

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Senem HANÇER**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Senem HANÇER
(501021437)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 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

Aileme ve dostlarıma,

ÖNSÖZ

İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Mekanik anabilim dalında gerçekleştirilen bu çalışmada çift duvarlı karbon nanotüplerin çeşitli parametrelere bağlı olarak davranışı incelenmiştir.

Çalışmalarım süresince, destek ve anlayışını benden esirgemeyerek değerli görüşleri ve yapıcı eleştirileriyle bana yol gösteren tez danışmanım Prof. Dr. Reha ARTAN'a, desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen anneannem Saniye ERTURAN, annem Mürüvvet HANÇER, babam Şaban HANÇER, kardeşim Duygu HANÇER'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs 2010

Senem HANÇER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. NANOTEKNOLOJİ	3
2.1 Nanoteknoloji Tanımı.....	3
2.2 Nanoteknolojinin Tarihi	3
2.3 Nanoteknolojinin Amacı	4
2.4 Nanoteknolojinin Gelişimi	5
2.5 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları	6
2.6 Nanoteknolojinin Yararları.....	7
2.7 Nanoteknoloji Uygulamalarının Dezavantajları.....	7
2.8 Türkiye'deki Nanoteknoloji Çalışmaları	7
2.9 Dünyada Nanoteknoloji.....	8
3. KARBON NANOTÜPLER	11
3.1 Karbon Nanotüplerin Tarihçesi	13
3.2 Karbon Nanotüplerin Türleri.....	13
3.3 Karbon Nanotüplerin Yapısı.....	15
3.4 Karbon Nanotüpleri Elde Etme Yöntemleri.....	17
3.4.1 Ark Buharlaştırma Yöntemi	17
3.4.2 Lazer Buharlaştırma Yöntemi	18
3.4.3 Mekanik Öğütme.....	18
3.4.4 Diğer Yöntemler.....	18
3.5 Karbon Nanotüplerin Mekanik Özellikleri.....	19
3.6 Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	19
3.7 Elektronik Özellikler	20
3.8 Optik Özellikler	22
4. ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	24
4.1 Tek Duvarlı Karbon Nanotüplerin İncelenmesi	25
4.2 Çift Duvarlı Karbon Nanotüplerin İncelenmesi	26
5. SONUÇLAR	42
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	44

KISALTMALAR

MWNT	: Çok duvarlı karbon nanotüpler
DWNT	: Çift duvarlı karbon nanotüpler
SWNT	: Tek duvarlı karbon nanotüpler
CNT	: Karbon nanotüpler
D₁	: Dıştaki tüpün çapı
D₂	: İçteki tüpün çapı
L	: Kiriş uzunluğu
E	: Elastisite modülü
I	: Kiriş atalet momenti
R₁	: Kiriş eğilme rijitliği
V₁	: Dıştaki tüpün çökmesi
V₂	: İçteki tüpün çökmesi
V'	: Kirişe ait dönme değeri
V''	: Kirişin herhangi bir noktasındaki moment değeri
V'''	: Kirişin herhangi bir noktasındaki kesme kuvveti değeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Karbon nanotüplerin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, yoğunluk değerleri ve diğer malzemelerle karşılaştırmaları.....	20
Çizelge 3.2 : Karbon nanotüplerin karşılaştırmalı özellikleri.....	23

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Bucky Ball.....	11
Şekil 3.2 : Karbon nanotüplerin karşılaştırılması) elmas; b) grafit c) <u>lonsdaleite</u> ; d-f)fulleren (C60, C540, C70); g) <u>amorphous karbon</u>	12
Şekil 3.3 : Grafenin silindirik biçimde sarılmasıyla nanotüp oluşumu.	14
Şekil 3.4 : Tek duvarlı karbon nanotüp.	14
Şekil 3.5 : Çift duvarlı karbon nanotüp	15
Şekil 3.6 : Çok duvarlı karbon nanotüp.	15
Şekil 3.7 : Karbon nanotüplerin yapısı	16
Şekil 3.8 : Chiral açısı 30 derece iken arm-chair nanotüplerin yapısı.	16
Şekil 3.9 : Chiral açısı 0-30 derece arasında olduğu zaman Zig-zag nanotüplerin yapısı	16
Şekil 3.10: Chiral açısı 0-30 derece arasında olduğu zaman chiral nanotüplerin yapısı	19
Şekil 3.11: Esnetilmiş bir graphen	19
Şekil 4.1: Çift tarafı ankastre düzgün yayılı yük altındaki kirişin kesit tesirleri	24
Şekil 4.2: Çift tarafı ankastre düzgün yayılı yük altındaki tek duvarlı karbon nanotüp kiriş	25
Şekil 4.3: Tek duvarlı karbon nanotüp kiriş enkesiti	26
Şekil 4.4: Tek duvarlı karbon nanotüp bir kirişin V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	26
Şekil 4.5: Çift duvarlı karbon nanotüp kiriş geometrisi	26
Şekil 4.6: Çift duvarlı karbon nanotüp kiriş enkesiti	27
Şekil 4.7: $d_1=30 \times 10^{-8}$ değeri için tek duvarlı ve çift duvarlı karbon nanotüplerde V_1 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca karşılaştırılması	29
Şekil 4.8: $L=40 \times 10^{-7}$ değeri için V_1 ve V_2 çökmelerinin karşılaştırılması	29
Şekil 4.9: $d_1=30 \times 10^{-8}$ $d_2=20 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	30
Şekil 4.10: $d_1=35 \times 10^{-8}$ $d_2=20 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi	30
Şekil 4.11: $d_1=40 \times 10^{-8}$ $d_2=20 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi	31
Şekil 4.12: $d_1=60 \times 10^{-8}$ $d_2=20 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi	31
Şekil 4.13: $\frac{d_1}{d_2}$ oranına göre V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	31
Şekil 4.14: Farklı p yükleri için V_1 çökmesinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi ...	32
Şekil 4.15: $d_1=40 \times 10^{-8}$ $d_2=18 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi	32

Şekil 4.16: $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 25 \times 10^{-8}$ değerleri için kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	32
Şekil 4.17: $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 30 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	33
Şekil 4.18: $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 35 \times 10^{-8}$ değerleri için kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	33
Şekil 4.19: $\frac{d_1}{d_2}$ oranına göre V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	34
Şekil 4.20: $C = 1 \times 10^{14}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi	34
Şekil 4.21: $C = 1 \times 10^{11}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	35
Şekil 4.22: $C = 1 \times 10^{10}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	35
Şekil 4.23: $C = 1 \times 10^9$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu değişimi.....	35
Şekil 4.24: Tüm C değerleri için oluşan çökme eğrilerinin aynı grafikte toplanması.....	36
Şekil 4.25: $L = 40 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	36
Şekil 4.26: $L = 45 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	36
Şekil 4.27: $L = 50 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	37
Şekil 4.28: $L = 55 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi.....	37
Şekil 4.29: Tüm L değerleri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin aynı grafikte gösterilmesi.....	37
Şekil 4.30: d_1 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi.....	38
Şekil 4.31: d_1 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi.....	38
Şekil 4.32: d_1 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi	38
Şekil 4.33: d_2 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi.....	39
Şekil 4.34: d_2 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi.....	39
Şekil 4.35: d_2 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi.....	39
Şekil 4.36: C değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi.....	40
Şekil 4.37: C değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi.....	40
Şekil 4.38: C değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi	40
Şekil 4.39: L değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi.....	41

Şekil 4.40: L değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi	41
Şekil 4.41: L değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi.....	41

ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bilindiği gibi nanoteknoloji, moleküler boyutta (1-100nm) fonksiyonel sistemlerin mühendisliğidir. Atom ve moleküler ölçeğinde özel yöntem ve tekniklerle yapıların, materyallerin ve araçların inşa edilmesini, bu ölçekte ölçme, tahmin etme, izleme ve yapım faaliyetlerinde bulunmayı, benzeri görülmemiş özelliklerde yeni nanoteknolojik aygıtlar üretmeyi hedefler. Nanoteknoloji'yi uygulanabilir kılan şey, atomların yapısı ve aralarındaki olağanüstü organizasyon özelliği olduğundan atomların yapısı ve davranış biçimlerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Nanoteknoloji'de ilk uygulamalar karbon nanotüp yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karbon nanotüpler hem yapısal, hem de mekanik özellikleri bakımından nano ölçekteki malzemelere en güzel örneklerden biri olup, sahip oldukları olağanüstü özelliklerden dolayı bilinen en sert ve en güçlü liflerdir. Ayrıca karbon nanotüpler, moleküler boyutta grafit karbonların içi boş silindirik çubukları olarak düşünülür ve geniş çapta nanoteknolojik uygulamalarda kullanılırlar.

Bu çalışmada, çeşitli parametrelere bağlı olarak çift duvarlı karbon nanotüplerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu parametreler iç ve dış kirişlerin çapları, kiriş uzunluğu, van der waals kuvveti etkileşim katsayı oranıdır. Bu oranların değişimine bağlı olarak iç ve dıştaki kirişlerin çökme fonksiyonları, dönme eğrileri, moment ve kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.

THE EXAMINATION OF MECHANICAL BEHAVIORS OF DOUBLE WALLED CARBON NANOTUBES

SUMMARY

As is known, nanotechnology, molecular size (1-100N) is the engineering of functional systems. Atomic and molecular scale, special methods and techniques of buildings, materials and tools used to construct this scale of measurement, estimation, monitoring and construction activities to contribute in unprecedented feature of new nanotechnological devices to produce. Nanotechnology apply the things that makes the atom and structure of their outstanding organization feature as the structure and behavior of atoms is necessary to know very well.

The first applications of nanotechnology were carried out using carbon naotüp structure. Carbon nanotubes and structural, and mechanical properties of nano-scale materials in terms of the best examples, and have known because of their outstanding features are the toughest and strongest fibers. Moreover, carbon nanotubes, molecular-sized hollow cylinder of carbon-graphite rods are considered, and are widely used in nanotechnological applications. In this study, depending on various parameters of mechanical properties of double-walled carbon nanotubes were investigated. These parameters inside and outside of the beam diameter, beam length, the van der Waals interaction coefficient ratio. This ratio change depending on the inner and outer beam deflection functions, rotation curve, moment and shear force values were obtained.

1.GİRİŞ

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, nanoteknolojinin doğmasına yol açtı ve çağımızın en öncelikli konularından birisi 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. Nanoteknoloji'nin en önemli konularından birisi karbon nanotüplerdir. Karbon nanotüpler önemli elektronik ve mekanik özelliklere sahip nano yapılarıdır. Nanotüpler ilk olarak tek boyutlu kuantum teller için prototip olarak düşünüldüğünden çok büyük ilgi çekmiştir. Diğer kullanışlı özelliklerinin keşfedilmesiyle; özellikle dayanıklılığı, potansiyel kullanım alanlarını çoğalttı. Örneğin, karbon nanotüpler nanometrik boyutlardaki elektronik devrelerde ya da kuvvetlendirilmiş polimer malzemelerde kullanılabilir. [1]

İdeal bir nanotüp 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. Buhar geliştirme tekniğiyle karbon fiberlerin çapı 7nm civarında geliştirilmiştir.

Moskova'daki kimyasal fizik enstitüsünde araştırmacılar, bağımsız olarak aynı anda karbon nanotüpleri ve nanotüp demetlerini keşfettiler, fakat genel olarak bunların çap uzunluğu oranları oldukça küçüktü. Sussex üniversitesinden Harold Kroto ve Rice üniversitesinden Richard Smalley ve çalışma arkadaşlarının (Amerika) fullerenleri keşfiyle, araştırmacılar daha yoğun bir şekilde karbon malzemeleri araştırmaya başlamışlardır.

Birçok araştırma grubu tarafından, nanotüplerin özelliklerini belirlemek için deneysel ve teorik çalışmalar yoğun bir şekilde sürmektedir. Bu çalışmada, nanotüplerin elde edilmesi, fiziksel özellikleri, potansiyel kullanım alanları, tek ve çift duvarlı karbon nanotüplerin mekanik özellikleri ve birbirleriyle çeşitli parametreler altında karşılaştırmaları yapılmıştır.[2 – 4]

2.NANOTEKNOLOJİ

2.1 Nanoteknoloji Tanımı

California'daki Foresight Enstitüsü başkanı Dr.Eric Drexler,Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki eğitimi sırasında,biyolojik sistemlerden esinlenerek molekül makinelere yapılabileceğini önermiştir ve nanoteknoloji kelimesini ilk kez ortaya çıkarmıştır. Nanometre ($1 \text{ nm}=10^{-9} \text{ m}$) ölçeğindeki fiziksel,kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla, fonksiyonel materyallerin, cihazların ve sistemlerin geliştirilmesidir. Nano,Yunanca'da cüce anlamına gelmektedir. Nano birimin daha iyi anlaşılabilmesi için şöyle bir örnek verebiliriz. Bir saç teli yaklaşık 80.000 nanometre genişliğindedir. Nanoteknoloji; maddenin nanometre ölçeğinde yani atomsal, moleküler ve supramoleküler yapılar düzeyinde denetlenmesi yoluyla yeni malzeme, cihaz ve sistemlerin tasarlanmasını ve üretilmesini konu alan bir teknoloji dalıdır.Maddeleri moleküler ya da nanometre düzeyinde ele alan bir mühendislik bilimi olan nanoteknoloji, daha güçlü ve daha hafif elektronik materyallerin kullanıldığı yeni bir çağ vaat ederek bilim adamlarının son yıllarda umutlarını arttırmaya devam etmektedir. Bilim insanları ve mühendisler her gün daha küçük boyutlara inmeye, daha az yer kaplayan, daha az enerji harcayarak daha hızlı çalışabilen aygıtlar yapmaya zorlanmıştır. [5]

2.2 Nanoteknolojinin Tarihi

Nanoteknoloji vizyonunun ortaya çıkışını, 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılacakları üzerine yapmış olduğu ünlü konuşması ile hız kazanmıştır.Bu konuşmasında Feynman minyatürize edilmiş enstrümanlar ile nano yapıların ölçülebileceği ve yeni amaçlar doğrultusunda kullanılabileceğinin altını çizmiştir. 1980'li yıllarda "Scanning Tunneling Microscope" (STM) adı verilen uygun mikroskoplar geliştirilmiştir.

Aynı zamanlarda STM mikroskopunun bir türevi olan “Atomic Force Microscope” (AFM) geliştirildi. Gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano skalasında ölçüm ve modelleme yapılması mümkün olmuştur. 1990’lı yıllarda Fulleren karbon nanotüpler geliştirilmiştir. 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. 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 önlere yer almak için çalışmalarına hız verdi.[6]

2.3 Nanoteknoloji’nin Amacı

Aşağıda sıralanan özellikler nanoteknolojinin gelişim aşamasındaki özellikleri olarak sıralanabilir.

1. Nanometre ölçekli yapıların analizi,
2. Nanometre boyutunda yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılması,
3. Nanometre ölçekli yapıların imalatı,
4. Nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesi,
5. Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,
6. Uygun yöntemler bulunarak nanoskopik ve makroskopik dünya arasındaki bağın kurulması.[6]

2.4 Nanoteknoloji'nin Gelişimi

Richard Feynman (1918-1988), öngörülerini, bilimi herkese yayma çabaları ve verdiği seminerleri ile fizikçiler arasında tanınmış bir bilim adamıdır. Kuantum elektrodinamiği sahasında yapmış olduğu çalışmalarla 1965 yılında Fizik Nobel ödülünü almıştır. Bu ünlü fizikçi 1959 yılında "There is plenty of room at the bottom" başlıklı bir konuşma yapmıştır. Feynman bu konuşmasında eğer atom ve molekül büyüklüklerinde imalat yapabilirse birçok yeni keşiflerin olabileceğini söylemiş, Feynman bu konuşmasında özetle şunları öngörmüştür.

Küçük ölçekte bilgi, Daha iyi elektron mikroskobu, Fevkalade biyolojik yapılar, Bilgisayarları minyatürleştirme, Buharlaştırma yolu ile minyatürleştirme, Sürtünme Sorunları, Atomları yeniden organize etme ve küçük bir dünyada atomlargibi başlıklar sıralanabilir.

Feynmann yine bu konuşmasının gençlere önderlik ederek onların bilimde yeni yollar açılması için birbirleriyle rekabete sokmuştur. Şu hayali örnek verilebilir: Bir lisenin öğrencileri toplu iğne başına 'iyi mi' yazısını yazıp rakip lise öğrencilerine gönderirler, onlar da bunun üzerine toplu iğnenin başı üzerindeki i harflerinden birisinin noktası içine 'o kadar da değil' yazısını gönderirler. Feynmann'ın öngördüğü bu düşünceler 1980'li yılların başında nanoyapıların bazı fiziksel büyüklükleri ölçmek ve nanoölçekte malzeme üretmek amacıyla kullanılacak bazı yöntemler ve aygıtlar geliştirildi böylece Feynmann'ın bahsettiği ilk adım atılmış oldu, taramalı tünellemeli mikroskoplar, atom kuvveti mikroskopları, yakın alan mikroskopları bunlardan bazılarıdır. Daha sonra yer alan önemli gelişmelerden biri 1985'te karbon nanotopların 1991'de karbon nanotüplerin keşfidir. 2001'de nanolazerin keşfiyle bu teknolojiye önemli adım atılmış oldu. Nanobilim ve nanoteknolojinin kronolojik gelişimi aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1959: Feynmann meşhur konuşmasını yaptı.

1974: Aviran ve Seiden ilk moleküler elektronik aygıt için patent aldı.

1981: G.K Binnig ve H.Rohrer atomları tek tek görüntüleyebilmek için STM'yi icat ettiler.

1985: R.Curl Jr.C'yi keşfettiler.

1986: K.E.Drexler moleküler nanoteknoloji fikrini ortaya attı.

- 1987: İletkenliğin kuantum özelliği ilk defa gözlemlenebildi.
- 1987: T.A Fulton ilk defa tek elektron transistörü yaptı.
- 1988: Wde Grado ve ekibi ilk defa suni protein yaptı.
- 1989: IBM 35 Xe atomundan IBM yazısını yazdı.
- 1991: Iijama çok duvarlı karbon nanotüpleri keşfetti.
- 1993: Iijama ve Bethune tek duvarlı karbon nanotüpleri keşfetti.
- 1998: C.Dekker ve ekibi TUBEFET yaptı.
- 1999: M.Reed ve J.M Tour ilk defa organik molekülle elektronik anahtar yaptı.
- 2000: ABD’de ilk defa nanoteknoloji araştırmaları için 422 milyon dolarlık kaynak ayrıldı.
- 2001: İlk defa nanotüplerden transistör ve mantık devreleri yapıldı.
- 2001: ZnO nanotel lazeri yapıldı.
- 2002: Süper örgü nanoteller yapıldı.
- 2005: İlk dört tekerli nano araba modeli hareket ettirildi.[7]

2.5 Nanoteknoloji’nin kullanım alanları

Nanoteknoloji’nin potansiyel kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir. Mikrosensörlerin, mikromakinaların, optoelektronik elemanların imalatı ve uygun şekilde bir araya getirilmesinde, Lazer yapımında, manyetikleştirilmiş nano katmanları en ufak değişiklikleri farkedecek şekilde bir çip içine entegre edilip, trafik sensörü olarak uçak ve otomobilleri tanımada ve manyetik alanlarına bakarak dtiplerini de belirleyebilmede, medikal alanda, mikrocerrahide (göz, beyin vb.), diagnostic kitlerde, yüzey karakterizasyonu ve modifikasyonu, mikroorganizmaların taşınmasında, kanserli hücrelerin tedavisinde, DNA modifikasyonu vb. bölümlerde, kozmetik sanayide, tekstilde, mikromakinalar sayesinde bilgisayar teknolojisinde, kapasitör, transistor ve fotodiyot yapımında, güneş pillerinde, ilaç endüstrisinde ve yüksek çözünürlüğe sahip ölçü aletlerinin yapımında.[8]

2.6 Nanoteknoloji'nin Yararları

Nanoteknoloji tasarruf demektir. Daha az maliyetle daha çok üretim sağlarsınız. Enerji kaynaklarından elde edeceğiniz tasarruf ile enerji maliyetlerini düşürürsünüz. Nanoteknoloji ile üretim süreçlerini kısaltarak zaman ve maliyet kaybını önler, rekabet gücünü artırır. Teknolojik yarışta geri kalmaz, öne geçersiniz. Yaşam kalitenizin yükselmesini sağlar. Ürün kalitenizi yükseltirsiniz. Üretimle, insanların yaşam standartlarını ve kalitesini yükseltir, daha sağlıklı ve daha güvenli bir yaşam sürersiniz. Ulusal gelir düzeyinin yükselmesinde önemli bir rol üstlenirsiniz. [8]

2.7 Nanoteknoloji Uygulamalarının Dezavantajları

Nanoteknoloji gibi kendi kendini tekrarlayan üretim mekanizmalarında en küçük birimlerin doğal ortamda ve kontrolsüz çevrede kendini tekrarlama mümkün olmayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Bu mekanizmanın işlenmesi için mutlaka dışarıdan enerji ihtiyacı temin edilmektedir.

Teorik olarak moleküllerin kontrolü mümkün olması halinde nanoteknoloji her gün muazzam bir şekilde geliştirilebilir. Fakat tek tek atomların dizilmesi çok uzun zaman alır. Bu nedenle farklı üretim mekanizmalarına ihtiyaç vardır. Tabii bu üretimin fizibil olması gerekmektedir.

Bu boyutta araştırma ve üretim yapmanın en önemli dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz. Atomik boyutta yapışma, Sürtünme ve aşınma, Termal titreşimde, Cihazın rijitliği, pozisyon bulma ve kontrol mekanizmaları ve kuantum etkisi.[9]

2.8 Türkiye'deki Nanoteknoloji Çalışmaları

Birçok ülkenin nanoteknolojiye verdiği önem ve bunun beraberinde nanoteknolojiye yaptıkları yatırımlar fazla olmasına rağmen, ülkemizde durum böyle değildir. Birkaç kuruluş dışında yapılan bireysel çalışmalar ise ülkemizin nanoteknoloji alanında gelişmesinde fazla rol oynamamaktadır.

Türkiye'de nanoteknoloji çalışmalarının yapıldığı yerlerden biri GYTE (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü)' dür. GYTE' de nanoteknoloji metal araştırmaları, nanoteknoloji cam, seramik ve plastik araştırmaları, nanoyapısal kaplamalar gibi konular çalışılmaktadır.

Ülkemizde desteklenmeden nanoteknoloji hakkında çalışma yapılan yerlerden biri de Bilkent Üniversitesi'nde kurulan ve yakın zamanda çalışmalarına hız kazandıracak olan Ulusal Nanoteknoloji Merkezi'dir. Bu merkezde yürütülen projelerden biri ise internet erişim hızını nanoçipler kullanarak 100 kat arttırmaktır. [10 – 11]

2.9 Dünyada Nanoteknoloji

Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti 2006 yılı itibariyle nanoteknoloji kullanılarak üretilen ürünlerden 200 milyar dolar tutarında gelir elde edileceğini, gelecek on yıl içerisinde ise nanoteknoloji ürün ve hizmetlerini kapsayan 1 trilyon dolar hacminde küresel pazar oluşacağını tahmin etmektedir. Gelişen Nanoteknoloji alanlarında akademik programlar oluşturulmaktadır. 40 tanesi ABD'de olmak üzere nanoteknoloji alanında yaklaşık 140 üniversite programı bulunmaktadır. Avrupa Birliği'nin 1994 ve 1998 yılları arasında yürütmüş olduğu 4. Çerçeve programı kapsamında nanoteknoloji alanında araştırma yapan yaklaşık 80 firma desteklenmiş, 1998 ve 2002 yıllarını kapsayan 5. Çerçeve programı kapsamında ise bu alana yapılan destek miktarı yıllık 45 milyon euro civarında olmuştur. Geniş bir yelpazede yapılan destekler arasında nano-elektronik cihazlar, karbon nanotüpler, bio-sensörler, moleküler tanımlama sistemleri, nano-kompozit malzemeler ve yeni mikroskop teknolojileri öne çıkmaktadır.

Nanoteknolojinin bir çok alanda yenilikçi (inovatif) ürünler geliştirilmesi için gelecek vaatmesi sebebiyle, 2002-2006 yıllarını kapsayacak şekilde yürütülen 6. Çerçeve Programında Nanoteknoloji öncelikli alan olarak yer almış ve bu alanda yürütülecek çalışmaları desteklemek üzere 1.3 milyar euro bütçe ayrılmıştır. 6. Çerçeve Programının tematik öncelikli bu alanı: nanoteknoloji ve nanobilim çalışmalarını, bilgi tabanlı çok işlevli malzemeler ile yeni üretim prosesleri ve araçlarının geliştirilmesini kapsar. Nanoteknoloji öncelikli alanının iki ana hedefi vardır.

Birincisi yenilikçi nanoteknoloji ürünlerinin günümüzün endüstriyel sektörlerine tanıtılması, ikincisi ise yeni malzeme, yeni araç ve yeni ürünlerin geliştirilmesi ile yeni endüstri kolları ve sektörleri yaratılmasını teşvik etmek olarak özetlenebilir. Ayrıca Avrupa Birliği ülkelerinin birçoğunda nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme çalışmalarını destekleyen ulusal programlar bulunmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1999 yılında yayınlanan ulusal nanoteknoloji bildirgesi ile ülkenin nanoteknoloji 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, Savunma Departmanı, Enerji Departmanı , Ulaşım Departmanı , NASA, Ulusal Sağlık Enstitüsü ve Ulusal Bilim Kurumu 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.

Asya ülkeleri içinde nanoteknolojiye yatırım yapan ülkelerin başında Japonya gelmektedir. Japonya dünyada ABD'den sonra nanoteknoloji alanında en fazla Ar-Ge harcaması yapan ikinci ülke konumundadır. Nanoteknoloji üzerine yapılmakta olan yatırımın her yıl %15 ile %20 oranında artmakta olduğu Japonya'da nanoteknoloji tanımı dünyanın geri kalan ülkelerine oranla çok daha geniş kapsamlıdır. Moleküler seviyede yapılan birçok araştırma (örnek vermek gerekirse, DNA üzerine yapılan araştırmalar) nanoteknoloji tanımı içerisinde yer almaktadır. Ayrıca NEC ve Sumitomo gibi firmalar karbon 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 birçok araştırma ve geliştirme çalışmasını Çin Bilimler Akademisi kanalıyla yürütmektedir. Bu ülkede yürütülen çalışmaların birçoğu yarı iletken üretme teknikleri ve nanoteknoloji tabanlı

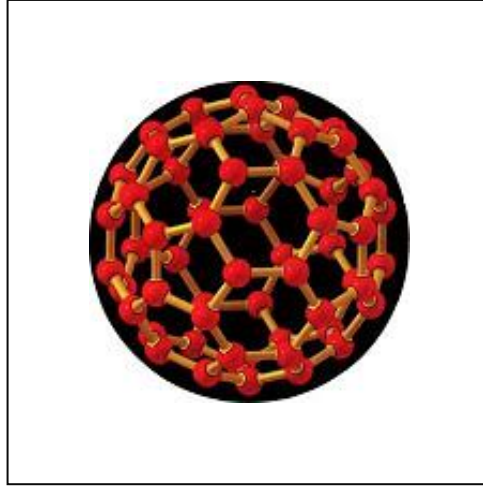
elektronik cihazlar üzerine yoğunlaşmaktadır. Araştırma merkezlerine ek olarak nanoteknoloji kullanılarak üretilen ürünlerin ticarileşmesine imkan sağlamak amacıyla çalışan bir çok kuruluş bulunmaktadır.

Kore nanoteknoloji'nin mikro elektronik uygulamaları alanında yoğunlaşmıştır. Nanoteknoloji çalışmalarının sürdürüldüğü birçok üniversite ve araştırma merkezi olduğu gibi Kore'nin en büyük şirketlerinden biri olan Samsung mikro elektronik uygulamalar ve mikro elektromekanik sistemler üzerine araştırmalar yürütmektedir.

Tayvan, Singapur, Tayland Hindistan ve Vietnam nanoteknoloji'yi öncelikli alan olarak belirlemiş ve uygun çerçeveyi belirlemek için adımlar atmaktadır.[10 – 11]

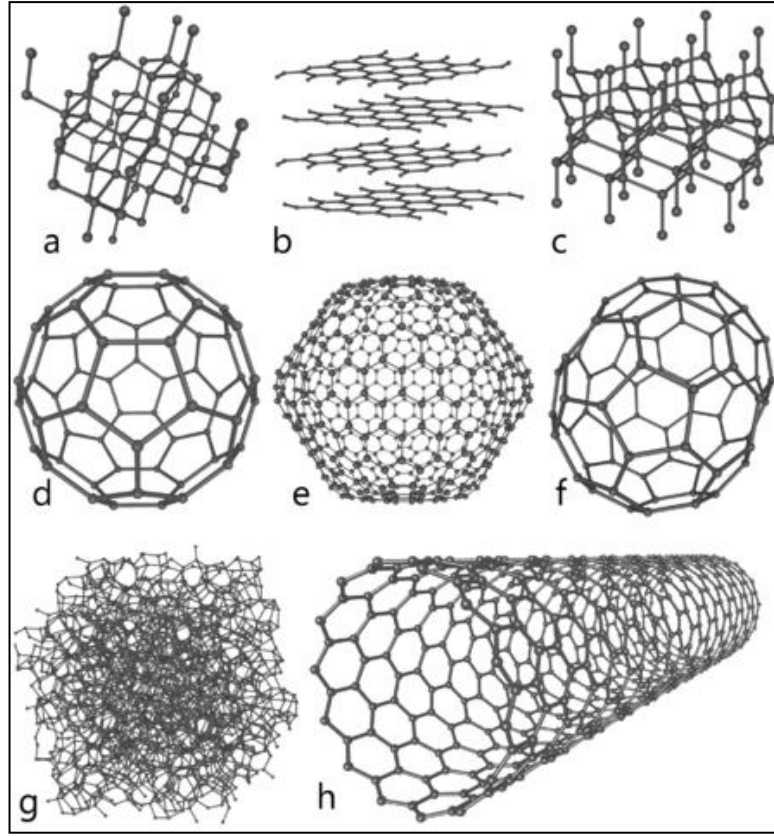
3.KARBON NANOTÜPLER

Nanoteknolojinin en önemli konularından biri karbon nanotüplerdir. Karbon nanotüpler grafit silindirden ,karbon atomlarının birleşmesiyle oluşan futbol topu şeklinde yapılardır .Bu futbol şekilli moleküllere ‘ Bucky Balls’ denmektedir. Bu topların diğer atom ve moleküllerle yaptığı bileşiklere fulleren denir.



Şekil 3.1 : Bucky Ball

Karbon nanotüpler fulleren ve grafenlerden üretilebilirler. Bu iki malzeme de karbonun allotropudur . karbonun çok sayıda allotropu vardır. Bu allotropların bazılarının özelliklerini şu şekilde ifade edebiliriz; Elmas, 3 boyutlu yarı iletken ve karbon atomları sp^3 şeklinde bağlanır. Grafit, 2 boyutlu ve yarı metaliktir. Karbon atomları sp^2 şeklinde bağlanır.Karbon nanotüp, 1 boyutlu iletken ve yarı iletken yapılardır. karbon atomları sp^2 şeklinde bağlanır.Fulleren, 0 boyutlu yapılardır. En az 20 atomludurlar. 1000 atomlu olanları da gözlenebilir. Mekanik ve elektronik özelliği en iyi bilinen ve en sağlamı C_{60} 'tır. Genel olarak fulleren denir.



Şekil 3.2 : Karbon nanotüplerinin karşılaştırılması a) elmas; b) grafit c) lonsdaleite; d-f) fulleren (C60, C540, C70); g) amorphous karbon

Karbon nanotüpler, geometrilerine bağlı olarak yarı-iletken ve metalik özellik gösterirler. Hiçbir katı maddesi olmaksızın, nanotüpün, geometrik parametrelerinin değiştirilmesiyle, elektronik özellikleri de değiştirebilir. Tüplerin elektronik uygulamalarda, önemli bir yeri vardı. Çok esnek ve sağlamdırlar. Karbon nanotüpler tek ya da içiçe geçmiş, uçları açık ya da kapalı silindirik biçimde değişik çaplarda olabilmektedirler. Laboratuvar deneylerinde tek duvarlı küçük çaplı karbon nanotüplerin gerilme mukavemeti 45.000 Mpa olarak belirlenmiştir. En sağlam çelik alaşımları 2 Mpa da' da kopar. Üstelik karbon nanotüpler düğüm yapılabilecek kadar esnektir. Gelecekte karbon nanotüp demetleriyle yapılan karbon nanotüp lifler, üstün dayanımları ve esneklikleriyle süper malzemeler olacaklardır.

Bu liflerle dokunacak süper membranlar çok geniş yüzeylerin, hatta kentlerin üzerini örtebilir. Karbon nanotüp liflerin, beton ve yapı plastileri içerisinde güçlendirme malzemesi olarak kullanıldığı süper karma malzemelerle inanılmaz mimarlık ve mühendislik yapıları inşa edilebilir.

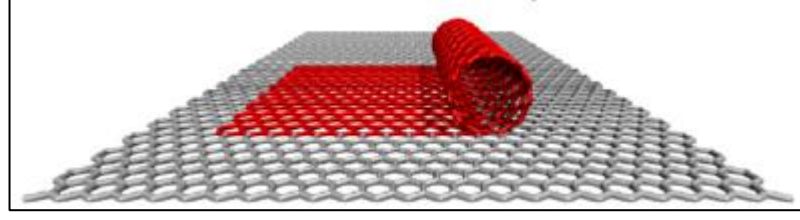
Bu noktaya kadar aşılması zor engellerde yok değil. Öncelikle karbon nanotüplerin maliyetinin zaltılması ve daha da önemlisi nanotüp yüzeylerinin fazla düzgün ve pürüzsüz olması nedeniyle matris malzeme içinden kayma probleminin giderilmesi gerekiyor. Karbon nanotoplarsa yapı malzemelerinin yüzeyinde nanometre kalınlıkta kaplama olarak kullanıma girmiştir. Bunlarla kaplanan yüzeylerde karbon nanotüplerin düzgün ve pürüzsüz yüzeyleri nedeniyle yabancı madde tutunamaz ve nanotöplerin olağanüstü sağlamlıkları nedeniyle kaplanan yüzey çizilmez. Günümüzde, malzeme niteliklerini iyileştiren başka kaplamalarda kullanıma sokulmuştur. Örneğin; ısı koruyucu PCC (Protective ceramic coating). NASA 'nın uzay araçlarını atmosfere girişlerinde sürtünmeden korumak üzere geliştirdiği zar kalınlığında bir ısı kalkanı olan bu kaplama, seramik, ahşap, çelik, plastik, cam elyafı gibi her türlü malzeme yüzeyine yangından koruyucu olarak sürülerek uygulanmaktadır. [10 – 11]

3.1 Karbon Nanotüplerin Tarihçesi

1984'te R.E. Smalley grafiti lazerle buharlaştırarak ilk kez karbon atomlarının top şeklinde olduğunu gördüler. 1985'te H.W. Kroto, R. E. Smalley ve arkadaşları bu karbon atomları izole ederek bu yapıların tümüyle bilinmesini sağlayacak ilk adımı attılar. Bu çalışmalarıyla 1996 yılında Nobel Ödülü kazandılar. 1991 yılında Sumio Iijima nanotüpleri ilk olarak keşfetmiştir. Daha da önemlisi , belirli koşullar altında bu tüpler kendilerini sıçrayan bir Bucky Ball'un iki yarısıyla birleşerek mühürlemektedir. Kısa süre sonra Iijima'nın laboratuvarlarında ark-buharlaşma koşulları değiştirilerek daha büyük miktarlarda nanotüplerin nasıl üretilceği gösterilmiştir. 1990'lara kadar durgun bir dönem geçiren nanoteknoloji, son yıllarda değişik modlarda atomik kuvvet mikroskobunun geliştirilmesi ile ivme kazanmıştır.

3.2 Karbon Nanotüplerin Türleri

Basit bir anlatımla, CNT'ler düz sayfalı grafitin yuvarlandırılmasıyla elde edilmektedir. Karbonun sp² ilişkili grafenin silindirik biçim alması için yuvarlandırılması ile nanotüplerin üretimi gerçekleşmektedir. 2 temel tip, karbon nanotüp tipi mevcuttur. Bunlardan ilki olan tek duvarlı karbon nanotüpleri, grafenin tek tabakalı olarak sarılması ile oluşturulmaktadır.



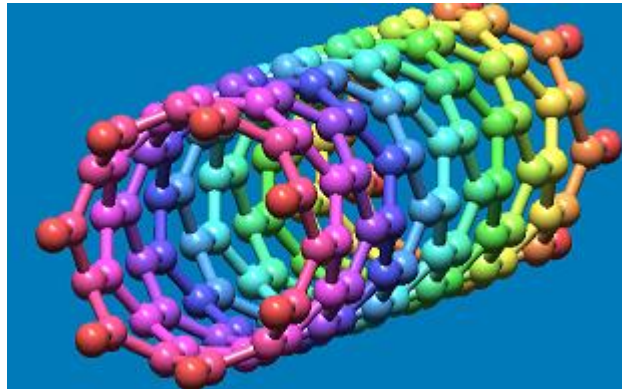
Şekil 3.3 : Grafenin silindirik biçimde sarılmasıyla nanotüp oluşumu

Diğeri ise çok duvarlı karbon nanotüpleri olup bunlarda aynı merkezli yani konsentrik ayrı ayrı bir kaç tabaka bulunmaktadır. Çok duvarlı karbon nanotüplerin her iki katmanı arasındaki mesafe yaklaşık 0.34 nm'dir.

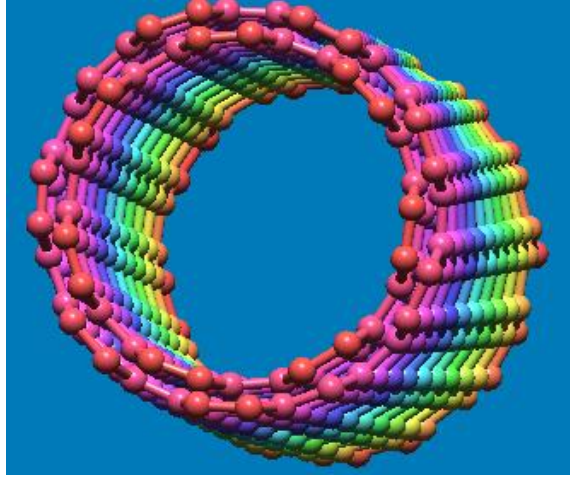
Nanotüplerin çap değerleri, türlerine ve sentezleme yöntemlerine göre oldukça değişken ebatlarda olabilir. Örneğin, SWNT için çap değerleri 0.4 nm'den başlayıp, 2 nm ebatlarına ulaşabilmektedir. MWNT için ise, 1.4 nm'den başlayıp, 100 nm'ye kadar ulaşabilmektedir. Uzunluk ve genişlik ebatlarına bakılacak olunursa; bu ebatların her iki tür içinde mikrometre boyutlarına ulaşabildiği görülmektedir.

MWNT'lerin SWNT'lere karşı avantajı kimyasallara karşı direncin fazla olmasıdır.

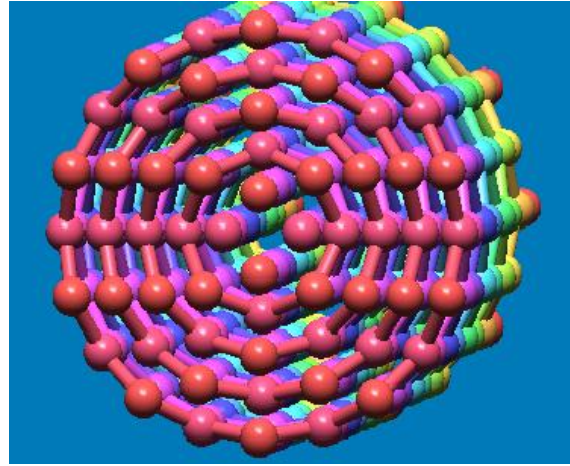
SWNT'lerde nanotüpteki karbon atomu reaksiyon sonucu kopsa, nanotüpte delik oluşur. Çünkü kopan atomun altında başka bir atom yok. DWNT'lerde ise yüzeyden karbon atomunun kopması delik oluşturmaz, alt katmandaki karbon o deliği kapatmış olur.[12]



Şekil 3.4 : Tek duvarlı karbon nanotüp



Şekil 3.5 : Çift duvarlı karbon nanotüp

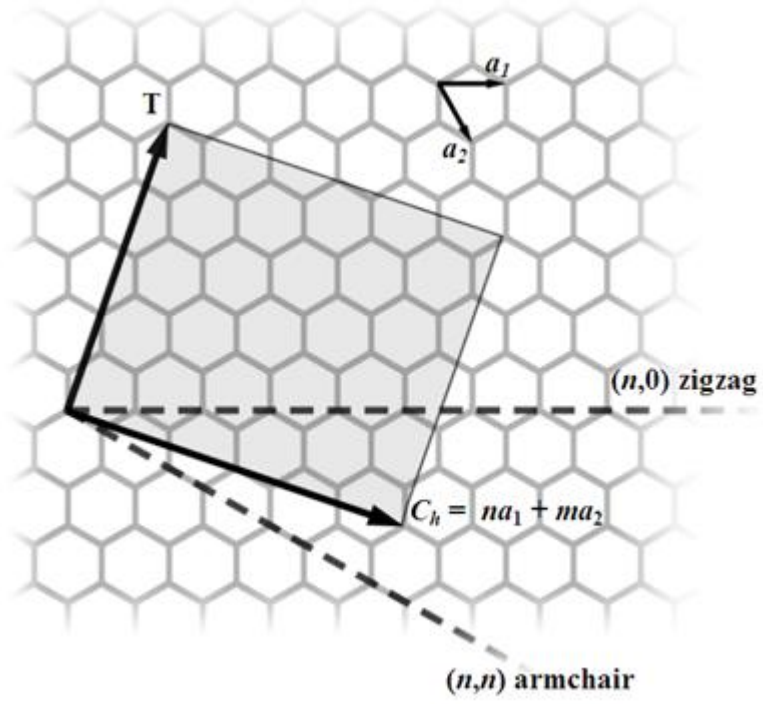


Şekil 3.6 : Çok duvarlı karbon nanotüp

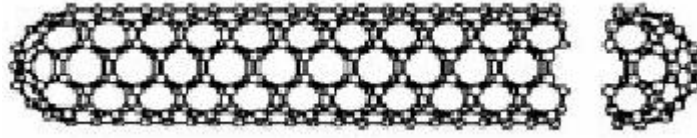
3.3 Karbon Nanotüplerin Yapısı

Yüksek çözünürlüklü mikroskopi tekniklerinin kullanımıyla karbon nanotüplerin yapısı keşfedilmiştir. Bu deneyler 'armchair', zigzag ve iki boyutlu grafit levhanın nasıl rulo yapıldığına bağlı olan 'chiral' olmak üzere üç tip nanotüp olduğunu onaylıyordu. Nanotüpün chiral vektörü, Ch , $Ch=na_1+ma_2$ olarak tanımlanır. a_1 ve a_2 iki boyutlu hegzagonal örgüde birim vektörleridir. n ve m tamsayılarıdır.

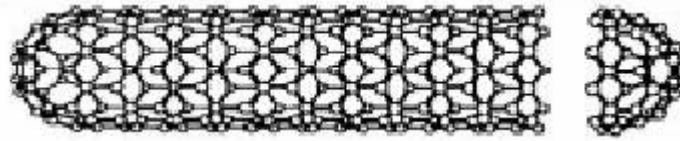
Bir başka önemli parametre ise chiral giriş açısıdır. Grafit levha nanotüpünün silindirik kısmını oluşturmak üzere yukarı yuvarlandığında chiral vektörünün uçları birbiriyle birleşir. Böylece chiral vektörü, nanotüpün dairesel kesitinin çevresini oluşturur. m ve n değişik farklı değerleri için nanotüp yapıları oluşturur. [12]



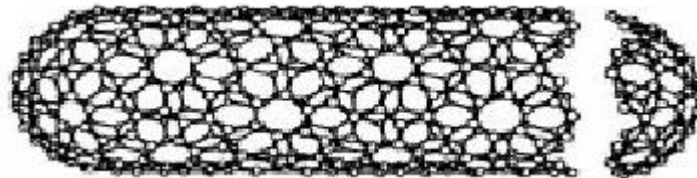
Şekil 3.7 : Karbon nanotüplerin yapısı



Şekil 3.8 : Chiral açısı 30 derece iken arm-chair nanotüplerin yapısı



Şekil 3.9 : Chiral açısı 0-30 derece arasında olduğu zaman Zig-zag nanotüplerin yapısı



Şekil 3.10 : Chiral açısı 0-30 derece arasında olduğu zaman chiral nanotüplerin yapısı

3.4 Karbon Nanotüpleri Elde Etme Yöntemleri

Karbon nanotüpleri elde etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlileri; lazer buharlaştırma yöntemi ve ark buharlaştırma yöntemidir.

3.4.1 Ark Buharlaştırma Yöntemi

Karbon nanotüpler ilk defa bu yöntemle üretildi. Fulleren oluşması beklenen 100 amperlik ark desarjı sistemindeki grafit elektrot kurumları incelendiğinde, karbon nanotüp yapılarına rastlandı. İlk keşfedilen yöntem olduğundan olsa gerek, çok uzun süre bu yöntem kullanıldı.

İlk makroskopik üretim ise, yine aynı yöntemle 'Fundamental Research Laboratory'de yapıldı.

Bu yöntemle, 50 mikron uzunluğuna kadar hem tek katmanlı hemde çok katmanlı karbon nanotüpler üretiliyor.

Nanotüp sentezi için difüzyon pompalı bir vakum hattına ve bir helyum kaynağına bağlı olan paslanmaz bir çelik vakum odası kullanılır. Bu yöntem, helyum ve argon atmosferinde iki elektrodun arasına elektrik akımı uygulamaya dayanır. Elektrotlar yüksek saflıkta iki grafit çubuktan oluşur. Anot 6 mm çapında ve uzun, katot ise çok daha kısa ve 9 mm çapındadır. Akım; çubukların çapına, aralarındaki uzaklığa ve gaz basıncına göre değişir, genellikle 50-100 Å kadardır. Elektrotlar arklama sırasında birbirinden ayrı tutulmalıdır. 5000 °C'de grafitler buharlaşır. Anottan buharlaşan karbonun bir kısmı, katotta silindirik olarak tekrar buharlaşır. Bu silindirik tortunun merkezinde nanotüpler ve nano parçacıklar vardır. Odadaki helyum basıncı arttıkça, nanotüp sayısında önemli bir artış olmaktadır. Kobalt-Nikel katalizörü nanotüplerin oluşumunda kullanılır.

Anotta grafit kullanıldığında karbon atomları arklanma sırasında oluşmakta ve katoda gitmekte; nanotüp ve fulleren isisi oluşturmaktadır. Naftalinin anoda eklendiği deneylerde, katot çökeltisi nanotüplerin ortalama boşluk alanı grafitle kıyaslandığında iki nanometreye kadar yükselebilmektedir. Grafit üzerinde yapılan çalışmalar, kömürde bulunan demir ve sülfür gibi elementlerin aynı görevi üstlenebileceğini göstermiştir. Bu elementler çok duvarlı nanotüplerdeki tabakaların sayılarını değiştirmektedir.[12]

3.4.2 Lazer Buharlaştırma Yöntemi

1200 °C’de argon akışında Co ve Ni tozlarının yarı yarıya karışımlarından oluşan grafit çubuklarının lazer depolaması işlemi sırasında elde edilen ürünler fullerenleri temizlemek için 1000 °C’de ısıtma işlemi izlerler. Hareketsiz lazer pulsusu, ikinci bir puls hedefi buharlaştırmak için izler. İki tane birbirini izleyen lazer pulsusu kullanmak, karbon kiri birikintisini azaltır. İkinci lazer pulsusu ilkinden gelen daha büyük parçacıkları durdurur ve onları büyüyen nanotüp yapısına ekler. Bu şekilde üretilen malzeme; çapı 10-20 nm’den 100 µm’ye varan hatta daha uzun olabilen ip demetleri halinde görülmektedir. Her ip SWNT yapıları oluşturmaya katkıda bulunur.

3.4.3 Mekanik Öğütme

Mekanik öğütme ve ardışık tavlama karbon nanotüp üretimi için basit yöntemler olduğundan endüstriyel üretimde de ucuz yöntemler olarak düşünülebilir. Karbon nanotüplerin ve bor nitritin tozlardan ısısal tavlama ile üretilmesi son zamanlara kadar bilinmemekteydi. Mekanik öğütme işlemi oda sıcaklığında 150 saate kadar sürmektedir. Öğütmeyi takiben, elde edilen toz, 1400 °C’de altı saatlik nitrojen veya argon gazı akışı altında tavllanır. Bu oluşumun mekanizması bilinmemekle birlikte mekanik öğütmenin nanotüp çekirdeğini oluşturduğu tavlama işleminin nanotüp büyümesini hızlandırdığı düşünülmektedir. Tek duvarlı nanotüpler bu yöntemle hazırlanamadığı halde çok duvarlı nanotüplerin bu yöntemle oluşturulduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır.

3.4.4 Diğer Yöntemler

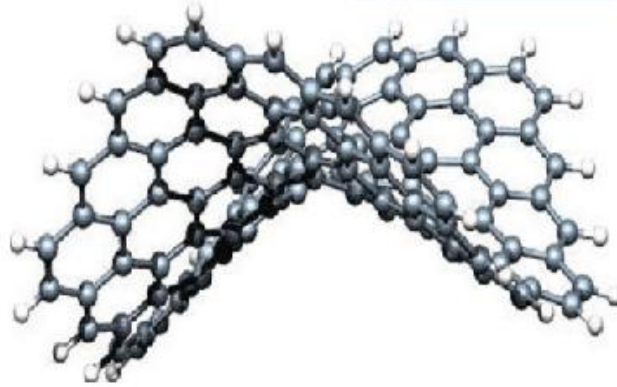
Karbon nanotüpler alev sentezi, elektroliz, güneş enerjisi ve polimerin saf işlemi gibi yöntemlerle de üretilmektedir. Alev sentezi yöntemi, dört çelik bilye olan çelik pota ve içinde grafit tozuna (%99.8 saflıkta) dayanır. Potanın havası alınarak içine 300 kPa’lık Ar gazı doldurularak işlem yapılır.

Ticari kullanımda nanotüpler yapmak için onları kullanışlı parçalar şeklinde birleştirmek gerekir. Ajayan ve arkadaşları, polimer ağı şeklindeki nanotüp bileşimlerini kesme yoluyla düzenli karbon nanotüpler oluşturulmasını kapsayan basit bir yöntem geliştirmişlerdir.

3.5 Karbon Nanotüplerin Mekanik Özellikleri

Nanotüpleri bükebilirsiniz, halka haline getirebilirsiniz. Bükülme ile elastik modül artar. Elmas kadar yüksek elastik modüllü ve çelikten 1000 kat daha tok malzeme ortaya çıkar. En yüksek elastik modül 1.0 ile 1.4 Tpa arasındadır. Sıkıştırıldıkları zaman, tekrar eski haline dönerler. Aşırı sıkıştırılmada bükülme kalıcı olur. Gerilme direnci açısından en sert malzemelerdir. Sebebi ise karbon atomları arasındaki sp² bağıdır. Aşırı çekilmede ise plastik bozulma görülür.esneyebilme özelliği çok yüksektir.

Eğme ve şekil verme mümkündür. Elmas kadar yüksek mukavemetlidirler. Maksimum çekme mukavemeti 30 Gpa' ya yakındır. Çelikle karşılaştırıldığında 100 kat yüksektir. Yoğunluk çeliğin 1/6' sı kadardır. 3000 dereceye kadar kararlıdır.



Şekil 3.11 : Esnetilmiş bir graphen

3.6 Kimyasal ve fiziksel özellikler

Bağ tipi polar olmadığı için nanotüpler suda çözünemezler. Genellikle kimyasal müdahaleler olmadığı sürece bir çözücüde çözünemezler. SWNT' ler toluen, dimetil formamit ve tetrahidrofuran gibi organik çözücüler ile kararlı çözeltiler oluşturulabilir. Vakumda 1500 dereceye, açık havada 750 dereceye kadar kararlı halde durabilirler. Yüzey alanı- hacim oranı yüksektir.

Çizelge 3.1 : Karbon nanotüplerin elastiklik modülü, çekme mukavemeti, yoğunluk değerleri ve diğer malzemelerle karşılaştırmaları

Malzeme	Young Modülü (GPa)	Çekme gerilmesi (GPa)	Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)
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

3.7 Elektronik özellikler

Bir tek grafit levhası yarı metaldir. Bunun anlamı sahip olduğu özellikleri yarıiletken ile metal arasında orta düzeyde olmasıdır (Şekil-15). 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. Nanotüpün daire çevresinde periyodik sınır şartları ortaya çıkmaktadır. Örneğin; eğer bir nanotüp daire çevresinde 10 hegzagon bulunduruyorsa, 11. hegzagonal 1. ile çakışmaktadır. Silindir etrafında $2n$ 'lik faz farkı ile karşılaşılır.

Kuantum sınırlarından dolayı elektronlar sadece nanotüp eksenini boyunca etkili olmaktadır, böylece dalga vektörleri de bu doğrultuda işaretlenir. Bu basit düşünce tek boyutlu bandın dağılım bağıntısını hesaplamakta kullanılır. Bu da çok iyi bilinen grafit levhası üzerinden, dalga vektörünü enerjiye bağlar.

Noriaki Hamada ve meslektaşları daha sonra NEC Laboratuvarı'nda küçük çaplı nanotüpler için dağılım bağıntısını hesaplamışlardır. Bu da gösteriyor ki; küçük çaplı nanotüplerin 1/3'ü metalik, geri kalanı ise çaplarına ve giriş açlarına bağlı olarak yarı iletkenlidir. Genel olarak (n,m) bir karbon nanotüp $n-m=3q$ (q tam sayı) olmak şartıyla metaliktir. Bütün armchair nanotüpler metaliktir, zigzag nanotüplerin 1/3'ü de metaliktir. Bu alanda Dr. Alex Zettle ve onun araştırma grubu gösterdiler ki birbirine küçük farklarla benzemeyen iki nanotüp molekülü uç uca birleşirse, birleşme noktası diyod adı verilen bir elektrik devresi gibi işlev görür.

Bir başka heyecan verici araştırma da transistörlerle ilgilidir. Transistörler tamamlanmış devrelerin temel yapı bloklarıdır. Gelecekte nanotüplerin devrelerde kullanılmasıyla, bunlarla transistörlerin yapılıyor olması kaçınılmaz olacaktır. Bağımsız çok-katmanlı ve tek-katmanlı nanotüpler kullanılarak başarıyla üretilmiş ve test edilmiş nanotüp transistörleri, Alan Etkili Transistör Kanalları (AET) gibidir. AET oda ısısından 4 K'e soğuttuğumuzda, devrenin davranışlarındaki değişimi görülebilir. Devre oda ısısında alan etkili transistör gibi hareket ederken, 4 K'de davranışları Tek Elektronlu Transistör (SET) gibidir.

Elektriksel özellikler nanotüpün çapına ve girişine son derece bağlıdır. Bundan dolayı yapılar üstünde yapılan deneyler güçlükle gerçekleştirilmiştir. yapılar üstünde elektronik ve optik nano ölçekte ölçümler yapmanın zorluklarının yanısıra, nanotüpün simetrisi ile ilgili bilgilerin tahminini yapmakta oldukça önemlidir. Bu zorluklara rağmen, nanotüplerin elektriksel özellikleri hakkında temel teorik tahminler doğrulanmıştır. Yüksek kaliteli tek katmanlı nanotüplerin yeterli miktarlarda elde edilebilmesinden önce deneyle çok katmanlı nanotüpler üzerine odaklanılmıştı. Bunun yanısıra başlarda bağımsız çok katmanlı nanotüpler üzerinde yapıların ölçümlerde, tek boyutlu kuantum etkisi ölçülemedi. Çünkü nanotüpün çapı çok geniş kalmış ya da çalışmalar yeterli düşük sıcaklıklarda yapılmamıştı. Fakat çok katmanlı nanotüplerden alınan sonuçlar, farklı çap ve girişlerde yoğunlaşmış nanotüplerden alınan eş zamanlı bilgilerle tamamlanmaktadır. Nanotüpdeki kusurlar elektron seyrekliğine yol açabilir ve nanotübün tüm öğelerinde elektrik iletimi güvenli olmayabilir. General Motors Araştırma laboratuvarlarından Charles Olk ve Joseph Heremans taramalı tünelleme mikroskopuyla (STM) bağımsız çok katmanlı nanotüplerin özelliklerini ölçmesiyle, çok önemli bir aşama kaydedildi.

Bu sonuçlar ilk defa nanotüplerin metalik, bazılarının yarı iletken olduğunu gösterdi. Ayrıca yarı iletken nanotüplerin band aralığının teorik sonuçlarla uyumlu olarak $1/dt$ ile orantılı olduğu gösterildi. [13 – 14]

3.8 Optik Özellikler

Karbon nanotüplerin en ilginç tek-boyutlu kuantum etkilerinden bazıları, elastik olmayan ışık saçılmaları içinde bir malzemede kafes titreşimleri ya da fononları arayan Raman spectrada görülür. Nanotüpler içindeki fononların tek boyutlu ışın ilişkilerini ilk olarak alan sarma metodunu kullanarak Los Angeles California State Üniversitesi'ndeki Radi Jishi ve sonra Ab-initio model tekniğini kullanan Kentucky Üniversitesi'ndeki Ernest Richter ve meslektaşları tarafından hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, nanotüp birim hücresi içinde büyük nanotüp miktarlarından kaynaklanan çok farklı titreşim yolları olduğunu göstermiştir.[15]

Genel olarak nanotüp çapı birim hücrenin boyutu arttıkça daha çok fonon yolu belirir. Bu yollardan yalnız birkaçı Raman dağılımı tarafından uyarılabilmektedir. Bu Raman aktif yolları sayısı her yolun frekans ve titreşim gücünün nanotüp çapına nasıl bağlı olduğunu incelemeyi mümkün kılan nanotüp çapından bağımsızdır. Bazı yolların, diğerlerinden farklı olarak nanotüp çapına yüksek derecede hassas olduğu bulunmuştur.[16]

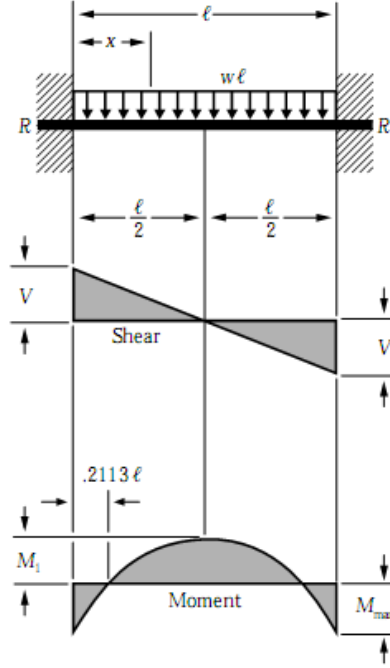
Elektron durumlarının enerjileri nanotüp çapına bağlı olduğundan, lazer frekansında bir değişiklik farklı çapta bir karbon nanotüpü rezonansa getirir.

Raman spectra içinde kuantum etkilerini araştırmak tek duvarlı karbon nanotüplerin tek boyutlu elektronik ve fonon yapıya sahip olduğu fikrine güçlü bir bağlılık gerektirir. Delft'teki Jeroen Wildöer ve meslektaşlarının en son STM gözlemleriyle birlikte bu deneyler durumların elektronik yoğunluğunun tek boyutlu sistemin tipik tekilliğine sahip olduğunun en net onayını sağlamıştır.

Çizelge 3.2 : Karbon nanotüplerin karşılaştırmalı özellikleri

Özellik	Tek katmanlı karbon nanotüp	Diğer özellikte malzemeler
Ebadı	0.6-1.8 nm çapında	Elektron demeti ile 50nm x 5nm ebadında çizgiler oluşturulabilir.
Yoğunluk	1.33-1.4 g/cm ³	Alüminyum:2.7g/cm ³
Esneklik Gerilme mukavemeti	45GPa	En sağlam çelik alaşımları 2GPa da kopar
Esneklik	Düğüm yapılabilecek kadar esnek	Metaller ve karbon fiberler kırılır
Akım taşıma kapasitesi	1 Gigaamper/cm ²	Bu teller 1MA/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 6000W/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 Dolar/gram	Altın:10 dolar /gram

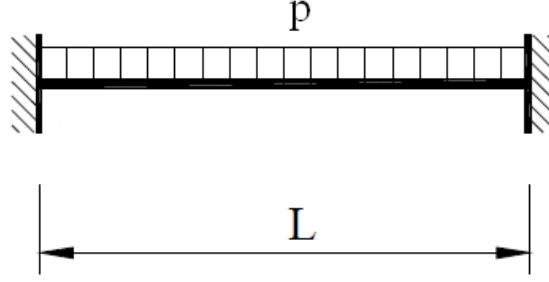
4.ÇİFT DUVARLI KARBON NANOTÜPLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ



Şekil 4.1 : Çift tarafı ankastre düzgün yayılı yük altındaki kirişin kesit tesirleri

Uzunluğu L olan düzgün yayılı P yükü altındaki iki taraftan ankastre mesnede oturan çift duvarlı karbon nanotüp bir kirişin şekli yukarıda verilmiştir. Bu düzgün yayılı yük altındaki tek duvarlı ve çift duvarlı kirişe ait çökme eğrilerini tanımlayan diferansiyel denklemler ve bu denklemlerdeki ifadelerin ne anlama geldiği aşağıdaki kısımlarda ayrıntılı olarak incelenmiştir. Düzgün yayılı p yükü ve van der waals kuvveti etkisindeki tek ve çift duvarlı karbon nanotüp kirişler bu yükler altında deformasyona uğrarlar. Uygulanan p yükünün büyüklüğüne, iç ve dış karbon nanotüp kirişlerin çaplarına, elastisite modüllerine, kesit özelliklerine bağlı olan atalet momentlerine ve sınır koşullarına bağlı olarak bu kirişlere ait çökme grafikleri, bu çökmelere ait dönme grafikleri, moment grafikleri ve kesme kuvveti grafikleri kiriş uzunluğu boyunca elde edilebilir.

4.1 Tek duvarlı karbon nanotüplerin incelenmesi



Şekil 4.2 : Çift tarafı ankastre düzgün yayılı yük altındaki tek duvarlı karbon nanotüp kiriş



Şekil 4.3 : Tek duvarlı karbon nanotüp kiriş enkesiti

Düzgün yayılı p yükü altındaki tek duvarlı karbon nanotüp bir kiriş yük etkisi altında çökme deformasyonu yapar. Burada d karbon nanotüp kirişin çapını, R eğilme rijitliğini, E karbon nanotüp kirişin elastisite modülünü, I karbon nanotüp kirişin boyutlarına bağlı olan atalet momentini göstermektedir. Yükleme sonucu kirişin z eksenini boyunca oluşan çökme eğrisini veren ifade ise Denklem (4.1)' den Denklem(4.3)'e kadar olan denklemler ve Denklem (4.4)' deki sınır koşulları kullanılarak Mathematica programı yardımıyla Denklem (4.5)'deki çökme fonksiyonu elde edilmiştir.

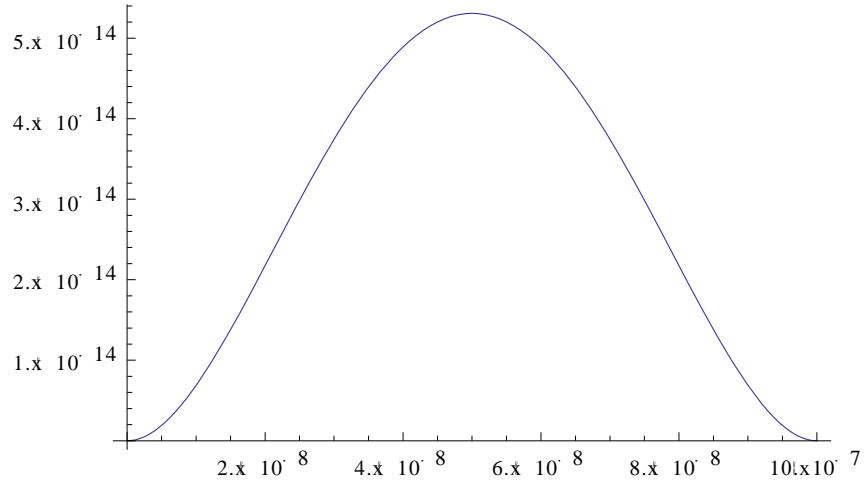
$$\frac{d^4V}{dz^4} = \frac{-p}{R} \quad (4.1)$$

$$R = EI \quad (4.2)$$

$$I = \pi \frac{d^4}{64} \quad (4.3)$$

$$V(0)=0 \quad V'(0)=0 \quad V(L)=0 \quad V'(L)=0 \quad (4.4)$$

$$V(z) = \frac{p(L-z)^2 z^2}{24R_1} \quad (4.5)$$

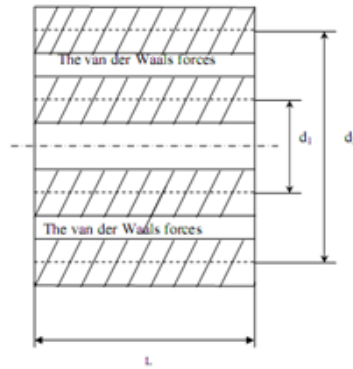


Şekil 4.4 : Tek duvarlı karbon nanotüp bir kirişin V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi

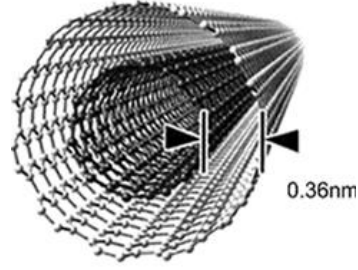
4.2 Çift duvarlı karbon nanotüplerin incelenmesi

Düzensün yayılı p yükü ve van der Waals kuvveti altındaki çift duvarlı karbon nanotüp bir kirişin şekli aşağıda Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu kiriş, iç çapı d_2 , dış çapı d_1 olan iç içe geçmiş iki tüpten oluşmaktadır. Düzensün yayılı p yükü ve bu tüpler arasında oluşan Van der Waals kuvveti nedeniyle çökme oluşur. Bu kirişte R_1 dıştaki tüpün eğilme rijitliğini, R_2 de içteki tüpün eğilme rijitliğini belirtmektedir. E içteki ve dıştaki tüplerin elastisite modülünü, I_1 dıştaki tüpün atalet momentini, I_2 içteki tüpün atalet momentini göstermektedir. Mesnet koşullarına bağlı oluşan sınır koşulları ise şu şekildedir.

$$V_1(0)=0 \quad V_1'(0)=0 \quad V_1(L)=0 \quad V_1'(L)=0 \quad V_2(0)=0 \quad V_2'(0)=0 \quad V_2(L)=0 \quad V_2'(L)=0 \quad (4.6)$$



Şekil 4.5 :Çift duvarlı karbon nanotüp kiriş geometrisi



Şekil 4.6 : Çift duvarlı karbon nanotüp giriş enkesiti

İki tarafı ankastre düzgün yayılı p yükü ve van der waals kuvvetleri etkisindeki çift duvarlı karbon nanotüp giriş Denklem (4.6)'daki sınır koşulları, Denklem (4.7)'den Denklem (4.13) kadar olan denklemler kullanılarak Mathematica programı yardımıyla Denklem (4.14) ve Denklem (4.15)'deki çökme fonksiyonları elde edilmiştir.

$$\frac{d^4V}{dz^4} = \frac{-p+q}{R_1} \quad (4.7)$$

$$\frac{d^4V}{dz^4} = \frac{-q}{R_2} \quad (4.8)$$

$$R_1 = EI_1 \quad (4.9)$$

$$R_2 = EI_2 \quad (4.10)$$

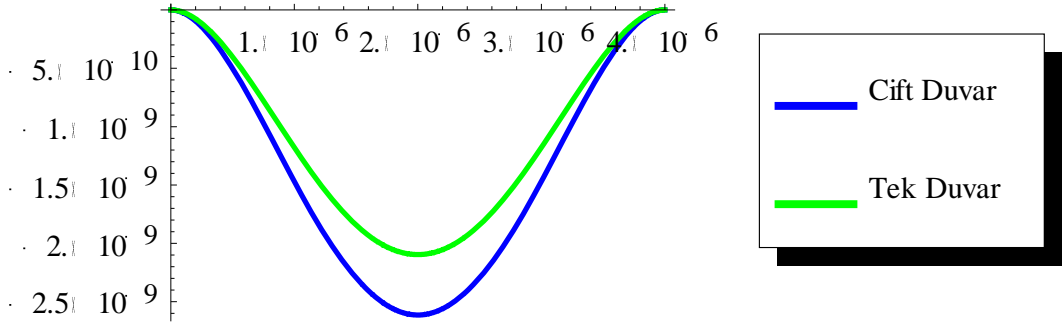
$$q = cx[V_2(z) - V_1(z)] \quad (4.11)$$

$$c = Cxd \quad (4.12)$$

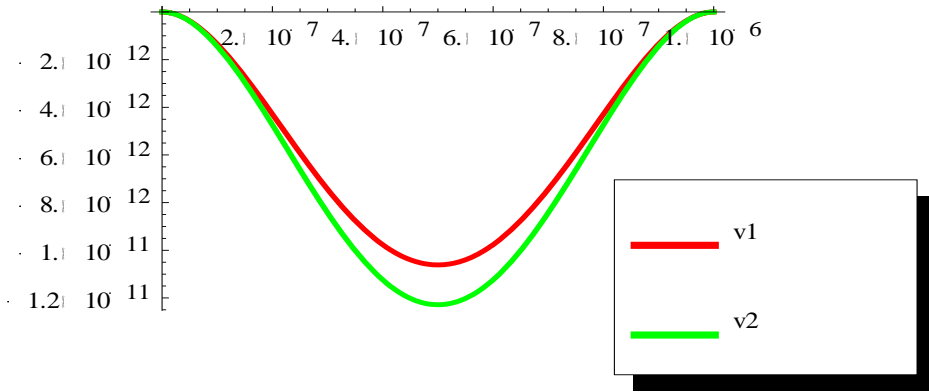
$$d = \frac{D_1+D_2}{2} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned}
V_1(z) = & \left(\left(\frac{1}{24} + \frac{i}{24} \right) p \left(\text{Cosh} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \left(-24 R_2^2 - c R_1 (L-z)^2 z^2 \right. \right. \right. \\
& + c R_2 (L-z)^2 z^2 + 24 R_2^2 \text{Cosh} \left[\left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} z \right] \left. \left. \left. \text{Sin} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right. \right. \right. \\
& + \text{Sinh} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \left((-24 R_2^2 - c R_1 (L-z)^2 z^2 + c R_2 (L-z)^2 z^2) \text{Cos} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right. \right. \\
& + 24 R_2^2 \text{Cos} \left[\frac{1}{2} \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} (L-2z) \right] \\
& \left. \left. \left. - 24 R_2^2 \text{Sin} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \text{Sinh} \left[\left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} z \right] \right) \right) \right) / \\
& \left(c (R_1 - R_2)^2 \left(\text{Sin} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right. \right. \\
& \left. \left. + \text{Sinh} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right) \right) \tag{4.14}
\end{aligned}$$

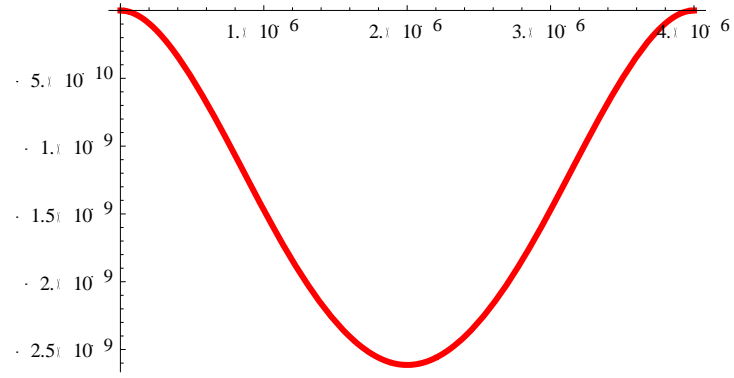
$$\begin{aligned}
V_2(z) = & \left(\left(\frac{1}{24} + \frac{i}{24} \right) p \left(\text{Cosh} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \left(c R_2 (L-z)^2 z^2 - R_1 (24 R_2 + c (L-z)^2 z^2) \right. \right. \right. \\
& + 24 R_1 R_2 \text{Cosh} \left[\left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} z \right] \left. \left. \left. \text{Sin} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right. \right. \right. \\
& + \text{Sinh} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \left((c R_2 (L-z)^2 z^2 - R_1 (24 R_2 + c (L-z)^2 z^2)) \text{Cos} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right. \right. \\
& + 24 R_1 R_2 \text{Cos} \left[\frac{1}{2} \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} (L-2z) \right] \\
& \left. \left. \left. - 24 R_1 R_2 \text{Sin} \left[\frac{1}{2} L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \text{Sinh} \left[\left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} z \right] \right) \right) \right) / \\
& \left(c (R_1 - R_2)^2 \left(\text{Sin} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right. \right. \\
& \left. \left. + \text{Sinh} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{i}{2} \right) L \left(c \left(-\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right)^{1/4} \right] \right) \right) \tag{4.15}
\end{aligned}$$



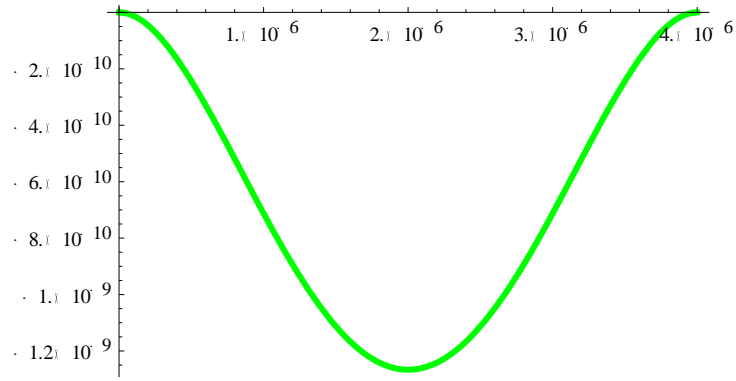
Şekil 4.7 : $d_1=30 \times 10^{-8}$ değeri için tek duvarlı ve çift duvarlı karbon nanotüplerde V_1 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca karşılaştırılması



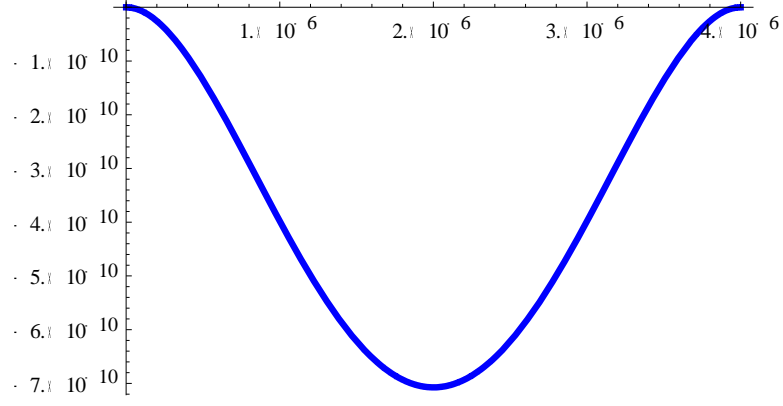
Şekil 4.8 : $L = 40 \times 10^{-7}$ değeri için V_1 ve V_2 çökmelerinin karşılaştırılması



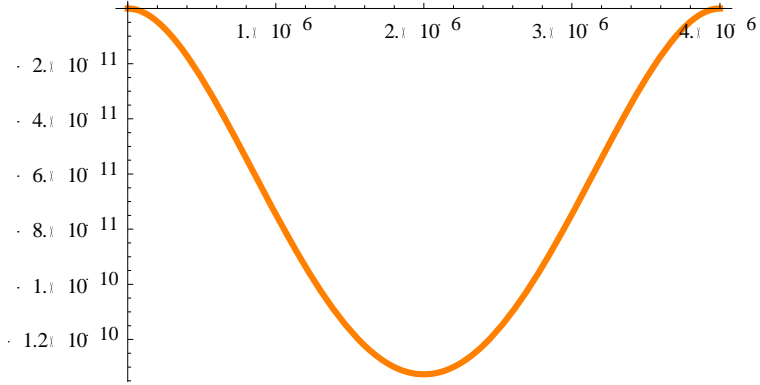
Şekil 4.9 : $d_1=30x10^{-8}$ $d_2 = 20x10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



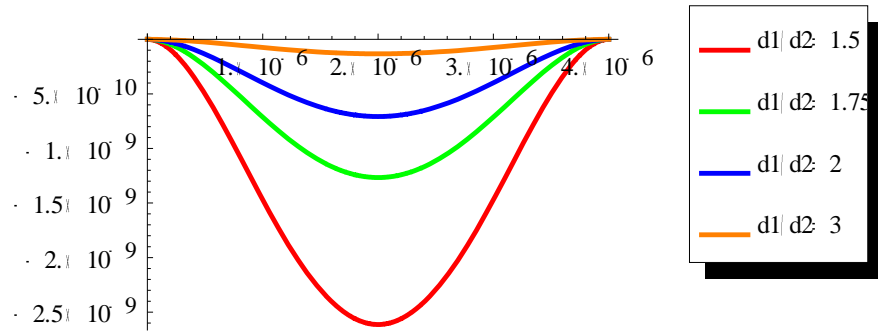
Şekil 4.10: $d_1 = 35x10^{-8}$ $d_2 = 20x10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



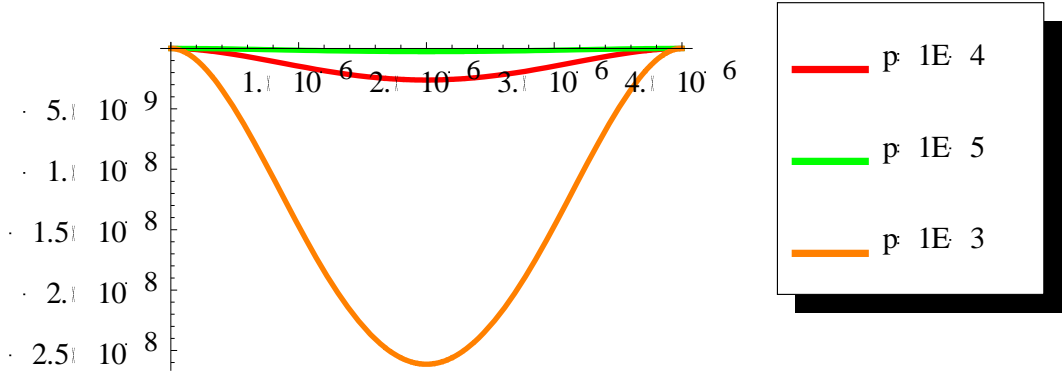
Şekil 4.11 : $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 20 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



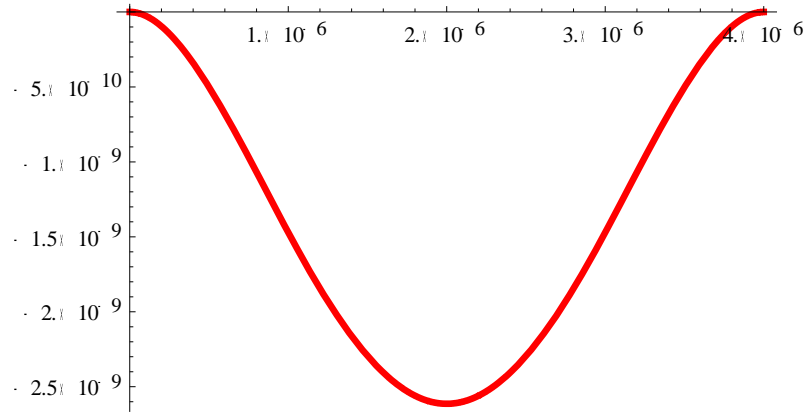
Şekil 4.12: $d_1 = 60 \times 10^{-8}$ $d_2 = 20 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



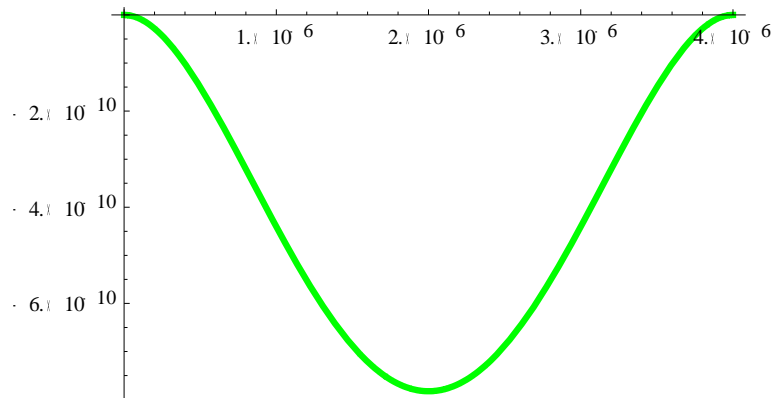
Şekil 4.13: $\frac{d_1}{d_2}$ oranına göre V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



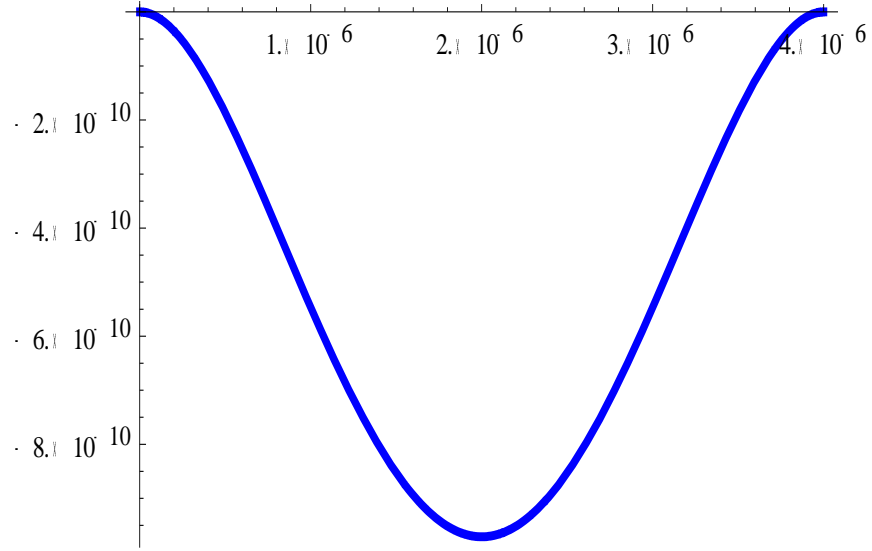
Şekil 4.14: Farklı p yükleri için V_1 çökmesinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



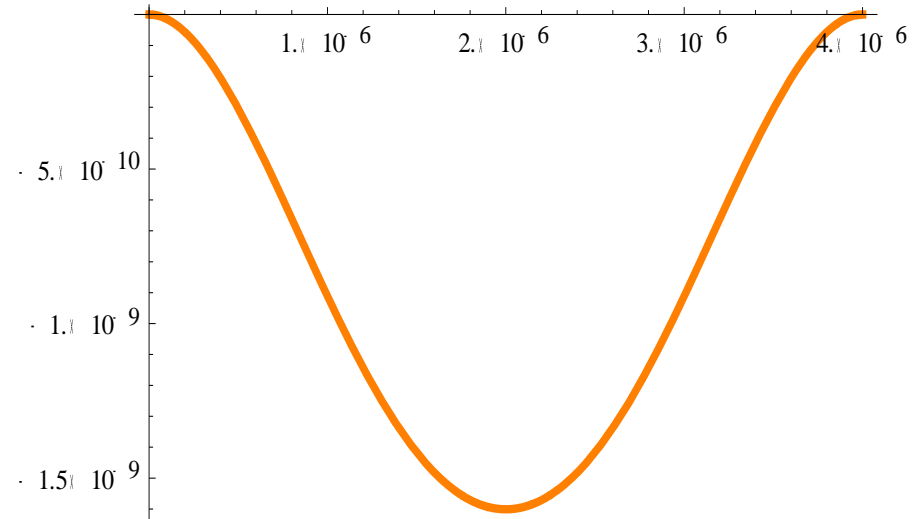
Şekil 4.15: $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 18 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



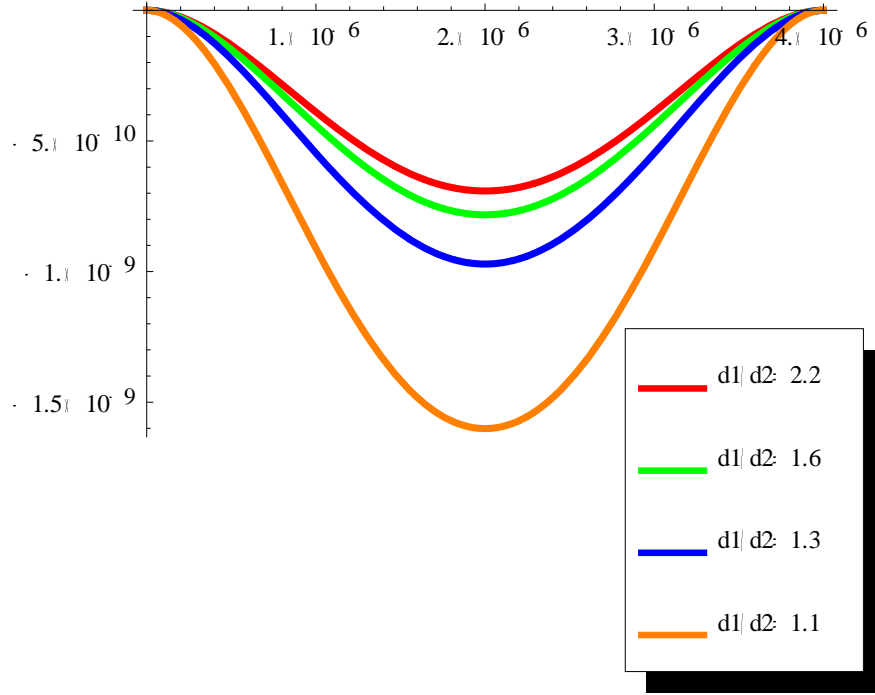
Şekil 4.16: $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 25 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



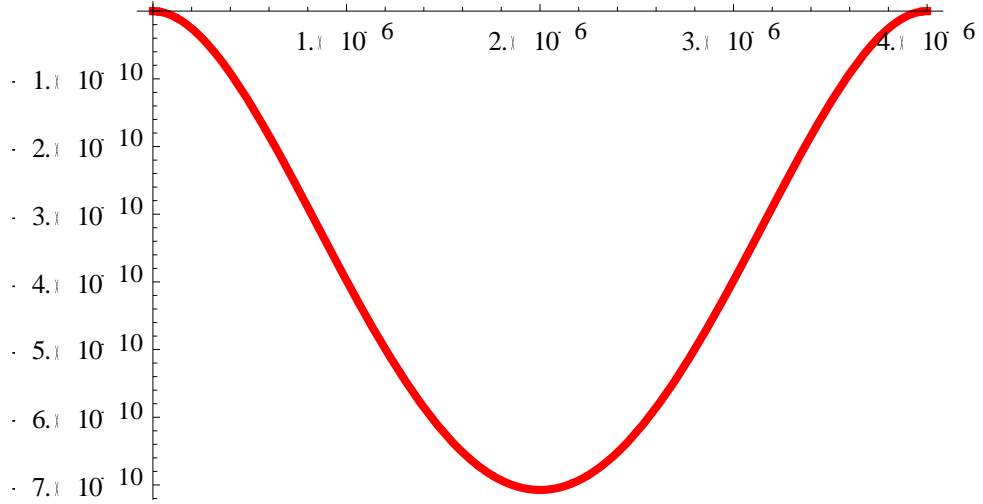
Şekil 4.17: $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 30 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



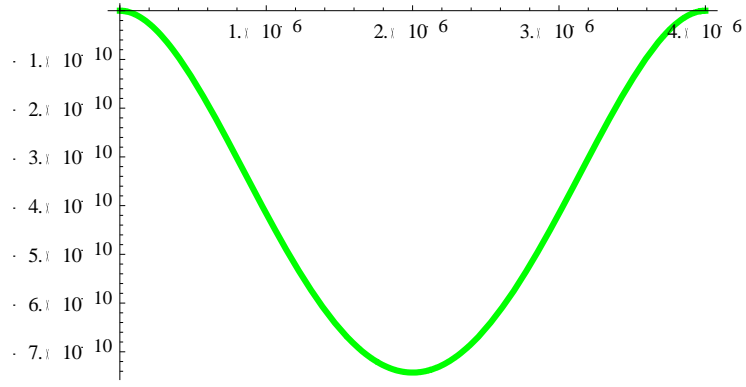
Şekil 4.18: $d_1 = 40 \times 10^{-8}$ $d_2 = 35 \times 10^{-8}$ değerleri için V_1 çökme eğrisinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



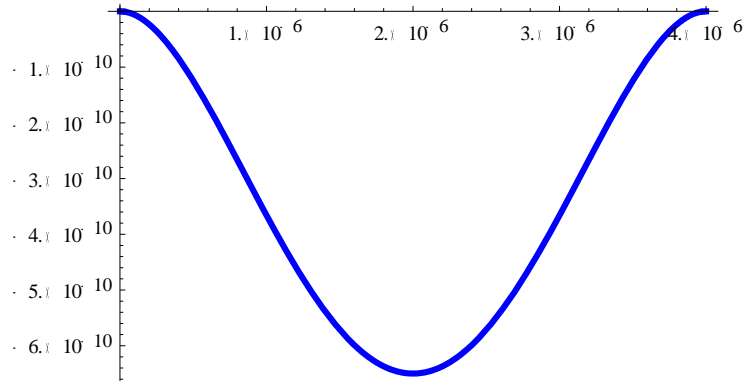
Şekil 4.19: $\frac{d_1}{d_2}$ oranına göre V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



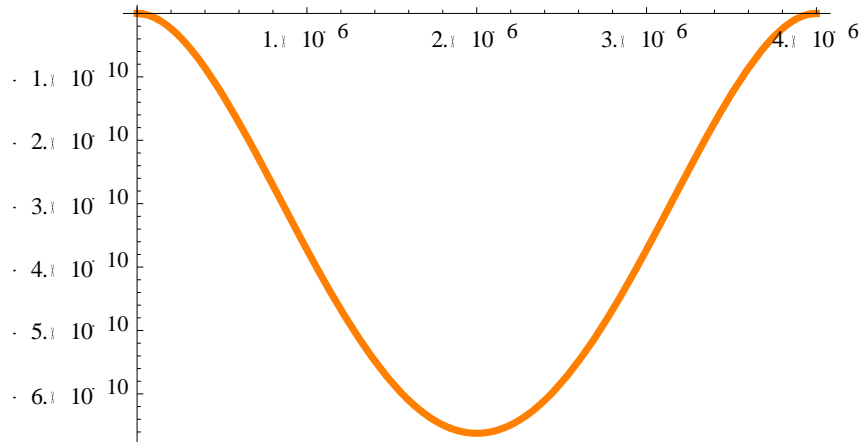
Şekil 4.20: $C = 1 \times 10^{14}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



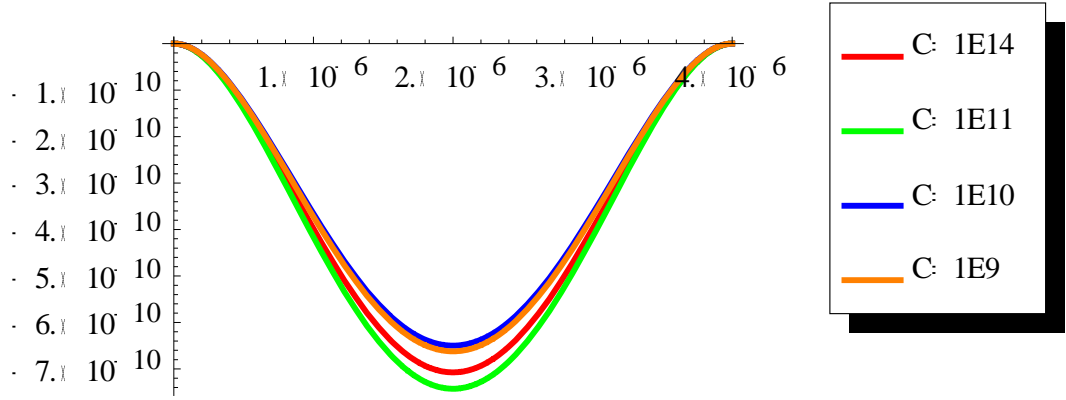
Şekil 4.21: $C = 1 \times 10^{11}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



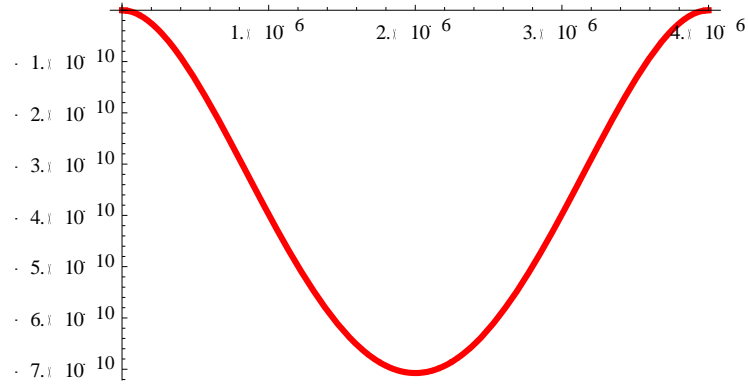
Şekil 4.22: $C = 1 \times 10^{10}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



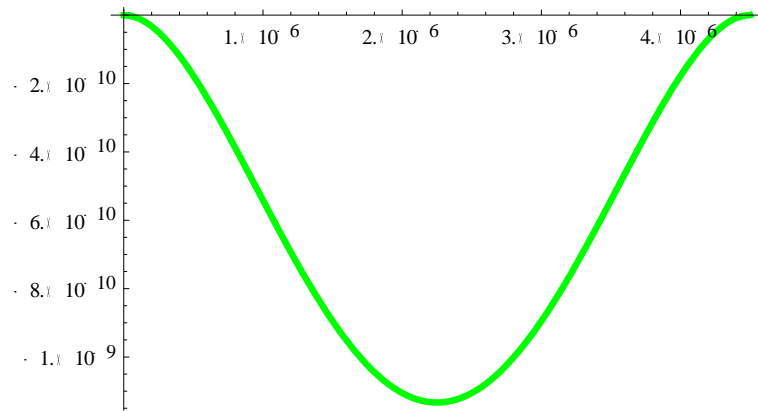
Şekil 4.23: $C = 1 \times 10^9$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin giriş uzunluğu boyunca değişimi



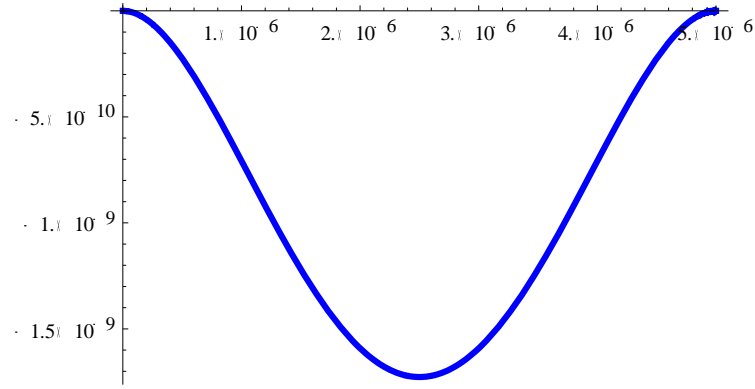
Şekil 4.24: Tüm C değerleri için oluşan çökme eğrilerinin aynı grafikte toplanması



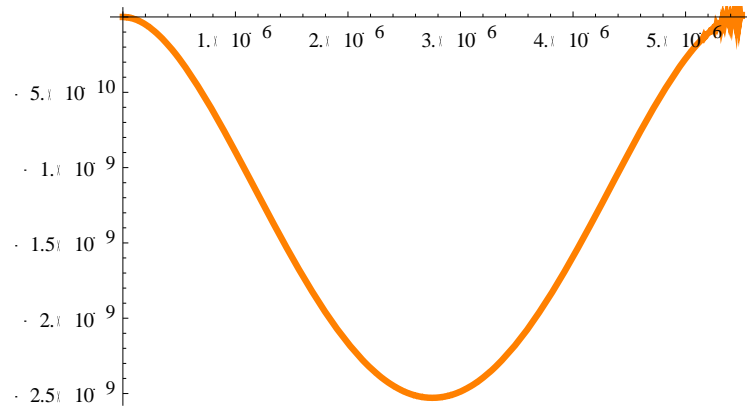
Şekil 4.25: $L = 40 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



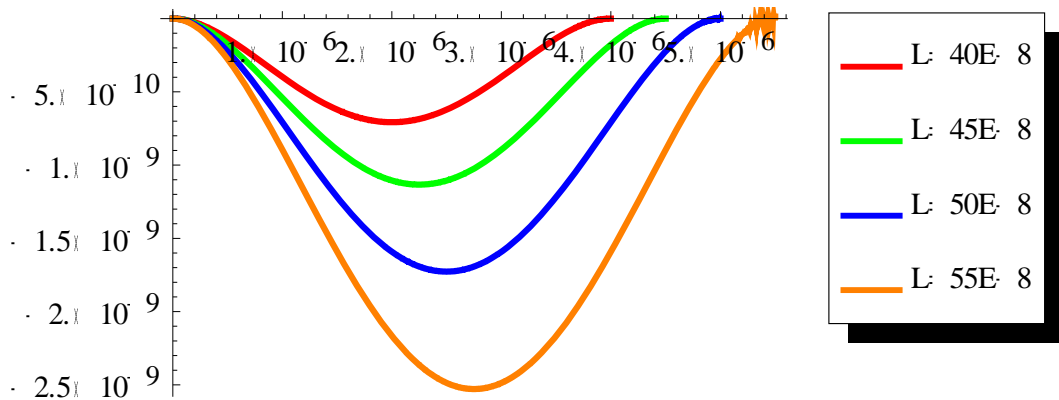
Şekil 4.26: $L = 45 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



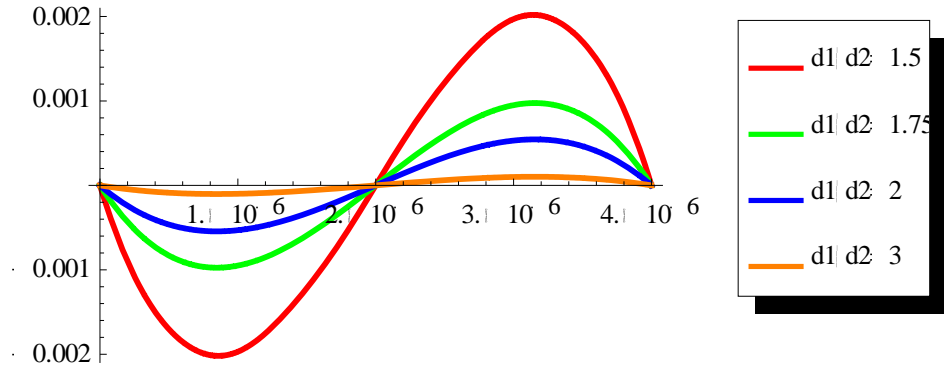
Şekil 4.27: $L = 50 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



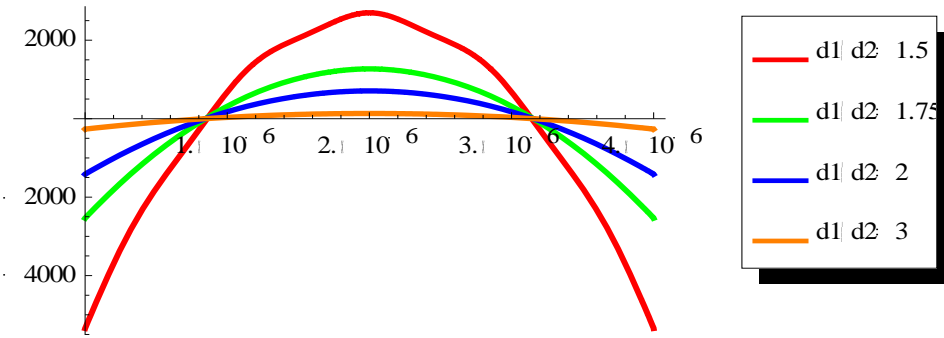
Şekil 4.28: $L = 55 \times 10^{-8}$ değeri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin kiriş uzunluğu boyunca değişimi



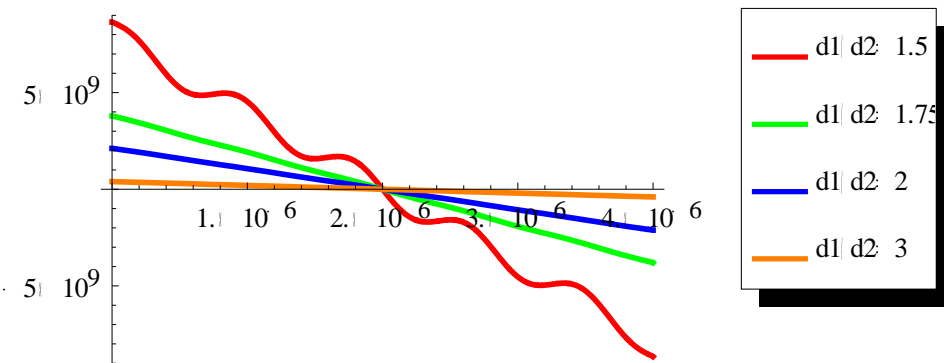
Şekil 4.29: Tüm L değerleri için V_1 ve V_2 çökme eğrilerinin aynı grafikte gösterilmesi



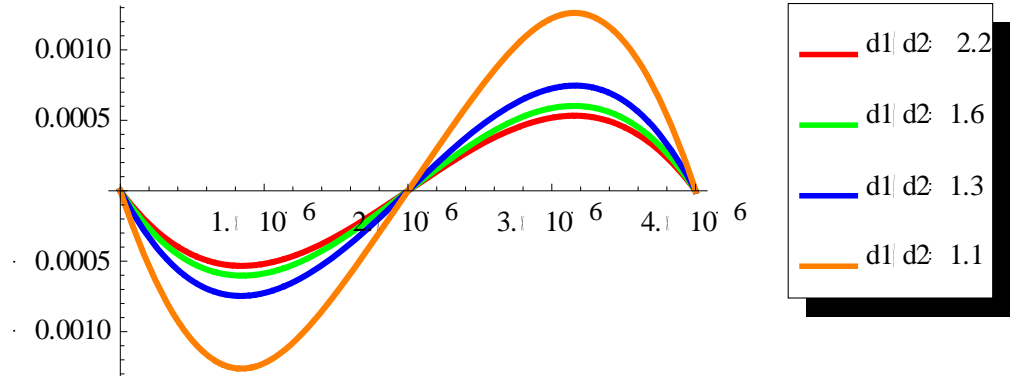
Şekil 4.30: d_1 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi



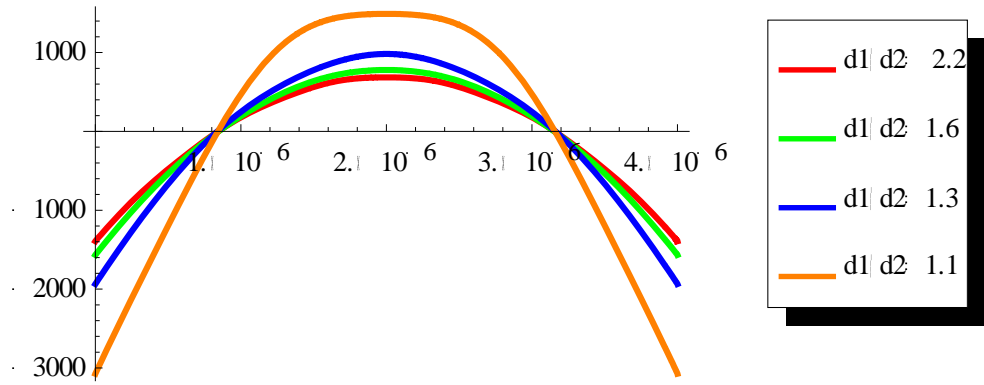
Şekil 4.31: d_1 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi



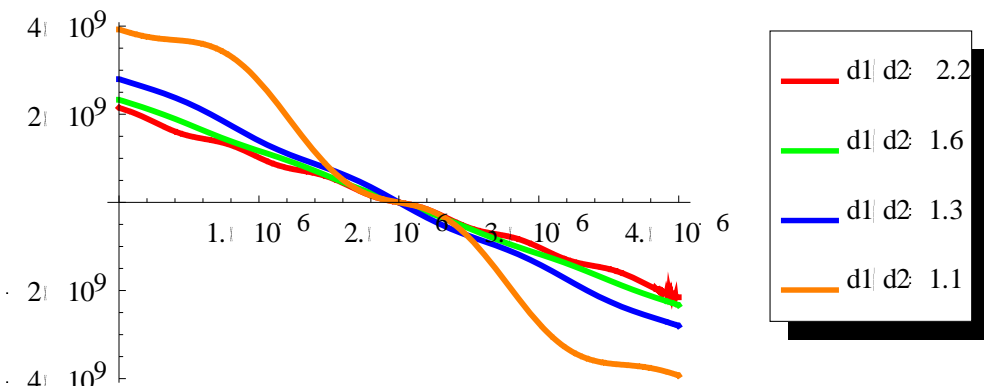
Şekil 4.32: d_1 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi



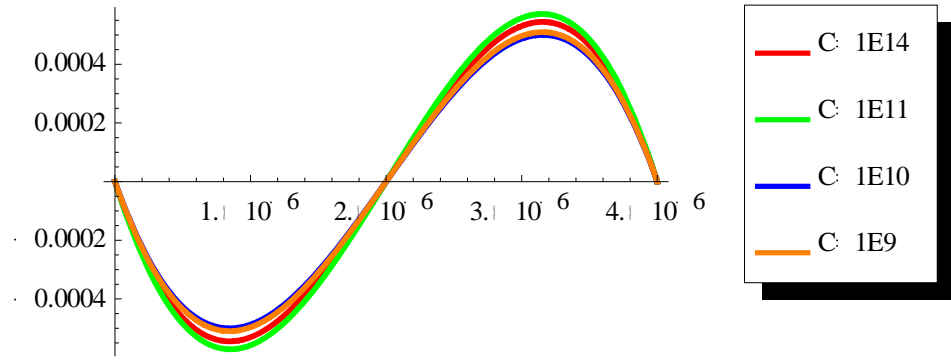
Şekil 4.33: d_2 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi



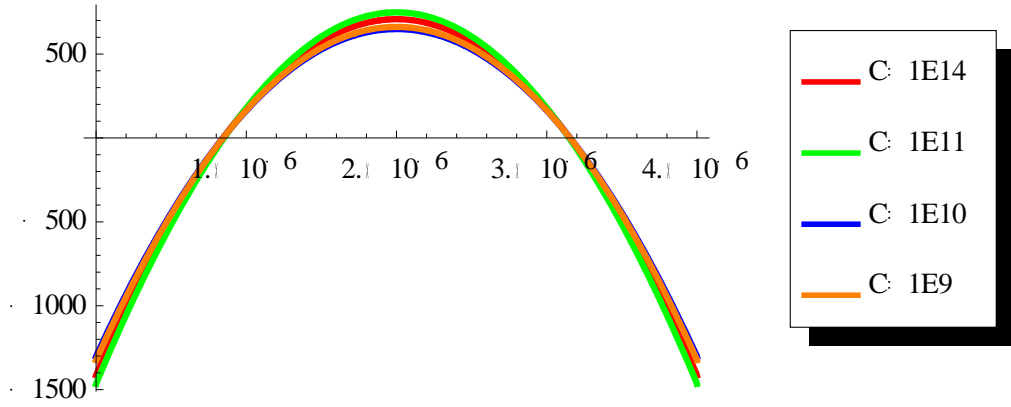
Şekil 4.34: d_2 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi



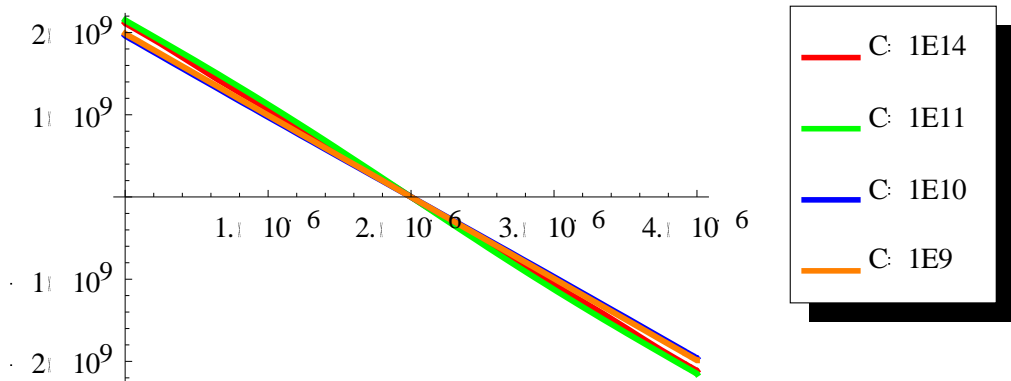
Şekil 4.35: d_2 değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi



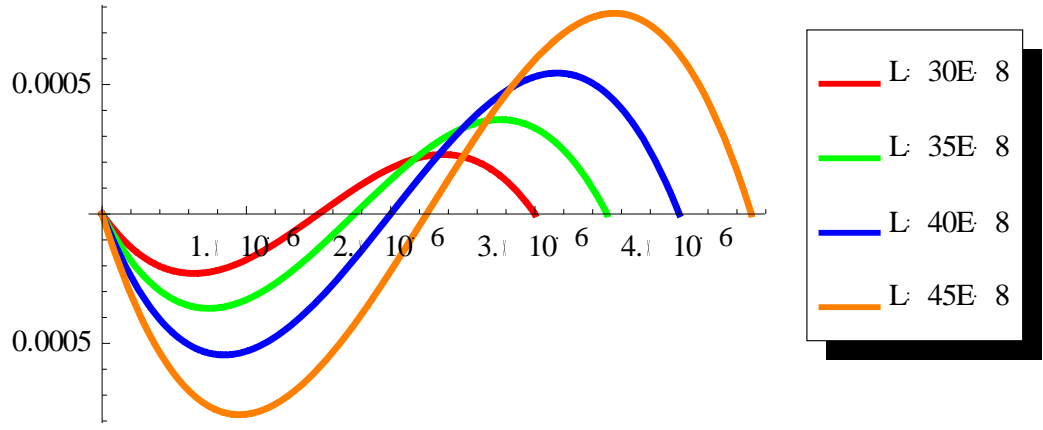
Şekil 4.36: C değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi



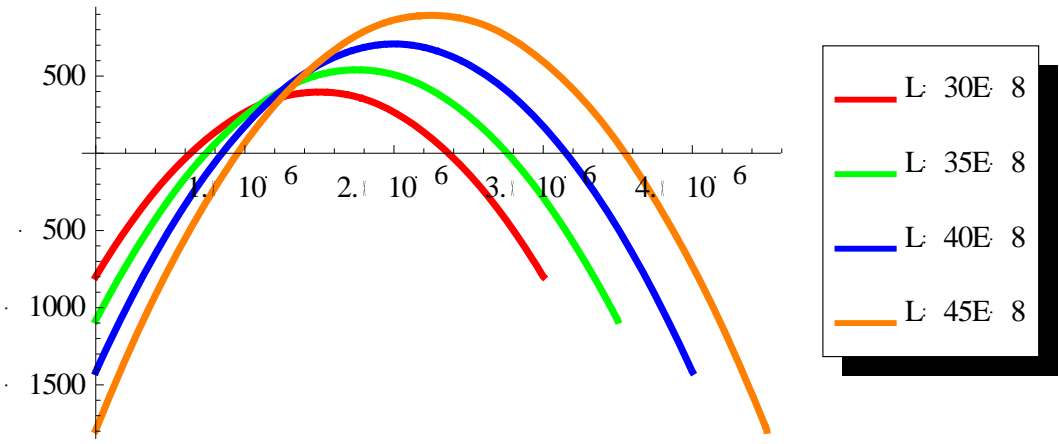
Şekil 4.37: C değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi



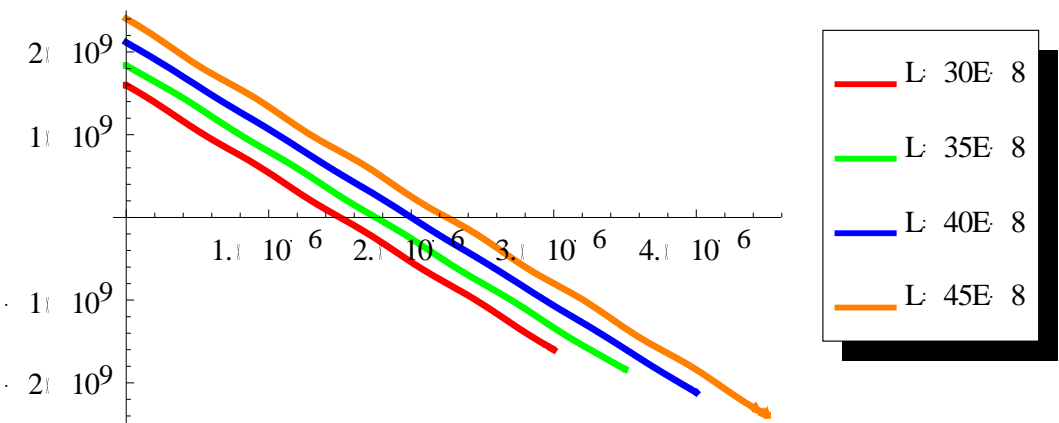
Şekil 4.38: C değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi



Şekil 4.39: L değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca dönme eğrilerinin gösterimi



Şekil 4.40: L değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca moment eğrilerinin gösterimi



Şekil 4.41: L değişimine göre kiriş uzunluğu boyunca kesme kuvveti eğrilerinin gösterimi

5. SONUÇLAR

Çalışmanın parametrik sayısal incelemelerinde varılan başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Çift duvarlı karbon nanotüp kirişe ait olan çökme fonksiyonu V_1 , dıştaki karbon nanotüp kirişin çapı d_1 artırılıp içteki karbon nanotüp kirişin çapı d_2 sabit tutulduğu zaman azalmaktadır.
- Çift duvarlı karbon nanotüp kirişe ait olan çökme fonksiyonu V_1 , dıştaki karbon nanotüp kirişin çapı d_1 sabit tutulup içteki karbon nanotüp kirişin çapı d_2 artırıldığı zaman iki tüp arasında oluşan van der waals kuvveti nedeniyle artmaktadır.
- Karbon nanotüp kiriş üzerine uygulanan p yükü artırıldığı zaman çökme değeri artmaktadır.
- Karbon nanotüp kirişin uzunluğu L arttıkça çökme değeri artmaktadır.
- C sabitinin artması veya azalmasıyla çökme değerleri arasında doğrusal bir ilişki yoktur.
- İçteki karbon nanotüp kirişin çapı d_2 sabit tutulup, dıştaki karbon nanotüp kirişin çapı d_1 artırıldığı zaman dönme, kesme kuvveti ve moment değerleri azalmaktadır.
- İçteki karbon nanotüp kirişin çapı d_2 artırılıp, dıştaki karbon nanotüp kirişin çapı d_1 sabit tutulduğu zaman dönme, kesme kuvveti ve moment değerleri artmaktadır.
- Karbon nanotüp kirişin uzunluğu L değeri arttıkça dönme, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri artmaktadır.
- C sabitinin artması veya azalmasıyla karbon nanotüp kirişin dönme, eğilme momenti ve kesme kuvveti arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Artan, R. ve Tepe, A.**2009. Nanoteknolojide yerel olmayan çubukların burkulması ve başlangıç değeri yöntemi.
- [2] **Cenger, Y.**, 2006, Nanoteknoloji ve Karbon Nano Yapılar.
- [3] **Koç, M.B.**,2003, Nanotüpler.
- [4] **Erkoç,Ş.**,2003, Nanobilim ve Nanoteknoloji
- [5] [http:// www.almaden.ibm.com](http://www.almaden.ibm.com). 01.01.2010
- [6] <http://www.nanosysinc.com>. 01.01.2010
- [7] [http:// www.wisdom.weizman.com](http://www.wisdom.weizman.com) 01.01.2010
- [8] [http:// www.e-drexler.com](http://www.e-drexler.com) 05.01.2010
- [9] [http:// www.gyte.edu.tr](http://www.gyte.edu.tr) 05.01.2010
- [10] [http:// www.imbris.net](http://www.imbris.net) 05.01.2010
- [11] [http:// www.labs.nec.co.jp](http://www.labs.nec.co.jp) 05.01.2010
- [12] [http:// www.rpi.edu](http://www.rpi.edu) 05.01.2010
- [13] [http:// www.outa.org](http://www.outa.org) 15.01.2010
- [14] [http:// www.ircourses.org](http://www.ircourses.org) 15.01.2010
- [15] [http:// www.physicsweb.org](http://www.physicsweb.org) 15.01.2010
- [16] [http:// www.screaming.net](http://www.screaming.net) 15.01.2010
- [17] [http:// www.nec.com](http://www.nec.com) 15.01.2010
- [18] [http:// nanogr.com](http://nanogr.com) 15.01.2010
- [19] [http:// www.yapidergisi.com](http://www.yapidergisi.com) 15.01.2010
- [20] [http:// www.nanoturkiye.blogspot.com](http://www.nanoturkiye.blogspot.com) 15.01.2010
- [21] [http:// www.tubitak.gov.tr](http://www.tubitak.gov.tr) 15.01.2010

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Senem HANÇER

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 20.07.1979

Adres: Yeşilyurt, İstanbul

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.