

**YORULMA İŞLEMİ SIRASINDA BAŞLATILMIŞ LİNEER ÇATLAK
İLERLEMESİNİN, DEĞİŞİK KALINLIKTAKİ VE YÜKSEK
GERİLME ORANLARINDAKİ Al - Zn - Mg - Cu (7075 - T6)
ALUMİNYUM ALAŞIMINDAN İMÂL EDİLMİŞ CT
(Compact Tension) NUMUNELERİ ÜZERİNDE, TETKİKİ**

**“THE EFFECT OF THICKNESS ON STAGE II FATIGUE CRACK
GROWTH IN Al - Zn - Mg - Cu (7075 - T6) PLATE TESTED
AT HIGH R VALUES”**

Ahmet TURGUTLU *

Abstract

Tensile and Fatigue Crack Propagation (FCP) test have been carried out on specimens of 7075-T6 Aluminium alloy of two ranges of thicknesses which are 10 mm. and 24 mm. Rates of fatigue crack propagation vs. range of stress intensity factor (ΔK) curves for this alloy has been plotted. Axial - loads were used on 120 mm. wide CT (Compact Tension) specimens. These tests were made at different stress ratios R (ratio of the minimum stress to the maximum stress) ranging from 0.6 to 0.911 and at maximum stress levels ranging from 0.6 - 2.7 Ksi (4.1 - 18.4 MN/m⁻²) to study the effects of stress ratio on fatigue crack growth. The results were compared for both thicknesses. Finally, the da/dN versus K data have been analysed and «best fit» straight lines for the graphs computed by the least square method.

1.0.0 — GİRİŞ

Muhtelif tip yapı ve komponentlerde yorulma meydana getiren problemlerin halihazırda devam etmesi, araştırmacıları endüstridekilere yardımcı olacak bilgiler ortaya koymaya itmektedir. Bunun yanı sıra, konunun kendisine has fitri ilgisi de ayrı bir teşvik unsuru olmaktadır.

* S.D.M.M. Akademisi As. Yük. Müh.

Bu makalede şimdiye kadar literatürde geniş yarıklara sebep olan ve hakkında son derece geniş çalışmalar yapılmış olan yorulma işleminin temel görüşlerinin ilerisindeki özel bir bölümü olan lineer çatlak ilerleme durumu ele alınmıştır.

Genel olarak bu ifadenin daha kesin bir tarzda belirtilmesi, analizlerin yapılmasında kolaylık getirecektir. Mantıki bir görüş olarak, kristallografik meydana gelmiş bir çatlak, gelişme periyodu ile plâstiki ve sürekli olarak devam ettirilen kesme uzamalarının sebep olduğu çatlak teşekkülünü içine alan, yorulma işlemindeki çatlak ilerlemesinin başlangıç kısmı (1) ve hızlı düzensiz bir çatlak gelişmesinden evvel, son kırılmaya götürecek düzenli ve yavaş lineer çatlak ilerleme kısmı (2) diye bu işlemi ikiye ayırabiliriz.

Başlangıç kısmı ekseriyetle düşük devirdeki yorulma işlemlerinde inceleme konusu olmuştur. Çoğalma kısmı ise kırılma mekaniğinin görüşlerinin analizinde önem kazanmıştır. Halihazırdaki yorulma teorileri tamamiyle anlaşılmış olsaydı, böyle bir ayırımın yapılması söz konusu olmayacaktı. Maalesef zamanımızda böyle mevcut bir teorinin olmaması; kara taşıtlarında, çatlağın lineer ilerleyen kısmının; uçak endüstrisinde, çatlak başlangıç kısmının nazarı itibare alınmaması gibi mühendis ve dizaynırları tipik özel ayırımlara itmiştir.

Çatlak büyüme miktarında oldukça geniş bilgi elde edilmiş olmasına rağmen, çatlak büyüme miktarına etki eden çeşitli parametrelerin etkisindeki sistematik bilgi noksanlığı halen vardır. Bu sebepten yorulma sırasındaki çatlağın gelişmesine son derece etki eden herhangi bir parametre, parçaların toplam yorulma hayatındaki davranışına ehemmiyetli derecede etki edecektir. Gerilme oranı ve numune kalınlığı bu makalede kısmen üzerinde durulmuş iki parametredir. Araştırma için seçilen 7075 - T6 Alüminyum alaşımı, uçak sanayiinde en sık kullanılan bir konstrüksiyon malzemesi olması dolayısıyla, tercih sebebi olmuştur. Aynı zamanda ümit edilmiştir ki, muhtelif tarzdaki gerilmelerin ortaya çıktığı, kalınlık etkisi, özel olarak teşkil edilecek kompozit malzemelerin yapılmasıyla değiştirilebilecektir.

2.0.0 — KONUNUN TANITILMASI

Uçak sanayiini ilgilendiren aşımelerde, yorulma sırasında gelişen çatlak büyümesi miktarıyla ilgili, son senelerde, hatırı sayılır derecede bir bilgi artışı olmuştur.

Genel olarak, yavaş çatlak büyüme karakteristiği gösteren alaşımlar, hızlı artış gösterenlere nazaran, tam kopma olmadan evvelki yorulma işlemi sırasındaki tayininin daha büyük bir ihtimali olduğu hususunda açık bir avantaja sahiptir. Aynı zamanda gelecekte, kemiyetsel çatlak çoğalma durumu, daha hassas metodlar için yapının emniyetli hayatının tayininde esas olarak kullanılabilmesi umulmaktadır. Gerçi kalın ve ince kesitlerdeki metallerin, yorulmadan mütevellit kullanılmaz hale gelmesi, çalışma ve analizi en kolay olan her iki durum için ciddi problemlerdir.

Malzeme işlemlerindeki veya ziyansız kalite kontrolündeki çalışmaların en son seviyesi, yapısal parçalarda çatlak veya yarıkların önlenmesine kifayet edecek durumda değildir. Değişen yük altındaki yapıların bu çatlak büyümesine karşı direnci, da/dN, değişen her devire düşen çatlak ilerlemesinin şiddeti vasıtasıyla ve gerilim şiddet faktörünün, ΔK , bilinen bir seviyede tutulmasıyla ölçülmüştür.

Değişen da/dN ordinatına karşı ΔK apsisinin değişen değerlerini gösteren grafikte, başlangıç seviyesindeki ΔK değerleri « ΔK_{th} » olarak belirtilmiştir. Ekseriyetle «Kademe I» diye gösterilen kısımda ΔK nın düşük değerlerine bağlı çok keskin inişli da/dN eğrisi, orta kısımdaki «Kademe II» bölgesi biraz daha az meyilli olarak ΔK değerlerinin mukayesesi yapılır. Başlangıç seviyesindeki ΔK değerlerinde olduğu gibi, son kademe de, da/dN nin ΔK ya olan bağıntısı hemen hemen dik olup gerilim şiddet seviyesi K_{Ic} veya malzemenin kırılmaya karşı dayanıklılığı dediğimiz değere yaklaşır. Muhtelif metallerde veya alaşımlarda Kademe II için, da/dN değerleriyle ilgili çok geniş hacimde bilgiler ortaya çıkmaktadır (1 - 5). Kademe I deki da/dN değerleri için literatürde çok az bilgi mevcut olup fakat her halükârda ΔK_{th} mevcudiyetini belirtecek kifayettir (6 - 8).

Yorulma sırasındaki çatlak büyümesi hususunda literatürdeki ilk derlemelerle, Kademe II deki da/dN bilgisinin genel olarak «Paris kanunları» diye bilinen kuvvet denklemi vasıtası ile fonksiyonel olarak açıklanabileceği sonucuna varılmıştır (1 - 3).

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

burada C ve m malzeme sabiteleri olarak bilinir. m, mekanizmaya bağlı ve 2 ila 4 veya daha yüksek değerler alabilen bir kuvvet eksponen-

tidir. Mamafih, literatürdeki yayınlar, malzemelerin hususiyetleri ile m ve C arasındaki karşılıklı münasebetlere kadar gitmemiştir.

3.0.0 — DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1.0 — MALZEME

Bu çalışma için kullanılmış alaşım Al - Zn - Mg - Cu olup 7075 nolu Amerikan standardına uygundur. Alaşımın hakiki kompozisyonu için yapılmış analiz neticesi yüzde ağırlık cinsinden aşağıda gösterilmiştir. Kullanılmış 7075 - T6 Al alaşımının kompozisyonu

(% ağırlık cinsinden)

Zn	5,253
Mg	2,136
Cu	1,491
Mn	belirtisi bulunmuştur
Cr	0,216
Si	1,664
Fe	0,103
Al	geriye kalan

3.1.1 — DENEY PARÇALARININ HAZIRLANMASI

150 mm. genişliğinde 144 mm. uzunluğunda, 28 mm. kalınlığındaki 7075 - T6 Al alaşımından ve orijinal plâkanın haddeleme istikameti numunelerin uzunluğuna paralel olacak şekilde kesildi. Bu parçalar istenilen kalınlığa kadar sıcak haddeleme ile inceltildi. Haddelenmiş numuneler 440°C de tavlama işlemine tabi tutuldu. Bilâhare parçalar 465°C de iki saat müddetle ısıl işleme tabi tutulup 20 - 22°C deki su içerisine daldırılarak ani soğumaya bırakıldı. Son olarak, maksimum mukavemeti elde etmek için 135°C de 18 saat müddetle sun'î yaşlandırmaya tabi tutuldu. Bu işlem 7075 Al alaşımında T6 şartını sağlamıştır.

Yorulma numuneleri ısıl işleme tabi tutulmuş parçalardan şekil 4.2 de görüldüğü gibi işlendi. Dizaynda, yüklem eksenini bütün durumlarda haddeleme istikameti ile aynı yönde olup Bisra standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır (9). İşlenmiş olarak atelyeden çıkan yorulma deney parçalarının çentiklerinin içteki kısımlarına çatlak başlangıç noktası olabilecek çok ince yarım veya birer milimetre derinliğinde yarık-

lar açıldı. Bunun için kıvılcım makinesi kullanıldı. Son olarak, su altında 600 mikron derecede son bulan, zımpara kâğıtları ile çatlağın ilerleyeceği kısımlarda yüzey pürüzsüzlüğü sağlandı.

Bütün çekme deneyi numuneleri ise Hounsfield no: 14 yuvarlak standart numunelere göre hazırlandı.

3.2.0 — YORULMA DENEYLERİ

Eksenel yüke maruz yorulma sırasındaki çatlak ilerlemesinin tesbit edildiği deneyler, çekme yüklemesi altındaki hidrolik Instron yorulma cihazında icra edildi.

Genel olarak, deneyler, yüksek gerilim oranlarında çatlak gelişmesinin, değişik kalınlıktaki numunelerdeki etkisini görmek için düzenlenmiştir. Çatlak ilerlemesi sırasında, mesafenin düzenli bir şekilde tayinine yardımcı olacak belirli aralıklardaki işaretler, sertlik cihazında tesbit edilmiştir. Deney sırasında meydana gelen çatlak ilerlemesi, muhtelif aralıklarda çekilen fotoğraflardan çatlak uzunluk miktarı «a» hesap edilmiştir ve buna karşılık olarak isabet eden «N» devir sayısı ile birlikte, çatlak ilerleme miktarını, gerilim şiddetine karşı belirleyecek olan da/dN değerleri hesap edilerek bulunmuştur. Neticeler, logaritmik ΔK değerine karşı logaritmik da/dN değerlerinin teşkil ettiği grafikler çizilmiştir.

Verilmiş bir pozitif R değerindeki her deneyden elde edilen değerlerin ΔK miktarlarına karşı çizilen diyagramlar toplu bir dağılım göstermişlerdir. Bu yayılımlar sistematik olarak R değeri ile değişmiştir. Verilmiş ΔK değeri için yorulmadaki çatlağın gelişme miktarı, gerilim oranı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Gerilim oranının farklı değerlerindeki bu dağılım ΔK artarken büyümüştür. Deneylerdeki kalınlık etkisi olarak, ince numunelerde daha yavaş, yorulma çatlak ilerleme miktarının hasıl olduğu bulunmuştur. da/dN değerine karşı ΔK değeri analiz edilerek eğriler için «en uygun» doğru hatların denklemleri en küçük kareler metoduna göre bulunmuştur. Her nokta takımları sırasıyla m_1 ve m_{11} eğimlerini havi ayrı iki doğru hattı tarafından tanıtılacak şekilde nazarı itibare alınmıştır. m_1 ve m_{11} değerleri ve m_{ort} değerleri Tablo 12 de verilmiştir. Ayrıca diğer ilgili değerlerden olan C katsayısı (Paris denklemindeki katsayı) ve Kısım I den Kısım II ye geçişteki gerilim şiddet faktörü ΔK_{I-II} ve $(da/dN)_{I-II}$ değerleri de aynı tabloya ilave edilmiştir.

4.0.0 — DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Literatürde bilindiği üzere, malzemelerin yorulma özelliklerindeki gelişme, mevcut keskin bir çentikte gelişen çatlağa karşı geliştirilen dirençli kapsamı içerisine alır. A. K. Head (10)'in 1953 de teorik olarak türettiği çatlak uzunluğu ve devir sayısı arasındaki bağ yayınlandığında alakalı durumlar değerlendirildi. Bu zamandan daha önce dizayn kriterine çentiksiz numunelerde $S/\log N$ bağıntısı temel teşkil etmekte idi ve parçanın yorulma hayatında çatlak başlamasının önlenmesi için gayret sarfedildi. Maalesef bilinen gerilimlere maruz basit bir geometriye sahip parçalar için, o mümkün oldu. Bu yaklaşım aynı zamanda büyük emniyet faktörlerini içine alır ve ağırlık faktörünü de sınırlar. Yüksek mukavemete karşı düşük ağırlıklı yapıların ekseriyetle dizaynlarda temel olduğu günümüz problemleri sebebiyle, onlar, gelişmekte olan yorulma çatlağına ait hususları özellikle içine alacaktır. Bu sebepten yorulma sırasındaki çatlak ilerlemesi miktarı ile, diğer değişkenler arasındaki münasebetleri tayin etme gereği duyulmuştur. Açık olarak değişen gerilim şiddetleri bu değişkenlerin en önemlisidir, fakat çevre, ortalama gerilim (mean stress) ve geometri de aynı derecede büyük ehemmiyet taşır. Bu araştırma, yorulma sırasındaki çatlak ilerleme miktarının yüksek (R) gerilim oranlarında, numune kalınlığına olan etkisinin tayini ile da/dN çatlak ilerleme miktarının, temel alaşımın saf alüminyumla yaptığı, birbirine yapışık muhtelif katlardaki kompozit levhalarda (laminated plates) hasıl olacak azalma ihtimalinin tayinine mahsus bir gayeye matuftur.

da/dN üzerindeki kalınlık etkisi birçok araştırmacılar tarafından ele alınmış olup neticeler birbirini tutmamaktadır. Aynı malzemenin kalın olmasına nazaran incesindeki yorulma çatlaklarının ilerleme miktarının daha yavaş geliştiği hakkında hatırı sayılır derecede deneysel neticeler vardır. Mamafih, üzerinde tartışılabilirki, kalın numune deney parçalarında daha hızlı çatlak gelişme miktarları, yorulma mekanizmasında meydana gelen kırılmalardan ziyade monoton kırılma proseslerinin neticeleridir. Knott ve Ritchie (11) bu konuyu havi çalışmalar ortaya koydular. Alüminyum alaşımlarının özel bir durumu için kalınlıktaki azalma, genel olarak, da/dN çatlak ilerleme miktarının, (etkisi ufak olup ve tetkik edilen kalınlık miktarının) geniş olmamasına rağmen, yavaşladığı görülür. Aynı zamanda mümkündür ki kalınlık etkisi, plakanın dışı doğru belvermesi önlendiyse, görünmez. Mamafih, birçok Al alaşımlarının levhalarında düz kırılmadan (Mode I opening) karmaşık olarak mey-

dana gelen (Mixed mode I and mode III opening) kırılmaya bir geçiş durumu açıktır ve bu durum çatlak ilerlemesindeki bir azalma vasıtasıyla hasıl olmuştur. Düz kırılmadan meyilli kırılmaya geçiş çatlak ucundaki plâstik bölgenin yarıçapı, r_p , levhanın kalınlığına eşit olduğunda meydana gelir. O da düzlemsel gerilme uzaması kırılma dayanıklılığına (K_I) ve elâstik gerilme sınırına (σ_e) bağlıdır.

Elde edilmiş neticeler bir önceki kısımda verilmiş kısa izahta ve ilerdeki tablo ve diyagramlar üzerinde açıkça görülmektedir. Verilmiş pozitif R değerlerinde sistematik olarak değişen bu bandlardan açık olarak görülür ki daha yüksek R, gerilim oranlarında ve verilmiş bir gerilim şiddet faktörü değerinde (ΔK), daha yüksek çatlak ilerleme miktarları müşahade edilmiştir. R değerlerinin farklı miktarlarındaki dağılımı, gerilim şiddet faktörü arttıkça daha da büyümüştür. Bütün kalın numunelerdeki verilmiş bir pozitif gerilim oranındaki değerlerde, birkaç istisna ile, benzer bir dağılım grafiği meydana getirmişlerdir (Şekil 4.8). R değerinin değişmesi ile elde edilmiş dağılımı, ince numunelere nazaran (Şekil 4.7), kalın numunelerde daha geniş bir dağılım göstermiştir. Tablo 4.12a ve b de tesbit edilmiş m ve C sabiteleri ($da/dN=C \cdot \Delta K^m$) ideal değerlerinden önemli derecede farklı elde edilmiştir. Bunun en muhtemel sebebi, fotografik olarak yapılmış ölçümün kaba bir tahmine yakın olması yönüyledir. Nitelikim çatlaklarının, açık olarak levha merkezinden yani içten bir tünel teşkil ederek ilerlemeleri, onların gerçek uzunluklarının yüzeyde görünenlerden çok daha büyük olduklarını ortaya koymaktaydı. Aynı zamanda m_1 eğiminden m_{11} eğimine geçişin da/dN nin sabit bir değerinde meydana gelmediğinin, Forsyth tarafından belirtilmesi kayda değer bir ehemmiyet taşır. Mamafih, onun çalışmasındaki gerilim oranı, $R=0$, durumunu kapsamaktadır (12).

Test edilmiş bütün numunelerin kırılma yüzeylerinin tetkiki açık olarak «çatlama sırasındaki sıçramaları» göstermiştir. Çekme kırılmasındaki, hızlı çatırtılar çatlakın merkezden içe doğru ilerlemesine sebep olurken, yorulmadan mütevellit hasıl olan çatlakın ilerlemesi ise numune yüzeylerinde devam etmiştir. Çatlakın sıçrayarak ilerlemesi, gerilim oranı R artarken azalan ΔK_{cr} değeriyle ilgili görülmüştür. Birçok durumlarda çatlak önünün şekli ve sıçrama hadiseleri kırılma yüzeyinde açık olarak görünmez. Bu durum, Forsyth tarafından ileri sürülen amprik denklemle, bu neticeler arasındaki yaklaşımın kurulma teşebbüslerini önlemiştir.

$$\Delta K_{cr} = \Delta K_{oon} \frac{l_0}{l}$$

Kifayetli miktarda açık olarak bu işaretleri havi numuneler elde edilebilseydi Forsyth'in bu yaklaşımının ele alınması oldukça enteresan olacaktı.

Neticeler, açık olarak bütün yüksek R değerlerinde, bu malzemedeki komple çatlak gelişme miktarının çatlak sıçrama hususiyetlerine kuvvetle bağımlı olduğunu ortaya koymaktadır. Çatlak sıçramaları ve merkezden içe tünel açarak, içten ilerleme düzlemsel gerilme uzaması şartlarının (Plain strain conditions - Mode I opening) bir neticesidir ve böylece bu şartı muhtevi, benzer şartlarda aynı malzeme ile saf alüminyumdan teşkil edilecek, birleştirilip sıcak haddeleme ile aynı kalınlığa getirilmiş levhalarda, çatlak ilerlemesinin önemli derecede yavaşlama kaydedeceği tahmin edilmektedir. Aynı zamanda çatlak içten ilerlediğinde daha kesin ölçme metodları son derece gerekli görülmüştür.

5.0.0 — ARAŞTIRMANIN SONUÇLARI

7075 - T6 Al alaşımının çekme deneyi için kullanılmış numunelerin çekme özellikleri Al - Zn - Mg - Cu alaşımının bilinen özelliklerine % 5 yaklaşım içinde uyum sağlanmıştır. Silindirik olarak hazırlanmış çekme deney parçaları belirli bir kritik gerilmenin sonunda, bir tek meyilli açıda veya bazı hallerde her iki taraftan meyilli olmak üzere kopma göstermişlerdir.

İki çeşit kalınlıktaki Al alaşımının yorulma deney parçaları, birkaç istisna ile, kalınlık (B) ve gerilim oranları (R) azalırken daha yavaş bir çatlak ilerlemesine sahip olduklarını göstermişlerdir. Yorulma neticesinde kırılan yüzeyler yarım ay şeklindeki işaretler göstermişlerdir. Bunlar gerilim oranı (R) ve deney parçasının kalınlığı arttıkça daha büyük bir farklılık göstermişlerdir. Bazı kalın numuneler yan kısımlarda çok ufak sayılabilecek meyilleri ihtiva eden düz bir kırılma göstermişlerdir. Diğerleri, engebelli bir yüzey olan; yan kısımlarda bazısı inişli çıkışlı bir durum gösterirken bazısında her iki tarafı da çıkışlı (inişli) bir vadi durumunu andıran hususiyet göstermişlerdir (Şekil 4.3). İnce numuneler ise son ayrılma bölgesine yakın kısımlarda düz kırılmadan meyilli kırılmaya doğru çoğalan bir vaziyet göstermişlerdir.

DeneySEL neticelerden elde edilen C ve m değerlerinin teorik değerlerle uyuşmama sebebi olarak, çatlağın merkezden ilerlemesi sebebiyle olduğuna atfedilmiştir. Bu vaziyetin aşırı bir durumu olan 24 mm. kalınlığındaki yorulma numunesinde, serbest yüzeyde herhangi bir çatlak

gelişmesi olmadan malzemenin tamamen içten ilerleyen çatlakla kopma meydana getirdiği bizatihi müşahede edilmiştir. Deneylede gözlenmiş m_1 den m_{11} ye geçiş, daha önceki araştırmacılar tarafından rapor edildiği gibi, da/dN değerinin sabit bir değeri ile karşılıklı iyi bir münasebet elde edilememiştir. Bu durum yukarıda bir önce zikredilen aynı sebebe dayanmaktadır.

R E F E R A N S L A R

1. P. C. Paris, Chapter in «Fatigue - An Interdisciplinary Approach», Syracuse University Press, Syracuse, 1964.
2. R. C. Bates and W. G. Clark; Trans. Q., ASM, 62, 380, 1969.
3. «Fracture Mechanics Data Bank» Rockadyne Division, Rockwell International, California, 1973.
4. R. O. Ritchie and J. F. Knott; Acta Met.; 21, 639, 1973.
5. G. G. Garrett and J. F. Knott; Met. Trans.; 6A, 1663, 1975.
6. R. A. Schmidt and P. C. Paris; ASTM - STP 536, pp. 79, 1973.
7. R. J. Bucci, P. C. Paris, R. W. Hertzberg, R. A. Schmidt and A. F. Anderson, ASTM - STP 513, 125, 1972.
8. P. C. Paris, R. J. Bucci, E. T. Wessel, W. G. Clark and T. R. Marger; ASTM - STP 513, 141, 1972.
9. Bisra Industry Report, 1968.
10. A. K. Head; Phil. Mag.; 44, 925, 1953; JI. Appl. Mech.; 78, 407, 1956.
11. J. F. Knott, and R. O. Ritchie; «Effects of Fracture Mechanism on Fatigue Crack Propagation» Mechanics and Mechanisms of Crack Growth, British Steel Corporation, Cambridge, U. K. pp. 200 - 225, 1973.
12. P. J. E. Forsyth; henüz yayınlanmamış çalışma.

TABLO : 4.1

7075-T6 Alüminyum Alaşımının Çekme Deneyi Özelliklerini Gösteren Ortalama Değerler

Birim	% 2 Akma Mukavemeti	Maksimum Mukavemet	Hakiki Kırılma Mukavemeti	Ortalama % Uzama	Ortalama % Büzülme
kg/mm ²	52.5	55.4	60.6	15	25
MN/m ²	514.8	543.3	594.3	15	25
Ksi	74.6	78.8	86.2	15	25

TABLO : 4.2

YORULMA ÇATLAK ÇOĞALMASI DENEYLERİNDE UYGULAMA GERİLİMLER

Deney No.	S ₀		S _c		B kalınlık mm.	R % Gerilim Oranı min / max.
	Ortalama Gerilim MN/m ²	psi	Değişen Gerilim MN/m ²	psi		
x						
10.1	3.33	483	0.834	121	10	0.600
10.2	8.34	1209	0.834	121	10	0.818
10.3	10.00	1451	0.834	121	10	0.846
10.4	15.84	2297	0.834	121	10	0.900
10.5	17.92	2299	0.834	121	10	0.911
24.1	8.52	1234	0.869	126	24	0.815
24.2	10.59	1536	0.869	126	24	0.848
24.3	12.67	1838	0.869	126	24	0.872
24.4	15.45	2241	0.869	126	24	0.894
24.4	17.53	2543	0.869	126	24	0.906

* Ön rakkamlar, mm. olarak parça kalınlığını göstermektedir.

TABLO : 4.12 a

Parçası No. Deney	* 10.1	10.2	10.3	10.4	10.6
R Gerilim Oranı	0.600	0.818	0.848	0.900	0.911
$(da/dN)_{g.}$ m/dv.	3.42×10^{-8}	4.55×10^{-8}	6.26×10^{-8}	1.11×10^{-7}	1.57×10^{-7}
$(\Delta K)_{g.}$ MN/m ^{3/2}	5.73	6.14	6.06	5.79	5.81
C _I	1.11×10^{-18}	3.4×10^{-13}	4.28×10^{-20}	2.16×10^{-13}	3.46×10^{-11}
C _{II}	5.72×10^{-9}	3.85×10^{-9}	4.86×10^{-9}	3.91×10^{-9}	1.02×10^{-8}
C _{Or.}	4.57×10^{-19}	2.7×10^{-10}	1.55×10^{-10}	1.68×10^{-10}	8.19×10^{-10}
m _I	13.83	6.51	15.55	7.49	4.79
m _{II}	1.024	1.36	1.42	1.904	1.553
m _{Or.}	2.12	2.63	3.05	3.56	2.91

* 10 rakkamı numûnenin 10 mm. kalınlığında olduğuna işarettir.

C_I Paris denklemindeki katsayı (başlangıç değerleri için)

C_{II} Paris denklemindeki katsayı (kademe II kısmı için)

C_{Or.} Paris denklemindeki katsayı (Ortalama değer)

m_I Paris denklemindeki üstel sayı (başlangıç değerleri için)

m_{II} Paris denklemindeki üstel sayı (kademe II kısmı için)

m_{Or.} Paris denklemindeki üstel sayı (Ortalama değer)

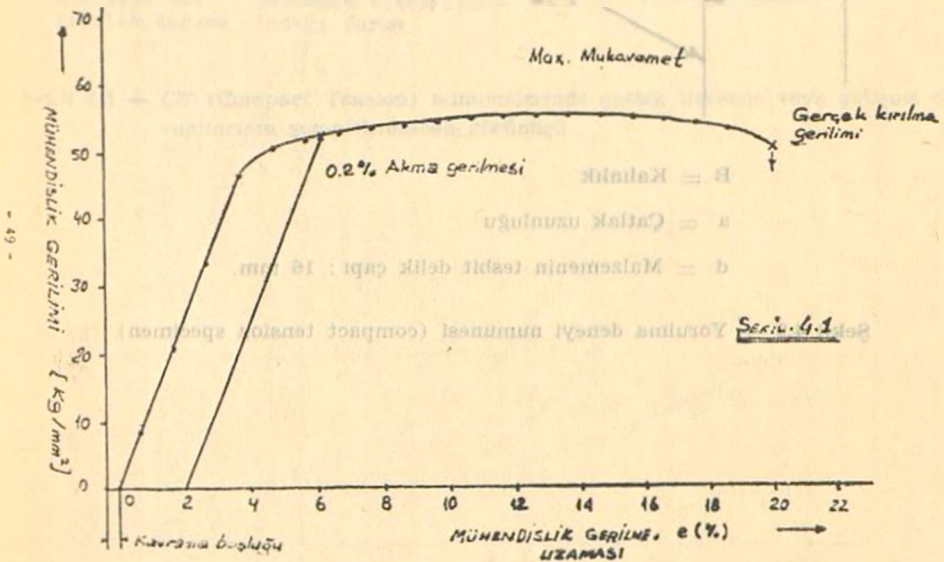
$(\Delta K)_{g.}$ Faz geçişindeki gerilim şiddeti miktarı m_I → m_{II}

$(da/dN)_{g.}$ Faz geçişindeki çatlak gelişme miktarı m_I → m_{II}

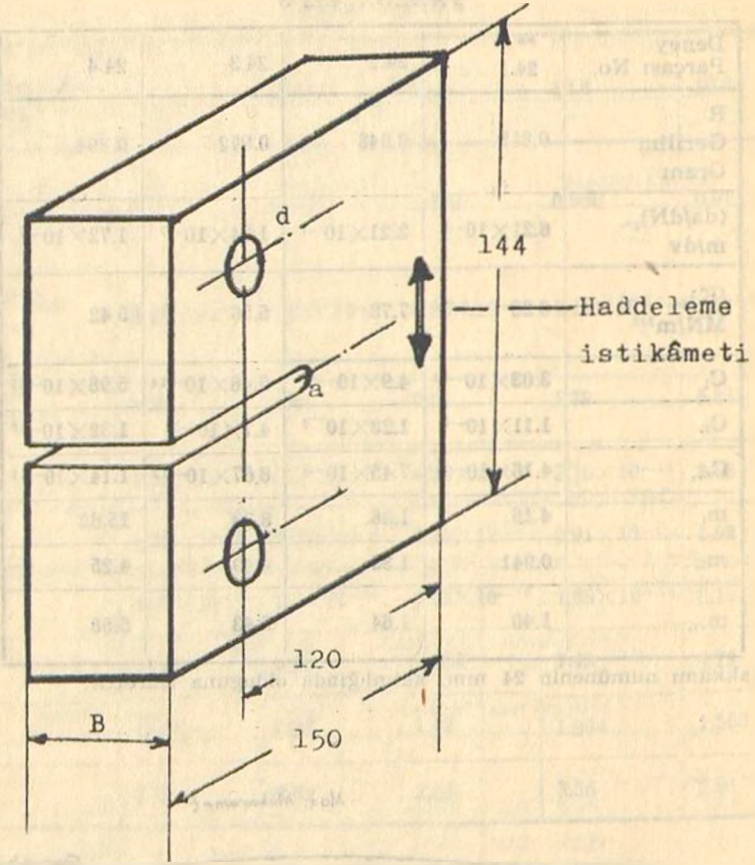
TABLO : 4.12 b

Deney Parçası No.	** 24.1	24.2	24.3	24.4
R Gerilim Oranı	0.815	0.848	0.872	0.894
$(da/dN)_{ge.}$ m/dv	6.21×10^{-8}	2.21×10^{-7}	1.04×10^{-7}	1.72×10^{-7}
$(K)_{ge.}$ MN/m ^{3/2}	6.25	7.78	5.56	5.42
C _I	3.03×10^{-11}	4.9×10^{-9}	6.46×10^{-14}	5.96×10^{-19}
C _{II}	1.11×10^{-8}	1.28×10^{-8}	4.7×10^{-11}	1.32×10^{-10}
C _{III}	4.16×10^{-9}	7.45×10^{-9}	8.67×10^{-12}	1.14×10^{-11}
m _I	4.16	1.86	8.33	15.62
m _{II}	0.941	1.39	4.49	4.25
m _{III}	1.40	1.64	5.43	5.58

** 24 rakamını numunenin 24 mm. kalınlığında olduğuna işarettir.



Sekil 4.1

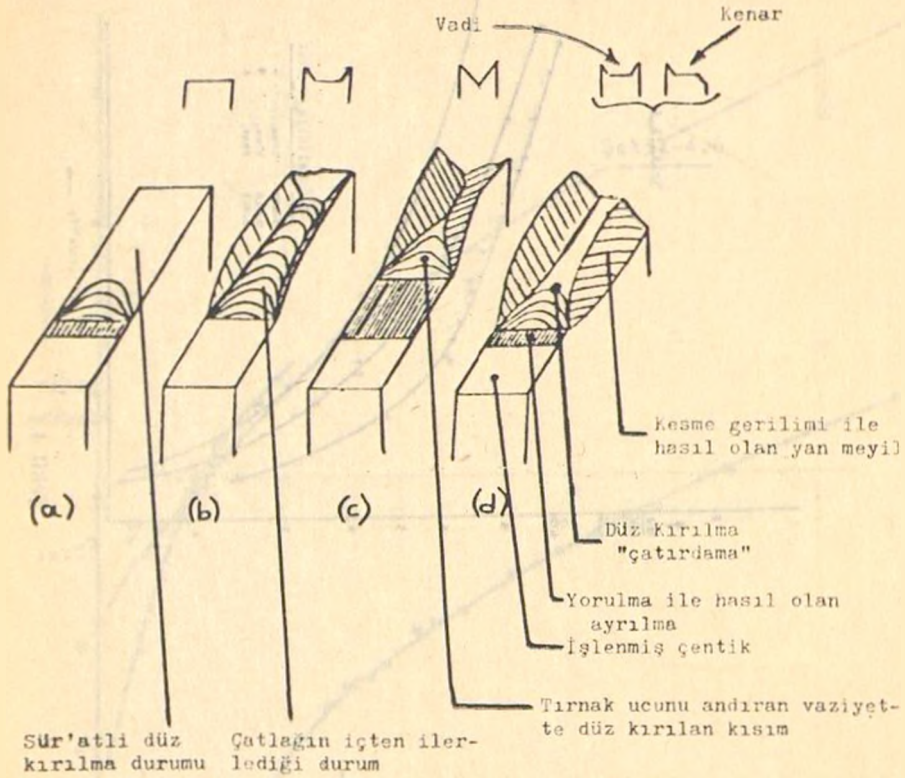


B = Kalınlık

a = Çatlak uzunluğu

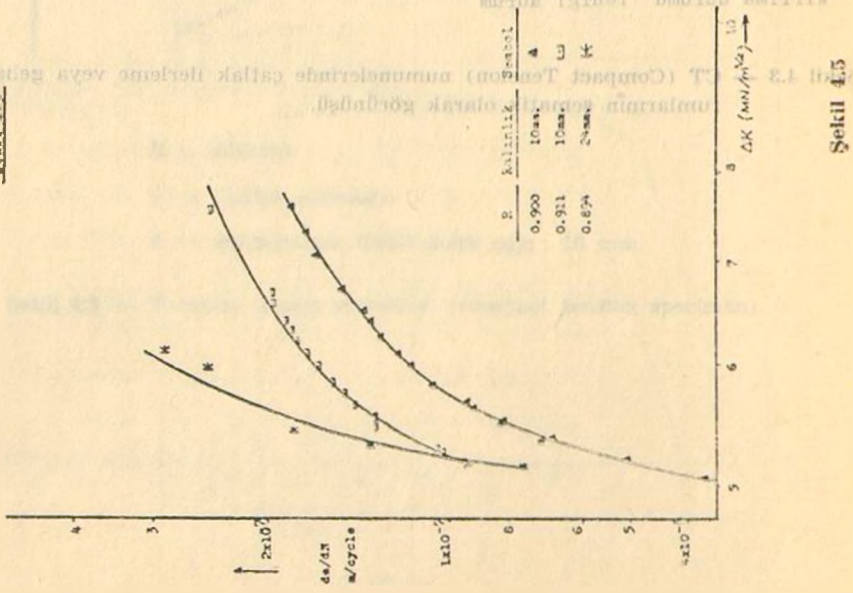
d = Malzemenin tesbit delik çapı : 16 mm.

Şekil 4.2 — Yorulma deneyi numunesi (compact tension specimen)

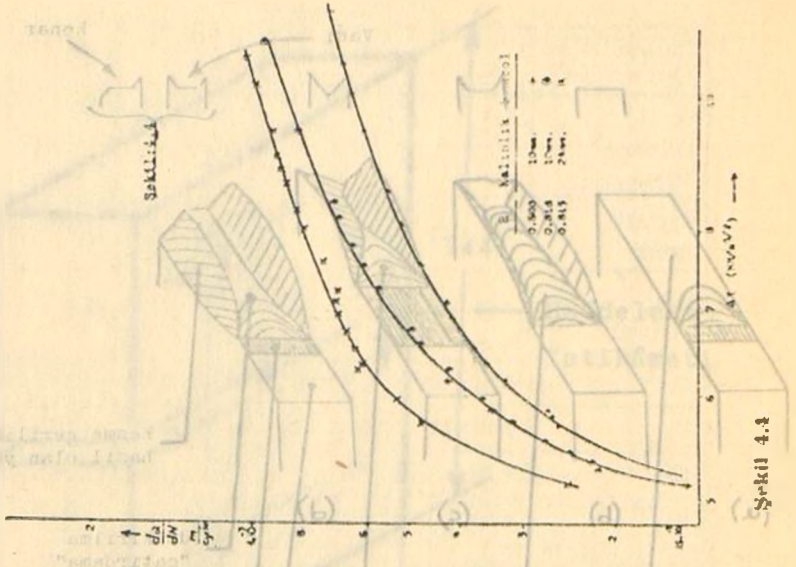


Şekil 4.3 — CT (Compact Tension) numunelerinde çatlak ilerleme veya genişleme durumlarının şematik olarak görünüşü.

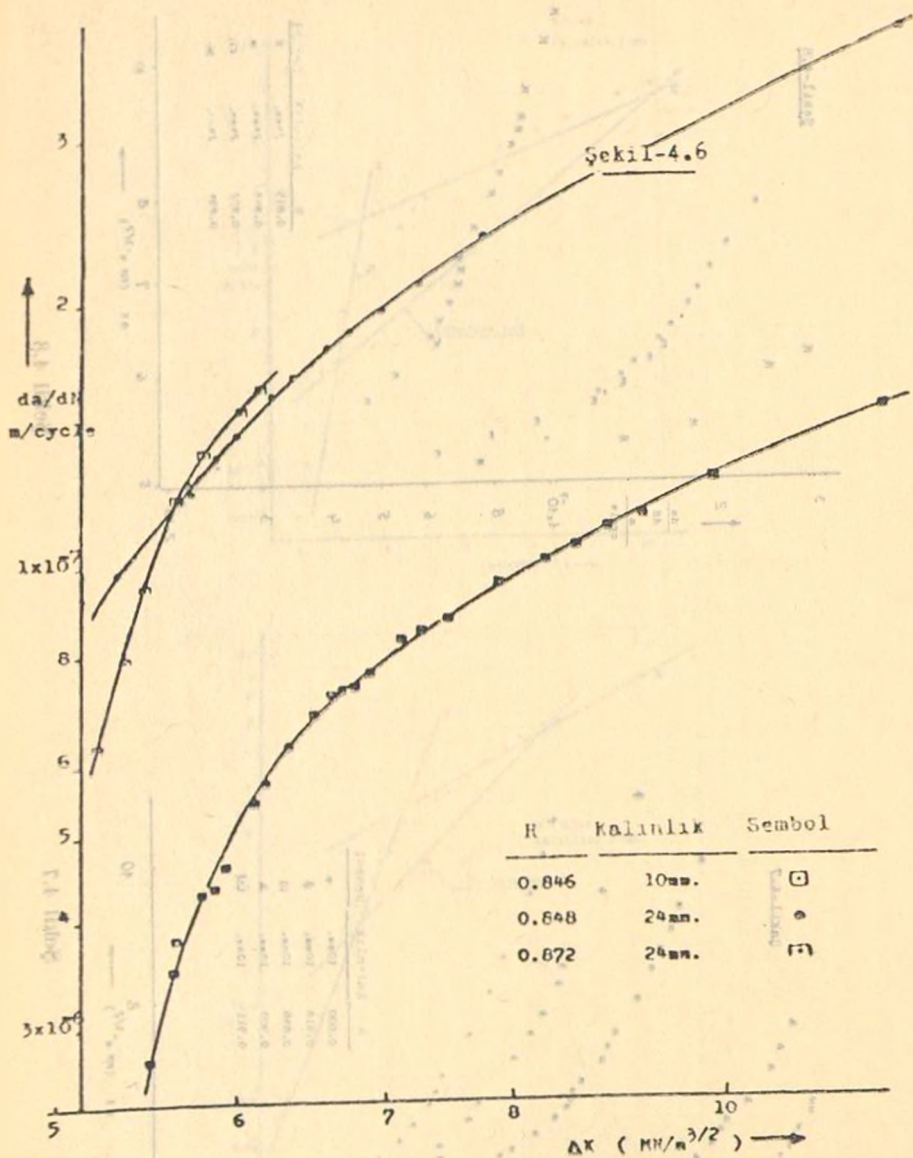
Sekil-4.5



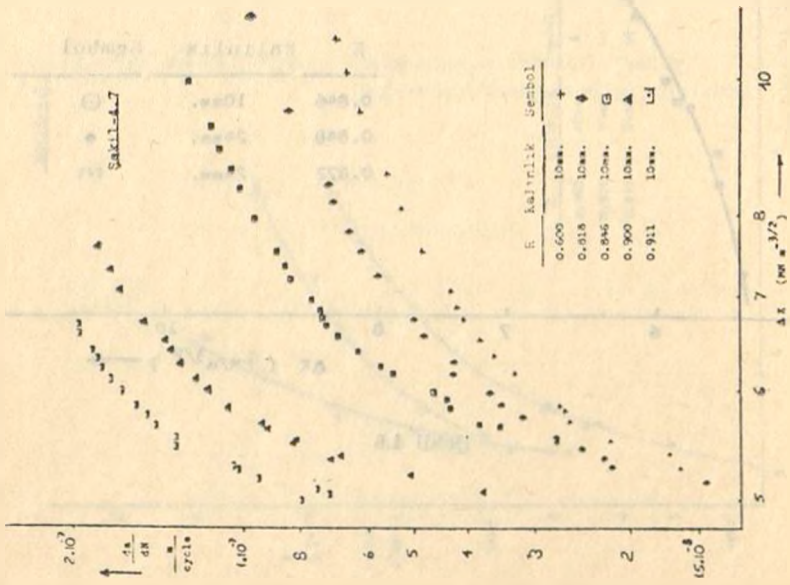
Sekil 4.5



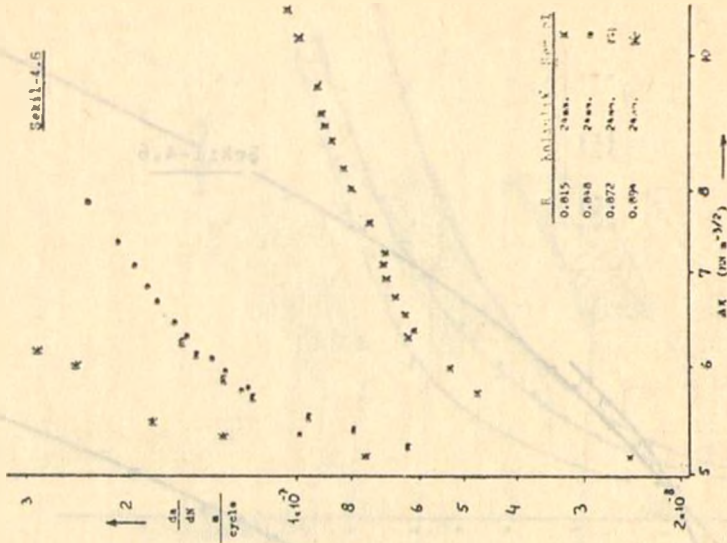
Sekil 4.4



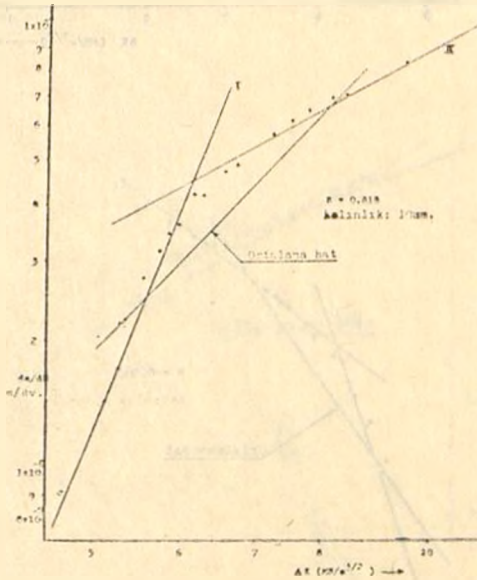
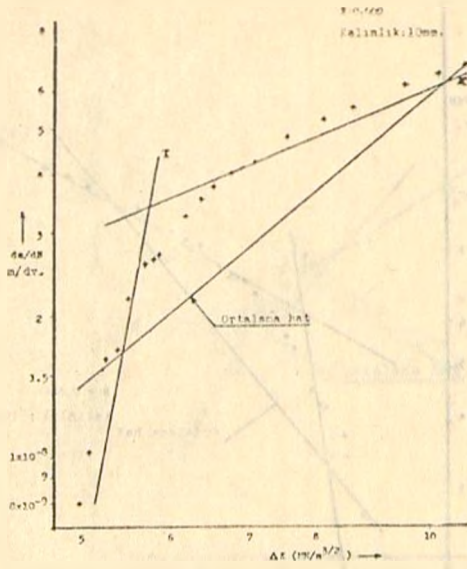
Şekil 4.6



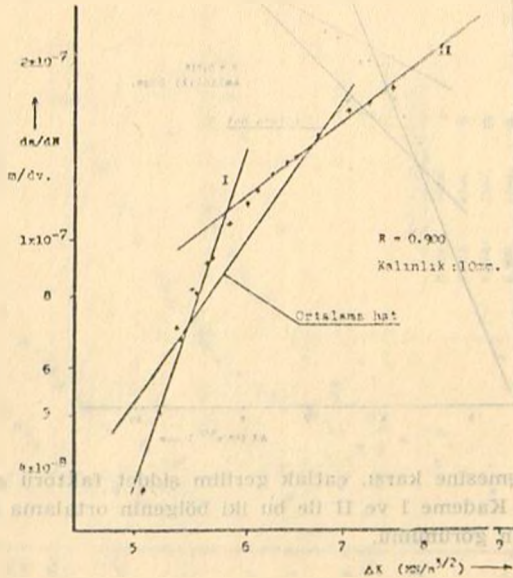
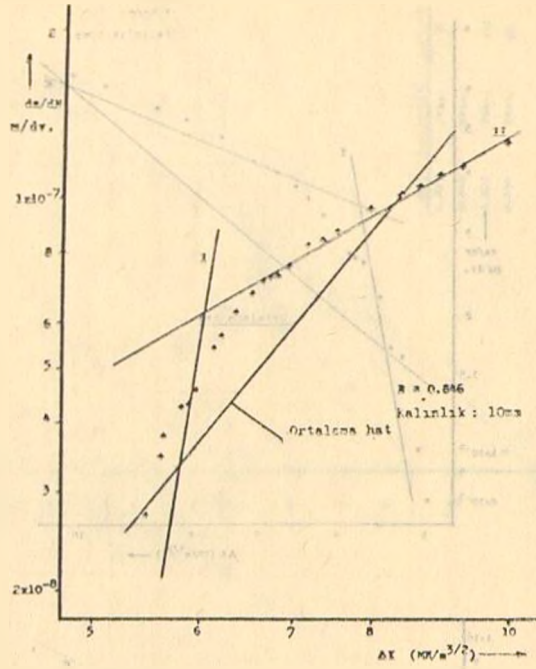
Sekil 4.7



Sekil 4.8

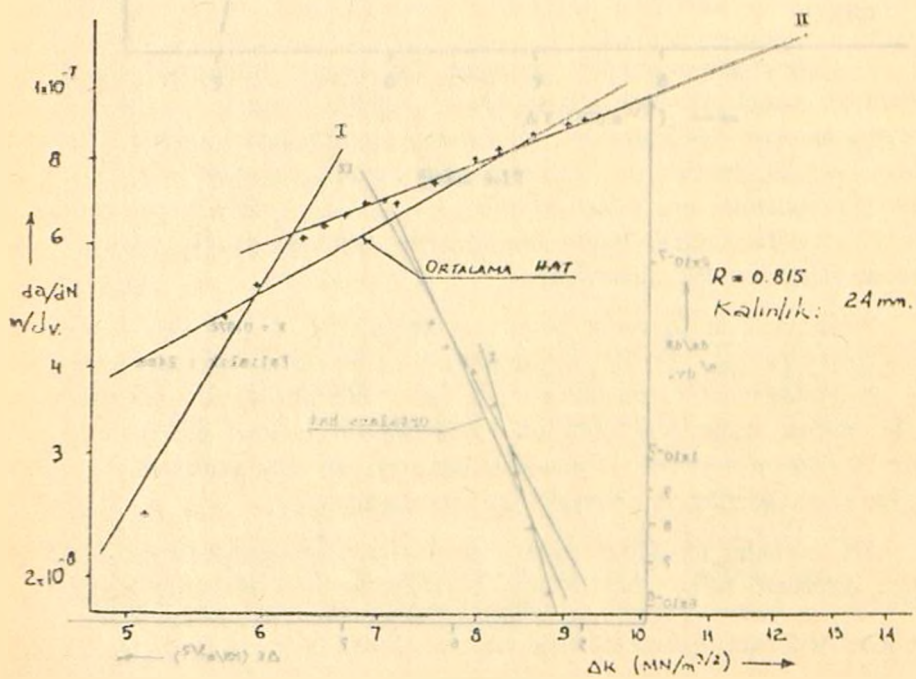
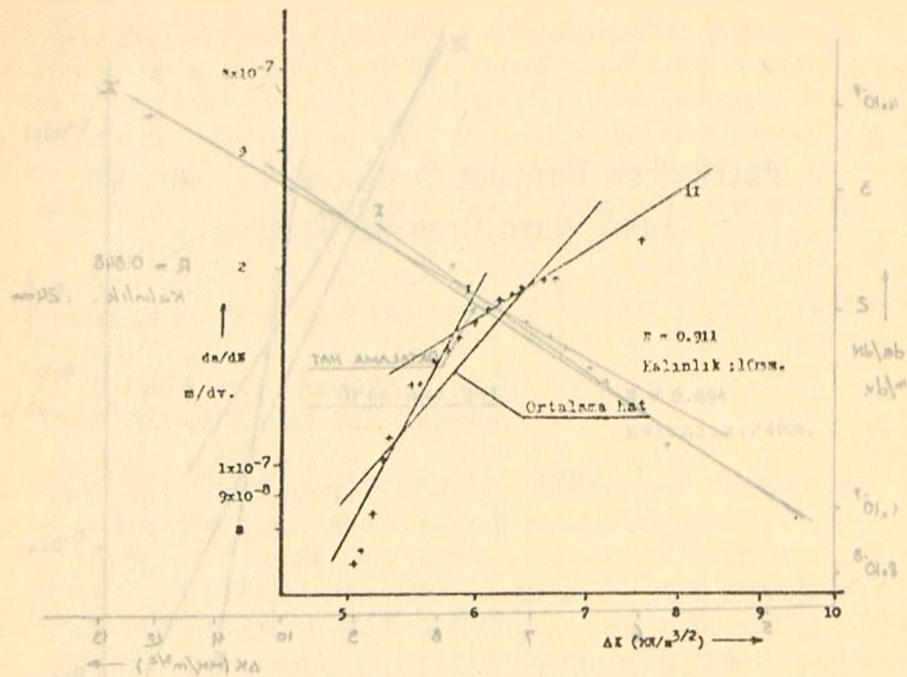


Şekil 4.9 — Çatlak gelişmesine karşı, çatlak gerilim şiddet faktörü arasındaki ilgi-
 ... — yi gösteren Kademe I ve II ile bu iki bölgenin ortalama değerlerini ha-
 4.17 — vi doğruların görünümü.



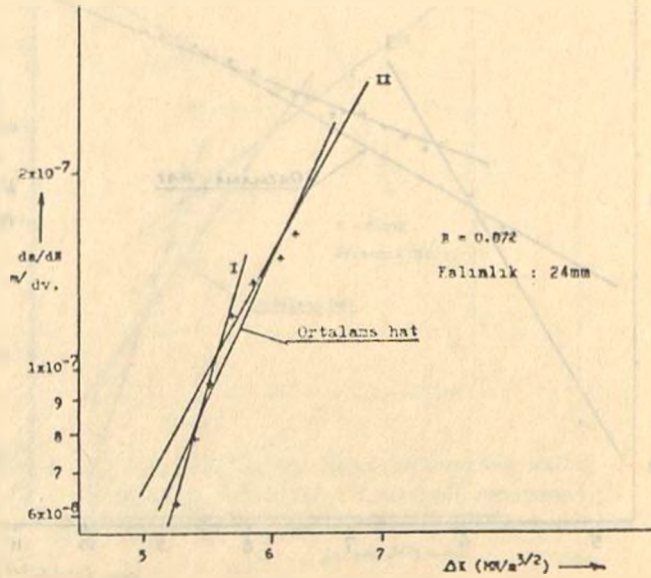
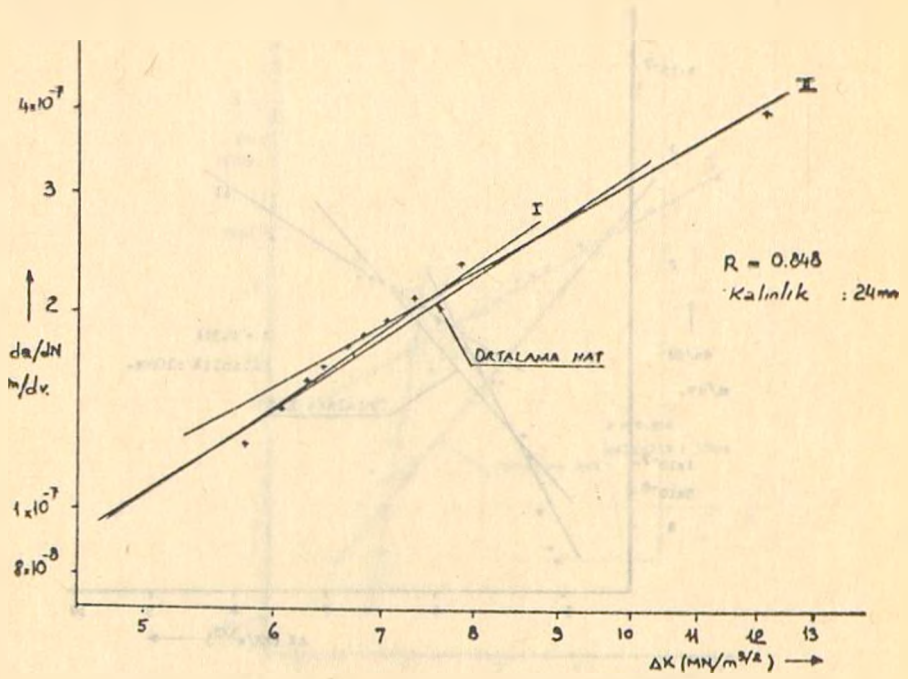
Şekil 4.11

Şekil 4.12



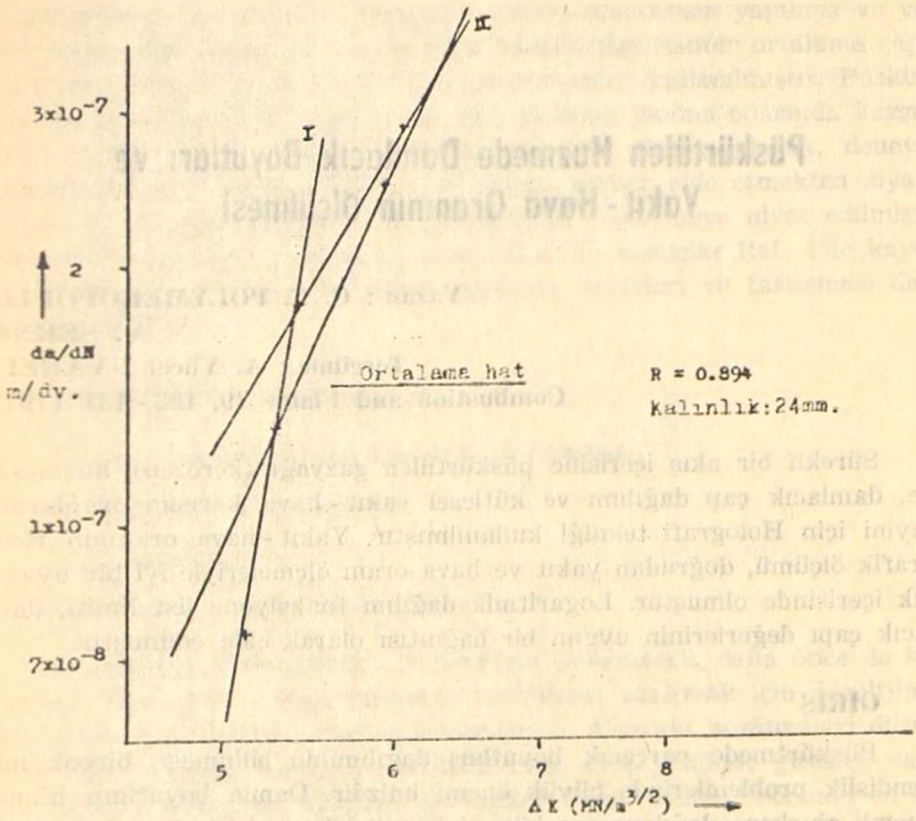
Şekil 4.13

Şekil 4.14



Şekil 4.15

Şekil 4.16



Şekil 4.17