33	146,67

Tablo 4.2. 28 günlük basınç mukavemetleri

Su/çimento	**w=0,35**	**w=0,55**	**w=0,75**
Numune no	4	5	6
R(kg/cm^2)	537,77	231,1	200

Tablo 4.3. 42 günlük basınç mukavemetleri

Su/çimento	**w=0,35**	**w=0,55**	**w=0,75**
Numune no	7	8	9
R(kg/cm^2)	537,77	231,1	200

4.2.SÜNME DENEYİ SONUÇLARI

Beton üretim tarihinden 14, 28 ve 42 gün sonra yapılan basınç deneyi sonuçlarına göre beton mukavemetleri belirlenmiştir. Bu mukavemet değerleri baz alınarak, daha önce belirlenmiş olan σ/R=0,30 değeri esas alınarak yüklemeler yapılmıştır. Sünme deneyinde kullanılan gerilme değerleri (σ) aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.4 14.gün sünme deneyinde kullanılan gerilmeler

Su/çimento	**w=0,35**	**w=0,55**	**w=0,75**
Numune no	1	2	3
σ(kg/cm^2)	134,67	64	44

Tablo 4.5 28.gün sünme deneyinde kullanılan gerilmeler

Su/çimento	**w=0,35**	**w=0,55**	**w=0,75**
Numune no	4	5	6
σ(kg/cm^2)	161,33	69,33	60

Tablo 4.6 42.gün sünme deneyinde kullanılan gerilmeler

Su/çimento	**w=0,35**	**w=0,55**	**w=0,75**
Numune no	7	8	9
σ(kg/cm^2)	184	78,67	65,33

Düşey sünme şekil değiştirmeler bulunurken okunan değerler doğrudan doğruya toplam düşey şekil değiştirmeyi vermektedir. Net düşey sünme şekil değiştirmeleri bulunurken toplam şekil değiştirmelerden şahit numunelerden elde edilen rötre değerleri çıkartılmaktadır. Böylece numunelerin yalnızca yüke bağlı olarak yapmış olduğu düşey deformasyon bulunmuştur.

4.2.1. Sünme Fonksiyonları

Düşey sünme şekil değiştirmeleri için ilk olarak şekil değiştirme-zaman (ε,t) grafikleri çizilmiştir. Daha sonra rötre değerleri sünme değerlerinden çıkarılarak net şekil değiştirme-zaman grafikleri çizilmiştir. Eğrilerin yatay bir asemptot göstermesi nedeniyle aynı davranışı gösteren Katı Cisim reolojik modeline uyduğu kabul edilmiştir. Bu grafikler ışığında $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon(\infty)(1 - e^{-\alpha t})$ (2.11) denklemindeki katsayıları elde etmek amacıyla aşağıdaki işlemler yapılmıştır. Çizilen ε-t diyagramlarının tümünde yatay bir asimptotun varlığı görüldüğünden (2.12) denkleminde verilen katı cisim modeli uyumu aranmıştır. Bunun için

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + (\varepsilon_\infty - \varepsilon_0)(1 - e^{-\alpha t})$$

den

$$1 - \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0} = e^{-\alpha t}$$

buradan da

$$\ln\left(1 - \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}\right) = -\alpha t \qquad (4.1)$$

elde edilir. Burada ε_0 ve ε(t) deneylerden bellidir. Düşey eksende $\ln\left(1 - \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon}{\varepsilon_\infty - \varepsilon_0}\right)$, yatay eksen t'yi gösterirse (18) denklemi orijinden geçen bir denklem verir. Ancak logaritmik büyüklükteki ε(t), ε_∞' a yaklaştıkça hata artmaktadır. Bu nedenle ε(t) değeri ε_∞ değerine çok yakın olmayan noktalarda bitirilmiş, ε_∞ da en büyük korelasyon katsayısı elde edilecek şekilde deneme yanılma ile bulunmuştur.

14.gün için

w=0,35 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 1,289 + 3,704 $(1 - e^{-0,0644\ t})$

w=0,55 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 3,453 + 9,607 $(1 - e^{-0,0584\ t})$

w=0,75 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 6,091 + 15,091 $(1 - e^{-0,0584\ t})$

28.gün için

w=0,35 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 0,621 + 2,894 $(1 - e^{-0,0355\ t})$

w=0,55 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 2,783 + 6,072 $(1 - e^{-0,0758\ t})$

w=0,75 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 4,017 + 8,433 $(1 - e^{-0,0732\ t})$

42.gün için

w=0,35 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 0,576 + 1,946 $(1 - e^{-0,0756\ t})$

w=0,55 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 2,228 + 4,278 $(1 - e^{-0,0688\ t})$

w=0,75 $f(t) = \varepsilon(t)/\sigma_o =$ 3,477 + 7,462 $(1 - e^{-0,0686\ t})$

Bu sonuçlardan α nın hemen hemen betonun yaşından ve su/çimento oranından bağımsız kaldığı görülmektedir.

Tablo 4.7 de yukarıda sonuçlar hepsi bir arada gösterilmektedir ve Şekil .35 de α ların aynı değer etrafında toplandığı görülebilmektedir.

4.2.2. Gevşeme Fonksiyonları

Deneylerden elde edilen ε(t) denklemleri

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{E_2}(1 - e^{-\frac{E_2}{E_v}t}) \tag{4.4}$$

şeklinde katı cisim modeline uyduğu daha önce belirtildi. Buradan f(t) sünme fonksiyonları

$$f(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}(1 - e^{-(\frac{E_2}{E_v})t}) \tag{4.5}$$

şeklinde olur. (19) denkleminin Laplace-Carson dönüşümü

$$f^*(s) = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_v(\frac{E_2}{E_v} + s)} \tag{4.6}$$

dir. (7) denklemi $f^*(s)g^*(s) = 1$ den

$$g^*(s) = \frac{E_1(\frac{E_2}{E_v} + s)}{\frac{E_1 + E_2}{E_v} + s} \tag{4.7}$$

buradan da

$$\hat{g}(s) = g^*(s)/s = \frac{E_1(s + \frac{E_2}{E_v})}{s(s + \frac{E_1 + E_2}{E_v})}$$

o halde

$$g(t) = L\left\{\hat{g}(s)\right\}^{-1} = \frac{E_1E_2}{E_1 + E_2} + (E_1 - \frac{E_1E_2}{E_1 + E_2})e^{-\frac{E_1 + E_2}{E_v}t} \tag{4.8}$$

(4.8) denklemini aşağıdaki forma getiririz.

$$g(t) = L\left\{\hat{g}(s)\right\}^{-1} = C + De^{-bt} \tag{4.9}$$

elde edilir. $(E_1+E_2)/E_v$ de betonun yaşı ve e/c den bağımsız olur. Başka deyişle viskoelastik bir cismin çabuk veya yavaş sünmesini belirleyen gecikme zamanı bu modeldeki $\tau_f = \frac{E_2}{E_v} = \alpha$ ve yavaş veya çabuk gerilme gevşemesini belirleyen yine bu modele ait gevşeme zamanı betonlar için e/c ve beton yaşından bağımsız kalmaktadır.

14.gün için

w=0,35	g(t) =	0,200	+	0,576	$e^{-0,0500\ t}$
w=0,55	g(t) =	0,077	+	0,213	$e^{-0,0169\ t}$
w=0,75	g(t) =	0,047	+	0,117	$e^{-0,0102\ t}$

28.gün için

w=0,35	g(t) =	0,284	+	1,326	$e^{-0,0572\ t}$
w=0,55	g(t) =	0,113	+	0,246	$e^{-0,0272\ t}$
w=0,75	g(t) =	0,080	+	0,169	$e^{-0,0182\ t}$

42.gün için

w=0,35	g(t) =	0,397	+	1,339	$e^{-0,1312\ t}$
w=0,55	g(t) =	0,154	+	0,295	$e^{-0,0309\ t}$
w=0,75	g(t) =	0,091	+	0,196	$e^{-0,06\ t}$

4.3.SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ SONUÇLARI

Tablo 4.7 Sertleşmiş beton deneyi sonuçları

τ	τ_1=14			τ_2=28			τ_3=42		
w=e/c	0.35	0.55	0.75	0.35	0.55	0.75	0.35	0.55	0.75
σ_0 **(kgf/cm^2)**	135	64	44	161	69	60	184	79	65
ε_0 **x10^{-6}**	174	221	268	100	192	241	106	176	226
ε_∞ **x10^{-6}**	476	595	654	465	416	504	356	351	485
$\alpha=E_2/E_v$	-0.0665	-0.056	-0.057	-0.0363	-0.0624	-0.079	-0.0767	-0.0672	-0.063
E_1	775.8	289.5	164.2	1610.0	359.4	249.0	1735.8	448.9	287.6
E_2	283.6	107.6	67.3	346.2	165.9	99.3	516.8	225.1	134.0
E_1/E_2	2.73	2.69	2.44	4.65	2.6	2.51	3.36	1.99	2.15

Şekil (4.31), (4.32) ve (4.35) de elde edilen doğrusal ilişkileri $E_1=a_1+a_2\tau$, $E_2=b_1+b_2\tau$, $E_2/E_v=\alpha_0$ değişmez ile gösterirsek E_1 ve E_2 nin w=e/c=su/çimento oranına bağlılığı a_1,a_2, b_1 ve b_2 lerin bu parametrenin fonksiyonu olmasıyla ortaya çıkacaktır. Bu fonksiyonlara ait diyagramlar şekil (4.33) ve (4.34) de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan $a_1=m_1+n_1e/c$, $a_2=m_2+n_2e/c$, $b_1=p_1+q_1e/c$, $b_2=p_2+q_2e/c$ şeklinde olduğu görülmektedir. Bu betonların eksenel basınç etkisinde herhangi bir yükleme geçmişi için şekil değiştirmesi

$$\varepsilon(t)=\sigma(0)\,f(0,0,e/c)+\int_0^t f(\tau,t-\tau,e/c)\,\dot{\sigma}(\tau)\,d\tau \qquad (4.2)$$

olur. Burada

$$f(\tau,t-\tau,e/c)=\frac{1}{m_1+n_1\frac{e}{c}+(m_2+n_2\frac{e}{c})\tau}+\frac{1}{p_1+q_1\frac{e}{c}+(p_2+q_2\frac{e}{c})\tau}[1-\exp\,\alpha(t-\tau)]$$

(4.3)

dır.

SONUÇLAR

Bu çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Yükleme yaşı arttıkça aynı σ/R oranı için sünme fonksiyonunun azaldığı görülmüştür ve bu gözlem sonucunda betonda sünmenin yükleme yaşı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir.

2. Su/çimento oranı arttıkça aynı σ/R oranı için gerilmeden bağımsız olan sünme fonksiyonlarının arttığı gözlenmiştir ve böylece su/çimento oranı arttıkça, sünmenin arttığı gözlenmiştir.

3. Bu çalışmada belirlediğimiz σ/R=0,3 halinde betonun lineer viskoelastik davranışta bulunduğunu gözlenmiştir.

4. $f(t,\tau_1) = A + B(1 - e^{-\alpha t})$ olan betonun sünme fonksiyonunun genel biçimindeki α katsayısının yükleme yaşı ve su/çimento oranının bir fonksiyonu olmadığı gözlenmiştir.

5. Sünme fonksiyonundaki A ve B katsayılarının yükleme yaşı arttıkça azaldığı, su/çimento oranı arttıkça arttığı gözlenmiştir.

6. Gevşeme fonksiyonundaki C ve D katsayıları ise yükleme yaşı arttıkça artmakta ancak su/çimento oranı arttıkça azalmaktadır.

7. Beton doğrusal viskoelastik gerilme sınırları içinde reolojik modellerden katı cisim modeline uymaktadır. Bu modelin elastik parametreleri E_1 ve E_2 gerek zaman

ve gerekse su/ çimento oranının fonksiyonu olmalarına karşın gecikme zamanı ve gevşeme zamanları ile ilgili E_2/E_v oranının bu ikisinin de fonksiyonu olmadığı ve değişmez kaldığı saptanmıştır. Bu olgudan E_v viskoz parametrenin E_2 ile aynı oranda değişmesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Başka bir deyişle λ_2 ve μ_2 Lame denklemindeki elastik, λ' ve η Navier- Stokes denklemindeki viskozite değişmezleri olmak üzere $E_2 = \frac{\lambda_2 + \mu_2}{3\lambda_2 + 2\mu_2}$ ile $E_v = \frac{\lambda' + \eta}{3\lambda' + 2\eta}$ değişmezleri betonun harcını etkileyen parametrelerin aynı oranda etkisi altında kalmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] **Postacıoğlu, B.**, 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, cilt1, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu.

[2] **Hansen, T.C.**, 1958. Creep of Concrete, Swedish Cement and Concrete Research Institute at the Royal Institute of Technology, Stockholm Bulletin, No:33, pp.48.

[3] **Neville A.M**.,1970. "Creep of Concrete: Plain, Reinforced and Prestressed" Nort Holland Publ. Comp, Amsterdam.

[4] **Hauggaard A.B., Damkilde L, Hansen P.F.** Apr 1999. "Transitional Thermal Creep of Early Age Concrete" Journal of Engineering. Mech. ASCE, 125(4) pp 458-465.

[5] **Kovler K.** , Feb. 1997. " A New Look at The Problem of Drying Creep of Concrete under Tension" Journal of Materials in Civil Engineering., 11(1) pp 84-87,

[6] **Kovler K.**, Dec 1997. "Drying Creep of Concrete in terms of the Age- Adjusted Effective Modulus Methods" Magazine of Concrete Research 49(181) pp 345-351,

[7] **Kovler K.**, May 1995. "Independence of Creep and Shrinkage for Concrete Under Tension" Journal of Materials in Civil Engineering, 7:2) pp 96-101

[8] **Granger L.P, Bazant A.P.** ,Nov 1995. "Effect of Composition on Basic Creep of Concrete and Cement Paste" Journal of Eng. Mech. ASCE, 121:(2) pp1261-1270

[9] **Le Roy R., Granger L.**, 1995. " Calcul des Déformations Instantanées et de Fluage Propre du Béton à Partir de celles de la Pate de Ciment" Bul de Liaison des Labratories des Ponts et Chaussées, 196, 67-68 Mars- Avr

[10] **Bazant Z.P., X.I. Y.P.** , Jan- Feb 1994. " Drying Creep of Concrete Constituve Model and New Experiments Seperating its Mechanisms" Materials and Structures, 27:165, pp3-14,

[11] **Taşdemir M.A., Akyüz S. And Uzunhasanoğlu N.**, 1988. "Creep of Lightweight Agregate Concrete Under Variable Stresses" ASTM, Cement, Cocrete and Agregate, Vol 10, Numb.2, pp 61-67,

[12] **Akyüz S., Taşdemir M.A.**, 1985. "On the Creep of Concrete Under Variable Stresses" Bull. Tech. Univ. Istanbul, Vol 38, pp. 401-408

[13] **Arshad A. Khan W. Cook, Mitchell D.**, April 1997. " Creep, Shrinkcage and Thermal Strains in Normal, Medium and High-Strength Concretes During Hydratation" A.C.I Materials Journal, pp 156-163 March,

[14] **Young, F**., 1988. Concrete, pp.500-511, Epson Publishing, London.

[15] **Lemaitre, J., Chaboche, J.L.**, 1970. Mechanics of Solid Materials, pp.355-413, Cambridge Universty Press

[16] **Neville, A.M., Brooks J.J.**, 1987. Concrete Technology, Longman Scientific and Technical, Harlow, pp.215-222.

[17] **Akyüz, Saim**. Viskoelastisite Ders Notları

[18] **ACI Committee 212,**1989. Chemical Admixtures for Concrete

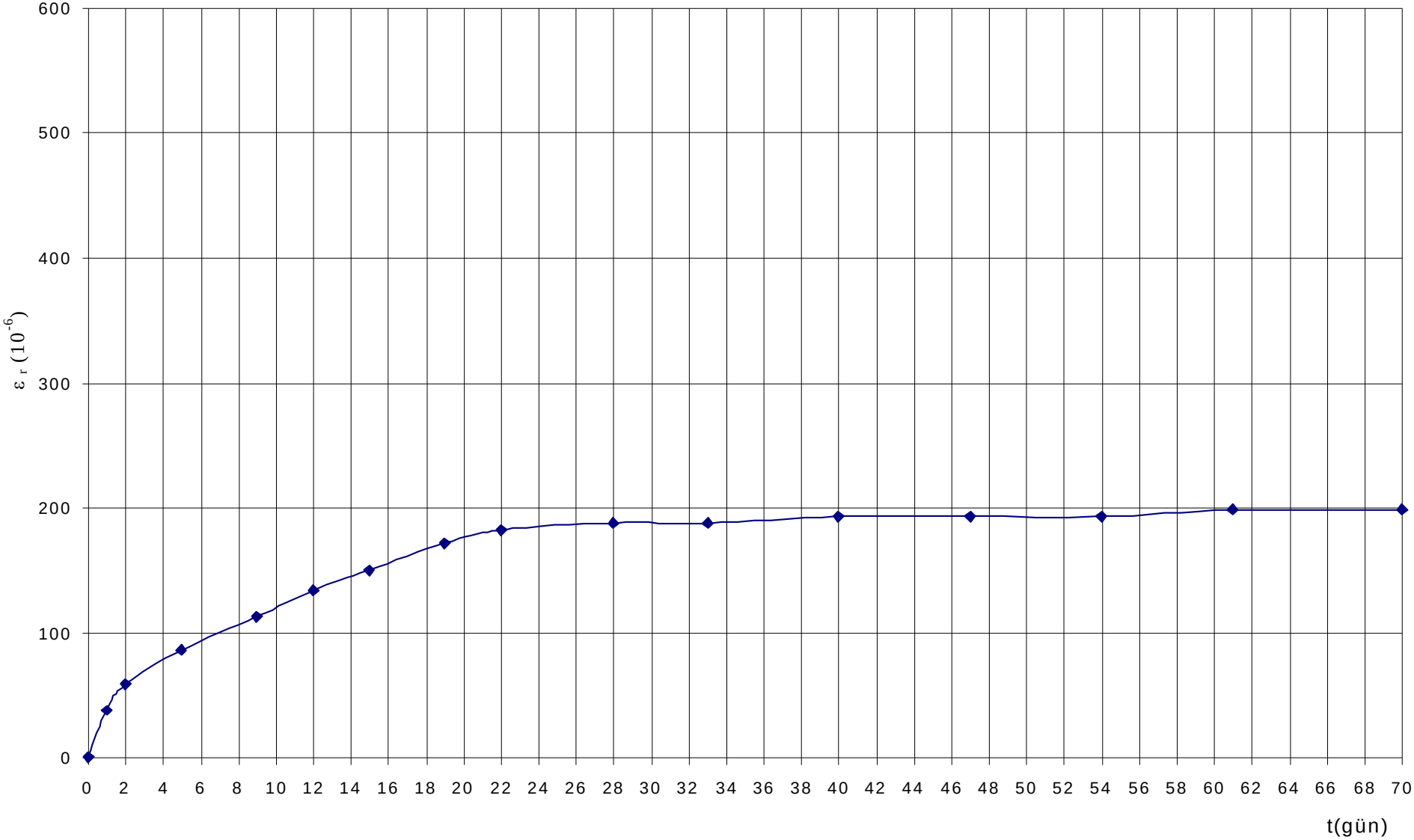
[19] **William N. Findley, James S. Lai and Onaran K.** , 1989. " Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials" Dover Publication,

[20] **Persz B.**, 1960. " Inrtoduction a'letude de la Rhéologie" Dunod éd.,.

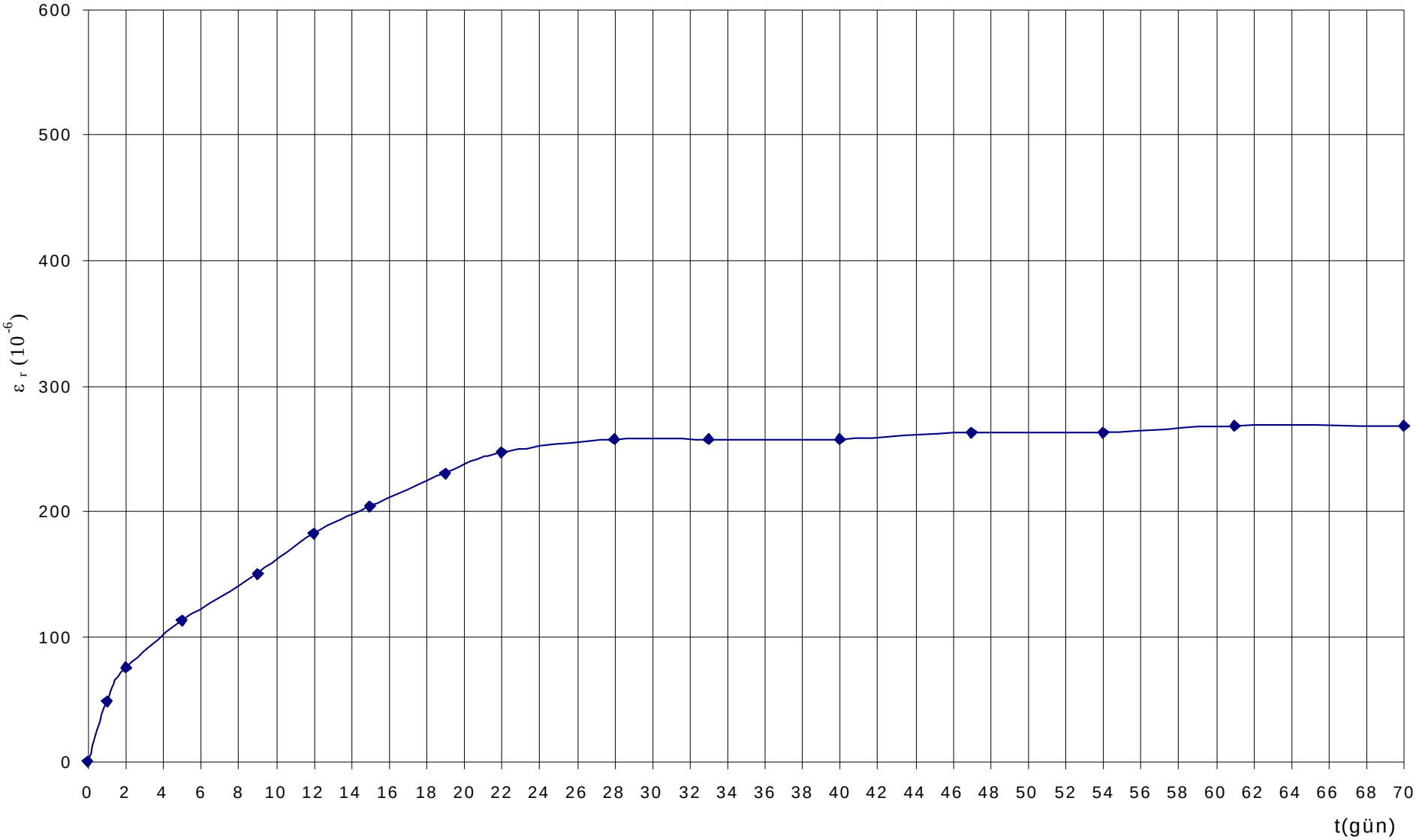
[21] **Selençon J.**, 1983. " Viscoelastisité" Presses de l'éwle National des Ponts et Chaussées,

[22] **Findley, W.N, Lai J.S, Onaran, K.**, 1975. Creep and Relaxation of Nonlinear Viskoelastic Materials, Dover Publications.

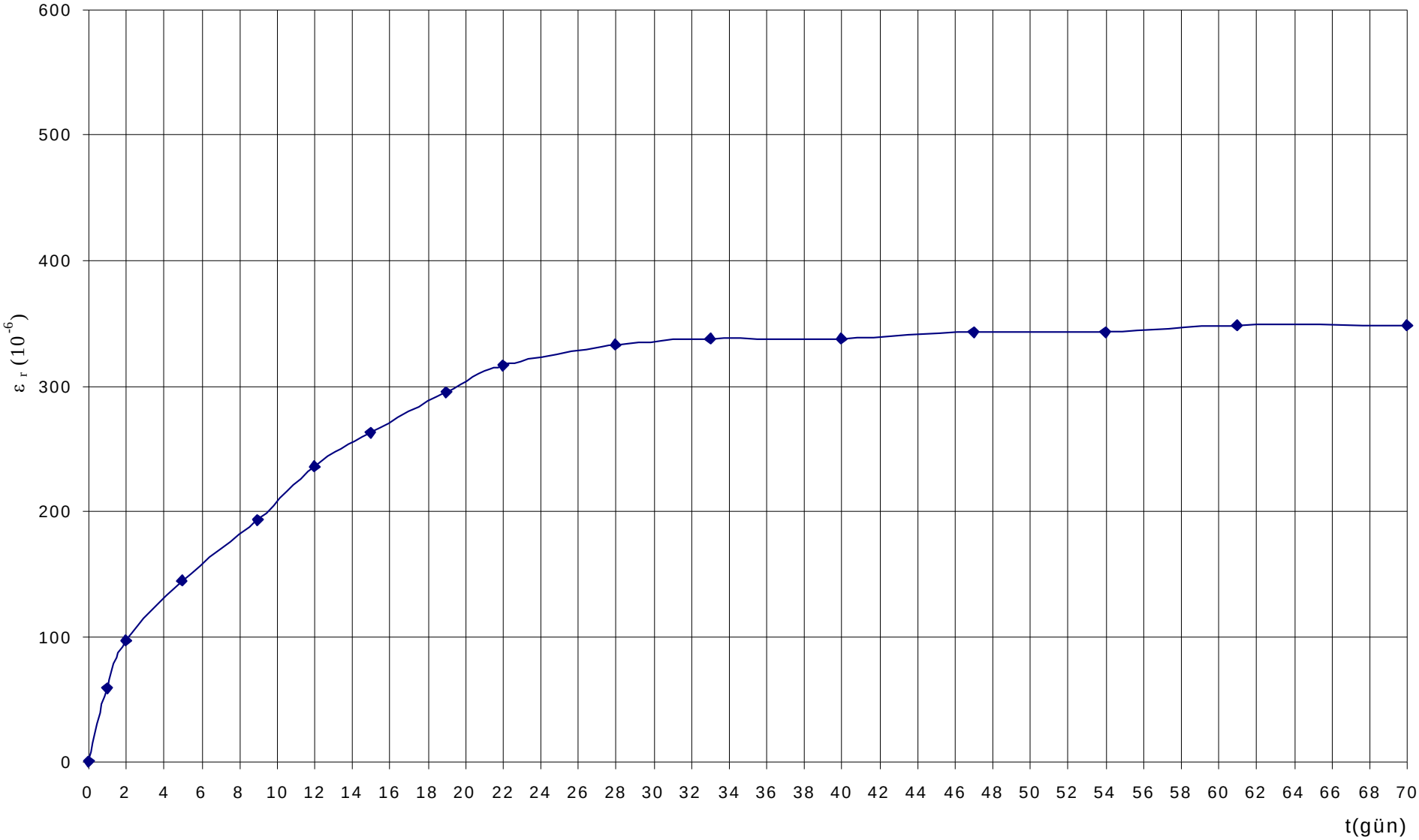
EKLER



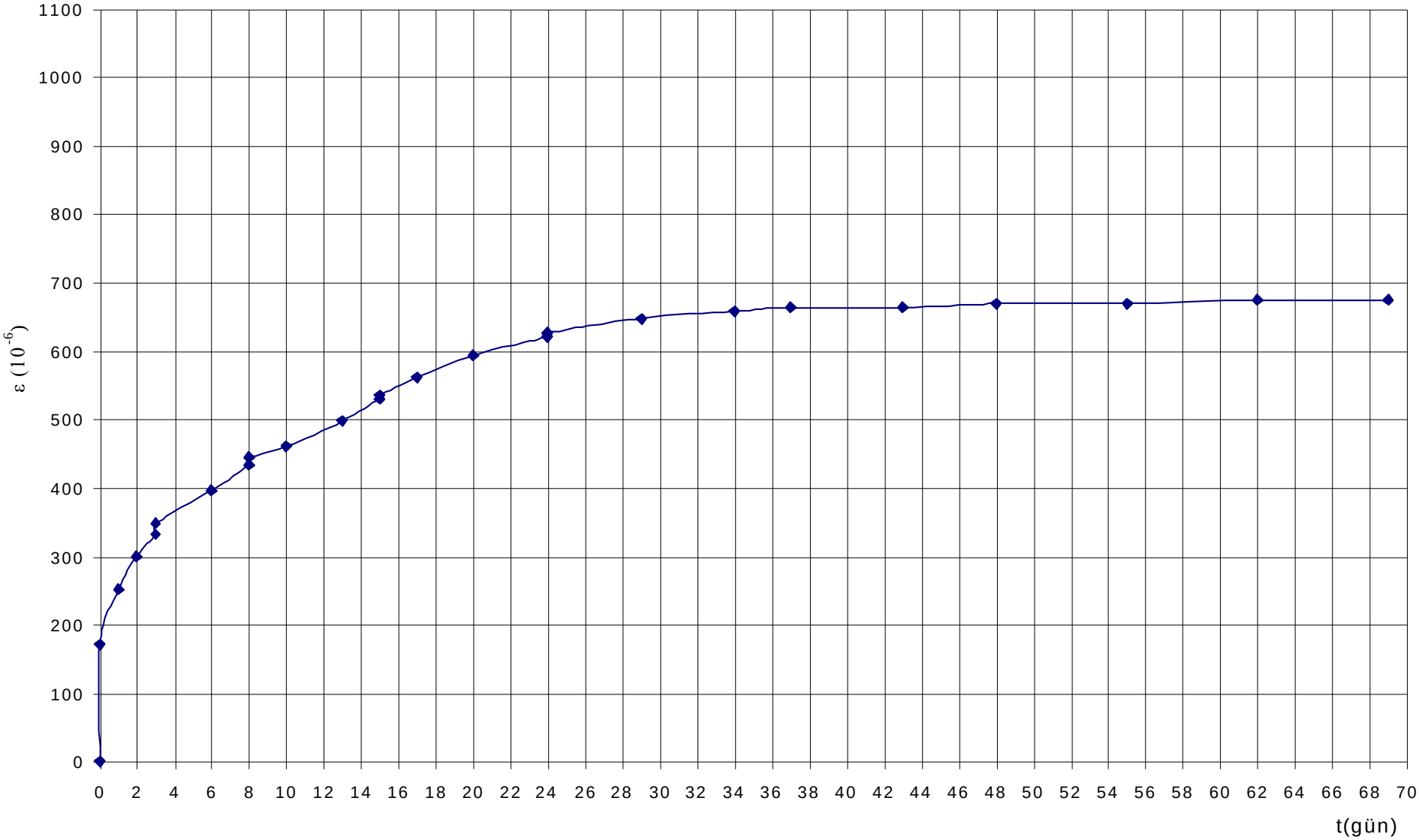
Şekil 4.1. w=0,35 için rötre eğrisi



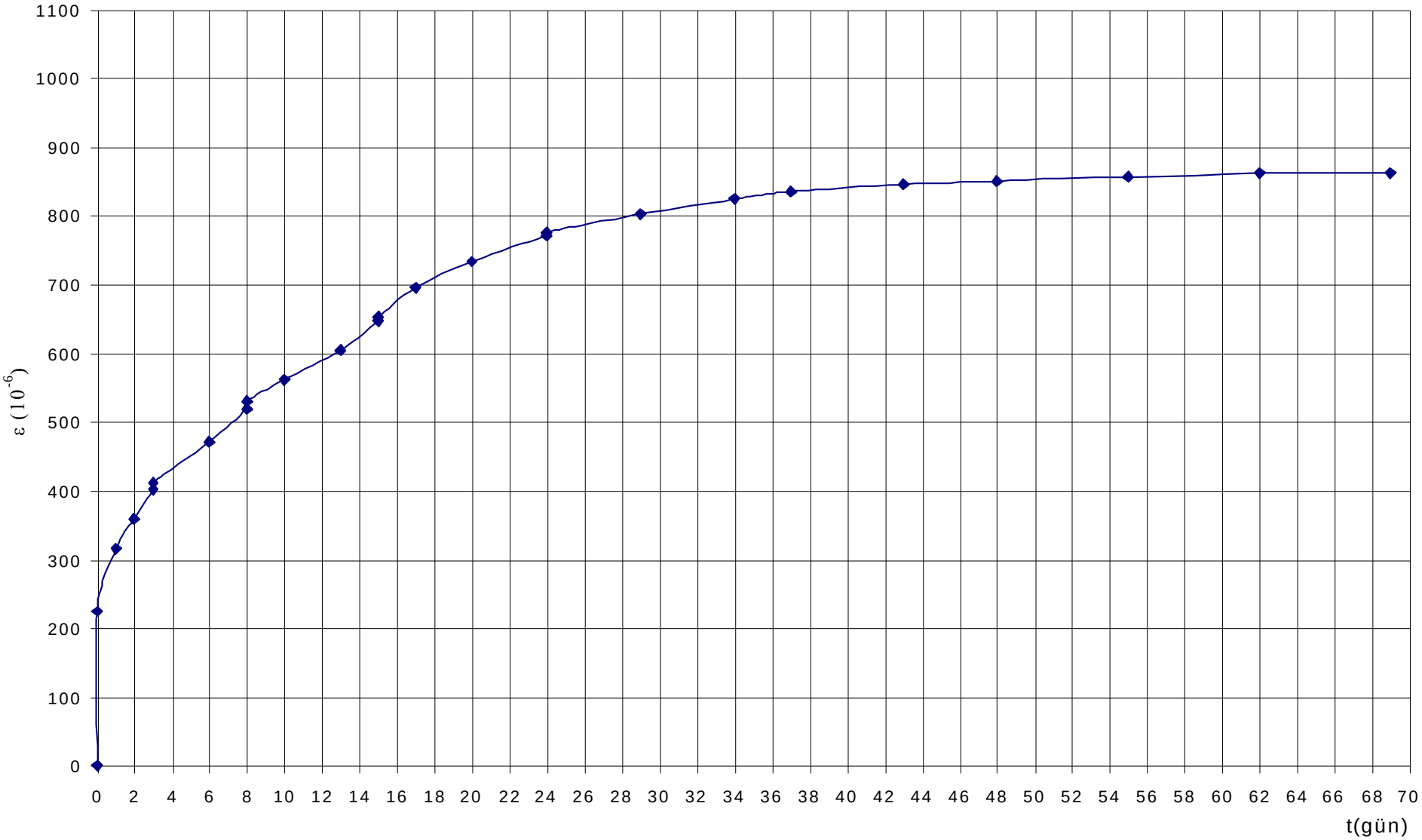
Şekil 4.2. w=0,55 için rötre eğrisi



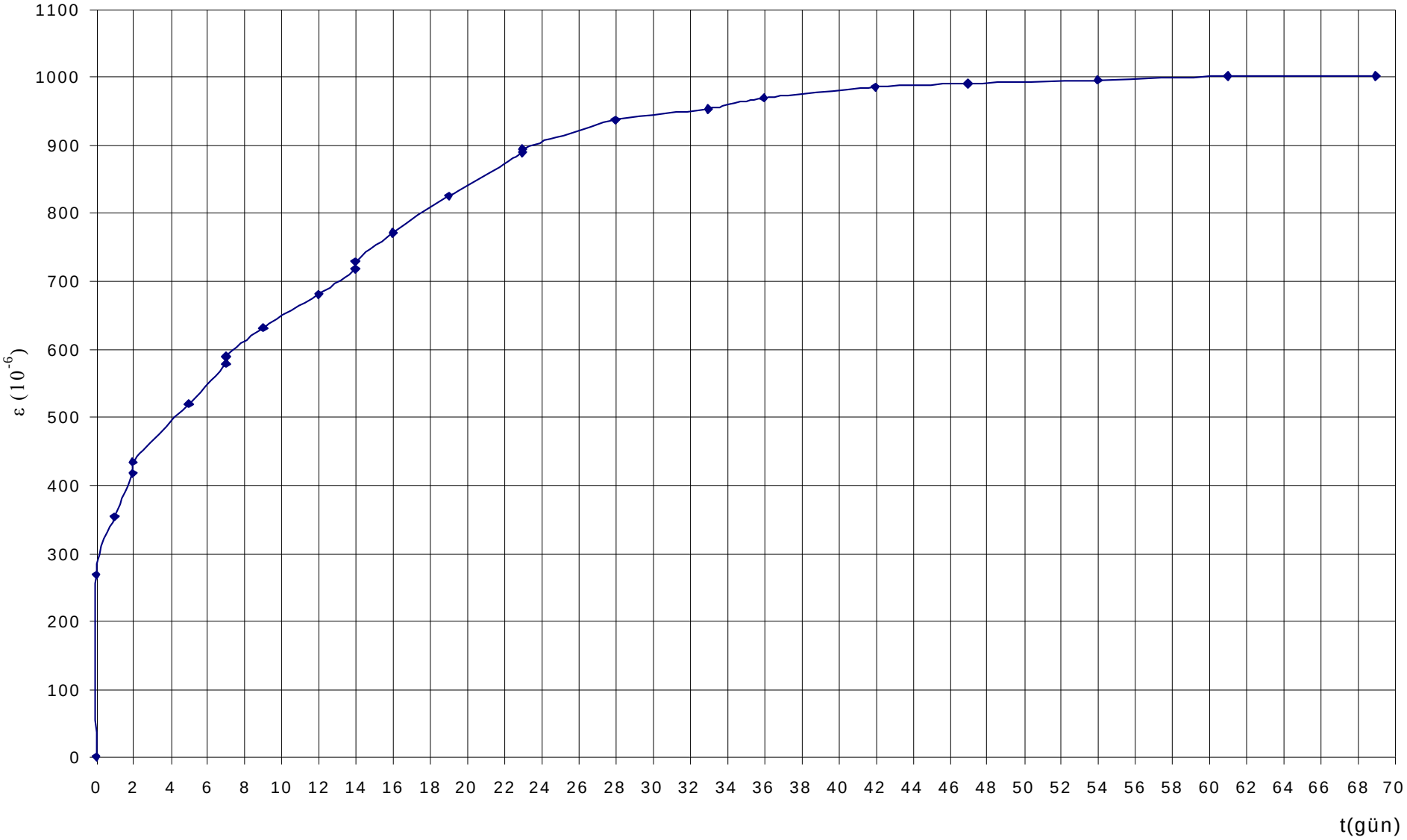
Şekil 4.3. w=0,75 için rötre eğrisi



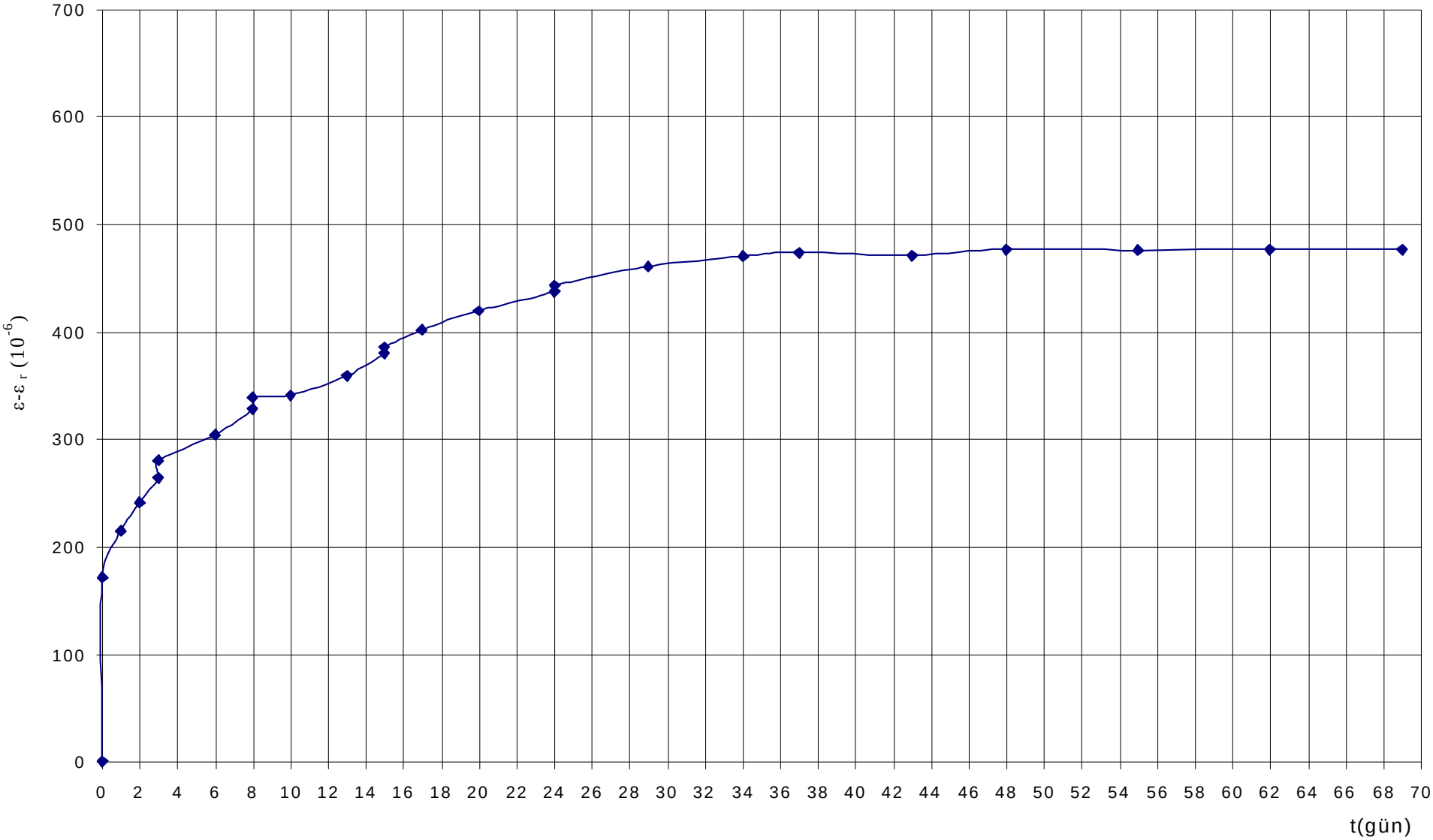
Şekil 4.4. 14.gün w=0,35 için sünme eğrisi



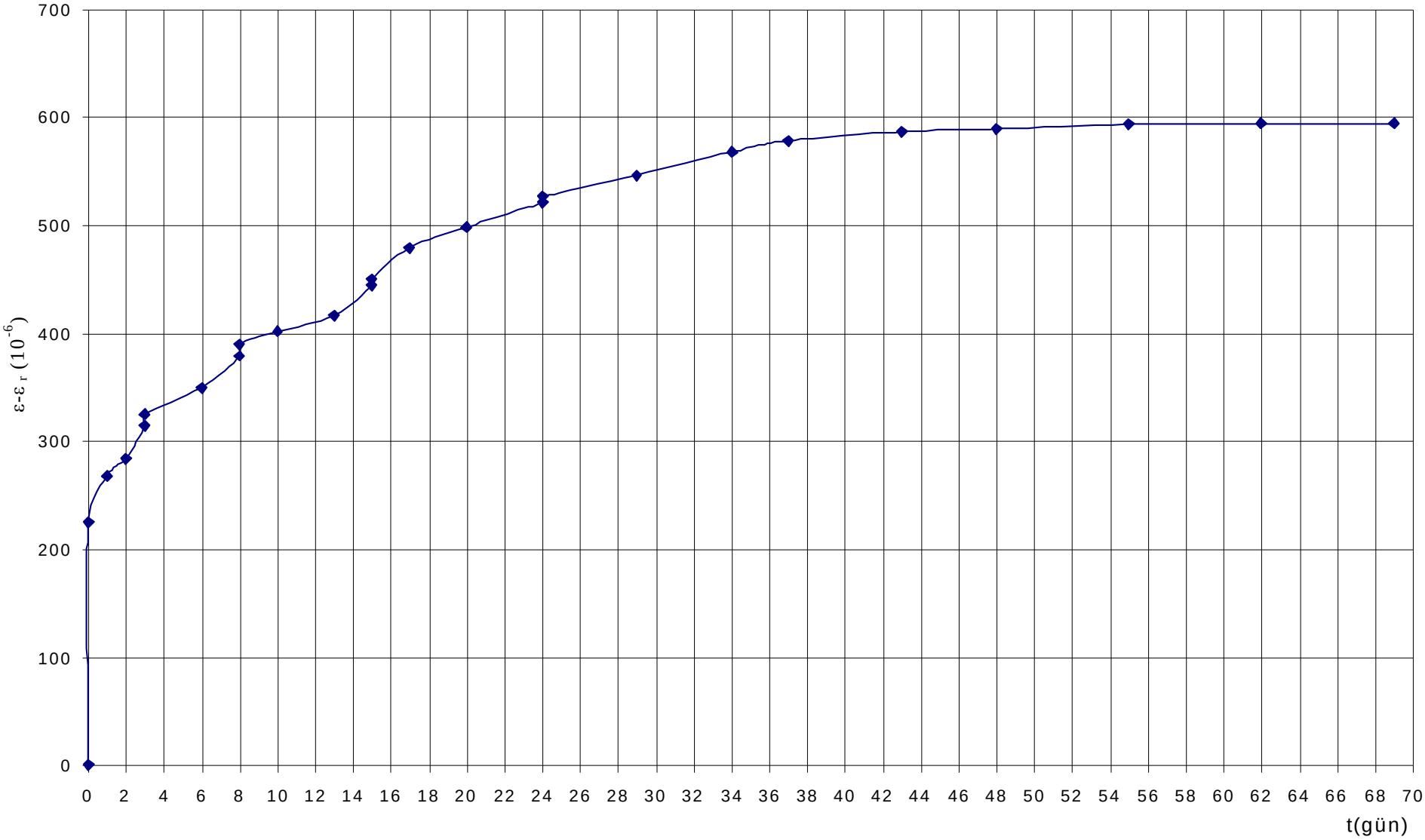
Şekil 4.5. 14.gün w=0,55 için sünme eğrisi



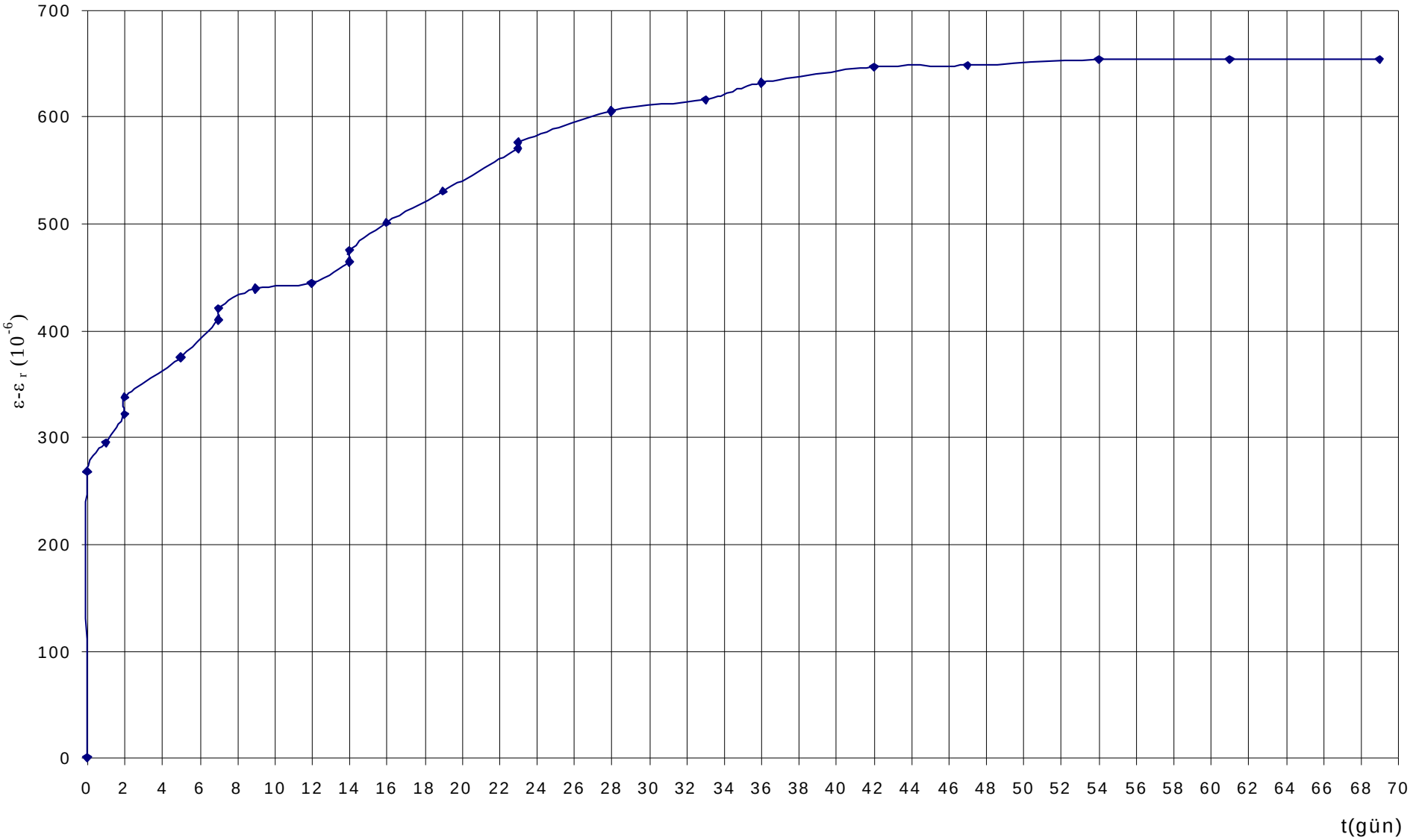
Şekil 4.6. 14.gün w=0,75 için sünme eğrisi



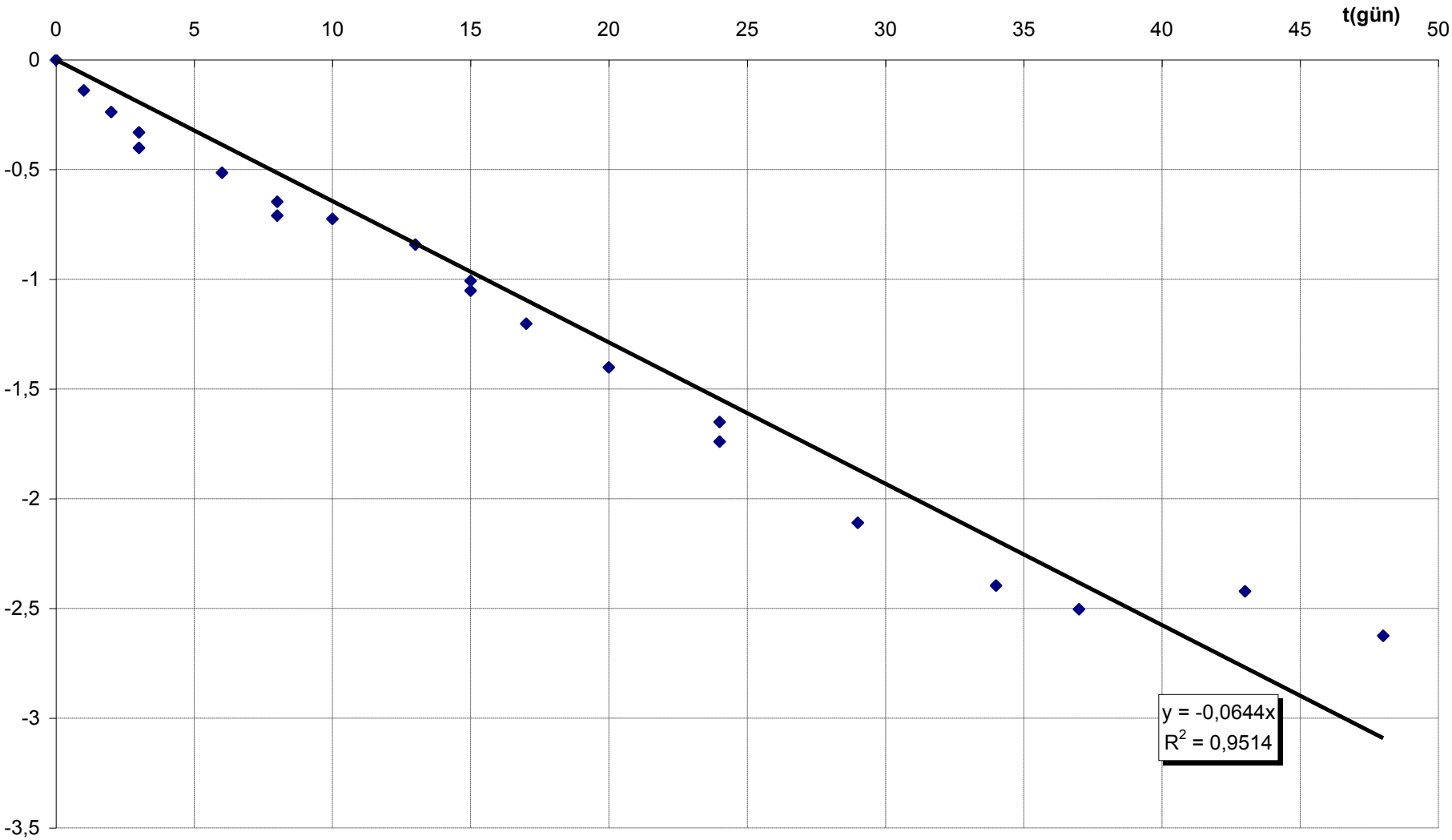
Şekil 4.7. 14.gün w=0,35 için rötresiz sünme eğrisi



Şekil 4.8. 14.gün w=0,55 için rötresiz sünme eğrisi

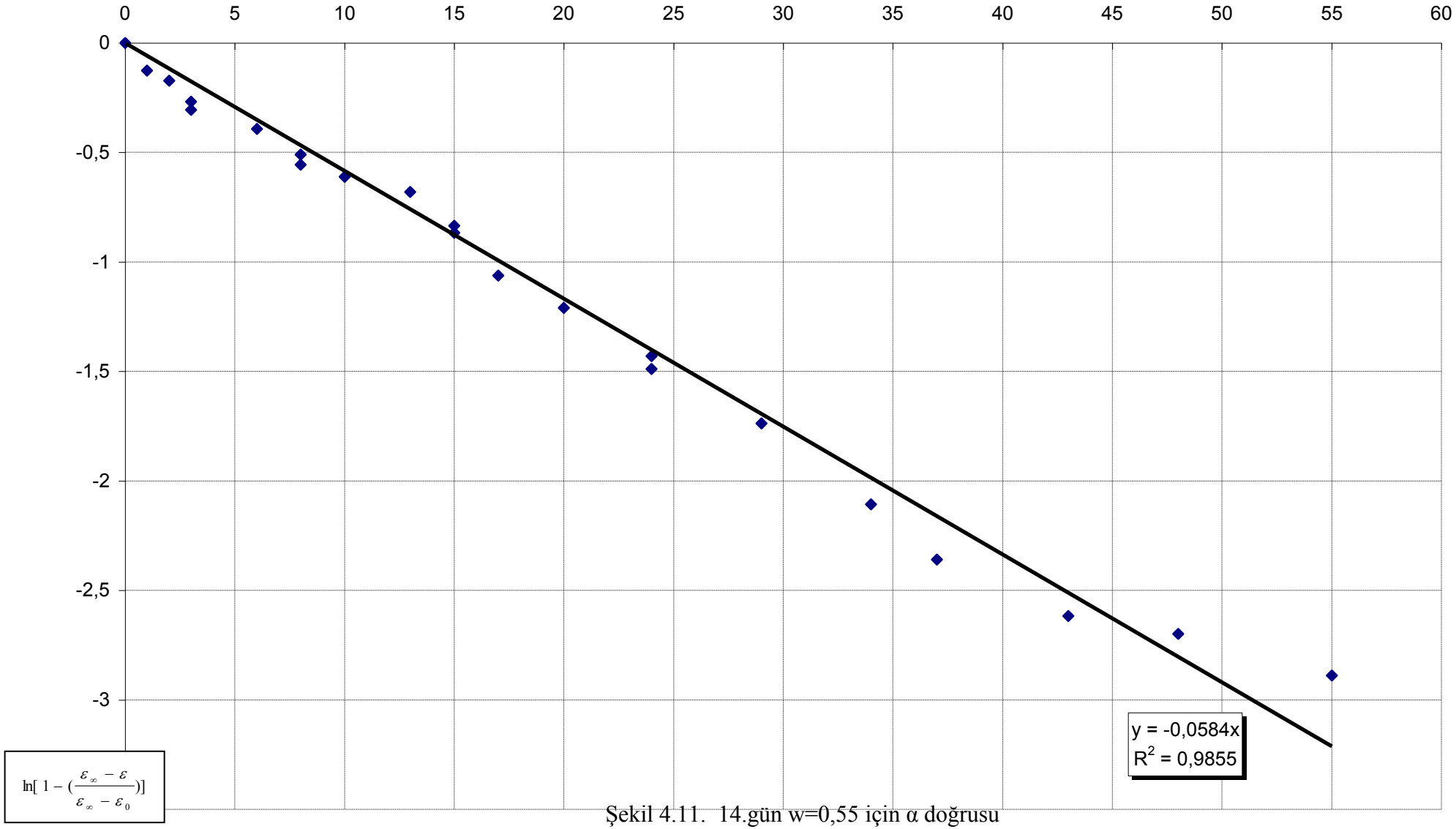


Şekil 4.9. 14.gün w=0,75 için rötresiz sünme eğrisi

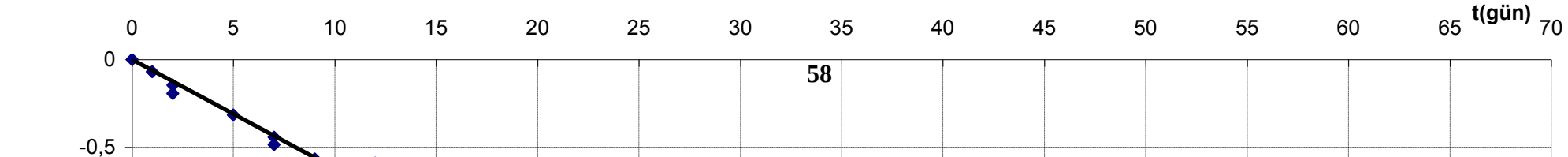


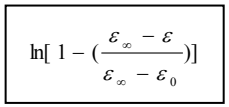
$\ln[\,1-(\frac{\varepsilon_\infty-\varepsilon}{\varepsilon_\infty-\varepsilon_0})]$

Şekil 4.10. 14.gün w=0,35 için α doğrusu

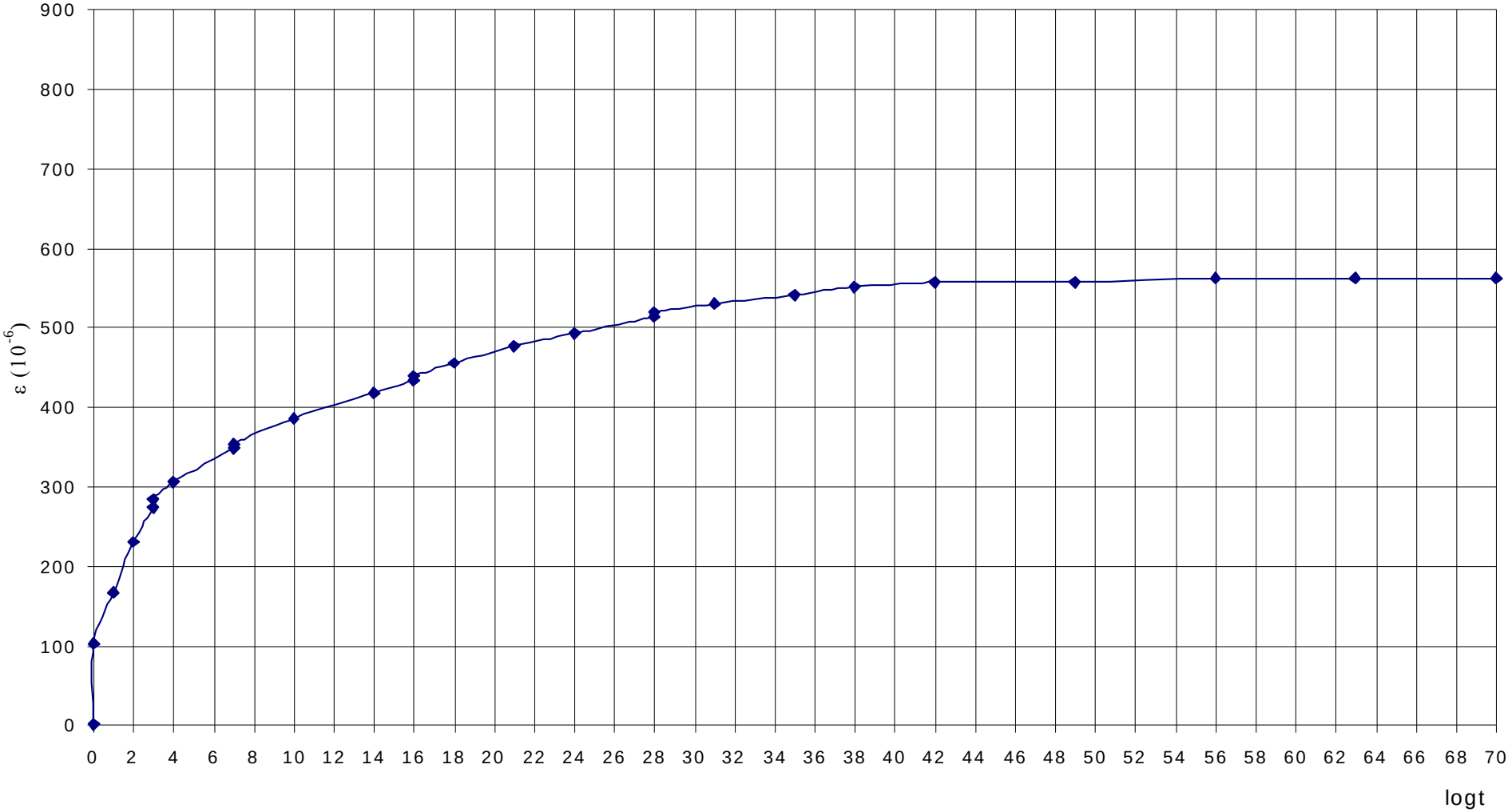


Şekil 4.11. 14.gün w=0,55 için α doğrusu

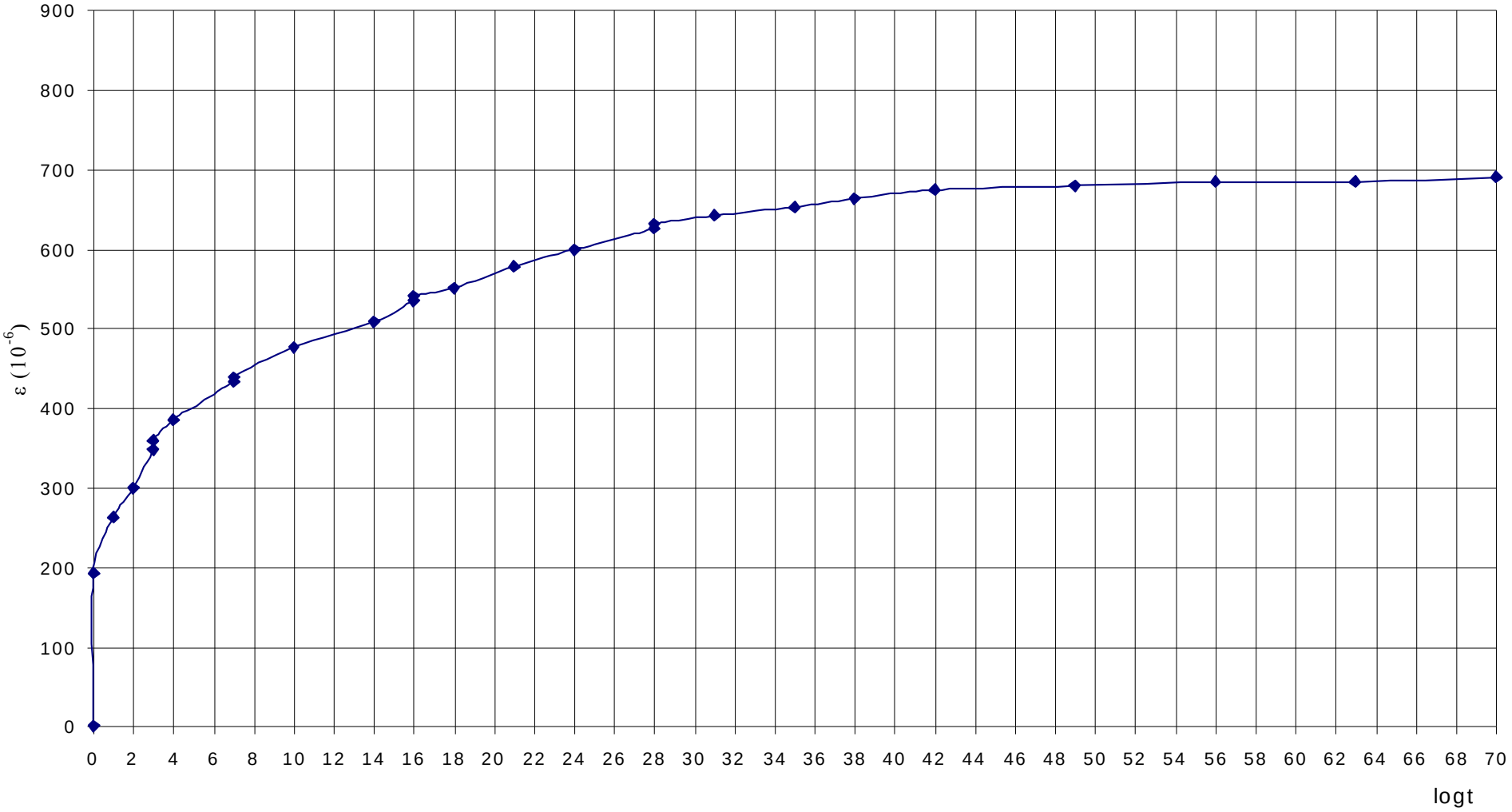




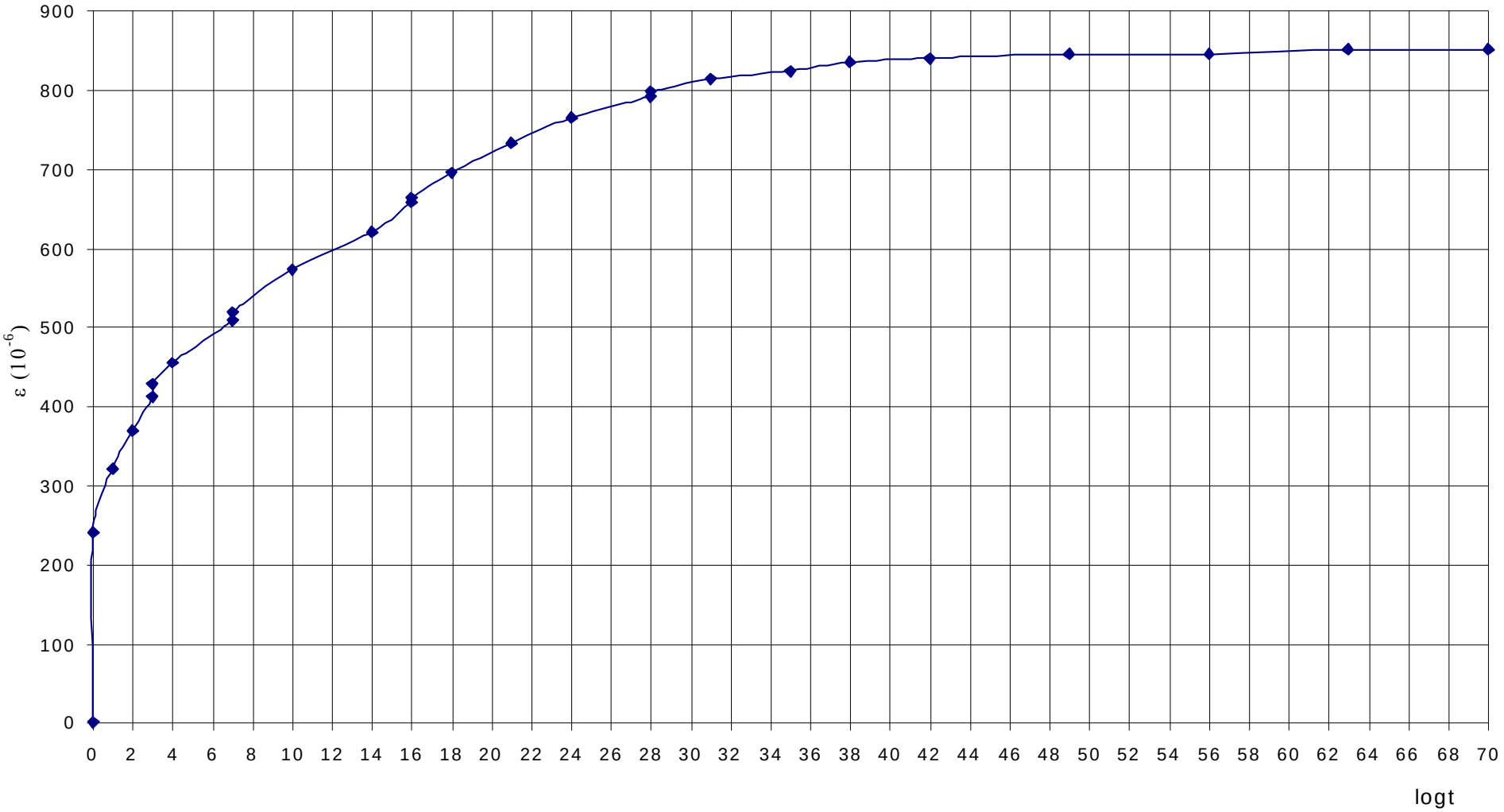
Şekil 4.12. 14.gün w=0,75 için α doğrusu



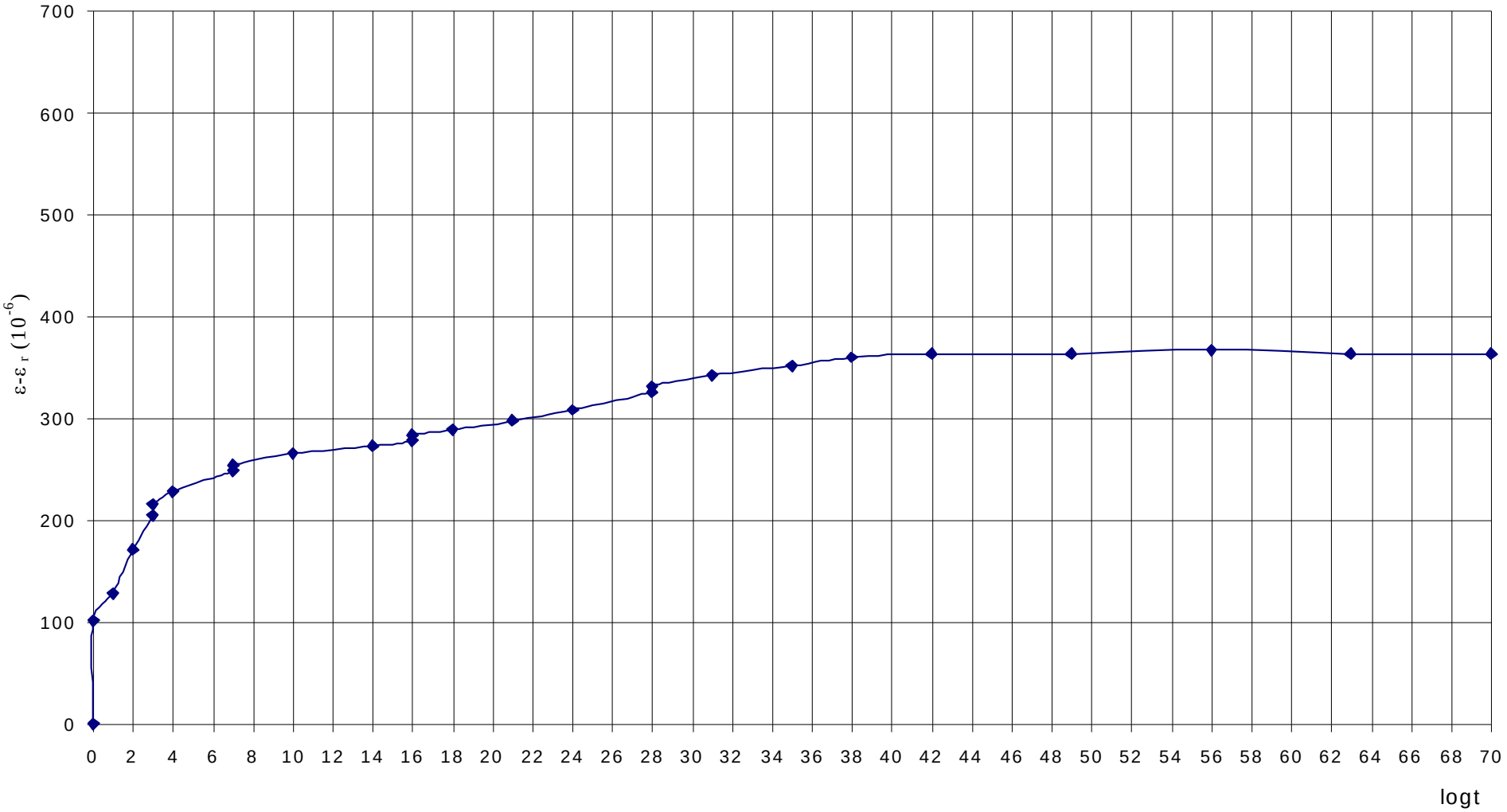
Şekil 4.13. 28.gün w=0,35 için sünme eğrisi



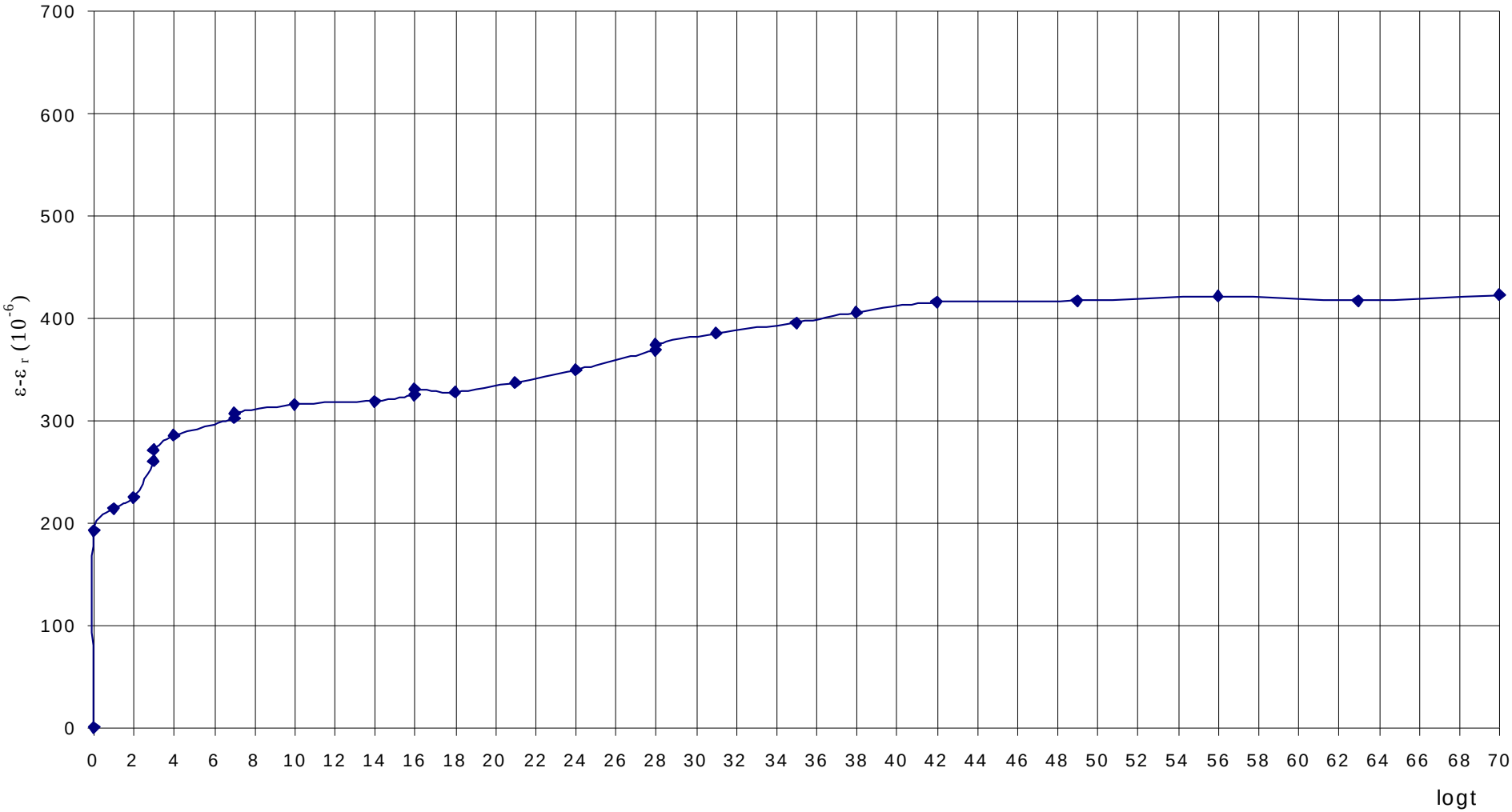
Şekil 4.14. 28.gün w=0,55 için sünme eğrisi



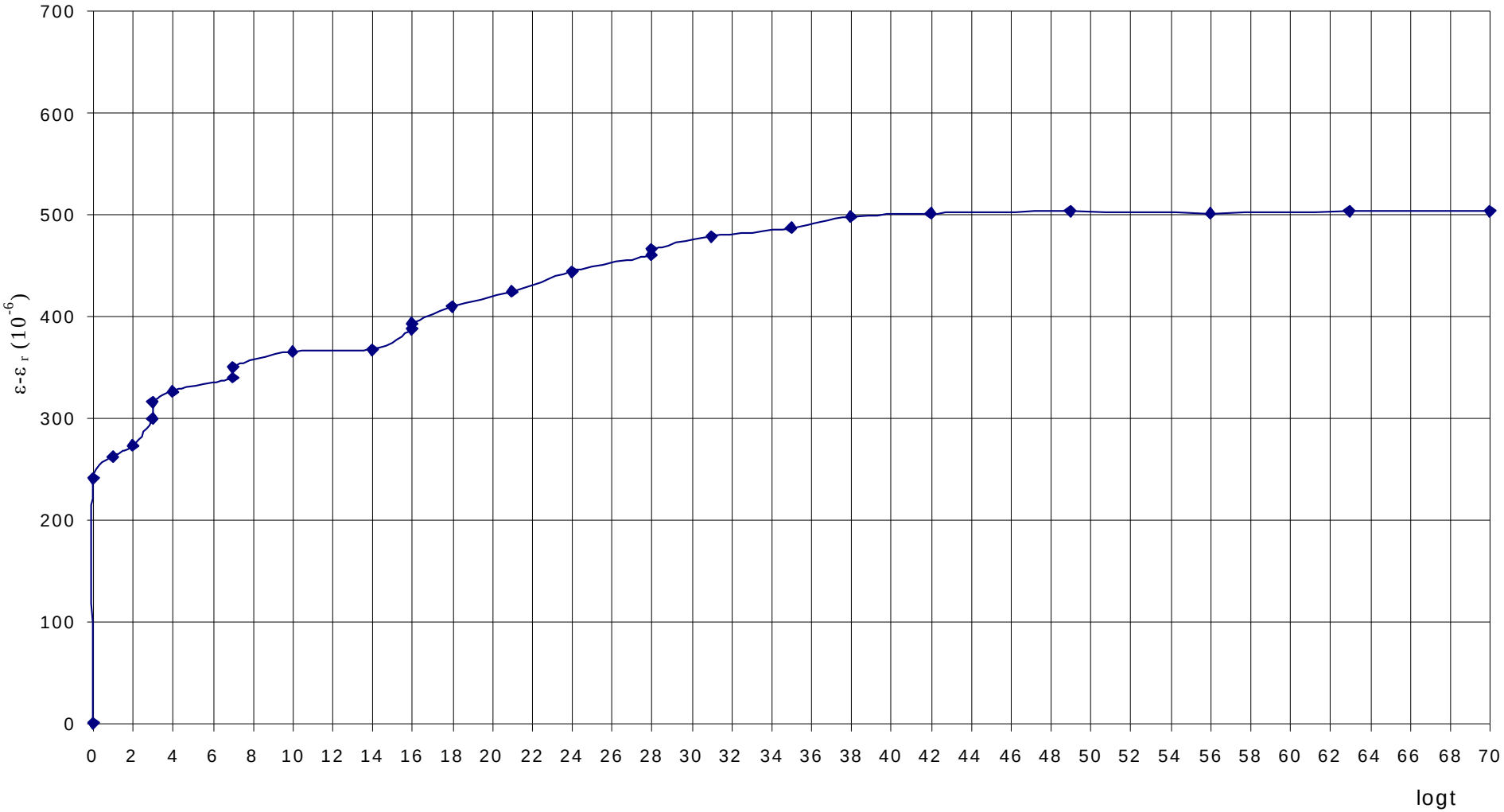
Şekil 4.15. 28.gün w=0,75 için sünme eğrisi



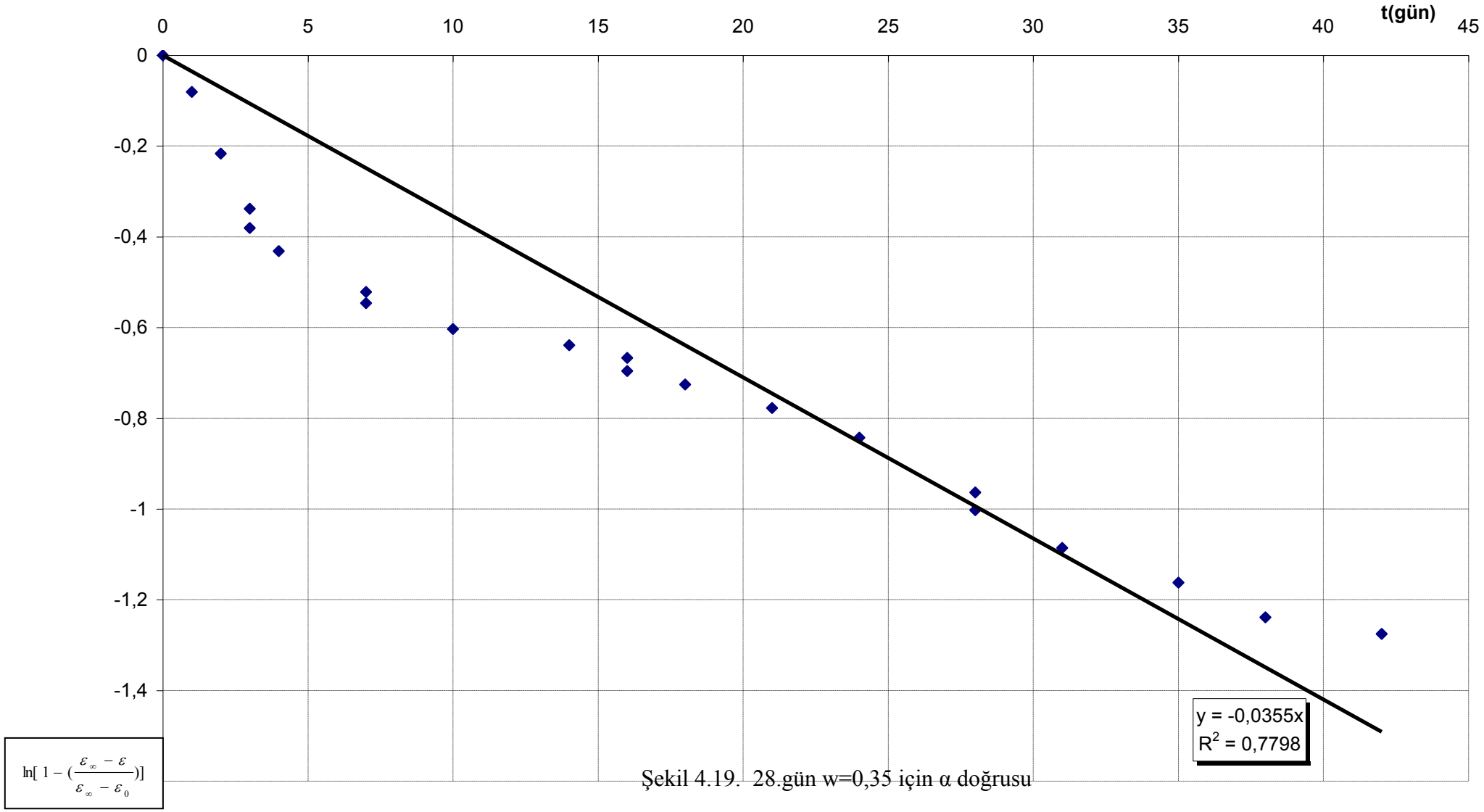
Şekil 4.16. 28.gün w=0,35 için rötresiz sünme eğrisi



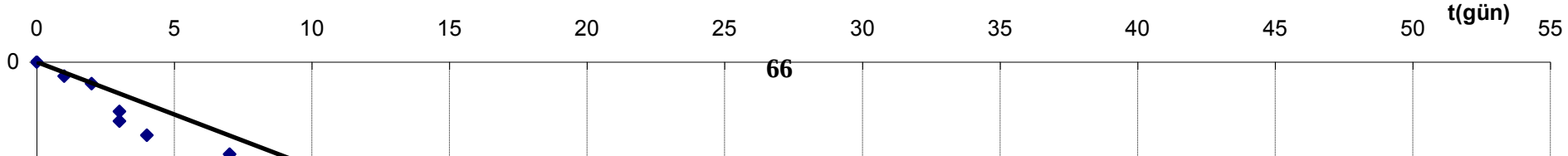
Şekil 4.17. 28.gün w=0,55 için rötresiz sünme eğrisi



Şekil 4.18. 28.gün w=0,75 için rötresiz sünme eğrisi

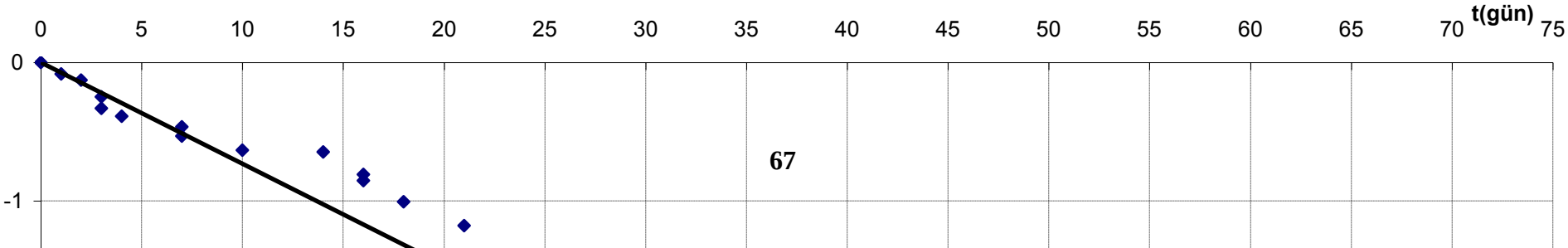


Şekil 4.19. 28.gün w=0,35 için α doğrusu



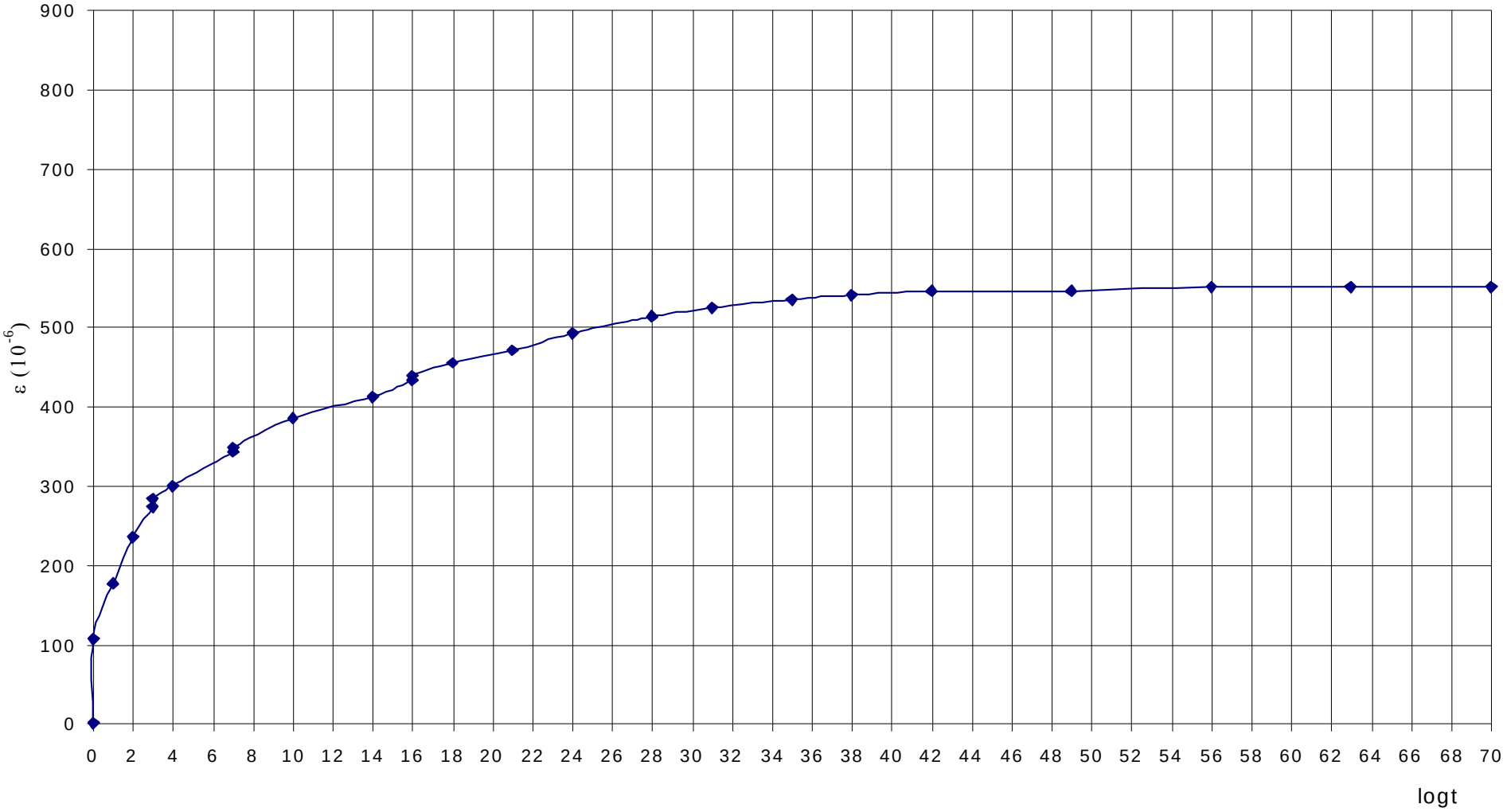
$\ln[\,1-(\frac{\varepsilon_\infty-\varepsilon}{\varepsilon_\infty-\varepsilon_0})]$

Şekil 4.20. 28.gün w=0,55 için α doğrusu

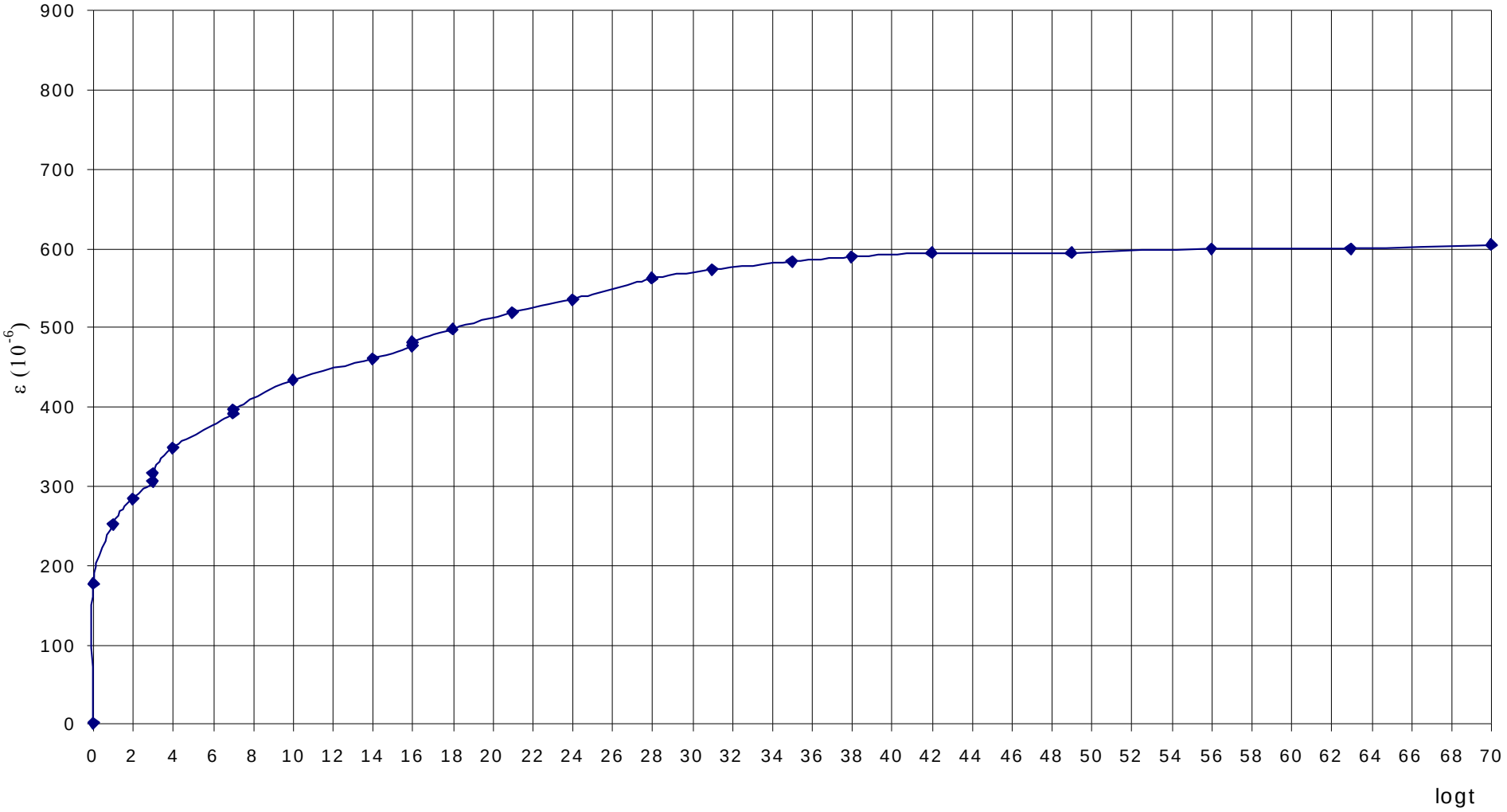


$$\ln\left[1-\left(\frac{\varepsilon_{\infty}-\varepsilon}{\varepsilon_{\infty}-\varepsilon_{0}}\right)\right]$$

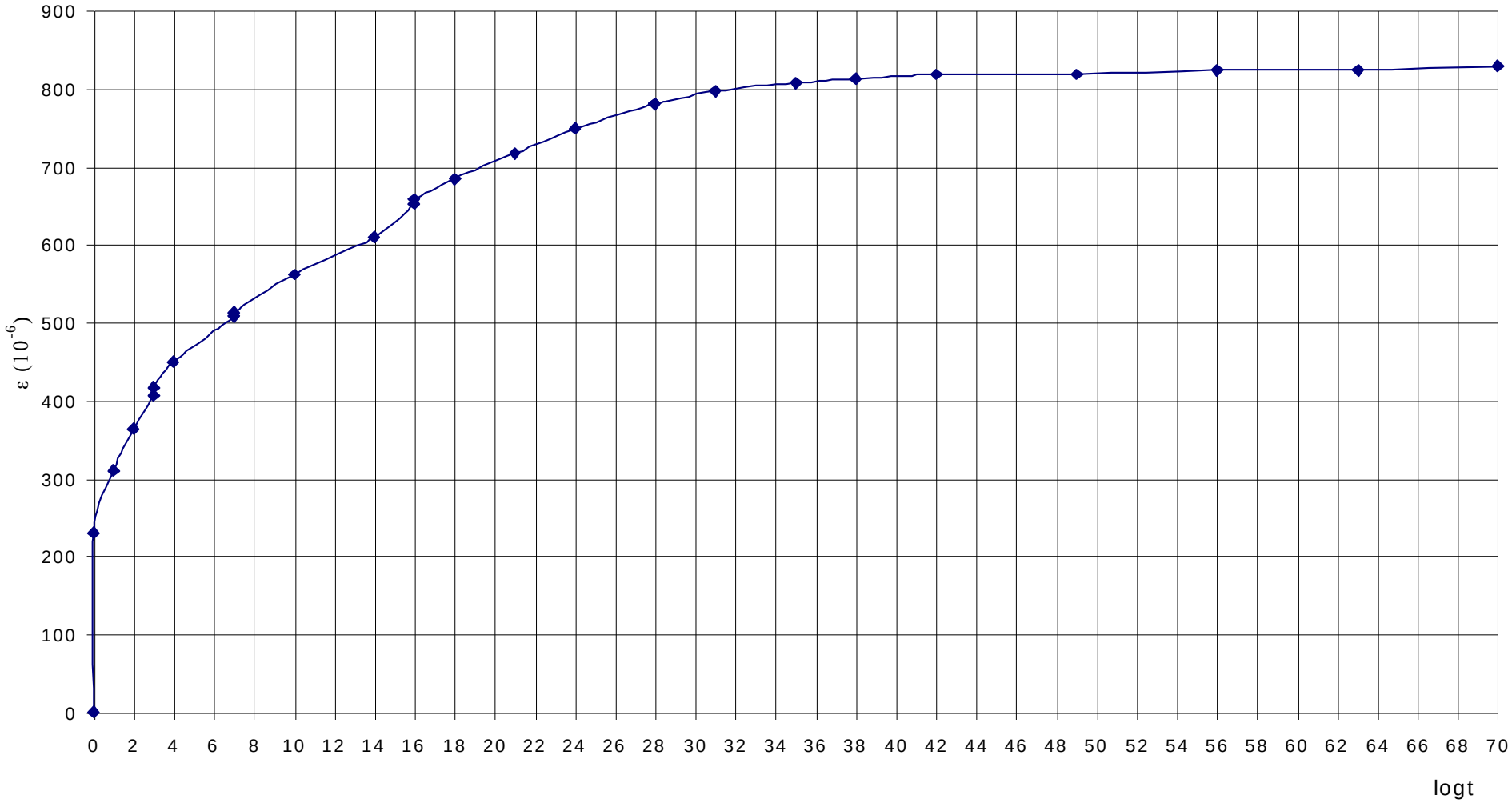
Şekil 4.21. 28.gün w=0,75 için α doğrusu



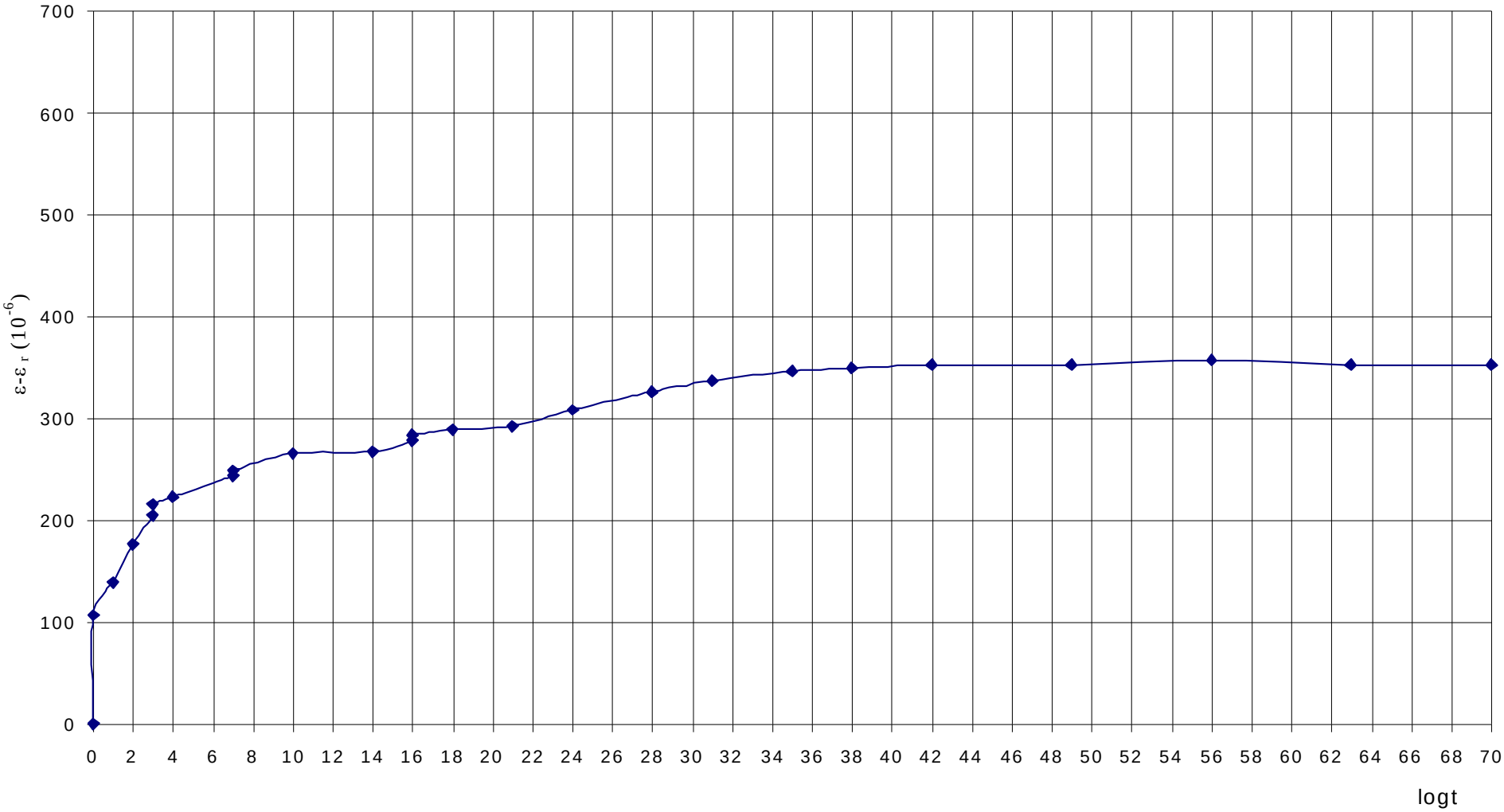
Şekil 4.22. 42.gün w=0,35 için sünme eğrisi



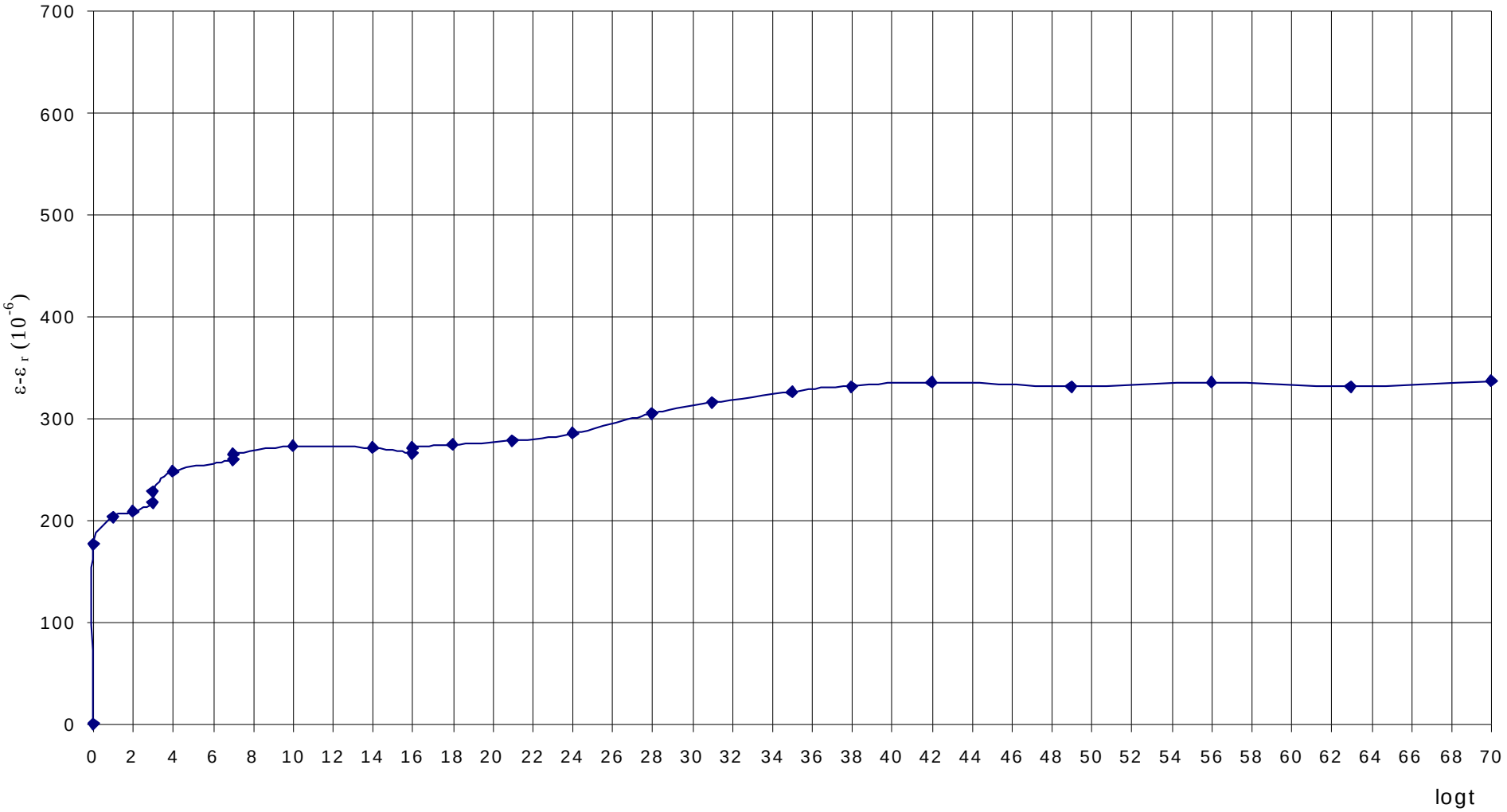
Şekil 4.23. 42.gün w=0,55 için sünme eğrisi



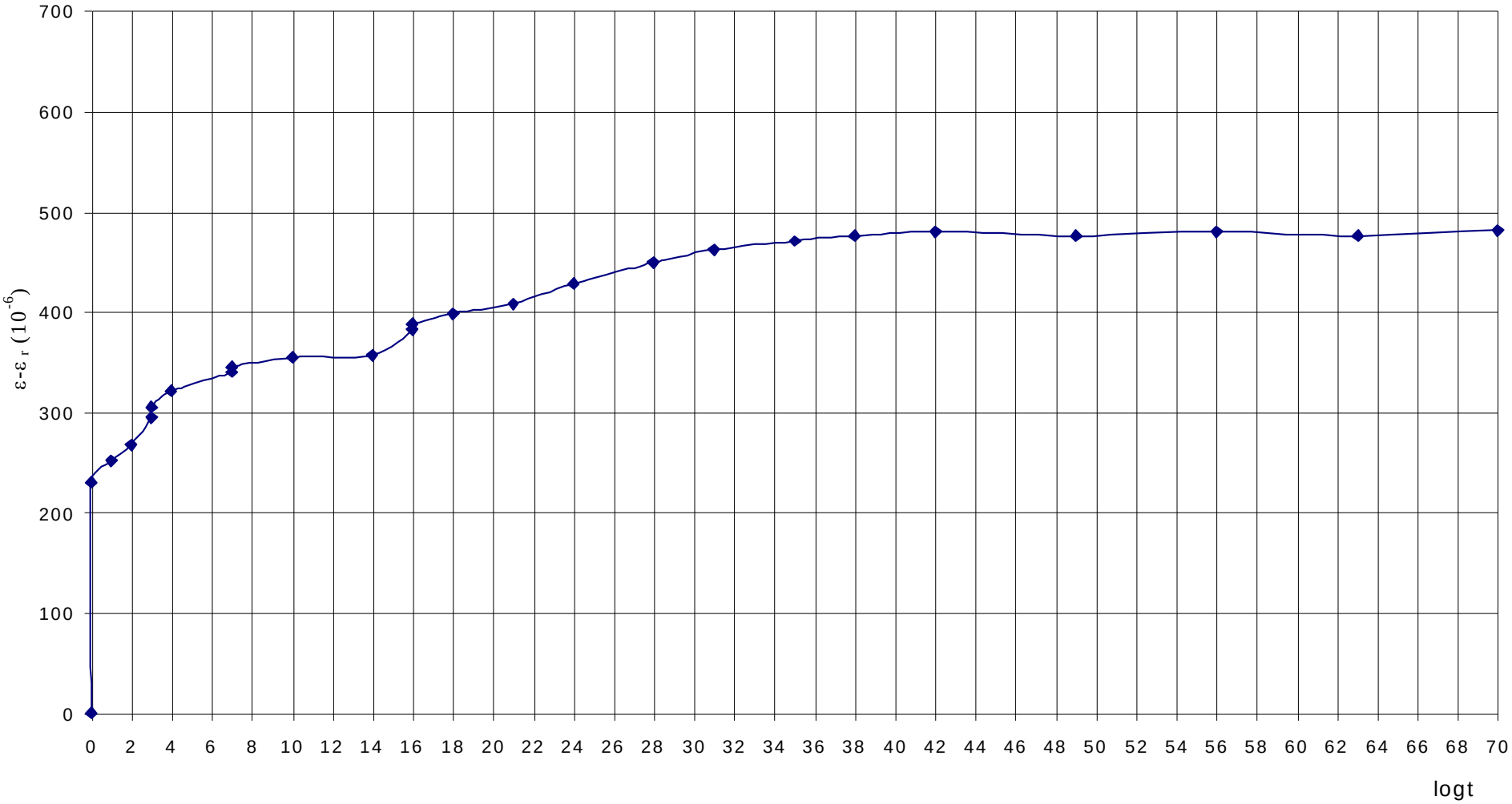
Şekil 4.24. 42.gün w=0,75 için sünme eğrisi



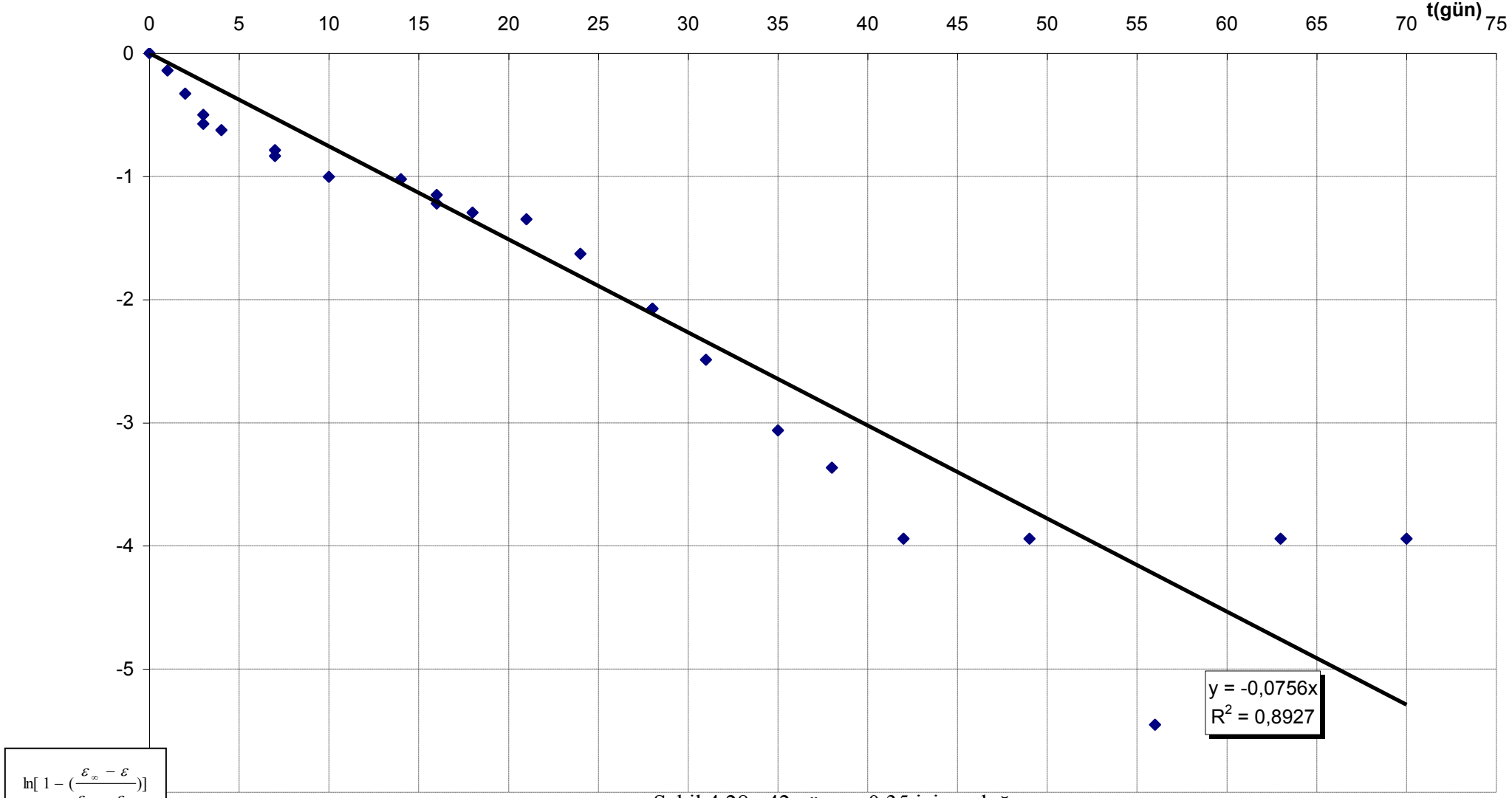
Şekil 4.25. 42.gün w=0,35 için rötresiz sünme eğrisi



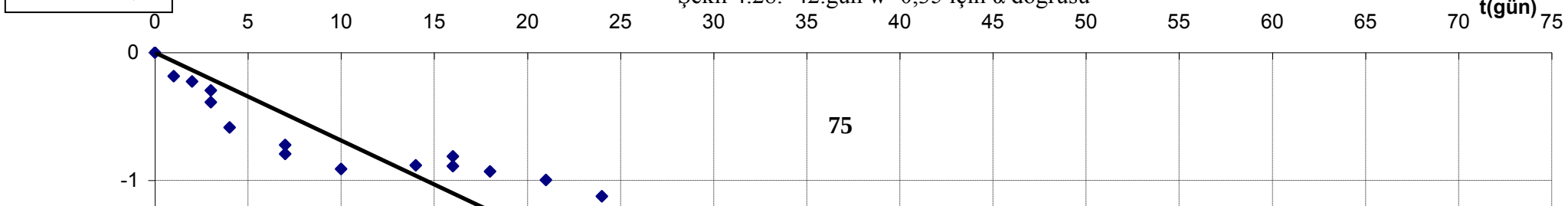
Şekil 4.26. 42.gün w=0,55 için rötresiz sünme eğrisi



Şekil 4.27. 42.gün w=0,75 için rötresiz sünme eğrisi

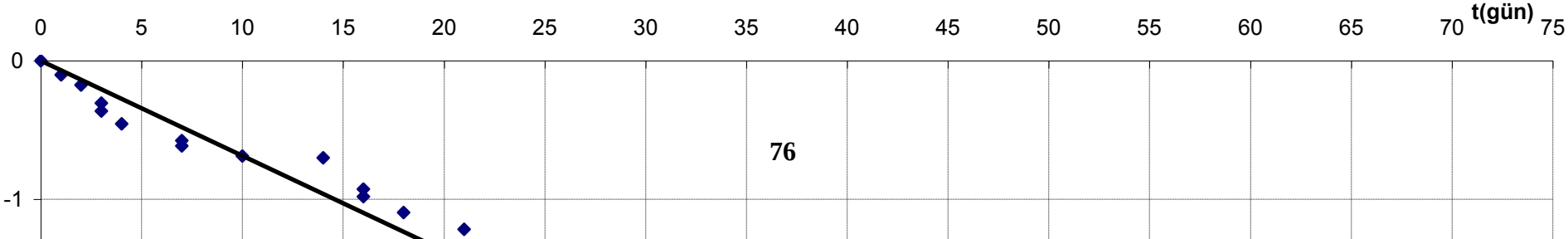


Şekil 4.28. 42.gün w=0,35 için α doğrusu



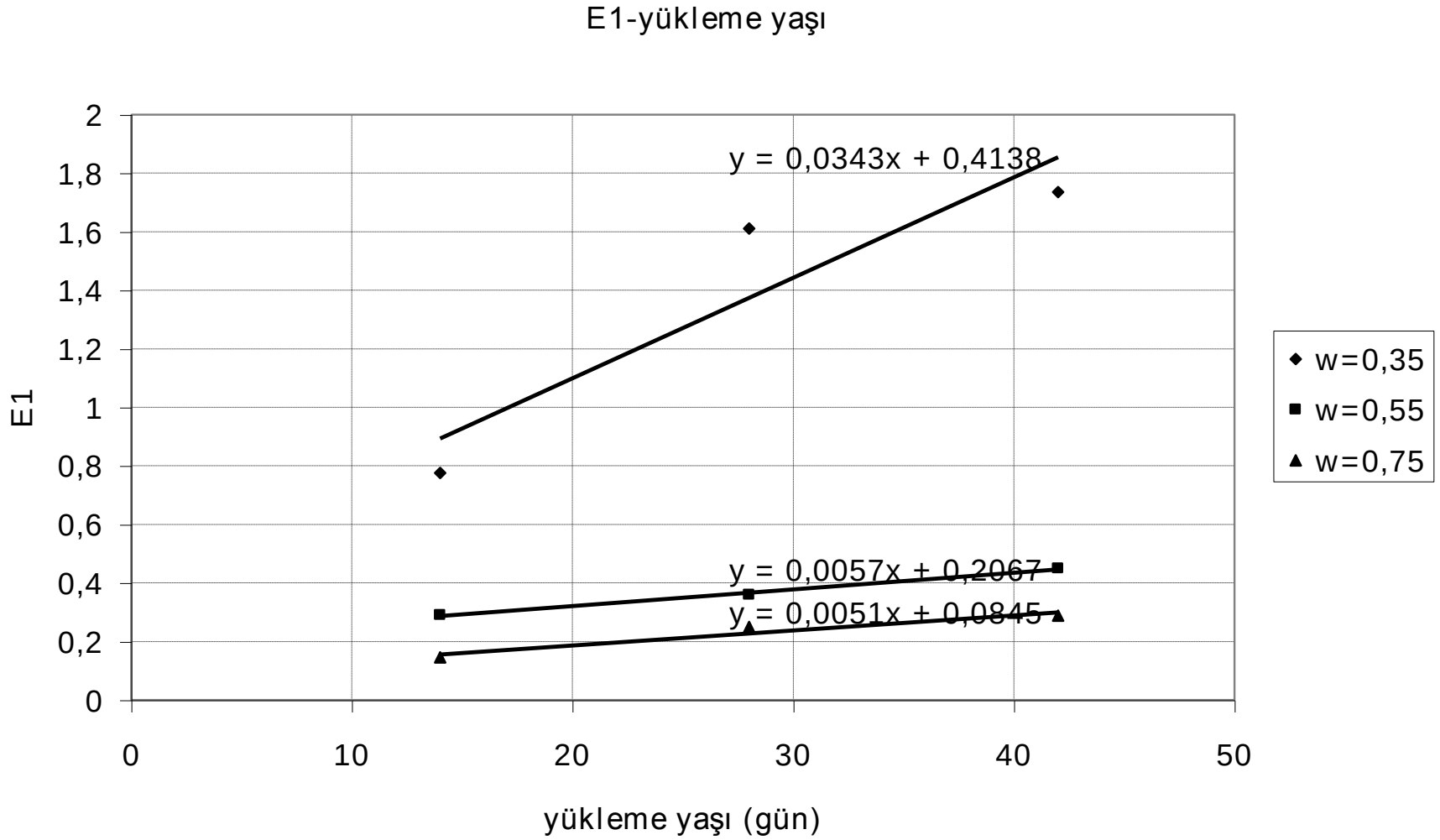
$$\ln\left[1-\left(\frac{\varepsilon_\infty-\varepsilon}{\varepsilon_\infty-\varepsilon_0}\right)\right]$$

Şekil 4.29. 42.gün w=0,55 için α doğrusu

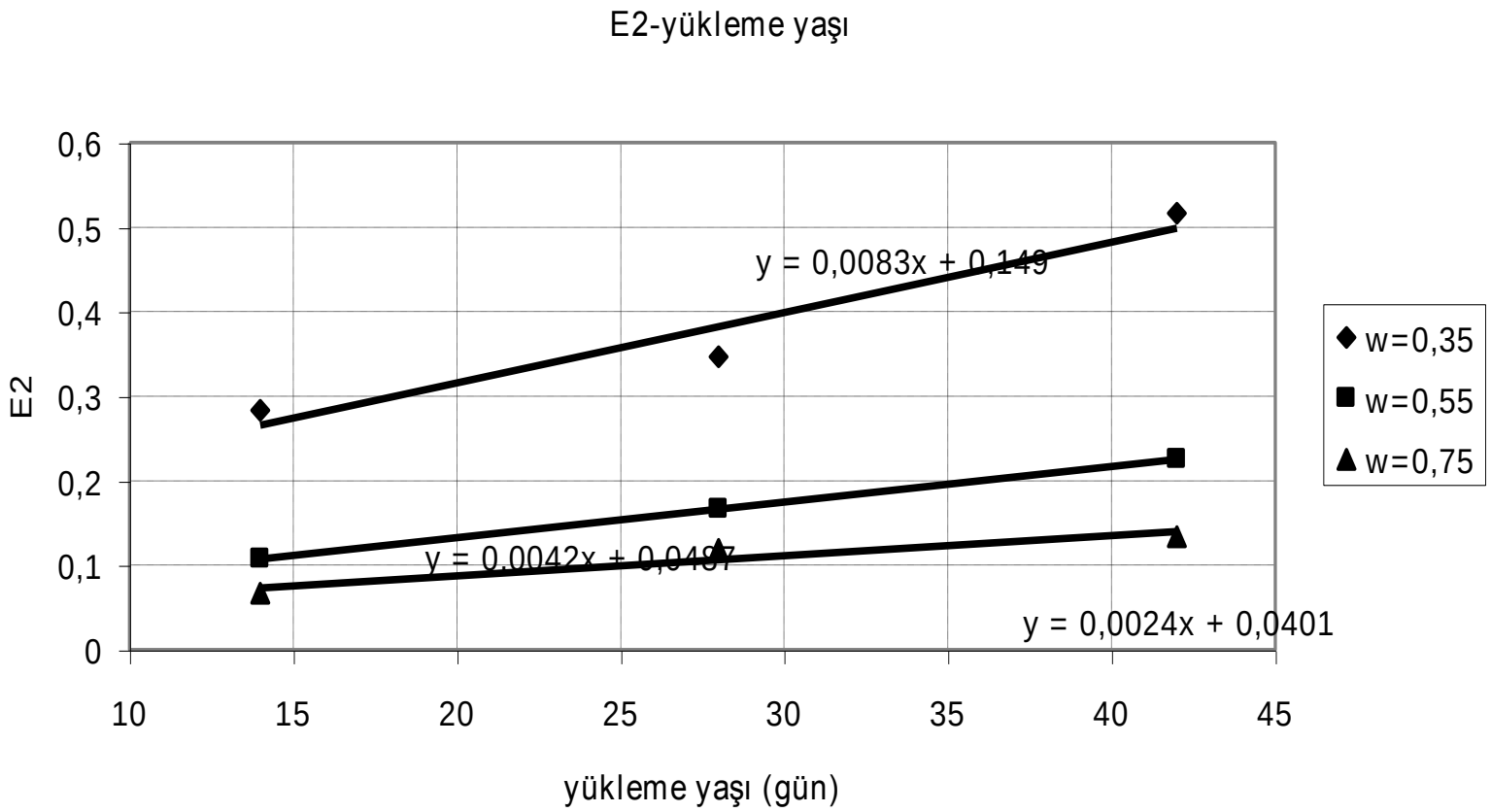


$\ln[\,1-(\frac{\varepsilon_\infty-\varepsilon}{\varepsilon_\infty-\varepsilon_0})]$

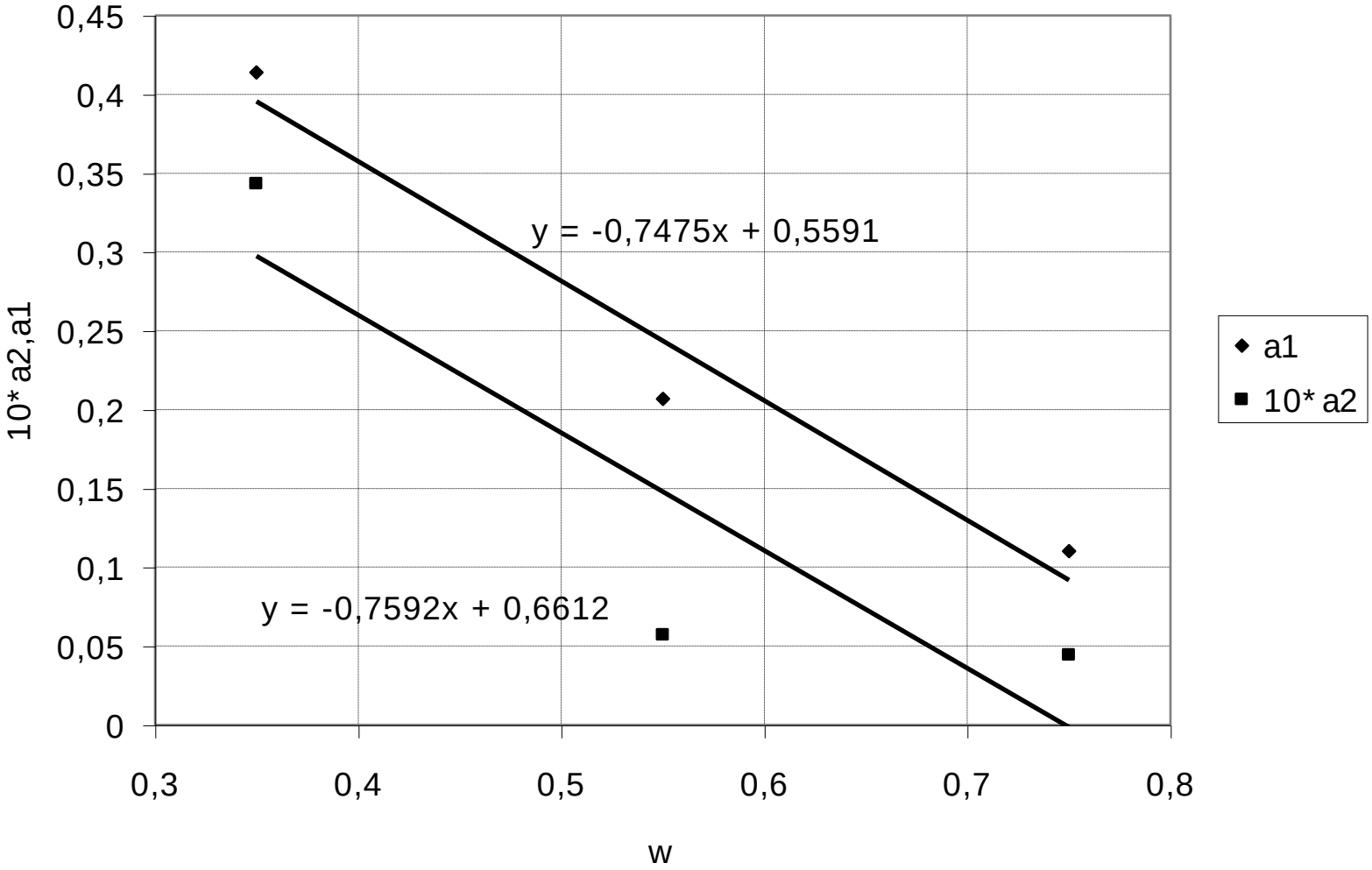
Şekil 4.30. 42.gün w=0,75 için α doğrusu



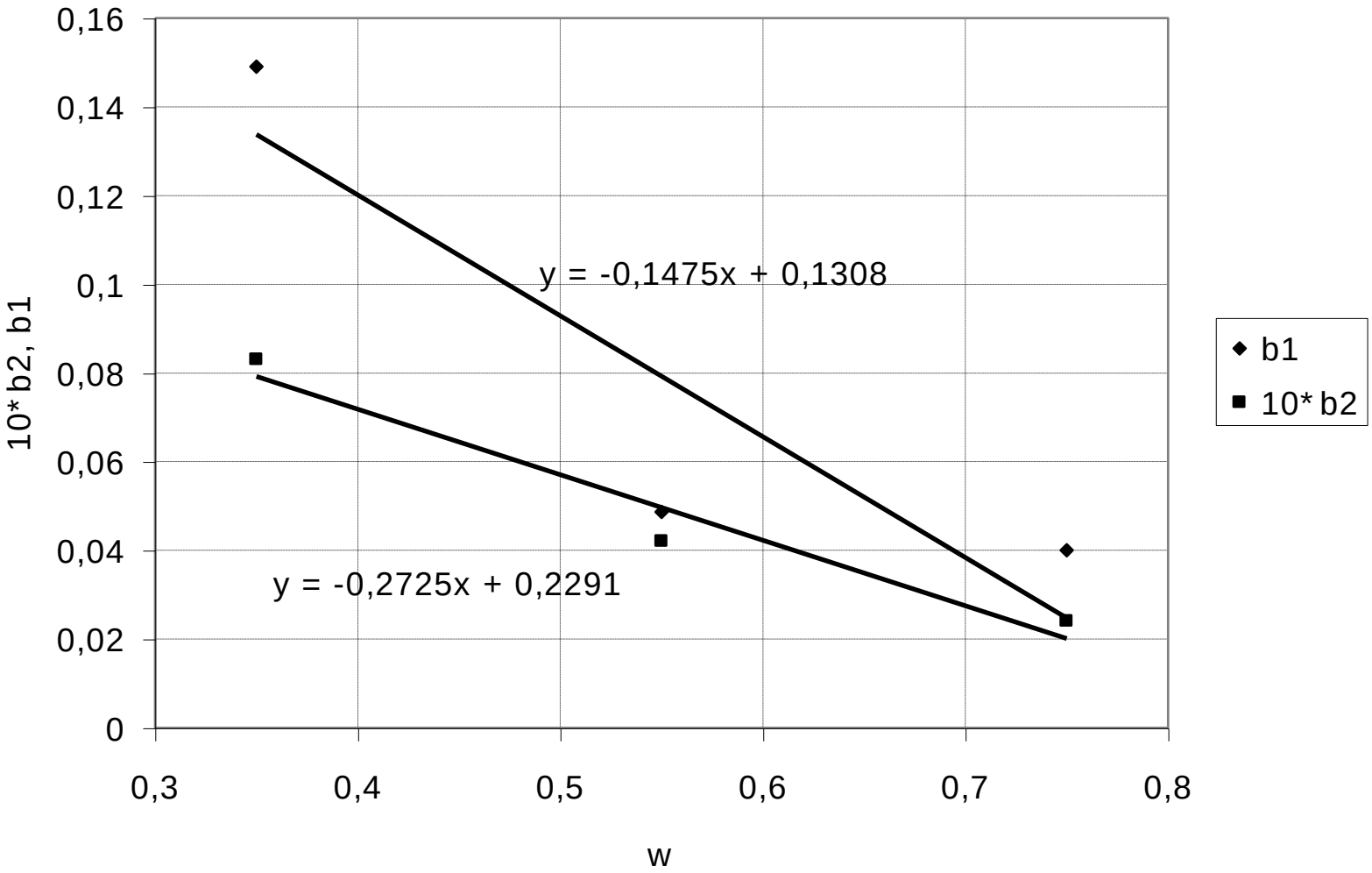
Şekil 4.31. E1 katsayısının her w için yükleme gününe bağlı değişimi



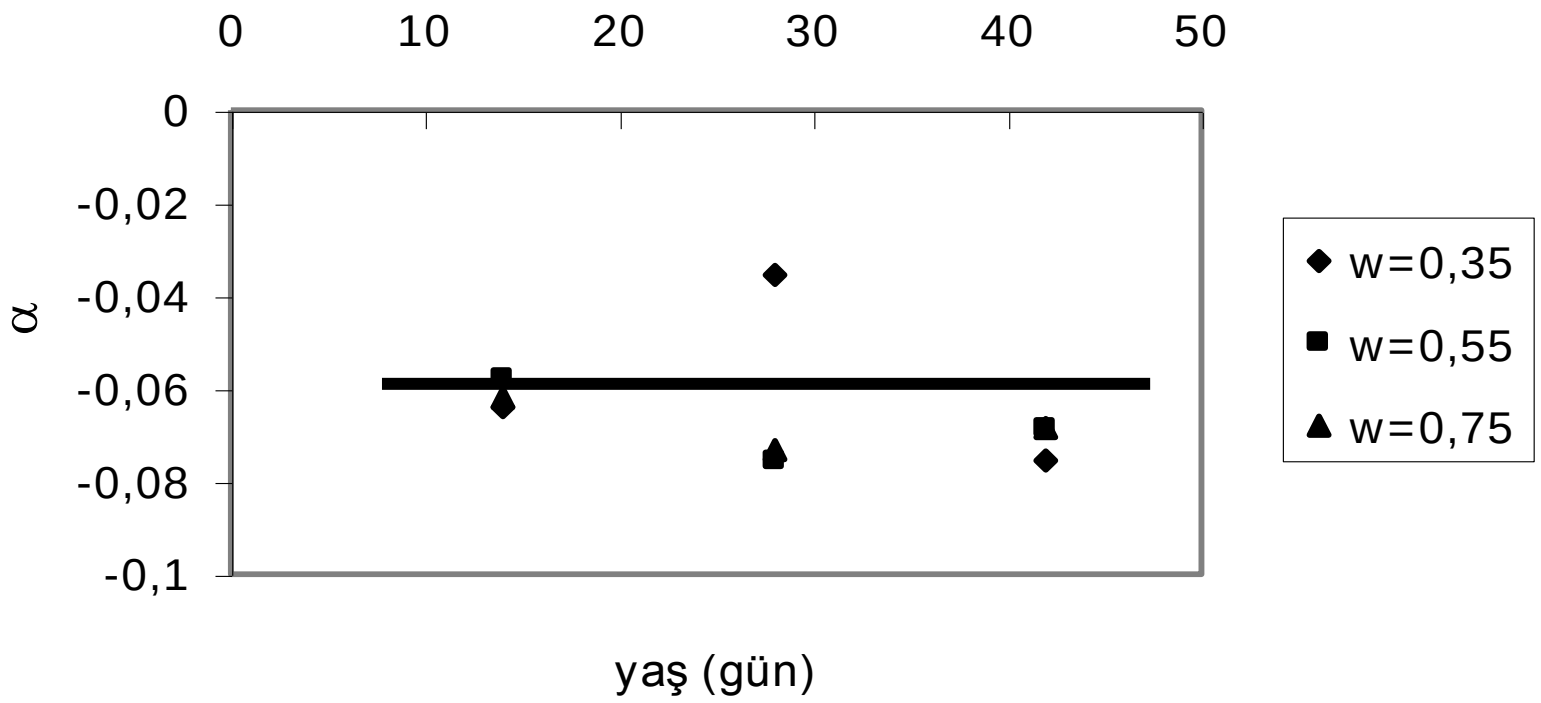
Şekil 4.32. E2 katsayısının her w için yükleme gününe bağlı değişimi



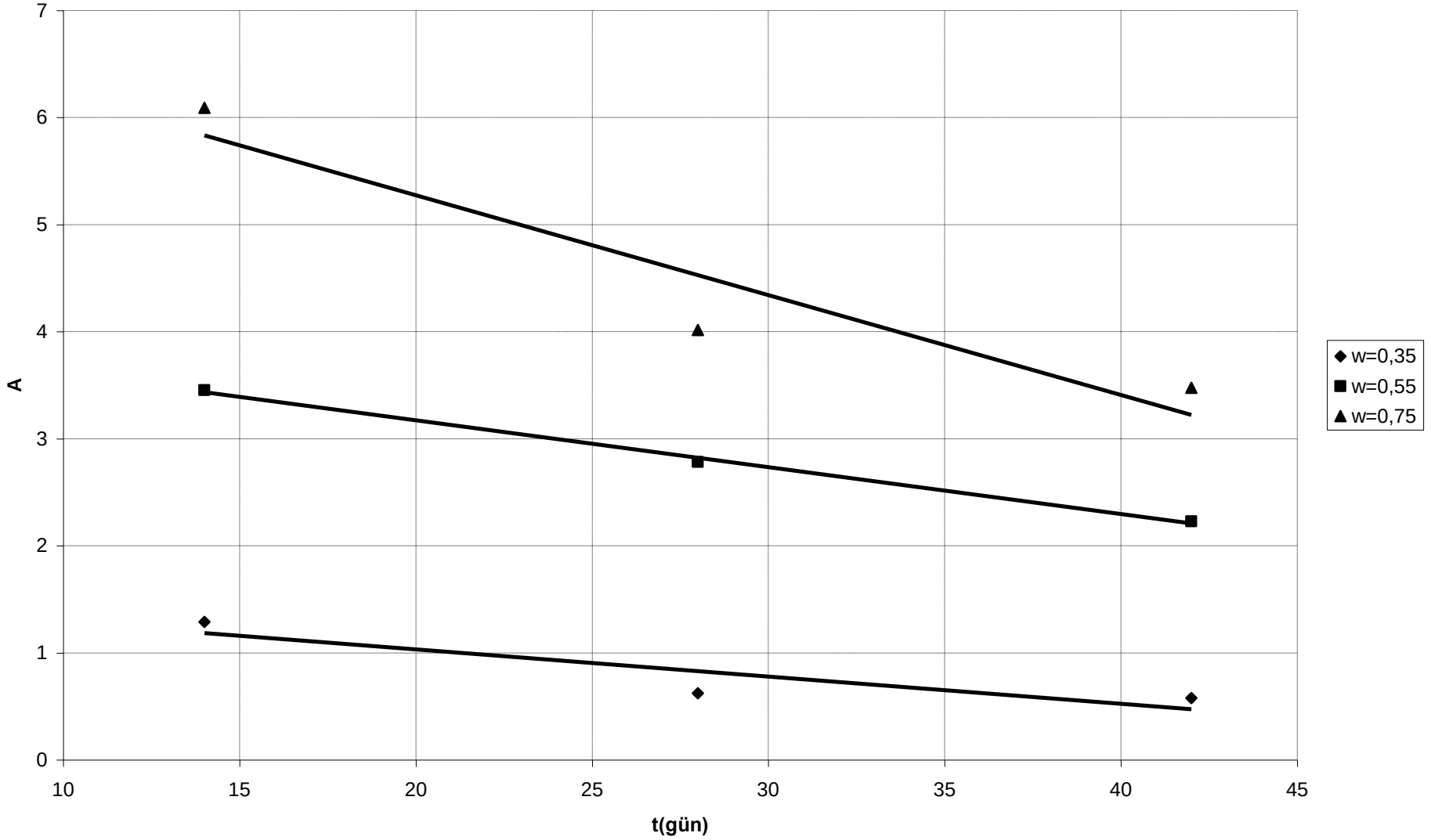
Şekil 4.33. E1 formülündeki a katsayılarının w oranına göre değişimi



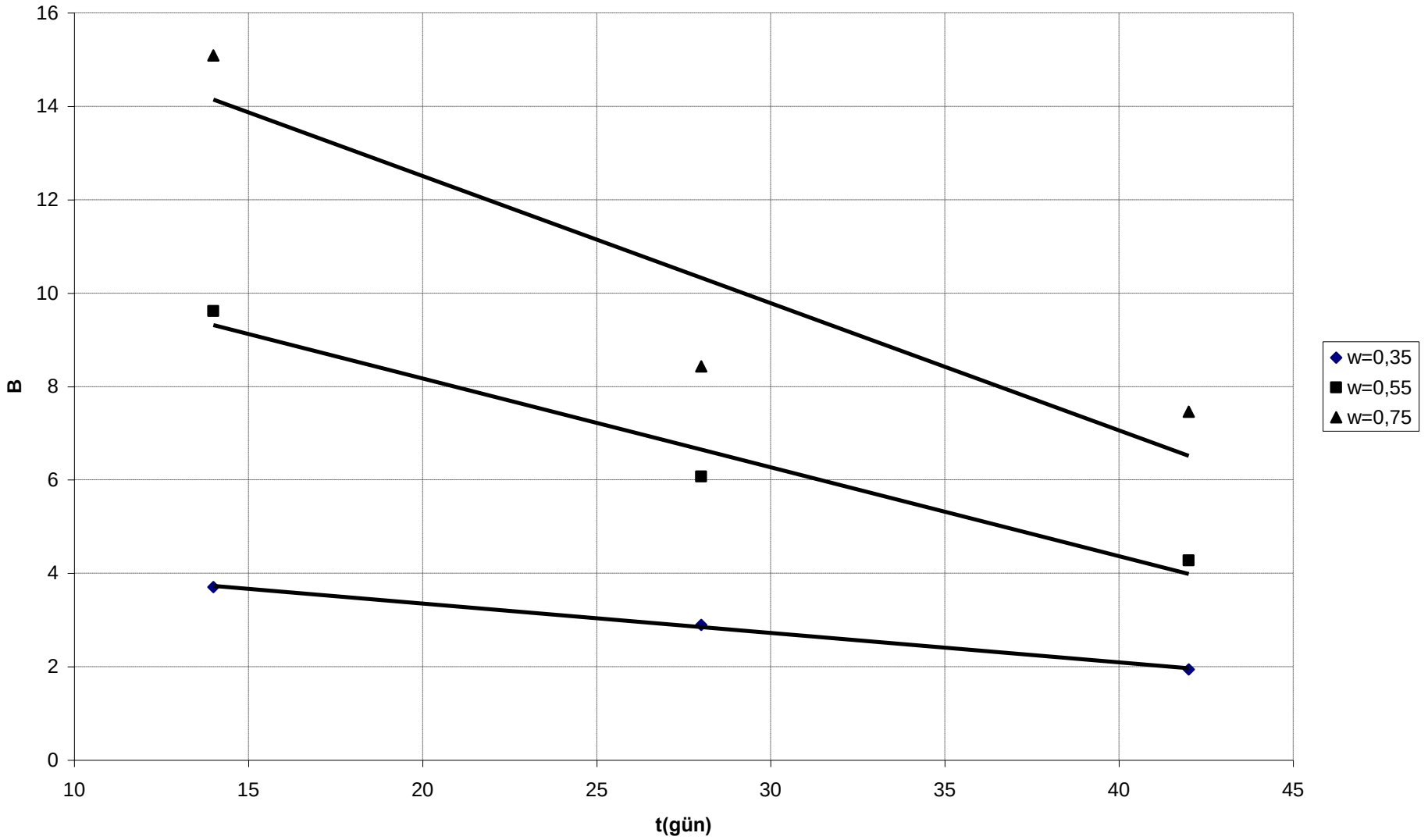
Şekil 4.34. E2 formülündeki b katsayılarının w oranına bağlı değişimi



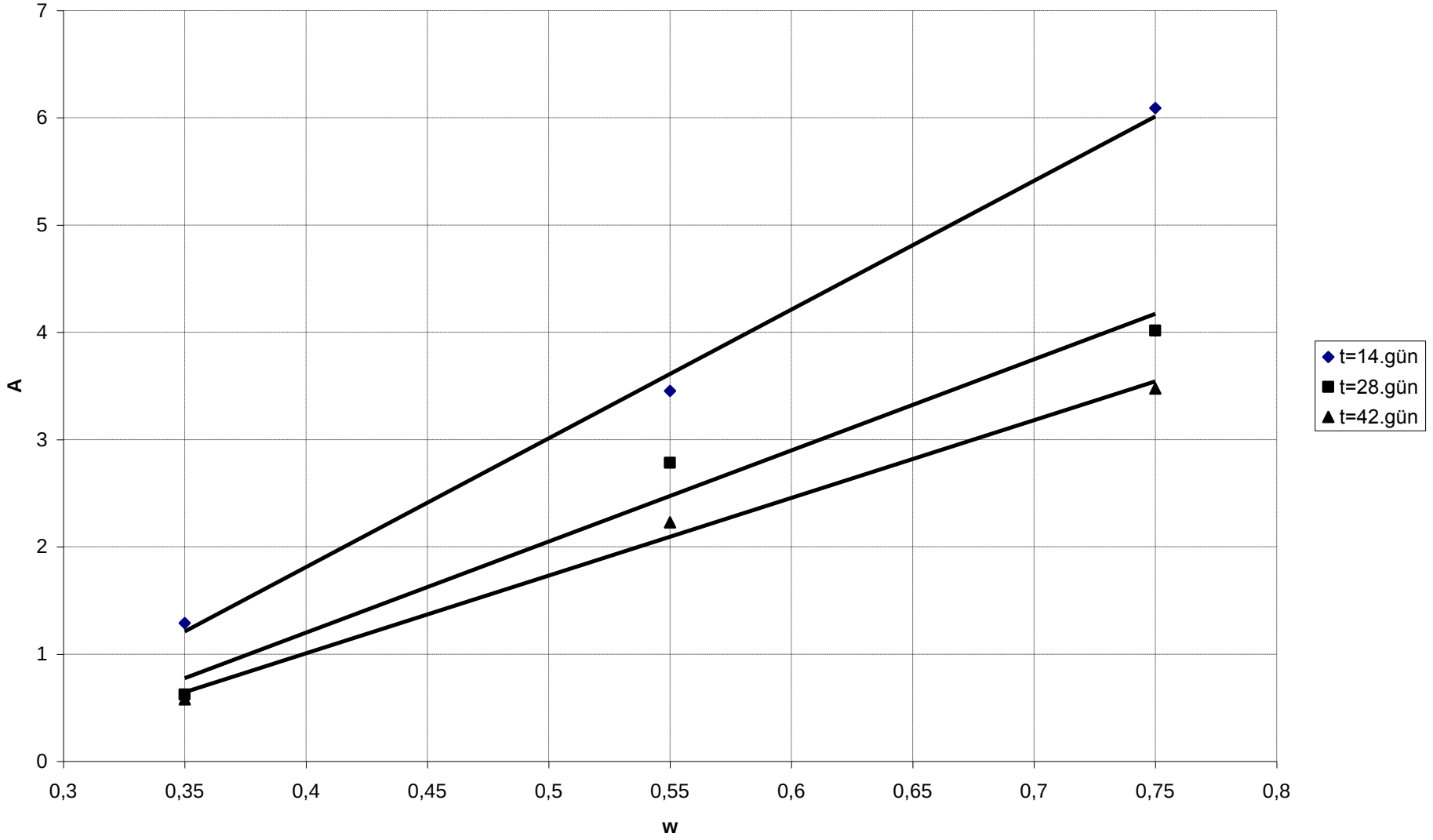
Şekil 4.35. α katsayısının her yükleme günü için her w oranına bağlı değişimi



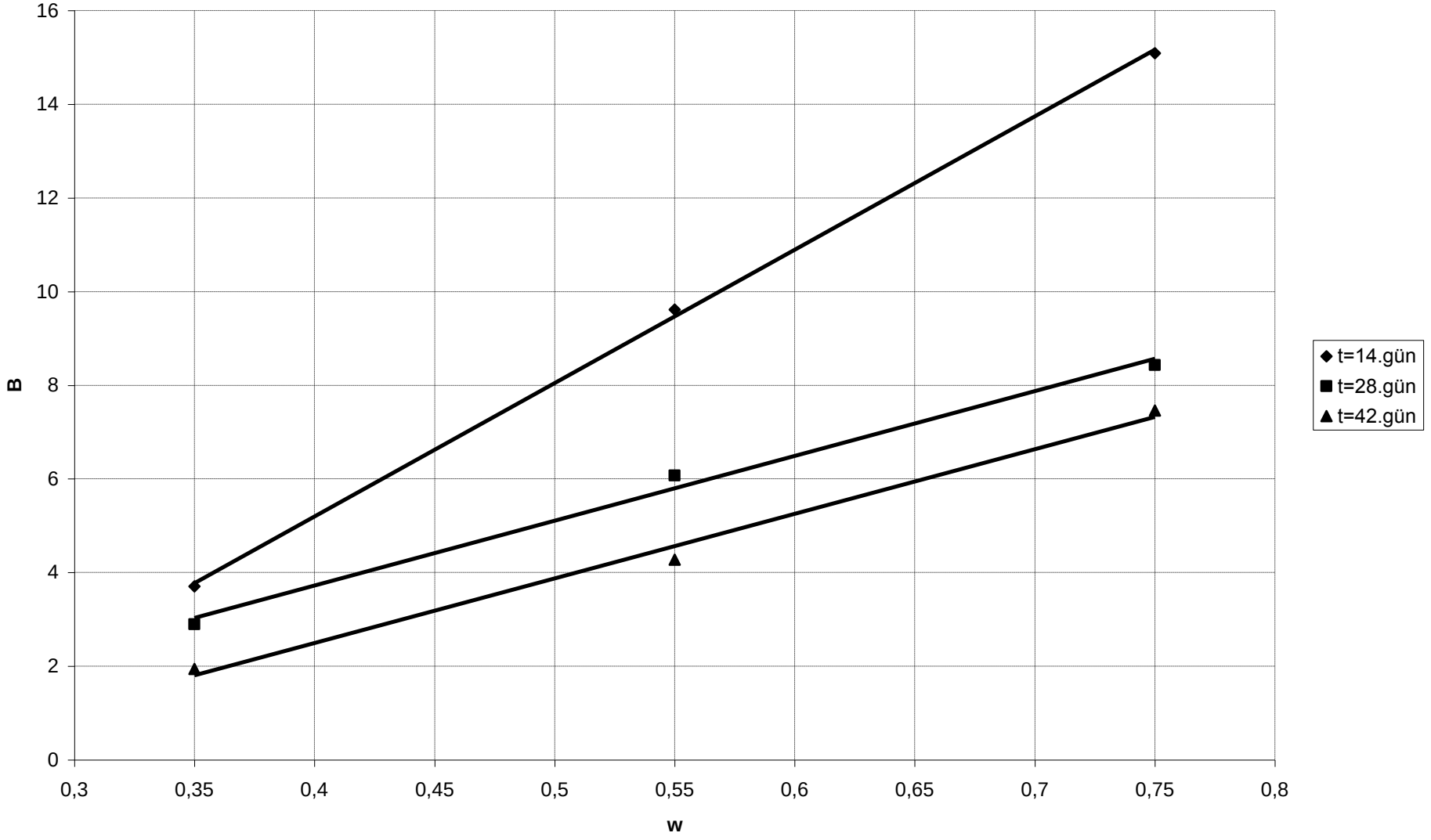
Şekil 4.36. A katsayısının yükleme gününe bağlı değişimi



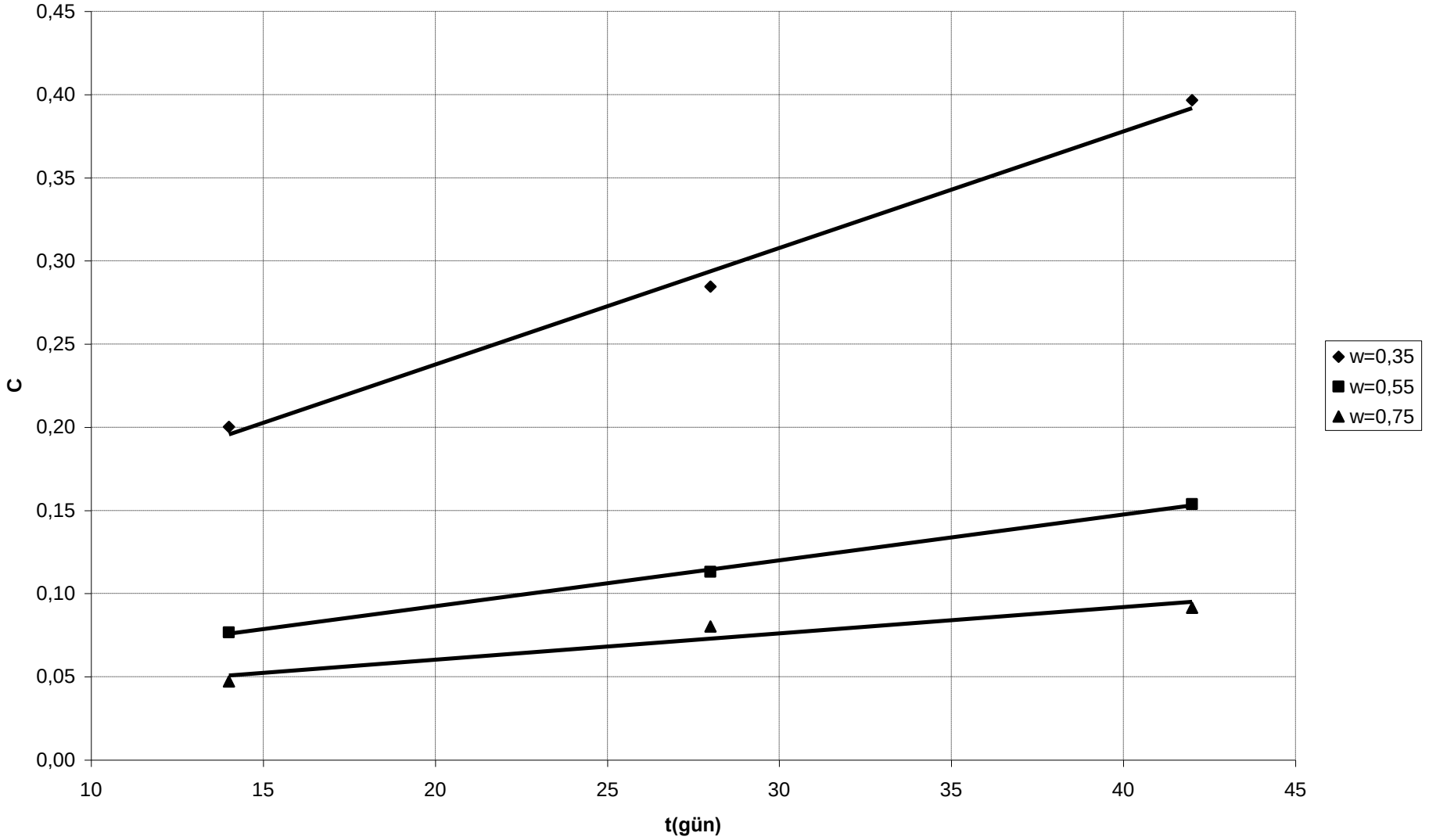
Şekil 4.37. B katsayısının yükleme gününe bağlı değişimi



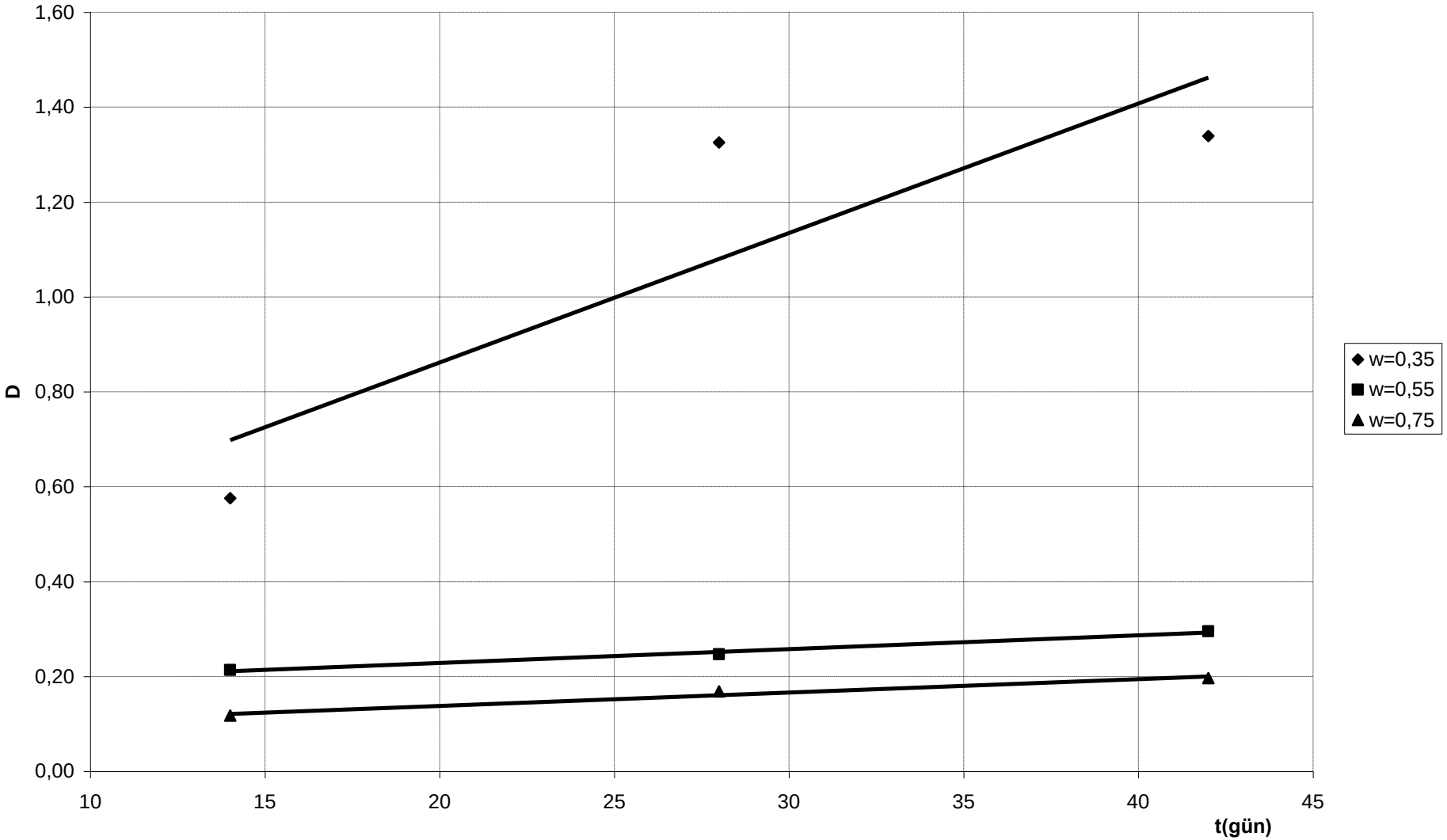
Şekil 4.38. A katsayısının w(su/çimento) oranına bağlı değişimi



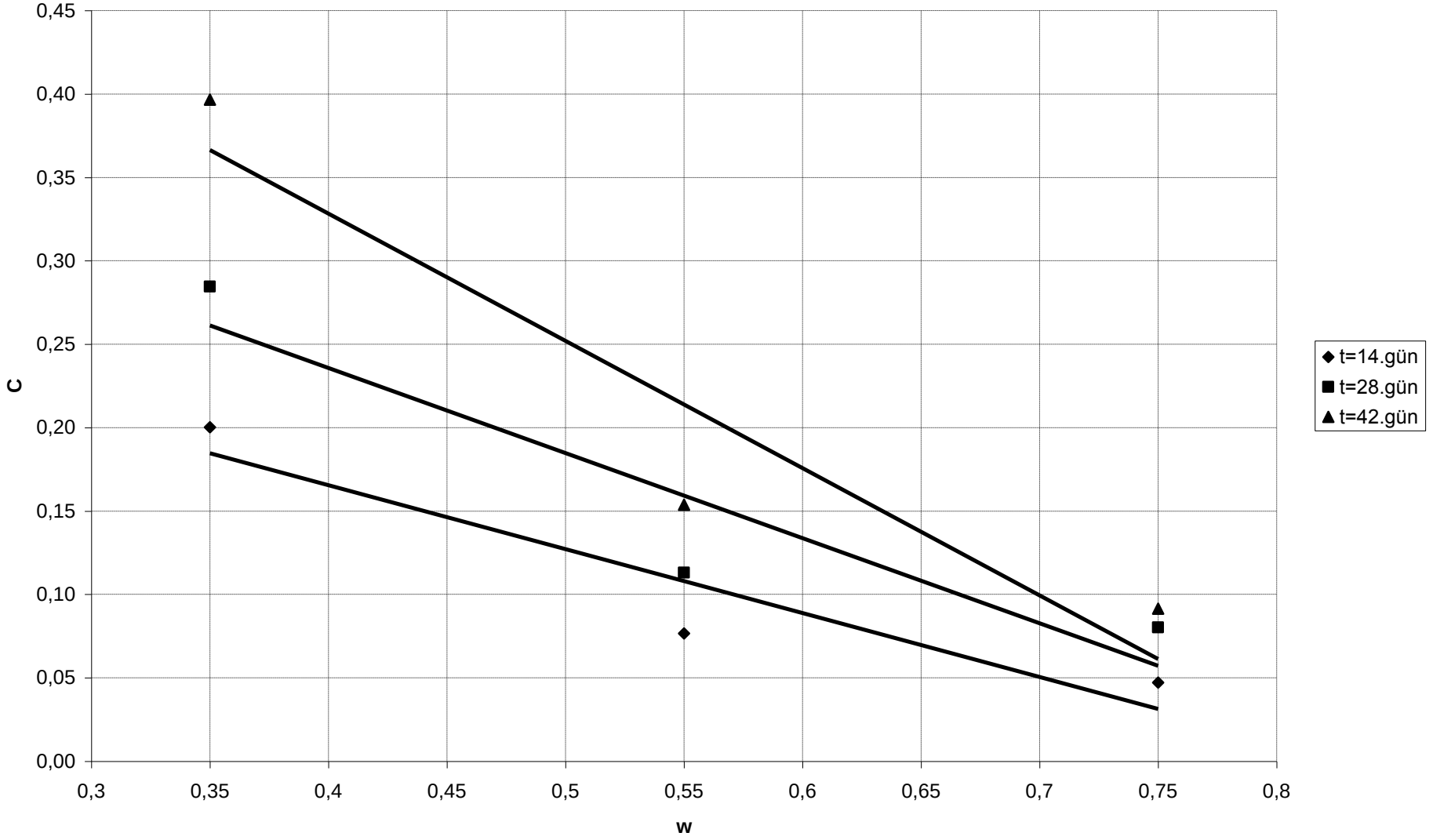
Şekil 4.39. B katsayısının w(su/çimento) oranına bağlı değişimi



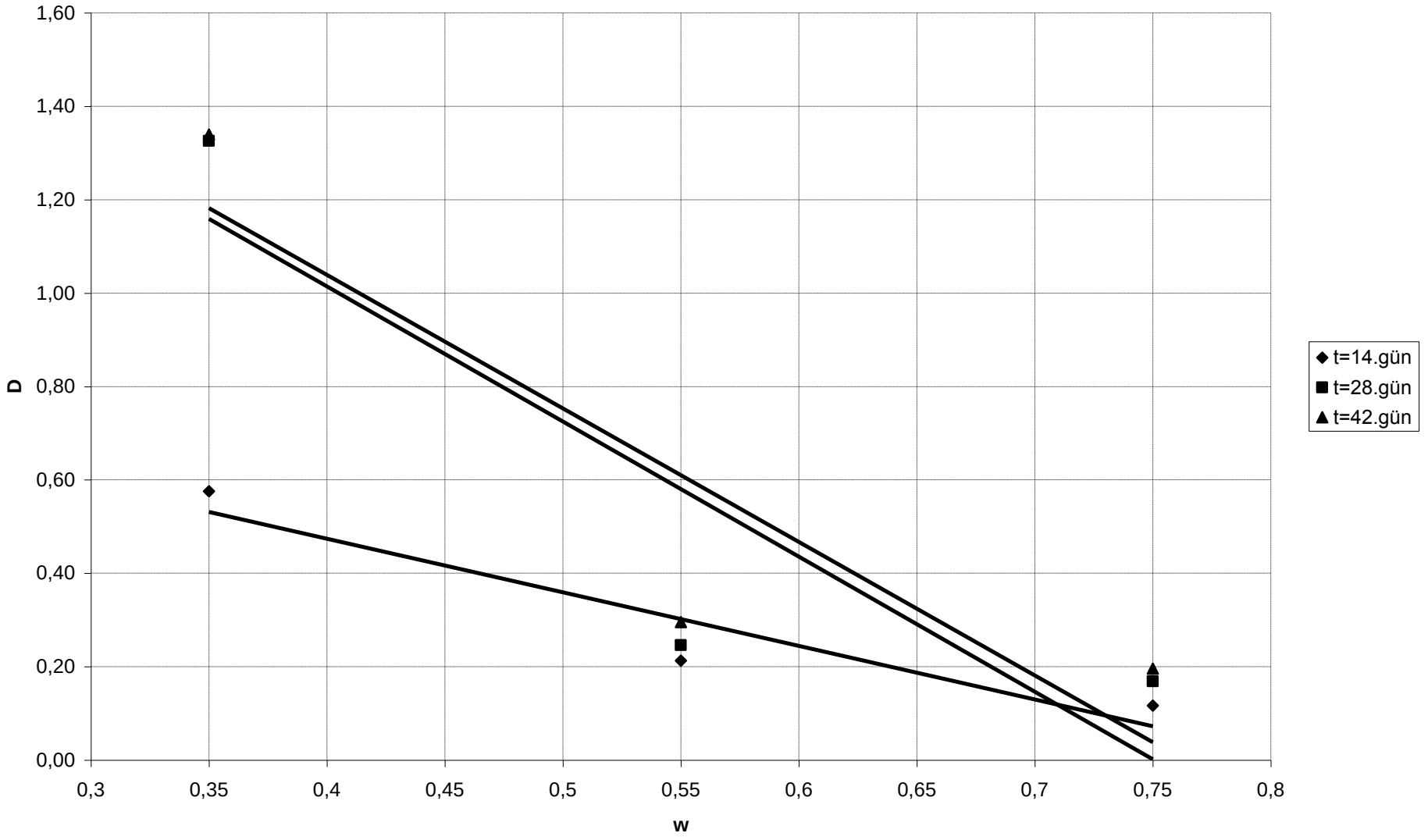
Şekil 4.40. C katsayısının yükleme gününe bağlı değişimi



Şekil 4.41. D katsayısının yükleme gününe bağlı değişimi



Şekil 4.42. C katsayısının w(su/çimento) oranına bağlı değişimi



Şekil 4.43. D katsayısının w(su/çimento) oranına bağlı değişimi