

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TABAKALI KOMPOZİT ÇUBUKLARDA YANAL
YÜK ETKİSİ İLE OLUŞAN BURKULMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ersin ERYİĞİT

Haziran, 2006
İZMİR

**TABAKALI KOMPOZİT ÇUBUKLARDA YANAL
YÜK ETKİSİ İLE OLUŞAN BURKULMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Bölümü, Mekanik Anabilim Dalı**

Ersin ERYİĞİT

**Haziran, 2006
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Ersin ERYİĞİT tarafından Doç. Dr. Mehmet ZOR yönetiminde hazırlanan “TABAKALI KOMPOZİT ÇUBUKLARDA YANAL YÜK ETKİSİ İLE OLUŞAN BURKULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet ZOR

.....
D.E.Ü. Makina Mühendisliği Böl.

Yönetici

Prof. Dr. Sami AKSOY

.....
D.E.Ü. Makina Mühendisliği Böl.

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Hasan YILDIZ

.....
E.Ü. Makina Mühendisliği Böl.

Jüri Üyesi

.....
Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŐEKKÖRLER

Tezin hazırlanması sırasında bizlere yol gösteren, bilgi ve tecrubesini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocamız Prof. Dr. Onur SAYMAN'a, sabırla destek veren tez danıőmanı hocam Doç. Dr. Mehmet ZOR'a, her tÖrlÖ yardımcı sağlayan gÖler yÖzÖnÖ eksik etmeyen Arő. GÖr. Yusuf ARMAN'a teőekkÖrÖ borę bilirim.

Ersin ERYİŐİT

TABAKALI KOMPOZİT ÇUBUKLARDA YANAL YÜK ETKİSİ İLE OLUŞAN BURKULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, dairesel delikli tabakalı kompozit kirişlerde, burkulma davranışları araştırılmıştır. Kiriş bir ucundan ankastre olarak mesnetlenmiş, diğer ucundan düşey doğrultuda yanal yük uygulanmıştır.

İlk olarak deliksiz kirişlerde yanal kritik burkulma yükleri teorik, deneysel ve nümerik olarak elde edilmiştir. Daha sonra, kirişin ortasında dairesel delik bulunması halinde yapılan deneylerin sonuçları sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu sonuçların birbirine uyumlu olması da kullanılan nümerik yöntemin doğruluğunu göstermiştir.

Sonlu elemanlar paket programı ANSYS yardımıyla, kiriş boyutunun, kirişteki dairesel deliğin konum ve boyutlarının yanal kritik burkulma yüküne etkileri farklı fiber yönlendirme açılarına göre incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Yanal burkulma, kompozit kiriş, dairesel delik, sonlu elemanlar

SURVEYING BUCKLING WITH THE EFFECT OF LATERAL LOAD AT LAMINATED COMPOSITE BEAM.

ABSTRACT

In the present study, the buckling behaviors of the laminated composite beams with circular hole are investigated.

The beam is restricted as at one side and the vertical load is applied from the other side.

Firstly, the lateral critical buckling loads of beams are obtained theoretically, experimentally and numerically. After that the experimental results of the beam with circular hole in the middle are compared with the finite element analysis results. These results are revealing with data obtained by numerical method. The agreement between the both results shows that the correctness of numerical methods.

The effects of beam dimensions and the locations and the dimensions of the circular hole on the critical buckling loads are investigated for different fiber orientations, by using finite elements software program ANSYS.

Keywords : Lateral buckling, composite beam, circular hole, finite elements

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER	viii
BÖLÜM BİR GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Kompozit Malzemelerin Havacılık Sanayinde Kullanımı	3
2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	5
2.4 Tabakalı (Lamina) Kompozitler.....	7
2.5 Kompozitlerin Makromekanik Davranışı:	8
BÖLÜM ÜÇ YANAL BURKULMA YÜKÜNÜN TEORİK HESABI	16
BÖLÜM DÖRT SONLU ELEMANLAR METODU	20
BÖLÜM BEŞ DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
5.1 Kompozit Kirişin Hazırlanması	23
5.2 Deney Aparatının Hazırlanması:.....	23

BÖLÜM ALTI ANSYS 9.0 İLE ANALİZ PROGRAMI.....	27
6.1 Analiz Tipinin Belirlenmesi	27
6.2 Eleman Tipi Ve Özellikleri Belirlenmesi.....	28
6.3 Malzeme Özellikleri Belirlenmesi	30
6.4 Modelin Oluşturulması	30
6.5 Elemanlara Ayırma (Meshing).....	31
6.6 Sınır şartının ve Yüklemenin Tanımlanması.....	32
6.7 Çözüm	35
6.8 Sonuçların Okunması	38
BÖLÜM YEDİ SONUÇLAR	39
7.1 Kirişteki Deliğin Konumunun Pkr/Pkr* Oranına Etkisi	40
7.2 Kirişin Boyutunun Pkr/Pkr* Oranına Etkisi	66
7.3 Kirişteki Deliğin Boyutunun Pkr/Pkr* Oranına Etkisi.....	91
BÖLÜM SEKİZ SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ	116
KAYNAKLAR	117

SEMBOLLER

S_{ij}	Elastiklik Matrisi
ε_{ij}	Birim Şekil Değişirme Matrisi
Q_{ij}	İndirgenmiş Katılık
A_{ij}	Uzatma Katılık Matrisi
B_{ij}	Burulma Katılık Matrisi
D_{ij}	Eğilme Katılık Matrisi
M_{ij}	Moment Matrisi
Q_{ij}	Katılık Matrisi
\overline{Q}_{ij}	Dönüştürülmüş İndirgenmiş Katılık Matrisi
ε	Birim Şekil Değişirme
ε^0	Orta Düzlemin Birim Şekil Değişirmesi
σ	Normal Gerilme
N	Birim Uzunluk Başına Orta Düzlemde Etkiyen Kuvvet
M	Moment
a_{ij}	Doğrultman Kosinüsleri
A	Kuvvetler/ Orta Düzlem Birim Şekil Değişirmeleri
B	Eğilme ve Uzama Arası Bağını
D	Momentler/Plak Eğrilikleri

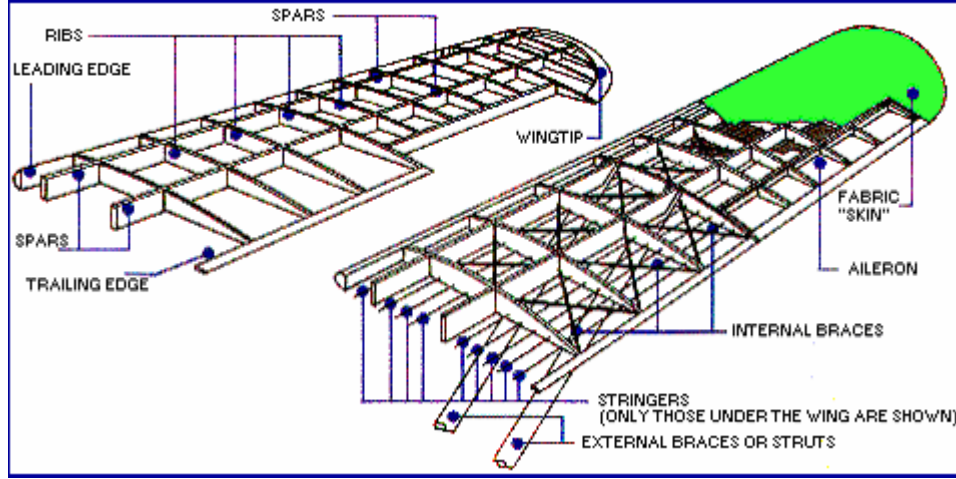
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

İleri teknoloji kullanılan uzay, savunma sanayi ve benzeri alanlarda kompozit malzemeler, sundukları hafiflik ve yüksek dayanım özellikler nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda bazı stabilite problemleri öne çıkmaktadır. Bu problemlerden biride, uzun ve ince kirişlerde yanal (lateral) yük altındaki kararlılık durumudur. Eğer kirişin, bir eksene göre (rijitliği) ataleti diğerine göre küçük ise eğilme ve burulma aynı anda meydana gelerek kiriş çarpılır. Bu çalışmada, tabakalı kompozit bir kirişin, serbest kenarın ucundan, düşey yönde etkiyen yük altındaki statik kararlılığı araştırılmıştır.

Bir uçak kanadının iç yapısı ribler tarafından oluşturulur (Şekil 1.1). Bu riblerde meydana gelebilecek yanal burkulma, yapının bozulmasına sebep olabilir.

Yanal burkulmalar parça üzerindeki maksimum yük taşıma kapasitesini azaltır.



Şekil 1.1 Uçak kanadının iç yapısı

İzotropik malzemeler için yanal burkulma ile ilgili bilimsel çalışmalar son yüzyılda giderek artmıştır. İlk yanal burkulma problemi 1899 yılında Prandtl ve Michell tarafından, iki ucundan sabitlenmiş, uniform moment uygulanan dikdörtgen kiriş için ele alınmıştır. Daha sonraları, bu problemi bir çok bilim adamı araştırıp geliştirmeye devam etmiştir. Örneğin, Timoshenko, değişik yatay yükleme durumlarında burkulma etkisini ele almıştır. Bunun yanında kompozit malzemeler 20nci yüzyılın sonlarında oldukça kullanılmış ve 21nci yüzyılda da önemi artarak devam edip kullanım alanı genişlemesine rağmen yanal burkulma problemi üzerinde pek fazla araştırma yapılmamıştır. I profil kirişlerin yanal yükleden doğan burkulma ilgili Sapkas ve Kollar'ın çalışmaları vardır.

BÖLÜM İKİ

KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Giriş

Belirlenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemenin, istenen mekanik özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilmesiyle elde edilen malzemeye kompozit malzeme denilir.

İç yapıları çıplak gözle incelendiğinde yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde heterojen malzemelerdir.

Kompozit malzemelerde matris denilen bir temel malzeme ile takviye amaçlı kullanılan bir fiber malzeme bulunur. Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçerken oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmektir. Ayrıca yükü lifler arasında homojen olarak dağıtarak fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçmektir.

2.2 Kompozit Malzemelerin Havacılık Sanayinde Kullanımı

Havacılık sanayisinde kompozitler gün geçtikçe, daha geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Planör gövdesi, uçak modelleri uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılmaktadır. Daha hafif malzemeyle atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır.

Özellikle ileri kompozit malzemeler havacılık sanayinde çok geniş uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerin hem hafif olması hem de üstün mekanik özelliklere sahip olması , uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekanlarda değil yapısal parçalarda da kullanılmasını sağlamıştır. Örnek olarak;

B2 bombardıman uçağı gövde panelleri; karbon fiber+epoksi

A380 yolcu uçağı kanat flaplar; karbon fiber+epoksi

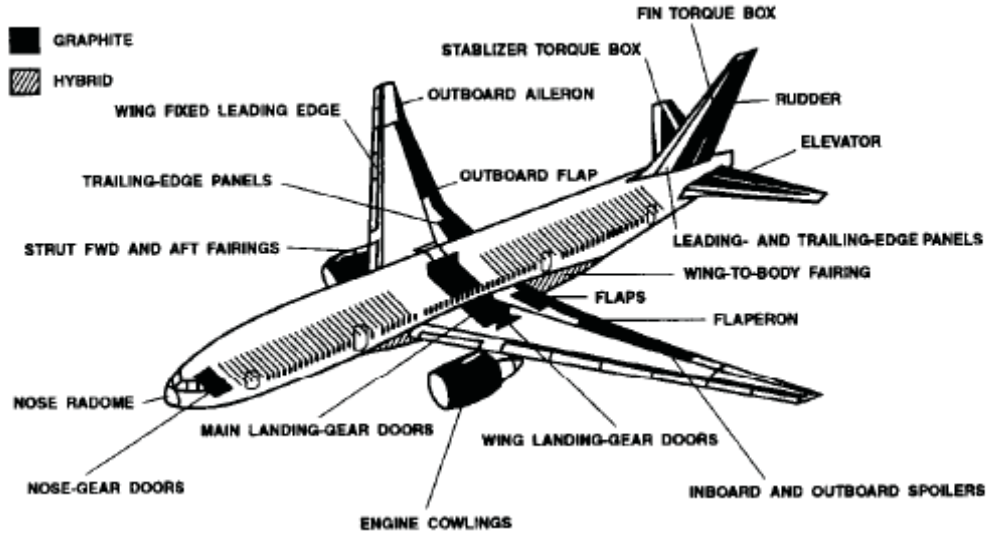
A380 yolcu uçağı dikey stabilizer; karbon fiber+epoksi

verilebilir.

Uzun yıllar boyunca, uçak tasarımcıları, uçakları inşa edecek malzeme uygun bulamadığından dolayı sadece teorik dizaynlar yapmak zorunda kalmışlardır. Yüksek hız yapan ileri ok açılı kanatlı tip uçakların kanatlarının yüksek hız altında şeklinin bozulmaması için kullanılan kompozit malzemelerin olmaması ise bu uçakların yapımını imkansız kılmıştı.

Kompozitlerin diğer bir özelliğı de katmanlar halinde uygulanabilmesi ve her bir katmanda fiberlerin farklı şekillerde yönlendirilebilmesidir. Bu da mühendise yapıyı oluşturmak için farklı inisiyatifler sağlar. Örneğın, sadece bir yöne eğilebilen öteki yöne eğilmeyen bir yapı dizayn edilebilir. İleri ok açılı uçaklarda metal malzemedен imal edilen kanadın uçuşta köşelerde eğilmesine karşın, kompozitler malzeme kullanılarak imal edilen ileri ok açılı kanadın sağlam kaldığı görülmüştür.

Modern havayolları daha az ağırlıkta uçabilmek için kompozit malzemeler kullanmaya çok büyük paralar harcamaktadırlar. Boeing 777 yolcu uçağının ağırlığının yaklaşık %10'u kompozit malzemedен oluşur. Modern askeri uçakların yaklaşık 1/3'ünü kompozitler oluşturur. Uzmanlar bu oranın 2/3' e çıkabileceğini öngörmektedirler.



Şekil 2.1 Boeing 777 yolcu uçağında kompozit malzeme kullanım alanları

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemeler, metal malzemelere göre birtakım avantajlara sahiptirler. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, hafiflik gerektiren konstrüksiyonlarda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik izolasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamaktadır. Aşağıda bu malzemelerin avantajlı olan ve olmayan yanları kısaca ele alınmıştır.

- **Yüksek Mukavemet:** Kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedan tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.
- **Kolay Şekillendirebilme:** Büyük ve kompleks parçalar tek işlemle bir parça halinde kalıplanabilir. Bu da malzeme ve işçilikten kazanç sağlar.
- **Elektriksel Özellikler:** Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil

hatlarında kompozitler iyi bir iletken ve gerektiğinde de başka bir yapıda, iyi bir yalıtkan malzemesi olarak kullanılabilirler.

- **Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Mukavemet:** Kompozitler, hava etkilerinden, korozyondan ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler kimyevi madde tankları, boru ve aspiratörler, tekne ve diğer deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadır. Özellikle korozyona karşı mukavemetli olması, endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.
- **Isıya ve Ateşe Dayanıklılığı:** Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkı maddeleri ile kompozitlerin ısıya dayanımı artırılabilir.
- **Kalıcı Renklendirme:** Kompozit malzemeye, kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem ek masraf ve işçilik gerektirmez
- **Titreşim Sönümlendirme:** Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir titreşim sönümlenme ve şok yutabilme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimize edilmiş olmaktadır.

Bütün bu olumlu yanların dışında kompozit malzemelerin uygun olmayan yanları da şu şekilde sıralanabilir:

- Kompozit malzemelerdeki hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda değişik mekanik özellik gösterirler.
- Aynı kompozit malzeme için çekme, basma, ve eğilme mukavemet değerleri farklılıklar gösterir.
- Kompozit malzemelerin delik delme, kesme türü operasyonları liflerde açılmaya neden olduğundan, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilemez.

Görüldüğü gibi kompozit malzemeler, bazı dezavantajlarına rağmen çelik ve alüminyuma göre bir çok avantaja sahiptir. Bu özellikleri ile kompozitler otomobil

gövde ve tamponlarından deniz teknelerine, bina cephe ve panolarından komple banyo ünitelerine, ev eşyalarından tarım araçlarına kadar bir çok sanayi kolunda problemleri çözümlenecek malzemelerdir.

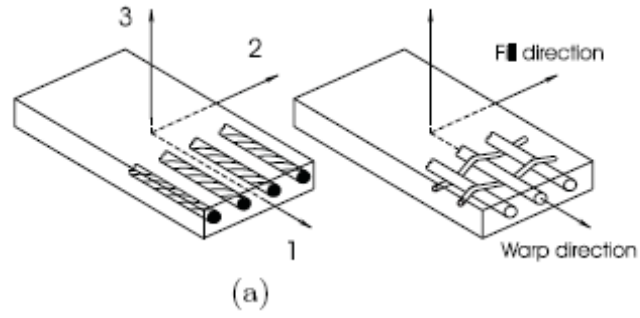
Kompozit malzemelerin iyileştirilebilecek özellikleri maddeler halinde sıralayacak olursak;

- 1) Mukavemet
- 2) Rijidlik
- 3) Korozyon direnci
- 4) Aşınma direnci
- 5) Görünüm güzelliği
- 6) Ağırlık
- 7) Yorulma ömrü
- 8) İmalat kolaylığı
- 9) Akustik izolasyon
- 10) Isıya dayanıklılık
- 11) Isı izolasyonu

Yukarıda sayılan bu özelliklerin hepsi aynı anda sağlanamaz. Kullanım yerine göre gereken özellikleri sağlayan uygun kompozit malzemenin seçimi ve üretimi yapılır.

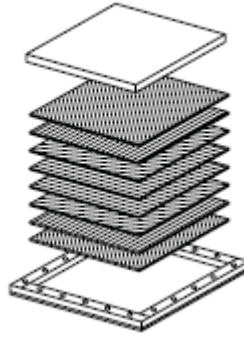
2.4 Tabakalı (Lamina) Kompozitler

Tabaka ; düz veya bükülmüş fiberlerin bir matris içerisinde düzenlenmesidir. Şekil (2.2) de biri fiber doğrultusuna paralel, biri de dik olarak oluşturulmuş iki tipik tabaka gösterilmiştir. Fiberler ana yük taşıyıcı veya güçlendirici elemanlardır. Matrisler organik, seramik veya metalik olabilir. Matrisin görevi fiberleri destekleyip, koruyarak yüklerin dağılımını ve fiberler arasındaki yük iletimini sağlamaktır.



Şekil 2.2 Düz ve bükülmüş fiberlerin matris içerisinde düzenlenmesi

Tabakalı kompozitler en az iki değişik materyalin birbirine yapışmasıyla oluşur. Kullanılan tabakaların en iyi özelliklerini birleştirmek ve daha yararlı materyale ulaşmak için kullanılır.



Şekil 2.3

2.5 Kompozitlerin Makromekanik Davranışı:

Katmanlı kompozitler iki veya daha fazla sayıda katmanın birleştirilmesiyle yapılır. Bir kere katmanın özellikleri hesaplandığında artık yeniden detaylı mikromekanik analizlerine girilmez ve katman homojen ortotropik bir tabaka olarak ele alınır.

Ortotropik malzemenin düzlemde gerilme şekil değiştirme ilişkisi

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} \quad \text{veya} \quad \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & S_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Hooke yasasının şekil değiştirme gerilme bağıntısı

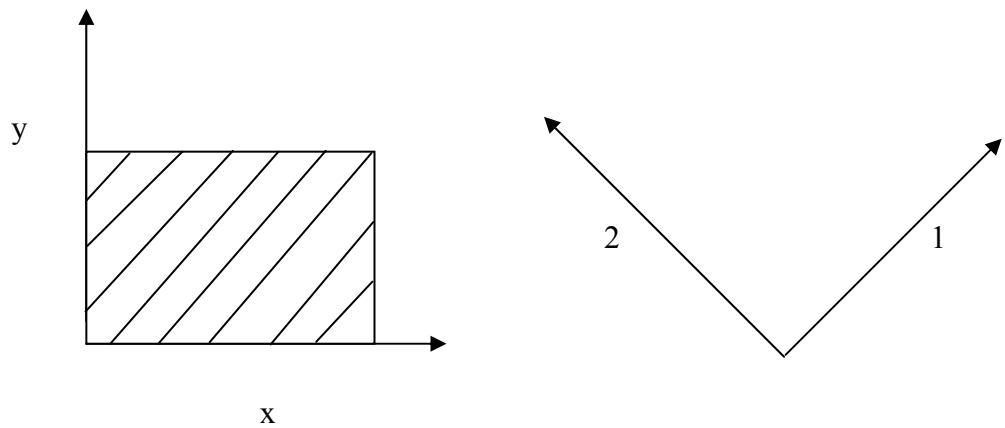
$$S_{11} = \frac{1}{E_1}, \quad S_{12} = -\frac{\nu_{12}}{E_1}, \quad S_{22} = \frac{1}{E_2}, \quad S_{66} = \frac{1}{E_2} \quad (2.2)$$

$$[Q] = [S]^{-1}$$

$$Q_{11} = \frac{S_{22}}{S_{11}S_{22} - S_{12}^2}, \quad Q_{22} = \frac{S_{11}}{S_{11}S_{22} - S_{12}^2}, \quad (2.3)$$

$$Q_{12} = \frac{S_{12}}{S_{11}S_{22} - S_{12}^2}, \quad Q_{66} = \frac{1}{S_{66}} \quad (2.4)$$

Keyfi bir oryantasyonda gerilme, şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 2-4 Eksenlerin çakışmaması durumu

İkinci dereceden tensörlerin dönüşümü, 1-2 deki özellikler biliniyor x-y dekiler elde edilmek isteniyor veya x-y'deki özellikler biliniyor 1-2 dekiler elde edilmek istenildiğinde.

$$\sigma_1 = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + 2\sigma_{xy} \cos \theta \sin \theta \quad (2.5)$$

$$\sigma_{12} = -\sigma_x \cos \theta \sin \theta + \sigma_y \sin \theta \cos \theta + \sigma_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (2.6)$$

(2.7) no'lu denklemde $\theta = \theta + \frac{\Pi}{2}$ yazarsak σ_2 bulunur.

$$\sigma_2 = \sigma_x \sin^2 \theta + \sigma_y \cos^2 \theta - 2\sigma_{xy} \sin \theta \cos \theta \quad (2.7)$$

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_{12} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2 \sin \theta \cdot \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2 \sin \theta \cdot \cos \theta \\ -\sin \theta \cdot \cos \theta & \sin \theta \cdot \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{array} \right| \end{array} \quad (2.8)$$

$$[T]$$

$[T]$ transformasyon matrisidir.

$$[T]^{-1} = [T]^T$$

$$\left| \begin{array}{c} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & -\sin \theta \cdot \cos \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & \sin \theta \cdot \cos \theta \\ 2\sin \theta \cdot \cos \theta & -2 \sin \theta \cdot \cos \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_{12} \end{array} \right| \quad (2.9)$$

$$\begin{vmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_{12} \end{vmatrix} = [Q] \begin{vmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_6 \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{vmatrix} = [T]^{-1} [Q] \begin{vmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{vmatrix} \quad R = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{vmatrix} \quad (2.10)$$

$$\begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{vmatrix} = [T]^{-1} [Q] [R] \begin{vmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_6 \\ \frac{\varepsilon_6}{2} \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{vmatrix} = [T]^{-1} [Q] [R] [T] [R]^{-1} \begin{vmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_{XY} \end{vmatrix} \quad (2.11)$$

$$[R] [T] [R]^{-1} = ([T]^T)^{-1} = [T]^{-T} \quad [T][Q][T]^{-T} = [\bar{Q}]$$

$$\begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{vmatrix} = [\bar{Q}] \begin{vmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_{XY} \end{vmatrix} \Rightarrow [\bar{Q}] = \begin{vmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{vmatrix} \quad (2.12)$$

$$\bar{Q}_{11} = Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta \quad (2.13)$$

$$\bar{Q}_{12} = (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{12} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \quad (2.14)$$

$$\bar{Q}_{22} = Q_{11} \sin^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \cos^4 \theta \quad (2.15)$$

$$\bar{Q}_{16} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin \theta^3 \cos \theta \quad (2.16)$$

$$\bar{Q}_{26} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin \theta^3 \cos \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta \quad (2.17)$$

$$\bar{Q}_{66} = (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{66} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \quad (2.18)$$

Katmanlı kompozitlerin analizi;

Birim şekil değiştirmeler.

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \quad (2.20)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}, \quad \varepsilon_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \quad (2.21)$$

Kirchoff varsayımına göre katmalar arası kayma birim şekil değiştirmeler ε_{xz} ve ε_{yz} ihmal edilebilir.

$$u = u_0(x,y) + zF_1(x,y) \quad (2.22)$$

$$v = v_0(x,y) + zF_2(x,y) \quad (2.23)$$

$$\varepsilon_{xz} = F_1(x,y) + \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad (2.24)$$

$$\varepsilon_{yz} = F_2(x,y) + \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad (2.25)$$

$$F_1(x,y) = -\frac{\partial w}{\partial x} \Rightarrow F_2(x,y) = -\frac{\partial w}{\partial y} \quad (2.26)$$

(2.24), (2.25), (2.26) eşitliklerini kullanarak

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u^0}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \varepsilon_x^0 + z \kappa_x \quad (2.27)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial v^0}{\partial y} - z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \varepsilon_y^0 + z \kappa_y \quad (2.28)$$

$$\varepsilon_{XY} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} - 2z \frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x} = \varepsilon_{XY}^0 + z \kappa_{XY} \quad (2.29)$$

ε_x^0 , ε_y^0 ve ε_{XY}^0 orta düzlemde birim şekil değiştirmeleri; κ_x , κ_y ve κ_{XY} plâgın eğrilikleridir.

$$\varepsilon_x^0 = \frac{\partial u^0}{\partial x}, \quad \varepsilon_y^0 = \frac{\partial v^0}{\partial y}, \quad \varepsilon_{XY}^0 = \frac{\partial u^0}{\partial y} + \frac{\partial v^0}{\partial x} \quad (2.30)$$

$$\kappa_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \kappa_y = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad \kappa_{XY} = 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.31)$$

k'inci katman için bünye denklemi,

$$\sigma_k = Q_k \varepsilon_k$$

$$\varepsilon = \varepsilon^0 + z \kappa$$

$$\sigma_k = Q_k \varepsilon^0 + z Q_k \kappa$$

Düzlem gerilme durumunda olduğu için gerilme bileşenleri,

$$N_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x \, dz, \quad N_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y \, dz, \quad N_{xy} = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} \, dz \quad (2.32)$$

birim uzunluk başına orta düzlemde etkiyen kuvvet (kuvvet/uzunluk).

n katmanın toplamı olarak gerilme bileşenleri;

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{pmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{-h/2}^{h/2} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} dz \quad (2.33)$$

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{pmatrix} = \sum_{k=1}^n \begin{pmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{pmatrix} \int_{h_{k-1}}^{h_k} dz + \begin{pmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{pmatrix} \int_{h_{k-1}}^{h_k} z dz \quad (2.34)$$

$$\begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \varepsilon_{xy}^0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

$$N = [A][\varepsilon^0] + [B][K]$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (\overline{Q_{ij}})_k (h_k - h_{k-1})$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\overline{Q_{ij}})_k (h_k^2 - h_{k-1}^2)$$

A_{ij} Uzama katılık matrisi

B_{ij} Eğilme/Burulma katılık matrisi

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (\overline{Q_{ij}})_k (h_k^3 - h_{k-1}^3)$$

D_{ij} Eğilme katılık matrisi

[A]: kuvvetler, orta düzlem birim şekil değiştirmeleri

[B]: eğilme ve burulma bağlantısı

[D]: momentler, plak eğrilikleri

Katmanlı kompozitlerde birim şekillendirmeler ve moment;

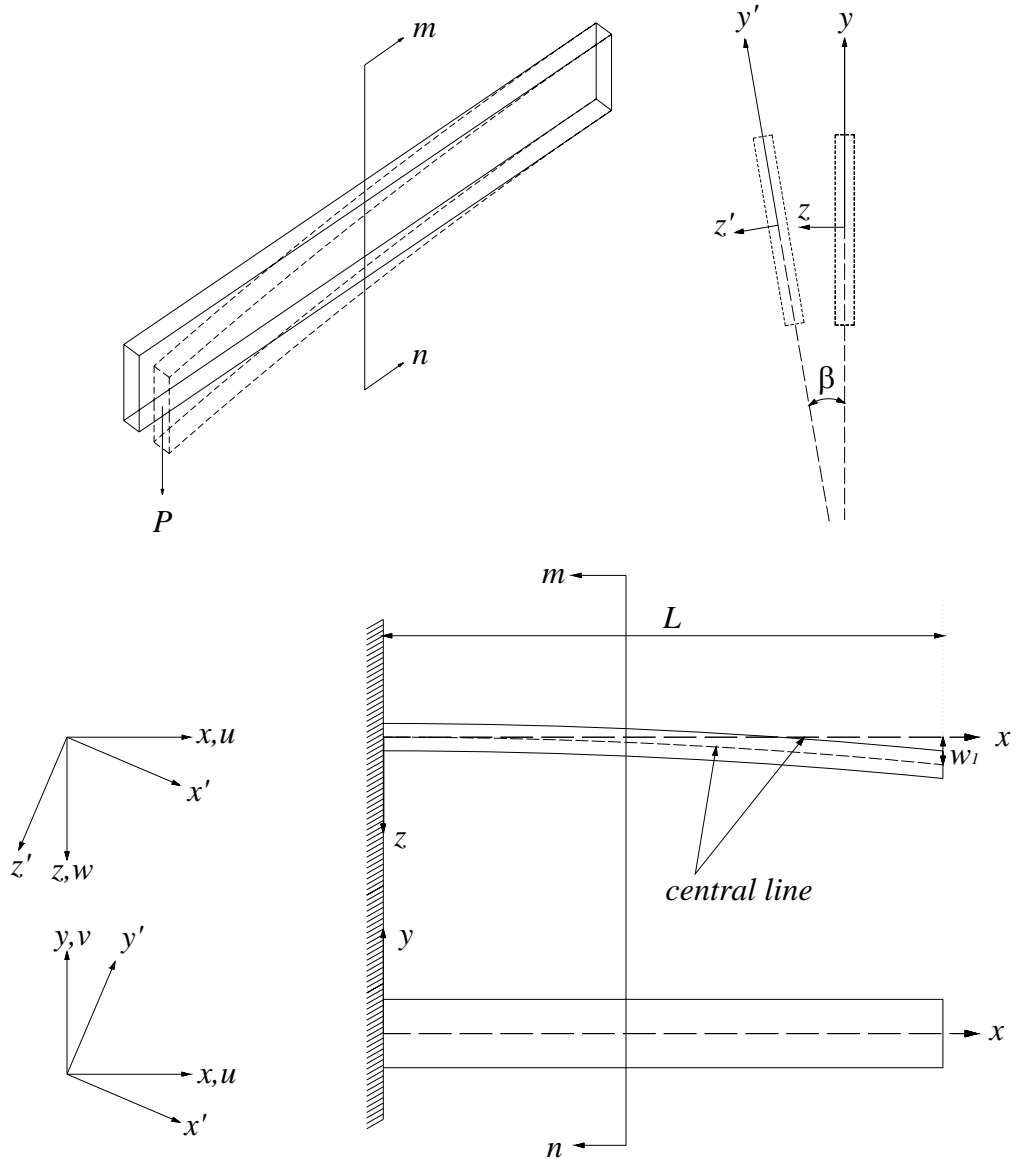
$$[\varepsilon^0] = [A]^{-1}[N] - [A]^{-1}[B][K]$$

$$[M] = [B][A]^{-1}[N] - ([B][A]^{-1}[B] - [D])[K]$$

BÖLÜM ÜÇ

YANAL BURKULMA YÜKÜNÜN TEORİK HESABI

Tabakalı kompozit kiriş şekil 3.1 de gösterildiği gibi bir kenardan ankastre olarak mesnetlenir ve yükleme , serbest kenarın uç noktasından tek eksenli olarak yapılırsa,



Şekil 3.1 Serbest ucundan düşey tekil yüke maruz bırakılan ankastre kompozit kiriş

uygulanan yükü x,y,z ekseninde meydana gelen M_0 momentini;

$$(M_x)_{ext} = 0 \quad (3.1)$$

$$(M_y)_{ext} = 0 \quad (3.2)$$

$$(M_z)_{ext} = P(L - x^1) \quad (3.3)$$

bulunur.

x', y', z' eksenine göre, m-n kesitinde oluşan momentler;

$$(M_{x^1})_{ext} \approx \frac{dw}{dx} (M_z)_{ext} = P(L - x') \frac{dw}{dx} - P(w_1 - w) \quad (3.4)$$

$$(M_{y^1})_{ext} \approx \beta (M_z)_{ext} = \beta P(L - x') \quad (3.5)$$

$$(M_{z^1})_{ext} \approx (M_z)_{ext} = M_0 \quad (3.6)$$

İç momentler;

$$\frac{M_x}{b} = \bar{D}_{11} \frac{d^2 w}{dx^2} + 2\bar{D}_{16} d\theta \quad (3.7)$$

$$\frac{T}{2b} = \bar{D}_{16} \frac{d^2 w}{dx^2} + 2\bar{D}_{66} d\theta \quad (3.8)$$

Bu denklemler kullanılarak yanal burkulma analizi için iç moment ve dışarıdan uygulanan momentler tanımlanabilir.

m-n kesitinin dengede olması için meydana gelen momentler, yapısal iç momentlere eşit olmalıdır.

$$\frac{P(L - x^1)}{b} \beta = -\bar{D}_{11} \frac{d^2 w}{dx^2} - 2\bar{D}_{16} \frac{d\beta}{dx} \quad (3.9)$$

$$-\frac{P(L-x^1)}{2b} \frac{dw}{dx} + \frac{P(w_1-w)}{2b} = -D_{16} \frac{d^2w}{dx^2} - 2D_{66} \frac{d\beta}{dx} \quad (3.10)$$

$$-\frac{dw}{dx} = 2 \frac{D_{16}}{D_{11}} \beta - 4b \frac{D_{11}D_{66} - D_{16}^2}{D_{11}P(L-x^1)} \frac{d\beta}{dx} - \frac{(w_1-w)}{(L-x^1)} \quad (3.11)$$

$$-\frac{d^2w}{dx^2} = 2 \frac{D_{11}}{D_{16}} \frac{d\beta}{dx} - 4b \frac{D_{11}D_{16} - D_{16}^2}{D_{11}P(L-x^1)} \frac{d^2\beta}{dx^2} \quad (3.12)$$

$$4b \frac{D_{11}D_{66} - D_{16}^2}{P(L-x^1)} \frac{d^2\beta}{dx^2} + \frac{P(L-x^1)}{b} \beta = 0 \quad (3.13)$$

$\psi_1 = \sqrt{P^2/4b^2(D_{11}D_{66} - D_{16}^2)}$ ve $s_1 = L-x$ olarak tanımlanır ve denklem (3.14) tekrar yazılırsa;

$$\frac{d^2\beta}{ds_1^2} + \psi_1^2 s_1^2 \beta = 0 \quad (3.15)$$

bu denklemin genel çözümü 1/4 ve -1/4 ncü dereceden Bessel fonksiyonudur.

$$\beta = \sqrt{s_1} \left[CJ_{\frac{1}{4}} \left(\frac{\psi_1}{2} s_1^2 \right) + DJ_{\frac{1}{4}} \left(\frac{\psi_1}{2} s_1^2 \right) \right] \quad (3.16)$$

s ve β göre sınır şartları;

$$\beta = 0 \quad \text{ve} \quad s = L$$

$$\frac{d\beta}{ds} \quad \text{ve} \quad s=0 \text{ için};$$

Matlab yazılım programı kullanılarak denklemin kökleri bulunabilir.

$$\frac{\psi_1}{2} L^2 = 2.0063, 5.12306, 8.25795 \dots \quad (3.17)$$

Sonuçlar düzenlendiğinde kritik burkulma değeri,

$$P_{kr} = \frac{8.026b}{L^2} \sqrt{D_{11} D_{66} - D_{16}^2} \quad (3.18)$$

olarak bulunur.

BÖLÜM DÖRT

SONLU ELEMANLAR METODU

Mukavemet ve yapı elemanlarının boyutlandırılmasında üç temel karakteristik bulunmaktadır.

Bunlar, mukavemet (akma veya kırılma), rijitlik ve buna bağlı olarak deformasyon ve stabiledir. Stabiledede kritik parametreler diğerlerinden çok daha farklıdır. Akma ve kopmada sistemdeki gerilmeler belirli bir değeri aşmışsa sistemde emniyet kalmamıştır denir. Bu tip problemlere gerilme problemi denir.

Mühendisler uğraştıkları kompleks problemlere doğrudan yaklaşamadıkları ya da doğrudan yaklaşımla çözümün daha zor olduğu durumlarda ana problemi daha kolay anlaşılabilen alt problemlere ayırıp, sonra bu alt problemlerin çözümünden orijinal problemin çözümünü elde etmeleri çoğu zaman kullanılan tabii metottur.

Problemin çözümünde, iyi tanımlanmış sonlu sayıda eleman kullanarak yeterli bir model elde edilebilir. Bazı problemler matematiksel sonsuz küçük kurgusuyla tanımlanabilir. Bu tanım diferansiyel denklemlere veya sonsuz sayıda eleman kullanımına götürür. Bu sistemler sürekli olarak vasıflandırılır. Gerçekte elastik sürekli ortamda elemanlar arası bağlantı noktalarının sayısı sonsuzdur. Sonlu elemanlar metoduyla bu sonsuz sayıdaki bağlantı sonlu bir sayıya indirgenir. Cisim sanki sadece bu noktalardan birbiriyle bağlıymış gibi düşünülür. Sonlu sayıda bu bağlantı noktaları ne kadar çoğaltılırsa bu metotla yapılan çözümdeki hata oranı o kadar küçülür. Diğer taraftan bu sayının çok fazla artması da sayısal çözümlemede büyük zorluklar getirir. Bilgisayarlar yardımıyla bu zorluk bir derece giderilebilir.

Sonlu eleman metodunun önemli bir özelliği, tüm problemi temsil etmek üzere elemanları bir araya koymadan önce, her bir elemanın ayrı formüle edilebilmesidir. Eğer bir gerilme analizi problemi ile uğraşıyorsak her bir elemana etki eden dış kuvvetler ile elemanın düğüm noktalarının, yer değiştirme bağıntıları bulunduğu

tüm sistem çözülmüş olur. Bu şekilde kompleks bir problem oldukça basit bir probleme dönüşür.

Sonlu elemanlar metodunda eleman özellikleri değişik yollardan formüle edilir.

Genelde uygulanan çözüm metotlar;

- 1- Direkt yaklaşım
- 2- Varyasyon el yaklaşım
- 3- Ölçülmüş kalıcı yaklaşım
- 4- Enerji dengesi yaklaşımı

Kullanılan yaklaşım ne olursa olsun sonlu eleman metoduyla problem çözümünde aşağıdaki yol takip edilir.

A) Sürekli ortamın (çizimin) hayali çizgilerle veya yüzeylerle elemanlara bölünmesi elemanların geometrisi ortamın fiziki yapısına uygun seçilmelidir.

B) Komşu elemanlar birbiriyle belirli sayıda düğüm noktaları vasıtasıyla bağlanmış kabul edilir. Bu düğüm noktalarının yer değiştirmeleri basit yapıların analizinde olduğu gibi problemin bilinmeyen ana parametreleridir.

C) Her bir sonlu elemanın yer değiştirmesini tanımlamak için düğüm noktalarının yer değiştirmeleri cinsinden fonksiyonlar seçilir (genelde bir polinomdur). Polinomun derecesi elemana konulan düğüm sayısına bağlıdır.

D) Elemanlar ve yer değiştirme fonksiyonları seçildikten sonra her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri teşkil edilebilir. Bunun için yukarıda bahsedilen dört yaklaşımdan biri kullanılır.

E) Elemanlara bölünen sistemin özelliklerini bulmak için elemanların özelliklerinin toplamak gerekir, diğer bir ifadeyle elemanların davranışlarını ifade eden matris denklemlerini birleştirerek sistemin davranışını ifade eden matris denklemlerini oluşturmak gerekir. Sistemin matris denklemleri, bir elemanın matris denklemleriyle aynı formdadır. Ancak sistem denklemlerinin terim sayısı daha fazladır.

F) Dügüm noktalarında toplanmış farz edilen ve sınır gerilmelerin dengeleyen kuvvetler ile dügüm noktalarının yer değiştirmeleri arasında $\{ P \} = \{ K \} \{ U \}$ bağıntısı bulunur. Burada $\{ P \}$ sütun matris olup dış kuvvetlerin tamamını göstermektedir. Bu matris içinde r, θ , z yönündeki kuvvetler ile momentler bulunabilir, $\{ K \}$ sistemin toplam katılık matrisidir. $\{ U \}$ ise r, θ ve z yönündeki yer değiştirmelerini gösteren sütun matristir, $\{ P \}$ kuvvet matrisi ile $\{ K \}$ katılık matrisi biliniyorsa yer değiştirmeler ve daha sonra gerilmeler hesaplanabilir.

BÖLÜM BEŞ

DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Kompozit Kirişin Hazırlanması

Deneylerde kullanılan numuneler İzoreel kompozit malzemeler şirketinde daha önce bir çalışmada [Yusuf ARMAN'ın yüksek lisans tezi referans no: 1526] kullanılmak üzere üretilen parçalardan elde edilmiştir. Şirketin katalogunda yer alan EP GC 203'nolu üründür. Numunelerde tabakalar arası birleştirici malzeme olarak epoksi, fiber olarak da örgülü cam fiber kullanılmıştır. Numuneler sekiz tabakalıdır; tabakaların kalınlığı 0,1875 mm.dir.

Üç farklı fiber oryantasyon açılarına sahip tabakalar [0, 30, 45] 2 saat boyunca 100 C'de yüksek basınca tabi tutulmuştur.

Deneylerde kullanılan numunelerin mekanik özellikleri önceki çalışmada [Yusuf ARMAN'ın yüksek lisans tezi referans no: 1526] aşağıdaki gösterilen tablodaki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 5.1 Deneylerde kullanılan numunelerin mekanik özellikleri.

$E_1 = E_2$ (MPa)	E_3 (MPa)	ν_{12}	$\nu_{13} = \nu_{23}$	$G_{12} = G_{13} = G_{23}$ (MPa)
27000	16200	0,15	0,09	7540

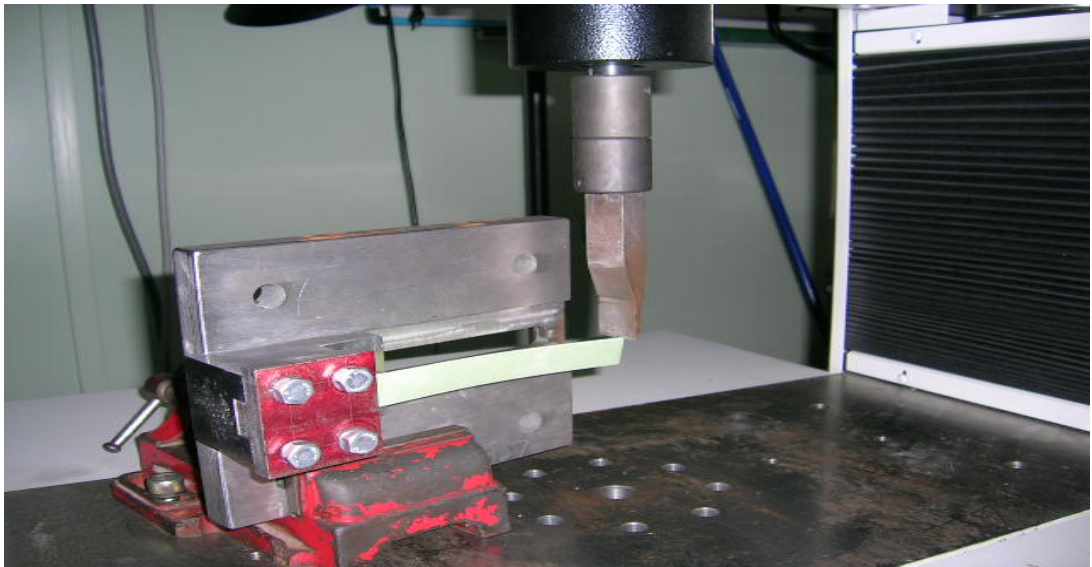
5.2 Deney Aparatının Hazırlanması:

Yanal burkulma deneyleri, çekme-basma test cihazının basma özelliğinden faydalanarak yapılmıştır (Şekil5.1). Numunelerin sınır şartının sağlanması (ankastre mesnet) için çelikten aparat yapılmıştır.

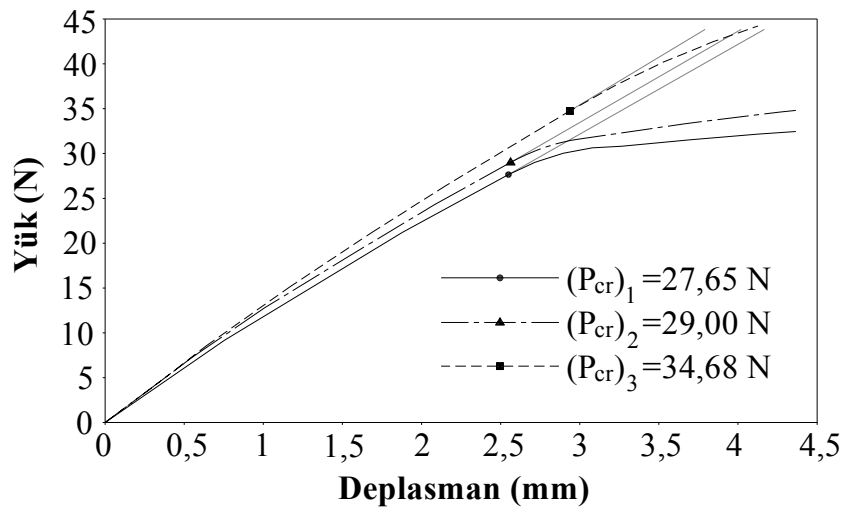
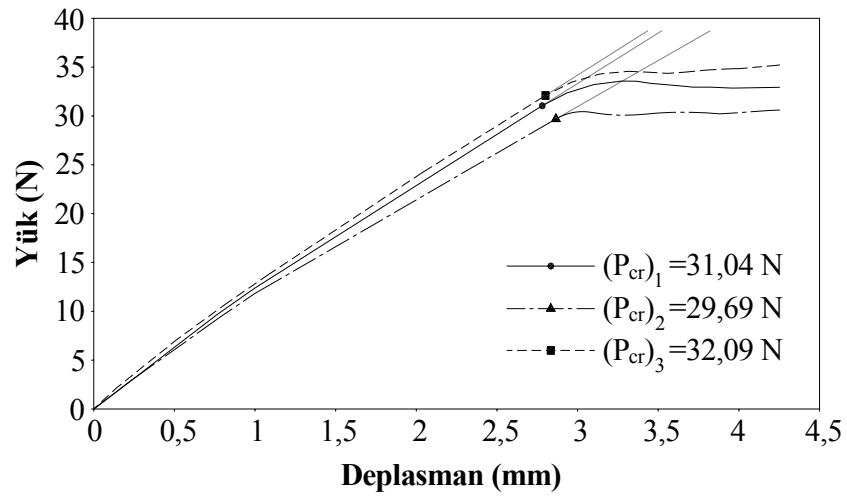
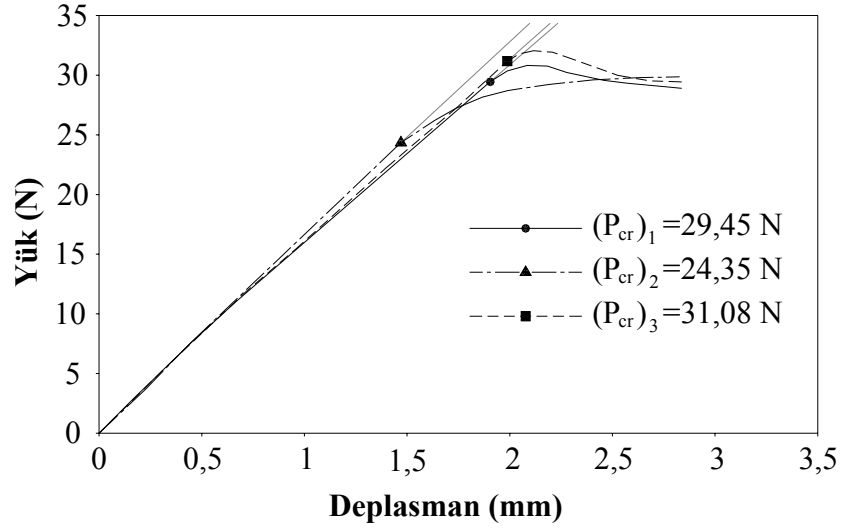
Üç farklı fiber yönlendirme açısı (0° , 30° , 45°) için delikli ve deliksiz numunelerden üçer tane ve toplam 18 tane numune hazırlanmış ve her birinin deneyleri yapılmıştır. Numunelerin boyu 150mm, yüksekliği 20mm, kalınlığı 1,5mm, kirişin ortasına açılan dairesel deliğin çapı ise 10mm'dir. Yükleme serbest kenarın üst uç noktasından tek eksenli olarak yapılmıştır (Şekil 5.1, 5.2). Deney sonuçları grafik halinde gösterilmiştir (Şekil 5.3, 5.4).



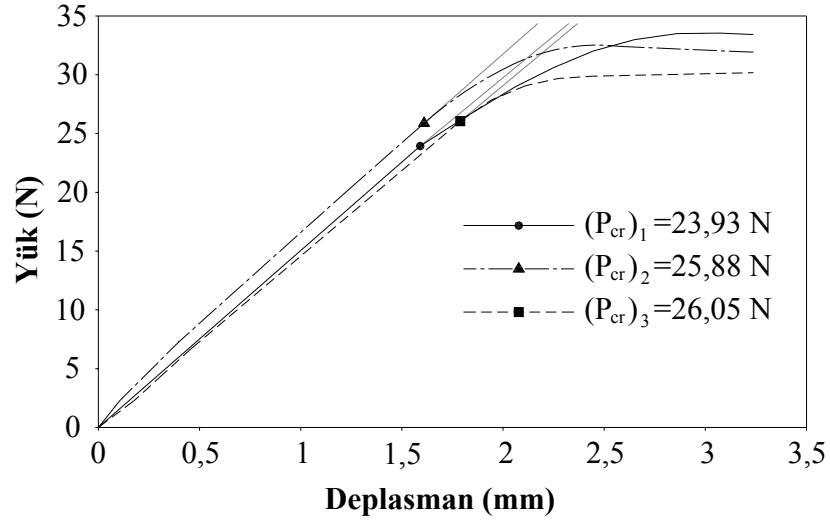
Şekil 5.1 Çekme-Basma Test Cihazı



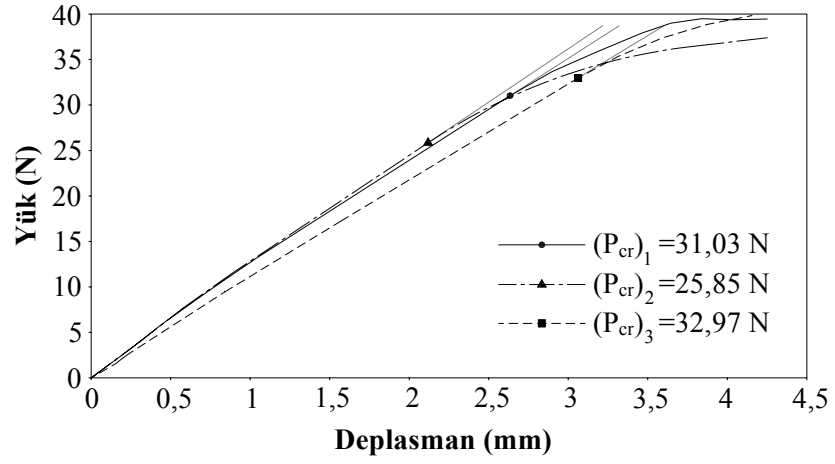
Şekil 5.2 Yükleme



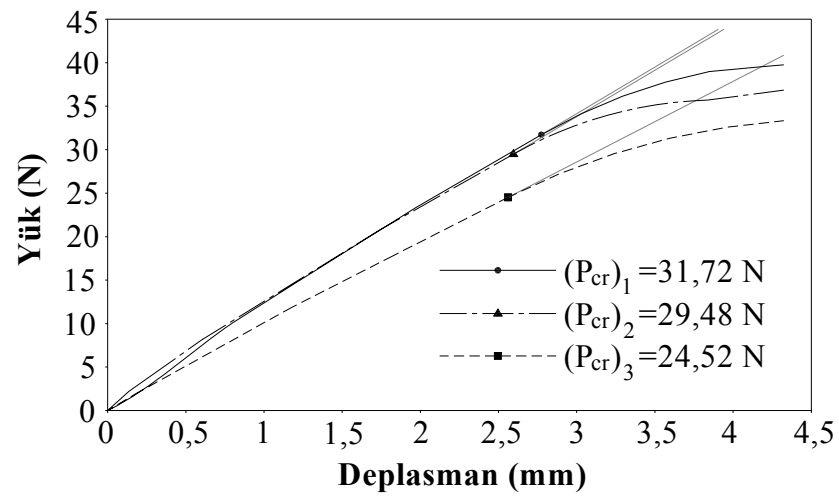
Şekil 5.3 Deliksiz numuneler için deney sonuçları (a) 0°, (b) 30°, (c) 45°



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.4 Delikli numuneler için deney sonuçları (a) 0°, (b) 30°, (c) 45°

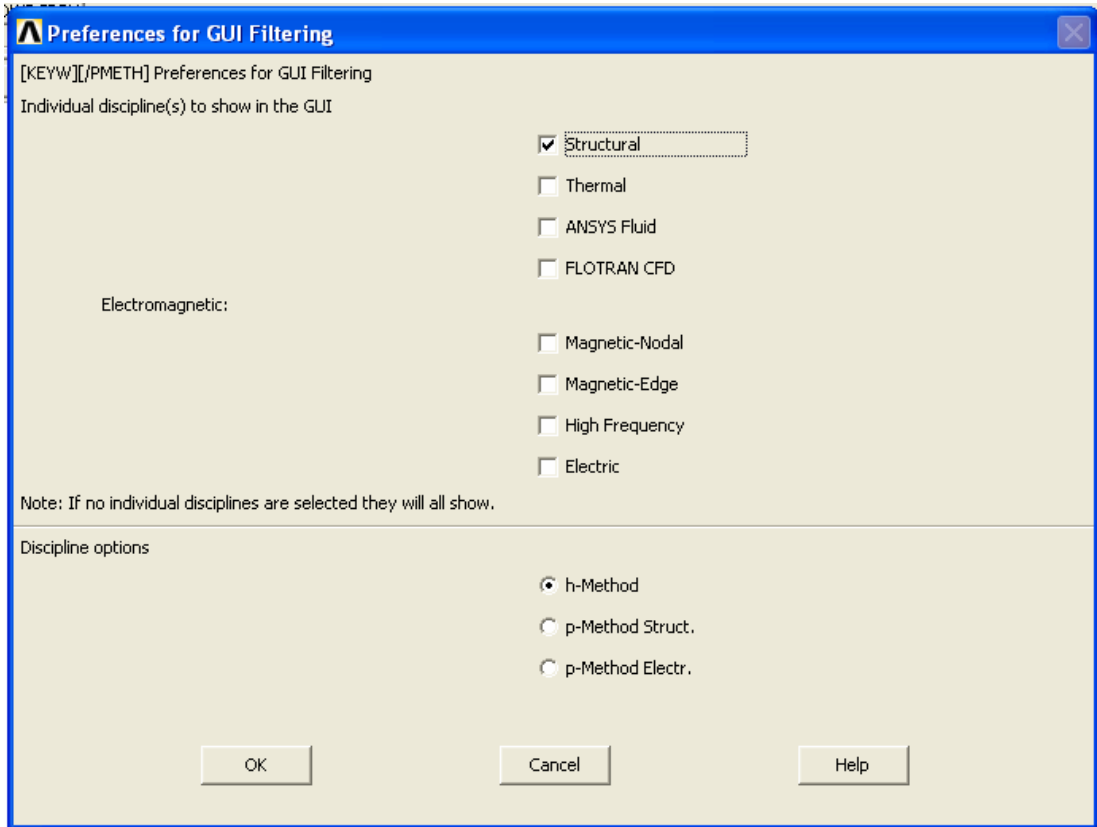
BÖLÜM ALTI

ANSYS 9.0 İLE ANALİZ PROGRAMI

Bu bölümde; ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanarak tabakalı kompozit kirişin kritik burkulma yükleri hesaplanmıştır. Öncelikle ANSYS sonlu elemanlar paket programında analiz yapabilmek için gerekli temel konular hakkında bilgi verilecektir.

6.1 Analiz Tipinin Belirlenmesi

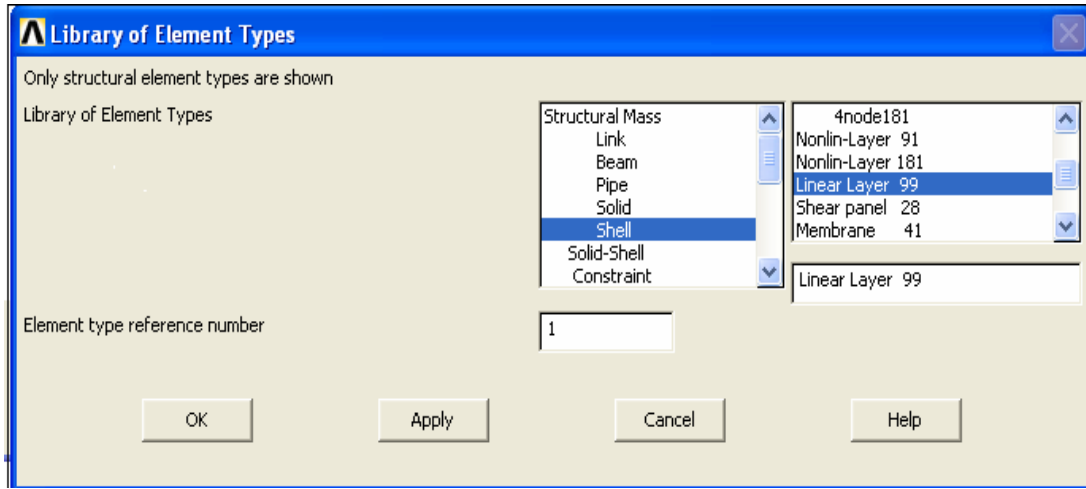
Öncelikle analiz tipi belirlenir. ‘ANSYS Main Menu / Preferences’ menüsünden structural işaretlenir.



Şekil 6.1 ANSYS sonlu elemanlar paket programında analiz tipinin belirlenmesi

6.2 Eleman Tipi Ve Özellikleri Belirlenmesi

Kompozit malzeme için uygun element tipi belirlenir. **Preprocessor** > **Element Type** > **Add/Edit/Delete** tıklanır. Çıkan ekranda **Add** tıklanır. Bundan sonra çıkan ekranda '**Shell** > **Linear Layer 99**' seçilir. Böylece eleman tipi belirlenir.



Şekil 6.2 ANSYS sonlu elemanlar paket programında eleman tipi ve özellikleri belirlenmesi

Daha sonra kompozit malzememizin tabaka sayısı, tabaka kalınlıkları ve tabaka açıları girilir. **Preprocessor** > **Real Constants** > **Add/Edit/Delete** tıklanır. Çıkan ekranda önce '**Add**' sonrada '**Ok**' tıklanır. Çıkan ekranda '**Number of layers**' yazan kısma tabaka sayısını girilip ve '**Ok**' tuşuna basılır.

Element Type Reference No. 1

Number of layers (250 max) NL

Layer Symmetry Key LSYM

First layer for output LP1

Second layer for output LP2

Elastic foundation stiffness EFS

Added mass/unit area ADMSUA

OK Cancel Help

Şekil 6.3 Kompozit malzememizin tabaka sayısı belirlenmesi

Çıkan ekranda her bir tabakaya ait malzeme tipi, oryantasyon açısı ve kalınlık değerlerini belirlenir ve 'Ok' tuşuna basılır.

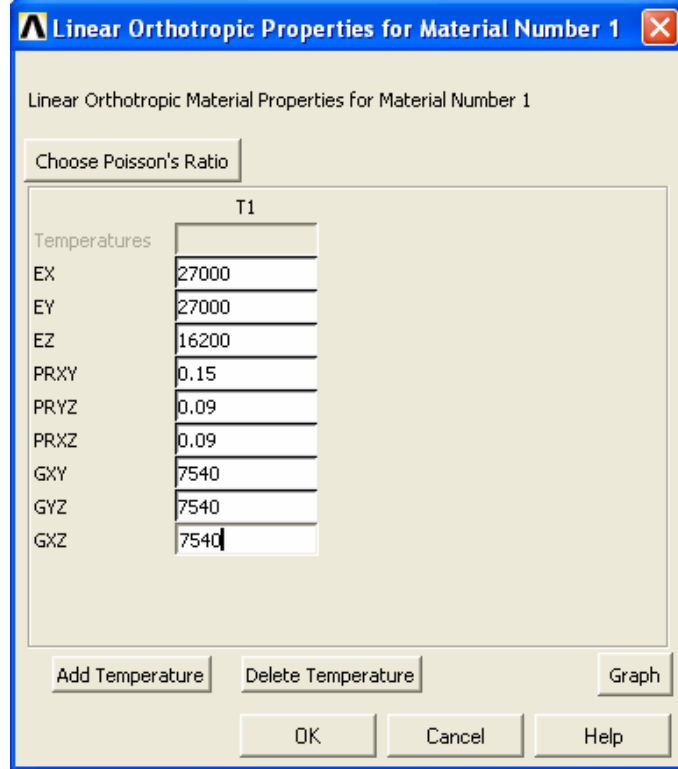
Mat no., X-axis rotation, layer thk	MAT	THETA	TK
Layer number 1	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>
Layer number 2	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>
Layer number 3	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>
Layer number 4	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>
Layer number 5	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>
Layer number 6	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>
Layer number 7	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>
Layer number 8	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="0.1875"/>

OK Cancel Help

Şekil 6.4 kompozit malzemenin, tabaka kalınlıkları ve tabaka açıları belirlenmesi

6.3 Malzeme Özellikleri Belirlenmesi

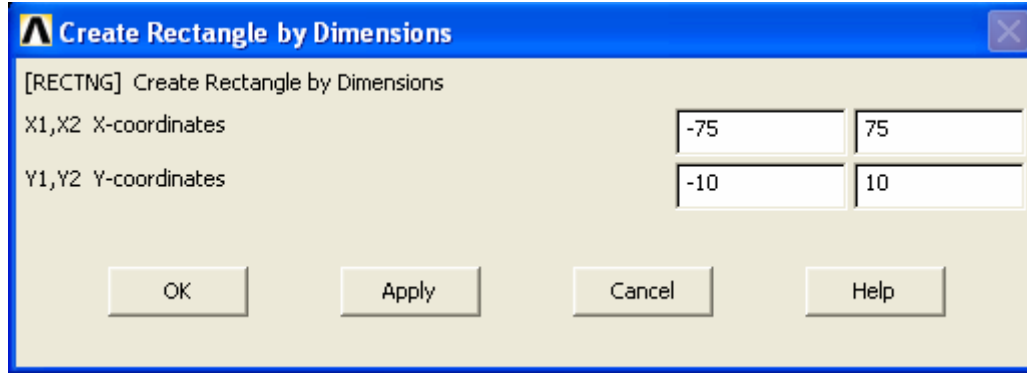
Kompozit malzeme ortotropik yapıdadır. Malzememizin mekanik özelliklerini girilir. **Preprocessor > Material Props > Material Models > Orthotropic** çıkan pencereye malzememizin mekanik özellikleri girilir.



Şekil 6.5 Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

6.4 Modelin Oluşturulması

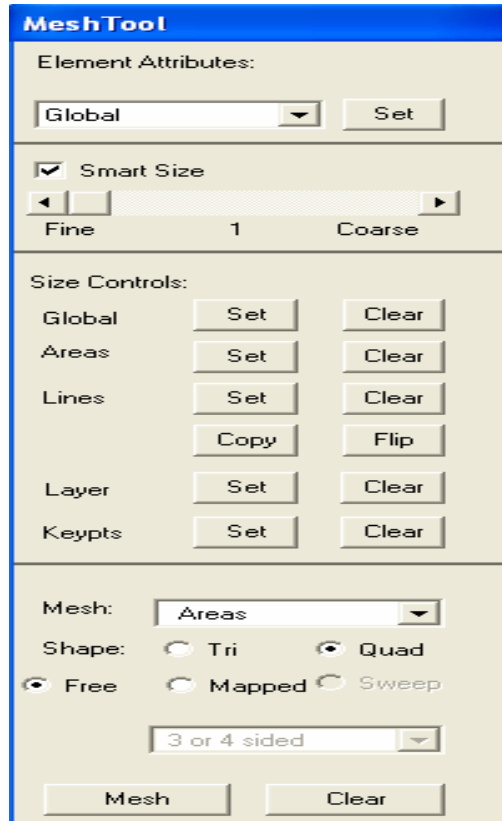
Geometrik modeli oluşturmak için **Preprocessor > Modelling > Create > Areas > Rectangle > By dimensions** tıklanır. Çıkan ekranda kirişin ebatları girilir.



Şekil 6.6 Modelin oluşturulması

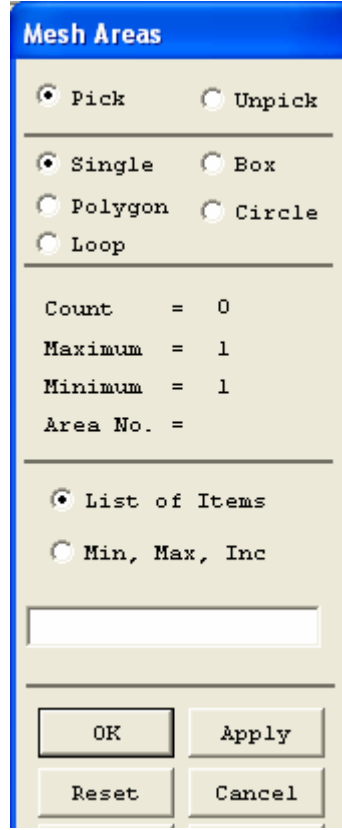
6.5 Elemanlara Ayırma (Meshing)

Kullandığımız programda sonlu elemanlarına işlemi mesh komutuyla meydana getirilmekte. Kullandığımız birim elemanın boyutlarını seçebiliriz, seçeceğimiz boyut ne kadar küçük olursa analizimiz o kadar hassas olacaktır. **Preprocessor** > **Mesh Tool** tıklanıp. Çıkan ekranda ‘**Smart Size**’ aktif hale getirilip eleman boyutlarını 1 birime ayarlanır.

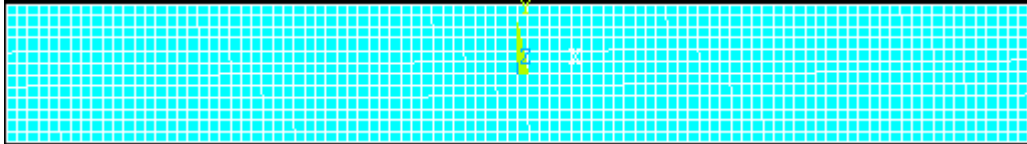


Şekil 6.7 Bölümlenme özelliklerinin girilmesi

Daha sonra 'Mesh' tuşuna tıklanır. Bundan sonra çıkan ekranda Mouse ile alan seçilip 'Ok'butonuna basılarak meshleme yapılır.



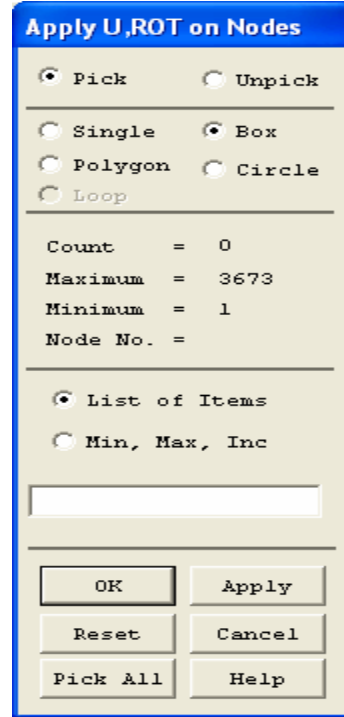
Şekil 6.9 Bölümleme



Şekil 6.10 Elemanlara ayrılmış model

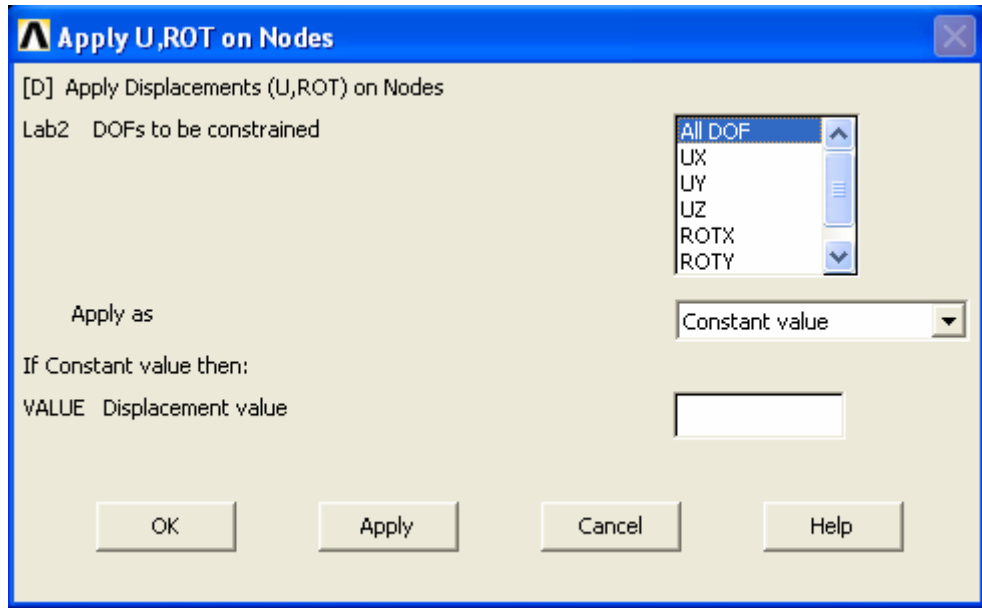
6.6 Sınır şartının ve Yüklemenin Tanımlanması

Elemanlara bölünmüş (meshlenmiş) kirişi sınır şartını belirlenir. **Main menu>Solution>Define Loads>Apply>Structural> Displacement>On nodes** tıklanır. Çıkan ekranda 'Box' aktif hale getirilip, belirlenecek sınır şartı kutucuk içine alır.



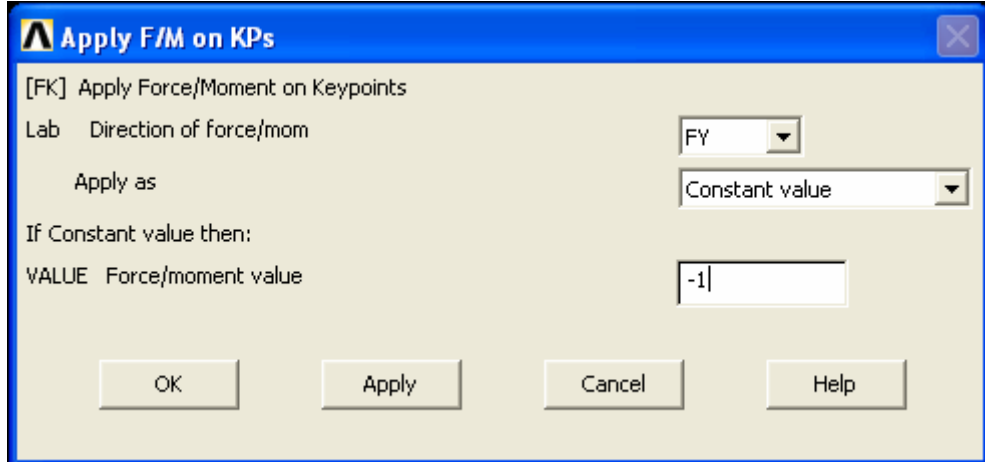
Şekil 6.10 Sınır şartının girilmesi

Daha sonra çıkan pencereden seçtiğimiz düğüm noktalarındaki bütün serbestlik dereceleri ‘**All DoF**’ seçilerek ankastre mesnet kenar elde edilmiş olur.

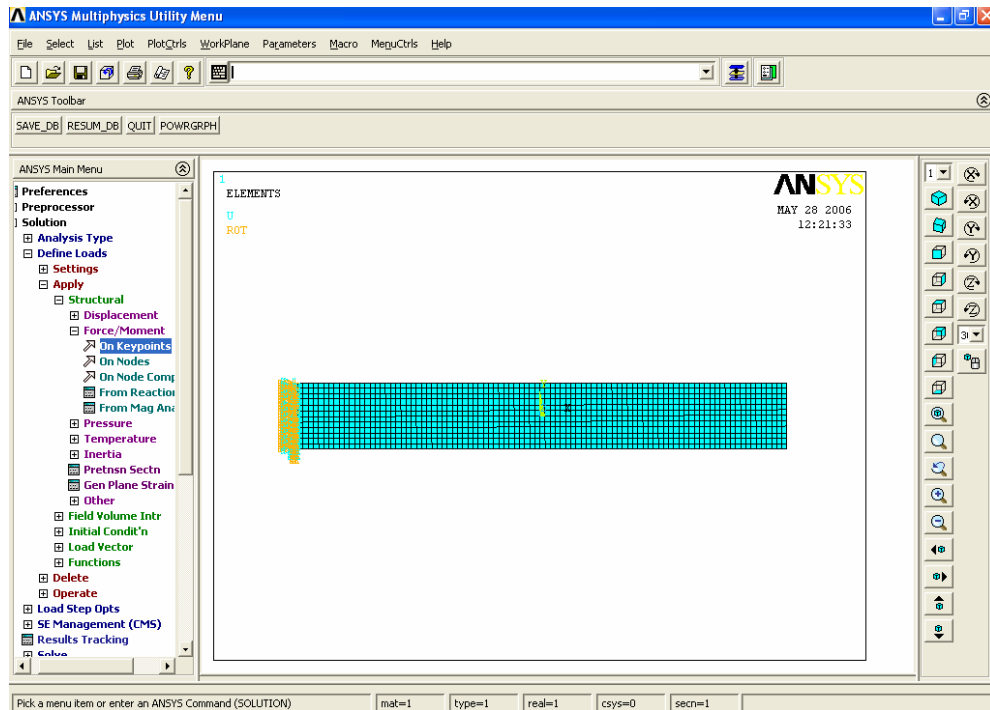


Şekil 6-11 Sınır şartı için serbestlik derecelerinin girilmesi

Yükleme serbest kenarın üst uç noktasından tek eksenli olarak Y yönünde -1 N'luk yük uygulanır. **Main menu>Solution>Define Loads>Apply>Structural>Force/Moment>On keypoints** tıklanır. Çıkan ekranda 'direction of Force/mom' bölümüne 'FY' yönü, 'Value Force/mom' bölümüne '-1' değeri girilip 'Ok' tuşuna basılır.



Şekil 6.12 Yüklemenin yönünün, değerinin girilmesi



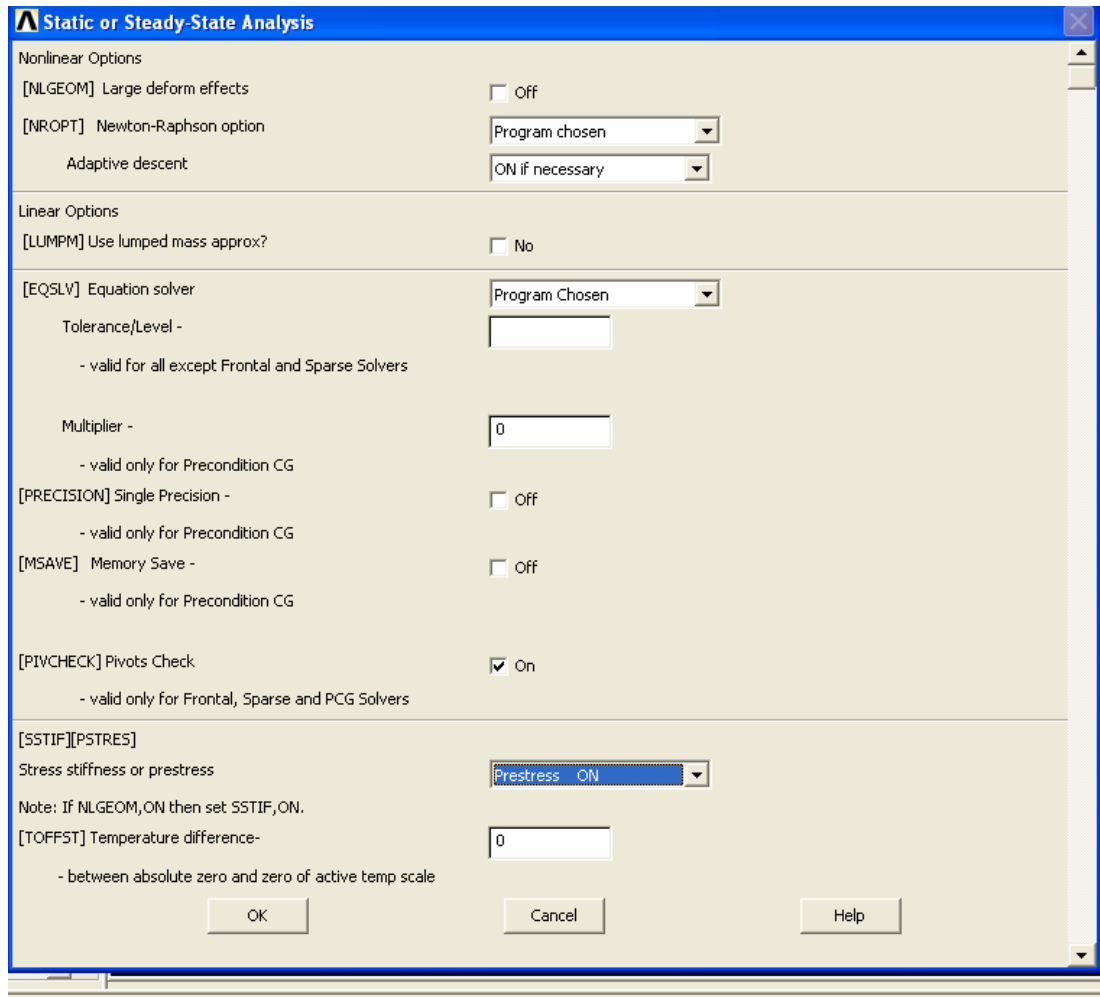
Şekil 6-13 ANSYS sonlu elemanlar paket programında sınır şartı tanımlandıktan ve yükleme yapıldıktan sonra görünüm

6.7 Çözüm

Burkulma analizinde ANSYS sonlu elemanlar paket programında iki çözücüden sağlanır; eigenvalue ve nonlinear analiz. Küçük yer değiştirme biçimi yapılacağından eigenvalue çözümü uygulanır.

Burkulma analizinin eigenvalue çözümü çalıştırmak için prestress effects aktif hale getirilir.

Solution > Analysis Type > Analysis Options tıklanır. Çıkan ekrandan ‘[SSTIF][PSTRES] bölümünde ‘ **Prestres ON** ‘ konumuna getirilir bu sayede katılık matrisi hesaplanmış olur. Bu eigenvalue, burkulma analizi için gereklidir.

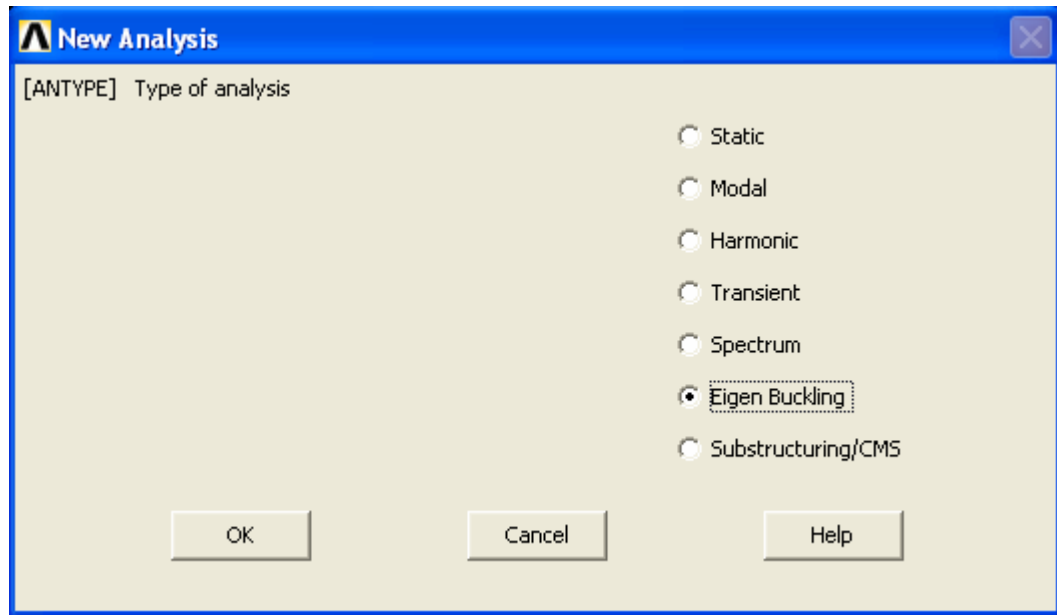


Şekil 6-14 Eigenvalue çözümü çalıştırmak için prestress effects aktif hale getirilmesi

Solution > Solve > Current LS tıklanır. Böylece ilk çözümü yapılır. Çözüm tamamlandıktan sonra ‘**ANSYS Main Menu**’ bölümünden ‘**FINISH**’ tıklanır.

Normalde bu noktadan sonra sonuçların değerlendirilmesi bölümüne geçinmiş olur. Ancak, burkulma analizi yaparken çözüm bölümüne tekrar girilmeli ve burkulma analizi özelleştirilir.

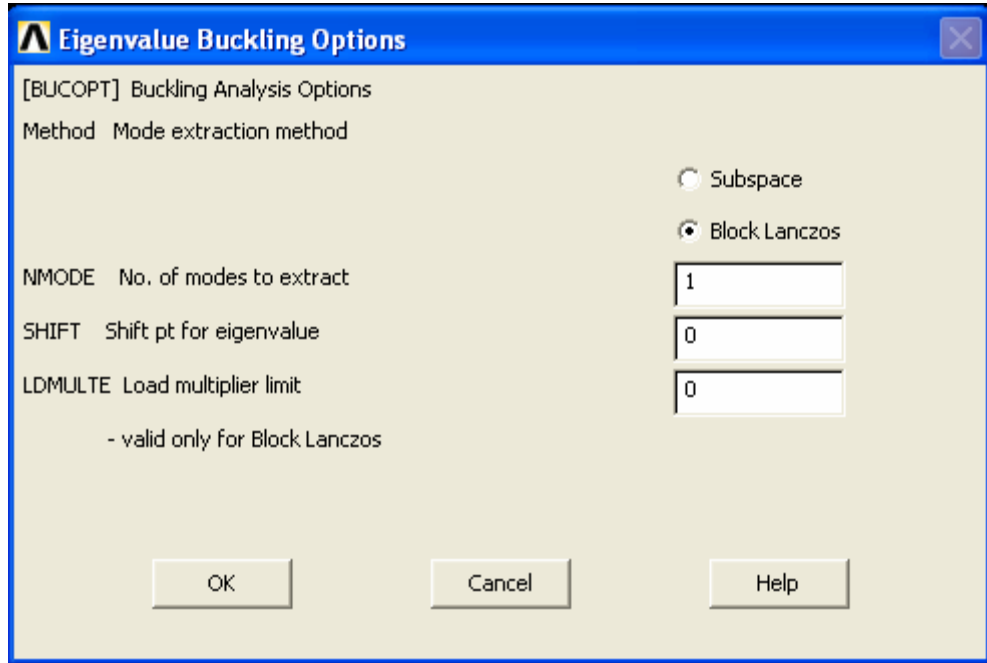
Çözüm bölümüne tekrar girip **Solution > Analysis Type > EigenBuckling** tıklanıp ‘**Ok**’ tuşuna basılır.



Şekil 6.15 Burkulma analizinin özelleştirilmesi

Eigenvalue çözümü iki çözücü yonteme sahiptir. ‘Block Lanczos’ metodu geniş simetrik eigenvalue problemlerinin çözümünde, matris çözücü olarak kullanılır. “Subspace” metodu da kullanılabilir.

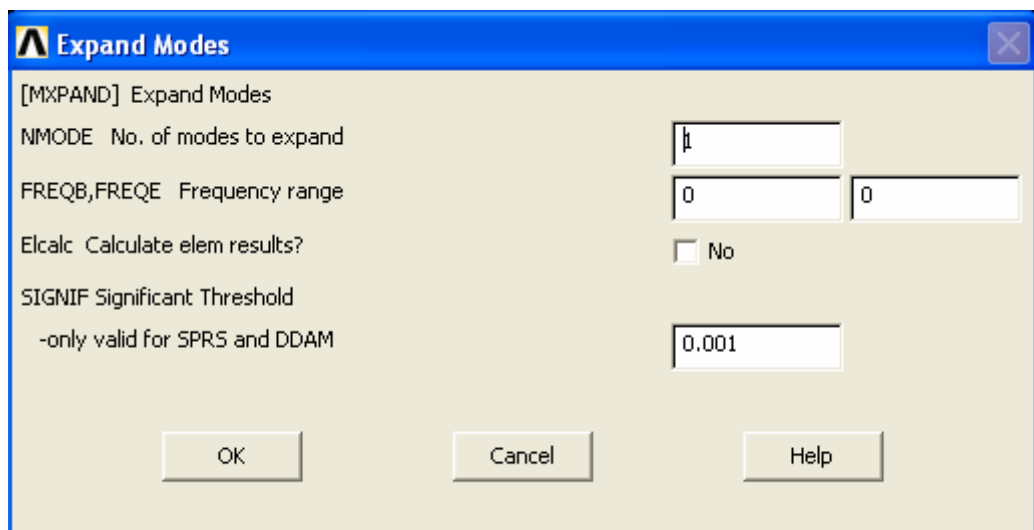
Solution > Analysis Type > Analysis Options tıklanıp. Çözüm metodu olarak ‘**Block Lanczos**’ bölümü seçilir. Daha sonra parçamızı tanımlamak için ‘**Extract Mode**’ bölümüne girilip ‘**1**’ girilir.



Şekil 6-16 Matris çözücü olarak Block Lanczos' metodunun girilmesi

Solution > Solve > Current LS tıklanır. Çözüm tamamlandıktan sonra 'ANSYS Main Menu' bölümünden 'FINISH' tıklanır.

Çözüm bölümüne tekrar girip **Solution > Load Step Opts > ExpansionPass > Single Expand > Expand Modes** tıklanır. Burkulma çözüm analizini genişletmek için takip eden pencere gösterildiği gibi tamamlanır.

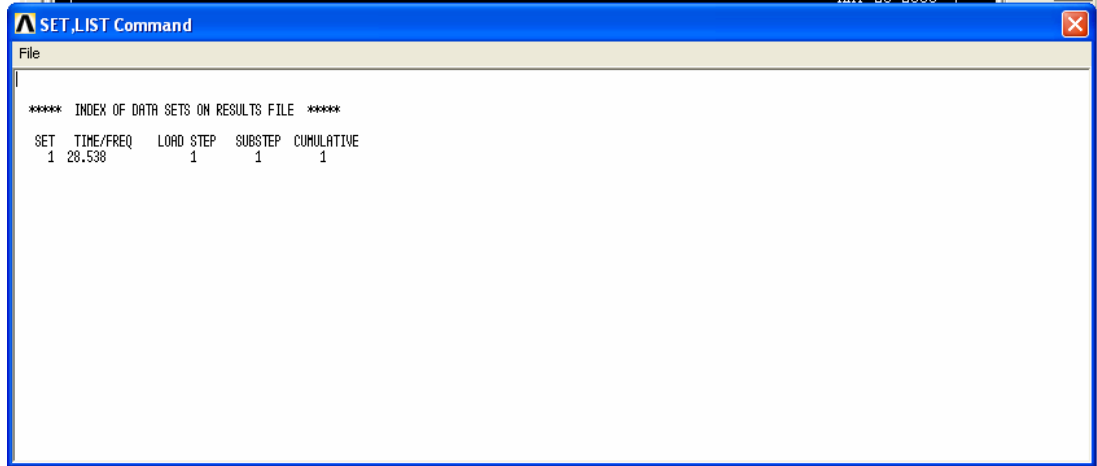


Şekil 6-17 Burkulma çözüm analizini genişletilmesi

Solution > Solve > Current LS tıklanır. Daha sonra **'ANSYS Main Menu'** bölümünden **'FINISH'** tıklanır. Çözüm tamamlanır.

6.8 Sonuçların Okunması

Program çözüm işlemini bitirdikten sonra girişimiz burkulma için gerekli minimum yüklemeyi görmek için **General Postproc > List Results > Detailed Summary** tıklanır. Çıkan ekranda yükleme değeri Newton olarak **'TIME/FREQ'** altından okunur.



Şekil 6-18 Burkulma için gerekli minimum yüklemenin okunması

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR

Farklı fiber yönlenme açılarına(0, 30, 45 derece) sahip delikli ve deliksiz her numune türü için üç'er tane deney yapıp ortalamaları alınmıştır. Bu değerler ANSYS sonuçlarıyla ve teorik hesap sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tablo 7.1, 7.2, 7.3' de görüldüğü gibi sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Bu uyumun ışığında farklı mesafelerdeki delik pozisyonları için sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Her bir model için farklı fiber yönlenme açılarının etkileri de incelenmiştir.

Tablo 7.1 0 derece fiber yönlenme açısı için Deney , ANSYS ve teorik hesap kritik burkulma yükleri

Numune No	Kritik Burkulma Yüğü (N)				
	0° (Deliksiz)			0° (Delikli)	
	DENEY	ANSYS	TEORİK	DENEY	ANSYS
1	29,45			23,93	
2	24,35			25,88	
3	31,08	27,875	28,397	26,05	26,725
ORTALAMA	28,293			25,286	

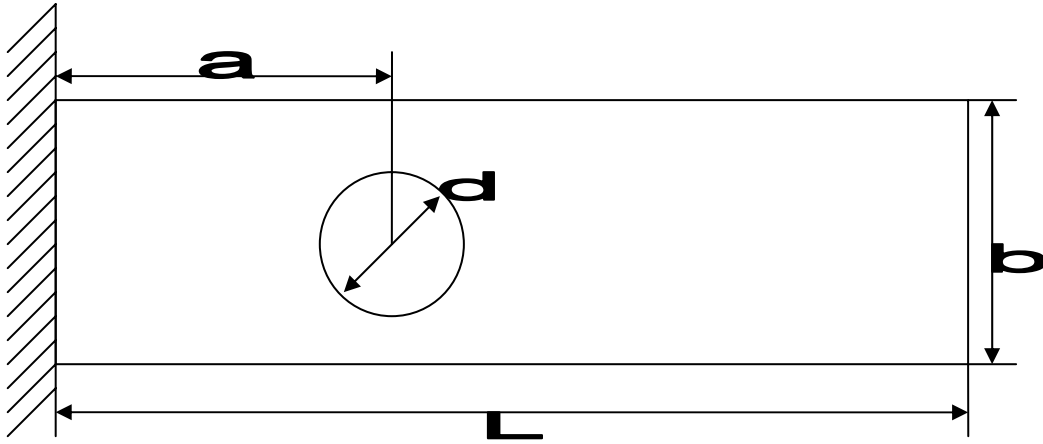
Tablo 7.2 30 derece fiber yönlenme açısı için Deney , ANSYS ve teorik hesap kritik burkulma yükleri

Numune No	Kritik Burkulma Yüğü (N)				
	30° (Deliksiz)			30° (Delikli)	
	DENEY	ANSYS	TEORİK	DENEY	ANSYS
1	31,04			31,03	
2	29,69			25,85	
3	32,09	33,421	27,961	32,97	30,981
ORTALAMA	30,94			29,95	

Tablo 7.3 45 derece fiber yönlenme açısı için Deneysel, ANSYS ve teorik hesap kritik burkulma yükleri

Numune No	Kritik Burkulma Yüğü (N)				
	45° (Deliksiz)			45° (Delikli)	
	DENEY	ANSYS	TEORİK	DENEY	ANSYS
1	27,65			31,72	
2	29,00			29,48	
3	34,68	30,563	26,167	24,52	28,166
ORTALAMA	30,443			28,573	

Bu sonuçlar arasında elde edilen uyum, kullanılan nümerik yöntemin doğruluğunu ön plana çıkarmıştır.



Şekil 7.1. Kirişin görünümü

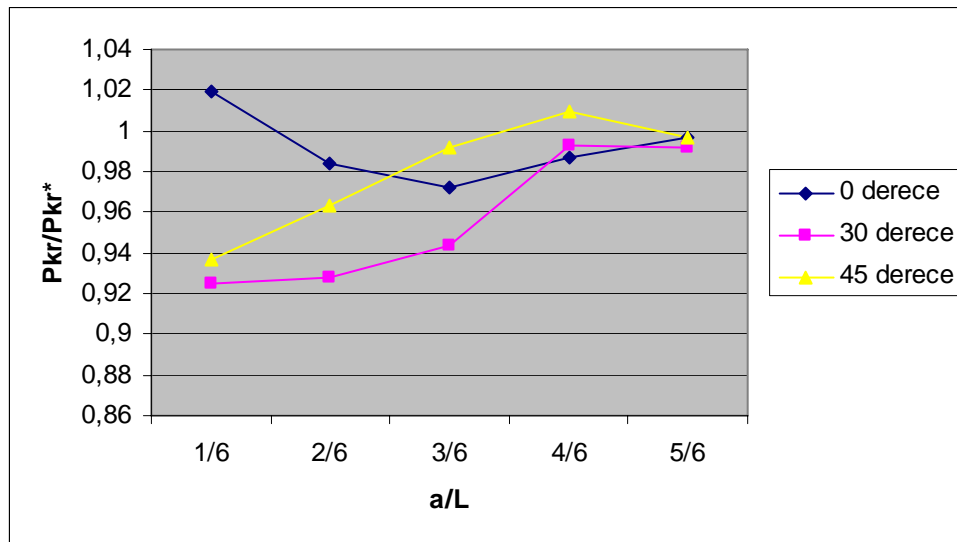
Kurulan bu modellerde farklı fiber yönlenme açlarına sahip numunelerin (0, 30, 45 dereceler) fiber açlarının, kirişin boyunun (L) ve genişliğinin (b), dairesel deliğın ankastre mesnede uzaklığının(a) ve deliğın çapının (d) kritik burkulmaya etkisi üç farklı yaklaşımla yorumlanmıştır.

7.1 Kirişteki Deliğın Konumunun P_{kr}/P_{kr}^* Oranına Etkisi

Bu grupta ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak deliğın konumunun (a/L) P_{kr}/P_{kr}^* (Delikli durumdaki kritik burkulma yüğü değerlerinin deliksiz durumdaki kritik burkulma yüğü değerlerine oranı) değışimi hesaplanmıştır.

Tablo 7.1.1 L=100mm, d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar.

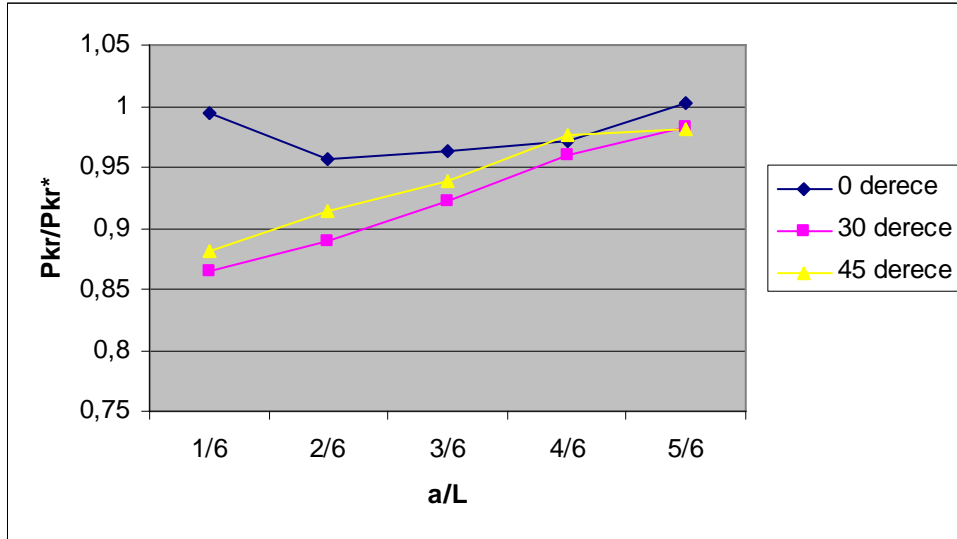
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, d/b=5/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	63,899	62,687	1,019334	69,575	75,2	0,925199	64,364	68,737	0,936381
2/6	61,707	62,687	0,984367	69,754	75,2	0,92758	66,205	68,737	0,963164
3/6	60,934	62,687	0,972036	70,945	75,2	0,943418	68,146	68,737	0,991402
4/6	61,835	62,687	0,986409	74,635	75,2	0,992487	69,389	68,737	1,009485
5/6	62,512	62,687	0,997208	74,562	75,2	0,991516	68,528	68,737	0,996959



Şekil 7.1.1 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.2 L=100mm, d=7,5mm olan model için elde edilen sonuçlar.

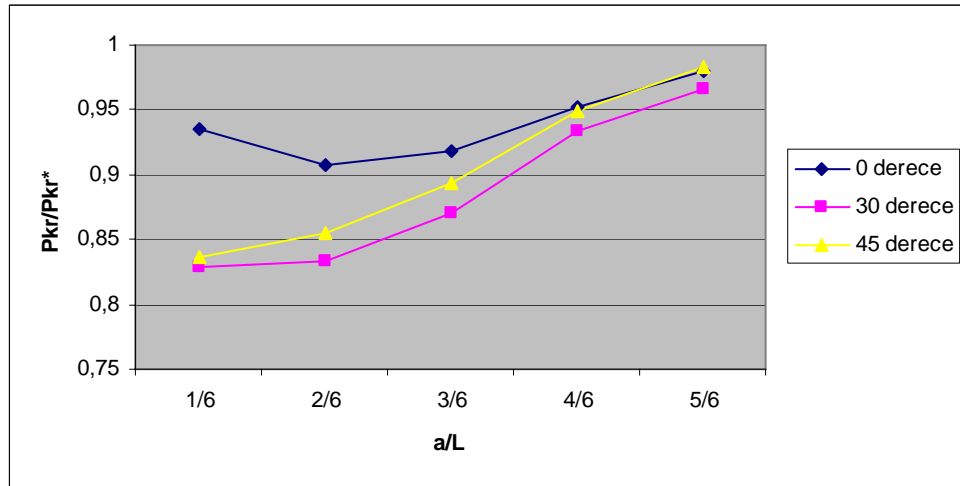
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a)									
b/L=1/5, d/b=7,5/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	62,288	62,687	0,993635	65,078	75,2	0,865399	60,549	68,737	0,880879
2/6	59,925	62,687	0,95594	66,835	75,2	0,888763	62,852	68,737	0,914384
3/6	60,408	62,687	0,963645	69,388	75,2	0,922713	64,543	68,737	0,938985
4/6	60,907	62,687	0,971605	72,166	75,2	0,959654	67,078	68,737	0,975865
5/6	62,802	62,687	1,001835	73,917	75,2	0,982939	67,464	68,737	0,98148



Şekil 7.1.2 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.3 L=100mm, d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

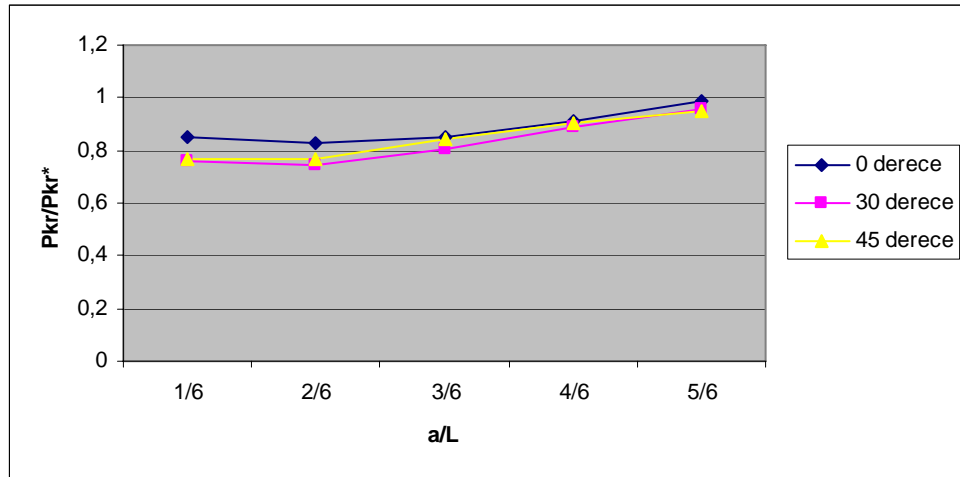
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, d/b=10/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	58,65	62,687	0,935601	62,333	75,2	0,828896	57,543	68,737	0,837147
2/6	56,928	62,687	0,908131	62,615	75,2	0,832646	58,748	68,737	0,854678
3/6	57,551	62,687	0,918069	65,5	75,2	0,871011	61,43	68,737	0,893696
4/6	59,652	62,687	0,951585	70,211	75,2	0,933657	65,208	68,737	0,948659
5/6	61,457	62,687	0,980379	72,658	75,2	0,966197	67,597	68,737	0,983415



Şekil 7.1.3 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.4 L=100mm, d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

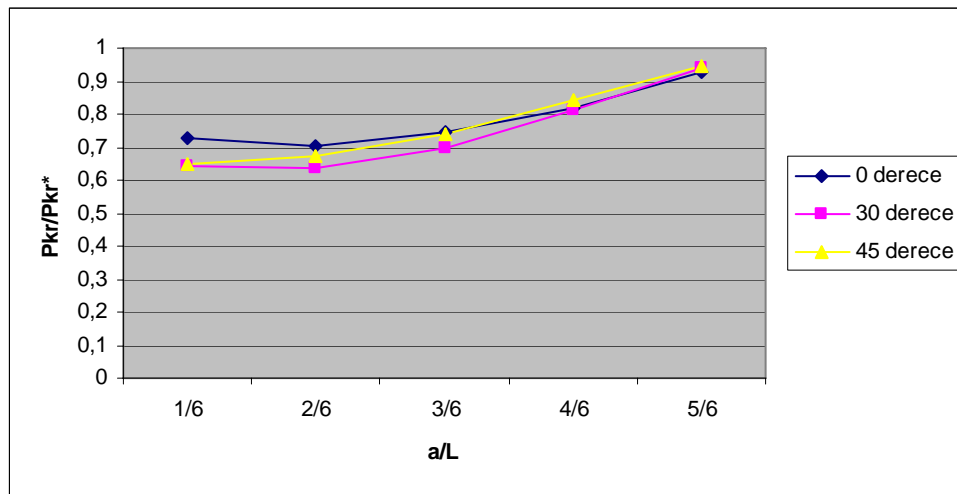
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, d/b=12,5/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	53,24	62,687	0,849299	56,836	75,2	0,755798	52,908	68,737	0,769716
2/6	51,995	62,687	0,829438	55,887	75,2	0,743178	52,789	68,737	0,767985
3/6	53,221	62,687	0,848996	60,726	75,2	0,807527	57,732	68,737	0,839897
4/6	57,134	62,687	0,911417	66,542	75,2	0,884867	62,219	68,737	0,905175
5/6	61,686	62,687	0,984032	71,982	75,2	0,957207	65,138	68,737	0,947641



Şekil 7.1.4 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.5 L=100mm, d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

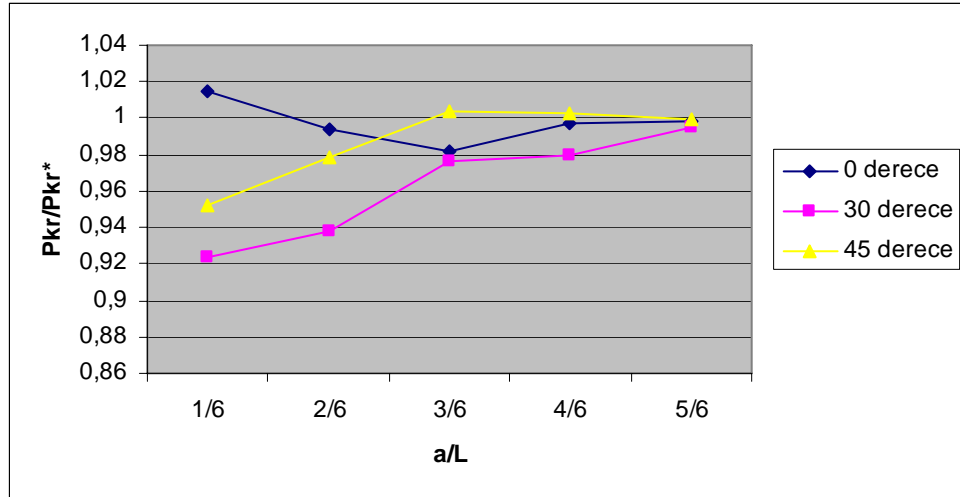
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, d/b=15/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	45,729	62,687	0,729481	48,263	75,2	0,641795	44,733	68,737	0,650785
2/6	44,1	62,687	0,703495	47,885	75,2	0,636769	46,133	68,737	0,671152
3/6	46,592	62,687	0,743248	52,444	75,2	0,697394	50,712	68,737	0,737769
4/6	51,443	62,687	0,820633	61,191	75,2	0,81371	57,94	68,737	0,842923
5/6	58,262	62,687	0,929411	70,802	75,2	0,941516	64,853	68,737	0,943495



Şekil 7.1.5 a/L değerine bağı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.1.6 L=150mm, d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

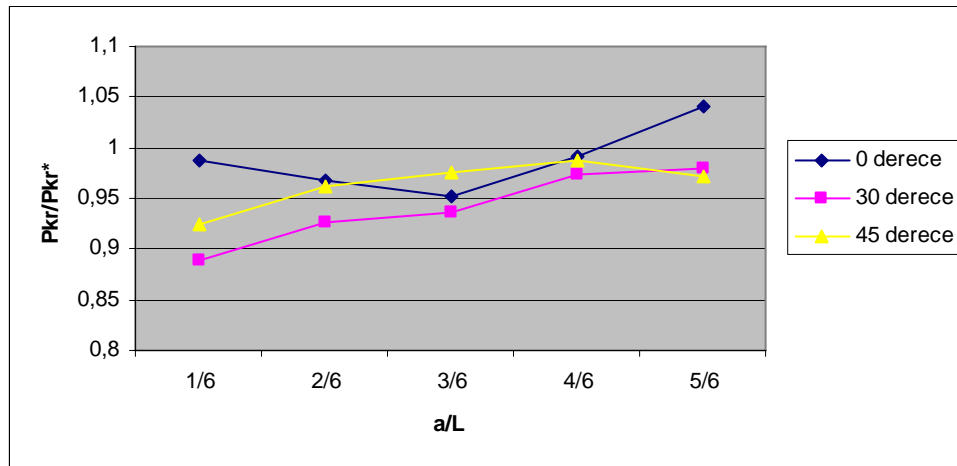
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, d/b=5/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	28,538	28,138	1,014216	31,146	33,735	0,923255	29,069	30,517	0,952551
2/6	27,962	28,138	0,993745	31,655	33,735	0,938343	29,858	30,517	0,978405
3/6	27,623	28,138	0,981697	32,94	33,735	0,976434	30,62	30,517	1,003375
4/6	28,051	28,138	0,996908	33,064	33,735	0,98011	30,583	30,517	1,002163
5/6	28,087	28,138	0,998188	33,574	33,735	0,995228	30,506	30,517	0,99964



Şekil 7.1.6 a/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.7 L=150mm, d=7,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

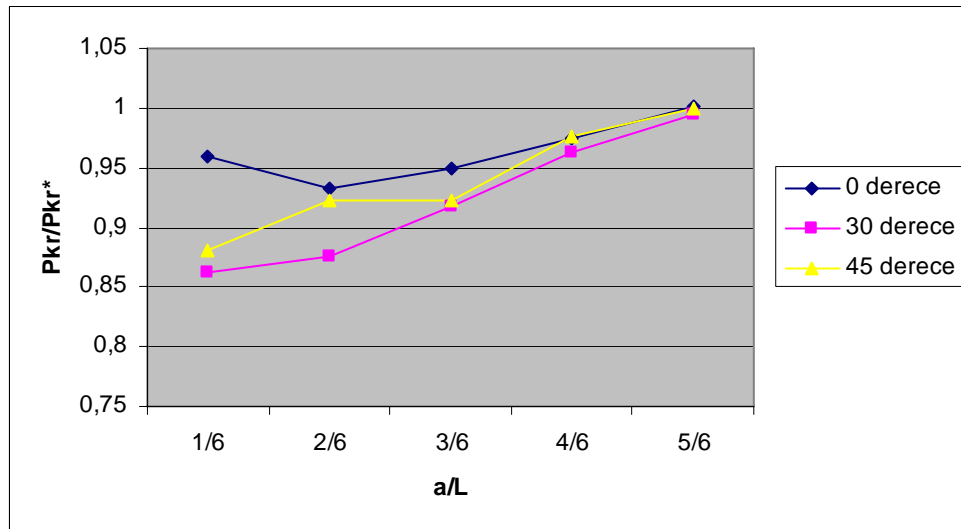
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, d/b=7,5/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	27,808	28,138	0,988272	30	33,735	0,889284	28,221	30,517	0,924763
2/6	27,233	28,138	0,967837	31,259	33,735	0,926604	29,352	30,517	0,961825
3/6	26,812	28,138	0,952875	31,561	33,735	0,935557	29,782	30,517	0,975915
4/6	28	28,138	0,990689	32,865	33,735	0,974211	30,146	30,517	0,987843
5/6	29,296	28,138	1,041154	33,067	33,735	0,980199	29,625	30,517	0,97077



Şekil 7.1.7 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.8 L=150mm, d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

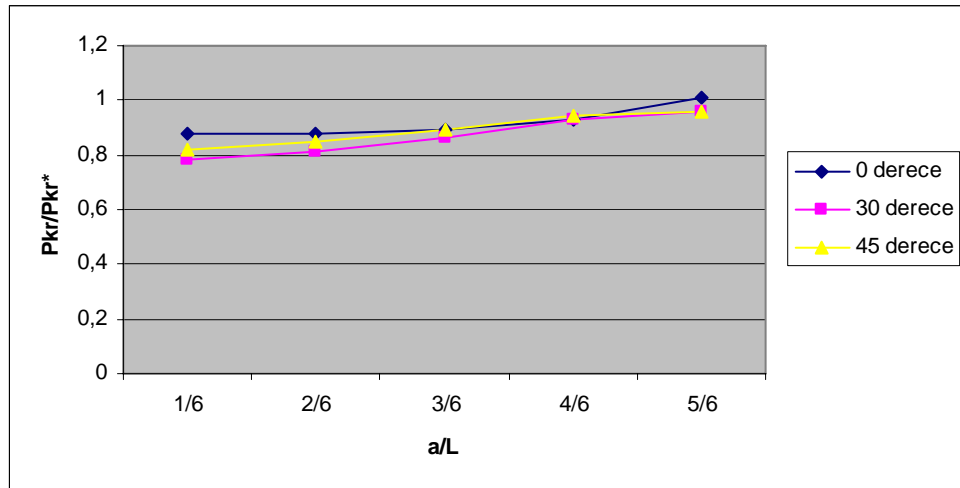
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, d/b=10/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
	27,02	28,138	0,960267	29,098	33,735	0,862546	26,86	30,517	0,880165
1/6	26,24	28,138	0,932547	29,517	33,735	0,874967	28,168	30,517	0,923027
2/6	26,725	28,138	0,949783	30,981	33,735	0,918364	28,166	30,517	0,922961
3/6	27,436	28,138	0,975052	32,494	33,735	0,963213	29,806	30,517	0,976702
4/6	28,188	28,138	1,001777	33,54	33,735	0,99422	30,534	30,517	1,000557



Şekil 7.1.8 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.9 L=150mm, d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

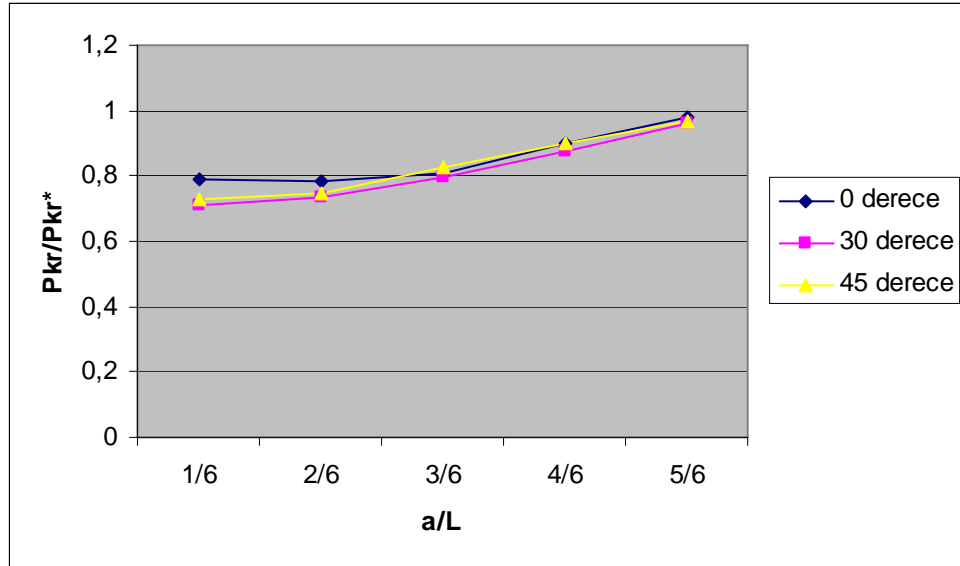
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, d/b=12,5/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
	24,794	28,138	0,881157	26,499	33,735	0,785505	24,907	30,517	0,816168
1/6	24,625	28,138	0,875151	27,335	33,735	0,810286	25,966	30,517	0,85087
2/6	25,113	28,138	0,892494	29,049	33,735	0,861094	27,331	30,517	0,895599
3/6	26,214	28,138	0,931623	31,427	33,735	0,931584	28,889	30,517	0,946653
4/6	28,471	28,138	1,011835	32,359	33,735	0,959212	29,293	30,517	0,959891



Şekil 7.1.9 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.10 L=150mm, d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

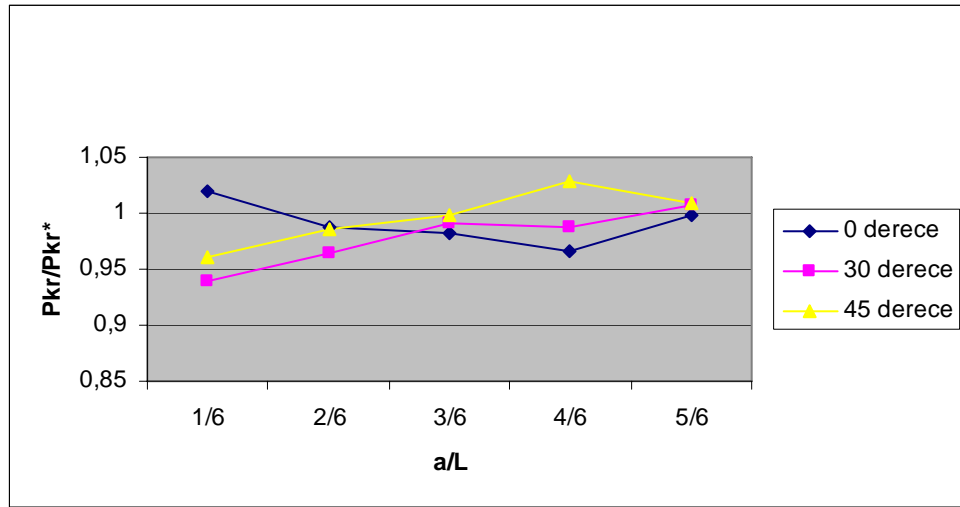
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, d/b=15/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	22,241	28,138	0,790426	23,949	33,735	0,709916	22,156	30,517	0,726022
2/6	22,069	28,138	0,784313	24,817	33,735	0,735645	22,82	30,517	0,74778
3/6	22,663	28,138	0,805423	26,753	33,735	0,793034	25,142	30,517	0,823869
4/6	25,276	28,138	0,898287	29,602	33,735	0,877486	27,427	30,517	0,898745
5/6	27,618	28,138	0,98152	32,357	33,735	0,959152	29,563	30,517	0,968739



şekil 7.1.10 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.11 L=200mm, d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

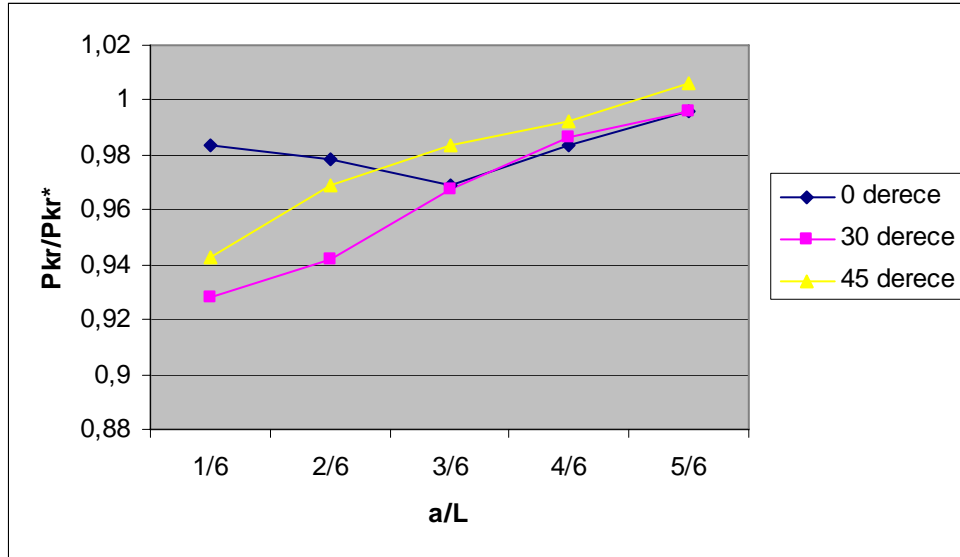
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, d/b=5/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	16,144	15,846	1,018806	17,585	18,723	0,939219	16,477	17,164	0,959974
2/6	15,635	15,846	0,986684	18,046	18,723	0,963841	16,912	17,164	0,985318
3/6	15,564	15,846	0,982204	18,557	18,723	0,991134	17,136	17,164	0,998369
4/6	15,297	15,846	0,965354	18,473	18,723	0,986647	17,659	17,164	1,028839
5/6	15,809	15,846	0,997665	18,858	18,723	1,00721	17,316	17,164	1,008856



Şekil 7.1.11 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.12 L=200mm, d=7,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

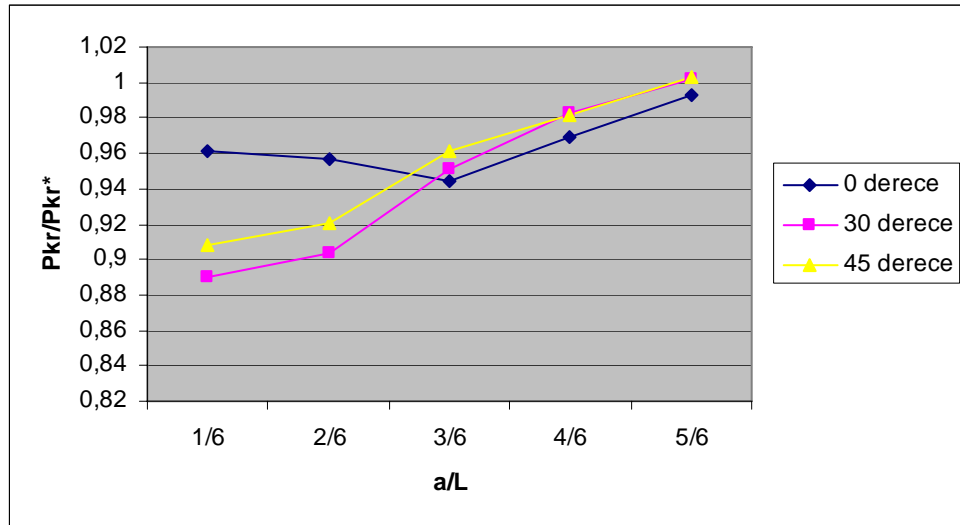
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, d/b=7,5/20,									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	15,58	15,846	0,983213	17,374	18,723	0,92795	16,18	17,164	0,942671
2/6	15,508	15,846	0,97867	17,635	18,723	0,94189	16,633	17,164	0,969063
3/6	15,35	15,846	0,968699	18,11	18,723	0,96726	16,88	17,164	0,983454
4/6	15,585	15,846	0,983529	18,467	18,723	0,986327	17,029	17,164	0,992135
5/6	15,783	15,846	0,996024	18,652	18,723	0,996208	17,272	17,164	1,006292



Şekil 7.1.12 a/L değerine bağılı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.1.13 L=200mm, d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

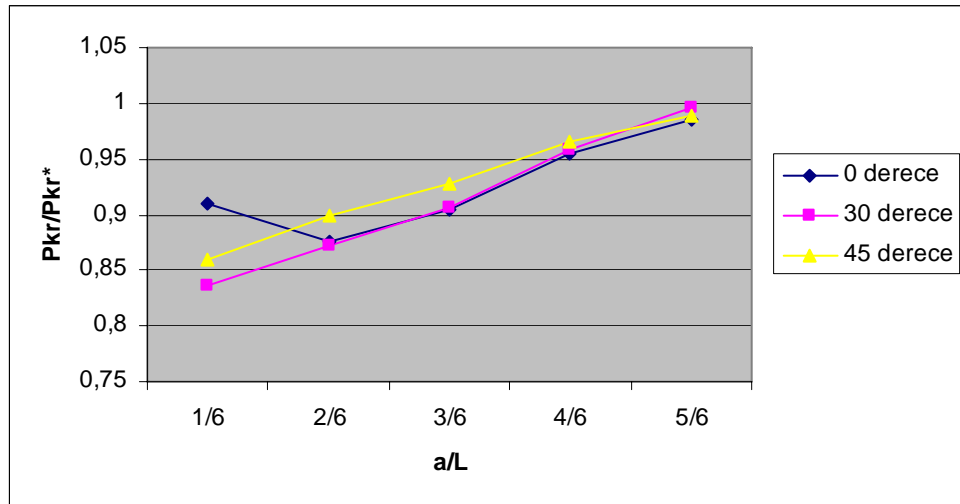
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, d/b=10/20,									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	15,24	15,846	0,961757	16,672	18,723	0,890456	15,584	17,164	0,907947
2/6	15,165	15,846	0,957024	16,908	18,723	0,90306	15,797	17,164	0,920357
3/6	14,96	15,846	0,944087	17,801	18,723	0,950756	16,506	17,164	0,961664
4/6	15,356	15,846	0,969077	18,405	18,723	0,983016	16,856	17,164	0,982055
5/6	15,727	15,846	0,99249	18,765	18,723	1,002243	17,209	17,164	1,002622



Şekil 7.1.13 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.14 L=200mm, d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

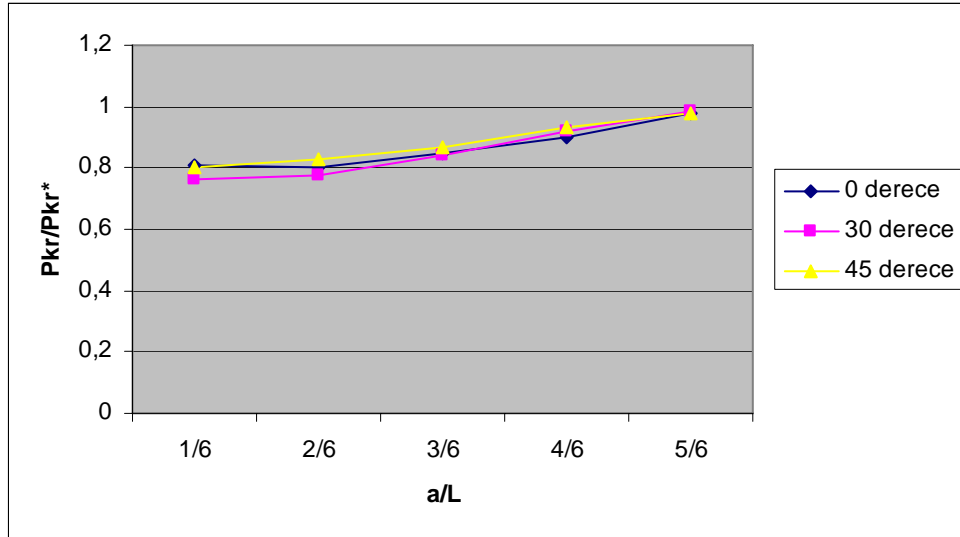
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, d/b=12,5/20,									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	14,429	15,846	0,910577	15,663	18,723	0,836565	14,744	17,164	0,859007
2/6	13,882	15,846	0,876057	16,345	18,723	0,87299	15,426	17,164	0,898742
3/6	14,329	15,846	0,904266	16,985	18,723	0,907173	15,931	17,164	0,928164
4/6	15,116	15,846	0,953932	17,938	18,723	0,958073	16,564	17,164	0,965043
5/6	15,622	15,846	0,985864	18,648	18,723	0,995994	16,97	17,164	0,988697



Şekil 7.1.14 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.15 L=200mm, deliğin çapı d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

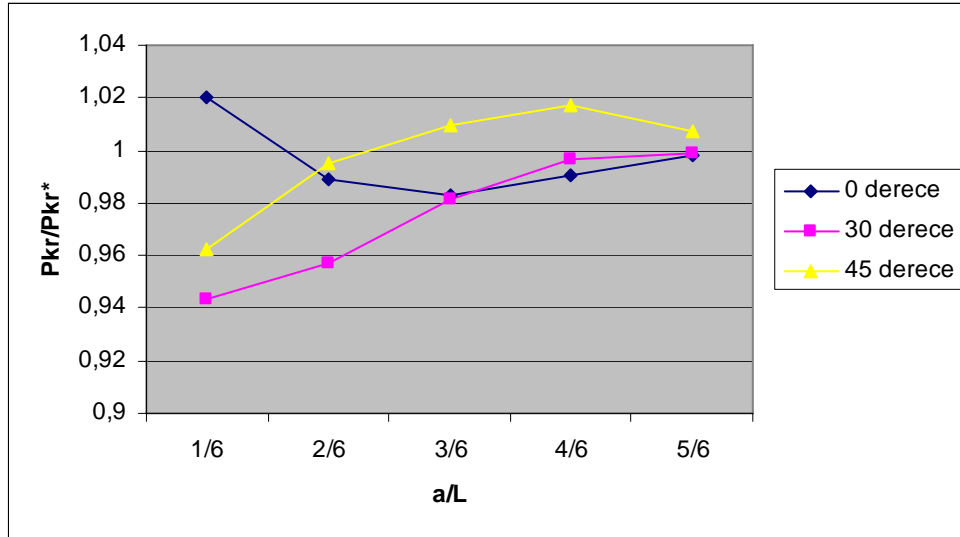
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin Çapı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, d/b=15/20,									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	12,771	15,846	0,805945	14,346	18,723	0,766223	13,723	17,164	0,799522
2/6	12,731	15,846	0,80342	14,581	18,723	0,778775	14,191	17,164	0,826789
3/6	13,406	15,846	0,846018	15,729	18,723	0,84009	14,862	17,164	0,865882
4/6	14,311	15,846	0,90313	17,187	18,723	0,917962	15,956	17,164	0,92962
5/6	15,531	15,846	0,980121	18,489	18,723	0,987502	16,834	17,164	0,980774



Şekil 7.1.15 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.16 L=250mm, d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

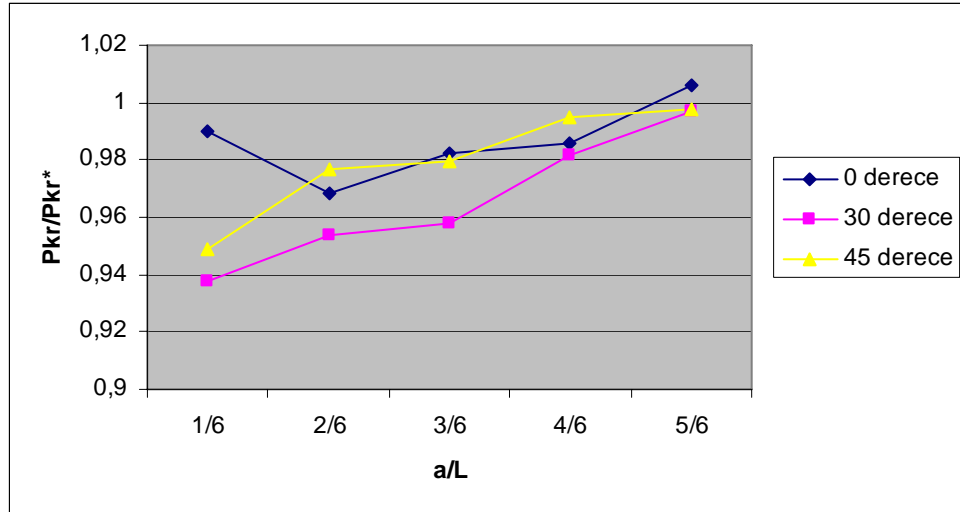
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, d/b=5/20,									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	10,349	10,142	1,02041	11,373	12,055	0,943426	10,562	10,972	0,962632
2/6	10,033	10,142	0,989253	11,541	12,055	0,957362	10,92	10,972	0,995261
3/6	9,9714	10,142	0,983179	11,834	12,055	0,981667	11,078	10,972	1,009661
4/6	10,049	10,142	0,99083	12,014	12,055	0,996599	11,163	10,972	1,017408
5/6	10,125	10,142	0,998324	12,038	12,055	0,99859	11,056	10,972	1,007656



Şekil 7.1.16 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.17 L=250mm, d=7,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

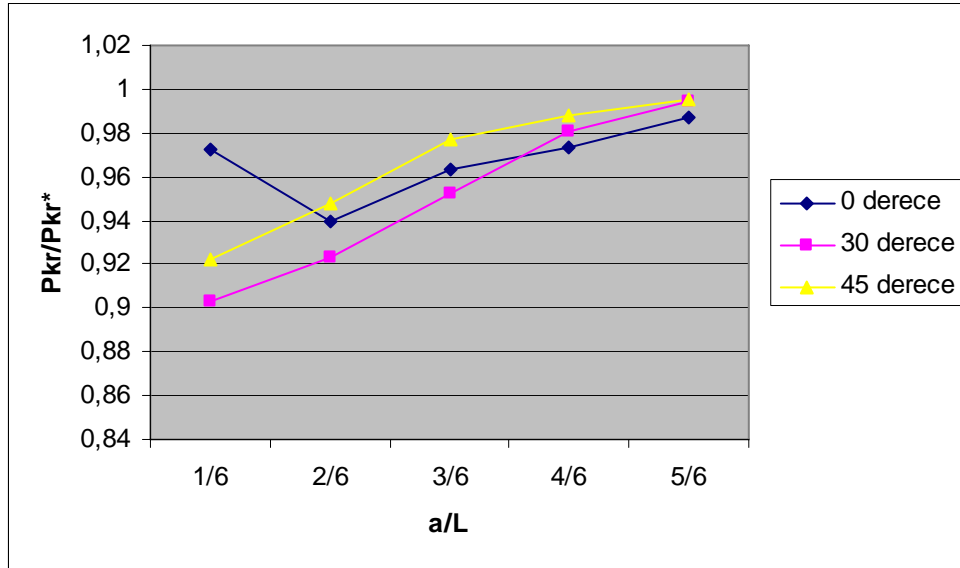
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, d/b=7,5/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	10,04	10,142	0,989943	11,307	12,055	0,937951	10,409	10,972	0,948688
2/6	9,8222	10,142	0,968468	11,494	12,055	0,953463	10,715	10,972	0,976577
3/6	9,9597	10,142	0,982025	11,547	12,055	0,95786	10,745	10,972	0,979311
4/6	9,996	10,142	0,985604	11,833	12,055	0,981584	10,919	10,972	0,99517
5/6	10,204	10,142	1,006113	12,016	12,055	0,996765	10,944	10,972	0,997448



Şekil 7.1.17 a/L değerine bağılı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.1.18 L=250mm, d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

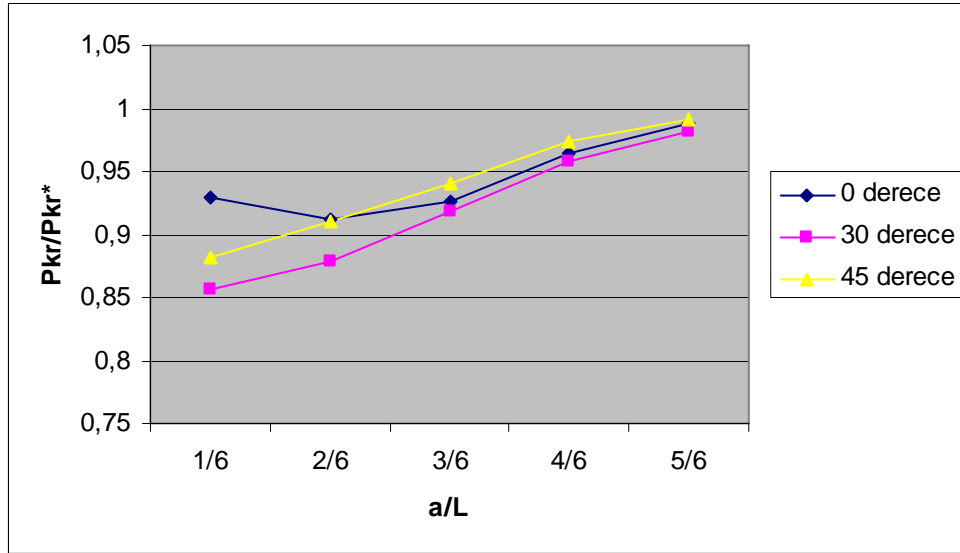
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, d/b=10/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	9,8597	10,142	0,972165	10,881	12,055	0,902613	10,12	10,972	0,922348
2/6	9,5297	10,142	0,939627	11,124	12,055	0,922771	10,402	10,972	0,94805
3/6	9,7685	10,142	0,963173	11,484	12,055	0,952634	10,724	10,972	0,977397
4/6	9,8758	10,142	0,973753	11,824	12,055	0,980838	10,841	10,972	0,988061
5/6	10,013	10,142	0,987281	11,986	12,055	0,994276	10,919	10,972	0,99517



Şekil 7.1.18 a/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.19 L=250mm, d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

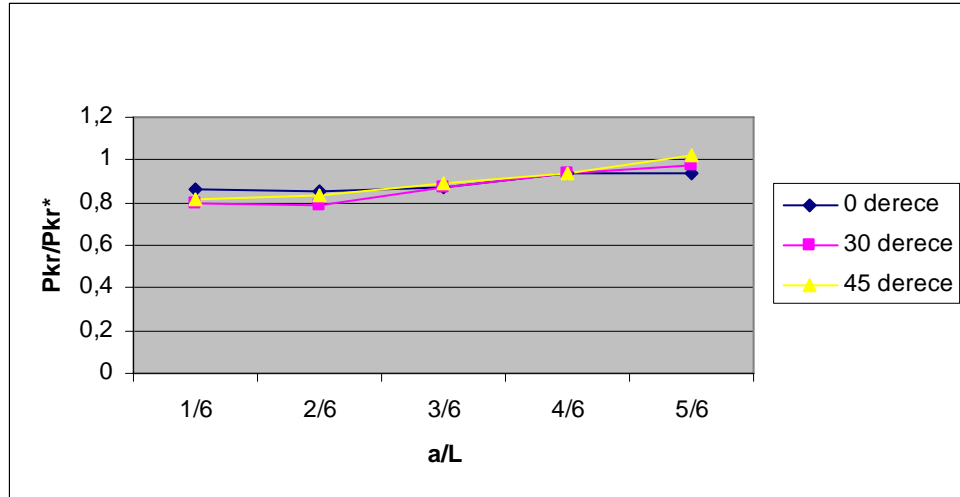
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, d/b=12,5/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	9,4268	10,142	0,929481	10,315	12,055	0,855662	9,6776	10,972	0,882027
2/6	9,2475	10,142	0,911802	10,589	12,055	0,878391	9,9798	10,972	0,90957
3/6	9,3885	10,142	0,925705	11,076	12,055	0,918789	10,317	10,972	0,940303
4/6	9,7796	10,142	0,964267	11,554	12,055	0,95844	10,68	10,972	0,973387
5/6	10,029	10,142	0,988858	11,841	12,055	0,982248	10,879	10,972	0,991524



Şekil 7.1.19 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.20 L=250mm, d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

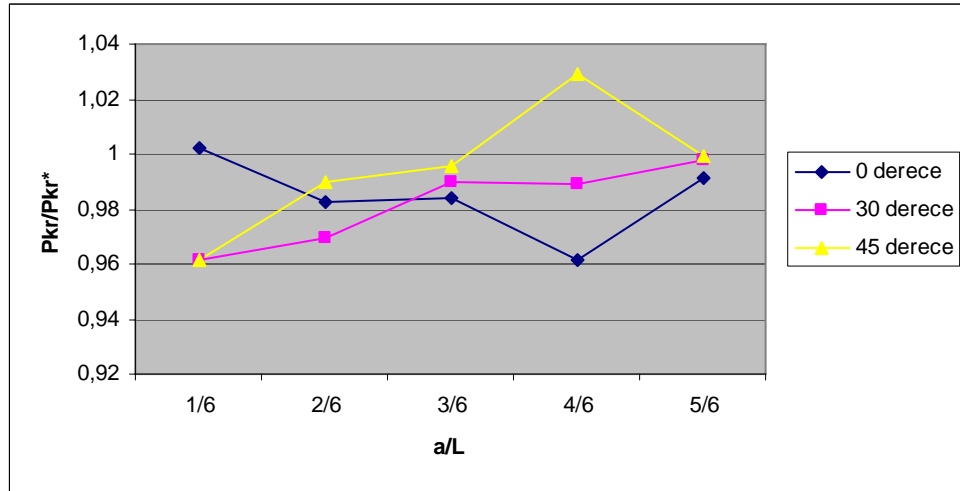
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, d/b=15/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	8,7926	10,142	0,866949	9,5583	12,055	0,792891	8,9114	10,972	0,812195
2/6	8,6549	10,142	0,853372	9,5477	12,055	0,792012	9,1965	10,972	0,838179
3/6	8,8526	10,142	0,872865	10,477	12,055	0,8691	9,7894	10,972	0,892217
4/6	9,5192	10,142	0,938592	11,261	12,055	0,934135	10,325	10,972	0,941032
5/6	9,5178	10,142	0,938454	11,809	12,055	0,979594	11,22	10,972	1,022603



Şekil 7.1.20 a/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.21 L=300mm, d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

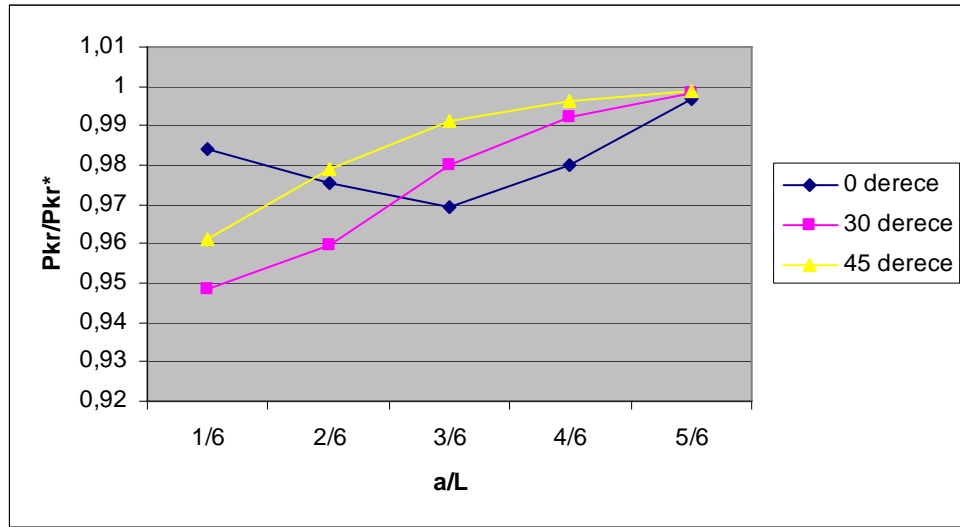
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, d/b=5/20									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	7,115	7,098	1,002395	7,9655	8,2876	0,961135	7,319	7,6113	0,961597
2/6	6,973	7,098	0,982389	8,0317	8,2876	0,969123	7,5364	7,6113	0,990159
3/6	6,9853	7,098	0,984122	8,2062	8,2876	0,990178	7,5795	7,6113	0,995822
4/6	6,8219	7,098	0,961102	8,1947	8,2876	0,98879	7,8354	7,6113	1,029443
5/6	7,0348	7,098	0,991096	8,2718	8,2876	0,998094	7,6063	7,6113	0,999343



Şekil 7.1.21 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.22 L=300mm, d=7,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

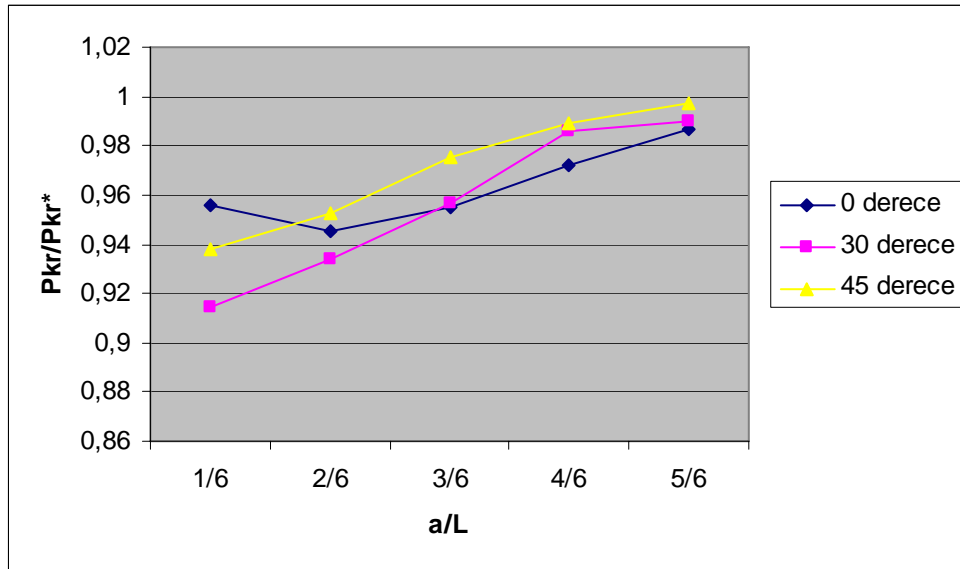
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, d/b=7,5/20,									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	6,9853	7,098	0,984122	7,8587	8,2876	0,948248	7,3146	7,6113	0,961018
2/6	6,922	7,098	0,975204	7,9545	8,2876	0,959807	7,4514	7,6113	0,978992
3/6	6,8802	7,098	0,969315	8,1237	8,2876	0,980223	7,5445	7,6113	0,991224
4/6	6,957	7,098	0,980135	8,2231	8,2876	0,992217	7,5823	7,6113	0,99619
5/6	7,0748	7,098	0,996731	8,2726	8,2876	0,99819	7,6026	7,6113	0,998857



Şekil 7.1.22 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.23 L=300mm, d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

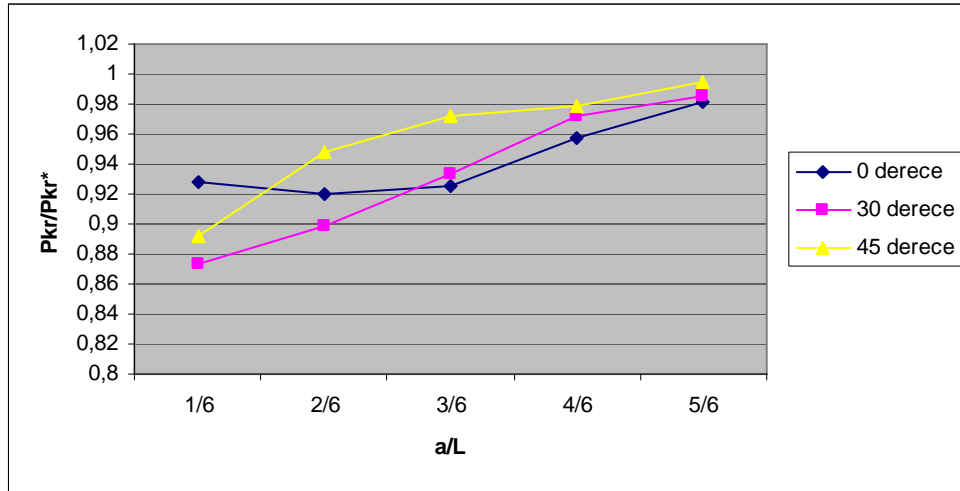
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, d/b=10/20,									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	6,7856	7,098	0,955988	7,5784	8,2876	0,914426	7,1414	7,6113	0,938263
2/6	6,7081	7,098	0,945069	7,7389	8,2876	0,933793	7,2516	7,6113	0,952741
3/6	6,7798	7,098	0,95517	7,9297	8,2876	0,956815	7,4216	7,6113	0,975077
4/6	6,8983	7,098	0,971865	8,1703	8,2876	0,985846	7,5278	7,6113	0,989029
5/6	7,001	7,098	0,986334	8,201	8,2876	0,989551	7,5896	7,6113	0,997149



Şekil 7.1.23 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.24 L=300mm, d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

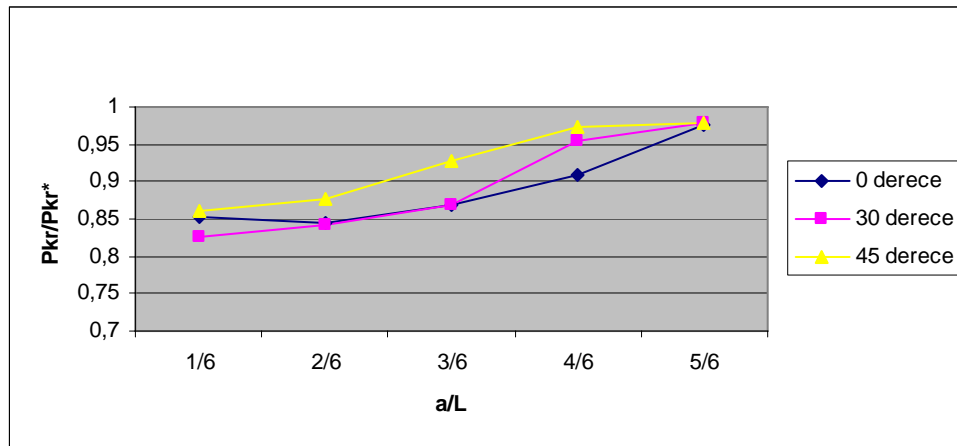
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, d/b=12,5/20,,									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
a/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	6,5824	7,098	0,92736	7,2414	8,2876	0,873763	6,7861	7,6113	0,891582
2/6	6,5332	7,098	0,920428	7,4511	8,2876	0,899066	7,2159	7,6113	0,948051
3/6	6,5726	7,098	0,925979	7,7361	8,2876	0,933455	7,3946	7,6113	0,971529
4/6	6,7905	7,098	0,956678	8,0515	8,2876	0,971512	7,4464	7,6113	0,978335
5/6	6,9696	7,098	0,98191	8,1715	8,2876	0,985991	7,57	7,6113	0,994574



Şekil 7.1.24 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.1.25 L=300mm, d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, d/b=12,5/20,									
a/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/6	6,0592	7,098	0,853649	6,8455	8,2876	0,825993	6,552	7,6113	0,860825
2/6	5,9985	7,098	0,845097	6,9717	8,2876	0,841221	6,6703	7,6113	0,876368
3/6	6,1616	7,098	0,868076	7,198	8,2876	0,868526	7,0668	7,6113	0,928462
4/6	6,4579	7,098	0,90982	7,9031	8,2876	0,953605	7,4069	7,6113	0,973145
5/6	6,9315	7,098	0,976543	8,1144	8,2876	0,979101	7,4566	7,6113	0,979675



Şekil 7.1.25 a/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Deliğın farklı konumları için şu yorumu yapabiliriz. Deliğın konumunun (a/L) Pkr/Pkr* oranına etkisi;

Delik çapının küçük değerlerinde (5mm, 7.5mm,10mm) de 0 derecelik oryantasyon açısında kritik burkulma yükleri ankastre uçtan uzaklaştıka belli bir konuma kadar azalmakta, sonra artmaktadır. 30 ve 45 derecelik açılarda ise, deliğın konumu ankastre mesnetten yüklemenin yapıldığı serbest uca doğru yaklaştıka kritik burkulma yükü artmaktadır.

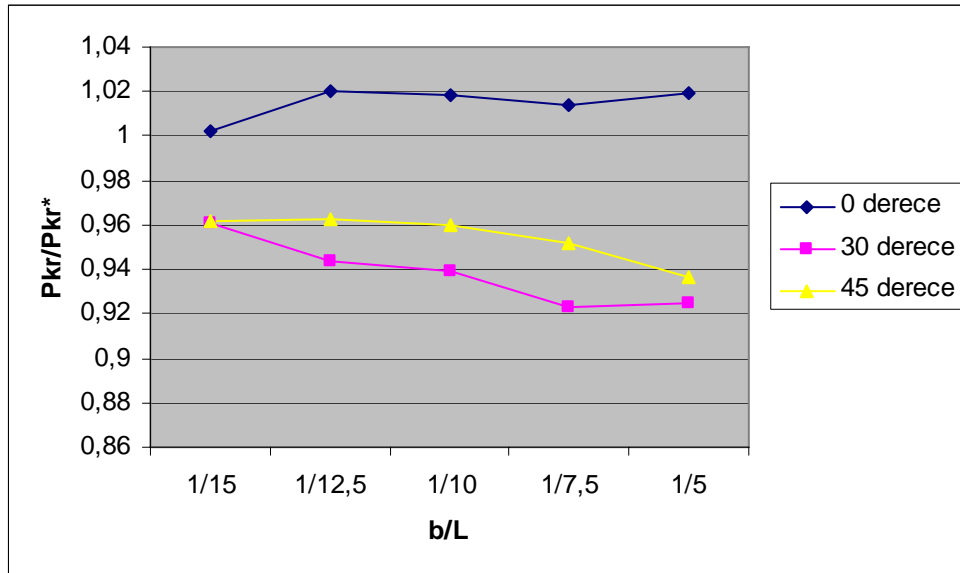
Delik çapının daha büyük değerlerinde 0, 30 ve 45 derece fiber yönlenme açılarda; deliğın konumu ankastre mesnetten yüklemenin yapıldığı serbest uca doğru yaklaştıka kritik burkulma yükü artmaktadır.

7.2 Kirişin Boyutunun Pkr/Pkr* Oranına Etkisi

Bu grupta ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak grafiklerde b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranındaki değişimi içermektedir.

Tablo 7.2.1 d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

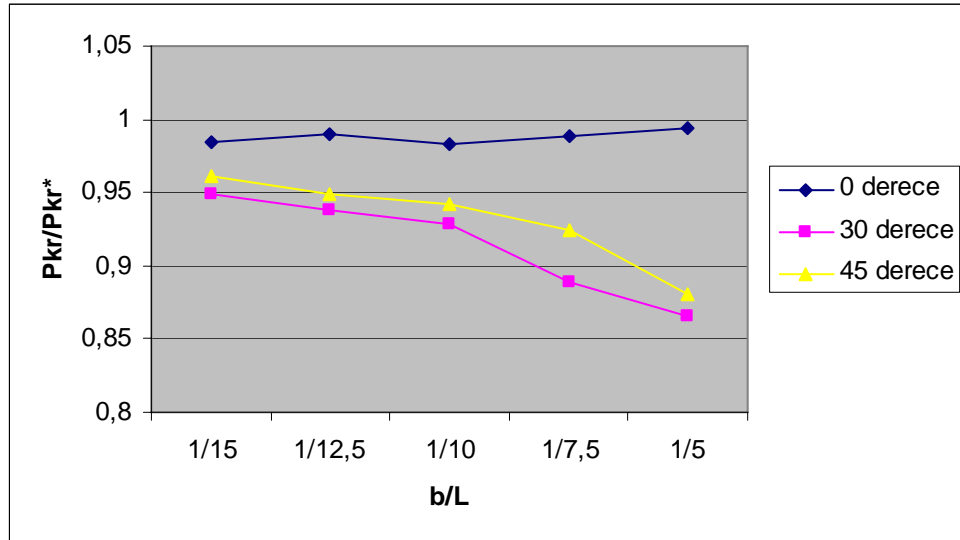
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=1/6 , d/b=5/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
b/L									
1/15	7,115	7,098	1,002395	7,9655	8,2876	0,961135	7,319	7,6113	0,961597
1/12,5	10,349	10,142	1,02041	11,373	12,055	0,943426	10,562	10,972	0,962632
1/10	16,144	15,846	1,018806	17,585	18,723	0,939219	16,477	17,164	0,959974
1/7,5	28,538	28,138	1,014216	31,146	33,735	0,923255	29,069	30,537	0,951927
1/5	63,899	62,687	1,019334	69,575	75,2	0,925199	64,364	68,737	0,936381



Şekil 7.2.1 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.2 d=7,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

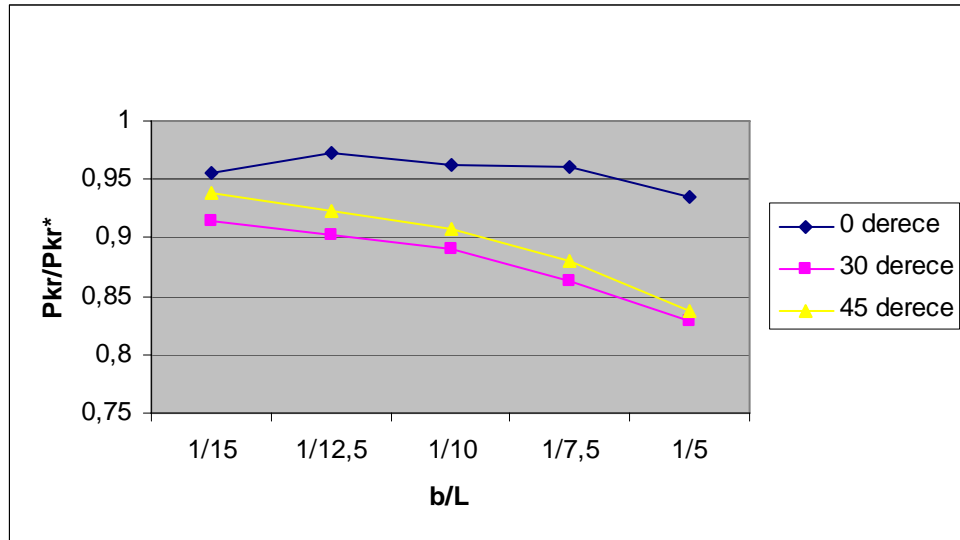
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=1/6 , d/b=7,5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,9853	7,098	0,984122	7,8587	8,2876	0,948248	7,3146	7,6113	0,961018
1/12,5	10,04	10,142	0,989943	11,307	12,055	0,937951	10,409	10,972	0,948688
1/10	15,58	15,846	0,983213	17,374	18,723	0,92795	16,18	17,164	0,942671
1/7,5	27,808	28,138	0,988272	30	33,735	0,889284	28,221	30,537	0,924158
1/5	62,288	62,687	0,993635	65,078	75,2	0,865399	60,549	68,737	0,880879



Şekil 7.2.2 b/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.3 d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

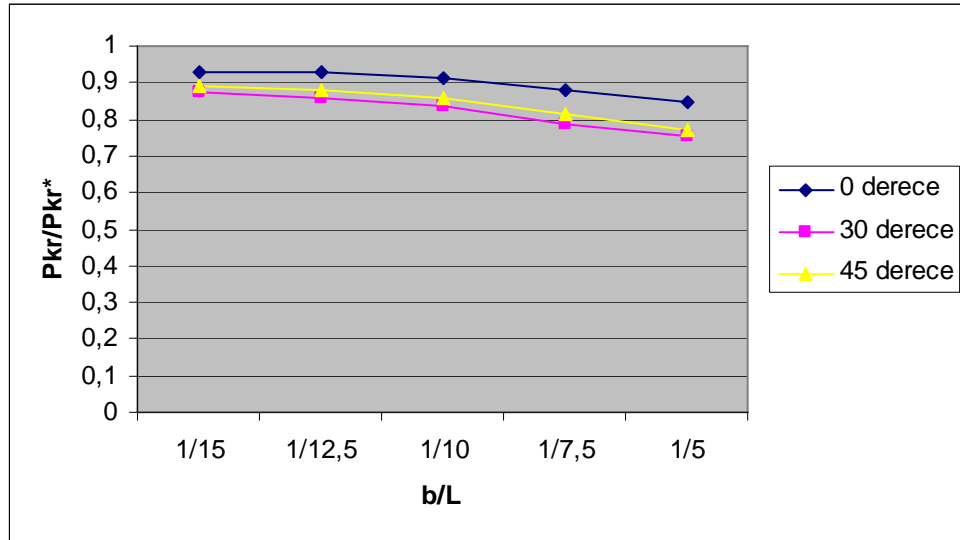
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=1/6 , d/b=10/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,7856	7,098	0,955988	7,5784	8,2876	0,914426	7,1414	7,6113	0,938263
1/12,5	9,8597	10,142	0,972165	10,881	12,055	0,902613	10,12	10,972	0,922348
1/10	15,24	15,846	0,961757	16,672	18,723	0,890456	15,584	17,164	0,907947
1/7,5	27,02	28,138	0,960267	29,098	33,735	0,862546	26,86	30,537	0,879589
1/5	58,65	62,687	0,935601	62,333	75,2	0,828896	57,543	68,737	0,837147



Şekil 7.2.3 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.4 d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

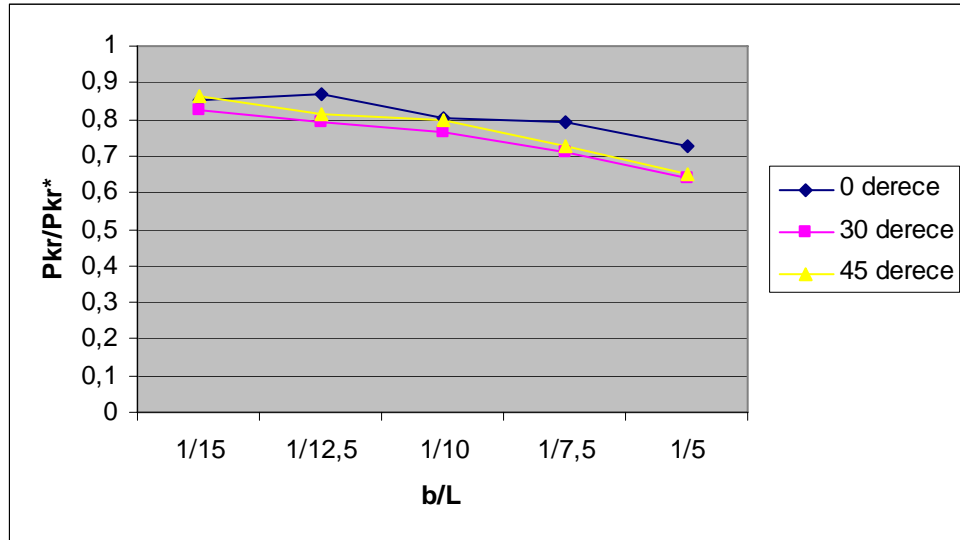
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=1/6 , d/b=12,5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,5824	7,098	0,92736	7,2414	8,2876	0,873763	6,7861	7,6113	0,891582
1/12,5	9,4268	10,142	0,929481	10,315	12,055	0,855662	9,6776	10,972	0,882027
1/10	14,429	15,846	0,910577	15,663	18,723	0,836565	14,744	17,164	0,859007
1/7,5	24,794	28,138	0,881157	26,499	33,735	0,785505	24,907	30,537	0,815633
1/5	53,24	62,687	0,849299	56,836	75,2	0,755798	52,908	68,737	0,769716



Şekil 7.2.4 b/L değerine bağılı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.2.5 d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

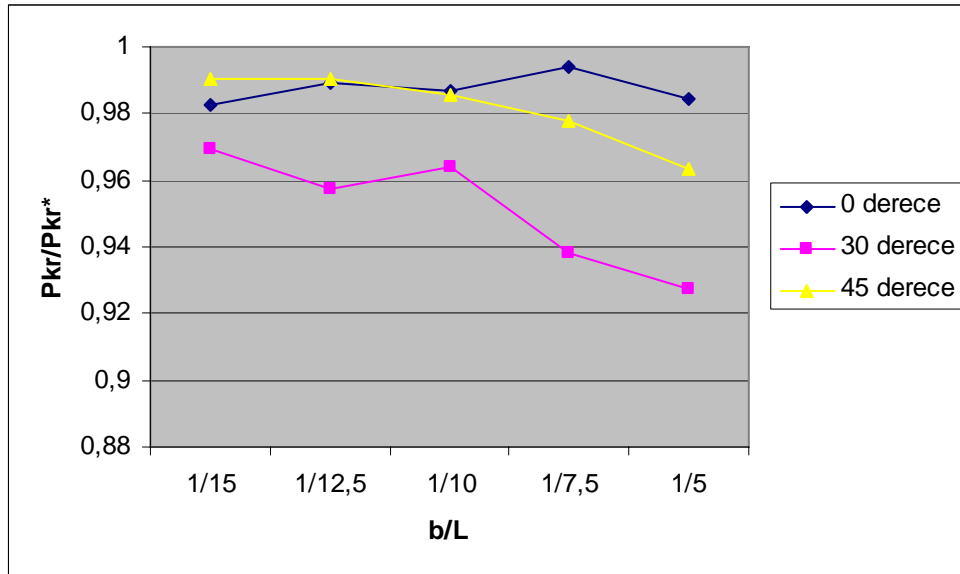
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a)									
a/L=1/6 , d/b=12,5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,0592	7,098	0,853649	6,8455	8,2876	0,825993	6,552	7,6113	0,860825
1/12,5	8,7926	10,142	0,866949	9,5583	12,055	0,792891	8,9114	10,972	0,812195
1/10	12,771	15,846	0,805945	14,346	18,723	0,766223	13,723	17,164	0,799522
1/7,5	22,241	28,138	0,790426	23,949	33,735	0,709916	22,156	30,537	0,725546
1/5	45,729	62,687	0,729481	48,263	75,2	0,641795	44,733	68,737	0,650785



Şekil 7.2.5 b/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.6 d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

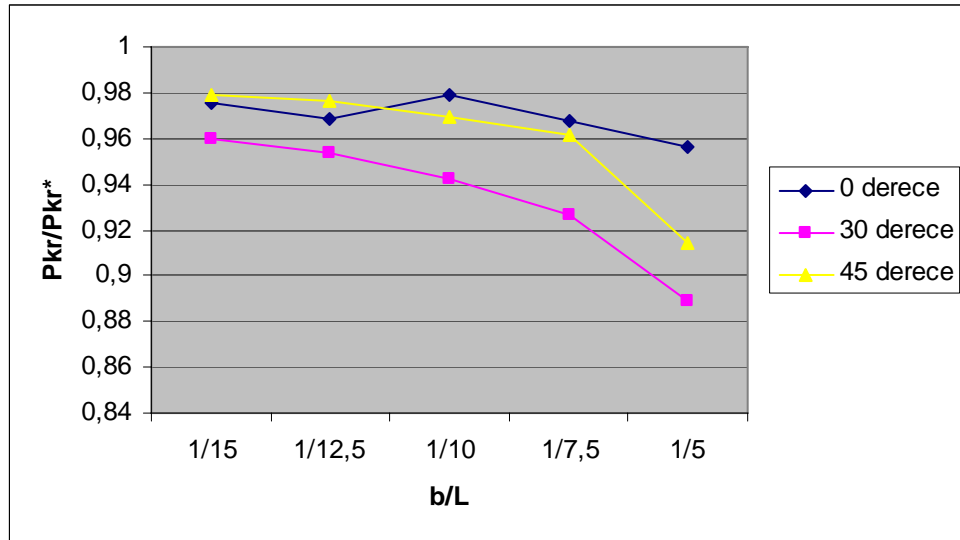
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=2/6 , d/b=5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,973	7,098	0,982389	8,0317	8,2876	0,969123	7,5364	7,6113	0,990159
1/12,5	10,033	10,142	0,989253	11,541	12,055	0,957362	7,5364	7,6113	0,990159
1/10	15,635	15,846	0,986684	18,046	18,723	0,963841	16,912	17,164	0,985318
1/7,5	27,962	28,138	0,993745	31,655	33,735	0,938343	29,858	30,537	0,977765
1/5	61,707	62,687	0,984367	69,754	75,2	0,92758	66,205	68,737	0,963164



Şekil 7.2.6 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.7 d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

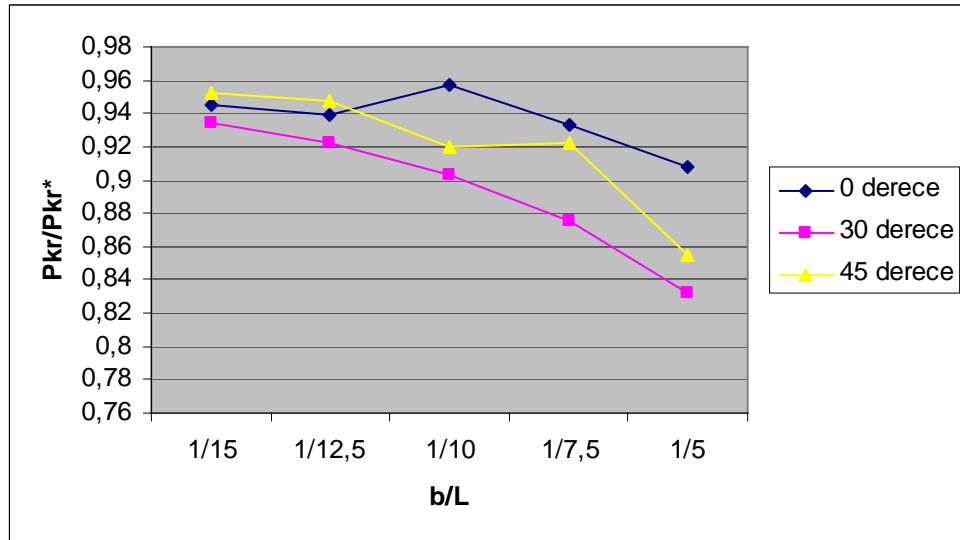
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=2/6 , d/b=7,5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,922	7,098	0,975204	7,9545	8,2876	0,959807	7,4514	7,6113	0,978992
1/12,5	9,8222	10,142	0,968468	11,494	12,055	0,953463	10,715	10,972	0,976577
1/10	15,508	15,846	0,97867	17,635	18,723	0,94189	16,633	17,164	0,969063
1/7,5	27,233	28,138	0,967837	31,259	33,735	0,926604	29,352	30,537	0,961195
1/5	59,925	62,687	0,95594	66,835	75,2	0,888763	62,852	68,737	0,914384



Şekil 7.2.7 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.8 d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

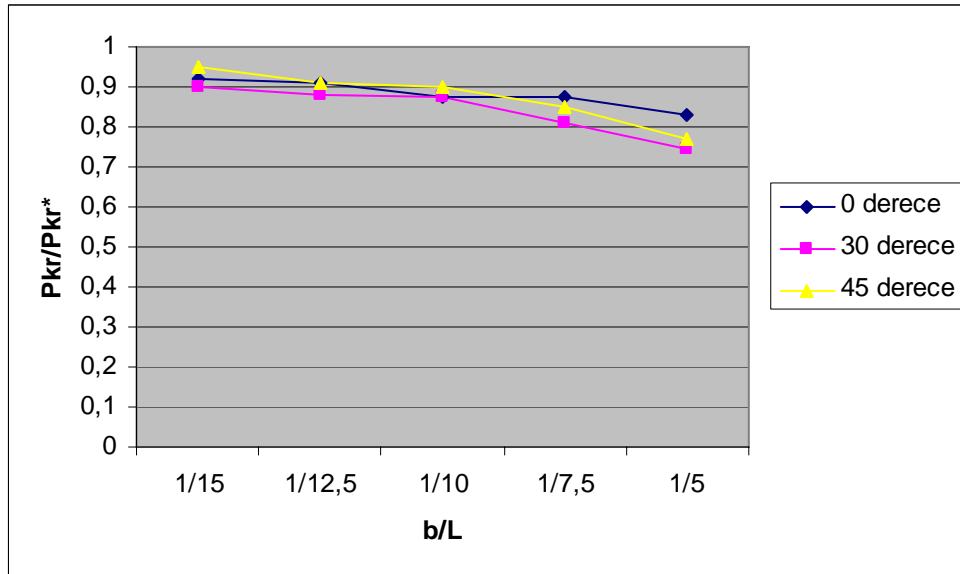
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=2/6 , d/b=10/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,7081	7,098	0,945069	7,7389	8,2876	0,933793	7,2516	7,6113	0,952741
1/12,5	9,5297	10,142	0,939627	11,124	12,055	0,922771	10,402	10,972	0,94805
1/10	15,165	15,846	0,957024	16,908	18,723	0,90306	15,797	17,164	0,920357
1/7,5	26,24	28,138	0,932547	29,517	33,735	0,874967	28,168	30,537	0,922422
1/5	56,928	62,687	0,908131	62,615	75,2	0,832646	58,748	68,737	0,854678



Şekil 7.2.8 b/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.9 d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

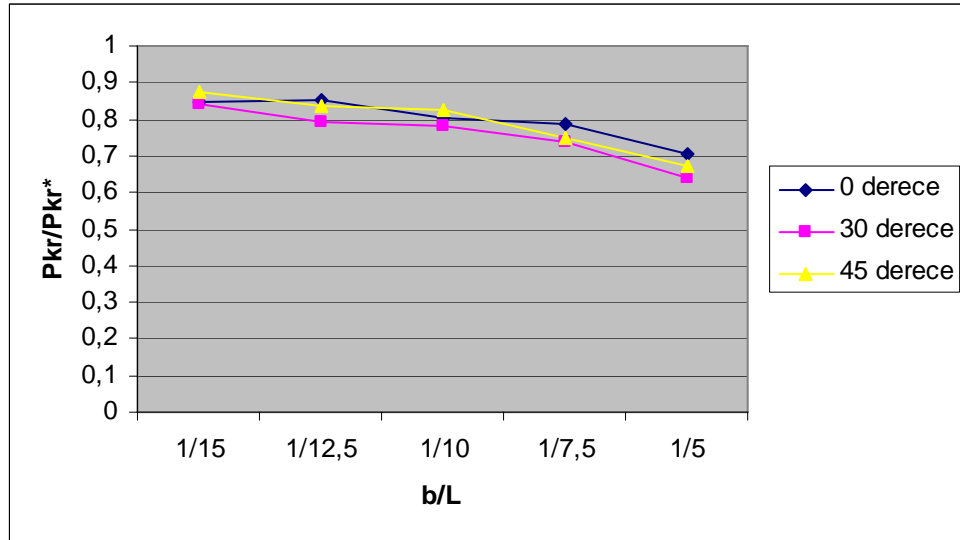
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=2/6 , d/b=12,5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,5332	7,098	0,920428	7,4511	8,2876	0,899066	7,2159	7,6113	0,948051
1/12,5	9,2475	10,142	0,911802	10,589	12,055	0,878391	9,9798	10,972	0,90957
1/10	13,882	15,846	0,876057	16,345	18,723	0,87299	15,426	17,164	0,898742
1/7,5	24,625	28,138	0,875151	27,335	33,735	0,810286	25,966	30,537	0,850313
1/5	51,995	62,687	0,829438	55,887	75,2	0,743178	52,789	68,737	0,767985



Şekil 7.2.9 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.10 d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

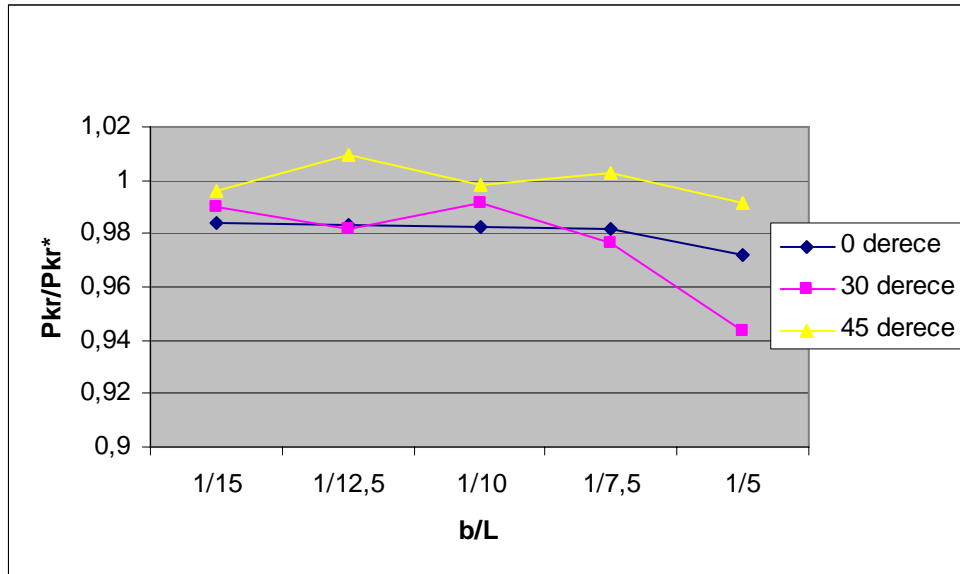
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=2/6 , d/b=15/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	5,9985	7,098	0,845097	6,9717	8,2876	0,841221	6,6703	7,6113	0,876368
1/12,5	8,6549	10,142	0,853372	9,5477	12,055	0,792012	9,1965	10,972	0,838179
1/10	12,731	15,846	0,80342	14,581	18,723	0,778775	14,191	17,164	0,826789
1/7,5	22,069	28,138	0,784313	24,817	33,735	0,735645	22,82	30,537	0,74729
1/5	44,1	62,687	0,703495	47,885	75,2	0,636769	46,133	68,737	0,671152



Şekil 7.2.10 b/L değerine bağılı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.2.11 d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

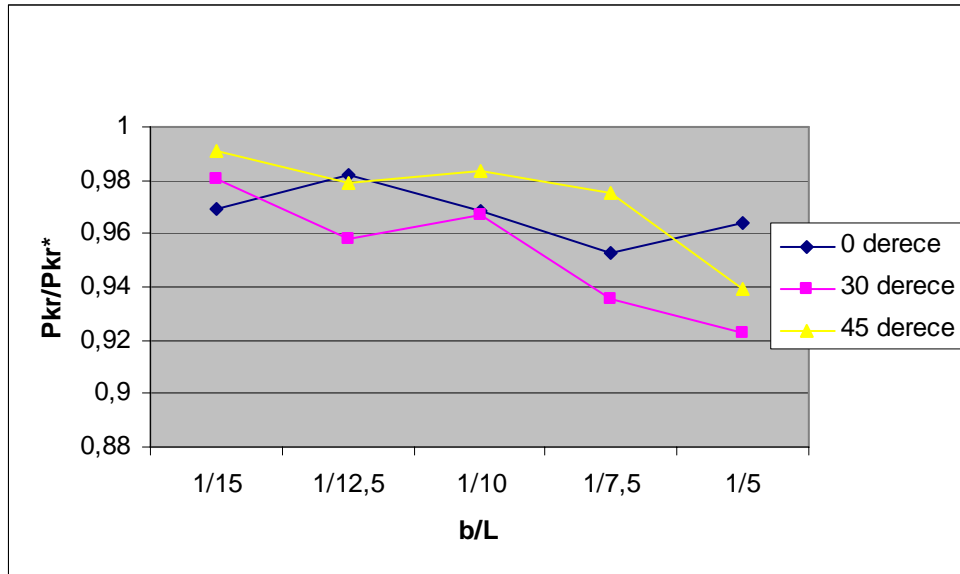
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=3/6 , d/b=5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,9853	7,098	0,984122	8,2062	8,2876	0,990178	7,5795	7,6113	0,995822
1/12,5	9,9714	10,142	0,983179	11,834	12,055	0,981667	11,078	10,972	1,009661
1/10	15,564	15,846	0,982204	18,557	18,723	0,991134	17,136	17,164	0,998369
1/7,5	27,623	28,138	0,981697	32,94	33,735	0,976434	30,62	30,537	1,002718
1/5	60,934	62,687	0,972036	70,945	75,2	0,943418	68,146	68,737	0,991402



Şekil 7.2.11 b/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.12 $d=7,5\text{mm}$ olan model için elde edilen sonuçlar

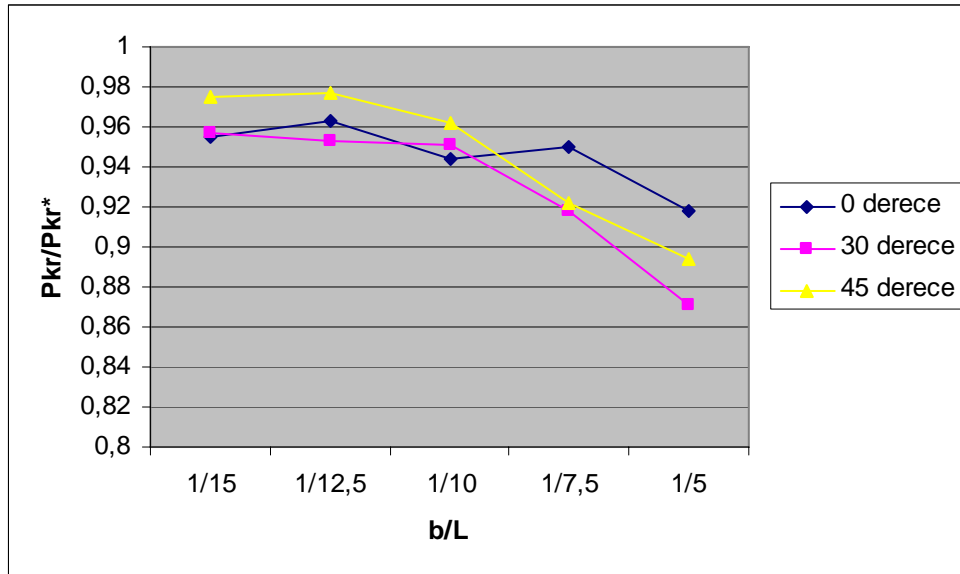
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) $a/L=3/6$, $d/b=7,5/20$									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,8802	7,098	0,969315	8,1237	8,2876	0,980223	7,5445	7,6113	0,991224
1/12,5	9,9597	10,142	0,982025	11,547	12,055	0,95786	10,745	10,972	0,979311
1/10	15,35	15,846	0,968699	18,11	18,723	0,96726	16,88	17,164	0,983454
1/7,5	26,812	28,138	0,952875	31,561	33,735	0,935557	29,782	30,537	0,975276
1/5	60,408	62,687	0,963645	69,388	75,2	0,922713	64,543	68,737	0,938985



Şekil 7.2.12 b/L değerine bağılı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.2.13 d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

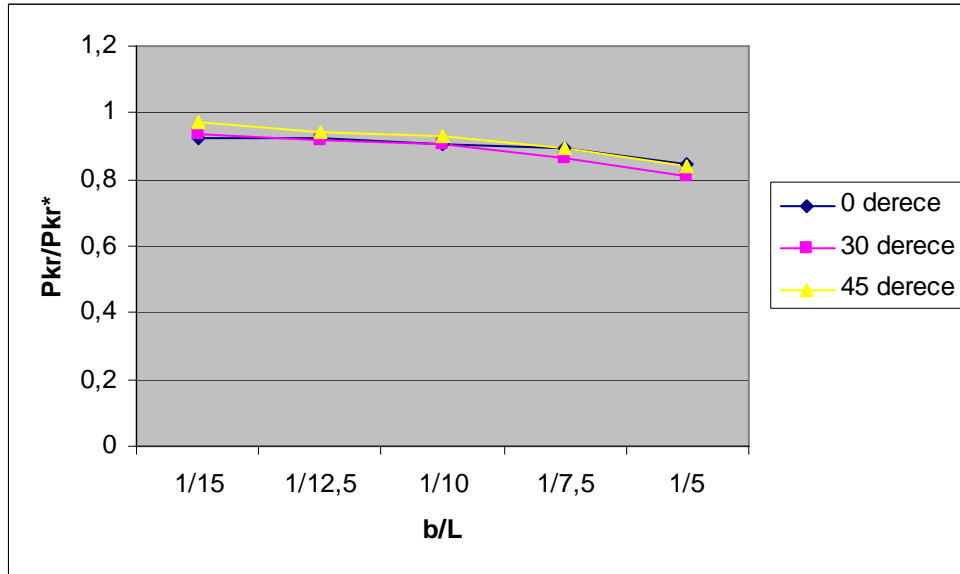
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=3/6 , d/b=10/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,7798	7,098	0,95517	7,9297	8,2876	0,956815	7,4216	7,6113	0,975077
1/12,5	9,7685	10,142	0,963173	11,484	12,055	0,952634	10,724	10,972	0,977397
1/10	14,96	15,846	0,944087	17,801	18,723	0,950756	16,506	17,164	0,961664
1/7,5	26,725	28,138	0,949783	30,981	33,735	0,918364	28,166	30,537	0,922356
1/5	57,551	62,687	0,918069	65,5	75,2	0,871011	61,43	68,737	0,893696



Şekil 7.2.13 b/L değeriine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

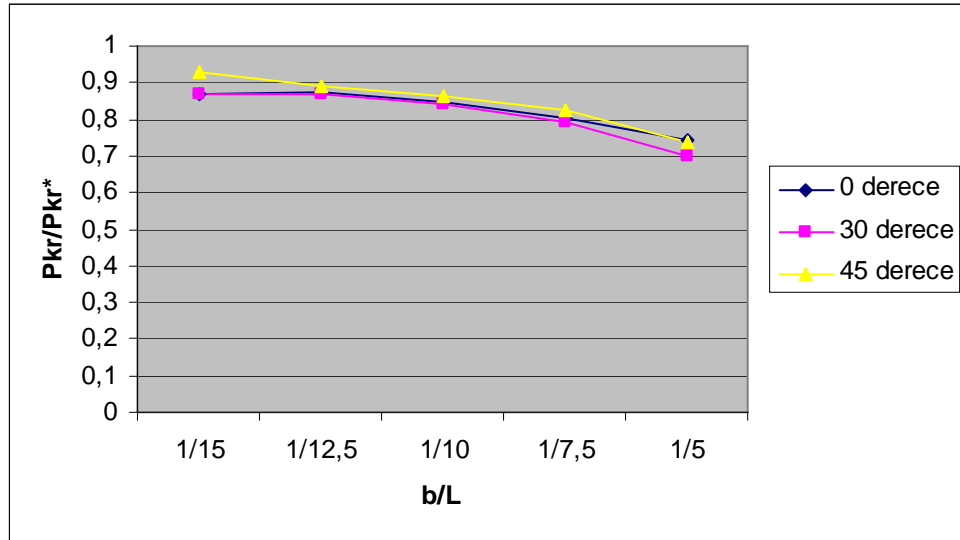
Tablo 7.2.14 $d=12,5\text{mm}$ olan model için elde edilen sonuçlar

Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a)									
$a/L=3/6$, $d/b=12,5/20$									
	Fiber oryantasyon açısı			Fiber oryantasyon açısı			Fiber oryantasyon açısı		
	0°			30°			45°		
b/L	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,5726	7,098	0,925979	7,7361	8,2876	0,933455	7,3946	7,6113	0,971529
1/12,5	9,3885	10,142	0,925705	11,076	12,055	0,918789	10,317	10,972	0,940303
1/10	14,329	15,846	0,904266	16,985	18,723	0,907173	15,931	17,164	0,928164
1/7,5	25,113	28,138	0,892494	29,049	33,735	0,861094	27,331	30,537	0,895013
1/5	53,221	62,687	0,848996	60,726	75,2	0,807527	57,732	68,737	0,839897

Şekil 7.2.14 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr^* oranı değişimi

Tablo 7.2.15 d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

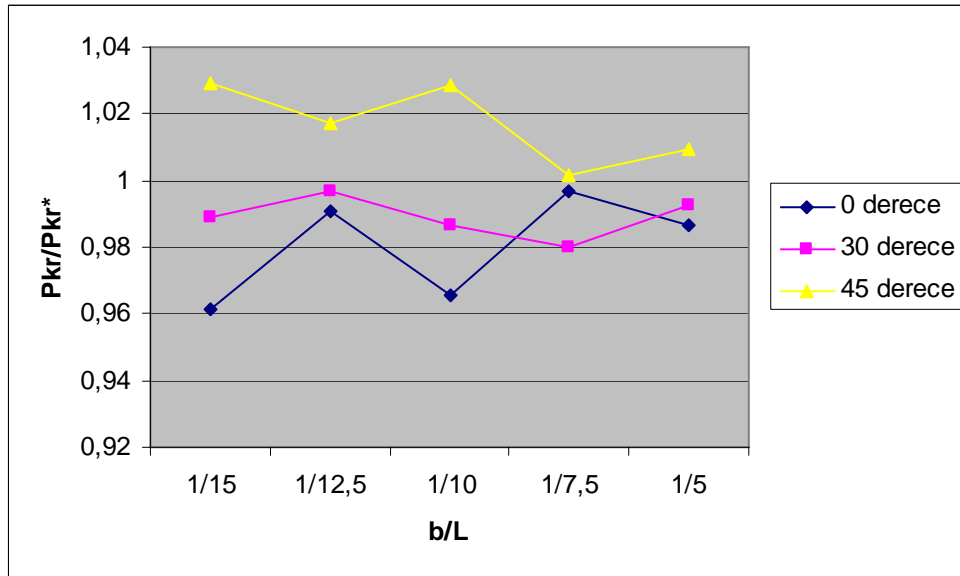
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=3/6 , d/b=15/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15									
1/12,5	6,1616	7,098	0,868076	7,198	8,2876	0,868526	7,0668	7,6113	0,928462
1/10	8,8526	10,142	0,872865	10,477	12,055	0,8691	9,7894	10,972	0,892217
1/7,5	13,406	15,846	0,846018	15,729	18,723	0,84009	14,862	17,164	0,865882
1/5	22,663	28,138	0,805423	26,753	33,735	0,793034	25,142	30,537	0,823329
1/15	46,592	62,687	0,743248	52,444	75,2	0,697394	50,712	68,737	0,737769



Şekil 7.2.15 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.16 d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

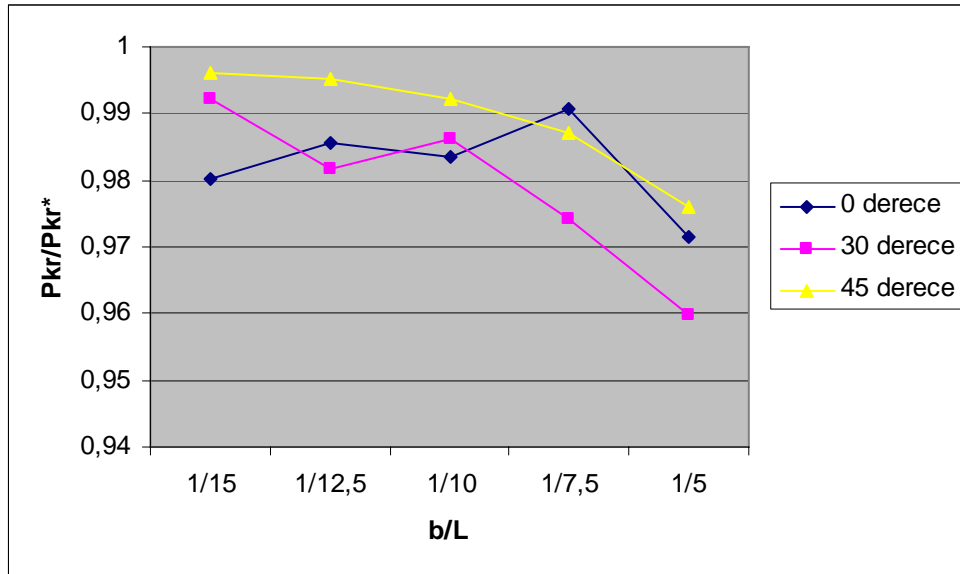
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=4/6 , d/b=5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,8219	7,098	0,961102	8,1947	8,2876	0,98879	7,8354	7,6113	1,029443
1/12,5	10,049	10,142	0,99083	12,014	12,055	0,996599	11,163	10,972	1,017408
1/10	15,297	15,846	0,965354	18,473	18,723	0,986647	17,659	17,164	1,028839
1/7,5	28,051	28,138	0,996908	33,064	33,735	0,98011	30,583	30,537	1,001506
15	61,835	62,687	0,986409	74,635	75,2	0,992487	69,389	68,737	1,009485



Şekil 7.2.16 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.17 $d=7,5\text{mm}$ olan model için elde edilen sonuçlar

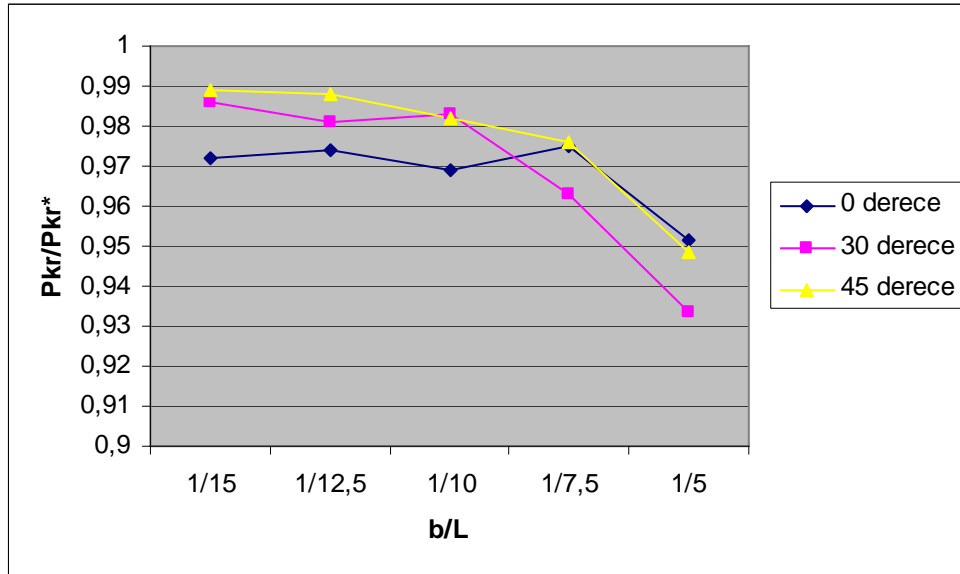
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) $a/L=4/6$, $d/b=7,5/20$									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,957	7,098	0,980135	8,2231	8,2876	0,992217	7,5823	7,6113	0,99619
1/12,5	9,996	10,142	0,985604	11,833	12,055	0,981584	10,919	10,972	0,99517
1/10	15,585	15,846	0,983529	18,467	18,723	0,986327	17,029	17,164	0,992135
1/7,5	27,876	28,138	0,990689	32,865	33,735	0,974211	30,146	30,537	0,987196
1/5	60,907	62,687	0,971605	72,166	75,2	0,959654	67,078	68,737	0,975865



Şekil 7.2.17 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.18 d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

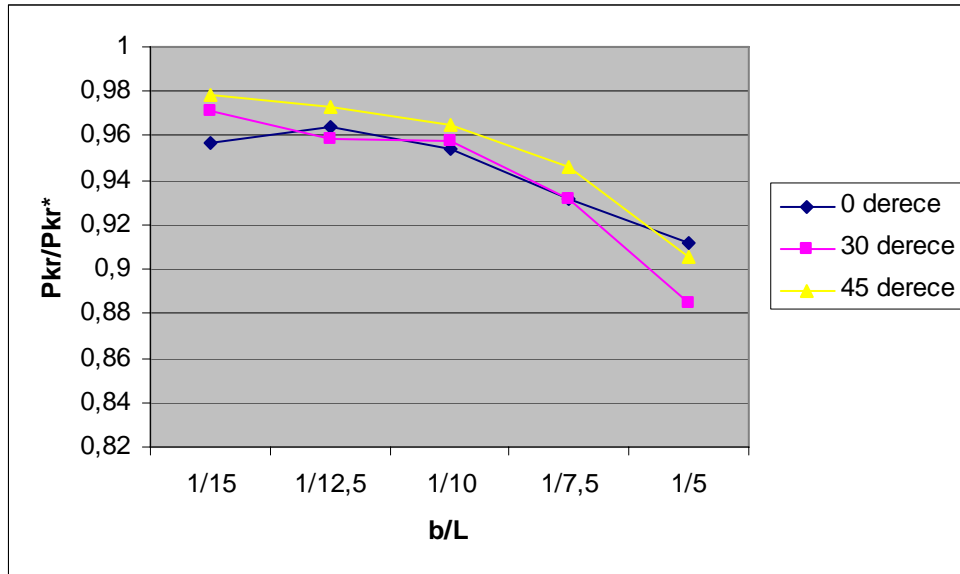
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a)									
a/L=4/6 , d/b=10/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,8983	7,098	0,971865	8,1703	8,2876	0,985846	7,5278	7,6113	0,989029
1/12,5	9,8758	10,142	0,973753	11,824	12,055	0,980838	10,841	10,972	0,988061
1/10	15,356	15,846	0,969077	18,405	18,723	0,983016	16,856	17,164	0,982055
1/7,5	27,436	28,138	0,975052	32,494	33,735	0,963213	29,806	30,537	0,976062
1/5	59,652	62,687	0,951585	70,211	75,2	0,933657	65,208	68,737	0,948659



Şekil 7.2.18 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.19 $d=12,5\text{mm}$ olan model için elde edilen sonuçlar

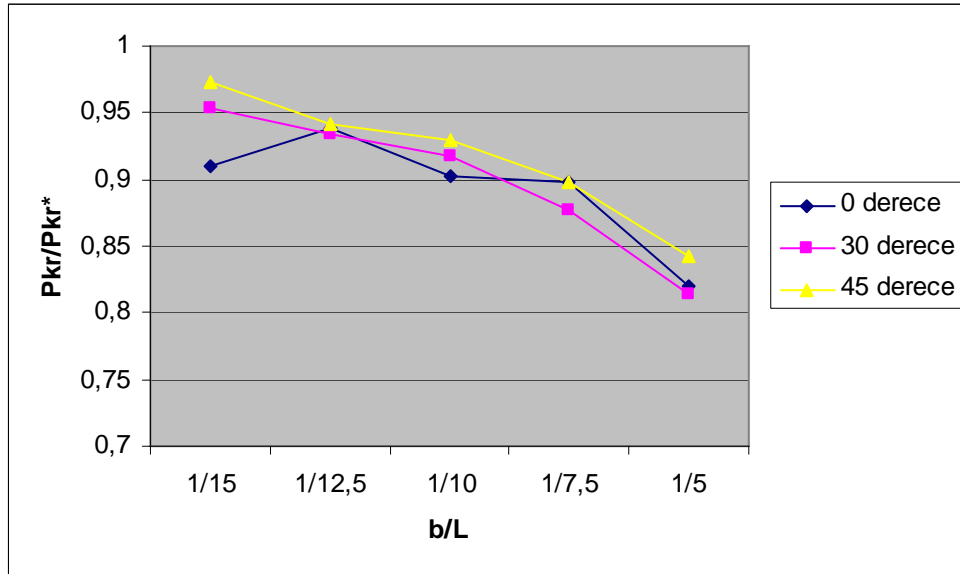
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a)									
$a/L=4/6$, $d/b=12,5/20$									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,7905	7,098	0,956678	8,0515	8,2876	0,971512	7,4464	7,6113	0,978335
1/12,5	9,7796	10,142	0,964267	11,554	12,055	0,95844	10,68	10,972	0,973387
1/10	15,116	15,846	0,953932	17,938	18,723	0,958073	16,564	17,164	0,965043
1/7,5	26,214	28,138	0,931623	31,427	33,735	0,931584	28,889	30,537	0,946033
1/5	57,134	62,687	0,911417	66,542	75,2	0,884867	62,219	68,737	0,905175



Şekil 7.2.19 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.20 d=15mm olan model için elde edilen sonuçlar

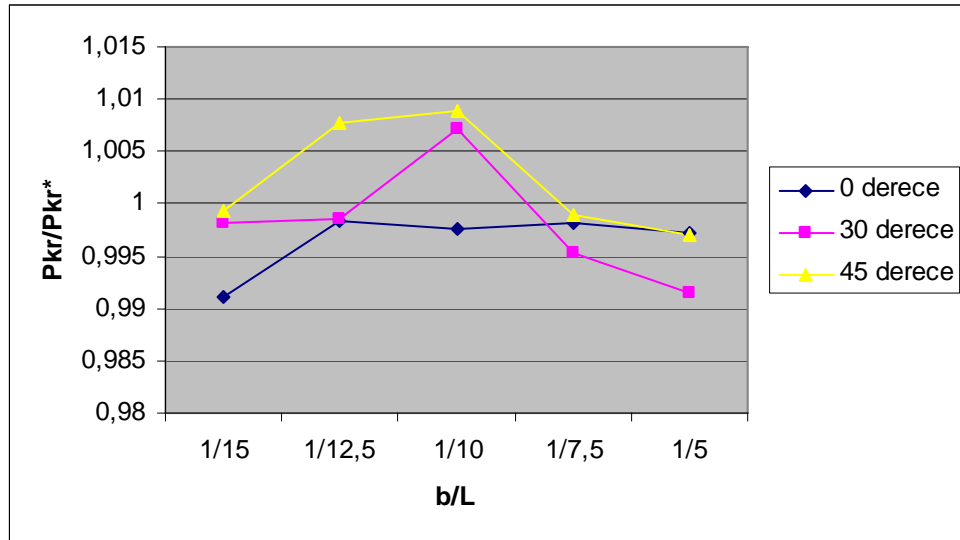
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=4/6 , d/b=15/20									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
b/L									
1/15	6,4579	7,098	0,90982	7,9031	8,2876	0,953605	7,4069	7,6113	0,973145
1/12,5	9,5192	10,142	0,938592	11,261	12,055	0,934135	10,325	10,972	0,941032
1/10	14,311	15,846	0,90313	17,187	18,723	0,917962	15,956	17,164	0,92962
1/7,5	25,276	28,138	0,898287	29,602	33,735	0,877486	27,427	30,537	0,898156
1/5	51,443	62,687	0,820633	61,191	75,2	0,81371	57,94	68,737	0,842923



Şekil 7.2.20 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.21 d=5mm olan model için elde edilen sonuçlar

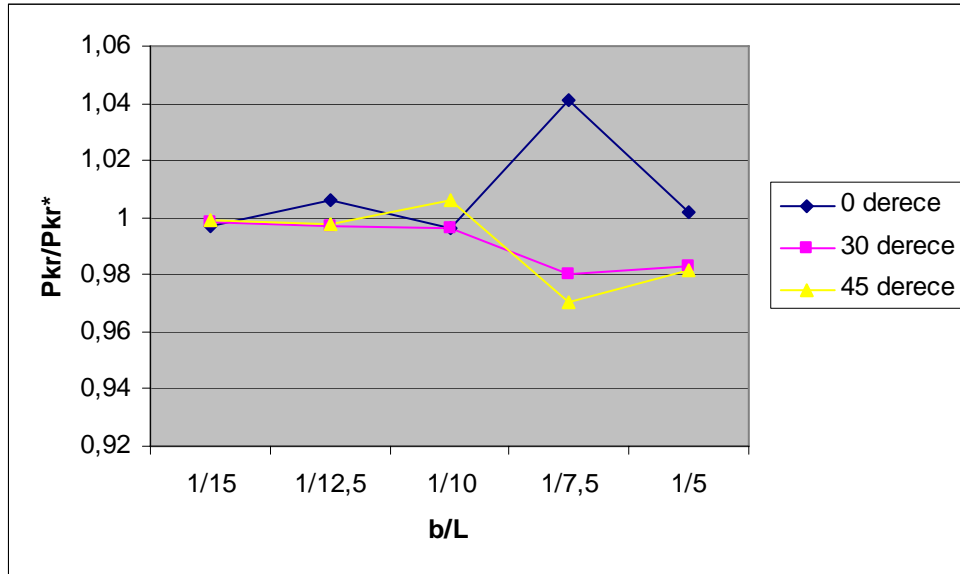
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=5/6 , d/b=5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	7,0348	7,098	0,991096	8,2718	8,2876	0,998094	7,6063	7,6113	0,999343
1/12,5	10,125	10,142	0,998324	12,038	12,055	0,99859	11,056	10,972	1,007656
1/10	15,809	15,846	0,997665	18,858	18,723	1,00721	17,316	17,164	1,008856
1/7,5	28,087	28,138	0,998188	33,574	33,735	0,995228	30,506	30,537	0,998985
1/5	62,512	62,687	0,997208	74,562	75,2	0,991516	68,528	68,737	0,996959



Şekil 7.2.21 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.22 $d=7,5\text{mm}$ olan model için elde edilen sonuçlar

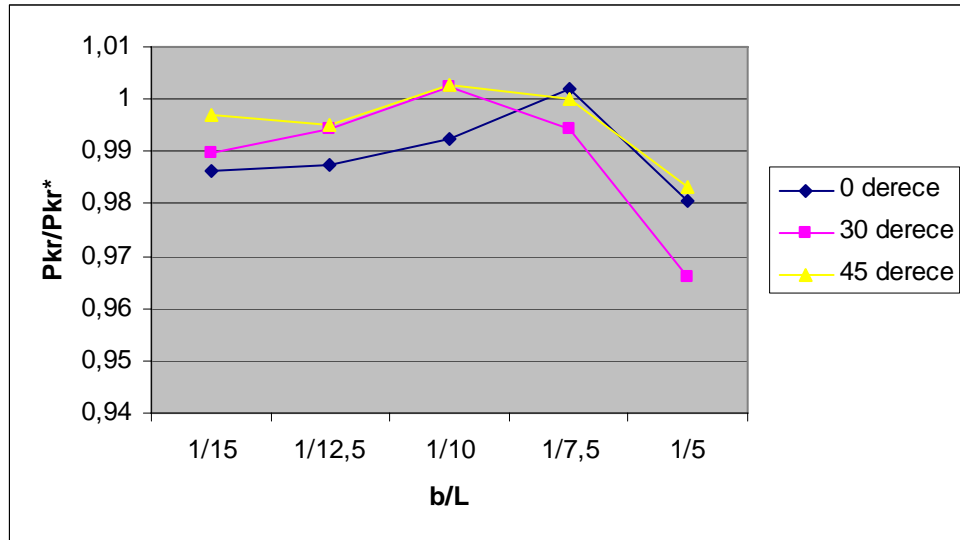
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) $a/L=5/6$, $d/b=7,5/20$									
	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
b/L									
1/15	7,0748	7,098	0,996731	8,2726	8,2876	0,99819	7,6026	7,6113	0,998857
1/12,5	10,204	10,142	1,006113	12,016	12,055	0,996765	10,944	10,972	0,997448
1/10	15,783	15,846	0,996024	18,652	18,723	0,996208	17,272	17,164	1,006292
1/7,5	29,296	28,138	1,041154	33,067	33,735	0,980199	29,625	30,537	0,970135
1/5	62,802	62,687	1,001835	73,917	75,2	0,982939	67,464	68,737	0,98148



Şekil 7.2.22 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.23 d=10mm olan model için elde edilen sonuçlar

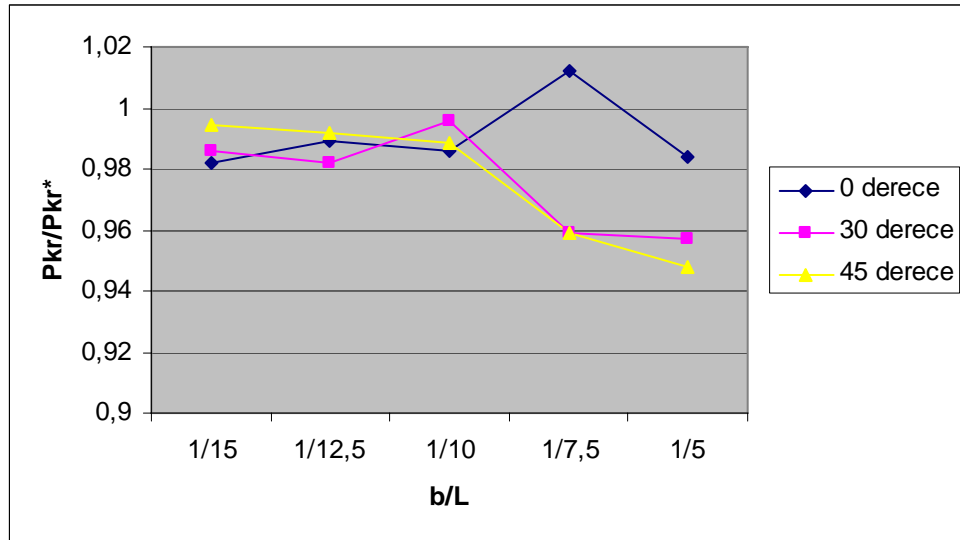
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) a/L=5/6 , d/b=10/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	7,001	7,098	0,986334	8,201	8,2876	0,989551	7,5896	7,6113	0,997149
1/12,5	10,013	10,142	0,987281	11,986	12,055	0,994276	10,919	10,972	0,99517
1/10	15,727	15,846	0,99249	18,765	18,723	1,002243	17,209	17,164	1,002622
1/7,5	28,188	28,138	1,001777	33,54	33,735	0,99422	30,534	30,537	0,999902
1/5	61,457	62,687	0,980379	72,658	75,2	0,966197	67,597	68,737	0,983415



Şekil 7.2.23 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.24 d=12,5mm olan model için elde edilen sonuçlar

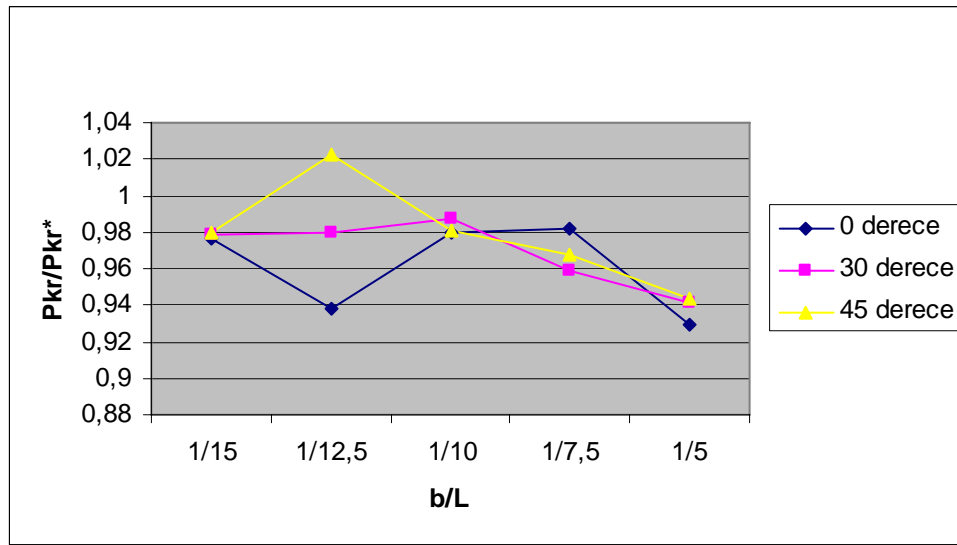
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a)									
a/L=5/6 , d/b=12,5/20									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,9696	7,098	0,98191	8,1715	8,2876	0,985991	7,57	7,6113	0,994574
1/12,5	10,029	10,142	0,988858	11,841	12,055	0,982248	10,879	10,972	0,991524
1/10	15,622	15,846	0,985864	18,648	18,723	0,995994	16,97	17,164	0,988697
1/7,5	28,471	28,138	1,011835	32,359	33,735	0,959212	29,293	30,537	0,959263
1/5	61,686	62,687	0,984032	71,982	75,2	0,957207	65,138	68,737	0,947641



Şekil 7.2.24 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.2.25 $d=12,5\text{mm}$ olan model için elde edilen sonuçlar

Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) $b=20\text{mm}$, $d=15\text{mm}$, $a/L=5/6$									
b/L	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
1/15	6,931	7,098	0,976543	8,114	8,287	0,979101	7,456	7,6113	0,979675
1/12,5	9,517	10,142	0,938454	11,809	12,05	0,979594	11,22	10,972	1,022603
1/10	15,53	15,84	0,980121	18,48	18,72	0,987502	16,83	17,164	0,980774
1/7,5	27,618	28,138	0,98152	32,35	33,73	0,959152	29,56	30,537	0,968104
1/5	58,262	62,687	0,929411	70,80	75,2	0,941516	64,85	68,737	0,943495

Şekil 7.2.25 b/L değerine bağlı olarak Pkr/Pkr^* oranı değişimi

Kirişin boyutları için şunları söyleyebiliriz. Kirişin boyutlarının (L/b), Pkr/Pkr^* oranına etkisi;

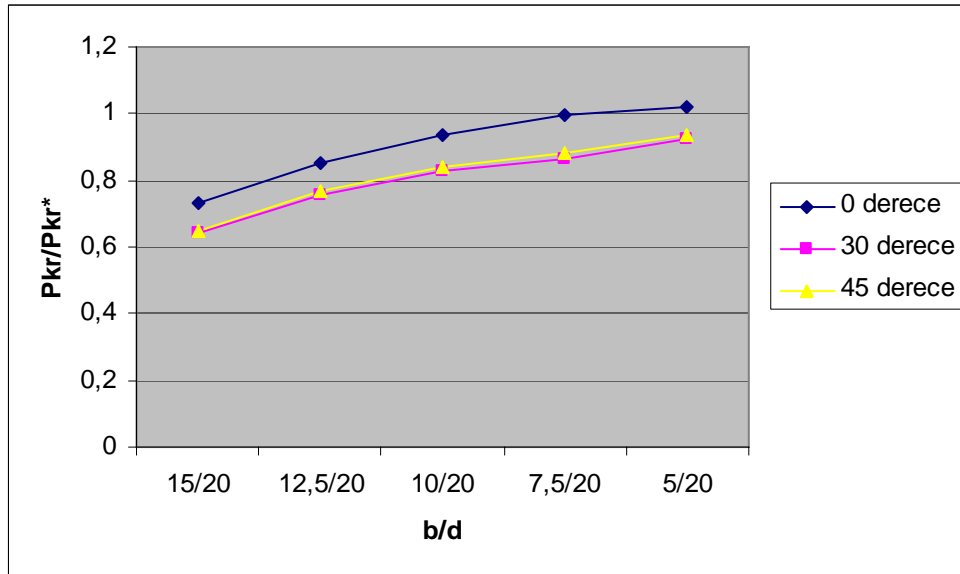
Delik çapının küçük değerlerinde (5mm, 7.5mm,10mm) de 0 derecelik oryantasyon açısında Pkr/Pkr^* oranında önemsenebilir bir değişimin olmadığı görülmektedir. 30 ve 45 derece fiber yönlendirme açılarda; kirişin boyu arttıkça Pkr/Pkr^* oranı artmaktadır. Delik çapının daha büyük değerlerinde 0, 30 ve 45 derece fiber yönlendirme açılarda; kirişin boyu arttıkça Pkr/Pkr^* oranı artmaktadır

7.3 Kirişteki Deliğin Boyutunun Pkr/Pkr* Oranına Etkisi

Bu grupta ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* değişimini içermektedir

Tablo 7.3.1 L=100mm, olan model için elde edilen sonuçlar

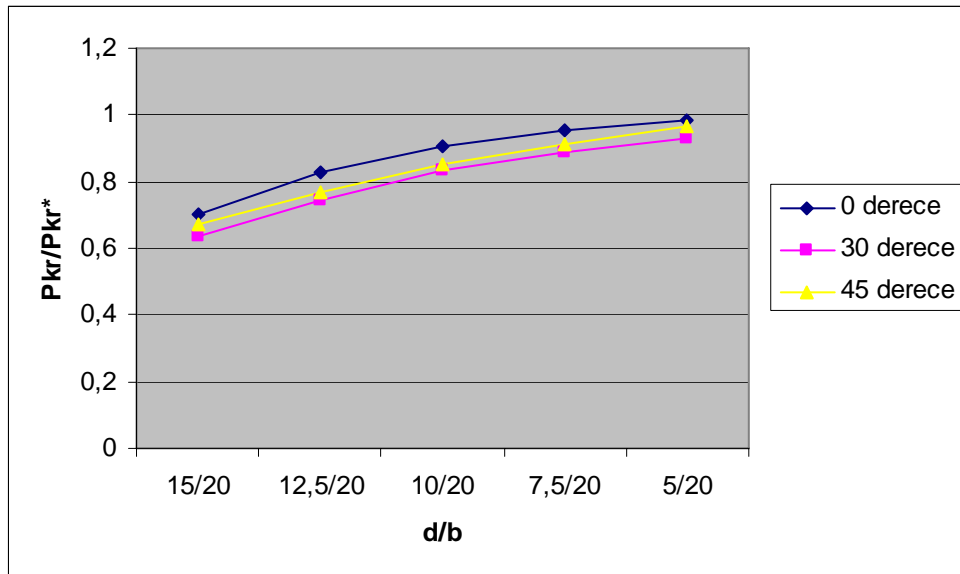
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin Çapı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, a/L=1/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	45,729	62,687	0,729481	48,263	75,2	0,641795	64,364	68,737	0,650785
12,5/20	53,24	62,687	0,849299	56,836	75,2	0,755798	60,549	68,737	0,769716
10/20	58,65	62,687	0,935601	62,333	75,2	0,828896	57,543	68,737	0,837147
7,5/20	62,288	62,687	0,993635	65,078	75,2	0,865399	52,908	68,737	0,880879
5/20	63,899	62,687	1,019334	69,575	75,2	0,925199	44,733	68,737	0,936381



Şekil 7.3.1 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.2 L=100mm, olan model için elde edilen sonuçlar

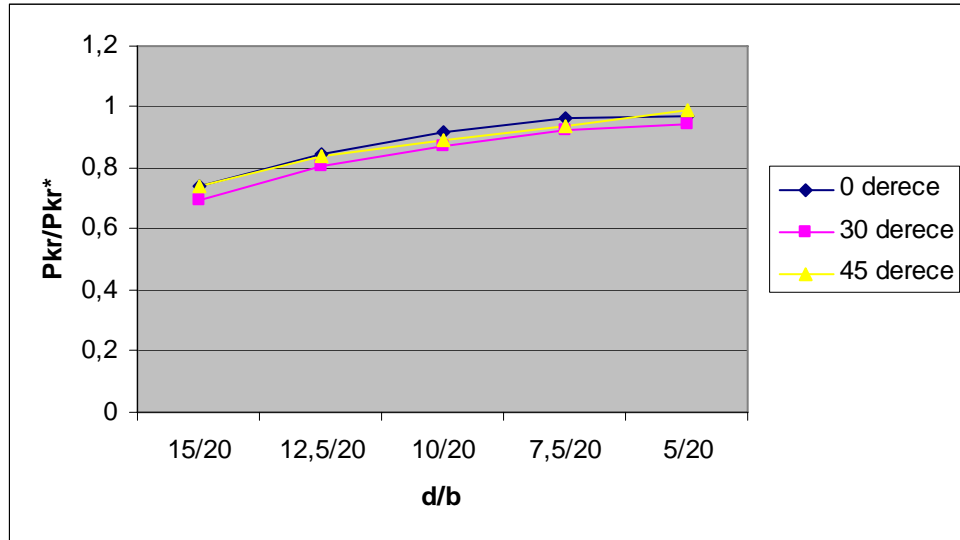
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, a/L=2/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	44,1	62,687	0,703495	47,885	75,2	0,636769	46,133	68,737	0,671152
12,5/20	51,995	62,687	0,829438	55,887	75,2	0,743178	52,789	68,737	0,767985
10/20	56,928	62,687	0,908131	62,615	75,2	0,832646	58,748	68,737	0,854678
7,5/20	59,925	62,687	0,95594	66,835	75,2	0,888763	62,852	68,737	0,914384
5/20	61,707	62,687	0,984367	69,754	75,2	0,92758	66,205	68,737	0,963164



Şekil 7.3.2 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.3 L=100mm, olan model için elde edilen sonuçlar

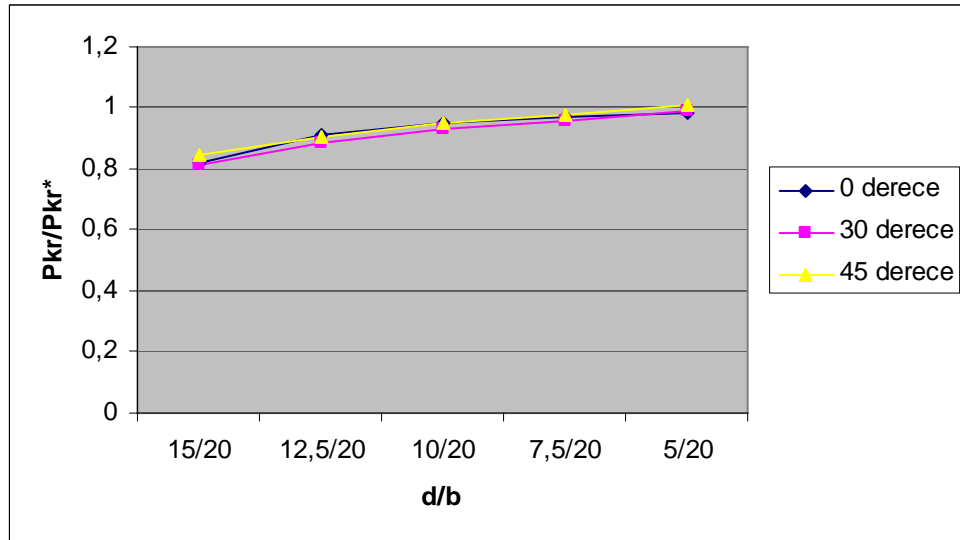
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, a/L=3/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	46,592	62,687	0,743248	52,444	75,2	0,697394	50,712	68,737	0,737769
12,5/20	53,221	62,687	0,848996	60,726	75,2	0,807527	57,732	68,737	0,839897
10/20	57,551	62,687	0,918069	65,5	75,2	0,871011	61,43	68,737	0,893696
7,5/20	60,408	62,687	0,963645	69,388	75,2	0,922713	64,543	68,737	0,938985
5/20	60,934	62,687	0,972036	70,945	75,2	0,943418	68,146	68,737	0,991402



Şekil 7.3.3 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.4 L=100mm, olan model için elde edilen sonuçlar

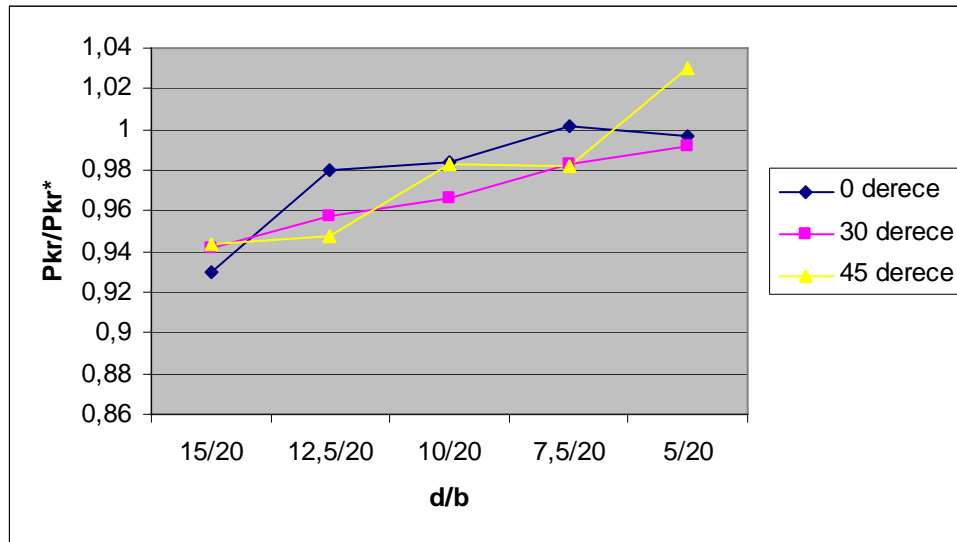
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, a/L=4/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	51,443	62,687	0,820633	61,191	75,2	0,81371	57,94	68,737	0,842923
12,5/20	57,134	62,687	0,911417	66,542	75,2	0,884867	62,219	68,737	0,905175
10/20	59,652	62,687	0,951585	70,211	75,2	0,933657	65,208	68,737	0,948659
7,5/20	60,907	62,687	0,971605	72,166	75,2	0,959654	67,078	68,737	0,975865
5/20	61,835	62,687	0,986409	74,635	75,2	0,992487	69,389	68,737	1,009485



Şekil 7.3.4 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.5 L=100mm, olan model için elde edilen sonuçlar

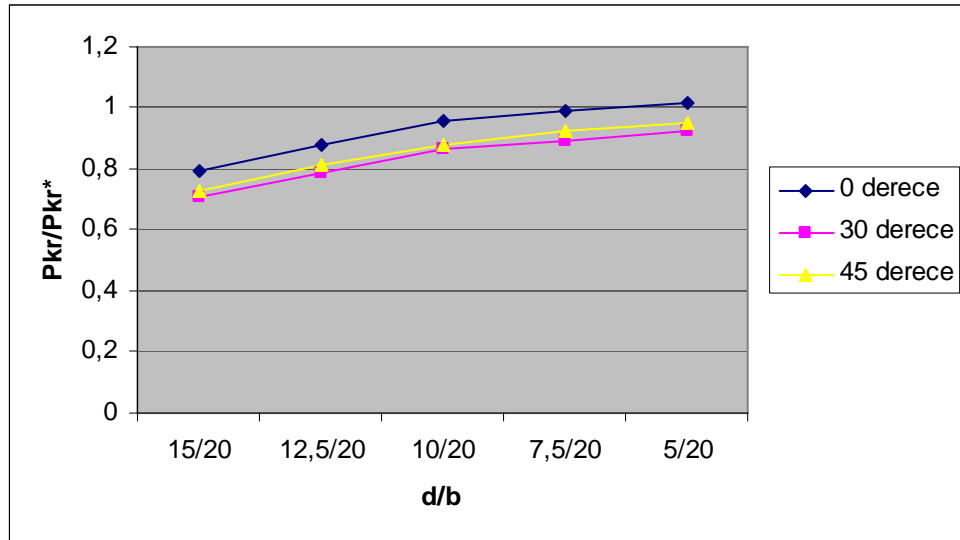
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/5, a/L=5/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	58,262	62,687	0,929411	70,802	75,2	0,941516	64,853	68,737	0,943495
12,5/20	61,457	62,687	0,980379	71,982	75,2	0,957207	65,138	68,737	0,947641
10/20	61,686	62,687	0,984032	72,658	75,2	0,966197	67,597	68,737	0,983415
7,5/20	62,802	62,687	1,001835	73,917	75,2	0,982939	67,464	68,737	0,98148
5/20	62,512	62,687	0,997208	74,562	75,2	0,991516	70,802	68,737	1,030042



Şekil 7.3.5 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.6 L=150mm, olan model için elde edilen sonuçlar

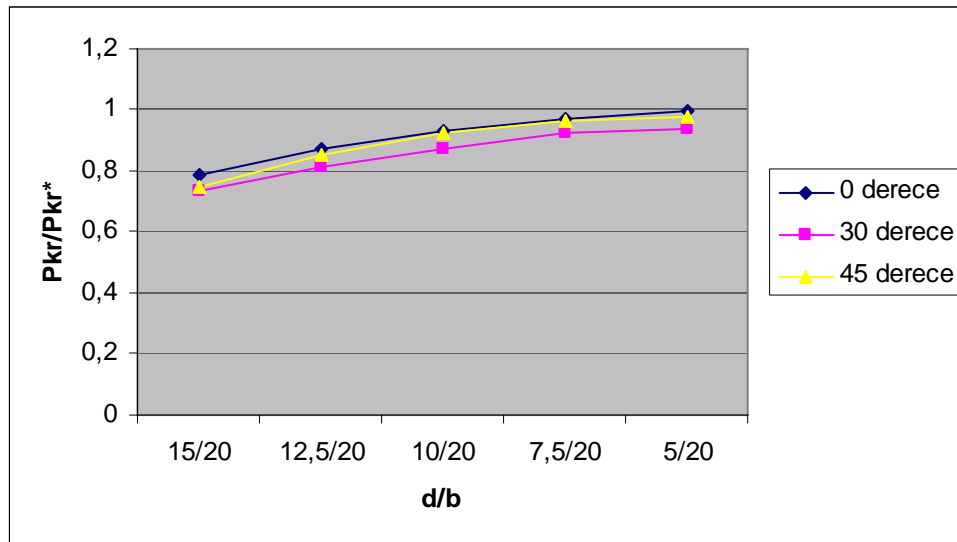
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, a/L=1/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	22,241	28,138	0,790426	23,949	33,735	0,709916	22,156	30,537	0,725546
12,5/20	24,794	28,138	0,881157	26,499	33,735	0,785505	24,907	30,537	0,815633
10/20	27,02	28,138	0,960267	29,098	33,735	0,862546	26,86	30,537	0,879589
7,5/20	27,808	28,138	0,988272	30	33,735	0,889284	28,221	30,537	0,924158
5/20	28,538	28,138	1,014216	31,146	33,735	0,923255	29,069	30,537	0,951927



Şekil 7.3.6 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.7 L=150mm, olan model için elde edilen sonuçlar

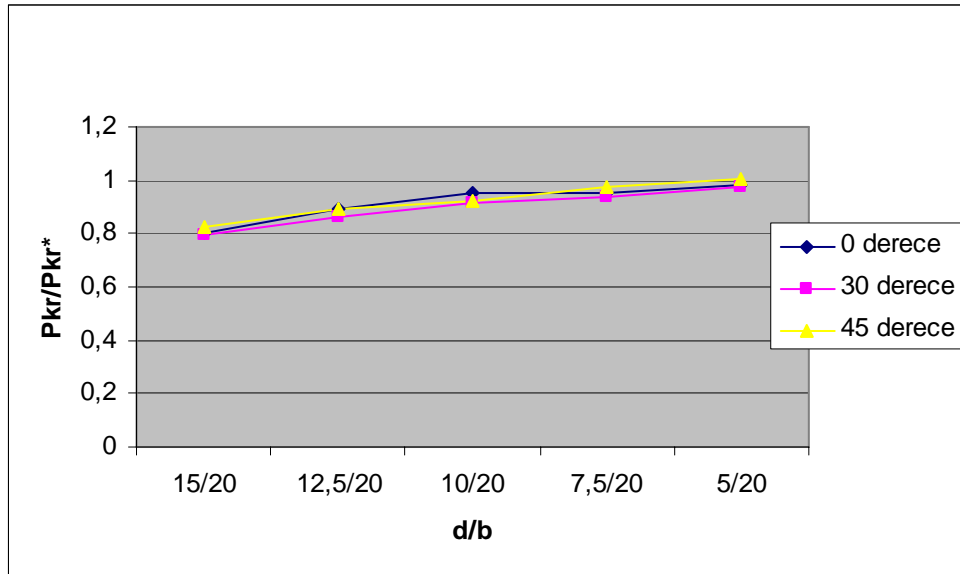
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, a/L=2/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	22,069	28,138	0,784313	24,817	33,735	0,735645	22,82	30,537	0,74729
12,5/20	24,625	28,138	0,875151	27,335	33,735	0,810286	25,966	30,537	0,850313
10/20	26,24	28,138	0,932547	29,517	33,735	0,874967	28,168	30,537	0,922422
7,5/20	27,233	28,138	0,967837	31,259	33,735	0,926604	29,352	30,537	0,961195
5/20	27,962	28,138	0,993745	31,655	33,735	0,938343	29,858	30,537	0,977765



Şekil 7.3.7 d/b değerine bağılı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.3.8 L=150mm, olan model için elde edilen sonuçlar

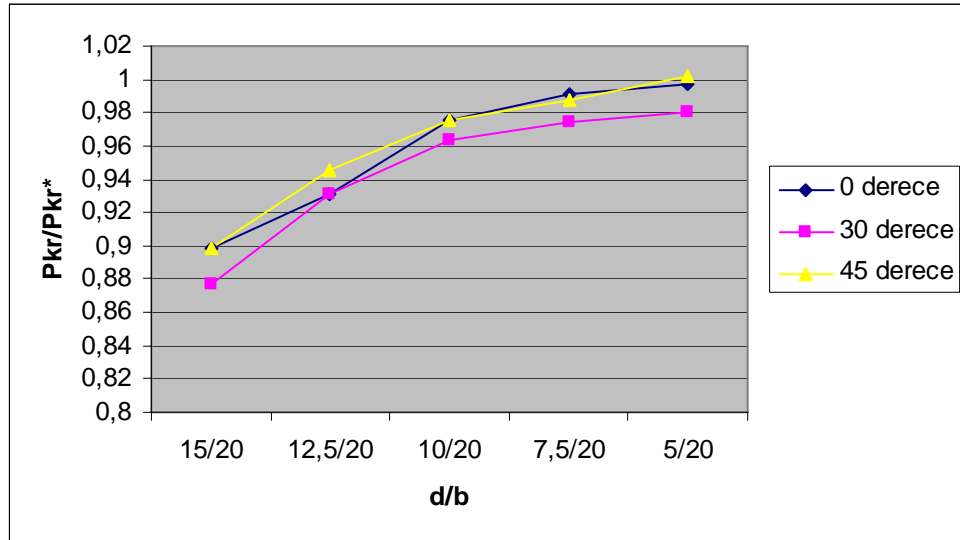
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, a/L=3/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	22,663	28,138	0,805423	26,753	33,735	0,793034	25,142	30,537	0,823329
12,5/20	25,113	28,138	0,892494	29,049	33,735	0,861094	27,331	30,537	0,895013
10/20	26,725	28,138	0,949783	30,981	33,735	0,918364	28,166	30,537	0,922356
7,5/20	26,812	28,138	0,952875	31,561	33,735	0,935557	29,782	30,537	0,975276
5/20	27,623	28,138	0,981697	32,94	33,735	0,976434	30,62	30,537	1,002718



Şekil 7.3.8 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.9 L=150mm, olan model için elde edilen sonuçlar

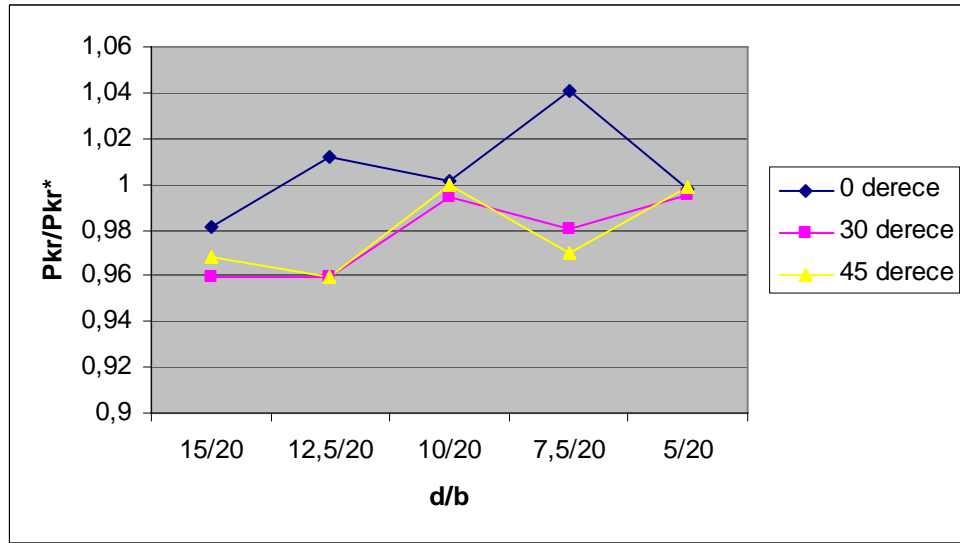
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, a/L=4/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	25,276	28,138	0,898287	29,602	33,735	0,877486	27,427	30,537	0,898156
12,5/20	26,214	28,138	0,931623	31,427	33,735	0,931584	28,889	30,537	0,946033
10/20	27,436	28,138	0,975052	32,494	33,735	0,963213	29,806	30,537	0,976062
7,5/20	27,876	28,138	0,990689	32,865	33,735	0,974211	30,146	30,537	0,987196
5/20	28,051	28,138	0,996908	33,064	33,735	0,98011	30,583	30,537	1,001506



Şekil 7.3.9 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.10 L=150mm, olan model için elde edilen sonuçlar

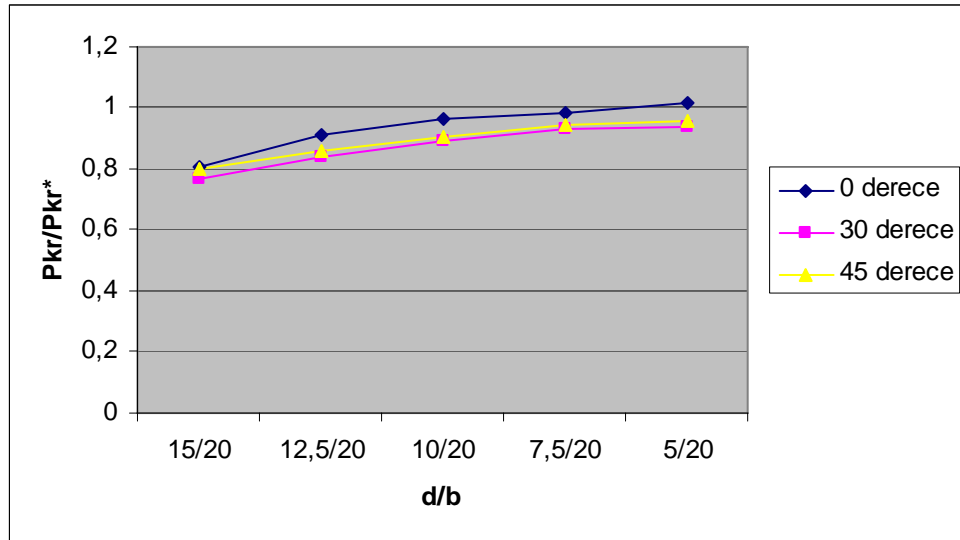
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/7,5, a/L=5/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	27,618	28,138	0,98152	32,357	33,735	0,959152	29,563	30,537	0,968104
12,5/20	28,471	28,138	1,011835	32,359	33,735	0,959212	29,293	30,537	0,959263
10/20	28,188	28,138	1,001777	33,54	33,735	0,99422	30,534	30,537	0,999902
7,5/20	29,296	28,138	1,041154	33,067	33,735	0,980199	29,625	30,537	0,970135
5/20	28,087	28,138	0,998188	33,574	33,735	0,995228	30,506	30,537	0,998985



Şekil 7.3.10 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.11 L=200mm, olan model için elde edilen sonuçlar

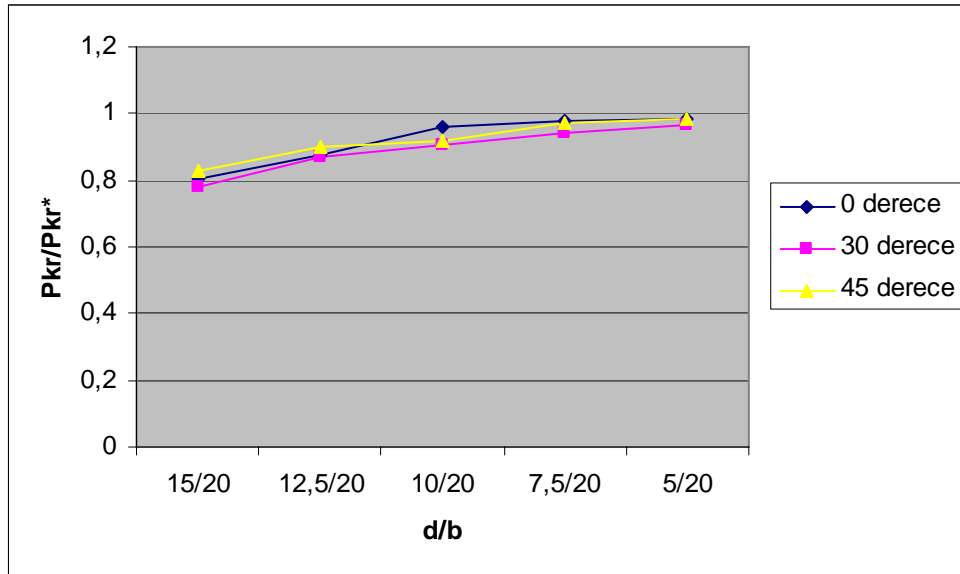
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, a/L=1/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	12,771	15,846	0,805945	14,346	18,723	0,766223	13,723	17,164	0,799522
12,5/20	14,429	15,846	0,910577	15,663	18,723	0,836565	14,744	17,164	0,859007
10/20	15,24	15,846	0,961757	16,672	18,723	0,890456	15,584	17,164	0,907947
7,5/20	15,58	15,846	0,983213	17,374	18,723	0,92795	16,18	17,164	0,942671
5/20	16,144	15,846	1,018806	17,585	18,723	0,939219	16,477	17,164	0,959974



Şekil 7.3.11 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.12 L=200mm, olan model için elde edilen sonuçlar

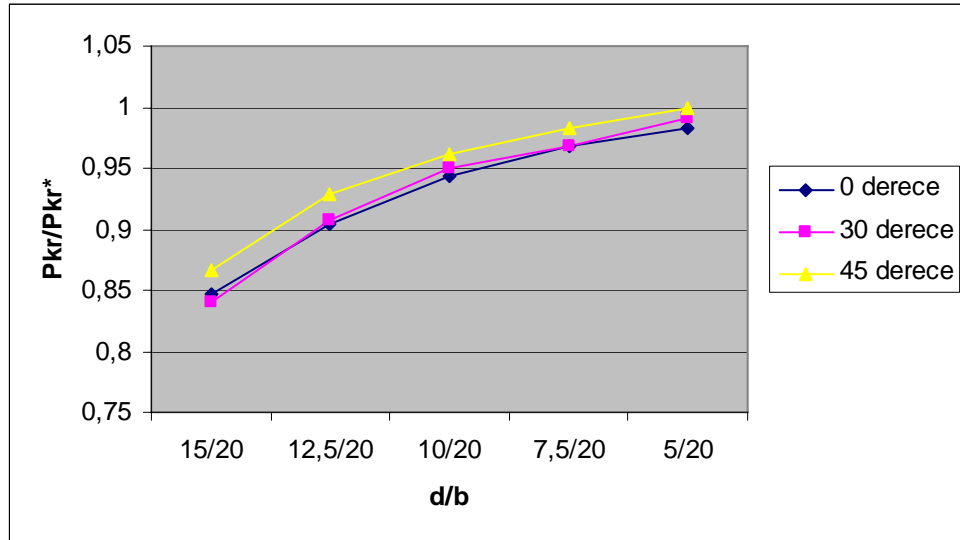
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, a/L=2/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	12,731	15,846	0,80342	14,581	18,723	0,778775	14,191	17,164	0,826789
12,5/20	13,882	15,846	0,876057	16,345	18,723	0,87299	15,426	17,164	0,898742
10/20	15,165	15,846	0,957024	16,908	18,723	0,90306	15,797	17,164	0,920357
7,5/20	15,508	15,846	0,97867	17,635	18,723	0,94189	16,633	17,164	0,969063
5/20	15,635	15,846	0,986684	18,046	18,723	0,963841	16,912	17,164	0,985318



Şekil 7.3.12 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.13 L=200mm, olan model için elde edilen sonuçlar

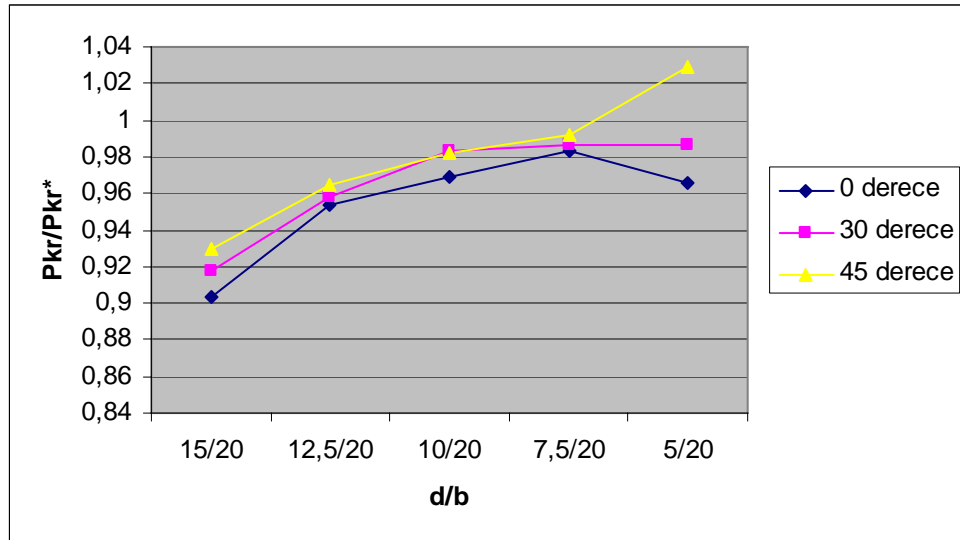
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, a/L=3/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	13,406	15,846	0,846018	15,729	18,723	0,84009	14,862	17,164	0,865882
12,5/20	14,329	15,846	0,904266	16,985	18,723	0,907173	15,931	17,164	0,928164
10/20	14,96	15,846	0,944087	17,801	18,723	0,950756	16,506	17,164	0,961664
7,5/20	15,35	15,846	0,968699	18,11	18,723	0,96726	16,88	17,164	0,983454
5/20	15,564	15,846	0,982204	18,557	18,723	0,991134	17,136	17,164	0,998369



Şekil 7.3.13 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.14 L=200mm, olan model için elde edilen sonuçlar

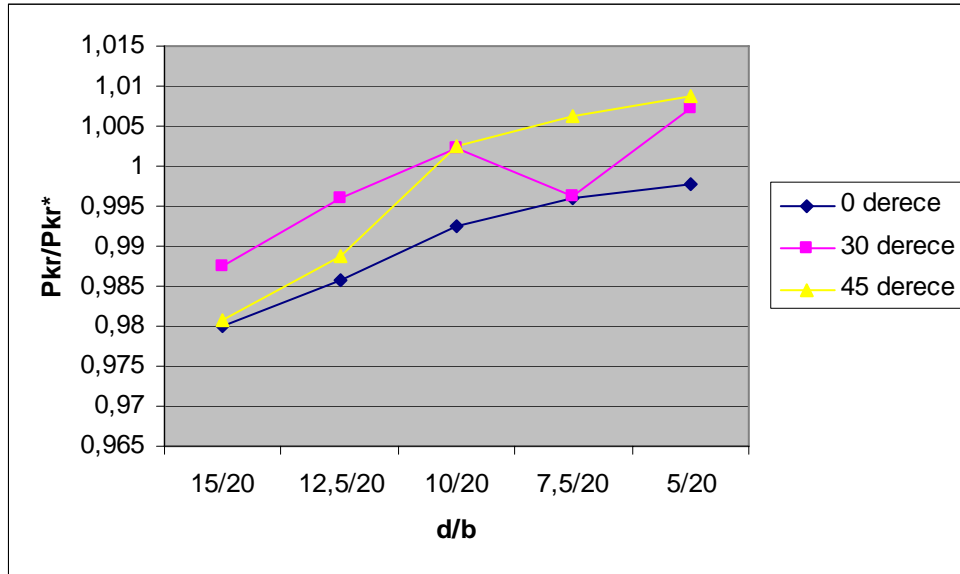
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, a/L=4/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	14,311	15,846	0,90313	17,187	18,723	0,917962	15,956	17,164	0,92962
12,5/20	15,116	15,846	0,953932	17,938	18,723	0,958073	16,564	17,164	0,965043
10/20	15,356	15,846	0,969077	18,405	18,723	0,983016	16,856	17,164	0,982055
7,5/20	15,585	15,846	0,983529	18,467	18,723	0,986327	17,029	17,164	0,992135
5/20	15,297	15,846	0,965354	18,473	18,723	0,986647	17,659	17,164	1,028839



Şekil 7.3.14 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.15 L=200mm, olan model için elde edilen sonuçlar

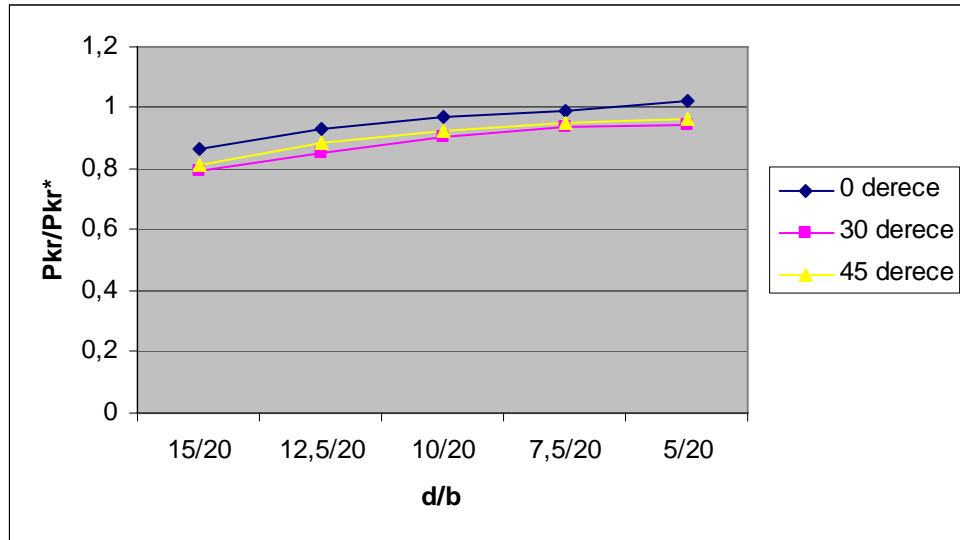
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/10, a/L=5/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	15,531	15,846	0,980121	18,489	18,723	0,987502	16,834	17,164	0,980774
12,5/20	15,622	15,846	0,985864	18,648	18,723	0,995994	16,97	17,164	0,988697
10/20	15,727	15,846	0,99249	18,765	18,723	1,002243	17,209	17,164	1,002622
7,5/20	15,783	15,846	0,996024	18,652	18,723	0,996208	17,272	17,164	1,006292
5/20	15,809	15,846	0,997665	18,858	18,723	1,00721	17,316	17,164	1,008856



Şekil 7.3.15 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.16 L=250mm, olan model için elde edilen sonuçlar

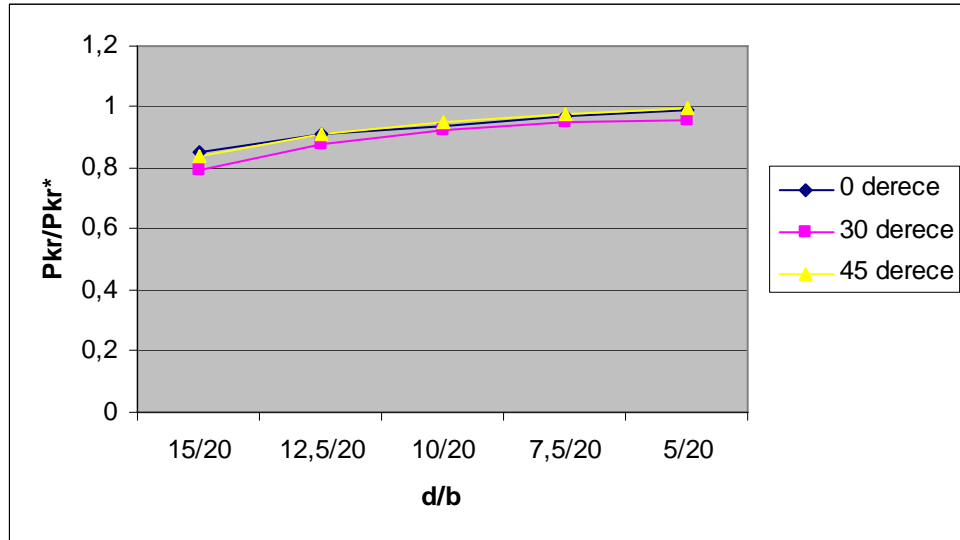
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, a/L=1/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	8,7926	10,142	0,866949	9,5583	12,055	0,792891	8,9114	10,972	0,812195
12,5/20	9,4268	10,142	0,929481	10,315	12,055	0,855662	9,6776	10,972	0,882027
10/20	9,8597	10,142	0,972165	10,881	12,055	0,902613	10,12	10,972	0,922348
7,5/20	10,04	10,142	0,989943	11,307	12,055	0,937951	10,409	10,972	0,948688
5/20	10,349	10,142	1,02041	11,373	12,055	0,943426	10,562	10,972	0,962632



Şekil 7.3.16 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.17 L=250mm, olan model için elde edilen sonuçlar

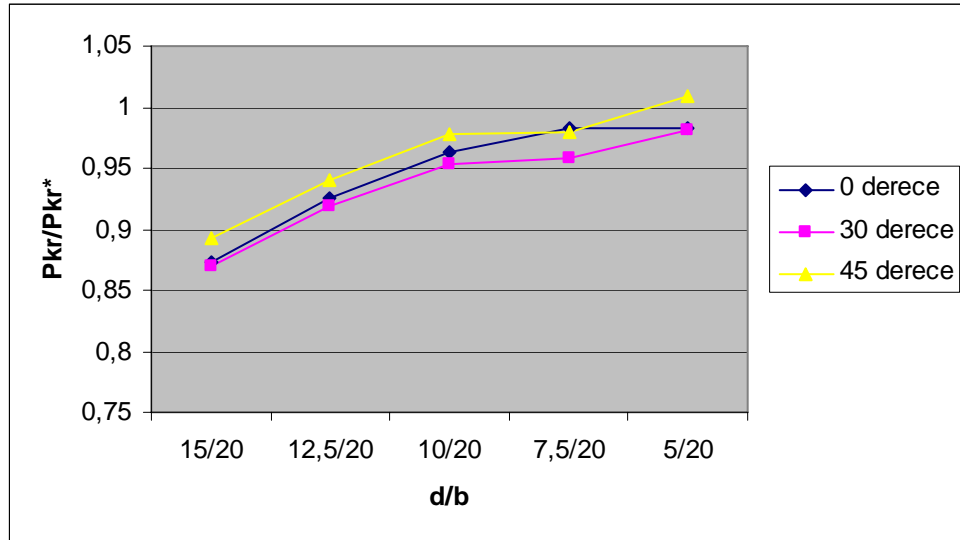
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, a/L=2/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	8,6549	10,142	0,853372	9,5477	12,055	0,792012	9,1965	10,972	0,838179
12,5/20	9,2475	10,142	0,911802	10,589	12,055	0,878391	9,9798	10,972	0,90957
10/20	9,5297	10,142	0,939627	11,124	12,055	0,922771	10,402	10,972	0,94805
7,5/20	9,8222	10,142	0,968468	11,494	12,055	0,953463	10,715	10,972	0,976577
5/20	10,033	10,142	0,989253	11,541	12,055	0,957362	10,92	10,972	0,995261



Şekil 7.3.17 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.18 L=250mm, olan model için elde edilen sonuçlar

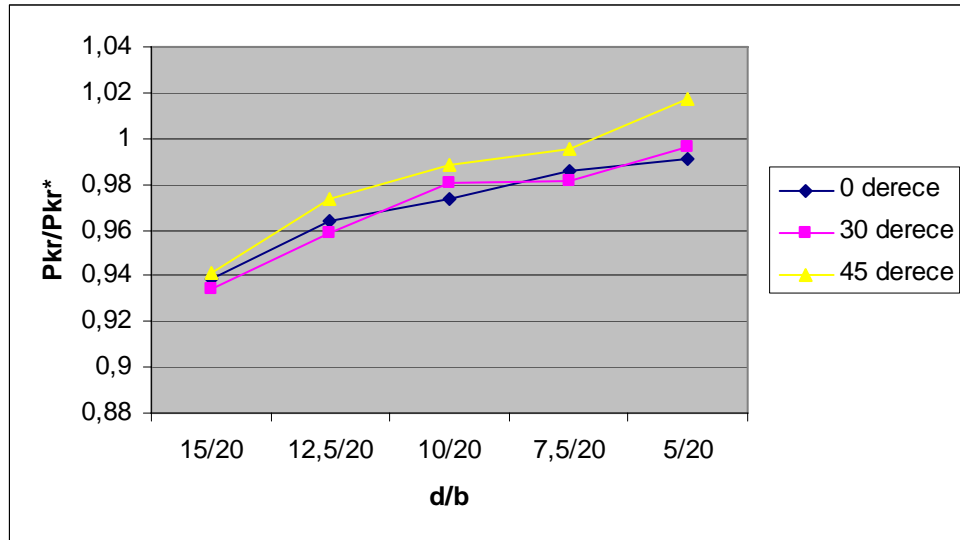
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, a/L=3/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	8,8526	10,142	0,872865	10,477	12,055	0,8691	9,7894	10,972	0,892217
12,5/20	9,3885	10,142	0,925705	11,076	12,055	0,918789	10,317	10,972	0,940303
10/20	9,7685	10,142	0,963173	11,484	12,055	0,952634	10,724	10,972	0,977397
7,5/20	9,9597	10,142	0,982025	11,547	12,055	0,95786	10,745	10,972	0,979311
5/20	9,9714	10,142	0,983179	11,834	12,055	0,981667	11,078	10,972	1,009661



Şekil 7.3.18 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.19 L=250mm, olan model için elde edilen sonuçlar

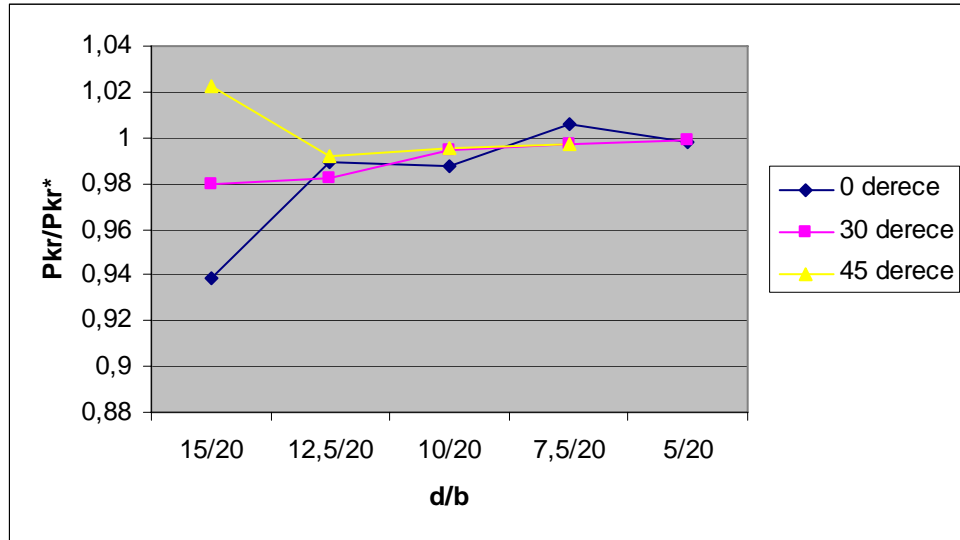
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, a/L=4/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	9,5192	10,142	0,938592	11,261	12,055	0,934135	10,325	10,972	0,941032
12,5/20	9,7796	10,142	0,964267	11,554	12,055	0,95844	10,68	10,972	0,973387
10/20	9,8758	10,142	0,973753	11,824	12,055	0,980838	10,841	10,972	0,988061
7,5/20	9,996	10,142	0,985604	11,833	12,055	0,981584	10,919	10,972	0,99517
5/20	10,049	10,142	0,99083	12,014	12,055	0,996599	11,163	10,972	1,017408



Şekil 7.3.19 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.20 L=250mm, olan model için elde edilen sonuçlar

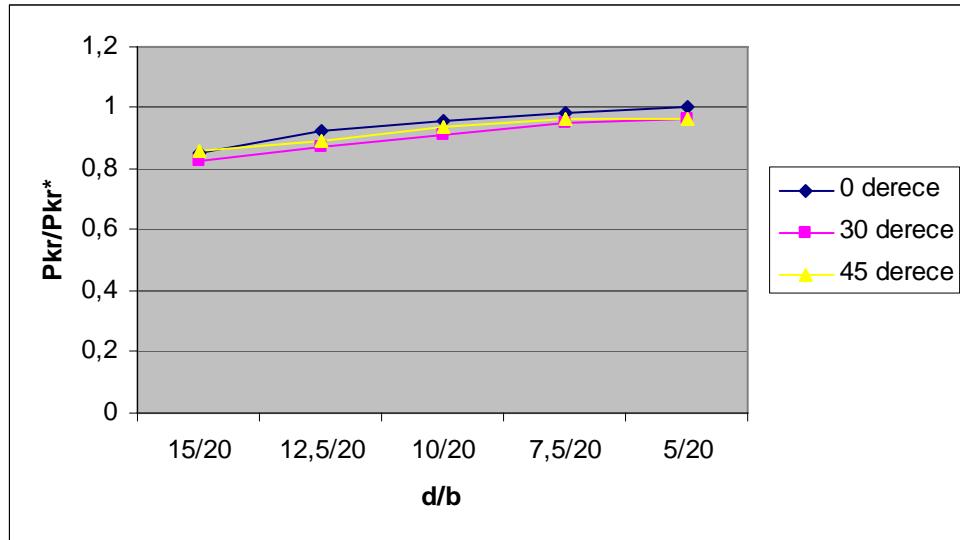
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/12,5, a/L=5/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	9,5178	10,142	0,938454	11,809	12,055	0,979594	11,22	10,972	1,022603
12,5/20	10,029	10,142	0,988858	11,841	12,055	0,982248	10,879	10,972	0,991524
10/20	10,013	10,142	0,987281	11,986	12,055	0,994276	10,919	10,972	0,99517
7,5/20	10,204	10,142	1,006113	12,016	12,055	0,996765	10,944	10,972	0,997448
5/20	10,125	10,142	0,998324	12,038	12,055	0,99859	11,056	10,972	1,007656



Şekil 7.3.20 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.21 L=300mm, olan model için elde edilen sonuçlar

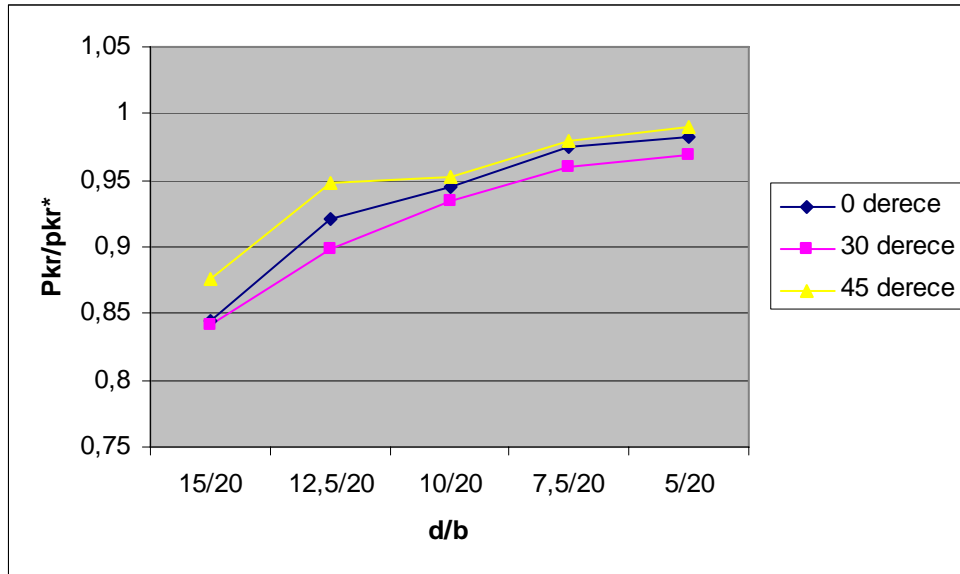
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, a/L=1/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	6,0592	7,098	0,853649	6,8455	8,2876	0,825993	6,552	7,6113	0,860825
12,5/20	6,5824	7,098	0,92736	7,2414	8,2876	0,873763	6,7861	7,6113	0,891582
10/20	6,7856	7,098	0,955988	7,5784	8,2876	0,914426	7,1414	7,6113	0,938263
7,5/20	6,9853	7,098	0,984122	7,8587	8,2876	0,948248	7,3146	7,6113	0,961018
5/20	7,115	7,098	1,002395	7,9655	8,2876	0,961135	7,319	7,6113	0,961597



Şekil 7.3.21 d/b değerine bağılı olarak Pkr/Pkr* oranı değışimi

Tablo 7.3.22 L=300mm, olan model için elde edilen sonuçlar

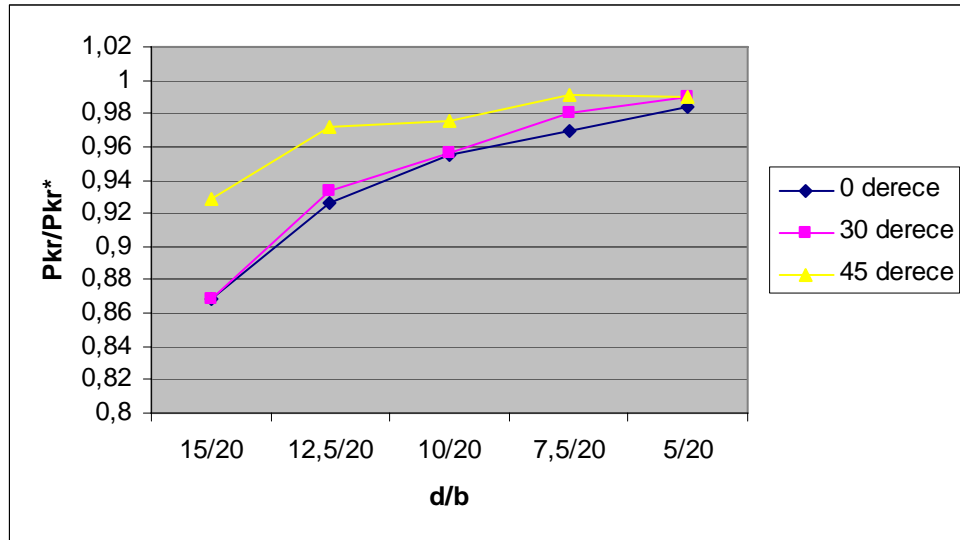
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, a/L=2/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	5,9985	7,098	0,845097	6,9717	8,2876	0,841221	6,6703	7,6113	0,876368
12,5/20	6,5332	7,098	0,920428	7,4511	8,2876	0,899066	7,2159	7,6113	0,948051
10/20	6,7081	7,098	0,945069	7,7389	8,2876	0,933793	7,2516	7,6113	0,952741
7,5/20	6,922	7,098	0,975204	7,9545	8,2876	0,959807	7,4514	7,6113	0,978992
5/20	6,973	7,098	0,982389	8,0317	8,2876	0,969123	7,5364	7,6113	0,990159



Şekil 7.3.22 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.23 L=300mm, olan model için elde edilen sonuçlar

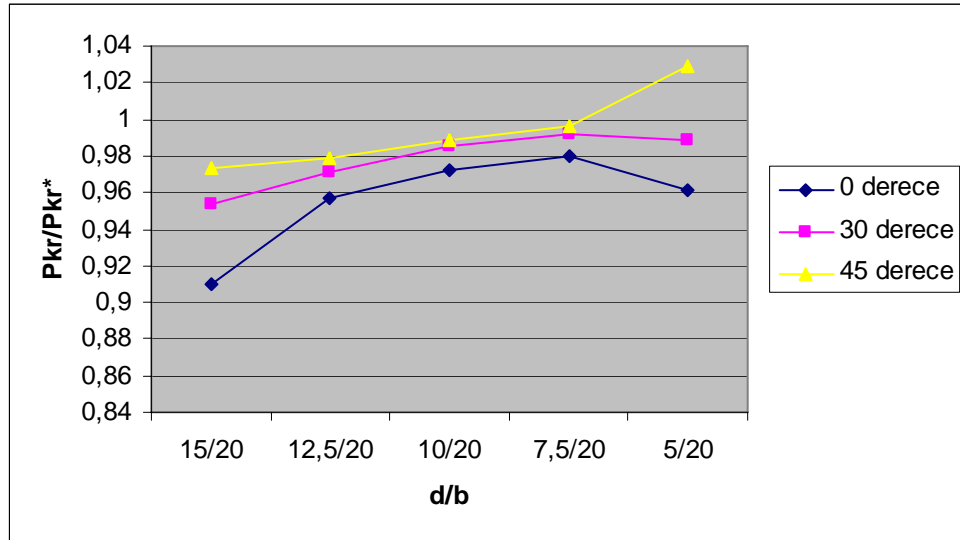
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, a/L=3/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	6,1616	7,098	0,868076	7,198	8,2876	0,868526	7,0668	7,6113	0,928462
12,5/20	6,5726	7,098	0,925979	7,7361	8,2876	0,933455	7,3946	7,6113	0,971529
10/20	6,7798	7,098	0,95517	7,9297	8,2876	0,956815	7,4216	7,6113	0,975077
7,5/20	6,8802	7,098	0,969315	8,1237	8,2876	0,980223	7,5445	7,6113	0,991224
5/20	6,9853	7,098	0,984122	8,2062	8,2876	0,990178	7,5364	7,6113	0,990159



Şekil 7.3.23 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.24 L=300mm, olan model için elde edilen sonuçlar

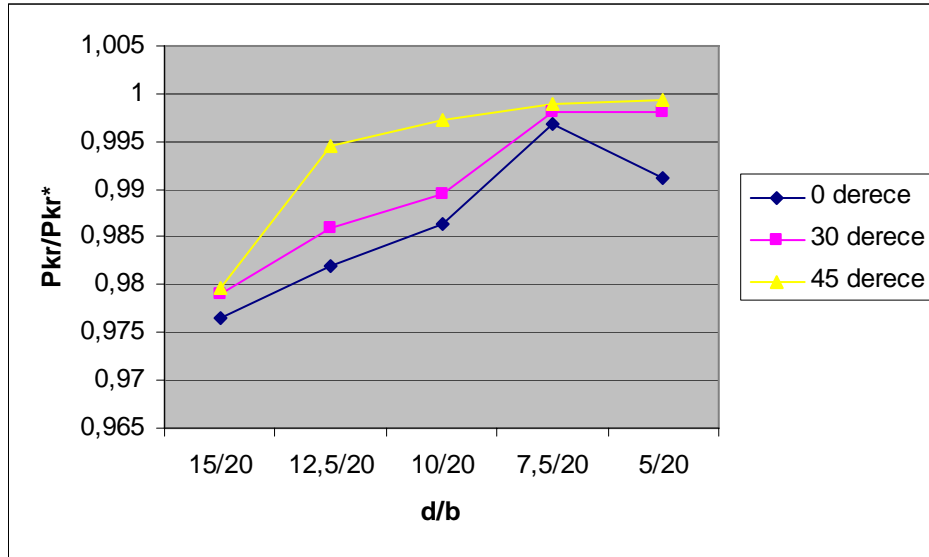
Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğın Çapı(d) Dairesel Deliğın Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, a/L=4/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	6,4579	7,098	0,90982	7,9031	8,2876	0,953605	7,4069	7,6113	0,973145
12,5/20	6,7905	7,098	0,956678	8,0515	8,2876	0,971512	7,4464	7,6113	0,978335
10/20	6,8983	7,098	0,971865	8,1703	8,2876	0,985846	7,5278	7,6113	0,989029
7,5/20	6,957	7,098	0,980135	8,2231	8,2876	0,992217	7,5823	7,6113	0,99619
5/20	6,8219	7,098	0,961102	8,1947	8,2876	0,98879	7,8354	7,6113	1,029443



Şekil 7.3.24 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Tablo 7.3.25 L=300mm, olan model için elde edilen sonuçlar

Kirişin Boyu (L),Genişliği (b), Deliğin apı(d) Dairesel Deliğin Ankastre Mesnede Uzaklığı(a) b/L=1/15, a/L=5/6									
d/b	Fiber oryantasyon açısı 0°			Fiber oryantasyon açısı 30°			Fiber oryantasyon açısı 45°		
	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*	Pkr	Pkr*	Pkr/Pkr*
15/20	6,9315	7,098	0,976543	8,1144	8,2876	0,979101	7,4566	7,6113	0,979675
12,5/20	6,9696	7,098	0,98191	8,1715	8,2876	0,985991	7,57	7,6113	0,994574
10/20	7,001	7,098	0,986334	8,201	8,2876	0,989551	7,5896	7,6113	0,997149
7,5/20	7,0748	7,098	0,996731	8,2726	8,2876	0,99819	7,6026	7,6113	0,998857
5/20	7,0348	7,098	0,991096	8,2718	8,2876	0,998094	7,6063	7,6113	0,999343



Şekil 7.3.25 d/b değerine bağlı olarak Pkr/Pkr* oranı değişimi

Deliğin apı boyutları için şu yorumu yapabiliriz. Deliğin çapının (b/d) Pkr/Pkr* oranına etkisi;0, 30 ve 45 derece fiber yönlendirme açılarda deliğin çapı arttığa Pkr/Pkr* oranı azalmaktadır.

Kirişin boyu uzadığında deliğin kritik burkulma yüküne etkisi azalmaktadır

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Yapılan deneylerde ve ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak yapılan analizlerde, fiber yönlendirme açısı 30 derece iken oluşan kritik burkulma yükünün 0 veya 45 derece olduğu durumlarda oluşan yükten daha büyük bir değerde olduğu görülmüştür.

Ankastre kirişte serbest uca yakın delik açıldığında yanal burkulma yükünün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Fiberin yönlendirme açısı ile delik çapı arasında şu bağlantılar gözlemlenmiştir. 0 derece fiber yönlendirme açısı ve küçük delik çapı ele alındığında kritik burkulma yükleri, deliğin ankastre uçtan kirişin 1/3'üne kadarki konumunda azalmakta, sonra artmaktadır. Aynı şekilde büyük çaplar ele alındığında delik ankastre uçtan uzaklaştıkça kritik burkulma yükü artmaktadır. 30 ve 45 dereceli fiber yönlendirme açılarında delik çapının küçük veya büyük olması fark etmeksizin delik ankastre mesnetten uzaklaştıkça kritik burkulma yükü artmaktadır.

Kirişteki deliğin konumunun kritik burkulmaya etkisi ile ilgili göze çarpan bir diğer hususta; kirişteki deliğin çapını arttırmamız kritik burkulma yükünü azaltmakta, ancak bu azalış deliğin konumu serbest uca yaklaştıkça daha küçük olmaktadır.

Kirişin boyutları için şu yorumu yapabiliriz. Kritik burkulma yükünü etkileyen en büyük faktör kirişin boyudur. Kirişin boyutunu arttırdığımızda kritik burkulma yükü büyük oranda azalmaktadır. Deliğin kritik burkulma yüküne etkisi kirişin boyutunun arttırılması ile azalmaktadır. Genel olarak deliğin çapı arttıkça kritik burkulma yükü azalmaktadır diyebiliriz. Ancak 0 derecelik fiber yönlendirme açısı ve kirişin boyutu ne olursa olsun üzerine açılan delik küçük olduğunda kritik burkulma yükündeki değişim deliksiz duruma göre çok azdır. Burkulma yüklerinin değişmediği yani P_{cr}/P_{cr}^* değerinin 1 e eşit çıktığı durumlarda Burkulma açısından bir tolerans vermek mümkündür. (1 den çok az büyük olan durumlar için de aynı yorum yapılabilir)

KAYNAKLAR

Arman Y. (2002), *Circular delamination effects on buckling behaviour of the laminated composite plates with circular hole*. (Yüksek Lisans Tezi)

Jones, R.(1999), *Mechanics of composite materials* (2nd ed.). Taylor & Francis,inc. USA

Sapakas, A., and Kollar, L.P. (2002), Lateral-torsional buckling of composite beams, *International journal of solid and structure*, 39, 2939-2963

Timoshenko, S.P. (1961), and Gere, J.M., *Theory of elastic stability* (2nd ed.). McGraw-Hill, New York

Universty of Alberta. (2001),*ANSYS Tutorials*,12 Şubat 2006
<http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/IT/Buckling/Buckling.html>