

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT DUVARLI KARBON
NANOTÜPLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Can SEYMAN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT DUVARLI KARBON
NANOTÜPLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Can SEYMAN
(501081047)**

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 GÜNDEŞ BAKIR (İTÜ)
Prof. Dr. Faruk YÜKSELER (YTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Bir fiziksel büyüklüğün milyarda birini ifade eden, bu denli minik olması ile birlikte birçoğumuz için yeni bir kavramın yani Nanoteknoloji gerçeğine bakıldığında; yoğun madde fiziği, kimya, mühendislik bilimleri, moleküler biyoloji, genetik ve malzeme bilimleri ile yoğun ilişkisi olan, hem disiplinlerarası ve hem de teknolojiler üstü bir süreç olduğu gözlenmektedir. Sürecin günlük yaşama son derece hızla yansıtacağı düşünülmektedir.

Nanoteknoloji, 1970’lerde patlama yapan mikroteknolojiler sonrası bilim adamlarının kafasındaki en büyük acaba olmuştur. “Acaba mikrometre boyutundaki malzeme ve aletlerin tasarımından sonra, elde daha da küçük boyutta malzemeler olsa neler basarılabilir?” sorusu bu dönemden sonra sorgulanmaya başlamıştır.

Nanoteknoloji içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli sanayi devrimi olarak nitelendiriliyor. Bakterisiz ortamlar, birçok hastalığın tedavisi, üzerinize giydiğiniz elbisenin veya evlerinizdeki koltukların ıslanmaması, kirlenmemesi nanoteknoloji sayesinde mümkündür. Otomotiv sektörünün en önemli sorunlarından biri olan araçların üzerindeki boyaların çizilmesi ve kaportalarının aşınması sorunu da nano teknoloji sayesinde çözülmektedir. Çok fazla pencereye sahip olan ve temizlenmesi sorun olan dış cepheler kendi kendini temizleyebilmektedir. Ahşap veya beton yapılar nemden, sudan veya kirden etkilenmemektedir.

Nanoteknoloji ile birlikte üretilebilen karbon nanotüpler sayesinde, gelecekte inşaat sektöründe büyük ilerlemeler olabileceği düşünülmektedir. Karbon nanotüpler çelikten yüz kat daha güçlü, ağırlığı ise altıda biri kadardır. Çelikten aynı zamanda daha sert ama plastik kadar da esnektir. Dolayısıyla bilinen en sağlam malzeme olma özelliğine sahiptir.

Bu çalışmada bana bilgilerini, zamanını, yardımlarını cömertçe sunan ve yol haritamı da çizen hocam Prof. Dr. Reha ARTAN’ a teşekkürlerimi borç bilirim.

Haziran 2010

Mehmet Can SEYMAN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. NANOTEKNOLOJİ	3
2.1 Nanoteknoloji Nedir?	3
2.2 Nanoteknolojinin Yararları.....	4
2.3 Nanoteknolojinin Tarihi	5
2.4 Dünyada Nanoteknoloji.....	7
2.4.1 Avrupa Birliği	7
2.4.2 Amerika Birleşik Devletleri.....	7
2.4.3 Asya	8
2.5 Türkiye’de Nanoteknoloji.....	9
2.6 Nanoteknolojinin Gelecekteki Uygulama Alanları.....	10
2.6.1 Malzeme ve imalat sektörü	10
2.6.2 Nano elektronik ve bilgisayar teknolojileri.....	11
2.6.3 Tıp ve sağlık sektörü.....	11
2.6.4 Havacılık ve uzay araştırmaları.....	11
2.6.5 Çevre ve enerji	11
2.6.6 Bioteknoloji ve tarım	12
2.6.7 Savunma sektörü	12
2.6.8 İnşaat sektörü.....	12
3. NANOTÜPLER	13
3.1 Nanotüp Nedir?	13
3.2 Nanotüplerin Tarihçesi	16
3.3 Nanotüplerin Elde Edilmesi.....	17
3.4 Nanotüplerin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri	18
3.4.1 Yapısal özellikler.....	18
3.4.2 Elektiriksel özellikler.....	19
3.4.3 Mekaniksel özellikler.....	19
3.5 Van Der Waals Kuvvetleri.....	21
3.5.1 Dipol dipol kuvvetler.....	21
3.5.2 London kuvveti.....	22
3.5.3 Hidrojen bağı.....	22
3.6 Karbon Nanotüplerin Uygulama Alanları	23
3.6.1 Depolamada.....	23
3.6.2 Çevre temizlemesinde.....	24
3.6.3 Sensörlerde	24

3.6.4 Yapı mazlemesi olarak	24
3.6.5 Elektronikte.....	24
3.6.6 Tıpta	25
3.6.7 Uzayda	25
4. WOLFRAM MATHEMATICA PROGRAMI.....	27
4.1 Wolfram Mathematica Programı Nedir?.....	27
4.2 Komutların Kullanılması.....	27
4.2.1 Dsolve [eqn,y,x]	27
4.2.2 MatrixExp[m]	30
4.2.3 FullSimplyfy[expr].....	31
4.2.4 Chop[expr]	31
4.3 Genel Uygulama	31
5. BELİRLENEN BİR SİSTEMDE ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPÜN DAVRANIŞI.....	37
6. SONUÇ.....	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER	63
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

ABD	: Amerkia Birleşik Devletleri
AFM	: Atomic Force Microscope
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
DOC	: Ticaret Departmanı
DOD	: Savunma Departmanı
DOE	: Enerji Departmanı
DOT	: Ulaşım Departmanı
IBM	: International Business Machines Corporation
MEMS	: Mikro elektronik uygulamalar ve mikro elektromekanik sistemler
MMCNT	: Multi-Walled Carbon Nanotube
MNT	: Moleküler Nanoteknolojisi
NIH	: Ulusal Sağlık Enstitüsü
Nm	: Nano metre
NSF	: Ulusal Bilim Kurumu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopunda
STM	: Scanning Tunneling Microscope
SWCNT	: Single-Walled Carbon NanoTube
TEM	: Geçirmeli Elektron Mikroskopunu
UNAM	: Ulusal NanoTeknoloji Merkezi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Karbon nanotüplerin elastik modülü, çekme mukavemeti ve yoğunluk değerleri ve diğer malzemelerle karşılaştırılması	14
Çizelge 3.2 : Karbon nanotüplerin karşılaştırmalı özellikleri	25

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Bir insanın ortalama saç telinin çapı, bir iğne başından daha küçüktür...	3
Şekil 2.2	: Tek duvarlı nanotüp.....	6
Şekil 3.1	: Üretilen Karbon Nanotüp formları; a) Tekkatmanlı, b) ÇokKatmanlı, c) Çift katmanlı d) Fulleren içeren tek katmanlı	13
Şekil 3.2	: Çift duvarlı karbon nanotüp	15
Şekil 3.3	: a) Elmas Yapı b) Grafit Yapı c) C60 Yapı.....	16
Şekil 3.4	: Armchair, Zigzag, Chiral	19
Şekil 3.5	: Çok katmanlı nanotüp.....	20
Şekil 3.6	: Nanotüp halka görüntüleri.....	21
Şekil 4.1	: Duvara ankastre giriş	27
Şekil 4.2	: L boyundaki girişin çökme grafiği	29
Şekil 4.3	: İki ucu mesnetli giriş.....	29
Şekil 4.4	: L boyundaki girişin çökme grafiği	30
Şekil 4.5	: Duvara ankastre giriş	31
Şekil 4.6	: Mathematica uygulaması – 1.....	35
Şekil 4.7	: Mathematica uygulaması – 2.....	36
Şekil 5.1	: 1 indisli dış tüp ve 2 indisli iç tüp.....	37
Şekil 5.2	: Duvara ankastre çift duvarlı nanotüp.....	39
Şekil 5.3	: 1 indisli tübün çökme grafiği.....	42
Şekil 5.4	: 1 indisli tübün dönme grafiği	43
Şekil 5.5	: 1 indisli tübün moment grafiği	43
Şekil 5.6	: 1 indisli tübün kesme kuvveti grafiği.....	44
Şekil 5.7	: 2 indisli tübün çökme grafiği.....	44
Şekil 5.8	: 2 indisli tübün dönme grafiği	45
Şekil 5.9	: 2 indisli tübün moment	45
Şekil 5.10	: 2 indisli tübün kesme kuvveti grafiği.....	46
Şekil 5.11	: 1 indisli tübün farklı P değerlerine göre çökme grafiği	46
Şekil 5.12	: 1 indisli tübün farklı P değerlerine göre dönme grafiği.....	47
Şekil 5.13	: 1 indisli tübün farklı P değerlerine göre moment grafiği.....	47
Şekil 5.14	: 1 indisli tübün farklı P değerlerine göre kesme kuvveti grafiği.....	48
Şekil 5.15	: 2 indisli tübün farklı P değerlerine göre çökme grafiği	49
Şekil 5.16	: 2 indisli tübün farklı P değerlerine göre dönme grafiği.....	49
Şekil 5.17	: 2 indisli tübün farklı P değerlerine göre moment grafiği.....	50
Şekil 5.18	: 2 indisli tübün farklı P değerlerine göre kesme kuvveti grafiği.....	50
Şekil 5.19	: 1 indisli tübün farklı C değerlerine göre çökme grafiği.....	51
Şekil 5.20	: 1 indisli tübün farklı C değerlerine göre dönme grafiği	51
Şekil 5.21	: 1 indisli tübün farklı C değerlerine göre moment grafiği	52
Şekil 5.22	: 1 indisli tübün farklı C değerlerine göre kesme kuvveti grafiği.....	52
Şekil 5.23	: 2 indisli tübün farklı C değerlerine göre çökme grafiği.....	53
Şekil 5.24	: 2 indisli tübün farklı C değerlerine göre dönme grafiği	53

Şekil 5.25 : 2 indisli túbün farklı C değerlerine göre moment grafiği.....	54
Şekil 5.26 : 2 indisli túbün farklı C değerlerine göre kesme kuvveti grafiği	54
Şekil 5.27 : 1 indisli túbün farklı L değerlerine göre çökme grafiği.....	55
Şekil 5.28 : 1 indisli túbün farklı L değerlerine göre dönme grafiği	55
Şekil 5.29 : 1 indisli túbün farklı L değerlerine göre moment grafiği	56
Şekil 5.30 : 1 indisli túbün farklı L değerlerine göre kesme kuvveti grafiği	56
Şekil 5.31 : 2 indisli túbün farklı L değerlerine göre çökme grafiği.....	57
Şekil 5.32 : 2 indisli túbün farklı L değerlerine göre dönme grafiği	57
Şekil 5.33 : 2 indisli túbün farklı L değerlerine göre moment grafiği	58
Şekil 5.34 : 2 indisli túbün farklı L değerlerine göre kesme kuvveti grafiği	58

ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada yüzyılın en önemli sanayi devrimi olarak nitelendirilen Nanoteknoloji hakkında genel bilgi verilmiştir. Bu teknolojinin ne demek ve ne gibi yararlarının olduğu açıklanmıştır. Geçmişten günümüze nanoteknolojinin nasıl geldiği yani kısaca tarihi anlatılmıştır. Günümüzde bu teknolojinin Avrupa Birliği, ABD, Asya ve Türkiye’de ne durumda olduğu incelenmiştir. Ayrıca gelecekteki uygulama alanları belirtilmiş ve ayrı ayrı anlatılmıştır. Nanoteknoloji ile üretilen nanotüplerin ne olduğu, neye benzediği anlatılmıştır. Geçmişten günümüze nanotüplerin ne gibi evrelerden geçtiği incelenmiştir. Nanotüplerin elde edilmesiyle ilgili bilgi verilmiştir. Elde edilen bu nanotüplerin yapısal, elektriksel ve mekaniksel özellikleri incelenmiştir. Bu özelliklerin bazıları tablolar halinde diğer malzemelerle karşılaştırılmıştır ve nanotüplerin avantajları ile dezavantajları görülmüştür. Çok duvarlı nanotüplerde etkili olan Van Der Waals kuvvetleri hakkında bilgi verilmiştir. Karbon nanotüplerin uygulanabileceği alanlar belirtilmiş ve bu alanlar tek tek incelenmiştir. İnceleme sayesinde bu malzemenin gelecekte ne kadar büyük rol alabileceği görülmüştür. Bu çalışmada Wolfram Mathematica programı kullanılmıştır. Bu programda çalışmaya yönelik komutlar ve bu komutların genel kullanımı hakkında genel bilgi verilmiştir. Ayrıca bu program yardımıyla duvara ankastre bir kirişin çökme, dönme, moment ve kesme kuvveti eğrilerinin nasıl bulunacağı gösterilmiştir. Aynı işlemler bir kiriş yerine bir çift duvarlı karbon nanotübün olduğu düşünülerek yapılmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar grafiklere aktarılmıştır. Böylece çift duvarlı karbon nanotüplerin davranışları incelenmiştir. Ayrıca bu sistemdeki bazı değerler değiştirilerek sonuçlar ve çift duvarlı karbon nanotüplerin davranışları üzerindeki etkileri görülmüştür ve yorum yapılmıştır.

ANALYZING DOUBLE WALLED CARBON NANOTUBES

SUMMARY

In this study, it is given general information about Nanotechnology which is accepted as the industrial revolution of the century. The meaning and the benefits of this technology are explained. The history of this technology is given and shown how did it came from the past to the present. It is also given the state of this technology at European Union, USA, Asia and Turkey in present time. The application areas of this technology in the future is given and explained. It is explained the meaning of nanotubes and shown what they look like. In the history of nanotubes, the phases can be seen of these materials. To produce nanotubes, an explanation is given. Many properties like structural, mechanical and electrical are analyzed using these produced nanotubes. Some comparisons are shown with charts between carbon nanotubes and other materials by using these properties. With these charts some advantages and disadvantages can be seen. It is shown that there are Van der Waals forces occurring between walls in multi walled carbon nanotubes. The application areas are explained separately of carbon nanotubes so that the importance can be understood of this material in the future. The computer program Wolfram Mathematica is used in this study. The commands about this study in this program are shown and explained how they are used. By using this program the collapsing, rotation, moment and shearing force curves of a system can be calculated which has a embedded beam. These curves can also be calculated when there is a double walled carbon nanotube instead of a beam. All results are shown in graphs. By comparing graphs the behavior of double walled carbon nanotube can be analyzed. Some values are changed, calculated and shown in graphs again. By comparing these graphs, some comments are made about the effects of these changes.

1. GİRİŞ

Etrafımızdaki tüm teknoloji ürünlerine bakıldığında, kullandığımız aletleri göz önüne getirdiğimizde bundan 10 yıl önce bunların yüzde 54'ünün olmadığını görebiliriz. Giderek akıllı hale gelen beyaz eşyalar, bilgisayarla buluşan telefon veya televizyonlar, müzik dinlediğiniz veya film izlediğiniz aparatlar... O kadar çoklar ki;dev teknolojik gelişmeler artık bize yetmeyince cücesi de geliştirildi.

Nanoteknoloji kavramını ilk defa dile getiren Amerika Birleşik Devletleri'nden Eric Drexler'dir. Nanoteknoloji üzerine yoğunlaşan Foresight Enstitüsü'nün kurucusu olan Drexler, MIT laboratuvarındaki çalışmaları sırasında, biyolojik sistemlerden esinlenerek, moleküler makineler yapılabileceğini önermiştir. Böylece, nanoteknoloji kavramı ortaya çıkmıştır.

Nanoteknoloji alanında başta NASA olmak üzere dünyanın pek çok büyük araştırma merkezleri ve önde gelen teknoloji enstitüleri milyonlarca dolarlık bütçelerle araştırmalarını büyük bir hızla sürdürmektedir. Nanoteknoloji; savunma, ulaşım, çevre, iletişim, kimyasallar, tüketici ürünleri alanlarında ve en fazla olarak da biyomedikal ve tıp alanında kullanılmaktadır. Biyomedikal ve tıp alanlarında kullanılan nanobiyoteknoloji ise, yapıtaşları olarak biyolojik malzemeleri kullanan, nanoteknolojinin bir alt dalıdır.

Tüm insanlık için kökten değişim ve dönüşümleri beraberinde getirecek bu gelişmelerin olası sonuçları üzerinde herkesin düşünmesi gerekmektedir. Nano gelecekte herkes kendi bilgisayarına temel tüketim maddelerini üretmesi için emir verebilecek. Evin bir köşesinde çalışan nanobot sürüleri de istediğiniz malzemeyi, etrafımızda serbestçe dolaşmakta olan atomları toplayıp işleyerek üretecekler.

Nanoteknolojinin sağlayacağı imkanları kısaca şöyle sıralayabiliriz:

- Her atomu tam istenilen yere yerleştirme imkanı.
- Fizik ve kimya kurallarının mümkün kıldığı hemen hemen herşeyi atom seviyesinde üretebilme imkanı.

- Üretim maliyetlerinin ham madde maliyetlerini geçmediği ekonomik üretim imkanı.

Diğer akla gelen soru ise nano çağda paranın değerinin ne olacağıdır. Atomlardan her şey sonsuz kere tekrar dönüştürülebilecektir. Tuzlu deniz suyundan bile altın ve kobalt üretmenin mümkün olduğu bir çağda altının gibi çok değerli bir madenin bile anlamı kalmayabilir.

Paranın hiç kullanılmadığı bir sistem düşünülürse ve bu sistemde kredi kartı yerine nanoteknoloji sayesinde geliştirilmiş ve içinde hemen her bilginin bulunduğu bir kart varsayılırsa(kişiye ait maaş, birikim, ehliyet, pasaport, kimlik,sağlık bilgileri, doktor kontrolleri, geçirdiği cerrahi operasyonlar), böyle bir kartın varlığı sadece cebimizde cüzdan taşımamamızı sağlamakla kalmayacaktır. Gerek alışverişte, gerek resmi dairelerde, gerekse sağlık konularında her zaman yanımızda olacaktır ve hayatımızı formalite veya yapılması zorunlu şeylerden arındıracaktır.

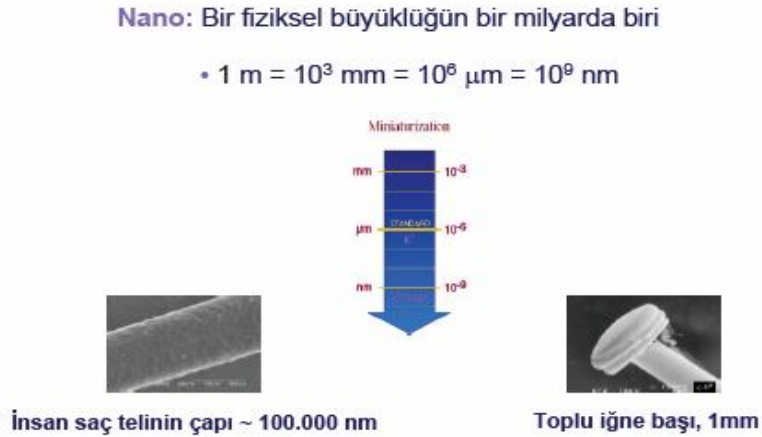
Öyle görülüyor ki insanlık olarak maddi zenginliğe ve gelişmiş fiziksel sağlığa ulaşmanın eşiğindeyiz. Bilim adamlarının nanoteknoloji gibi doğayı taklit yolu ile geliştirmeye çalıştığı birçok teknoloji, doğada zaten yaratıldığı ilk günden itibaren mevcuttur. Bedenimizin her hücresi ve maddeyi oluşturan her atom üstün bir yapıya sahiptir.

2. NANOTEKNOLOJİ

2.1 Nanoteknoloji Nedir?

Nano, teknik bir ölçü birimi olarak kullanılır ve herhangi bir birimin milyarda biri anlamını taşımaktadır (Şekil 2.1). Genellikle metre ile kullanılır ve nanometre (nm) olarak söylenir. Nanoteknoloji maddeyi dolaylı olarak atom boyutuna indirgeme işidir. Genel tanımıyla, istisnai şekilde küçük (yaklaşık atom boyutlarında) yapıların ticari bir amaca hizmet edebilecek şekilde düzenlenmesidir. Maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen işlem, ölçüm, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalar nano-teknoloji çalışmaları olarak nitelenir.

1974 yılında Tokyo Üniversitesinde 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 üç ile 5 atom genişliğindedir yani ortalama bir insan saç kalınlığından yaklaşık 40,000 kez daha küçüktür (Url-17, 2010).



Şekil 2.1 : Bir insanın ortalama saç telinin çapı, bir iğne başından daha küçüktür.

2.2 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, ulaşımda, tarım ve endüstrinin her alanında kullanabilecektir.

Nanoteknolojinin 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 100nm'nin altına indiğinde ise geleneksel teori ve modeller ortaya çıkan özellikleri açıklamakta çoğu zaman yetersiz kalmaktadır.

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 maliyette yada ücretsiz olarak istediğiniz kadar kopya yapabilirsiniz. İşte nanoteknoloji de aynı bilgisayar örneğinde olduğu gibi herhangi bir şeyi üretmeyi aynı dosyaların kopyalanması kadar kolay ve ucuz hale getirebiliyor. 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 maliyette 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 (Url-3, 2010).

Nanoteknoloji; daha hızlı, düşük maliyetli ve temiz üretim sistemi getirmektedir. Üretim araçları katlanarak yeniden üretilebilecektir, 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.

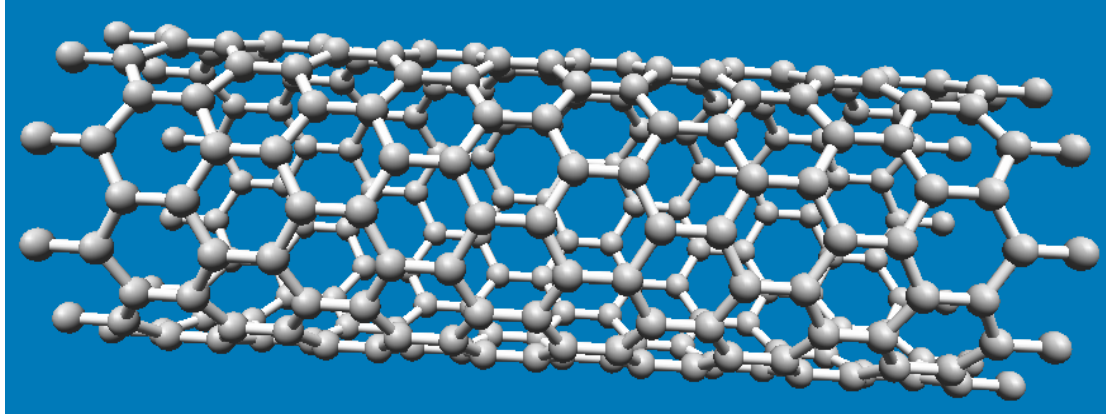
2.3 Nanoteknolojinin Tarihi

60'lar: Nanoteknoloji vizyonunun ortaya çıkışını, 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilecekler üzerine yapmış olduğu ünlü konuşmasına kadar dayandırılabilir (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.

80'ler: 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 modelleme yapılması mümkün olmuştur.

90'lar: 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 bulduğunu duyurdu. Karbon nano tüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş bir şekli olup benzer şekilde önemli özelliklere sahiptir; çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6’da 1’i kadardır. 90’larda ayrıca Feynman’ın fikirleri Eric Drexler tarafından yazılan kitapta (“Engines of Creation”) geliştirildi. Drexler’in fikirleri şüpheyile 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.



Şekil 2.2 : Tek duvarlı nanotüp

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.

2.4 Dünyada Nanoteknoloji

Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti 2006 yılı itibarıyla 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.

2.4.1 Avrupa Birliği

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 vaatetmesi 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.

2.4.2 Amerika Birleşik Devletleri

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 yapılı 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 Departmanı (DOC), Savunma Departmanı (DOD), Enerji Departmanı (DOE), Ulaştırma Departmanı (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.

2.4.3 Asya

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 ülkelere 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-16, 2010).

Dünya çapında nanoteknoloji alanında faaliyet gösteren bazı organizasyonlar:

- 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:

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

2.5 Türkiye’de Nanoteknoloji

Ülkemizde nanoteknoloji ile ilgili sürdürülen bazı çalışmalar:

- Ulusal Nano Teknoloji Merkezi-Bilkent Üniversitesi/DPT Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü
- 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 Değerlendirme Raporu-21 NİSAN 2003
- Avrupa Birliği Altıncı Çerçeve Programı Nanoteknolojiler 4. Ulusal Çalıştayı Değerlendirme Raporu-21 NİSAN 2003
- Dünyanın en küçük Türk bayrağı (100 nm eninde ve 2 nm boyunda), Bilkent Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.
- 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.

2.6 Nanoteknolojinin Gelecekteki Uygulama Alanları

- A. Malzeme Bilimi (Hafif ve kuvvetli malzeme)
- B. Elektronik (Nano elektronik)
- C. Bilgisayar (Kuantum bilgisayar)
- D. Eczacılık, Tıp (Yapay kemik)
- E. Biyoloji (Biyosensörler)
- F. Kimya (Seçici Depolama)
- G. Fizik (Karakterizasyon)
- H. Matematik (Modelleme)

2.6.1 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.

2.6.2 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. Bunlara ek olarak elektronik araçlar için geliştirilen sensör, gösterge sistemleri ve sinyal iletimi alanlarında ciddi ilerlemeler kaydedilecektir.

2.6.3 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.

2.6.4 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.

2.6.5 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.

2.6.6 Bioteknoloji ve tarım

Tıp ve sağlık sektörlerinde uygulanabilecek teknolojilerin genişletilmesi ile bioteknoloji, ilaç ve tarım sektörleri de ürünlerinde bu teknolojileri uygulayacaktır. Yeni ilaçlar, gübreler, daha besleyici ve hastalık direnci yüksek bitkiler veya hayvanlar birçok üniversite ve özel sektör kuruluşun araştırma alanları içerisinde yer almaktadır. Bu gün bile bitki ve hayvan genlerinin düzenlenmesi ile ortaya çıkartılmış olan bazı ticari ürünlere rastlamak mümkündür.

2.6.7 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 (Url-15, 2010).

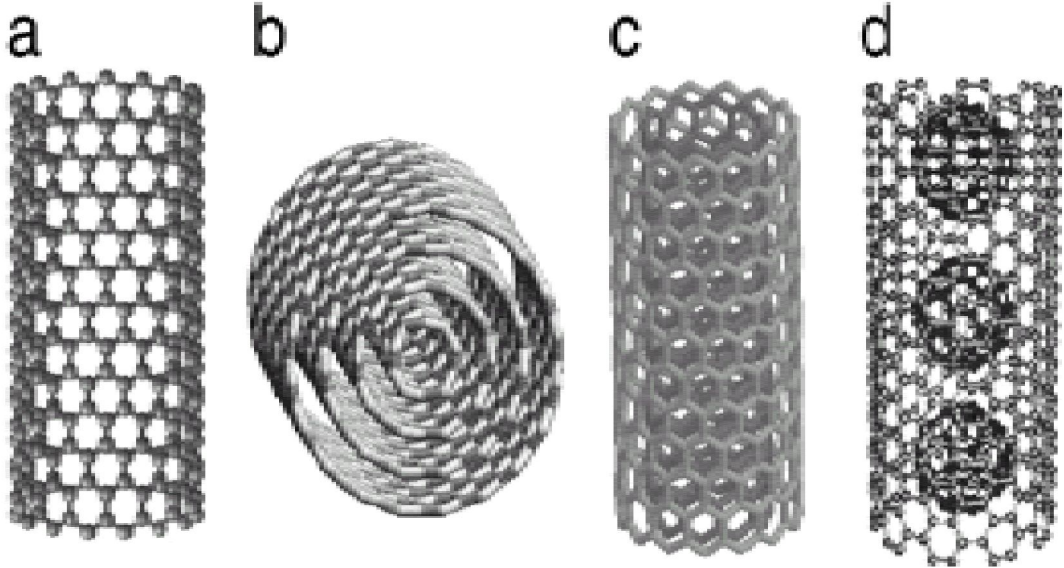
2.6.8 İnşaat sektörü

Nanoteknoloji inşaat sektörüne de damgasını vurmaktadır. Nanoteknolojiden yararlanılarak uygulanan zemin- beton kaplaması mineral kökenli zeminlerin aşınmalara ve kirlenmelere karşı dirençli olması sağlanmaktadır. Bu kaplama çimento, beton veya bina cepheleri gibi gözenekli malzemeler için sızdırmazlık sağlamaktadır. Ürünün ilk tatbikinden sonra her tür gözenekli yüzeyde görünmez, su sızdırmaz, kir geçirmez ve ultraviyole ışınlarına karşı dayanıklı bir yüzey elde edilmektedir. Bu sektörde ki kullanım alanları ise saymakla bitmemektedir. Lifli çimento, tuğla, kiremit, klinker, kaplama malzemeleri, fayanslar taş plakalar, mineral zeminler, doğal taşlar, mermerler, mutfak tezgahları kaplamanın kullanılabileceği alanlar olarak göze çarpmaktadır. Bunların dışında, mezar taşlarının ve heykellerin kirlenmesi ve renklerinin değişmesi de kaplama sayesinde engellenebilmektedir. Püskürtme yöntemiyle uygulanan bu kaplamanın dayanıklılık süresi ise 15 yıldır.. Dış etkenlere bağlı olarak bu süre uzayabilmektedir.

3. NANOTÜPLER

3.1 Nanotüp Nedir?

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, nano teknolojinin doğmasına yol açtı ve çağımızın en öncelikli konularından biri oldu. Nanoparçacıklar, ince filmler ve nanotüpler olarak elde edilen malzemeler, gösterdikleri çok ilginç fiziksel özellikler ve boyutların çok küçülmesi nedeniyle teknolojide çok büyük bir kullanım alanı



sunmaktadırlar. Nano teknolojinin en önemli konularından biri karbon nanotüplerdir.

Şekil 3.1: Üretilen Karbon Nanotüp formları; a) Tekkatmanlı, b) ÇokKatmanlı, c) Çift katmanlı d) Fulleren içeren tek katmanlı (Url-10,2010)

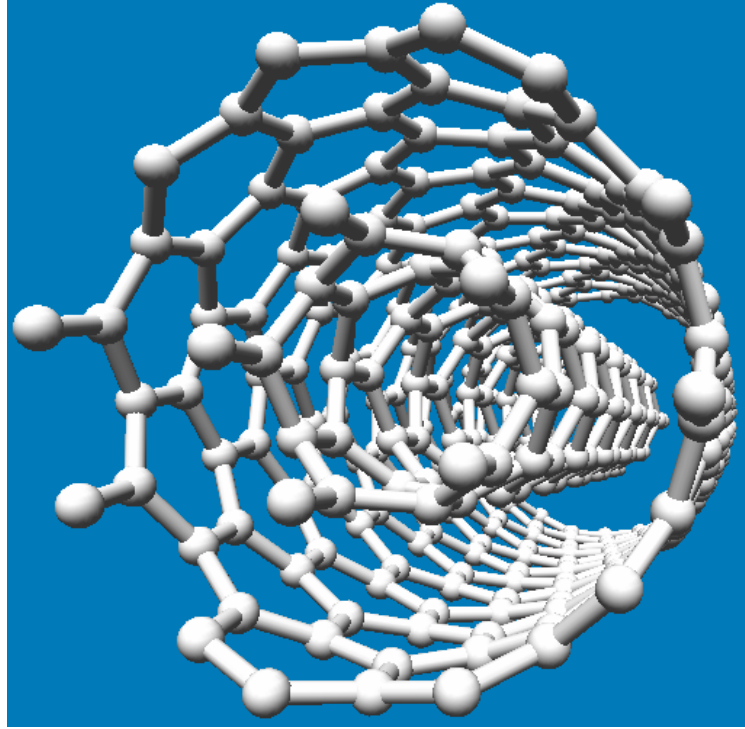
Karbon nanotüpler(Şekil 3.1) önemli elektronik ve mekanik özelliklere sahip nano yapılarıdır. Nanotüpler ilk olarak tek boyutlu kuantum teller için prototip olarak düşünüldüğünden çok büyük bir ilgi çekti. Diğer kullanışlı özelliklerin keşfedilmesiyle; özellikle dayanıklılığı, potansiyel kullanım alanlarını çoğaltmıştır. Örneğin, karbon nanotüpler nanometrik boyutlardaki elektronik devrelerde ya da kuvvetlendirilmiş polimer malzemelerde kullanılabilir. Karbon nanotüpler, bilinen en sağlam malzeme olma özelliğine sahiptir. Hasarsız bir Karbon nanotüp, kendi ağırlığının 300 milyon katı bir ağırlığa dayanabilecek sağlamlıktadır. Bu sağlamlıkta başka bir malzeme yoktur(Çizelge 3.1).Kısaca özellikleri yazılacak olursa:

- 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% aralığında
- Yoğunluk oldukça düşük.
- Yapıya bağlı elektriksel özellik gösterir. Hekzagonal yapı boyunca (tüp duvarları boyunca) metal veya yarı iletken gibi davranır.
- Çelikten yüz kat güçlü. Bir kurşun kalemin yarısı kadar genişliğe sahip bir karbon nanotüp 40,000 Kg dan fazla yük taşıyabilir.
- Yüksek erime sıcaklığına sahip (Url-14, 2010).

Çizelge 3.1: Karbon nanotüplerin elastik modülü, çekme mukavemeti ve yoğunluk değerleri ve diğer malzemelerle karşılaştırılması (Url-10,2010)

Malzeme	Young Modülü (GPa)	Çekme Gerilmesi (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
Tek Katmanlı (SWCNTs)	1054	150	
Çok Katmanlı (MMCNTs)	1200	150	2.6
Çelik	208	0.4	7.8
Epoksi	3.5	0.005	1.25
Tahta	16	0.008	0.6

İdeal bir nanotüp(Şekil 3.2) düzgün silindir yapmak için yuvarlatılmış hegzagonal karbon atom ağı olarak düşünülebilir. Nanometrik aralıkta silindir, mikronun onda biri uzunluğunda olabilir ve her uç fulleren molekülün yarısı ile kapanır. Tek-katmanlı nanotüpler temel silindirik yapı gibi düşünülebilir ve bu da çok-katmanlı nanotüplerin yapı taşlarını oluşturur. Birçok teorik çalışma ile tek-katmanlı nanotüplerin özellikleri tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Nanometrik boyutlardaki ilk karbon teli , 1970'lerde Fransa da Orleans Üniversitesinde doktora tez çalışmasının bir bölümü olarak , Morinobu Endo tarafından hazırlanmıştır.

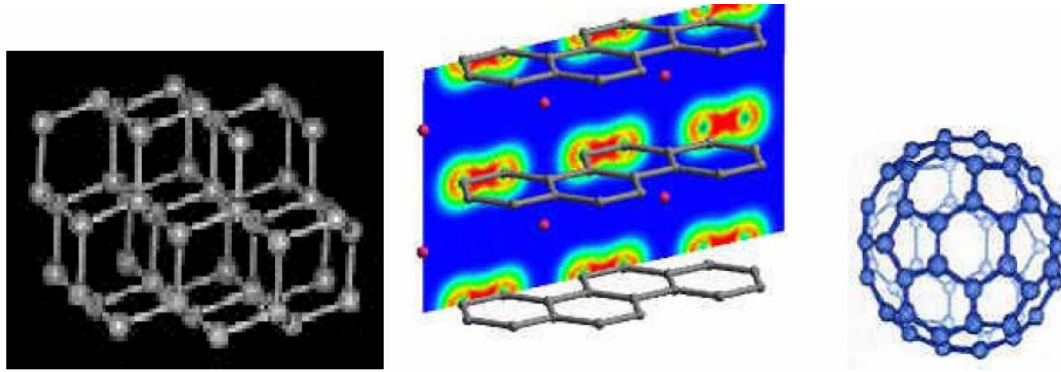


Şekil 3.2: Çift duvarlı karbon nanotüp

Buhar-Geliştirme tekniğiyle karbon fiberlerin çapı 7nm civarında geliştirilmiştir. Ancak önce bu tellerin nanotüp olduğunun farkına varılmamış ve sistemli bir şekilde çalışılmamıştır. 1991 yılında, Tsukuba Labaratuarından Sumi Iijima, yüksek çözünürlü “Geçirmeli Elektron Mikroskopunu” (TEM) kullanarak karbon nanotüpleri gözlemleyince, nanotüpler konusundaki araştırmalar yoğun bir şekilde başlamıştır. Moskovadaki Kimyasal Fizik Enstütüsündeki araştırmacılar, bağımsız olarak aynı anda karbon nanotüpleri ve nanotüp demetlerini keşfettiler, fakat genel olarak bunların çap uzunluğu oranları oldukça küçüktü. Sussex Üniversitesinden Harold Kroto (İngiltere) ve Rice Üniversitesinden Richard Smalley ve çalışma arkadaşlarının (Amerika) fullerenleri keşfiyle, araştırmacılar daha yoğun bir şekilde karbon malzemeleri araştırmaya başlamışlardır. Bunun yanısıra Iijima’nın ilk gözlemleri çok katmanlı nanotüplerdi. Tek katmanlı nanotüpleri gözlemlemesi, IBM araştırmadan (Kaliforniya) Donald Bethune ve meslektaşları tarafından ancak iki yıl sonra başarılabilirdi. 1996’da Smalley başkanlığında Rice Grubu sıraya konulmuş tek katmanlı karbon nanotüp demetlerini ilk kez sentezlediler. Demetler küçük bir aralıkta değişik çaplı birçok nanotüp içermektedir. Birçok araştırma grubu tarafından, nanotüplerin özelliklerini belirlemek için deneysel ve teorik çalışmalar yoğun bir şekilde sürmektedir.

3.2 Nanotüplerin Tarihçesi

Karbon nanotüpler, silindirlerden oluşan fulleren tipi yapılardır. Karbon nanotüplerin bilimsel macerası 1985'te 60 ya da daha fazla karbon atomunun birleştirilmesiyle oluşan futbol topu şeklindeki moleküllerin keşfiyle başlamıştır. Bu topların diğer atom veya moleküllerle yaptığı bileşiklere “fulleren” denir. Bu keşiften sonra birçok laboratuvar sıcak karbon buharını yoğunlaştırarak futbol topu şeklindeki molekülleri elde etmeye çalışmış; bu elde etme işleminden küçük değişikliklerle çeşitli şekil ve boyutlarda küreye benzer yapılar (Şekil 3.3) elde edilmiştir. İlk tüp şeklindeki molekülleri 1991'de elektron mikroskobu uzmanı Sumia Iijima fullerenlerin ark-buharlaşması sentezi sırasında katodda biriken malzemeyi araştırma sırasında bulunmuştur. Kısa bir süre sonra Thomas Ebbeson ve Pulickel Ajayan (Iijima'nın laboratuvarından) çeşitli ark-buharlaşması koşulları altında büyük miktarlarda nanotüp üretilabileceğini göstermiştir. Ama standart ark-buharlaşması metoduyla ancak çok katmanlı tüpler üretilebilmiştir. Sonraki araştırmalar sonucunda, grafit elektroduna kobalt gibi bazı metallerin eklenmesi sonucunda tek katmanlı mükemmel tüpler elde edilmiştir (Url-12, 2010).



ELMAS YAPI

GRAFİT YAPI

C₆₀ YAPI

Şekil 3.3: a) Elmas Yapı b) Grafit Yapı c) C₆₀ Yapı (Url-12, 2010)

1993'de tek katmanlı nanotüplerin elde edilmesi, karbon nanotüplerin gelişmesinde büyük bir aşama olmuştur. 1996'da Rice Üniversitesi Araştırma Grubunun tek katmanlı nanotüp grupları oluşturmada daha etkin bir yöntem bulmasıyla, çok sayıda karbon nanotüp deneylerinin önü açılmış oldu. Arzu edilen nanotüpler 1200 °C fırında karbonun lazer-buharlaştırılmasıyla elde edildi. Daha sonra Montpellier

Üniversitesinden Catherine Journet, Patrick Bernier ve çalışma arkadaşlarının karbon ark-buharlaştırma metoduyla iyonlaşmış karbon plazmasından tek katmanlı nanotüp elde etmişlerdir. Çok katmanlı karbon nanotüplerin büyütülmesi için katalizör gerekmezken, tek katmanlı karbon nanotüpler ancak katalizör ile büyütülebilir. Karbon nanotüpler tesadüfen keşfedilmiş olmasına rağmen dünyanın dört bir yanında yoğun bir şekilde karbon nanotüplerin özelliklerinin araştırılmasına yol açtı. Gerçekten de araştırmacılar karbon nanotüplerin nano ölçekte birçok fiziksel, kimyasal, yapısal, elektriksel ve optik özelliklerinin olduğunu buldular.

3.3 Nanotüplerin Elde Edilmesi

1996'da Rice Üniversitesindeki grubun daha verimli bir şekilde düzenli tek katmanlı nanotüp gruplarını üretmesiyle, karbon nanotüpler üzerine büyük miktarda deneyler yapılmasının önünü açtı. İstenilen nanotüpler 1200 °C bir fırında karbonun lazer buharlaştırılması sonucu elde edilir. Kobalt-nikel katalizörü, nanotüplerin oluşumunda kullanılır. Çünkü oluşum sırasında nanotüplerin sonlarının kapaklanmasını önler ve böylelikle %70-90 oranında karbon hedefleri tek katmanlı nanotüplere dönüştürülür. 2 adet 50 ns aralıklı atmalı lazer kullanılarak, aynı sürede daha yüksek miktarlarda nanotüp üretilebilir. Bu yöntem, daha homojen buharlaştırma ve oluşum koşullarının daha iyi kontrolünü sağlar. Argon gazı, nanotüpleri fırından su ile soğutmalı bakır toplayıcıya toplar.

Fransa Montpellier Üniversitesinden Catherine Journet, Patrick Bernier ve meslektaşları, özdeş, dirençli, tek katmanlı nanotüp oluşturabilecek karbon-ark metodunu geliştirdiler. Ayrıca, iyonize karbon plazmadan ve yüksüz plazmadan Joule ısınmalarıyla düzenli nanotüpler üretilmiştir. Diğer birçok araştırma grubu, günümüzde bu iki yöntemden türetilmiş yöntemlerle tek katmanlı nanotüpler üretmektedir. Yine de bu alanda en büyük etkiyi Rice Üniversitesi grubu yapmıştır. Çünkü ilk verimli üretim metodunu geliştiren ve tek katmanlı nanotüplerin özelliklerini incelemek üzere uluslararası işbirliği yapan onlar olmuşlardır.

“Taramalı Elektron Mikroskopunda” (SEM), üretilen nanotüpler hangi yöntemle üretilmiş olursa olsun karbon iplerden oluşmuş bir yaygı gibi görünür. Bu ipler 10-20 nm eninde ve 100 nm boyundadır. (TEM) ile incelendiğinde bu iplerin tek yönde sıralanmış tek katlı karbon nanotüp demetleri olduğu görüldü. Aynı anda birçok ipi görüntüleyebilen X-ışını difraktometresiyle, yapılan ölçümlerde tek katmanlı

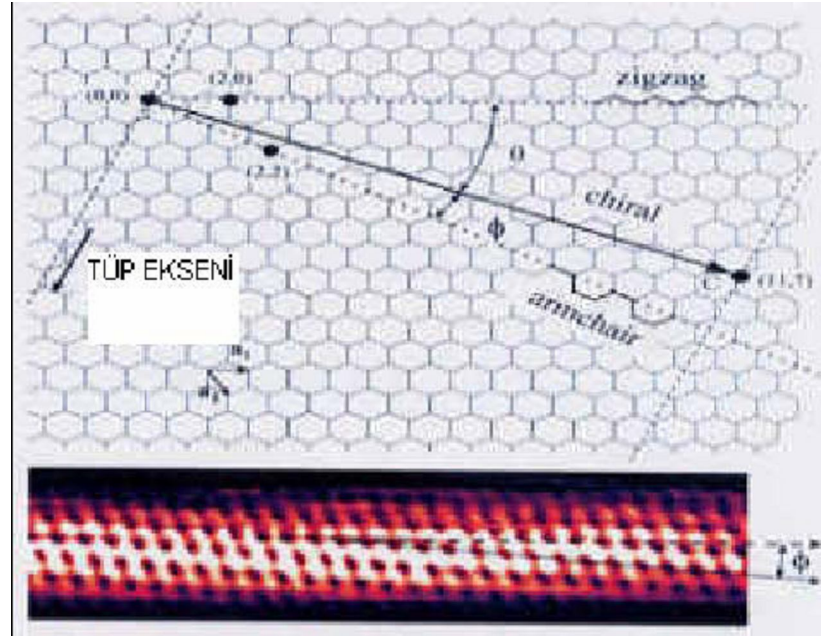
nanotüplerin çaplarının sivri uçlu, dar dağılımlı olduğunu gösterir. Rice ve Motpellier grupları tarafından kullanılan oluşum koşullarında, çap dağılımı, ideal nanometri çapına (10,10) yakın olarak, “1,38+0,02”,”1,38-0,02” nm.de yoğunlaşmıştır. Joe Fisher ve arkadaşlarının Pennsylvania Üniversitesinde X-ışını difraktometresiyle yapılan ölçümlerde tek katmanlı nanotüp demetlerinin iki boyutlu üçgensel örgü oluşturduğu görülmüştür. Örgü sabiti 1,7 nm ve tüpler arası en yakın uzaklık 0,315 nm olarak ölçülmüştür. Bu da Belçika’daki Louvain-La-Novve Unv.de daha önce yapılan teorik modellemeye uygun düşmektedir.

Çok katmanlı nanotüpleri büyütme için katalizör gerekmezken, tek katmanlı nanotüpler ancak katalizör ile büyütülebilir. Büyüme ile ilgili mekanizmalar hala çok iyi anlaşılabilmiş değiller. Deneyler, çap dağılımının eni ve tepe noktasının, katalizörün kompozisyonuna, oluşum sıcaklığına ve diğer oluşum koşullarına bağlı olduğunu göstermiştir. Daha dar çap dağılımları ve daha kontrollü oluşum koşulları sağlayabilmek için halen büyük çabalar harcanmaktadır. Uygulama açısından bakacak olursak, önemli olan düşük maliyetli yüksek kazançlı nanotüp üretmek ve ticari ölçekte üretilebilecek sürekli bir sistemdir (Url-12, 2010).

3.4 Nanotüplerin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri

3.4.1 Yapısal özellikler

Yüksek çözünürlü mikroskopi teknikleriyle karbon nanotüplerin yapısı araştırılmaktadır. Bu deneyler sonucunda nanotüplerin, kristal grafitlerden oluşan hegzagonal örgüdeki karbon atomlarının oluşturduğu silindirik yapılar olduğu anlaşılmıştır. 3 tip nanotüp olabilir(Şekil 3.4): “armchair” (sandalye kolu), “zigzag” ve iki boyutlu grafit levhanın nasıl rulo yapıldığına bağlı olan “chiral” (çapraz).



Şekil 3.4: Armchair, Zigzag, Chiral (Url-12,2010)

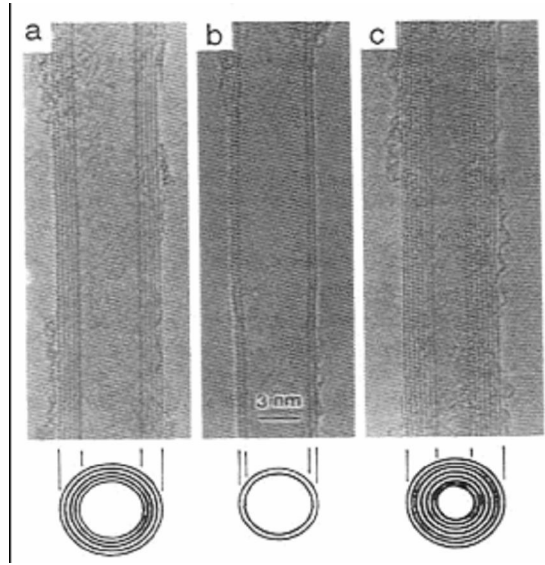
3.4.2 Elektriksel özellikler

Bir tek grafit levhası yarımetaldir. Bunun anlamı sahip olduğu özellikleri yarı iletken ile metal arasında ortadüzeyde olmasıdır. Grafit levha yuvarlanarak nanotüp oluşturulduğunda; daire çevresinde yalnızca karbon atomları sıralanmaz, aynı zamanda elektronların kuantum mekaniksel dalga fonksiyonları da uyumlu olarak düzenlenir. Radyal doğrultularda, elektronlar inceltilmiş tek katmanlı grafit düzlem tarafından sınırlanmıştır. Nanotübün daire çevresinde periyodik sınır şartları ortaya çıkmaktadır. Örneğin eğer bir nanotüp daire çevresinde 10 hekzagon bulunduruyorsa, 11. hekzagonal 1. ile çakışmaktadır. Silindir etrafında 2π 'lik faz farkı ile karşılaşılır.

3.4.3 Mekaniksel özellikler

Başka bir heyecan verici araştırma alanı ise karbon nanotüplerin mekaniksel özellikleridir. Grafit ve karbon fiberlerine benzer olarak, nanotüplerin çok sağlam ve yüksek elastikiyet modülüne sahip olmaları beklenmektedir. Ayrıca tek-katmanlı karbon nanotüplerin, tıpkı uzay teknolojisi uygulamalarında kullanılan karbon fiberi gibi, çok sağlam ve esneme altında kırılmama dayanıklılığına sahip olması beklenmektedir. North Caroline Üniversitesinden Jerzy Bernhole ve meslektaşlarının hesaplarına göre bir nanotüp kırılmadan yüksek oranda uzayabiliyor. Karbon fiberlerinin aksine, tek katmanlı nanotüpler dikkate değer oranda esnektir.

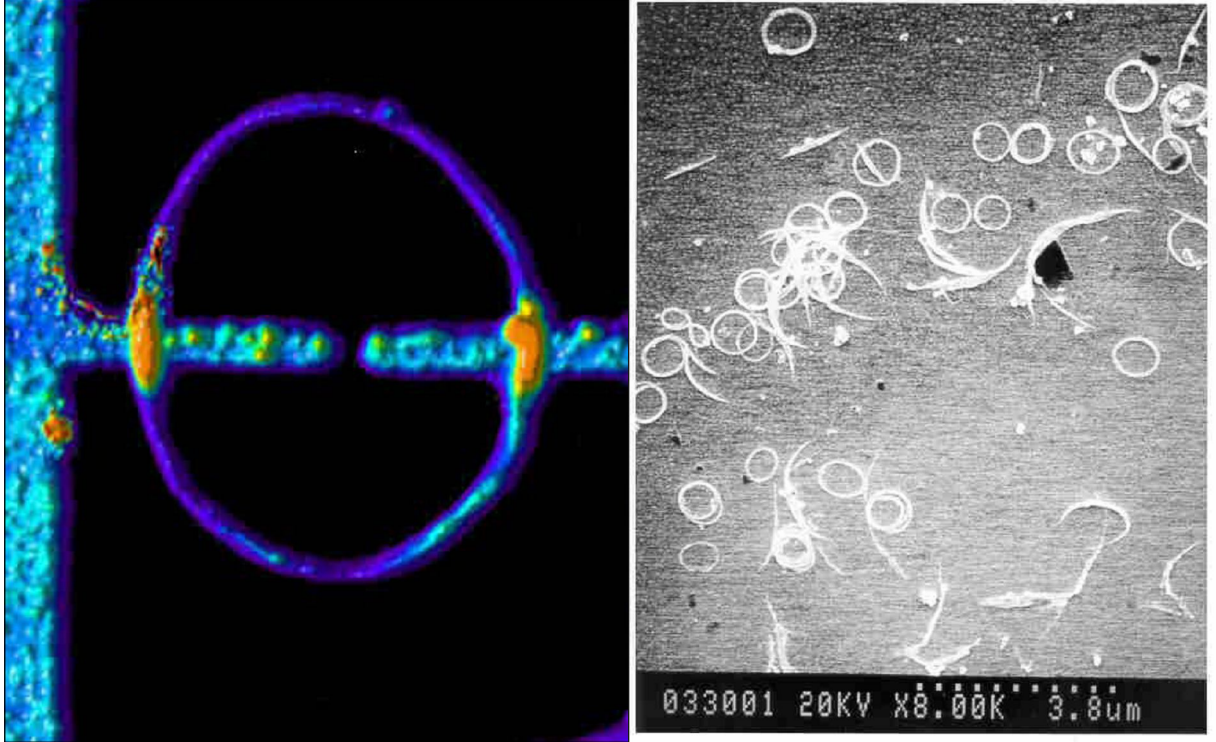
Burkulabilir, düzleştirilebilir, küçük daireler şeklinde kıvrılabilir. Ya da başka çeşitli esnetmeler sonucunda kırılmadan kalabilir. Dahası Bernhole ve meslektaşları, nanotüp üzerindeki etki çekildiği zaman eski orijinal şeklini aldığını gözlemlemişlerdir. Baskı altında kolayca kırılan karbon fiberlerinin aksine, karbon nanotüpler etki uygulandığında elastikiyeti sağlayan tek benzer yapıyı oluştururlar. Sonuç olarak nanotüpler sadece karbon fiberlerinin avantajlarına sahip olmayıp, aynı zamanda çok daha esnek ve basınç altında kırılmaya dayanıklıdır. Bu özellikler tek başlarına ya da diğer özellikleriyle birleştirilerek kullanılabilir. Örneğin; Hyperion Catalysis International Company bu moleküllerden az miktarda plastiğe katarak, plastiği elektriksel olarak iletken hale getiriyor. İletken plastikler otomotiv sektöründe elektriksel olarak yüklü boya imal etmek üzere kullanılıyor. Bu elektrostatik boya, sprey boya yöntemine göre daha fazla boya tasarrufu sağlamaktadır (Url-12, 2010).



Şekil 3.5: Çok katmanlı nanotüp (Url-12,2010)

Düz ip şeklindeki nanotüpleri halka nanotüplere(Şekil 3.5) çevirmek için bir yol bulunmuştur; bu halkalar birçok katman olarak, tek-katmanlı nanotüplerden oluşuyor ve 0,7 mikron çapa sahiptir. Halka haline getirme, proteinlerde ve diğer biyomoleküllerde gözlenmiş ve sarım içi temel kuvvetin hidrojen bağından kaynaklandığı düşünülmekteydi. Karbon nanotüpler ise yeni bir özellik göstererek halka olayında sadece Van der Waals kuvvetlerinin etkili olduğu görülmüştür. Van der Waals kuvvetleri ile ilgili bilgi daha sonra verilecektir. Metal elektrodalara yerleştirdiğimiz halkalar, yeni elektrik iletim olayını incelememizi sağlar. Halka

oluşturmak için kullanılan nanotüpler son derece küçüktür; çapları sadece 1,4 nm'dir. Bu nanotüpler düşük sıcaklıklarda tek boyutlu iletkenlerdir, kuantumsal etkileşim tüpler arasındaki elektriksel iletimi yönetir. Halka şekli, bunun gibi tek boyutlu iletkenlerde kuantum etkilerini gözleyebilmemizi mümkün kılar(Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Nanotüp halka görüntüleri (Url-12,2010)

3.5 Van Der Waals Kuvvetleri

Bilimadamı Van der Waals, moleküller arası kuvvetlerden yola çıkarak oluşturdugu esitliklerle, gerçek gaz yasasının ideal gaz yasasından saptığı noktaları bulmuştur. Daha dogrusu, ideal gaz yasasından, kendine özgü bir ifade (formül) ile gerçek gaz yasasının formülünü belirlemiştir.

Van der Waals bağlarını bulan kişi kendisi değildir. Bu, onun çalışmalarını, katkılarını ve adını onurlandırmak için konmuş bir isimdir. Van der Waals kuvvetleri denilen moleküller arası çekim kuvvetleri üç tanedir:

3.5.1 Dipol dipol kuvvetler

Polar moleküller birbirlerini dipol - dipol kuvveti ile çekerler. Polar kelimesi, elektronegatiflikleri farklı olan ya da daha basit bir ifade ile (+) ve (-) kutuplaşması gözlenen moleküller için kullanılır. Moleküller arasındaki mutlak elektronegatiflik

farkları, o moleküller arasındaki bağın, polar, apolar (polar olmayan) ya da iyonik bağ olup olmadığının bilgisini verir. Örneğin H H bağında elektronegatiflik farkı 0,0 olur ve apolardır. HCl bağında ise (Cl daha elektronegatiftir) 0,9 luk bir fark vardır ve polardır. Elektronegatiflik farkı çok yüksek olduğu durumlarda ise (Na Cl de olduğu gibi 2,1) iyonik bağdan söz ederiz. Sonuçta H Cl polar bir moleküldür. Bağ elektronlarının çoğu daha elektronegatif olan Cl atomu üzerinde birikir ve Cl çevresinde daha çok zaman harcarlar. Bu yüzden (HCl nötr olduğu halde) H atomu kısmen pozitif, Cl atomu da kısmen negatif gibi gözükür. İşte bu kutuplaşma polar kelimesi ile ifade edilir. Apolar moleküllerde ise (HH de olduğu gibi bağ elektronları eşit dağılır ve bir kutuplaşma olmaz. İşte dipol dipol kuvveti, polar molekülün kısmen pozitif olan ucu ile diğer molekülün kısmen negatif olan ucu arasında oluşan bir çekim kuvvetidir.

3.5.2 London kuvveti

Apolar moleküllerde dipol dipol kuvvetlerinden söz edemeyiz. Ancak London kuvveti (1930 da Fritz London isimli bilim adamı tarafından bulunmuştur) apolar olan moleküllerdeki atomların kısa bir süre için hatta anlık olarak polarize olması ile oluşur. Atom çekirdeği etrafında dönen elektronlar bir anlık ta olsa, çekirdeğin belirli bir bölümünde daha fazla bulunur. Böylece atom kendi içinde kısmen polarize olur. Bu atoma komşu olan atomun ise, bu durumdan dolayı kendi elektronlarının dağılımı değişir ve o da polarize olur. Bu durum zincirleme halinde bütün molekülü etkiler. Böylece atomlar arasındaki etkileşmeden doğan bir çekim kuvveti meydana gelir. İşte moleküller arasında, atomların elektronlarının anlık pozisyon değişimlerine bağlı olarak oluşan çekime London kuvveti diyoruz. London kuvveti, moleküler ağırlığı fazla olan moleküllerde daha fazla hissedilir. Çünkü bu moleküller daha fazla elektrona sahiptir. Fazla elektron da, olası pozisyon değişiklikleri ihtimalini artırır.

3.5.3 Hidrojen bağı

Yapılarında OH grubu içeren moleküllerde hidrojen bağı denilen, zayıf - orta kuvvette bir bağ bulunur. Elektronegatifliği yüksek bir atoma kovalent bağlı bir hidrojen atomu ile, elektronegatifliği az olan bir atomun yalnız (bağ yapmamış) elektronları arasındaki bağa Hidrojen Bağı denir.

Su molekülleri arasında Hidrojen bağı vardır. Bir su molekülünde, oksijene bağlı 2 hidrojen atomu ve oksijenin 2 çift yalnız (bağ yapmamış) elektronu vardır. Sudaki O-

H baginda, O yüksek elektronegatif olduğu için, elektronlar O atomu çevresinde daha çok zaman harcarlar. Baska bir deyişle polarizasyon olur. Hidrojen ise kısmen (+) yüklüymüş gibi olur. H_2O , H_2S , H_2Se ve H_2Te molekülleri arasında sadece london kuvveti bulunsaydı, kaynama noktalarının sıralaması tamamen molekül ağırlıkları ile doğru orantili olurdu. Ancak bunlar arasında H_2O , moleküler ağırlığı en az olmasına rağmen kaynama noktası en yüksek olanıdır. Bunun sebebi de H_2O 'da hidrojen bağının olması ve diğer moleküllerde olmamasıdır.

Van Der Waals kuvvetlerinin şiddeti üç faktöre bağlıdır.

- a) Elektron sayısı: Elektron sayısı fazla olan moleküller arasında moleküller arasındaki Van Der Waals kuvvetleri daha büyüktür.
- b) Molekül büyüklüğü: Büyük bir molekülün yüzeyi de geniş olacağından Van Der Waals kuvvetlerinin şiddeti de büyük olacaktır.
- c) Aynı elementlerin oluşturdukları atom sayısı arttıkça Van Der Waals kuvvetlerinin şiddeti de artmaktadır. Örneğin C_3H_8 'in erime noktası C_2H_6 '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.

3.6 Karbon Nanotüplerin Uygulama Alanları

3.6.1 Depolamada

Lityum atomlarının karbon nanotüplerde depolanabilmesinin bulunmasından sonra, karbon nanotüplerin pil yapımında kullanılması düşünülmüştür. Yalnız bu geçişi engelleyen iki durum vardır: birincisi TKKN'ler sabit bir voltajla yüklerini boşaltamaması, ikincisi yüksek miktarda Li depolanamadığı için ağırlık açısından verimin düşük olmasıdır. Böyle olmasına rağmen karbon anotlarına 20% düzeyine kadar karbon nanotüp yedirildikten sonra, yük depolama kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. Onun için karbon nanotüpler lityum iyon pillerin yerini almada en kuvvetli adaydır. Karbon nanotüpler ayrıca hidrojen depolamada da kullanılıyor. Hidrojen enerjisini kullanmada en büyük engellerden biri de hidrojenin depolanmasıdır. Günümüzde birçok grup karbon nanotüpler sayesinde hidrojen depolamaya çalışıyor ve şu ana kadar istenilen performansı sağlayan bir sistem

üretilememiştir. Gene de karbon nanotüpler hidrojen depolama için umut verici malzemelerdir.

3.6.2 Çevre temizlemesinde

Karbon nanotüplerin yüksek yüzey alanı, mekanik kuvvet gibi özelliklerinden dolayı su, hava ve diğer malzemeleri temizlemede kullanılan filtrelerde kullanılması düşünülmektedir.

3.6.3 Sensörlerde

Karbon nanotüpler çevredeki değişime çok kuvvetli bir elektronik tepki verdiği için, bir çok şirket nanotüplerden sensör üretmeye çalışmaktadır. Karbon nanotüpler belli çeşit gazlarla temasa geçtiklerinde iletkenlikleri değişmektedir. Eğer nanotüp belli bir antijenle birleşecek yapıda yapılırsa, mekanik rezonansındaki değişime göre nanotüpün bu antijeni tutup tutmadığı anlaşılabilir. Karbon nanotüpten yapılmış ve CO gazına çok hassas bir sensör ile, soba zehirlenmeleri azaltılabilir. Ya da fabrikalardaki tehlikeli maddelerinin sızıntıları anında tesbit edilebilir.

3.6.4 Yapı malzemesi olarak

Karbon nanotüpler AKM sivri ucu olarak kullanılarak daha yüksek çözünürlükte görüntüler elde ediliyor. Malzeme yapımında karşılaşılan zorluklar ise şöyle sıralanabilir:

- 1-Nanotüplerin yüzeyine atom bağlanamadığı için kompozit malzeme yapımı zordur.
- 2-Nanotüplerin çok güzel bir biçimde dizilememektedir.
- 3-Karbon nanotüpler günümüzde çok pahalıdır.

Nanotüplerin kullanıldığı diğer alanlar: tekstil, askeriye, köprülerin çelik halatları (bir parmak kalınlığındaki karbon nanotüpün, şimdiki kalın çelik halatların yerini alacağı düşünülüyor), spor malzemeleri (tenis raketi).

3.6.5 Elektronikte

Bilim adamları karbon nanotüpten işlemci yapmak için uğraşmaktadırlar. "Ve" ve "Değil" gateleri üretilebilmiştir. Tranzistör, ekran, süperiletkenler, mıknatıs da uygulamaların içindedir.

3.6.6 Tıpta

Dış yüzeyinin fonksiyonlaştırılması sonucu, nanotüplerin tıbbi uygulamalarda kullanılması düşünülmektedir. Nanotüplerle ilaç taşınması yapılmak istenmektedir. En büyük sorun ise nanotüplerin insan sağlığı için uygun olup olmadığının bilinmemesidir.

3.6.7 Uzayda

Uzay çalışmaları hala pahalıdır. Bilim adamları bunu azaltmak istemektedirler. Roket yakıtının yüzde 90'ı ilk birkaç yüz kilometrede harcanmaktadır. Bu yakıt problemine çözüm olarak ise uzay asansörü yapılması düşünülmektedir. Nanotüpler, uzaydan sarkıtılıp Dünya'nın dönmesine karşı direnebilen bir malzeme olduğu için (çelik dayanamıyor) nanotüpten yapılan bir asansörle uzaya çıkılabilir diye düşünülmektedir. Uzay asansörü yapan ilk gruba NASA'nın 500.000 dolarlık ödülü vardır.

Çizelge 3.2: Karbon Nanotüplerin Karşılaştırmalı Özellikleri (Url-10, 2010)

Özellik	Tek Katmanlı C Nanotüp	Diğer Özellikte Malzemeler
Ebadı	0.6 – 1.8 nm çapında	Elektron demeti ile 50nm x 5nm ebadında çizgiler oluşturulabilir
Yoğunluk	1.33 – 1.40 g/cm ³	Alüminyum: 2.7 g/cm ³
Gerilme muk.	50 GPa	En sağlam çelik alaşımları 2 GPa'da kopar
Esneklik	Düğüm yapılabilecek kadar esnek	Metaller ve karbon fiberler kırılır
Akım taşıma kapasitesi	1 Gigaamper/ cm ²	Bakır teller 1 mega amper/cm ² 'de yanar
Alan yayma	1 mikrometre uzaklıktan fosfor atomlarını 1-3 Volt civarında uyarabilir	Molibdenum uç 50 – 100 Volt/mikrometre (kısa ömürlü)
Isı iletimi	Oda sıcaklığında 6000 W/mK	Saf elmas 3320 W/mK
Sıcaklığa dayanıklılık	Havada 750°C, vakumda 2800 °C' ye kadar	Mikroçiplerdeki metal teller 600 - 1000°C'de erir
Maliyet	1500 \$/gram	Altın: 10\$/gram

1nm=10⁻⁹ m; 1 mikrometre = 10⁻⁶ m ; 1GPa = 10⁹ paskal; 1 Pa = 1N/m²

4. WOLFRAM MATHEMATICA PROGRAMI

4.1 Wolfram Mathematica Programı Nedir?

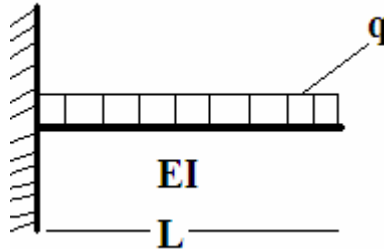
Wolfram Mathematica programı numerik ve sembolik hesaplamalar yapabileceğiniz, bunun yanında iki ve üç boyutlu grafikler, sayaçlar ve yoğunluk noktaları üretebileceğiniz bir simgesel matematik yazılımıdır. “**Kernel-front end**” mantığında çalışır. Çizeysel arayüzlüdür ve denklem girmesi kolaydır.

Bu çalışmada Mathematica programı yardımıyla çift duvarlı bir nanotübün bir tekil yük etkisi altındaki elastik, dönme, moment ve kesme kuvveti eğrileri incelenecektir. Böyle bir analizin yapılabilmesi için Mathematica programının genel kullanımı ve gerekli olan komutların bilinmesi gerekir. Bu komutların bazıları ;

- DSolve
- Plot
- MatrixExp
- FullSimplify
- Chop ‘ tur.

4.2 Komutların Kullanılması

4.2.1 Dsolve [eqn,y,x]



Şekil 4.1 : Duvara ankastre kiriş

Bu komut 'eqn' yerine girilen diferansiyel denklemini çözerek, x'in bağımsız değişken olduğu y fonksiyonunu verir. Bazı durumlarda denklemin çözülebilmesi için sınır şartları gerekir. Bu durumda yazılacak komut;

DSolve [{eqn,sınırkoşulu},y,x] şeklini alır. Örnek verilirse:

Duvara ankastre L boyundaki kirişin üzerinde q yayılı yükü bulunmaktadır. Eğer;

$$q=3 \quad v''''[z]=q/EI$$

$$L=3 \quad EI=5000 \text{ olursa;}$$

Bu sistemde sınır koşulları :

- $v[0]=0$
- $v''[3]=0$
- $v'[0]=0$
- $v'''[3]=0$

Yazılacak komut;

```
DSolve[{v''''[z] == 3 / (5000), v[0] == 0, v''[3] == 0, v'[0] == 0, v'''[3] == 0}, v[z], z]
```

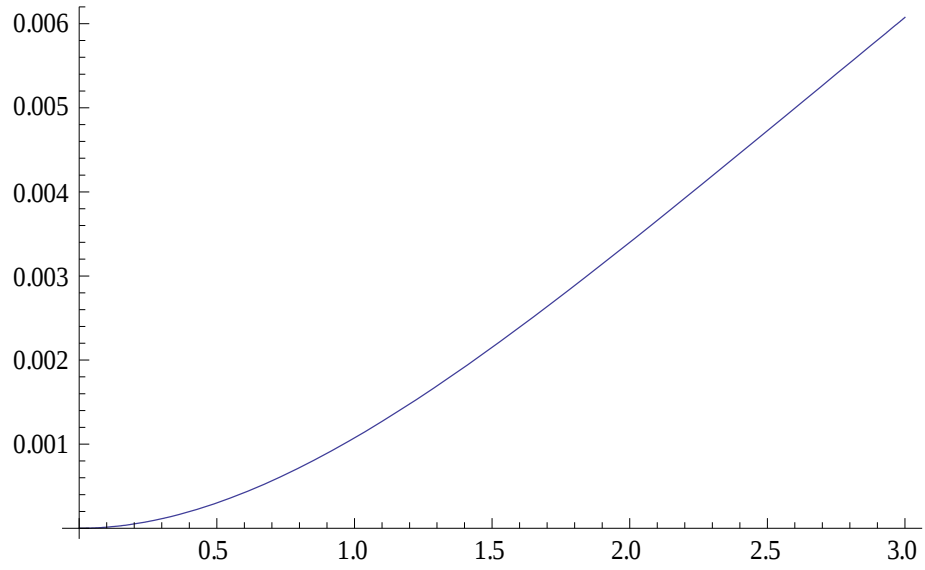
Komut yazıldıktan sonra programın işlemi gerçekleştirmesi için Shift+Enter'a basılmalıdır. İşlem sonucu:

$$\left\{ \left\{ v[z] \rightarrow \frac{54 z^2 - 12 z^3 + z^4}{40000} \right\} \right\}$$

Görüldüğü gibi sistemin elastik eğrisi bulunmuştur. Denklem grafikte gösterilmek istenirse (Şekil 4.1);

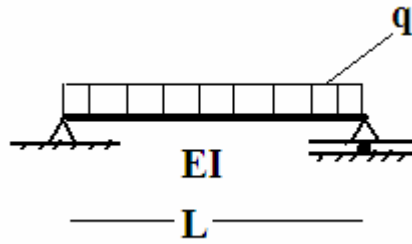
$$\text{Plot} \left[\frac{54 z^2 - 12 z^3 + z^4}{40000}, \{z, 0, 3\} \right]$$

L boyundan dolayı z değişkeni 0 ile 3 arasında olması gerekmektedir. Dolayısıyla elde edilen grafik:



Şekil 4.2 : L boyundaki kirişin çökme grafiği

Daha farklı bir system kullanarak bir örnek daha vericek olursak;



Şekil 4.3 : İki ucu mesnetli kiriş

İki ucu mesnetli L boyundaki kirişin üzerinde q yayılı yükü bulunmaktadır.Eğer;

$$q=3 \quad v''''[z]=q/EI$$

$$L=3 \quad EI=5000 \text{ olursa yazılacak komut;}$$

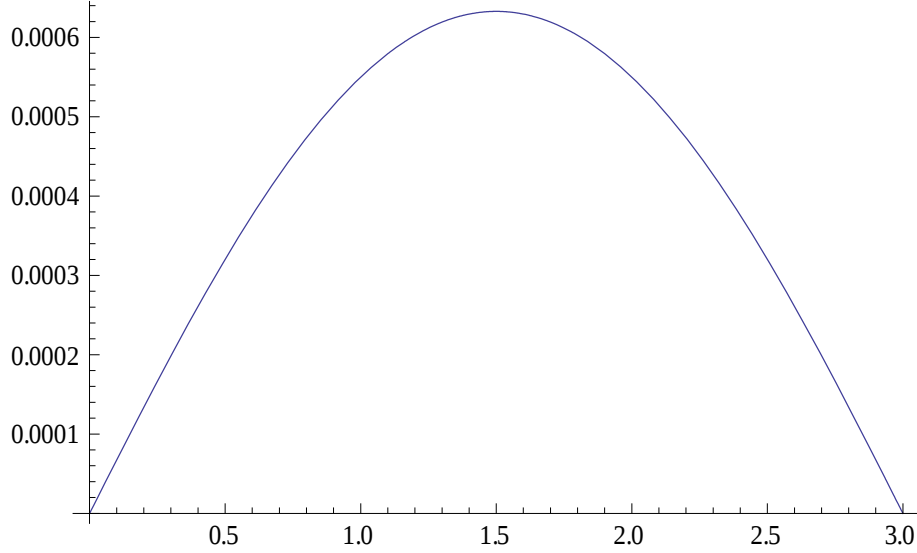
`DSolve[{v''''[z] == 3 / (5000), v[0] == 0, v[3] == 0, v'[0] == 0, v'[3] == 0}, v[z], z]`

İşlem gerçekleştirildiğinde elde edilen sonuç:

$$\left\{ \left\{ v[z] \rightarrow \frac{27 z - 6 z^3 + z^4}{40000} \right\} \right\}$$

Bu denklemi grafik üzerinde göstermek istersek(Şekil 4.2);

`Plot[ $\frac{27 z - 6 z^3 + z^4}{40000}, \{z, 0, 3\}]$`



Şekil 4.4 : L boyundaki kirişin çökme grafiği

4.2.2 MatrixExp[m]

Bu komutun kullanılabilmesi için öncelikle programa m matrisi yazılmalıdır.

`m={{3,2},{-1,0}}`

Programın m'i matris formatında yazması için ise

`MatrixForm[m]`

yazılmalıdır.MatrixExp[m] komutu yazıldığında ise program bize e^m 'in sonucu verir.

Bu sonuç:

`{{-e + 2 e^2, 2 (-e + e^2)}, {e - e^2, 2 e - e^2}}`

`MatrixExp[m*z]` yazarak ise $e^{m.z}$, nin sonucu bulunur:

`{{e^z (-1 + 2 e^z), 2 e^z (-1 + e^z)}, {-e^z (-1 + e^z), -e^z (-2 + e^z)}}`

4.2.3 FullSimplify[expr]

FullSimplify komutu yazılan denklemi basitleştirerek bize en sade şekliyle sunar.Örnek olarak bir polinomun daha sade ve düzenli şekilde görülmesini istersek;

FullSimplify[x^3-6x^2+11x-6] yazılır ve

$(-3+x)(-2+x)(-1+x)$ sonucu bulunur.

4.2.4 Chop[expr]

Bu komut ile çok küçük ve 0'a yakın sayıların yerine 0 yazılır ve 'expr' yerine yazılan veriler sadeleştirilir.

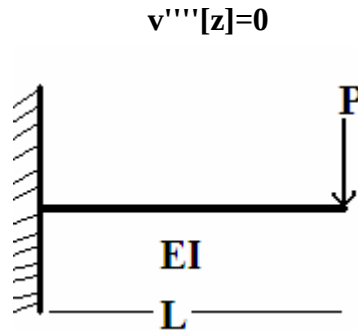
{2.,1.,1.,9.06493×10⁻¹⁷,6.82968×10⁻¹⁷,9.06493×10⁻¹⁷}

Bu veri için chop komutunu kullanırsak;

Chop[%]

{2.,1.,1.,0,0,0} elde edilir.

4.3 Genel Uygulama



Şekil 4.5 : Duvara ankastre kiriş

Mathematica programı yardımıyla yukarıdaki şekildeki sistemin elastik eğri denklemi bulunur.Bu denklemin bulunması için önce başlangıç koşulları gereklidir.

Aradığımız sınır koşulları şunlardır:

- $v(z)$ = Çökme,
- $v'(z)$ = Dönme,
- $-EI.v''(z) = Mx$, Eğilme Momenti,
- $-EI.v'''(z) = Ty$, Kesme Kuvveti,

- $EI.v''''(z) = qy$, Yayılı Yük

Bu sistemde kullanabileceğimiz sınır koşulları

- $v[0]=0$ (0 noktasında çökme sıfırdır)
- $v'[0]=0$ (0 noktasında dönme sıfırdır)
- $v''[0] = -P.L/EJ$ (0 noktasındaki moment yani yük x uzaklık)(Programda EI yerine EJ şeklinde tanıtıldı.)
- $v'''[0] = P/EJ$ (0 noktasındaki kesme kuvveti yüke eşdeğerdir.

Programda elastik eğri denklemi bulmak için DSolve komutu kullanılır.Bu komut içerisinde diferansiyel denklem olarak $v''''[z]=0$, sınır koşulları olarak yukarıdaki maddeler ve belirlenen bir değişken ile çözülür.

DSolve[{v''''[z]=0,v[0]=0,v'[0]=0,v''[0]=-P.L/EJ,v'''[0]=P/EJ},v[z],z]

Komutu yazdıktan sonra elde edilen denklem yani elastik eğri:

$$\left\{ \left\{ v[z] \rightarrow \frac{P z^4 - 3 z^2 P L}{6 E J} \right\} \right\}$$

Elde edilen denklemin birinci türevi Phi'ye(ϕ) yani dönmeye,ikinci türevi M/EJ 'ye yani eğilme momentine,üçüncü türevi T 'ye yani kesme kuvvetine,dördüncü türevi q 'ye yani yayılı yüke eşittir.

- $v'[z] = \phi$
- $v''[z] = M/EJ$
- $v'''[z] = T$
- $v''''[z] = q$

Taşıma matrisi dediğimiz bir matris kullanılarak bu denklemler bulunabilir.

Öncelikle bu bilgilere dayanarak aşağıdaki denklem yazılabilir;

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} v \\ \phi \\ M \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{EJ} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \phi \\ M \\ T \end{pmatrix}$$

Dolayısıyla A matrisi olarak tanımlayabileceğimiz

bir 4x4 lük matris bulunmuştur. Programa bu matris tanıtılır;

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

MatrixForm[A]

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{EJ} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

A matrisi kullanılarak $e^{A.z}$ yani taşıma matrisi bulunabilir. Bunun için $TM[Z_]=MatrixExp[A*z]$ yazılır. (TM yazarak Taşıma Matrisi ismi verildi)

$$\left\{ \left\{ 1, z, \frac{z^2}{2EJ}, \frac{z^3}{6EJ} \right\}, \left\{ 0, 1, \frac{z}{EJ}, \frac{z^2}{2EJ} \right\}, \{0, 0, 1, z\}, \{0, 0, 0, 1\} \right\}$$

MatrixForm[TM[Z_]]

$$\begin{pmatrix} 1 & z & \frac{z^2}{2EJ} & \frac{z^3}{6EJ} \\ 0 & 1 & \frac{z}{EJ} & \frac{z^2}{2EJ} \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Taşıma matrisi ile başlangıç koşulları çarpılırsa, en başta istenilen elastik eğri, dönme, moment ve kesme kuvveti eğrileri elde edilir. Sistemdeki başlangıç koşulları:

- $v[0]=0$
- $\phi[0]=0$
- $M[0]=-P.L$
- $T[0]=P'$ dir. Bu koşulları başlangıç koşulları (BK) olarak programa tanıtırız;

BK = {{0}, {0}, {-P.L}, {P'}}

{{0}, {0}, {-P.L}, {P'}}

MatrixForm[BK]

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -P.L \\ P \end{pmatrix}$$

elde edilir. Çarpma işlemi yaptırılır ve bu işlem BLM[Z_] yani bilinmeyenler olarak tanıtılır:

BLM[Z_] = TM[Z_] . BK

$$\left\{ \left\{ \frac{P z^3}{6EJ} - \frac{z^2 P.L}{2EJ} \right\}, \left\{ \frac{P z^2}{2EJ} - \frac{z P.L}{EJ} \right\}, \{P z - P.L\}, \{P\} \right\}$$

MatrixForm[BLM[Z_]]

$$\begin{pmatrix} \frac{P z^3}{6 E J} - \frac{z^2 P . L}{2 E J} \\ \frac{P z^2}{2 E J} - \frac{z P . L}{E J} \\ P z - P . L \\ P \end{pmatrix}$$

Elde edilen matristeki 1. eleman elastik eğri, 2. eleman dönme, 3. eleman moment, 4. eleman kesme kuvveti denklemini gösterir. Görüldüğü gibi bulunan $v[Z_]$, uygulamanın en başında Dsolve ile bulunan $v[z]$ ile aynıdır.

$v[Z_] = \text{BLM}[Z][[1]]$ (Bilinmeyenler matrisi 1. terimin gösterimi)

$$\left\{ \frac{P z^3}{6 E J} - \frac{z^2 P . L}{2 E J} \right\}$$

$Q[Z_] = \text{BLM}[Z][[2]]$ (Bilinmeyenler matrisi 2. terimin gösterimi)

$$\left\{ \frac{P z^2}{2 E J} - \frac{z P . L}{E J} \right\}$$

$M[Z_] = \text{BLM}[Z][[3]]$ (Bilinmeyenler matrisi 3. terimin gösterimi)

$$\{P z - P . L\}$$

$T[Z_] = \text{BLM}[Z][[4]]$ (Bilinmeyenler matrisi 4. terimin gösterimi)

$$\{P\}$$

Yapılan bu uygulamanın Mathematica programı üzerinde gösterilişi sonraki sayfalarda resimlerdeki gibidir (Şekil 4.6 ve 4.7).

1

```
DSolve[{v''''[z] == 0, v[0] == 0, v'[0] == 0, v''[0] == -P.L/EJ, v'''[0] == P/EJ}, v[z], z]
```

$$\left\{ \left\{ v[z] \rightarrow \frac{P z^6 - 3 z^2 P.L}{6 EJ} \right\} \right\}$$

```
v'[z] == Q
```

```
v[z] == Q
```

```
v''[z] == M/EJ
```

$$v''[z] == \frac{M}{EJ}$$

```
v'''[z] == T
```

```
v(3)[z] == T
```

```
v''''[z] == q
```

```
v(4)[z] == q
```

```
A = {{0, 1, 0, 0}, {0, 0, 1/EJ, 0}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 0}}
```

$$\left\{ \left\{ 0, 1, 0, 0 \right\}, \left\{ 0, 0, \frac{1}{EJ}, 0 \right\}, \left\{ 0, 0, 0, 1 \right\}, \left\{ 0, 0, 0, 0 \right\} \right\}$$

```
MatrixForm[{{0, 1, 0, 0}, {0, 0, 1/EJ, 0}, {0, 0, 0, 1}, {0, 0, 0, 0}}]
```

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{EJ} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

```
TM[Z_] = MatrixExp[A * z]
```

$$\left\{ \left\{ 1, z, \frac{z^2}{2 EJ}, \frac{z^3}{6 EJ} \right\}, \left\{ 0, 1, \frac{z}{EJ}, \frac{z^2}{2 EJ} \right\}, \left\{ 0, 0, 1, z \right\}, \left\{ 0, 0, 0, 1 \right\} \right\}$$

Şekil 4.6 : Mathematica uygulaması – 1

$$BK = \{\{0\}, \{0\}, \{-P.L\}, \{P\}\}$$

$$\{\{0\}, \{0\}, \{-P.L\}, \{P\}\}$$

$$\text{MatrixForm}[BK]$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -P.L \\ P \end{pmatrix}$$

$$BLM[Z_] = TM[Z_].BK$$

$$\left\{ \left\{ \frac{P z^4}{6 E J} - \frac{z^2 P.L}{2 E J} \right\}, \left\{ \frac{P z^2}{2 E J} - \frac{z P.L}{E J} \right\}, \{P z - P.L\}, \{P\} \right\}$$

$$\text{MatrixForm}[BLM[Z_]]$$

$$\begin{pmatrix} \frac{P z^4}{6 E J} - \frac{z^2 P.L}{2 E J} \\ \frac{P z^2}{2 E J} - \frac{z P.L}{E J} \\ P z - P.L \\ P \end{pmatrix}$$

$$v[Z_] = BLM[Z][[1]]$$

$$\left\{ \frac{P z^4}{6 E J} - \frac{z^2 P.L}{2 E J} \right\}$$

$$Q[Z_] = BLM[Z][[2]]$$

$$\left\{ \frac{P z^2}{2 E J} - \frac{z P.L}{E J} \right\}$$

$$M[Z_] = BLM[Z][[3]]$$

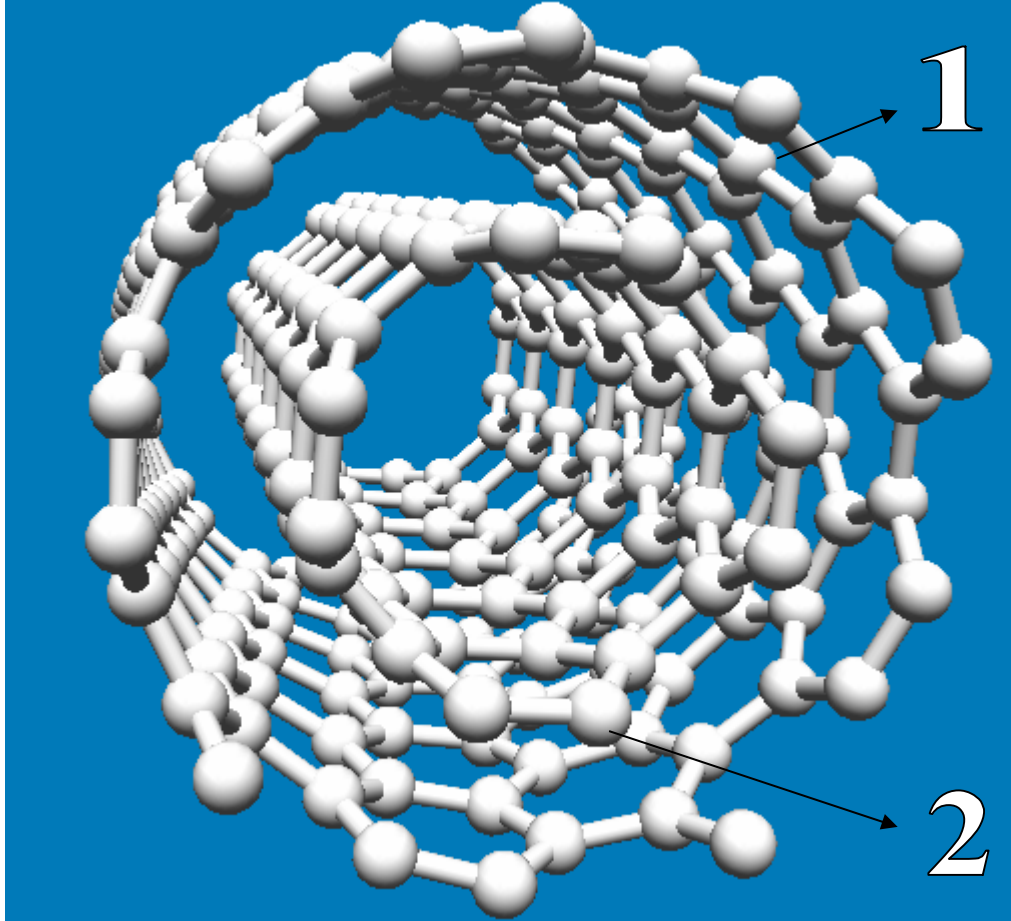
$$\{P z - P.L\}$$

$$T[Z_] = BLM[Z][[4]]$$

$$\{P\}$$

Şekil 4.7 : Mathematica uygulaması – 2

5. BELİRLENEN BİR SİSTEMDE ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPÜN DAVRANIŞI



Şekil 5.1: 1 indisli dış tüp ve 2 indisli iç tüp

Şekilde görüldüğü gibi iç içe geçmiş 1 ve 2 indisli 2 ayrı tüp bulunmaktadır (Şekil 5.1). Bir önceki konuda yapıldığı gibi bu tüplerin eğri denklemlerinin bulunması için taşıma matrisi($e^{A \cdot z}$) kullanılabilir. Taşıma matrisinin de elde edilmesi için öncelikle aşağıdaki bilgilerin bilinmesi gerekir.

$v1'[z]=\phi 1$ (1 indisli tübün elastik eğrisinin türevi 'phi 1'e yani dönmeye eşittir.)

$v1''[z]=M1/K1$ (1 indisli tübün dönme eğrisinin türevi momente eşittir.)

$v1'''[z]=T1$ (1 indisli tübün moment eğrisinin türevi kesme kuvvetine eşittir.)

$v1''''[z]=c (v2-v1)$ (1 indisli tübün kesme kuvvetinin türevi yayılı yüke eşittir.)

$v2'[z]=\phi 2$ (2 indisli tbn elastik eērisinin trevi ‘phi 1’ e yani dnmeye eittir.)

$v2''[z]=M2/K2$ (2 indisli tbn dnme eērisinin trevi momente eittir.)

$v2'''[z]=T2$ (2 indisli tbn moment eērisinin trevi kesme kuvvetine eittir.)

$v2''''[z]=c (v1-v2)$ (2 indisli tbn kesme kuvvetinin trevi yayılı yke eittir.)

$$\vec{a}_z = \begin{pmatrix} v1 \\ \phi 1 \\ M1 \\ T1 \\ v2 \\ \phi 2 \\ M2 \\ T2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{K_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c & 0 & 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{K_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ c & 0 & 0 & 0 & -c & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v1 \\ \phi 1 \\ M1 \\ T1 \\ v2 \\ \phi 2 \\ M2 \\ T2 \end{pmatrix}$$

Bu bilgiler kullanarak yukarıda görülen matrislerle oluşturulmuş denklem yazılabilir. Denklem czlrse yine aynı bilgiler elde edilecektir.Burada görülen;

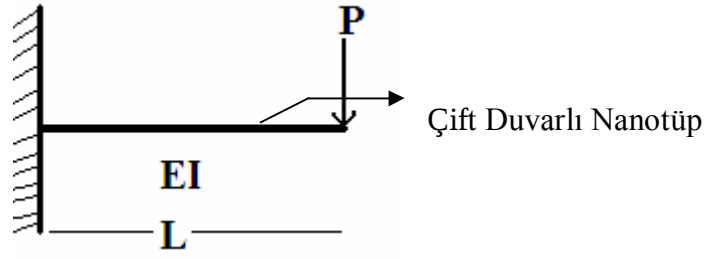
$$K1=E1.I1$$

$K2=E2.I2'$ ye eşittir.Kolaylık aēısında programa bu şekilde tanıtılmıştır.

Bu denklemin Mathematica programında yazılabilmesi iēin aaēıdaki komutlar uygulanmalıdır:

- MatrixForm [{v1, ϕ1,M1,T1,v2, ϕ2,M2,T2}] (deēerleri matris şeklinde yazmak iēin)
- $A=\{\{0,1,0,0,0,0,0,0\},\{0,0,1/K_1,0,0,0,0,0\},\{0,0,0,1,0,0,0,0\},\{-c,0,0,0,c,0,0,0\},\{0,0,0,0,0,1,0,0\},\{0,0,0,0,0,0,1/K_2,0\},\{0,0,0,0,0,0,0,1\},\{c,0,0,0,-c,0,0,0\}\}$
(A tanımlı matrisin deēerlerinin programa girilmesi)
- MatrixForm[A] (A matrisinin gösterilmesi)

ēift duvarlı nanotüp analiz ederken aaēıdaki sistemi baz alıyoruz.Bu sistemde kiriş yerine ēift duvarlı nanotübün ankastre olduēunu varsayıyoruz.



Şekil 5.2 : Duvara ankastre çift duvarlı nanotüp

Sistemin elastik,dönme,moment ve kesme kuvveti eğrilerinin bulunabilmesi için başlangıç durumları (koşulları)' na ihtiyacımız vardır.Bu koşullarda dikkate alınması gereken durum, sınırlardaki tüm etkileri dış tübün karşıladığıdır.Çünkü iç ve dış tüpler birbirlerine çok zayıf bağlarla (Van der Waals Kuvvetleri) bağlıdırlar.Sistemin başlangıç durum matrisini BD adıyla tanımlarsak;

1. tübün ankastre yani 0 noktasında;

- çökmesi sıfırdır.
- dönmesi sıfırdır.
- Momenti $-P.L$ ' dir.
- Kesme kuvveti P ' dir.

2. tübün ankastre yani 0 noktasında;

- Çökmesi bilinmiyor.
- Dönmesi bilinmiyor.
- Momenti sıfırdır.
- Kesme kuvveti sıfırdır.

"BD={ {v₁₀},{ φ₁₀},{M₁₀},{T₁₀},{v₂₀},{ φ₂₀},{M₂₀},{T₂₀}}"

BD={ {0},{0},{-P*L},{P},{v₂₀},{ φ₂₀},{0},{0}}

MatrixForm[BD]

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -L P \\ P \\ v_{20} \\ \phi_{20} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{elde edilir.}$$

Başlangıç durumu matrisi de elde edildikten sonra sıra taşıma matrisi($e^{A.z}$)ne gelir.

Bunun için yazılan komut:

TM=FullSimplify[MatrixExp[A*z],K1<0&&K2<0]

Daha önceki örnek uygulamalarda bulunan taşıma matrislerinin hesabı bu örnekteki göre daha kolaydır.Bu nedeni, önceki örneklerde 4x4 lük,bu örnekte ise 8x8 lik matris kullanılmıştır.Dolayısıyla taşıma matrisi de 8x8 lik bir matristir. Bulunan taşıma matrisinde FullSimplify komutu kullanılmasına rağmen çok uzun ve karışık denklemler çıkmıştır.Bu denklemler ilerleyen bölümde gösterilecektir. Bundan sonraki aşamada taşıma matrisi (TM), başlangıç durumu (BD) matrisiyle çarpılır ve elde edilmek istenilen denklemlere ulaşılır.Ortaya çıkan sonuç 8x1 lik bir matristir ve bilinmeyenler(BLMYLR) olarak adlandırılmıştır.

Başlangıç durumu matrisinde v_{20} ve ϕ_{20} olmak üzere 2 adet bilinmeyen bulunmaktadır.İşlemlerin sonucunda tam olarak doğru cevabın bulunması için bu değerlerin bulunması gerekmektedir.Değerlerin bulunması için Solve komutu kullanılır ve 2 adet koşul yazılır:

```
aa = Solve[{M1[L] == 0, T1[L] == P}, {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]
```

Görüldüğü gibi Solve komutu içerisinde M1[L]=0 ve T1[L]=P koşulları yazılmıştır ve program da v_{20} ve ϕ_{20} hesaplayarak bulmuştur.Bulunan cevapların daha belirgen ve sade olması için FullSimplify komutu kullanılmıştır. v_{20} ve ϕ_{20} 'nin sonuçları:

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

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

Taşıma matrisi ve başlangıç durumu matrisinin çarpılması ile bilinmeyenler (BLMYLR) olarak hesaplanan eğri denklemlerinde ve yukardaki 2 farklı denklemde görüldüğü gibi c,K1,K2,L ve P bilinmeyen değerleri vardır. Bulduğumuz sonuçları kesin değerlere ulaştırmak için bu değerlerin ne olduğu programa girilmelidir.Bu değerler;

- $L=40 \cdot 10^{-8} \text{cm}$ (Karbon nanotüpün uzunluğu)
- $P=10^{-16} \text{ N}$ (P tekil yükü)
- $1 \text{Nanometre}=1 \cdot 10^{-7} \text{cm}$, $E=0.8 \text{ TPA}$, $1 \text{TPA}=1 \cdot 10^8 \text{ N/cm}^2$

$$I1 = \frac{\pi d1^4}{64} \quad I2 = \frac{\pi d2^4}{64}$$

$$K1=E \cdot I1=0.8 \cdot 10^8 \cdot \pi \cdot [4 \cdot 10^{-7}]^4 / 64 = 3.2 \cdot 10^{-20} \cdot \pi \text{ N/cm}^4$$

$$K2=E \cdot I2=0.4 \cdot \pi \cdot 10^{-20} \text{ N/cm}^4$$

- $c=C \cdot d$ $d=(d1+d2)/2$

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

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

$$d1=4 \cdot 10^{-7} \text{cm} \quad (\text{Dış tüp çapı})$$

$$d2=2 \cdot 10^{-7} \text{cm} \quad (\text{İç tüp çapı})$$

$$d=3 \cdot 10^{-7} \text{cm} \quad (\text{Ortalama çap})$$

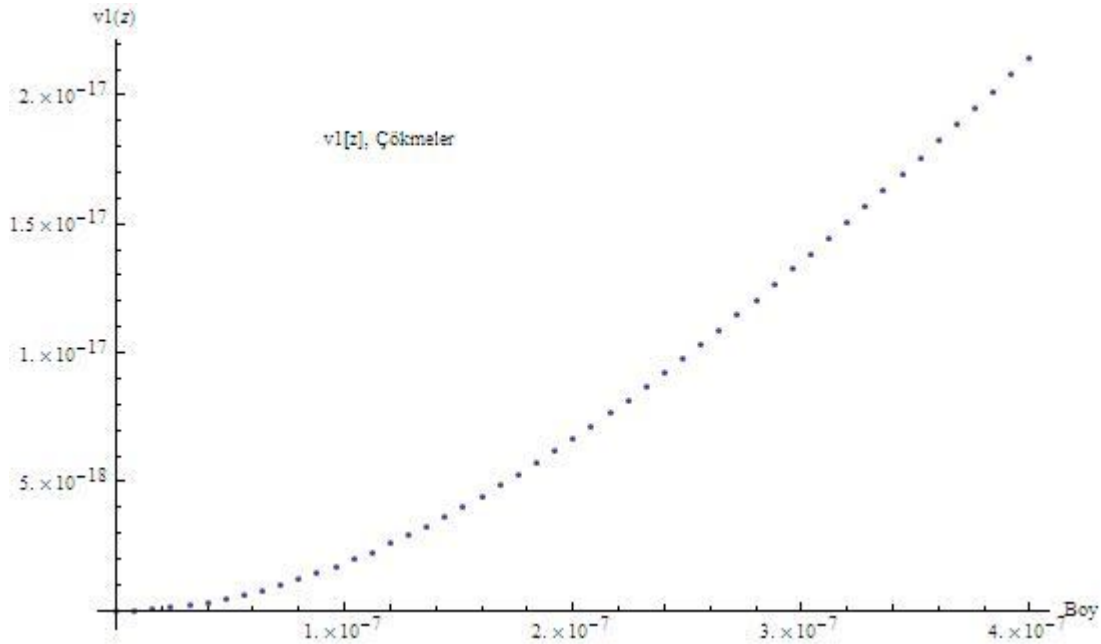
$$c=10^{14} \cdot 3 \cdot 10^{-7} = 3 \cdot 10^7 \text{N/cm}^2 \text{ (Van der Waals bağ katsayısı)}$$

Kalan veriler de yazıldıktan sonra elastik eğri,dönme,moment ve kesme kuvveti denklemlerine tam olarak ulaşılır.Bulunan bu denklemleri grafik üzerinde görmek için;

- $v1[z]=aa1=Chop[Re[Table[\{ss,N[v1[ss]]\},\{ss,0,L,L/50\}]],10^{(-60)}]$

ListPlot[aa1]

Yukarıdaki genel komutta elde edilen denklemde çok küçük sayıların denklemden atılması için Chop,denklemlerde ortaya çıkan karmaşık sayıların sadece gerçek kısımlarını alması için Re, grafik üstünde 50 ayrı noktanın hesaplanıp gösterilmesi için Table ve ListPlot komutları kullanılmıştır.Elden edilen grafikler:

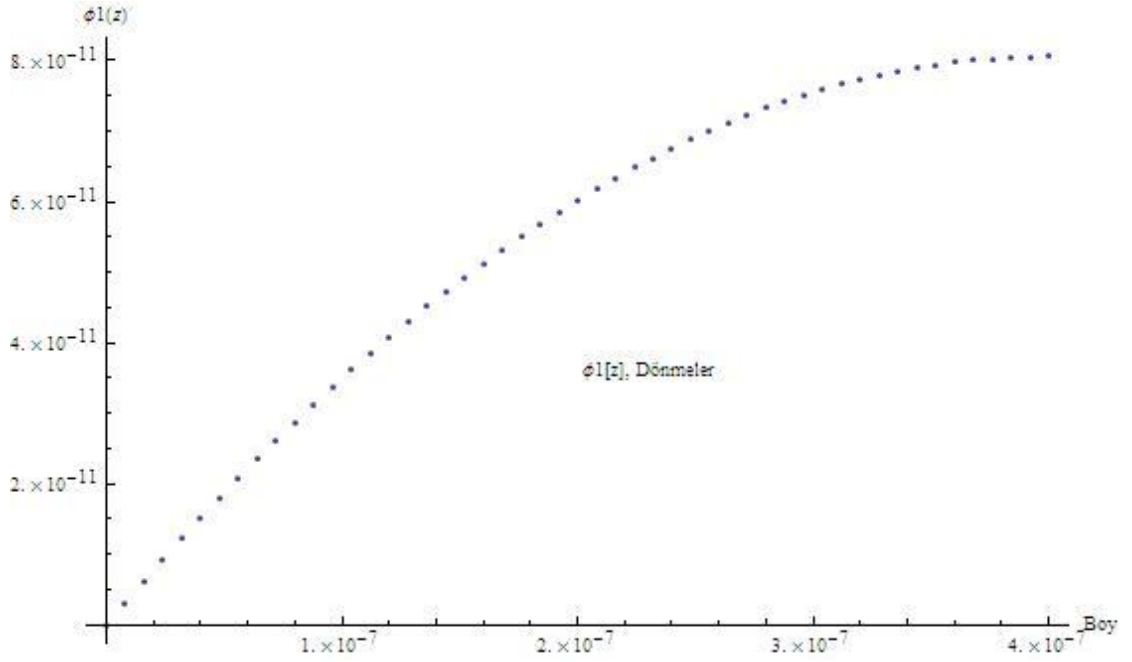


Şekil 5.3 : 1 indisli tübün çökme grafiği

1.tübün çökme grafiğinde görüldüğü gibi 0 noktasındaki çökme miktarı ankastre olduğu için sıfırdır.Diğer ucu yani 4×10^{-7} noktasındaki çökme miktarı ise boyuna oranlanırsa, yaklaşık olarak on milyarda birine denk gelmektedir.Bu da oldukça küçük bir değerdir.

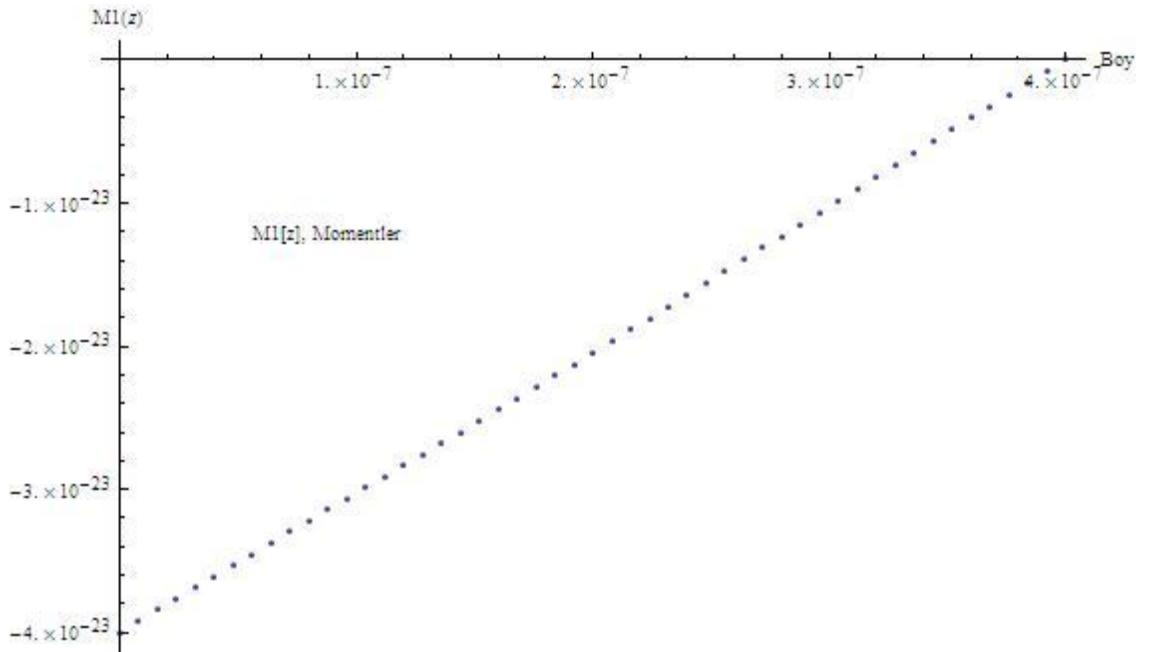
Aynı tübün dönme ve moment grafiklerini elde etmek için yine aynı komutlar kullanılabilir.Tek fark, komut içerisinde $v1[z]$ yerine $\phi1[z]$ veya $M1[z]$ yazılmasıdır.Bu grafiklerde de görüleceği gibi elde edilen değerler çift duvarlı karbon nanotübün boyuna oranla oldukça küçüktürler.Değerler birimi cm'dir.

- $\Phi 1[z]=aa2=Chop[Re[Table[\{ss,N[\phi 1[ss]]\},\{ss,0,L,L/40\}]],10^{(-60)}];$



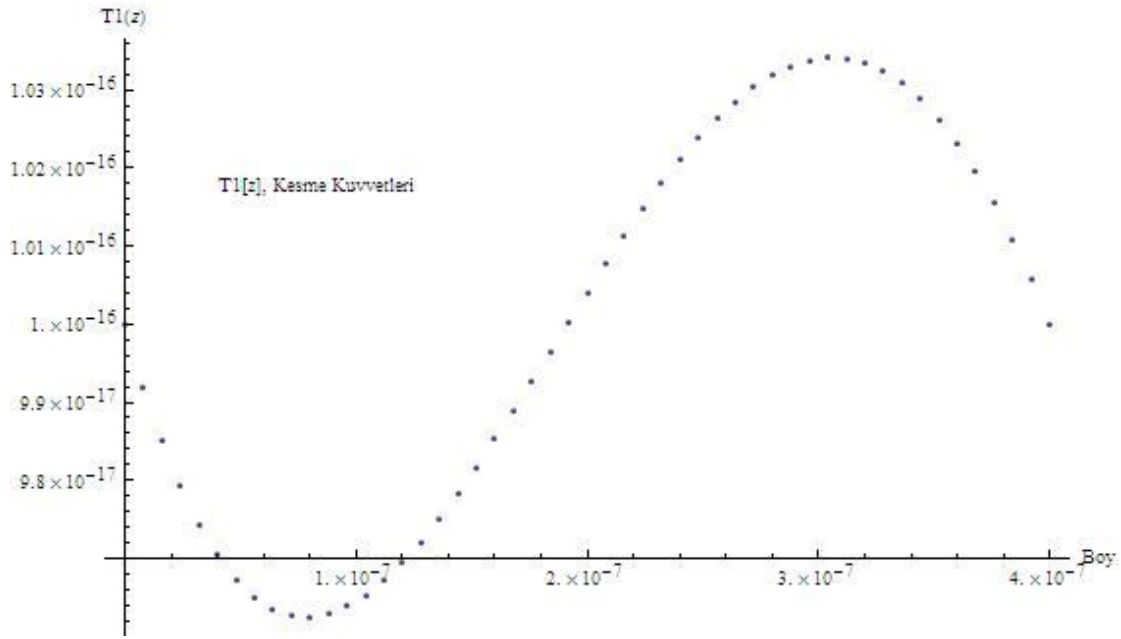
Şekil 5.4 : 1 indisli tübün dönme grafiği

- $M1[z]=aa3=Chop[Re[Table[\{ss,N[M_1[ss]]\},\{ss,0,L,L/40\}]],10^{(-60)}];$



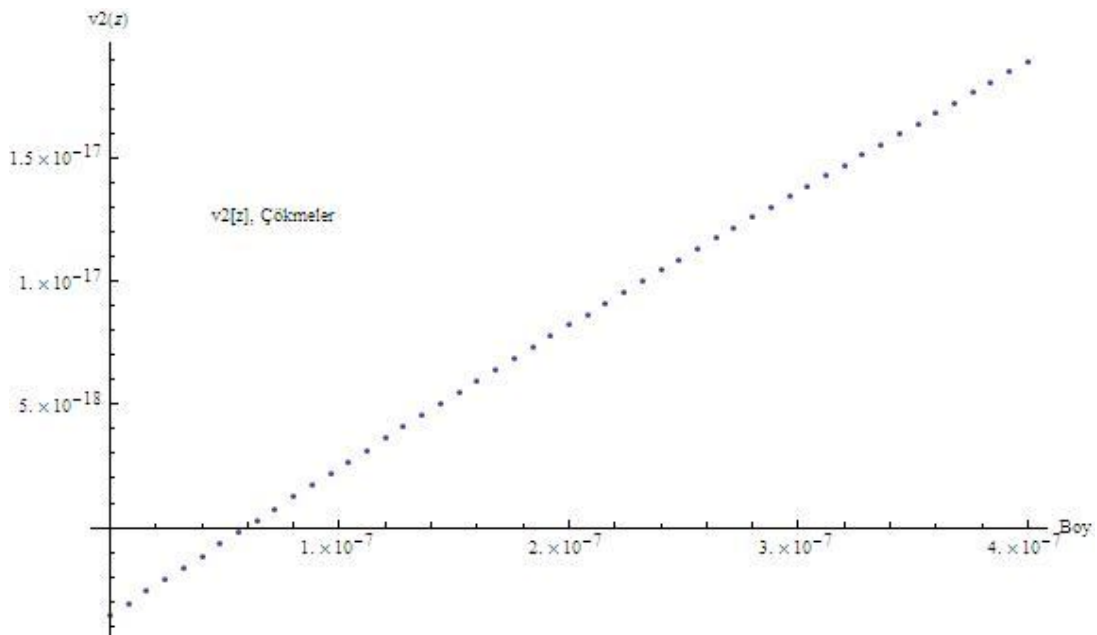
Şekil 5.5 : 1 indisli tübün moment grafiği

- $T1[z]=aa4=Chop[Re[Table[\{ss,N[T_1[ss]]\},\{ss,0,L,L/40\}]],10^{(-60)}];$



Şekil 5.6 : 1 indisli túbün kesme kuvveti grafiği

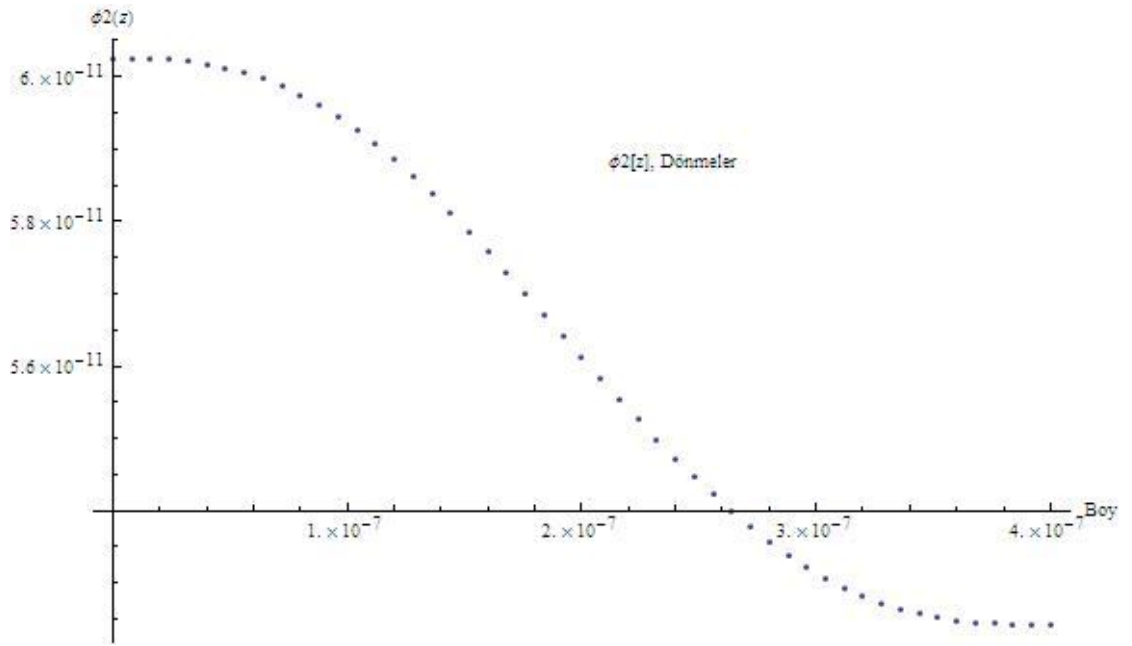
- $v2[z]=bb1=Chop[Re[Table[\{ss,N[v_2[ss]]\},\{ss,0,L,L/40\}]],10^{(-60)}];$



Şekil 5.7 : 2 indisli túbün çökme grafiği

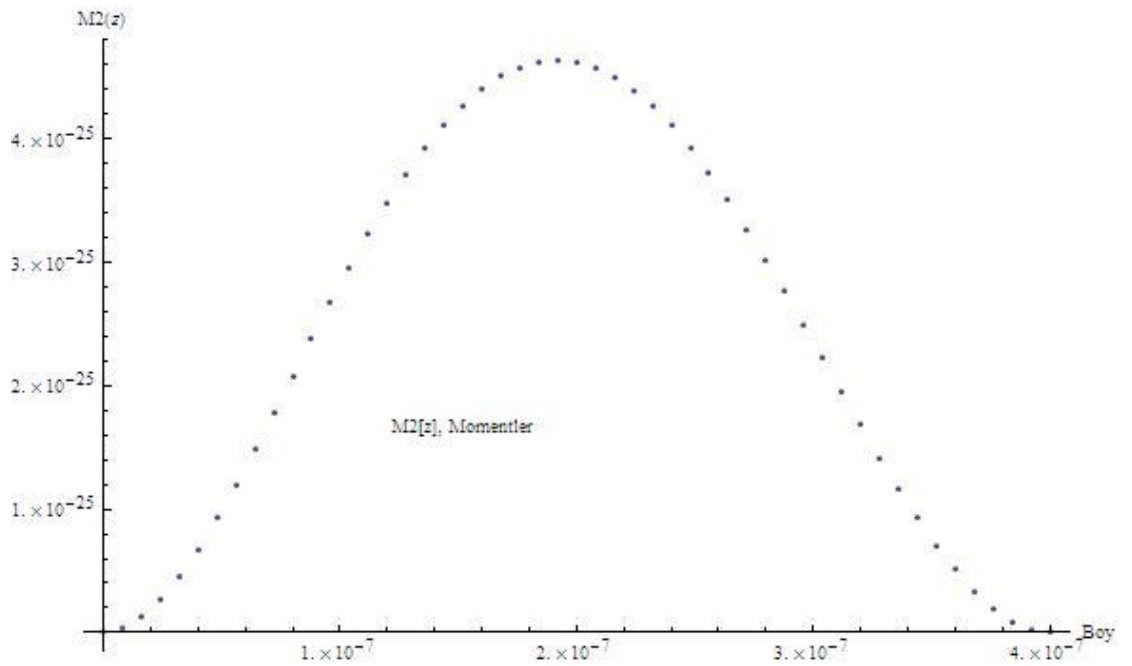
Wolfram Mathematica programı sayesinde bu grafiklerde görsel değişiklikler yapılabilir. Grafiklerin daha net anlaşılması için üzerlerine yazı yazılabilir, x ve y eksenini adlandırılabilir, işaretlenen nokta sayısı artırılıp azaltılabilir ve istenilen şekilde renklendirilebilir.

- $\Phi 2[z]=bb2=Chop[Re[Table[\{ss,N[\phi 2[ss]]\},\{ss,0,L,L/40\}]],10^{(-60)}];$



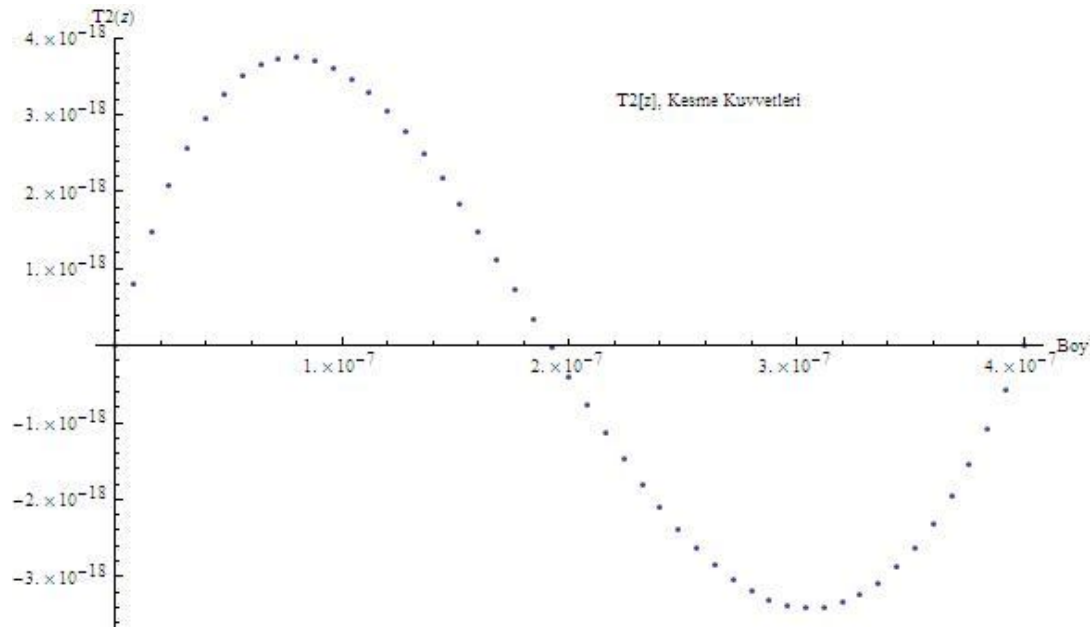
Şekil 5.8 : 2 indisli túbün dönme grafiğı

- $M2[z]=bb3=Chop[Re[Table[\{ss,N[M_2[ss]]\},\{ss,0,L,L/40\}]],10^{(-60)}];$



Şekil 5.9 : 2 indisli túbün moment grafiğı

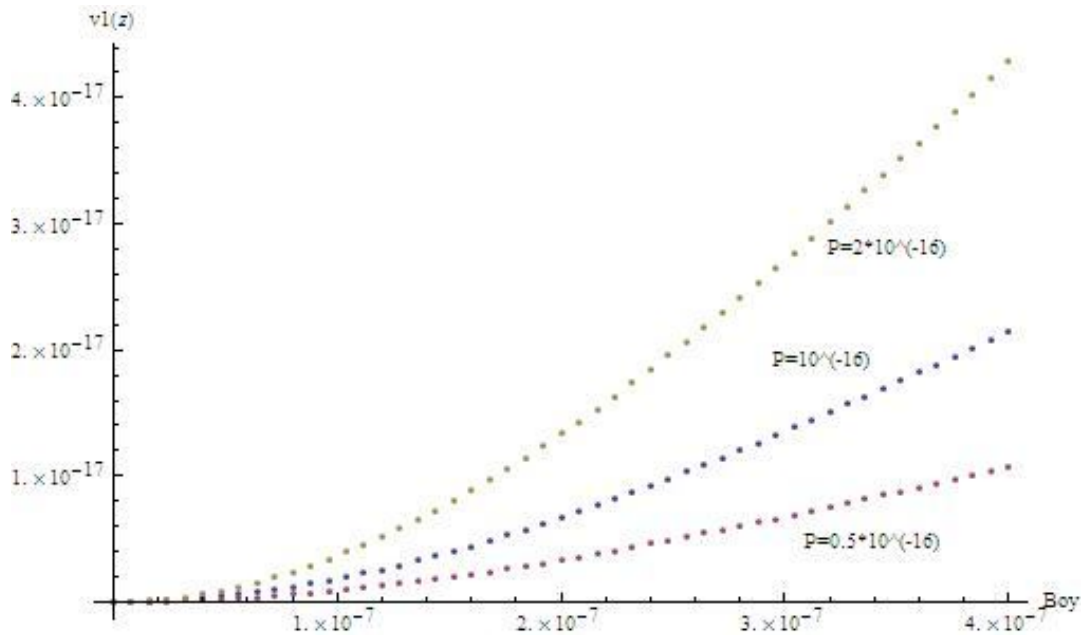
- $T2[z] = \text{bb4} = \text{Chop}[\text{Re}[\text{Table}[\{ss, N[T_2[ss]]\}, \{ss, 0, L, L/40\}]], 10^{(-60)}];$



Şekil 5.10 : 2 indisli túbün kesme kuvveti grafiği

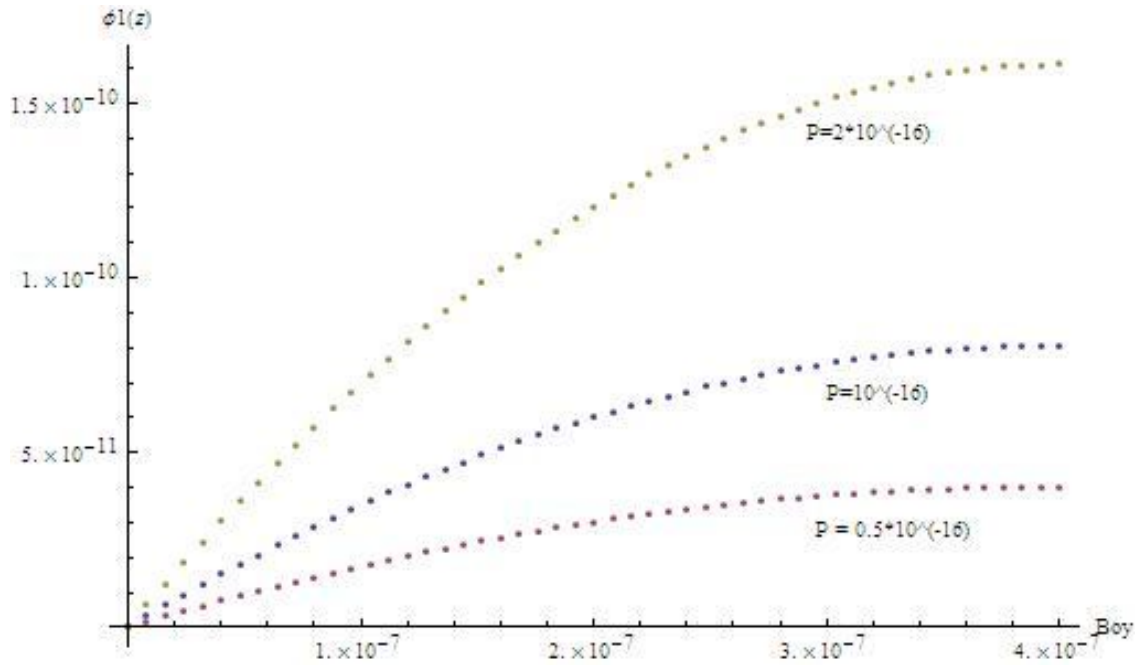
1. ve 2. túbün grafikleri oluşturulduktan sonra P tekil yúbünün farklı değerleri için grafikler karşılaştırılabilir. Bu sayede P tekil yúbünün değişiminin sistemi nasıl etkilediği incelenebilir.

$v1[z]$ için:



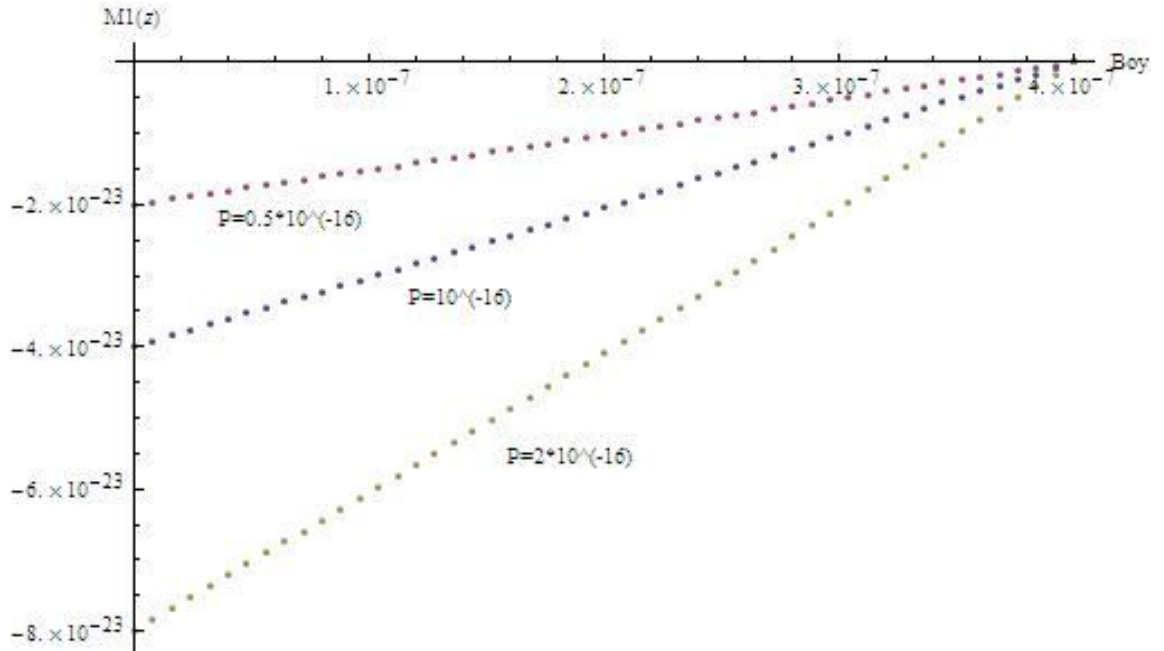
Şekil 5.11 : 1 indisli túbün farklı P değerlerine göre çökme grafiği

$\phi_1[z]$ için:



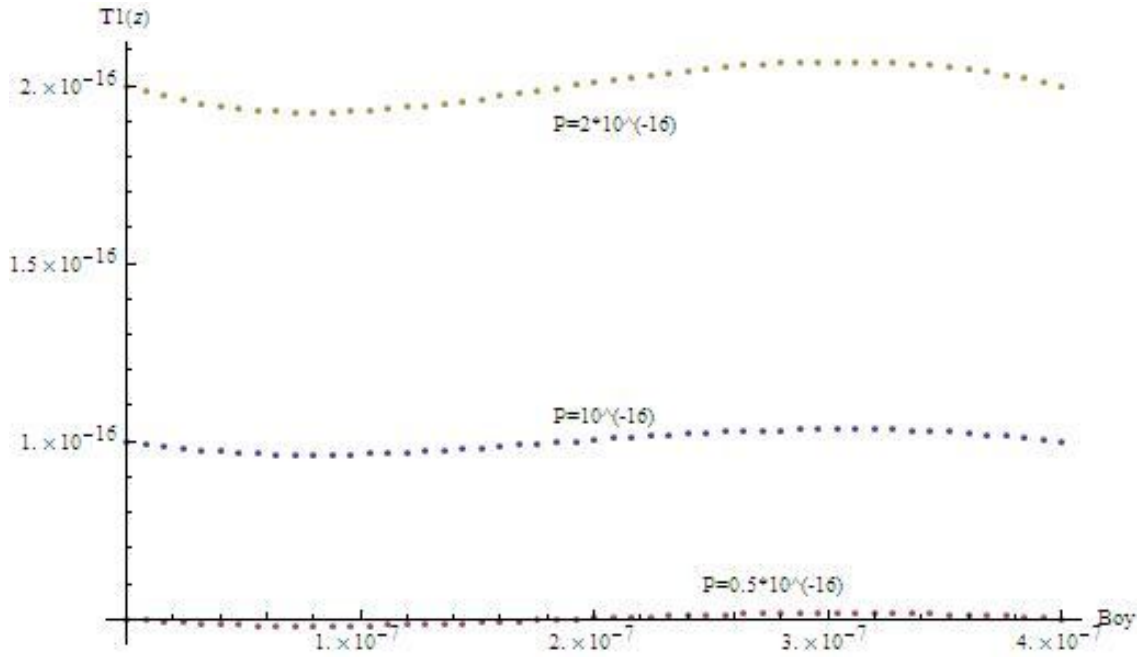
Şekil 5.12 : 1 indisli túbün farklı P değerlerine göre dönme grafiği

$M_1[z]$ için :



Şekil 5.13 : 1 indisli túbün farklı P değerlerine göre moment grafiği

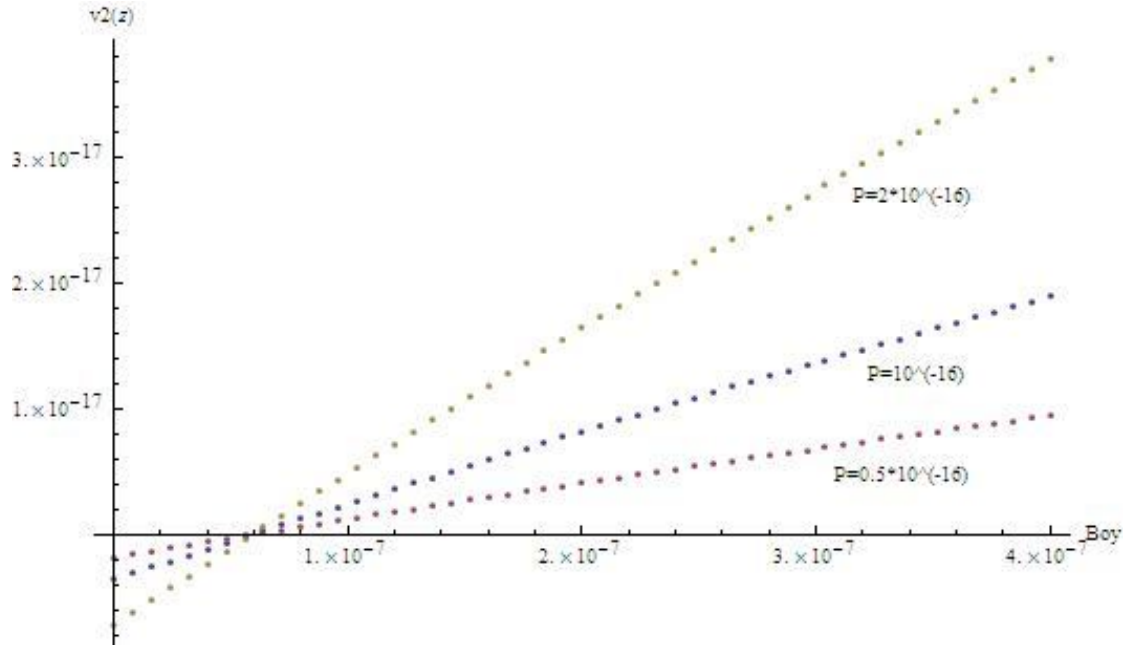
T1[z] için:



Şekil 5.14 : 1 indisli túbün farklı P değerlerine göre kesme kuvveti grafiği

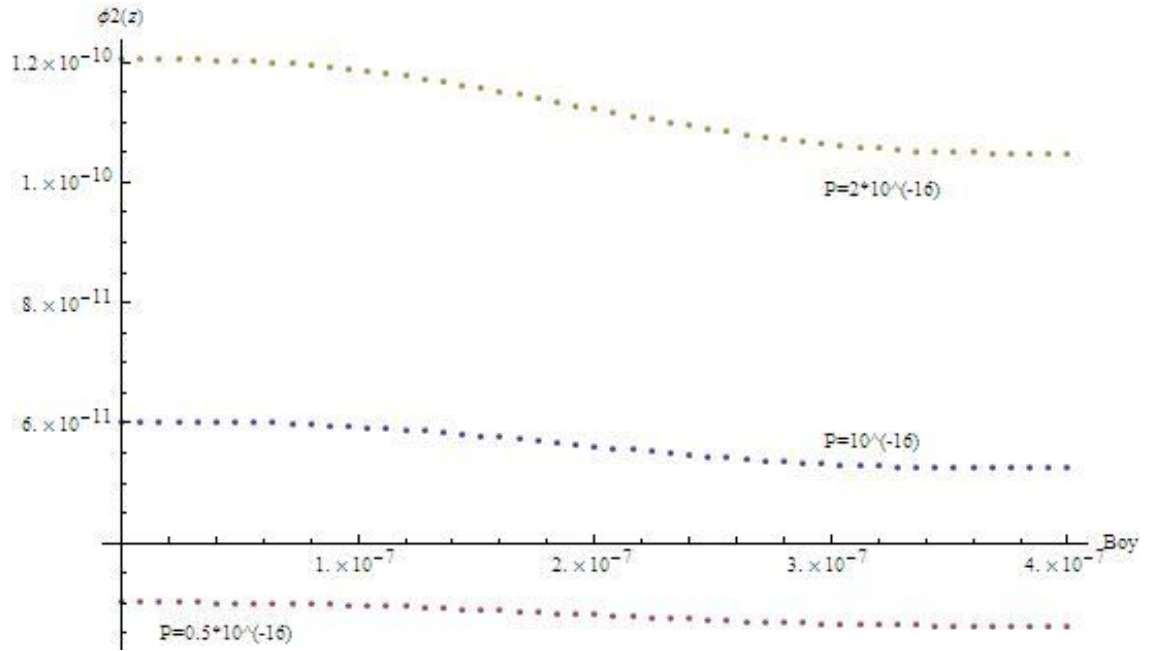
Grafiklerde de görüldüğü gibi P tekil yükü normal değerin iki katına çıkarılmış ve yarıya düşürülmüştür. Değerin artırılıp düşürülmesiyle sonuçlarda da orantılı değışmeler olmuştur. Örneğın; 1. túbün farklı P değerlerine göre çökme grafiğine bakılırsa (Şekil 5.11) çökmeler, P'nin yükseltilmesiyle beraber artmıştır. P'nin düşürülmesiyle beraber de azalma görülmüştür.

$v_2[z]$ için:



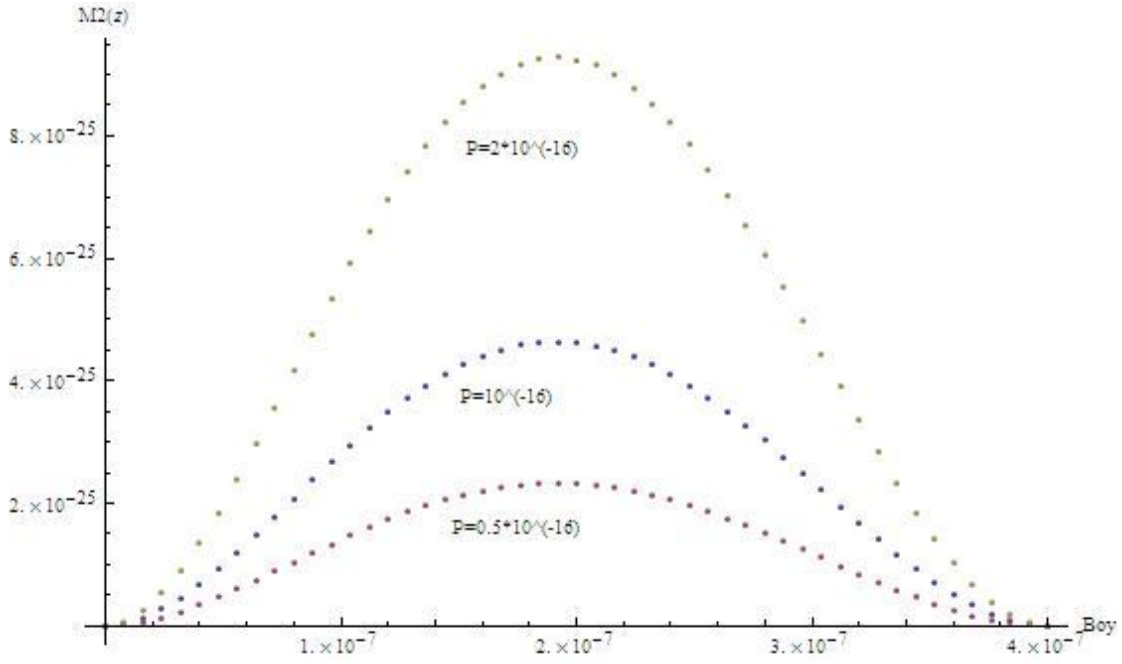
Şekil 5.15 : 2 indisli túbün farklı P değerlerine göre çökme grafiği

$\phi_2[z]$ için:



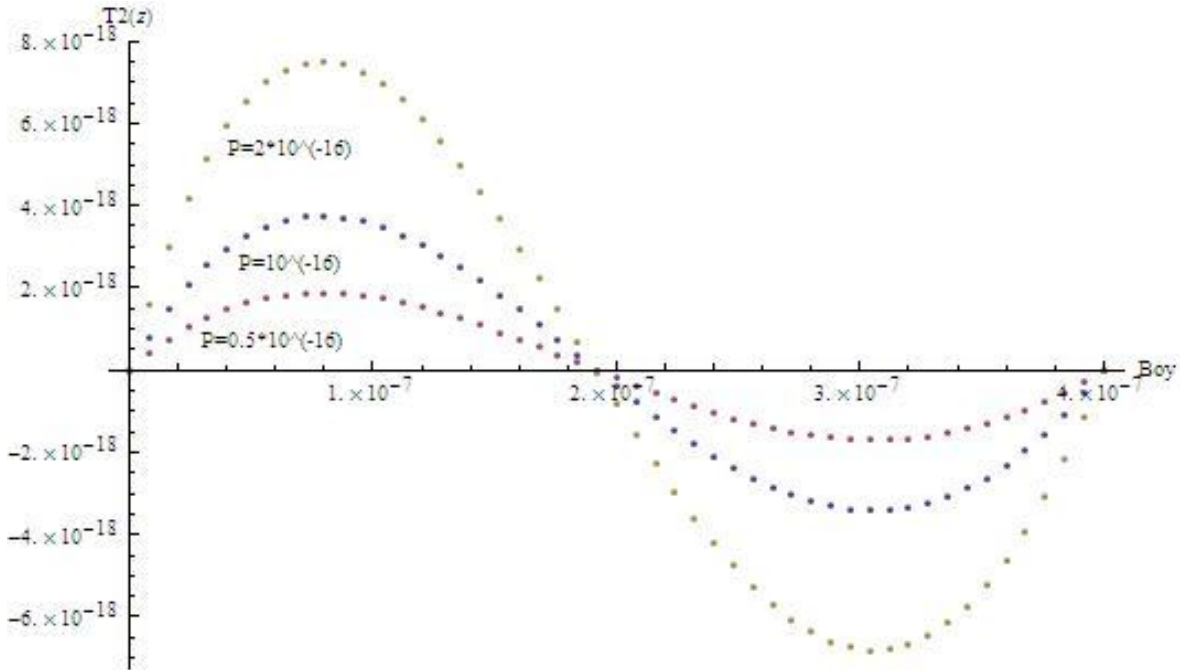
Şekil 5.16 : 2 indisli túbün farklı P değerlerine göre dönme grafiği

M2[z] için:



Şekil 5.17 : 2 indisli túbün farklı P değerlerine göre moment grafiği

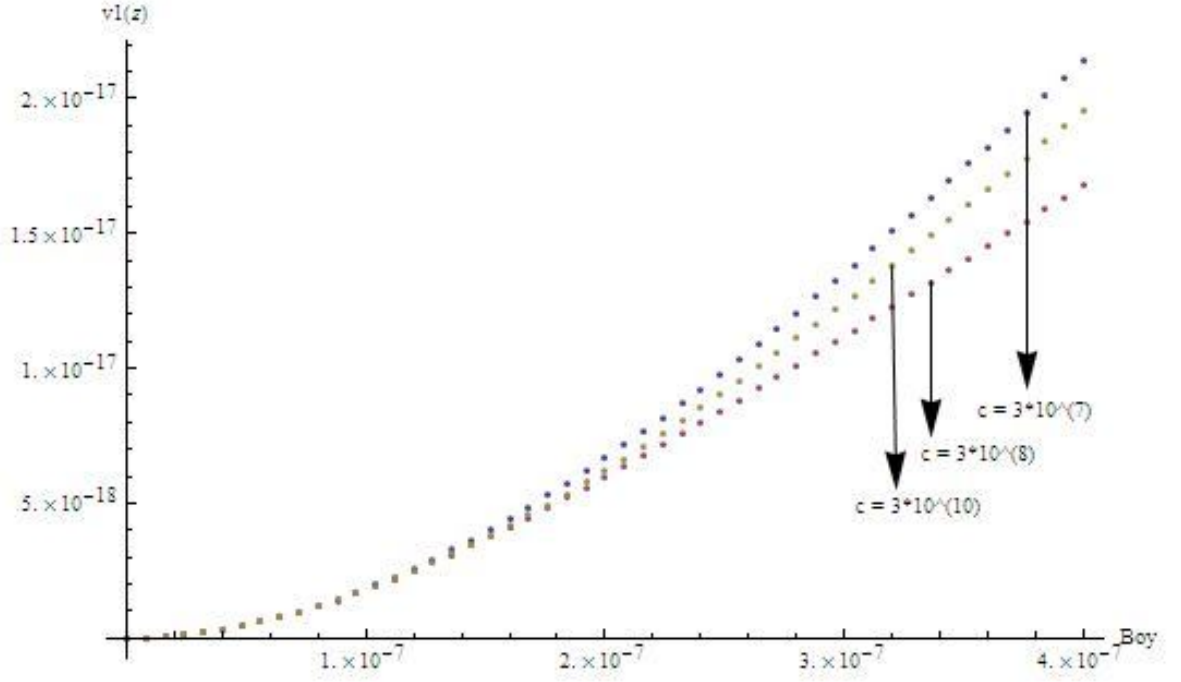
T2[z] için:



Şekil 5.18 : 2 indisli túbün farklı P değerlerine göre kesme kuvveti grafiği

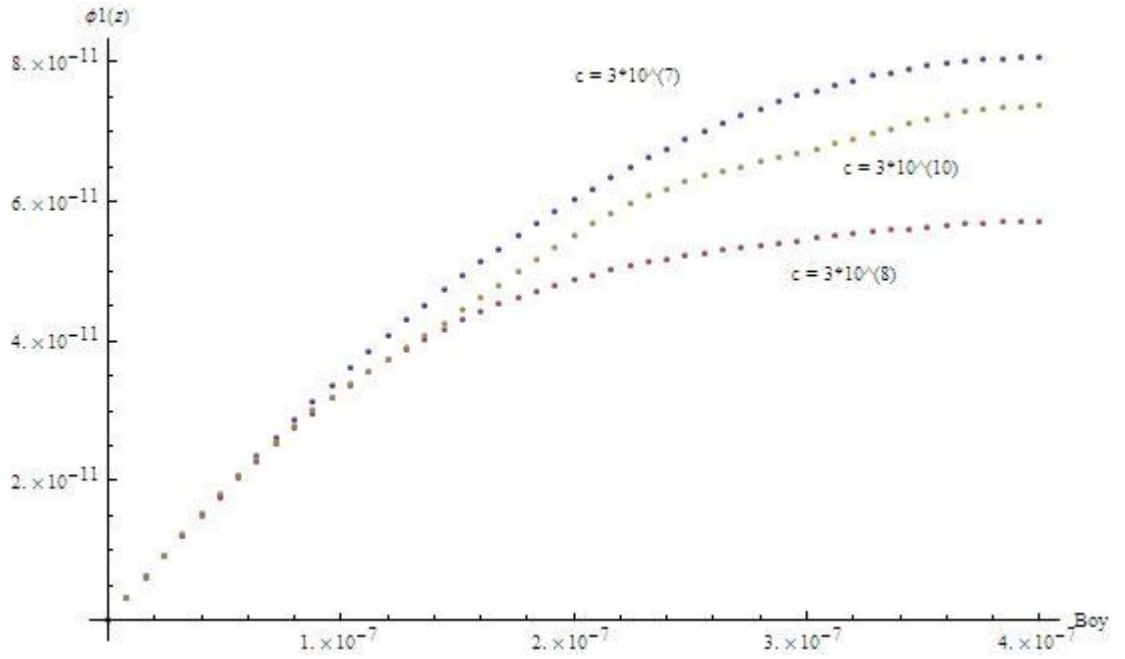
1. ve 2. t p için aynı incelemeler C bağ katsayısının farklı değerleri için de yapılmak istenirse, iki t p arasındaki bağ kuvvetinin artışıının ve azalışının sistemi nasıl etkilediği görülebilir.

$v1[z]$ için:



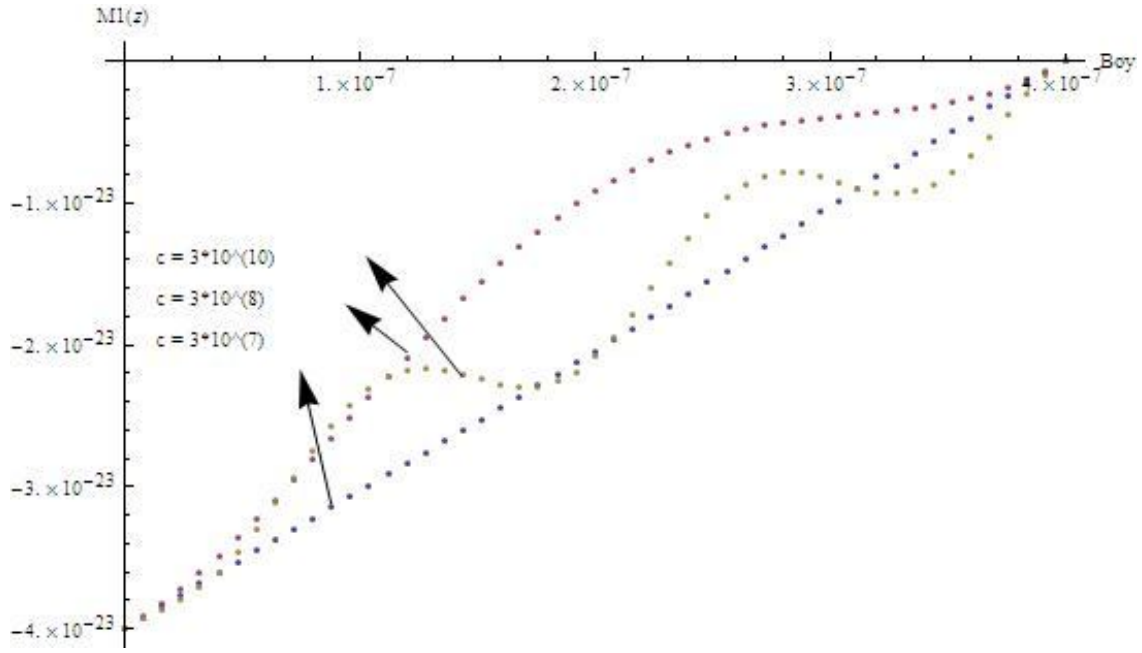
Şekil 5.19 : 1 indisli tübün farklı C değerlerine göre çökme grafiği

$\phi1[z]$ için:



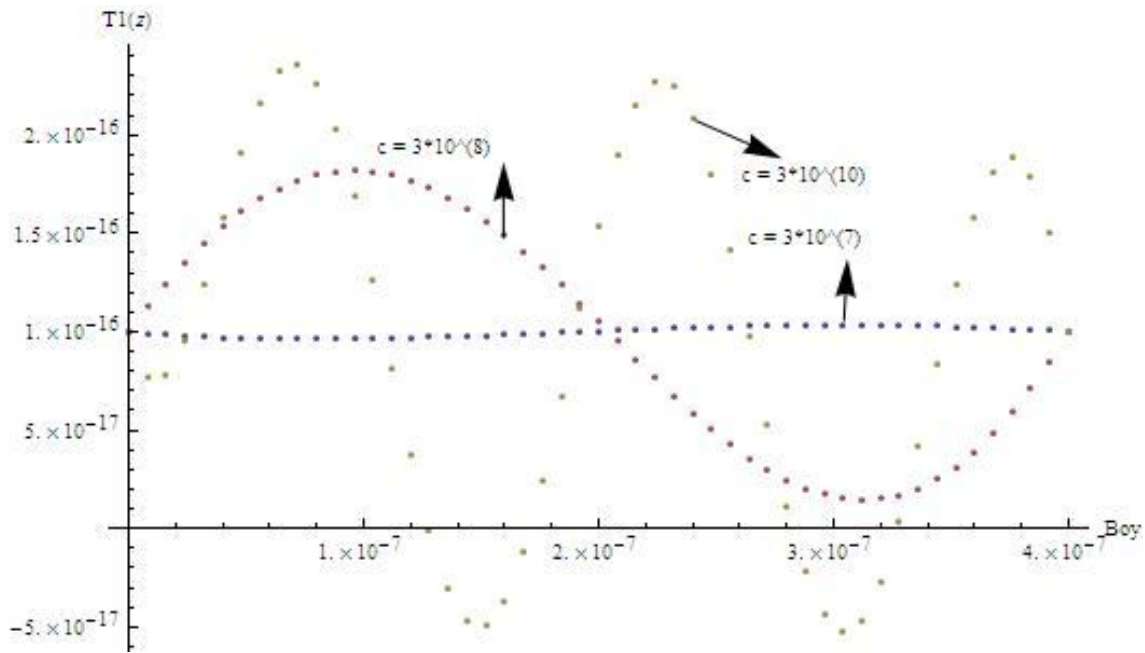
Şekil 5.20 : 1 indisli tübün farklı C değerlerine göre dönme grafiği

M1[z] için:



Şekil 5.21 : 1 indisli tütün farklı C değerlerine göre moment grafiği

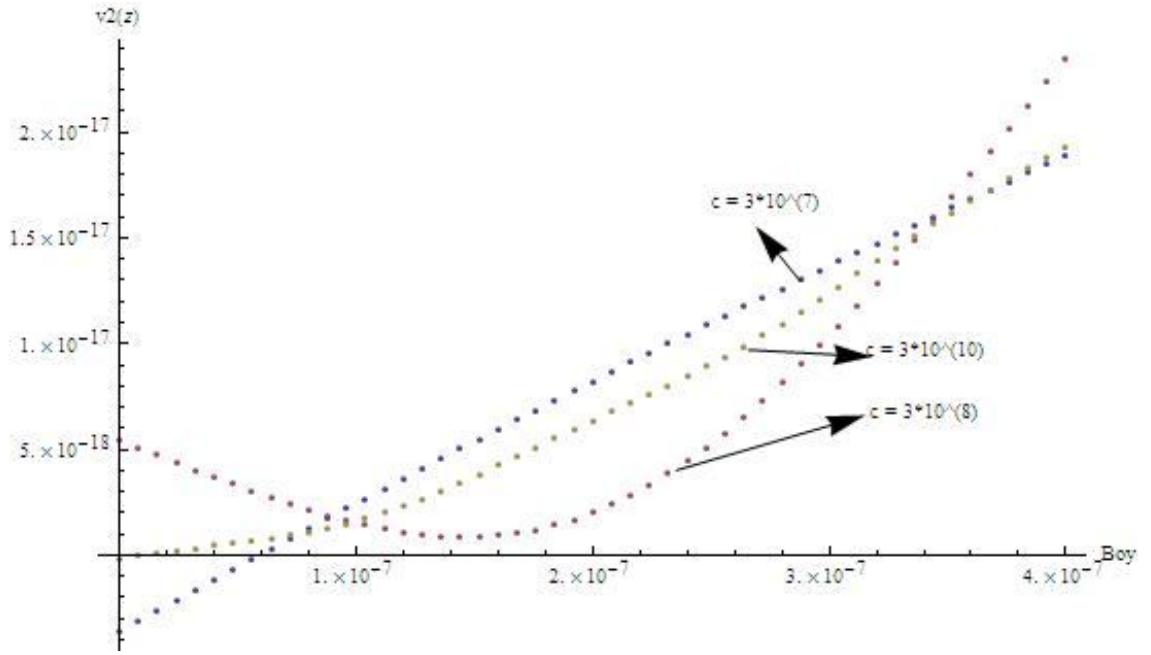
T1[z] için:



Şekil 5.22 : 1 indisli tütün farklı C değerlerine göre kesme kuvveti grafiği

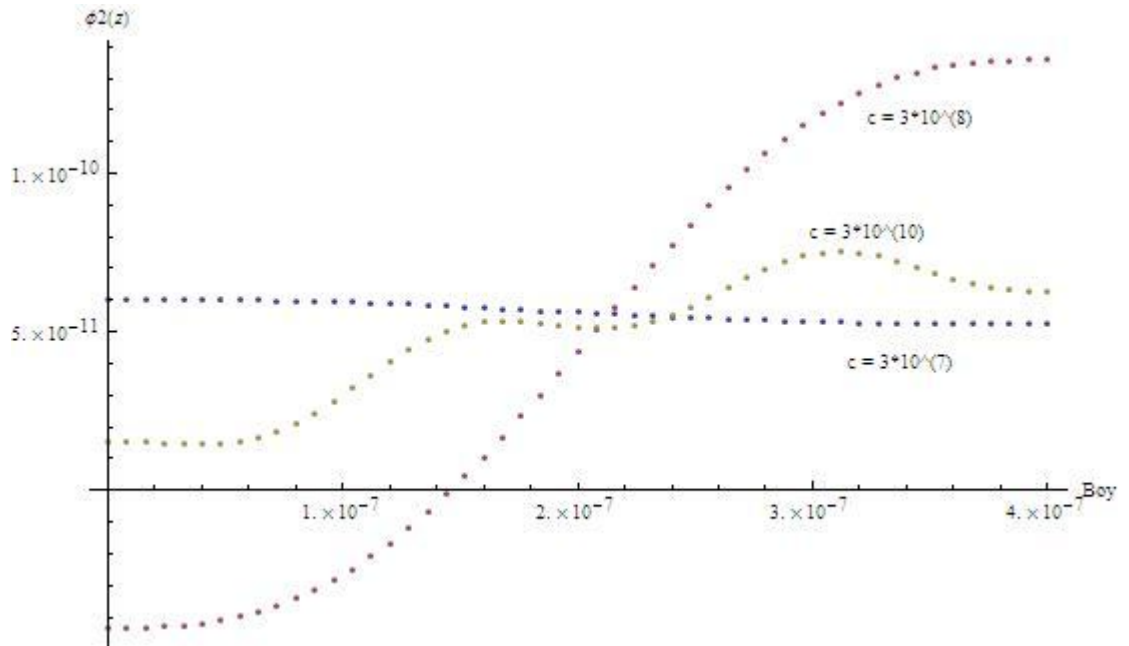
C bağ katsayısının sistem üzerindeki etkisi incelenirse, katsayının artırılması ile iki tüp arasındaki kuvvet artacağı için 1. tüpte çökmeler azalmıştır (Şekil 5.19). Ancak biraz daha artırıldığı zaman çökmeler yine artmıştır. Bu sonuca göre C bağ katsayısının araştırarak optimum değerine ulaşılması gerektiği anlaşılabılır.

$v_2[z]$ için:



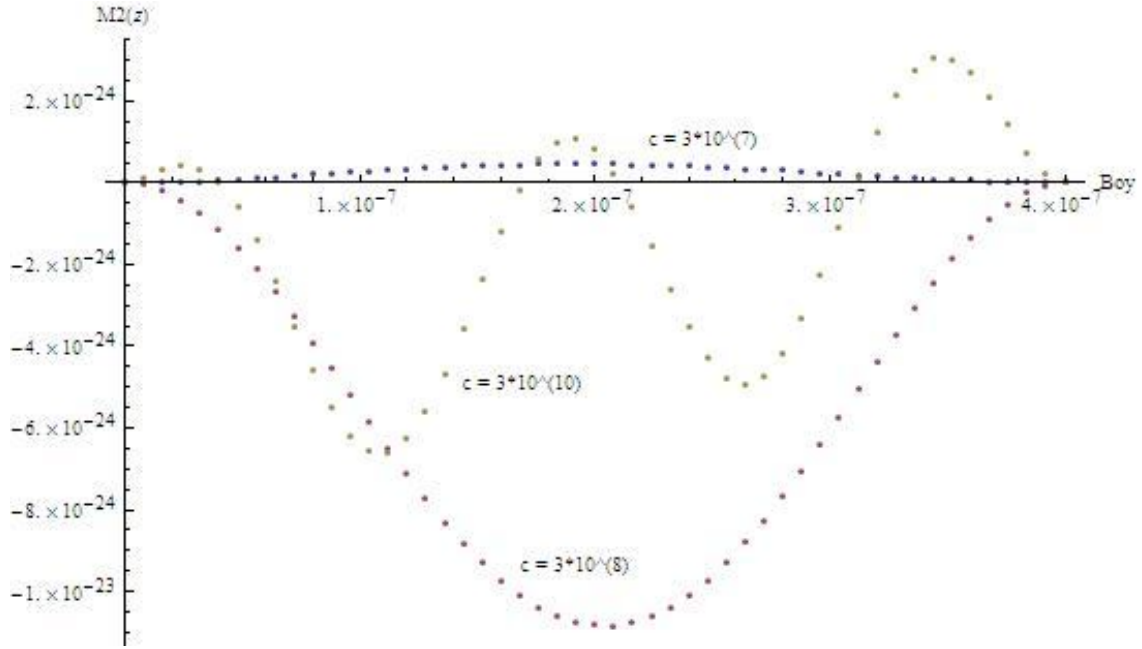
Şekil 5.23 : 2 indisli túbün farklı C değerlerine göre çökme grafiği

$\phi_2[z]$ için:



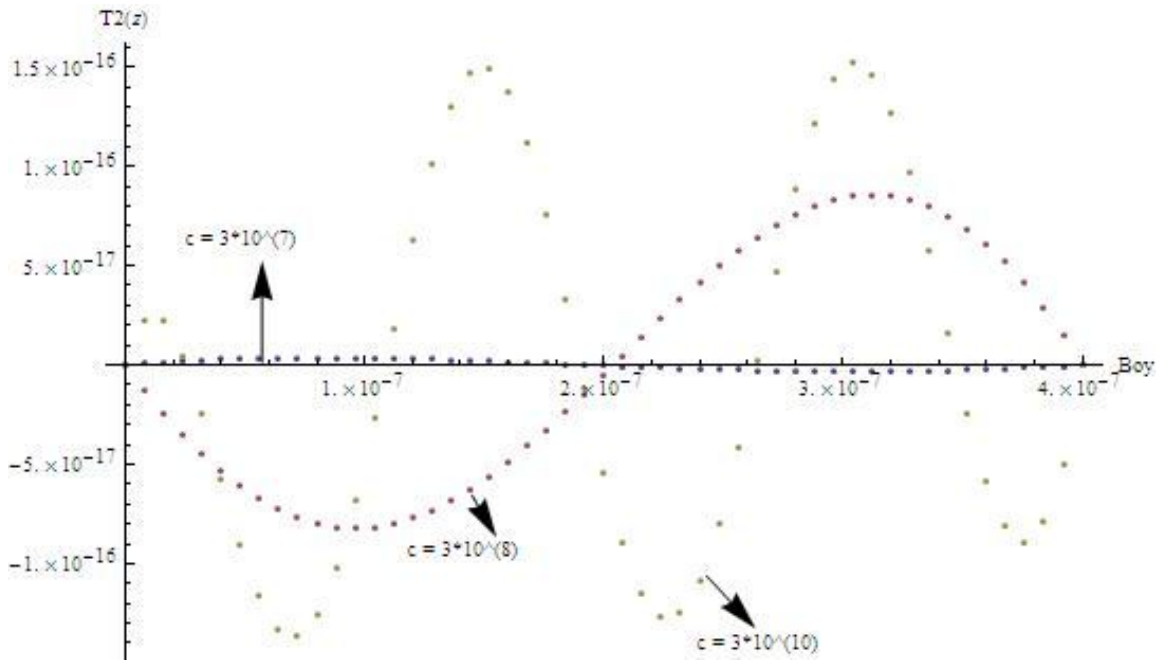
Şekil 5.24 : 2 indisli túbün farklı C değerlerine göre dönme grafiği

M2[z] için:



Şekil 5.25 : 2 indisli túbün farklı C değerlerine göre moment grafiği

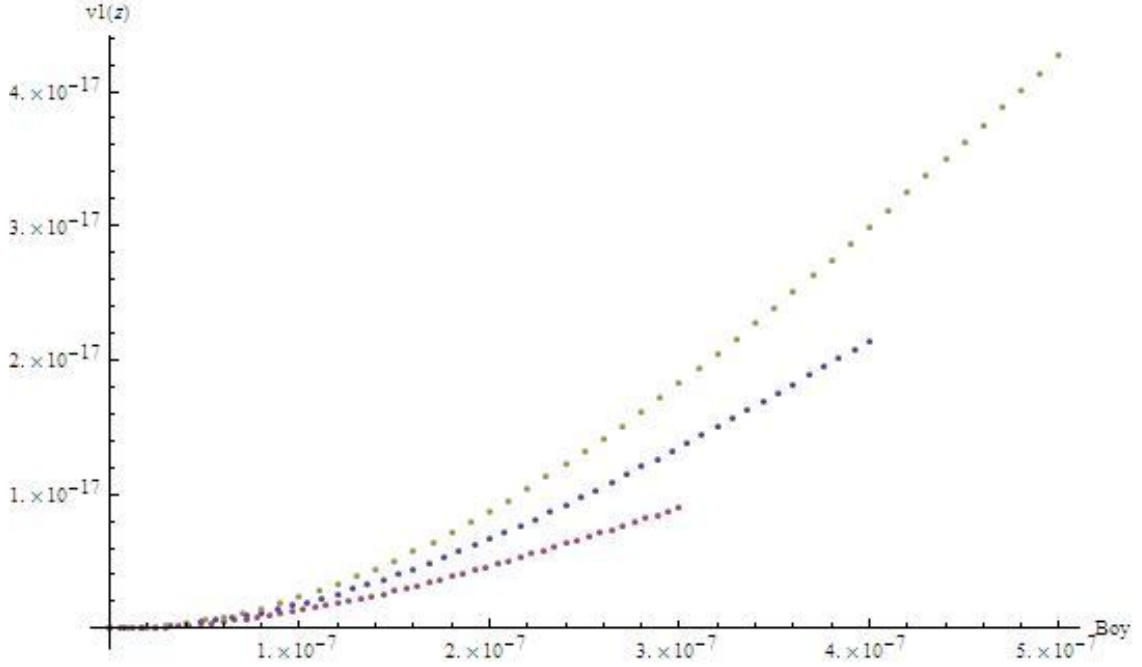
T2[z] için:



Şekil 5.26 : 2 indisli túbün farklı C değerlerine göre kesme kuvveti grafiği

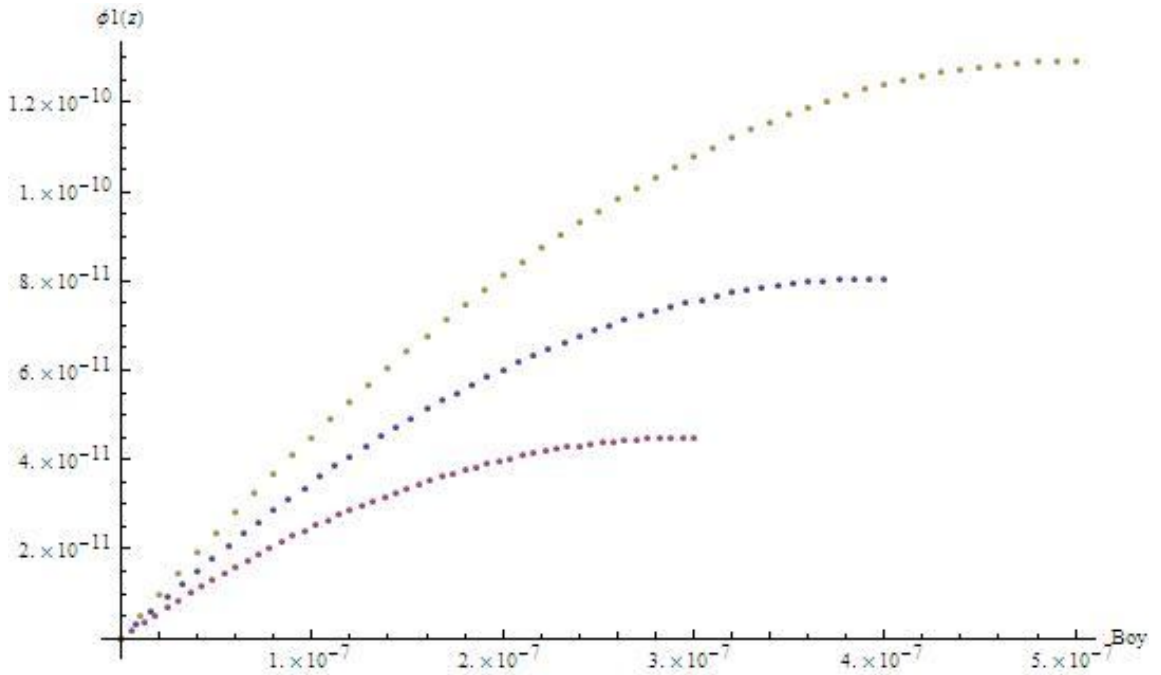
Çift duvarlı karbon nanotüpün L boyu bir miktar artırılıp ve azaltıldıktan sonra bu değişimin sistemi nasıl etkilediği incelenmek istenirse:

$v_1[z]$ için:



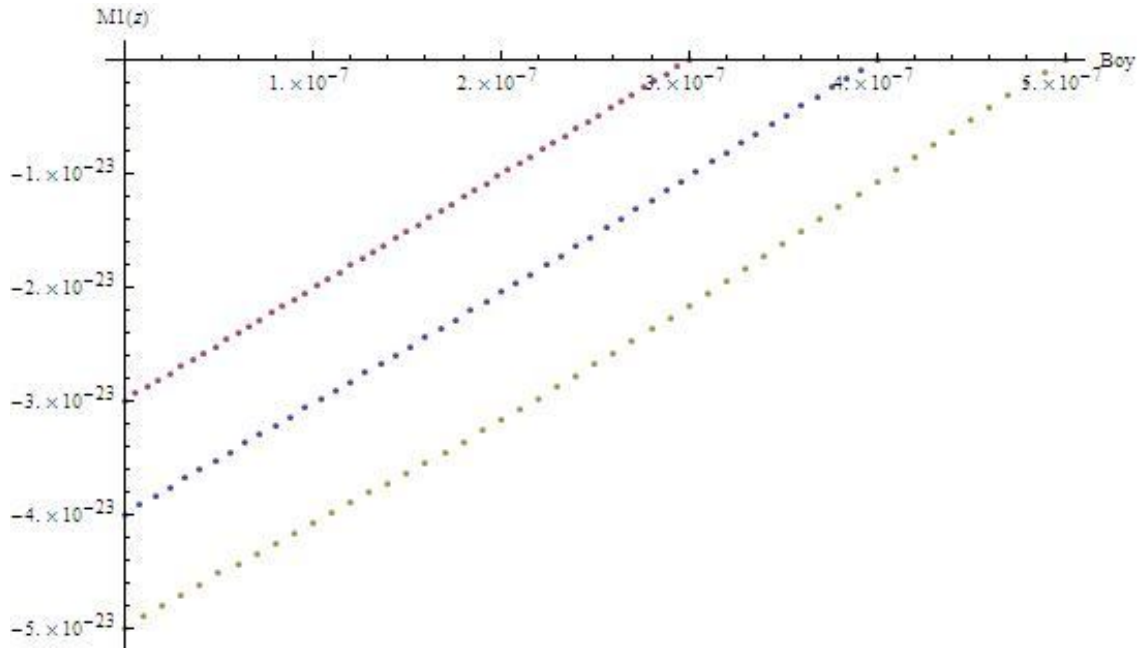
Şekil 5.27 : 1 indisli tübün farklı L değerlerine göre çökme grafiği

$\phi_1[z]$ için:



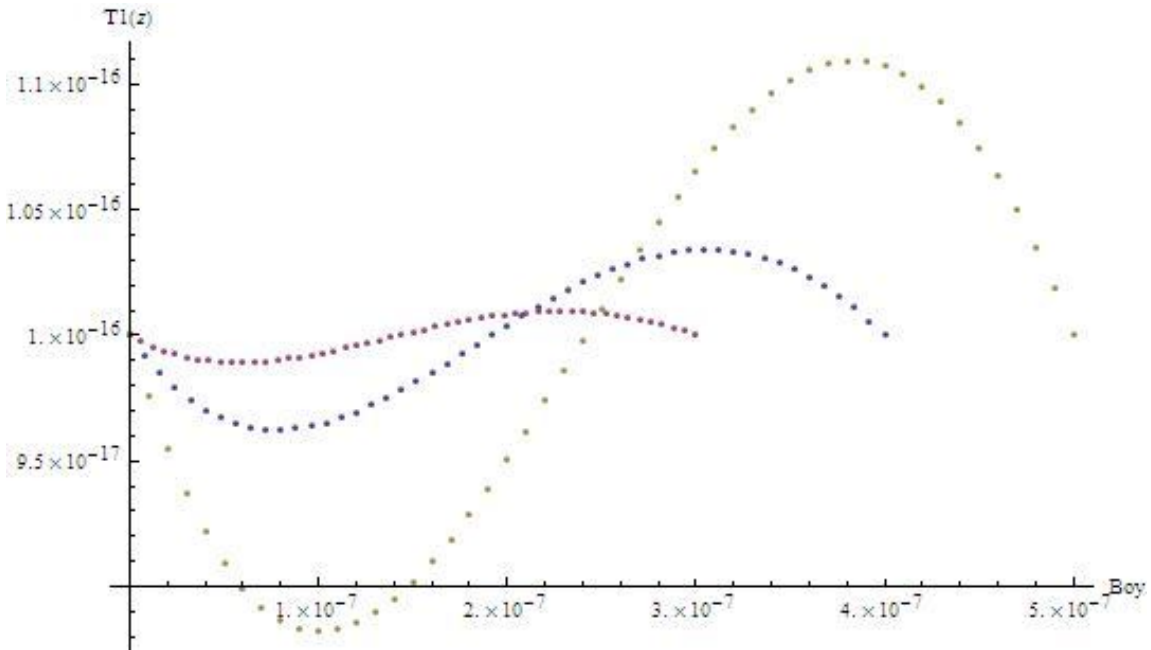
Şekil 5.28 : 1 indisli tübün farklı L değerlerine göre dönme grafiği

M1[z] için:



Şekil 5.29 : 1 indisli túbün farklı L değerlerine göre moment grafiği

T1[z] için:

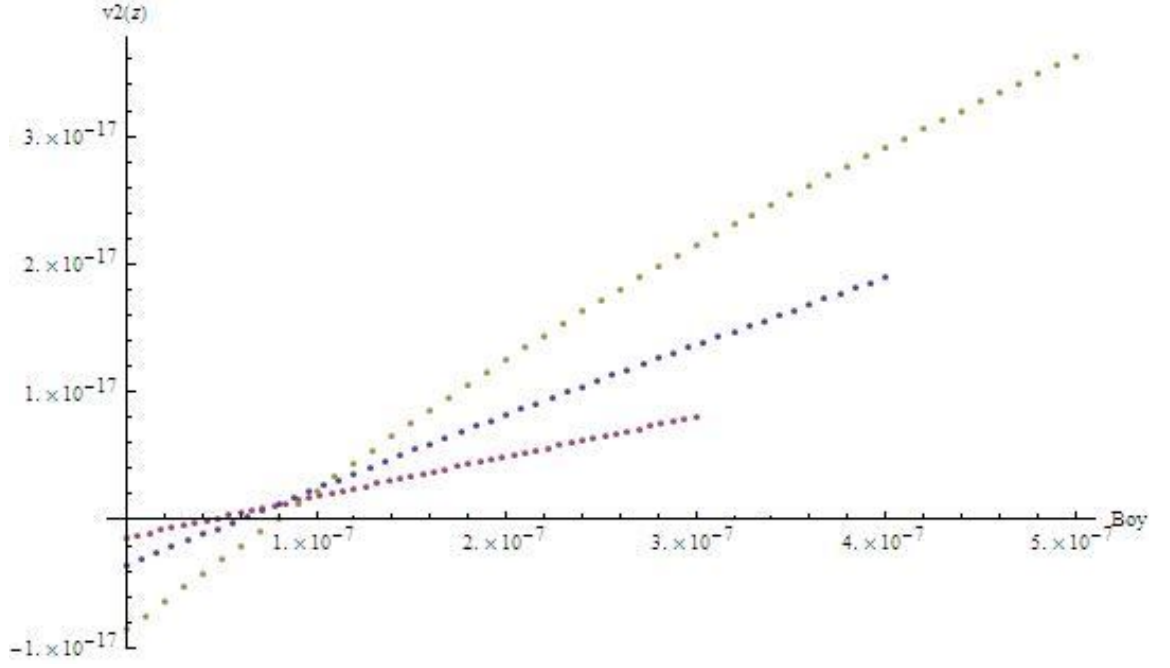


Şekil 5.30 : 1 indisli túbün farklı L değerlerine göre kesme kuvveti grafiği

Grafiklerde de görüldüğü gibi L boyu normal değer biraz üzerine çıkarılmış ve düşürülmüştür. Değerin artırılıp düşürülmesiyle sonuçlarda da orantılı değişimler olmuştur. Örneğin; 1. túbün farklı l değerlerine göre çökme grafiğine bakılırsa (Şekil

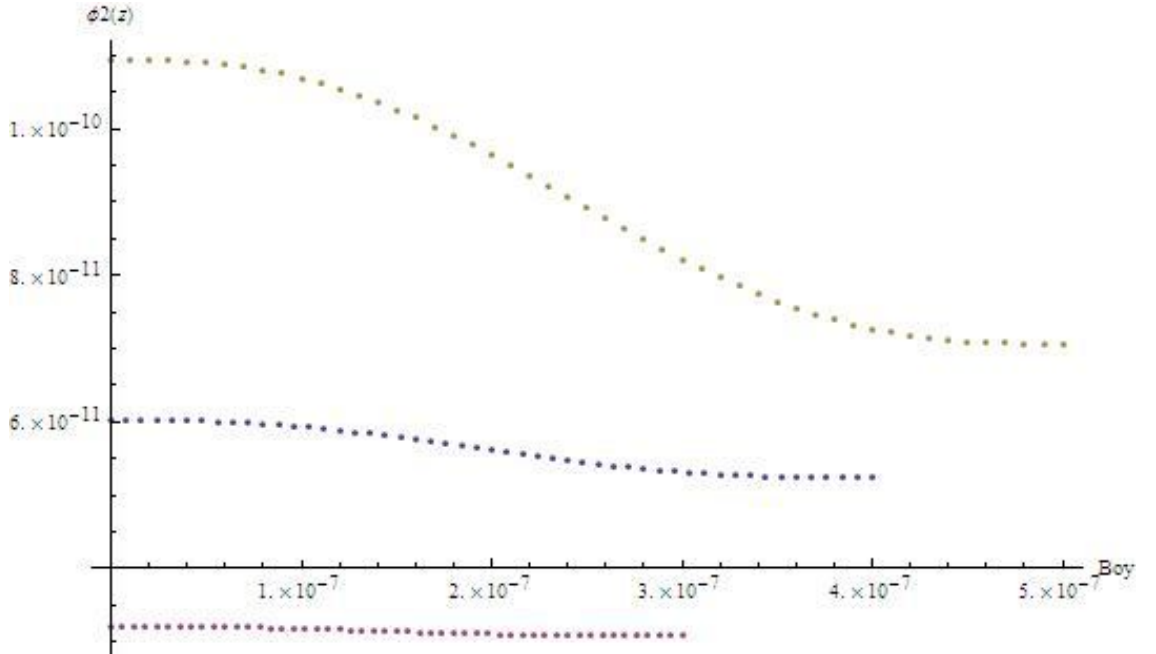
5.27) çökmeler, L 'nin yükseltilmesiyle beraber artmıştır. L 'nin düşürülmesiyle beraber de azalma görülmüştür.

$v_2[z]$ için:



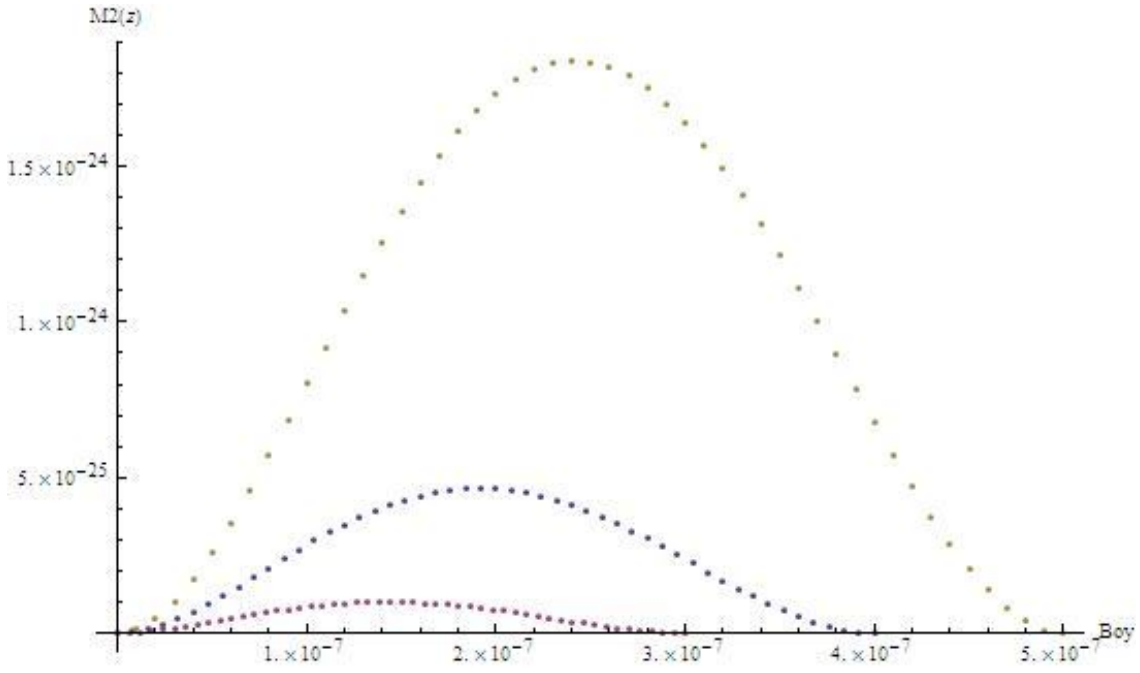
Şekil 5.31 : 2 indisli tübün farklı L değerlerine göre çökme grafiği

$\phi_2[z]$ için:



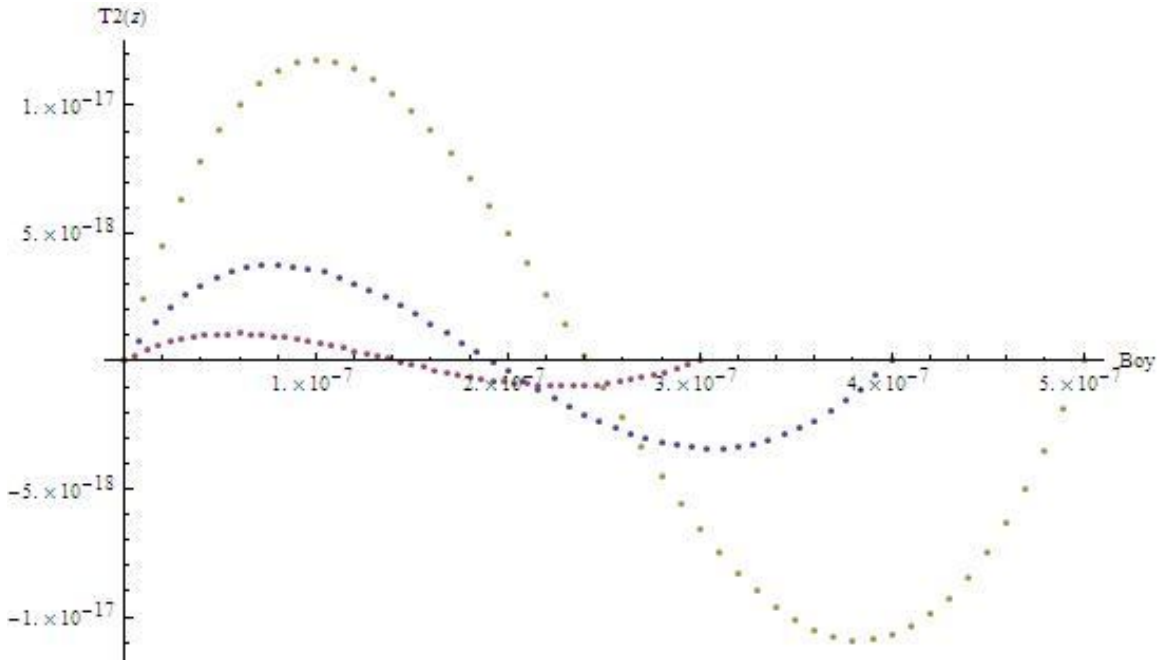
Şekil 5.32 : 2 indisli tübün farklı L değerlerine göre dönme grafiği

M2[z] için:



Şekil 5.33 : 2 indisli túbün farklı L değerlerine göre moment grafiği

T2[z] için:



Şekil 5.34 : 2 indisli túbün farklı L değerlerine göre kesme kuvveti grafiği

6. SONUÇ

5. konuda yapılan çalışma duvara ankastre kiriş yerine çift duvarlı bir karbon nanotüp düşünülerek sistemin incelenmesidir. Bu sayede çift duvarlı nanotübün iç ve dış duvarlarının davranışları grafikler üzerinde incelenmiştir. Sistemde belirlenen bazı değerler değiştirilerek sistem üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Örneğin; P tekil yükünün değerlerinin değiştirilmesiyle elde edilen grafikler, bize sistemin eğrilerinin P yükü ile orantılı olduğunu göstermektedir. P yükü artırıldığında değerler artmakta, azaltıldığı zaman ise değerler de azalmaktadır.

C bağ katsayısına bakıldığı zaman, P yükü ile aynı şeyler söylenememektedir. Değerler biraz artırıldığı zaman değerler düşmektedir. C bağ katsayısının artırılması iki tüp arasındaki kuvvetin artması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla değerlerin düşmesi normal karşılanabilir. Ancak katsayı daha da artırıldığı zaman değerler yine artmaya başlamaktadır. Bu durumda doğru katsayı için optimum değer araştırılmalıdır.

L boyunun değerlerinin değiştirilmesi de sistem ile orantılıdır. L boyu artırıldığında sistemin değerleri de artışa geçmektedir.

Nanoteknolojinin geçmişi 1990' lı yıllara dayanmasına rağmen, bu konuda çok büyük gelişmeler yaşanmıştır. Nanoteknoloji geleceğin teknolojisidir ve bu konuda çok yoğun bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Bu bilimsel araştırmaların sonuçlarını çok yakın zamanda günlük yaşamımızda hissedeceğimiz konusunda şüphe yoktur. Nanoteknolojinin çok sayıda bilim dalının çalışma konusu olması ve teknolojinin çok geniş bir spektrumunda yer alması nedeni ile disiplinler arası çalışmaları gerektirmektedir. Bu nedenle bu konuda disiplinlerarası çalışmalarında içerecek büyük yapılanmalara gereksinim vardır. Gelişen bir teknoloji olan nanoteknolojiye birçok ülke yatırım yapmaktadır. Bunların içinde en çok yatırımı yapan ülke A.B.D.'dir. Türkiye'de nanoteknoloji çalışmaları yapılmasına rağmen, bu alana yeterince yatırım yapılmamaktadır. Nanoteknoloji içerisinde karbona dayalı malzemeler önemli bir yer tutmaktadır. Nanoteknoloji karbonun yapısal özelliklerinden dolayı;

özellikle karbona dayalı nanomalzemelerde ilerleme alanları bulmaktadır. Çünkü karbona dayalı yapılar çok daha sağlam ve yüksek elastikiyet göstermektedir. Önemli optik ve elektronik özelliklere sahip, karbon nanoyapılardan olan karbon nanotüpler bu çalışma sırasında incelenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anadolu Üniversitesi İleri Teknolojiler Araştırma Birimi**, 2009, 5. *Ulusal Nanobilim ve Nanoteknoloji Konferansı*.
- Balcı, H.**, 2006. *Akıllı (Fonksiyonel) Tekstiller*, Seçilmiş Kumaşlarda Antibakteriyel Apre ve Performans Özellikleri.
- Başaran, E.**, 2002. *Nanoteknoloji* (A. AYHAN editör), Beta Basım Yayım, s.379-388.
- Breuer, O., Sundararaj, U.**, 2004. *Big Returns from Small Fibers: A review of Polymer/Carbon Nanotube Composites*. Polymer Composites, s.630-645.
- Çıracı, S.**, 2005. Metrenin Bir Milyarda Birinde Bilim ve Teknoloji, *Bilim ve Teknik*, Yeni Ufuklara, s.6-10.
- Çıracı, S.**, 2006. Nanobilim ve Nanoteknolojide Türkiye'nin Bir Mükemmeliyet Merkezi, *Bilim ve Teknik*, Yeni Ufuklara, Aralık, s.2-4.
- Çıracı, S.**, 2007. 21. Yüzyılda Yeni Bir Sanayi Devrimi: Nanoteknoloji, *Bilim ve Ütopya*, 4-11.
- Doğan, G., Şenol, F., Tayyar, A.E., Yaman, N.**, 2005. *Karbon Nanotüpler*.
- Köse, S., Eerdoğan, M., Güneş, İ.**, 2007. 21. *Yüzyılda Nanoteknoloji Dünyası*. Makine İhtisas.
- Naschie, M.S.E.**, 2006. *Nanotechnology for the Developing World*, Chaos Solitons&Fractals, s.769-773.
- Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N.**, 2006a. Lotus Etkili Yüzeyler. *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, s.287-290.
- Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N.**, 2006b. *Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları*, Tekstil ve Konfeksiyon, s.159-163.
- Özdoğan, E., Demir, A., Seventekin, N.**, 2006c. *Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları* (Bölüm 2). Tekstil ve Konfeksiyon, s.225-229.
- Hunt, G. and Mehta, M.**, 2008, *Nanotechnology, Risks, Ethics and Law*.
- Schmid, G.**, 2008, *Nanotechnology Volume 1: Principles and Fundamentals*
- Uğur, F.**, 2006. *Süper Beyinler Nanoteknoloji İçin Dönüyor*, Aksiyon, Eylül, s.40-47.
- Uldrich, J. and Newberry, D.**, 2008, *Nanoteknoloji*, Sıradaki büyük şey aslında çok küçük
- Url-1** <<http://www.nanoteknolojisi.com>>, alındığı tarih 20.11.2009.

- Url-2** <<http://www.forumturka.net/forum/serbest-mekan/370264nanoteknoloji.html>>, alındığı tarih 15.12.2009.
- Url-3** <<http://www.soylenasil.com/bilim/nanoteknoloji/>>, alındığı tarih 20.12.2009.
- Url-4** <<http://www.nanoturk.com/>>, alındığı tarih 25.11.2009.
- Url-5** <<http://nanoturkiye.blogspot.com/>>, alındığı tarih 10.12.2009.
- Url-6** <<http://www.nanoteknolojimucizesi.com>>, alındığı tarih 15.12.2009.
- Url-7** <<http://www.turk-bilim.com>>, alındığı tarih 15.12.2009.
- Url-8** <<http://www.gelecegin dunyasi.com/>>, alındığı tarih 15.12.2009.
- Url-9** <<http://techofnano.com/nano/son-haberler/savulun-nanoteknoloji-giriyor.html>>, alındığı tarih 25.12.2009.
- Url-10** <<http://web.sakarya.edu.tr/~akbulut/Nano5.pdf>>, alındığı tarih 05.01.2010.
- Url-11** <<http://www.turkish-media.com/forum/topic/131448-nano-teknoloji-nedir-nelerde-kullanilir/>>, alındığı tarih 05.01.2010.
- Url-12** <<http://www.kimyaevi.org/TR/Yonlendir.aspx?...>>, alındığı tarih 15.01.2010.
- Url-13** <<http://www.nano-teknoloji.info>>, alındığı tarih 15.01.2010.
- Url-14** <<http://www.erhanozkan.com/faydalı%20şeyler/CMC.ppt>>, alındığı tarih 15.01.2010.
- Url-15** <<http://nanoteknolojinedir.com/?p=234>>, alındığı tarih 15.01.2010.
- Url-16** <<http://nanoteknolojinedir.com/?p=239>>, alındığı tarih 15.01.2010.
- Url-17** <<http://www.bilgiustam.com/nanoteknoloji-nedir/>>, alındığı tarih 15.01.2010.
- Waser, R.**, 2008, *Nanotechnology Volume 3: Information technology*.
- Yetgin, S.H.**, 2007. *Nanoteknoloji ve Nano Kompozitler*, Sakarya Üniversitesi, Metal Eğitimi Bölümü.

EKLER

EK A.1 Başlangıç durumu ve A matrislerinin belirlenmesi, programa girilmesi

EK A.2 Taşıma matrisi, çökme, dönme, moment ve kesme kuvveti denklemlerinin hesaplanması

EK A.3 Hesaplanan denklemler

EK A.4 Hesaplanan denklemlerin devamı, v_{20} ve ϕ_{20} başlangıç değerlerinin hesaplanması

EK A.5 Hesaplanan denklemlere sayısal değerlerin girilmesi

EK A.6 Farklı değerler kullanarak grafiklerin çıkarılması

Wolfram Mathematica 7.0 - [denemelergrafiklerr.nb *]

File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

denemelergrafiklerr.nb *

```

f1 indisi ile dış tüp, 2 indisi ile iç tüp gösteriliyor!, iç tüp için denklem
yazılırken c*(dış-iç) denilecek"
"1Nanometre=1*10^(-7)cm, E=0.8 TPA, 1TPA=1*10^(8) N/cm^2"

"C=C*d, d=(d1+d2)/2, {d ortalama yarıçaptır}",
"C= 10^(20)J/m^4,Joule(J)=Newtonmetre"
"C=10^20J/m^4=10^(20)N/m^3=10^20N/(100cm)^3=10^14 N/cm^3"
"d1=4*10^(-7)cm, d2=2*10^(-7)cm, d=3*10^(-7)cm" "c=10^14*3*10^(-7)=3*10^(7)N/cm^2"
"R1=E*I1=0.8*10^(8)*Pi*[4*10^(-7)]^(4)/64=3.2*10^(-20)*Pi N/cm^4"
"R2=E*I2=0.4*Pi*10^(-20) N/cm^4"
"Cubuğun boyunu 40 Nanometre yani 40*10^(-8)cm olarak seciyoruz"

In[1]:= 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},{φ10},{M10},{T10},{V20},{φ20},{M20},{T20}}"
BD = {{0}, {0}, {-P*L}, {P}, {V20}, {φ20}, {0}, {0}}
MatrixForm[A]
MatrixForm[BD]

Out[1]= {{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}}

Out[2]= BD={{V10},{φ10},{M10},{T10},{V20},{φ20},{M20},{T20}}
Out[3]= {{0}, {0}, {-L*P}, {P}, {V20}, {φ20}, {0}, {0}}

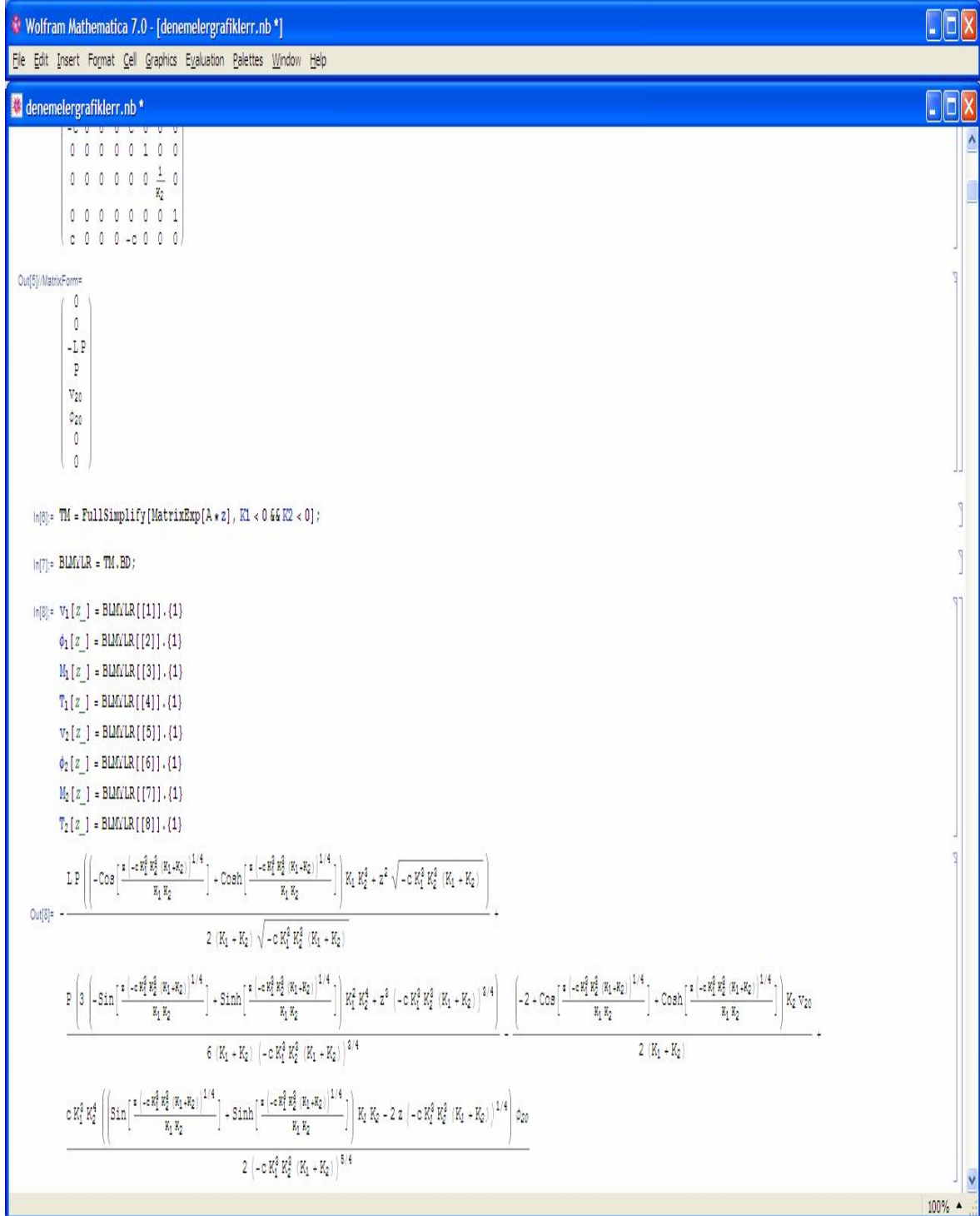
Out[4]//MatrixForm=

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


```

100%

EK A.1 Başlangıç durumu ve A matrislerinin belirlenmesi,programa girilmesi



EK A.2 Taşıma matrisi, çökme, dönme, moment ve kesme kuvveti denklemlerinin hesaplanması

Wolfram Mathematica 7.0 - [denemelergrafiklerr.nb *]

File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

denemelergrafiklerr.nb *

$$\text{Out}[13] = \frac{\text{LP} \left(\left(\sin \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] + \sinh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1 K_2 - 2 z \sqrt{-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}^{1/4} \right)}{2 (K_1 + K_2) \sqrt{-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}^{1/4}} + \frac{\text{P} \left(\left(\cos \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] - \cosh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1^2 K_2^2 - z^2 \sqrt{-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)} \right)}{2 (K_1 + K_2) \sqrt{-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}^{1/4}}$$

$$c \left(\sin \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] - \sinh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1^2 K_2^2 v_{20} \left(\left(\cos \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] + \cosh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1 + 2 K_2 \right) \phi_{20}$$

$$\text{LP} \left(-2 + \cos \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] + \cosh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_2 + c \text{P} K_1^2 K_2^4 \left(\left(\sin \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] + \sinh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1 K_2 - 2 z \sqrt{-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}^{1/4} \right)$$

$$c \left(\cos \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] - \cosh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1^2 K_2^2 v_{20} \left(\left(-\sin \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] - \sinh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4} \phi_{20} \right)$$

$$\text{P} \left(-2 + \cos \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] + \cosh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_2 + c \text{LP} \left(-\sin \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] - \sinh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1^2 K_2^2$$

$$c \left(\sin \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] + \sinh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1 K_2 v_{20} + c \left(\cos \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] - \cosh \left[\frac{z \sqrt{-K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{K_1 K_2} \right] \right) K_1^2 K_2^2 \phi_{20}$$

```

In[16]:= aa = Solve[{M1[L] == 0, T1[L] == P}, {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];

```

EK A.4 Hesaplanan denklemlerin devamı, v_{20} ve ϕ_{20} başlangıç değerlerinin hesaplanması

```

Wolfram Mathematica 7.0 - [denemelergrafiklerr.nb *]
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

denemelergrafiklerr.nb *
v20 = FullSimplify[v20];
Print["φ20=", φ20]


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


$$\left. (1 + i) L \cos \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4}}{2 K_1 K_2} \right] \cosh \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 - K_2))^{1/4}}{2 K_1 K_2} \right] (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 - K_2))^{1/4} \right) \Bigg/$$


$$\left( \left( -1 + \cos \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \cosh \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 - K_2))^{1/4} \right) \right.$$


$$\left. P K_2 \left( 2i \left( \sin \left[ \frac{\frac{1}{2} - \frac{i}{2}}{K_1 K_2} L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4} \right] + \sinh \left[ \frac{\frac{1}{2} - \frac{i}{2}}{K_1 K_2} L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4} \right] \right)^2 K_1 K_2 + (1 - i) L \left( \sin \left[ \frac{(1+i) L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] + \sinh \left[ \frac{(1+i) L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \right) (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4} \right) \right.$$


$$\left. \phi_{20} = \frac{2 \left( -1 + \cos \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \cosh \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 - K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \right) \sqrt{-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}}{2 \left( -1 + \cos \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \cosh \left[ \frac{L (-c K_1^2 K_2^2 (K_1 - K_2))^{1/4}}{K_1 K_2} \right] \right) \sqrt{-c K_1^2 K_2^2 (K_1 + K_2)}} \right.$$


$$\ln[27] = K_1 = -32 / 10 * 10^{(-20)} * \text{Pi};$$


$$K_2 = -4 / 10 * \text{Pi} * 10^{(-20)};$$


$$\ln[28] =$$


$$v_1[z_] = \text{SetPrecision}[v_1[z], 1000];$$


$$\phi_1[z_] = \text{SetPrecision}[\phi_1[z], 1000];$$


$$M_1[z_] = \text{SetPrecision}[M_1[z], 1000];$$


$$T_1[z_] = \text{SetPrecision}[T_1[z], 1000];$$


$$v_2[z_] = \text{SetPrecision}[v_2[z], 1000];$$


$$\phi_2[z_] = \text{SetPrecision}[\phi_2[z], 1000];$$


$$M_2[z_] = \text{SetPrecision}[M_2[z], 1000];$$


$$T_2[z_] = \text{SetPrecision}[T_2[z], 1000];$$


$$\ln[37] = c = 3 * 10^{(7)};$$


$$L = 40 * 10^{(-8)};$$


$$P = 10^{(-16)};$$

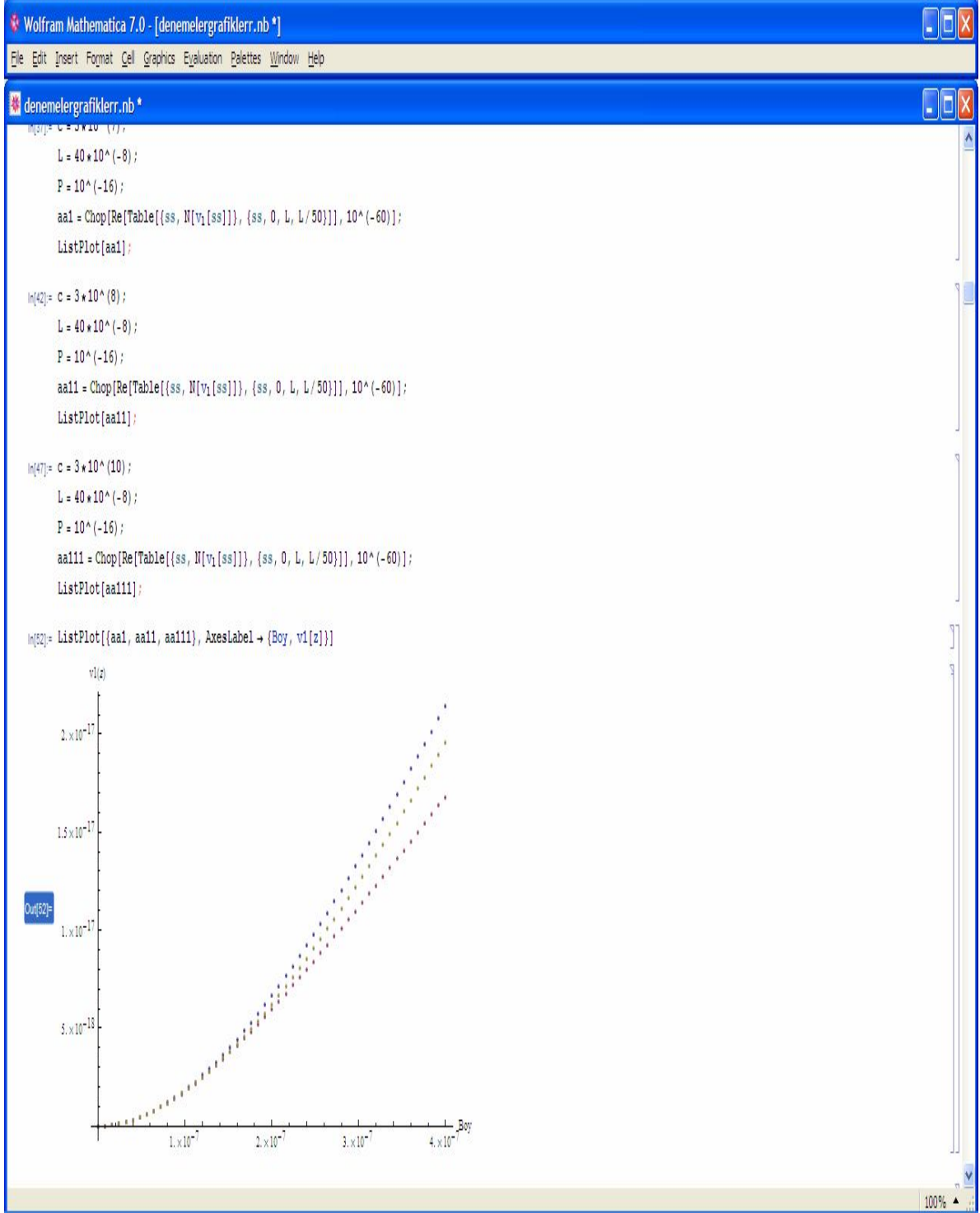

$$aa1 = \text{Chop}[\text{Re}[\text{Table}[\{ss, N[v_1[ss]]\}, \{ss, 0, L, L/50\}]], 10^{(-60)}];$$


$$\text{ListPlot}[aa1];$$


$$\ln[42] = c = 3 * 10^{(8)};$$


```

EK A.5 Hesaplanan denklemlere sayısal değerlerin girilmesi



EK A.6 Farklı değerler kullanarak grafiklerin çıkarılması

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Mehmet Can SEYMAN

Doğum Yeri ve Tarihi : S. Arabistan , 1986

Lisans Üniversitesi : İstanbul Üniversitesi

Mehmet Can SEYMAN,1986 yılında S.Arabistan'da doğmuştur.

İlkokul 2. sınıfa kadar bu ülkede İngilizce eğitim yapan özel bir okulda öğrenim gördükten sonra Türkiye'ye gelerek geri kalan ilk, orta ve lise öğrenimini ODTÜ Geliştirme Vakfı Özel Lisesi'nde tamamlamıştır.

2008 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur.

Şu an İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Mühendisliği Bölümünde öğrenim görmektedir.