

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

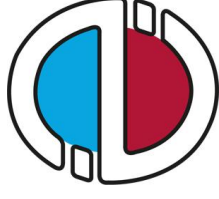
**ELASTİK KONSOL KİRİŞLERİN BÜYÜK
DEFORMASYON ANALİZİ**

**Ali Erdem ÇERÇEVİK
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU**

BİLECİK, 2014

Referans No: 10036875



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

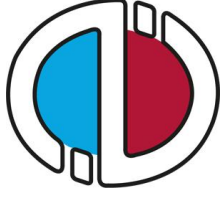
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**ELASTİK KONSOL KİRİŞLERİN BÜYÜK
DEFORMASYON ANALİZİ**

**Ali Erdem ÇERÇEVİK
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU**

BİLECİK, 2014



ANADOLU UNIVERSITY



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Civil Engineering**

**LARGE DEFLECTION ANALYSIS OF ELASTIC
CANTILEVERS**

**Ali Erdem ÇERÇEVİK
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU**

BİLECİK, 2014



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY
FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/05/2014 tarih ve 20/3 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/05/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ali Erdem ÇERÇEVİK'in "Elastik konsol kirişlerin büyük deformasyon analizi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Özgür YAYLI

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Özgür AVŞAR

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../.....tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu çalışma kapsamında elastik konsol bir kirişin statik analizi Euler-Bernoulli eşitlikleri kullanılarak yinelemeli bir yöntemle yapılmıştır. Bu amaçla kiriş eşit uzunlukta parçalara bölünmüş ve ötelenmelerin hesabında, bu parçalar üzerindeki dönmelerin doğrusal değiştiği kabulü yapılmıştır. Başlangıçta kirişe verilen yükün kirişte oluşturduğu şekil değiştirmeler belirlenmiş, şekil değiştirmiş kirişe tekrar aynı yükler etki ettirilerek şekil değiştirmeler doğrusal olmayan şekilde tekrar belirlenmiştir. Bu işlem şekil değiştirme sonuçları yeteri kadar birbirine yaklaştığında bitirilerek kirişin gerçek şekil değiştirmesi bulunmuştur. Yineleme işlemi *Ms Excel* ve *MATLAB* programlarında yapılmış, *MATLAB GUI* ile de kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Ayrıca şekil değiştirmeler enerji en küçükleme yöntemi ile bulunarak sonuçlar birbirleri ile ve klasik yöntemlerden bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konsol kiriş, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler, Euler-Bernoulli, *MS Excel*, *MATLAB GUI*.

ABSTRACT

In the context of this study, structural analysis of an elastic cantilever has been conducted using an iterative method based on Euler-Bernoulli equations. For this purpose, the beam has been considered to be divided into elements of equal length and the rotational angles have been assumed to be linearly changing over these elements in computing the elastic curve. At the beginning, the deformations caused by the loads acting on the structure is determined, and then by application of the loads on the deformed system, the new deflections are re-calculated. This procedure is repeated until stabilization of deflections and rotations. The iterative process has been conducted using *MS Excel* and also by programming with *MATLAB*. A user friendly interface is also produced by *MATLAB GUI*. The deflections are also computed with total potential minimization technique. Results are compared with each other and with computations based on classical methods.

Key Words: Cantilever, nonlinear deflections, Euler-Bernoulli, *MS Excel*, *MATLAB GUI*.

TEŐEKKÖR

Tez çalıőmam boyunca bilgisini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli danıőmanım Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU'ya, çalıőmalarımnda bŸyŸk yardımları bulunan Yrd. Doç. Dr. Mustafa ŐzgŸr YAYLI'ya, Bilecik Şeyh Edebalı Őniversitesi İnaaat MŸhendislięi bŸlŸm hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma ve maddi manevi her tŸrlŸ desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme teőekkŸrlerimi sunarım.

Ali Erdem ÇERÇEVİK

HAZİRAN-2014

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Elastika Problemi	1
1.3. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar	3
2. KURAMSAL ÇALIŞMA	7
2.1. Kirişlerde Eğilme Eşitlikleri	7
2.2. Geometrik Olarak Doğrusal Olmayan Kirişler	8
3. ÖNERİLEN YENİ YÖNTEM	9
3.1. Kabuller	9
3.2. Şekil Değiştirmeler	9
3.3. Kesme Kuvvetleri Hesabı	12
3.4. Momentler Hesabı	13
3.5. Moment Şekil Değiştirme İlişkisi	17
3.6. Toplam Potansiyel Enerji	18
4. SAYISAL ÇÖZÜM	22
4.1. Statik Eşitliklerle Çözüm	22
4.2. Çözüm için Kullanılan Yöntemler	24
4.2.1. <i>MS Excel</i> ile çözüm	24
4.2.2. <i>MATLAB</i> ile çözüm.....	27
4.3. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Çözümlerin Karşılaştırılması.....	28
4.3.1. Düşey yük için karşılaştırma	28
4.3.2. Yayılı yük için karşılaştırma	30

4.3.3. Moment yükü için karşılaştırma	32
4.4. Önerilen Yöntemin Diğer Yöntemlerle Kıyaslanması	33
4.4.1. Önerilen yöntemin yapılan deneysel bir çalışma ile karşılaştırması	33
4.4.2. Sınır değer problemi olarak karşılaştırılması	36
4.4.3. Önerilen yöntemin paket programlar ile karşılaştırılması.....	38
4.4.3.1. <i>SAP2000</i> ile karşılaştırma	38
4.4.3.2. <i>ANSYS</i> ile karşılaştırma	40
4.5. Sayısal Sonuçlar	41
4.6. Sonuçların Yakınsaması	46
4.7. Enerji Enküçüklemesi ile Çözüm.....	51
4.8. Kiriş Boyunca Enerji Değişimi	52
5. SONUÇLAR.....	54
EKLER.....	55
6. ÖZGEÇMİŞ	64
7. KAYNAKLAR	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1: Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.2: Kiriş serbest uçundaki düşey yer değiştirme karşılaştırılması.....	42
Çizelge 4.3: Kiriş Üzerindeki Yük Kombinasyonları.....	42
Çizelge 4.4: Yayılı ve yatay yüklere göre düşey yerdeğıştirmeler.....	47
Çizelge 4.5: Yayılı ve yatay yüklere göre düşey yerdeğıştirmeler (devam).....	48
Çizelge 4.6: Yayılı ve yatay yüklere göre yatay yerdeğıştirmeler	48
Çizelge 4.7: Yayılı ve yatay yüklere göre yatay yerdeğıştirmeler (devam).....	49
Çizelge 4.8: Yayılı ve yatay yüklere göre serbest uç dönme değerleri.....	49
Çizelge 4.9: Yayılı ve yatay yüklere göre serbest uç dönme değerleri (devam).....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Galileo'nun 1638 de oluşturduğu problem (Levien, 2009) ..	2
Şekil 1.2: 1692 de Bernoulli'nin kendi çizdiği elastika eğrisi ve modern elastika eğrisi (Levien,2009).....	2
Şekil 2.1: Basit eğilme halindeki kirişte eğrilik deformasyon ilişkisi.....	7
Şekil 3.1: Çubuğa etkiyen yük çeşitleri ve şekil değiştirmiş çubuk.....	9
Şekil 3.2: i ve $i+1$ noktaları arasında bölünmüş bir parça üzerindeki yükler.....	10
Şekil 3.3: Çubuk parçalarından bir tanesi üzerindeki şekil değiştirme..	11
Şekil 3.4: Yüklü bir parça üzerindeki kesme kuvvetleri.....	12
Şekil 3.5: Moment hesabı için hesap yönü.....	13
Şekil 3.6: Yüklü bir parça üzerindeki momentler.....	13
Şekil 3.7: Yüklü bir parçanın uçundaki dönüş açısı.....	17
Şekil 3.8: Dönüş açısı değişimi hesap yönü.....	17
Şekil 3.9: Kirişin yer değiştirmiş hali.....	20
Şekil 3.10: Kiriş parçasında enerji hesabı.....	20
Şekil 4.1: Yerdeğiştirmeler hesap akış şeması.....	23
Şekil 4.2: MS Excel'de hazırlanan program: 10 parçaya bölünmüş çubuğun ilk üç iterasyonda yapılan hesap ve çubuğun şekil değiştirmesi görüntüsü.....	25
Şekil 4.3: MS Excel'de hazırlanan program: 10 parçaya bölünmüş çubuğun 20 iterasyon sonucunda gerçek şekil değiştirmeye yakınsama görüntüsü.....	26

Şekil 4.4:	Hazırlanan kullanıcı arayüz görüntüsü.....	27
Şekil 4.5:	Tekil düşey yükle yüklenmiş kiriş.....	28
Şekil 4.6:	Farklı düşey yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu yerdeğiştirmesi.....	29
Şekil 4.7:	Farklı düşey yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu dönmesi.....	30
Şekil 4.8:	Yayıllı yükle yüklenmiş kiriş.....	30
Şekil 4.9:	Farklı yayıllı yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu yerdeğiştirmesi.....	31
Şekil 4.10:	Farklı yayıllı yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu dönmesi.....	32
Şekil 4.11:	Tekil moment yüküyle yüklenmiş kiriş.....	32
Şekil 4.12:	Farklı moment yükleri ile yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu yerdeğiştirmesi.....	32
Şekil 4.13:	Farklı moment yükler ile yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu dönmesi.....	33
Şekil 4.14:	Hazırlanmış deney düzeneği (Belendez 2003).....	34
Şekil 4.15:	Kendi ağırlığı ve 0.098 N ile yüklü çubuğun ANSYS sonucu.....	35
Şekil 4.16:	Serbest uca 0,098 N'luk yükün oluşturduğu şekil değiştirmelerin önerilen yöntem ve ANSYS ile karşılaştırılması ve deneysel sonuçlar (Belendez 2003).....	35
Şekil 4.17:	$q=1$ ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin kapalı çözüm ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması....	36

Şekil 4.18:	W=0,5 ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin kapalı çözüm ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması....	37
Şekil 4.19:	W=0,5 ve q=0,5 ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin kapalı çözüm ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.20:	W=1 ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin SAP2000 ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması....	38
Şekil 4.21:	W=1 ve q=1 ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin SAP2000 ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması....	39
Şekil 4.22:	W=0,5, q=0,5, M=0,5, P= -0,5 ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin SAP2000 ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.....	39
Şekil 4.23:	Oluşturulan kiriş modeli.....	40
Şekil 4.24:	ANSYS ve önerilen yöntemin doğrusal olmayan analizinin karşılaştırılması.....	40
Şekil 4.25:	ANSYS ve önerilen yöntemin doğrusal analizinin karşılaştırılması.....	41
Şekil 4.26:	Yayıllı ve yatay yüklerle yüklenmiş kiriş.....	41
Şekil 4.27:	Kiriş uç noktası düşey yer değiştirmeler ve yükler ilişkisi....	42
Şekil 4.28:	Kiriş uç noktası yatay yer değiştirmeler ve yükler ilişkisi....	42
Şekil 4.29:	Kiriş uç noktası dönme açıları ve yükler ilişkisi.....	43
Şekil 4.30:	q= 0,75 için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.....	43

Şekil 4.31:	q= 1 için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.....	44
Şekil 4.32:	q= 1,25 için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.....	44
Şekil 4.33:	q= 1,5 için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.....	45
Şekil 4.34:	q=1,5 ve P= -5 Yüklerin her iterasyon için gerçeğe yaklaşması.....	45
Şekil 4.35:	20 İterasyon için kiriş serbest uçundaki düşey yer değiştirme yakınsaması.....	46
Şekil 4.36:	20 İterasyon için Yatay Yer Değiştirme Yakınsaması.....	46
Şekil 4.37:	20 İterasyon için Dönme Açısı Yakınsaması.....	47
Şekil 4.38:	Enerji hesabı akış şeması.....	51
Şekil 4.39:	P= -1 ve q=1 ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.....	52
Şekil 4.40:	P= -1 ve W=1 ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.....	52
Şekil 4.41:	P= -1 ve M=1 ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.....	53
Şekil 4.42:	P= -1, W=1, M=1 ve q=1 ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
α	Dönme Açıları Arası Değişim
A	Alan
b	Kiriş Eni
β	Yayıllı Yükler Arası Değişim
c_i	İntegral Sabitleri
E	Young Modülü
ε	Şekil Değiştirme
d	Kiriş Derinliği
F	Yerdeğiştirmelerden Kaynaklanan Enerji
h	Bölünmüş Parçalardan Bir Tanesinin Uzunluğu
I	Atalet Momenti
L	Kiriş Uzunluğu
M	Moment Yüğü
n	Bölünmüş Parçalardan Bir Tanesi
P	Yatay Yüğü
q	Yayıllı Yüğü
Q	Kiriş Boyunca Yayıllı Yüğü
R	Radyan
ρ	Dönme
S	Sabit Uçtan Kiriş Mesafesi
δ_x	Yatay Yerdeğiştirme
δ_y	Düşey Yerdeğiştirme
σ	Gerilme
t	Kiriş Boyunca Tarif Edilen Koordinat Değeri
U	Toplam Enerji
θ	Dönme Açısı
v	Birim Düşey Yerdeğiştirme
V	Kesme Kuvveti
W	Düşey yüğü

y	DüŖey YerdeđiŖtirme
x	Yatay YerdeđiŖtirme
γ	Bir Parça Üzerindeki Moment DeđiŖimi

Kısaltmalar**Açıklama**

GPa	Gigapascal
GUI	Grafiksel Kullanıcı Ara Yüzü (Graphical User Interface)
MS	Microsoft Ofis

1. GİRİŞ

Mühendisliğin üretim alanları, ürün çeşitliliği ve mühendislik kabiliyetleri gün geçtikçe gelişmektedir. Bu gelişme ile birlikte mühendislik problemleri, daha doğru, daha hızlı ve basitleştirilmiş olarak çözümlenmelidir.

Mühendisliğin en önemli problemlerinden mekanik problemler için de eski dönem doğrusal çözümler günümüz mekanik problemlerin çözümleri için yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden araştırmacılar çalışmalarını doğrusal olmayan çözümler üzerine yoğunlaştırmışlardır. Tabii ki doğrusal olmayan çözümler oldukça zahmetli, uzun hesaplar gerektiren ve belirli sınırları olan çözümlerdir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Mühendislik yapılarında kullanılan pek çok malzeme, şekilleri itibari ile yükler altında doğrusal şekil değiştirmezler. Konsol bir kiriş de çeşitli yükler altında sabit uçtan serbest uca doğru ilk konumundan yeni konumuna farklı oranlarda yerdeğiştirmeler ile şekil değiştirir. Bu oran değişimi, kiriş boyunca gerçek şekil değiştirmeyi belirlemeyi zahmetli hale getirmiştir. Literatürde problemin çözümü için kullanılan matematiksel ifadeler oldukça karmaşık, zahmetli ve tek yük grubu için uygundur.

Bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada çeşitli yükler ile yüklenmiş konsol bir kirişin geometrik doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri, klasik metodlardan farklı olarak kirişi parçalara ayırıp, her bir parçanın yer değiştirmeleri hesaplanarak ve yinelemeli bir çözüm yöntemi ile hesaplanmıştır. Yeni yöntem ile hem çeşitli yüklerin oluşturduğu şekil değiştirmeler belirlenebilmiş, hem de daha kolay ve kısa sürede hesaplamalar yapılabilmektedir.

1.2. Elastika Problemi

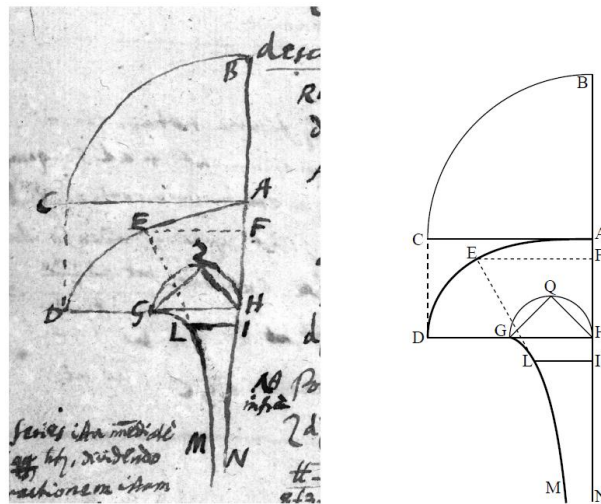
Elastika problemi ile ilgili ilk kayıt 13. Yüzyıl matematikçisi Jordanus de Nemore'un yayınladığı *De Ratione Ponderis* adlı kitabındadır. Daha sonra 1638 de

Galileo bir ucu sabit diğer ucunda yük bulunan bir kirişin ne kadar yük taşıyabileceğini Şekil 1.1’de kurduğu deney düzeneği üzerinde düşünmüştür.



Şekil 1.1. Galileo’nun 1638 de oluşturduğu problem (Levien, 2009).

1691 yılında ise James Bernoulli serbest uçtaki yükün çubuk üzerindeki şekil değiştirmesini çeşitli çizimler ve hesaplamalar ile belirlemeye çalışarak gerçek anlamda elastika problemini ortaya koymuştur. Ancak teori 1774 de teori üzerinde yaptığı matematiksel iyileştirmeler nedeni ile daha çok Leonhard Euler ‘e atfedilir.



Şekil 1.2. 1692 de Bernoulli’nin kendi çizdiği elastika eğrisi ve modern elastika eğrisi (Levien, 2009).

Elastika kısaca eliptik integraller ile çözülen farklı bir dizi mekanik denge'nin hesabı olarak tanımlanabilir. Fiziksel olarak bakılacak olursa; basit bir sarkaç hareketi, tabaka şeklinde bir hacme sahip suyun yüzey kapilaritesinin matematiksel modellenmesi ve mekanik eğrilerin gerçeğe en yakın şekilde çizilmesi elastika problemi olarak tanımlanmaktadır. (Levien, 2009)

1.3. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Büyük deformasyonların geometrik doğrusal olmayan analizi için birçok araştırmacı farklı yöntemler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda bu analiz için iki farklı temel yaklaşım vardır.

İlk yöntem Barten'in 1945'te yayınladığı eliptik integral eşitliklerinin kullanıldığı yöntemdir. Barten klasik kiriş teorisinin konsol bir kirişin deformasyonlarını yeterli doğrulukta hesaplayamadığını görünce doğru çözüm için eliptik integralleri kullanmıştır. Birinci ve ikinci tür eliptik integraller kullanarak deformasyonların kapalı çözümünü yapmıştır. Yine aynı yıl Bisshop ve Drucker, Barten çalışmasından hareketle konsol bir kirişin büyük deformasyonlarını yine eliptik integral eşitlikleri yardımı ile hesaplamışlardır. 1961 yılında Timoshenko ve Gere yayınladıkları 'Elastik Stabilité Teorisi' kitabında bir yük altında burkulan kolonların deformasyonlarının hesaplanması için eliptik integral eşitliklerinin kullanıldığı kapalı çözümden yararlanmışlardır. 1974'de Lau yine konsol bir kirişin serbest ucunda hareket eden kompleks yüklerin oluşturduğu deformasyon için kapalı çözüm yöntemini kullanmıştır.

Mattiasson 1981'de eliptik integraller ile kare kiriş kesitlerinin yük etkisi altındaki büyük şekil değiştirmeleri hesaplamış ve bunları tablolar şeklinde yayınlamıştır. Chucheepsakul ve arkadaşları 1994'de, Bona ve Zelenika 1997'de, Wang ve arkadaşları 1997'de, Chucheepsakul ve arkadaşları 1999 da, Coffin ve Bloom 1999 da, Ohtsuki ve Ellyin 2001'de eliptik integralleri kullanarak çeşitli deformasyon analizleri yapmışlardır. Ancak eliptik integralleri kullanarak kapalı çözüm ile deformasyonları belirlemek işlem basamakları açısından zor ve zahmetlidir. Buna rağmen sisteme verilebilen yükler basit yükler olduğu için çözüm ürettiği problemler kısıtlıdır.

Diğer çözüm tekniği ise sayısal yöntemler kullanılarak yapılmış çözümlerdir. Nümerik integral kullanarak tekrarlamalı çözüm tekniği de problemi çözmek için kullanılan sayısal yöntemlerden biridir. Freeman 1946'da, Conway 1947'da, Holden 1972'de, Wang ve Watson 1980'da, Toklu 1981'de, Wang 1981'de, Watson ve Wang 1981'de, Wang and Watson 1982'de, Watson ve Wang 1983'de, Mau 1990'da, Wang ve Kitipornchai 1992'de, Lee and Oh 2000'de, Lee 2001'de, Magnusson ve arkadaşları 2001'de bu teknik ile büyük deformasyonları hesaplamışlardır. Ancak bu yöntem de ortalama yer değiştirmeleri hesaplarken büyük yer değiştirmeleri belirlemek için yetersiz kalmaktadır.

Elastika problemini çözmek için bir diğer sayısal yöntem ise Newton-Rapson iterasyon teknikleri ile bağlantılı sonlu elemanlar yöntemidir. Schmidt 1977'de, Golley 1984'de, Kooi 1985'de, Golley 1997'de büyük deformasyonları belirlemek için bu yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntem de paket programlar yardımı ile çözüm vermektedir. Çözüm paket program yardımı ile bilgisayara çözdürülse dahi çözüm oldukça uzun sürer. Ayrıca bu çözüm yöntemini kullanmak için iyi bir program bilgisine sahip olmak gerekir.

Problem, Newton-Raphson iterasyon teknikleri ile bağlantılı sonlu farklar yöntemi ile de sayısal olarak çözülmüştür. Kooi ve Kuipers 1984'de, Saje ve Srpcic 1985'de, yine Srpcic ve Saje 1986'da bu yöntem üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu iki temel yaklaşım haricinde üzerinde çalışılmış farklı matematik modeller de mevcuttur.

Yang 1973'de yaptığı çalışmada kirişlerin ve çerçevelerin elastika problemi çözümü için matris yer değiştirme çözümünü kullanmıştır. Elastika problemini matris formda düzenlemek için eleman koordinatlarını matris elemanı olarak tanımlamış, matrisleri çok sayıda iterasyon işlemi sonucunda doğru sonuçlara ulaştırmışlardır.

2004 yılında Kumar ve arkadaşları genetik algoritmalar kullanarak basit mesnetli elastik bir kirişin ve elastik bir kolonun büyük yer değiştirmelerini belirlemişlerdir. Çözüm için genetik algoritma temelli iki farklı yaklaşım kullanmışlardır. İlk yaklaşım tüm sistemin toplam potansiyel enerjisinin minimum yapılması üzerine olurken diğer

yaklaşım doğrusal olmayan diferansiyel eşitliklerin kullanımı ile olmuştur. Genetik algoritma temelli iki yaklaşım da klasik kesin çözümlere göre oldukça yakın sonuçlar verirken özellikle ikinci yaklaşım hızlı ve daha basit bir çözüm olması sebebi ile daha çok tercih edilebilir bir çözüm olduğunu belirlemişlerdir.

Wang ve arkadaşları 2008’de yaptıkları çalışmada konsol bir kirişin serbest ucuna etkiyen tekil bir kuvvetin çubuk üzerinde yaptığı doğrusal olmayan yer değiştirmeleri eşyerellik analiz yöntemi ile formüle etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda konsol bir kirişin büyük yer değiştirmelerinin hesabı için eşyerellik analiz yönteminin klasik yöntemlere göre daha kullanışlı olduğunu belirlemişlerdir.

Akbaş 2009’da yaptığı tez çalışmasında düzgün yayılı izleyici olmayan (non-follower) yük etkisi altında hiperelastik malzemeden yapılmış konsol bir kirişin geometrik doğrusal olmayan statik davranışını araştırmıştır. Büyük yer değiştirmelerin ve büyük dönmelerin normal gerilme ve kayma gerilmelerinin kiriş yüksekliği boyunca dağılımı üzerindeki etkisini detaylı olarak incelemiş, yatay ve düşey doğrultularda çeşitli sayıda sonlu elemanlar alınarak yakınsama çalışması yapılmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda bulduğu sayısal sonuçlar göstermektedir ki geometrik doğrusal olmayan durum ile geometrik doğrusal durum arasındaki fark, belirli bir yük düzeyinden sonra kirişin statik sonuçları üzerinde çok belirgindir.

Sitar ve arkadaşları 2014’de yaptıkları çalışmada temel Euler-Bernoulli eşitliklerini ve büyük yer değiştirmeler teorilerini kullanmışlar denklemlerdeki integralleri Runge–Kutta–Fehlberg çözüm yöntemleri ile çözerek sonuçları literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırmışlar oldukça doğru sonuçlar elde etmişlerdir.

Bunların dışında problemin çözümü için deneysel çalışmalar da yapılmıştır. 1992’de Lee ve arkadaşları değişken kesitli konsol bir kiriş kullanarak deney hazırlamışlar, çubuk boyunca yayılı yük, serbest ucuna da moment ve tekil yükler uygulayarak elastik çubukta oluşan yer değiştirmeleri belirlemişlerdir. Daha sonra Bernoulli-Euler kiriş teorisinin diferansiyel denklemlerini Runge-Kutta ve Regule-Falsi

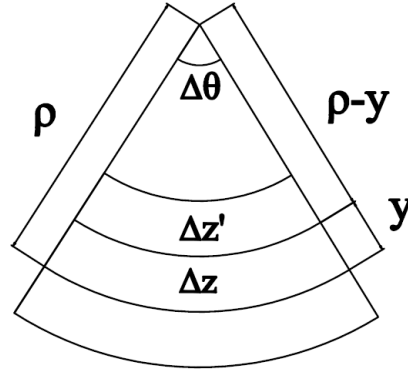
metotları ile çözüp çıkan sonuçları ve deneysel çalışmaları karşılaştırmışlar, yakın sonuçlar elde etmişlerdir.

2003'te Belendez ve arkadaşları çelik bir konsol kiriş hazırlayarak bunun ucuna farklı yükler koyarak ve tabii çubuğun kendi ağırlığını da hesaba katarak bir deney düzeneği hazırlamışlardır. Hazırladıkları deney düzeneğinden çıkan sonuçları sonlu elemanlar mantığına göre çalışan ANSYS paket programından çıkan sonuçlar ile karşılatırmışlardır.

2. KURAMSAL ÇALIŞMA

2.1. Kirişlerde Eğilme Eşitlikleri

Genel kabullere göre, derin olmayan kirişlerde aksenal şekil değiştirme tarafsız eksenden olan uzaklık ile orantılıdır. Doğrusal elastik malzemeye göre Hooke Kanunu $\sigma = E \varepsilon$ şeklinde yazılır ve aynı şekilde doğrusal bir kirişte eğilmeden meydana gelen σ gerilmesinin tarafsız eksenden olan uzaklık ile orantılı olması gerektiği sonucu çıkar. Şekil 2.1'de basit eğilme halinde deformasyon eğrilik ilişkisi çizilmiştir.



Şekil 2.1. Basit eğilme halindeki kirişte eğrilik deformasyon ilişkisi.

$$\varepsilon = \frac{\Delta z' - \Delta z}{\Delta z} \quad (\text{E.2.1})$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\theta(\rho-y) - \Delta\theta\rho}{\Delta\theta\rho} \quad (\text{E.2.2})$$

Yukarıdaki (2.2) eşitliğinde eğriliğe bağlı olarak şekil değiştirme eşitliği elde edilmiştir.

Bu denklemi Hooke yasasında yerine yazarsak;

$$\sigma = \frac{y}{\rho} E \quad (\text{E.2.3})$$

bulunur. Moment eşitliği aksenal gerilmeye bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$M = \int_A \sigma y dA \quad (\text{E.2.4})$$

Moment ifadesini elde etmek için; (2.3) eşitliği, (2.4) eşitliğinde yerine yazılırsa; Eğriliğe bağlı moment (2.5) eşitliği elde edilir. Burada $\int_A y^2 dA = I$ dir.

$$\frac{M}{EI} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{E.2.5})$$

2.2. Geometrik Olarak Doğrusal Olmayan Kirişler

Kiriş eğilme probleminin çözümünde öngörülen alışlagelmiş kabuller; yer değiştirmenin, eğimin ve eğriliğin çok küçük olarak ele alınmasıdır. Ancak bazı durumlarda bu fiziksel büyüklüklerin hesaplarda çok küçük olarak kabul edilmesi uygun değildir. Kirişin eğriliği ile elastik eğri ($y(x)$) arasındaki eşitlik (2.6) denkleminde gösterilmiştir.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{y''[x]}{(1+y'[x]^2)^{3/2}} \quad (\text{E.2.6})$$

(2.6) denkleminin paydası doğrusal değildir ve kapalı çözümünün bulunabilmesi için eliptik integraller kullanılmalıdır. Bu diferansiyel denklemin kapalı çözümünün bulunması son derece zor ve zahmetlidir (Yaylı 2010). İşte bu zorluk nedeni ile bu çalışma kapsamında şekil değiştirmiş bir kirişin geometrik doğrusal olmayan yer değiştirmesi yüklerin şekil değiştirmiş geometrisine tekrar uygulanarak yeter sayıda iterasyon ile belirlenmiştir.

3. ÖNERİLEN YENİ YÖNTEM

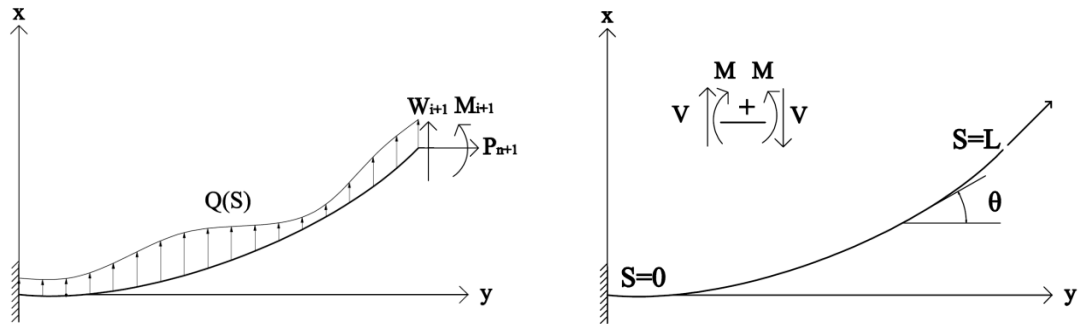
3.1. Kabuller

Yapılan çalışma ile ilgili kabuller şunlardır:

- Malzeme doğrusal elastiktir.
- Kesme deformasyonları ihmal edilmiştir.(Euler kesme teorisi)
- Konsol kiriş boyunca kesit alanı sabit tutulmuştur.
- Yükleme düzlemi eğilme düzlemi ile çakışmaktadır.
- Kiriş parçalarında dönme açısı doğrusal değişmektedir.
- Kiriş parçalarında yanal yayılı yük doğrusal değişmektedir.
- Tekil yükler ve momentler düğüm noktalarına etmektedir.

3.2. Şekil Değiştirmeler

Konsol bir kiriş şekildeki gibi yüklenildiği düşünölsün.



Şekil 3.1. Çubuğa etkiyen yük çeşitleri ve şekil değiştirmiş çubuk.

Bu kiriş Şekil 3.1'deki gibi Euler-Bernoulli diferansiyel denklemleri ile şu şekilde yazılabilir:

$$EI \frac{d\theta}{ds} = M \quad (E.3.1)$$

Bu tez kapsamında uygulanan yöntem çubuğunun $h=L/n$ uzunlukta n tane eşit parçaya ayırarak, her parçada θ dönme açılarının doğrusal değiştiği varsayılacaktır. Bu durumda i parçasındaki dönme açılarının değişimi (E.3.3) eşitliğine göre olacaktır.

$$\theta = \theta_i + \alpha_i t \quad 0 \leq t \leq h \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (E.3.2)$$

$$\alpha_i = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{h} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.3})$$

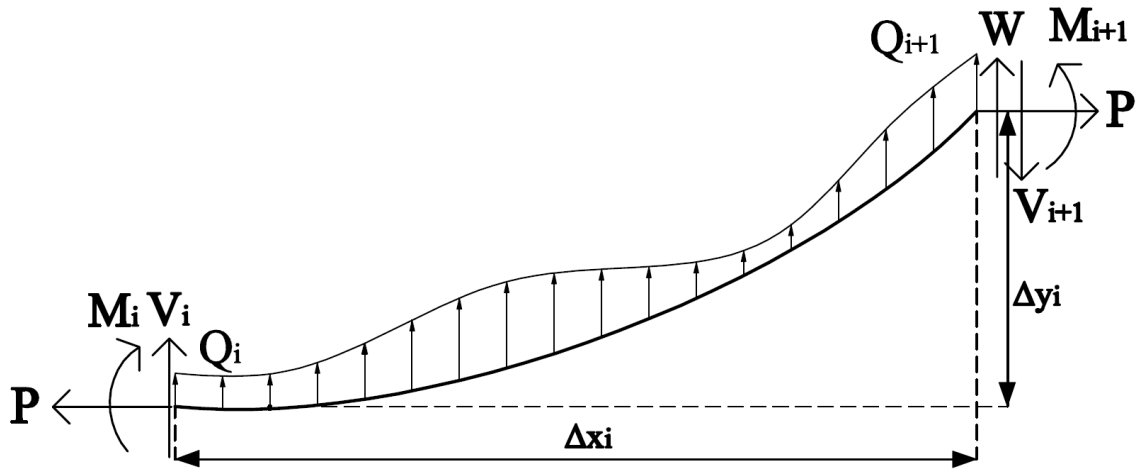
burada θ_i , $i = 1, 2, \dots, n+1$ her bir düğümdeki dönme açısını göstermektedir. Düğüm 1 ve düğüm $n+1$ kirişin $x=0$ ve $x=L$ noktalarını, α_i ise her parça için dönme açıları arası değişimi belirtmektedir.

Yayıllı yükün çubuğa etkisinin hesabını kolaylaştırmak şu bağıntılar yazılabilir:

$$Q = Q_i + \beta_i t \quad 0 \leq t \leq h \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.4})$$

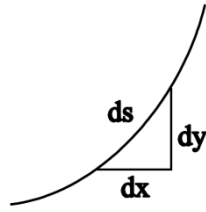
$$\beta_i = \frac{Q_{i+1} - Q_i}{h} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.5})$$

burada Q yayılı yükün değerini β_i ise her parça için yayılı yükler arası değişimi ifade eder.



Şekil 3.2. i ve $i+1$ noktaları arasında bölünmüş bir parça üzerindeki yükler.

L uzunluğundaki eşit parçalara bölünmüş parçalardan her biri üzerindeki aksenal kuvvet, kesme kuvveti, moment ve yayılı yük Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Çubuk parçalarından bir tanesi üzerindeki şekil değiştirme.

Bütün çubuğun yatay ve dikey yer değiştirmesini bulabilmek için yine bu parçalardan herhangi birini $dx=ds \cdot \cos(\theta)$, $dy=ds \cdot \sin(\theta)$ olarak Şekil 3.3'deki gibi ele alırsak:

$$x = \begin{cases} x_i + t \cos(\theta_i) & \alpha_i = 0 \\ x_i + \frac{\sin(\theta_i + \alpha_i t) - \sin(\theta_i)}{\alpha_i} & \alpha_i \neq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.6})$$

$$y = \begin{cases} y_i + t \sin(\theta_i) & \alpha_i = 0 \\ y_i + \frac{\cos(\theta_i) - \cos(\theta_i + \alpha_i t)}{\alpha_i} & \alpha_i \neq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.7})$$

burada t , $0 \leq t \leq h$ arasında değişen, kiriş boyunca tarif edilen koordinat değeridir. Bir düğüm noktasının koordinatı ise şu şekilde bulunur:

$$\Delta x_i = \begin{cases} h \cos(\theta_i) & \alpha_i = 0 \\ \frac{\sin(\theta_{i+1}) - \sin(\theta_i)}{\alpha_i} & \alpha_i \neq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.8})$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.9})$$

$$\Delta y_i = \begin{cases} h \sin(\theta_i) & \alpha_i = 0 \\ \frac{\cos(\theta_i) - \cos(\theta_{i+1})}{\alpha_i} & \alpha_i \neq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.10})$$

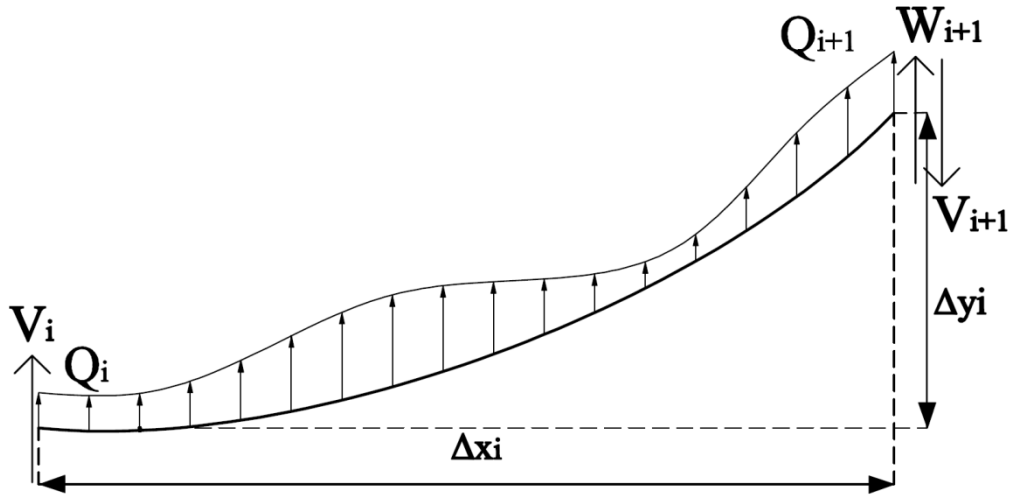
$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.11})$$

burada başlangıç sınır koşulları ankastre kirişi olması sebebi ile $x_1 = y_1 = 0$ dir.

3.3. Kesme Kuvvetleri Hesabı

Şekil (3.4) deki bölünmüş bir parça üzerinden kesme kuvvetleri şu şekilde yazılabilir:

$$V_i = V_{i+1} - W - \int_{t=0}^h Q(t) dt \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.12})$$



Şekil 3.4. Yüklü bir parça üzerindeki kesme kuvvetleri.

kesme kuvvetlerini bulmak için $Q(t)$ yerine (E.3.4) da belirlenen eşitlikler yerine yazılırsa:

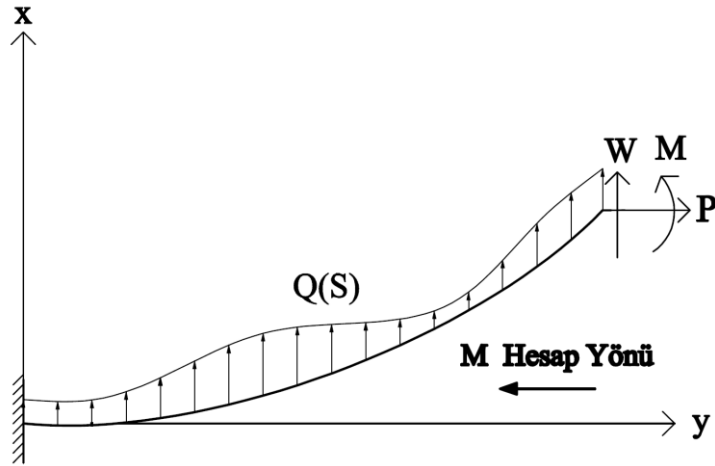
$$V_i = V_{i+1} - W - \int_{t=0}^h (Q_i + \beta_i t) dt \quad \alpha_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.13})$$

burada $V_{n+1}=W$ ve $V_1=R$ ya eşit olur. Şekilde görüldüğü gibi W kiriş ucundaki düşey kuvveti, R ise mesnetteki mesnet reaksiyon kuvvetini ifade etmektedir. Eşitlikteki değerler yerine konarak ve integrasyon işlemi yapıldığında kesme kuvveti çözümü şu şekilde olur:

$$V_i = V_{i+1} - W - h \left[Q_i + \frac{1}{2} (\beta_i h) \right] \quad \alpha_i = 0 \quad \alpha_i \neq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.14})$$

3.4. Momentler Hesabı

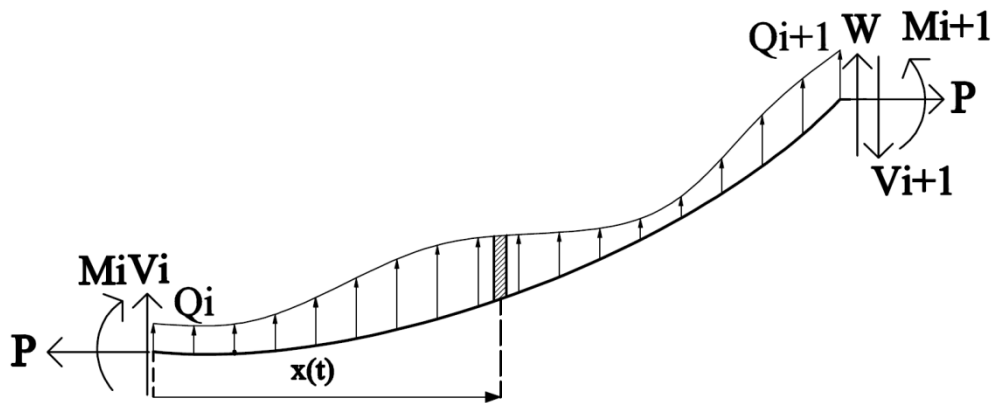
Momentlerin hesap yönü serbest uçtaki yükler bilindiği için kirişin sağından soluna doğrudur Şekil (3.5). Bunun için de M_i değeri Şekil 3.6'dan hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Moment hesabı için hesap yönü.

$0 < t < h$ arasında moment ise şu şekilde ifade edilir:

$$M_{i+1} = M_i + P\Delta y_i + V_i\Delta x_i + \int_{t=0}^h Q(t)[x_{i+1} - x(t)] dt \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.15})$$



Şekil 3.6. Yüklü bir parça üzerindeki momentler.

Moment hesap yönü soldan sağa olduğu için M_i E.3.16'da yalnız bırakılır.

$$M_i = M_{i+1} - P\Delta y_i - V_i\Delta x_i - \int_{t=0}^h Q(t)[x_{i+1} - x(t)] dt \quad \alpha_i = 0$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.16})$$

$\alpha_i = 0$ durumu şu şekilde bulunur:

M_i deki integrasyon işlemi şu şekilde yapılır:

$$\int_{t=0}^h Q(t)[x_{i+1} - x(t)] dt$$

E.3.16'deki $x(t)$ E.3.6 yerine yazılırsa:

$$\int_{t=0}^h Q(t)[x_{i+1} - (x_i + t \cos(\theta_i))] dt$$

$$\int_{t=0}^h Q(t)[x_{i+1} - x_i - t \cos(\theta_i)] dt$$

$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$ eşitliği olduğu düşünülürse ve (E.3.5) yerine konulursa:

$$\int_{t=0}^h (Q_i + \beta_i t)[\Delta x_i - t \cos(\theta_i)] dt$$

$$\int_{t=0}^h Q_i \Delta x_i - Q_i t \cos(\theta_i) + \beta_i t \Delta x_i - \beta_i t^2 \cos(\theta_i) dt$$

$$= \left| Q_i \Delta x_i t - \frac{Q_i t^2}{2} \cos(\theta_i) + \frac{\beta_i t^2 \Delta x_i}{2} - \frac{\beta_i t^3 \cos(\theta_i)}{3} \right|_0^h$$

$$= Q_i \Delta x_i h - \frac{Q_i h^2}{2} \cos(\theta_i) + \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{2} - \frac{\beta_i h^3 \cos(\theta_i)}{3}$$

Eşitlikte E.3.8 yerine konursa:

$$\begin{aligned}
 &= Q_i \Delta x_i h - \frac{Q_i h \Delta x_i}{2} + \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{2} - \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{3} \\
 &= \frac{Q_i h \Delta x_i}{2} + \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{2} - \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{3} \\
 &= \frac{Q_i h \Delta x_i}{2} + \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{6} \\
 &= \frac{h \Delta x_i}{2} \left(Q_i + \frac{\beta_i h}{3} \right)
 \end{aligned}$$

$$M_i = M_{i+1} - P \Delta y_i - V_i \Delta x_i - \left[\frac{h \Delta x_i}{2} \left(Q_i + \frac{\beta_i h}{3} \right) \right] \quad \alpha_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.17})$$

$\alpha_i = 0$ için Moment değerleri bulundu.

$\alpha_i \neq 0$ durumu şu şekilde bulunur:

$$M_i = M_{i+1} - P \Delta y_i - V_i \Delta x_i - \int_{t=0}^h Q(t) [x_{i+1} - x(t)] dt \quad \alpha_i = 0$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.18})$$

M_i deki integrasyon işlemi şu şekilde yapılır:

$$\int_{t=0}^h Q(t) [x_{i+1} - x(t)] dt$$

(E.3.6) deki $x(t)$ yerine yazılırsa:

$$\int_{t=0}^h Q(t) \left[x_{i+1} - \left(x_i + \frac{\sin(\theta_i + \alpha_i t) - \sin(\theta_i)}{\alpha_i} \right) \right] dt$$

$$\int_{t=0}^h Q(t) \left[x_{i+1} - x_i - \left(\frac{\sin(\theta_i + \alpha_i t) - \sin(\theta_i)}{\alpha_i} \right) \right] dt$$

$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$ eşitliği olduğu düşünülürse ve (E3.8) yerine konulursa:

$$\int_{t=0}^h (Q_i + \beta_i t) \left[\Delta x_i - \left(\frac{\sin(\theta_i + \alpha_i t) - \sin(\theta_i)}{\alpha_i} \right) \right] dt$$

$$\int_{t=0}^h (Q_i + \beta_i t) \left[\Delta x_i - \frac{\sin(\theta_i + \alpha_i t)}{\alpha_i} + \frac{\sin(\theta_i)}{\alpha_i} \right] dt$$

$$\int_{t=0}^h Q_i \Delta x_i - Q_i \frac{\sin(\theta_i + \alpha_i t)}{\alpha_i} + Q_i \frac{\sin(\theta_i)}{\alpha_i} + \beta_i t \Delta x_i - \beta_i t \frac{\sin(\theta_i + \alpha_i t)}{\alpha_i} + \beta_i t \frac{\sin(\theta_i)}{\alpha_i} dt$$

$$= \left[Q_i \Delta x_i t - \frac{Q_i}{\alpha_i^2} (\cos(\theta_i) - \cos(\theta_{i+1})) + Q_i \frac{\sin(\theta_i)}{\alpha_i} t + \frac{\beta_i t^2 \Delta x_i}{2} - \frac{\beta_i}{\alpha_i^2} (\Delta x_i - t \cos(\theta_{i+1}) + \beta_i t^2 \frac{\sin(\theta_i)}{2\alpha_i}) \right]_0^h$$

$$= Q_i \Delta x_i h - \frac{Q_i}{\alpha_i^2} (\cos(\theta_i) - \cos(\theta_{i+1})) + Q_i \frac{\sin(\theta_i)}{\alpha_i} h + \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{2} - \frac{\beta_i}{\alpha_i^2} (\Delta x_i - h \cos(\theta_{i+1}) + \beta_i h^2 \frac{\sin(\theta_i)}{2\alpha_i})$$

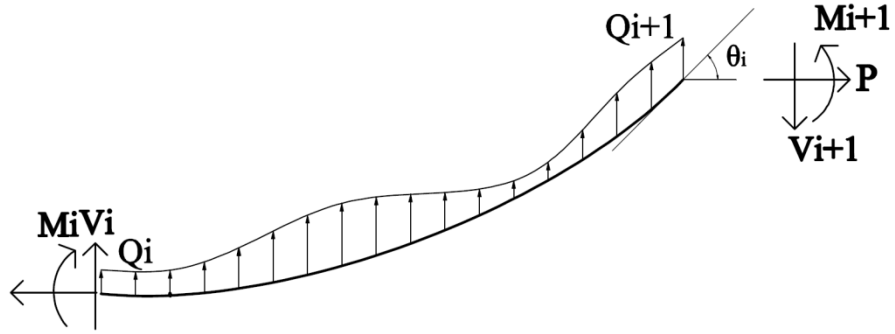
$$M_i = M_{i+1} - P \Delta y_i - V_i \Delta x_i - \left[Q_i \Delta x_i h - \frac{Q_i}{\alpha_i^2} (\cos(\theta_i) - \cos(\theta_{i+1})) + Q_i \frac{\sin(\theta_i)}{\alpha_i} h + \frac{\beta_i h^2 \Delta x_i}{2} - \frac{\beta_i}{\alpha_i^2} (\Delta x_i - h \cos(\theta_{i+1}) + \beta_i h^2 \frac{\sin(\theta_i)}{2\alpha_i}) \right] \quad \alpha_i \neq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{E.3.19})$$

moment değerleri bulunmuş olur.

3.5. Moment Şekil Değişirme İlişkisi

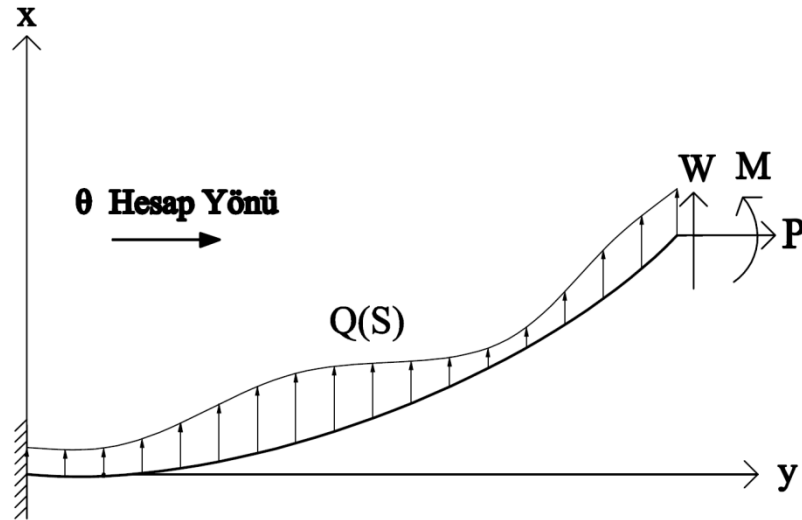
Moment değerleri aşağıdaki Şekil 3.7'deki gibi küçük parça boyunca integrasyon işlemi yapılırsa o küçük parçanın dönüş açısı değişimi malzemenin cinsine ve boyutlarına bağlı olarak bulunabilir (E.3.20).

$$EI\Delta\theta_i = \int_i M(t)dt \quad (E.3.20)$$



Şekil 3.7. Yüklü bir parçanın uçundaki dönüş açısı.

Önerilen yöntemde dönüş açısı değişimi hesabı, kirişin ankastre ucunda dönüş açısı sıfır olması sebebi ile kiriş boyunca sağdan sola doğrudur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Dönüş açısı değişimi hesap yönü.

Hesap yönü sağdan sola olduğu için E. 3.21'deki moment ifadesi M_{i+1} olmalıdır.

Bu çalışma kapsamında $M(t)$ değeri bir parçada doğrusal değiştiği kabul edilip, $M(t)$ değeri E.3.21'deki gibi hesaplanmıştır.

$$M(t) = \frac{M_i + M_{i+1}}{2} h \quad (\text{E.3.21})$$

E.3.20'deki eşitliğe E3.21 eşitliği konulup düzenlenirse:

$$\Delta\theta_i = \frac{M_i + M_{i+1}}{2EI} h \quad (\text{E.3.22})$$

bir parça için dönüş açısı değişimleri belirlenmiş olur.

3.6. Toplam Potansiyel Enerji

Doğadaki tüm sistemler gibi konsol bir kiriş de minimum potansiyel enerji konumunda bulunmak ister. Bu potansiyel enerjinin hesabı da moment etkisinin oluşturduğu enerjiden, oluşan şekil değiştirmenin kuvvetler ile çarpımının çıkarılması ile hesaplanabilir.

Çubuk üzerine etkiyen moment neticesinde çubuğun her bir parçası üzerinde belirli bir enerji birikimi olur. Bu enerji birikimi her parça için şu şekilde hesaplanabilir:

$$G = \frac{1}{2} \int_{t=0}^h \frac{M^2}{EI} dt \quad (\text{E.3.23})$$

Moment ifadesi şu şekilde yazılır:

$$M_{i+1} = M_i + \gamma h \quad (\text{E.3.24})$$

Moment değişimi kiriş parçası üzerinde E.25'deki gibi hesaplanabilir:

$$\gamma = \frac{M_{i+1} - M_i}{h} \quad (\text{E.3.25})$$

$$M = M_i + \gamma t$$

$$M^2 = M_i^2 + 2\gamma M_i t + \gamma^2 t^2$$

$$S = \frac{1}{2EI} \int_{t=0}^h (M_i^2 + 2\gamma M_i t + \gamma^2 t^2) dt$$

$$S = \frac{1}{2EI} \left[M_i^2 t + \gamma M_i t^2 + \gamma^2 \frac{t^3}{3} \right]_0^h$$

burada E.3.23'deki eşitliğindeki integrasyon işlemi yapılırsa:

$$S = \frac{1}{2EI} (M_i^2 h + \gamma M_i h^2 + \gamma^2 \frac{h^3}{3}) \quad (\text{E.3.26})$$

bulunan enerji değeri çubuğun bir parçasındaki toplam enerji değerini belirlemek için parçanın hacmi ile çarpılır:

$$S = \frac{Ah}{2EI} (M_i^2 h + \gamma M_i h^2 + \gamma^2 \frac{h^3}{3}) \quad (\text{E.3.27})$$

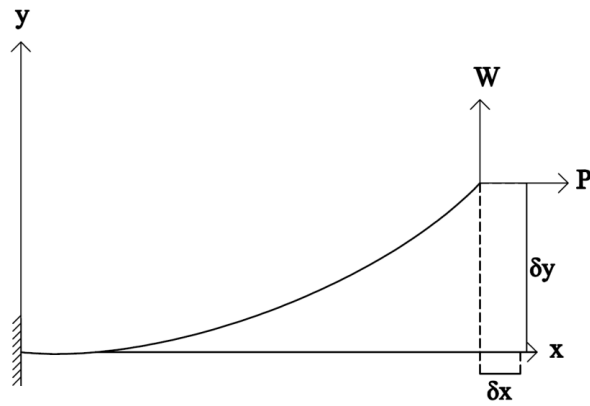
E.3.25 E.3.26'de yerine konulursa:

$$S = \frac{Ah}{2EI} \left[M_i^2 h + \left(\frac{M_{i+1} - M_i}{h} \right) M_i h^2 + \left(\frac{M_{i+1} - M_i}{h} \right)^2 \frac{h^3}{3} \right] \quad (\text{E.3.28})$$

tüm parçalardaki enerji toplanarak $\sum S$ değeri bulunabilir. Çubuk üzerindeki yüklerin oluşturduğu enerji Şekil 3.9'daki gibi hesaplanır:

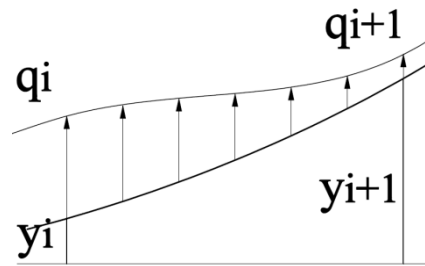
-Yatay kuvvetin çubuğun bir parçasında oluşturduğu enerji: $P\delta_x$

-Düşey kuvvetin çubuğun bir parçasında oluşturduğu enerji: $W\delta_y$



Şekil 3.9. Kirişin yer değiştirmiş hali.

-Yayıllı yükün çubuğun bir parçasında oluşturduğu enerji (Şekil 3.10):



Şekil 3.10. Kiriş parçasında enerji hesabı.

$$q = q_i + \beta t \quad (\text{E.3.29})$$

$$y = \begin{cases} y_i + t \sin(\theta_i) & \alpha_i = 0 \\ y_i + \frac{\cos(\theta_i) - \cos(\theta_i + \alpha_i t)}{\alpha_i} & \alpha_i \neq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.30})$$

$$\int_{t=0}^h q y_i dt = \begin{cases} \int_{t=0}^h (q_i + \beta t)(y_i + t \sin(\theta_i)) dt & \alpha_i = 0 \\ \int_{t=0}^h (q_i + \beta t) \left(y_i + \frac{\cos(\theta_i) - \cos(\theta_i + \alpha_i t)}{\alpha_i} \right) dt & \alpha_i \neq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.31})$$

$$\int_{t=0}^h (q_i + \beta t)(y_i + t \sin(\theta_i)) dt \quad \alpha_i = 0 \quad (\text{E.3.32})$$

$$= \int_{t=0}^h q_i y_i + q_i t \sin(\theta_i) + \beta t y_i + \beta t^2 \sin(\theta_i) dt$$

$$\begin{aligned}
&= \left| q_i y_i t + \frac{q_i t^2 \sin(\theta_i)}{2} + \frac{\beta t^2 y_i}{2} + \frac{\beta t^3 \sin(\theta_i)}{3} \right|_0^h \\
&= q_i y_i h + \frac{q_i h^2 \sin(\theta_i)}{2} + \frac{\beta h^2 y_i}{2} + \frac{\beta h^3 \sin(\theta_i)}{3} \quad \alpha_i = 0 \\
&= h \left(q_i y_i + \frac{q_i h \sin(\theta_i)}{2} + \frac{\beta h y_i}{2} + \frac{\beta h^2 \sin(\theta_i)}{3} \right) \quad \alpha_i = 0 \quad (\text{E.3.33})
\end{aligned}$$

$$\int_{t=0}^h (q_i + \beta t) \left(y_i + \frac{\cos(\theta_i) - \cos(\theta_i + \alpha_i t)}{\alpha_i} \right) dt \quad \alpha_i \neq 0 \quad (\text{E.3.34})$$

$$\begin{aligned}
&= q_i y_i h + q_i \frac{h}{\alpha_i} \cos(\theta_i) - \frac{q_i}{\alpha_i^2} (\sin(\theta_{i+1}) - \sin(\theta_i)) + \beta \frac{h^2 y_i}{2} + \beta \frac{h^2 y_i \cos(\theta_i)}{2\alpha_i^2} - \\
&\frac{\beta}{\alpha_i^3} (\cos(\theta_{i+1}) - \cos(\theta_i) + \theta_i \sin(\theta_i) + \theta_{i+1} \sin(\theta_{i+1}) - \theta_i (\sin(\theta_{i+1}) - \sin(\theta_i))) \\
&\quad \alpha_i \neq 0 \quad (\text{E.3.35})
\end{aligned}$$

Yer değiştirmelerden kaynaklanan enerji değişimi:

$$F = P\Delta_x + W\Delta_y + h \left(q_i y_i + \frac{q_i h \sin(\theta_i)}{2} + \frac{\beta h y_i}{2} + \frac{\beta h^2 \sin(\theta_i)}{3} \right) \quad \alpha_i = 0 \quad (\text{E.3.36})$$

$$\begin{aligned}
F &= P\Delta_x + W\Delta_y + q_i y_i h + q_i \frac{h}{\alpha_i} \cos(\theta_i) - \frac{q_i}{\alpha_i^2} (\sin(\theta_{i+1}) - \sin(\theta_i)) + \beta \frac{h^2 y_i}{2} + \\
&\beta \frac{h^2 y_i \cos(\theta_i)}{2\alpha_i^2} - \frac{\beta}{\alpha_i^3} (\cos(\theta_{i+1}) - \cos(\theta_i) + \theta_i \sin(\theta_i) + \theta_{i+1} \sin(\theta_{i+1}) - \theta_i (\sin(\theta_{i+1}) - \\
&\sin(\theta_i))) \quad \alpha_i \neq 0 \quad (\text{E.3.37})
\end{aligned}$$

Bu etkiler tm ubuk üzerinde değerlendirilirse:

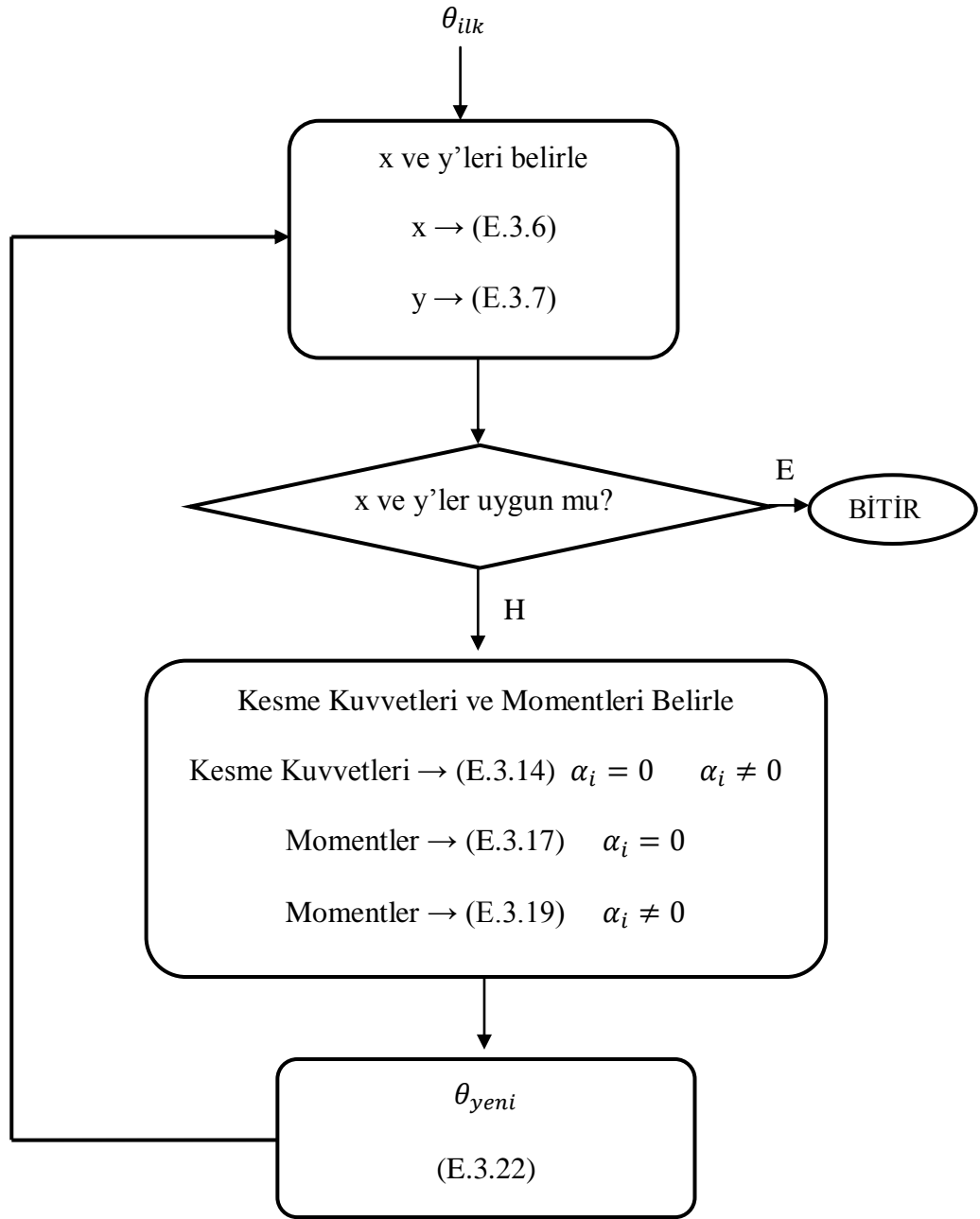
$$\Sigma U = \Sigma S - \Sigma F\delta \quad (\text{E.3.38})$$

bütün çubuktaki toplam enerji bulunmuş olur.

4. SAYISAL ÇÖZÜM

4.1. Statik Eşitliklerle Çözüm

Farklı birçok yükler ile yüklü konsol kirişin yer değiştirme hesabı yapılırken öncelikli olarak bölünmüş her bir parça için ilk dönme açılarına (θ) göre yer değiştirmeler (x ve y 'ler) hesaplanır. (İlk dönme açıları bu çalışma kapsamında 0 olarak alınmıştır.) Yer değiştirmelerin uygun olup olmadığı kontrol edilir. Eğer yer değiştirmeler uygunsa, doğrusal olmayan yer değiştirmeler bulunmuş, yükler altında şekil değiştirmiş kirişin gerçek şekli belirlenmiş olur. Ancak şekil değiştirme uygun değilse konsol kirişte yüklerin kiriş üzerinde meydana getirdiği kesme kuvvetleri ve momentler bulunur. Eşitlik E3.22 yardımı ile de momentlerden yeni dönme açıları (θ) belirlenir. Yeni dönme açıları (θ) ve aynı yükler, önceki iterasyon sonucunda şekil değişimi belirlenmiş kirişe tekrar etki ettirilir ve yeni yer değiştirmeler (x ve y 'ler) belirlenir. (Bu şekilde ilk iterasyon tamamlanmış olur.) Yer değiştirmelerin uygun olup olmadığı tekrar kontrol edilir. Şekil değiştirmeler uygun değilse aynı yükler şekil değiştirmiş kirişe tekrar etki ettirilir ve yeni kesme kuvvetleri, momentler ve dönme açıları (θ) bulunur. Yeni bulunan dönme açılarına (θ) göre belirlenmiş yeni yer değiştirmelerin uygunluğu kontrol edilir. Bu uygunluk kriteri, bulunan yer değiştirmelerin önceki iterasyonda bulunan yer değiştirmeler ile olabildiğince yakın olmasıdır. Bu yakınlık sağlandığında iterasyon bitirilir ve çubuğun gerçek şekli bulunmuş olur. Statik denklemlerle çözümün akış şeması Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1. Yerdeğiştirmeler hesap akış şeması.

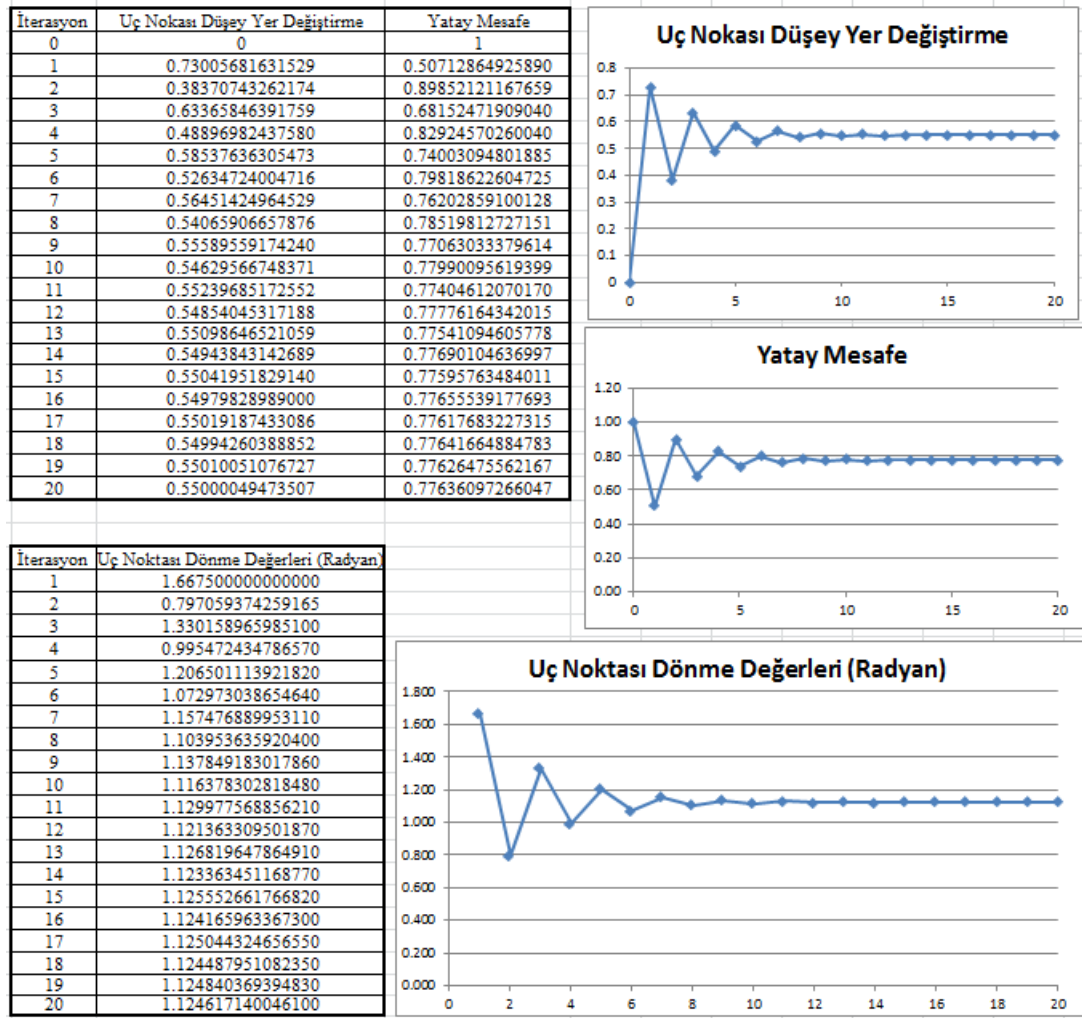
4.2. Çözüm için Kullanılan Yöntemler

Statik eşitlikler ve akış şeması belirlendikten sonra yapılması gereken iterasyonlar iki bilgisayar programı ile yapılmıştır. Bu programlardan ilki önerilen yöntem için yeterli olması açısından *MS Excel*'dir. Sonsuz parça sayısı ve iterasyon yapma imkanı vermesi ile daha kesin sonuçlar bulması ve ara yüz oluşturularak kullanılabilirliği bakımından ise *MATLAB* yazılımı kullanılmıştır.

4.2.1. *MS Excel* ile çözüm

Problemin çözümü, kapalı çözüm ve sayısal yöntemler gibi oldukça zahmetli matematiksel çözümlerin ya da karmaşık paket programların yerine *MS Excel* gibi temel bir ofis programı ve sadece dört işlem kullanılarak yapılmıştır. Giriş *MS Excel*'de bir satır boyunca parçalara bölünmüş, her bir kolona çubuğun bir parçası gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Öncelikli olarak çubuğun bölünmüş her bir parçasının koordinatları belirlenmiş, sonra kesme kuvvetleri ve momentler hesaplanmıştır. Daha sonra bu momentlere ve çubuk malzeme özelliklerine göre yeni yer değiştirmeler alt satırlarda bulunmuş ve ilk iterasyon tamamlanmıştır. İşlem alt satırlara kopyalanarak şekil değiştirmiş çubuk üzerinde tekrar tekrar yeni kesme kuvvetleri momentler ve yer değiştirmeler şekil değiştirmiş çubuk üzerinde hesaplatılmış iterasyonlar yeteri kadar devam ettirilmiştir (Şekil 4.2).

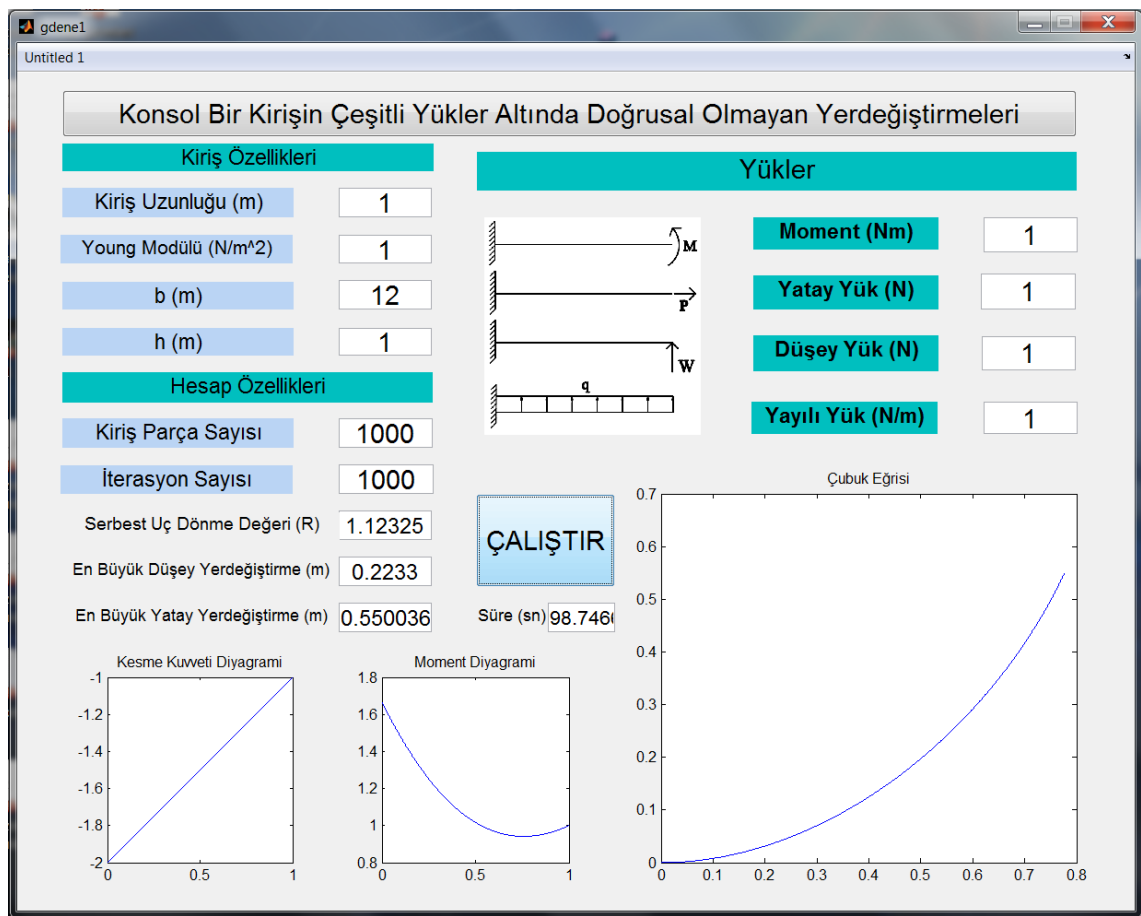
Önerilen yöntem oldukça doğru sonuçlar bulduğu ve işlem süresinin uzamaması için 20 iterasyon çözüm için yeterli görülmüştür. Çubuk 10, 20 ve 50 parçaya bölünerek üç farklı çözüm yapılmıştır. Çubuğu 10 ve 20 parçaya bölerek şekil değiştirmeleri bulmak yeterli olsa da daha kesin sonuçlar için 50 parçalı çözüm daha uygun görülmüştür. İterasyon sayısının ve çubuğun parça sayısının arttırması daha kesin sonuçlar bulacağı kesin olsa da *MS Excel*'de yapılmış 20 iterasyon ve 50 parça gerçek şekil değiştirmeye oldukça yakın sonuç vermektedir (Şekil 4.3). Bu şekilde yatay eksen iterasyon sayılarını dikey eksen ise sırasıyla uç noktanın dikey ve yatay ötelenmelerini ve dönme açılarını vermektedir.



Şekil 4.3. *MS Excel*'de hazırlanan program: 10 parçaya bölünmüş çubuğun 20 iterasyon sonucunda gerçek şekil değiştirmeye yakınsama görüntüsü.

4.2.2. MATLAB ile çözüm

MS Excel ile problemin çözümü için tatmin edici sonuçlar alınsa da *MS Excel*'de parça sayısı ve iterasyon sayısı belirli bir seviyede kalmaktadır. *MATLAB* yazılımı ise bu gibi iteratif işlemler için oldukça uygundur. Ayrıca bu çalışma kapsamında *MATLAB* yazılımının *GUI* arayüz oluşturma aracı ile bir arayüz oluşturularak yöntem kendi başına çalışan bir program haline getirilmiştir. Yazılan program *MATLAB*'ın 2012a versiyonu ile hazırlanmıştır (Şekil 4.4). Program kodları Ek-1'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Hazırlanan kullanıcı arayüz görüntüsü.

4.3. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Çözümlerin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında verilen örnekler ve çizilen grafikler boyutsuz olarak verilmiştir. Yükleri ve uzunlukları boyutsuzlaştırmak için şu eşitsizlikler kullanılmıştır:

$$x = \frac{X(L)}{L}, \quad y = \frac{Y(L)}{L}, \quad \text{yer de\u0131ştirmiş serbest uç koordinatları,}$$

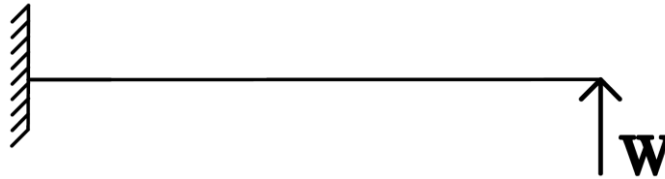
$$P = \frac{P(L)^2}{EI}, \quad \text{serbest uçtaki yatay yük,}$$

$$w = \frac{W(L)^2}{EI}, \quad \text{serbest uçtaki düşey yük,}$$

$$q = \frac{Q(L)^3}{EI}, \quad \text{düzgün yayılı düşey yük.}$$

4.3.1. Düşey yük için karşılaştırma

Ankastre bir kirişin çeşitli yükler altında şekil de\u0131ştirmesini ve serbest uçtaki dönme ve çökmeleri belirlemek kolayca yapılamayacağından E.2.6'daki eşitlik E.4.1 eşitliğinde basitleştirilmiştir. E.4.1 izleyen şekilde çözülmüş, serbest uçtan düşey bir yükü yüklenmiş (Şekil 4.5) konsol bir kiriş için sınır şartları yerine yazılmış, serbest uç noktası düşey çökmesi ve dönmesi E.4.2 ve E.4.3'de belirlemiştir.



Şekil 4.5. Tekil düşey yükü yüklenmiş kiriş.

$$EI \cdot v''' = \frac{dM}{dx} \quad (\text{E.4.1})$$

$$EI \cdot v''' = W$$

$$EI \cdot v'' = Wx + c_1$$

$$EI \cdot v' = \frac{Wx^2}{2} + c_1x + c_2$$

$$EI \cdot v = \frac{Wx^3}{6} + \frac{c_1x^2}{2} + c_2x + c_3$$

Sınır koşulları yerine konulursa:

$$M(x = 0) = -WL \rightarrow c_1 = -WL$$

$$v'(x = 0) = 0 \rightarrow c_2 = 0$$

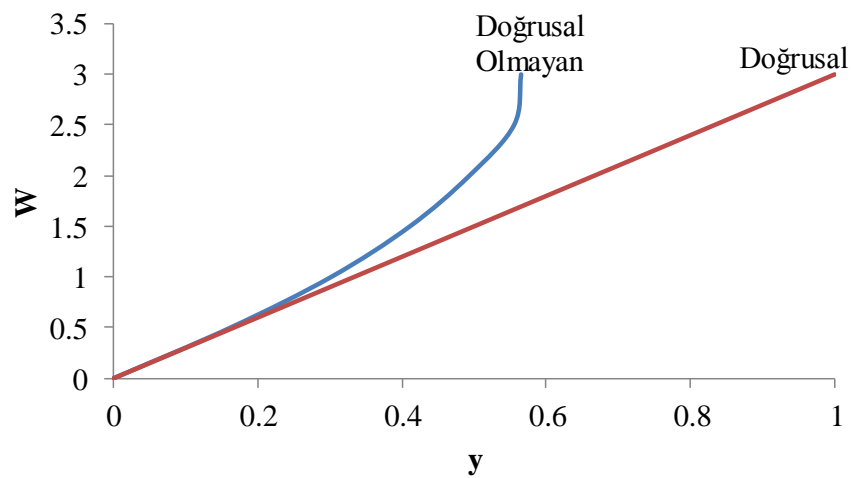
$$v(x = 0) = 0 \rightarrow c_3 = 0$$

Serbest uç noktası düşey yer değiştirmeyi belirlemek için $x = L$ konulur:

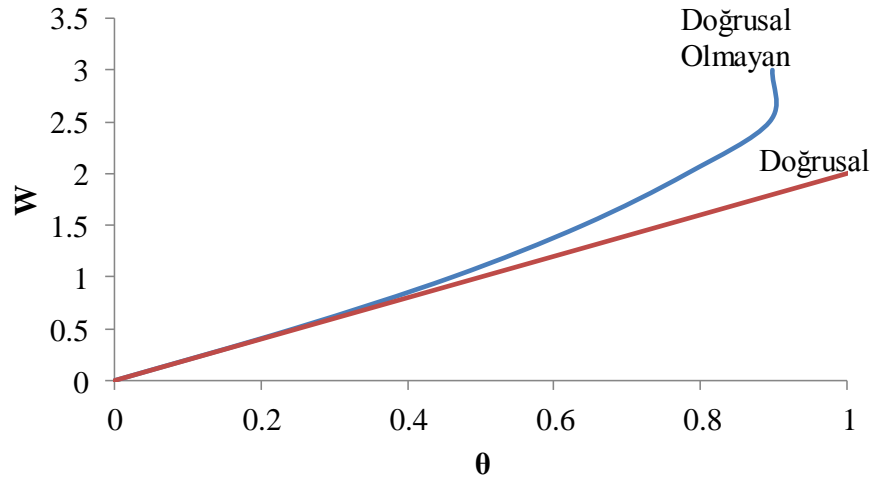
$$v' = \left[\frac{W}{EI} \frac{x^2}{2} - Lx \right] \rightarrow \theta = -\frac{WL^2}{2EI} \quad (\text{E.4.2})$$

$$v = \left[\frac{W}{EI} \frac{x^3}{6} - \frac{Lx^2}{2} \right] \rightarrow v = -\frac{WL^3}{3EI} \quad (\text{E.4.3})$$

Serbest uçta sadece düşey bir yük ile yüklenmiş kiriş, önerilen yöntem ile 50 parçaya bölünmüş ve 20 iterasyon yapılarak E.4.2'deki doğrusal çözüm ile Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de karşılaştırılmıştır.



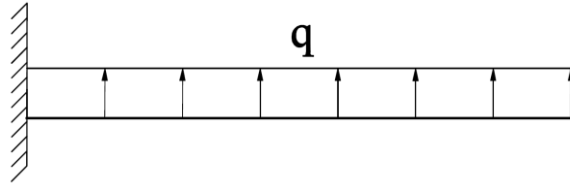
Şekil 4.6. Farklı düşey yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu yerdeğiştirmesi.



Şekil 4.7. Farklı düşey yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu dönmesi.

4.3.2. Yayılı yük için karşılaştırma

E.4.4 izleyen şekilde çözülmüş, kiriş boyunca düzgün yayılı yüküyle yüklenmiş (Şekil 4.8) konsol bir kiriş için sınır şartları yerine yazılmış, serbest uç noktası düşey çökmesi ve dönmesi E.4.5 ve E.4.6'de belirlemiştir.



Şekil 4.8. Yayılı yüküyle yüklenmiş kiriş.

$$EI \cdot v'''' = q \quad (E.4.4)$$

$$EI \cdot v''' = qx + c_1$$

$$EI \cdot v'' = \frac{qx^2}{2} + c_1x + c_2$$

$$EI \cdot v' = \frac{qx^3}{6} + \frac{c_1x^2}{2} + c_2x + c_3$$

$$EI \cdot v = \frac{qx^4}{24} + \frac{c_1x^3}{6} + \frac{c_2x^2}{2} + c_3x + c_4$$

Sınır koşulları yerine konulursa:

$$V(x = 0) = qL \rightarrow c_1 = -qL$$

$$M(x = 0) = \frac{qL^2}{2} \rightarrow c_2 = \frac{qL^2}{2}$$

$$v'(x = 0) = 0 \rightarrow c_3 = 0$$

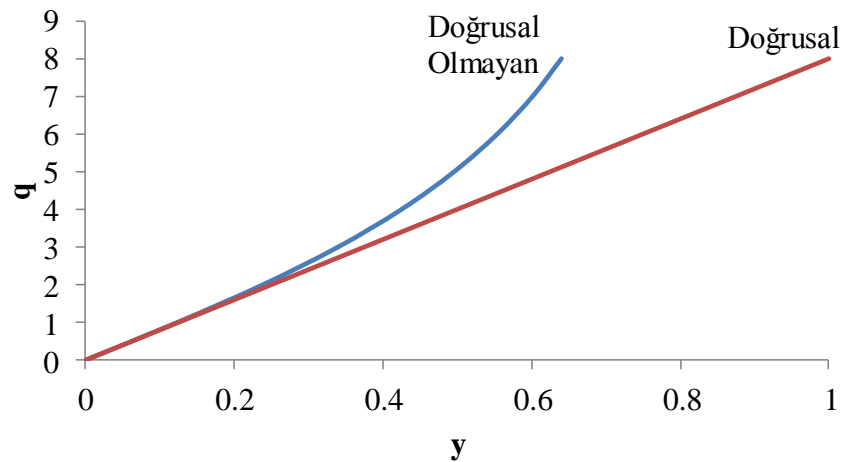
$$v(x = 0) = 0 \rightarrow c_4 = 0$$

Serbest uç noktası düşey yer değiştirmeyi belirlemek için $x = L$ konulur:

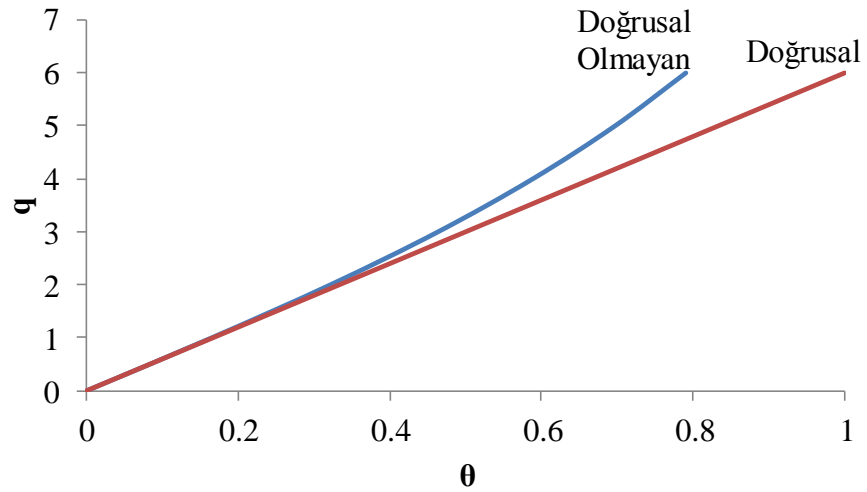
$$EIv' = \frac{q}{6} x^3 - \frac{qL}{2} x^2 + \frac{qL^2}{2} x \rightarrow \theta = \frac{qL^3}{6EI} \quad (\text{E.4.5})$$

$$EIv = \frac{q}{24} x^4 - \frac{qL}{6} x^3 + \frac{qL^2}{4} x^2 \rightarrow v = \frac{qL^4}{8EI} \quad (\text{E.4.6})$$

Serbest uçta sadece düşey bir yük ile yüklenmiş kiriş, önerilen yöntem ile 50 parçaya bölünmüş ve 20 iterasyon yapılarak E.4.5'deki doğrusal çözüm ile Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de karşılaştırılmıştır.



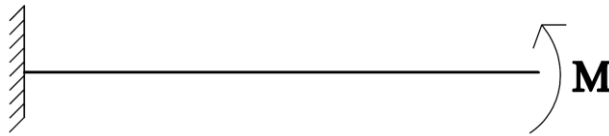
Şekil 4.9. Farklı yayılı yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu yer değiştirmesi.



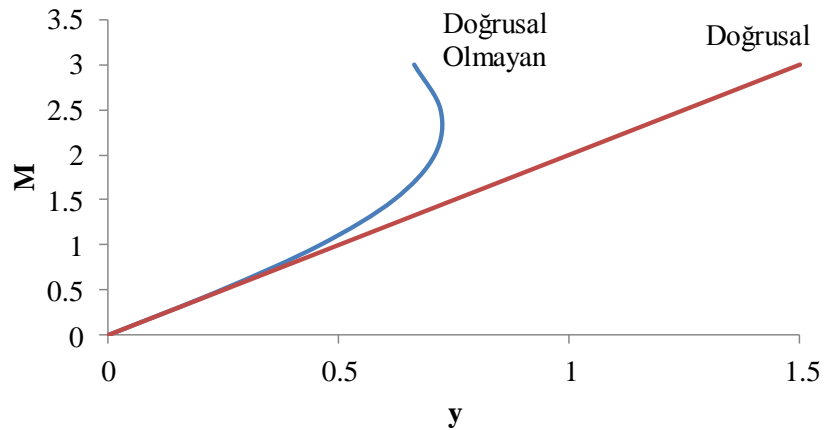
Şekil 4.10. Farklı yayılı yüklerle yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu dönmesi.

4.3.3. Moment yükü için karşılaştırma

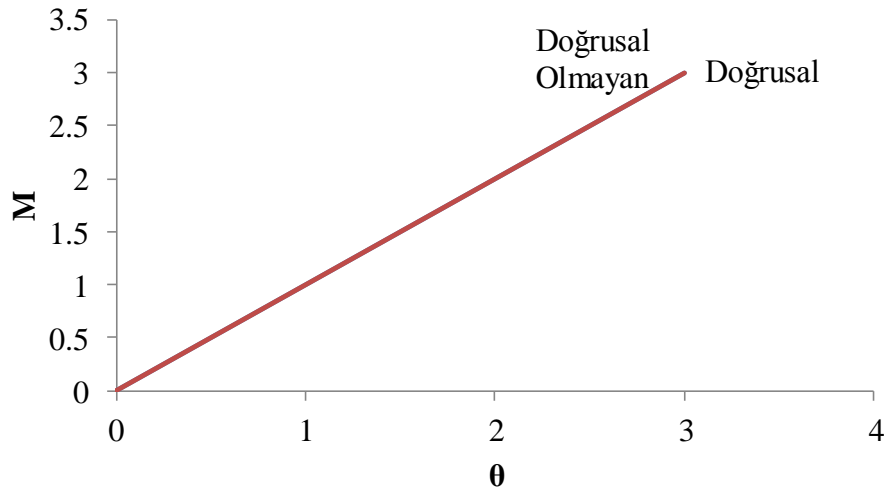
Sistem Şekil 4.11'deki gibi serbest uçtan moment yükü ile yüklenmiş, Şekil 4.12 ve Şekil 4.12'deki karşılaştırma şekilleri belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Tekil moment yüküyle yüklenmiş kiriş.



Şekil 4.12. Farklı moment yükleri ile yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu yer değiştirmesi.



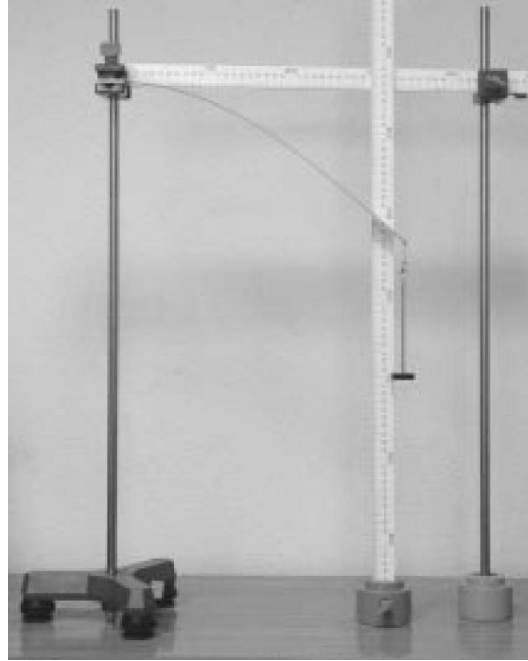
Şekil 4.13. Farklı moment yükler ile yüklenmiş kirişin doğrusal ve doğrusal olmayan serbest ucu dönmesi (İki eğri üstüste denk gelmektedir).

4.4. Önerilen Yöntemin Diğer Yöntemlerle Kıyaslanması

Önerilen yeni yöntem ile belirlenen şekil değiştirmeler, literatürde bulunan kapalı çözümler, sayısal çözümler deneysel çalışmalar ve doğrusal olmayan problemleri çözebilen paket programlar ile karşılaştırılmıştır.

4.4.1. Önerilen yöntemin yapılan deneysel bir çalışma ile karşılaştırması

Belendez ve arkadaşları bir ucu ankastre elastik çubuk ucuna çeşitli yükler yükleyerek, çubuktaki şekil değiştirmeleri deneysel olarak belirlemiş, diferansiyel denklemler ve ANSYS paket programından çıkan sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Hazırladıkları deney düzeneği Şekil 4.14 de verilmiştir.



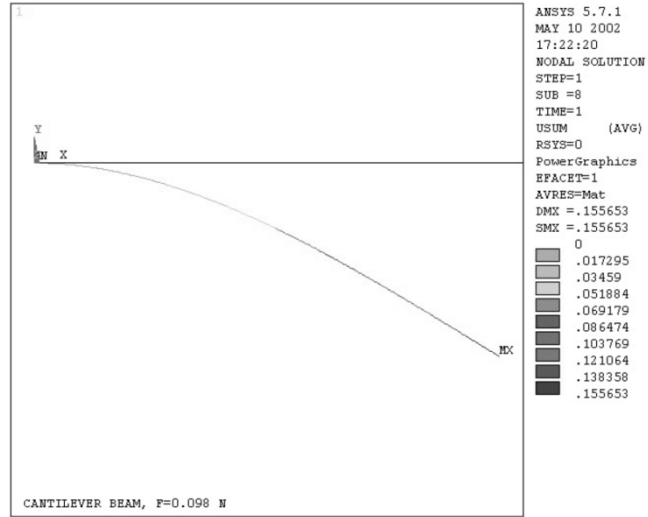
Şekil 4.14. Hazırlanmış deney düzeneği (Belendez 2003).

Yapılan çalışmada Young Modülü 194,3 GPa, çubuk ağırlığı 0,3032 N çubuk boyu 40 cm, $b=25$ mm ve $d=4$ mm'dir. Çubuk ağırlığı yayılı yük olarak düşünülmüş, $q=0,3032/0,4=0,758$ N/m olarak hesaplanmış, önerilen yöntem eşitliklerine göre – işaretle hesaplanmış, Çizelge 4.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması.

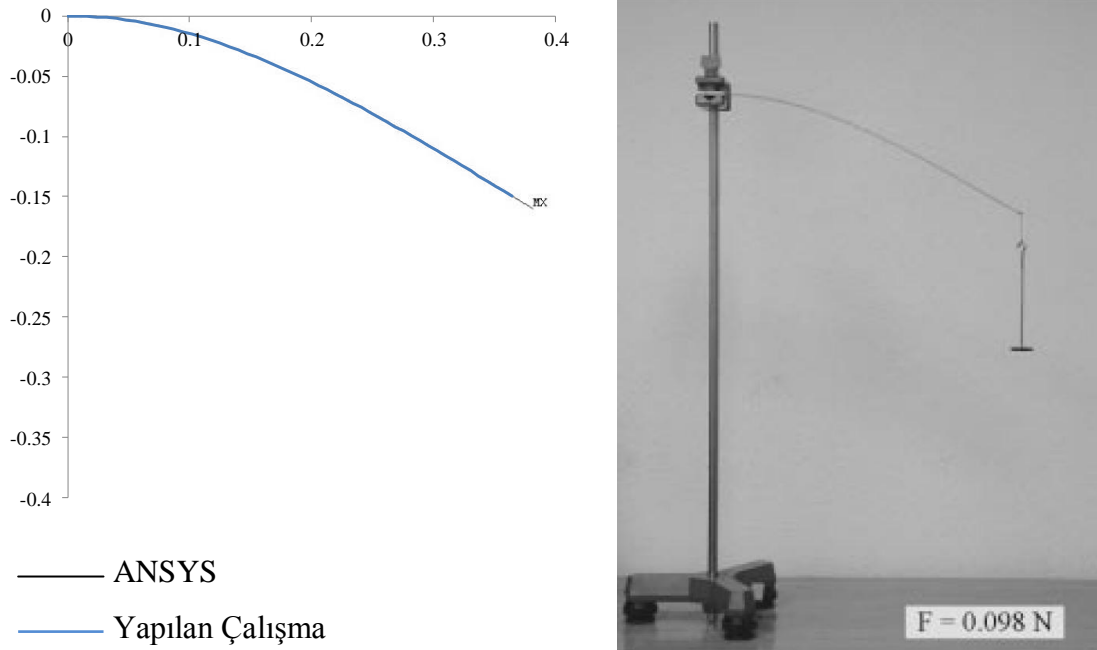
W(N)	Serbest Uç Düşey Yer Değiştirmesi (m)				
	Bu Çalışma Sonucu	Belendez 2003 Deneysel Sonuçlar	Fark (%)	Belendez 2003 Sayısal Sonuçlar	Fark (%)
0.000	0.0886	0.089	0.4	0.0898	1.3
-0.098	0.1495	0.149	0	0.1516	1.4
-0.196	0.1933	0.195	0.9	0.1960	1.4
-0.294	0.2240	0.227	1.4	0.2270	1.4

Yapılan çalışmada sistem ANSYS programı ile modellenerek serbest uca 0,098 N ve kendi ağırlığı ile şekil değiştirmeler belirlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Kendi ağırlığı ve 0.098 N ile yüklü çubuğun ANSYS sonucu.

ANSYS programda oluşturulan model ve önerilen yöntem ile yüklerin çubuk üzerinde oluşturduğu şekil değişimini Şekil 4.16 karşılaştırılmış ve deneysel çalışma da aynı şekilde verilmiştir. Önerilen yöntem ile bulunan sonuçlar, kirişin 50 parçaya bölünüp 20 adet iterasyon yapılarak elde edilen sonuçlarıdır.



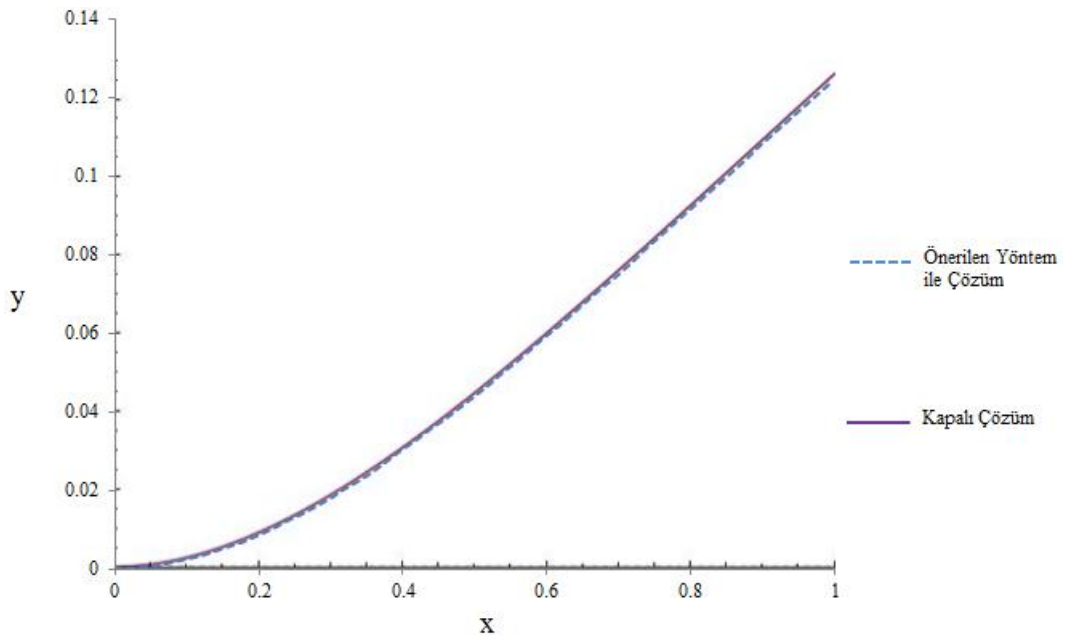
Şekil 4.16. Serbest uca 0,098 N'luk yükün oluşturduğu şekil değiştirmelerin önerilen yöntem ve ANSYS ile karşılaştırılması ve deneysel sonuçlar (Belendez 2003).

Yapılan karşılaştırmalar sonucunda çubuk serbest ucunda oluşan düşey yer değiştirme; deneysel çalışmada 0,149 m, ANSYS programında 0,15565 m, sayısal çözümlemede 0,1516 m ve önerilen yöntemde ise sadece 20 iterasyon sonucu ile 0,1495 m olarak belirlenmiştir. Sonuçlara bakılarak deneysel çalışmaya en yakın sonuç önerilen yeni yöntem ile olmuştur.

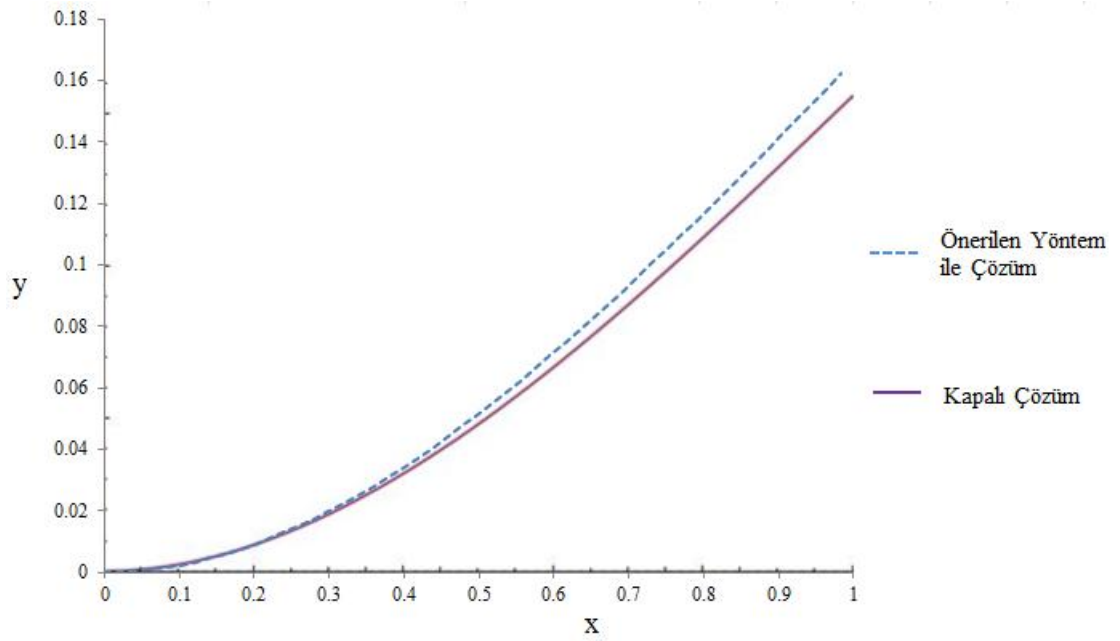
4.4.2. Sınır değer problemi olarak karşılaştırılması

Söz konusu problem sınır değer problemi olarak göz önüne alınmış ve doğrusal sınır koşullarına göre E.2.6'daki eşitlik kullanılarak *Mathematica* programında sayısal olarak çözdürülmüştür. Elde edilen sonuçlar ve bu çalışmada ulaşılan sonuçlar Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19'da sunulmuştur.

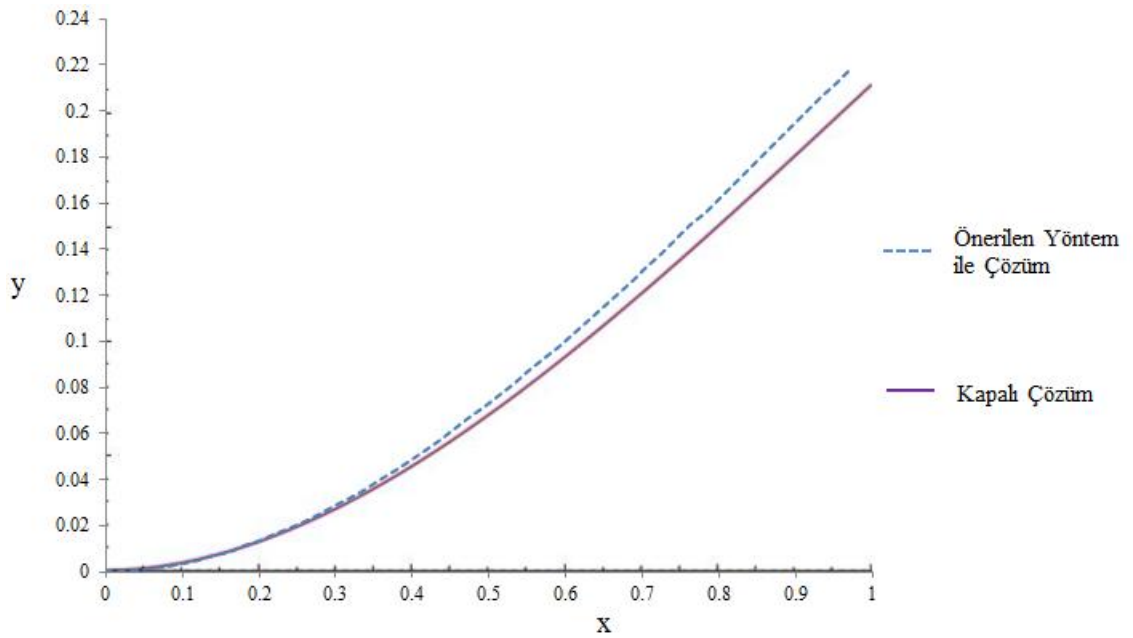
Şekillerde meydana gelen küçük farklılıkların, *Mathematica* programında çözümü yapılan sınır değer probleminde, kiriş boyunun hiç değişmediği kabulü yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Önerilen yöntem ile yapılan çözümde kiriş 50 parçaya bölünmüş, 20 iterasyon yapılmış ve şekiller boyutsuz olarak çizdirilmiştir.



Şekil 4.17. $q=1$ ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin kapalı çözüm ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.



Şekil 4.18. $W=0,5$ ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin kapalı çözüm ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.



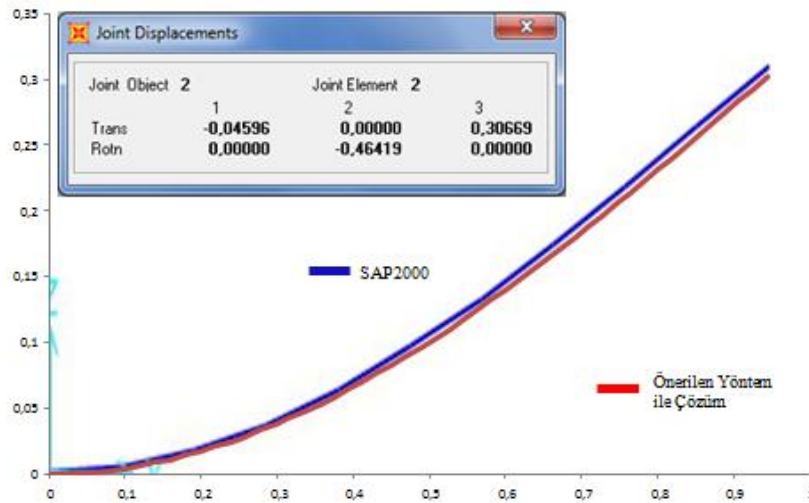
Şekil 4.19. $W=0,5$ ve $q=0,5$ ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin kapalı çözüm ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.

4.4.3. Önerilen yöntemin paket programlar ile karşılaştırılması

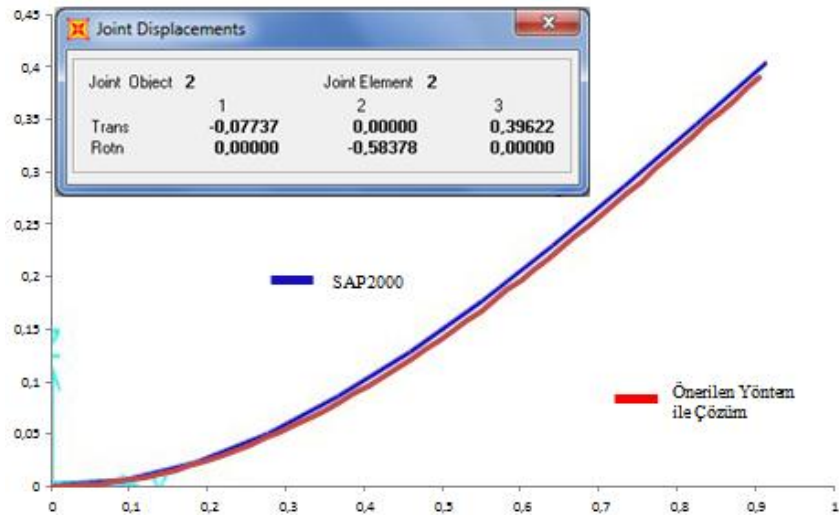
4.4.3.1 SAP2000 ile karşılaştırma

SAP2000 sonlu elemanlar çözüm yöntemi ile analiz yapan, inşaat mühendisliği projelerinde yaygın kullanılan bir programdır. İnşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilmesi ve doğrusal olmayan analiz yapabilmesi nedeni ile çalışma kapsamında önerilen yöntem ile boyutsuz nicelikler üzerinden karşılaştırılmıştır (Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22). Analizde kullanılan program *SAP2000 v15.1.0 Ultimate* versiyonun doğrusal olmayan çözüm araçları kullanılarak yapılmıştır. Önerilen yöntemde kullanılan parça sayısı 50 iken iterasyon adedi 20'dir.

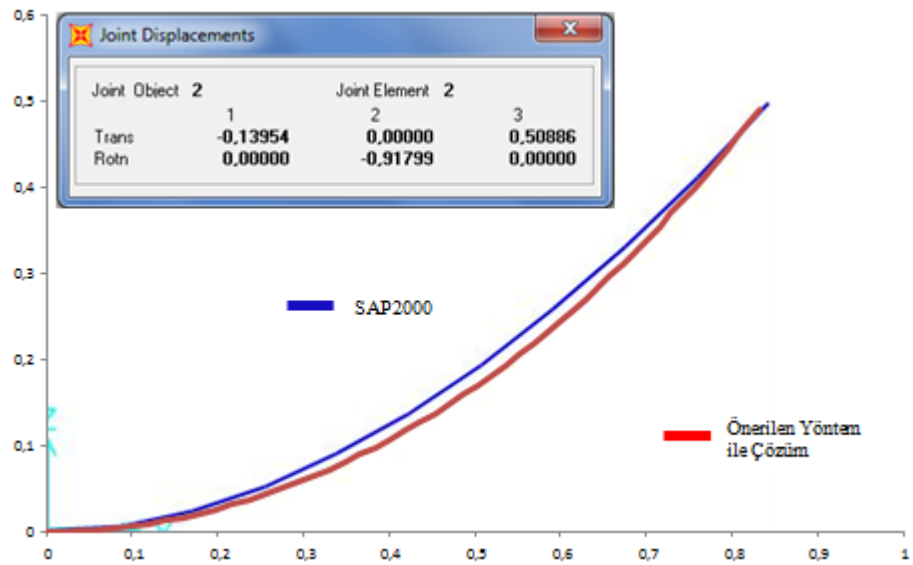
Önerilen yöntem sonuçları ve *SAP2000* sonuçları birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. İki sonuç arasındaki küçük farklar yöntemlerin farklı kabuller yapmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.20. W=1 ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin *SAP2000* ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.



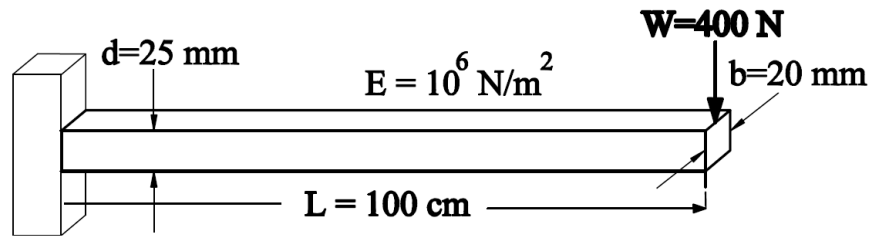
Şekil 4.21. $W=1$ ve $q=1$ ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin *SAP2000* ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.



Şekil 4.22. $W=0,5$, $q=0,5$, $M=0,5$, $P=-0,5$ ile yüklü şekil değiştirmiş kirişin *SAP2000* ve önerilen yöntem ile belirlenmiş eğrilerin karşılaştırılması.

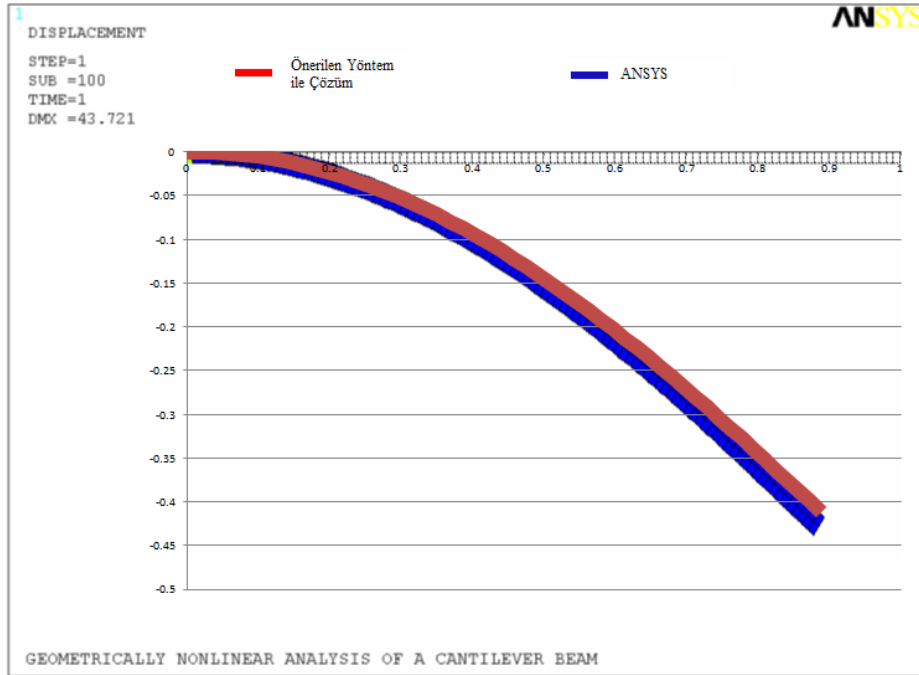
4.4.3.2 ANSYS ile karşılaştırma

ANSYS sonlu elemanlar yöntemine dayalı doğrusal olmayan analiz yapabilen bir modelleme programıdır. Tez konusu konsol bir kiriş, ANSYS’de modellenerek önerilen yeni yöntemle karşılaştırılmıştır. ANSYS ile karşılaştırma diğer örneklerden farklı olması amacıyla boyutsuz yapılmamış, Şekil 4.23’deki veriler kullanılmıştır.

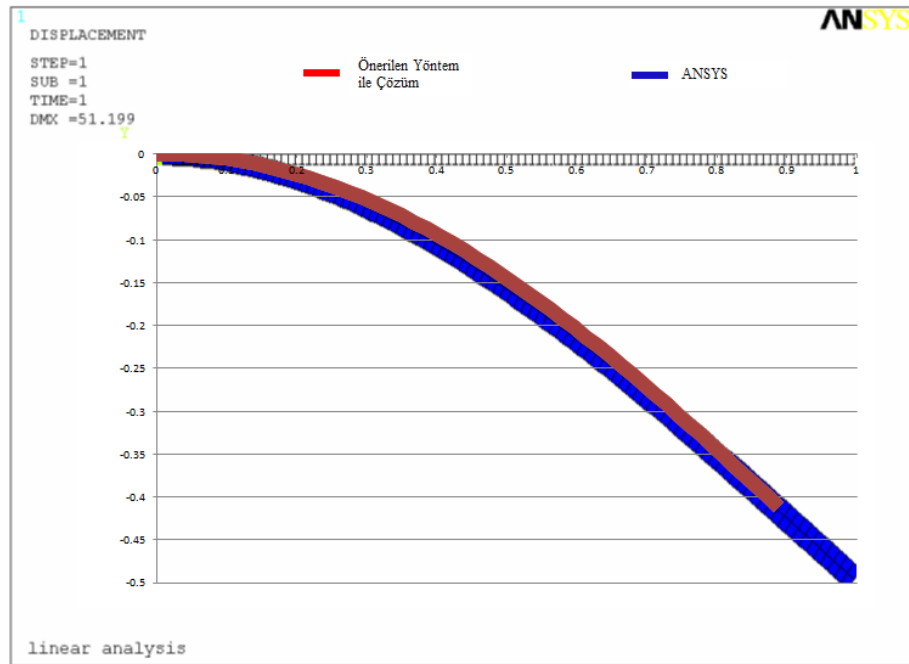


Şekil 4.23. Oluşturulan kiriş modeli.

Önerilen yöntemde çubuk 50 parçaya bölünmüş, 20 iterasyon sonucunda oluşan şekil değiştirmeler karşılaştırılmıştır (Şekil 4.24, Şekil 4.25).



Şekil 4.24. ANSYS ve önerilen yöntemin doğrusal olmayan analizinin karşılaştırılması.



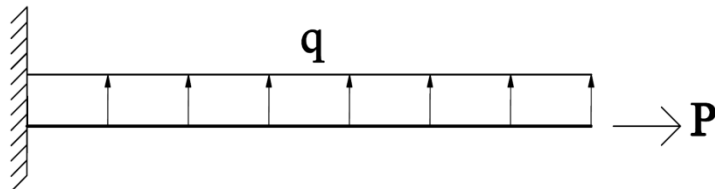
Şekil 4.25. ANSYS ve önerilen yöntemin doğrusal analizinin karşılaştırılması.

Çizelge 4.2. Kiriş serbest uçundaki düşey yer değiştirme karşılaştırılması.

	Doğrusal Analiz (cm)	Doğrusal Olmayan Analiz (cm)
Önerilen Yöntem	52.200	41.163
ANSYS	51.199	43.721

4.5. Sayısal Sonuçlar

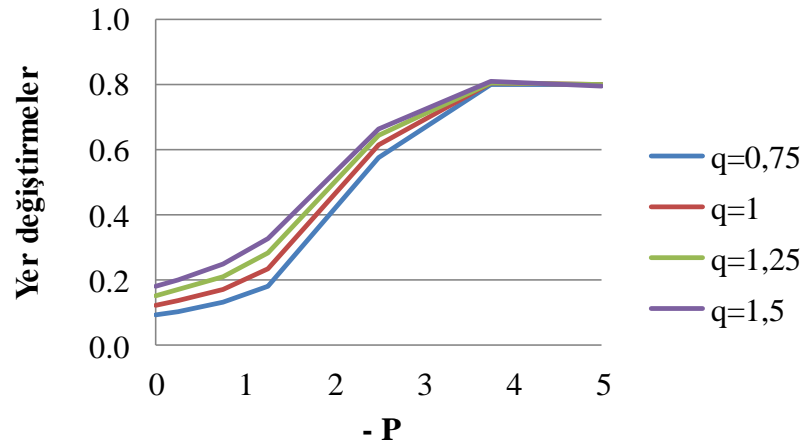
Bu bölümde çeşitli yüklerin kiriş üzerinde oluşturduğu çeşitli şekil değiştirme analizleri izleyen kısımda sunulmuştur. Burada çizilen grafikler kirişi 50 parçaya bölerek ve 20 iterasyon ile bulunmuş sonuçlardır (Şekil 4.26- 4.35, Çizelge 4.2-4.8).



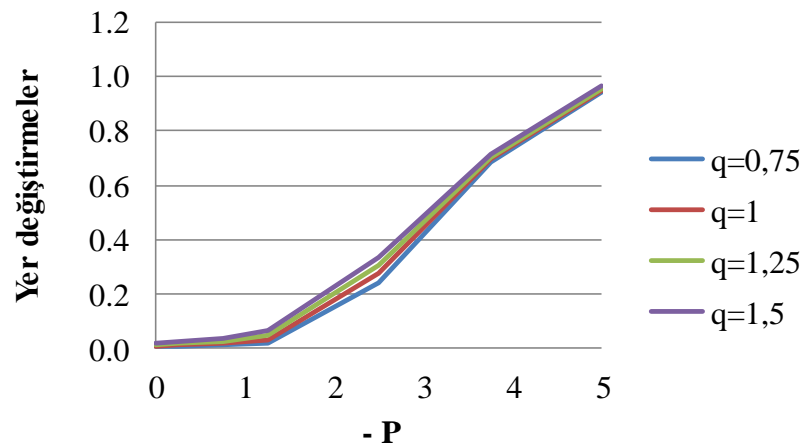
Şekil 4.26. Yayılı ve yatay yüklerle yüklenmiş kiriş.

Çizelge 4.3. Kiriş Üzerindeki Yük Kombinasyonları.

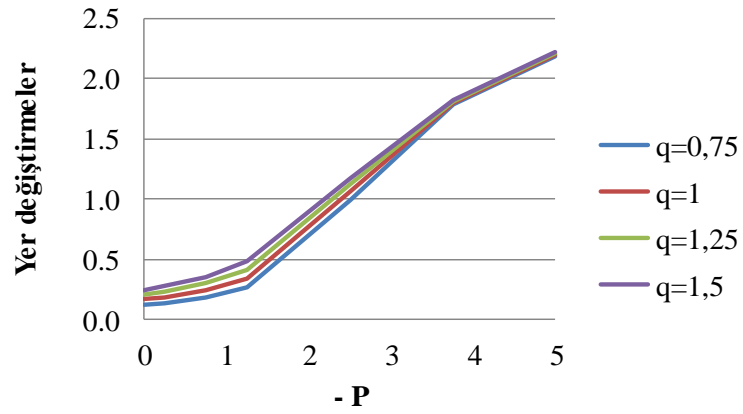
q	P	q	P	q	P	q	P
0,75	0	1	0	1,25	0	1,5	0
	-0.25		-0.25		-0.25		-0.25
	-0.75		-0.75		-0.75		-0.75
	-1.25		-1.25		-1.25		-1.25
	-2.5		-2.5		-2.5		-2.5
	-3.75		-3.75		-3.75		-3.75
	-5		-5		-5		-5



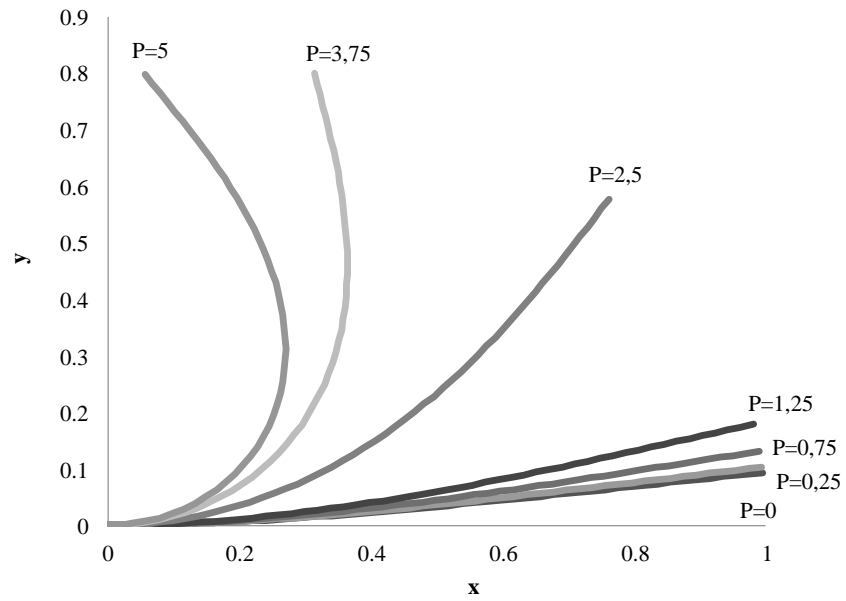
Şekil 4.27. Kiriş Uç Noktası Düşey Yer Değiştirmeler ve Yükler İlişkisi.



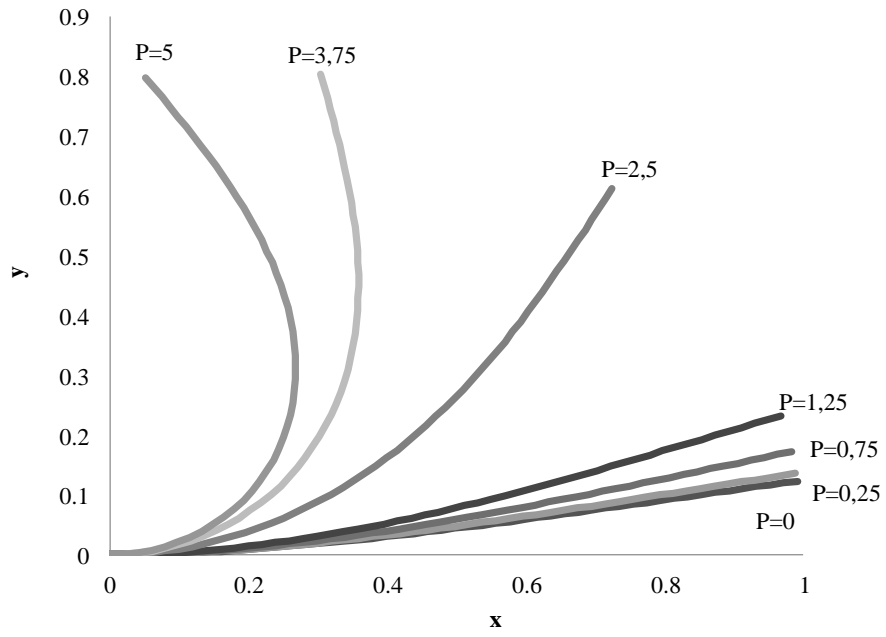
Şekil 4.28. Kiriş Uç Noktası Yatay Yer Değiştirmeler ve Yükler İlişkisi.



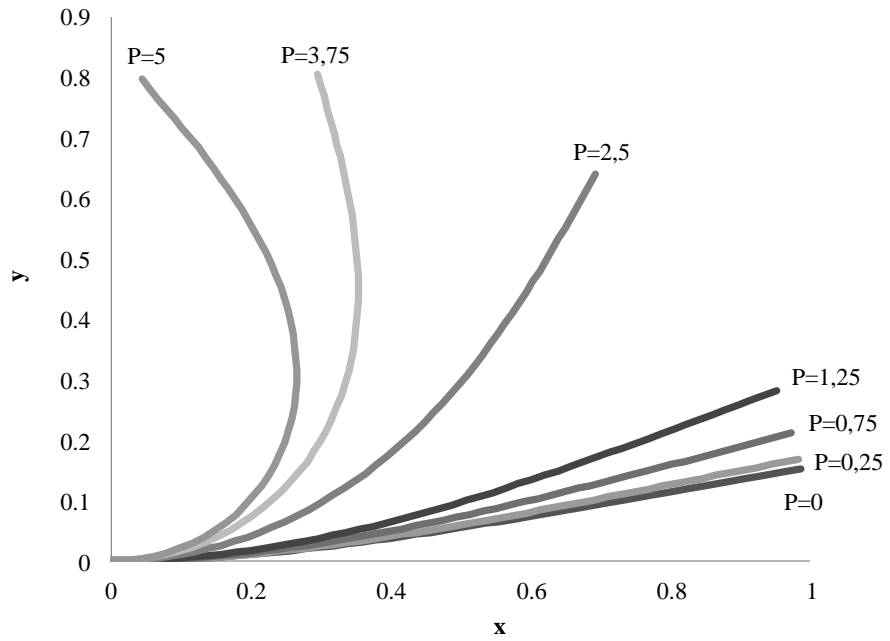
Şekil 4.29. Kiriş Uç Noktası Dönme Açıları ve Yükler İlişkisi.



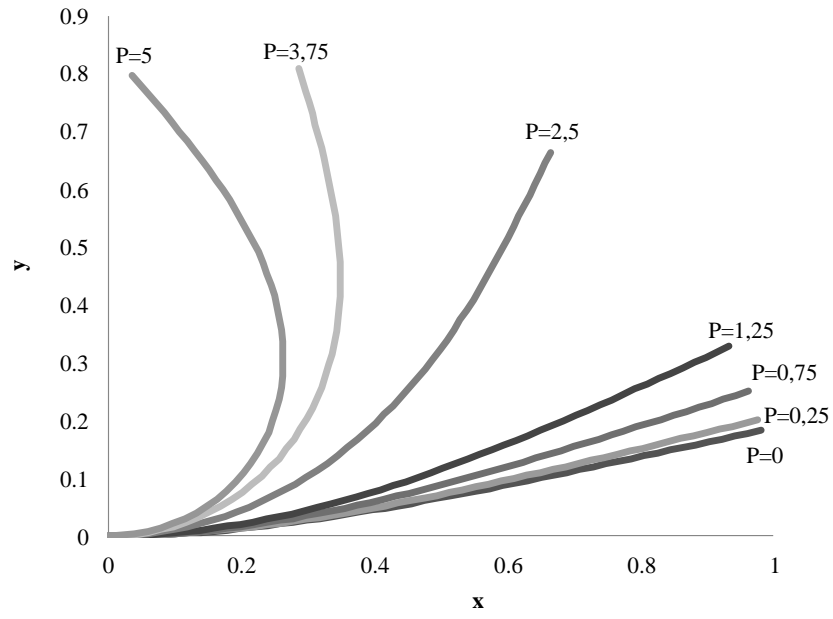
Şekil 4.30. $q = 0,75$ için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.



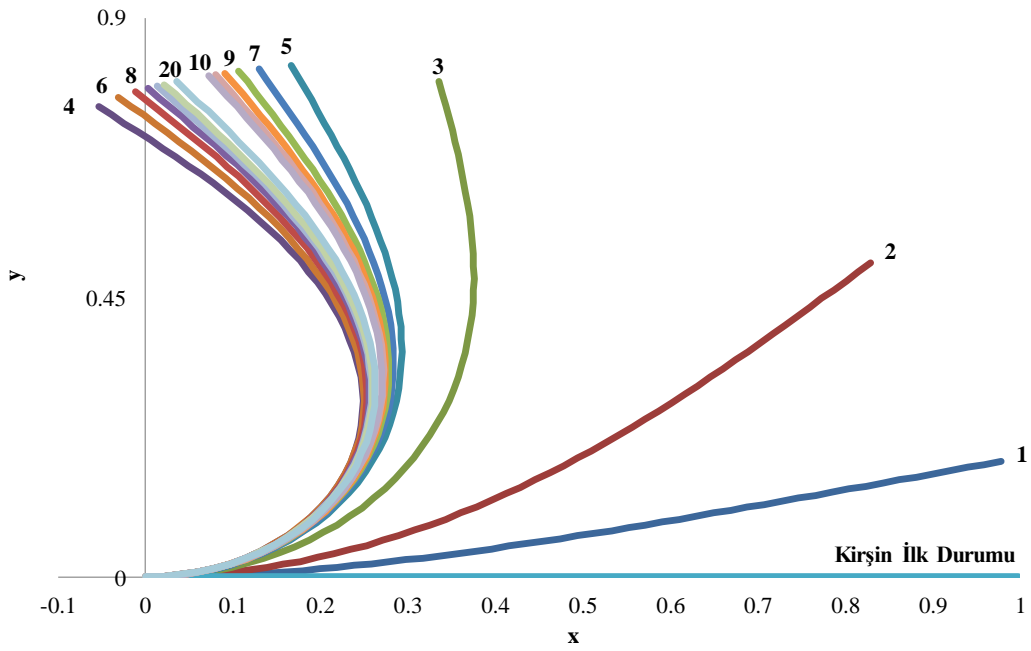
Şekil 4.31. $q=1$ için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.



Şekil 4.32. $q=1,25$ için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.



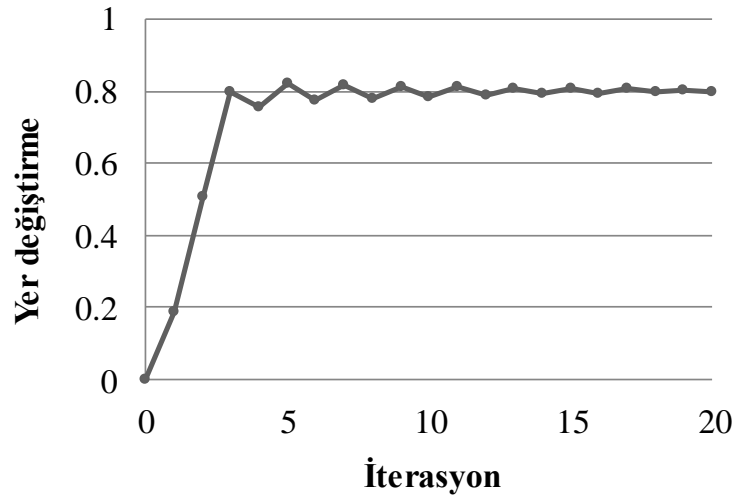
Şekil 4.33. $q=1,5$ için farklı yatay yükler altında gerçek kiriş yer değiştirmeleri.



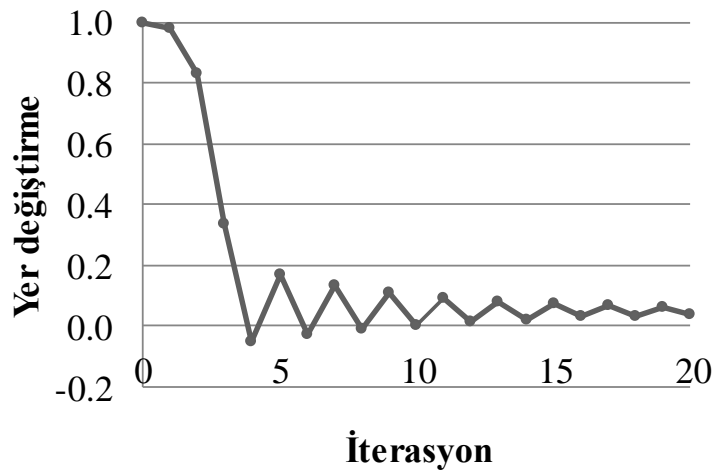
Şekil 4.34. $q=1,5$ ve $P=-5$ Yüklerin her iterasyon için gerçeğe yaklaşması (Grafikteki şekle yakın sayılar, şekil değiştirmiş kirişler için iterasyon sayısıdır).

4.6. Sonuçların Yakınsaması

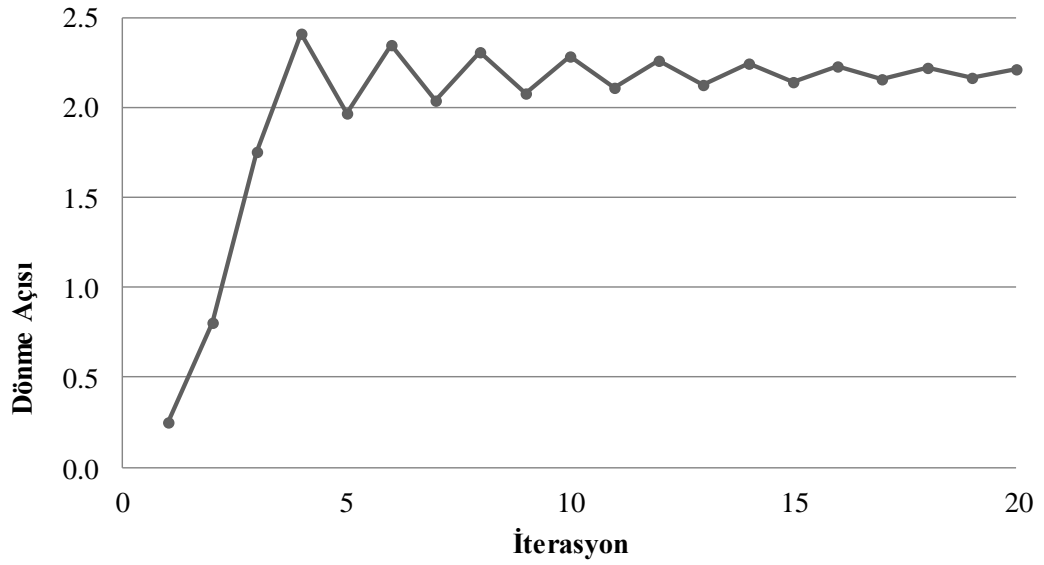
Önerilen yöntemle $q=1,5$ ve $P=-5$ için yapılan çözümlerin yakınsama grafikleri şu şekildedir:



Şekil 4.35. 20 İterasyon için giriş serbest uçundaki düşey yer değiştirme yakınsaması.



Şekil 4.36. 20 İterasyon için Yatay Yer Değiştirme Yakınsaması.



Şekil 4.37. 20 İterasyon için Dönme Açısı Yakınsaması.

Çizelge 4.4. Yayılı ve yatay yüklere göre düşey yerdeğiştirmeler.

Düşey Yer Değiştirme	P					
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	
q	4	0.4309344	0.4368247	0.4489600	0.4615708	0.4746558
	3	0.3449783	0.3504525	0.3618535	0.3738846	0.3865756
	2	0.2427336	0.2471054	0.2563117	0.2661832	0.2767826
	1	0.1258494	0.1283223	0.1335757	0.1392825	0.1455018
	0.5	0.0635328	0.0648107	0.0675324	0.0705004	0.0737493
	0.4	0.0508857	0.0519122	0.0540991	0.0564849	0.0590980
	0.3	0.0381991	0.0389714	0.0406171	0.0424132	0.0443814
	0.2	0.0254827	0.0259987	0.0270985	0.0282992	0.0296152
	0.1	0.0127464	0.0130047	0.0135554	0.0141567	0.0148159

Çizelge 4.5. Yayılı ve yatay yüklere göre düşey yerdeğiştirmeler (devam).

Düşey Yer Değiştirme	P					
	0.5	1	2	3	4	
q	4	0.4882075	0.5621255	0.7141729	0.8047597	0.8246233
	3	0.3999537	0.4776246	0.6655440	0.7904734	0.8204737
	2	0.2881775	0.3597156	0.5858214	0.7697151	0.8156937
	1	0.1523029	0.1984716	0.4286741	0.7357203	0.8099013
	0.5	0.0773208	0.1022135	0.2713306	0.7080752	0.8064224
	0.4	0.0619725	0.0820759	0.2269578	0.7009673	0.8056638
	0.3	0.0465474	0.0617373	0.1770934	0.6930574	0.8048809
	0.2	0.0310641	0.0412449	0.1218595	0.6838395	0.8040721
	0.1	0.0155419	0.0206486	0.0621999	0.6680207	0.8032355

Çizelge 4.6. Yayılı ve yatay yüklere göre yatay yerdeğiştirmeler.

Yatay Yer Değiştirme	P					
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	
q	4	0.1132548	0.1167412	0.1241406	0.1321477	0.1408108
	3	0.0708353	0.0732858	0.0785476	0.0843364	0.0907122
	2	0.0343559	0.0356706	0.0385271	0.0417244	0.0453142
	1	0.0091066	0.0094804	0.0103004	0.0112312	0.0122932
	0.5	0.0023122	0.0024089	0.0026217	0.0028642	0.0031423
	0.4	0.0014826	0.0015448	0.0016816	0.0018376	0.0020165
	0.3	0.0008352	0.0008703	0.0009475	0.0010356	0.0011367
	0.2	0.0003716	0.0003872	0.0004216	0.0004609	0.0005060
	0.1	0.0000930	0.0000969	0.0001055	0.0001153	0.0001266

Çizelge 4.7. Yayılı ve yatay yüklere göre yatay yerdeğişmeler (devam).

Yatay Yer Değişirme		P				
		0.5	1	2	3	4
q	4	0.1501796	0.2092743	0.3952313	0.6231258	0.8184352
	3	0.0977410	0.1453484	0.3281145	0.5841414	0.8022412
	2	0.0493571	0.0793050	0.2400775	0.5334762	0.7823560
	1	0.0135116	0.0233836	0.1192860	0.4627957	0.7575880
	0.5	0.0034631	0.0061423	0.0457548	0.4138461	0.7427092
	0.4	0.0022231	0.0039556	0.0317538	0.4022507	0.7394847
	0.3	0.0012535	0.0022359	0.0191935	0.3897635	0.7361680
	0.2	0.0005581	0.0009973	0.0090350	0.3757075	0.7327544
	0.1	0.0001397	0.0002498	0.0023449	0.3524906	0.7292389

Çizelge 4.8. Yayılı ve yatay yüklere göre serbest uç dönme değerleri.

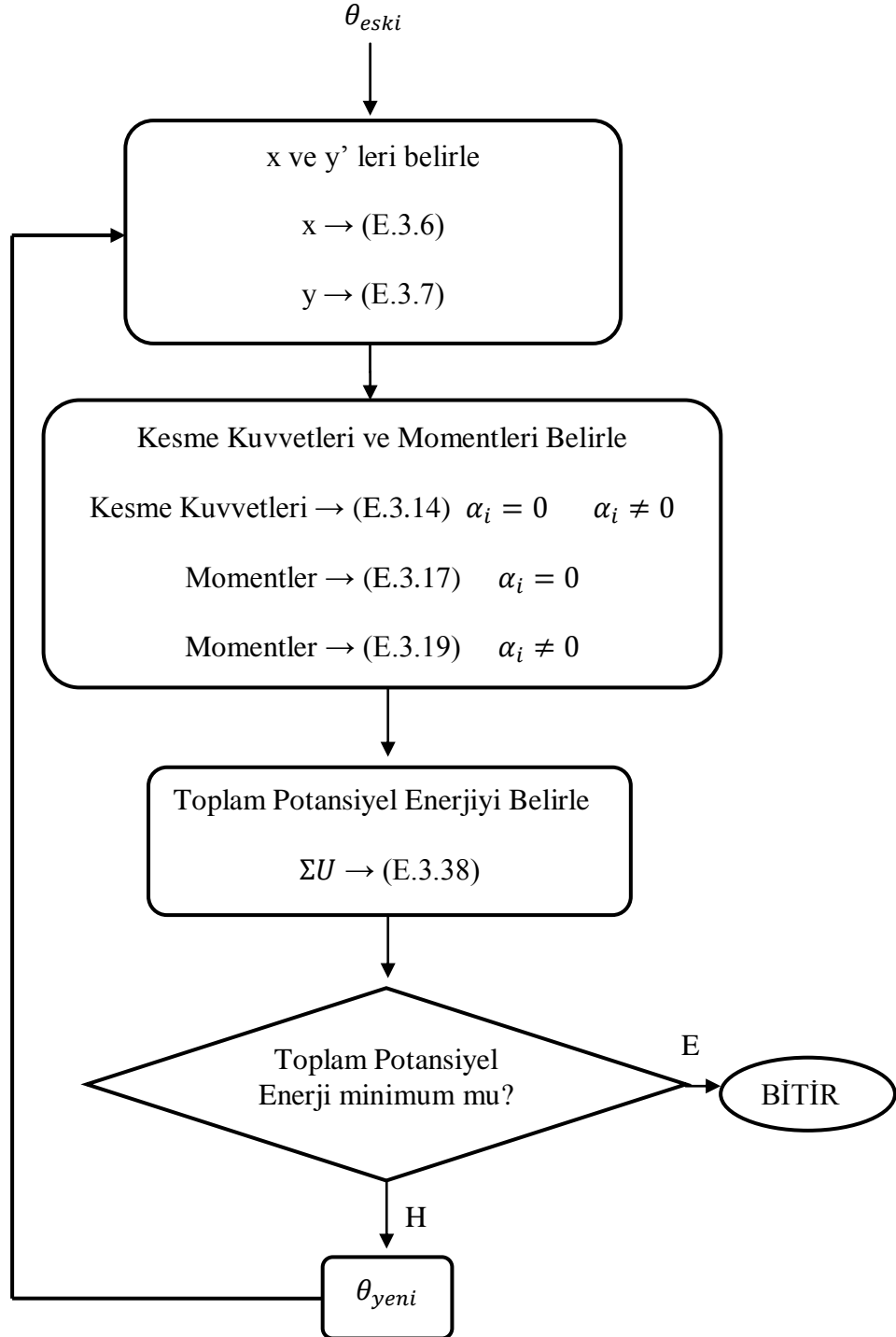
Dönme		P				
		0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
q	4	0.5992153	0.6099873	0.6323854	0.6559671	0.6807833
	3	0.4727232	0.4820941	0.5017377	0.5226583	0.5449488
	2	0.3284978	0.3355878	0.3505750	0.3667319	0.3841817
	1	0.1688646	0.1727329	0.1809653	0.1899295	0.1997231
	0.5	0.0850530	0.0870331	0.0912554	0.0958666	0.1009220
	0.4	0.0681030	0.0696917	0.0730800	0.0767818	0.0808420
	0.3	0.0511128	0.0523069	0.0548543	0.0576382	0.0606927
	0.2	0.0340921	0.0348895	0.0365907	0.0384503	0.0404911
	0.1	0.0170512	0.0174502	0.0183017	0.0192326	0.0202543

Çizelge 4.9. Yayılı ve yatay yüklere göre serbest uç dönme değerleri (devam).

Dönme		P				
		0.5	1	2	3	4
q	4	0.7068806	0.8576346	1.2454005	1.6429348	1.9572873
	3	0.5687046	0.7126804	1.1329570	1.5925269	1.9434173
	2	0.4030617	0.5247351	0.9663927	1.5227956	1.9244415
	1	0.2104615	0.2841190	0.6779935	1.4178645	1.8986384
	0.5	0.1064877	0.1454845	0.4185425	1.3397564	1.8821795
	0.4	0.0853144	0.1167371	0.3484400	1.3205474	1.8785284
	0.3	0.0640587	0.0877592	0.2707304	1.2995310	1.8747433
	0.2	0.0427406	0.0586053	0.1856510	1.2754018	1.8708169
	0.1	0.0213808	0.0293326	0.0945452	1.2338406	1.8667416

4.7. Enerji Enküçüklemesi ile Çözüm

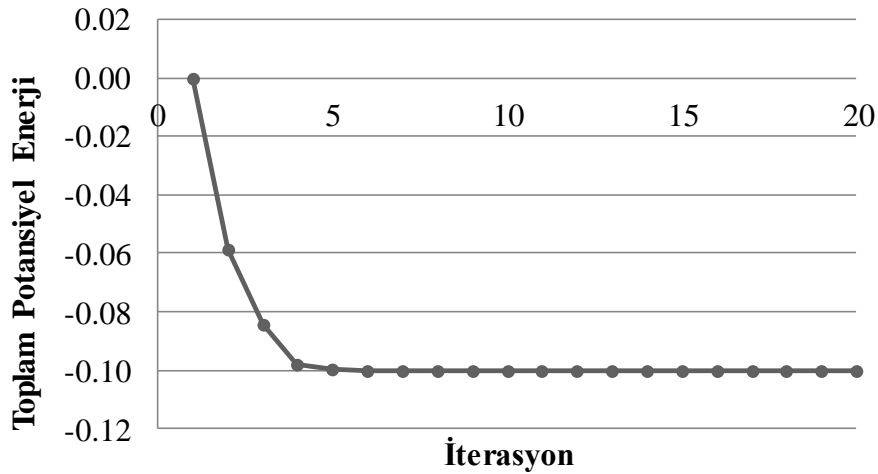
Bu yöntemin esasını, yüklü çubuğun toplam potansiyel enerjisini en az yapacak elastik eğrinin bulunması oluşturmaktadır. Yöntemin akış şeması Şekil 4.38'de verilmiştir.



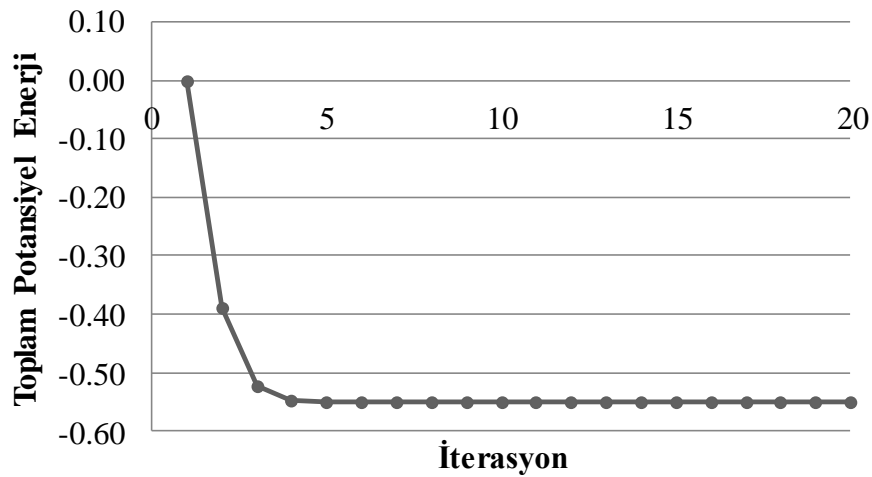
Şekil 4.38. Enerji hesabı akış şeması.

4.8. Kiriş Boyunca Enerji Değişimi

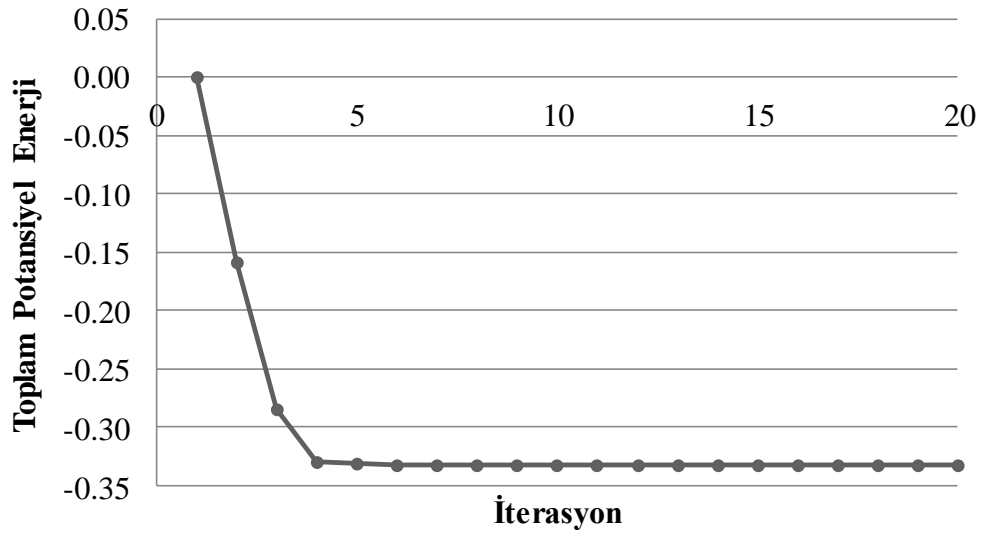
Ms Excel'de yapılan iterasyonlar boyunca toplam potansiyel enerjinin enküçüklenmesi, çeşitli yükler altında Şekil 4.39 – 4.42'de verilmiştir.



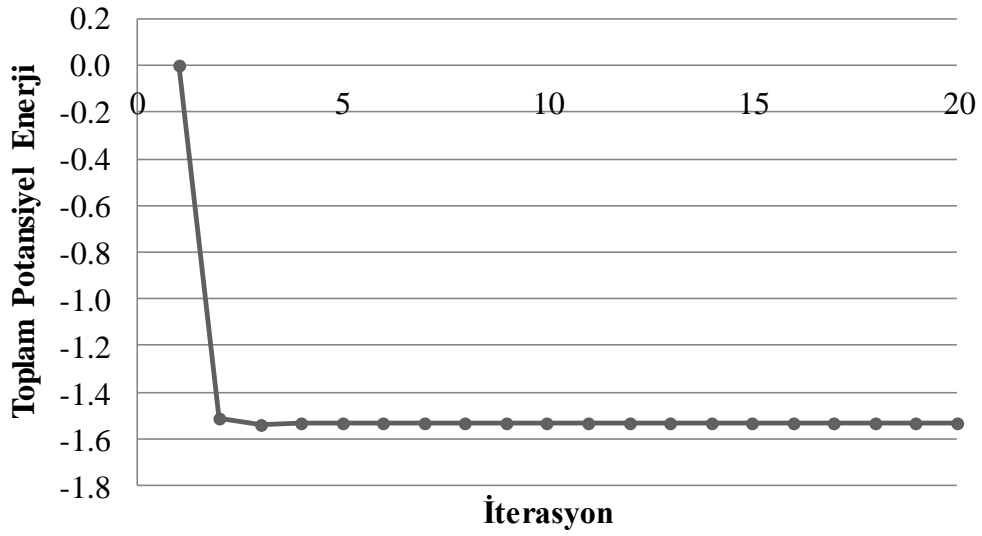
Şekil 4.39. $P=-1$ ve $q=1$ ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.



Şekil 4. 40. $P=-1$ ve $W=1$ ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.



Şekil 4.41. $P=-1$ ve $M=1$ ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.



Şekil 4.42. $P=-1$, $W=1$, $M=1$ ve $q=1$ ile yüklü kirişin iterasyonlar sonucu toplam potansiyel enerji değişimi.

5. SONUÇLAR

Konsol bir kirişin farklı tip yükler altında doğrusal olmayan yer değiştirmelerini belirlemek için pek çok farklı yöntem vardır. Ancak bu yöntemlerden en doğru sonuçları belirleyen yöntemler temelinde eliptik integrallerin bulunduğu yöntemlerdir. Ancak eliptik integralin kullanıldığı yöntemler her ne kadar en doğru sonuçları belirlese de hesap aşaması oldukça zahmetlidir ve de çok az durum için uygulanabilir. Genel yükleme ve sistemlerin çözümü için literatürde pek çok sayısal yöntem önerilmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntem ile belirlenen şekil değiştirme sonuçları kabul edilebilir doğrulukta ve oldukça kolay hesaplanabilmektedir. Çözüm için sadece sınırlı integrasyon yeterlidir. Bu işlem basamakları da *MS Excel*'de yeterli sayıda iterasyon yapılarak bulunabilmektedir. Ayrıca literatürdeki diğer çalışmalarda yapılmış birçok çalışmada kirişe sadece tek yük türü ya da iki yük türü ile çözüm yapılabilmekte iken, önerilen yöntem ile dört yük türü (tekil yük, eksenel yük, moment, yayılı yük) aynı anda yüklenmesi durumunda bile kirişin gerçek şekil değiştirmesi belirlenebilmektedir. Çalışmada birkaç şekilde elde edilen sonuçlar doğrusal olmayan yapı analizi ve matematik program paketleriyle bulunan sonuçlarla ve deneylerle karşılaştırılmış, kıyaslamanın son derece başarılı olduğu görülmüştür.

İlerleyen zamanda, çalışmanın özü aynı kalarak formülasyonda küçük değişiklikler ile daha zor problemlere çözüm bulmak mümkündür. Örneğin kirişin elastik zemin üzerinde olması durumunda gerçek şekil değiştirme önerilen yöntem ile bulunabilir. Değişken kesitli kirişler ve kirişin herhangi bir noktasına etkiyen yatay kuvvetler için de çözüm bulmak mümkün olabilir.

EKLER

Ek-1. *MATLAB GUI* de Hazırlanan Kullanıcı Arayüz Kodları

```

function varargout = gdene1(varargin)
% GDENE1 MATLAB code for gdene1.fig
%   GDENE1, by itself, creates a new GDENE1 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = GDENE1 returns the handle to a new GDENE1 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   GDENE1('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in GDENE1.M with the given input arguments.
%
%   GDENE1('Property','Value',...) creates a new GDENE1 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before gdene1_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to gdene1_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help gdene1

% Last Modified by GUIDE v2.5 03-May-2014 16:06:06

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @gdene1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @gdene1_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before gdene1 is made visible.
function gdene1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to gdene1 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for gdene1
handles.output = hObject;
axes(handles.axes9);

imshow('resim.png');

%axis off
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes gdene1 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

```

```

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = gdenel_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
tic
u = get(handles.edit9,'String');
u=str2double(u);
E = get(handles.edit10,'String');
E=str2double(E);
b1 = get(handles.edit11,'String');
b1=str2double(b1);
b2 = get(handles.edit17,'String');
b2=str2double(b2);
m = get(handles.edit3,'String');
m=str2double(m);
P= get(handles.edit4,'String');
P=str2double(P);
W = get(handles.edit5,'String');
W=str2double(W);
yay_yuk = get(handles.edit6,'String');
yay_yuk=str2double(yay_yuk);
parcasayisi = get(handles.edit13,'String');
parcasayisi=str2double(parcasayisi);
IteN = get(handles.edit16,'String');
IteN=str2double(IteN);

for i=1:parcasayisi+1
    Q(i)=yay_yuk;
end
x=zeros(1,parcasayisi+1);
y=zeros(1,parcasayisi+1);
h=u/parcasayisi;
EEII=E*b1*b2^3/12;
T=zeros(1,parcasayisi+1);
YT=zeros(1,parcasayisi+1);

for i=1:IteN
T=YT;

```

```

for j=2:size(Q,2)
    B(1,j-1)=(Q(j)-Q(j-1))/h;
    A(1,j-1)=(T(j)-T(j-1))/h;
end

if (sum(A)==0)
    for i=1:parcasayisi
        Dx(1,i)=h*cos(T(1,i));
        Dy(1,i)=h*sin(T(1,i));
    end
else
    for i=1:parcasayisi
        Dx(1,i)=(sin(T(1,i+1))-sin(T(1,i)))/A(i);
        Dy(1,i)=(cos(T(1,i))-cos(T(1,i+1)))/A(i);
    end
end

end

for i=2:parcasayisi+1
    x(1,i)=x(i-1)+Dx(i-1);
    y(1,i)=y(i-1)+Dy(i-1);
end

axes(handles.axes8);

plot(x,y)

title('Çubuk Eğrisi')
guidata(hObject,handles);

if(sum(A)==0)
    for i=parcasayisi+1:-1:1
        if i==parcasayisi+1
            V(1,i)=-W;
            M(1,i)=m;
        else
            V(1,i)=V(1,i+1)-h*(Q(1,i)+0.5*B(1,i)*h);
            M(1,i)=M(1,i+1)-P*Dy(1,i)-V(1,i)*Dx(1,i)-(h*Dx(1,i)*(Q(1,i)+B(1,i)*h/3)/2);
            DT(1,i)=(M(1,i)+M(1,i+1))*h*0.5/EEI;
        end
    end
else
    for i=parcasayisi+1:-1:1
        if i==parcasayisi+1
            V(1,i)=-W;
            M(1,i)=m;
        else
            V(1,i)=V(1,i+1)-h*(Q(1,i)+0.5*B(1,i)*h);
            M(1,i)=M(1,i+1)-P*Dy(1,i)-V(1,i)*Dx(1,i)-(Q(1,i)*Dx(1,i)*h-(Q(1,i)/(A(1,i)*A(1,i)))*(cos(T(1,i))-
            cos(T(1,i+1)))+Q(1,i)*sin(T(1,i))*h/A(1,i)+B(1,i)*h*h*Dx(1,i)*0.5-B(1,i)*(Dx(1,i)-
            h*cos(T(1,i+1)))/(A(1,i)*A(1,i))+B(1,i)*h*h*sin(T(1,i))/(2*A(1,i)));
            DT(1,i)=(M(1,i)+M(1,i+1))*h*0.5/EEI;
        end
    end
end

for i=2:parcasayisi+1
    YT(1,i)=YT(1,i-1)+DT(1,i-1);
end

axes(handles.axes6);
t=0:u/parcasayisi:u;
plot(t,V)
title('Kesme Kuvveti Diyagramı')
guidata(hObject,handles);

axes(handles.axes7);
t=0:u/parcasayisi:u;
plot(t,M)
title('Moment Diyagramı')
guidata(hObject,handles);

```

```

end
set(handles.edit18,'String',YT(1,parcasayisi+1));
set(handles.edit19,'String',u-x(1,parcasayisi+1));
set(handles.edit20,'String',y(1,parcasayisi+1));
sure=toc;
set(handles.edit21,'String',sure);
function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit11 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit12 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% -----
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Untitled_1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit14 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit14 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit14_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit14 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton2

% --- Executes on button press in radiobutton3.
function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton3

function edit16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit16 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit16 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit16_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function edit17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit17 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit17 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit17_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit18 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit18 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit18 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit19 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit19 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit19 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit20 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit20 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit20 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.

```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit21_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit21 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit21 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit21_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit21 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

6. ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ali Erdem ÇERÇEVİK
Doğum Yeri ve Tarihi : Çayeli 31/08/1987

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : ESOGÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü (2010)
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri

Çerçevik A. E., Karakurt C. “Effect Superplasticizer Usage on Abrasion Resistance of Concrete.” *Chemical Admixtures on Structures 4th Symposium and Exhibition*, Ankara (2013).

Çerçevik A. E., Bozkurt H., Toklu Y. C. “Applications of Meta-heuristic Algorithms to Civil Engineering Problems, a Survey.” *15th EU/ME Workshop*, İstanbul (2014).

İş Deneyimi

Stajlar :

Al-reş İnşaat TOKİ 432 Konut Site yapım işi 2006 Eskişehir.

DSİ Su yapıları 2008 Eskişehir.

Aydoğanlar İnşaat. 2008 Eskişehir.

Projeler

Sürdürülebilir Doğal Taş Araştırma Geliştirme Merkezi, BEBKA Projesi, Araştırmacı Bilecik 2013-2014.

Çalıştığı Kurumlar

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Bölümü 2011-bugüne

İletişim

Adres : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat
Mühendisliği Bölümü
Tel : 0 (228) 214 14 19
E-Posta Adresi : erdem.cercevik@bilecik.edu.tr

7. KAYNAKLAR

- Akbaş, Ő. D., “Konsol bir kirişin geometrik lineer olmayan statik incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2009.
- Barten, H.J., “On the deflection of a cantilever beam”, *The Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics*, 3:275 (1945).
- Beleández T., Neipp C., Beleández A., “Numerical and experimental analysis of a cantilever beam: a laboratory project to introduce geometric nonlinearity in mechanics of materials”, *International Journal of Engineering Education*, 19:6, 885-892 (2003).
- Bisshop, K.E., Drucker, D.C., “Large deflections of cantilever beams”, *The Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics*, 3:272–275 (1945).
- Bona, F., Zelenika, S., “A generalized elastica-type approach to the analysis of large displacements of spring-strips”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Part C 21:509–517 (1997).
- Chucheepsakul, S., Buncharoen, S., Wang, C.M., “Large deflection of beams under moment gradient.”, *Journal of the Engineering Mechanics*, 120:1848 (1994).
- Chucheepsakul, S., Wang, C.M., He, X.Q., Monprapussorn, T., “Double curvature bending of variable-arc-length elastica”, *Journal of Applied Mechanics*, 66:87–94 (1999).
- Coffin, D.W., Bloom, F., “Elastica solution for the hygrothermal buckling of a beam”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 34:935 (1999).
- Conway, H.D., “Large deflection of simply supported beams.” *Philosophical Magazine*, 38:905 (1947).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Freeman, J.G., “Mathematical theory of deflection of beam”, *Philosophical Magazine*, 37: 275 (1946).
- Golley, B.W., “The finite element solution of a class of elastica problems.” *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 46:159–168 (1984).
- Golley, B.W., “The solution of open and closed elasticas using intrinsic coordinate finite elements”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 146:127–134 (1997).
- Holden, J.T., “On the finite deflections of thin beams”, *International Journal of Solids and Structures*, 8:1051–1055 (1972).
- Kooi, B.W., Kuipers, M., “A unilateral contact problem with the heavy elastica”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 19:309–321 (1984).
- Kooi, B.W., “A unilateral contact problem with the heavy elastica solve by use of finite element”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 21:95–103 (1985).
- Kumar R., Ramachandra L. S., ve Roy D., “Techniques based on genetic algorithms for large deflection analysis of beams”, *Sadhana Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 29 6:589-604 (2004).
- Lau, J.H., “Large deflections of beams with combined loads”, *Journal of the Engineering Mechanics*, 12:140 (1974).
- Lee, B. K., Oh, S. J., “Elastica and buckling load of simple tapered columns with constant volume”, *International Journal of Solids and Structures*, 37:2507–2518 (2000).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Lee, K., “Post-buckling of uniform cantilever column under a combined load”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 36:813–816 (2001).
- Levien R. L., “From spiral to spline: optimal techniques in interactive curve design”, *University of California Engineering–Electrical Engineering and Computer Sciences*, Berkeley ,2009.
- Magnusson, A., Ristinmaa, M., Ljung, C., “Behavior of the extensible elastica column”, *International Journal of Solids and Structures*, 38:8441–8457 (2001).
- Mattiasson, K., “Numerical results from large deflection beam and frame problems analysis by means of elliptic integrals”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 16:145 (1981).
- Mau, S.T., “Elastica solution of braced struts”, *Journal of Engineering Mechanics*, 116:688 (1990).
- Ohtsuki, A., Ellyin, F., “Analytical approach to large deformation problems of frame structures (in case of a square frame with rigid joints)”, *The Japan Society of Mechanical Engineers International Journal*, J. 44:89–93 (2001).
- Saje, M., Srpćic, S., “Large deformations of in-plane beams”, *International Journal of Solids and Structures*, 21:1181 (1985).
- Schmidt, W.F., “Nonlinear bending of beams using the finite element method”, *International Journal of Computers & Structures*, 8:153 (1977).
- Sitar M., Kosel F., Brojan M., “A simple method for determining large deflection states of arbitrarily curved planar elastica”, *Archive of Applied Mechanics*, 84:263–275 (2014).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Srpcic, S., Saje, M., “Large deformations of thin curved plane beam of constant initial curvature”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 28:275 (1986).
- Timoshenko, S.P., Gere, J.M., “Theory of Elastic Stability”, *McGraw-Hill*, NY. ,1961.
- Toklu Y. C., “On the stability and large deflection analysis of elastic bars”, *Stability in the Mechanics of Continua*, 185-200 (1981).
- Wang, C.M., Kitipornchai, S., “Shooting-optimization technique for large deflection analysis of structural members”, *Engineering Structures*, 14:231–240 (1992).
- Wang, C.M., Lam, K.Y., He, X.Q., Chucheepsakul, S., “Large deformation of an end supported beam subjected to a point load”, *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 32:63–72 (1997).
- Wang, C.Y., Watson, L.T., “On large deformations of C-shaped springs”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 22:395–400 (1980).
- Wang, C.Y., “Large deformations of a heavy cantilever”, *The Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics*, 39:261–273 (1981).
- Wang, C.Y., Watson, L.T., “The elastic catenary”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 24:349–357 (1982).
- Wang J., Chen J., Liao S., “An explicit solution of the large deformation of a cantilever beam under point load at the free tip”, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, (212): 320- 330 (2008).
- Watson, L.T., Wang, C.Y., “Hanging an elastic ring”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 23:161–167 (1981).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Watson, L.T., Wang, C.Y., “Periodically supported heavy elastica sheet”, *Journal of the Engineering Mechanics*, 109:811(1983).

Yang T.Y., “Matrix displacement solution to elastica problems of beams and frames”, *International Journal of Solids and Structures*, 9:829-842(1973).

Yaylı M. Ö., “Yerel olmayan elastisite teorisine göre nano ölçekteki kirişlerin doğrusal olmayan teoriye göre incelenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2010.