

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANOTEKNOLOJİ VE ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burcu KUTUCU**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Reha ARTAN

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANOTEKNOLOJİ VE ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burcu KUTUCU
(501081014)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Reha ARTAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Pelin Gündes BAKIR (İTÜ)
Prof. Dr. Faruk YÜKSELER(YTÜ)**

HAZİRAN 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

İnsanlar İlkçağ'dan beri, doğayı tanımaya çalışmışlardır. Hayatta kalmanın ve daha iyi yaşam koşullarının yollarını araştırmışlardır. Bu esnada ateşi keşfetmişler, kesici aletler bulmuşlardır. Günlük hayattaki mücadeleleri sonucu bilgi birikimine sahip olmuşlardır. Bu bilgi birikimleri sayesinde bilim oluşmuştur. Uygulamaya yönelik bilimsel çalışmalar sonucu, insan hayatını kolaylaştıran ürünler üretilmeye başlanmıştır. Yani “teknoloji” olarak adlandırılabilen kavram ortaya çıkmıştır. Artık günümüzde ülkelerin refah seviyesini bilim ve teknolojiye kat etmiş oldukları mesafe belirler hale gelmiştir. Teknoloji üreten ülkeler üretmeyen ülkelere daha zengin hale gelmişlerdir. Gelişen teknolojiyle birlikte, 20. yüzyılın sonunda bilim adamları nanometre ölçülerinde bilime yönelmişlerdir ve nanoteknoloji ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada da nanoteknolojinin tanımı ve amacı, tarihi, uygulama alanları, yararları, gelecekteki uygulama alanları, dünya ve Türkiye'deki yeri anlatılmıştır. Tek ve çok duvarlı karbon nanotüplerden ve Van Der Waals bağlarından bahsedilmiştir. İç içe geçmiş yarıçapları farklı 2 nanotüp ele alınmış ve başlangıç koşulları altında sistem çözümü yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda 2 tüpte ortaya çıkan çökme, dönme, kesme kuvveti ve moment değerleri incelenmiştir.

Çalışmalarım esnasında bilgi birikimini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Reha ARTAN'a, lisansüstü eğitimim boyunca bana mesleki eğitim veren tüm İTÜ İnşaat Fakültesi hocalarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca tüm hayatım boyunca yanımda olan aileme sözsüz şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

Haziran 2010

Burcu KUTUCU

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. NANOTEKNOLOJİ	5
2.1 Sözlük Anlamı	5
2.2 Genel Tanım	5
2.3 Nanoteknolojinin Amacı	8
2.4 Nanoteknolojinin Yararları.....	8
2.5 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları.....	10
2.6 Nanoteknolojinin Tarihi	11
2.6.1 60'lar Feynman	11
2.6.2 80'ler uygun mikroskopların geliştirilmesi.....	11
2.6.3 90'lar Fullerene-karbon nanotüpler-Drexler	12
2.6.4 2000'ler	12
2.7 Dünyada Nanoteknoloji.....	13
2.7.1 Avrupa Birliği'nde nanoteknoloji	13
2.7.2 Amerika Birleşik Devletleri'nde nanoteknoloji.....	14
2.7.3 Asya'da nanoteknoloji	15
2.8 Türkiye'de Nanoteknoloji	17
2.9 Nanoteknolojinin Gelecekteki Uygulama Alanları	21
2.9.1 Malzeme ve imalat sektörü	21
2.9.2 Nanoelektronik ve bilgisayar teknolojileri.....	22
2.9.3 Tıp ve sağlık sektörü	22
2.9.4 Havacılık ve uzay araştırmaları.....	23
2.9.5 Çevre ve enerji	23
2.9.6 Biyoteknoloji ve tarım	24
2.9.7 Savunma ve sanayi sektörü	25
3. KARBON NANOYAPILAR	27
3.1 Karbon Nanotüp	27
3.1.1 Tek duvarlı karbon nanotüp	28
3.1.2 Çok duvarlı karbon nanotüp.....	30
3.1.3 Karbon nanotüplerin yapısı.....	30
3.1.3.1 Yapı tipleri.....	31
3.1.3.2 Açık uçlu ya da kapsül.....	32
4. WOLFRAM MATHEMATİCA	33

5. ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜP PROBLEMİ.....	37
5.1 MATHEMATICA’da Üzerine Tekil P Yüğü Etkiyen Tek Ucu Ankastre Sistem Çözüğü	37
5.2 MATHEMATICA’da Üzerine M Momenti Etkiyen Tek Ucu Ankastre Sistem Çözüğü	40
5.3 Van Der Waals Bağları.....	43
5.3.1 Elektron sayısı.....	44
5.3.2 Molekül büyüklüğü	44
5.3.3 Aynı elementlerin oluşturdıkları atom sayısı	44
5.4 Mathematica’da Çift Duvarlı Karbon Nanotübün İncelenmesi ve Çözüğü ...	45
5.4.1 Birinci durum	50
5.4.2 İkinci durum	58
5.4.3 Üçüncü durum.....	64
5.4.4 Birinci ve ikinci duruma ait grafiklerin değeriendirilmesi.....	71
5.4.3 Birinci ve üçüncü duruma ait grafiklerin değeriendirilmesi	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	85

KISALTMALAR

SWNT	: Single Walled Nanotubes
MWNT	: Multi Walled Nanotubes
MNT	: Moleküler Nanoteknolojisi
STM	: Scanning Tunneling Microscope
AFM	: Atomic Force Microscope
UNAM	: Ulusal Nanoteknoloji Merkezi
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
SiC	: Silisyum Karbür
MEMS	: Micro Elektro Mechanical System
NEMS	: Nano Elektro Mechanical System
DOC	: Department of Corrections
DOD	: Department of Defense
DOE	: Department of Energy
DOT	: Department of Transportation
NIH	: National Institutes of Health
NSF	: National Science Foundation

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : 2015’te Dünya’da nanoteknolojiye ayrılan sektör payları.	25
Çizelge 5.1 : MATHEMATICA programında ortaya çıkan ifadeler.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Bilim ve teknolojiye temel gelişmeler.....	3
Şekil 2.1 : Nanometre boyutunu anlatan örnekler	6
Şekil 2.2 : Nanometrenin büyüklüğü ile ilgili örnekler.	7
Şekil 2.3 : Nanosarmal.....	7
Şekil 2.4 : Nanoteknolojiyle yapılmış basit bir pompa	9
Şekil 2.5 : Dünya nanoteknoloji yatırımları	17
Şekil 2.6 : Dünyanın en küçük Türk Bayrağı	18
Şekil 2.7: Nanoteknolojinin gelecekteki uygulama alanları.....	21
Şekil 3.1 : Tek sıra karbon atomundan oluşan bir grafin katmanı.....	28
Şekil 3.2 : Tek duvarlı karbon nanotüp	29
Şekil 3.3 : Çok duvarlı karbon nanotüp.....	30
Şekil 3.4 : Karbon nanotüp yapısı	31
Şekil 3.5 : Armchair nanotüpler.....	31
Şekil 3.6 : Zigzag nanotüpler.....	32
Şekil 3.7 : Chiral nanotüpler	32
Şekil 4.1 : MATHEMATICA programında $\sin(x)$ fonksiyonu grafiği örneği.	34
Şekil 5.1 : Üzerine tekil P yükü etkileyen tek ucu ankastre sistem	37
Şekil 5.2 : Üzerine M momenti etkileyen tek ucu ankastre sistem	40
Şekil 5.3 : İç içe geçmiş çapları farklı 2 karbon nanotüp	45
Şekil 5.4 : Üzerine M momenti etkileyen iç içe geçmiş 2 farklı nanotüp sistemi.....	45
Şekil 5.5 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri	52
Şekil 5.6 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.....	52
Şekil 5.7 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri... ..	53
Şekil 5.8 : 1. durumda her 2 tüpte meydana gelen toplam moment değerleri... ..	54
Şekil 5.9 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri... ..	54
Şekil 5.10 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.....	55
Şekil 5.11 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.....	56
Şekil 5.12 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri... ..	56
Şekil 5.13 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri ..	57
Şekil 5.14 : 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.....	59
Şekil 5.15 : 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.....	59
Şekil 5.16 : 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri... ..	60
Şekil 5.17 : 2. durumda her 2 tüpte meydana gelen toplam moment değerleri... ..	60
Şekil 5.18 : 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri ..	61
Şekil 5.19 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.....	62
Şekil 5.20 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.....	62
Şekil 5.21 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri... ..	63
Şekil 5.22 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri ..	63
Şekil 5.23 : 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.....	65
Şekil 5.24 : 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.....	66
Şekil 5.25 : 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri... ..	66
Şekil 5.26 : 3. durumda her 2 tüpte meydana gelen toplam moment değerleri... ..	67

Şekil 5.27 : 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri	68
Şekil 5.28 : 3. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.....	68
Şekil 5.29 : 3. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.....	69
Şekil 5.30 : 3. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri... ..	70
Şekil 5.31 : 3. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri	70
Şekil 5.32 : 1. ve 2. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri ...	71
Şekil 5.33 : 1. ve 2. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri...	72
Şekil 5.34 : 1. ve 2. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvvetleri..	72
Şekil 5.35 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri ...	73
Şekil 5.36 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri...	74
Şekil 5.37 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.	74
Şekil 5.38 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvvetleri ..	75
Şekil 5.39 : 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri ...	76
Şekil 5.40 : 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri...	76
Şekil 5.41 : 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvvetleri..	77
Şekil 5.42 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri ...	78
Şekil 5.43 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri...	78
Şekil 5.44 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.	79
Şekil 5.45 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvvetleri ..	80
Şekil A.1: MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü... ..	86

NANOTEKNOLOJİ VE ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Geçen yüzyılın son çeyreğinde mikroelektronikğin gelişip her alanda uygulama bulması ve daha sonra ‘internet’ in hızla yayılması bilimsel ve teknolojik gelişmeleri de inanılması güç bir şekilde hızlandırdı. Bilgi-enformasyon çağında yüksek teknolojiye her alanda, özellikle iletişim ve bilişim dallarında gelen talepler bilim adamlarını olağanüstü özelliklere sahip yeni malzemeleri ve yeni üretim yöntemlerini aramaya yöneltti.

Bilimde elde edilen önemli gelişmeler malzemelerin boyutları nanometre (metrenin milyarda biri) seviyelerine inince olağanüstü yeni fiziksel ve kimyasal özellikler göstereceğini ortaya çıkardı. Bilim insanları ve mühendisleri her gün daha küçük boyutlara inmeye, daha az yer kaplayan, daha az enerji harcayarak daha hızlı çalışabilen aygıtlar yapmaya zorlamıştır. Günümüz çağı olan 21. yüzyıl da bilim ve teknoloji çağı olmuş ve nanoteknoloji ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmanın ana konusu nanoteknolojinin tanımı ve amacı, yararları, tarihi, Dünya ve Türkiye’deki yeridir. Tek ve çok duvarlı karbon nanotüpler ve Van Der Waals bağları incelenmiştir. Öncelikle üzerine bir P yükü etkileyen tek ucu ankastre bir sistem ele alınmış ve yönetici denklemlerle MATHEMATICA programında çözümlenmiştir. Ardından aynı prosedürler bir ucuna M momenti etkileyen tek ucu ankastre bir sistem için tekrarlanmış ve yönetici denklemler MATHEMATICA programında çözümlenmiştir. Bütün bu çözümlemelerden sonra çalışmanın esas amacı olan nanotüpler incelenmiştir. İç içe geçmiş yarıçapları farklı 2 nanotüp ele alınmış ve başlangıç koşulları altında sistem çözümü yapılmış, 3 farklı durum altında tüplerin davranışı belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda 2 tüpte ortaya çıkan çökme, dönme, kesme kuvveti ve moment değerleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

NANOTECHNOLOGIES AND EXAMINATION OF MULTI WALLED CARBON NANOTUBES

SUMMARY

Development of microelectronic in the last quarter century and find applications in ever area and then internet rapid dissemination of scientific and technological developments as well as difficult to believe that an accelerated. In the age of high technology knowledge-information in all areas, especially in the field of communication and information demands of scientists with extraordinary properties of new materials and new production methods have led to search.

Significant advances in materials science from the size of nanometer (one billionth of a meter) when the extraordinary levels of physical and chemical properties of the new show was going to reveal. The 21-day age century was the area of science and technology, and nanotechnology has emerged.

The main subject of this study is the definition of nanotechnology, benefits of nanotechnology, nanotechnology applications in Turkey and world and the history of nanotechnology. Also single and multi walled carbon nanotubes and van der Waals bands are examined in this study. At first a fixed end frame loaded with a load P is studied and governing equations solved in MATHEMATICA. Secondly the same procedure is repeated for a fixed and frame loaded with moment M is studied and governing equations solved in MATHEMATICA. After all these basic studies, the main subject of the theses, carbon nanotubes are examined. A system of two different nanotubes, one inside the other is examined with the boundary conditions. Tubes characters are determined in 3 different situations. Consequently, resultant values like displacement, rotation, shear force and moment formed on two tubes examined and evaluated.

1. GİRİŞ

İnsanlar ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çeşitli bilgi birikimlerine sahip olmuşlar ve elde ettikleri bu bilgiler sonucunda da bilim ve teknoloji kavramlarının ortaya çıkmasını sağlamışlardır. Günümüz çağı olan 21. yüzyıl bilim ve teknoloji çağı olmuştur.

“Bilim” ve “teknoloji” çeşitli şekillerde tanımlanabilmektedirler. Aşağıda “bilim”in çeşitli tanımları verilmiştir (Ayhan, 2002):

- Bilim, neyin ne olduğunu tanımlamaktır.
- Bilim, özgür arayış ve eleştiri içeren bir etkinliktir.
- Bilim; bazı olgu veya olay kategorilerine ait iyi düzenlenmiş bilgiler bütünüdür.
- Bilim; yasalara uygun ve/ya da deneysel yöntemlerle doğrulanmış belirli olgu, konu ya da olay kategorilerine ilişkin bilgileri bir araya getiren tutarlı bütündür.
- Bilim, nesnel dünyayı ve bu dünyada yer alan olgulara ilişkin tarafsız gözlem ve sistematik deneye dayalı zihinsel etkinliklerin ortak adıdır.
- Bilim; bilinmeyenleri bilinir kılma çabasıdır.

“Teknoloji” kelimesi; *Technikos*; sistematik olarak işlem yapma ve *Logia*; sanat, bilim kelimelerinden türemiş ve bugünkü anlamını kazanmıştır. Aşağıda “teknoloji”nin çeşitli tanımları verilmiştir (Ayhan, 2002):

- Teknoloji, yararlı ürünler üretmeye ve yeni ürünler tasarlamaya yarayan bilgiler bütünüdür.
- Teknoloji, girdileri çıktılara dönüştüren tüm fiziki süreçleri ve bu dönüşüme paralel gerçekleşen toplumsal düzenlemelerin ifadesidir.
- Üretim faaliyetlerinde kullanılan yol ve yöntemlerin tümü teknolojidir.
- Teknoloji, teknik bilgiler paketidir.

- Bilim ve pratik uygulamalarından doğan teknoloji; ürün, süreç, sistem ve servislerin geliştirilmesi, tasarımı, üretimi ve uygulamasında kullanılır.
- Ticari bir değer elde etmek için gerçekleştirilen bilimsel uygulamaların tümü, teknolojinin kendisidir.
- Teknoloji, sanayinin çeşitli dallarında kullanılan takımların, işleme usullerinin ve metotlarının incelenmesidir.
- Teknoloji, teknik bilgi, bilgi, buluş ve yenilik gibi doğrudan insan faaliyetlerinin değişik tiplerini içeren bir kısaltma olup, verimlilik, büyüme, istihdam ve rekabet edebilirlik gibi ölçülebilir ekonomik değişkenlerin açıklanmasında önemli rol oynar.
- Bilimin, pratik hayatın gereksinimlerinin karşılanmasına, ya da insanın çevresini denetleme, biçimlendirme ve değiştirme çabalarına yönelik uygulamaları teknolojiyi ifade eder.
- Bir kişinin, toplum kesiminin ya da toplumun sorun çözme kabiliyetini oluşturan öğelerin her biri; birer teknolojidir.

Bilim ve teknoloji karşılıklı etkileşim içerisindeyler. Bilimdeki gelişme teknolojiye gelişmeyi sağladığı gibi teknolojiye gelişme de bilimsel gelişmeyi sağlamaktadır. Bilim ve teknoloji, insanların ihtiyaçlarından dolayı doğmuştur.

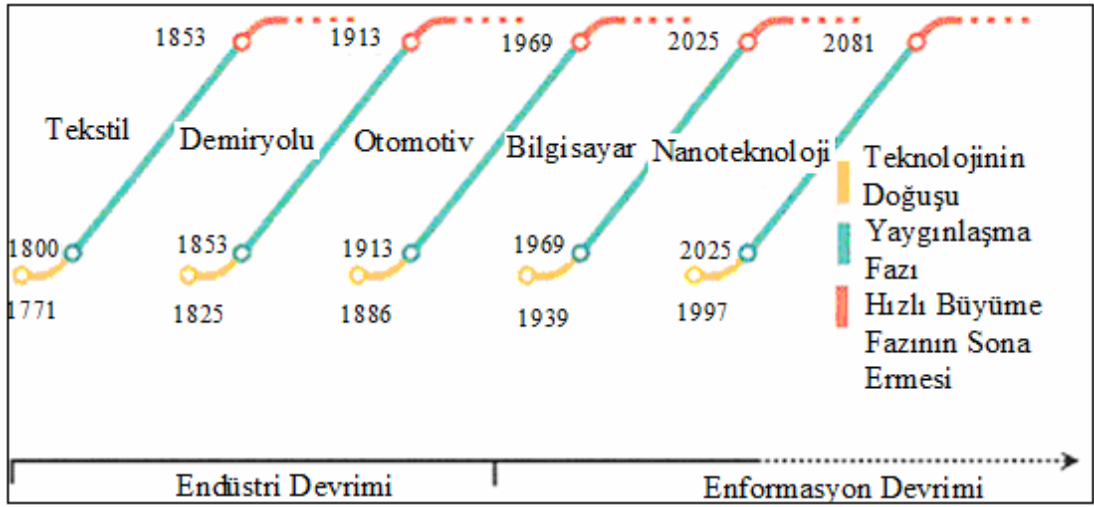
Bilimdeki ve teknolojiye gelişmeler de bu ihtiyaçlar sayesinde gerçekleşmiştir. Artık günümüzde ülkelerin refah seviyesini bilim ve teknolojiye kat etmiş oldukları mesafe belirler hale gelmiştir. Teknoloji üreten ülkeler üretmeyen ülkelere daha zengin hale gelmişlerdir.

20. yüzyılın sonunda bilim adamları nanometre ölçülerinde bilime yönelmişlerdir. Atomların doğrudan görüntülerini veren taramalı tünelleme mikroskopunun ve bundan türetilen atomik kuvvet mikroskopunun keşfi, nanometre boyutlarında fiziğe ve kimyaya çok güçlü bir göz kazandırmıştır. Bu mikroskoplarla nanometre aleminde çeşitli süreçleri, etkileşimleri, kimyasal reaksiyonları gözlemek ve atomları teker teker kontrollü bir şekilde istenen yerlere taşıyıp yapay malzemeler oluşturmak mümkündür. Bilimde elde edilen gelişmeler ve varılan bu sonuç nanometre boyutlarında malzemelerin teknolojiye ne kadar büyük olanaklar kazandırabileceğini göstermiştir. Otomotiv ve benzeri imalat sanayilerinde kar marjlarının düşmüş olduğu

ABD’de iktisatçılar bu olanakları herkesten önce görüp Başkan Clinton’ı etkileyerek nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak ilan ettirmişler.

Bundan sonra, 1997’den itibaren konu bütün dünyada hızla gelişmiştir. Şimdi nanoteknoloji bilgisayar devrimini izleyen ve 21. yüzyıla damgasını vuracak bir teknoloji devrimi olarak değerlendirilmektedir (Çıracı, 2005).

Şekil 1.1’de her asırda iki kez insanoğlunun refahını arttıran bilim ve teknolojiadaki temel gelişmeler gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Bilim ve teknolojiadaki temel gelişmeler (Çıracı, 2005).

2. NANOTEKNOLOJİ

2.1 Sözlük Anlamı

Nano kelimesi Yunanca *nannos* kelimesinden gelir ve “küçük yaşlı adam veya cüce” demektir. Günümüzde nano, teknik bir ölçü birimi olarak kullanılır ve herhangi bir birimin milyarda biri anlamını taşır. Genellikle metre ile birlikte kullanılır. Ancak genel olarak söylenecek olursa, nanoteknoloji maddeyi dolaylı olarak atom boyutuna yani “nano-boyutuna” indirgeme işidir.

Teknoloji kelimesi ise yine Yunanca *tekhné* ve *logia* kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşur. *Tekhné* el işi veya sanat, *logia* ise bir konunun çalışılması olarak tercüme edilebilir. Teknoloji genellikle çevre üzerinde kontrol sağlamak amacıyla araç yaratılması olarak tanımlanır. Başka bir anlamla ise teknolojiyi, bilimsel metodların ticari amaçlar için kullanılması olarak yorumlayabiliriz (Url-6).

2.2 Genel tanım

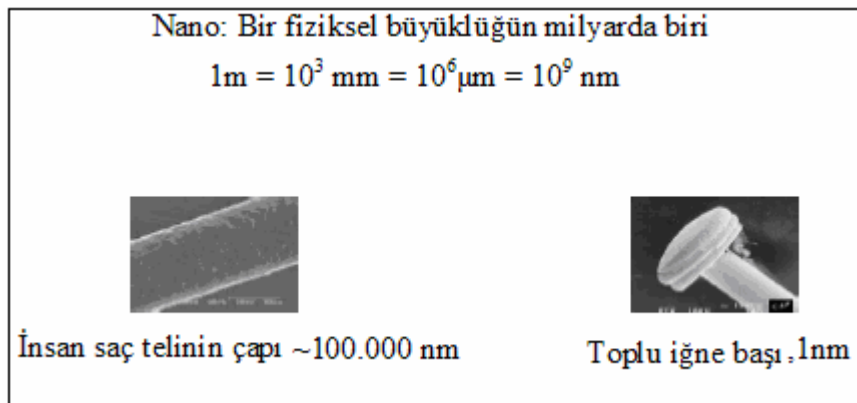
Kaliforniya’daki Foresight Enstitüsü başkanı Dr. Eric Drexler, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’ndeki eğitimi sırasında, biyolojik sistemlerden esinlenerek molekül makinalar yapılabileceğini önermiştir ve nanoteknoloji kelimesini ilk kez ortaya çıkarmıştır.

Nanoteknoloji, çok genel tanımıyla, istisnai şekilde küçük (yaklaşık atom boyutlarında) yapıların ticari bir amaca hizmet edebilecek şekilde düzenlenmesidir. Başka şekilde tanımlamak gerekirse: Maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen işleme, ölçüm, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalar nano-teknoloji çalışmaları olarak nitelenir. Nanometre ($1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$) ölçeğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir.

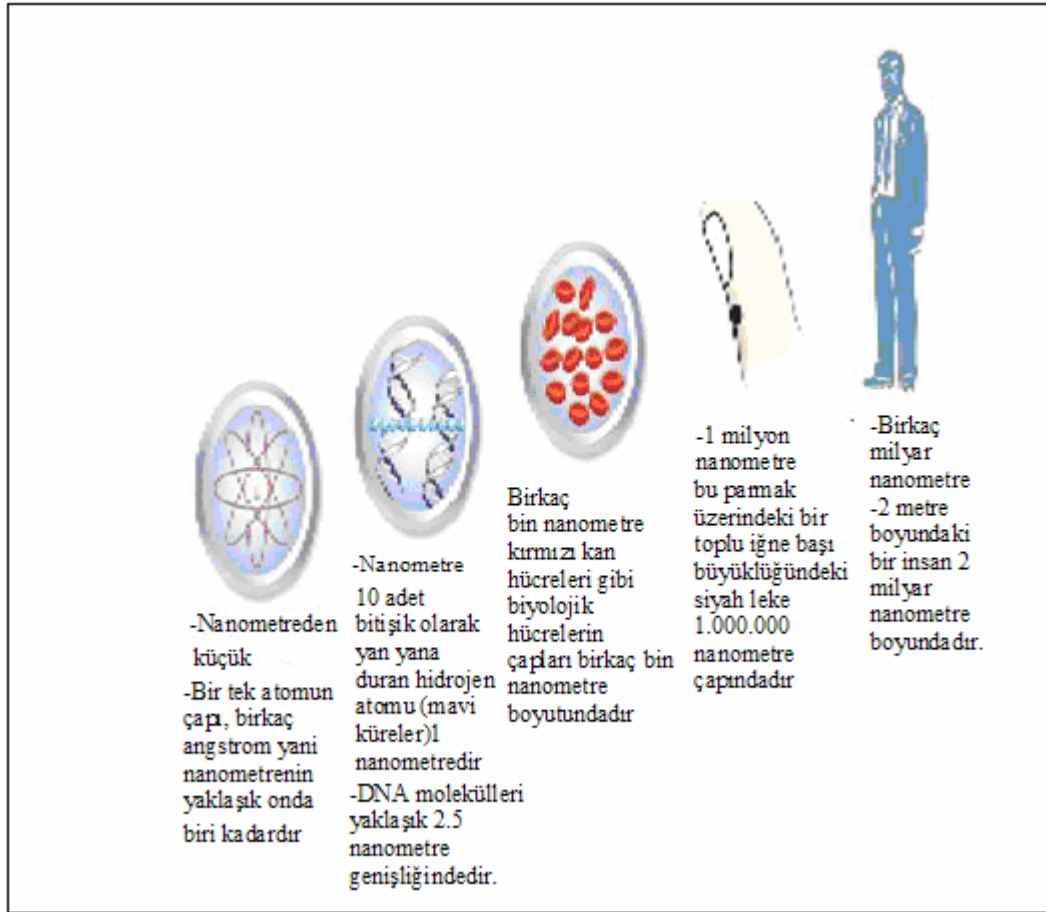
1974 yılında Tokyo Üniversitesi’nde Norio Taniguchi tarafından ortaya atılan nanoteknoloji mevcut teknolojilerin daha ileri düzeyde duyarlılık ve küçültülmesine dayalı olarak hızla ortaya çıkan teknolojilerdir. Gelecekte bu teknoloji muhtemelen

Moleküler Nanoteknolojisi (MNT) adıyla nano büyüklüğündeki boyutlarıyla yapı makineleri ve mekanizmalarını da içerecektir. Nanoteknoloji ölçü olarak nanometre adı verilen (kısa şekli nm) bir ölçme birimini kullanılır. Her bir ölçüde 1 milyar nm vardır. Her bir nm sadece 3 ile 5 atom genişliğindedir yani ortalama bir insan saç kalınlığından yaklaşık 40.000 kez daha küçüktür. Atomlar bakterilerin 1/10.000, bakteriler ise bir sivrisineğin 1/10.000 büyüklüğündedirler. Bir bakterinin içindeki ribozom 25 nm, bir DNA molekülü ise 2 nm çapındadır. Nanoteknoloji, atomlarla oynayan bir teknolojidir. Atom ve molekülleri tek tek manipüle ederek istenilen yapının oluşturulması ilkesine dayanır. Atomlar ayrı ayrı işleme tabii tutulur. Yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturmaktadır. Nanoteknoloji de bu bağlamda “çok küçük maddelerin teknolojisi” olmaktadır (Balcı, 2006). 1 nanometre, hidrojen atomunun çapının sadece 10 katıdır. Ne kadar küçük olduğunu canlandırmak zordur; boyutları giderek küçülen transistorlü radyolar, cep telefonları vb. aygıtlar nanoteknoloji dünyasında yeri olmayan dev yapılardır.

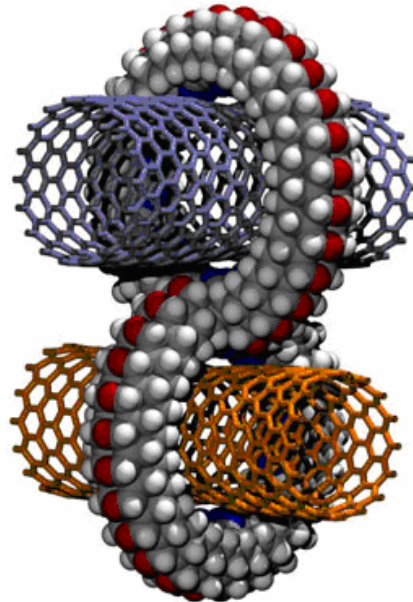
Maddeleri moleküler ya da nanometre düzeyinde ele alan bir mühendislik bilimi olan nanoteknoloji, daha güçlü ve daha hafif elektronik materyallerin kullanıldığı yeni bir çağ vaat ederek bilim adamlarının son yıllarda umutlarını arttırmaya devam etmektedir. Bilim insanları ve mühendisleri her gün daha küçük boyutlara inmeye, daha az yer kaplayan, daha az enerji harcayarak daha hızlı çalışabilen aygıtlar yapmaya zorlamıştır. Şekil 2.1 ve 2.2’de nanometre boyutunu anlatan örnekler verilmiştir. Şekil 2.3’te nanosarmal görülmektedir.



Şekil 2.1 : Nanometre boyutunu anlatan örnekler (Cireli ve diğ., 2006).



Şekil 2.2 : Nanometrenin büyüklüğü ile ilgili örnekler (Cireli ve diğ.,2006).



Şekil 2.3 : Nanosarmal (Url-3).

2.3 Nanoteknolojinin Amacı

Bir aygıtta kullanılan malzemenin boyutu küçüldükçe, çalışma hızı da artar ve o malzemenin yeni fiziksel özellikleri ortaya çıkar. Boyutlar nanometre ölçeklerine yaklaşırken, malzemenin fiziksel özellikleri kuantum mekaniğinin kontrolüne girip, elektron durumlarının fazı ve enerji spektrumunun kesikli yapısı daha belirgin hale gelmektedir. Daha da önemlisi, malzemeyi oluşturan atom sayıları 100'ler düzeyine inince, atomsal yapının geometrisi, hatta atom sayısının kendisi bile fiziksel özelliklerin belirlenmesinde etken olmaktadır. Örneğin; yarı iletken olarak bilinen ve çağımızın en önemli malzemesi olan silisyumdan yapılan bir telin çapı nanometreye yaklaşırken tel iletken bir karakter sergilemektedir.

Nanoteknolojinin amaçları kısaca aşağıdaki gibi verilebilir.

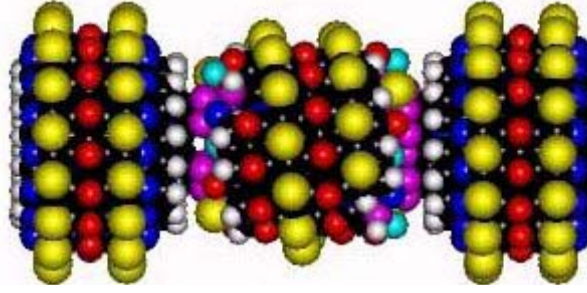
- Nanometre ölçekli yapıların analizi,
- Nanometre boyutunda yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılması,
- Nanometre ölçekli yapıların imalatı,
- Nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesi,
- Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,
- Uygun yöntemler bulunarak nanoskopik ve makroskopik dünya arasındaki bağın kurulması.

2.4 Nanoteknolojinin yararları

Nanoteknolojinin yüksek potansiyeli Kuantum fiziğinin kanunları sayesinde açığa çıkmaktadır. Bu aşamada ve nano ölçülerde kuantum fizik yasaları devreye girer ve optik, elektronik, manyetik depolama, hesaplama, katalist ve diğer alanlarda yeni uygulamalara olanak sağlar. Nanoteknolojisi genellikle genel-amaçlı teknoloji olarak adlandırılır. Çünkü gerçekleştirildiği zaman nanoteknoloji neredeyse bütün sektörlerde ve toplumun her alanında önemli bir yeri olacaktır.

- Daha iyi yapılmış, daha uzun süre dayanan, daha temiz, güvenli ve akıllı ürünleri evde, iletişimde, tıpta, ulaşım, tarım ve endüstrinin her alanında kullanabilecektir.

•Natoteknolojinin bir yönü de süper küçük bilgisayarlar (bakteri büyüklüğünde) ya da milyarlarca dizüstü bilgisayar gücünde küp şeker büyüklüğünde süper bilgisayarlar yada günümüzün bilgisayarlarından trilyonlarca daha güçlü belirli bir büyüklükte masaüstü modelleri gibi nano boyutunda yapılabilmesidir. Teknik açıdan açıklamak gerekirse malzeme özellikleri ve cihazların çalışma prensipleri, genel olarak 100 nm’den büyük boyutları temel alarak yapılan varsayımların sonucunda ortaya çıkarılmış geleneksel modelleme ve teorilere dayanmaktadır. Kritik uzunluklar 100 nm’nin altına indiğinde ise geleneksel teori ve modeller ortaya çıkan özellikleri açıklamakta çoğu zaman yetersiz kalmaktadır.



Şekil 2.4 : Nanoteknolojiyle yapılmış basit bir pompa (Url-7).

• Nanoteknolojinin önemli yanlarından biri de sadece daha iyi ürünler değil, aynı zamanda daha gelişmiş üretim araçları sunmasıdır. Bir bilgisayar veri dosyalarını kopyalayabilir mi? Özellikle de çok düşük bir maliyetde yada ücretsiz olarak istediğiniz kadar kopya yapabilir. İşte nanoteknoloji de aynı bilgisayar örneğinde olduğu gibi herhangi bir şeyi üretmeyi aynı dosyaların kopyalanması kadar kolay ve ucuz hale getirebilmektedir. Bu yüzden nanoteknoloji bir çoğuna göre bir sonraki sanayi devrimi olarak adlandırılmaktadır.

• Nanoteknoloji sadece çok düşük maliyetle birçok yüksek kalitede ürünün yapılmasına olanak sağlamayacak, aynı zamanda düşük maliyetle ve aynı yüksek hızda yeni nano fabrikalarının da yapılmasını sağlayacaktır. Nano teknolojisinin hızla artan bir teknoloji olarak adlandırılmasının nedeni kendi üretim araçlarını yeniden üretebilme yeteneğidir.

• Nanoteknoloji; daha hızlı, düşük maliyetli ve temiz üretim sistemi getirmektedir. Üretim araçları katlanarak yeniden üretililecektir, böylece birkaç hafta içerisinde birkaç nano fabrikası milyarlarca fabrikayı üretecektir. Bu bir devrimsel, yenilikçi, güçlü ve potansiyel olarak da çok tehlikeli ya da faydalı bir teknolojidir.

- Nanoteknoloji sayesinde sanayide, bilişim teknolojilerinde, sağlık sektöründe ve daha bir çok alanda yeni ürünler geliştirilecek, günümüzün üretim süreçleri ve yöntemleri değişecektir. Bu teknolojiye yatırım yapılan ülkelerde ekonomik değerler yaratılacak ve toplumların yaşam kalitesi gelişecektir. Elektrik veya bilgisayarlar gibi nanoteknoloji de hayatımızın her aşamasında daha iyi olanaklar sunacaktır. Fakat her yeni teknolojinin olduğu gibi nanoteknolojinin de iki yönlü kullanımı vardır, yani ticari kullanımı ve askeri alanda nanoteknoloji sayesinde çok daha güçlü silahlar ve gözetleme araçları yapılabilecektir. Bu yüzden nanoteknoloji insanlar için yararları ile birlikte aynı zamanda bazı riskleride getirmektedir.

2.5 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

Nanoteknolojinin potansiyel kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir.

- Mikrosensörlerin, mikromakinaların, optoelektronik elemanların imalatı ve uygun şekilde bir araya getirilmesinde,
- Lazer yapımında,
- Manyetikleştirilmiş nano katmanları en ufak değişiklikleri farkedecek şekilde bir çip içine integre edilip, trafik sensörü olarak uçak ve otomobilleri tanımada ve manyetik alanlarına bakarak tiplerini de belirleyebilmede,
- Medikal alanında : Mikrocerrahide (göz, beyin vb.), diagnostik kitlelerde, yüzey karakterizasyonu ve modifikasyonu, mikroorganizmaların taşınmasında, kanserli hücrelerin tedavisinde,
- DNA modifikasyonu vb. bölümlerde,
- Kozmetik sanayide,
- Dokumada kullanılacak olan elektronik fiberler sayesinde, istenildiğinde renk değiştirebilen, vücudumuzu zararlı ışıklardan koruyan hatta özel polimerler sayesinde terin emilip vücudumuzun kuru kalmasını sağlayan, su tutmayan giysilerin üretiminde,
- Mikromakinalar sayesinde de bilgisayar teknolojisinde,
- Kapasitör, transistör ve fotodiyot yapımında,
- Güneş pillerinde,

- İlaç endüstrisinde,
- Yüksek çözünürlüğe sahip ölçü aletlerinin yapımında
- Nanoaygıt ve transistörlerden bütünleşik devrede
- Kalıcı bilgisayar belleğinde
- Karbon nanotüp düz ekran televizyonlarda
- Kurşun geçirmeyen kumaşlar, nanotext denilen leke ve bakteri tutmayan kumaşlarda
- Ortamda bulunan zehirli gazları algılayabilen gaz dedektöründe
- Hidrojen depolama ve yakıt hücresinde
- Nanomiknatios, yüksek yoğunluklu bilgi depolayan küçük ölçekli sabit disk ve deformasyon ölçmeye yönelik ölçü aletlerinde
- Uygulamaya konulacak projeler arasında da 2012 yılında yapımı tamamlanacak olan uzay asansörü ve moleküler nanoteknoloji gibi bir çok alanda kullanılmaktadır (Url-11).

2.6 Nanoteknolojinin Tarihi

2.6.1 60'lar-Feynman

Nanoteknoloji vizyonunun ortaya çıkışını, 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilecekler üzerine yapmış olduğu ünlü konuşmasına kadar dayandırabilir (There is Plenty of Room at the Bottom). Bu konuşmasında Feynman minyatürize edilmiş enstrümanlar ile nano yapıların ölçülebileceği ve yeni amaçlar doğrultusunda kullanılabileceğinin altını çizmiştir.

2.6.2 80'ler-Uygun mikroskopların geliştirilmesi

Araştırmacıların daha küçük boyutlarda çalışmaya başlamasıyla birlikte bir çok problem de ortaya çıkmaya başlamıştır. Boyutlar küçüldükçe, yapılan çalışmaları izlemek zorlaşmıştır. 1981 yılında IBM tarafından yeni bir mikroskop türü "Scanning Tunneling Microscope" (STM) geliştirildi. Bu önemli ilerlemede pay sahibi olan araştırmacılar bu buluşları ile 1986'da Nobel Fizik ödülünü aldılar. Aynı zamanlarda

STM mikroskopunun bir türevi olan “Atomic Force Microscope” (AFM) geliştirildi. Feynman’ın bahsetmiş olduğu enstrümanların (scanning electron microscope, atomic force microscope, near field microscope vb.) 1980’lerde geliştirilmesi ve eşzamanlı olarak gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano skalasında ölçüm ve modelle yapılması mümkün olmuştur.

2.6.3 90’lar–Fullerene-karbon nanotüpler-Drexler

1990’ların başında Rice Üniversitesinde Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacılar 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen futbol topu şeklindeki “fullerene” molekülleri geliştirildi. Elde edilen molekül 1 nanometre büyüklüğünde ve çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen bir yapıya sahipti. Bu araştırmacılar 1996 yılında Nobel Kimya ödülünü aldılar. 1991 yılında Japon NEC firması araştırmacılarından birinin, Sumio Iijima’nın, karbon nano tüpleri bulunduğunu duyurdu. Karbon nano tüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş bir şekli olup benzer şekilde önemli özelliklere sahipti; çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6’da 1’i kadardı. 90’larda ayrıca Feynman’ın fikirleri Eric Drexler tarafından yazılan kitapta “Engines of Creation” geliştirildi. Drexler’in fikirleri şüpheyle karşılanmasına karşın 1992 yılında yayınlamış olduğu kitabında “Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation” genel kavram ve düşüncelerini detaylı analiz ve tasarımlar ile ayrıntılı olarak anlatmıştır.

2.6.4 2000’ler

1999 yılında ABD’de Bill Clinton hükümeti nanoteknoloji alanında yürütülen araştırma, geliştirme ve ticarileştirme faaliyetlerinin hızını artırma amacını taşıyan ilk resmi hükümet programını, Ulusal Nanoteknoloji Adımını (National Nanotechnology Initiative) başlattı. 2001 yılında Avrupa Birliği, Çerçeve Programına Nanoteknoloji çalışmalarını öncelikli alan olarak dahil etti. Japonya, Tayvan, Singapur, Çin, İsrail ve İsviçre benzer programlar başlatarak 21. yüzyılın ilk küresel teknoloji yarışında önlerde yer almak için çalışmalarına hız verdi (Url-1).

2.7 Dünyada Nanoteknoloji

Nanoteknoloji konusunda en çok çalışma A.B.D.'de yapılmaktadır. Özel sektörün yatırımları itibariyle, A.B.D. şirketleri Asya kökenli şirketlere göre nanoteknoloji için daha fazla sermaye ayırmaktadırlar. Mevcut 88 bin 546 nanoteknoloji patentinin yaklaşık %64'ü A.B.D.'li kuruluşlara aittir. Nanoteknoloji alanında araştırma yapan kuruluşlardan Nanosys, Quantum Dot, Molecular Imprints, Frontier Carbon ve Catalytic Solutions sektörün en büyükleridir (Url-2).

Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti 2006 yılı itibariyle nanoteknoloji kullanılarak üretilen ürünlerden 200 milyar dolar tutarında gelir elde edileceğini, gelecek on yıl içerisinde ise nanoteknoloji ürün ve hizmetlerini kapsayan 1 trilyon dolar hacminde küresel pazar oluşacağını tahmin etmektedir. Gelişen Nanoteknoloji alanlarında akademik programlar oluşturulmaktadır. 40 tanesi ABD'de olmak üzere nanoteknoloji alanında yaklaşık 140 üniversite programı bulunmaktadır. Uzmanlar küçük şirketlerin geliştirdikleri katma değerli projeler sayesinde gelecekte büyük şirketler tarafından satın alınacağını öngörmektedirler. Aralarında GE ve INTEL gibi devler de olmak üzere 1500 şirket nanoteknoloji alanına yatırım yapmaktadır. Bilgisayarlarda kullanılan silikon tabanlı yarıiletkenlere bir alternatif yaratmak isteyen IBM, uzun yıllardır bu konu üzerinde çalışmalar sürdürmektedir. Araştırmacılar, molekül tabanlı yeni teknolojinin, silikon tabanlı teknolojilere göre mantık elementlerinin 260 bin kat daha küçük yaratılmasına imkan verdiğini belirtmektedirler. Ancak laboratuvarlarda geliştirilen bu teknolojilerin günlük hayata girmesinin zaman alacağı düşünülmektedir.

2.7.1 Avrupa Birliği'nde nanoteknoloji

Avrupa Birliği'nin 1994 ve 1998 yılları arasında yürütmüş olduğu 4. Çerçeve programı kapsamında nanoteknoloji alanında araştırma yapan yaklaşık 80 firma desteklenmiş, 1998 ve 2002 yıllarını kapsayan 5. Çerçeve programı kapsamında ise bu alana yapılan destek miktarı yıllık 45 milyon euro civarında olmuştur. Geniş bir yelpazede yapılan destekler arasında nano-elektronik cihazlar, karbon nanotüpler, bio-sensörler, moleküler tanımlama sistemleri, nano-kompozit malzemeler ve yeni mikroskop teknolojileri öne çıkmaktadır. Nanoteknolojinin bir çok alanda yenilikçi (inovatif) ürünler geliştirilmesi için gelecek vaatmesi sebebiyle, 2002-2006 yıllarını kapsayacak şekilde yürütülen 6. Çerçeve Programında Nanoteknoloji

öncelikli alan olarak yer almış ve bu alanda yürütülecek çalışmaları desteklemek üzere 1,3 milyar euro bütçe ayrılmıştır. 6. Çerçeve Programının tematik öncelikli bu alanı, nanoteknoloji ve nanobilim çalışmalarını, bilgi tabanlı çok işlevli malzemeler ile yeni üretim prosesleri ve araçlarının geliştirilmesini kapsar. Nanoteknoloji öncelikli alanının iki ana hedefi vardır. Birincisi yenilikçi nanoteknoloji ürünlerinin günümüzün endüstriyel sektörlerine tanıtılması, ikincisi ise yeni malzeme, yeni araç ve yeni ürünlerin geliştirilmesi ile yeni endüstri kolları ve sektörleri yaratılmasını teşvik etmek olarak özetlenebilir. Ayrıca Avrupa Birliği ülkelerinin bir çoğunda nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme çalışmalarını destekleyen ulusal programlar bulunmaktadır.

2.7.2 Amerika Birleşik Devletleri'nde nanoteknoloji

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1999 yılında yayınlanan ulusal nanoteknoloji bildirgesi ile ülkenin nano teknoloji alanındaki öncelikleri belirlenmiş ve bu konuda yapılan Ar-Ge çalışmaları için bütçeler ayrılmıştır. 2000 yılında nanoteknoloji alanında yapılan Ar-Ge çalışmalarına hükümet tarafından sağlanan destek 420 milyon dolar civarında iken 2001 yılı bütçesinde bu alana ayrılan pay yaklaşık 520 milyon dolar'a ulaşmış, 2003 yılı için ise yaklaşık 700 milyon dolar olarak belirlenmiştir.

Aralık 2003 tarihinde Başkan Bush 2005 yılından başlayarak 4 yıl süreyle nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme projelerinde kullanılmak üzere 3,7 milyar dolar tutarında fon ayrılmasını onaylamıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde yürütülen çalışmalar, nano yapıli malzemeler, moleküler elektronik, nanoparçalar, biosensörler ve bioenformatik, quantum bilgisayarlar, ölçüm ve standart geliştirme çalışmaları, nano ölçekte teori, modelleme ve simulasyon, nano robotlar gibi alanlarda yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar Ticaret Bölümü (DOC), Savunma Bölümü (DOD), Enerji Bölümü (DOE), Ulaşım Bölümü (DOT), NASA, Ulusal Sağlık Enstitüsü (NIH) ve Ulusal Bilim Kurumu (NSF) gibi kurumlar tarafından desteklenmektedir. ABD'de nanoteknoloji üzerine kurulan firmaların sayısı 2002 yılında bir önceki yıla oranla iki kat artmıştır ve bu eğilimin 2004 yılında da tekrar etmesi beklenmektedir.

2.7.3 Asya’da nanoteknoloji

Asya ülkeleri içinde nanoteknolojiye yatırım yapan ülkelerin başında Japonya gelmektedir. Japonya dünyada ABD’den sonra nanoteknoloji alanında en fazla Ar-Ge harcaması yapan ikinci ülke konumundadır. Nanoteknoloji üzerine yapılmakta olan yatırımın her yıl %15 ile %20 oranında artmakta olduğu Japonya’da nanoteknoloji tanımı dünyanın geri kalan ülkelerine oranla çok daha geniş kapsamlıdır. Moleküler seviyede yapılan bir çok araştırma (örnek vermek gerekirse, DNA üzerine yapılan araştırmalar) nanoteknoloji tanımı içerisinde yer almaktadır. Ayrıca NEC ve SUMITOMO gibi firmalar carbon nanotüpler alanında çalışmalar yürütmekte, araştırmalar gerçekleştirmektedir. Asya ülkeleri arasında Japonya’yı takip eden ülkeler arasında Çin ve Kore öne çıkmaktadır. Çin ülkede yürütülen nanoteknoloji odaklı bir çok araştırma ve geliştirme çalışmasını Çin Bilimler Akademisi kanalıyla yürütmektedir. Bu ülkede yürütülen çalışmaların bir çoğu yarı iletken üretme teknikleri ve nanoteknoloji tabanlı elektronik cihazlar üzerine yoğunlaşmaktadır. Araştırma merkezlerine ek olarak nanoteknoloji kullanılarak üretilen ürünlerin ticarileşmesine imkan sağlamak amacıyla çalışan bir çok kuruluş bulunmaktadır.

Kore nanoteknolojinin mikro elektronik uygulamaları alanında yoğunlaşmıştır. Nanoteknoloji çalışmalarının sürdürüldüğü bir çok üniversite ve araştırma merkezi olduğu gibi Kore’nin en büyük şirketlerinden biri olan SAMSUNG mikro elektronik uygulamalar ve mikro elektromekanik sistemler (MEMS) üzerine araştırmalar yürütmektedir.

Tayvan, Singapur, Tayland Hindistan ve Vietnam nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak belirlemiş ve uygun çerçeveyi belirlemek için adımlar atmaktadır (Url-2).

- IBM: Nanoteknolojinin gelişmesinde en büyük katkıyı sağlayan STM (Scanning Tunneling Microscope) ve AFM’yi (Atomic Force Microscope) keşfetmiştir. Nanoteknoloji Ar-Ge’sine her yıl 5 milyar doların üstünde yatırım yapmaktadır. Yılda bu konuda 3 bin 500 civarında patent almaktadır. Şu anda karbon nanotüp transistörler, LCD ekranların yerine geçecek atomik ışınli bilgisayar ekranları, manyetik kayıt sistemleri, nano yapılı saklama cihazlarıyla ilgili çalışmalar yapmaktadır.

- GENERAL MOTORS: Nanoteknoloji ile üretilmiş kompozit malzemeler içeren kamyonetleri pazara sunmuştur. Bu nano kompozitler çok daha hafif ancak bir o kadar dayanıklıdır. GENERAL MOTORS, şu anda yakıt hücreleri, algılayıcılar ve seramik motorlar üzerine çalışmalar yapmaktadır.

NANOPHASE TECHNOLOGIES CORPORATION: Piyasaya sürdüğü nanogüneş kremiyle ismini duyurmuştur. Toz halde seramik ve metalik malzemeleri içeren Nanocrystalline malzemeler üretmektedir.

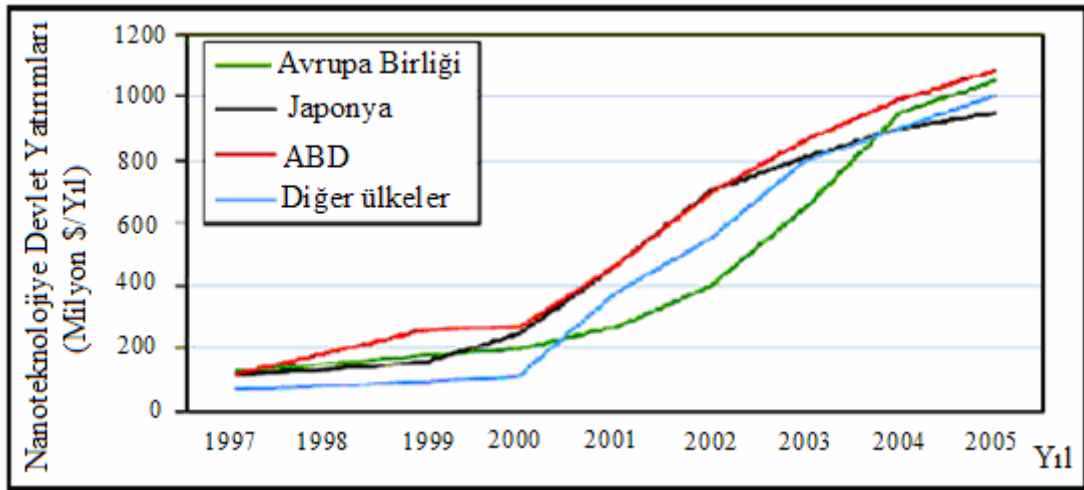
- NANO-TEX: Dayanıklı, leke ve koku tutmayan kumaşlar üretmektedir (Yetkin, 2007).

Dünya çapında nanoteknoloji alanında faaliyet gösteren bazı organizasyonlar aşağıda verilmiştir.

- Ulusal NanoTeknoloji Merkezi (UNAM)
- Foresight Institute
- National Nanotechnology Initiative
- The Nanobusiness Alliance
- Nanotechnology on Cordis
- Institute of Nanotechnology
- ASME Nanotechnology Institute

Nanoteknoloji alanında faaliyet gösteren bazı üniversite ve araştırma kurumları aşağıda verilmiştir.

- Rice University Center for Nanotechnology Science and Technology
- The NASA Institute for Nanoelectronics and Computing
- NanoStructures Laboratory-MIT
- National Nanotechnology Infrastructure Network



Şekil 2.5 : Dünya nanoteknoloji yatırımları (Url-5).

2.8 Türkiye’de Nanoteknoloji

Yaklaşık on yıldır dünyanın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak görmektedirler ve önemli yatırımlar yapmaktadırlar. Ancak Türkiye’de durum pek iç açıcı değildir. Avrupa Birliği’nin 6. Çerçeve Programı sayesinde, nanoteknoloji araştırmalarının çoğu kuramsal ve bireysel düzeyde olan Türkiye’nin nanoteknoloji araştırmaları yeniden yapılanma ve ivme kazanmıştır (Üreyen ve diğ., 2006).

Ülkemizde nanoteknoloji ile ilgili sürdürülen bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

- Ulusal Nano Teknoloji Merkezi-Bilkent Üniversitesi/DPT Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü (UNAM).

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Müsteşarlığı Bilkent Üniversite’nden sunulan proje aracılığı ile ulusal nitelikte bir nanoteknoloji araştırma merkezi kurulması için 11 milyon YTL destek sağlamıştır. Bu proje, 5 Ekim 2005 tarihinde başlamıştır. DPT, nanoteknoloji araştırmaları için gerekli kaynağı önceleri dağıtmadan, gerekli sayıda araştırmacı ve uzmana sahip tek bir üniversitede toplayarak kısa zamanda sonuç almayı hedeflemiştir (Çıracı, 2007).

Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi’nin araştırma alanları aşağıda verilmiştir.

Sürtünmesiz yüzeyler, nanoteknoloji tabanlı tekstiller, nanosensörler, nanobioteknoloji, nanoaygıtlar, fiber lazerler, nano yapılar için yeni malzemeler, atomsal seviyede görüntüleme, nano ölçekte modelleme, tıbbi lazerler ve fiberler, nanoparçacıklar, hidrojen depolama, nanotüplerdir (Bayındır, 2006b).

- Avrupa Birliği Yedinci Çerçeve Programı-Nanobilimler, Nanoteknolojiler, Malzemeler ve yeni üretim teknolojileri.
- Avrupa Birliği Altıncı Çerçeve Programı-Nanoteknoloji ve Nanobilimler, Bilgi Tabanlı Çok Fonksiyonlu Malzemeler, Yeni Üretim Süreçleri ve Araçları tematik öncelik alanı.
- Tübitak-Bilim ve Teknoloji Stratejileri-Vizyon 2023.
- Avrupa Birliği Altıncı Çerçeve Programı Nanoteknolojiler 4. Ulusal Çalıştayı Deđerlendirme Raporu 21 NİSAN 2003 (Url-8).
- Dünyanın en küçük Türk Bayrağı (100 nm eninde ve 2 nm boyunda), Bilkent Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.



Şekil 2.6 : Dünyanın en küçük Türk Bayrağı (Url-7).

- Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, TÜBİTAK MAM, gibi merkezler de nanoteknoloji araştırması yapılan yerlerdendir.
- NANO TR konferansları, 22-23 Aralık 2008 tarihleri arasında Sabancı Center'daki "Nanoteknoloji Pazarı"dır.
- Nanobilim ve nanoteknoloji alanında çalışan üniversite ve kuruluşlar arasında; Bilkent, ODTÜ, İTÜ, Koç, Sabancı, Ege Üniversiteleri; TÜBİTAK, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü yer almaktadırlar. Ayrıca Anadolu üniversitesinde İleri Teknolojiler Araştırma Birimi, Orta Dođu Teknik Üniversitesi'nde de Nanoteknoloji ve Nanobiyoteknoloji Araştırma Merkezi kurulmuştur (Bozkaya, 2006).
- Kamu kuruluşlarından ROKETSAN, TAI çalışma yürütmektedirler. Bazı özel sektör kuruluşlarının da nanoteknoloji ile ilgilendiği bilinmektedir. Ancak çalışmalar ile araştırma geliştirme faaliyetlerine yapılan yatırımlar dünyanın çok gerisinde seyretmektedir (Üreyen, 2006).

Nanoteknolojiyi ticarete dönüştüren bazı Türk şirketleri aşağıda verilmiştir (Yetgin, 2007).

NORMTEST: Ağırlıklı olarak fizik, elektrik-elektronik, metalurji ve malzeme mühendisliği, kimya, biyoloji ve biyoteknoloji alanlarındaki nanoteknoloji ürünlerini Türkiye pazarına sunmaktadır. Bunlar; ince filmler, malzemelerin optik özelliklerini ölçen spektrometrelerdir.

ARÇELİK: Nanoteknoloji konusunda yapılan çalışmalar özellikle “polimer” ve “yüzey işlemleri” konularına odaklanmıştır. İlk kez 2003’ün Eylül ayında koku filtreli hijyen uygulaması ile nanoteknoloji ürünü buzdolabını üretmiştir ve son olarak 2004 yılı Temmuz ayında yine nanoteknoloji ürünü olan tam koruma üçgenli multihijyen buzdolabını pazara sunmuştur. Şirket, yıllık cirosunun %1-1,5’ini (yaklaşık 35 milyon dolar) Ar-Ge çalışmalarına aktarmaktadır, nanoteknoloji çalışmaları da bunun içindedir.

YAŞAR HOLDİNG: Yaşar Grubu’nun boya markası DYO, bir yıl süren nanoteknoloji araştırmalarının sonunda solmaya, kirlenmeye dirençli kendini temizleyen nanoteknolojiye sahip akıllı boya üretmiştir. Yaşar Holding, nanoteknoloji Ar-Ge’sine 200 bin avro ayırmaktadır.

YEŞİM TEKSTİL: Ürettiği akıllı kumaşlar kolay ütülenmektedir, çabuk kurumaktadır ve leke tutmamaktadır.

ZORLU ENERJİ: Yakın zamanda nanoteknoloji alanında büyük bir atılım yapmıştır. Evlerde elektriğin üretilebileceği bir aletin prototipini geliştirmiştir. Nanomanyetik ve Nanosis adlı şirketler %99 yerli imkanlarla geliştirdikleri mikroskopları, aralarında dünyaca meşhur üniversite ve şirketlerin de bulunduğu merkezlere ihraç etmektedirler (Ersan, 2006).

Ulusal Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü’nün kuruluşuna ve çalışmasına yönelik önemli stratejik politikalar benimsenmiş ve aşağıdaki amaçlar belirlenmiştir (Çıracı, 2007):

- Teknolojik sonuçlara odaklı çok disiplini içeren bilimsel çalışmaları ön plana çıkarmak,
- Yüksek teknoloji malzemesi tasarımı, üretimi ve nanoteknoloji konusunda nitelikli araştırmacı ve bilim adamı yetiştirmek,
- Yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarından nanoteknoloji ürün prototiplerini gerçekleştirmek,

- Kamu ve özel sektörün yüksek teknoloji Ar-Ge çalışmalarını yapmak, dış pazarlarda Türk sanayi ürünlerinin rekabet gücünün artırılmasına katkıda bulunmak,
- Malzeme bilimi ve nanoteknolojideki gelişmeleri izleyip, araştırma sonuçlarını ulusal ağlar yardımı ile üniversite ve kuruluşlara ulaştırmak,
- Başka üniversitelerde, kamu sektöründe ve özel sektörde ilgili araştırmalarla birlikte projeler yapmak, çözümler üretmek,
- Yurt dışına yerleşmiş Türk bilim adamlarıyla müşterek çalışma ortamı yaratmak, onların deneyimlerini kazanmak,
- Kazanılan deneyim ve yetişen uzman araştırmacılarla diğer üniversite ve kuruluşlarda benzeri araştırma laboratuvarlarının kurulmasına yardımcı olmaktır.

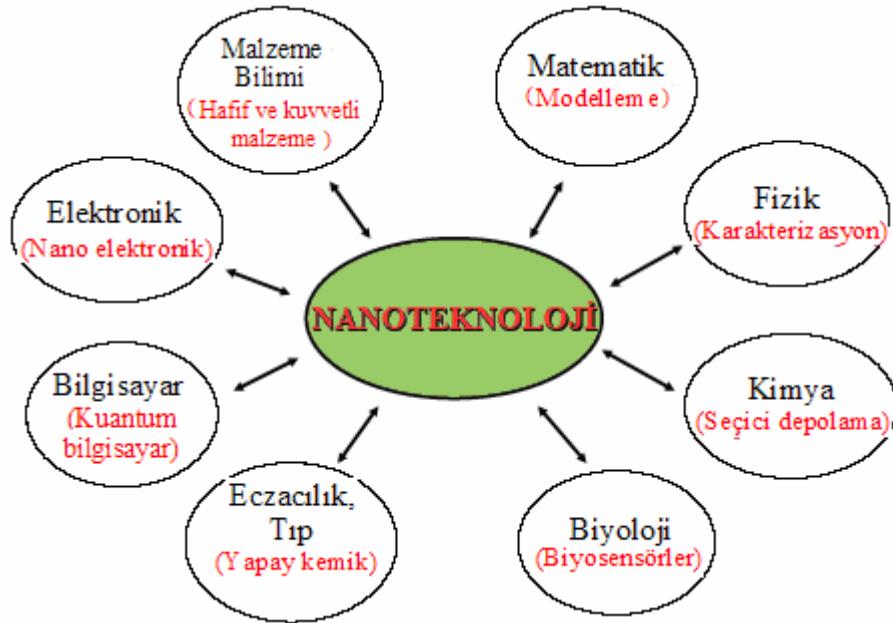
Ulusal Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü'nün çalışması şu şekilde gerçekleşmektedir: Kamu ve özel sektörün gereksinimleri doğrultusunda enstitüde çalışan uzman araştırmacıların hazırladıkları projeler ilan edilmektedir. Diğer üniversitelerden ve kuruluşlardan ilgilenen araştırmacıların bu projelere katılımları sağlanmaktadır.

Avrupa Birliği, DPT, çeşitli bakanlıklar, Milli Savunma Bakanlığı Ar-Ge Dairesi, Savunma Sanayi Müsteşarlığı ve TÜBİTAK'ın destekledikleri bu projelerde, misafir araştırmacıların enstitünün bütün imkanlarını kullanarak çalışmalara katılmaları ve projedeki yükümlülüklerini yerine getirmeleri, bu sayede ulusal enstitü bünyesinde deneyim ve uzmanlık alanlarını genişletmeleri sağlanmaktadır. Bu çalışma süreciyle, başka üniversitelerde etkileşecek meslektaş veya laboratuvar olanağı bulamayan çok sayıda genç bilim adamı aktif araştırma sistemi ve ağı içine alınmış ve bu bilim adamlarının yetenekleri ülke ekonomisine kazandırılmış olmaktadır. Bu bağlamda diğer üniversitelerden, özel sektörden ve kamu sektöründen çok sayıda bilim adamı ile ilişki kurarak onlarla çeşitli araştırma projelerinde ortaklıklar kurulmuştur (Çıracı, 2007). Nanoteknoloji adına çalışmalar yapan tüm kuruluşlar nanotüplerin aşağıda sayılan üstün özelliklerinden yararlanmayı amaçlamaktadırlar:

- Çok mukavim, rijit ve oldukça sünektirler.
- Tek duvarlı ve çok duvarlı olabilirler.
- Çekme mukavemeti: 50-200 GPa (bilinen en mukavim malzeme).

- Elastisite modülü: 1TPa (tetra pascal) (103 GPa).
- % uzama: 5% - 20% aralığındadır.
- Yoğunluk oldukça düşüktür.
- Yapıya bağlı elektriksel özellik gösterir. Hekzagonal yapı boyunca (tüp duvarları boyunca) metal veya yarı iletken gibi davranır.
- Çelikten yüz kat güçlü. Bir kurşun kalemın yarısı kadar genişliğe sahip bir karbon nanotüp 40.000 Kg'dan fazla yük taşıyabilir.

2.9 Nanoteknolojinin Gelecekteki Uygulama Alanları



Şekil 2.7 : Nanoteknolojinin gelecekteki uygulama alanları (Bozkaya, 2006b).

2.9.1 Malzeme ve imalat sektörü

Malzemelerin atomik ve moleküler boyutlardan başlayarak inşa edilmesi, konvansiyonel metodlar ile elde edilen malzemelere oranla daha sağlam ve hafif maddelerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bu malzemeler, daha düşük hata seviyeleri ve eşsiz dayanıklılık güçleri ile hali hazırdaki bir çok endüstriyel süreç için devrimsel yenilikler getirecektir. Benzersiz ve alışılmamış özellikleri ile nano tüpler, elyaflar, lifler ve kaplama malzemeleri imalat yöntem ve tekniklerinin gelişmesine imkan sağlayacaktır. (Özdoğan ve diğ., 2006). Yakın bir gelecekte akıllı yüzeyler

hemen her yerde insanların karşısına çıkacaklardır. Suyu ittiğinden dolayı silecekleri gerektirmeyen otomobil camları, buğulanmayan banyo aynaları ve araç iç camları, kendi kendini temizleyen bina dışcepheleri, tıkanmayan stent çeperleri, yosun ve deniz hayvanlarının yapışmadığı gemi dış yüzey boyaları, ve sürtünmesiz yüzeyler akla gelen ilk akıllı yüzey uygulamalarından bazılarıdır. Bu uygulamaların ekonomiye katkısı milyarlarca dolar olacaktır (Celep, 2006).

2.9.2 Nano elektronik ve bilgisayar teknolojileri

Elektronik araçların nanometre ölçeklerinde elde edilmesi ile halen kullanılan sistemlerinin işlem güçleri ve kapasiteleri bir kaç kat artacaktır. Nano teknolojilerin kullanım alanlarından biri olarak önerilen quantum bilgisayarların geliştirilmesi ile günümüzün en modern bilgisayarları olan Pentium bilgisayarlar ile kıyaslanamayacak seviyelerde işlem gücü elde etmek mümkün olacaktır. (Özdoğan ve diğ., 2006).

Nanoteknoloji, bilimsel disiplin almadan önce de bilgisayar teknolojisinin devamlı küçülen çiplerinde ve mikroeletromekanik sistemlerde (MEMS) kendini göstermiştir. MEMS aygıtları, mikroskobik elektronik ve mekanik bileşenleri bir araya getiren minik düzenekler olarak tanımlanabilirler. MEMS pazarı halen yılda 10 milyar dolar kazandırmaktadır ve bu sistemlerin mikro düzeyden (MEM) nano düzeye (NEM) geçişinde ve bunların biyolojik sistemlerle entegrasyonunda devrim niteliğinde bilimsel aşamalar beklenmektedir (Kut ve Güneşoğlu, 2005).

Bunlara ek olarak elektronik araçlar için geliştirilen sensör, gösterge sistemleri ve sinyal iletimi alanlarında ciddi ilerlemeler kaydedilecektir (Celep, 2006).

2.9.3 Tıp ve sağlık sektörü

Nanoteknoloji yaşayan sistemlere moleküler seviyelerde müdahale etme imkanı yaratabilir. Yaşayan organizmalar ile etkileşime geçebilecek boyutlarda araçlar üretilmesi ile bir çok yeni teşhis ve tedavi yöntemlerinin gelişmesi olasıdır. Sadece hastalığın bulunduğu ve veya yayıldığı bölgelere saldırarak ilaç veren makineler, insan vücudu içinde hareket edilmesine imkan sağlayan teşhis araçları, nanoteknolojinin tıp ve sağlık sektörü üzerindeki potansiyel uygulamaları olarak gösterilebilir. Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen nanostent, kalp hastalarının iyileşme sürecine yardımcı olur ve kanın pıhtılaşmasını önler (Bozkaya, 2006b).

Fareler üzerinde yapılan deneylerde son derece ciddi yaralanmalarda bile kanamayı anında durdurduğu belirlenen nano ölçekte protein parçalarından (peptitler) oluşan maddenin insanlarda kullanımına yönelik çalışmalardan olumlu sonuçlar alınması beklenmektedir. Ameliyatlar, trafik kazaları ya da savaş ortamındaki yaralanmalarda kanamayı hızla durdurarak hayat kurtaracağı öngörülen madde, kanama olan bölgenin üzerine sürüldüğünde dışarıdan şeffaf görünen, liflerden oluşan bir ağ tabakası oluşturmaktadır. Maddenin gözlemlenen diğer bir etkisi de beyin veya omurilik dokusundaki hasarlı bölgelerin/yaraların iyileşmesini hızlandıran bir ortam oluşturmastır (Celep, 2006).

Nanoteknoloji ürünleri özellikle yapay organ olarak, doku mühendisliğindeki pek çok uygulamada ve kontrollü ilaç salınım sistemlerinde uygulama alanı bulabilmektedirler (Celep, 2006). Nanoteknoloji, doğru ilacın doğru zamanda doğru yere gönderilmesi sözünü vermektedir. Böylece düşük doz verilmesi ve az yan etkiler gibi avantajlar sağlanacaktır, bu özellikle kanser ilaçları için arzu edilen bir durumdur. İlave olarak teşhis tekniklerindeki hız, doğruluk ve fiyatlardaki nanoteknolojinin kolaylaştırdığı ilerlemeler özellikle belli bir hasta ya da genetik profile ilaç verilmesini mümkün kılacaktır (Başaran, 2002).

2.9.4 Havacılık ve uzay araştırmaları

Havacılık ve uzay araçları çok maliyetli teknolojilerdir. Bu araçların imalatı sırasında kullanılan malzemelerin ağırlığı maliyetlerin yüksekliğinde çok önemli bir yer tutar. Nanoteknoloji bu malzemelerin ağırlığının önemli ölçüde azaltılması ile maliyetlerin düşürülmesini sağlayabilir. Ayrıca çekme direnci çelikten kat kat yüksek nano tüpler sayesinde dünya yüzeyinden atmosfere kadar yükselebilecek yapılar inşa edilmesi potansiyel uygulama alanları içinde yer alabilir. Böylece uzay araştırma maliyetlerinin büyük bir kısmını meydana getiren fırlatma maliyetleri düşürülebilir. (Celep, 2006).

2.9.5 Çevre ve enerji

Nano malzemelerin ve nano kompozitlerin fosil yakıt endüstrilerinin verimliliğini geliştirme potansiyeli bulunmaktadır. Nano kompozitlerin yaygın olarak kullanılması ile daha yüksek verimliliğe sahip motorların ve dolayısı ile daha temiz, çevre dostu ulaşım sistemlerinin kurulması mümkün olacaktır. Tarımsal materyalin faydalı ürünlere dönüştürülmesi ve bu sayede çevrenin korunumu nanoteknolojinin

gelişiminde önemli ve heyecan verici bir potansiyel alan olarak görülmektedir. Günümüzde özellikle bitkisel yağların biyo-yakıtlara ve endüstriyel çözeltilere dönüştürülebilmesinde ihtiyaç duyulacak nano-katalizörlerin geliştirilmesi ve tasarımı konusunda ciddi çalışmalar yapılmaktadır (Kut ve Güneşoğlu, 2005).

Enerji üretimi ve depolanması alanında etkin hidrojen depolama için nanoteknoloji ayrıca yalıtım, nakil ve aydınlatma alanlarında ciddi enerji kazanımı sağlamaktadır (İlgaz, 2006).

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde kuramsal olarak en büyük potansiyele sahip olan enerji kaynağı hiç kuşkusuz güneştir. Ancak günümüzde güneş pili teknolojisinin maliyetinin yüksek olması “ucuz” ve “tükenmez” enerji hayallerinin gerçeğe dönüşmesini engellemektedir. Güneş pillerinde, üzerine düşen güneş ışığını elektrik akımına dönüştüren yarı-iletken (silikon) hücrelerin enerji dönüşüm verimi oldukça yüksektir. Ancak silikon hücrelerin üretim maliyetlerinin de yüksek olması nedeniyle güneş pilleri halen pahalı çözümler arasında yer almaktadırlar. Silikon yerine kullanılabilen üretimi daha ucuz diğer yarı-iletken malzemelerle ise silikonla elde edilen verime ulaşamamaktadır. “Kuantum noktaları” olarak adlandırılan birkaç nanometre genişliğinde yarı-iletken kristallerle oluşturulacak yeni bir çözüm ile, fosil yakıtların kullanımıyla elde edilen elektrik enerjisi maliyetine denk bir üretim maliyetine inilebileceğine inanılmaktadır (Celep, 2006).

2.9.6 Biyoteknoloji ve tarım

Tıp ve sağlık sektörlerinde uygulanabilecek teknolojilerin genişletilmesi ile biyo teknoloji, ilaç ve tarım sektörleri de ürünlerinde bu teknolojileri uygulayacaktır. Yeni ilaçlar, gübreler, daha besleyici ve hastalık direnci yüksek bitkiler veya hayvanlar bir çok üniversite ve özel sektör kuruluşun araştırma alanları içerisinde yer almaktadır. Bugün bile bitki ve hayvan genlerinin düzenlenmesi ile ortaya çıkartılmış olan bazı ticari ürünlere rastlamak mümkündür. Nano biyoteknoloji, doğanın kullandığı moleküler cihazları ve makineleri anlamaya, uyarlamaya ve uygulamaya odaklanmış durumdadır. Protein katlanması gibi biyolojik işlevler; cihazlar ve sistemler moleküler düzeyde nasıl bir araya getirilebilir amacıyla ipuçları aramaktadırlar. Gelecekte, akışkanların nano düzeydeki özelliklerine bağlı olarak hastalıkların teşhisi, ilaç etkileşimlerinin belirlenmesi, DNA manipulasyonu ve işlenmesi, vücuda

alınan gıda maddeleri ve sıvıların izlenmesi, bitki ve hayvanlarda sağlık takibi, çevresel izleme ve denetleme vb. uygulamalar mümkün olabilecektir.

DNA moleküllerinin yapı blokları olarak kullanılması suretiyle nanokablolar ve nanomembranlar benzeri yapıların geliştirilmesi ve özellikle tarım ve gıda mühendisliğinde sayısız uygulama alanlarının bulunacağı öngörülmektedir. Biyolojik malzemeden doğal biyolojik proseslerin kullanımıyla istenilen birleşimlerin elde edilmesi olarak tanımlanan biyoproses, nanoteknoloji sayesinde çok daha yüksek bir etkinlikte gerçekleştirilebilecektir. Moleküler problemlerin kullanımı, biyolojik malzemedeki mikropların çok daha hızlı bir şekilde tanımlanabilmesini sağlayacak olan kitler örnek olarak verilebilir (Kut ve Güneşoğlu, 2005).

2.9.7 Savunma sektörü

Nano teknoloji askeri uygulamalar konusunda bir çok alanda potansiyel vaatmektedir. Geliştirilmiş elektronik savaş kapasitesi, daha iyi silah sistemleri, geliştirilmiş kamuflaj ve akıllı sistemler bir çok Ar-Ge çalışmasının gerçekleştirildiği alanlardır.

Sektör Payı	(\$)
Malzeme Bilimi	340 Milyar
Elektronik	300 Milyar
Eczacılık	180 Milyar
Kimya&Petrol	100 Milyar
Uçak Sanayi	70 Milyar
Sağlık-Bakım-Kozmetik	30 Milyar
Cihaz-Aletler	20 Milyar
Üretim Teknikleri	45 Milyar
Toplam	1 Trilyon (\$)

Çizelge 2.1 : 2015'te Dünyada nanoteknolojiye ayrılan sektör payları (Ersan, 2006)

3. KARBON NANOYAPILAR

Nanoteknoloji çağının başlamasında en önemli rolü karbon nano yapılar oynar. Bu nano yapılarda karbon elementi önemli bir yere sahiptir. Çünkü karbon atomları karmaşık, uzun zincirli moleküller oluşturacak biçimde birbirlerine bağlanabilir ve bunu yaparken her bir karbon atomunun, kendisine başka atomlarında bağlanmasına izin verecek şekilde boş yeri kalır. Bu özellik tüm elementler arasında karbona özgü karakteristik bir özelliktir.

Karbon, üç boyutlu (3B) yarıiletken elmas yapıdan, iki boyutlu (2B) yarı metalik grafit, bir boyutlu (1B) iletken ve yarıiletken nanotüplere ve sıfır boyutlu (0B) nanotoplara kadar farklı kararlı yapılara ve birçok ilginç özelliğe sahip bir elementtir. Karbonun 1B ve 0B yapıları nanometre düzeyinde oldukları için, bu sistemlere nanotüpler ve nanotoplar denir; karbon nanoyapıların aslını toplar ve tüpler oluşturur. Nanotoplar optik sınırlayıcı olarak kullanılır; bunlar malzemeleri aşırı ışıktan korumada yararlanılan kaplamalardır. Karbon toplar içeren polimerler, fotoiletkenlik özellik gösterdiği için, karbon nanotoplar fotodiyot ve transistör olarak, ayrıca güneş pillerinde de kullanılabilir. Karbon nanotop katkılı ince polimer tabakalarının ilginç kırınım özelliği, onları önemli optik uygulamaların bir parçası haline getirmiş durumdadır. Bunların yanı sıra, oksitlenmeye karşı iyi bir koruyucu olmaları, karbon nanotopların yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılmalılarının nedenidir. Metallerde ise eşpotansiyel yüzeyleri oluşturmada karbon nanotopların önemli bir yeri vardır. Malzemelerin yüzeylerini ince elmas tabakasıyla kaplama veya silisyum yüzeylerinde ince SiC (silisyum karbür) tabakası oluşturmada (ince SiC filmlerinin yüksek sıcaklığa dayanıklı elektronik aygıtlarda ve mikro mekanik sistemlerde önemli bir yeri var) yine karbon nanotopların rolü söz konusudur.

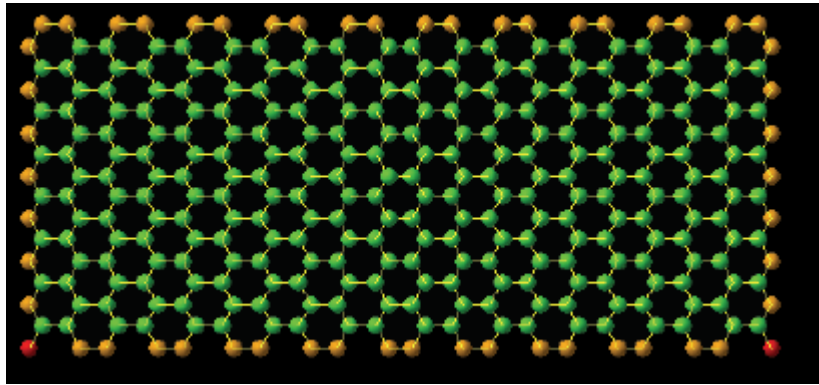
3.1 Karbon Nanotüp

Karbon Nanotüp, karbon elementinin uzunluk-çap oranı $28 \times 10^6:1$ olan allotropudur. Bu oran başka herhangi bir malzemenin sahip olabileceğinden daha büyüktür. Nanotüp'ler fullerin yapısal grubuna dahildir.

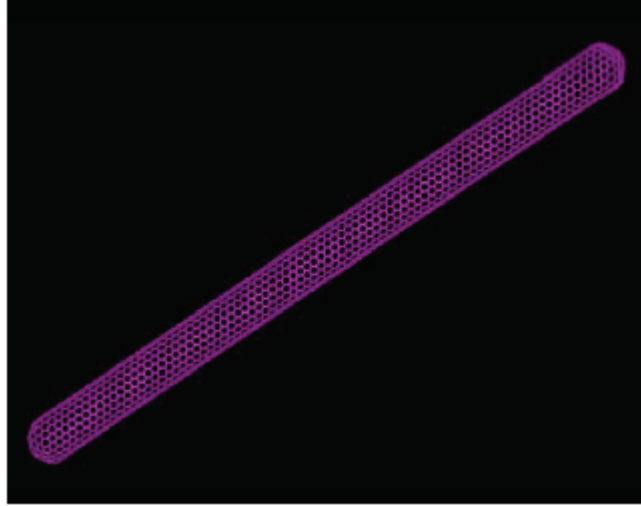
Düzgün karbon nanotüp yapılarında atomlar birbirleri ile sp^2 şeklinde (grafit plakada olduğu gibi) bağlanır, atomlar sadece altıgen geometri oluşturur ve her atomun sadece üç komşusu bulunur. Karbon tüplerin uçlarının koni şeklinde tamamlandığı durumlarda mümkündür. Tek katmanlı (tek duvarlı) ya da çok katmanlı (çoklu duvarlı) karbon nanotüpler mevcuttur.

3.2 Tek Duvarlı Karbon Nanotüp

Karbon nanotüplerin yapısını açıklayabilecek en basit model tek duvarlı bir tüp için şu şekildedir: Tek sıra karbon atomundan oluşan bir grafın katmanının, silindir şeklinde bükülerek uçlarının birleştirildiği ve grafın içersindeki bağların aynısından oluşturulduğu düşünülürse bu yapı tek katmanlı bir karbon nanotüple aynı yapı olur. Kısacası karbon nanotüp grafitin bal peteğini andıran atom düzleminin bir silidir üzerine hiçbir kusur oluşturmada kesiksiz olarak sarılmış bir şekli olarak düşünülebilir. Karbon nanotüpleri 10^{-9} metrelik kalınlıklarıyla bir saç telinden daha incedirler, uzunlukları ise bir milimetreden daha kısadır. Fakat bu inceliklerine rağmen çok güçlü ve serttirler. Uygun şekilde üretilirlerse mükemmel iletkenler olarak da kullanılabilirler.



Şekil 3.1 : Tek sıra karbon atomundan oluşan bir grafın katmanı (Bozkaya, 2006a).



Şekil 3.2 : Tek duvarlı karbon nanotüp (SWNT) (Bozkaya, 2006a).

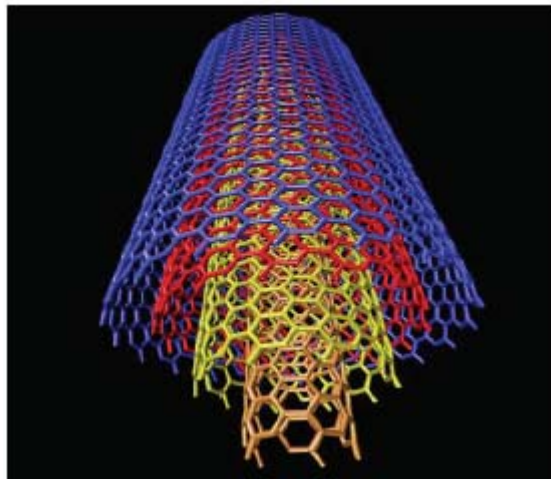
Tek duvarlı karbon nanotüpler ilginç mekanik ve elektro mekanik özelliklere sahiptir. Karbon tüplerin, makroskopik büyüklüklerde oluşmaları mümkünse de bunlar çok kırılgan; nanometre düzeyindeki boyutlara sahip tüplerse çok esnek ve sağlam özelliktedir. Şerit halinde ve helezoni şekilde de üretilebilen nanotüplerin farklı çaplarda olanları birbirine eklenebilir; eklem, bükülme veya kıvrılma yerlerinde farklı geometrik şekiller (beşgen, yedigen gibi) oluşturur. Karbon nanotüplerin çapları nanometre, boyları mikrometre düzeyinde olabilir. Nanotüplerin çapları şimdiye kadar üretilebilen en ileri yarıiletken aygıtlarından çok daha küçüktür. Karbon nanotüplerin yarıiletken teknolojisinde kullanılmaya başlanması yarı iletken teknolojisinde çok büyük bir atılıma neden olabilecektir; çünkü nanotüplerin çok ilginç elektronik özellikleri vardır. Tüpün geometrisine (çapına ve silindir yüzeyinin kıvrılma yönüne) bağlı olarak nanotüpler metal veya yarıiletkenlik özelliği gösterebilirler. Tüpün elektronik özellikleri, katkı maddesi olmaksızın yalnızca geometrik parametrelerle ayarlanabilir. Yarıiletken nanotüplerin yasak enerji aralığı 1 ile 0 arasında değiştirilebilir. Karbon nanofiberler çok geniş yüzey alanına sahiptir. Nanofiberin kütlesiyle alanı arasındaki oran, normal malzemelere göre çok büyük; örneğin kütlesi 1 gr. olan bir karbon nanotüp fiberin alanı 300 m^2 'yi bulabilir. Karbon nanotüp fiberlerin bu özelliği sayesinde nanometre düzeyinde süper kapasitörlerin, dolayısıyla da yapay kas üretimi mümkün olabilecektir. Hidrojen depolamaya da olanak sağlayan geniş yüzey alanı, karbon nanotüp fiberleri potansiyel enerji depolama malzemesi adayı konumuna getirmektedir. Karbon

nanotüpler ticari olarak henüz üretilmemektedir. Yalnızca laboratuarda deney amaçlı olarak üretilebilen bu nanotüplerin maliyeti, yaklaşık 1.500 \$/gr. civarındadır.

3.3 Çok Duvarlı Karbon Nanotüp

İç içe geçmiş karbon tüplerinde (çok duvarlı tüplerde) iki tüp arasındaki uzaklık, genellikle tüpü oluşturan karbon atomları arasındaki bağ uzaklığından fazladır. Eğer iç içe geçmiş tüplerde, tüplerin duvarları arasındaki uzaklık, karbon atomlarının bağ yapmalarına olanak verecek kadar azsa (0,15 nm), karbon atomları birbirleriyle (sp^3 gibi) bağlanır, başka bir deyişle, her karbon atomunun dört bağlı komşusu bulunmaktadır. Bu durumda oluşan çok duvarlı tüp yapısına “karbon nanoçubuk” denir. Çubuklar içi tamamen boş veya içi kısmen dolu tüp yapılardan oluşmaktadır. Bu yapıların esnekliği tüplere göre daha az; ayrıca tek duvarlı tüplerden farklı mekanik ve elektronik özellikler gösterirler.

Karbon nanohalkalar: Karbon nanotüplerin iki ucu birleştirilerek halka ("toroid") şeklinde yapıların oluşturulması da söz konusu olmaktadır. Bu yapılar üzerindeki çalışmalar şimdilik yalnızca teorik düzeyde olmakla birlikte, deneysel olarak da kısa zamanda yapılabileceklerine kuşkusuz olarak bakılmaktadır. Farklı iç ve dış çaptaki halkalarla çok değişik halka modelleri oluşturmak mümkündür. Her farklı halkanın, farklı özellikler göstermesi beklenmektedir. Karbon tüpleri kıvrılarak, ilginç özelliklere sahip helezoni yapılar da oluşturulabilir.

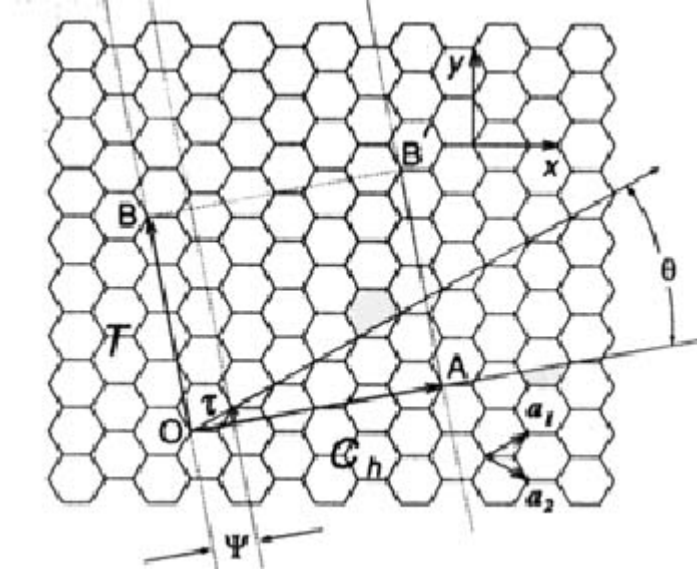


Şekil 3.3 : Çok duvarlı karbon nanotüp (MWNT) (Url-7).

3.3.1 Karbon nanotüplerin yapısı

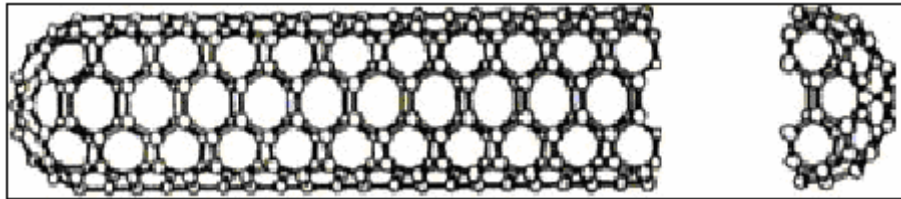
3.3.1.1 Yapı tipleri

Yüksek çözünürlüklü mikroskopi tekniklerin kullanımıyla karbon nanotüplerin yapısı keşfedilmiştir. Bu deneyler "armchair", "zig-zag" ve iki boyutlu grafit levhanın nasıl rulo yapıldığına bağlı olan "chiral" olmak üzere üç tip nanotüp olduğunu onaylıyordu. Nanotüpün chiral vektörü, C_h , $C_h = n\hat{a}_1 + m\hat{a}_2$, olarak tanımlanır. $\hat{a}_1$ and $\hat{a}_2$ iki boyutlu hegzagonal örgüde birim vektörleridir ve n ve m tamsayılarıdır.

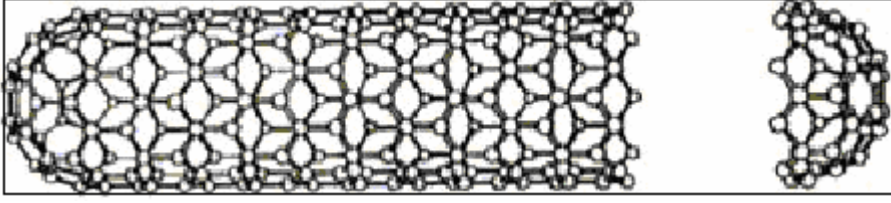


Şekil 3.4 : Karbon nanotüp yapısı

Bir başka önemli parametre ise chiral (kiriş) açısıdır. Grafit levha nanotüpünün silindirik kısmını oluşturmak üzere yukarı yuvarlandığında chiral vektörünün uçları birbirleriyle birleşir. Böylece chiral vektörü, nanotüpün dairesel kesitinin çevresini oluşturur. m ve n'nin değişik farklı değerleri için farklı nanotüp yapıları oluşur. Armchair nanotüpler $n=m$ ve chiral açı 30° olduğunda oluşur. Zig-zag nanotüpler m ya da n'den biri sıfır ve chiral açısı 0° olduğunda oluşur.

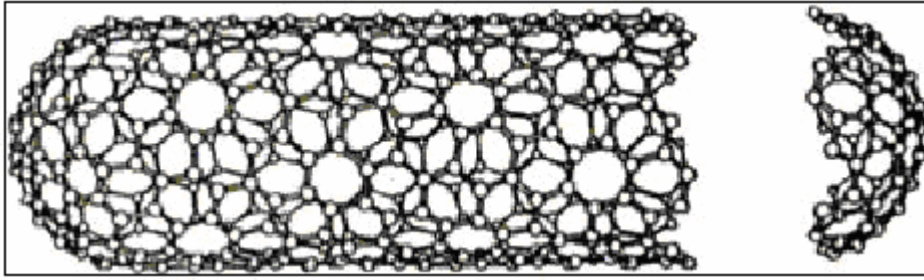


Şekil 3.5 : Armchair nanotüpler



Şekil 3.6 : Zig-zag Nanotüpler

Chirial açısının 0° - 30° arasında değer aldığı diğer tüm nanotüpler chirial nanotüpler olarak adlandırılır.



Şekil 3.7 : Chirial Nanotüpler

3.3.1.2 Açık uçlu ya da kapsül

Nanotüp üretmek için yuvarlanmış grafit tabakalarının sayısına göre çok duvarlı ve tek duvarlı nanotüpler olarak bilinen iki tür nanotüp vardır. Tek duvarlı nanotüpler üzerinde fiziksel ölçüm yapmanın zorluğu nedeniyle, tüpsel demetler üzerinde yapılmış birkaç çalışma bulunmaktadır. Teorik çalışmalar karbon nanotüplerin fiziki özelliklerinin büyük oranda tüpsel çapa bağlı olduğunu göstermiştir. Aslında tek duvarlı nanotüpler koşulların hazırlanışına bağlı olarak çok daha dar bir çap dağılımına sahiptir.

Karbon nanotüplerin bir başka yapısal özelliği de tüp kapsülleri ile ilgilidir. Nanotüpler kapsül yada açık uçlu olabilirler. Birçok karbon nanotüp uzun silindirin uçlarında sürekli uyan karbon kabuklarca kaplanır. Sadece altıgen ve beşgenden oluşan olası kapsüllerin sayısı (n, m) ile tanımlanır (Cenger, 2006)

4. WOLFRAM MATEMATICA

Matematik dünyasının yakından tanıdığı MATHEMATICA yazılımını çıkaran ve geliştiren Stephen Wolfram tarafından kurulmuş olan WOLFRAM araştırma şirketidir. WOLFRAM RESEARCH (wolfram.com) ise bu şirketin resmi sitesidir. Hazırladığı bu bilgisayar ve web teknolojilerini bilimin hizmetine sunan şirketin kurucusu olan teorik fizikçi Stephen Wolfram'ın bu alandaki ağır matematiksel hesaplamaların üstesinden gelebilmek için sembolik MANİPÜLATOR (cebirsel hesaplama yapan yazılım) programları üzerine yaptığı çalışmalar yıllar sonra MATHEMATICA ve WOLFRAM RESEARCH seviyesine ulaşmıştır.

1988 yılında ilk versiyonu çıkarılan MATHEMATICA yazılımı günümüzde bilime bir çok alanda katkıda bulunuyor. Amerikada lise ve üniversitelerde matematik eğitime yardımcı olması için MATHEMATICA eğitimi veriliyor. MATHEMATICA üzerinden yapılan hesaplama ve grafiklemeler fizik ve mühendislik alanlarında oldukça yaygın olarak kullanılıyor. Astronomi , Jeoloji , Finans , Biyomedikal, Meteoroloji ve daha bir çok alanda veri, grafik ve hesaplama desteği sunmaktadır. 2D ve 3D modellemeler yapılır.

Programı öğrenmek için bazı temel komutları bilmek yeterlidir. Genellikle bütün komutların ilk harfi büyük harf ile başlar. Fonksiyonlarda () parantezler yerine [] parantezleri kullanılır. Örneğin matematikte kullandığımız $f(x)$ fonksiyonu yerine $f[x]$ yazmalıyız.

MATHEMATICA'da kullanılan belli başlı komutlar aşağıda verilmiştir.

4.1 Dsolve

Diferansiyel denklemleri DSolve[] yöntemi ile çözüyoruz.

$$y'[x] + y[x] = a \sin[x] \quad (4.1)$$

diferansiyel denklemini çözmek için;

$$Dsolve[y'[x]+y[x]=aSin[x],y[x],x] \quad (4.2)$$

yazıp shift enter tuşuna bastıktan sonra aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$y[x]=e^{-x}C[1]+1/2a(-Cos[x]+Sin[x]) \quad (4.3)$$

$$y[x]=-z'[x], z[x]=-y'[x] \quad (4.4)$$

diferansiyel denklemini çözmek için;

$$Dsolve[\{y[x]==-z'[x], z[x]==-y'[x]\},\{y,z\},x] \quad (4.5)$$

yazıp shift enter tuşuna bastıktan sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$y \rightarrow Function[\{x\}, -(1/2)e^{-x}(-1+e^{2x})C[1] + 1/2e^{-x}(1+e^{2x})C[2]] \quad (4.6a)$$

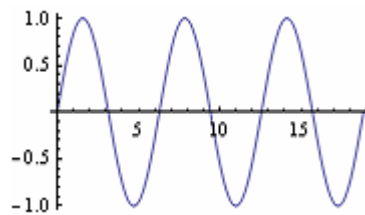
$$z \rightarrow Function[\{x\}, 1/2e^{-x}(1+e^{2x})C[1] - 1/2e^{-x}(-1+e^{2x})C[2]] \quad (4.6b)$$

4.2 Plot

Cos[x], Sin[x], Tan[x], vb. Grafik çizme komutu Plot[] kullanılır. İki köşeli parantez arasına hangi fonksiyonun grafiği çizilmek isteniyorsa o yazılır ve programı çalıştırmak için Shift ve Enter tuşlarına beraber basılır ve ekranda sonuç veya sonuçlar görülür. Bir örnekle gösterilirse;

$$Plot[Sin[x],\{x,0.6Pi\}] \quad (4.7)$$

ifadesi programa girilir ve grafik çizdirilirse şekil 4.1 grafiği elde edilir.



Şekil 4.1: MATHEMATICA programında sin(x) fonksiyonu grafiği örneği

4.3 Matrixform

Verileri matris hale getirmek için kullanılır.

4.4 Matrixexp

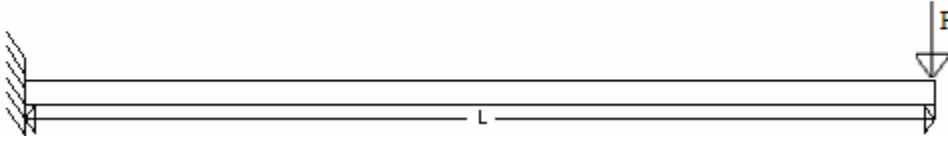
Bir matrisin exponansiyelini bulmak için bu komut kullanılır.

4.5 Fullsimplify

Mathematica programında çözülen diferansiyel denklemlerden ortaya çıkan karışık ifadeleri sadeleştirmek için bu komut kullanılır.

5. ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜP PROBLEMİ

5.1 MATHEMATICA’da Üzerine Tekil P Yüğü Etkiyen Tek Ucu Ankastre Sistem Çözümü



Şekil 5.1 : Üzerine tekil P yüğü etkiyen tek ucu ankastre sistem

$v(z)$ = Çökme,

$v'(z)$ = Dönme,

$-EI.v''(z)=M_x$, Eğilme Momenti,

$-EI.v'''(z) = T_y$, Kesme Kuvveti,

$EI.v''''(z) = q_y$, Yayılı Yüğü

Yukarıdaki sistem için gerekli olan başlangıç koşulları Denklem 5.1 - 5.5'te verilmiştir.

$$v(0) = 0 \quad (5.1)$$

$L=0$ noktasında çubuktaki çökme sıfırdır. Çünkü sistemin tek ucu ankastredir.

$$v'(0) = 0 \quad (5.2)$$

$L=0$ noktasında çubuğun ucu ankastre mesnetlendiğinden çubukta dönme gerçekleşmemektedir.

$$v''(0) = -PL / EI \quad (5.3)$$

$L=0$ noktasındaki moment ifadesi denklem 5.3'teki gibi olmaktadır.

$$v'''(0) = P / EI \quad (5.4)$$

$L=0$ noktasında kesme kuvveti yüke eşdeğerdir.

MATHEMATICA programında elastik eğri denklemi bulmak için DSolve komutu kullanılabilir. Bu komut ile bir diferansiyel denklem, yazılacak başlangıç koşullarıyla ve belirlenen bir değişken ile çözdürülebilir.

Çözdürülecek denklem ;

$$v''''(z) = 0 \quad (5.5)$$

ifadesinde belirtildiği gibidir.

Veriler programa aşağıdaki şekilde yazılır;

$$DSolve[\{v''''[z] = 0, v[0] = 0, v'[0] = 0, v''[0] = -PL/EI, v'''[0] = P/EI\}, v[z], z] \quad (5.6)$$

Elastik eğriye ait elde edilen denklem 5.7’de gösterildiği gibidir.

$$v(z) = (Pz^3 - 3z^2 PL)/(6EI) \quad (5.7)$$

Elde edilen denklemin birinci türevi Φ ’ye (Φ) yani dönmeye, ikinci türevi M/EI ’ye yani eğilme momentine, üçüncü türevi T ’ye yani kesme kuvvetine, dördüncü türevi q ’ya yani yayılı yüke eşittir.

$$v'(z) = \Phi \quad (5.8)$$

$$v''(z) = M/EI \quad (5.9)$$

$$v'''(z) = T \quad (5.10)$$

$$v''''(z) = q \quad (5.11)$$

Yukarıda söz edilen bilgilere dayanarak denklem 5.12’deki matris oluşturulur.

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} v \\ \Phi \\ M \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{EI} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \Phi \\ M \\ T \end{pmatrix} \quad (5.12)$$

Bu durumda ortaya çıkan 4x4’lük matris, programa A matrisi olarak tanıtılır.

$$A = \{\{0,1,0,0\}, \{0,0,1/EI,0\}, \{0,0,0,1\}, \{0,0,0,0\}\}$$

Taşıma matrisimiz yani $e^{A.z}$ ise;

$$TM[Z_]=MatrixExp[A* z] \quad (5.13)$$

ifadesi programa yazdırılarak bulunur.

Denklem 5.12, MATHEMATICA programında çözümlenerek, aşağıdaki matris elde edilir.

$$TM[Z_]=\{\{1, z, z^2/(2EI), z^3/(6EI)\}, \{0, 1, z/EI, z^2/(2EI)\}, \{0, 0, 1, z\}, \{0, 0, 0, 1\}\} \quad (5.14)$$

Başlangıç koşulları matrisi BK isimlendirilerek programa tanıtılır. Şekil 5.1'deki sistem için başlangıç koşulları Denklem 5.15-19'daki gibidir.

$$v[0] = 0 \quad (5.15)$$

$$\phi[0] = 0 \quad (5.16)$$

$$M[0] = -P.L \quad (5.17)$$

$$T[0] = P \quad (5.18)$$

$$BK = \{\{0\}, \{0\}, \{-P.L\}, \{P\}\} \quad (5.19)$$

Dolayısıyla Bilinmeyenleri bulmak için programa;

$$BLM[Z_]=TM[Z_].BK \quad (5.20)$$

ifadesi yazılır. Böylece taşıma matrisi yardımıyla bilinmeyenlerin denklemleri bulunabilir. Bulununan matris Denklem 5.21'de verilmiştir.

$$TM[Z_]=\{\{(Pz^3)/(6EI) - (z^2 PL)/(2EI)\}, \{(Pz^2)/(2EI) - (zPL)/(EI)\}, \{(Pz) - (PL)\}, \{P\}\} \quad (5.21)$$

Bu durumda 1. terim $v(z)$ 'yi, 2.terim $v'(z)$ 'yi, 3. terim $v''(z)$ 'yi, 4. terim ise $v'''(z)$ 'yi göstermektedir.

$$v[Z_]=BLM[Z_][1] \quad (5.22)$$

Denklem 5.23'te bilinmeyenler matrisindeki 1. terimin gösterimi yazılmıştır.

$$\frac{z^3 * P}{6EI} - \frac{z^2 * PL}{2EI} \quad (5.23)$$

$$\phi[Z_]=BLM [Z][2] \quad (5.24)$$

Denklem 5.25'te bilinmeyenler matrisindeki 2. terimin gösterimi yazılmıştır.

$$\frac{z^2 * PL}{2EI} - \frac{PL}{EI} \quad (5.25)$$

$$M[Z_]=BLM [Z][3] \quad (5.26)$$

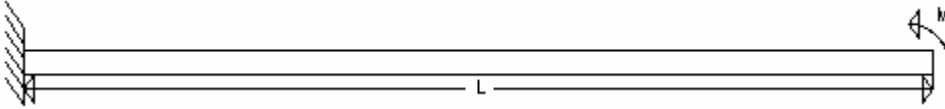
Denklem 5.27'de bilinmeyenler matrisindeki 3. terim, denklem 5.29'da ise bilinmeyenler matrisindeki 4.terimin gösterimi yazılmıştır.

$$\{P_z - PL\} \quad (5.27)$$

$$T[Z_]=BLM [Z][4] \quad (5.28)$$

$$\{P\} \quad (5.29)$$

5.2 MATHEMATICA'da Üzerine M Momenti Etkiyen Tek Ucu Ankastre Sistem Çözümü



Şekil 5.2 : Üzerine M momenti etkiyen tek ucu ankastre sistem.

Aynı değerleri yukardaki sistem için bulunmak istenirse;

Öncelikle başlangıç koşulları yazılmalıdır.

$$v(0) = 0 \quad (5.30)$$

L= 0 noktasında çubuktaki çökme sıfırdır. Çünkü sistem tek ucu ankastredir.

$$v'(0) = 0 \quad (5.31)$$

L= 0 noktasında çubuğun ucu ankastre mesnetlendiğinden çubukta dönme gerçekleşmemektedir.

$$v''(0) = M / EI \quad (5.32)$$

$L=0$ noktasındaki moment ifadesi denklem 5.32'deki gibi olmaktadır.

$$v'''(0) = 0 \quad (5.33)$$

$L=0$ noktasında kesme kuvveti sıfırdır.

Mathematica programında elastik eğri denklemi bulmak için DSolve komutu kullanılabilir. Bu komut ile bir diferansiyel denklem, yazılacak başlangıç koşullarıyla ve belirlenen bir değişken ile çözdürülebilir.

Çözdürülecek denklem denklem 5.34'de belirtilmiştir.

$$v''''(z) = 0 \quad (5.34)$$

Veriler programa denklem 5.35'teki gibi yazılır.

$$Dsolve[\{v''''[z] = 0, v[0] = 0, v'[0] = 0, v''[0] = M, v'''[0] = 0\}, v[z], z] \quad (5.35)$$

Elastik eğriye ait denklem, Denklem 5.36'da verilmiştir.

$$v(z) = -(Mz^2)/(2EI) \quad (5.36)$$

Elde edilen denklemin birinci türevi Φ 'ye (yani dönme), ikinci türevi M/EI 'ye yani eğilme momentine, üçüncü türevi T 'ye yani kesme kuvvetine, dördüncü türevi q 'ya yani yayılı yüke eşittir.

$$v'(z) = \varphi \quad (5.37)$$

$$v''(z) = M / EI \quad (5.38)$$

$$v'''(z) = T \quad (5.39)$$

$$v''''(z) = q \quad (5.40)$$

Yine bu sistemde de taşıma matrisi oluşturulup, A matrisi programa tanıtılır.

$$A = \{\{0, 1, 0, 0\}, \{0, 0, 1/EI, 0\}, \{0, 0, 0, 1\}, \{0, 0, 0, 0\}\}$$

Taşıma matrisimiz yani $e^{A \cdot z}$ ise;

$$TM[Z_]=MatrixExp[A * z] \quad (5.41)$$

ifadesi programa yazdırılarak bulunur.

Denklem 5.41 MATHEMATICA programında çözümlenerek Denklem 5.42’de belirtilen matris elde edilir.

$$TM[Z_]=\{\{1, z, z^2/(2EI), z^3/(6EI)\}, \{0, 1, z/EI, z^2/(2EI)\}, \{0, 0, 1, z\}, \{0, 0, 0, 1\}\} \quad (5.42)$$

Başlangıç koşulları matrisi Denklem 5.43’te gösterilmiştir.

$$BK = \{\{0\}, \{0\}, \{M\}, \{0\}\} \quad (5.43)$$

Dolayısıyla Bilinmeyenleri bulmak için programa Denklem 5.44 uygulanır.

$$BLM[Z_]=TM[Z_]*BK \quad (5.44)$$

Böylece taşıma matrisi yardımıyla bilinmeyenlerin denklemleri bulunabilir. Bulununan matris Denklem 5.45’teki gibidir.

$$\{\{-Mz^2/(2EI)\}, \{-Mz/EI\}, \{-M\}, \{0\}\} \quad (5.45)$$

Bu durumda 1. terim $v(z)$ ’yi, 2.terim $v'(z)$ ’yi, 3. terim $v''(z)$ ’yi, 4. terim ise $v'''(z)$ ’yi göstermektedir.

$$v[Z_]=BLM[Z_][1] \quad (5.46)$$

Denklem 5.47’de bilinmeyenler matrisindeki 1. terimin gösterimi yazılmıştır.

$$-\frac{z^2 * M}{2EI} \quad (5.47)$$

$$\varphi[Z_]=BLM[Z_][2] \quad (5.48)$$

Denklem 5.49’da bilinmeyenler matrisindeki 2. terimin gösterimi yazılmıştır.

$$-\frac{z * M}{EI} \quad (5.49)$$

$$M[Z_{-}] = BLM[Z][3] \quad (5.50)$$

Denklem 5.50'de bilinmeyenler matrisindeki 3. terimin gösterimi yazılmıştır.

$$\{-M\} \quad (5.51)$$

$$T[Z_{-}] = BLM[Z][4] \quad (5.52)$$

$$0 \quad (5.53)$$

Denklem 5.53'te bilinmeyenler matrisindeki 4. terimin gösterimi yazılmıştır.

5.3 Van der Waals Bağları

Adından da tahmin edebileceği üzere Hollanda'lı olan Johannes Van der Waals (23 Kasım 1837 Leyden – 8 Mart 1923 Amsterdam) moleküller arası kuvvetlerden ve bunların öneminden ilk söz eden kişidir. Kendi kendini yetiştirmiş bir bilim adamıdır. Matematik ve Fizik öğretmenidir. 1876'da Amsterdam üniversitesinde fizik profesörü olmuştur. 1910 yılında hidrojen ve helyum gazlarının sıvılaştırılması konusundaki çalışmalarıyla Nobel ödülü kazanmıştır. Van der Waals moleküller arası kuvvetlerden yola çıkarak oluşturduğu eşitliklerle gerçek gaz yasasının ideal gaz yasasından saptığı noktaları bulmuştur. Daha doğrusu ideal gaz yasasından kendine özgü bir ifade (formül) ile gerçek gaz yasasının formülünü belirlemiştir. Van der Waals kuvvetleri denilen moleküller arası çekim kuvvetleri üç tanedir. Dipol – dipol kuvvetler, London kuvveti ve Hidrojen bağları.

Van der Waals bağları moleküller veya atom gruplarını zayıf elektrostatik çekimlerle birbirine bağlar. Birçok plastik, seramik, su ve diğer moleküller sürekli kutuplaşır (polarize edilir), bu moleküllerin bazı kısımları pozitif olarak yüklenme eğiliminde iken diğer kısımlar negatif olarak yüklenirler.

Van der Waals bağı ikincil bir bağıdır, ancak molekül içindeki atomlar veya atom grupları kuvvetli kovalent veya iyonik bağ ile bağlanırlar. Suyu kaynama noktasına ısıtmak Van der waals bağlarını kırar ve suyu buhara dönüştürür, ancak oksijen ve hidrojen atomlarını birleştiren kovalent bağı kırmak için çok yüksek sıcaklıklar gerekir.

Van der Waals bağlarında, ametallerin oluşturduğu bazı apolar moleküller oda koşullarında gaz halindedir (He, Ne, Ar, H₂, O₂, CO₂... gibi). Bu gazlar soğutulduğunda ve yüksek basınç uygulandığında moleküller birbirine yaklaşır ve sıvı hale geçer. Moleküller bir birlerine yaklaştıklarında elektron dağılımlarındaki simetri bozulabilir. Molekülde elektronların yoğun olduğu taraf kısmen negatif, diğer taraf da kısmen pozitif yükle yüklenir. Bir molekülün pozitif diğerinin de negatif yüklü kısımları arasında kısa süreli zayıf çekim kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetlerin etkisi ile moleküller arasında oluşan bağlara Van der Waals bağları denir. Oldukça zayıf olan bu bağ çeşidinin kuvveti molekül büyüklüğü arttıkça artar.

Bu çalışmada incelenen çift duvarlı karbon nanotüplerde, iç ve dış tüpler birbirlerine çok zayıf bağlarla, Van der Waals bağlarıyla bağlanırlar. Bu nedenle çift duvarlı tüpler için sınır koşulları yazılırken, sınırlardaki tüp etkilerini dış tübün karşıladığı kabul edilir.

Van Der Waals kuvvetlerinin şiddeti üç faktöre bağlıdır.

5.3.1 Elektron sayısı

Elektron sayısı fazla olan moleküller arasındaki Van Der Waals kuvvetleri daha büyüktür.

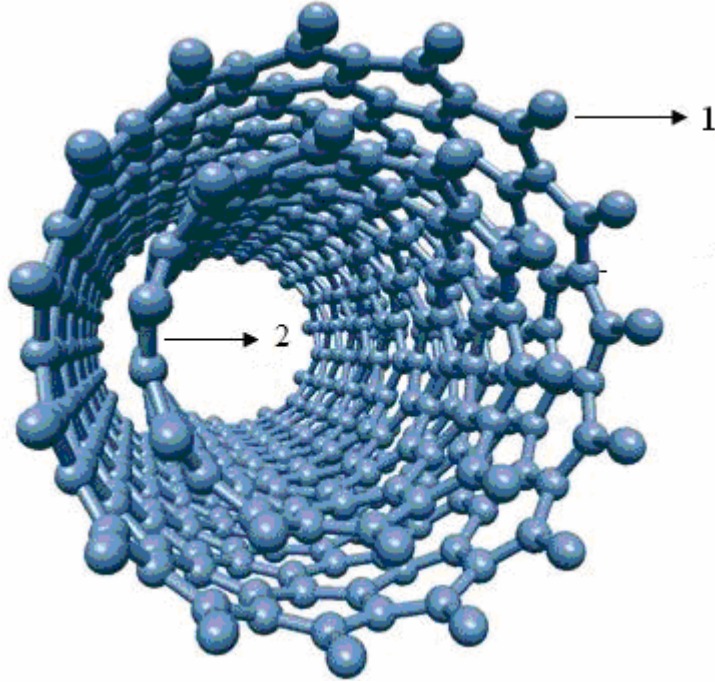
5.3.2 Molekül büyüklüğü

Büyük bir molekülün yüzeyi de geniş olacağından Van Der Waals kuvvetlerinin şiddeti de büyük olacaktır.

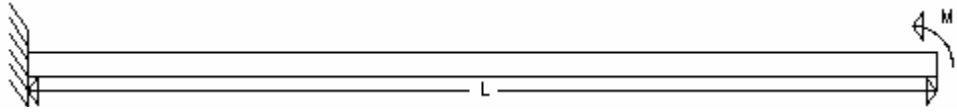
5.3.3 Aynı elementlerin oluşturdukları atom sayısı

Aynı elementlerin oluşturdukları atom sayısı arttıkça Van Der Waals kuvvetlerinin şiddeti de artmaktadır. Örneğin C₃H₈'in erime noktası C₂H₆'nin erime noktasından daha yüksektir. Ayrıca aynı elementlerin aynı sayıda atom içeren moleküllerinden simetrik yapıya sahip olanlar daha düşük şiddette Van Der Waals kuvvetlerinin etkisi altındadır.

5.4 Mathematica’da Çift Duvarlı Karbon Nanotübün İncelenmesi ve Çözümü



Şekil 5.3 : İç içe geçmiş çapları farklı 2 karbon nanotüp.



Şekil 5.4 : Üzerine M momenti etkileyen iç içe geçmiş çapları farklı 2 karbon nanotüp sistemi.

Şekil 5.3’te görüldüğü gibi iç içe geçmiş 1 ve 2 indisli 2 ayrı nanotüp bulunmaktadır. 1 indisi ile dış tüp, 2 indisi ile iç tüp gösterilmektedir. İç tüp için denklem yazılırken $c_x(\text{dış-iç})\text{tüp}$ yazılacaktır. Bir önceki konuda yapıldığı gibi bu tüplerin eğri denklemlerinin bulunması için taşıma matrisi ($e^{A.z}$) kullanılabilir. Taşıma matrisinin de elde edilmesi için öncelikle aşağıdaki bilgilerin bilinmesi gerekir.

$$v_1'(z) = \varphi_1 \quad (5.54)$$

Denklem 5.54’ten de görüldüğü gibi 1 indisli tübün elastik eğrisinin türevi ‘ φ_1 ’e yani dönmeye eşittir.

$$v_1''(z) = M_1 / R_1 \quad (5.55)$$

Denklem 5.55'ten de görüldüğü gibi 1 indisli tübün dönme eğrisinin türevi 'M₁/R₁'e yani momente eşittir.

$$v_1'''(z) = T_1 \quad (5.56)$$

Denklem 5.56'dan da görüldüğü gibi 1 indisli tübün moment eğrisinin türevi kesme kuvvetine eşittir.

$$v_1''''(z) = c (v_2 - v_1) \quad (5.57)$$

$$v_2'(z) = \varphi_2 \quad (5.58)$$

Denklem 5.58'den de görüldüğü gibi 2 indisli tübün elastik eğrisinin türevi 'φ₂'ye yani dönmeye eşittir.

$$v_2''(z) = M_2 / R_2 \quad (5.59)$$

Denklem 5.59'dan da görüldüğü gibi 2 indisli tübün elastik eğrisinin türevi 'M₂/R₂'ye yani momente eşittir.

$$v_2'''(z) = T_2 \quad (5.60)$$

Denklem 5.60'dan da görüldüğü gibi 2 indisli tübün moment eğrisinin türevi kesme kuvvetine eşittir.

$$v_2''''(z) = c (v_1 - v_2) \quad (5.61)$$

c: Van der Waals bağı katsayısı

Bu veriler doğrultusunda aşağıdaki matris elde edilir.

$$\begin{pmatrix} v_{10} \\ \phi_{10} \\ M_{10} \\ T_{10} \\ v_{20} \\ \phi_{20} \\ M_{20} \\ T_{20} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c & 0 & 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ c & 0 & 0 & 0 & -c & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ MM \\ 0 \\ v_{20} \\ \phi_{20} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Bu sistemde de taşıma matrisi oluşturulur ve A matrisi programa tanıtılır.

$$A = \{ \{0,1,0,0,0,0,0,0\}, \{0,0,1/K_1,0,0,0,0,0\}, \{0,0,0,1,0,0,0,0\}, \\ \{-c,0,0,0,c,0,0,0\}, \{0,0,0,0,0,1,0,0\}, \{0,0,0,0,0,0,1/K_2,0\}, \{0,0,0,0,0,0,0,1\}, \{c,0,0,0,- \\ c,0,0,0\} \};$$

MatrixForm[A] (A matrisinin gösterilmesi)

Bu komut ile A matris hale getirilirse ;

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c & 0 & 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ c & 0 & 0 & 0 & -c & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Elde edilir.

Başlangıç değerleri BD ile gösterilcek olursa ;

$$BD = \{ \{v_{10}\}, \{\phi_{10}\}, \{M_{10}\}, \{T_{10}\}, \{v_{20}\}, \{\phi_{20}\}, \{M_{20}\}, \{T_{20}\} \} \quad (5.62)$$

Başlangıç değerlerini yerlerine koyulduğunda ;

$$BD = \{ \{0\}, \{0\}, \{MM\}, \{0\}, \{v_{20}\}, \{\phi_{20}\}, \{0\}, \{0\} \} \quad (5.63)$$

Elde edilir.

Başlangıç değerleri de BD matrisi halinde yazılır. MatrixForm[BD] komutu ile Denklem 5.64 elde edilir.

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ MM \\ 0 \\ v_{20} \\ \phi_{20} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5.64)$$

MatrixExp[A*z] komutu ile aranan taşıma matrisi ($e^{A.z}$) elde edilebilir. Bulunan bu 8x8'lik taşıma matrisi ($e^{A.z}$) başlangıç koşullarıyla çarpıldığı zaman elastic eğri, dönme, moment ve kesme kuvveti denklemleri bulunabilir.

Fakat burada kullanılan A matrisi 8x8 boyutlarında olduğu için $e^{A.z}$ matrisinin değerleri çok karışık çıkabilir. Bu değerleri daha basite indirmek ve daha sade yazabilmek FullSimplify komutu kullanılır. Dolayısıyla programa aşağıdaki komut uygulanmalıdır:

$$TM = FullSimplify[MatrixExp[A*z], K1<0 \& \& K2<0] \quad (5.65)$$

Bilinmeyenler denklem 5.66-74'deki gibi programa yazılır.

$$BLMYLR = TM . BD \quad (5.66)$$

$$v_1[z_]= BLMYLR \{1\} \quad (5.67)$$

$$\varphi_1[z_]= BLMYLR \{2\} \quad (5.68)$$

$$M_1[z_]= BLMYLR \{3\} \quad (5.69)$$

$$T_1[z_]= BLMYLR \{4\} \quad (5.70)$$

$$v_2[z_]= BLMYLR \{5\} \quad (5.71)$$

$$\varphi_2[z_]= BLMYLR \{6\} \quad (5.72)$$

$$M_2[z_-] = BLMYLR \left[\left[\left[7 \right] \right] \{1\} \right] \quad (5.73)$$

$$T_2[z_-] = BLMYLR \left[\left[\left[8 \right] \right] \{1\} \right] \quad (5.74)$$

$$aa = \text{Solve} \left[\{M_1[L] == MM, T_2[L] = 0\} \{v_{20}, \phi_{20}\} \right] \quad (5.75)$$

$$v_{20} = v_{20}/.aa; \quad (5.76)$$

$$v_{20} = v_{20} \cdot \{I\}; \quad (5.77)$$

$$v_{20} = \text{FullSimplify}[v_{20}]; \quad (5.78)$$

$$\text{Print}["v_{20}=", v_{20}] \quad (5.79)$$

$$\Phi_{20} = \Phi_{20}/.aa; \quad (5.80)$$

$$\Phi_{20} = \Phi_{20} \cdot \{I\}; \quad (5.81)$$

$$\Phi_{20} = \text{FullSimplify}[\Phi_{20}]; \quad (5.82)$$

$$\text{Print}["\Phi_{20}=", \Phi_{20}] \quad (5.83)$$

Denklem 5.75 - 5.83'teki komutlar programa uygulanırsa çizelge 5.1 elde edilir.

$$\begin{aligned} v_{20} &= \frac{i \, MM \left(\sin \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 \, K_2} \right] - \sinh \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 \, K_2} \right] \right)^2 K_1 \, K_2^2}{\left(-1 + \cos \left[\frac{L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 \, K_2} \right] \right) \cosh \left[\frac{L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 \, K_2} \right] \sqrt{-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2)}} \right.} \\ \Phi_{20} &= \left((2 + 2 \, i) \, MM \sin \left[\frac{L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{2 \, K_1 \, K_2} \right] \sinh \left[\frac{L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{2 \, K_1 \, K_2} \right] K_2 \right) / \\ &\quad \left(\left(\sin \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 \, K_2} \right] + \sinh \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 \, K_2} \right] \right) \left(-c \, K_1^3 \, K_2^3 \, (K_1 + K_2) \right)^{1/4} \right) \end{aligned}$$

Çizelge 5.1 : MATHEMATICA programında ortaya çıkan ifadeler

5.4.1 Birinci Durum

$$1 \text{ nanometre} = 1.10^{-7} \text{ cm}, \quad (5.84)$$

$$\text{Elastisite modülü } E = 0.8 \text{ TPA ve } 1 \text{ TPA} = 1 * 10^8 \text{ N/cm}^2 \quad (5.85)$$

$$c = Cxd \quad (5.86)$$

$$d = (d_1 + d_2)/2 \text{ (ortalama yarıçap)} \quad (5.87)$$

$$C = 10^{20} \text{ J/m}^4 \text{ ve joule (J) = Newtonmetre} \quad (5.88)$$

$$C = 10^{20} \text{ J/m}^4 = 10^{20} \text{ N/m}^3 = 10^{20} \text{ N/(100cm)}^3 = 10^{14} \text{ N/cm}^3 \quad (5.89)$$

$$d_1 = 4.10^{-7} \text{ cm}, d_2 = 2.10^{-7} \text{ cm}, d = 3.10^{-7} \text{ cm} \quad (5.90)$$

$$c = 10^{14} \times 3.10^{-7} = 3.10^{-7} \text{ N/cm}^2 \quad (5.91)$$

$$R_1 = ExI_1 = K_1 \quad (5.92)$$

$$R_1 = 0.8 \times 10^8 \times \Pi \times (4.10^{-7})^4 \quad (5.93)$$

$$R_1 = 3.2 \times 10^{-20} \times \Pi \times \text{N/cm}^4 \quad (5.94)$$

$$R_2 = ExI_2 = K_2 \quad (5.95)$$

$$R_2 = 0.4 \times 10^{-20} \times \Pi \times \text{N/cm}^4 \quad (5.96)$$

$$MM = 10^{-16} \text{ N.cm} \quad (5.97)$$

Denklem 5.84 – 5.97'deki değerler MATHEMATICA programında yerlerine konur.

$$v_1[z_]=SetPrecision[v_1[z],1000] \quad (5.98)$$

$$\Phi_1[z_]=SetPrecision[\Phi_1[z],1000] \quad (5.99)$$

$$M_1[z_]=SetPrecision[M_1[z],1000] \quad (5.100)$$

$$T_1[z_]=SetPrecision[T_1[z],1000] \quad (5.101)$$

$$v_2[z_]=SetPrecision[v_2[z],1000] \quad (5.102)$$

$$\Phi_2[z_]=SetPrecision[\Phi_2[z],1000] \quad (5.103)$$

$$M_2[z_]=SetPrecision[M_2[z],1000] \quad (5.104)$$

$$T_2[z_]=SetPrecision[T_2[z],1000] \quad (5.105)$$

Denklem 5.98 – 5.105'teki işlemler yapıldıktan sonra grafikler çizdirilebilir.

Ortaya çıkan sonuçları daha fazla sadeleştirmek için chop komutu kullanılır.

Bu komut ile çok küçük ve 0'a yakın sayıların yerine 0 yazılır ve 'expr' yerine yazılan veriler sadeleştirilir. Bir örnekle açıklanmak istenirse;

$\{3.,1.,1.,7.06593 \times 10^{-17},6.82969 \times 10^{-17},6.06493 \times 10^{-17}\}$

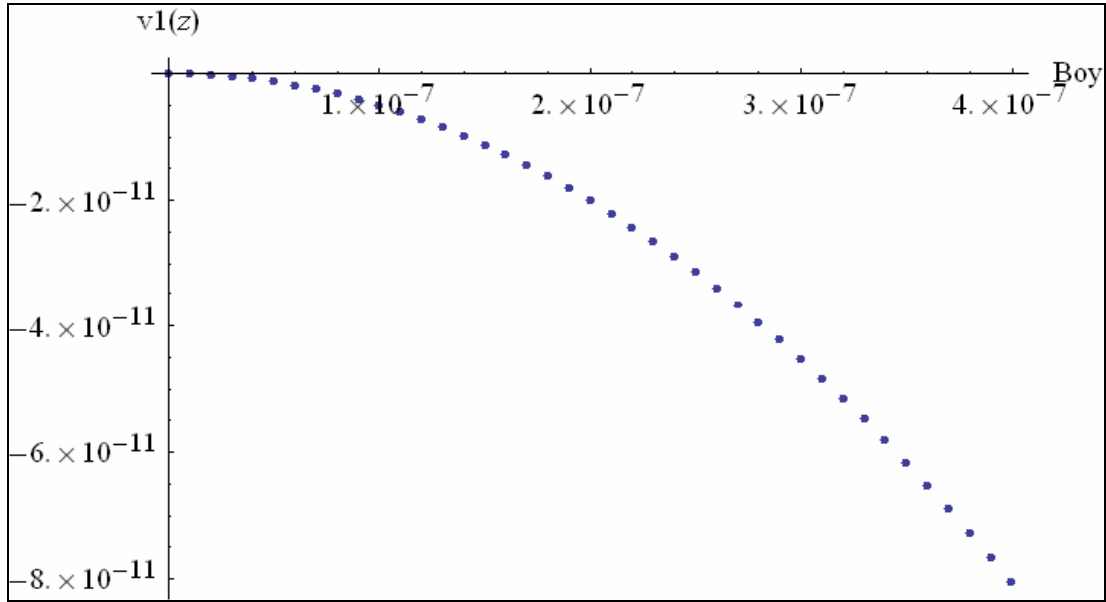
Bu veri için chop komutunu kullanırsak;

Chop[%]

$\{3.,1.,1.,0,0,0\}$ elde edilir.

aa1=Chop[Re[Table[{ss,N[v1[ss]]},{ss,0,L,L/40}],10^(-60)];

ListPlot[aa1] komutu yardımıyla şekil 5.5 elde edilir.

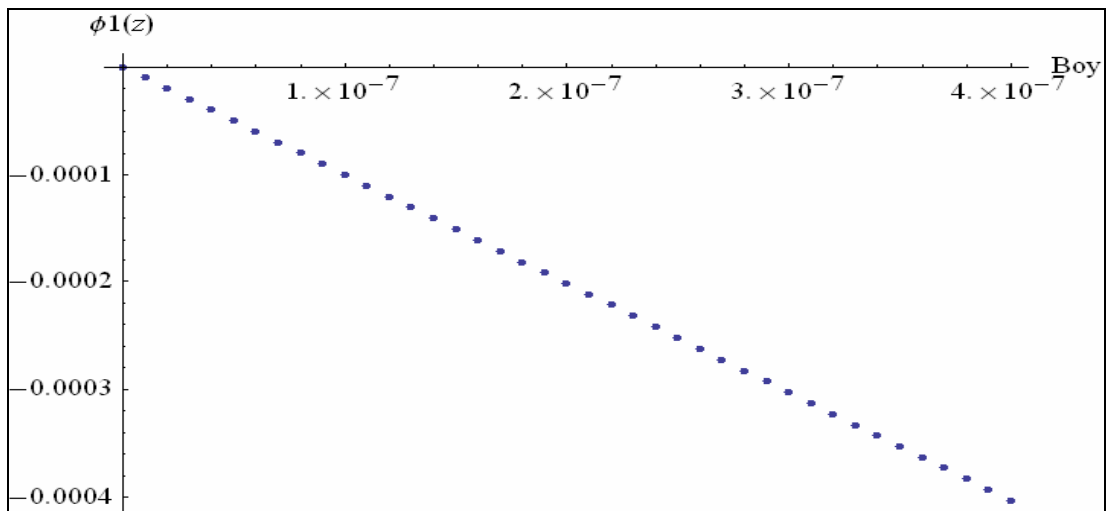


Şekil 5.5 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

Şekil 5.5’te 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da çökme sıfırdır. Çünkü sistem tek ucu ankastredir. $L=0$ ’dan $L=40 \cdot 10^{-8}$ cm’e doğru gidildikçe 1. tüpte meydana gelen çökme değeri sistemden beklenildiği gibi artmaktadır. 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme $L=40 \cdot 10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan $-8 \cdot 10^{-11}$ cm’e kadar ulaşmıştır.

aa2=Chop[Re[Table[{ss,N[Φ1[ss]]},{ss,0,L,L/40}],10^(-60)];

ListPlot[aa2] komutu yardımıyla şekil 5.6 elde edilir.

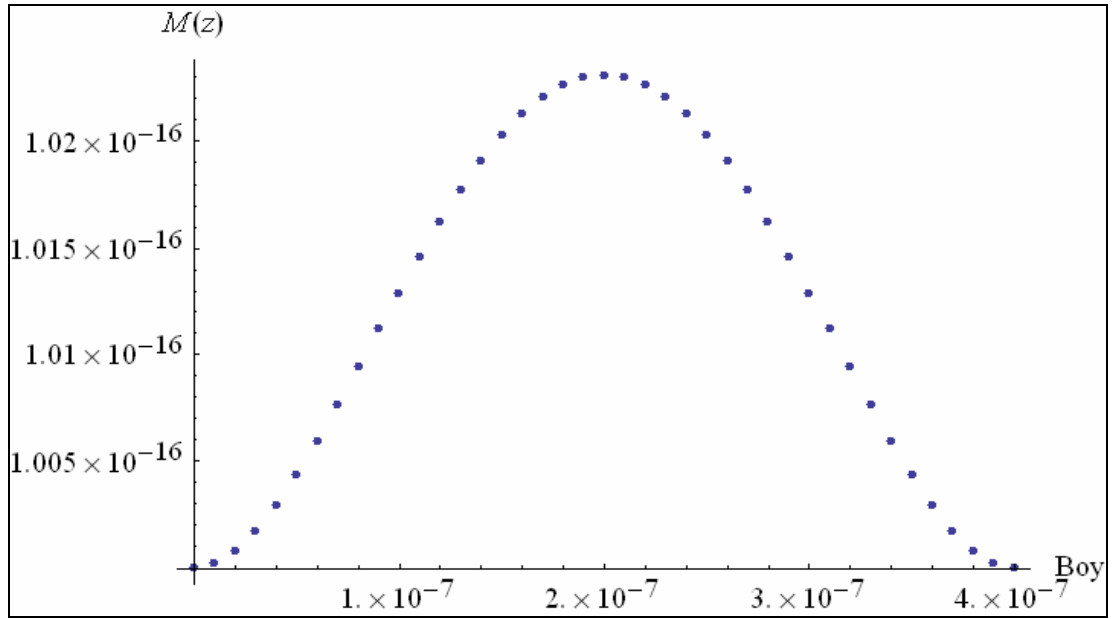


Şekil 5.6 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

Şekil 5.6’da 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da “1 no.’lu” tüp hareket etmemektedir. Çünkü sistemin tek ucu ankastredir. $L=0$ ’dan $L=40.10^{-8}$ cm’e doğru gidildikçe “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değeri sistemden beklenildiği gibi artmaktadır. 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme $L=40.10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan -4.10^{-4} radyana ulaşmıştır.

```
aa3=Chop[Re[Table[{ss,N[M1[ss]]},{ss,0,L,L/40}]],10^(-60)];
```

ListPlot[aa3] komutuyla şekil 5.7 elde edilir.

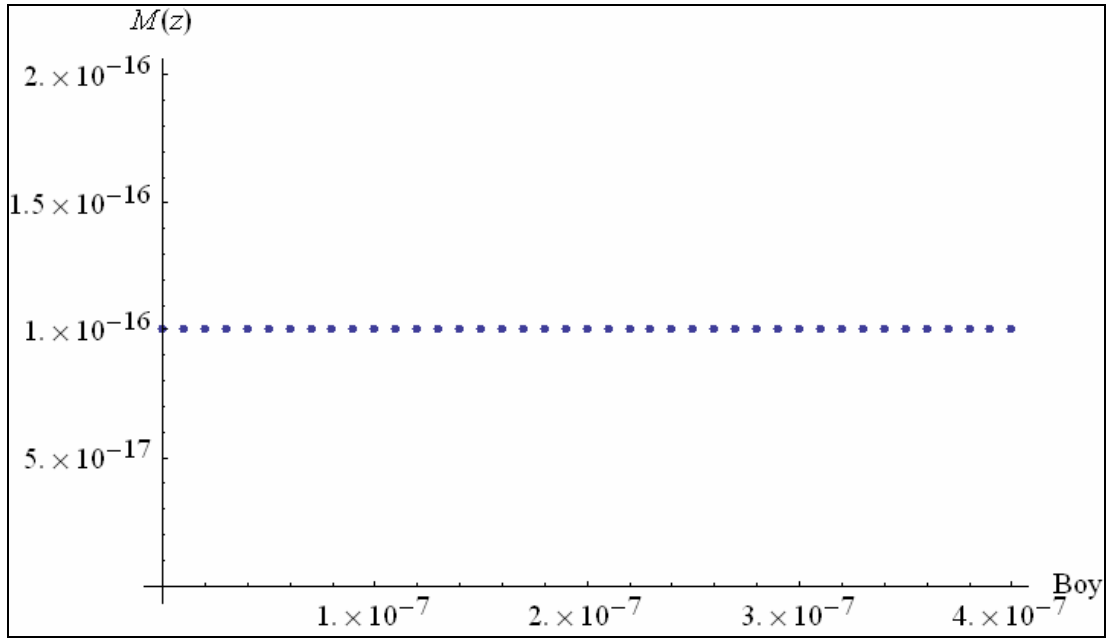


Şekil 5.7 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri

Şekil 5.7’de 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da ve $L=40.10^{-8}$ cm’de moment $MM=1.10^{-16}$ N.cm’dir. 1. durumda “1 no.’lu” tübün orta kısımlarındaki moment değerlerindeki artış ise “2 no.’lu” tüple bir etkileşim içinde olmasından kaynaklanmaktadır.

```
aa3=Chop[Re[Table[{ss,N[M1[ss]]+[M2[ss]]},{ss,0,L,L/40}]],10^(-60)];
```

ListPlot[aa3] komutuyla şekil 5.8 elde edilir.

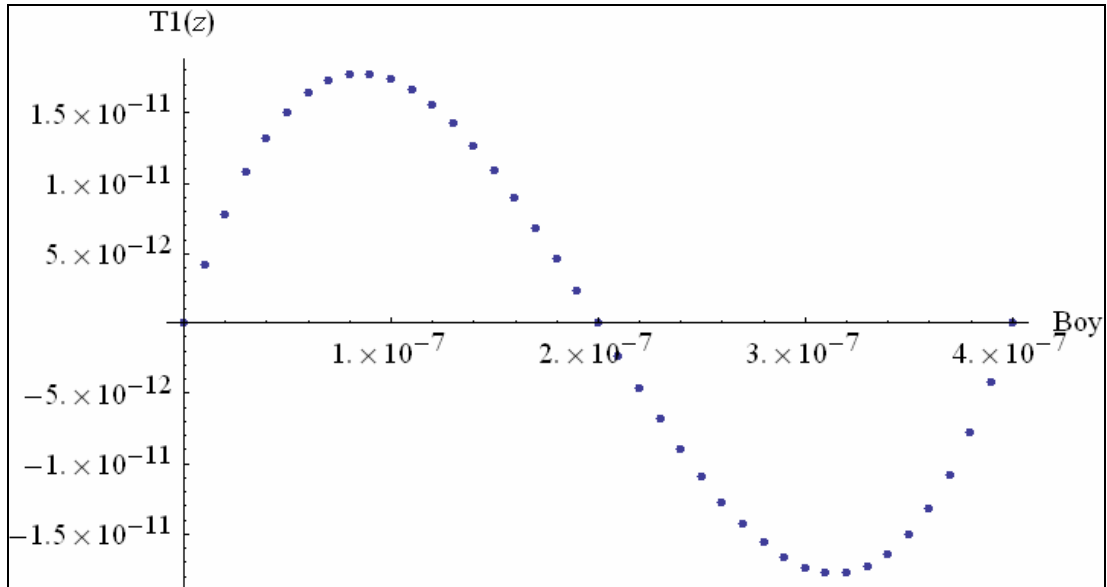


Şekil 5.8 : 1.durumda her 2 tüpte meydana gelen toplam moment değeri

Şekil 5.8’de tüplerde meydana gelen toplam moment değeri okunmaktadır. $L=0$ ’dan $L=40.10^{-8}$ cm’e kadar tüplerde meydana gelen toplam moment değeri sabit ve başlangıçtaki değeri olan $MM=1.10^{-16}$ N.cm kadardır.

`aa4=Chop[Re[Table[{ss,N[T1[ss]]},{ss,0,L,L/40}],10^(-60)];`

`ListPlot[aa4]` komutuyla şekil 5.9 elde edilir.



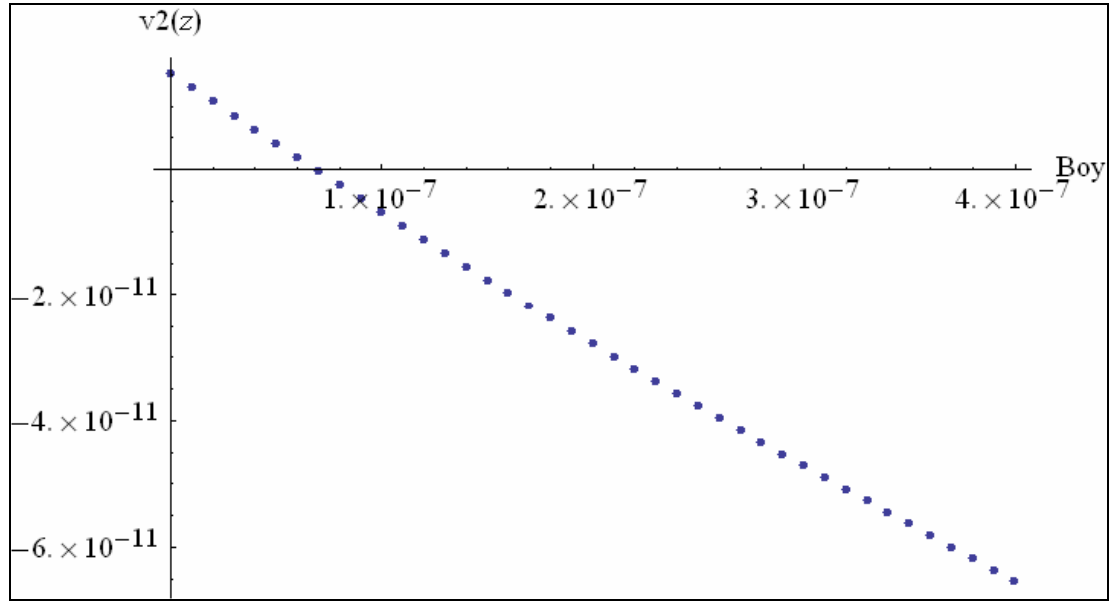
Şekil 5.9 : 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.9’da 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana kesme kuvveti değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri başlangıç

koşullarından dolayı sıfırdır. 1. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuveti değeri $L=10 \cdot 10^{-8}$ cm’e kadar bir artış göstermiş, $L=20 \cdot 10^{-8}$ cm ve $L=40 \cdot 10^{-8}$ cm’de sıfır olmuş, $L=10 \cdot 10^{-8}$ cm ve $L=30 \cdot 10^{-8}$ cm’de ise maksimum değeri olan $\pm 1.5 \cdot 10^{-11}$ N değerine ulaşmıştır.

`bb1=Chop[Re[Table[{ss,N[v2[ss]]},{ss,0,L,L/40}]],10^(-60)];`

`ListPlot[bb1]` komutuyla şekil 5.10 elde edilir.

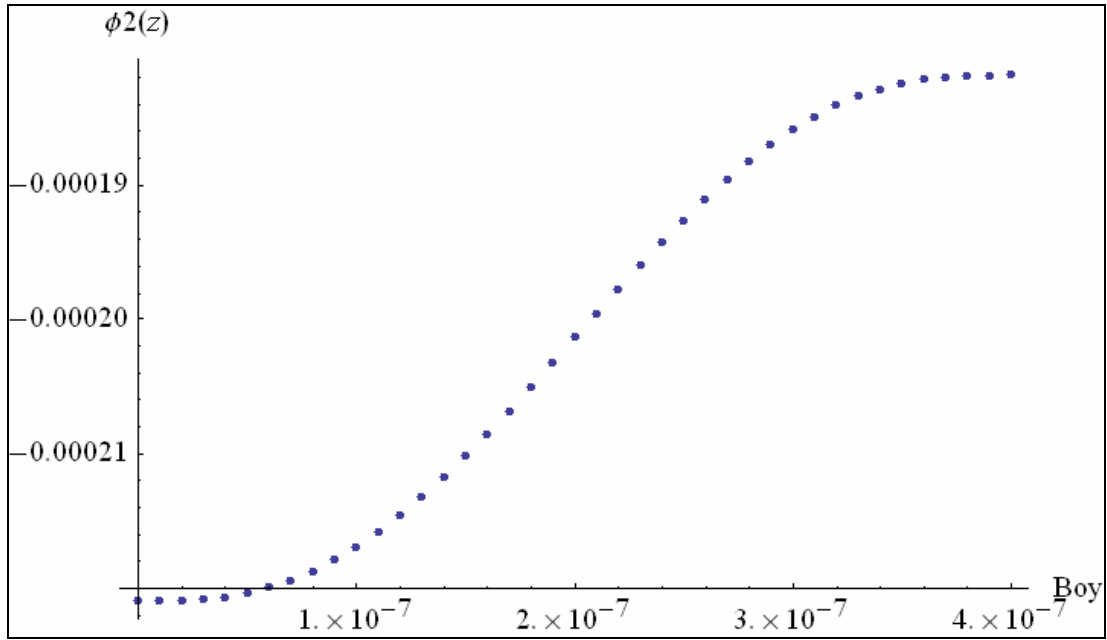


Şekil 5.10 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

Şekil 5.10’da 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da bir miktar çökme gerçekleşirken yaklaşık $L=6 \cdot 10^{-8}$ cm’de meydana gelen çökme değeri sıfır olmaktadır. $L=10 \cdot 10^{-8}$ cm’den, $L=40 \cdot 10^{-8}$ cm’e doğru gidildikçe “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değeri artmaktadır. Çökme $L=40 \cdot 10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan -6.10^{-11} cm’e ulaşmıştır.

`bb2=Chop[Re[Table[{ss,N[Φ2[ss]]},{ss,0,L,L/40}]],10^(-60)];`

`ListPlot[bb2]` komutuyla şekil 5.11 elde edilir.

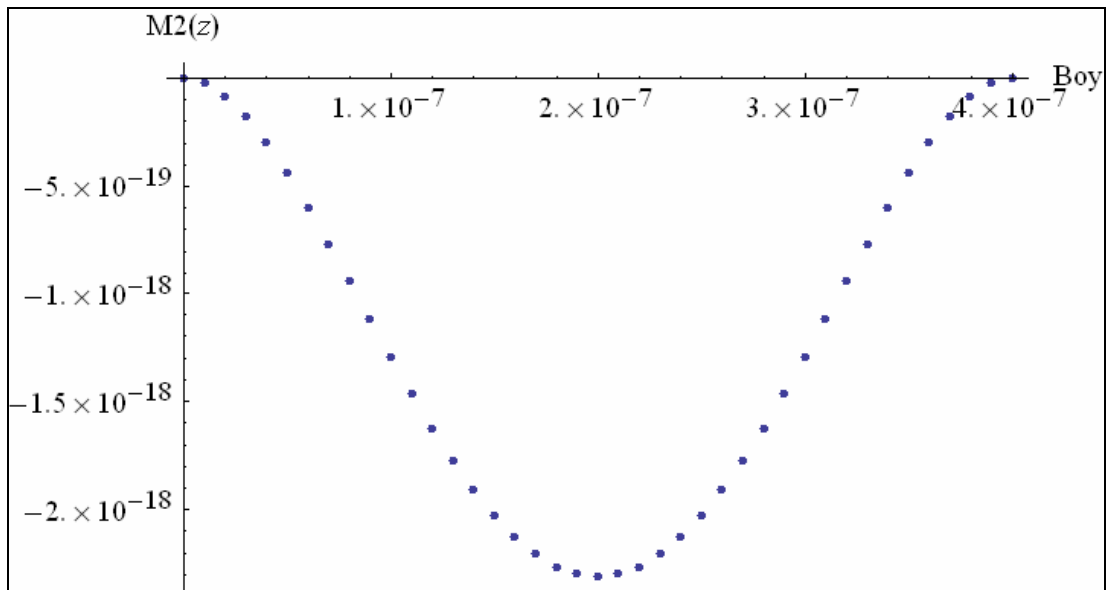


Şekil 5.11 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

Şekil 5.11’de 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri görülmektedir. $L=0$ ile $L=6.10^{-8}$ cm arasında 2. tüpte bir miktar dönme gerçekleşmekte $L= 6.10^{-8}$ cm’de ise dönme olmamakta, daha sonra çubuğun boyu arttıkça dönme miktarı da azalmaktadır. 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme miktarının 0.00021 radyan olduğu şekil 5.11’de görülmektedir.

`bb3=Chop[Re[Table[{ss,N[M2[ss]]},{ss,0,L,L/40}]],10^(-60)];`

ListPlot[bb3] komutuyla şekil 5.12 elde edilir.

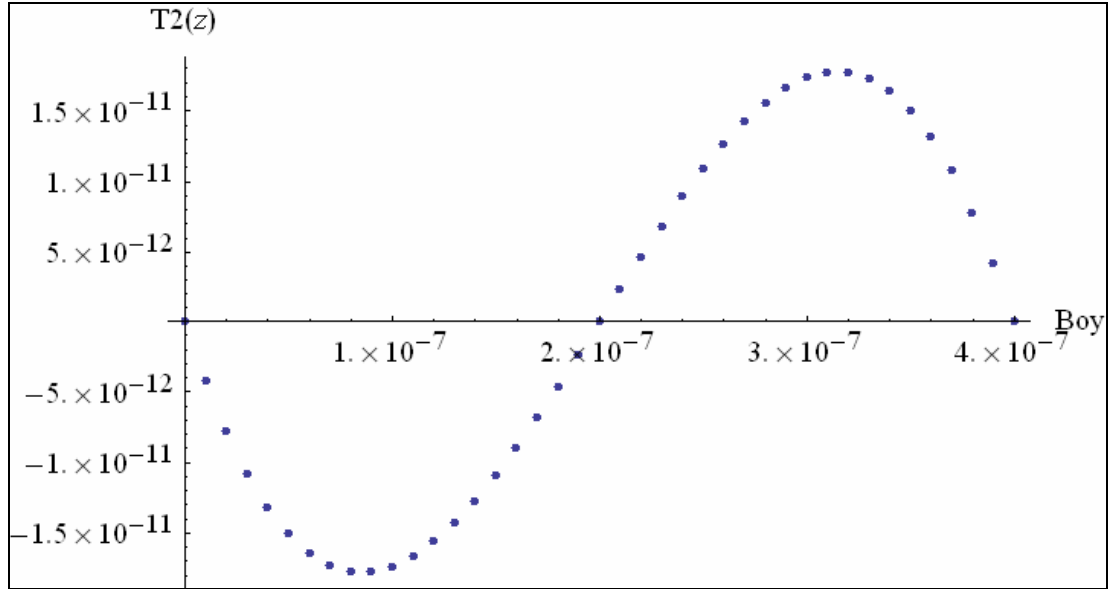


Şekil 5.12 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.

Şekil 5.12’de 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da ve $L=40.10^{-8}$ cm’de “2 no.’lu tüpte meydana gelen moment değeri sıfır olup, $L=20.10^{-8}$ cm’de ise maksimum değeri olan $MM=-2.10^{-18}$ N.cm’dir.

`bb4=Chop[Re[Table[{ss,N[T2[ss]]},{ss,0,L,L/40}]],10^(-60)];`

`ListPlot[bb4]` komutuyla şekil 5.13 elde edilir.



Şekil 5.13 : 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.13’te 1.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da “2 no.’lu” tüpte kesme kuvveti sıfırdır. 1. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri $L=10.10^{-8}$ cm’e kadar bir artış göstermiş, $L= 20.10^{-8}$ cm ve $L=40.10^{-8}$ cm’de sıfır olmuştur. Bu durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti $L=10.10^{-8}$ cm ve $L=30.10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan $\pm 1.5.10^{-11}$ N değerine ulaşmıştır. Şekil 5.13’ten de görüldüğü gibi “1 ve 2 no.’lu” tüplerin birbirleriyle bir etkileşim içinde oldukları görülmektedir.

Tüplerin boyları veya çapları artırıldığında 1.durumda her 2 tübe ait grafiklerin ne şekilde etkilendiğini görmek için önce tüplerin boyu artırılıp, 2. durum adı altında ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir. Daha sonra ise, tüplerin boyları 1. durumdakiyle aynı bırakılarak, tüplerin yarıçapı artırılmış ve 3. durum adı altında aynı işlemler tekrarlanmıştır.

5.4.2 İkinci Durum

Tüplerin boyu ;

$L=50.10^{-8}$ cm olarak seçildiğinde aynı işlemler tekrarlanırsa şu sonuçlara varılır.

$$l \text{ nanometre} = 1.10^{-7} \text{ cm}, \quad (5.106)$$

$$\text{Elastisite modülü } E = 0.8 \text{ TPA ve } 1 \text{ TPA} = 1*10^8 \text{ N/cm}^2 \quad (5.107)$$

$$c = Cxd \quad (5.108)$$

$$d = (d_1 + d_2)/2 \text{ (ortalama yarıçap)} \quad (5.109)$$

$$C = 10^{20} \text{ J/m}^4 \text{ ve joule (J) = Newtonmetre} \quad (5.110)$$

$$C = 10^{20} \text{ J/m}^4 = 10^{20} \text{ N/m}^3 = 10^{20} \text{ N/(100cm)}^3 = 10^{14} \text{ N/cm}^3 \quad (5.111)$$

$$d_1 = 4.10^{-7} \text{ cm}, d_2 = 2.10^{-7} \text{ cm}, d = 3.10^{-7} \text{ cm} \quad (5.112)$$

$$c = 10^{14} \times 3.10^{-7} = 3.10^{-7} \text{ N/cm}^2 \quad (5.113)$$

$$R_1 = ExI_1 = K_1 \quad (5.114)$$

$$R_1 = 0.8 \times 10^8 \times \Pi \times (4.10^{-7})^4 \quad (5.115)$$

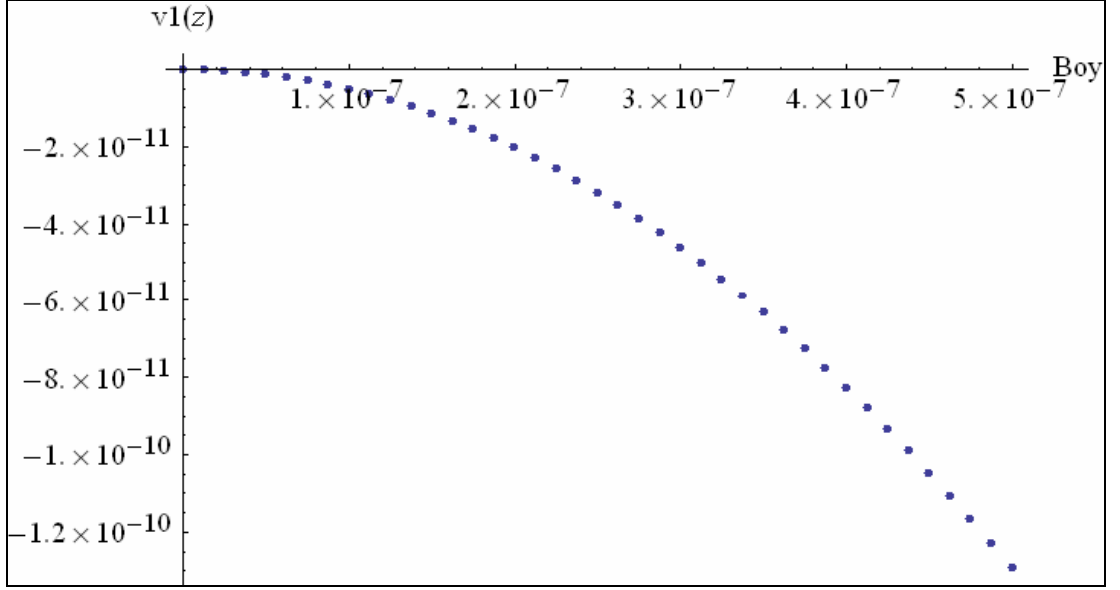
$$R_1 = 3.2 \times 10^{-20} \times \Pi \times \text{N/cm}^4 \quad (5.116)$$

$$R_2 = ExI_2 = K_2 \quad (5.117)$$

$$R_2 = 0.4 \times 10^{-20} \times \Pi \times \text{N/cm}^4 \quad (5.118)$$

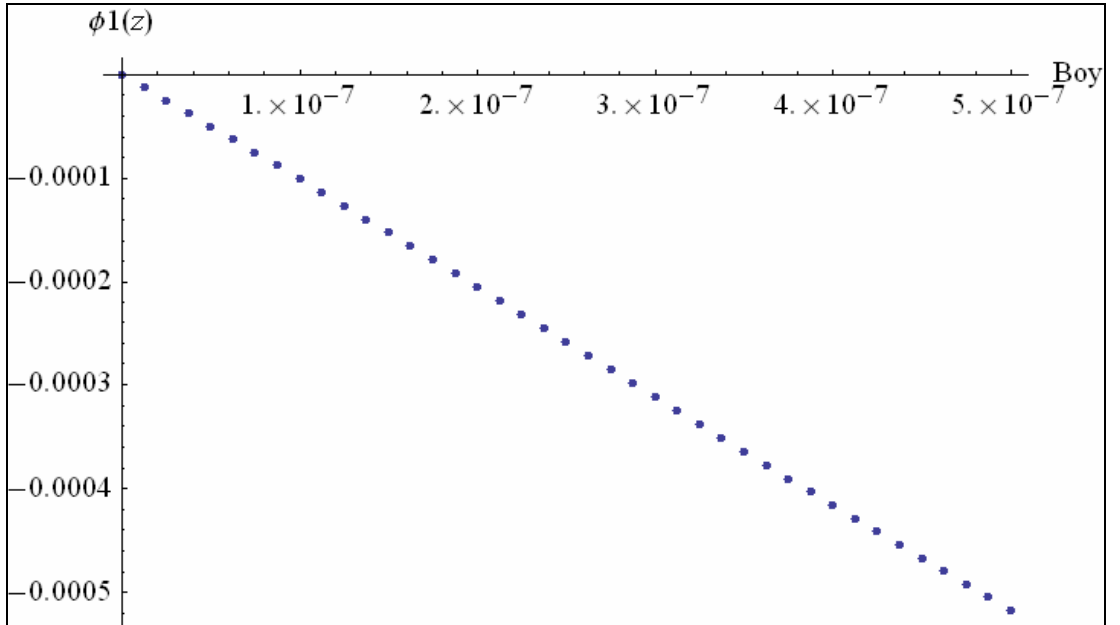
$$MM = 10^{-16} \text{ N.cm} \quad (5.119)$$

2. duruma ait değerler dikkate alınarak, “1 ve 2 no.’lu” tüpe ait çökme, dönme, moment ve kesme kuvveti değerleri grafikleri çizdirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 5.14 : 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

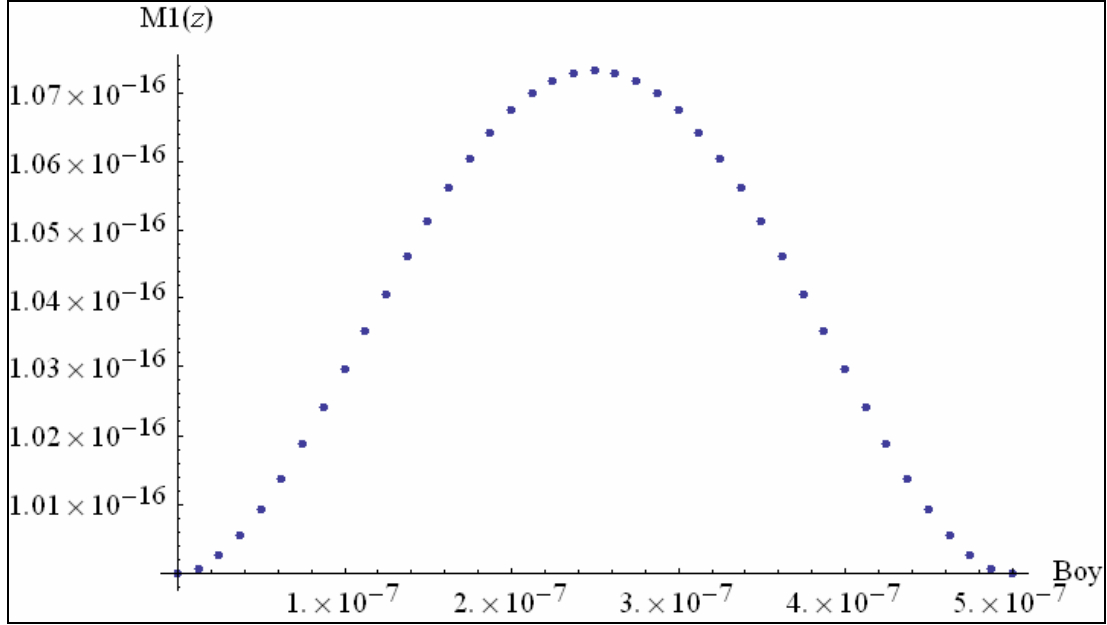
Şekil 5.14’te 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da başlangıç koşullarından dolayı çökme sıfırdır. $L=0$ ’dan $L=50.10^{-8}$ cm’e doğru gidildikçe “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değeri sistemden beklenildiği gibi artmaktadır. Çökme $L=50.10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan $-1.2.10^{-10}$ cm’e ulaşmıştır. Tüpün boyu arttırıldığında maksimum çökme değerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 5.15 : 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

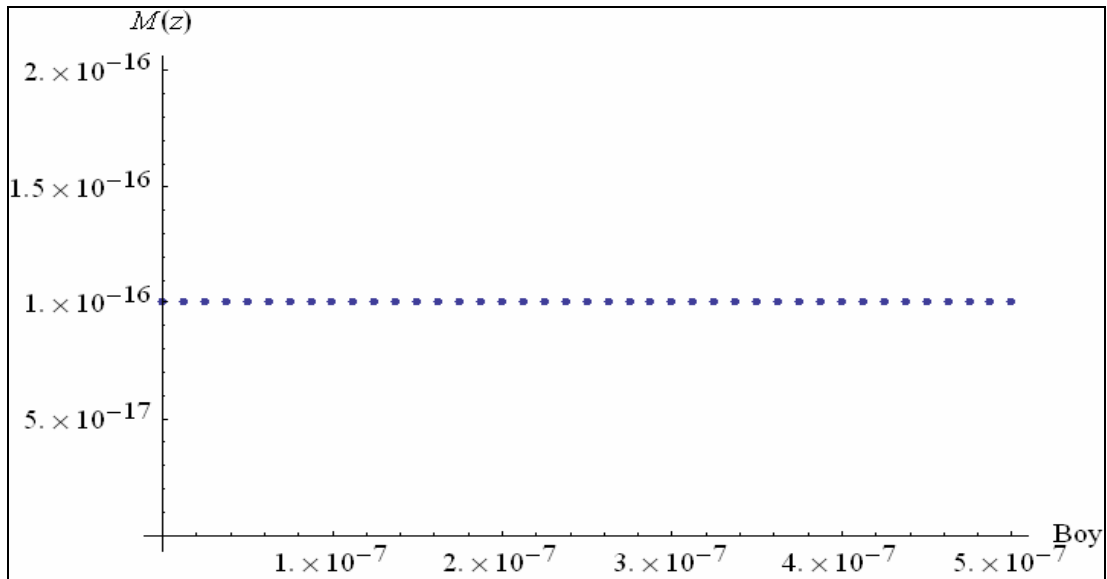
Şekil 5.15’te 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da “1 no.’lu” tüp hareket etmemektedir. Çünkü sistem tek ucu

ankastredir. $L=0$ 'dan $L=50.10^{-8}$ cm'e doğru gidildikçe "1 no.'lu" tüpte meydana gelen dönme değerleri artmaktadır. $L=50.10^{-8}$ cm'de maksimum değeri olan -5.10^{-4} radyana kadar ulaşmıştır. Tüpün boyu arttırıldığında, "1 no.'lu" tüpte meydana gelen dönme değerinin de arttığı şekil 5.15'te görülmektedir.



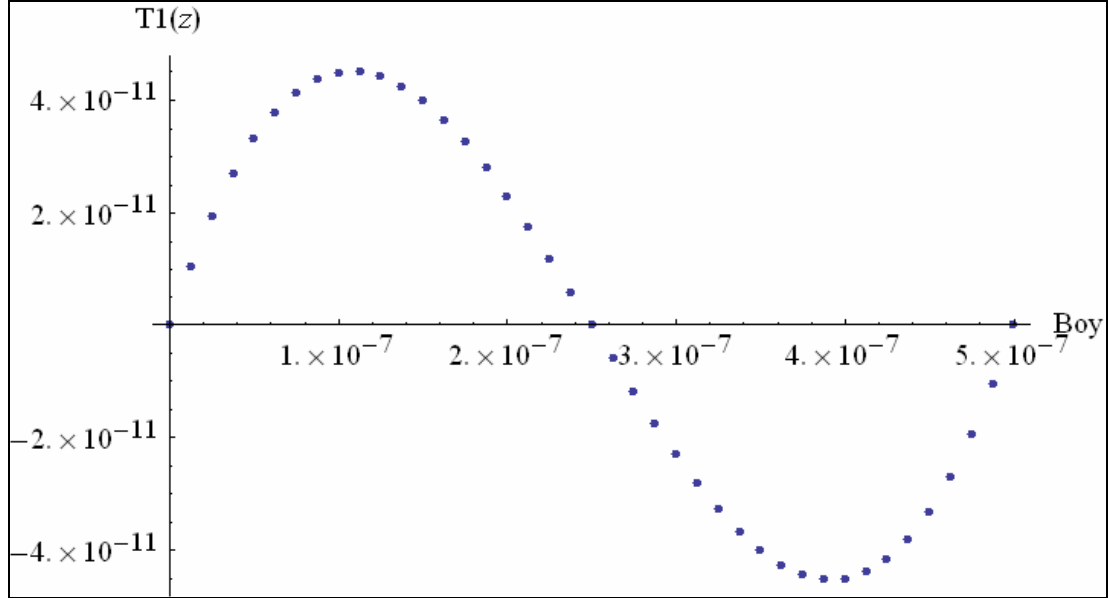
Şekil 5.16 : 2. durumda "1 no.'lu" tüpte meydana gelen moment değerleri.

Şekil 5.16'da 2. durumda "1 no.'lu" tüpte meydana gelen moment değerleri okunmaktadır. $L=0$ 'da ve $L=50.10^{-8}$ cm'de "1 no.'lu" tüpte meydana gelen moment $MM=1.10^{-16}$ N.cm'dir.



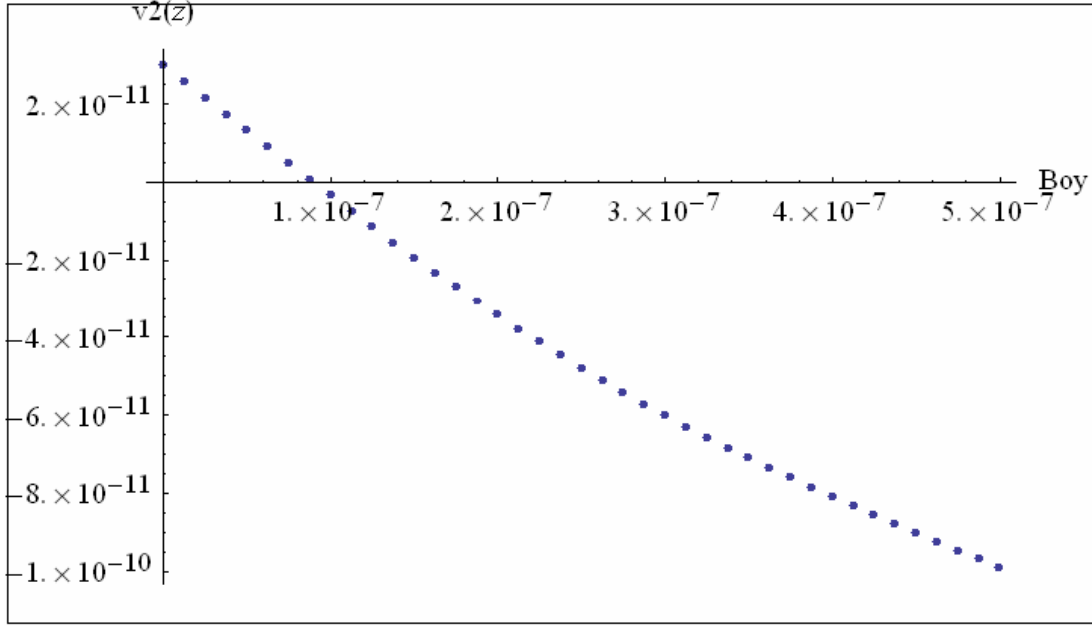
Şekil 5.17 : 2. durumda her 2 tüpte meydana gelen toplam moment değeri.

Şekil 5.17’de 2. durumda tüplerde meydana gelen toplam moment değeri görülmektedir. $L=0$ ’dan $L=40.10^{-8}$ cm’e kadar tüplerde meydana gelen toplam moment değeri sabit ve başlangıçtaki değeri olan $MM=1.10^{-16}$ N.cm kadardır.



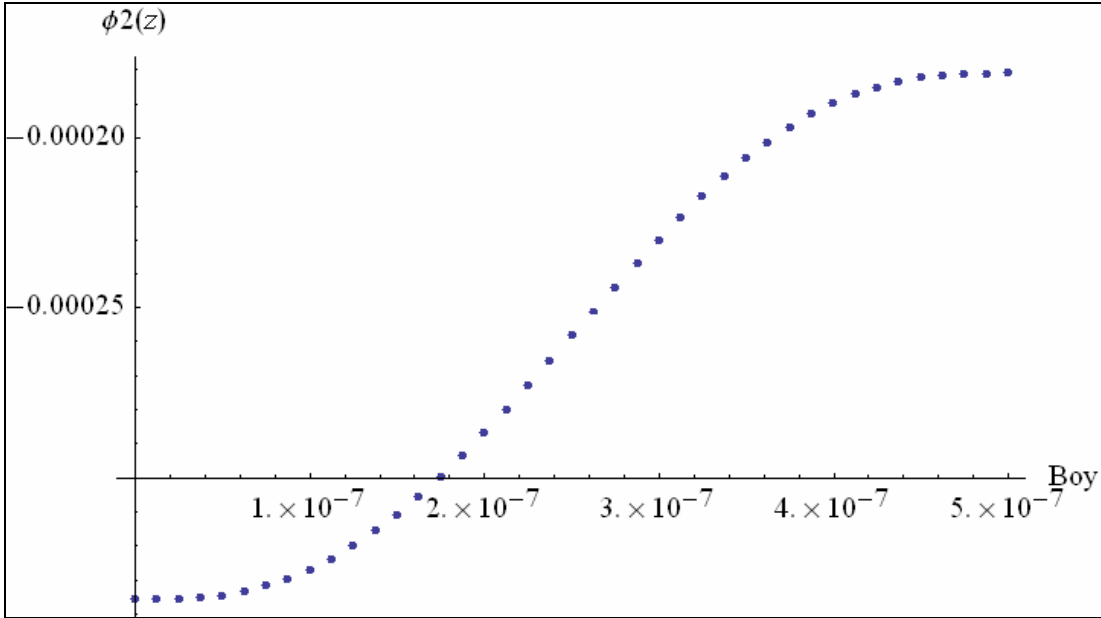
Şekil 5.18 : 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.18’de 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti sıfırdır. Çünkü sistem tek ucu ankastredir. 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri $L= 25.10^{-8}$ cm ve $L=50.10^{-8}$ cm’de sıfır olmuştur. 2. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum değeri ise $\pm 4.10^{-11}$ N’dur. Şekil 5.18’den de anlaşılacağı gibi tüplerin boyu artırıldığında “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri de artmaktadır.



Şekil 5.19 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

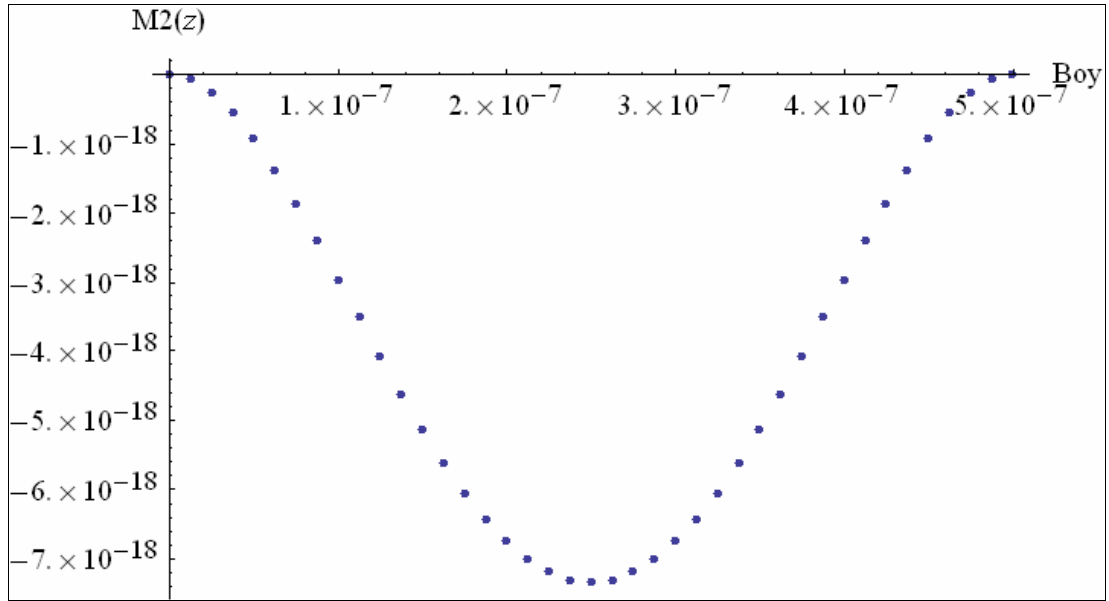
Şekil 5.19’da 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri görülmektedir. $L=50.10^{-8}\text{cm}$ ’e doğru gidildikçe “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değeri artmaktadır. Çökme $L=50.10^{-8}\text{cm}$ ’de maksimum değeri olan -1.10^{-10}cm ’e kadar ulaşmıştır.



Şekil 5.20 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

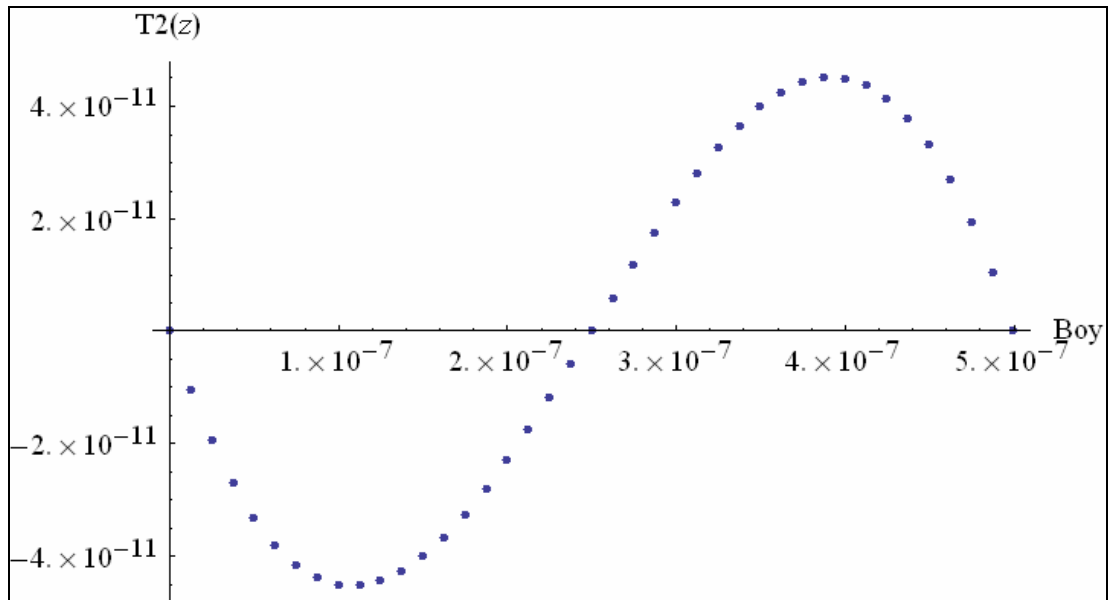
Şekil 5.20’de 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri okunmaktadır. Bu durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değeri maksimum -0.00025 radyandır. Tüplerin boyu 1.durumdakine göre arttırıldığında “2 no.’lu”

tüpte meydana gelen maksimum dönme değerinin de arttığı şekil 5.20’den görülmektedir.



Şekil 5.21 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.

Şekil 5.21’de 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da ve $L=50.10^{-8}$ cm’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değeri sıfırdır. $L=25.10^{-8}$ cm’de ise maksimum değeri olan $MM=-7.10^{-18}$ N.cm’e ulaşmaktadır.



Şekil 5.22 : 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.22’de 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana kesme kuvveti değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri sıfırdır. 2. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri $L=25.10^{-8}$ cm ve $L=50.10^{-8}$ cm’de sıfır olmuştur. Bu durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $\pm 4.10^{-11}$ N olup, bu sonuç 1 ve “2 no.’lu” tüplerin birbirleriyle bir etkileşim içinde oldukları göstermektedir.

5.4.3 Üçüncü Durum

Tüplerin boyu ;

$L=40.10^{-8}$ cm olarak seçilmiştir.

$$l \text{ nanometre} = 1.10^{-7} \text{ cm}, \quad (5.120)$$

$$\text{Elastisite modülü } E = 0.8 \text{ TPA ve } l \text{ TPA} = l * 10^8 \text{ N/cm}^2 \quad (5.121)$$

$$c = Cxd \quad (5.122)$$

$$d = (d_1 + d_2)/2 \text{ (ortalama yarıçap)} \quad (5.123)$$

$$C = 10^{20} \text{ J/m}^4 \text{ ve joule (J) = Newtonmetre} \quad (5.124)$$

$$C = 10^{20} \text{ J/m}^4 = 10^{20} \text{ N/m}^3 = 10^{20} \text{ N/(100cm)}^3 = 10^{14} \text{ N/cm}^3 \quad (5.125)$$

$$d_1 = 10.10^{-7} \text{ cm}, d_2 = 8.10^{-7} \text{ cm}, d = 9.10^{-7} \text{ cm} \quad (5.126)$$

$$c = 10^{14} \times 9.10^{-7} = 9.10^{-7} \text{ N/cm}^2 \quad (5.127)$$

$$R_1 = ExI_1 \quad (5.128)$$

$$R_1 = 0.8 \times 10^8 \times \pi \times (10.10^{-7})^4 \quad (5.129)$$

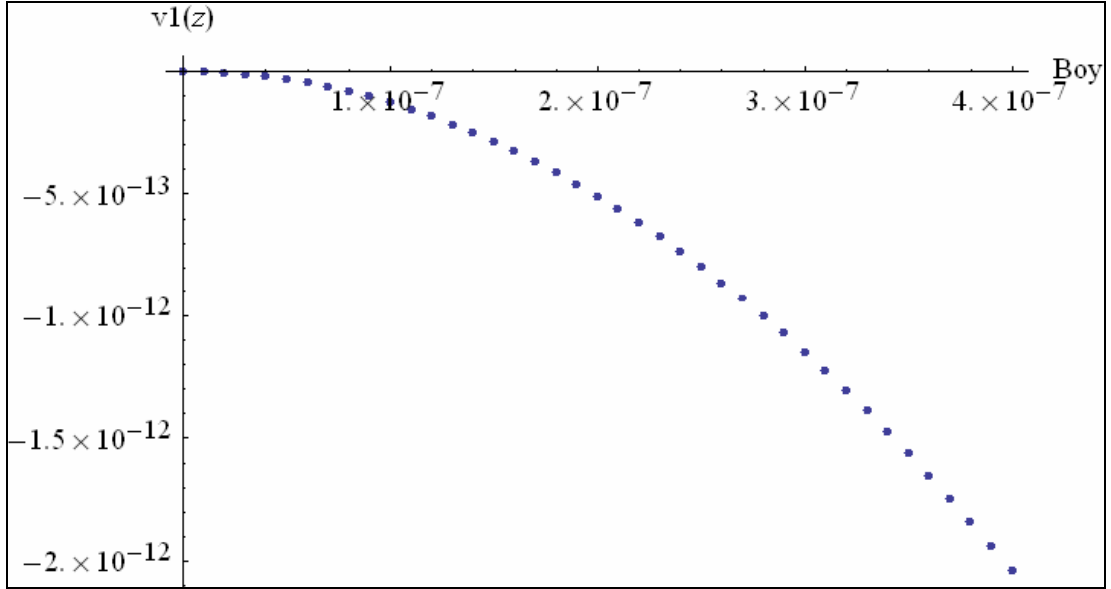
$$R_1 = 125 \times 10^{-20} \times \pi \times \text{N/cm}^4 \quad (5.130)$$

$$R_2 = ExI_2 \quad (5.131)$$

$$R_2 = 51.2 \times 10^{-20} \times \Pi \times N/cm^4 \quad (5.132)$$

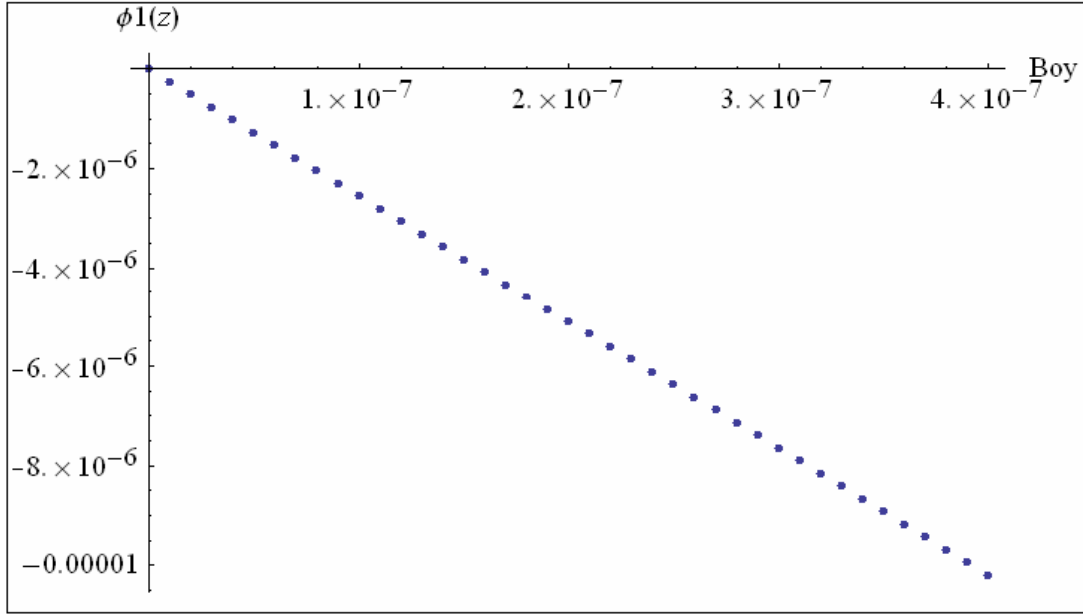
$$MM = 10^{-16} N.cm \quad (5.133)$$

Aynı işlemler 3.duruma ait değerler dikkate alınarak tekrarlanırsa aşağıdaki grafikler elde edilir.



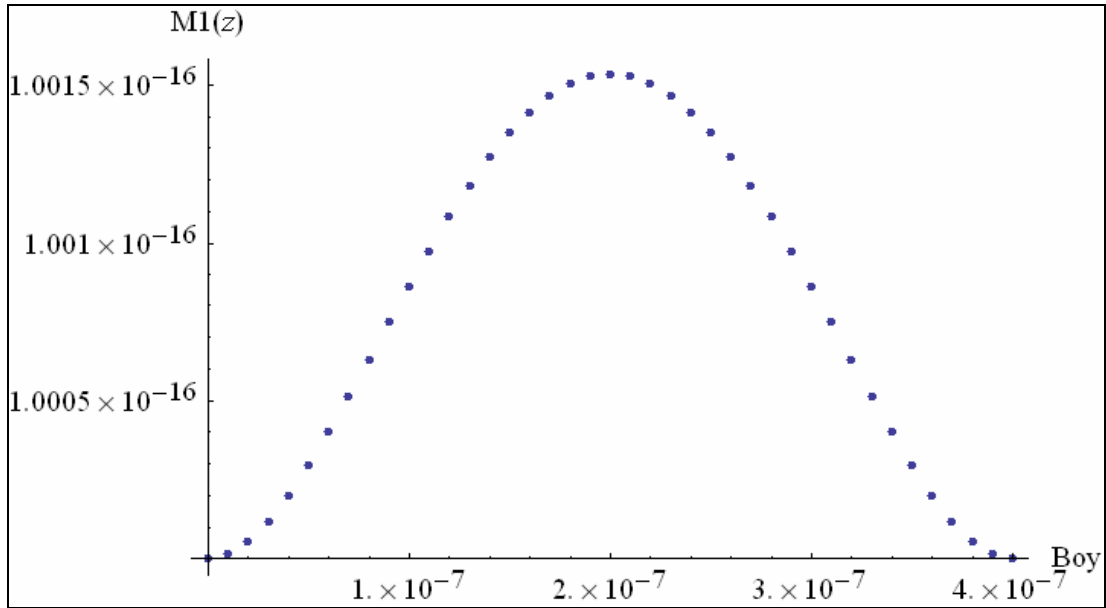
Şekil 5.23 : 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

Şekil 5.23’te 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da çökme sıfırdır. Çünkü sistem tek ucu ankastredir. $L=0$ ’dan $L=40.10^{-8}$ cm’e doğru gidildikçe “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değeri sistemden beklenildiği gibi artmaktadır. Çökme $L=40.10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan -2.10^{-12} cm’e kadar ulaşmıştır. $c=9.10^{-7} N/cm^2$ ’ye kadar arttığından, tüplerin boyu 1.durumdakiyle aynı olmasına rağmen, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökmenin 1. duruma göre azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.24 : 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

Şekil 5.24’te 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da “1 no.’lu” tüp hareket etmemektedir. Çünkü sistem tek ucu ankastredir. $L=0$ ’dan $L=40.10^{-8}$ cm’e doğru gidildikçe “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değeri artmakta olup, $L=40.10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan -1.10^{-5} radyana ulaşmıştır. 3.durumda c değerinin artmasıyla birlikte, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme miktarının 1.durumdakine göre azaldığı şekil 5.24’ten görülmektedir.



Şekil 5.25 : 3.durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.

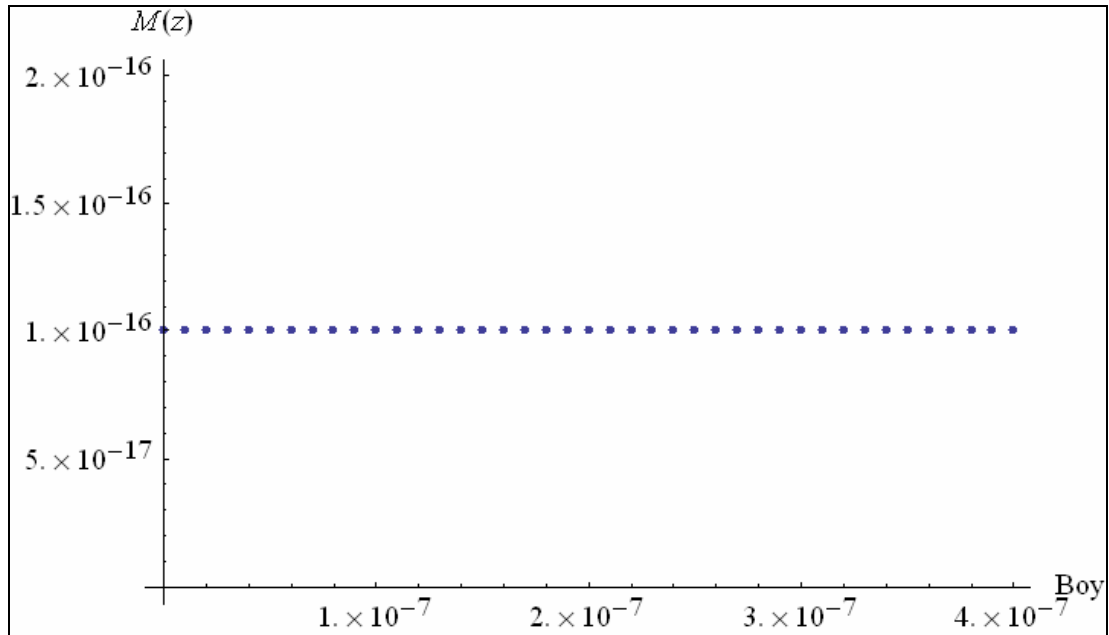
Şekil 5.25'te 3. durumda "1 no.'lu" tüpte meydana gelen moment değerleri okunmaktadır. $L=0$ 'da ve $L=40.10^{-8}$ cm'de "1 no.'lu" tüpte meydana gelen moment $MM=1.10^{-16}$ N.cm'dir.

3. durumda her 2 tüpte moment değerlerinde değişimler olsada, sistem içinde toplam moment her zaman korunmalıdır. Sistem tek ucu ankastre olduğundan toplam moment her zaman için başlangıçtaki değeri olan $MM=1.10^{-16}$ N.cm'e eşit olmalıdır.

Başlangıçtaki momentin korunup, korunmadığını kontrol etmek için ;

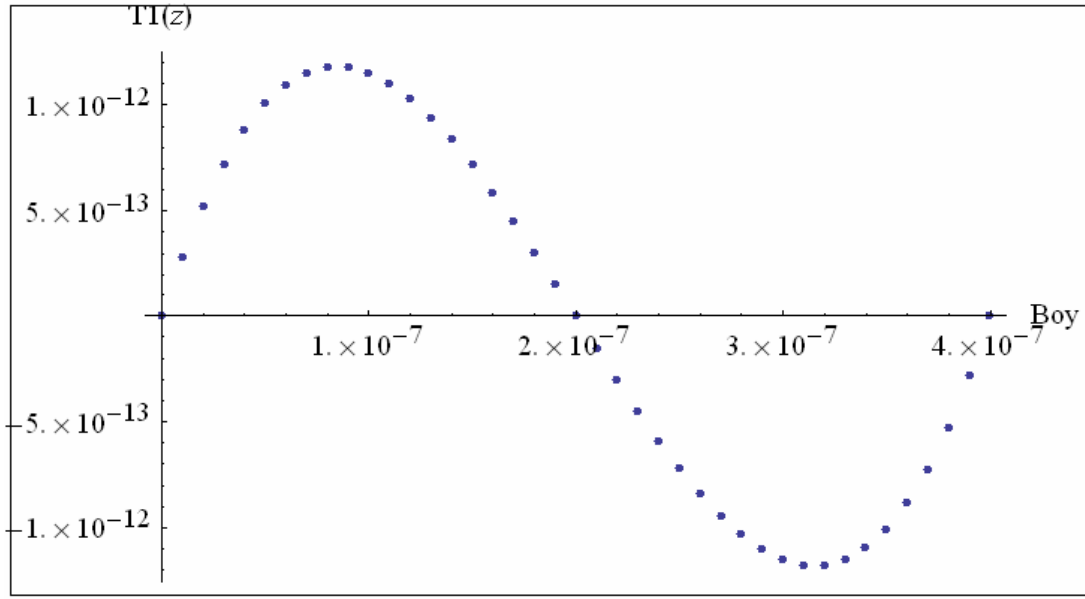
```
aa3=Chop[Re[Table[{ss,N[M1[ss]+[M2[ss]]},{ss,0,L,L/40}],10^(-60)];
```

ListPlot[aa3] komutu programa girilirse şekil 5.26 elde edilir.



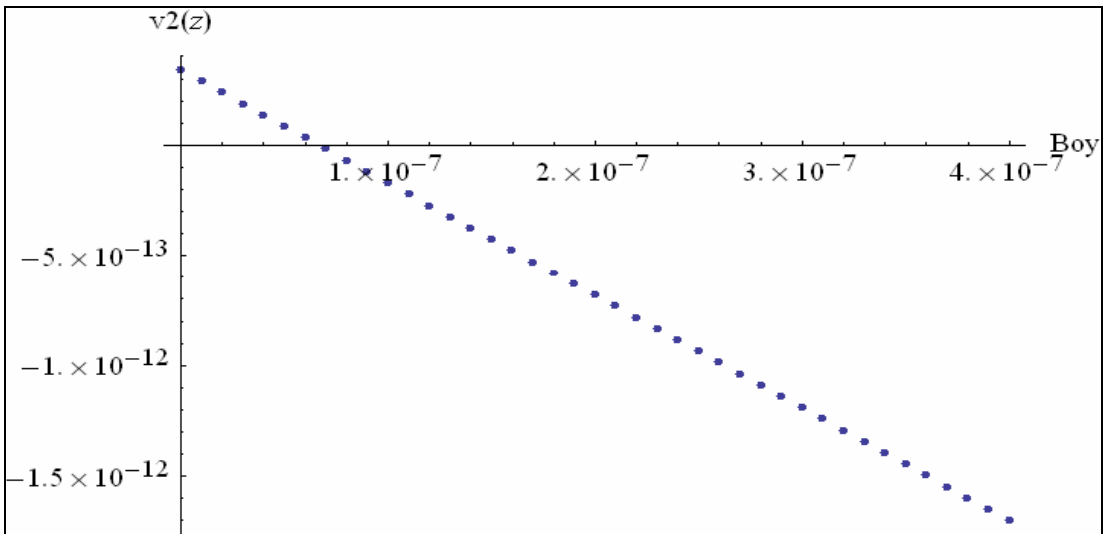
Şekil 5.26 : 3. durumda her 2 tüpte meydana gelen toplam moment değeri.

Şekil 5.26'da 3. durumda tüplerde meydana gelen toplam moment değeri görülmektedir. $L=0$ 'dan $L=40.10^{-8}$ cm'e kadar tüplerde meydana gelen toplam moment değeri sabit ve başlangıç koşullarındaki değeri olan $MM=1.10^{-16}$ N.cm kadardır. Tüplerin yarıçaplarının artması sonucu c değeri artmış olup, başlangıçtaki moment değerini değiştirilmediğinden sistemde meydana gelen toplam moment değeri aynı kalmıştır.



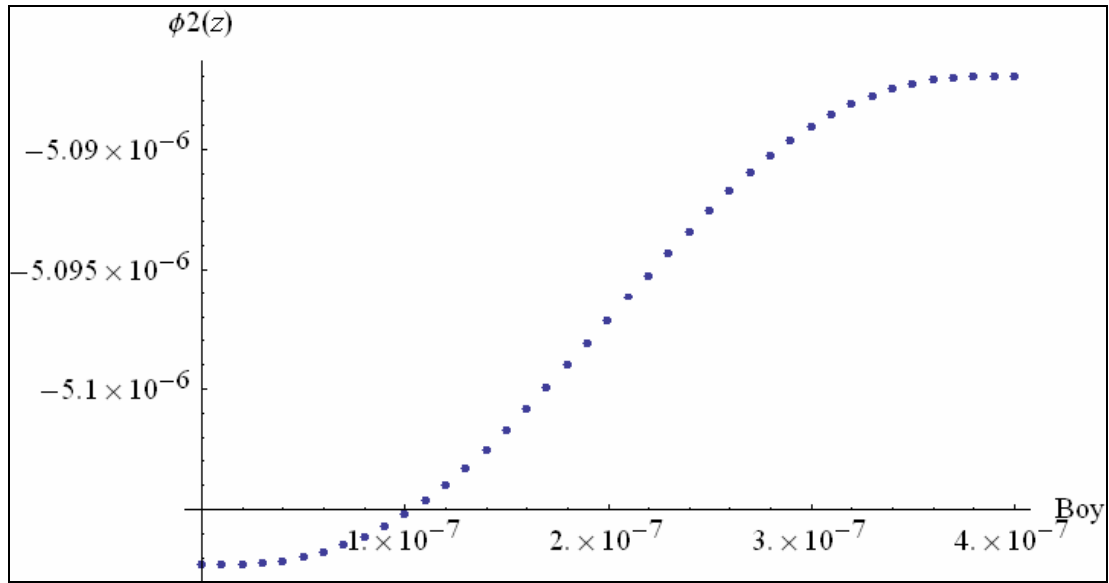
Şekil 5.27 : 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.27’de 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri başlangıç koşullarından dolayı sıfırdır. 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değeri $L=10 \cdot 10^{-8}$ cm’e kadar bir artış göstermiş, $L=20 \cdot 10^{-8}$ cm ve $L=40 \cdot 10^{-8}$ cm’de ise sıfır olmuştur. $L=10 \cdot 10^{-8}$ cm ve $L=30 \cdot 10^{-8}$ cm’de 3. durumda “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti maksimum değeri olan $\pm 1 \cdot 10^{-12}$ N’a ulaşmıştır. 3. durumda tüplerin boyu 1. durumdakiyle aynı bırakılıp, c değerini arttırıldığında, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerlerinin de azaldığı Şekil 5.27’de görülmektedir.



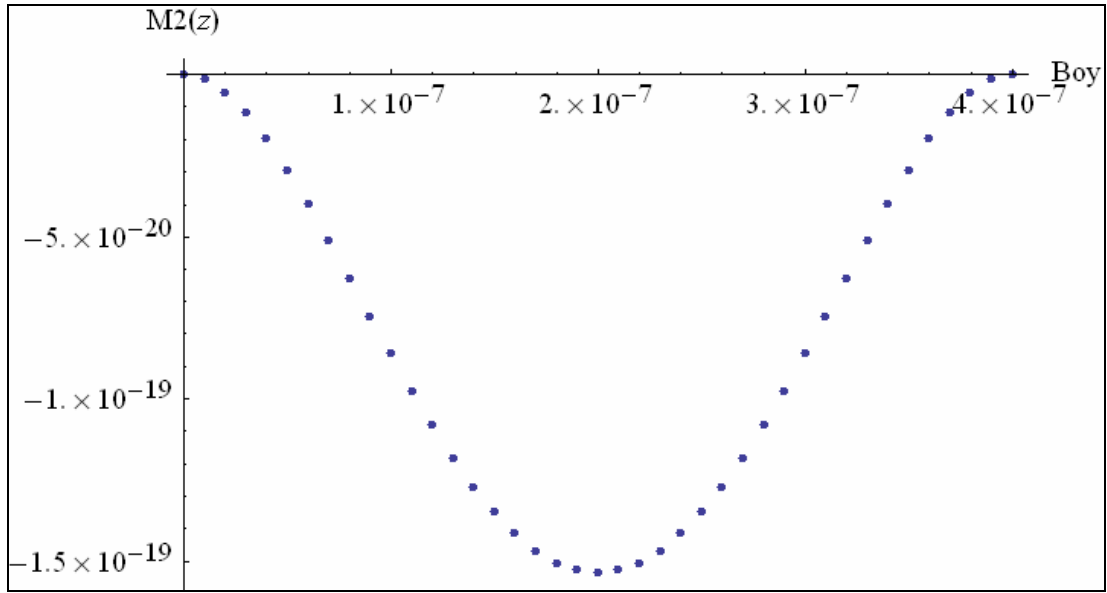
Şekil 5.28 : 3. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

Şekil 5.28’de 3. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da bir miktar çökme gerçekleşirken yaklaşık $L=6.10^{-8}$ cm’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değeri sıfır olmaktadır. 3. durumda $L=10.10^{-8}$ cm’den $L=40.10^{-8}$ cm’e doğru gidildikçe “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değeri artmaktadır. Çökme $L=40.10^{-8}$ cm’de maksimum değeri olan $-1.5.10^{-12}$ cm’e ulaşmıştır. c değeri arttığında, 3. durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değerinin, 1.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değerinden daha az olduğu belirlenmiştir.



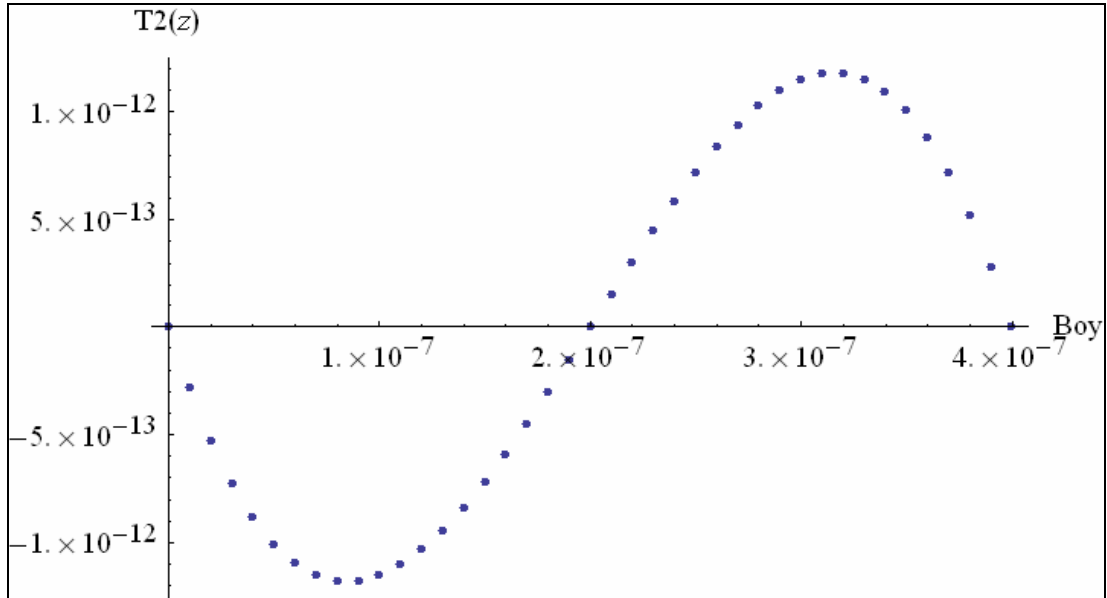
Şekil 5.29 : 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri

Şekil 5.29’da 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri görülmektedir. Bu durumda $L=0$ ile $L=10.10^{-8}$ cm arasında “2 no.’lu” tüpte bir miktar dönme gerçekleşmekte $L=10.10^{-8}$ cm’de ise dönme olmamakta, daha sonra çubuğun boyu arttıkça dönme miktarı da azalmaktadır. 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme miktarının -5.1×10^{-6} radyan olduğu görülmektedir.



Şekil 5.30 : 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.

Şekil 5.30’da 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri okunmaktadır. $L=0$ ’da ve $L=40.10^{-8}$ cm’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değeri sıfırdır. $L=20.10^{-8}$ ’de maksimum değeri olan $MM=-1.5.10^{-19}$ kadardır. c değerini arttırıldığında, 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum moment değerinin, 1.durumda “2 no.’lu” tüpte oluşan maksimum moment değerine göre azaldığı görülmektedir.

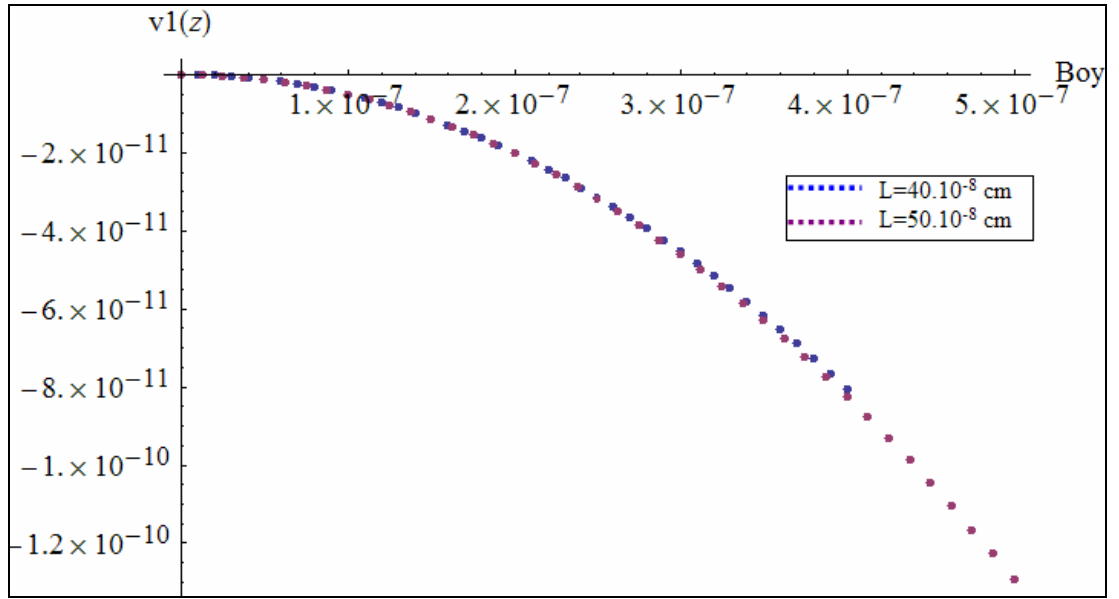


Şekil 5.31 : 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.31’de 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. $L=0$ ’da “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti sıfırdır.

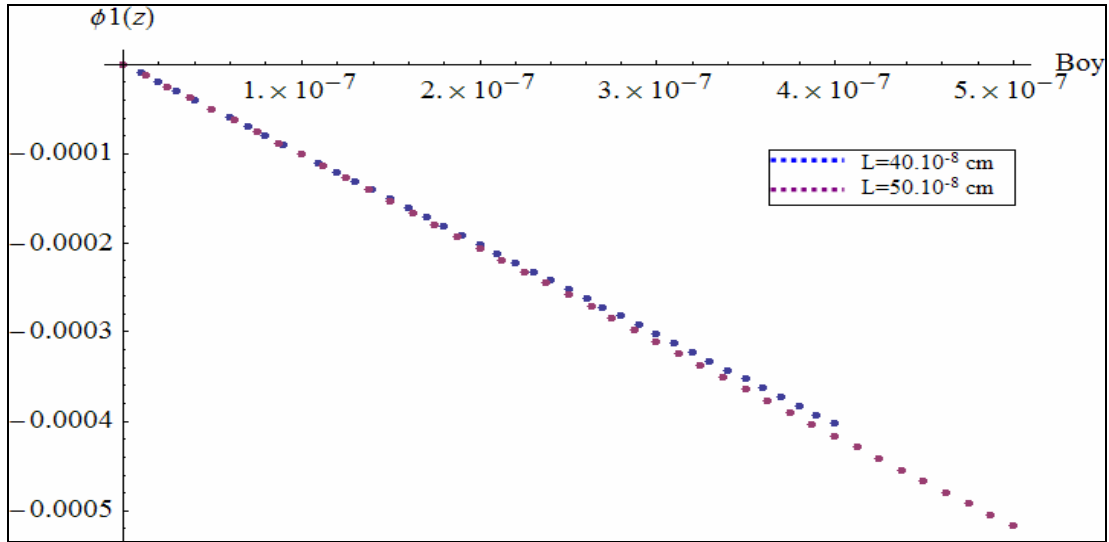
3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana kesme kuvveti değeri $L= 10.10^{-8}$ cm’e kadar bir artış göstermiş, $L=20.10^{-8}$ cm ve $L=40.10^{-8}$ cm’de sıfır olmuş, $L=10.10^{-8}$ cm ve $L=30.10^{-8}$ cm’de ise maksimum değeri olan $\pm 1.10^{-12}$ N değerine ulaşmıştır. Şekil 5.31’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri, “1 ve 2 no.’lu” tüplerin birbirleriyle bir etkileşim içinde oldukları göstermektedir. 3.durumda “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri, aynı tüpte ortaya çıkan çökme, dönme ve moment değerlerinde olduğu gibi 1.duruma göre bir azalma göstermektedir.

5.4.4 Birinci ve ikinci duruma ait grafiklerinin değerlendirilmesi



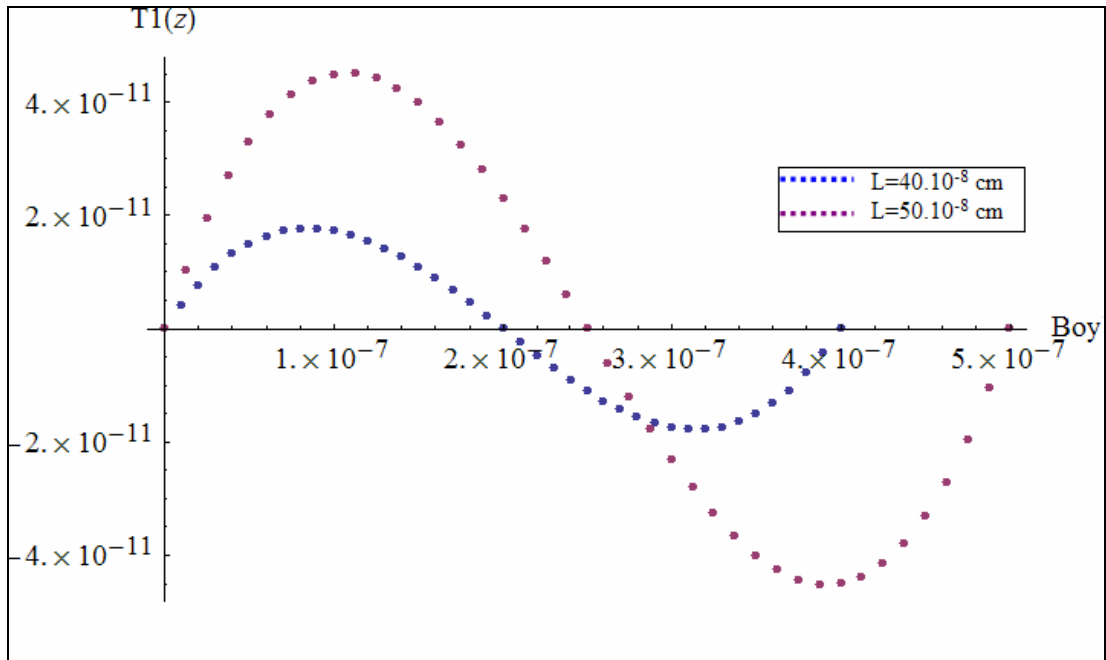
Şekil 5.32 : 1. ve 2.duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

Şekil 5.32’de 1. ve 2. Duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri görülmektedir. Diğer bir söyleyişle şekil 5.32’de, şekil 5.5 ile şekil 5.14’deki “1 no.’lu” tüpe ait çökme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.5’de “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri -8.10^{-11} cm olurken, şekil 5.14’de “1 nolu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri $-1.2.10^{-10}$ cm olmuştur. Şekil 5.32’den de görüldüğü gibi tüplerin boyu arttıkça “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri de artmaktadır.



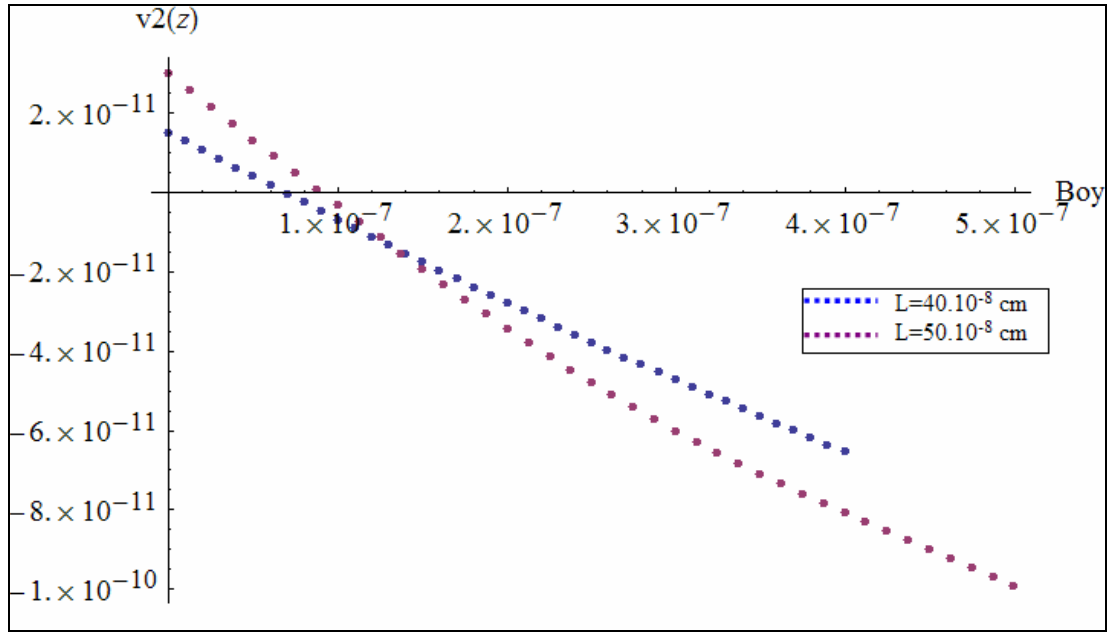
Şekil 5.33 : 1. ve 2. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

Şekil 5.33’de 1. ve 2. Duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.33’de şekil 5.6 ile şekil 5.15’deki “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.6’da “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri -4.10^{-4} radyan olurken, şekil 5.15’de “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri -5.10^{-4} radyan olmuştur. Şekil 5.33’den de görüldüğü gibi tüplerin boyu arttıkça, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri de artmaktadır.



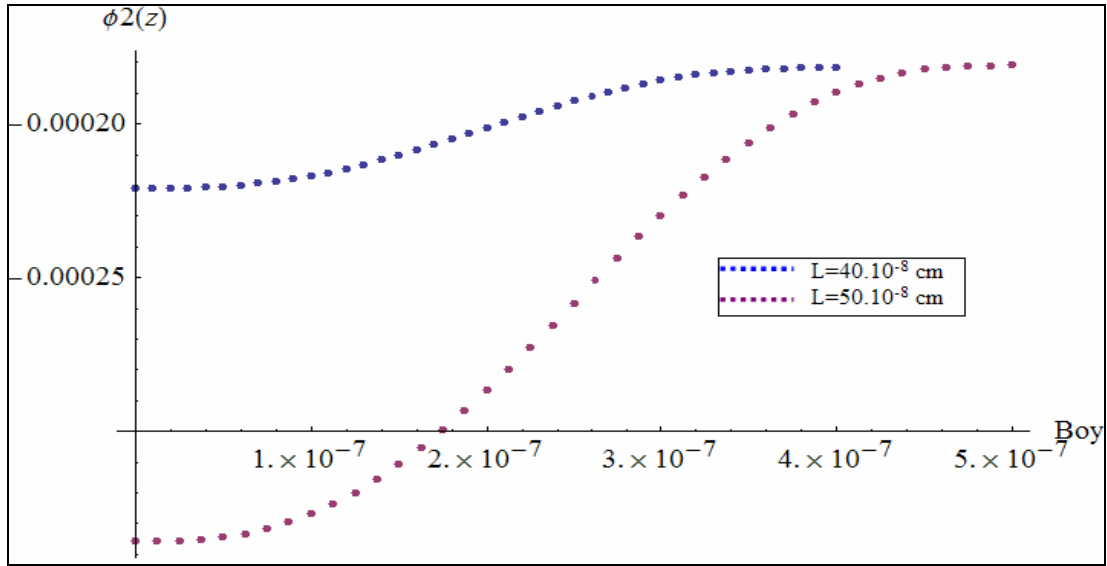
Şekil 5.34 : 1. ve 2. duruma ait “1 nolu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.34'te 1. ve 2. Duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.34'te şekil 5.9 ile şekil 5.18'deki “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.9'da “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $\pm 1.5 \cdot 10^{-11}$ N olurken, şekil 5.18'de “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $\pm 4 \cdot 10^{-11}$ N olmuştur. Şekil 5.33'den de görüldüğü gibi tüplerin boyu arttıkça, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri de artmaktadır.



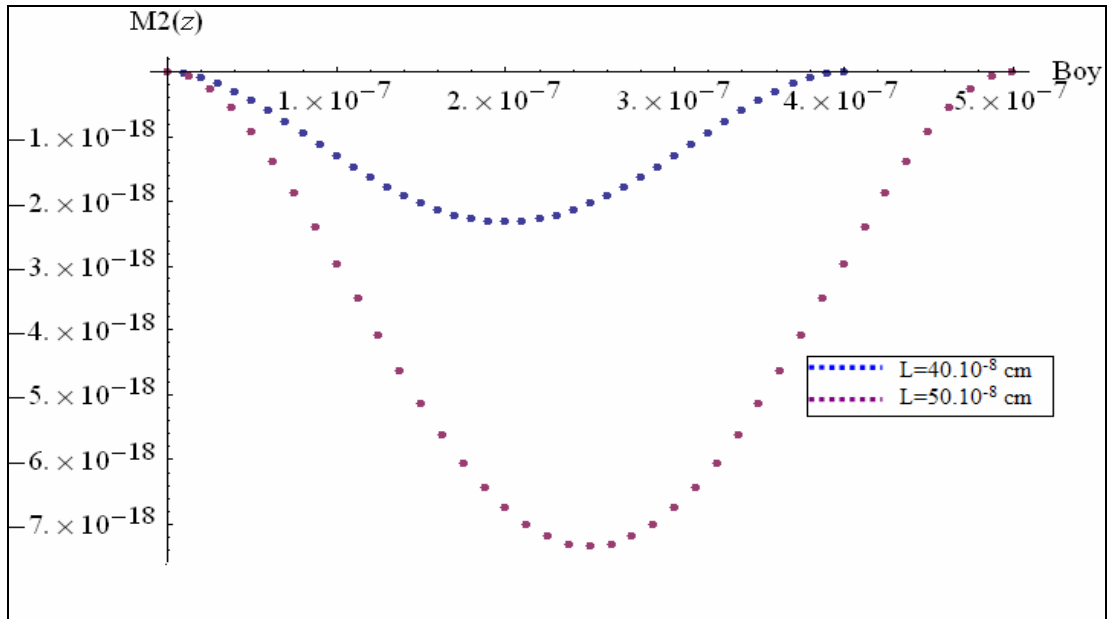
Şekil 5.35 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

Şekil 5.35'te 1. ve 2. Duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri okunmaktadır. Diğer bir ifadeyle şekil 5.35'te şekil 5.10 ile şekil 5.19'daki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.10'da “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri $-6 \cdot 10^{-11}$ cm olurken, şekil 5.19'da “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri $-1 \cdot 10^{-10}$ cm olmuştur. Şekil 5.35'ten de görüldüğü gibi tüplerin boyu arttıkça, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri de artmaktadır.



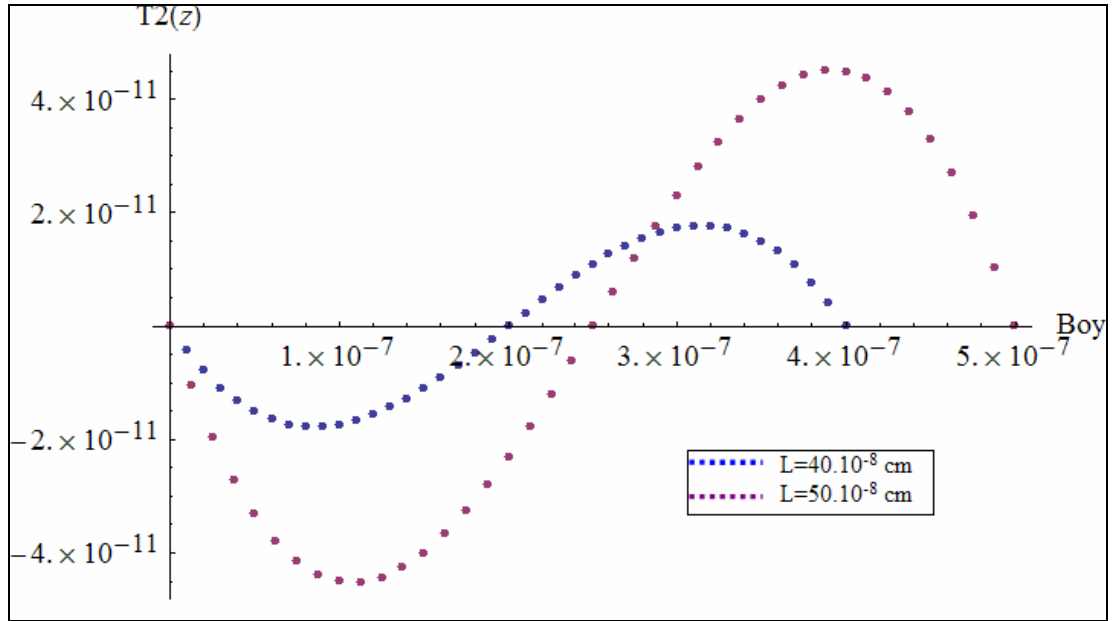
Şekil 5.36 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

Şekil 5.36’da 1. ve 2. Duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri okunmaktadır. Diğer bir ifadeyle şekil 5.36’da şekil 5.11 ile şekil 5.20’deki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.11’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri 0.00021 radyan olurken, şekil 5.20’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri 0.00025 radyan olmuştur. Şekil 5.36’dan da görüldüğü gibi tüplerin boyu arttıkça, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri de artmaktadır.



Şekil 5.37 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.

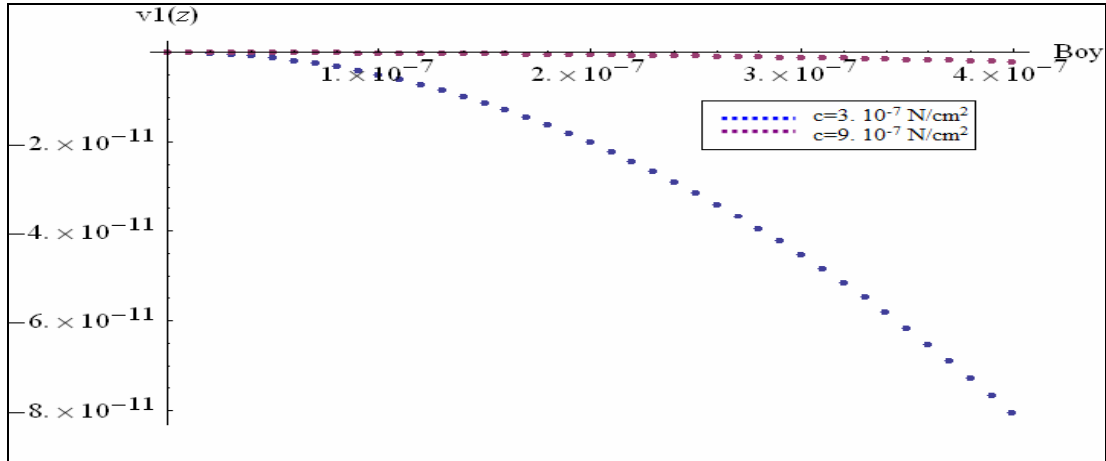
Şekil 5.37’de 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri okunmaktadır. Diğer bir ifadeyle şekil 5.37’de şekil 5.12 ile şekil 5.21’deki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.12’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum moment değeri 2.10^{-18} N.cm olurken, şekil 5.21’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum moment değeri -7.10^{-18} N.cm olmuştur. Şekil 5.37’den de görüldüğü gibi tüplerin boyu arttıkça, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri de artmaktadır.



Şekil 5.38 : 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvvetleri.

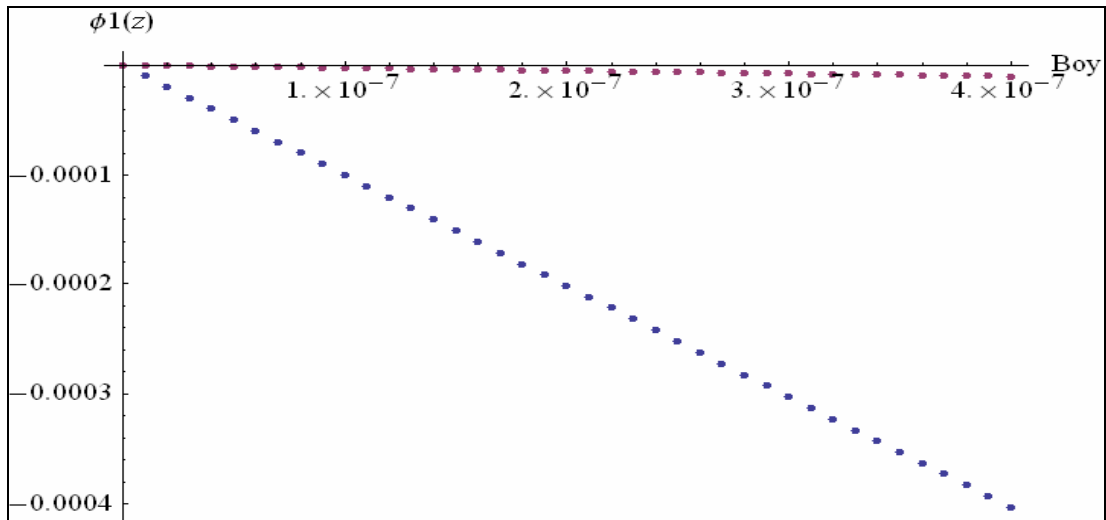
Şekil 5.38’de 1. ve 2. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri okunmaktadır. Diğer bir ifadeyle şekil 5.38’de şekil 5.13 ile şekil 5.22’deki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.13’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $-1.5.10^{-11}$ N olurken, şekil 5.22’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri -4.10^{-11} N olmuştur. Şekil 5.33’den de görüldüğü gibi tüplerin boyu arttıkça, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri de artmaktadır.

Birinci ve üçüncü duruma ait grafiklerin değerlendirilmesi



Şekil 5.39 : 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

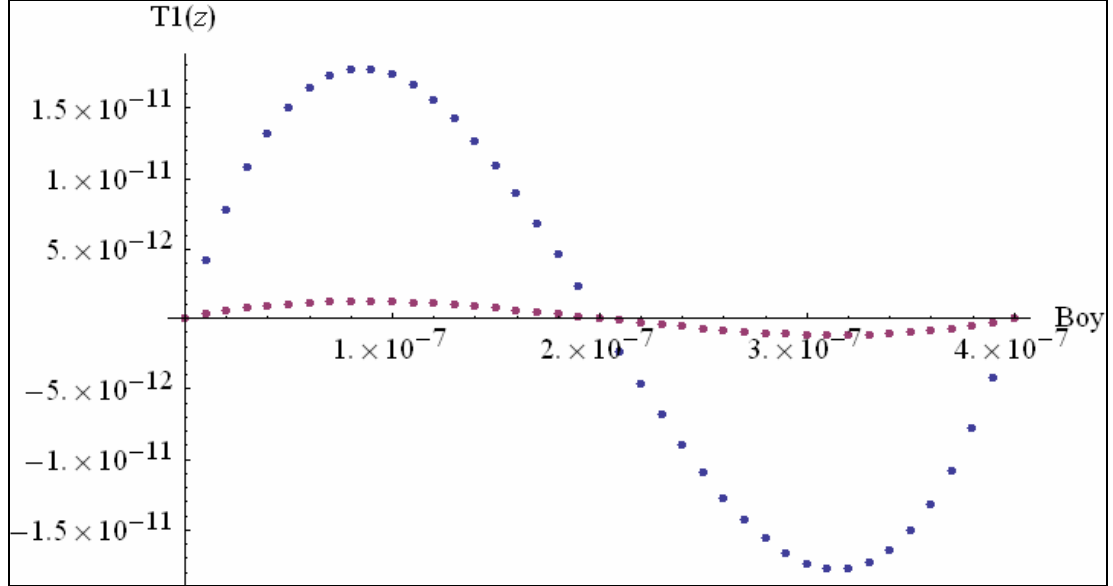
Şekil 5.39’da 1. ve 3. Duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.39’da şekil 5.5 ile şekil 5.23’deki “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.5’te “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri $-8 \cdot 10^{-11} \text{ cm}$ olurken, şekil 5.23’te “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri $-2 \cdot 10^{-12} \text{ cm}$ olmuştur. Şekil 5.39’dan da görüldüğü gibi tüplerin yarıçaplarının arttırılmasına bağlı olarak c değeri arttığında, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri azalmaktadır.



Şekil 5.40 : 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

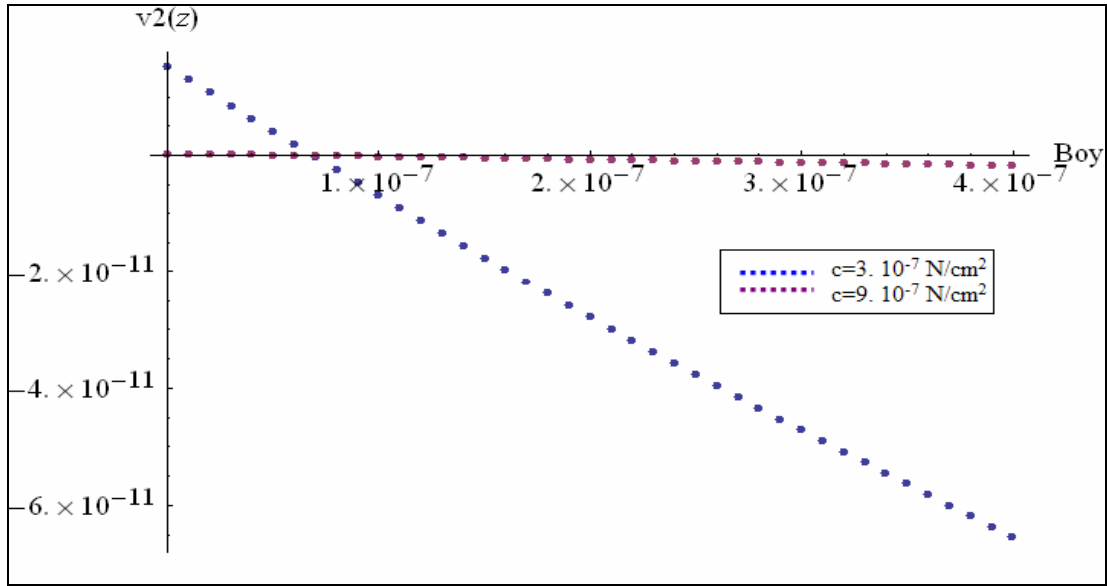
Şekil 5.40’ta 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.40’ta şekil 5.6 ile şekil 5.24’teki “1 no.’lu”

tüpte meydana gelen dönme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.6’da “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri -0.0004 radyan olurken, şekil 5.24’te “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri -0.00001 radyan olmuştur. Şekil 5.40’tan da görüldüğü gibi tüplerin yarıçaplarının arttırılmasına bağlı olarak c değeri arttığında, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri azalmaktadır.



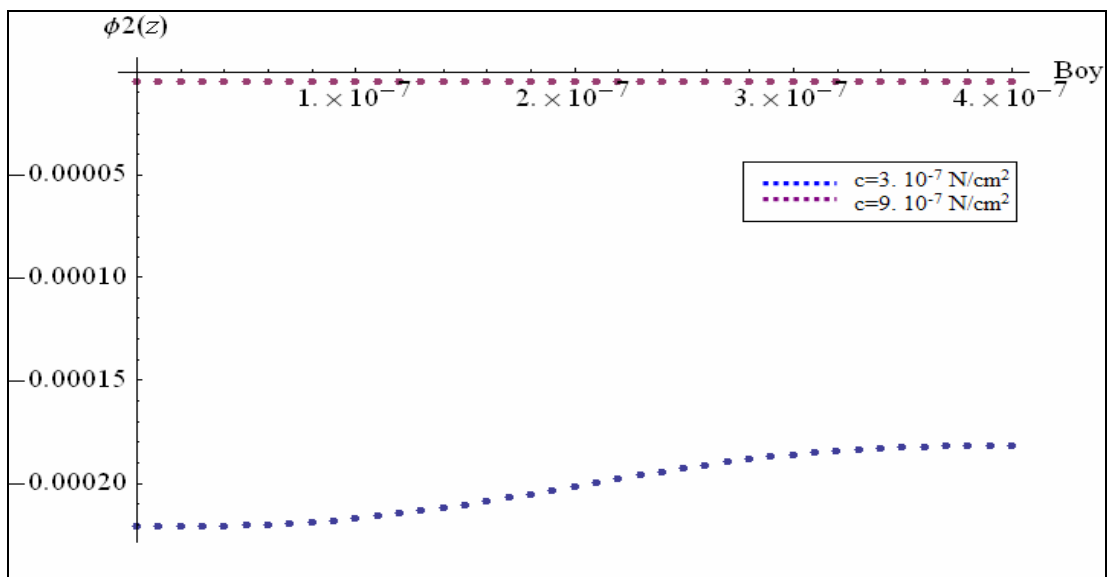
Şekil 5.41 : 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.41’de 1. ve 3. duruma ait “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.41’de şekil 5.9 ile şekil 5.27’deki “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.9’da “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $1.5 \cdot 10^{-11}$ N olurken, şekil 5.27’de “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $1 \cdot 10^{-12}$ N olmuştur. Şekil 5.41’den de görüldüğü gibi tüplerin yarıçaplarının arttırılmasına bağlı olarak c değeri arttığında, “1 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri azalmaktadır.



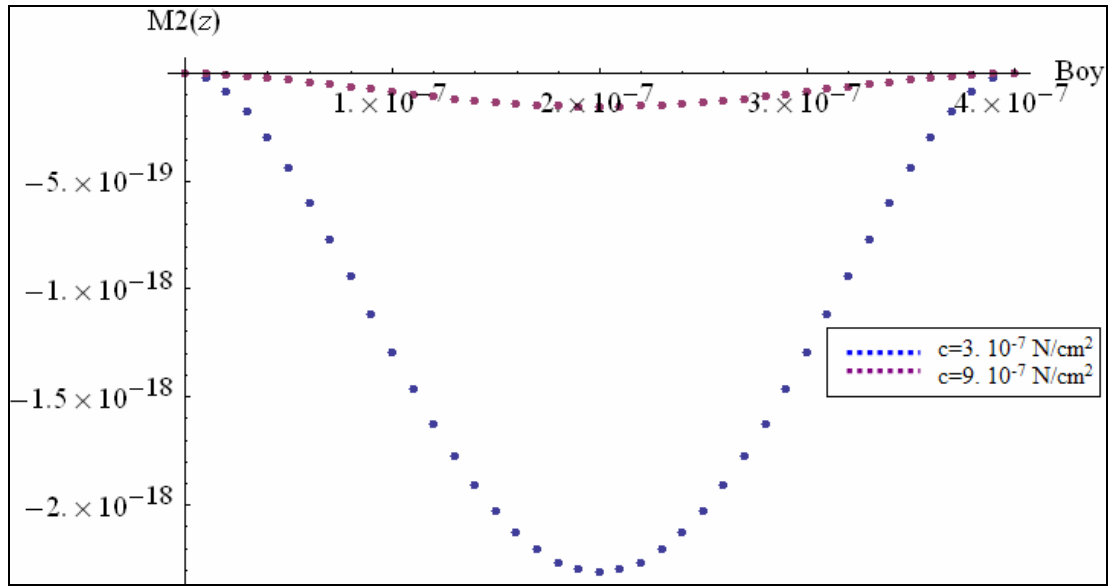
Şekil 5.42 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri.

Şekil 5.42’de 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.42’de şekil 5.10 ile şekil 5.28’deki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.10’da “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri -6.10^{-11} cm olurken, şekil 5.28’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum çökme değeri $-1.5.10^{-12}$ cm olmuştur. Şekil 5.42’den da görüldüğü gibi tüplerin yarıçaplarının arttırılmasına bağlı olarak c değeri arttığında, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen çökme değerleri azalmaktadır.



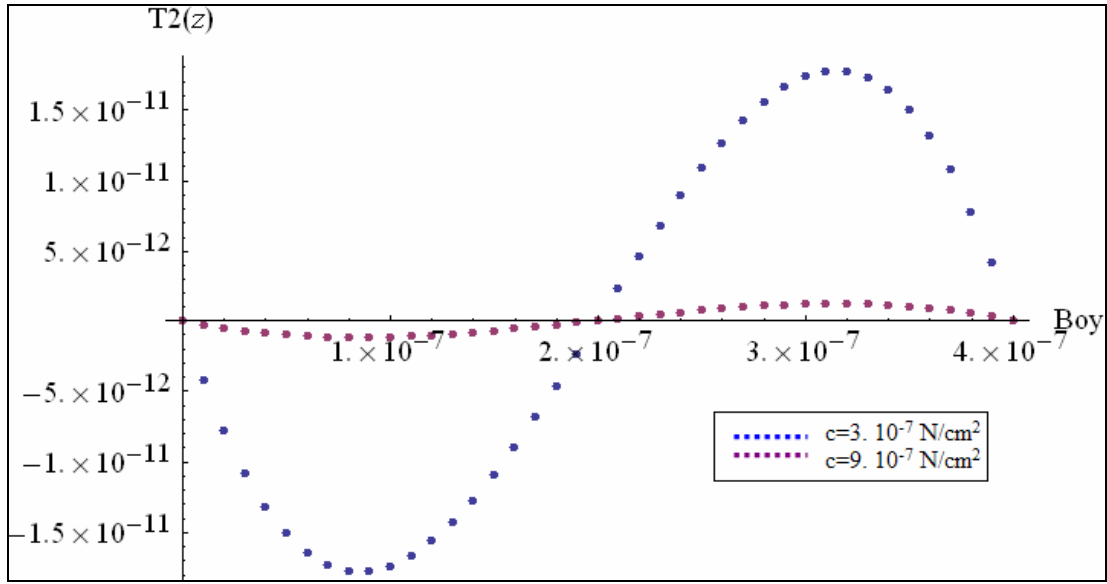
Şekil 5.43 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri.

Şekil 5.43'te 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.43'te şekil 5.11 ile şekil 5.29'daki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.11'de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri -0.0002 radyan olurken, şekil 5.29'da “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum dönme değeri $-5.1 \cdot 10^{-6}$ radyan olmuştur. Şekil 5.43'ten de görüldüğü gibi tüplerin yarıçaplarının arttırılmasına bağlı olarak c değeri arttığında, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen dönme değerleri azalmaktadır.



Şekil 5.44 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri.

Şekil 5.44'te 1. ve 3. Duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri okunmaktadır. Diğer bir ifadeyle şekil 5.44'te şekil 5.12 ile şekil 5.30'daki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.12'de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum moment değeri -2.10^{-18} N.cm olurken, şekil 5.30'da “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum moment değeri $-1.5.10^{-19}$ N.cm olmuştur. Şekil 5.44'ten de görüldüğü gibi tüplerin yarıçaplarının arttırılmasına bağlı olarak c değeri arttığında, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen moment değerleri azalmaktadır.



Şekil 5.45 : 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri.

Şekil 5.45’te 1. ve 3. duruma ait “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle şekil 5.41’de şekil 5.13 ile şekil 5.31’deki “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.31’de “2 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $1.5 \cdot 10^{-11} \text{ N}$ olurken, şekil 5.13’de “1 no.’lu” tüpte meydana gelen maksimum kesme kuvveti değeri $1 \cdot 10^{-12} \text{ N}$ olmuştur. Şekil 5.45’ten de görüldüğü gibi tüplerin yarıçaplarının arttırılmasına bağlı olarak c değeri arttığında, “2 no.’lu” tüpte meydana gelen kesme kuvveti değerleri azalmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

20. yüzyılın son çeyreğinde mikroelektronikğin gelişip her alanda uygulama bulması ve daha sonra ‘internet’ in hızla yayılması bilimsel ve teknolojik gelişmeleri de inanılması güç bir şekilde hızlandırdı. Bilgi-enformasyon çağında yüksek teknolojiye her alanda, özellikle iletişim ve bilişim dallarında gelen talepler bilim adamlarını olağanüstü özelliklere sahip yeni malzemeleri ve yeni üretim yöntemlerini aramaya yöneltti. Günümüzde, bilimlerdeki hızlı gelişmelerin en heyecan verici ve ilgi uyandıran kısmı nanoteknolojidir. Bu alan sayesinde, endüstriyel ve teknoloji alanlarında olduğu gibi biyoloji ve tıp alanlarında da hızlı gelişmeler görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında; nanoteknolojinin tanımı ve amacı, tarihi, kullanım alanları, yararları, gelecekteki uygulama alanları, Dünya ve Türkiye’deki yeri anlatılmıştır. Tek ve çok duvarlı karbon nanotüplerden ve Van der Waals bağlarından bahsedilmiştir. İç içe geçmiş yarıçapları farklı 2 karbon nanotüp ele alınmış ve başlangıç koşulları altında sistem çözümü yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda 2 tüpte ortaya çıkan çökme, dönme, kesme kuvveti ve moment değerleri incelenmiştir.

Öncelikle 3 ayrı durum için incelemeler yapılmış ve bazı sonuçlara ulaşılmıştır. 2. ve 3. durumda, 1. durumdaki bazı değerler değiştirilmiş, 1. durumda ortaya çıkan sonuçlarla bir karşılaştırmaya gidilmiştir. 2. durumda çubuğun boyu arttırılarak “1 ve 2 no.’lu” tüplerde meydana gelen çökme, dönme, kesme kuvveti ve moment değerleri incelenmiştir. 3. durumda ise çubuğun boyu 1. durumdaki değeriyle aynı kalmış, “1 ve 2 nolu” nanotüplerin çapları değiştirilmiştir. c değeride çapa bağlı olarak değişmektedir. 2. durumda çubuğun boyu arttırıldığında, 1. durumdaki değerlere göre “1 ve 2 no.’lu” tüpte ortaya çıkan çökme, dönme ve kesme kuvveti değerlerinin arttığı görülmektedir. Sistemdeki toplam moment değeri sabit olup, başlangıçtaki kadardır.

3. durumda ise; her iki tüpte de kesme kuvveti, dönme ve çökme değerlerinin 1. durumdaki kesme kuvveti, dönme ve çökme değerlerine göre azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca 3. durumda “2 no.’lu” tüpte oluşan moment değerleri, 1. durumdaki “2 no.’lu” tüpte oluşan moment değerlerine göre azalmıştır.

KAYNAKLAR

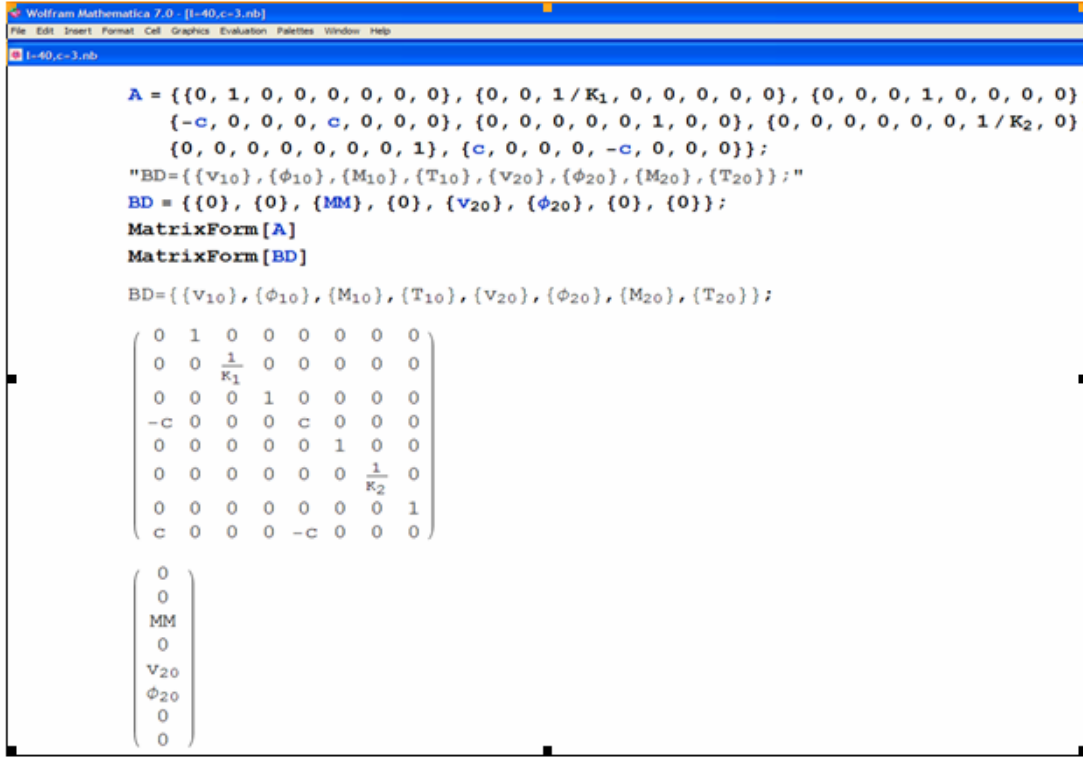
- Ayhan, A.**, 2002. *Dünden Bugüne Türkiye’de Bilim-Teknoloji ve Geleceğin Teknolojileri*, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul
- Balcı, H.**, 2006. Akıllı (fonksiyonel) Tekstiller Seçilmiş Kumaşlarda Antibakteriyel Apre ve Performans Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana
- Başaran, E.**, 1988. Nanoteknoloji. *Dünden Bugüne Türkiye’de Bilim-Teknoloji ve Geleceğin Teknolojileri* s.379-388, (A. AYHAN editör), Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul
- Bayındır, M.**, 2006 Akıllı kumaşlar hayatımızda. *Bilim ve Teknik*, Aralık, s. 1-2, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/Basin/NanoTekstil.pdf> , alındığı tarih, 30.10.2009.
- Bozkaya, Y.**, 2006a. Nanoteknoloji ve uygulamaları. İleri Teknolojiler Araştırma Birimi, Anadolu Üniversitesi, <http://www.robotlar.com/Nanoteknoloji>. alındığı tarih, 30.10.2009.
- Bozkaya, Y.**, 2006b. Nanoteknoloji Yüksek Lisans Programı. İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Nanoteknoloji Bilim Dalı, <http://www.itab.anadolu.edu.tr/itab/pdf/nylp.pdf>, alındığı tarih, 30.10.2009.
- Celep, Ş.**, 2007. Nanoteknoloji ve Tekstilde Uygulama Alanları, Çukurova Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi* , Adana
- Cenger, Y.**, 2007. Nanoteknoloji ve Karbon Nanoyapılar, Ankara Üniversitesi *Yüksek Lisans Tezi* , Ankara.
- Cireli, A., Kutlu, B., Onar, N., Erkan, G.**, 2006. Tekstilde İleri Teknolojiler, *Tekstil ve Mühendis* **13(61)**, s7-20.
- Çıracı, S.**, 2005. Metrenin Bir Milyarda Birinde Bilim ve Teknoloji . *Bilim ve Akıllı Teknik, Ağustos*, s. 6-10, <http://www.nano.bilkent.edu.tr/docs/BT-Yeni-Ufuklar.pdf> , alındığı tarih, 01.11.2009.
- Ersan, I.**, 2006. Sigorta sektörü nanoteknoloji devrimine hazır mı?. *Best*, **Sayı:32**, s.11-14, http://nano.bilkent.edu/docs/Best_derigisi.pdf, alındığı tarih, 01.11.2009
- İlgaz, T.**, 2006. Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Yeri. *Tekstil İşveren Ağustos*, s.3-4, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul
- Köse, S., Erdoğan, M., ve Güneş, İ.**, 2007. 21. Yüzyılda Nanoteknoloji Dünyası Makine İhtisas, <http://www.makineihtisas.com>., alındığı tarih, 01.11.2009
- Kut, D., Güneşoğlu, C.**, 2005. Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları. *Tekstil&Teknik*, **Şubat**, s. 224-230.

- Özdoğan, E., Demir, A., ve Seventekin, N.**, 2006. Lotus Etkili Yüzeyler. *Tekstil ve Konfeksiyon* dergisi, **16(1)** s. 287-290
- Uğur, F.**, 2006. Süper Beyinler Nanoteknoloji İçin Dönüyor. *Aksiyon*, **Eylül**, s. 40-47 http://www.nano.bilkent.edu.tr/docs/Aksiyon_NanoDosya.pdf, alındığı tarih 01.11.2009.
- Url-1** <<http://www.nanoturk.com/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-2** <<http://www.nanoturk.com/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-3** <<http://www.nanoturk.com/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-4** <<http://www.nanoturk.com/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-5** <<http://www.nanobilkent.edu.tr/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-6** <<http://www.nanoturk.com/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-7** <<http://www.nano.org.tr/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-8** <<http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-9** <<http://www.mam.gov.tr/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-10** <<http://tr.wikipedia.org/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Url-11** <<http://www.nanoteknolojimucizesi.com/>> alındığı tarih 30.10.2009
- Üreyen, M.E.**, 2006a. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları. *Gemsan Teknik Bülten*, *Mayıs-Ağustos*, s. 2-7.
- Yetgin, S.H.**, 2007. Nanoteknoloji ve Nano Kompozitler. Akıllı Metal Eğitimi Bölümü, Sakarya Üniversitesi
<http://web.sakarya.edu.tr/~hyetgin/Nano%20kompozitler.ppt#4> , alındığı tarih, 01.11.2009

EKLER

EK A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü

EK A.1



```

Wolfram Mathematica 7.0 - [I-40,c-3.nb]
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

I-40,c-3.nb

A = {{0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0}, {0, 0, 1/K1, 0, 0, 0, 0, 0}, {0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0},
      {-c, 0, 0, 0, c, 0, 0, 0}, {0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0}, {0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/K2, 0},
      {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1}, {c, 0, 0, 0, -c, 0, 0, 0}};
"BD={{v10},{phi10},{M10},{T10},{v20},{phi20},{M20},{T20}};"
BD = {{0}, {0}, {MM}, {0}, {v20}, {phi20}, {0}, {0}};
MatrixForm[A]
MatrixForm[BD]

BD={{v10},{phi10},{M10},{T10},{v20},{phi20},{M20},{T20}};

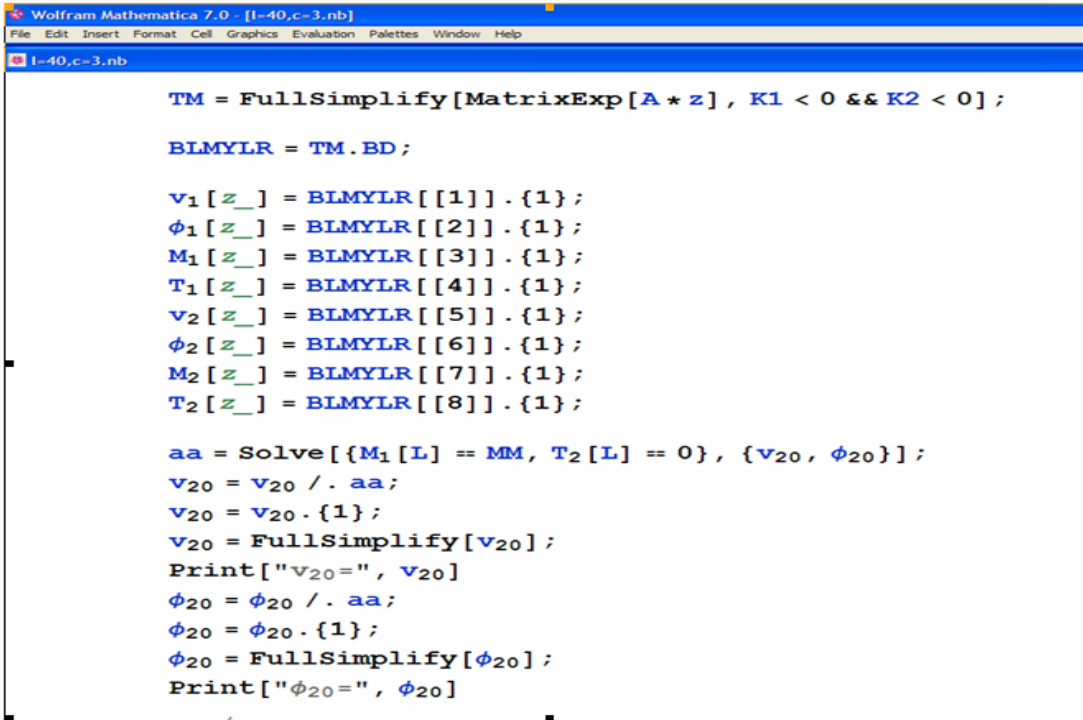

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c & 0 & 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ c & 0 & 0 & 0 & -c & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ MM \\ 0 \\ v_{20} \\ \phi_{20} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$


```

Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü



```

Wolfram Mathematica 7.0 - [I-40,c-3.nb]
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

I-40,c-3.nb

TM = FullSimplify[MatrixExp[A * z], K1 < 0 && K2 < 0];
BLMYLR = TM.BD;

v1[z_] = BLMYLR[[1]] . {1};
phi1[z_] = BLMYLR[[2]] . {1};
M1[z_] = BLMYLR[[3]] . {1};
T1[z_] = BLMYLR[[4]] . {1};
v2[z_] = BLMYLR[[5]] . {1};
phi2[z_] = BLMYLR[[6]] . {1};
M2[z_] = BLMYLR[[7]] . {1};
T2[z_] = BLMYLR[[8]] . {1};

aa = Solve[{M1[L] == MM, T2[L] == 0}, {v20, phi20}];
v20 = v20 /. aa;
v20 = v20 . {1};
v20 = FullSimplify[v20];
Print["v20=", v20]
phi20 = phi20 /. aa;
phi20 = phi20 . {1};
phi20 = FullSimplify[phi20];
Print["phi20=", phi20]

```

Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)

Wolfram Mathematica 7.0 - [l-40,c-3.nb]

File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

l-40,c-3.nb

$$v_{20} = \left(i \, MM \left(\frac{\sin \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 K_2} \right]}{K_1 K_2} - \sinh \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \right)^2 \right. \\ \left. K_1 K_2^2 \right) / \left(\left(-1 + \cos \left[\frac{L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \cosh \left[\frac{L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \right) \sqrt{-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2)} \right)$$

$$\phi_{20} = \left((2 + 2i) \, MM \sin \left[\frac{L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{2 K_1 K_2} \right] \sinh \left[\frac{L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{2 K_1 K_2} \right] K_2 \right) / \\ \left(\left(\sin \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 K_2} \right] + \sinh \left[\frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \right) \left(-c K_1^3 K_2^3 (K_1 + K_2) \right)^{1/4} \right)$$

Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)

Wolfram Mathematica 7.0 - [l-40,c-3.nb]

File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

l-40,c-3.nb

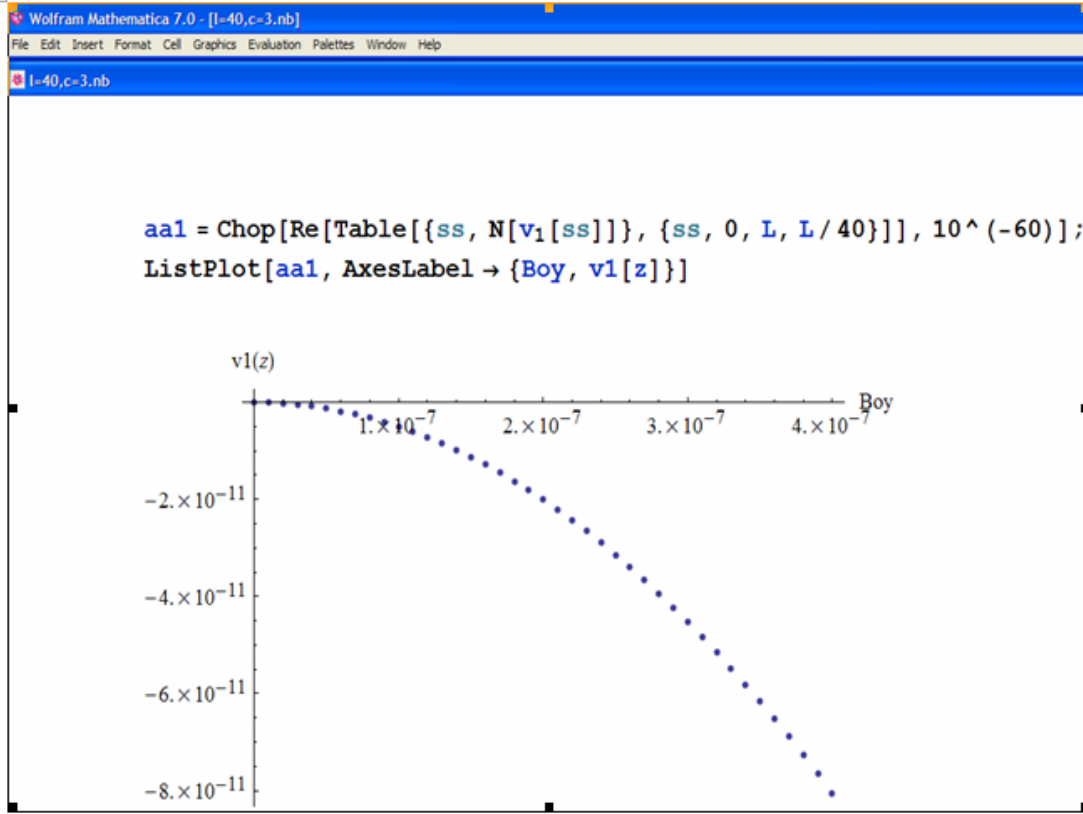
```

c = 3 * 10 ^ (7) ;
K1 = -32 / 10 * 10 ^ (-20) * Pi ;
K2 = -4 / 10 * Pi * 10 ^ (-20) ;
L = 40 * 10 ^ (-8) ;
MM = 10 ^ (-16) ;

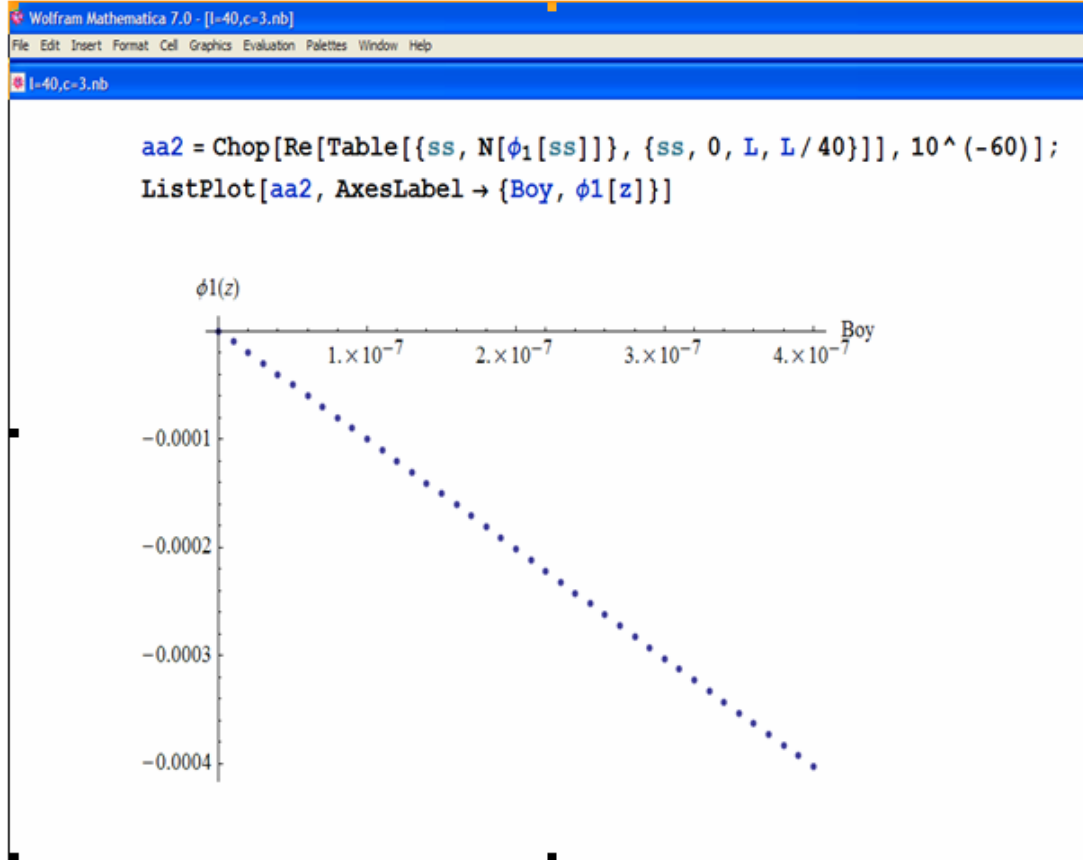
v1[z_] = SetPrecision[v1[z], 1000];
phi1[z_] = SetPrecision[phi1[z], 1000];
M1[z_] = SetPrecision[M1[z], 1000];
T1[z_] = SetPrecision[T1[z], 1000];
v2[z_] = SetPrecision[v2[z], 1000];
phi2[z_] = SetPrecision[phi2[z], 1000];
M2[z_] = SetPrecision[M2[z], 1000];
T2[z_] = SetPrecision[T2[z], 1000];

```

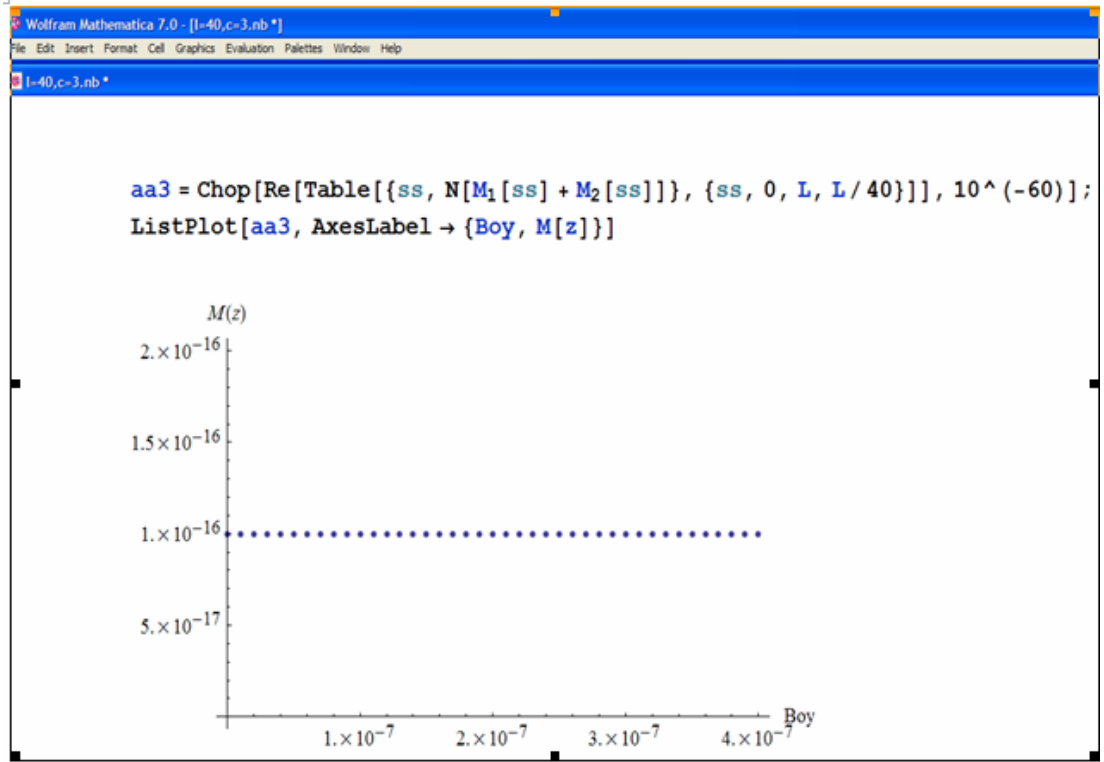
Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)



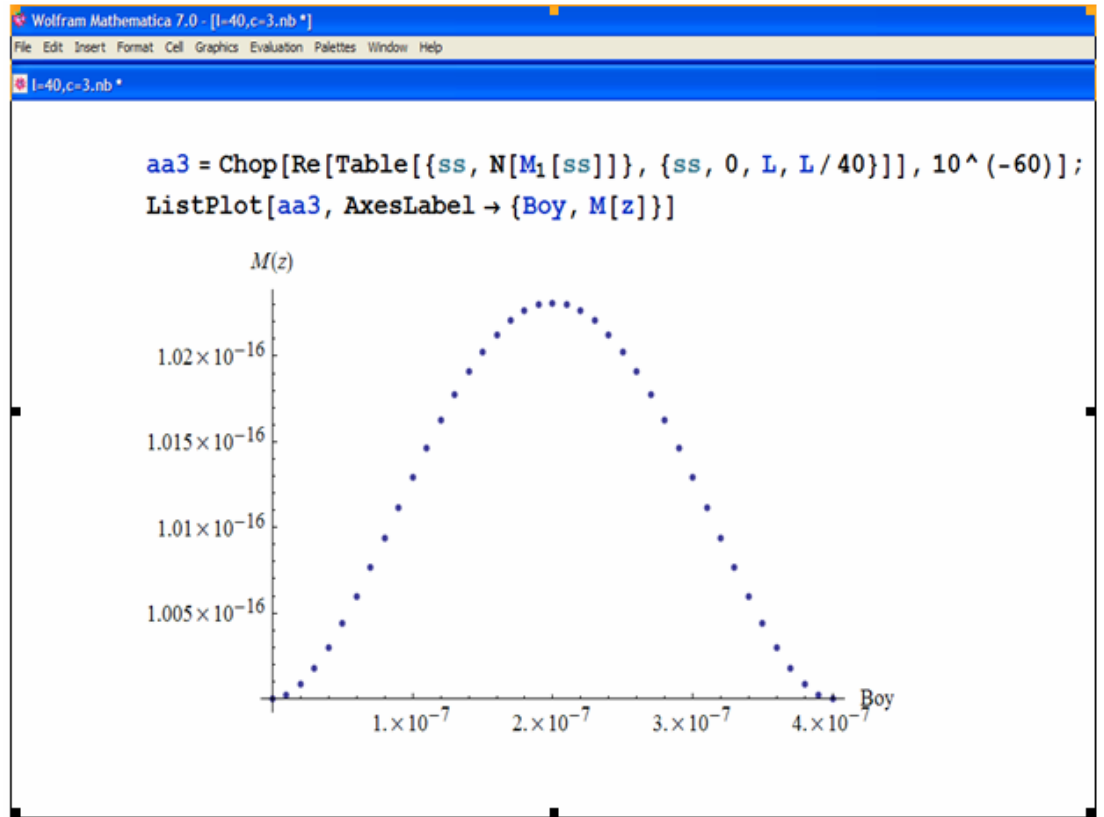
Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)



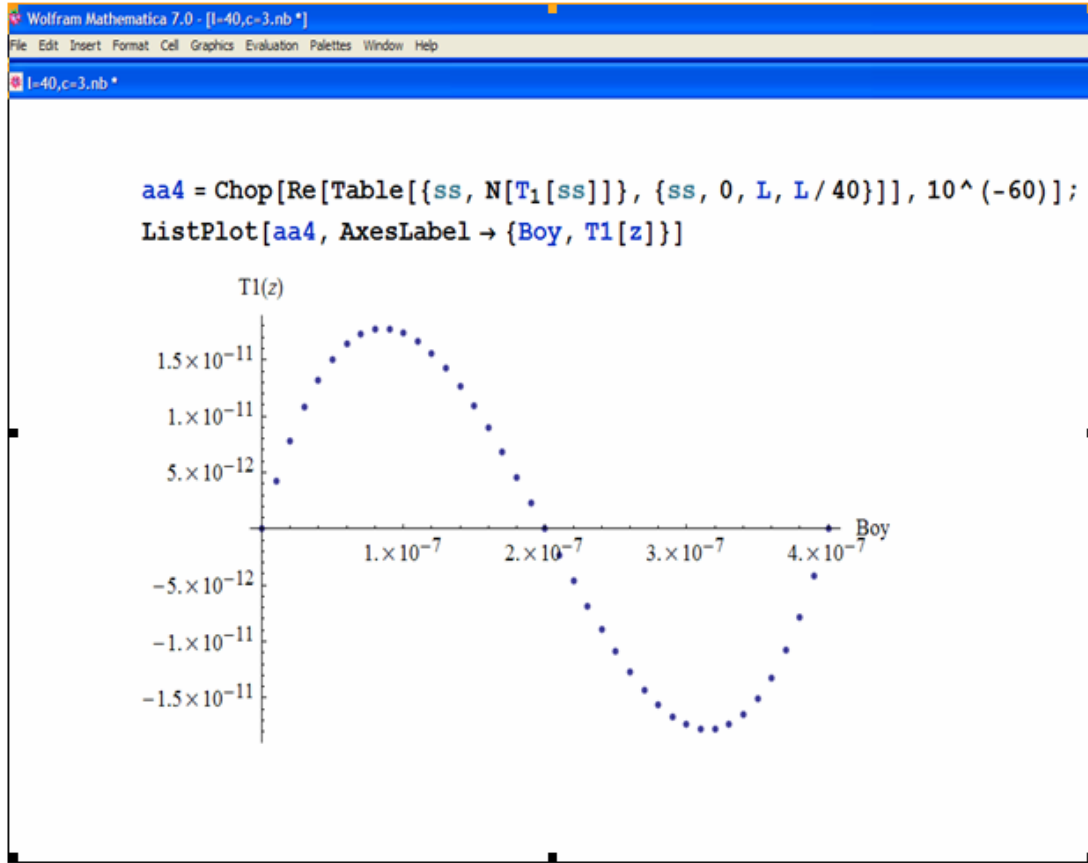
Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)



Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)



Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)



Şekil A.1 : MATHEMATICA’da örnek sistem çözümü (devam)

ÖZGEÇMİŞ

VESİKALIK
FOTO

Ad Soyad: Burcu KUTUCU .

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara, 08.06.1986.

Adres: Barbaros Bulvarı Seyran Apartmanı No:64/11 Beşiktaş/İstanbul.

Lisans Üniversitesi: İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Yayın Listesi:

▪ **Kutucu, B.,** 2008. Sismik izolasyonlu yapılarda deprem yönü etkisinin incelenmesi, *Lisans Tezi*, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul,