

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SINIR ELEMAN YÖNTEMİNİN BORU
PROBLEMLERİNE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Osman BULUT**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**SINIR ELEMAN YÖNTEMİNİN BORU
PROBLEMLERİNE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Osman BULUT
(501051096)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Şenol ATAÖĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Necla KADIOĞLU (İ.T.Ü.)
Y. Doç. Dr. Semih SEZER (Y.T.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan tez danışmanım Sayın Y. Doç. Dr. Şenol ATAÖĞLU' na teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Ayrıca, çeşitli tavsiyeleri ve kıymetli yardımlarından dolayı Sayın Doç. Dr. Necla KADIOĞLU' na teşekkür ederim.

Bu çalışma, zor zamanlarımda desteklerini hep yanımda hissettiğim annem, babam ve kardeşlerime, ayrıca beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan arkadaşlarıma ithaf edilmiştir...

Mayıs 2007

Osman BULUT

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. HDPE Üretimi ve Sınıflandırması	2
1.1. HDPE'nin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	3
1.1. Betonun Üretimi ve Mekanik Özellikleri	3
1.1. Polietilen Boruların Özellikleri	4
2. SINIR ELEMAN FORMÜLASYONU	7
3.ÖRNEKLER	12
3.1. Birinci Kesit İçin Sonuçlar	12
3.2. Birinci Kesit İkinci Yükleme Hali İçin Sonuçlar	15
3.3. İkinci Kesit İçin Sonuçlar	17
3.4. Birinci Kesit Beton Malzeme İçin Sonuçlar	18
3.5. Birinci Kesit Beton Malzeme İkinci Yükleme Hali İçin Sonuçlar	20
3.3. Üçüncü Kesit İçin Sonuçlar	22
4. SONUÇLAR	26
KAYNAKLAR	29
ÖZGEÇMİŞ	31

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1	Beton sınıflarının 28 günlük karakteristik silindir ve küp dayanımları ile elastisite modülleri.....	4

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : İki eksenli gerilme durumunda beton dayanımının değişimi	4
Şekil 1.2 : Değişik çaplardaki polietilen borular	5
Şekil 2.1 : J inci doğru parçası yanındaki n, s koordinat takımı	10
Şekil 3.1 : İç ve dış basınca maruz dairesel boşluklu daire kesit	12
Şekil 3.2 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	13
Şekil 3.3 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	14
Şekil 3.4 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	14
Şekil 3.5 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	15
Şekil 3.6 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	15
Şekil 3.7 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	16
Şekil 3.8 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	16
Şekil 3.9 : Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	16
Şekil 3.10 : İkinci kesitte $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	17
Şekil 3.11 : İkinci kesitte $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	17
Şekil 3.12 : İkinci kesitte $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	18
Şekil 3.13 : İkinci kesitte $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	18
Şekil 3.14 : Birinci kesit beton malzeme $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	19
Şekil 3.15 : Birinci kesit beton malzeme $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	19
Şekil 3.16 : Birinci kesit beton malzeme $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	19
Şekil 3.17 : Birinci kesit beton malzeme $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	20
Şekil 3.18 : Birinci kesit beton malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	20

Şekil 3.19	: Birinci kesit beton malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin değişimi	21
Şekil 3.20	: Birinci kesit beton malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları ...	21
Şekil 3.21	: Birinci kesit beton malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yer değiştirmelerin t' 'ye oranları	21
Şekil 3.22	: İç ve dış basınca maruz dikdörtgen boşluklu dikdörtgen kesit ...	22
Şekil 3.23	: Üçüncü kesitte yükleme sonucu AB hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değişimi	22
Şekil 3.24	: Üçüncü kesitte yükleme sonucu CD hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değişimi	23
Şekil 3.25	: Üçüncü kesitte yükleme sonucu EF hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin y koordinatlarına göre değişimi	23
Şekil 3.26	: Üçüncü kesitte yükleme sonucu GH hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin y koordinatlarına göre değişimi	23
Şekil 3.27	: Üçüncü kesitte yükleme sonucu MD hattı boyunca gerilme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değişimi	24
Şekil 3.26	: Üçüncü kesitte yükleme sonucu KL hattı boyunca gerilme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değişimi	23

SEMBOL LİSTESİ

E	:	Elastisite modülü
f_{ck}	:	Karakteristik basınç (silindir) dayanımı
f_{ctk}	:	Karakteristik aksenal Çekme Dayanımı
f_u	:	Tek aksenli yükleme durumunda beton dayanımı
u_{ij}	:	Yerdeğiştirme bileşenleri ($i, j= 1,2$)
σ_{ij}	:	Gerilme bileşenleri
V	:	Hacim
S	:	Bölge sınırı
$\mathbf{t}(\mathbf{x})$:	Yüzey gerilme vektörü
μ	:	Kayma modülü
ν	:	Poisson oranı
$\mathbf{n}(\mathbf{x})$:	Birim dış normal
δ_{ij}	:	Kronecker deltası ($i, j = 1, 2$)
$\mathbf{u}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$:	Yerdeğiştirme vektörü
$\mathbf{T}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$:	Gerilme tansörü
$T_{ij}(\mathbf{y})$:	Gerilme bileşenleri
x_1, x_2 veya x, y	:	Kartezyen sistemi
n, s	:	Koordinat sistem takımı
r_i, r_d	:	İç ve dış yarıçap
P_i, P_d	:	İç ve dış basınç
r	:	Radyal uzaklık
U_r	:	Radyal doğrultuda yerdeğiştirme
t	:	Et kalınlığı
a_d, b_d	:	Dikdörtgen kesitin dış boyutları
a_i, b_i	:	Dikdörtgen kesitte dikdörtgen boşluğun boyutları

SINIR ELEMAN YÖNTEMİNİN BORU PROBLEMLERİNE UYGULANMASI

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, sınır eleman yönteminin kullanılması ile geniş kullanım alanına sahip boru problemlerinin çözülmesidir. Kesit ölçülerinin ve şeklinin yerdeğiştirme ve gerilmeleri nasıl etkilediğinin incelenmesi de amaçlanmıştır.

Borular toprak altına gömülü veya açıkta olmak üzere ayrı ayrı incelenebilir. Hem dış hem iç basınca maruz veya sadece dış basınca maruz borular olarak da ayrılabilirler. Toprak altındaki borular değişik yüklere maruzdurlar. Bunlar toprak yükü, sürekli trafik yükü gibi statik yükler olabileceği gibi; deprem yükü, ani trafik yükü gibi dinamik yükler de olabilir. Bu çalışmada sadece statik yüklemeler altındaki durum incelenmiştir. Zira dinamik yükler altındaki titreşim problemi ayrı bir çalışmayı gerektirir. Ayrıca bu çalışmadaki örneklerde, boru malzemesi olarak üretimde en çok tercih edilen polietilen ve beton alınmıştır.

Problemlerde, lineer olmayan bölgedeki yüklemeler altında malzemenin davranışındaki belirsizliklerden ötürü, yükler lineer bölgede kabul edilmişlerdir. Böylece Hooke Yasası'na uygun koşul altında çözüme gidilmiştir.

Ele alınan malzemeler viskoelastiktir. Yani yerdeğiştirme ve gerilmeler hem yüke hem de zamana bağlıdır. Ancak, uygulanan yükler düşük olduğundan sünme etkileri ihmal edilmiştir. Problemlerde malzeme, elastik malzeme gibi düşünülmüş yani sabit elastisite modülüyle çözüm yapılmıştır. Polietilen için 800 MPa alınan elastisite modülü (E), beton için ortalama bir değer olan 30 GPa alınmıştır.

Dairesel boşluklu daire kesitler için kapalı çözüm mevcuttur. Ancak yerdeğiştirme ve gerilme bileşenlerinin istenen noktada bulunabilmesini pratikleştirebilmek için Fortran programlama dili kullanılarak bir program geliştirilmiştir. Program her kesite uygulanabilir. Bu çalışmada, farklı bir kesit olarak dikdörtgen boşluklu dikdörtgen kesit için de çözüm yapılmıştır. Çözüm için programlamada Sınır Eleman Metodu (SEM) kullanılmıştır. Bunun yapılabilmesi için daire kesitte yapılan bazı kabuller çalışmanın ilgili bölümünde anlatılmaktadır. Bu kabuller altında yapılan çözümler, literatürdeki çözümlerle karşılaştırıldığında hata oranlarının mühendislik sınırları içerisinde yeterli yakınsaklıkta olduğu görülmüş ve uygun sonuçlar elde edilmiştir.

AN APPLICATION OF BOUNDARY ELEMENT METHOD ON PIPE

PROBLEMS

SUMMARY

The purpose of this study is to solve the pipe problems which have range usage area by using boundary element method. The investigation of effects of shape and sizes of cross-section on displacements and stresses is also intended.

Pipes can be examined separately that are buried or not buried. They can also separated that are exposed only outer pressure or both inner and outer pressure. Pipes buried are exposed distinct loads. These can be static loads which are soil load, permanent traffic loads, etc., and also can be dynamic loads which are earthquake load, temporary traffic loads, etc. In this study, the state under static load conditions was dealt with only, because the vibration problem under dynamic loads needs a different work. Besides, polyethylene and concrete which are chosen mostly in industry were selected as pipe materials in examples of this study.

In problems, because of the suspense of materials' behaviour under nonlinear loading, loads were accepted in linear area. So, under the conditions convenient to Hooke's law, the solution was acquired.

The materials dealt with are viscoelastic. In other words, displacements and stresses are dependent on both load and time. However, creep effects can be neglected because applied loads are low. In problems, material was supposed to be elastic, so solution was done with constant modulus of elasticity. For polyethylene, the modulus of elasticity is 800 MPa, and for concrete it is 30 GPa which is an average value.

For circle cross-section has circle gap, there is a closed solution. To obtain the components of displacement and stress in the specific point practically, a program was improved by Fortran programming language. This program can be applied for all of different cross-sections. In this study, for rectangle cross-section has rectangle gap, a different cross-section, was also solved. For solution, Boundary Element Method (BEM) was used in program. Some acceptances for doing this work for circle cross-section were mentioned in related part in this study. When the solutions under these circumstances were compared with solutions in literature, it was seen that the error ratios are in ranges of engineering and compatible solutions were acquired.

1 GİRİŞ

Dairesel boşluklu daire ve dikdörtgen boşluklu dikdörtgen kesitler düzlem problemlerde sıkça karşılaştığımız iki kesit türüdür. Silindir şeklindeki bir boru ile dikdörtgenler prizması şeklindeki bir boru, bu kesitler için uygun örneklerdir. Temiz su dağıtımı, atık su taşınması vb. amaçlar doğrultusunda yer altına gömülen veya açıkta yerleştirilen bu tür borular değişik yüklere maruz kalmaktadırlar. Toprak altına gömülü bir temiz su dağıtım borusu, toprak yükü, trafik yükü gibi yükleri dış yük olarak taşırken; içinden akan basınçlı su da iç basıncı oluşturmaktadır. Açıkta yerleştirilmiş bir boru ise sadece iç basınca maruzdur. Bu statik yüklerin dışında deprem yükü gibi dinamik yükler de borulara etkimektedir. Bu çerçevede borulardan beklenen belirli şekil değiştirme sınırları içerisinde dayanımlarını korumalarıdır. Bu çerçevede boru kesitlerinde istenilen noktada gerilme ve yerdeğiştirme bileşenlerinin pratik olarak bulunabilmesi kolaylık sağlayacaktır. Bu ihtiyacı kapatacak bir çalışma şüphesiz üretim alanında büyük bir boşluğu dolduracaktır.

Borular, yapımda kullanılan malzemenin türüne ve aldığı yüke göre, lineer veya lineer olmayan şekilde yüklenebilirler. Malzeme gerilme-şekil değiştirme grafiğinde belirlenen lineer sınırlar içerisinde kaldığı müddetçe elastik sayılır ve Hooke tarafından verilen kanuna uygun hareket eder. Gerçek hayatta lineer olmayan yükleme altında kesitin davranışı asıl incelenmesi gereken konu olsa da lineer yükler altındaki şekil değiştirmelerin mekanik açıdan incelenmesi lineer olmayan yüklemeyi incelemek için bir başlangıç sayılabilir.

Klasik olarak borular beton veya çelikle güçlendirilmiş betondan imal ediliyorlardı ve halen çoğu durumda tercih edilebilmektedirler. Ancak modern dünyada sentetik polimerler plastik, kauçuk ve lif formunda önemi artarak devam eden bir rol oynamaktadır. Plastik üretim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak plastik malzemelerin kullanım alanlarının da genişlemesi ve bunun bir sonucu olarak plastik borular üretilmektedir [1]. Yoğunluklarının düşük olması, kimyasal maddelere ve korozyona dayanıklı olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri plastiklerin tercih edilir olmasını sağlayan önemli özellikleridir.

Plastik borular, metal veya beton borularla karşılaştırıldığında avantajlarından bazıları şunlardır:

- Basit ve çabuk döşenir.
- İyi kaynak özelliklerine sahiptir, dolayısıyla ek yerleri sızdırmazdır.
- Hafif, sağlam ve esnektir.
- Çatlama ve darbe mukavemeti yüksektir.
- Kimyasal direnci yüksektir, korozyondan etkilenmez, çürümez, aşınmaz.
- İç yüzeyi pürüzsüzdür, projelendirilirken kullanılan boru çapı minimize edilir.
- Toprak hareketlerinden ve depremden etkilenmez.
- Dayanım ömrü uzundur [2-5].

Bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmalar ile mekanik davranışı modellenmiş olan, plastik boru üretiminde yaygın olarak kullanılan HDPE (High Density Polyethylene-Yüksek Yoğunluklu Polietilen) malzeme ile üretilmiş kesitler, betonla imal edilmiş kesitlerle yük altında şekil değiştirmeleri karşılaştırılacaktır. Böylece değişik amaçlar için de kullanılacak dairesel ve dikdörtgen boşluklu beton ve HDPE kesitlerin iç ve dış veya sadece dış gerilme altında davranışları belirlenmiş olacaktır. Bu amaçla SEM (Sınır Eleman Metodu-Boundary Element Method) ile çözüm yapan bir Fortran programı yazılmış ve kesit ile malzeme özellikleri programa girilerek şekil değiştirmeler ve gerilmeler elde edilmiştir. Program sonuçlarının güvenilirliğinin araştırılması için bir kesitte, Düzlem Elastisite Teorisi ile elde edilmiş, düzlem şekil değiştirme halinde uygulanan radyal şekil değiştirme formülü ile dairesel boşluklu dairesel kesitin çözümü kapalı olarak yapılmıştır.

1.1 HDPE ÜRETİMİ VE SINIFLANDIRMASI

Polietilen, plastiklerin poliolefin grubundadır ve olefinler olarak bilinen düz zincirli hidrokarbonların polimerizasyonu ile elde edilirler. Polietilen ilk olarak 1930'larda İngiltere'de Imperial Chemical Industries (ICI) da üretilmiştir. Yüksek basınç polietileni ya da düşük yoğunluklu polietilen olarak bilinen ICI polietileni, etilen monomerinden yüksek basınç reaktöründe üretilmiştir. Daha sonraları üretim teknolojileri yenilenecek etilen polimerlerinin farklı özellikleri geliştirilmiştir.

Polietilen üretim esnasında oksitlenmeyi engelleyici ve renklendirici (genellikle siyah) ile karıştırılarak UV ışınlarına karşı dayanıklı hale getirilir. Uzun süre UV ışınına maruz kalan polimerler özelliklerini kaybeder.

Yoğunluğuna göre polietilen üç gruba ayrılır: LDPE (Low Density Polyethylene- Düşük Yoğunluklu Polietilen) ($0.910-0.925 \text{ g/cm}^3$), MDPE (Middle Density Polyethylene-Orta Yoğunluklu Polietilen) ($0.926-0.940 \text{ g/cm}^3$), HDPE (High Density Polyethylene- Yüksek Yoğunluklu Polietilen) ($0.941-0.965 \text{ g/cm}^3$).

1.2 HDPE'NİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Polietilen boruların davranışlarının daha iyi anlaşılabilmesi için polietilenin fiziksel ve mekanik özellikleri bilinmelidir.

HDPE'nin fiziksel özellikleri üç parametrenin etkileşimine bağlıdır; yoğunluk, moleküler ağırlık ve moleküler ağırlık dağılımı. Yoğunluğu $941-965 \text{ [kg/m}^3]$ aralığındadır. Yoğunluğun artmasıyla çekme gerilmesi, rijitlik, yumuşama sıcaklığı ve kimyasal dayanıklılık değerleri artar. Düşük sıcaklık darbe dayanımı, birim şekil değiştirme, geçirgenlik ve kayma gerilmesi dayanımı ise yoğunluğun artmasıyla azalır.

Moleküler ağırlığı $50000\text{g/mol}-250000\text{g/mol}$ aralığındadır. Moleküler ağırlık artarken çekme gerilmesi, birim şekil değiştirme, kayma gerilmesi dayanımı ve yumuşama viskozitesi artar. Yumuşama viskozitesi artınca malzemeyi işlemek daha zor olur.

Plastik malzemelerin mekanik özellikleri sadece malzeme cinsine göre değil aynı zamanda malzemenin durumuna göre de değişir. Kristal polimer bir yapıya sahip olan HDPE'nin özellikleri katılaştırılması sırasındaki şartlara da bağlıdır. Malzemeye eklenen toz ya da fiber gibi katkı maddeleri mekanik özellikleri etkiler [6].

1.3 BETONUN ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

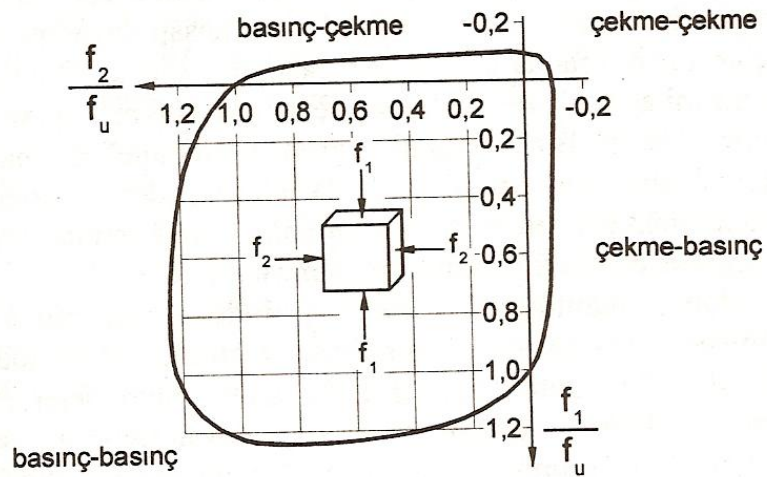
Beton, çimento, kum, çakıl ve suyun uygun ölçülerdeki karışımından elde edilir. Bazen, betona belirli bir özellik kazandırmak amacıyla, karışıma bazı katkı maddeleri eklenebilir.

Betonun basınç dayanımı, belirli koşullarda saklanmış belli bir yaştaki beton örneğinin hidrolik bir preste sıkıştırılıp, ezilerek kırılmasıyla elde edilir.

Tablo 1.1: Beton sınıflarının 28 günlük karakteristik silindir ve küp dayanımları ile elastisite modülleri

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç (silindir) dayanımı f_{ck} (MPa)	Eşdeğer Küp (15cm) Basınç Dayanımı (MPa)	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} (MPa)	Elastisite Modülü E_{c28} (MPa)
C16	16	20	1,4	27000
C18	18	22	1,5	27500
C20	20	25	1,6	28000
C25	25	30	1,8	30000
C30	30	35	1,9	32000
C35	35	40	2,1	33000
C40	40	45	2,2	34000
C45	45	50	2,3	36000
C50	50	55	2,5	37000

Betonun basınç ve çekme dayanımı çok eksenli gerilme durumundan önemli derecede etkilenir. İki eksenli gerilme durumu Şekil 1.1’de görülmektedir. İki eksenli basınçta dayanım artarken, bir doğrultuda küçük bir çekme varken ona dik doğrultuda basınç dayanımı büyük ölçüde azalmaktadır [7].



Şekil 1.1: İki eksenli gerilme durumunda beton dayanımı değişimi (f_u : tek eksenli yükleme durumunda beton dayanımı)

1.4 POLİETİLEN BORULARIN ÖZELLİKLERİ

Polietilen borular (Resim 1.1) petrolden elde edilen etilen gazının polimerizasyon işleminden sonra elde edilen hammaddeden üretilmektedir. Üretimde olan polietilenin simgesi PE100 ifadesindeki 100 rakamı, ürünün çevresel gerilme (σ) değeri olan 10.0 MPa'a işaret etmektedir.



Şekil 1.2: Değişik çaplardaki polietilen borular

Bu değer ilk üretilen ürünlerde 32 olup ilerleyen teknolojilerle günümüzde 125 değerine ulaşmıştır. Bu değerlerin yükselmesi dayanımın arttığını gösterdiğinden aynı basınç sınıfı için et kalınlığının incilmesi anlamına gelmektedir. Bu ise hammadde tasarrufu ile borunun iç çap değerinin artması anlamına gelmektedir. Bu değerlerdeki iyileşmeler alternatif ürünler karşısında maliyet avantajı sunduğundan pazar payını arttırmaktadır.

Polietilen boruların bir kısım üstünlüklerinden bahsetmek yerinde olur. Öncelikle polietilen termoplastik ürün grubuna girdiğinden geri dönüşü olan bir üründür. Hatalı üretilenlerin tekrar kullanılabilmesi maliyetlere katkı sağlamaktadır. Çevre açısından değerlendirilecek olursa, kullanımda olan borular toplandığında ikinci sınıf ürün olarak tekrar değerlendirilebilirler, böylece doğaya zararlı atık bırakılmamış olur.

Polietilen ürünün kaynak kabiliyeti çok yüksek olduğundan birleştirme yöntemleri çeşitlidir. Bunlar; alıncaynak metodu, elektrofüzyon kaynak metodu, itme soket metodu ve ekstrüzyonlu kaynak metodudur. Bu üstün kaynak kabiliyetinin sonucu olarak boru hatlarının oluşturulması kolaylık arz eder ve ayrıca boru hatlarında ek yerlerindeki sızıntılar minimuma indirilmiş olur.

Polietilenin korozyona uğramaması, kimyasallardan etkilenmemesi, aşınma dayanımının yüksek olması ömrünü alternatif ürünlere göre avantajlı duruma getirmektedir. Bunun sonucu olarak aşağı yukarı 30 yıl servis ömrü sunmaktadır.

Şebekeler depremler ile bir anda kullanım dışı kalabilmektedir. Yaşanan depremler göstermiştir ki; polietilen borular depremden sonra kullanılabilirken, rijid borular tamamen devre dışı bırakılarak yeni hatlar döşenmiştir. Ayrıca erozyonun yaşandığı yerlerde boru, %600 uzama kabiliyeti neticesinde uzayarak açılmayı absorbe etmektedir.

Projeye uygun olarak farklı basınçlarda üretilebilmesi hammadde tasarrufu sağladığından projelerin fizibil olmasında etkili olmuştur.

Polietilen borular en yaygın olarak İskandinav ülkelerinde kullanılmaktadır. Bunun en önemli sebebi -40°C 'ye kadar elastik özelliklerini koruduğundan suyun buz haline dönüşmesinden etkilenmemektedir. Çelik boruların hepsi buz ile yarılrken Polietilen genişerek hacim artışını absorbe etmektedir.

2 SINIR ELEMAN FORMÜLASYONU

Bu çalışmada lineer elastisitenin düzlem problemleri Sınır Eleman Metodu (SEM) ile çözülmüştür.

Çözülecek problemin birinci temel problem olduğu varsayılmıştır. Bu tür problemlerde dış gerilme vektörü bölgenin sınırlarını belirleyen yüzey üzerinde verilir. Problemden ilgililenen bölge çok bağımlıdır.

Amaç yerdeğiştirme vektörünü bölge içerisinde ve sınırlar üzerinde tanımlamaktır. Ayrıca, gerilme tansörünün bileşenleri bölge içerisinde ve sınır üzerinde tanımlanmış olmalıdır.

V , lineer elastik bir malzemeyle dolu bölge ve S onun sınırı olsun. Düzlem problemlerde, S ve V sırasıyla kapalı eğri ve düzlem bölgedir.

Sınır Eleman Metodu'nun standart formulasyonunda V bölgesinin içerisinde bir y noktasında yerdeğiştirme vektörünün i nci bileşeni ($i=1,2$) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [8]:

$$u_i(\mathbf{y}) = \int_S \mathbf{t}(\mathbf{x}) \mathbf{u}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) ds - \int_S \mathbf{T}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \mathbf{u}(\mathbf{x}) ds \quad (1)$$

Burada $\mathbf{t}(\mathbf{x})$ S sınırı üzerinde verilen yüzey gerilme vektörüdür. $\mathbf{u}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ ve $\mathbf{T}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ çekirdekleri aşağıda verilmiştir:

$$\mathbf{u}_j^i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = -\frac{1}{8\pi\mu(1-\nu)} \left\{ (3-4\nu) \ln r \delta_{ij} - \frac{(x_i - y_i)(x_j - y_j)}{r^2} \right\} \quad (2)$$

$$\mathbf{T}_{jk}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left\{ (1-2\nu) \left(-\frac{(x_i - y_i)}{r^2} \delta_{jk} + \frac{(x_k - y_k)}{r^2} \delta_{ij} \right) + \frac{(x_j - y_j)}{r^2} \delta_{ik} + \frac{2(x_i - y_i)(x_j - y_j)(x_k - y_k)}{r^4} \right\} \quad (i, j, k = 1, 2) \quad (3)$$

$$\mathbf{t}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \mathbf{T}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y})n(\mathbf{x}) \quad (4)$$

$$r^2 = (x_i - y_i)(x_i - y_i)$$

μ ve ν , sırasıyla kayma modülü ve Poisson oranıdır. $\mathbf{n}(\mathbf{x})$, S yüzeyinin (\mathbf{x}) noktasında birim dış normalidir. $\delta_{ij}(i, j = 1, 2)$, Kronecker deltasını simgeler.

Tüm ifadelerde toplama uyuşumunu kullanılmıştır.

Çok bağımlı bir bölge için S sınırı, sınırlı sayıda ayrık eğriler içerir ve S üzerindeki integral, bu ayrık eğriler üzerinde toplamaya indirgenebilir. (1) denklemi incelendiğinde şu açıktır ki; V 'nin herhangi bir \mathbf{y} noktasındaki şekil değiştirme bileşenlerinin tanımlanması sınır üzerindeki şekil değiştirme vektörünü elde etmek için yeterlidir. Fakat bu problemle ilgilenmeden önce, (1) ifadesindeki çekirdeğin ne anlama geldiği anlatılmalıdır.

Verilen problemdeki ile aynı μ ve ν katsayılarına sahip sonsuz bir ortam düşünelim. \mathbf{x} ve \mathbf{y} bu ortamda iki ayrı noktayı gösterebilir. $\mathbf{u}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ ve $\mathbf{T}^i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ sırasıyla, yerdeğiştirme vektörü ve \mathbf{y} noktasında, i ($i=1,2$) doğrultusunda etkiyen birim büyüklükteki tekil bir kuvvetten dolayı \mathbf{x} noktasında oluşan gerilme tansörüdür.

(1) integral eşitliğini çözmek için S sınırı, küçük doğru parçalarına bölünmüştür. Bu yeni sınırda doğru parçalarının sayısı N ise bunların son noktalarının sayısı da N dir. Bu son noktalar nod noktalar olarak adlandırılırlar.

Bu lineer parçaların herhangi birisinin üzerindeki yerdeğiştirme bileşenlerinin değişiminin lineer olduğu varsayılmıştır. Böylece problemin bilinmeyenleri, nod noktalar üzerindeki yerdeğiştirme değerlerine indirgenmiş olur.

Her nod noktasında her bir doğrultuda birim yükleme olduğu varsayılarak $2N$ tane integral eşitliği yazılabilir. Bu integral eşitliklerinde sınır üzerindeki integraller doğru parçaları üzerindeki integrallerin toplamına indirgenmiştir.

Ayrıca, nod noktalarını içermeyen fakat doğru parçalarını içeren yeni bir yapay sınır tanımlanmalıdır. Bu yeni yapay sınırın çizimini tamamlayabilmek için her bir nod noktasının etrafında bu noktayı dışarıda bırakacak küçük keyfi eğri parçaları eklenmiştir. Bu küçük eğri parçalarının üzerinde yerdeğiştirme vektörlerinin sabit

olduğu kabul edilmiştir. Gerekli işlemler sonucunda bu küçük eğri parçaları nod noktalarına indirgeneceklerdir.

Bu yapay sınır üzerindeki integral hesaplarından sonra, nod noktalarındaki yerdeğiştirme bileşenleri olan $2N$ bilinmeyenli $2N$ adet eşitlikten oluşan bir lineer denklem takımı elde edilir [9].

Bu lineer sistem yerdeğiştirme vektörü ve yapay sınır kullanılarak bünye denklemleri yardımıyla çözüldükten sonra herhangi bir keyfi \mathbf{y} iç noktasında gerilme bileşenleri aşağıdaki şekilde hesaplanılabilir:

$$T_{ij}(\mathbf{y}) = \int_s t_k(\mathbf{x}) u_k^{ij}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) ds - \int_s T_{kl}^{ij}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) n_l(\mathbf{x}) u_k(\mathbf{x}) ds \quad (5)$$

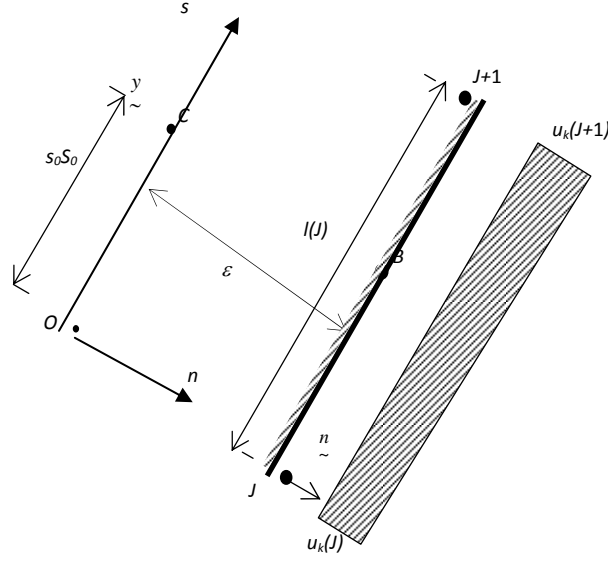
(5) eşitliğindeki çekirdek ifadeleri aşağıda verilmiştir:

$$u_k^{ij}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left\{ (1-2\nu) \left(-\frac{(x_i - y_i)}{r^2} \delta_{jk} + \frac{(x_k - y_k)}{r^2} \delta_{ij} - \frac{(x_j - y_j)}{r^2} \delta_{ik} \right) - \frac{2(x_i - y_i)(x_j - y_j)(x_k - y_k)}{r^4} \right\} \quad (6)$$

$$T_{kl}^{ij}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{\mu}{4\pi(1-\nu)} \left\{ -\frac{2}{r^2} (1-4\nu) \delta_{ij} \delta_{kl} + 2(1-2\nu) \left(\frac{\delta_{ik} \delta_{jl}}{r^2} + \frac{\delta_{il} \delta_{jk}}{r^2} \right) + 4(1-2\nu) \left(\frac{(x_l - y_l)(x_k - y_k)}{r^4} \delta_{ij} + \frac{(x_i - y_i)(x_j - y_j)}{r^4} \delta_{kl} \right) + 4\nu \left(\frac{(x_i - y_i)(x_k - y_k)}{r^4} \delta_{jl} + \frac{(x_i - y_i)(x_l - y_l)}{r^4} \delta_{jk} + \frac{(x_j - y_j)(x_k - y_k)}{r^4} \delta_{il} + \frac{(x_l - y_l)(x_j - y_j)}{r^4} \delta_{ik} \right) - \frac{16(x_i - y_i)(x_j - y_j)(x_k - y_k)(x_l - y_l)}{r^6} \right\} \quad (7)$$

(5) ifadesini kullanarak sınır üzerindeki gerilme bileşenlerini hesaplamak istersek $1/r$ tekilliğiyle karşılaşırız.

Bu tekilliği kaldırabilmek için x_1, x_2 (veya x ve y) kartezyen sistemindeki gerilme bileşenleri yerine yeni bir n, s koordinat sistem takımındaki gerilme bileşenleri kullanılacaktır. Fakat bu yeni koordinat takımı her bir doğru parçası için farklı olacaktır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: J inci doğru parçası yanındaki n,s koordinat takımı

\mathbf{n} , (J) numaralı herhangi belirli bir doğru parçasının birim dış normali olsun. n eksenini \mathbf{n} ile çakışmaktadır. s 'in yönü (J) nod noktasından $(J+1)$ nod noktasına doğrudur. n,s takımının orijini (J) nod noktasına $\varepsilon = 0$ civarında yakındır. n,s takımında herhangi bir y iç noktasındaki $T_{ss}(\mathbf{y})$ gerilme bileşeni şu şekilde hesaplanabilir:

$$T_{ss}(\mathbf{y}) = T_{11}(\mathbf{y})n_2^2(J) + T_{22}(\mathbf{y})n_1^2(J) - 2T_{12}(\mathbf{y})n_1(J)n_2(J) \quad (8)$$

$$T_{ss}(\mathbf{y}) = \sum_{I=2}^{N+1} \int_{l(I)} u_k^{ss}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) t_k(\mathbf{x}) ds + \sum_{I=2}^{N+1} \int_{l(I)} w_k^{ss}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \frac{\partial}{\partial s} u_k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) ds \quad (9)$$

Sınır üzerindeki bir noktada, yüzey gerilme vektörü $\mathbf{t}(\mathbf{x})$ in n,s doğrultularındaki bileşenleri bilindiğinden dolayı bunlarla çakışan $T_{ns}(\mathbf{y})$ ve $T_{nn}(\mathbf{y})$ gerilme bileşenlerinin bulunması gerekmez. $u_k^{ss}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ ve $w_k^{ss}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ nin çekirdek ifadeleri aşağıda verilmiştir:

$$u_k^{ss}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = u_k^{11}(\mathbf{x}, \mathbf{y})n_2^2(J) + u_k^{22}(\mathbf{x}, \mathbf{y})n_1^2(J) - 2u_k^{12}(\mathbf{x}, \mathbf{y})n_1(J)n_2(J) \quad (10)$$

$$w_k^{ss}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = w_k^{11}(\mathbf{x}, \mathbf{y})n_2^2(J) + w_k^{22}(\mathbf{x}, \mathbf{y})n_1^2(J) - 2w_k^{12}(\mathbf{x}, \mathbf{y})n_1(J)n_2(J) \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
t_i^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= T_{ij}^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y})n_j \\
t_i^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= \frac{\partial}{\partial s}(w_i^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y}))
\end{aligned}
\tag{12}$$

$n_1(J)$ ve $n_2(J)$, J numaralı doğru parçasının dış birim normali olan $\mathbf{n}(J)$ nin bileşenlerini simgelerler. Şimdi bir iç nokta olarak C noktasını ele alalım. Sınırın C 'ye en yakın noktası J numaralı bir doğru parçası üzerindeki B noktası olsun. B noktası (J) inci ve $(J+1)$ inci nod noktaların arasındadır. Fakat burada bir şartı belirtmek gerekir ki; B noktası ne (J) inci ve $(J+1)$ inci nod noktalarıdır. Bu C noktasında, gerilme bileşeni $T_{ss}(\mathbf{y})$ hesaplanacaktır ve C noktasından yapay sınıra en kısa mesafeyi gösteren ϵ limitte sifıra yaklaştırılacaktır[10].

Bu hesaplamalardan sonra, gerilme bileşeni $T_{ss}(\mathbf{y})$ yapay sınırın (J) inci doğru parçasında herhangi bir tekillik olmadan hesaplanabilecektir. Bu belirli nokta ile (J) inci nod nokta arasında s_0 mesafesi vardır. s_0 ne sifıra ne de (J) inci doğru parçasının uzunluğu olan $l(J)$ ye eşit alınabilir.

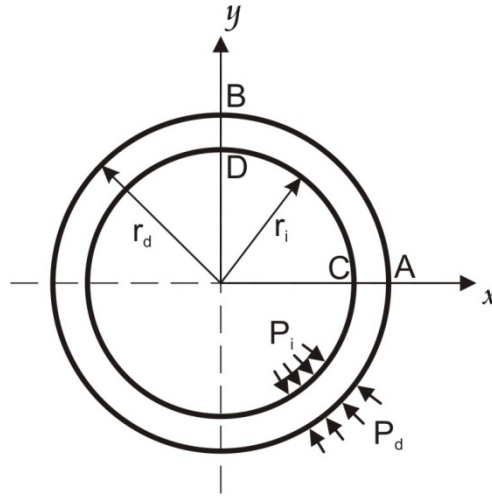
Bütün verilen formüller düzlem şekil değiştirme hali için geçerlidir. ν yerine $\nu/(1+\nu)$ yazılması aynı ifadelerin düzlem gerilme için elde edilmesi için yeterli olacaktır [11].

3 ÖRNEKLER

Bu çalışmada farklı boru kesitlerinin farklı yüklemeler altında polietilen ve beton malzeme için davranışları incelenmiştir. Malzemelerle ilgili olarak şunu hemen belirtmek gerekir ki; aslında ele alınacak olan iki malzeme de viskoelastik, yani şekil değiştirmesi yükü birlikte zamana bağlı olsa da biz lineer bölgede yükleme yapacak ve malzemelerin elastisite modüllerini bu bölgede belirlenen sabit bir değer alacağız.

3.1 BİRİNCİ KESİT İÇİN SONUÇLAR

Bu kesit için sonuçların kontrolü için hem bilgisayar programı ile hem de kapalı çözüm yapılacaktır. Kesit Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: İç ve dış basınca maruz dairesel boşluklu daire kesit

Burada malzeme polietilen olarak seçilmiştir. Yani elastisite modülü(E) 800 MPa, poisson oranı(ν) 0,4 tür. Kapalı çözüm için radyal yerdeğiştirme şu formülle verilmektedir:

$$U_r = \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{E} \frac{r_i^2 P_i - r_d^2 P_d}{r_d^2 - r_i^2} r - \frac{(1+\nu)}{E} \frac{r_i^2 r_d^2 (P_d - P_i)}{(r_d^2 - r_i^2) r} \quad (13)$$

Burada r , yerdeğiştirmesi hesaplanacak noktanın radyal uzaklık değerini ifade etmektedir [12]. İlk kesit için $r_d=20$ cm, $r_i=17$ cm, $P_d=200$ N/cm², $P_i=250$ N/cm² alınmıştır. Gerekli değerler yerine konulursa,

$$U_r = -2,44.10^{-4}.r + 9,11.10^{-5} \cdot \frac{1}{r} \quad (14)$$

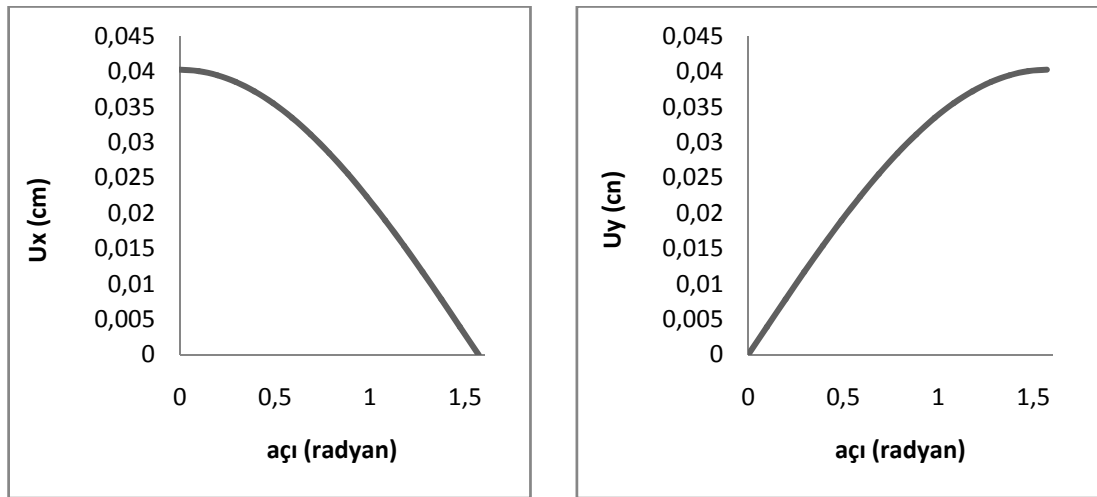
bulunur. Burada,

$$U_r = \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \quad (15)$$

olduğu unutulmamalıdır. Öncelikle iç çeperde yerdeğiştirme değerini hesaplayabilmek için $r=0,17$ m konulacaktır. Sonucu santimetre cinsinden bulmak için elde edilen değer 100 ile çarpılarak $U_r = 0,0494$ cm. bulunur. Dış çeperde hesap için $r=0,2$ m konulursa $U_r = 0,0406$ cm. bulunur.

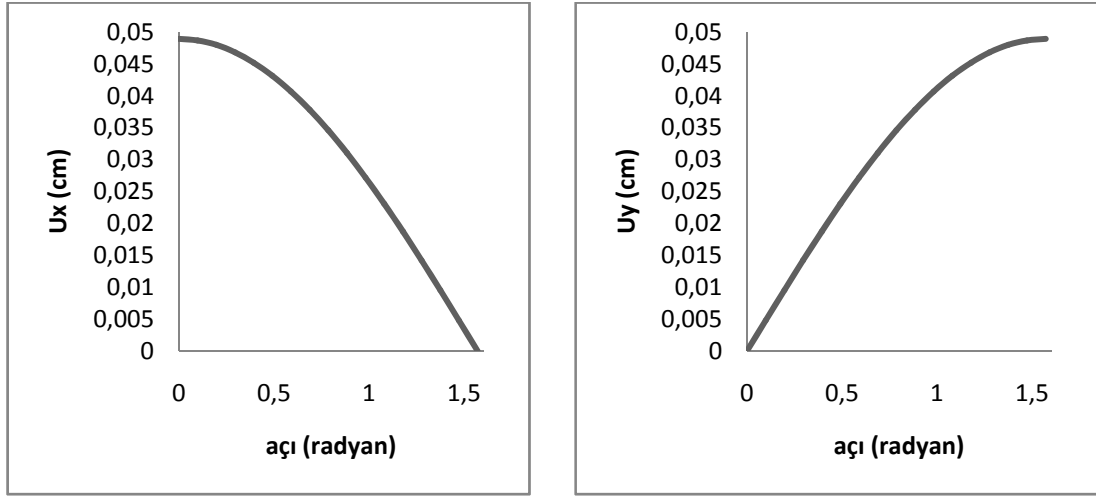
Program ile bulunan sonuçlar aşağıda verilecektir. Yalnız dikkat edilmelidir ki; kesit x ve y eksenlerine göre simetrik olduğundan $0-\pi/2$ aralığındaki sonuçları vermek yeterli olacaktır.

şekil 3.1 de gösterilen A noktasından B noktasına giderken U_x ve U_y aşağıdaki gibi değişmektedir:



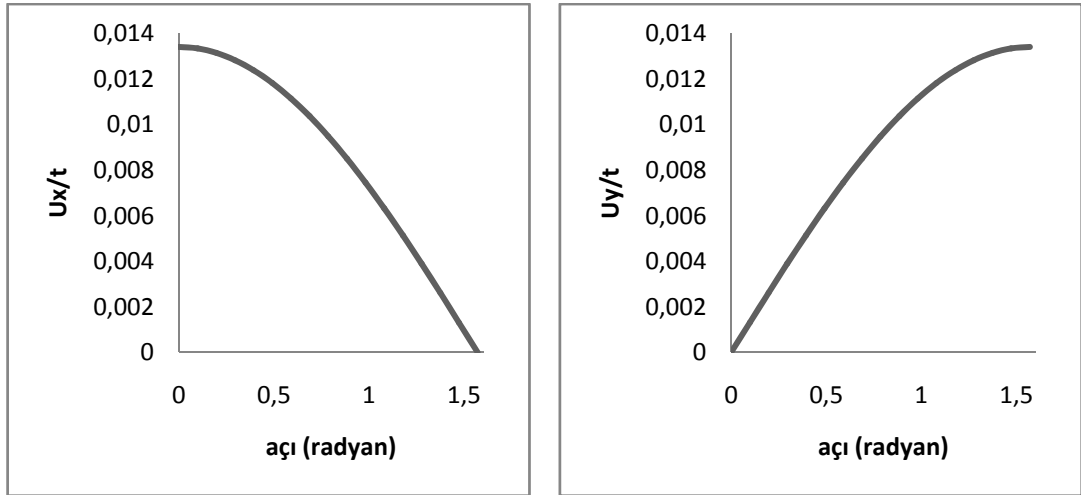
şekil 3.2: Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi

Şekil 3.1 de gösterilen C noktasından D noktasına giderken U_x ve U_y aşağıdaki gibi değişecektir:

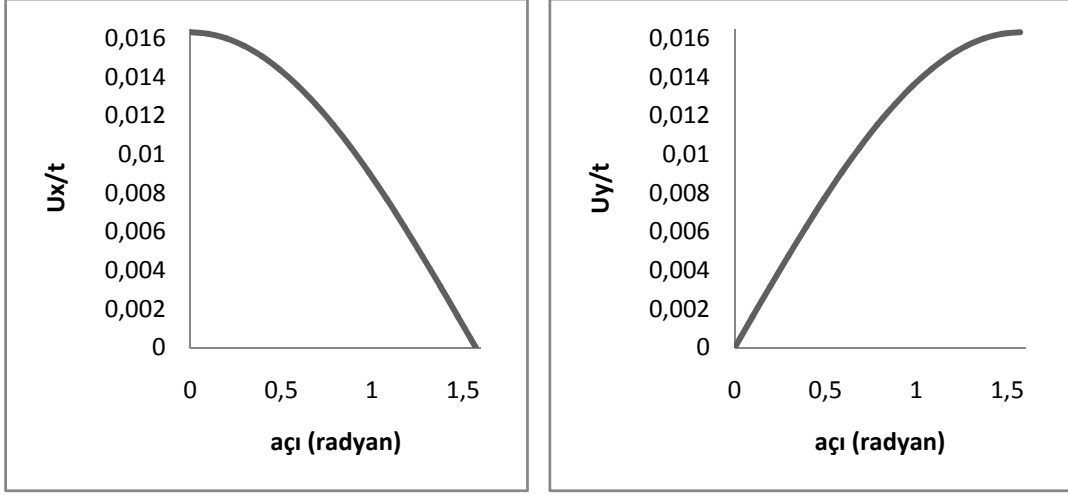


Şekil 3.3: Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi

Yerdeğiştirmeleri birimsizleştirip kıyaslama yapmak için daha elverişli hale getirmek amacıyla U_x ve U_y et kalınlığı $t=3\text{cm}$. ye bölünerek sonuçlar elde edilirse grafikler aşağıdaki gibi olur.



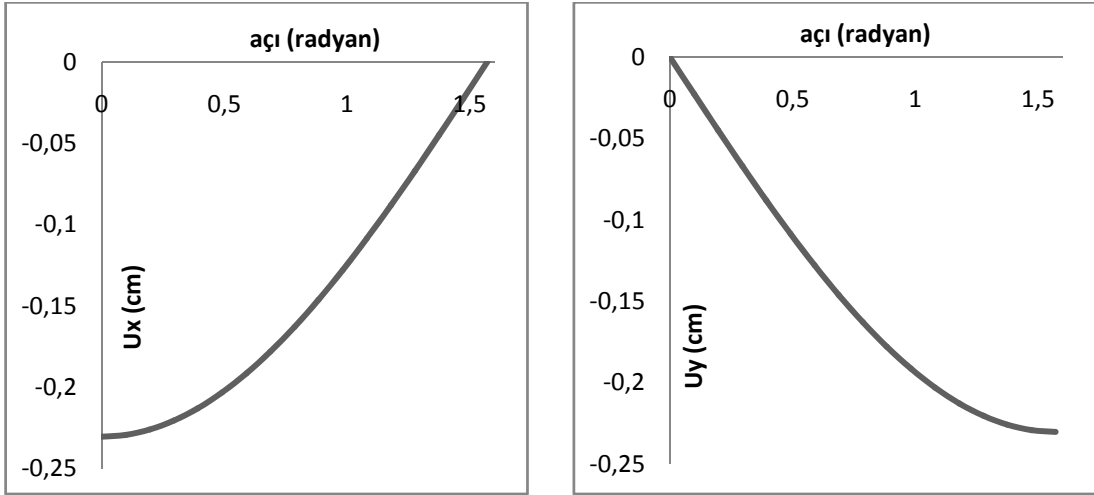
Şekil 3.4: Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t 'ye oranları



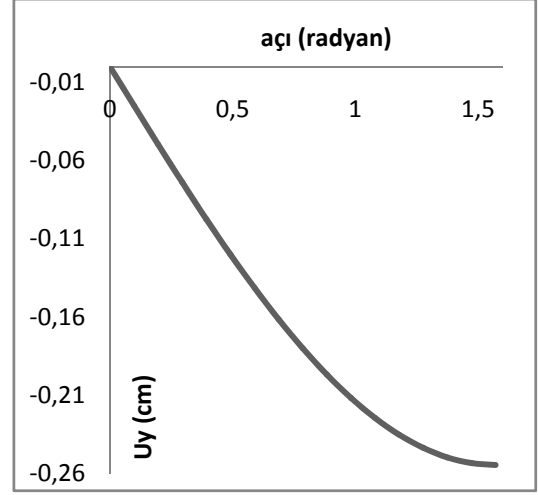
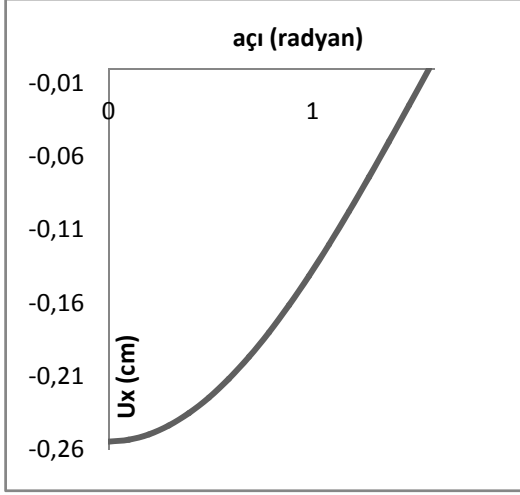
Şekil 3.5: Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t 'ye oranları

3.2 BİRİNCİ KESİT İKİNCİ YÜKLEME HALİ İÇİN SONUÇLAR

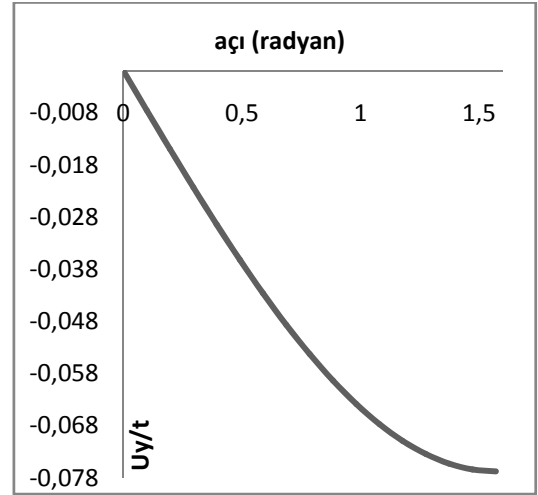
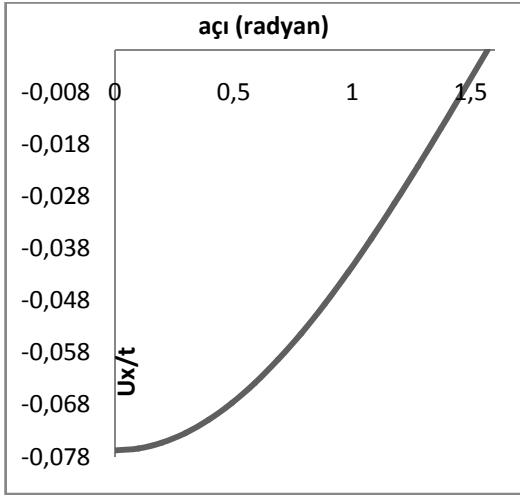
Kesit şekli ve malzeme aynı kalmak üzere iç basınç sıfır alınacaktır. Hesapta kullanılan gerekli değerler; $r_d=20$ cm, $r_i=17$ cm, $P_d=200$ N/cm², $P_i=0$ N/cm² dir. Sonuç grafikler aşağıda sıralanmıştır.



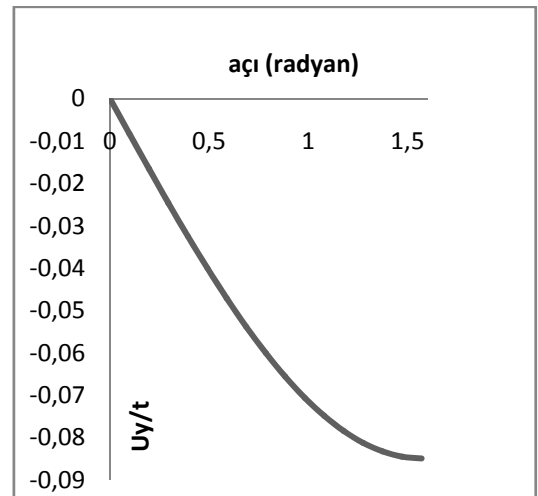
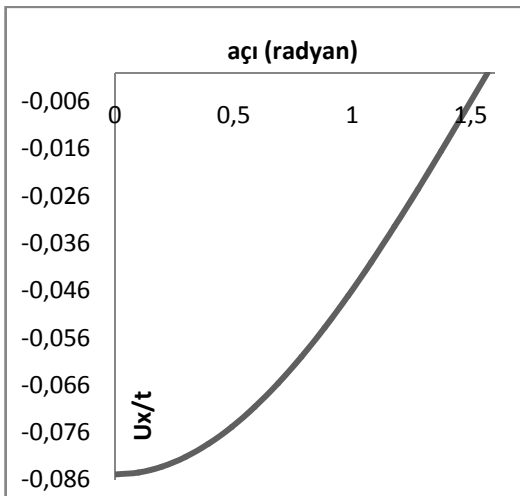
Şekil 3.6: Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değışimi



Şekil 3.7: Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi



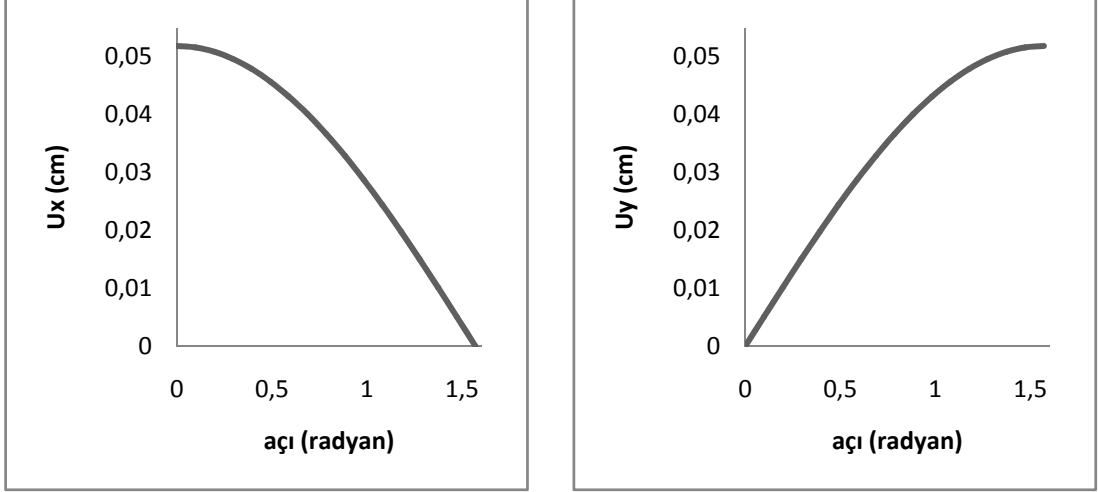
Şekil 3.8: Birin kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t'ye oranları



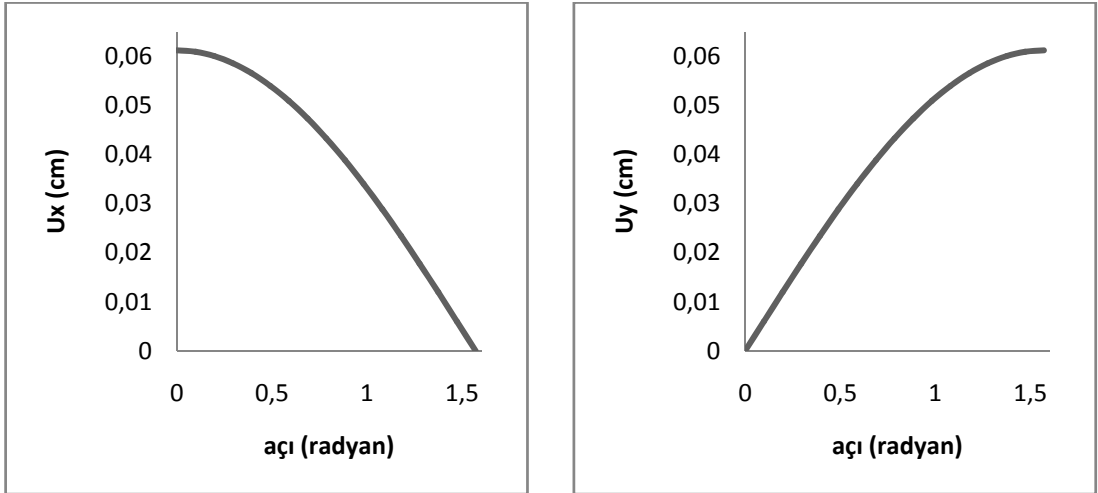
Şekil 3.9: Birinci kesitte $0-\pi/2$ arasında ikinci yükleme hali için iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t'ye oranları

3.3 İKİNCİ KESİT İÇİN SONUÇLAR

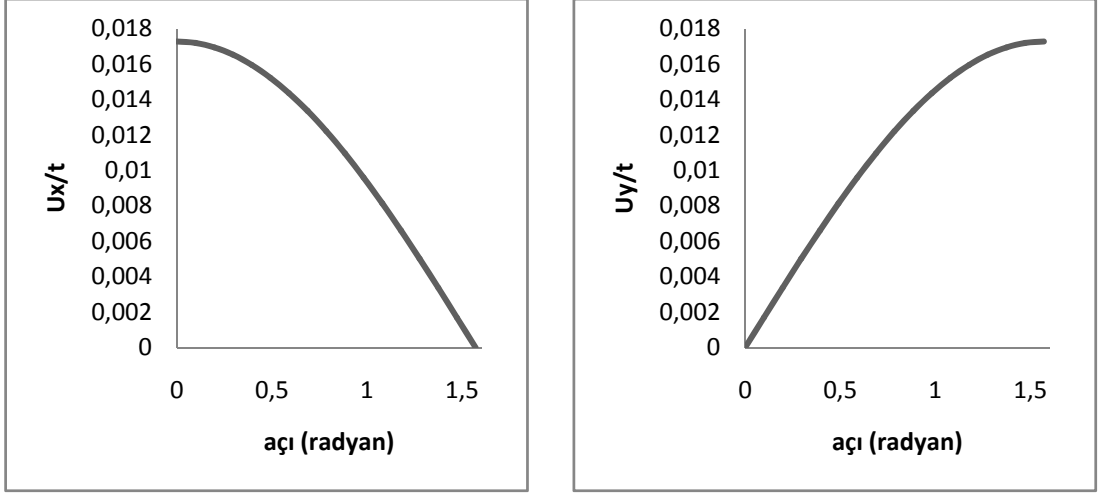
Üçüncü olarak kesit yine dairesel boşluklu dairedir (Şekil 3.1). Ancak $r_d=22$ cm, $r_i=19$ cm olarak seçilmiştir. Bu problem için $P_d=200$ N/cm² ve $P_i=250$ N/cm² olarak alınmıştır. Bu verilere ilişkin program sonuçları $0-\pi/2$ aralığında aşağıda verilmiştir.



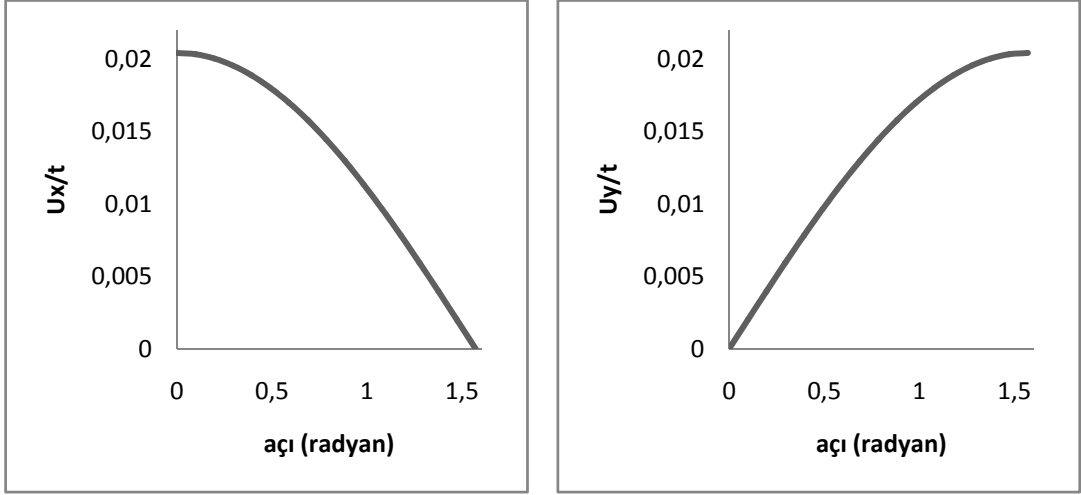
Şekil 3.10: İkinci kesitte $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi



Şekil 3.11: İkinci kesitte $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi



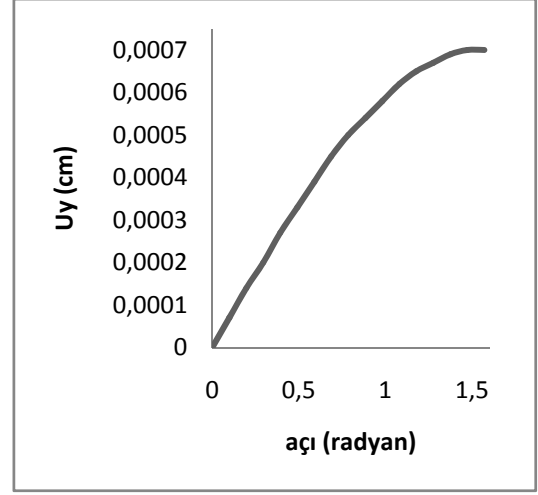
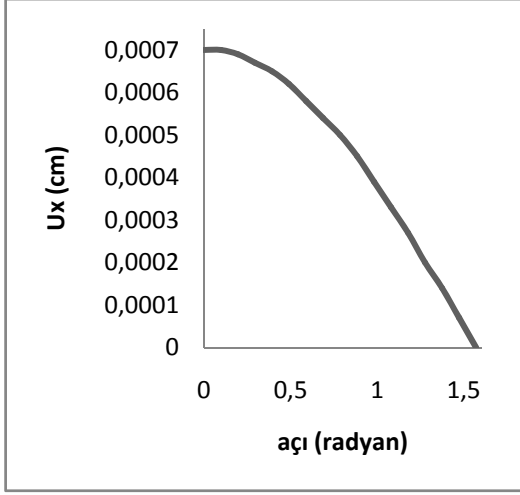
Şekil 3.12: İkinci kesitte 0- $\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t'ye oranları



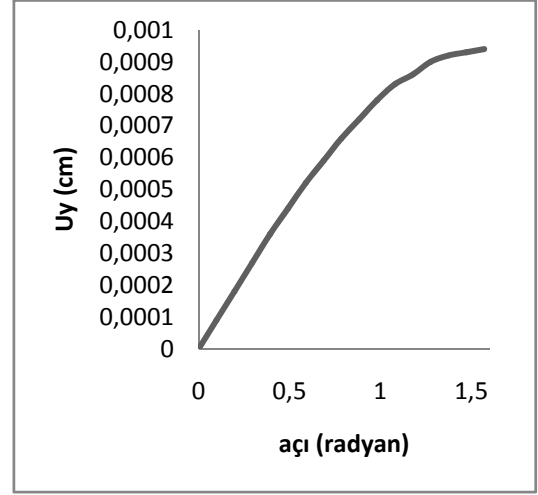
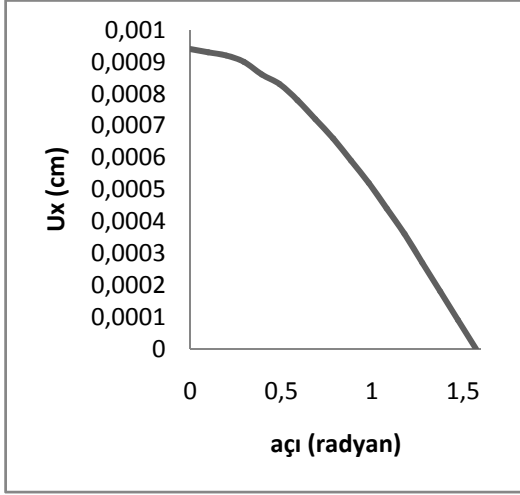
Şekil 3.13: İkinci kesitte 0- $\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t'ye oranları

3.4 BİRİNCİ KESİT BETON MALZEME İÇİN SONUÇLAR

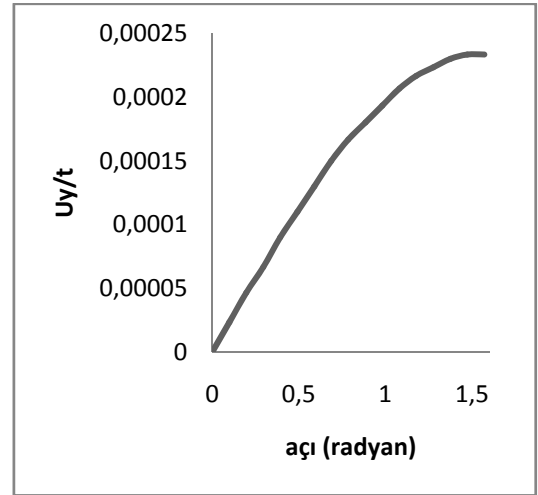
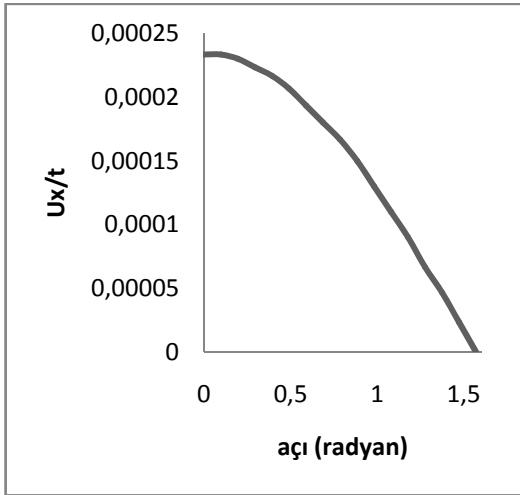
Şekil 3.1 de gösterilen kesitte ölçüler ilk ele alınan problemle aynı alınmıştır. Yani $r_d=20$ cm, $r_i=17$ cm dir. Yükleme de aynı olup $P_d=200$ N/cm², $P_i=250$ N/cm² dir. Ancak malzeme bu sefer polietilen değil beton olarak seçilmiştir. Betonun elastisite modülü (E) ortalama bir değer seçilerek 30GPa, poisson oranı (ν) 0.2 dir. Bu verilere göre program sonuçları aşağıdaki gibidir:



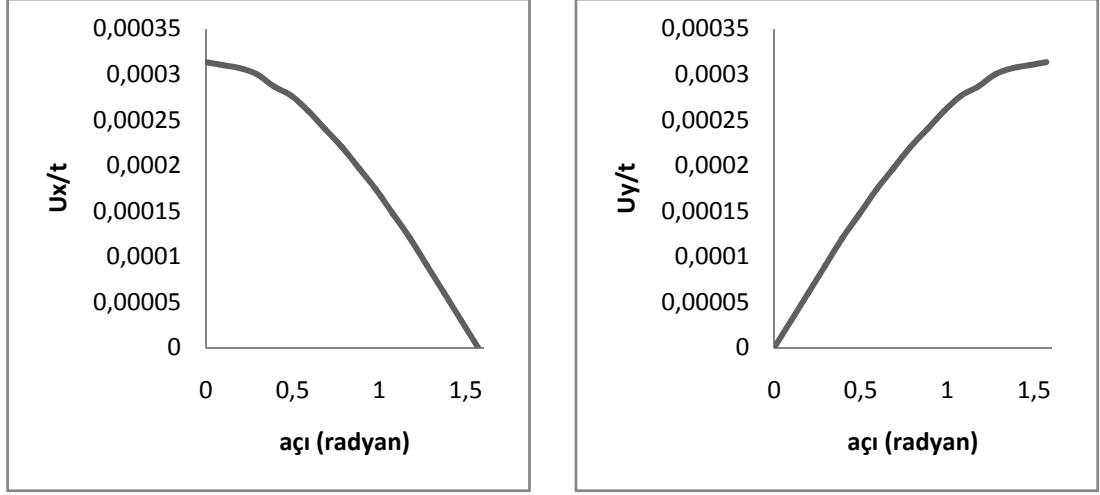
Şekil 3.14: Birinci Kesit Beton Malzeme $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi



Şekil 3.15: Birinci Kesit Beton Malzeme $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi



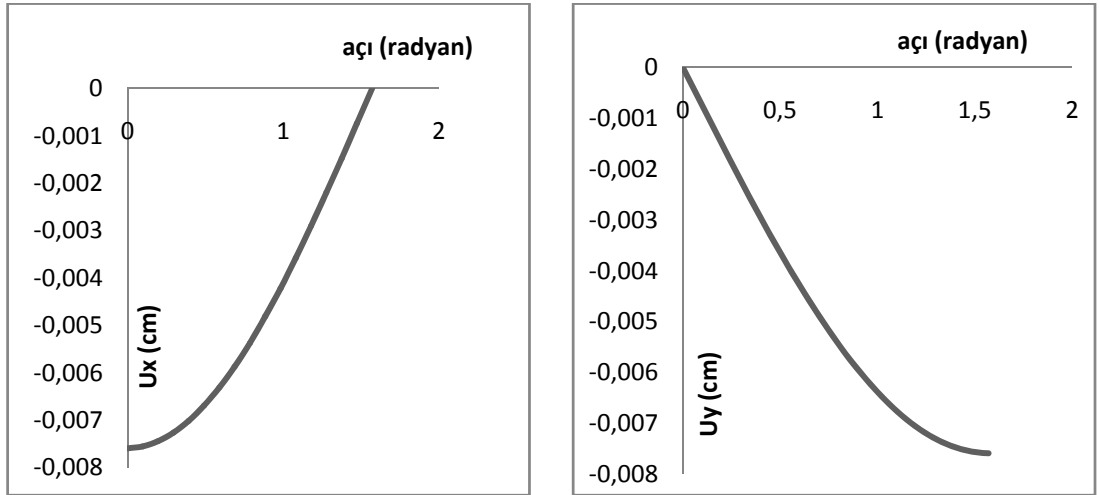
Şekil 3.16: Birinci Kesit Beton Malzeme $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t'ye oranları



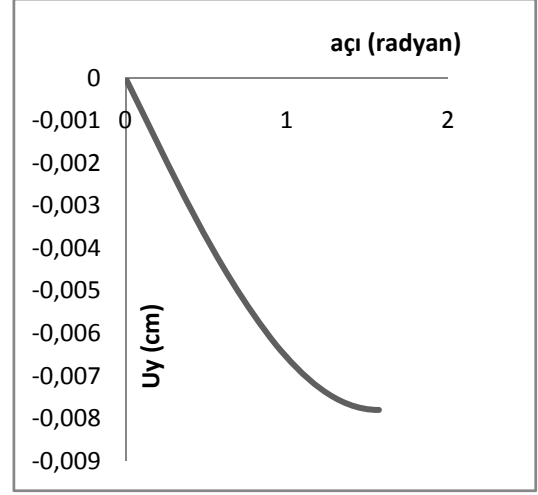
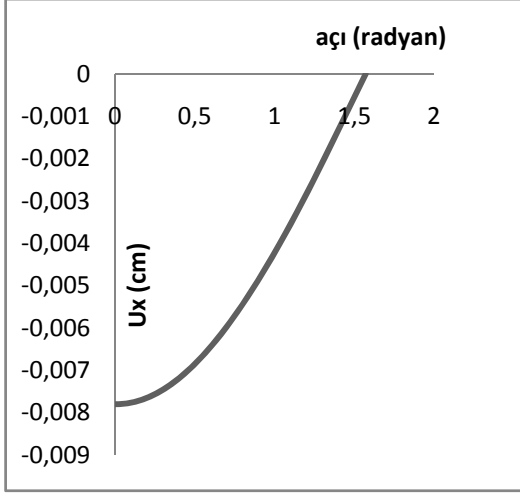
Şekil 3.17: Birinci Kesit Beton Malzeme $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t' 'ye oranları

3.5 BİRİNCİ KESİT BETON MALZEME İKİNCİ YÜKLEME HALİ İÇİN SONUÇLAR

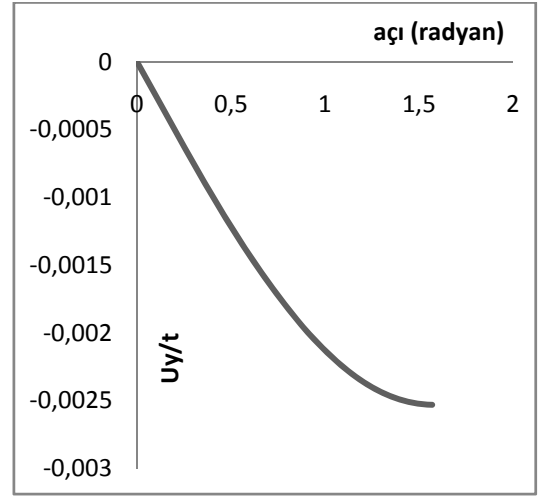
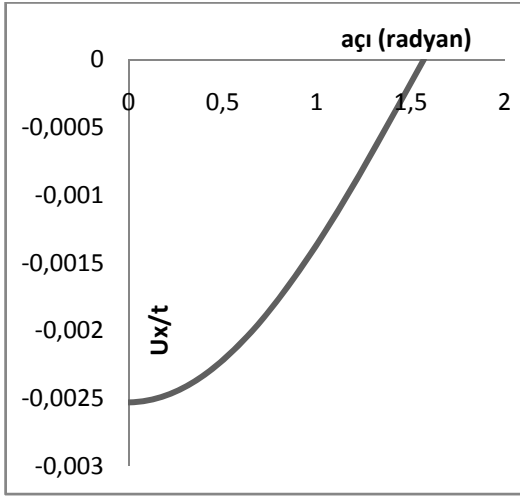
Bir önceki ele alınan problemdekiyle aynı malzemeden yapılmış aynı malzeme kullanılacaktır. Ancak bu sefer sadece $P_d=200 \text{ N/cm}^2$ lik basınç olacaktır. İç basınç sıfır seçilecektir. Bu durumdaki sonuçların grafikleri aşağıda sıralanmıştır:



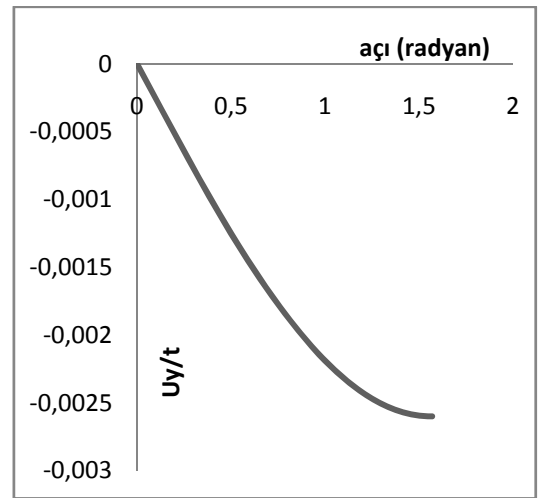
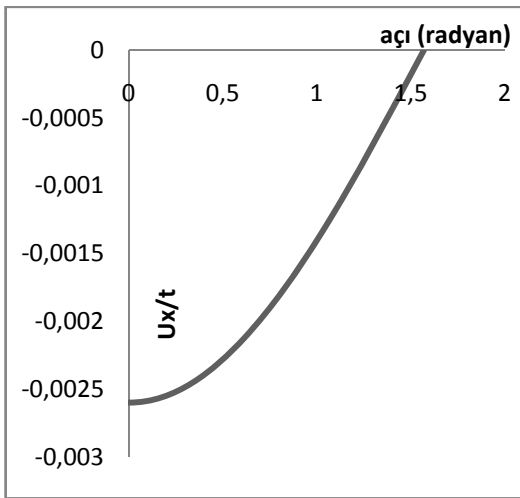
Şekil 3.18: Birinci Kesit beton malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi



Şekil 3.19: Birinci Kesit beton malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin değişimi



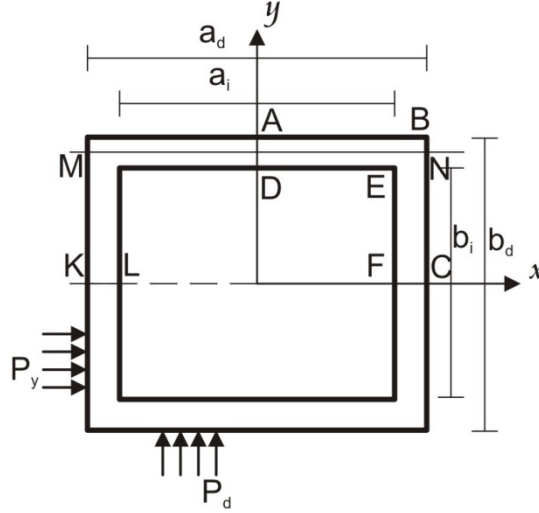
Şekil 3.20: Birinci Kesit Beton Malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında dış çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t'ye oranları



Şekil 3.21: Birinci Kesit Beton Malzeme ikinci yükleme hali $0-\pi/2$ arasında iç çeperde açının artmasıyla yerdeğiştirmelerin t'ye oranları

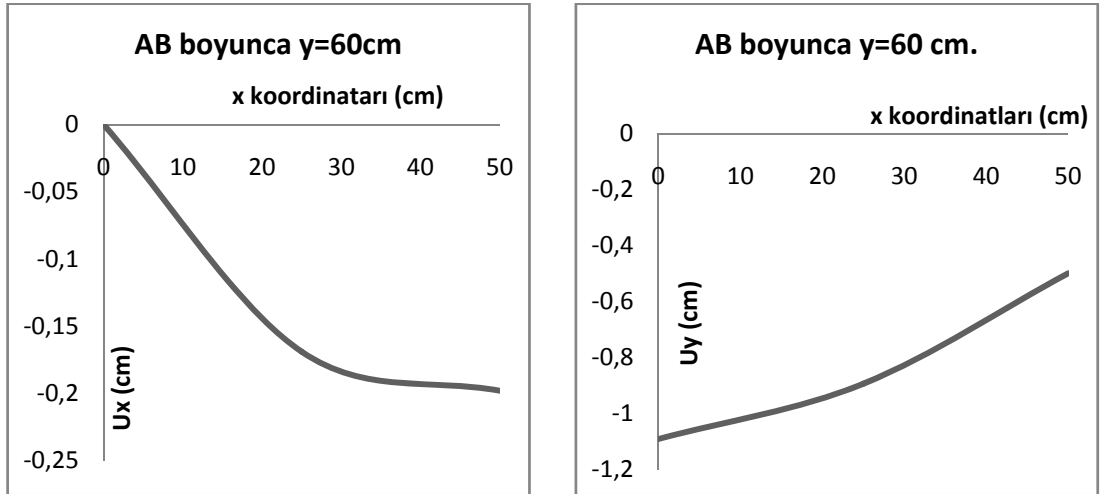
3.6 ÜÇÜNCÜ KESİT İÇİN SONUÇLAR

Beşinci olarak ele alınan kesit dikdörtgen boşluklu dikdörtgen kesit olacaktır (Şekil 3.22). Kesit boyutları $a_d=120$ cm, $b_d=100$ cm, $a_i=90$ cm, $b_i=70$ cm dir. Düşey basınç $P_d=200$ N/cm², alt kenara pozitif y yönünde ve üst kenara negatif y yönünde düzgün yayılı yük şeklinde etkimektedir. Yatay basınç $P_y=100$ N/cm² ise sol kenara pozitif x yönünde ve sağ kenara negatif x yönünde etkimektedir.

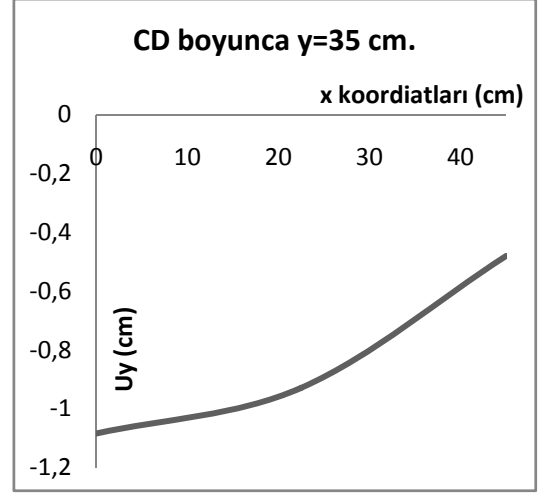
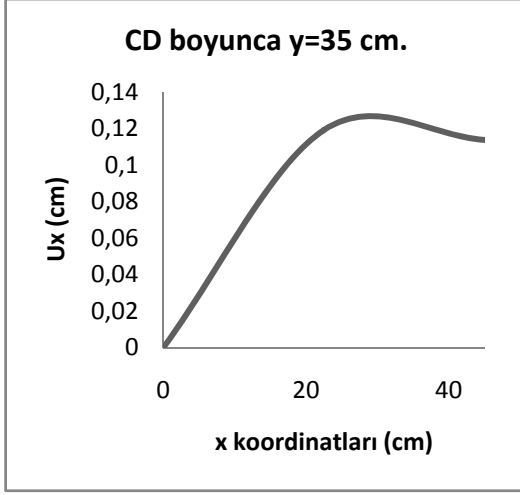


Şekil 3.22: İç ve dış basınca maruz dikdörtgen boşluklu dikdörtgen kesit

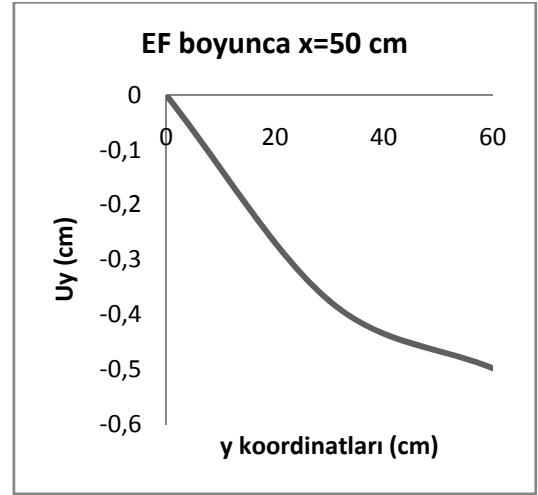
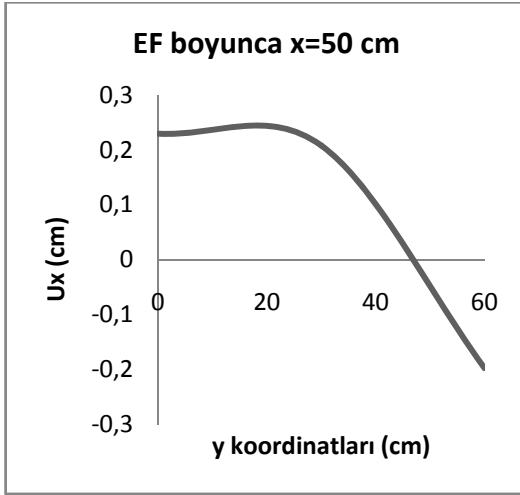
Malzemenin polietilen olduğu düşünülerek çözüm yapılmıştır. Bilgisayar programı yardımıyla AB, BC, DE, EF üzerinde yerdeğiştirme grafikleri verilmiştir.



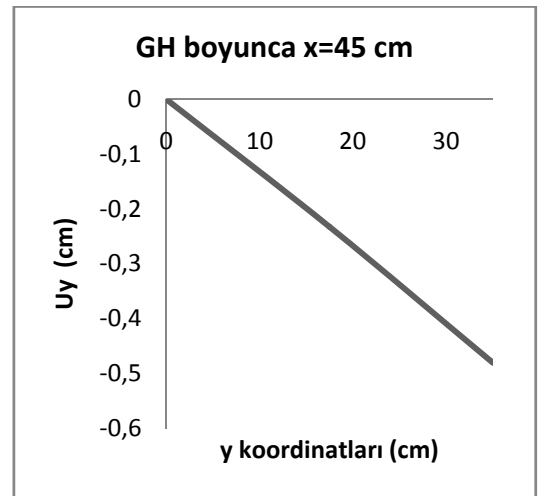
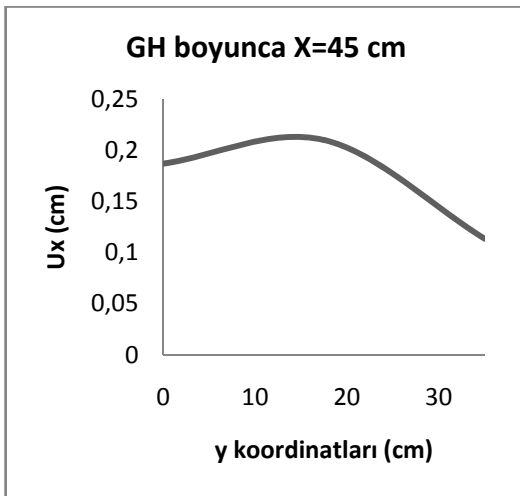
Şekil 3.23: Üçüncü kesitte yükleme sonucu AB hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değişimi



Şekil 3.24: Üçüncü kesitte yükleme sonucu CD hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değişimi

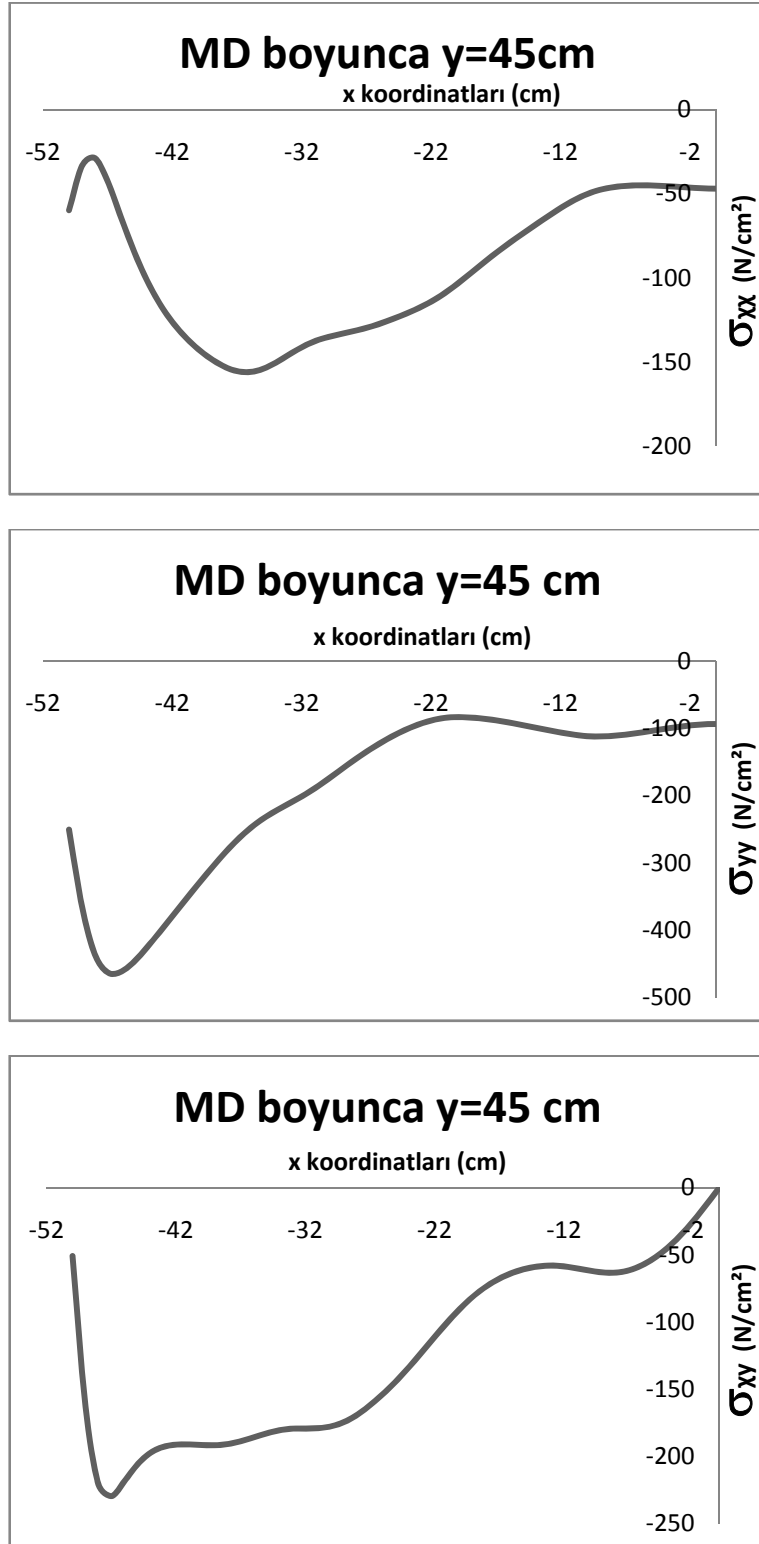


Şekil 3.25: Üçüncü kesitte yükleme sonucu EF hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin y koordinatlarına göre değişimi

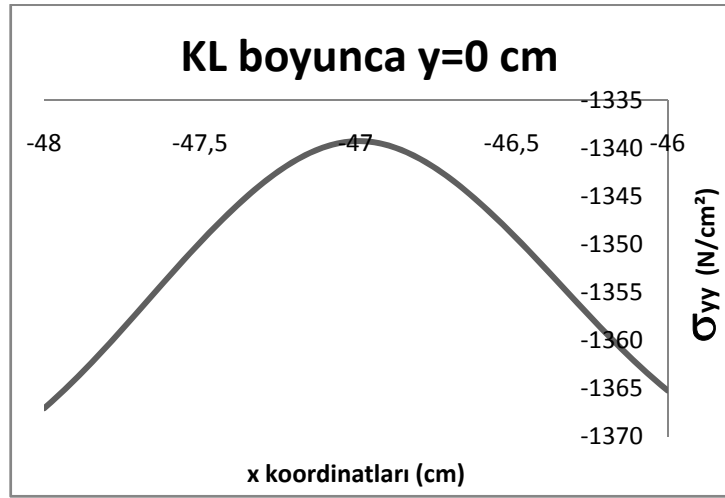
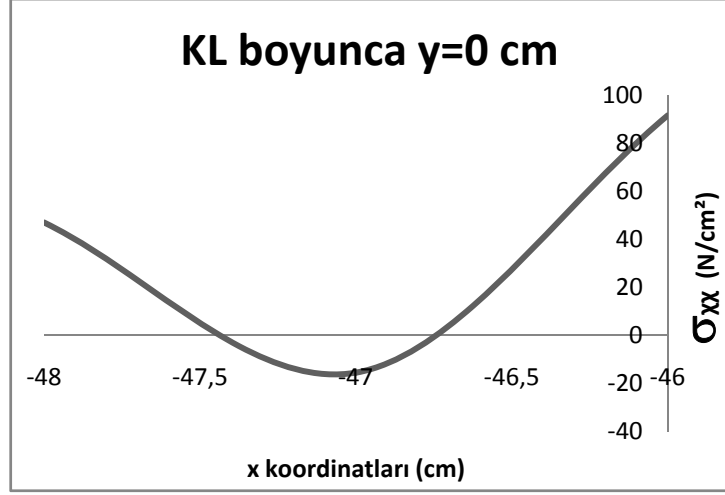


Şekil 3.26: Üçüncü kesitte yükleme sonucu GH hattı boyunca yerdeğiştirme bileşenlerinin y koordinatlarına göre değişimi

Şekil 3.22 de gösterilen MN ve KL hattı boyunca, yani orta hat ve üst kenar yarı kalınlık boyunca gerilme değışim grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.27: Üçüncü kesitte yükleme sonucu MN hattı boyunca gerilme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değışimi



Şekil 3.28: Üçüncü kesitte yükleme sonucu KL hattı boyunca gerilme bileşenlerinin x koordinatlarına göre değişimi

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada sınır eleman yöntemi boru problemlerine uygulanmıştır. Çözümde malzeme lineer elastik olarak düşünülmüştür. Sınır eleman yöntemi sınır değer problemlerinde bir integral denklem vermektedir. Bu integral denklemin bilinmeyenleri yerdeğiştirme bileşenleridir. Bu integral denklem sınır elemanlarla çözülebilir. Bu çalışmada, bu integral denklemi bir lineer cebrik denklemler sistemine indirgerken ortaya çıkan tekillikler ortadan kaldırılmıştır. Tekillikleri kaldırmak için öncelikle herbir nod noktası için yapay bir sınır belirlenmiştir. Bu sınır elemanlarını ve merkezi nod noktası ile çakışan küçük bir eğriyi içerir, fakat nod noktasının bu işlem sırasında yapay sınırın dışında kalması zorunludur. Bu küçük eğri, gerekli integraller üzerinde hesaplandıktan sonra nod noktasına indirgendi. Bu küçük eğri üzerinde yerdeğiştirme bileşenlerinin sabit olduğu fakat gerilme olmadığı kabul edildi. Nod noktasındaki sıralı elemanlar üzerindeki integrallerin hesabı sırasında ortaya çıkan tekillikler ortadan kalkmaktadır. Bu çalışmada, nod noktalarının numaraları, değişik örnekler için eleman uzunluklarını sabit tutabilmek üzere seçildiler. Bu sabit uzunluk herbir problemde farklı sayıda sınır elemanı için deneme ile belirlenmiştir. Eğer sonuçlar sınır elemanlarının daha fazla artımı için yaklaşık olarak sabit kalıyorsa gerekli eleman uzunluğu tesbit edilmiş olur. Sınır üzerinde yerdeğiştirme bileşenleri bulunduktan sonra bilinmeyen gerilme veya yerdeğiştirme bileşeni içerideki veya sınırdaki herhangi bir noktada herhangi bir tekillik problemi olmadan hesaplanabilir. Klasik formülasyonda sınır tabaka etkisi (boundary layer effect) olarak isimlendirilen sınır üzerindeki bilinmeyen gerilme bileşenlerinin hesaplanması durumunda bir zorluk vardır. Bu çalışmada herhangi bir sınır tabaka etkisi bulunmamaktadır. Bu metodda iki adet kısıtlayıcı vardır. Bir nod noktası üzerinde gerilmeler hesaplanamaz ve eğer yüzey gerilme vektörü sınırdaki bir nokta üzerinde süreksizliğe sahipse yine gerilme bileşenleri bu nokta üzerinde hesaplanamaz. Bir nod noktası etrafındaki dairesel eğri üzerine yapılan ikinci kabulden dolayı sınır üzerinde herhangi bir noktada tekil yük

varsa, bu nokta nod noktası olarak seçilmemelidir. Bulunan sonuçlar Timoshenko ve Goodier ' in kapalı ifadesi ile uyumludur.

Dairesel borularda eğrisel sınırlar doğru parçaları olarak idealeştirilmişlerdir. Böylece eğri üzerinde integral, bu eğriye en yakın, sıralı doğru parçalarının üzerlerindeki integrallerin toplamı ile elde edilmiş olmaktadır.

Bilgisayarda Fortran dilinde yazılmış program sayesinde kesitlerdeki herhangi bir noktanın yerdeğiştirme ve gerilme bileşenleri elde edilmiş olur. Bu sonuçların doğruluğunu sınamak için ilk ele alınan kesitteki sonuçlar kapalı çözümle karşılaştırıldı. İç ve dış basınca maruz dairesel boşluklu daire kesitte yerdeğiştirme formülü Elastisite Teorisi'nde verilmiştir. Bu kapalı çözüm formülü kullanılarak x ve y doğrultusundaki yerdeğiştirmelerin bileşkesi U_r elde edilmiş oldu. Karşılaştırma sonucu kapalı çözümle bilgisayardan bulunan sonuç arasındaki farkın onbinde bir mertebesinde olduğu görülmüştür. Bu, bilgisayar programının güvenilir sonuçlar verdiğini gösterdiğinden diğer örneklerde bu karşılaştırma tekrar yapılmadan direk bilgisayardan elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır.

Birinci kesitte iç ve dış basınca maruz durumda boru iç çeperinde dış çepere göre daha fazla yerdeğiştirme olmuştur. Bu, yerdeğiştirme grafiklerinden görülebileceği gibi; yerdeğiştirmelerin t kalınlığına bölünüp boyutsuzlaştırarak çizilen grafiklerden de görmek mümkündür. Zira dış çeperde U_x/t veya U_y/t , 0.013 civarında iken iç çeperde 0.016 civarındadır. Aynı durum yine polietilen malzeme için aynı kesitte sadece dış yükleme durumunda da geçerlidir. Dış çeperde U_x/t veya U_y/t , 0.078 civarında iken iç çeperde 0.086 civarındadır.

Et kalınlığı sabit kalmak üzere boru kesitinin çapı arttırıldığında, yani ikinci kesitte, hem iç hem de dış basınç altında yerdeğiştirmelerin ilk duruma göre arttığı gözlenmiştir. İç çeperin dış çepere göre daha büyük yerdeğiştirme bileşenlerine sahip olması yine söz konusudur; dışta 0.017 civarında içte 0.020 civarındadır. Dikkat edilirse ilk kesitte iç ve dış çeperler arasındaki yerdeğiştirmelerin farkı ile bu durumdaki yerdeğiştirmelerin farkı birbirine neredeyse eşittir. Yani kesitin büyümesiyle iç ve dış çeperlerdeki yerdeğiştirme farkı değişmemektedir.

İlk ele alınan örnekteki kesitin ölçülerinde beton boru için yapılan hesaplarla polietilen veya beton malzemenin yerdeğiştirmeyi ne ölçüde etkilediği incelenmiştir. Elastisite modülünün polietileninkine göre çok büyük olmasından ötürü beton

malzemeyle üretilmiş aynı ölçülerdeki boruda yerdeğıştirmeler çok daha az olmaktadır.

Çalışmada son olarak dikdörtgen kesitte çözüm yapılmıştır. Daire kesitlerde doğru sonuçlar üreten programda dikdörtgen kesit girilmiş, fakat burada çizgi üzerinde integral söz konusu olduğundan idealleştirmeye ihtiyaç duyulmamıştır. Sonuçlar daire kesittekilere göre daha isabetlidir. Çünkü daire kesitlerde ne kadar gerçek duruma yakın çözüm yapabilmek için daire uygun sayıda doğru parçasına ayrılmış olsa da küçük bir miktar sapma olacaktır. Fakat dikdörtgen kesit durumunda birebir sonucu bulmak mümkündür. Bu kesit için de değişik hatlarda yerdeğıştirme ve gerilme bileşenlerinin grafikleri bulunmuştur.

Bu çalışmada malzeme lineer elastik kabul edilerek, düşük statik yükler altında çözüm yapılmış, yük dağılımı düzgün yayılı olarak kabul edilmiş, borunun toprak içerisinde yükü toprakla etkileşim içerisinde taşıdığı hesaplara katılmamıştır. Bu açıdan bu çalışma, sınır eleman metodunun boru problemlerine uygulanması adına bir başlangıç niteliği taşımaktadır. İleriki çalışmalarda malzeme lineer olmayan davranışı ile değerlendirilebilir. Bundan başka malzemenin viskoelastikliğinin de hesaba katılabilmesi için elastisite modülü zamana bağlı işleme sokulabilir. Ayrıca yük dağılımı adına literatürde belirtilen farklı durumlar göz önüne alınabilir. Gömülü borular için toprak-boru etkileşimi içerisinde toprağın kemerleme özelliği ile yükün bir miktarının toprak tarafından alınması, bu durum altında boru kesitinde en büyük gerilmelerin nerelerde oluştuğu ve en büyük yerdeğıştirmelerin ne kadar olduğu ile ilgili bir çalışma da ilginç olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Sezer, S., 2003. ‘Investigation of Static and Dynamic Behaviors and Viscoelastic Modeling of Polyethylene Used in Plastic Pipe Manufacturing’, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Reddy, DV., Gazagnaire, C. ve Ataoğlu, S., 2007. Analysis of long-term of high-density polyethylene pipe, *Journal of Advanced Materials*, **39**, 63-79.
- [3] Reddy, DV., Ahn, WS. ve Ataoğlu, S., 2004. Investigation of flexural creep for high-density polyethylene pipe, *Journal of Advanced Materials*, **36**, 18-24.
- [4] Reddy, DV. ve Ataoğlu, S., 2004. Analysis of Jointed HDPE Pipe, *Journal of Advanced Materials*, **36**, 43-50.
- [5] Reddy, DV. ve Ataoğlu, S., 2002. Experimental Analysis of Buried High Density Polyethylene Pipes, *Turk J Eng. Env. Sci*, **26**, 293-300.
- [6] Hashash, N.M.A., 1991. Design and Analysis of Deeply Buried Polyethylene Drainage Pipes, *Ph. D. Dissertation*, Graduate School of the University of Massachusetts, Massachusetts.
- [7] Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F. ve Çelik, O. C., 2001 *Betonarme*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [8] Ghosh, N., Rajiyah, H., Ghosh, S. ve Mukherjee, S., 1986 A new boundary element method formulation for linear elasticity, *Journal of Applied Mechanics*, **53**, 69-76.
- [9] Kadioğlu, N., ve Ataoğlu, S., 2007. A BEM implementation for 2D problems in plane orthotropic elasticity, *Structural Engineering and Mechanics, An International Journal*, **26**, (baskıda).
- [10] Kadioğlu, N. ve Ataoğlu, S., 2006. BEM Implementations for an Anisotropic Plate with a Relatively Big Elliptical Hole, *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, **1**, 204-209.
- [11] Timoshenko, S.P. ve Goodier, J.N., 1970. *Theory of Elasticity*, Mc-Graw Hill, New York.

- [12] **Tameroğlu, S.**, 2007. Lineer Elastisite Teorisi, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [13] **Anderson, L. R. et al.**, 2000. Structural Mechanics of Buried Pipes, CRC Press LLC., Boca Raton.

ÖZGEÇMİŞ

Osman BULUT, 1982 yılında Ankara’da doğdu. Lise öğrenimini 2000 yılında, Ankara Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Lisans eğitimini, 2001-2005 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde almıştır. 2006 yılında aynı üniversitenin Yapı Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı’nda lisansüstü öğrenimine başlamıştır.