

17251

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT MALZEMEDEN İMAL EDİLMİŞ
DİŞLİ ZİNCİRLERİNDE GERİLME ANALİZİ VE OPTİMİZASYON

Haşim PIHTILI

DOKTORA TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

1991
ELAZIĞ

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT MALZEMEDEN İMAL EDİLMİŞ
DİŞLİ ZİNCİRLERİNDE GERİLME ANALİZİ VE OPTİMİZASYON

Heşim PIHTILI

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez,Tarihinde, Aşağıda jüri Tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı/Başarısız olarak değerlendirilmiştir.

(İmza) _____

Danışman

Prof. Dr. Onur SAYMAN

(İmza) _____

(İmza) _____



ÖZET

Doktora Tezi

KOMPOZİT MALZEMEDEN İMAL EDİLMİŞ DİŞLİ ZİNCİRLERİNDE
GERİLME ANALİZİ VE OPTİMİZASYON

Haşim PIHTILI

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
1991, Sayfa: 91

Bu çalışmada, izotropik ve kompozit malzemeden imal edilen dişli zincirlerindeki gerilme analizi bilgisayar destekli olarak incelenmiştir. Problemin çözümünde sonlu elemanlar metodu uygulanmış olup üçgen elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

İzotropik ve kompozit malzemeden imal edilen dişli zincirinin gerilme analizi iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada, izotropik malzeme için çözüm yapılmıştır. İkinci aşamada ise gerilme analizi, cam-epoksi, grafit-epoksi ve boron-epoksi kompozit malzemelerinin tek yönde takviye ve çapraz takviye biçimlerine göre araştırılmıştır.

Yapılan çalışmada, izotropik ve kompozit malzemelerin beş değişik dişli zinciri şekli için gerilmeler bulunmuştur. Her bir dişli zincirinde takviye açısının durumuna ve ayrıca kompozit malzemenin cinsine göre meydana gelen gerilmeler birbirleriyle mukayese edilmiştir.

Tek yönlü takviye haline sahip kompozit malzemelerde, takviye açısı $\theta = 15$ derece genellikle olunca dişli zincirinde meydana gelen maksimum gerilme diğer takviye açıları durumundaki maksimum gerilmelerden daha büyük olmakta ve takviye açısı $\theta = 60$ derece olunca maksimum gerilme aynı bir tip kompozit malzeme için en küçük değeri almaktadır.

Çapraz yönlü takviye halinde ise, maksimum gerilme her üç malzeme için takviye açısı $\theta = 15$ derece durumunda, minimum gerilme değeri ise takviye açısının $\theta = 45$ derece durumunda meydana gelmektedir.

Sonlu eleman yöntemi ile elde edilen bilgisayar sonuçlarının doğruluğu hakkında fikir edinebilmek için, 1/1 ölçeğinde çelik ve epoksi malzemelerinden imal edilen dişli zinciri strain-gauge ve fotoelastik deneysel ölçümlere de tabi tutulmuştur. Deneysel ölçümlerden elde edilen gerilme değerlerinin, bilgisayar sonuçları ile iyi bir uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Kompozit malzeme, sonlu elemanlar, dişli zinciri.

SUMMARY

PhD Thesis

**STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE INVERTED-TOOTH CHAINS
MANUFACTURED FROM COMPOSITE MATERIALS**

Haşim PIHTILI

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

1991, Page: 91

In this study, the computer-based finite element method of stress analysis of inverted-tooth chains manufactured from isotropic and composite materials have been investigated.

In the solution of the problem, For finite element mesh, the triangular element has been selected. First, the problem has been solved for the inverted-tooth chains manufactured from isotropic material and then stresses have been found for glass-epoxy, boron-epoxy and graphite-epoxy composites reinforced in two perpendicular directions and unidirectionally. The stresses have been investigated for five different geometries of the inverted-tooth chains. Stresses found for different reinforcement angles and composite materials have been compared, one another. The greatest stresses have been found for 90° reinforcement angle in every composite gear chain.

The results which determined by the computer-based finite element method compared with experiments. It was seen that the results agree well with strain-gauge and photoelastic measurements.

KEY WORDS: Composite materials, finite element, inverted-tooth chains.



TEŞEKKÜR

Bu konuda çalışmamı sağlayan, tezin danışmanlığını yürüten, her türlü ilgi ve desteğini esirgemeyen, Sayın Hocam Prof. Dr. Onur SAYMAN' a saygılarımı sunmayı bir görev bilirim.

Çalışmalarım sırasında her türlü yardım ve bilgilerinden yararlandığım Mak. Müh. Böl. Başkanı Sayın Prof. Dr. Kâzım PIHTILI' ya teşekkürlerimi sunarım. Bilgisayar programı ile ilgili yardımlarımı gördüğüm Elektrik Mühendisliği Bölümü Öğr. Elemanlarından Sayın Mehmet CEBECİ 'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Dokuz Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi Sayın Muzeffer TOPCU' ya çalışmalarımındaki gerekli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, Tezin hazırlanmasında yardımlarımı gördüğüm tüm Mak. Mühendisliği Bölümü elemanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	vii
TABLOLAR	ix
RESİMLER	x
SEMBOLLER	xi
GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. DIŞLI ZİNCİRLERİNDEKİ GERİLMELERİN TESBİTİNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL YÖNTEM	7
3.1. Gerilme Şekil Değiştirme Bağıntılarının Formülasyonu	9
3.1.1. İa1 zorlanmadan Meydana Gelen Şekil Değiştirmeler	11
3.2. Çözümde kullanılan Üçgen Eleman Yöntemi	13
3.3. Sonlu Elemanlara Ayırma Yöntemi	18
3.4. Zincir Dişlisinin Sonlu Eleman Modelinin Hazırlanması	20
3.4.1. İncelenen Dişli Zincirinin Tanıtılması	20
3.5. Kompozit Malzemelerde Mekanik Özelliklerin (Hooke Sabitlerin) Teorik Olarak Bulunması	33
3.5.1. Teorik Olarak Elestisite Modülü E_1 'nin Bulunması	33
3.5.2. Teorik Olarak Elestisite Modülü E_2 'nin Bulunması	34
3.5.3. Teorik Olarak Poisson Katsayısı ν_{12} 'nin Bulunması	36
3.5.4. Kayma Modülünün Bulunması (G_{12})	37
4. ELDE EDİLEN SONUÇLAR	40
4.1. Deneysel Kontrol	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46

5.1. İzotropik Malzemeli Dişli Zincirleri için Sonuçlar	46
5.2. Tek Yönlü Takviyeli Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Dişli zincirdeki Sonuçlar	46
5.3. Çapraz Takviyeli Kompozit Dişli Zincirindeki Sonuçlar	47
5.4. Öneriler	48
6. KAYNAKLAR	49
7. EKLER.....	52
EK-1 Kompozit Malzemelerinin Tek Yönlü Takviye Biçimlerine Göre Maksimum Gerilme İle k Değerlerine Ait Tablolar.....	52
EK-2 Kompozit Malzemelerinin Çapraz Takviye Biçimlerine Göre Maksimum Gerilme İle k Değerlerine Ait Tablolar.....	55
EK-3 İzotropik Malzemenin Maksimum Gerilme İle k Değerlerine Ait tablo.....	57
EK-4 Kompozit Malzemelerin Tek Yönlü ve Çapraz Takviye Biçimlerine Göre k Katsayısının q İle h Arasındaki Eğriler.....	58
EK-5 Problemin Çözümünde Kullanılan Bilgisayar Program.....	70
EK-6 DIN 8190 'a Göre Dişli Zincirinin Boyut Değerleri	79

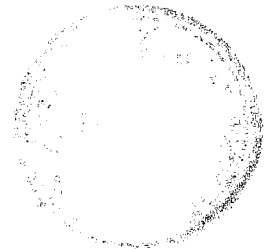
ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Sonlu elemanlarda sürekli ortamın sağlanması	8
Şekil 3.2. Düğüm noktalarıyla tanımlanmış bir e ₁ üçgen elemanı	9
Şekil 3.3. Düzlem gerilme haline sahip bir levha	10
Şekil 3.4. Bir e ₁ üçgen elemanın kuvvet ve yer değiştirmeleri	14
Şekil 3.5. Bir üçgen elemanın otomatik tarama yöntemi ile yeni alt üçgenlere ayrılması.....	19
Şekil 3.6. İncelenen 1/1 ölçeğindeki zincir dişli baklası	21
Şekil 3.7. Zincir baklasına ait örnekler	23
Şekil 3.8. Zincir dişlisindeki klavuzun takılış şekli	23
Şekil 3.9. Zincir dişli baklasındaki pim ile burçların konum ve şekilleri	26
Şekil 3.10. 1/2 Ölçeğindeki sonlu eleman modeli	25
Şekil 3.11. 1/1 Ölçeğindeki sonlu eleman modeli	26
Şekil 3.12. Mesnetleri yerleştirilmiş dişli zincir profilinin 1/2 si	27
Şekil 3.13. Etki eden P kuvvetinin düğümlere dağıtılması	28
Şekil 3.14. Çapraz takviye haline getirilmiş bir kompozit plaka yapısı	32
Şekil 3.15. Takviye doğrultusunda (1 yönünde) uygulanan kuvvet	35
Şekil 3.16. Takviye doğrultusunda (2 yönünde) uygulanan kuvvet	36
Şekil 3.17. 1 Yönünde (takviye doğrultusunda) uygulanan kuvvet	38
Şekil 3.18. Kompozit malzemeye kayma gerilmesinin uygulanması	40
Şekil 4.1. İzotropik malzemeye ait k ile h arasındaki değişim	43
Şekil 4.2. İzotropik malzemeli dişli de k'nın h'ya bağlı değişimi	45
Şekil 4.3. Üçlü bir strain-gauge rozetinin görünümü	46
Şekil 5.1. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=0^\circ$ de k'ın h'ya bağlı değişim.....	58
Şekil 5.2. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=15^\circ$ de k'ın h'ya bağlı değişim.....	58
Şekil 5.3. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=30^\circ$ de k'ın h'ya bağlı değişim.....	59
Şekil 5.4. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=45^\circ$ de k'ın h'ya bağlı değişim.....	59
Şekil 5.5. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=60^\circ$ de k'ın h'ya bağlı değişim.....	60
Şekil 5.6. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=75^\circ$ de k'ın h'ya bağlı değişim.....	60
Şekil 5.7. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=90^\circ$ de k'ın h'ya bağlı değişim.....	61

Şekil 5.8. Tek yönlü takviye durumunda $h=25\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	62
Şekil 5.9. Tek yönlü takviye durumunda $h=26.4\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	62
Şekil 5.10. Tek yönlü takviye durumunda $h=27.6\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	63
Şekil 5.11. Tek yönlü takviye durumunda $h=28.8\text{ mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	63
Şekil 5.12. Tek yönlü takviye durumunda $h=30.2\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	64
Şekil 5.13. Çapraz takviye durumunda $h=25\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	65
Şekil 5.14. Çapraz takviye durumunda $h=26.4\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	65
Şekil 5.15. Çapraz takviye durumunda $h=27.6\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	66
Şekil 5.16. Çapraz takviye durumunda $h=28.8\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	66
Şekil 5.17. Çapraz takviye durumunda $h=30.2\text{mm}$ için k' nin h 'ya bağlı değişim.....	67
Şekil 5.18. Çapraz takviye durumunda $\theta=0^\circ$ de k' nin h 'ya bağlı değişim.....	67
Şekil 5.19. Çapraz takviye durumunda $\theta=15^\circ$ de k' nin h 'ya bağlı değişim.....	68
Şekil 5.20. Çapraz takviye durumunda $\theta=30^\circ$ de k' nin h 'ya bağlı değişim.....	68
Şekil 5.21. Çapraz takviye durumunda $\theta=45^\circ$ de k' nin h 'ya bağlı değişim.....	69

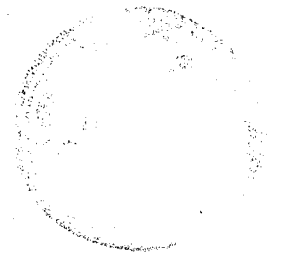
TABLULAR**Sayfa**

Tablo 3.1. Problemin çözümünde esas alınan kompozit malzeme özellikleri.....	30
Tablo 5.1. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=25mm)	52
Tablo 5.2. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=26.4mm)	52
Tablo 5.3. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=27.6mm)	53
Tablo 5.4. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=28.8mm)	53
Tablo 5.5. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=30.2mm)	54
Tablo 5.6. Çapraç takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h= 25mm)	55
Tablo 5.7. Çapraç takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=26.4mm)	55
Tablo 5.8. Çapraç takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=27.6mm)	55
Tablo 5.9. Çapraç takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=28.8mm)	56
Tablo 5.10. Çapraç takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=30.2mm)	56
Tablo 5.11. İzotropik malzemenin teorik ve deneysel maksimum gerilme ile k değerleri.....	57



RESİMLER**Sayfa**

Resim 4.1. Dişli Zincirinin Fotoelastik Cihazdaki Görünümü.....	43
Resim 4.2. Fotoelastik Ölçüm Sonucunda Meydana Gelen Gerilmelerin Görünüşü.....	43
Resim 4.3. Dişli Zincirinin Strain-geuge Cihazı İle Ölçümü.....	45



SİMGELER

A	Dik kesit alanı (mm^2)
A_f	Fiberin kesit alanı (mm^2)
A_m	Matrix'in kesit alanı (mm^2)
$ k $	Rijitlik matrisi
E	Elastisite modülü (N/mm^2)
E_f	Fiberin elastisite modülü (N/mm^2)
E_m	Matrix'in elastisite modülü (N/mm^2)
e_i	İlkel şekil değiştirme miktarı
e_t	Isıl şekil değiştirme miktarı
e_{xx} e_{yy} e_{xy}	Birim şekil değiştirmeler
G	Malzemenin kayma modülü (N/mm^2)
h	Dişli zincirinin en zayıf kesitinin mesafesi (mm)
Δh	Matrix ve Fiberin toplam uzama miktarı (mm)
Δh_f	Fiberin uzama miktarı (mm)
Δh_m	Matrix uzama miktarı (mm)
j	Atelet momenti (cm^4)
$ k $	Rijitlik matrisi
M_d	Burulma momenti
P	Dış kuvvet (N)
P_i	İlkel kuvvetler (N)
P_t	Isıl kuvvetler (N)
r	Pim delik çapı (mm)
t	Et kalınlığı (mm)
$ S $	Elastisite matrisi
U	Genel yer değiştirme fonksiyonu

V	Kompozitin hacmi (mm^3)
V_f	Lifin hacimsal kontrasyonu (mm^3)
V_m	Matriks' in hacimsal kontrasyonu (mm^3)
$ s $	Düğüm deplasmanları matrisi
σ_1	Eksenel mukavemet (N/mm^2)
σ_2	Transvörs mukavemet (N/mm^2)
σ_f	Fiber malzemesine ait gerilme (N/mm^2)
σ_m	Matrix malzemesine ait gerilme (N/mm^2)
σ_{\max}	Maksimum normal gerilme (N/mm^2)
σ_0	En zayıf kesitteki ortalama normal gerilme (N/mm^2)
$\sigma_{xx} \sigma_{yy} \sigma_{zz}$	Normal gerilme (N/mm^2)
τ_{12}	Kayma mukavemeti (N/mm^2)
τ_{\max}	Maksimum kayma gerilmesi (N/mm^2)
$\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx}$	Kayma gerilmeleri
ϵ	Toplam şekil değiştirme
ϵ_f	Fibren şekil değiştirme miktarı
ϵ_m	Matriks' in şekil değiştirme miktarı
ν	Poisson oranı
α	Isıl genişleme katsayısı ($1/^\circ\text{C}$)
γ_f	Fiberin dönme açısı
γ_m	Matrix' in dönme açısı

BÖLÜM 1

1.GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin gelişmesine paralel olarak tekniğin ihtiyaç duyduğu malzeme özellikleri de devamlı olarak artmaktadır. Genellikle bu özellikler; Mukavemet, yüksek rijitlik, yalıtkanlık, aşınma direnci, korozyona dayanıklılık, ısıya dayanıklılık, imalat kolaylığı, mukavemet/özgül ağırlık oranı, yorulma ömrü vs. dir. Bu özelliklere sahip olan bir malzemenin yalnız elementlerden veya onların aleşimından temini imkansızdır. Bunlar yerine, klasik malzemelerin makro seviyede birleştirilmeleriyle oluşturulan kompozit malzemeler, tekniğin bu isteklerine cevap verebilmektedir. Kompozit malzemelerde bileşenlerin özellikleri bilindiğinde elde edilen yeni malzemenin mekanik özellikleri bazan matematiksel olarak hesaplanabilir. (yoğunluk, elastiklik özellikleri vs). Kompozit malzemelerin (KM) kullanımı çok eski çağlara kadar uzanır. Yer yüzünde tahta, kemik vb. birtakım KM' lere rastlanabilir. Yapay KM kullanımına ilk örnek olarak kerpiç ve kontraplak gösterilebilir. Ancak KM üretiminin bilimsel anlamda gerçekleştirilmesi süreci 1940' lı yıllarda Cam Takviyeli Plastiklerin (CTP) kullanımı ile başlamıştır. İlk uygulamalar bu malzemenin elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, hava koşullarına dayanıklılık ve mekanik dayanım gibi özellikleri nedeni ile radarlardaki kullanımı olmuştur. Ülkemizde henüz gelişme sürecini yaşayan CTP' lerin dünyadaki gelişim ve yaygınlaşması büyük ölçüde doyma düzeyine ulaşmıştır. 1960' lı yıllarda ortaya çıkan ve henüz gelişme aşamasını yaşayan ileri KM' ler ise ülkemizde yeni yeni tanınmaktadır.

Kompozit malzemeler takviye olarak matrix ve fiberlerden oluşmaktadır. Matrix malzeme fiberleri birbirine bağlar ve fiberlerin istenilen yönde yerleştirilmelerini sağlar. KM' ye etki eden dış yükler matrix vasıtasıyla fiberlere iletilir. Matrix aynı zamanda fiberleri birbirinden ayrı tutarak bir fiberde oluşan çatlakların diğer fiberlere yayılmasını önler. Matrix malzeme aynı zamanda fiberleri dış etkilere karşı korur.

Günümüzde matrix olarak çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir matrix maddesi polyesterdir. Polyester 100°C sıcaklığın altında oldukça iyi mekanik ve kimyasal özelliklere sahiptir, fakat ısı işlem sırasındaki çekme payı fazla olup fiberlerde burkulmaya neden olur. Matrix malzemeler arasında en yaygın olanı epoksiddir. Isıl işlem sırasında çekme payı poliestere göre çok azdır.

Mühendislik elemanların dizaynında gerilmelerin bilinmesinde büyük faydalar vardır. Gerilme analizi üzerinde çalışan mühendisler problemi basit olarak kiriş, silindirikler, küreler, dairesel plaklar ve buna benzer şekildeki elemanlarla sınırlanmışlardır. Uygulama alanında

önemli yapılar fiziksel olarak modellenilebilir ve gerilme şekil değiştirme verileri ya strain-gage veya fotoelastik yöntemlerle belirlenir, veya kontrol edilir.

Mühendislik problemlerinde nümerik metotlar sık sık kullanılmaktadır. Bunlardan, sonlu farklar metodu, diferansiyel denklemleri belli sayıda cebirsel denklem sistemine dönüştürür, ve çözer.

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar metodu kompleks geometrik yapıya sahip elemanların çözümünde büyük kolaylık sağlar. Sonlu elemanlar çözüm tekniğinde bir çok elemanlar mevcuttur. Çözümde, dişli zincirinin otomatik tarama yapılabilmesi için üçgen elemanlar yöntemi seçilmiştir.

Zincir mekanizmaları, dişli çark ile kayış kasnak mekanizmaları arasında, ara bir mekanizma olarak kabul edilebilir. Dişli çarklarda olduğu gibi, burada da hareket şekle bağlı olarak doğrudan doğruya temas yolu ile iletilir. Kayış kasnak mekanizmaları ile benzerliği ise, döndüren ve döndürülen çarkların arasında zincir denilen üçüncü bir elemanın bulunmasından ileri gelir.

Zincir mekanizmaları;

- a) Oldukça uzak mesafelere (8m ' ye kadar) güç ve hareket iletilmesi,
- b) Hareket şekle bağlı olduğundan, istenilen çevrim oranının tam olarak sağlanması,
- c) Bir milden, aynı anda birkaç mile hareket iletilmesi,
- d) Çeşitli ortamlarda (sıcaklık, pislik,toz,rutubet) iyi bir çalışma kabiliyeti göstermesi,
- e) Oldukça iyi bir verime ($\eta = 0.96 \dots \dots 0.98$) sahip olması bakımından kullanım alanı gayet geniştir.

Bununla beraber;

- a) Oldukça ağır ve pahalı bir konstrüksiyon oluşturması,
- b) İletilen hızın sabit olmaması ve bu nedenle kütleli kuvvet, darbe ve titreşimlerin oluşmasından dolayı gürültülü olarak çalışması,
- c) Dikkatli bir montaj ve bakım (iyi bir yağlama) gerektirmektedir.

Zincir, birbirine mafsallı olarak bağlanan bir çok rijit elemandan oluşan bir sistemdir. Zincirin çarkın üzerine sarılması için gereken esneklik, mafsallar tarafından sağlanmaktadır. Genellikle hareket iletmek için rulolu manşonlu, burçlu, dişli ve menteşeli denilen dört tip zincir kullanılmaktadır.

Günümüzde zincir dişliler, çeşitli uygulamalar için güç ve hareket aktarmalarında geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları olarak; takım tezgahları, tekstil makineleri, madencilikte , petrol aramalarında, güç iletim işlerinde ve diğer alanlar sayılabilir. Bu dişlilerde gerilme ve yorulma analizi önemli bir yer tutmaktadır.

Zincir dişlilerde gerilme analizi üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlar çoğunlukla da Amirikada yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; izotropik, cam-epoksi, boron-epoksi ve grafit-epoksi kompozit malzemeden imal edilen dişli zincirinin değişik profilleri için gerilme dağılımının incelenmesi, birbirleriyle mukayesesi ve yük taşıma ve çalışma kabiliyeti yönünden en uygun malzeme, takviye açısı ve profilin tesbit edilmeleridir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırmasında; üzerinde yarı dairesel çentik açılmış izotropik düzlem plaklar üzerinde oluşan gerilme yığılmaları konusu, ilk defa (Frocht, 1936) tarafından fotoelastik metodla başarılı bir şekilde incelenmiştir. (Blaka, 1975) üzerine yarı dairesel çentik açılmış plak ile üzerine yarı dairesel yiv açılmış çubuklarda meydana gelen gerilme yığılmalarını karşılaştırmıştır. (Fessler, 1980; Bakır, 1977) üzerine çeşitli tipte çentikler açılmış ve değişik yüklemelere maruz plaklarda oluşan gerilmeleri incelemiştir.

(Rylander, 1968) yansımali polariskop kullanarak fotoelastik yolla üzerine yarı dairesel yiv açılmış millerdeki gerilme yığılmalarını değişik kuvvetler ve bunların değişik kombinezonları için bulmuşlardır.

Komplex gerilme fonksiyonları da kullanılarak çok karışık olmayan geometrilere gerilme dağılımları bulunabilmektedir. (Hasabe, 1978; Atsumi, 1957; Theocaris, 1979) komplex fonksiyonlar kullanarak üzerine çentikler açılmış çeşitli plaklarda oluşan gerilme yığılma katsayılarını elde etmişlerdir.

Değişik bir nümerik çözüm metodu olan " sınır integral metodu " kullanılarak da çeşitli tip elemanlarda gerilme dağılımları (Cruse, 1977; Anderson, 1982). Tarafından araştırılmıştır.

Gerilme dağılımlarının ve gerilme yığılma katsayılarının fotoelastik metodla hassas olarak bulunmasına rağmen bu metod veya diğer deneysel metodlar pahalı ve çok zaman alıcıdır. Bilhassa kompozit malzemelerde fotoelastik ölçüm yapılması izotropik malzemeyle ölçüm yapılmasından daha zordur. Bu durumda ölçümler yansımali polariskopla yapılabilmektedir. Bu şekilde hakiki malzeme üzerinde yapılan ölçümler diğerlerinden çok daha zor ve zaman alıcıdır.

Gerilme tesbitinde kullanışlı diğer bir metod da elektriki benzeşim metodudur. (Kato, 1981) elektriki benzeşimi ile gerilme yığılma katsayılarını dönel elemanlarda bulmuş ve bu sonuçları kendinden önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlarla mukayese etmiştir.

Sonlu elemanlar üzerinde çalışmalar ve temel bilgiler geniş şekilde (Bathe, 1982; Zienkiewicz, 1982; Huebner, 1975) yayınlarında bulunmaktadır.

Yine nümerik integrasyonun sonlu elemanlara uygulanmasında (Irons, 1966) çalışmalar yapılmıştır.

Üzerinde dairesel bir delik bulunan kompozit plaklarda gerilme dağılımının incelenmesi (Hoff, 1981) tarafından yapılmıştır.

Ayrıca, kontak problemleri üzerinde sınırlı elemanları metoduyla (Brebbia, 1978; Wolker, 1980; Andersson, 1979; Fredriksson, 1976; Person, 1964) çalışmalarda bulunmuşlardır.

Cam fiber takviyeli ortotropik kompozit malzemeden yapılmış değişken kesitli milde kayma gerilme analizi üzerinde, (Özbay, 1987) bir çalışma yapmıştır. Yine, (Antonescu ve Dix, 1975) dönen zincir dişlilerdeki gerilme analizini bilgisayar destekli sonlu eleman metodu kullanarak tesbit etmiş ve bu sonuçları strain-gauge ve fotoelastik ölçümlerle karşılaştırmışlardır.

(Haas, Lee, 1986) kompozit tabakalar ve kabukları modellemek için yeni bir sonlu eleman geliştirilmiş ve birkaç nümerik örnek çözülmüş, çözümler mevcut sonlu çözümlerle ve klasik "tabaka" teorisi ile karşılaştırılmıştır.

Zincir dişlilerde aşınma ömrü ile ilgili araştırmalar ise, (Rachner, 1962; Stephanoff, Vorobiev, 1968) tarafından yapılmıştır.

(Eldiwany, Marshek, 1983) taraflarından yapılan çalışmada değişik yüklerle yüklenen dişli zincirlerinde yük dağılımı deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şöyle sıralanmıştır;

a) dişli zincirlerinde yük dağılımı dişli ile zincir yüzeyi arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Dönme yönüne ters çalışmalarda da sürtünme kuvveti dönme yönünde oluşur.

b) Yağlamaman yük dağılımına görünür bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

c) Düşük dönme hızlarında yük dağılımının dengeli olduğu görülmüştür.

(Ramamurt, Rao, 1978) Dişlilerdeki gerilme analizini dairesel simetri kullanarak sonlu elemanlar metodu ile araştırmışlardır. Sınırlı şartları olarak iki dişlinin birbirine temas ettiği noktalar alınmıştır. Çalışma sonunda yükleme yapılmamışken dişlerde bir gerilme oluşmadığı, yükleme durumunda gerilmenin diş dibine doğru yoğunlaştığı tesbit edilmiştir. Bilgisayarla yapılan çalışma sonuçları grafiklere aktarılarak gerekli mukayeseler yapılmıştır.

Elastik cisimlerdeki deformasyonların tesbitinde kullanılmak üzere, sonlu elemanlar metodu ile çözüm esasları üzerinde, (Heyliger, Reddy, 1987) çalışmalarda bulunmuşlardır. Burada, kullanılan metodlarda izlenecek yöntemler ve yapılabilecek kabuller verilerek sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme ve deformasyon analizi yapanlara yardımcı olacak bilgiler verilmiştir.

(Tuttle, 1987) Polimerik-fiber kompozit malzemelerin mekanik ve termik özelliklerini araştırmıştır. Araştırmada, ön yüklemeli kompozit malzemelerin gerilme analizi üzerinde durulmuştur.

Yarı-izotropik 8 katmanlı kompozit malzemede fiberlerin 0°, 45° ve 90 derece durumları için katmanlardaki gerilmeler incelenmiştir. Bu çalışmada çok sayıda teknik zorlukların bulunduğunu açıklamıştır.

(Mamed-Zade, 1979) Rulolu manşonlu zincirlerde gerilme dağılımı üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada dişli baklalarına galvanik bakır kaplama uygulanarak dişlinin delik çevresinde ve düz kısımlarında gerilme değişimi araştırılmıştır. Çalışmalarda, rulolu manşonlu zincirlerine simetrik olmayan bir yükleme ile elektrodinamik çalışan bir makine yardımıyla yorulma testi uygulanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, maksimum gerilmenin delik çevresinde meydana geldiği ve delik çevresinden uzaklaştıkça gerilmelerin de azaldığı görülmüştür. Bu tür dişlilerin çalışma ömürlerini artırmak için, dişli düz kısmı üzerinde uygun bölgelere deliklerin açılması halinde yararlı sonuçların alınacağı belirtilmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında, bu çalışmanın konusunu teşkil eden cam-epoksi, boron-epoksi ve grafit-epoksi kompozit malzemelerden imal edilmiş fiber takviyeli dişli zincir elemanlarla ilgili gerilme analizini detaylıca araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu nedenle, konunun belirli yönleriyle açıklığa kavuşturulması, bilgisayar sonuçlarının alınması uzun bir zaman dilimi içinde mümkün olmuştur.

BÖLÜM 3

DİŞLİ ZİNCİRLERİNDEKİ GERİLMELERİN TESBİTİNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL YÖNTEM

Gerilme analizine ait çözümlerde daha doğru sonuçlar veren ve son yıllarda hemen hemen bütün alanlarda çok yaygın olarak kullanılan, Sonlu elemanlar metodu, çok kompleks geometrik yapıya sahip elemanların çözümünde kolaylık sağlayan bir yöntemdir. Önemli bir özelliği tüm problemi temsil etmek üzere elemanları bir araya koymadan önce her bir elemanın ayrı ayrı formüle edilebilmesidir. Herhangi bir gerilme analizi problemi ile uğraşılıyorsa her bir elemana etki eden dış kuvvetler ve elemanın düğüm noktalarının yer değiştirme bağıntıları bulunursa tüm sistem çözülmüş olur. Bu şekilde kompleks bir problem oldukça basit bir probleme dönüştürülmüş olur.

Sonlu elemanlar metodunun çeşitli çözüm yöntemleri mevcuttur. Bunlardan izoparametrik yöntem, üçgen elemanlar yöntemi vs. gibi yöntemler bulunmaktadır. İzoparametrik sonlu eleman formülasyonunda temel işlem, elemanın yer değiştirmelerinin ve koordinatlarının elemanın tabii koordinat sistemini kullanan interpolasyonlar formunda ifade edilmesidir (Zienkiewicz, 1979; Bathe, 1982).

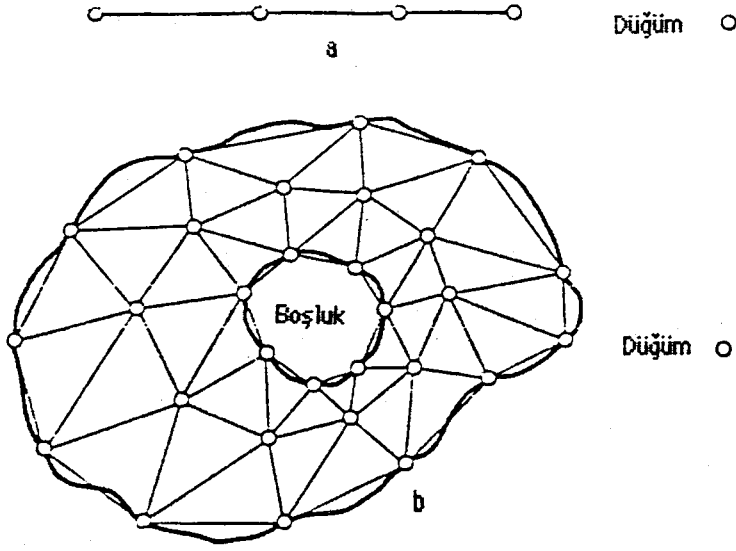
Bu hesaplamada en önemli safhalardan birisi interpolasyon fonksiyonunun seçilmesidir. İnterpolasyon fonksiyonunun seçimiindeki zorluk ise elemanların ara yüzeylerinde sürekliliğin sağlanmasıdır. Süreklilik için ortak eleman yüzeylerinde elemanların koordinatları ve yer değiştirmeleri aynı olmalıdır. Bu da rijit cisim yer değiştirmelerinin ve sabit şekil değiştirmelerin olmasıyla vukubulmaktadır. Bu durum üç düğümlü üçgen elemanlarda görülmektedir. Böyle bir elemanda süreklilik otomatik olarak sağlanmaktadır (Neth, 1974; Fenner, 1975; Holand, 1970).

Ara yüzeydeki süreklilik sonlu eleman tekniğinde alan koordinatları dışında genellikle şu iki tip polinomlarla sağlanmaktadır.

- a) Lagrange Polinomları
- b) Hermite Polinomları

Hermite polinomları ince plakların ve kabukların hesaplanmasında çok kullanışlı olmaktadır (Huebner, 1975).

1) Yukarıda belirtildiği gibi sürekli ortam, belli şekil ve aynı sayıda sonlu elemanlara ayrılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sonlu elemanlarda sürekli ortamın sağlanması.

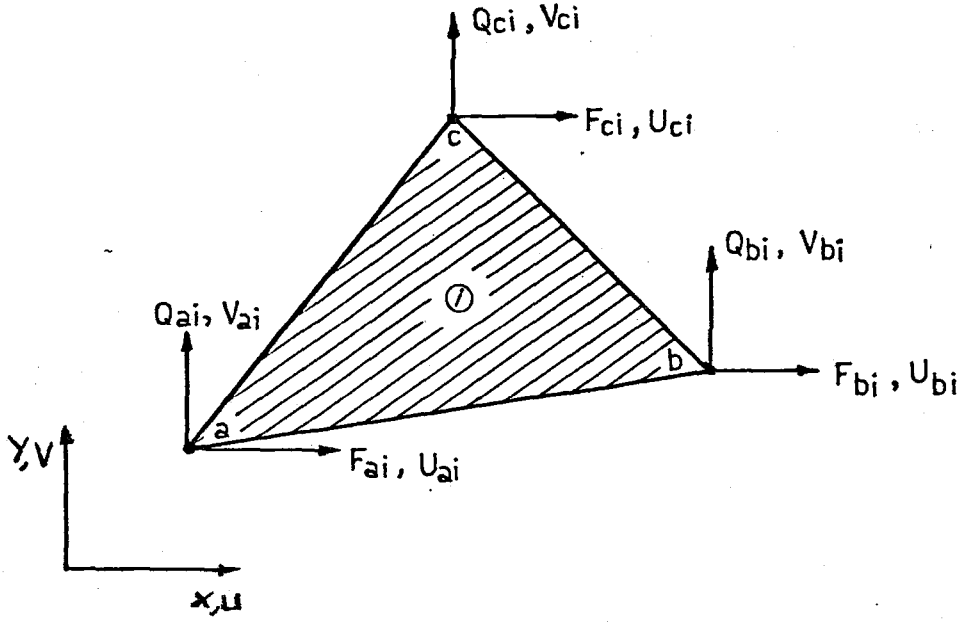
2) Elemanlar birbirlerine ve sürekli ortama belli sayıda düğüm noktaları ile bağlıdır. Bu düğüm noktalarına ait her bir yer değiştirme değerleri problem içerisindeki bilinmeyen parametrelerdir (Şekil 3.2). Şekildeki a,b,c köşeleri üçgen elemanın düğüm noktalarıdır. Şekildeki düğümlerden her birisi, iki doğrultuda hareket edebilir. Dolayısıyla her bir üçgen elemanın toplam altı serbestlik derecesi mevcuttur. Bunlara düğüm yer değiştirmeleri denir. Üçgen elemanların çözümünde altı serbestlikten dolayı altı bilinmeyen sayısı vardır.

3) Sınır şartlarının kullanılması; sürekli ortam için verilen sınır şartları kullanılarak denklemin çözümüne gidilir. Buradan düğüm yer değiştirmeleri bulunur.

4) Bulunan düğüm yer değiştirmeleri yardımıyla şekil değiştirmeler, gerilme bileşenleri ve asal gerilmeler her bir eleman için bulunabilir.

Dengede bulunan bir cisimde, etki eden tüm dış ve iç kuvvetlerin statik dengede olması gerekir. Yüklü iş prensibi veya varyasyon hesap tekniği kullanarak bir elemanın düğümlerine tesir eden dış kuvvetler ile iç kuvvetler arasında statik bir bağıntı elde edilir. Bu bağıntıdan çözüm için gerekli eleman dirençlik matrisinin formülasyonu bulunur. Her bir üçgen eleman için bulunan bu formülasyon bütün sisteme uygulanır ve elde edilen her bir dirençlik matrisi teker teker toplanarak sistem için komple dirençlik matrisi teşkil edilir. Elde edilen bu komple dirençlik matrisi ile diğer bilinen parametreler ve gerekli datalar önceden hazırlanan bilgisayar programına girilerek genel çözüme gidilir.

Herhangi bir problemin çözümünde sonlu eleman metodunun kullanılmasında şu hususlara dikkat edilmelidir.

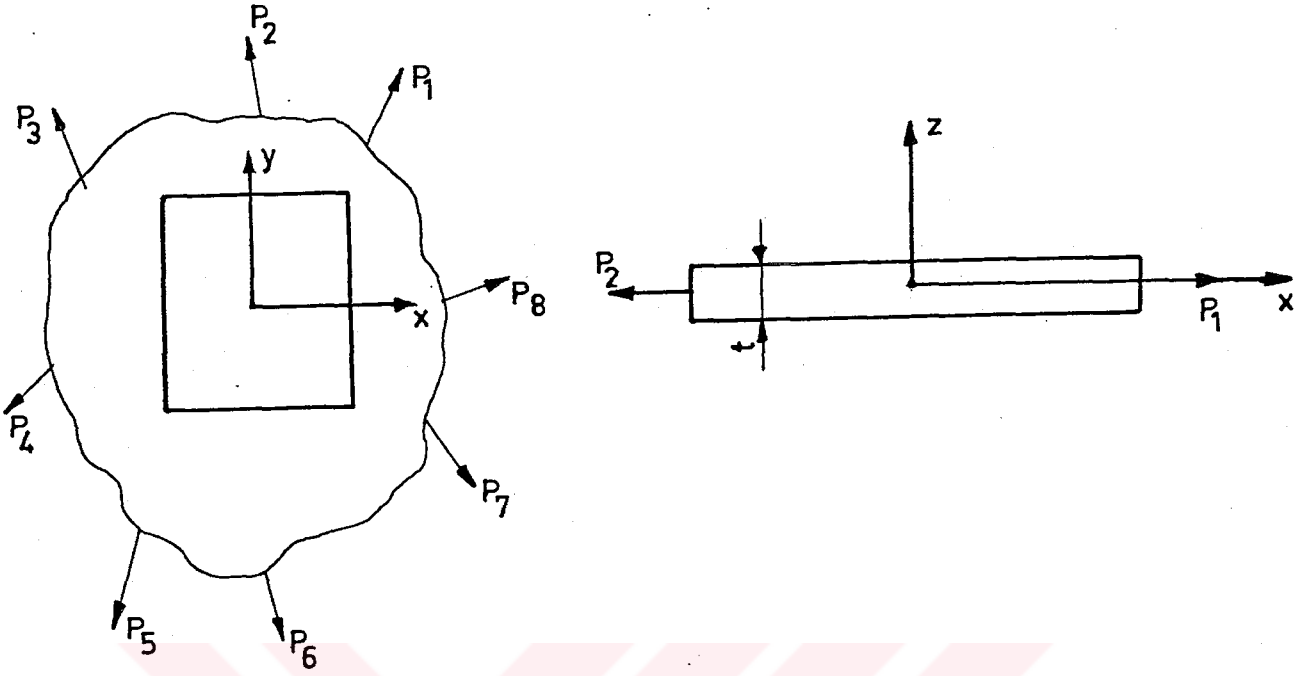


Şekil 3.2 Düğüm noktalarıyla tanımlanmış bir e_1 üçgen elemanı.

- Problem ne olursa olsun bilgisayar programlarının yazılabilirliği ve kısa sürede sonucun alınabilirliği,
- Çok bilinmeyenli denklem sistemlerinin çözümünde etkin yöntemlerin kullanılabilirliği,
- Matris şekline sokulabilirliği ve bununla da problemin çözümünde kolaylık sağlamasıdır.

3.1. Gerilme Şekil Değiştirme Bağlantılarının Formülasyonu

Sonlu elemanlar metodu, iki boyutlu ve değişik şekillerdeki elemanların kullanılması halinde, özellikle elastik veya elasto plastik düzlem problemlerinin çözümünde basit ve etkili bir yöntemdir. Bu çalışmada çözüm olarak üçgen eleman yöntemi seçilmiştir. Burada kısaca üçgen elemanların formülasyonu üzerinde durulacaktır. Yapılan araştırmada, et kalınlığı diğer boyutlarına göre küçük olan bir dışlı zincir, kendi düzlemi içinde etkili kuvvetlere maruz bulunmaktadır. Bundan dolayı, incelenen problem iki boyutlu düzlem gerilme problemi olarak düşünülebilir. Bu nedenle ilk olarak elastisite teorisinin düzlem gerilme haline ait gerilme-şekil değiştirme bağlantıları verilecektir. Ele alınan her hangi bir sistemin bir boyutu diğer iki boyutunun yanında çok küçük kalıyorsa ve ayrıca bu yönde yük taşııyorsa, problem bir düzlem gerilme problemi olarak ele alınabilir.



Şekil 3.3 Düzlem gerilme haline sahip bir levha.

Bu durumda;

$$\sigma_{zz} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad \text{dır.} \quad (3.1)$$

Bu değerler genel Hooke formülünde yerine konursa, şekil değiştirmeler;

$$e_{xx} = 1/E.(\sigma_{xx} - \nu. \sigma_{yy}) \quad (3.2)$$

$$e_{yy} = 1/E.(\sigma_{yy} - \nu. \sigma_{xx}) \quad (3.3)$$

$$e_{zz} = 1/E.(-\nu. (\sigma_x + \sigma_y)) \quad (3.4)$$

$$e_{xy} = (1/G) . \tau_{xy} \quad (3.5)$$

$$e_{yz} = (1/G) . \tau_{yz} = 0 \quad (3.6)$$

$$e_{zx} = (1/G) . \tau_{zx} = 0 \quad (3.7)$$

olarak elde edilir. Bu ifadeleri matris formunda yazacak olursak;

$$\begin{Bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{xy} \end{Bmatrix} = 1/E \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.8)$$

bulunur. Buradan;

$$\{\epsilon\} = [S] \cdot \{\sigma\} \quad (3.9)$$

yazılır. Bu matrisin tersi alınrsa;

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda+2G & \lambda & 0 \\ \lambda & \lambda+2G & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada;

$$\lambda = \nu E / (1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu) \quad (3.11)$$

$$G = E / 2(1 + \nu) \quad (3.12)$$

dir.

Bu bağıntı kısaltılmış olarak şöyle yazılır:

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\epsilon\} \quad (3.13)$$

$$[S]^{-1} = [D] \quad (3.14)$$

3.1.1. Isıl Zorlanmadan Meydana Gelen Şekil Değişiklikleri:

Çalışılan her hangi bir sistemde, sıcaklık farkından dolayı bir ısı zorlanma da var ise, bu durumda meydana gelen şekil değişikliği;

$$\{e_i\} = \begin{Bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{xy} \end{Bmatrix} = \alpha \cdot T \cdot \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

Ayrıca sistem içerisinde ilkel zorlanma var ise, yani ısı işlem veya kaynak gibi herhangi bir işlemten sonra cisim içerisinde kalıcı gerilmelerin sebep olduğu şekil değiştirmelerdir. Dış kuvvetlerden ileri gelen şekil değiştirmeler;

$$\{e\} = \{\epsilon\} - \{e_i\}$$

dir. Burada ϵ toplam şekil değiştirme matrisi, e_i ilkel şekil değiştirme matrisidir.

$$\{e_i\} = \begin{Bmatrix} e_{ixx} \\ e_{iyy} \\ e_{ixy} \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

Sistem üzerinde ısı kuvvetler, dış kuvvetler ve ilkel kuvvetlerin etkisi var ise, bu kuvvetlerden ileri gelen şekil değiştirme matrisi;

$$\{e\} = \{\epsilon\} - \{e_i\} - \{e_j\} \quad (3.17)$$

dir. Eşitliğin her iki yanını $|D|$ elastite matrisi ile çarpılırsa,

$$\{\sigma\} = |D| \{e\} = |D| \{\epsilon\} - \{\sigma\}_i - |D| \{e_j\} \quad (3.18)$$

bu durumda gerilme denkleminin en genel hali elde edilmiş olur. $|D|$ elastisite matrisi düzlem gerilme için şu şekilde yazılabilir.

$$|D| = E/(1 - \nu^2) \cdot \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu)/2 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

burada, ısı gerilme matrisinin genel hali şöyle bulunur.

$$\{\sigma_i\} = |D| \cdot \{e_i\} \quad \text{idi}$$

$$\{\sigma_i\} = \{\sigma_{xx} \ \sigma_{yy} \ \tau_{xy}\}^T \quad (3.20)$$

ve buradan,

$$\{\sigma_i\} = E \cdot \alpha \cdot T / (1 - 2\nu) \cdot \{1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\}^T \quad (3.21)$$

olarak yazılabilir. Düzlem gerilme için,

$$\{\sigma_i\} = E \cdot \alpha \cdot T / (1 - 2\nu) \cdot \{1 \ 1 \ 0\}^T \quad (3.22)$$

dir.

3.2. Çözümde Kullanılan Üçgen Eleman Yöntemi

Şekil 3.4` de görülen bir e_i üçgen elemanın, (x,y) eksen takımına göre düğüm noktalarındaki kuvvetler ve yer değiştirmeler tanımlanmış olsun. Şekilde, e_i üçgen elemanı i, j, k düğüm noktalarına ait yer değiştirme bileşenleri u, v ve kuvvetler F, Q ile gösterilmiştir.

Üçgenin her düğümü için iki serbestlik derecesi ve her bir üçgen eleman için de altı serbestlik derecesi bulunmaktadır. Ayrıca her üçgenin yer değiştirme fonksiyonun da altı tane parametresi bulunmaktadır (Bathe, 1982).

$$U(x,y) = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot y \quad (3.23)$$

$$v(x,y) = A_3 + A_4 \cdot x + A_5 \cdot y \quad (3.24)$$

Toplam yer değiştirme fonksiyonu;

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} u(x,y) \\ v(x,y) \end{Bmatrix}$$

dir.

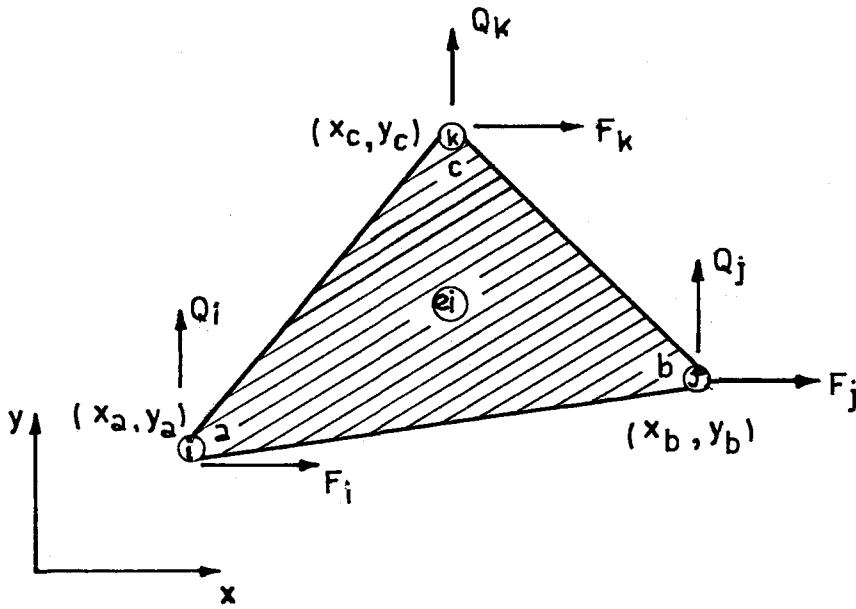
Bu matris formunda yazılırsa

$$\{U\} = [M] \cdot \{A\} \quad (3.25)$$

şekline gelir. Burada,

$$\{A\} = \{A_0 \ A_1 \ \dots \ A_5\}^T$$

dir.



Şekil 3.4 Bir e_i üçgen elemanın kuvvet ve yer değiştirmeleri.

M matrisi ise,

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

şeklindedir.

$[M]$, koordinatlara bağlı bir dikdörtgen matrisi belirtmektedir.

Yer değiştirme bileşenleri, üçgen elemanın düğüm noktaları için yazılırsa :

$$\begin{aligned} U_{ai} &= U(x_a, y_a) = A_0 + A_1 \cdot x_a + A_2 \cdot y_a \\ Y_{ai} &= Y(x_a, y_a) = A_3 + A_4 \cdot x_a + A_5 \cdot y_a \\ U_{bi} &= U(x_b, y_b) = A_0 + A_1 \cdot x_b + A_2 \cdot y_b \\ Y_{bi} &= Y(x_b, y_b) = A_3 + A_4 \cdot x_b + A_5 \cdot y_b \\ U_{ci} &= U(x_c, y_c) = A_0 + A_1 \cdot x_c + A_2 \cdot y_c \\ Y_{ci} &= Y(x_c, y_c) = A_3 + A_4 \cdot x_c + A_5 \cdot y_c \end{aligned} \quad (3.27)$$

Yukardaki yer değiştirme bileşenlerinin matris biçiminde yazılışı şöyledir.

$$\{\bar{\delta}\} = \begin{Bmatrix} U_{a1} \\ V_{a1} \\ U_{b1} \\ V_{b1} \\ U_{c1} \\ V_{c1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_a & y_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_a & y_a \\ 1 & x_b & y_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_b & y_b \\ 1 & x_c & y_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_c & y_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \end{Bmatrix} \quad (3.28)$$

Yeya kısaltılmış notasyonla yazılırsa,

$$\{\bar{\delta}\} = [C] \cdot \{A\} \quad (3.29)$$

dır. Böylece düğüm yer değıştirmeleri elde edilir. Burada, $\{\bar{\delta}\}$ düğüm yer değıştirme bileşenlerini ifade eden bir sütun matrisidir. Düğüm noktaları koordinatlarından oluşan bir kare matrisi gösteren $[C]$ ise, şu şekildedir.

$$[C] = \begin{bmatrix} 1 & x_a & y_a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_a & y_a \\ 1 & x_b & y_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_b & y_b \\ 1 & x_c & y_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_c & y_c \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

Şeklinde dir. Üçgen elemanın herhangi bir düğüm noktası için, şekil değıştirme matrisi e , yer değıştirme bileşenleri cinsinden şu şekilde yazılabilir (Bathe, 1982).

$$\{e\} = \begin{Bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial v / \partial y \\ (\partial u / \partial y + \partial v / \partial x) \end{Bmatrix} \quad (3.31)$$

(3.23) ve (3.24) denklemlerindeki yer değıştirmelerin x ve y 'ye göre türevleri;

$$\begin{aligned}
\partial u / \partial x &= A_1 \\
\partial u / \partial y &= A_2 \\
\partial v / \partial x &= A_4 \\
\partial v / \partial y &= A_5
\end{aligned} \tag{3.32}$$

dir. Bu değerler şekil değiştirme oranı $\{\epsilon\}$ ifadesinde yerine konur ve matris formuna sokulursa şu şekle gelir:

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_5 \\ A_5 + A_1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \{A\} \tag{3.33}$$

Bu ifade kısaca, şöyle yazılabilir,

$$\{\epsilon\} = [N] \cdot \{A\} \tag{3.34}$$

Burada $[N]$, bir dikdörtgen matrisi göstermektedir.

Virtüel iş prensibi yazılarak her bir eleman için dış kuvvetler ve iç kuvvetler arasında şu bağıntı elde edilir.

$$|K_i| \cdot \{\bar{\delta}_i\} = \{P\} + \{P\}_t + \{P\}_i \tag{3.35}$$

Bu ifadede P dış kuvvetleri, $(P)_t$ ısı kuvvetleri, $(P)_i$ iç kuvvetleri, $|K_i|$ dirençlik matrisini, $\{\bar{\delta}_i\}$ düğüm yer değiştirmeleri matrislerini temsil etmektedir.

Yukardaki formülasyon, incelenen dişli sistemi için yazılacak olursa;

$$|K_i| \cdot \{\bar{\delta}_i\} = \{P_i\} \tag{3.36}$$

şeklini alır. Çünkü incelenen sistemde ısı ve ilkel kuvvetler olmadığından dolayı P_t ve P_i sıfır alınmaktadır.

$|K_i|$ dirençlik matrisinin en genel hali şu şekilde yazılabilir.

$$|K_i| = |c_i^{-1}|^T \cdot |N|^T \cdot |D| \cdot |N| \cdot |c_i|^{-1} \cdot \Delta \cdot t \tag{3.37}$$

Burada, Δ üçgen elemanın alan olup koordinatlara bağlı olarak,

$$2 \Delta = (y_{bc} \cdot x_{ab} - y_{ab} \cdot x_{bc}) \quad (3.38)$$

denkleminde hesaplanır, burada;

$$x_{ab} = x_a - x_b$$

$$y_{bc} = y_b - y_c$$

ayrıca,

$$x_{ab} = -x_{ba}$$

$$y_{bc} = -y_{cb}$$

şeklinde de yazılabilir.

Formüldeki t ise incelenen dişli zincirinin et kalınlığıdır.

(3.36) denklemini açacak olursak,

$$\{P_i\} = \begin{Bmatrix} F_{ai} \\ Q_{ai} \\ F_{bi} \\ Q_{bi} \\ F_{ci} \\ Q_{ci} \end{Bmatrix} = |K_i| \cdot \begin{Bmatrix} U_{ai} \\ Y_{ai} \\ U_{bi} \\ Y_{bi} \\ U_{ci} \\ Y_{ci} \end{Bmatrix} \quad (3.39)$$

şeklinde yazılır.

Bundan sonra, bütün sistem için $|K|$ komple direngenlik matrisi ve $\{P\}$ komple dış kuvvetler matrisi elde edilir. Ye buradan bütün sistemin düğüm yer değiştirmeleri bulunur.

$$\{\bar{\delta}\} = |K|^{-1} \cdot \{P\} \quad (3.40)$$

Tekrar her bir eleman için $\{\bar{\delta}_i\}$ çağrılarak, üçgen elemandaki gerilme;

$$\{\sigma_i\} = |K_i| \cdot \{\bar{\delta}_i\} \quad (3.41)$$

denkleminde hesaplanabilir. Eleman gerilme matrisi :

$$\{\sigma_i\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = |D| \cdot |N| \cdot |C|^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} U_{ai} \\ Y_{ai} \\ U_{bi} \\ Y_{bi} \\ U_{ci} \\ Y_{ci} \end{Bmatrix} \quad (3.42)$$

Düğüm yer deęistirmeler matrisi:

$$\{\bar{\delta}_i\} = \{U_{ai} \ Y_{ai} \ U_{bi} \ Y_{bi} \ U_{ci} \ Y_{ci}\}^T \quad (3.43)$$

şeklinde tanımlanır. Ayrıca her bir üçgen eleman için şekil değiştirme elemanları, yer değiştirme bileşenleri cinsinden aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilir.

$$\{\epsilon_i\} = |N| \cdot |C|^{-1} \cdot \{\bar{\delta}_i\} \quad (3.44)$$

burada,

$$\{\epsilon_i\} = \{\epsilon_{xx} \ \epsilon_{yy} \ \gamma_{xy}\}^T$$

dir.

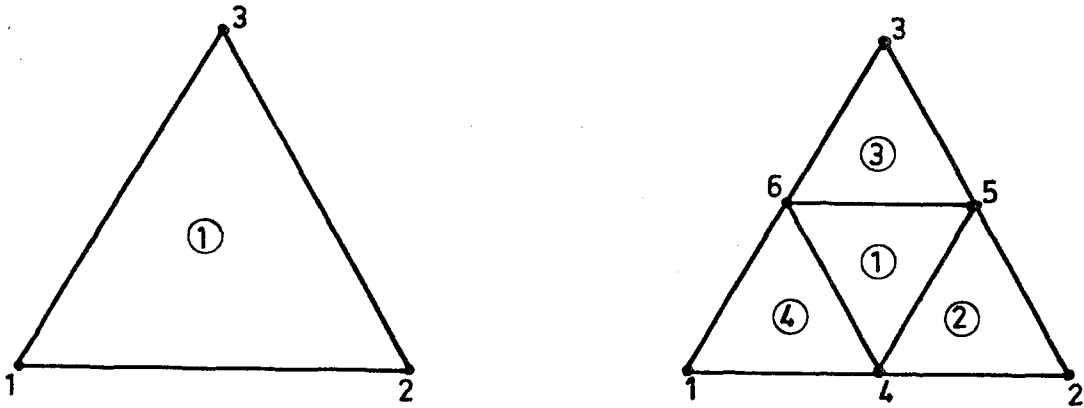
3.3. Sonlu Elemanlara Ayırma Yöntemi

Sonlu eleman metoduyla çözüm için önce ele alınan sistem hangi yöntem ile çalışılıyorsa o yönteme göre elemanlara ayırma ve numaralama işlemi yapılır. Tarama işlemi sistemin süreksizlik noktalarından; yani geometri, yükleme durumu, malzeme vb. büyüklüklerin özelliklerinin ani değiştirdiği yerlerde yapılır. Tarama işleminin çeşitli şekil ve durumları mevcuttur. Çözüm bölgesi tamamıyla düzgün bir ağı ile taramır. Gerilmelerin ani değişmesi gereken bölgeler, daha sık ve düzgün olarak tarama işlemine tabi tutulur. Eğrisel sınırlara sahip bölgeler, kenarları küçük doğrularla birleştirilerek üçgen elemanlara ayrılırlar.

Bilgisayar programı için sonlu elemanlar ve düğüm noktalarının uygun biçimde numaralandırılması gerekmektedir. Elemanların numaralandırılması saat ibrelerinin tersi yönünde uygulanır. Sonlu elemanların ve düğüm noktalarının numaralandırılması; bilgisayar

programında, her sonlu eleman numarasının ve bu elemana ait düğüm noktaları numaralarının giriş bilgileri (detaler bölümünde) içerisinde ayrı ayrı verilmesi gerekmektedir. Her düğüm noktasının eksen takımına göre x ve y koordinatları ile her elemanın düğümlerinin i, j, k değerleri bulunur, bulunan bu detaler yardımıyla bilgisayar programın çözümüne gidilir. Bilgisayar programı FORTRAN - 4 programlama diline göre izotropik ve kompozit malzeme için ayrı ayrı düzenlenmiş olup sonuçlar buna göre elde edilmiştir. Problemin çözümünde kullanılan bilgisayar programı Ek-5' de verilmiştir.

Bu çalışmada, önemli noktalardan birisi tarama işleminin otomatik olarak yapılmasıdır. Otomatik tarama yönteminde, önceden ilk etapta az üçgenlere ayrılan sistemin koordinat ve düğüm numaraları, otomatik tarama programı yardımıyla istenilen miktarda artırılabilir. Böylece belli sayıdaki üçgen elemanlar bu tarama metoduyla daha da fazlaleştirilmiş olmaktadır (Şekil 3.5). Üçgen elemanların fazla oluşu ise, problemin çözümünü o miktarda hassaslaştırmaktadır. Böylece daha evvelki düğüm koordinatlarından ve eleman numaralarından yeni koordinatlar ve eleman numaraları türetilmiş olur. Otomatik tarama yöntemi ile, 1 bölme istendiğinde önceki üçgen elemanın kenar ortalarının birleştirilmesiyle yeni bir alt üçgene ayrılmış olur. Dolayısıyla bir üçgen eleman, dört üçgen elemana bölünmüş olur (Şekil 3.5). Böylece belirli sayıdaki düğüm ve eleman sayısı otomatik bölme sonucunda daha da artırılmış olmaktadır. Otomatik taramanın bir çok avantajları vardır. Çünkü önceden seyrek taramaya sahip olan sistem, kısa bir zamanda program yardımıyla daha sık taramaya tabi tutulmakta ve aynı zamanda bu yeni işlem sırasında meydana gelen eleman ve düğüm numaralarının tekrar, tek tek bilgisayara yeni data olarak girilmesine gerek kalmamaktadır. Meydana gelen yeni datalar kendi kendine yerlerini almaktadır. Otomatik bölmeleme için, önceden oluşturulan eleman ve düğüm numaraları, ayrıca kuvvetin etki ettiği düğüm numaraları ile modelin dış hat üzerindeki düğüm numaraları ve sınır şartları programa yüklenir.



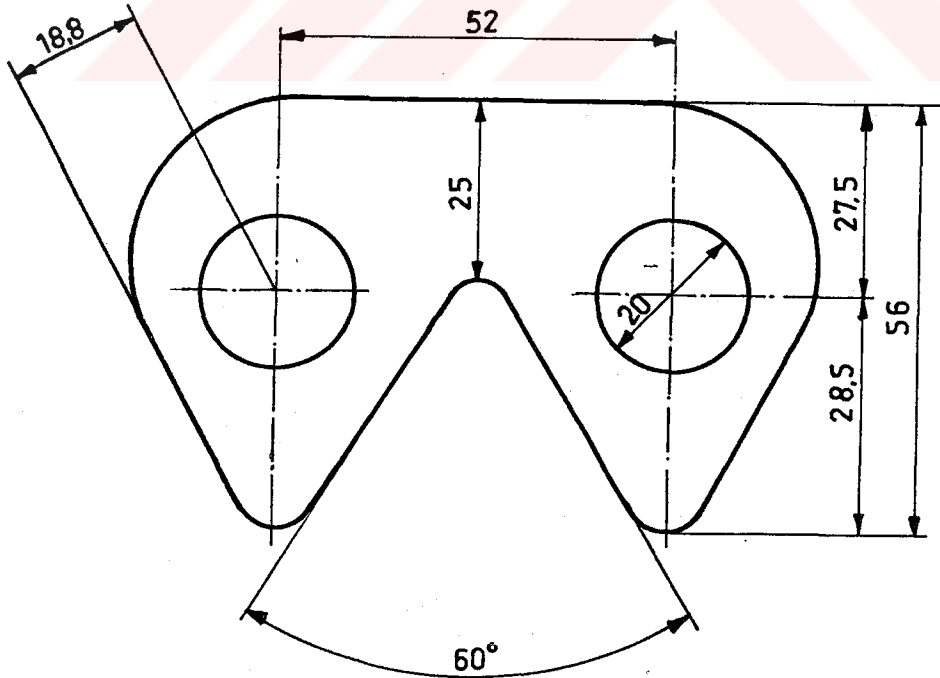
Şekil 3.5 Bir üçgen elemanın otomatik tarama yöntemi ile yeni alt üçgenlere ayrılması.

Ana programın çalıştırılmasında ise, önceden sonlu elemanın matematiksel formülasyonları yardımıyla uzun bir zaman dilimi içerisinde oluşturulan bilgisayar programına, önce düğüm numaraları, eleman sayıları (i,j,k), poisson oranı, elastisite modülleri, kalınlık, sıfır yer değiştirme sayısı, uygulanan kuvvet sayısı, kuvvetin uygulandığı düğüm sayısı ve numarası gibi veriler girilmektedir. Sonra düğümlerin koordinatları ile her elemanın en küçük düğüm noktasından başlayarak saat ibrelerinin tersi yönünde hareket ederek, diğer bütün düğüm numaraları okutturulur. Bu verilere bağlı olarak her düğüm noktasındaki yer değiştirmeler, her elemandaki şekil değiştirmeler ve gerilmelerin sonuçları bulunmuş olur.

3.4. Zincir Dişlisinin Sonlu Eleman Modelinin Hazırlanması

3.4.1. İncelenen Dişli Zincirinin Tanıtılması

Şekil 3.6 'daki dişli zincirinin boyutları esas alınarak çözümler yapılmıştır. Dişli zinciri oluşturan baklaların kavrama yüzeyi diş şeklindedir. Baklalar birbirine pim vasıtasıyla bağlanmıştır. Dişlerin profilleri doğrusal olup, profil açısı 60° dir (Şekil3.7).



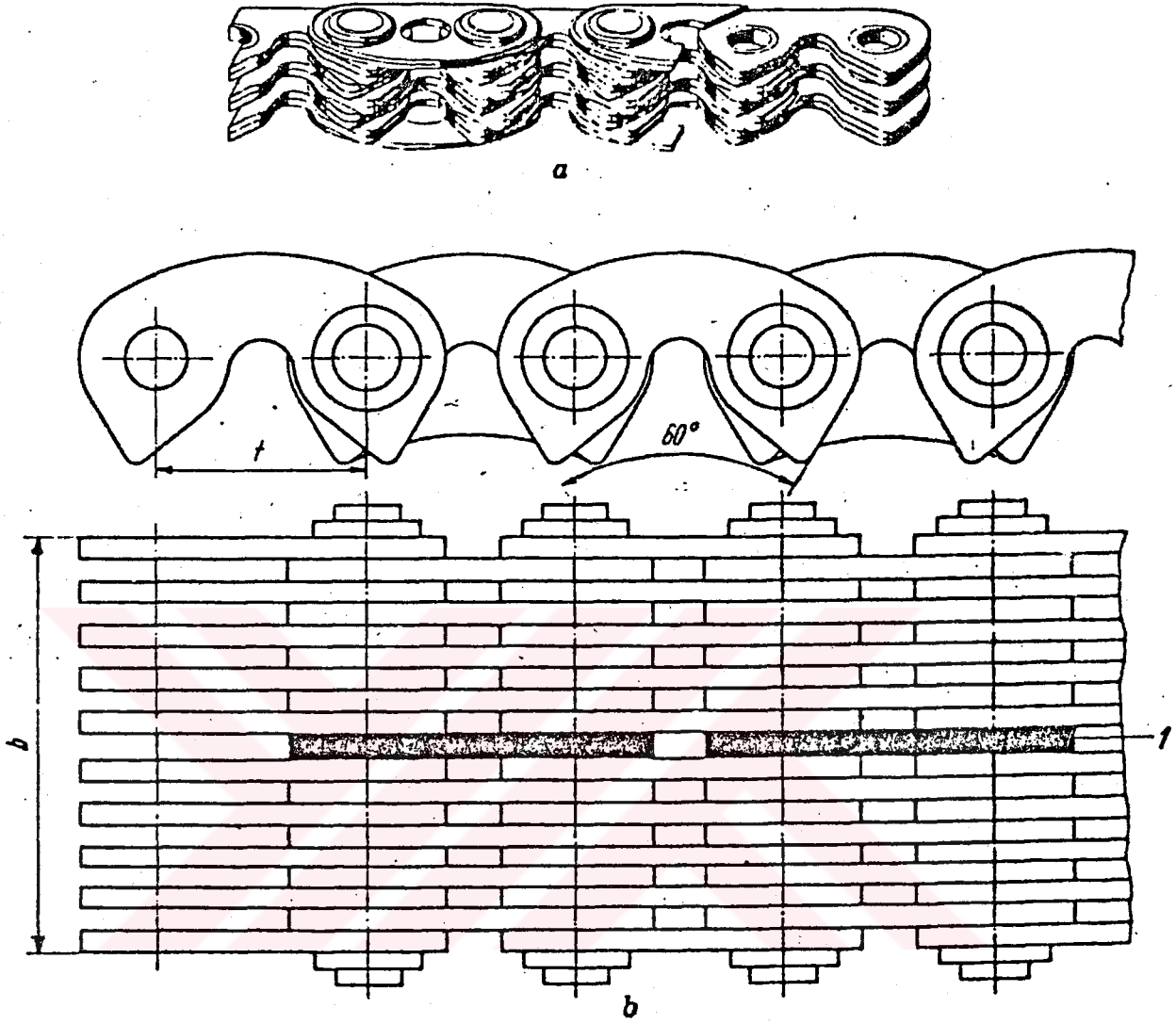
Şekil 3.6 İncelenen 1/1 ölçeğindeki zincir dişli baklası.

Özellikle yüksek hızlarda gürültüsüz çalışan ve sessiz zincir olarak da bilinen bu zincirler, diğerlerine göre daha karışık ve pahalı olmakla beraber daha dikkatli bir bakım isterler. Zinciri oluşturan baklaların temas yüzeyleri sertleştirilir. Yüzey sertliği 40 ile 50 HRC değerleri arasında değişir. İyi bir çalışma durumunun sağlanabilmesi için dişli zincirlerin, dişli çark üzerine merkezlenmesi gerekir. Merkezlenen, çarkta açılmış bir kanal içerisine (Şekil 3.8 a) giren ve zincirin ortasında tek sıra olarak özel kılavuz baklaları (Şekil 3.7 b de 1 ile gösterilen) yerleştirmek veya çarkın her iki yanına kılavuz (Şekil 3.7 b) takmak suretiyle yapılır.

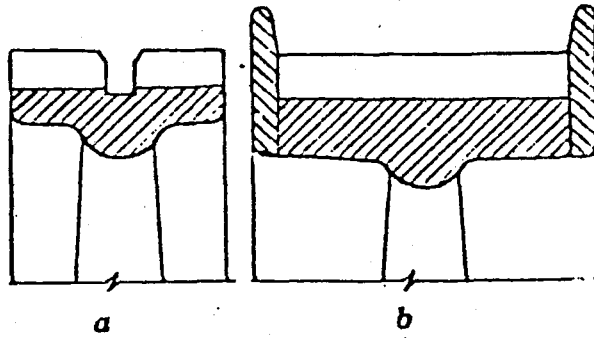
Zincirin çalışma kabiliyeti geniş ölçüde mafsallın şekline bağlıdır. En kötü konstrüksiyon, mafsallı bağlantıyı gerçekleştiren pim (Şekil 3.8 a) doğrudan doğruya baklaları açılmış deliklere yerleştirilmesidir. Kuvvetin tesir ettiği alan ($A=0,5.d.b$) nisbeten küçük olduğundan, gerek baklaların deliğinde ve gerekse pimlerde büyük aşınmalar meydana gelir. Pim ile baklalardaki delikler arasında bir burç (Şekil 3.9 b) konulduğu takdirde, temas alanı büyütülmüş ve böylece aşınma azaltılmış olur. Ayrıca burada izafi hareket pim ile burç arasında meydana geldiğinden baklaların delikleri aşınmaz. Bu konstrüksiyonun daha iyi sonuçlar veren değişik bir şekli, her bir parçası baklaların yalnız yarısına tespit edilen iki parçalı burçtur (Şekil 3.9 c). Büyük bir hareket serbestliği veren bu çözümde aşınmalar geniş ölçüde önlenmektedir. Son zamanlarda dairesel kesitli tek bir pim yerine, birinin yüzeyi düzlemsel, diğerininki (Şekil 3.9 d) ise kavis profilli olan iki pim kullanılmaktadır. Mafsallı hareketi, bu iki pim in temas yüzeyleri arasında meydana gelmektedir. Bu şekilde büyük bir hareket serbestliği elde edilir ve özellikle temas yüzeyleri sertleştirildiğinde aşınma geniş ölçüde azalır. Baklalarda yapılan uygun bir değişiklikle (Şekil 3.9 g), dişli zincirlerin $n=11000$ dev/dak devir sayısına kadar varan büyük hızlarda kullanılması sağlanabilir. Dişli zincirlerin boyutları DIN 8190' a göre ekte verilmiştir (Akkurt, 1982).

Bu çalışmada, verilen standartlar içerisinde, boyut olarak en büyüğü ele alınarak incelemeye tabi tutulmuştur. Sonlu eleman modelleri (Şekil 3.10 ve 11)' de görülmektedir.

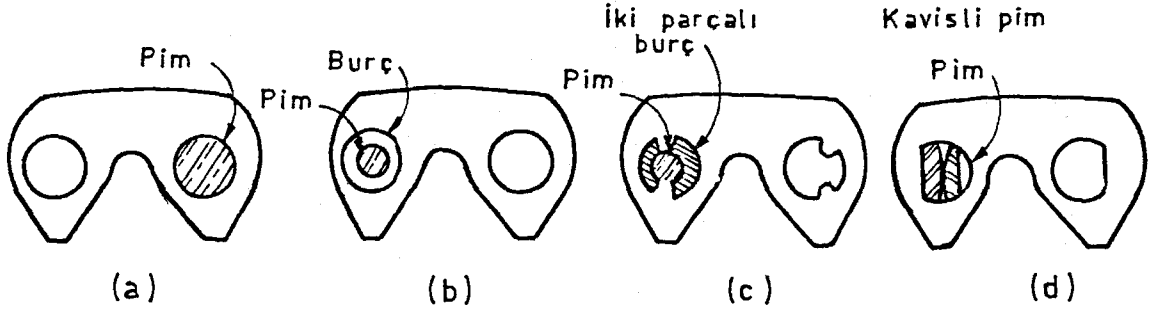
İlk etapta elle tarama yapıp daha sonra otomatik bölmeğe tabi tutulan dişli zinciri modelleri (Şekil 3.11 ve 3.12)' de görülmektedir. İzotropik malzeme için şeklin yarısı, kompozit malzeme için ise takviye açısı $\theta = 0^\circ$ ve 90° dışında şeklin tamamı alınarak elle tarama işlemi yapıldı. Çünkü şekil ve yükleme orta eksene göre simetriktir. Simetrik parçalarda sonlu eleman çözümü yapılırken cismin simetri durumuna göre şeklin 1/2 veya 1/4 ' ü alınarak çözüm yapılabilir. Bu da problemin ve modelin hazırlanmasında kolaylık sağlar. Takviye açısı $\theta = 0^\circ$ ve 90° den farklı olursa şeklin tamamının göz önünde bulundurulması lazımdır. Şeklin 1/2 si alındığı zaman bu noktalara kayıncı mesnetlerin konulması gerekmektedir (Şekil 3.12).



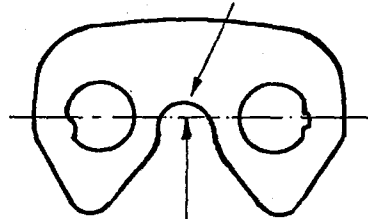
Şekil 3.7. Zincir dişli baklasına ait örnekler.



Şekil 3.8. Zincir dişlisindeki klavuzun takılış şekli.



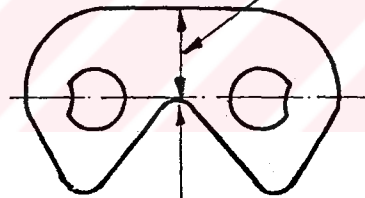
Çentik olayının meydana geldiği bölge



Taksimat doğrusu çekme çizgisinin üstündedir.

e)

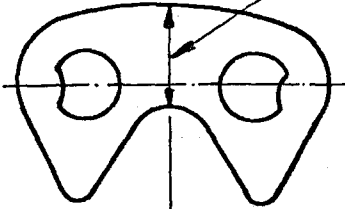
Büyütülmüş genişlik (h mesafesi)



Taksimat doğrusu ile çekme çizgisi çakışıyor

f)

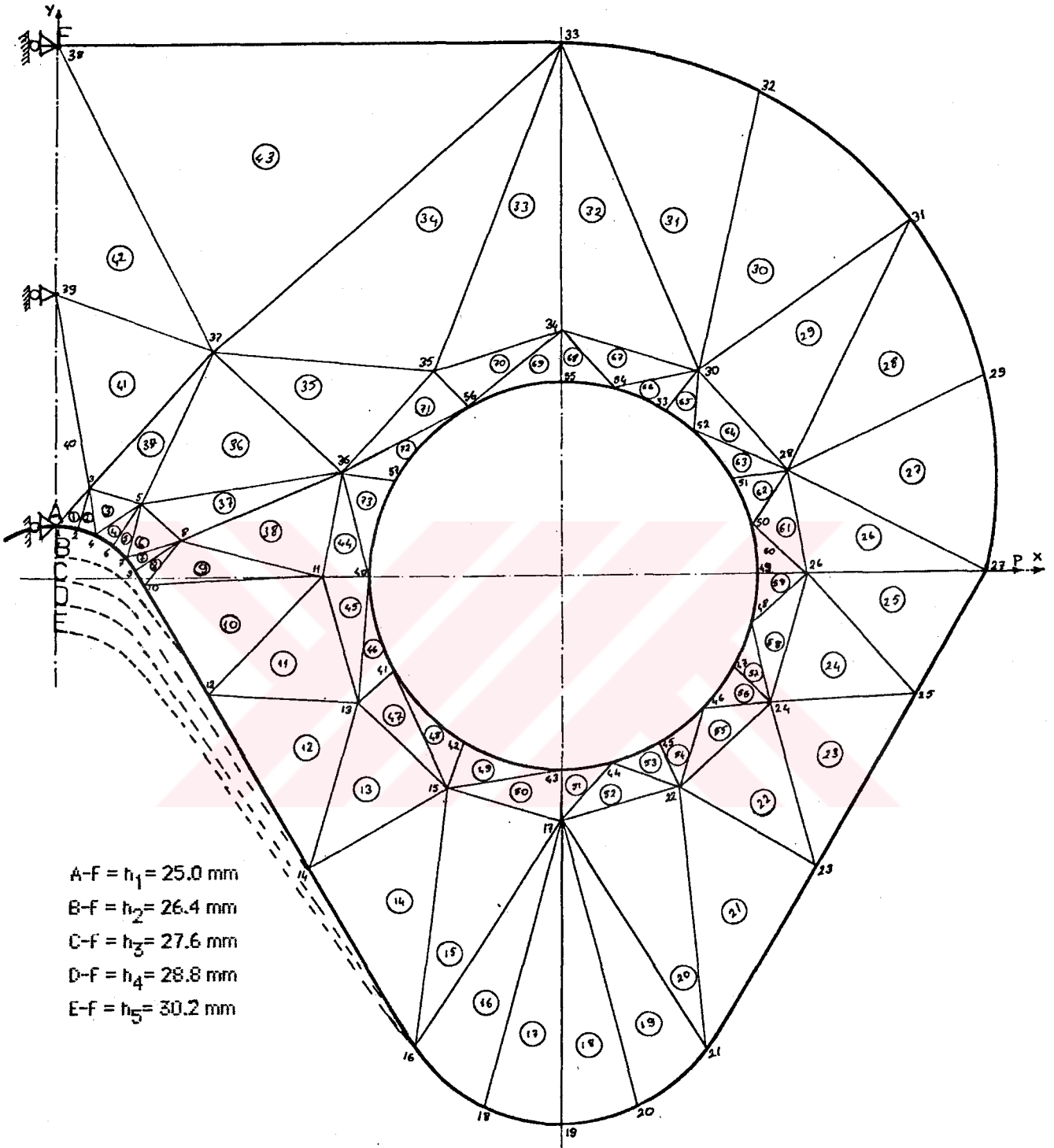
Büyütülmüş genişlik



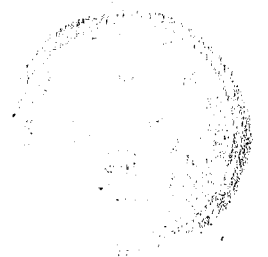
Taksimat doğrusu çekme çizgisinin altındadır.

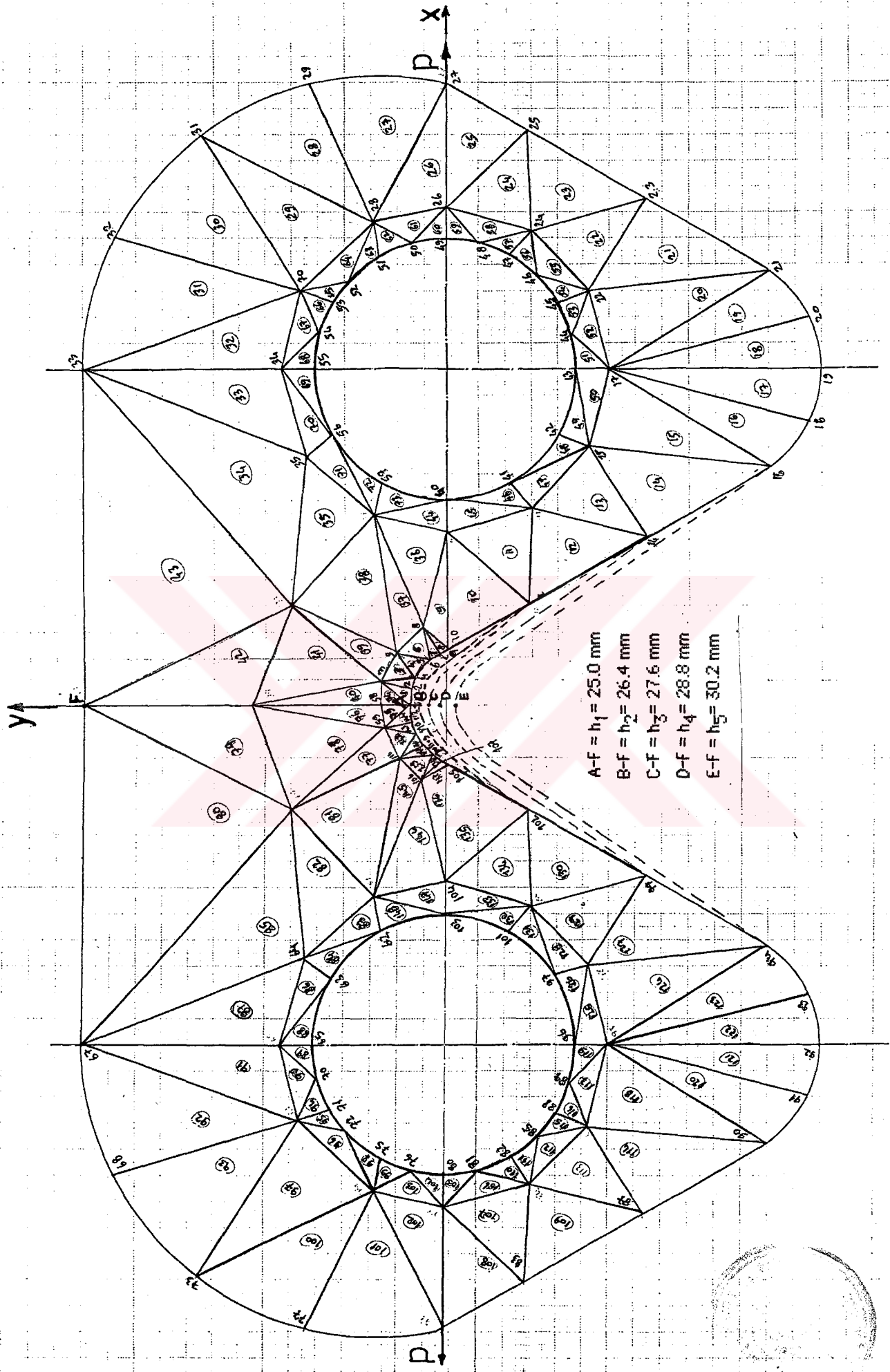
g)

Şekil 3.9. Zincir dişli baklesındaki pim ile burçların konum ve biçimleri.

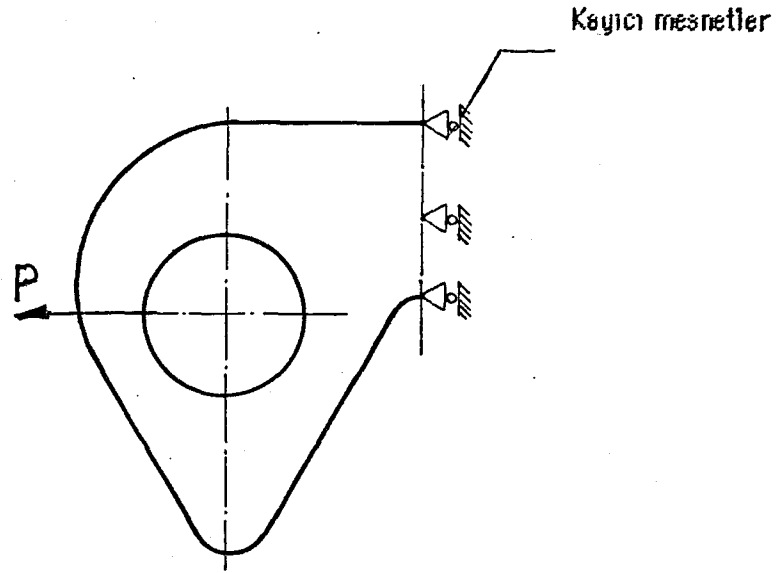


Şekil 3.10 Dişli zincirinin yarısına ait sonlu eleman modeli.





Şekil 3.11 Komple dişli zinciri şeklinin sonlu eleman modeli



Şekil 3.12 Mesnetleri yerleştirilmiş dişli zincir profilinin 1/2 si.

Şekil üzerinde bulunan daireysel bölgeler, gerilmeye daha çok maruz kaldığından bu bölgeler daha sık bir şekilde elemanlarla taramaya tabi tutulurlar. Dolayısıyla daireysel çentikler; daireden ziyade düzgün bir çokgene dönüştürülmüş olur.

Modeli hazırlanmış şekillerden de görüleceği üzere çentik ve daireysel bölgeler daha küçük üçgen elemanlara ayrılmıştır. Ayrıca şekillerden de görüleceği üzere h mesafesi sürekli değiştirilerek, her bir şekil için maksimum gerilmeler ayrı ayrı bulunmuştur. Görülen bu modeller ilk etapta elle taranmış olup, daha sonra bu elemanlar bilgisayara girilerek otomatik olarak yeni alt elemanlara ayrılmıştır. Böylece daha sık ve düzgün üçgen elemanlar elde edilerek model ve sonuçlar daha da hassaslaştırılmış olur. Bu tarama işlemi, otomatik bölmeleme yönteminde daha önce anlatıldı.

Çözümde, dişli zincirine etki eden dış kuvvet düğüm noktalarına taşınarak hesaplar yapılmıştır (Şekil 3.13).

Kuvvetin dağılımı, $\bar{P} = 2P \cdot \cos \theta / \pi \cdot r$ şeklindedir (Timoshenko, Goodier, 1969). Çözümde,

$$P = 1000 \text{ N (etki eden kuvvet)}$$

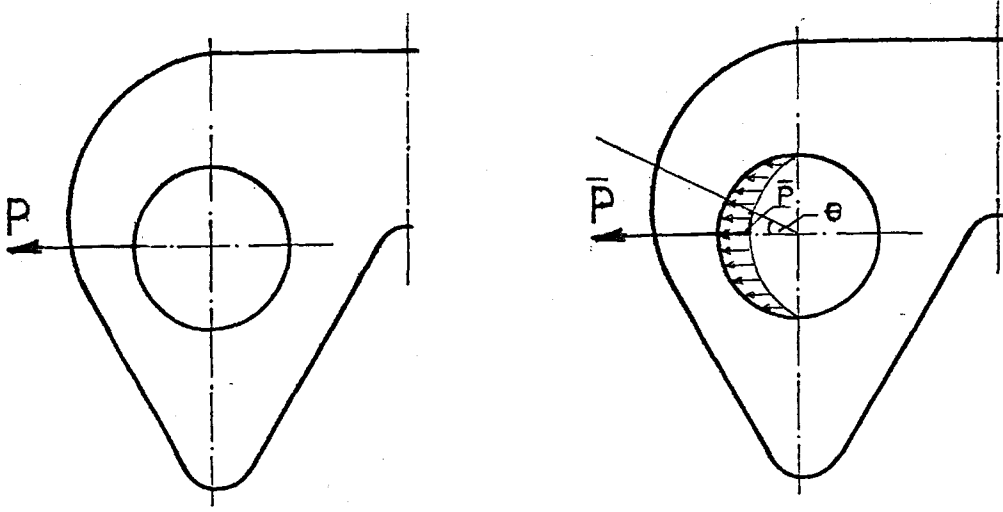
$$r = 10 \text{ mm (pim deliğinin yarıçapı)}$$

$$\theta: \text{Herhangi bir noktanın açısai değeri dır.}$$

Her bir açi değeri için P_θ değeri ;

$$\bar{P}_\theta = 2P \cdot \cos \theta / \pi \cdot r \quad (3.45)$$

formülü ile bulunup, buna göre model hazırlanıp çözüme gidildi.



Şekil 3.13 Etki eden P kuvvetinin düğümlere dağıtılması.

Bu araştırmada, problemin çözümü için kullanılan izotropik ve kompozit malzeme değerleri aşağıdaki gibidir.

İzotropik malzeme değerleri;

Malzeme : St 50

Elastite Modülü (E) : $2,1 \cdot 10^5$ N/mm²

poisson oranı (ν) : 0,30

Et kalınlığı (t) : 2 mm

Etki eden kuvvet (P) : 1000 N

alınarak çözüm yapılmıştır.

Kompozit malzeme değerleri;

$$E_m = 3,5 \cdot 10^5 \text{ N/cm}^2$$

$$\nu_m = 0,34$$

$$\nu_m = 0,43$$

$$E_f = 7,5 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$$

$$\nu_f = 0,20$$

$$\nu_f = 0,57$$

Bu değerler (3.62) denkleminde yerine konursa,

$$E_1 = E_f \cdot \nu_f + E_m \cdot \nu_m$$

$$E_1 = 7,5 \cdot 10^6 \cdot 0,57 + 3,5 \cdot 10^5 \cdot 0,43$$

$$E_1 = 44,25 \cdot 10^5 \text{ N/cm}^2$$

liflere paralel doęrultudaki elastisite modülü (1 yöndeki) bulunmuş olur. Benzer yoldan değerler (3.67) denkleminde yerine konursa,

$$1/E_2 = \nu_f / E_f + \nu_m / E_m$$

$$1/E_2 = 0,57 / 7,5 \cdot 10^6 + 0,43 / 3,5 \cdot 10^5$$

$$E_2 = 7,66 \cdot 10^5 \text{ N/cm}^2$$

liflere dik doęrultudaki elastisite modülü bulunmuş olur.

$$\theta_{12} = \theta_f \cdot \nu_f + \theta_m \cdot \nu_m$$

$$\theta_{12} = 0,20 \cdot 0,57 + 0,34 \cdot 0,43$$

$$\theta_{12} = 0,26$$

olarak bulunur.

$$\theta_{21} \text{ ise,}$$

$$\theta_{12} / E_1 = \theta_{21} / E_2$$

$$\theta_{21} = \theta_{12} \cdot E_2 / E_1$$

formülünden ve G_{12} ise (3.75) formülünden bulunabilir.

Ayrıca;

$$\nu_f + \nu_m = 1 \quad \text{dir.}$$

$$\nu_m = 1 - 0,57$$

$$\nu_m = 0,43$$

olarak da bulunabilir.

Diğer kompozit malzeme özellikleri de benzer yoldan gidilerek bulunabilir. Hesaplarda kullanılan, cam-epoksi, boron-epoksi ve grafit-epoksi kompozit malzemelerin değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1. Problemin çözümünde esas alınan kompozit malzeme özellikleri.

ÖZELLİK	CAM-EPOKSI	BORON-EPOKSI	GRAFİT-EPOKSI
E_1 (N/Cm ²)	4,425.10 ⁶	21,090.10 ⁶	19,800.10 ⁶
E_2 (N/Cm ²)	0,77.10 ⁶	2,103.10 ⁶	0,527.10 ⁶
ν_{12} (-)	0,26	0,30	0,25
G_{12} (N/Cm ²)	0,29.10 ⁶	0,703.10 ⁶	0,263.10 ⁶

Çözümde dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi de, yukarıda bulunan malzemenin Hooke sabitleridir (mekanik özellikleri). Yukarıdaki kompozit malzeme değerlerinden de görüleceği gibi kompozit malzemeler izotropik malzemelerdeki gibi her doğrultuda aynı Hooke sabitlerine sahip değildir. Bundan dolayı izotropik malzemede kullanılan Hooke sabitlerini içeren $[D]$ matrisi, kompozit malzemelerde değişmektedir. $[D]$ matrisinin kompozit malzemeye göre ve ayrıca takviye biçimine göre yeniden teşkil edilmesi gerekmektedir. Daha önceki konularda izotropik malzemeler için $[D]$ matrisi;

$$|D|_{\text{izotr.}} = E / (1 - \nu^2) \cdot \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - \nu)/2 \end{bmatrix}$$

olarak verilmişti.

Ortotropik yapıya sahip kompozit malzemeler için bu bağıntı şu şekilde ifade edilmektedir.

$$|D|_{\text{orth.}} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix}$$

(3.46)

Böyle bir malzemede Hooke sabitleri:

$$D_{11} = E_1 / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}) \quad (3.47)$$

$$D_{12} = E_2 \cdot \nu_{12} / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}) = E_1 \cdot \nu_{21} / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}) \quad (3.48)$$

$$D_{12} = D_{21} \quad (3.49)$$

$$D_{22} = E_2 / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}) \quad (3.50)$$

$$D_{66} = G_{12} \quad (3.51)$$

dir (Johes, 1975; Vinson, 1975; Soden, 1983).

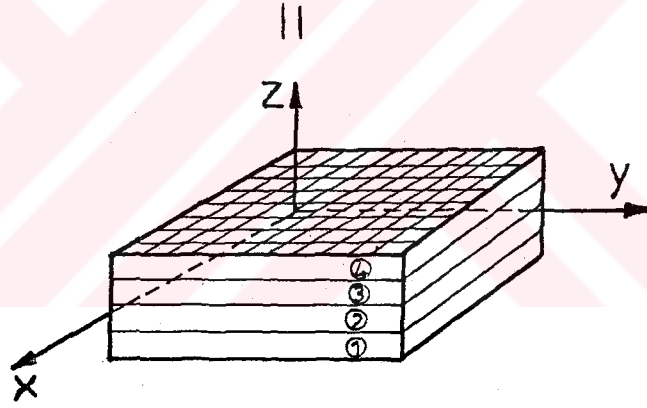
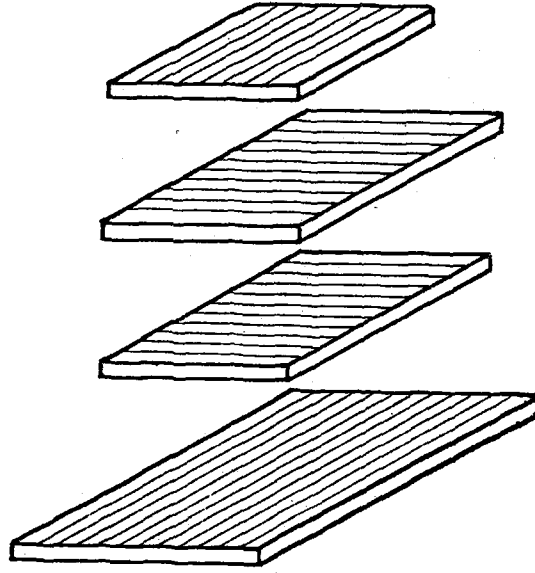
Yükleme lif eksenini doğrultusunda (1 eksenini) ise, θ açısının sıfır durumu demektir. θ açısının herhangi bir derecedeki $|D|$ elastisite matrisinin genel formülü şu şekilde genelleştirilir.

$$\begin{aligned} \bar{D}_{11} &= D_{11} \cos^4 \theta + 2(D_{12} + 2D_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + D_{22} \sin^4 \theta \\ \bar{D}_{12} &= (D_{11} + D_{22} - 4D_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + D_{12} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \\ \bar{D}_{22} &= D_{11} \sin^4 \theta + 2(D_{12} + 2D_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + D_{22} \cos^4 \theta \\ \bar{D}_{16} &= (D_{11} - D_{12} - 2D_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta + (D_{12} - D_{22} + 2D_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta \\ \bar{D}_{26} &= (D_{11} - D_{12} - 2D_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta + (D_{12} - D_{22} + 2D_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta \\ \bar{D}_{66} &= (D_{11} + D_{22} - 2D_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + D_{66} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \end{aligned} \quad (3.52)$$

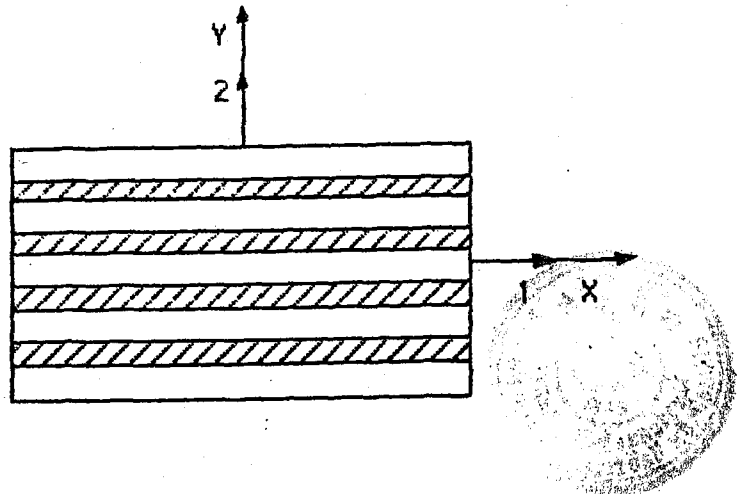
Burada çizgi (—) işareti, yani \bar{D}_{ij} , D_{ij} elastisite matrisi yerine, transforme edilmiş elastisite matrisini temsil etmektedir.

Bu bağlamda $\theta = 0^\circ$ konursa önceden bulduğumuz (3.46) matrisi elde edilir. $\theta = 90^\circ$ olduğunda ise D_{11} ile D_{22} nin yer değiştirmesi gerekmektedir. Böylece, bir düz takviye için $|D|$ matrisi bulunmuş olur.

Eğer sistem çapraz takviyeden oluşmuş ise, $|D|$ matrisinin yeniden teşkil edilmesi gerekmektedir (şekil 3.14). Bu şekilde 4 plakacık üst üste koymak suretiyle elde edilen yeni sistemin dönmesi önlenmektedir.



Şekil 3.14 Çapraz takviye haline getirilmiş bir kompozit plaka yapısı.

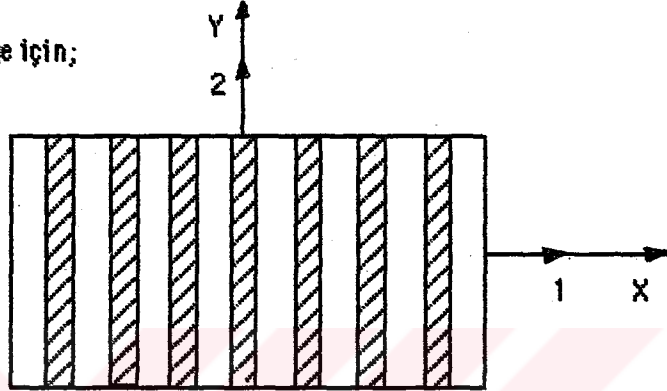


(1) yönündeki takviye için;

$$|A_1| = 2.t/4 \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

matrisi elde edilir.

(2) yönündeki takviye için;



$$|A_2| = 2.t/4 \begin{bmatrix} D_{22} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{11} & 0 \\ 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

matrisi elde edilir.

Buradan;

$$|A_1| + |A_2| = |D| \quad \text{yazılırsa}$$

$$|D| = t/2 \begin{bmatrix} (E_1 + E_2)/(1 - \nu_{12}\nu_{21}) & 2(E_2\nu_{12})/(1 - \nu_{12}\nu_{21}) & 0 \\ (2E_2\nu_{12})/(1 - \nu_{12}\nu_{21}) & E_1 + E_2/(1 - \nu_{12}\nu_{21}) & 0 \\ 0 & 0 & 2G_{12} \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

matris şeklinde elde edilmiş olur.

3.5. Kompozit Malzemelerde Mekanik Özelliklerin(Hooke Sabitlerinin)Teorik Olarak Bulunması

Kompozit malzemenin takviye istikametinde veya buna dik istikametteki Hooke sabitlerini deney yapmaksızın teorik olarak bulmak mümkündür. Bazan kompozit malzemenin mukavemet değerleri ve Hooke sabitleri bilinmez, fakat buna karşılık malzemeyi oluşturan matrix ve lif malzemesinin mühendislik sabitleri ile hacimsel konsantrasyonu biliniyor olabilir. Şekil 3.15' de görüldüğü gibi matrix ve lifler birbirlerine yükleme doğrultusunda birleştirilmişlerse, yani takviye doğrultusunda bir σ_1 gerilmesinin etkisinde kalıyor ise, bu malzemeler seri haldedir

demilebilir. Temel kabulde hem lifler hem de matrix aynı miktarda (ϵ_1) kadar uzayacaktır.

3.5.1. Teorik Olarak Elastisite Modülü E_1 'in Bulunması

$$\sigma_f = E_f \cdot \epsilon_1$$

$$\sigma_m = E_m \cdot \epsilon_1$$

(3.56)

yazılabilir.

Bu malzemenin kesit alanı A kadar ise ve bu kesit alanı içindeki lif A_f kadar, matrix ise A_m kadar yer kaplıyor ise P kuvveti;

$$P = \sigma_1 \cdot A$$

(3.57)

olur. Bureden;

$$P = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m$$

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \epsilon_1$$

$$\sigma_f = E_f \cdot \epsilon_1$$

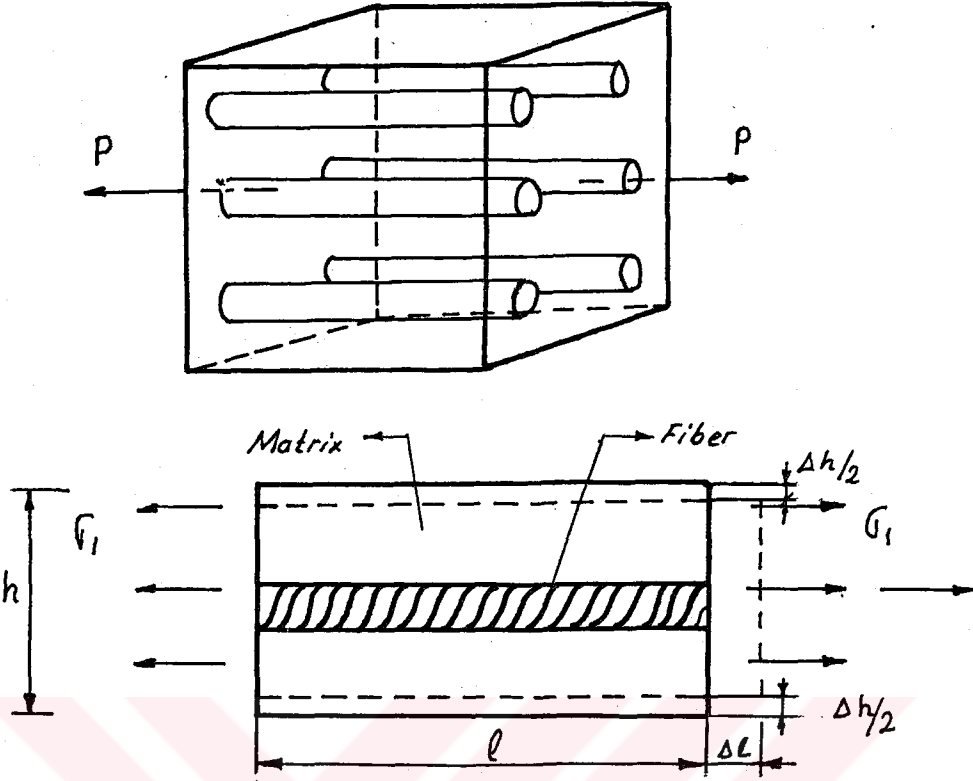
$$\sigma_m = E_m \cdot \epsilon_1$$

$$E_1 \cdot \epsilon_1 \cdot A = E_f \cdot \epsilon_1 \cdot A_f + E_m \cdot \epsilon_1 \cdot A_m$$

$$E_1 = A_f/A \cdot E_f + A_m/A \cdot E_m$$

(3.58)

Lifin hacimsel konsantrasyonu,



Şekil 3.15 Takviye doğrultusunda (1 yönünde) uygulanan kuvvet.

$$V_f = A_f l / A.l = A_f / A \quad (3.59)$$

Matrixin hacimsel konsantrasyonu,

$$V_m = A_m l / A.l = A_m / A \quad (3.60)$$

Kompozitin hacmi,

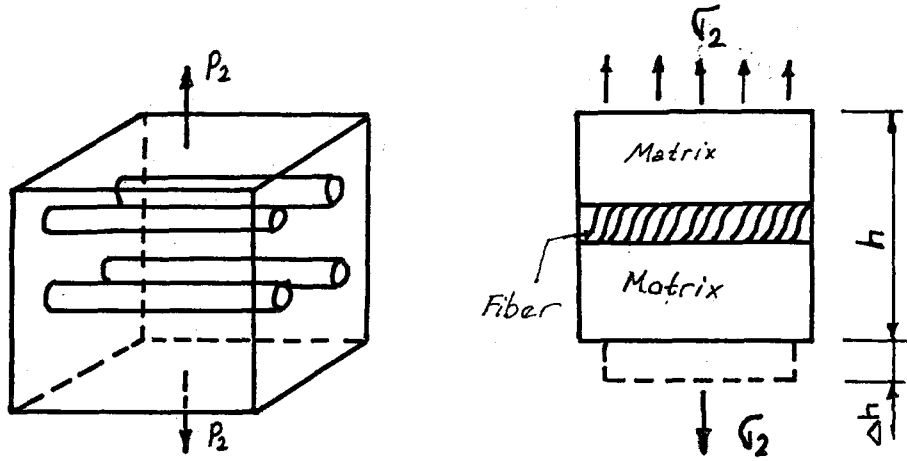
$$V = A.l \quad (3.61)$$

$$E_1 = E_f \cdot V_f / V + E_m \cdot V_m / V$$

$$E_1 \approx E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (3.62)$$

3.5.2. Teorik Olarak Elastisite Modülü E_2 ' nin Bulunması

Şekil 3.16' de görüldüğü gibi matrix ve lifler birbirlerine yükleme doğrultusuna dik ekseninde birleştirilmişlerse, ayrıca malzeme takviye doğrultusuna dik ekseninde bir σ_2 gerilmesinin etkisinde kalıyor ise bu malzemeler paralel haldedir denilebilir. Kabul olarak, σ gerilmesi, matrix ve fiberde eşit olarak taşınır.



Şekil 3.16 Takviye doğrultusuna dik (2 yönünde) uygulanan kuvvet.

$$\varepsilon_f = \sigma_2 / E_f$$

$$\varepsilon_m = \sigma_2 / E_m$$

(3.63)

Kuvvet , 2 yönünde uygulandığı için;

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{kom}} = E_2 \cdot \varepsilon_2 \quad \text{yazılabilir.}$$

Ayrıca;

$$\sigma_m = \sigma_f = \sigma_{\text{kom}}$$

dir. Kuvvet uygulandığından dolayı h kalınlığındaki malzeme Δh kadar uzar, ve bu uzama ise matrisin ve fiberin uzamalarının toplamıdır;

$$\Delta h = \Delta h_m + \Delta h_f$$

(3.64)

Δh_f : fiberin uzama miktarı

Δh_m : matrisin uzama miktarı

$$\varepsilon_2 = \Delta h / h$$

$$\varepsilon_m = \Delta h_m / h_m$$

$$\epsilon_f = \Delta h_f / h_f \quad (3.65)$$

formülde yerine konursa

$$h \cdot \epsilon_2 = \epsilon_f \cdot h_f + h_m \cdot \epsilon_m$$

$$h_f = v_f \cdot h$$

$$h_m = v_m \cdot h$$

$$h \cdot \epsilon_2 = v_f \cdot h \cdot \epsilon_f + v_m \cdot h \cdot \epsilon_m \quad (3.66)$$

$$\epsilon_2 = v_m \cdot \epsilon_m + v_f \cdot \epsilon_f$$

$$\epsilon_2 = \sigma_2 / E_2$$

$$\sigma_2 / E_2 = v_m \cdot \sigma_m / E_m + v_f \cdot \sigma_f / E_f$$

$$\sigma_2 = \sigma_m = \sigma_f$$

olduğundan

$$1/E_2 = v_f / E_f + v_m / E_m \quad (3.67)$$

olarak bulunur.

$$E_1 > E_2$$

dir. Ve genellikle,

$$E_f > E_m$$

olarak yazılır.

3.5.3. Teorik Olarak Poisson Katsayısı ν_{12} 'nin Hesaplanması

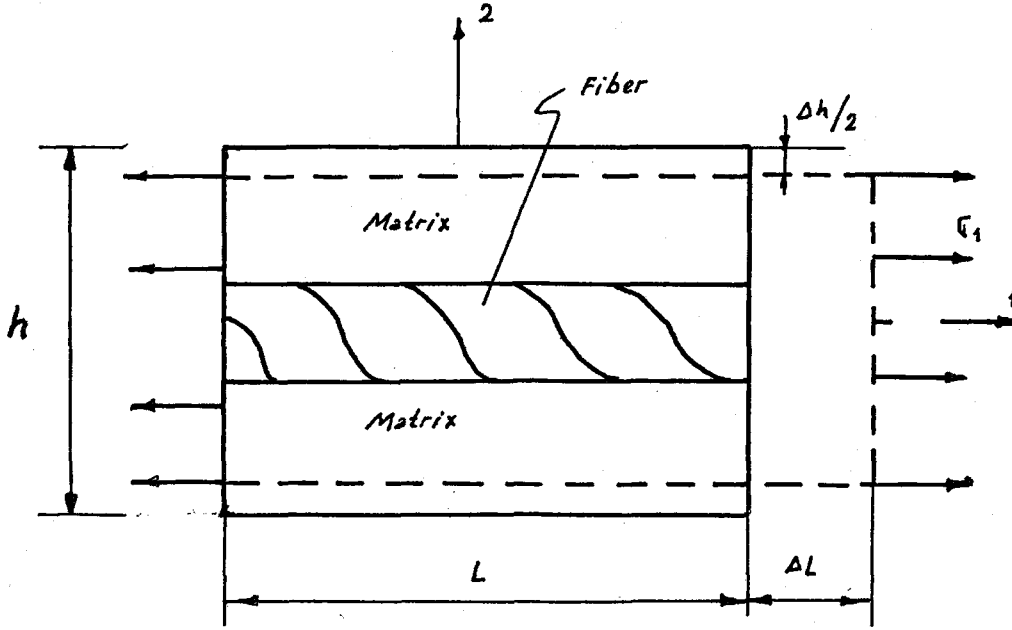
ν_{12} poisson katsayısı, E_1 'in analizinden yaklaşık olarak elde edilebilir.

$$\nu_{12} = -\epsilon_2 / \epsilon_1 \quad (3.68)$$

$$\Delta h = -h \cdot \epsilon_2 = h \cdot \nu_{12} \cdot \epsilon_1 \quad (3.69)$$

Gerçekte, Δh matrix ve fiberlerin kısalmalarının toplamı olduğuna göre,

$$\Delta h = \Delta h_m + \Delta h_f \quad \text{idi. Buradan;}$$



Şekil 3.17 1 yönünde (takviye doğrultusunda) uygulanan kuvvet.

$$\Delta h_f = h \cdot V_f \cdot \epsilon_1 \cdot \vartheta_f \quad (3.70)$$

$$\Delta h_m = h \cdot V_m \cdot \epsilon_1 \cdot \vartheta_m$$

$$h \cdot \vartheta_{12} \cdot \epsilon_1 = h \cdot V_f \cdot \epsilon_1 \cdot \vartheta_f + h \cdot V_m \cdot \epsilon_1 \cdot \vartheta_m$$

$$\vartheta_{12} = \vartheta_f \cdot V_f + \vartheta_m \cdot V_m \quad (3.71)$$

3.5.4 Kayma Modülünün Bulunması (G_{12})

Malzemeye bir kayma gerilmesinin etkimesi halinde, bütün bileşenlerin (fiber ve matrix) aynı τ gerilmesi altında olduğu kabul edilebilir. Ayrıca kalınlık değişimi de ihmal edilebilir ($h \approx \text{sabit}$) malzeme üzerindeki şekil değişimi Şekil 3.18'de görülmektedir. şekil değişimleri;

$$\Delta k = \Delta m + \Delta f \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Burada ;

$\Delta m = \Delta h_m$: Matrixin çarpılma miktarı

$\Delta f = \Delta h_f$: Fiberin çarpılma miktarı

$$\Delta m = h \cdot v_m \cdot \gamma_m \quad (3.72)$$

$\Delta_f = h \cdot v_f \cdot \gamma_f$ buradan;

$$\gamma_{12} = \tau / G_{12} \quad (3.73)$$

$$\gamma_m = \tau / G_m$$

$$\gamma_f = \tau / G_f$$

olduğundan

$$h \gamma_{12} = h v_m \gamma_m + h v_f \gamma_f$$

yazılabilir.

$$\gamma_{12} = v_m \cdot \gamma_m + v_f \cdot \gamma_f \quad (3.74)$$

$$\tau / G_{12} = \tau / G_m \cdot v_m + \tau / G_f \cdot v_f$$

gerilmeler eşit olduğundan

$$1 / G_{12} = v_m / G_m + v_f / G_f$$

genellikle;

$$1 / G_{12} = v_m \cdot G_f + v_f \cdot G_m / G_m \cdot G_f$$

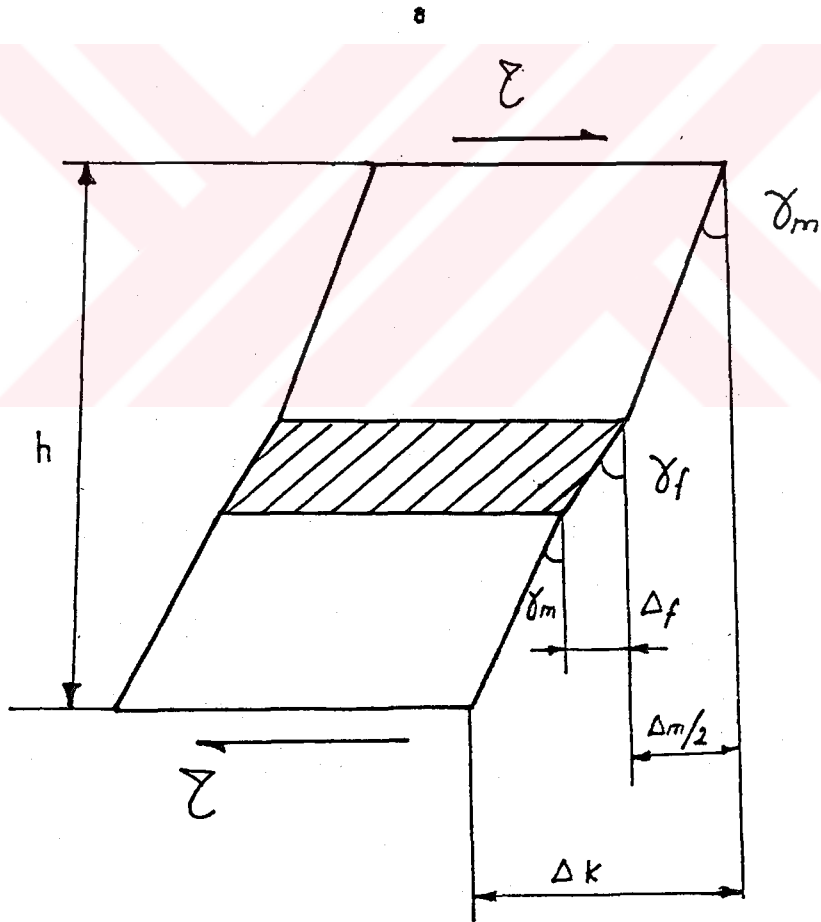
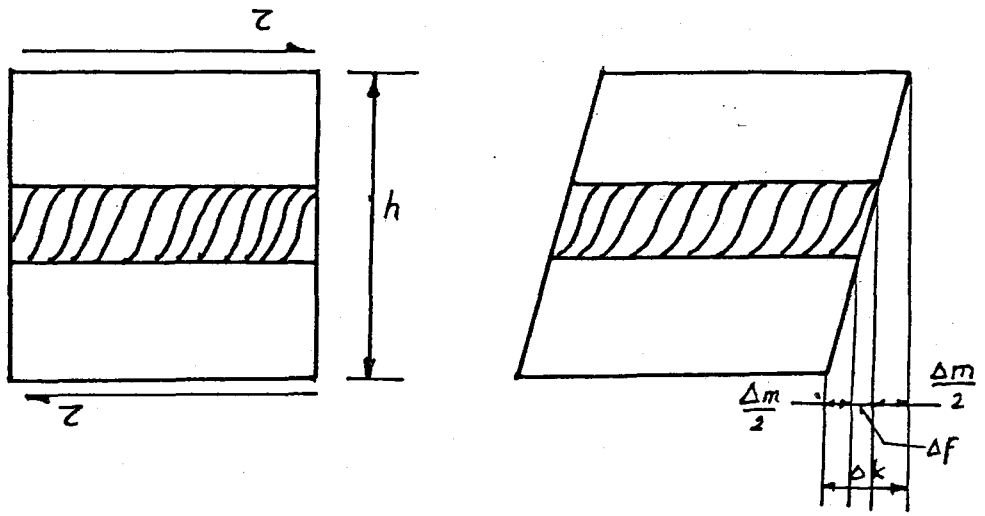
$$G_{12} = G_m \cdot G_f / v_m \cdot G_f + v_f \cdot G_m$$

ayrıca,

$$G_{12} / G_m = G_f / v_m \cdot G_f + v_f \cdot G_m \quad (3.75)$$

şeklinde de yazılabilir. Görüldüğü gibi G_{12} 'de seri toplama ile saptanabilir.

Şekil 3.18' de gösterilmiş olan dönme gerçekte çok azdır. Bu nedenden dolayı dönmeden sonra parça kalınlığı sabit kabul edilmektedir. γ_m matrisin, γ_f fiberin τ kayma gerilmesi altında dönme açılarıdır. Ayrıca kompozit malzemenin h kalınlığındaki parçalarda dönmeler çok az olduğundan dönme açılarıtanjantları radyan olarak açının kendisine eşit kabul edilmektedir.



Şekil 3.18 Kompozit malzemeye kayma gerilmesinin uygulanması.

BÖLÜM 4

ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Kurulan sonlu eleman modeli dişli zincirin beş ayrı konumu için uygulandı. Bu uygulamada (Şekil 3.10 ve 3.11 de) gösterilen h mesafesi 25mm, 26.4mm, 27.6mm, 28.8mm, 30.2mm alınarak çözümler yapıldı.

İzotropik malzeme yapısına sahip dişli zincirinde maksimum gerilmeler kevisin (diş dibinin) bulunduğu A noktası civarında meydana gelmektedir. İzotropik malzemede meydana gelen gerilme değerleri cam-epoksi, boron-epoksi ve grafit-epoksi kompozit malzemelerdeki gerilmelerden daha küçük çıktığı gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, 60°, 75° ve 90° de tek yönlü takviye edilmesi durumunda ise, izotropikteki gerilme değerleri kompozit malzemelerdeki gerilmelerden büyük çıkmıştır. Çapraz takviye durumundaki kompozit malzemenin 0°, 15°, 30° ve 45° lik konumlarında meydana gelen gerilmelerden daha küçük çıktığı tesbit edilmiştir. Ayrıca h mesafesinin artmasıyla maksimum gerilme değerlerinin düştüğü ve h mesafesinin düşmesiyle de elde edilen maksimum gerilme değerlerinin arttığı bilgisayar sonuçlarından gözlenmiştir. Elde edilen bu değerler tablo ve grafiklerde verilmiştir.

Beş değişik dişli zincirinin kompozit malzemeden imal edilmesi durumunda çözümler cam lifi -epoksi, boron-epoksi ve grafit-epoksi malzemeli dişliler için yapıldı. Dişli zincirinin tek yönlü takviye edilmesi durumunda takviye doğrultusu ile eksen arasında 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° lik durumları için çözümler elde edildi. Her bir konumda yine aynı A noktası civarında meydana gelen maksimum gerilmeler bulundu. Bulunan bu sonuçlar ile ilgili k değerleri izotropik ve kompozit malzemeli dişli zinciri için grafik ve tablolar halinde verilmiştir. Tablolardan görüleceği üzere, düz takviye hali için, θ takviye açısının 60° olması halinde en küçük gerilme meydana gelmiştir. θ takviye açısının 15° olması halinde ise h mesafesinin 25mm, 26.4mm ve 27.6mm' e sahip olan dişli zincirlerinde maksimum gerilme oluşmuştur. h mesafesinin 28.8mm ve 30.2mm olması durumunda ise maksimum gerilme tekrar artmıştır. Aynı yükleme şartlarında cam-epoksi ve boron-epoksi malzemelerde oluşan gerilme değerleri, grafit-epoksi malzemesinden daha küçük çıkmaktadır. Oluşan maksimum gerilme değerleri sırasıyla, grafit-epoksi, boron-epoksi ve cam-epoksi malzemelerinde meydana gelmiştir. Beş profil şekli için de maksimum gerilme değerleri, diş dibi civarında (A noktasında) meydana gelmiştir.

İkinci derecede büyük gerilmeler, pim deliği etrafında bilhassa kuvvetin dağıtıldığı düğüm noktalarında oluşmuştur.

Dişli zincirinin çapraz takviye edilmesi durumunda ise yine cam lif -epoksi, boron-epoksi ve grafit-epoksi malzemeli dişliler için 0°, 15°, 30° ve 45° lik konumları için sonuçlar bulundu. Çapraz takviye durumlarında 60°, 75° ve 90° lik değerlere gerek kalmamaktadır. Çünkü 0° ile 90°, 30°-60°, 15°-75° lik çözümler simetriden dolayı birbirinin syması olmaktadır. Çapraz takviye halinde, en küçük gerilme değeri θ takviye açısının 45° lik değerinde cam-epoksi malzemesinde meydana gelmiştir. Cam-epoksi malzemesini sırasıyla, boron-epoksi ve grafit-epoksi malzemeleri izlemektedir. Maksimum gerilme değerleri, dişli zincirinin $h = 25\text{mm}, 26.4\text{mm}$ ve 27.6mm ' lik durumunda $\theta = 15^\circ$ deki takviye açılarında, diğer h değerleri için ise θ takviye açısının 0° lik durumunda meydana geldiği gözlenmiştir. Yine bu takviye durumunda da, h mesafesi arttıkça gerilme değerlerinin düştüğü, h mesafesinin düşmesiyle de gerilme değerlerinin arttığı tablolardan görülmektedir.

Daha kullanışlı sonuçlar elde etmek için bulunan bu maksimum gerilme değerleri,

$$\sigma_{\text{ortalama}} = P / t \cdot h$$

formülü ile kısaltıldı. Bu değerler k ile gösterildi; k ise maksimum gerilmenin ortalama gerilmeye bölümü olarak aşağıdaki formülle ifade edildi.

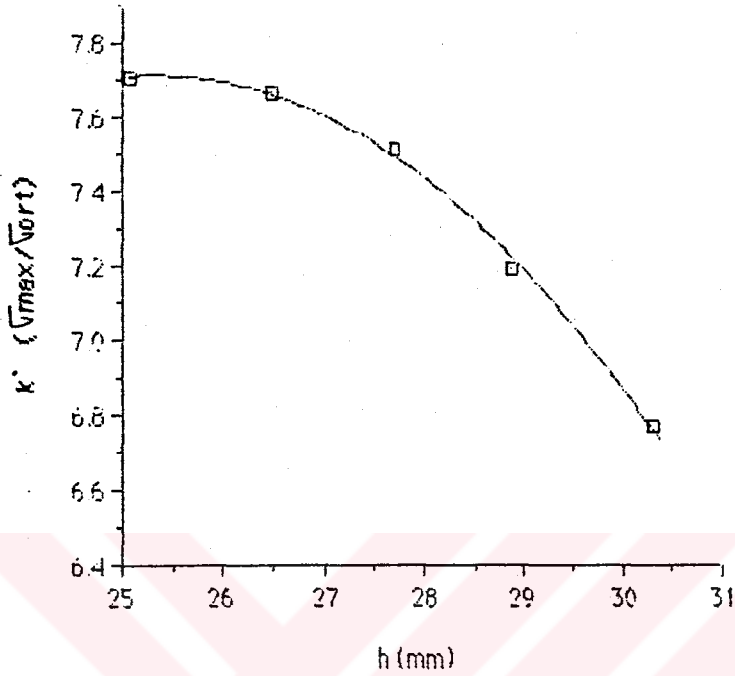
$$k = \sigma_{\text{maksimum}} / \sigma_{\text{ortalama}}$$

dır. Böylece, elde edilen k değerleri hem boyutsuzlaştırıldı ve hem de bu değerlerden münendislikte daha kolay faydalamlı hale getirilmiş oldu.

Tek yönlü takviye durumu ve çapraz takviye için, elde edilen tablo değerlerinden yararlanılarak, $k = \sigma_{\text{max}} / \sigma_{\text{ort}}$ ile h değerleri ve takviye açısı θ arasında diyagramlar çizilmiştir.

Elde edilen izotropik ve kompozit malzemelerin tablolarıyla, tek yönlü ve çapraz takviye edilmiş kompozit malzeme durumları birbirleriyle karşılaştırılarak diyagramlar halinde ek kısmında verilmiştir.

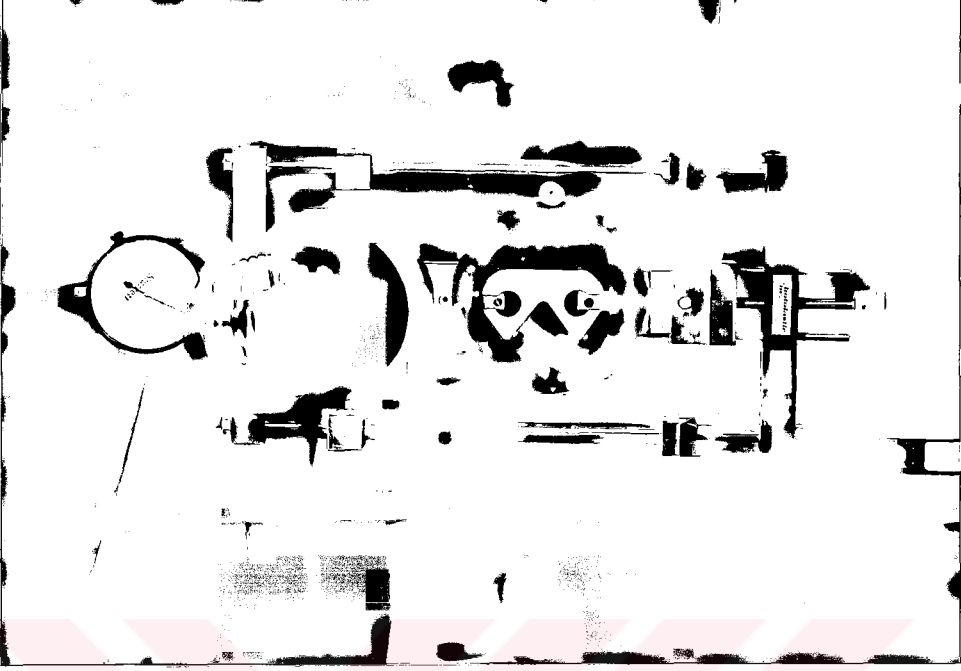
Ayrıca izotropik malzeme için yapılan deneysel sonuçlardan elde edilen gerilme değerleri birbirleriyle kıyaslanmış olup grafik ve tablolar halinde verilmiştir. k ile h arasındaki değişim Şekil 4.1 de görülmektedir.



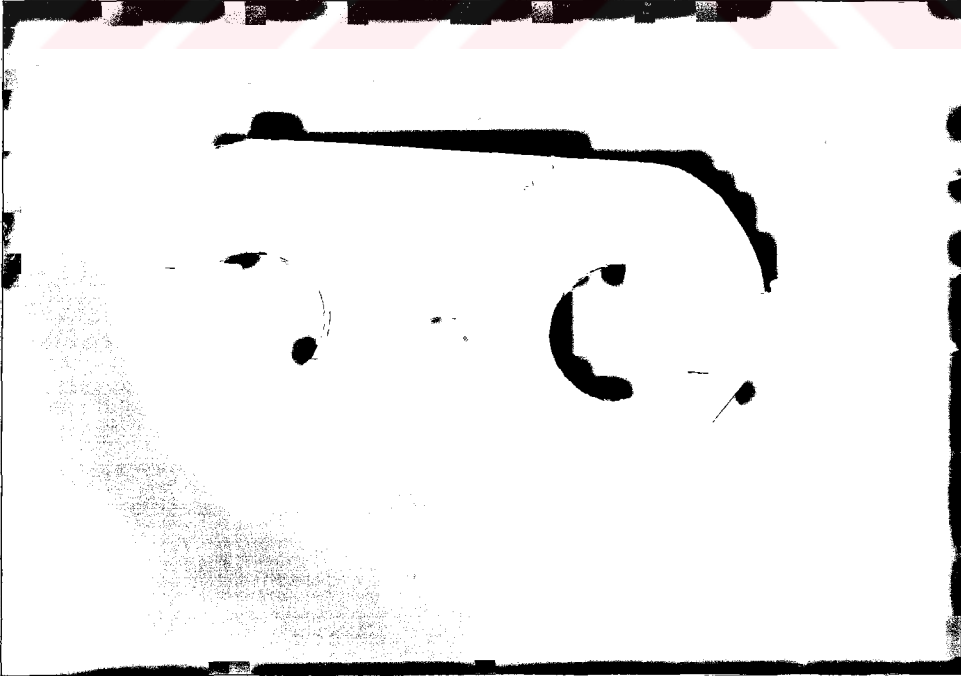
Şekil 4.1 İzotropik malzemeye ait k' ile h arasındaki değişim.

4.1. Deneysel Kontrol

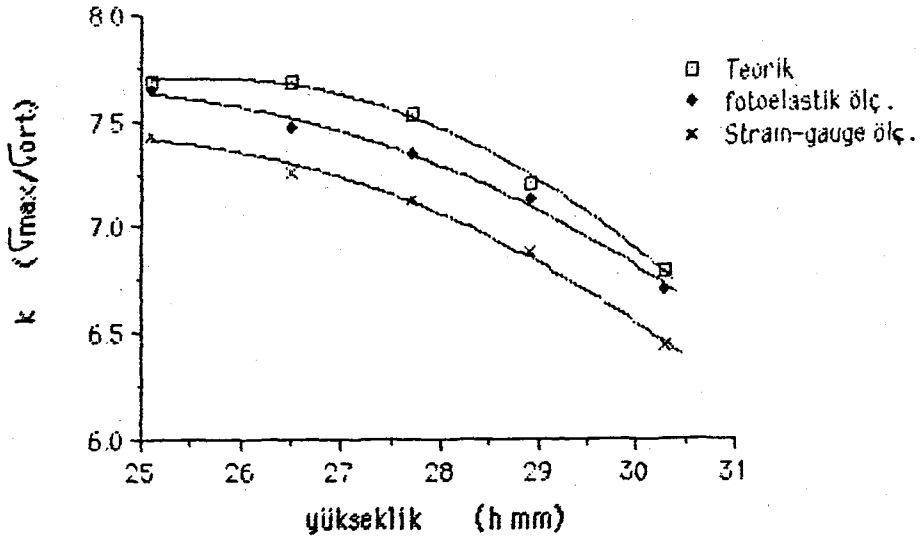
Sonlu elemanlarla bulunan sonuçlar, yansımali polariskopta numuneler hazırlanarak fotoelastik ölçümler yapıp, ölçüm sonucu elde edilen değerler izotropik malzeme sonuçları ile karşılaştırıldı. Böyle çekmeye maruz cisimlerde bulunan sonuçlar malzemenin Hooke sabitlerine bağlı değildir. Yalnızca her ikisinin de izotropik yapıda olması yeterlidir. Ölçümü yapılan dişli zinciri yansımali polariskopta görülmektedir (Resim 4.1). Fotoelastik ölçümler, değişik yüklemeler için kritik A noktasında yapıldı gerilmenin meydana geldiği yerler Resim 4.2 'de görülmektedir. Fotoelastik ölçüm ile sonlu eleman çözümü arasındaki fark % 1.6 çıkmıştır. İzotropik malzemeli dişlilerde deneysel ve nümerik teorik olarak elde edilen sonuçlar yardımıyla, k' ile h arasında meydana gelen diyagram Şekil 4.2' de görülmektedir. Hata oranını daha aşağılara çekmek için, dişli zinciri modelinin daha sık ve eğrisel yerlerinin daha düzenli taranması gerekmektedir. Ayrıca, polariskopta yapılan ölçümün ise, daha hassas bir şekilde ölçülmesi yapılmalıdır.



Resim 4.1 Diđli zincirinin fotoelastikte cihazındaki görünümü.



Resim 4.2 Fotoelastik lm sırasında meydana gelen gerilmenin dağılımı.



Şekil 4.2. İzotropik malzemeli dişlide k'nın h'ye bağlı değişimi.

Aynı zamanda bulunan sonuçlar strain-gauge ölçümleriyle de kontrol edildi (Resim 4.3). Strain-gauge ile sonlu eleman çözümü arasındaki fark % 3.8 olarak bulunmuştur. Bunun için gerekli strain-gauge'ler, Şekil 3.11'deki A noktasına yapıştırıldı. Ye yüklü durumda ölçümler yapıldı. Böyle bir ölçümde (düzlem gerilme için) en genel durumda üç tane rozet yeterli olmaktadır (Şekil 4.3). Bu durum için birim uzama formülü;

$$\epsilon_x = \epsilon_x \cdot \cos^2 \theta + \epsilon_y \cdot \sin^2 \theta + 2 \epsilon_{xy} \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (4.1)$$

dir. Burada,

$$\epsilon_{xy} = \gamma_{xy} / 2 \quad (4.2)$$

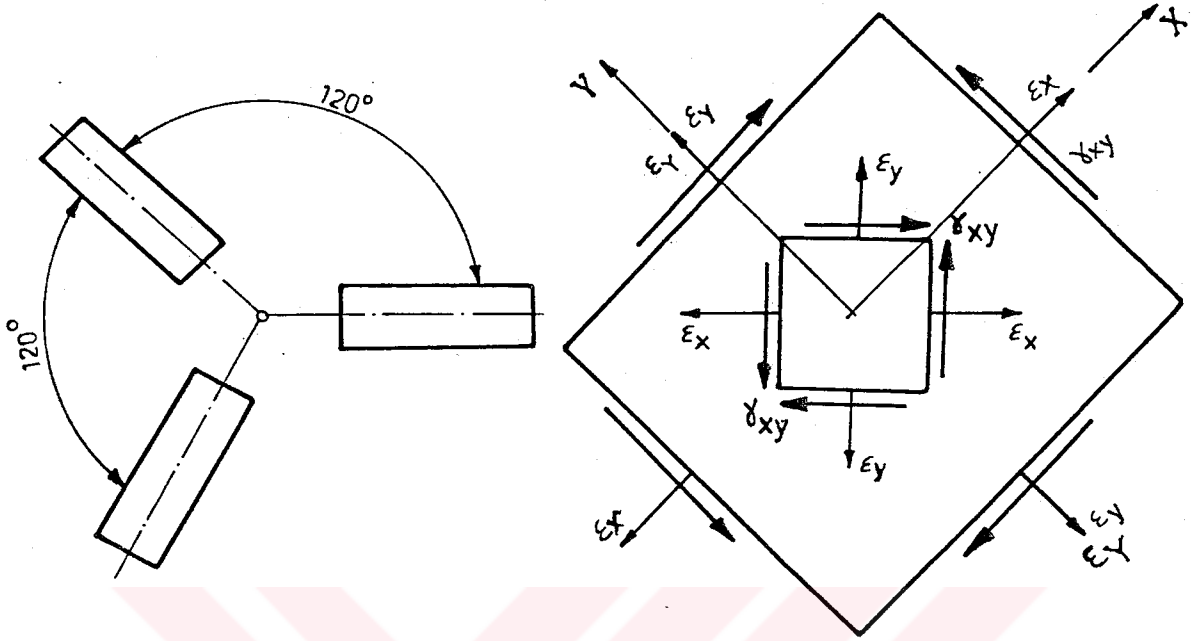
dir. Her üç strain-gauge için bu formül uygulanarak ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} bulunur. Bunlar da Hooke formülünde yerine konarak,

$$\sigma_x = E \cdot (\epsilon_x + \nu \cdot \epsilon_y) / (1 - \nu^2) \quad (4.3)$$

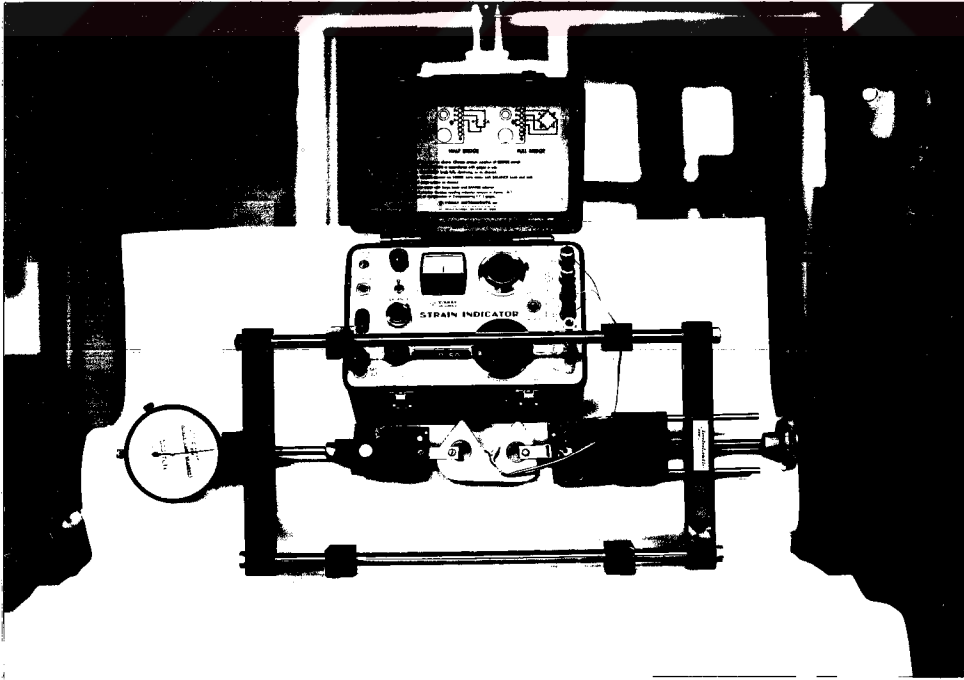
$$\sigma_y = E \cdot (\nu \cdot \epsilon_x + \epsilon_y) / (1 - \nu^2) \quad (4.4)$$

$$\tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} \quad (4.5)$$

gerilme bileşenleri elde edilir.



Şekil 4.3 Üçlü bir strain- gauge rozetinin görünümü.



Resim 4.3 Dişli zincirindeki gerilmenin strain-gauge indikatörü ile ölçümü.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. İzotropik Malzemeli Dişli Zincirleri İçin Sonuçlar

1- Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, izotropik dişliler için bulunan nümerik sonuçların, fotoelastik ve strain gauge ölçümleriyle iyi bir uyuşum içinde oldukları görülmüştür.

2- Maksimum gerilme her zaman çentik civarında (A noktasında) meydana gelmekte ve büyüklüğü çentik boyutları ile malzeme yapısına bağlı olarak değişmektedir.

3- Şekil 4.1' de görüleceği üzere, h mesafesi büyük olunca gerilme küçülmekte, h mesafesi küçültüldüğünde ise, gerilme büyümektedir.

4- Elde edilen nümerik ve deneysel sonuçlara bakıldığında izotropik malzemeden imal edilen dişli zincirindeki oluşan gerilme değerlerinin, kompozit malzemelerden elde edilen gerilme değerlerinden küçük çıktığı görülmektedir.

5.2. Tek Yönlü Takviyeli Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Dişli Zincirindeki Sonuçlar

1- Tek yönlü takviyeli kompozit malzemeden imal edilmiş dişli zincirinde, genelde takviye açısının $\theta = 15^\circ$ değerinde, maksimum gerilme her bir kompozit dişli tipi için en büyük değerde olmaktadır.

2- E_1/E_2 oran en büyük olan kompozit malzemeli dişli zincirlerinde her bir $\theta = 15^\circ$ için en büyük gerilme meydana gelmektedir.

3- E_1/E_2 oran en büyük olan kompozit malzemeli dişli zincirlerinde $\theta = 60^\circ$ için, diğerlerine kıyasla en küçük gerilme değeri elde edilmektedir.

4- Şekil 5.8 ' de görüleceği üzere izotropik malzemedeki herhangi bir takviye açısı söz konusu olmadığı için sabit kalmaktadır. Takviye açısı 15° ' ye sahip cam-epoksi, boron-epoksi ve grafik epoksi en büyük gerilme değerini almaktadır. Bunu 30° ve 45° takip ederek grafik-epoksizde 75° de, cam ve boron-epoksizde ise 60° de ani bir düşme göstermektedir.

Her üç malzemede ise bu düşüştten sonra tekrar tedrici olarak artmaktadır. Cam-epoksi ve boron-epoksi h 'ın her değeri için takviye açısı $\theta = 60^\circ$ de sürekli keşittiği ve bu noktada her ikisi minimum gerilme değerine sahip olmaktadır (Şekil 5.9).

Kompozit malzeme olarak ise en büyük gerilme değeri grafit-epoksidede görülmektedir. Bunu sırasıyla boron-epoksi ve cam- epoksi takip etmektedir. Her üç kompozit malzeme için, genelde h 'ın her değerinde takviye açısı $\theta = 90^\circ$ de yaklaşık olarak aynı gerilme değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.10).

5- Gerilme değerleri, h mesafesine bağlı olarak değişmektedir. h Değeri arttıkça gerilme, kompozit dişli zincirinde azalmaktadır. h değeri küçüldükçe gerilme, artmaktadır (Şekil 5.2).

6- Maksimum gerilme A noktası civarında meydana gelmekte ve malzeme ile dişli boyutlarına göre değişmektedir.

5.3. Çapraz Takviyeli Kompozit Dişli Zincirlerindeki Sonuçlar

1- Takviye açısı $\theta = 15^\circ$ için grafit-epoksi, boron-epoksi ve cam-epoksi kompozit malzemeleri maksimum gerilme değerlerini almaktadır (Şekil 5.17). Bunu $0^\circ, 30^\circ$ ve 45° deki takviye açılarındaki değerler takip etmektedir. h mesafesinin 28.8mm ve 30.2mm durumunda maksimum gerilme değerleri takviye açısı $\theta = 0^\circ$ derecede görülmektedir (Şekil 5.21)

2- θ arttıkça maksimum gerilmeler veya k faktörleri azalmaktadır.

3- Takviye açısı $\theta = 45^\circ$ için maksimum gerilmeler diğerlerine kıyasla en küçük olmaktadır (Şekil 5.18).

4- Maksimum gerilme değerleri, her zaman grafit-epoksi malzemesinde, minimum gerilme değerleri ise cam- epoksi malzemesinde meydana gelmektedir. Sırasıyla grafit-epoksi, boron-epoksi ve cam-epoksi kompozit malzemelerdeki değerler gelmektedir.

5- Çapraz takviye durumunda da , h değeri arttıkça maksimum gerilme azalmakta ve h mesafesi azaldıkça maksimum gerilme artmaktadır (Şekil 5.15).

6- Çapraz takviyede de maksimum gerilme yine A noktası civarında meydana geldiği, bilgisayar sonuçlarıyla gözlenmiştir.

7- İzotropik malzeme ile çapraz takviyedeki maksimum gerilme değerlerine bakıldığında, çapraz takviyedeki maksimum gerilme izotropik malzemedeki gerilmeden daha fazla olmaktadır. Çapraz takviyedeki minimum gerilme dahi, izotropik malzemedeki maksimum gerilmeden büyük çıktığı gözlenmiştir (Şekil 5.17).

5.4 Öneriler

Bu çalışmada, üç tip tek yönlü takviyeli ve çapraz takviyeli kompozit malzeme beş değişik dişli zinciri profildeki şekil üzerinde uygulandı. Daha kapsamlı bir araştırma için değişik profiller üzerinde ve daha değişik kompozit malzemeler kullanılabilir ayrıca takviye şekilleri daha da artırılarak değişik faktörler altında dıyağramlar serisi elde edilebilir.

Aynı zamanda dişli zinciri elasto-plastik bölgelerin hasıl edileceği değerlere kadar yükleme yapılabilir. Bu durumda plastik bölgelerin yayılışı incelenir ve iç gerilmeler bulunur. Bu iç gerilmeler ile dişli zincirinin mukavemeti yükseltilebilir.



KAYNAKLAR

FROCHT, M., (1936). **Photoelastic Studies in Stress Concentration**, Mechanical Engineering, P.485.

BLAKE, A., (1975). **Coping With Stress Concentration**, Machine Desing.

FESSLER, H., WOODS, P.J., (1980). **Stress Concentrations at Axially Loaded Projections of Flat Bars**, Journal of strain Analysis Vol.15.

BAKIR, Ş., (1977). **Mukavemette kullanılan Metodlar, Fotoelastisite ve Buna Ait Örnekler**, Makina ve Teknik, Sayı (7-8).

RYLANDER, H.G., ROCHA, P.M.A., KREISLER, L.F., YAUGHN, C.J., (1968). **Stress Concentration Factors in Shouldered Shafts Subjected to Combinations of Flexure and Torsion**, Journal of Engineering For Industry, (P.301-306).

HASABE, N., and HORINOCCHI, Y., (1978) **Stress Analysis for a Strip With Semi-Elliptical Notches or Cracks on Both Sides by Means of Rotational Mapping Function** Ingenieur Archiv 47, P. (169-179).

ATSUMI, A., (1957) **Stress Concentrations in a Strip Under Tension and Containing Two Pairs of Semicircular Notches Placed on the Edges Symmetrically**, journal of Applied Mechanics.

THEOCARIS, P., S., and LOAKIMIDIS, N., (1979). **V-Notched Elastic Half-Plane Problem**, Acta Mechanica.

CRUSE, T. A., SNOW, D.W., WILSON, R.B., (1977). **Numerical Solutions in Axisymmetric Elasticity**, Pergamon Press P(445-451).

ANDERSON, T., (1982). **Boundary Elements in Two-Dimensional Contact and Friction**, Yikingstad.

KATO, A., (1981). **Stress Concentration Factors of semi Circular Grooves in**

Torsion, Bulletin of ISME, Vol.24.

NATH, B., (1974). **The Finite Element Methods**, University of London.

FENNER, R.T., (1975). **Finite Element Methods for Engineers**, Macmillan Press Ltd., London.

HOLAND, I. And KOLBEIN, B., (1970). **Finite Element Methods in Stress Analysis**, tapir, Trondheim.

ZIENKIEWICZ, O.C., (1979). **The Finite Element Method**, Mc Graw-Hill Book Company.

HUEBNER, K.H., (1975). **The Finite Element Method for Engineers**, John Wiley and Sons.

BATHE, K., (1982). **Finite Element Procedures in Engineers Analysis**, Prentice-Hall, Inc.

HAMMING, R.W., (1962). **Numerical Methods for Scientists and Engineers**, Mc Graw-Hill Book Company.

TIOSHENKO, S., ve GOODIER, (1969). I.N., **Elastisite Teorisi**, Tercüme , Istanbul.

JOHES, R.M., (1975). **Mechanics of Composite Materials**, Mc Graw-Hill Kogakuha Ltd., Tokyo.

VINSON, J.R., CHAS, T.W., (1975). **Composite Materials and Their Use in Structures**, Applied Science Publishers, Ltd., London.

SODEN, P.M., (1983). **Models Demonstrate Shearing, Bending and Twisting in Fibre Reinforced Composites Under Uniaxial Tension**, International Journal of Mechanical Engineering Education.

ANDERSSON, T. (1979). **The Boundary Element Method With Application to Contact Mechanics**. Linköping Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Report R-135. Linköping (In Swedish).

ÖZBAY, M., (1987). **Cam Fiber Takviyeli Ortotropik Kompozit Malzemeden Yapılmış Değişken Kesitli Milde Kayma Gerilmeleri Analizi**, Gazi Üniversitesi Müh. Fak. Dergisi, Cilt 2, sayı 2, Ankara.

ANTONESCU, N.N, DIX, R.C., (1975). **Stresses in Roller Chain Link Plates**, Rev. Roum. Sci. Techn. - Mec. Appl., Tome 20, No.2, P. 311-322, Bucarest.

HAAS, D.J., LEE, S.W., (1986). **Computures and Sstructures** vol.26, no. 3, pp. 445-452, Printid in Great Biritain.

AKKURT, M., (1982). **Makina Elemanları, Dişli Çarklar ve Diğer Güç İletim elemanları**, üçüncü cilt, İstanbul.

JONES, R.M., (1975). **Mechanics of Composite Materials**, Mc Graw-Hill Book Compony Newyork

BREBBIA, C.A., (1978). **The Boundary Element Method for Engineers**, Pentech Press, London.

FREDRIKSSON, B., (1979). **Finite Element Solution of Surface Non-Linearities in Structural Mecanics** , Computer and Structures, Vol.6, pp.281-290.

HOFF, N.J., (1981). **stress Concentrations in Cylindrically Orthotrociop Composite Plates with a Circular Hole**, Jurnal of Mechanics Vol. 48.

IRONS, B.M., (1966). **Engineering Application of Numerical Integration in Stiffnes Method**, A.I.A.A. Jurnal, Vol.4, pp. 2035-2037.

PERSSON, B.G.A., (1964). **On the Stress Distribution of Cylindrical Elastic Bodies in Contact**, Diss, Chalmers Inst. of Technology, Gothenburg, Sweden.

WALKER, S., (1980). **Boundary Element Method for Engineers**, Pentech Press, London.

ZIENKIEWICZ, O.C., (1982). **The Finite Element Method**, Mc. Graw Hill.

YINSON, J.R., (1975). **Composite Materials and Their Use in Structures**, Applied Science Publishers Ltd. London.

EK-1. KOMPOZİT MALZEMELERİNİN TEK YÖNLÜ TAKVİYE BİÇİMLERİNE GÖRE MAKSİMUM GERİLME İLE K DEĞERLERİNE AİT TABLOLAR.

TABLO 5.1. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=25mm)

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=25mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	215.482	10.774	229.167	11.458	251.805	12.590
15	246.952	12.348	301.144	15.057	375.993	18.800
30	234.952	11.748	293.632	14.682	371.783	18.589
45	206.879	10.344	276.171	13.809	356.519	17.826
60	112.937	5.647	107.223	5.361	255.017	13.473
75	130.753	6.538	130.000	6.500	102.909	5.145
90	144.112	7.206	152.171	7.609	131.878	6.594

TABLO 5.2. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=26.4mm)

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=26.4 mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	178.783	9.444	196.917	10.402	238.560	12.402
15	205.603	10.861	252.755	13.349	307.289	16.233
30	206.198	10.839	236.513	12.494	281.268	14.858
45	187.441	9.902	236.461	12.492	318.894	16.846
60	96.781	5.113	92.497	4.886	235.162	11.758
75	110.623	5.884	110.437	5.834	85.057	4.493
90	119.843	6.331	125.337	6.623	109.606	5.790

Tablo 5.3. Tek yönlü hali için maksimum gerilme ve k değerleri (h=27.6mm)

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=27.6mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	171.953	9.495	196.824	10.868	223.562	12.345
15	186.425	10.294	215.713	11.911	248.205	13.705
30	189.294	10.452	213.285	11.777	249.805	13.794
45	167.147	9.230	193.582	10.689	244.292	13.489
60	89.642	4.944	85.481	4.720	183.954	10.158
75	101.324	5.595	101.145	5.585	79.987	4.417
90	109.374	6.039	114.341	6.314	99.835	5.513

Tablo 5.4. Tek yönlü takviye hali için maksimum gerilme ve k değerleri (h=28.8mm)

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=28.8 mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	163.070	9.393	189.486	10.915	218.546	12.590
15	167.323	9.638	187.854	10.821	211.201	12.166
30	166.843	9.611	184.745	10.642	212.805	12.258
45	146.059	8.414	167.184	9.630	208.658	12.019
60	83.285	4.797	78.987	4.550	158.438	9.127
75	92.959	5.355	92.916	5.352	74.639	4.299
90	90.930	5.494	94.859	5.732	82.405	4.979

Tablo 5.5. Tek yönlü takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=30.2mm)

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=30.2 mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	155.144	9.374	179.646	10.855	202.231	12.219
15	152.402	9.209	167.793	10.139	189.118	11.427
30	143.540	8.673	156.100	9.432	177.452	10.722
45	124.805	7.541	140.332	8.479	173.565	10.487
60	75.162	4.542	72.417	4.376	111.050	6.710
75	84.970	5.134	85.053	5.139	69.230	4.183
90	90.930	5.494	94.859	5.732	82.405	4.979

EK-2. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÇAPRAZ TAKVİYE BİÇİMLERİNE GÖRE MAKSİMUM GERİLME VE K DEĞERLERİNE AİT TABLOLAR.

Tablo 5.6. Çapraz takviye hali için maksimum gerilme ve k değerleri (h=25mm).

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=25mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	400.484	20.024	432.579	21.629	456.066	22.803
15	406.466	20.323	469.898	23.495	592.077	29.34
30	359.935	17.997	436.816	21.841	554.177	27.709
45	328.358	16.418	429.063	21.453	526.460	26.323

Tablo 5.7. Çapraz takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=26.4).

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=26.4mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	178.183	9.444	196.917	10.402	238.560	12.402
15	205.603	10.861	252.705	13.349	307.289	16.233
30	206.198	10.893	236.513	12.494	281.268	14.858
45	187.441	9.902	236.461	12.492	318.894	16.846

Tablo 5.8. Çapraz takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h= 27.6mm).

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=27.6mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	171.955	9.495	196.824	10.868	223.562	12.345
15	186.425	10.294	215.713	11.911	248.205	13.705
30	189.294	10.452	213.285	11.777	249.805	13.794
45	167.147	9.230	193.582	10.689	244.292	13.489

Tablo 5.9. Çapraz takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=28.8mm).

KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=28.8mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	284.059	16.363	320.552	18.463	379.335	21.851
15	279.795	16.117	314.155	18.097	375.125	20.609
30	266.262	15.338	288.378	16.612	321.662	18.529
45	233.482	13.449	255.285	14.705	302.786	17.442

Tablo 5.10. Çapraz takviye için maksimum gerilme ve k değerleri (h=30.2mm)

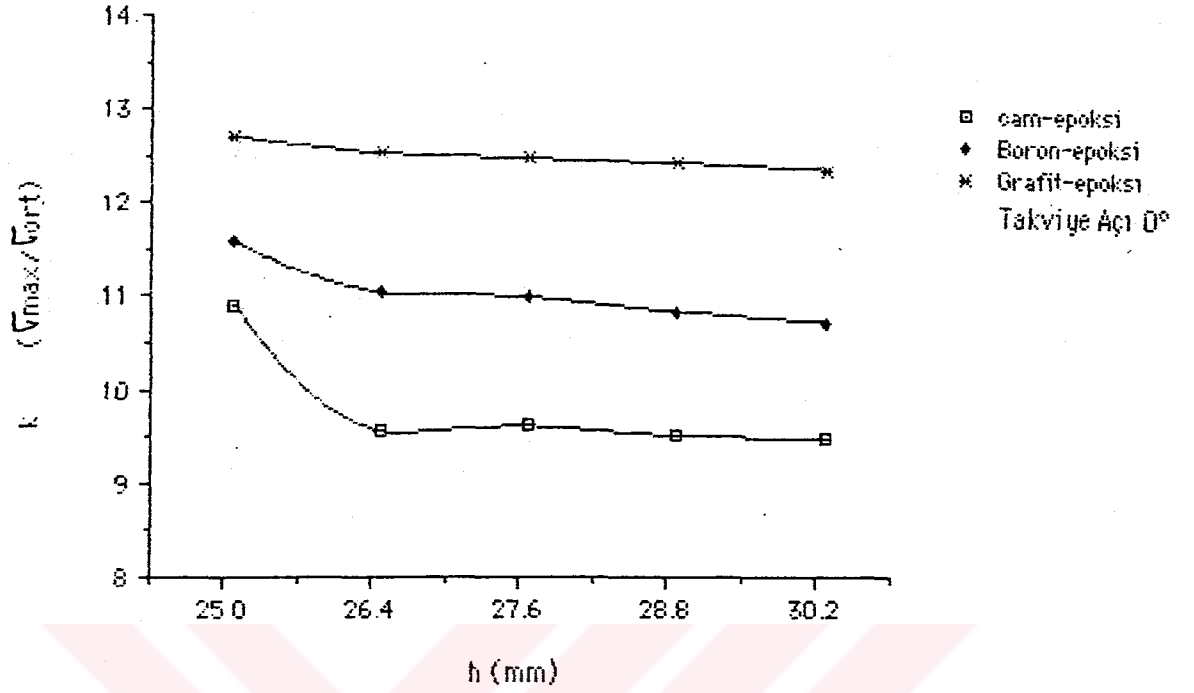
KOMPOZİT MALZEME DEĞERLERİ						h=30.2mm
Takviye Açısı θ (Derece)	Cam-Epoksi		Boron-Epoksi		Grafit-Epoksi	
	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)	σ_{max} (N/mm ²)	k(-)
0	266.726	16.116	304.856	18.420	362.900	21.927
15	259.341	15.670	290.423	17.548	343.227	20.739
30	232.902	14.073	225.771	13.642	252.559	15.260
45	203.440	12.292	219.334	13.253	242.579	14.657

EK-3. İZOTROPİK MALZEMENİN MAKSİMUM GERİLME İLE K DEĞERLERİNE AİT TABLO.

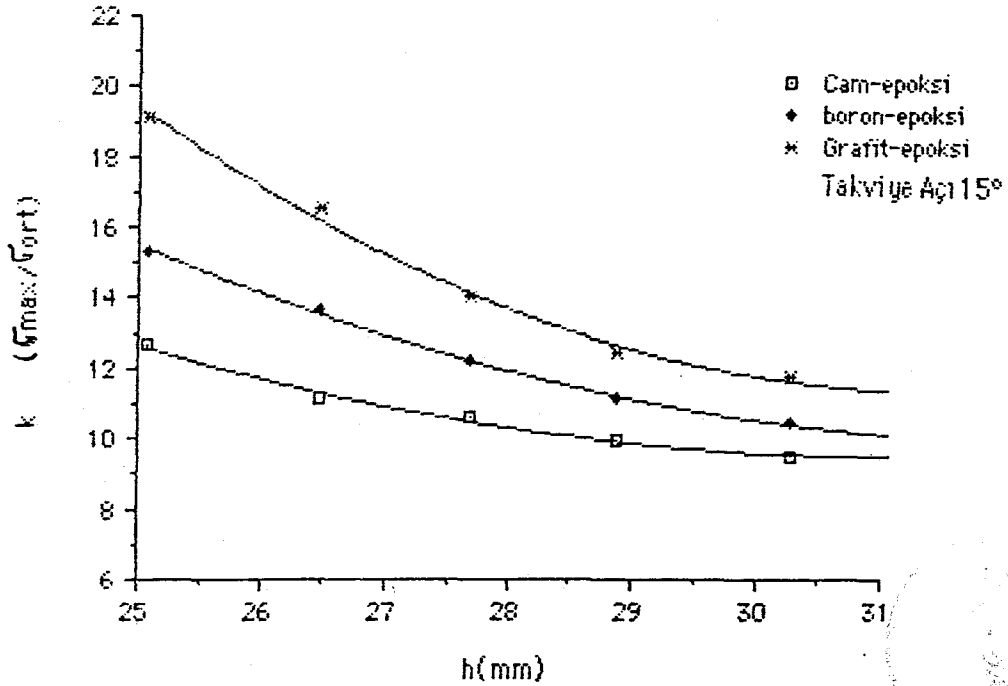
Tablo 5.11 İzotropik malzemenin teorik ve deneysel maksimum gerilme ile k değerlerine ait değerler

İZOTROPİK MALZEME DEĞERLERİ						
Genişlik h(mm)	Teorik Sonuç σ_{max} (N/mm ²)	k (-)	Deneysel Sonuç (fotoelastik) σ_{max} (N/mm ²)	k (-)	Deneysel Sonuç (Strain-gauge) σ_{max} (N/mm ²)	k (-)
25	152.652	7.633	151.850	7.592	147.614	7.380
26.4	144.556	7.636	140.510	7.422	136.516	7.211
27.6	135.577	7.486	132.203	7.300	128.300	7.084
28.8	124.308	7.161	122.980	7.084	118.612	6.832
30.2	111.631	6.445	110.352	6.660	112.136	6.389

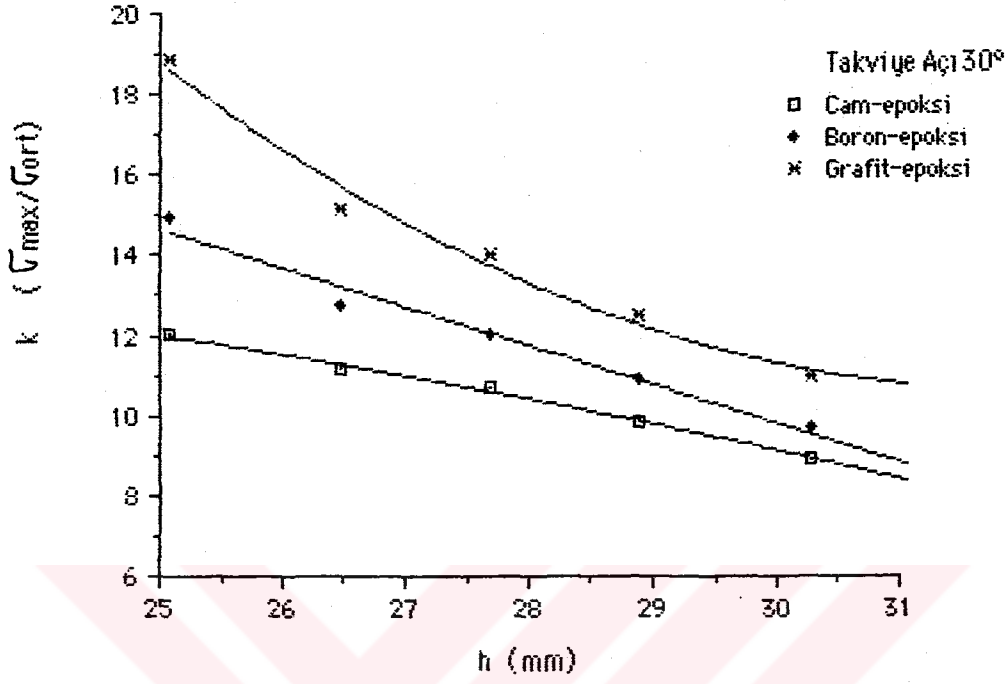
EK-4. KOMPOZİT MALZEMELERİN TEK YÖNLÜ YE ÇAPRAZ YÖNLÜ TAKVİYE BİÇİMLERİNE GÖRE K KATSAYISININ Q İLE h ARASINDAKİ EĞRİLER.



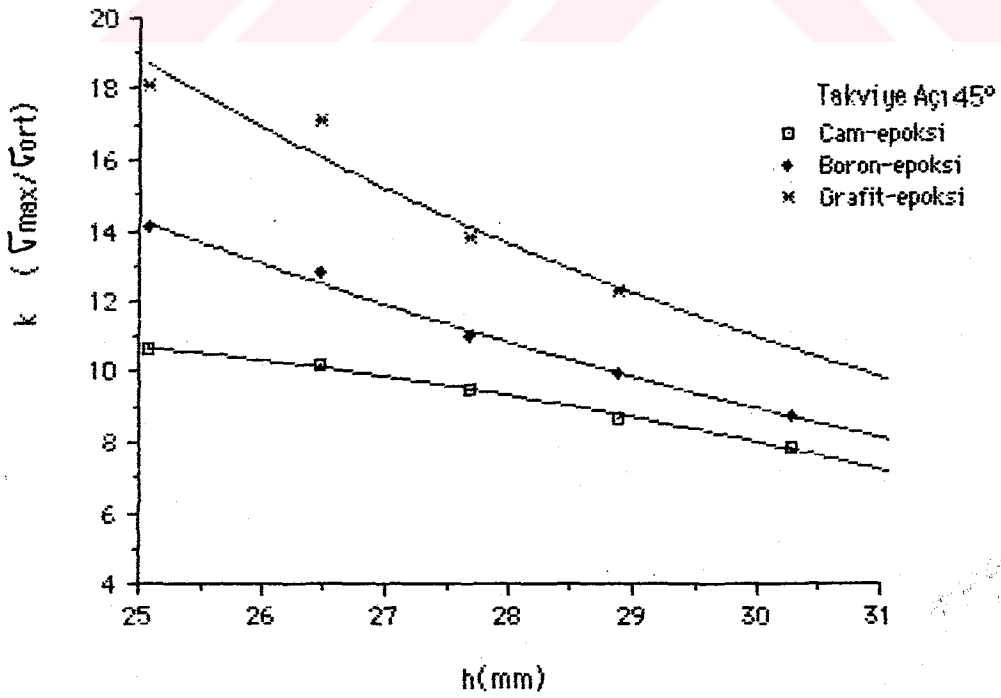
Şekil 5.1. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=0^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



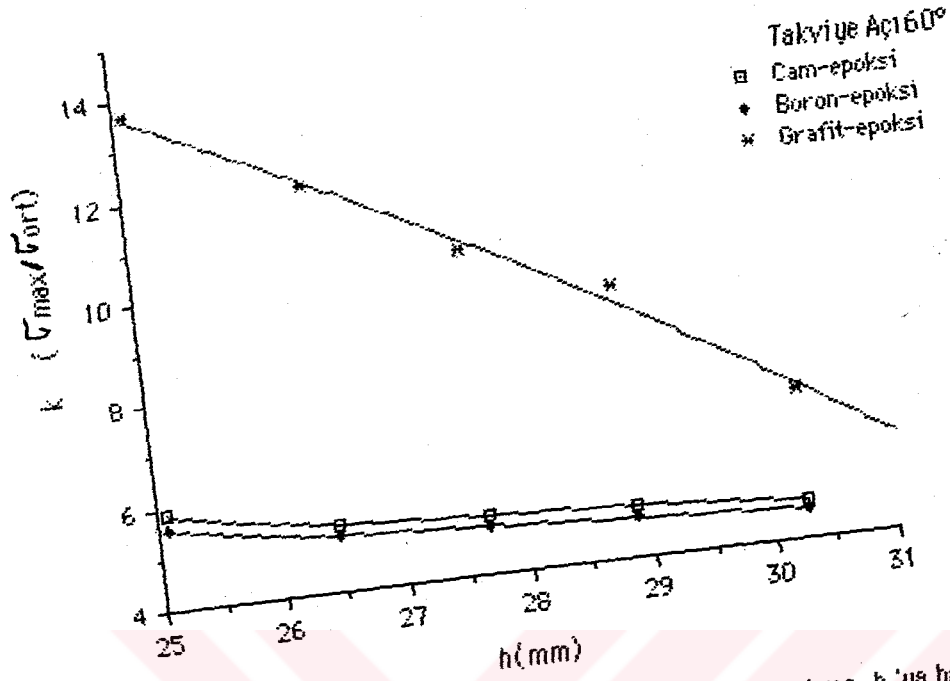
Şekil 5.2. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=15^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



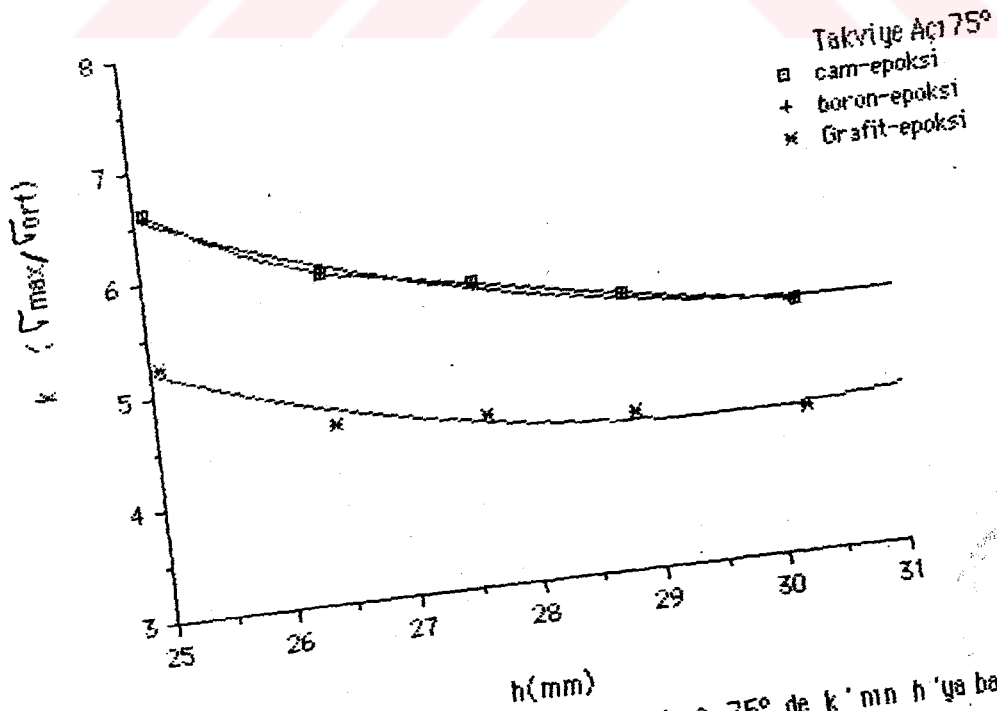
Şekil 5.3. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=30^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



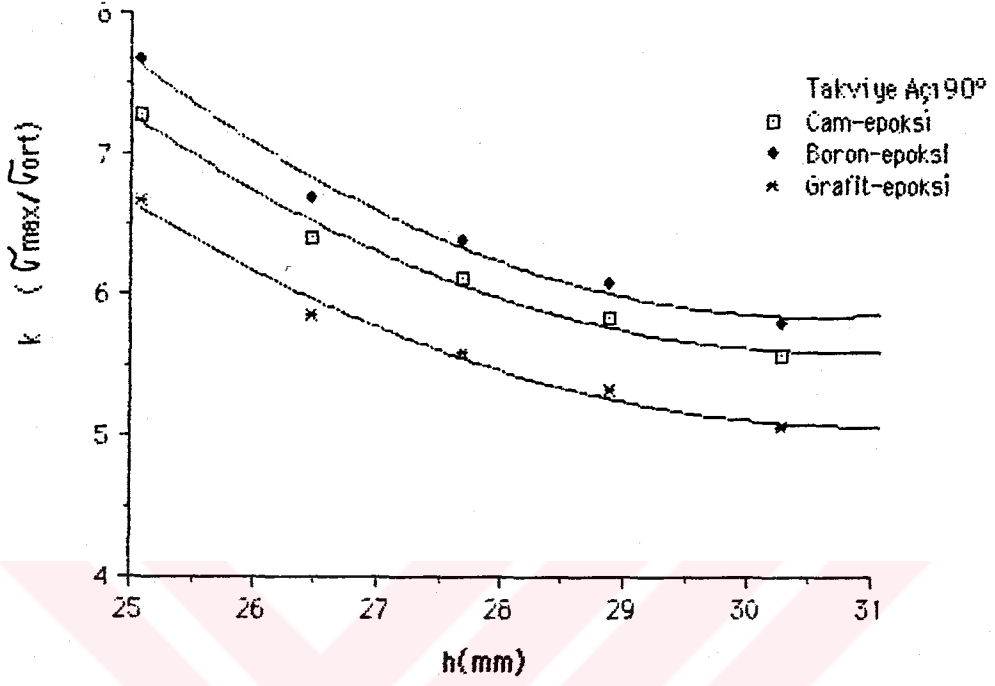
Şekil 5.4. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=45^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



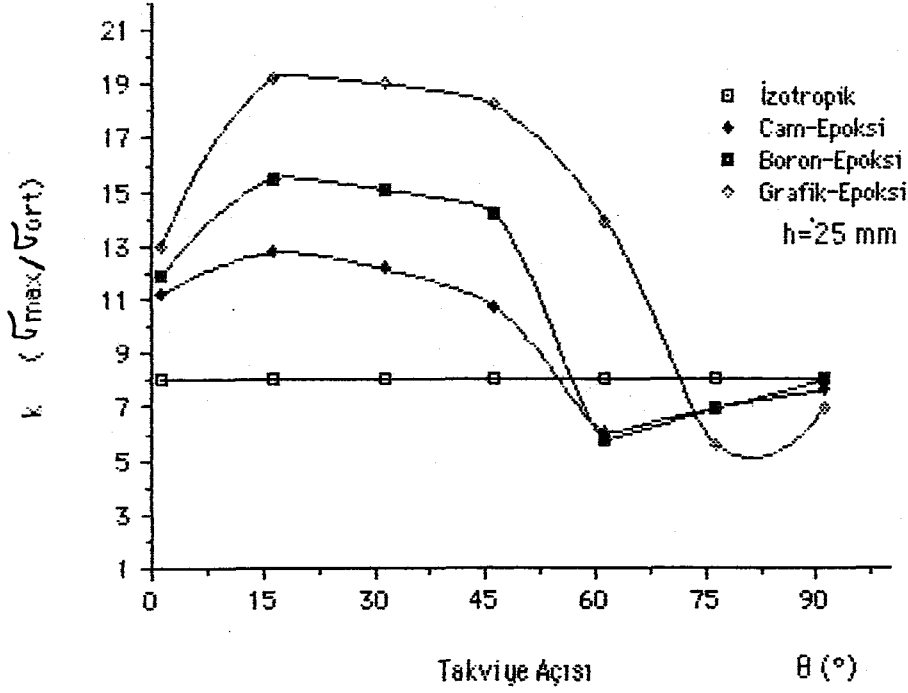
Şekil 5.5. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=60^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



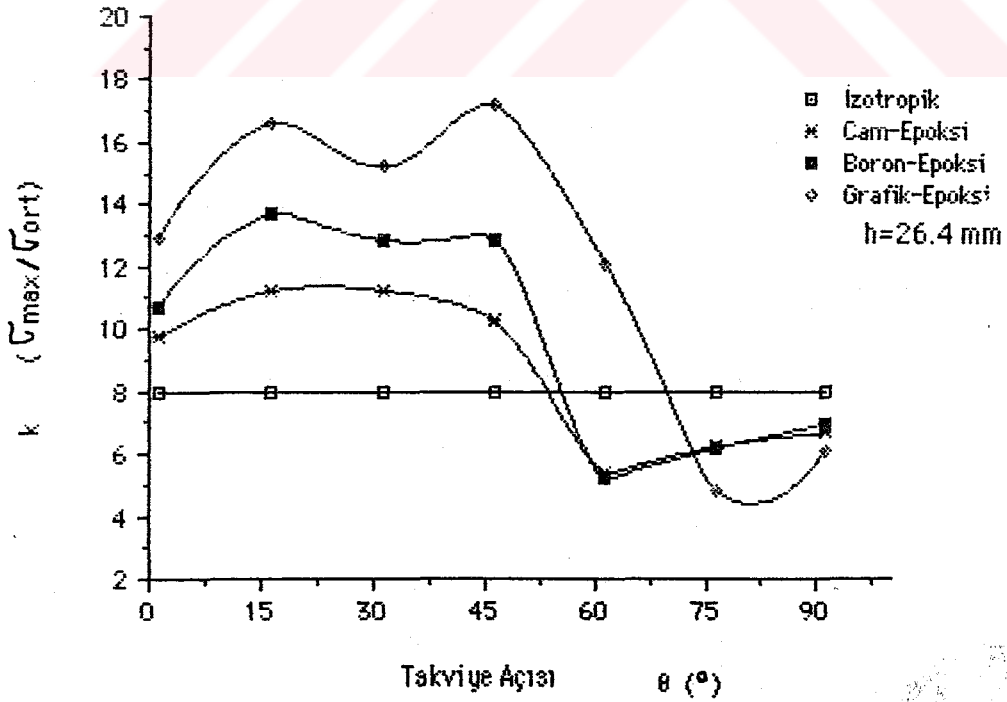
Şekil 5.6. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=75^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



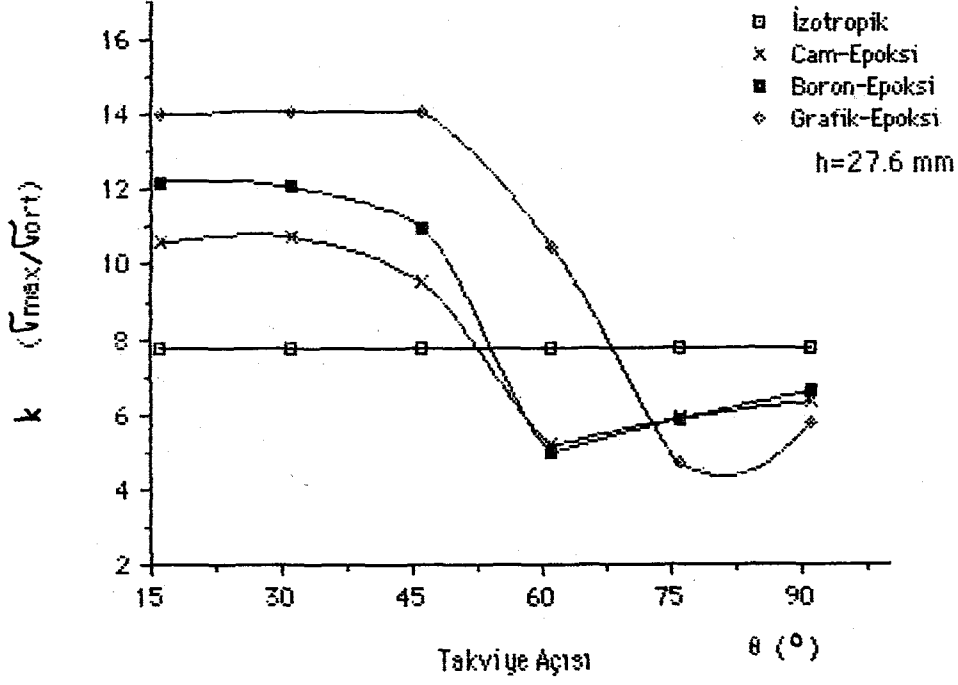
Şekil 5.7. Tek yönlü takviye durumunda $\theta=90^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



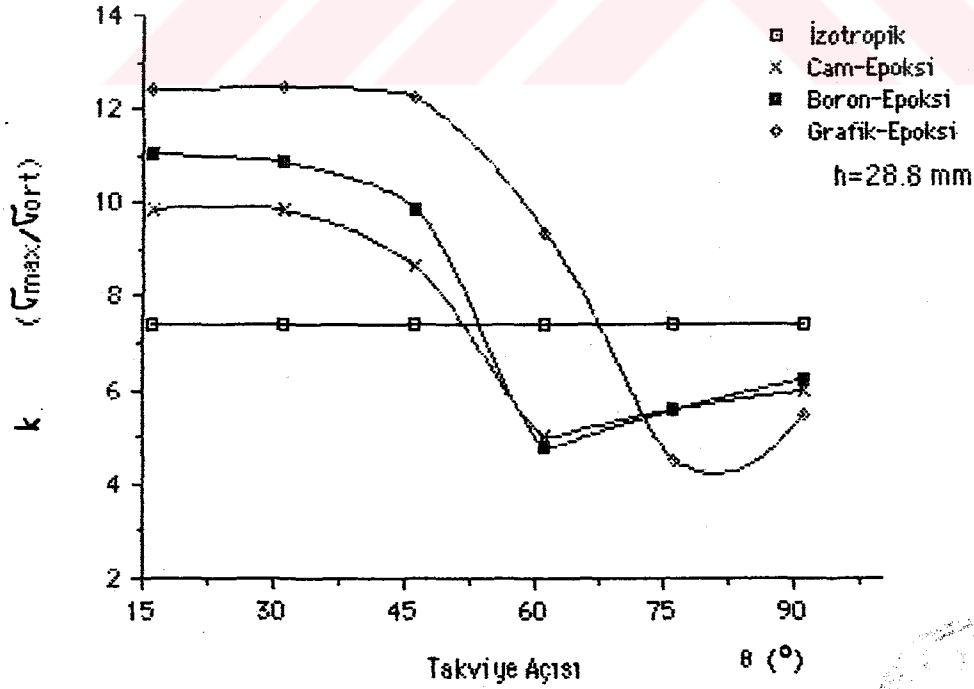
Şekil 5.8. Tek yönlü takviye durumunda $h=25\text{mm}$ için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



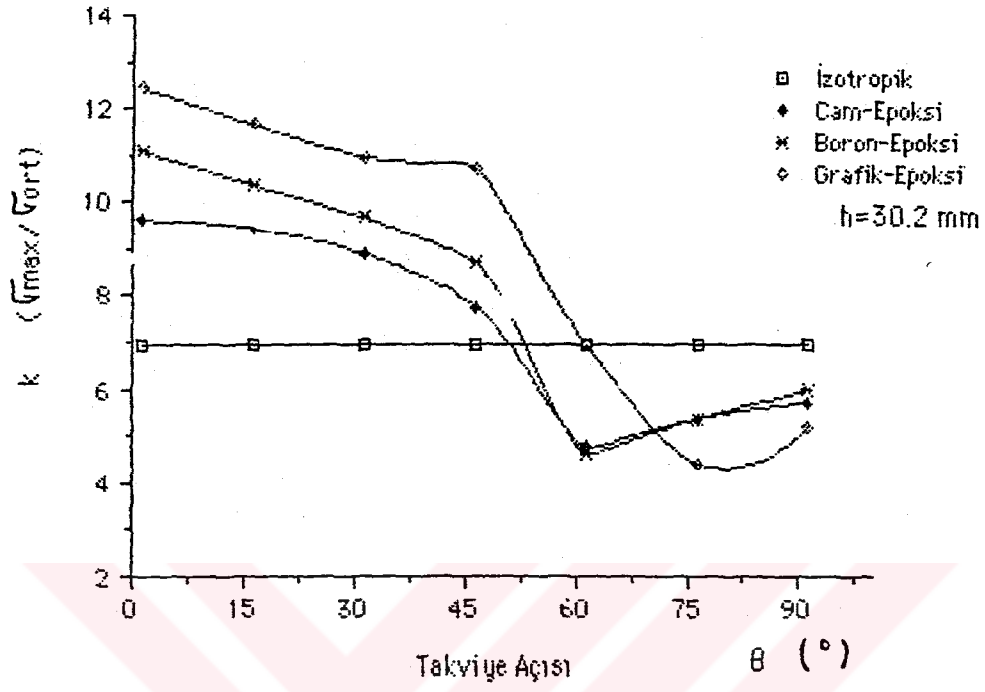
Şekil 5.9. Tek yönlü takviye durumunda $h=26.4\text{mm}$ için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



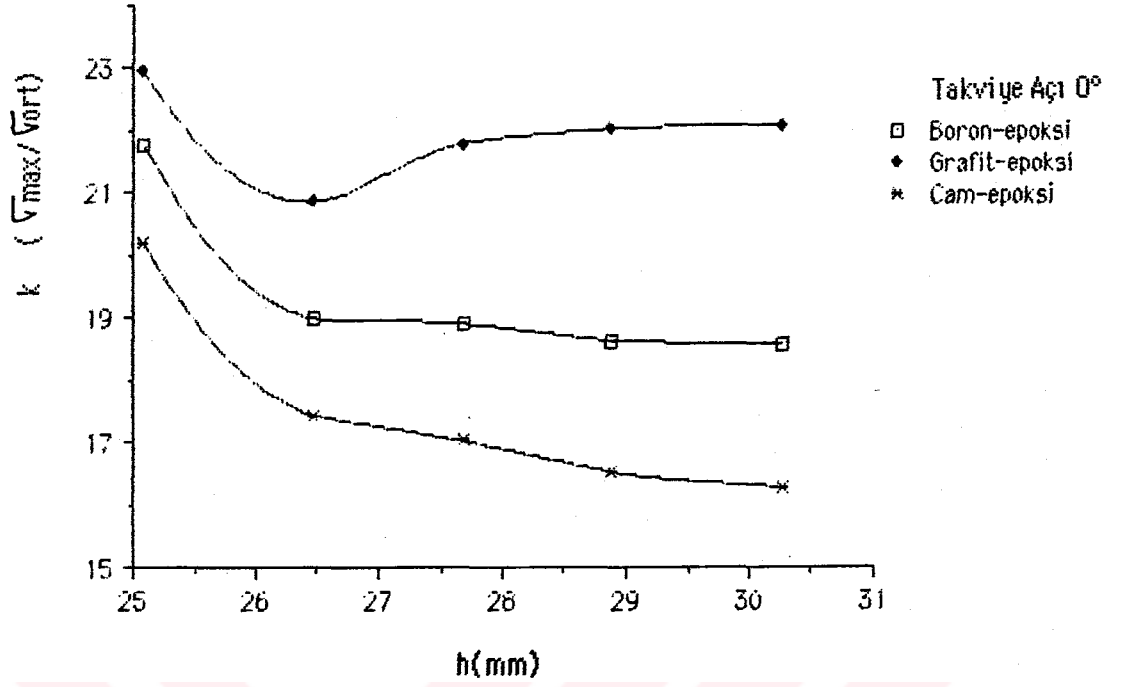
Şekil 5.10. Tek yönlü takviye durumunda $h=27.6\text{mm}$ için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



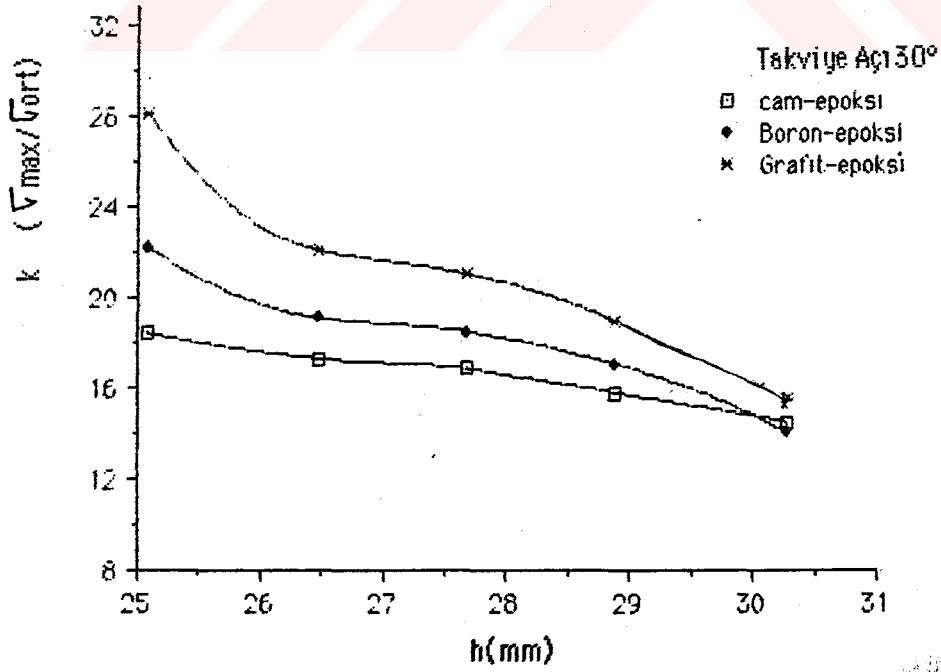
Şekil 5.11. Tek yönlü takviye durumunda $h=28.8\text{ mm}$ için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



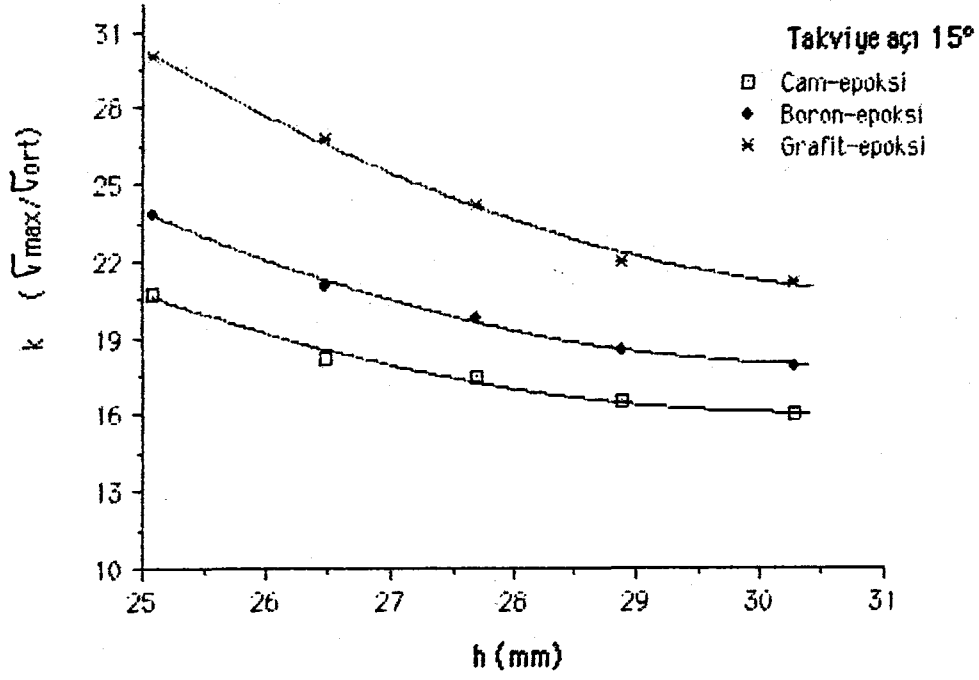
Şekil 5.12. Tek yönlü takviye durumunda $h=30.2\text{mm}$ için k 'nin h 'ye bağlı değişim.



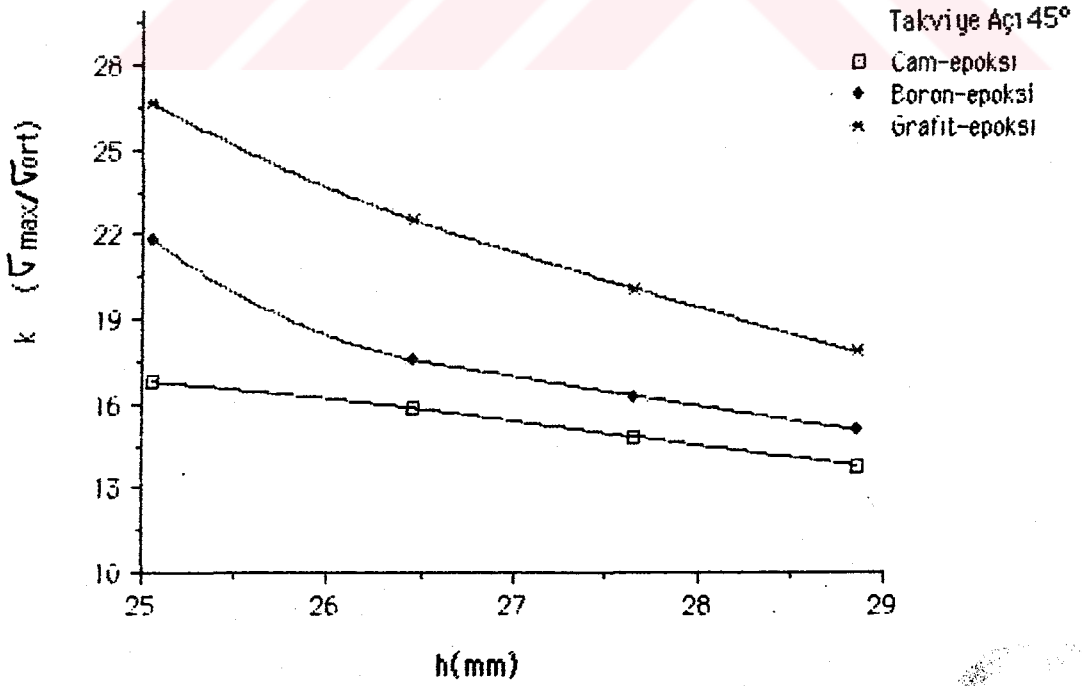
Şekil 5.13. Çapraz takviye durumunda $h=25\text{mm}$ için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



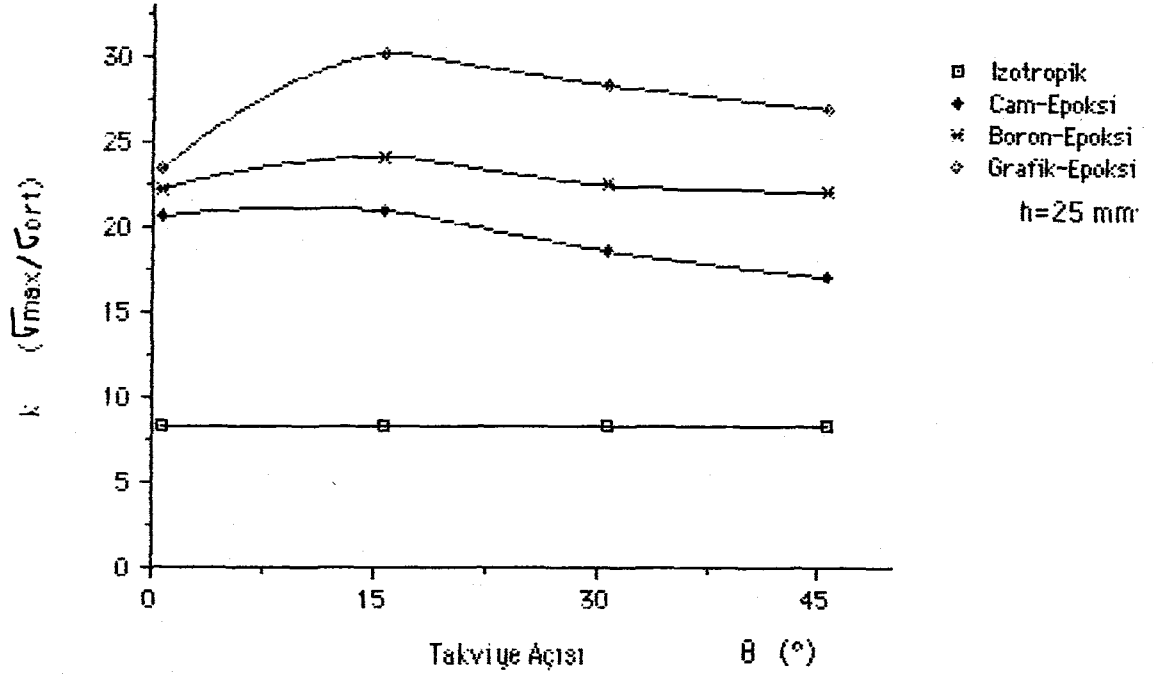
Şekil 5.14. Çapraz takviye durumunda $h=27.6\text{mm}$ için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



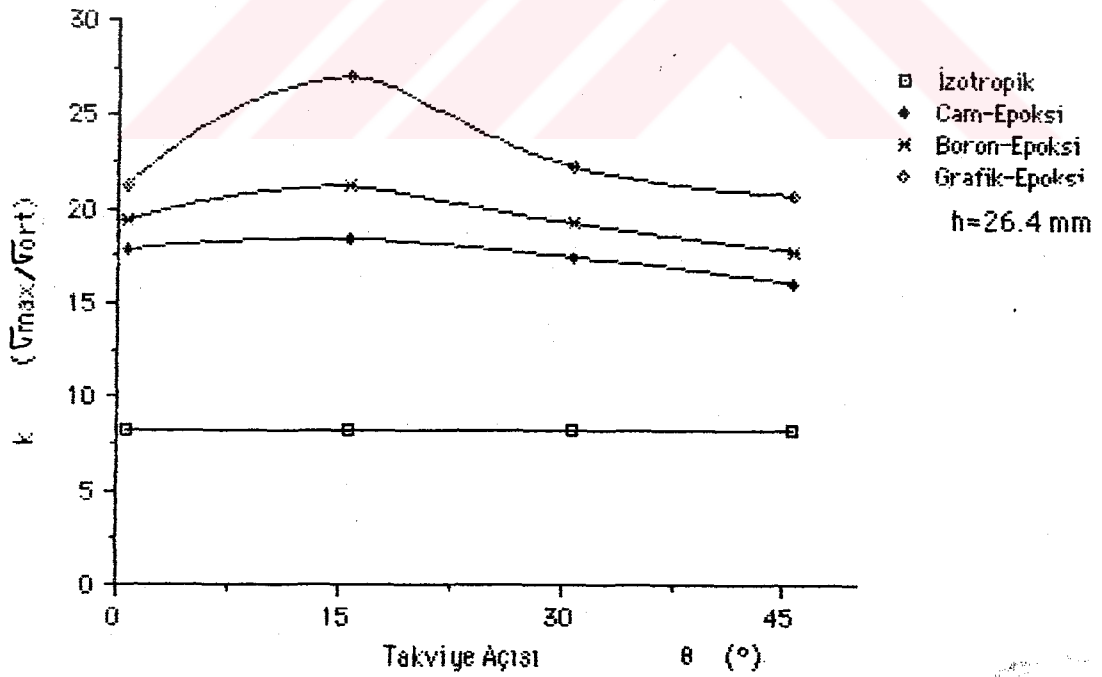
Şekil 5.15. Çapraz takviye durumunda $h=26.4$ mm için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



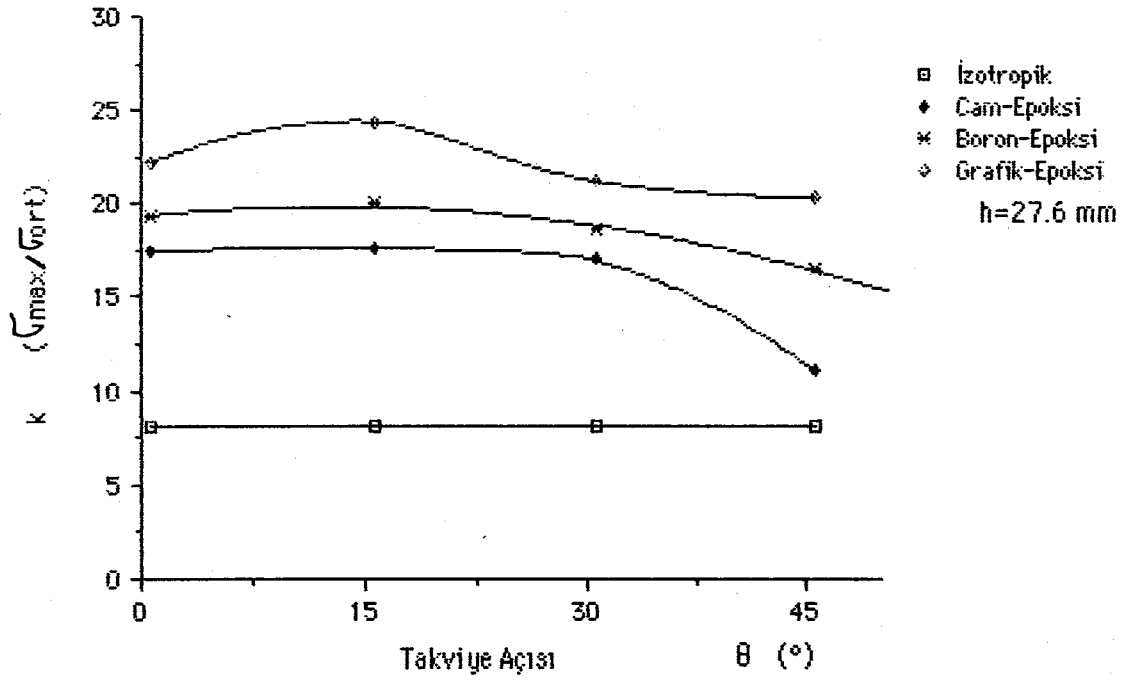
Şekil 5.16. Çapraz takviye durumunda $h=28.8$ mm için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



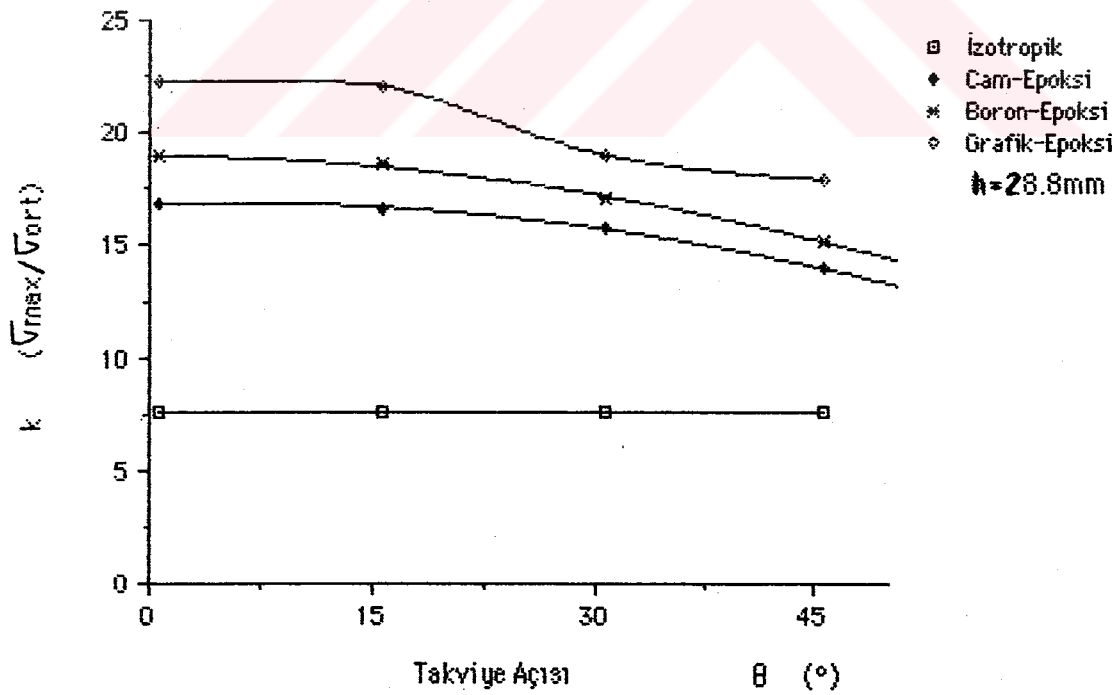
Şekil 5.17. Çapraz takviye durumunda $h=30.2$ mm için k 'nin h 'ya bağlı değişim.



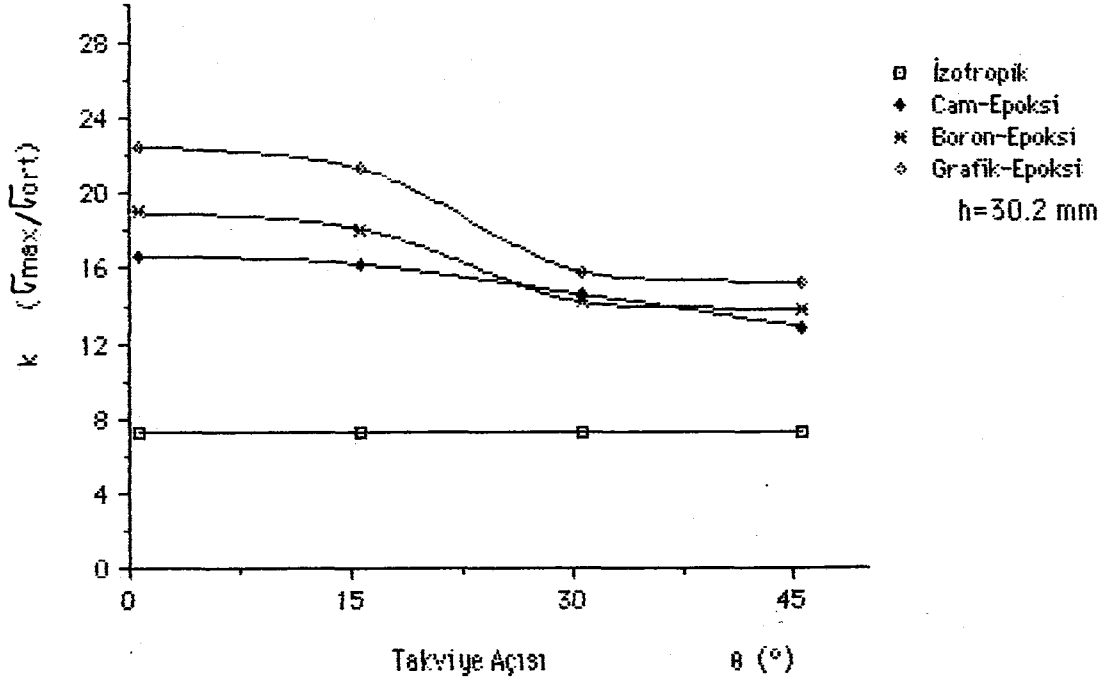
Şekil 5.18. Çapraz takviye durumunda $\theta=0^{\circ}$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



Şekil 5.19 Çapraz takviye durumunda $\theta = 15^{\circ}$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



Şekil 5.20. Çapraz takviye durumunda $\theta = 30^{\circ}$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.



Şekil 5.21. Çapraz takviye durumunda $\theta=45^\circ$ de k 'nin h 'ya bağlı değişim.

EK-5. PROBLEMİN ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMI.

```

C*****
C      BU POROGRAM ÜÇGEN ELEMANLAR YONTEMI KULLANARAK
C      KOMPOZİT MALZEMEDEN İMAL EDİLMİŞ DIŞLI ZİNCİR
C      ELEMANININ GERİLME ANALİZİNİ SONLU ELEMANLAR
C      METODU İLE HESAPLAMAKTADIR.
C*****
C      IDS : DÜĞÜMLERİN TOPLAM SAYISI = 245
C      NEL : ELEMANLARIN TOPLAM SAYISI = 392
C      TT  : PARÇANIN ET KALINLIĞI
C      ELAS: MALZEMENİN ELASTİSİTE MODULU
C      ENU : MALZEMENİN NU KATSAYISI
C*****
C.....
      REAL KOR(245,2)
      REAL *4 NU12,NU21
      DIMENSION NDUG(392,3),C(392,6,6),CINV(392,6,6)
      DIMENSION CIN(6,6),ANM(3,6),ANMT(6,3),SB3(392),SB2(392)
      DIMENSION INM(6),INL(6), DELTAM(392),DM(392,3,3),SB1(392)
      DIMENSION R(6,3),R1(6,3),R2(6,6),AK(6,6),T(490,490)
      DIMENSION V(490),S1(3,6),S2(3,6),S3(3,1),VEK(6,1)
      DIMENSION DM1(3,3),C1(6,6),RV(490,1),RRV(490,1)
      DATA ANM/0,0,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,1,0,1,0/
C..... CAM LİFİ İÇİN MUH. SABİTLERİ.....
C      DATA ELAS1,ELAS2,NU12,NU21,G12/44.25E03,7.66E03,0.26,
C      *0.045,2.875E03/
C..... BORON EPOKSI İÇİN MUH. SABİTLERİ.....
C      DATA ELAS1,ELAS2,NU12,NU21,G12/21.09E04,2.103E04,0.3,
C      *0.029,0.703E04/
C..... GRAFİT EPOKSI İÇİN MUH. SABİTLERİ.....
C      DATA ELAS1,ELAS2,NU12,NU21,G12/19.8E04,0.527E04,0.25,
C      *0.006,0.263E04/
      DATA TT/2.0/
      READ(1,1111) LTETA
1111  FORMAT(2X,I3)
      WRITE(3,1111) LTETA
      READ(1,1112) SS
1112  FORMAT(F7.2)
      WRITE(3,1112) SS
      DO 100 I=1,6
      DO 100 J=1,3
100   ANMT(I,J)=ANM(J,I)
      READ(1,10) IDS,NEL
10    FORMAT(2I5)
      WRITE(3,11) IDS,NEL
11    FORMAT(2I5)
      READ(1,20) ((KOR(N,I),I=1,2),N=1,IDS)
20    FORMAT(4(2F7.2))
      DO 110 N=1,IDS
      DO 110 I=1,2
110   KOR(N,I)=KOR(N,I)/5.
C      WRITE(3,21) ((KOR(N,I),N=1,IDS),I=1,2)
C      FORMAT(4(2F7.2))
      READ(1,22) ((NDUG(N,I),I=1,3),N=1,NEL)

```

```

22  FORMAT(4(3I5))
C   WRITE(3,23) ((NDUG(N,I),N=1,NEL),I=1,3)
C23  FORMAT(4(3I5))
C   1:X KOORDİNATINI , 2:Y KOORDİNATINI GÖSTERMEKTEDİR.
C
DO 120 K=1,NEL
X1=KOR(NDUG(K,3),1)-KOR(NDUG(K,2),1)
Y1=KOR(NDUG(K,2),2)-KOR(NDUG(K,3),2)
X2=KOR(NDUG(K,1),1)-KOR(NDUG(K,3),1)
Y2=KOR(NDUG(K,3),2)-KOR(NDUG(K,1),2)
X3=KOR(NDUG(K,2),1)-KOR(NDUG(K,1),1)
Y3=KOR(NDUG(K,1),2)-KOR(NDUG(K,2),2)
DELTA=(Y1*(-X3)-Y3*(-X1))/2.
DELTAM(K)=DELTA
C   WRITE(*,*) DELTAM(K)
120  CONTINUE
DO 130 N=1,NEL
DO 130 NN=1,6
DO 130 NNN=1,6
C(N,NN,NNN)=0
130  CONTINUE
DO 140 N=1,NEL
C(N,1,1)=1
C(N,2,4)=1
C(N,3,1)=1
C(N,4,4)=1
C(N,5,1)=1
C(N,6,4)=1
C(N,1,2)=KOR(NDUG(N,1),1)
C(N,1,3)=KOR(NDUG(N,1),2)
C(N,2,5)=KOR(NDUG(N,1),1)
C(N,2,6)=KOR(NDUG(N,1),2)
C(N,3,2)=KOR(NDUG(N,2),1)
C(N,3,3)=KOR(NDUG(N,2),2)
C(N,4,5)=KOR(NDUG(N,2),1)
C(N,4,6)=KOR(NDUG(N,2),2)
C(N,5,2)=KOR(NDUG(N,3),1)
C(N,5,3)=KOR(NDUG(N,3),2)
C(N,6,5)=KOR(NDUG(N,3),1)
C(N,6,6)=KOR(NDUG(N,3),2)
140  CONTINUE
C ***** MATRİSİN TERSİNİN HESAPLANMASI *****
DO 150 N=1,NEL
DO 160 I=1,6
DO 160 J=1,6
160  CİN(I,J)=C(N,1,J)
INN=6
CALL MINV(CİN,INN,DİN,INL,INM)
C ***** MATRİSİN TRANSPOZESİNİN HESAPLANMASI *****
DO 170 I=1,6
DO 170 J=1,6
CİN(N,I,J)=CİN(I,J)
170  C(N,J,I)=CİN(I,J)
150  CONTINUE

```

```

C
C ****TEK YÖNLÜ TAKVIYE İÇİN D 'NİN HESAPLANMASI*****
C
      C11=ELAS1/(1-NU12*NU21)
      C12=(NU12*ELAS2)/(1-NU12*NU21)
      C22=ELAS2/(1-NU12*NU21)
      C66=G12
C*****CAPRAZ ACILI TAKVIYE İÇİN D 'NİN HESAPLANMASI***
C
      C11=(ELAS1+ELAS2)/(1-NU12*NU21)
      C12=2*(NU12*ELAS2)/(1-NU12*NU21)
      C21=C12
      C22=C11
      C66=2*G12
C
      DO 180 N=1,NEL
C      LTETA=30
      TETA=(LTETA*3.14)/180.0
      DM(N,1,1)=C11*COS(TETA)**4+2*(C12+2*C66)*(SIN(TETA)**2*COS
*(TETA)**2)+C22*SIN(TETA)**4
      DM(N,1,2)=(C11+C22-4*C66)*(SIN(TETA)**2*COS(TETA)**2)+C12*
*(SIN(TETA)**4+COS(TETA)**4)
      DM(N,1,3)=(C11-C12-2*C66)*(SIN(TETA)*COS(TETA)**3)+(C12-C22+2*
*C66)*(SIN(TETA)**3*COS(TETA))
      DM(N,2,1)=DM(N,1,2)
      DM(N,2,2)=C11*SIN(TETA)**4+2*(C12+2*C66)*(SIN(TETA)**2*COS
*(TETA)**2)+C22*COS(TETA)**4
      DM(N,2,3)=(C11-C12-2*C66)*(SIN(TETA)**3*COS(TETA))+(C12-C22+
*2*C66)*(SIN(TETA)*COS(TETA)**3)
      DM(N,3,1)=DM(N,1,3)
      DM(N,3,2)=DM(N,2,3)
      DM(N,3,3)=(C11+C22-2*C12-2*C66)*(SIN(TETA)**2*COS(TETA)**2)+
*C66*(SIN(TETA)**4+COS(TETA)**4)
C....
C      WRITE(3,3333) ((DM(N,I1,J1),J1=1,3),I1=1,3)
C3333 FORMAT(3F12.6)
C....
      DO 190 I=1,6
      DO 190 J=1,6
190    CIN(I,J)=C(N,I,J)
      DO 200 I=1,3
      DO 200 J=1,3
200    DM1(I,J)=DM(N,I,J)
      CALL GMPRD(CIN,ANMT,R,6,6,3)
      CALL GMPRD(R,DM1,R1,6,3,3)
      CALL GMPRD(R1,ANM,R2,6,3,6)
      DO 210 I=1,6
      DO 210 J=1,6
      CIN(I,J)=CINV(N,I,J)
210    R2(I,J)=R2(I,J)*DELTAM(N)*TT
      CALL GMPRD(R2,CIN,AK,6,6,6)
      DO 220 I=1,6
      DO 220 J=1,6
220    C(N,I,J)=AK(I,J)

```

```

180  CONTINUE
    DO 230 I=1, (IDS*2)
    DO 230 J=1, (IDS*2)
230  T(I, J)=0.
    DO 240 NK=1, NEI
    DO 240 I=1, 6
    DO 240 J=1, 6
    ID=(I+1)/2
    JD=(J+1)/2
    IF(I.EQ.I/2*2) K=NDUG(NK, ID)*2
    IF(I.NE.I/2*2) K=NDUG(NK, ID)*2-1
    IF(J.EQ.J/2*2) L=NDUG(NK, JD)*2
    IF(J.NE.J/2*2) L=NDUG(NK, JD)*2-1
    T(K, L)=T(K, L)+C(NK, I, J)
240  CONTINUE
    DO 250 J=1, (2*IDS)
    T(107, J)=0.
250  T(108, J)=0.
    T(107, 107)=1.
    T(108, 108)=1.
    DO 260 J=1, (2*IDS)
    T(109, J)=0.
260  T(110, J)=0.
    T(109, 109)=1.
    T(110, 110)=1.
    DO 270 J=1, (2*IDS)
    T(117, J)=0.
270  T(118, J)=0.
    T(117, 117)=1.
    T(118, 118)=1.
    DO 271 J=1, (2*IDS)
    T(121, J)=0.
271  T(122, J)=0.
    T(121, 121)=1.
    T(122, 122)=1.
    DO 272 J=1, (2*IDS)
    T(131, J)=0.
272  T(132, J)=0.
    T(131, 131)=1.
    T(132, 132)=1.
    DO 273 J=1, (2*IDS)
    T(413, J)=0.
273  T(414, J)=0.
    T(413, 413)=1.
    T(414, 414)=1.
    DO 274 J=1, (2*IDS)
    T(427, J)=0.
274  T(428, J)=0.
    T(427, 427)=1.
    T(428, 428)=1.
    DO 275 J=1, (2*IDS)
    T(447, J)=0.
275  T(448, J)=0.
    T(447, 447)=1.

```

```

T(448,448)=1.
DO 276 J=1,(2*IDS)
T(455,J)=0.
276 T(456,J)=0.
T(455,455)=1.
T(456,456)=1.
C.....
DO 2800 I=1,(IDS*2)
V(I)=0.
2800 RV(I,1)=V(I)
RV(23,1)=0.
RV(24,1)=-3.
RV(35,1)=6.
RV(36,1)=-21.
RV(37,1)=20.
RV(38,1)=-36.
RV(39,1)=40.
RV(40,1)=-42.
RV(41,1)=62.
RV(42,1)=-36.
RV(45,1)=74.
RV(46,1)=-21.
RV(47,1)=96.
RV(48,1)=0.
RV(53,1)=74.
RV(54,1)=21.
RV(55,1)=62.
RV(56,1)=36.
RV(61,1)=40.
RV(62,1)=42.
RV(63,1)=20.
RV(64,1)=36.
RV(69,1)=6.
RV(70,1)=21.
RV(71,1)=0.
RV(72,1)=3.
RV(211,1)=2.
RV(212,1)=-11.
RV(225,1)=13.
RV(226,1)=-30.
RV(229,1)=30.
RV(230,1)=-40.
RV(239,1)=52.
RV(240,1)=-40.
RV(243,1)=71.
RV(244,1)=-29.
RV(257,1)=82.
RV(258,1)=-11.
RV(261,1)=82.
RV(262,1)=11.
RV(275,1)=71.
RV(276,1)=29.
RV(279,1)=52.
RV(280,1)=40.

```



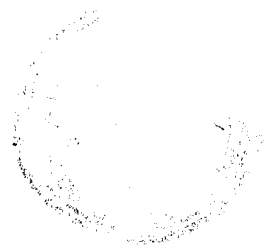
```

RV(293,1)=30.
RV(294,1)=40.
RV(297,1)=13.
RV(298,1)=30.
RV(313,1)=2.
RV(314,1)=11.
MM=IDS*2
C WRITE(3,80)
C80 FORMAT(/,'*** KUVVETLER VEKTORU *** ',/)
C WRITE(3,90)(RV(I,1),I=1,MM)
C90 FORMAT(6F12.3)
EPS=0.1E-12
CALL GELG(RV,T,MM,1,EPS,IER)
WRITE(3,95)IER
95 FORMAT(/,' HATA = ',I5)
C WRITE(3,98) (RV(I,1),I=1,MM)
C98 FORMAT(2X,4F15.5)
DO 1290 K=1,MM
1290 RRV(K,1)=RV(K,1)
WRITE(3,99)
99 FORMAT(/,'*** GERILMELER ***',/)
DO 3000 K=1,NEL
DO 3100 I=1,6
DO 3100 J=1,6
DM1(I,J)=DM(K,I,J)
3100 C1(I,J)=CINV(K,I,J)
CALL GMPRD(DM1,ANM,S1,3,3,6)
CALL GMPRD(S1,C1,S2,3,6,6)
DO 3200 I=1,3
NV=NDUG(K,I)*2-1
VEK(I*2-1,1)=RRV(NV,1)
VEK(I*2,1)=RRV(NV+1,1)
3200 CONTINUE
CALL GMPRD(S2,VEK,S3,3,6,1)
C WRITE(3,105)K,(S3(I,1),I=1,3)
SB3(K)=S3(1,1)
SB2(K)=S3(2,1)
SB1(K)=S3(3,1)
C105 FORMAT(7X,I5,3E15.7)
3000 CONTINUE
SS3=0.
DO 2667 J=1,NEL
IF(SB3(J).GT.SS3) GO TO 2435
GO TO 2667
2435 SS3=SB3(J)
JJK=J
2667 CONTINUE
WRITE(3,4423) JJK,SB3(JJK)
4423 FORMAT(3X,'MAX.SX GERILMESTI:',I5,3X,E15.7)
SIG1=(SB3(JJK)+SB2(JJK))/2.+SQRT(((SB3(JJK)-SB2(JJK))/2.)**2+
*SB1(JJK)**2)
AKK=SIG1/SS
WRITE(3,4424) SIG1,SB2(JJK),SB1(JJK)
4424 FORMAT(3X,'MX.ASAL GERILME,SGY,TXY:',3E15.7)

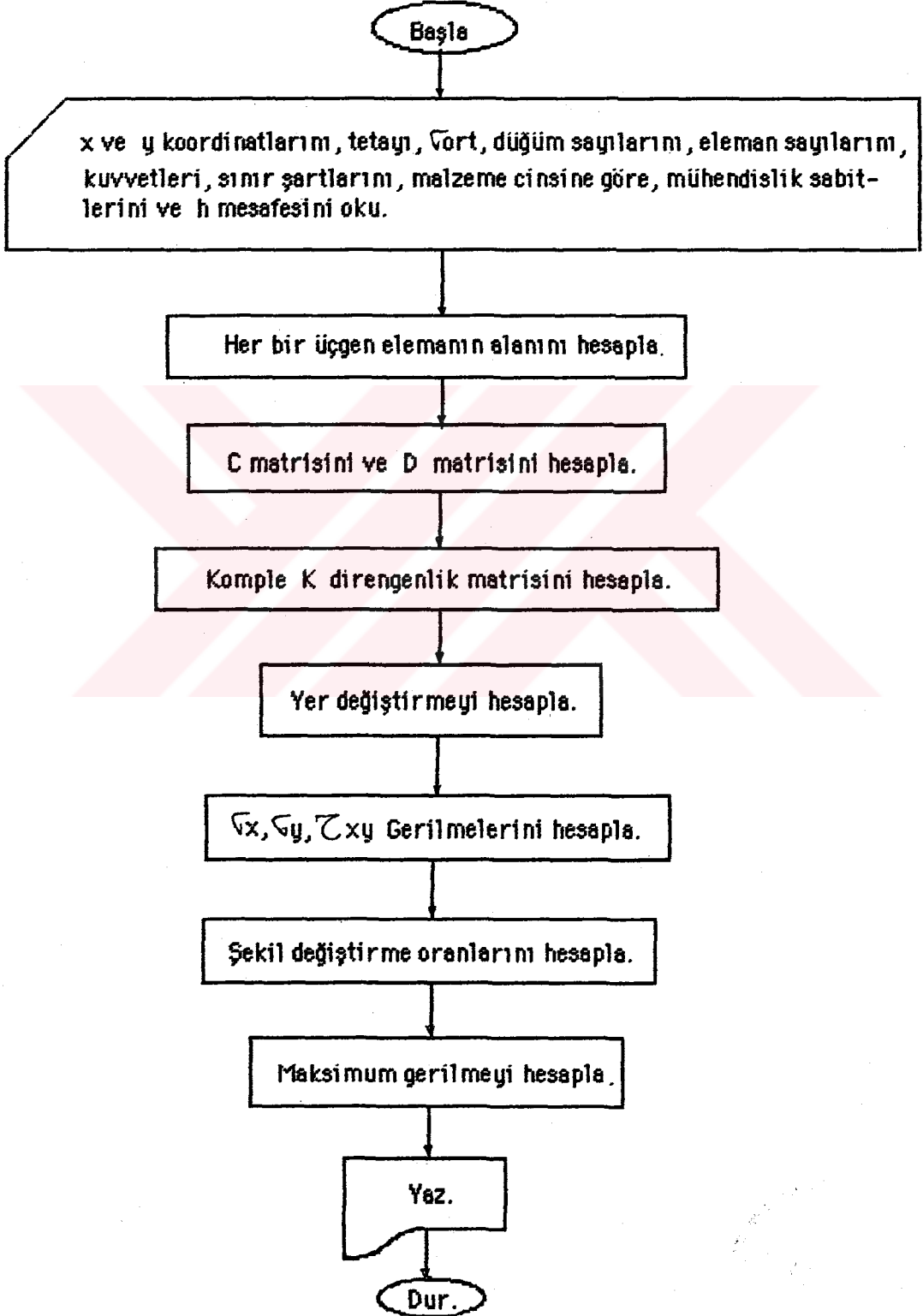
```



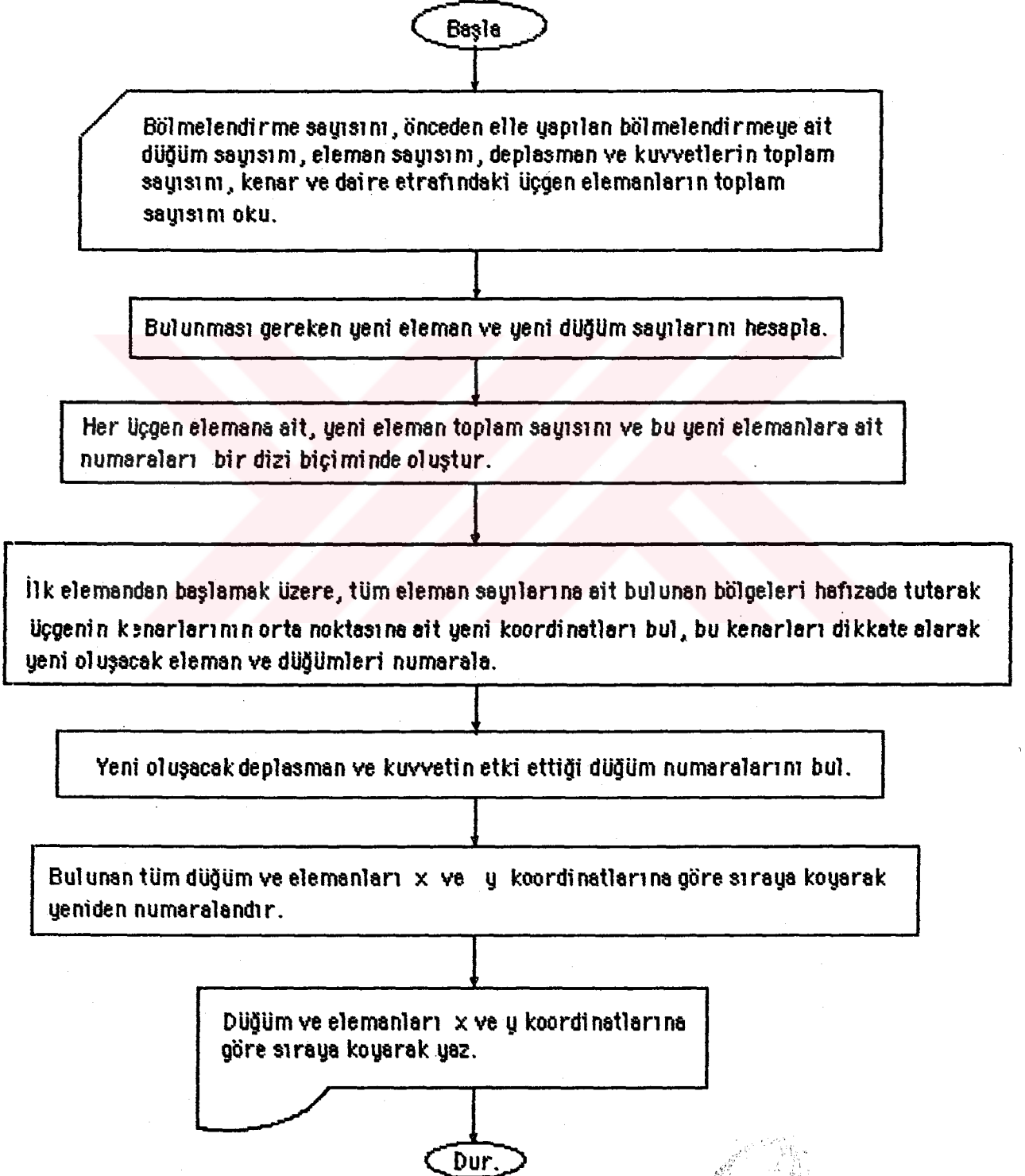
```
WRITE(3,4443) AKK
4443 FORMAT(3X,'K KATSAYISI:',9X,F7.3)
C WRITE(3,205)
C205 FORMAT(//,'***** ŞEKİL DEĞİSTİRME ORANLARI *****',//)
DO 3300 K=1,NEL
DO 3400 J=1,6
DO 3400 J=1,6
3400 C1(I,J)=CINV(K,I,J)
CALL GMFRD(ANM,C1,S2,3,6,6)
DO 3500 I=1,3
NV=NDUG(K,I)*2-1
VEK(I*2-1,1)=RRV(NV,1)
VEK(I*2,1)=RRV(NV+1,1)
3500 CONTINUE
CALL GMFRD(S2,VEK,S3,3,6,1)
C WRITE(3,990)K,(S3(I,1),I=1,3)
C990 FORMAT(5X,I5,3E15.6)
3300 CONTINUE
STOP
END
```



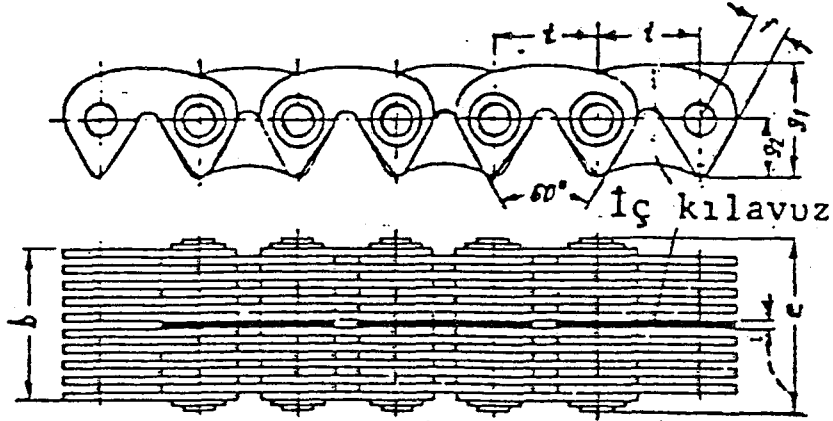
Problemin Çözümünde Kullanılan Bilgisayar Programının Akış Diyagramı.



Otomatik Bölmeleme Yöntemine Ait Akış Diyagramı



EK-6. DIN 8190 'A GÖRE DİŞLİ ZİNCİRİNİN BOYUT DEĞERLERİ.



DIN 8190 —a göre Dişli Zincirleri											
Taksimat t	Nominal genişlik	b mm	e mm	f mm	f_1 mm	f_2 mm	i	Kopma kuvveti F_k , daN		Temas yüz. A cm ²	Ağırlık dan/m ³ ≈
								1	2		
12,7 (1/2")	25	23,5	26,0	4,7	14	7,1	1,8	14,5	20	0,5	1,3
	30	29,5	34,0					18	36	0,6	1,6
	40	42,0	46,5					26	52	0,9	2,1
	50	48,5	53,0					30	60	1,0	2,6
15,87 (5/8")	25	23,5	28,5	5,9	17,5	8,9	2,5	16	32	0,55	1,9
	30	29,5	34,5					21	42	0,69	2,4
	40	42,0	47,0					30	60	0,98	3,2
	50	48,5	53,5					35	70	1,12	3,9
65	64,0	69,0	46	92	1,5	5,1					
19,05 (3/4")	30	29,5	35,0	7,0	21	10,7	3,5	28	56	0,7	3,0
	40	42,0	48,5					40	80	1,0	3,8
	50	48,5	54,0					47	94	1,2	4,8
	65	64,0	69,5					63	126	1,5	6,2
75	76,5	82,0	75	150	1,8	7,4					
25,4 (1")	50	52,0	59,0	9,4	28	14,2	4,5	87	125	1,9	7,0
	65	64,5	71,5					98	140	2,4	8,5
	75	76,5	83,5					131	187	2,8	10,1
	80	89,0	96,0					140	200	3,2	11,4
100	101	108	175	250	3,8	13,2					
38,1 (1 1/2")	65	64,5	72,5	14,1	42	21,4	4,5	133	190	3,6	13,2
	75	76,5	84,5					175	250	4,3	15,2
	100	101	109					235	336	5,7	20,2
	125	125	133					284	420	7,0	25,0
150	150	158	385	550	8,4	30,0					
50,8 (2")	75	78,0	88,0	18,8	56	28,4	4,5	238	340	5,3	19,5
	100	102	112					319	450	6,9	26,7
	125	128	138					399	570	8,6	32,0
	150	152	162					452	646	10,3	38,2
176	176	186	653	790	12	44,5					

Malzeme:

1—İslah çeliği, 2—Semantasyon çeliği