



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARBON NANOTÜPLERİN ADSORPSİYON
İŞLEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

**Kim.Müh. Özge Nurhayat ARSLANOĞLU
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Temel İşlemler ve Termodinamik Programı**

**Danışman
Doç. Dr. İsmail İNCİ**

Aralık, 2009

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARBON NANOTÜPLERİN ADSORPSİYON
İŞLEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

**Kim.Müh. Özge Nurhayat ARSLANOĞLU
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Temel İşlemler ve Termodinamik Programı**

**Danışman
Doç. Dr. İsmail İNCİ**

Aralık, 2009

İSTANBUL

Bu çalışma 21/12/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliğı Anabilim Dalı Temel İşlemler ve Termodinamik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. İsmail İNCİ
Danışman

İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Müh. Bölümü

Prof. Dr. Umur DRAMUR

İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Müh. Bölümü

Prof. Dr. Ş. İsmail KIRBAŞLAR

İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Müh. Bölümü

Prof. Dr. Mehmet MAHRAMANLIOĞLU

İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Bölümü

Doç. Dr. Mehmet BİLGİN

İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya Müh. Bölümü

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 2985 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarımın her aşamasında bana tecrübeleriyle yol gösteren ve yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsmail İNCİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Temel İşlemler ve Termodinamik A.B.D öğretim üyelerine, Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Umur DRAMUR nezdinde teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tezimin gerçekleşmesinde her türlü maddi olanağı sağlayan İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve Atomik Absorpsiyon denemelerimi yapan İ.Ü. İleri Analizler Laboratuvarı çalışanlarından Kimya Yüksek Mühendisi Sayın Semra Özkan'a,

Tez ve laboratuvar çalışmalarım sırasında yardım ve desteklerini esirgemeyen arkadaşım Araş. Gör. Şahika Sena BAYAZIT başta olmak üzere Araş. Gör. Yavuz Selim AŞÇI ve Araş. Gör. Selin ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim ve öğretim hayatım boyunca, ilgi ve sevgilerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık, 2009

Özge Nurhayat ARSLANOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ.....	VII
SEMBOL LİSTESİ.....	IX
ÖZET	X
SUMMARY.....	XI
1.GİRİŞ	1
2.GENEL KISIMLAR.....	3
2.1.KARBON YAPILAR.....	3
2.1.1. Karbon Nanotüpler	5
2.1.1.1.Karbon Nanotüp Üretim Yöntemleri.....	7
2.1.1.2.Karbon Nanotüplerin Kullanım Alanları.....	11
2.2.HİDROKSİ KARBOKSİLİK ASİTLER	13
2.3.AĞIR METALLER	14
2.3.1.Ağır Metal Kirliliği ve Toksisitesi	15
2.3.2.Zararlı Atıkların Sulardan Giderilmesi.....	16
2.4. ADSORPSİYON	16
2.4.1 Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler	18
2.4.2. Adsorpsiyon Mekanizması.....	18
2.4.3.Adsorpsiyon Çeşitleri	19
2.4.4.Adsorpsiyon İzotermleri	20
3.MALZEME VE YÖNTEM.....	25
3.1. KARBON NANOTÜPLERİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ	25
3.1.1.Karbon Nanotüplerin Mekanik Özellikleri	27
3.1.2.Karbon Nanotüplerin Elektriksel Özellikleri.....	29
3.1.3. Karbon Nanotüplerin Isısal Özellikleri	29
3.1.4. Karbon Nanotüplerin Kimyasal ve Kolloidal Davranışı	30
3.2.SİTRİK ASİT	34
3.2.1.Sitrik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	34
3.2.2.Sitrik Asidin Kullanım Alanları	36

3.3.LAKTİK ASİT	37
3.3.1. Laktik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	38
3.3.2.Laktik Asidin Kullanım Alanları	40
3.4.TARTARİK ASİT	41
3.4.1.Tartarik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	42
3.4.2.Tartarik Asidin Kullanım Alanları	43
3.5.GLİKOLİK ASİT	44
3.5.1.Glikolik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	44
3.5.2.Glikolik Asidin Kullanım Alanları.....	45
3.6. KADMİYUM	46
3.6.1.Kadmiyumun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	46
3.6.2.Kadmiyumun Kullanım Alanları	47
3.7. NİKEL	47
3.7.1.Nikelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	48
3.7.2.Nikelin Kullanım Alanları	48
4.BULGULAR	49
4.1.ADSORPSİYON DENEMELERİ	49
4.1.1.Sitrik Asit Denemeleri	50
4.1.1.1. Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi	50
4.1.1.2.Başlangıç Asit Konsantrasyonunu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	52
4.1.1.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi	53
4.1.2.Laktik Asit Denemeleri	55
4.1.2.1.Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi.....	55
4.1.2.2.Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	57
4.1.2.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi	58
4.1.3. Tartarik Asit Denemeleri	59
4.1.3.1.Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi	59
4.1.3.2.Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	61
4.1.3.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi	62
4.1.4.Glikolik Asit Denemeleri	63
4.1.4.1.Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi	63
4.1.4.2.Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi.....	65
4.1.4.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi	66
4.1.5.Kadmiyum Denemeleri	67
4.1.5.1.Farklı Karbon Nanotüp Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi.....	67
4.1.6.Nikel Denemeleri	72
4.1.6.1.Farklı Karbon Nanotüp Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi.....	72

4.2.ADSORPSİYON İZOTERMLERİ	74
4.2.1.Sitrik Asit Adsorpsiyonu	74
4.2.2.Laktik Asit Adsorpsiyonu	77
4.2.3.Tartarik Asit Adsorpsiyonu	80
4.2.4.Glikolik Asit Adsorpsiyonu.....	82
4.2.5. Kadmiyum Adsorpsiyonu	85
4.2.6. Nikel Adsorpsiyonu	96
5.TARTIŞMA VE SONUÇ	106
KAYNAKLAR	108
ÖZGEÇMİŞ.....	111

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Karbona ait grafit, elmas, fulleren ve nanotüp yapılar.....	4
Şekil 2.2: Ark buharlaştırma tekniği ile karbon nanotüp üretimi	9
Şekil 2.3: Lazer aşındırma yöntemi ile karbon nanotüp üretimi.....	10
Şekil 2.4: Karbon buhar birikimi yöntemi ile karbon nanotüp üretimi	11
Şekil 2.5: Hidroksikarboksilik asitlerin sınıflandırılması.....	14
Şekil 2.6: Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon.....	20
Şekil 2.7: Adsorpsiyon izotermi.....	21
Şekil 3.1: Karbon nanotüplerin oluşum yönleri.....	26
Şekil 3.2: Tek duvarlı karbon nanotüp	26
Şekil 3.3: Çift duvarlı karbon nanotüp	27
Şekil 3.4: Çok duvarlı karbon nanotüp.....	27
Şekil 3.5: Karbonun allotropları.....	30
Şekil 3.6: Sitrik asidin yapısal formülü	34
Şekil 3.7: Sitrik asidin üç boyutlu molekül formülü	34
Şekil 3.8: Laktik asidin yapısal formülü.....	37
Şekil 3.9: Laktik asidin üç boyutlu molekül formülü.....	37
Şekil 3.10: Tartarik asidin yapısal formülü	42
Şekil 3.11: Tartarik asidin üç boyutlu molekül formülü	42
Şekil 3.12: Glikolik asidin yapısal formülü.....	44
Şekil 3.13: Glikolik asidin üç boyutlu molekül formülü.....	44
Şekil 4.1: Sitrik asidin, karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi	51
Şekil 4.2: Başlangıç asit konsantrasyonunun sitrik asit adsorpsiyonuna etkisi	52
Şekil 4.3: Sıcaklık değişiminin sitrik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi	54
Şekil 4.4: Laktik asidin, karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi	55
Şekil 4.5: Başlangıç asit konsantrasyonunun laktik asit adsorpsiyonuna etkisi	56
Şekil 4.6: Sıcaklık değişiminin laktik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi	58
Şekil 4.7: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.....	59
Şekil 4.8: Başlangıç asit konsantrasyonunun tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi	60
Şekil 4.9: Sıcaklık değişiminin tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi	62
Şekil 4.10: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi	63
Şekil 4.11: Başlangıç asit konsantrasyonunun glikolik asit adsorpsiyonu üzerine etkisi	64
Şekil 4.12: Sıcaklık değişiminin glikolik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi	66
Şekil 4.13: 44 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği	67
Şekil 4.14: 74 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği	68
Şekil 4.15: 91 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği	69
Şekil 4.16: 136 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği	70
Şekil 4.17: 94 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği	72
Şekil 4.18: 101 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği	73

Şekil 4.19: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermi.....	74
Şekil 4.20: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Freundlich izotermi	75
Şekil 4.21: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermi	77
Şekil 4.22: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Freundlich izotermi.....	78
Şekil 4.23: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermi....	79
Şekil 4.24: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Freundlich izotermi ..	80
Şekil 4.25: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermi ...	82
Şekil 4.26: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Freundlich izotermi..	83
Şekil 4.27: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	84
Şekil 4.28: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	85
Şekil 4.29: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	86
Şekil 4.30: Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	87
Şekil 4.31: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	88
Şekil 4.32: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	89
Şekil 4.33: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	90
Şekil 4.34: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	91
Şekil 4.35: Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	92
Şekil 4.36: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	93
Şekil 4.37: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	95
Şekil 4.38: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	96
Şekil 4.39: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	97
Şekil 4.40: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	98
Şekil 4.41: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi	99
Şekil 4.42: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	100
Şekil 4.43: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	101
Şekil 4.44: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	102
Şekil 4.45: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	103
Şekil 4.46: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi	104

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: Karbonun boyutları ve fiziksel özellikleri.....	3
Tablo 3.1: Karbon nanotüplerin uygulama alanları.....	33
Tablo 3.2: Sitrik asidin bazı fiziksel özellikleri.....	35
Tablo 3.3: Laktik asidin bazı fiziksel özellikleri.....	39
Tablo 3.4: Tartarik asidin bazı fiziksel özellikleri.....	43
Tablo 3.5: Glikolik asidin bazı fiziksel özellikleri.....	45
Tablo 4.1: Sitrik asidin, aktif karbon ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.....	50
Tablo 4.2: Başlangıç asit konsantrasyonunun sitrik asit adsorpsiyonuna etkisi.....	52
Tablo 4.3: Sıcaklık değişiminin sitrik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.....	53
Tablo 4.4: Laktik asidin, karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.....	55
Tablo 4.5: Başlangıç asit konsantrasyonunun laktik asit adsorpsiyonuna etkisi.....	56
Tablo 4.6: Sıcaklık değişiminin laktik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.....	57
Tablo 4.7: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi.....	59
Tablo 4.8: Başlangıç asit konsantrasyonunun Tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.....	60
Tablo 4.9: Sıcaklık değişiminin tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.....	61
Tablo 4.10: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamana değişimi.....	63
Tablo 4.11: Başlangıç asit konsantrasyonunun glikolik asit adsorpsiyonu üzerine etkisi.....	64
Tablo 4.12: Sıcaklık değişiminin glikolik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi.....	65
Tablo 4.13: 44 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri.....	67
Tablo 4.14: 74 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri.....	68
Tablo 4.15: 91 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri.....	69
Tablo 4.16: 136 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri.....	70
Tablo 4.17: 94 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri.....	71
Tablo 4.18: 101 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri.....	72
Tablo 4.19: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri.....	74
Tablo 4.20: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi verileri.....	75
Tablo 4.21: Sitrik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri.....	76
Tablo 4.22: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri.....	76
Tablo 4.23: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi verileri.....	77
Tablo 4.24: Laktik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri.....	78

Tablo 4.25: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri	79
Tablo 4.26: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi verileri	80
Tablo 4.27: Tartarik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri.....	81
Tablo 4.28: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri	81
Tablo 4.29: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi verileri	82
Tablo 4.30: Glikolik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri.....	83
Tablo 4.31: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	84
Tablo 4.32: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	85
Tablo 4.33: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	86
Tablo 4.34: Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	87
Tablo 4.35: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	88
Tablo 4.36: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	89
Tablo 4.37: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	90
Tablo 4.38: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	91
Tablo 4.39: Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	92
Tablo 4.40: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	93
Tablo 4.41: Kadmiyumun Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri.....	94
Tablo 4.42: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	95
Tablo 4.43: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	96
Tablo 4.44: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	97
Tablo 4.45: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	98
Tablo 4.46: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri	99
Tablo 4.47: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	100
Tablo 4.48: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	101

Tablo 4.49: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	102
Tablo 4.50: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	103
Tablo 4.51: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri	104
Tablo 4.52: Nikelin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri.....	105

SEMBOL LİSTESİ

KNT	: Karbon nanotüp
TDKNT	: Tek duvarlı karbon nanotüp
ÇDKNT	: Çift duvarlı karbon nanotüp
V	: Volt
A	: Amper
Q_e	: Dengede birim adsorban başına adsorbe olan madde miktarı
C_e	: Denge konsantrasyonu
K_L	: Langmuir sabiti
Q₀	: Langmuir sabiti
K_f	: Freundlich sabiti
n	: Freundlich sabiti
Y	: Young modülü
pK	: Disosiyasyon sabiti

ÖZET

KARBON NANOTÜPLERİN ADSORPSİYON İŞLEMLERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmanın amacı ileri teknoloji ürünü karbon nanotüplerin sulu ortamdan çeşitli kimyasal maddelerin adsorpsiyonunda kullanılabilirliğinin incelenmesidir.

Çalışma iki bölümden oluşmaktadır. İlk aşamada çeşitli organik asitlerin, sulu çözeltilerinden karbon nanotüplerle adsorpsiyonu incelenmiştir. Karboksilli asitler bir çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan biyoteknolojik maddelerdir. Bu nedenle karboksilli asitlerin elde edilmeleri ve ürün karışımlarından ayrılmaları önemli bir bilimsel ve ekonomik problemdir. Çalışmada kullanılan organik asitler sitrik asit, laktik asit, tartarik asit ve glikolik asittir. Önemli bir biyoteknolojik madde grubu olan karboksilli asitlerin sulu çözeltilerinden elde edilebilmesine ilişkin deneysel veriler elde edilmiştir.

Hidrosikarboksilik asitlerin farklı başlangıç konsantrasyonları hazırlanmış ve sabit nanotüp miktarıyla 25, 35 ve 45 °C'deki adsorpsiyon etkinlikleri belirlenmiştir. Adsorpsiyon sonrası sulu faz analiz edilmiş, başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise atık sularındaki nikel, kadmiyum gibi ağır metallerin karbon nanotüplerle adsorpsiyonu incelenmiştir. Nikel ve kadmiyum sülfat çözeltileri hazırlanmış ve değişen nanotüp miktarları ile temasa getirilmiştir. Yapılan çalışmada optimum nanotüp miktarı belirlenmiştir.

SUMMARY

INVESTIGATION OF APPLICABILITY OF CARBON NANOTUBES ON ADSORPTION OPERATIONS

The aim of this study is to examine a variety of chemicals adsorption with an advanced technology products carbon nanotubes from the aqueous media.

This project has two parts. In the first part, adsorption of different organic acids by carbon nanotubes from aqueous solutions was studied. Carboxylic acids are biotechnological substances that used in many industries extensively. Therefore production and separation of carboxylic acids from product mixtures are important scientific and economical problems. Citric acid, lactic acid, tartaric acid and glycolic acid have been used in this study as an organic acid. Carboxylic acids are important biotechnological substances. Experimental data of carboxylic acids, which are gotten from aqueous solution, were obtained.

Hydroxy carboxylic acid solutions having different initial concentration were prepared and the adsorption activity was obtained with constant amount of nanotubes at 25, 35 and 45 °C. When the initial concentration and temperature increased, adsorption activity has decreased.

In the second part of the project, the adsorption of heavy metals (cadmium, nickel) from wastewater was studied. Nickel and cadmium sulfate solutions were prepared and optimum amount of carbon nanotubes was determined with using different amounts of carbon nanotubes.

1.GİRİŞ

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, nano teknolojinin doğmasına yol açmış ve çağımızın en öncelikli konularından biri olmuştur. Karbon nanotüpler, nanoteknolojinin en önemli konularından biridir, 1991 yılında keşfedilmiş çok iyi elektrik ve ısı iletkenliğe sahip, olağan dışı elektronik özellikleri olan sert ve dayanıklı yeni bir karbon türüdür. Bu malzemenin hazırlanması, saflaştırılması, malzeme özelliklerinin belirlenmesi üzerinde literatürde yoğun çalışmalar bulunmaktadır. Karbon nanotüpler çok farklı şekillerde ve farklı yöntemlerle elde edilebilmekte boyutları, özellikleri, saflık dereceleri açısından farklılıklar göstermektedir.

Karbon nanotüplerin kullanım alanları da çok çeşitlidir, moleküler elektronik, nanoprob, sensör üretimi, kompozit malzeme üretimi ve enerji depolama alanlarında uygulama alanı bulmuştur. Moleküler elektronik ürünlerin üretimi amacı ile ağırlıklarının hafif olması, yüksek elastik modülü ve dayanımları ile birlikte metalik ve yarı metalik özellik gösteren nanotüpler farklı elektronik özellikler göstermektedir [1].

Son yıllarda, biyoteknoloji bilimindeki hızlı gelişmeler sonucu çok sayıda yeni kimyasal madde sentezlenmiş ya da bilinen birçok kimyasal maddenin önemi artarak yeni ve daha ekonomik yöntemlerle üretilmeye başlanmıştır. Bu nedenle günümüzde biyoteknolojik maddelerin üretimi, ürün karışımlarından veya canlı organizmalardan ayrılmaları ve saflaştırılmaları bilimsel bakımdan oldukça önem kazanmıştır. Yaygın kullanım alanları, üretim ve tüketim miktarları bakımından önemli olan biyoteknolojik bir madde grubu da hidroksi karboksilik asitlerdir [2-3]. Bunlar moleküllerinde bir veya daha fazla sayıda hidroksil grubu bulunan karboksilik asitlerdir. Hidroksi karboksilik asitler başlığı altında çok sayıda asit bulunur, bu asitler sahip oldukları hidroksil ve karboksil gruplarının sayısına göre sınıflandırılırlar. Örneğin, hidroksi mono karboksilik asitler, hidroksi dikarboksilik asitler ya da polihidroksi mono karboksilik asitler gibi. Son

yıllarda biyoteknoloji alanındaki hızlı gelişmelere bağlı olarak hidroksi karboksilik asitlerin ayrılmaları ve saflaştırılmaları çok önemli hale gelmiştir. [4].

Bu asitlerin suya karşı olan yüksek ilgisi sebebiyle karboksilik asitlerin karışımlardan ayrılmaları, saflaştırılmaları ve derişiklendirilmeleri oldukça güçtür. Bu ayırma ve saflaştırma işlemi için destilasyon, büyük enerji tüketimi nedeniyle ekonomik değildir. Ayrıca destilasyon işlemi çok bileşenli karışımlarda, uçucu olmayan asitleri fraksiyonlarına ayıramaz. Hidroksi karboksilik asitlerin, bilinen konvansiyonel çözücüler içindeki düşük dağılma katsayıları yüzünden ise bu çözücüler kullanılarak yapılan ekstraksiyon işleminde büyük miktarlarda çözücüye gereksinim duyulması sonucunu ortaya çıkarmaktadır [4]. Bu sonuç araştırmacıları yeni ayırma teknolojileri bulmaya yönlendirmiştir.

Sanayi atıklarından kaynaklanan ağır metallerin, su kirlenmesinde oynadıkları rol büyüktür. Bu metallerin bitki, hayvan ve insan hayatı için tehlike arz ettiği yapılan araştırmalarla ortaya çıkmış bulunmaktadır. Besinler ve özellikle su ile insan vücuduna giren bu metaller ciddi hastalıklara, hatta ölüme yol açmaktadırlar.

Ağır metallerin kirli sulardan uzaklaştırılması için çeşitli metotlar geliştirilmiştir ve değişik maddeler adsorplayıcı olarak kullanılmıştır Ancak adsorplayıcıların hangi şartlarda ne derece etkili olduklarının bilinmesi adsorpsiyon verimi açısından oldukça önemlidir [5]. Bu yüzden endüstriyel atık suların doğaya verilmeden önce bu ağır metallere uzaklaştırılması çok önemlidir.

Metal iyonlarının atıksulardan ayrılmasında kullanılan yöntemler iyon değiştirme, solvent ekstraksiyonu, buharlaştırma, kimyasal çöktürme, ters osmoz ve adsorpsiyondur. Bu yöntemlerin içinde en etkili ve basit olanı adsorpsiyondur. Adsorpsiyon uygulamasında kullanılan adsorbanlar çok çeşitlidir. Örnek verecek olursak aktif karbon, kaolinit, yarfıstığı kabuğu, yengeç kabuğu v.b'dir. Ancak bu adsorbanlar düşük adsorpsiyon özelliği göstermektedir. Bu sonuç araştırmacıları daha etkili adsorbanlar keşfetmeye yönlendirmiştir [6].

Temel ayırma işlemlerinden biri olan adsorpsiyonun da bu ileri teknoloji ürün olan karbon nanotüplerle yapılması şüphesiz ki günümüze kadar elde edilmiş verilerden daha olumlu sonuçlar vermiştir.

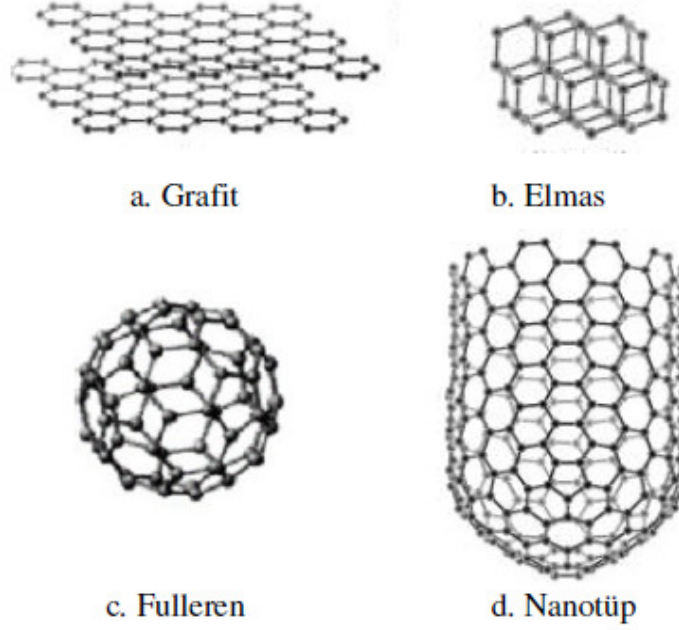
2.GENEL KISIMLAR

2.1.KARBON YAPILAR

Canlıların temel taşı olan karbon, nano yapı hali ile nanoteknoloji çağını başlatmadan önce doğal olarak bulunduğu gibi laboratuvar şartlarında da üretilmiştir. Karbon sonlu boyutlarda nanometre boyutunda sağlam yapılara da sahip olmasından dolayı ayrıcalıklı bir element olup, periyodik tablodaki elementler içinde sıfır boyuttan üç boyuta kadar izomerleri bulunan tek elementtir. Karbonun izomerlerine ait boyut ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 1.1’de verilmiştir[1].

Tablo 2.1: Karbonun boyutları ve fiziksel özellikleri

Boyut	0B	1B	2B	3B
İzomer	Fulleren (C ₆₀) Nanotüp	Nanotüp Karbin	Grafit Fiber	Elmas Amorf
Bağ şekli	sp ²	sp ² (sp ¹)	sp ²	sp ³
Yoğunluk (g/cm ³)	1.72	1.2-2.0 2.68-3.13	2.26 2	3.515 2-3
Bağ uzunluğu (Å)	1.40 (C=C)	1.44 (C=C)	1.42 (C=C)	1.54 (C-C)
Elektronik özellikleri	Yarı iletken Eg=1.9 eV	<u>Metal veya</u> yarı iletken	Yarımetal (metalimsi)	Yalıtkan Eg=5.47 eV



Şekil 2.1: Karbona ait grafit, elmas, fulleren ve nanotüp yapıları [1].

Karbonun genel yapıları grafit, elmas, karbon nanofiberler, camsi karbon siyah karbon, karbin, karbolitler, amorf karbon, sıvı karbon, fulleren (C₆₀) ve karbon nanotüpler şeklindedir. Grafit plakalar halindeki karbon atomları birbirleri ile sp² şeklinde bağlıdır. Grafit doğal olarak bulunabildiği gibi laboratuvar da üretilebilir. Elmas atomları birbirleri ile sp³ sekinde bağlanmış en iyi bilinen kristal yapısıdır. Doğal olarak bulunabildiği gibi laboratuvar şartlarında da üretilebilir. Sert bir yapıya sahip olmasından dolayı sık kullanım alanı bulunmaktadır. Karbon fiberler grafit özelliklerinde ve içi dolu silindir sekinde ve farklı kesit yapılarında bulunan bu yapılarda yüksek mekanik dayanım özellikleri gösteren bir karbon türüdür. Camsi karbon, polimerimsi ve/veya gözenekli yapıda olan ve hazırlanış şartlarına göre farklı özellikler gösterebilen sert özellikte bir malzemedir. Gözenekli yapıda yüzey alanı geniştir ve açık bağlı karbon atomlarının miktarı çoktur. Siyah karbon genellikle hidrokarbonlardan hidrojen çıkarılması ile elde edilen karbon topağı şeklindeki yapılardır. Endüstride bazı malzemelerin mekanik elektriksel ve optik özelliklerinin düzenlenmesi için geniş kullanım alanı bulmuştur. Zincir veya polimer şeklindeki yapılardan oluşan karbin/karbolitler, genellikle hızlı soğutma işlemleri ile elde edilir ve kristal yapıda da oluşan karbinler sert bir yapıya sahiptir. Amorf Karbon uzun mesafeli düzeni olmayan,

bazen kısa mesafeli düzeni olan bir karbon yapısıdır. Amorf yapıda atomlar birbirleri ile (% 90) sp^3 ve (% 10) sp^2 şeklinde bağlanır[1].

Sıvı karbon; elmas, grafit veya başka bir yapıdan eritilerek elde edilen (4450 K), metal özelliği fazla olan bir malzemedir [1].

2.1.1. Karbon Nanotüpler

1991 yılında elektron mikroskopisti Iijima tarafından keşfedilen karbon nanotüplerinin yapısını; C_{60} molekülünün iki eşit parçaya bölünüp aralarına grafit silindir yerleştirilmesi ve “moleküler karbon fiberlerin” her iki ucundan başlıkla kapatılmış haline benzetebiliriz. Malzeme bilimciler, kimyacılar ve fizikçilerin yoğun ilgisini çeken karbon nanotüpler mukavemet, esneklik ve sertlik açısından malzeme bilimcilerin ilgisini; kimyacıların “nanotest-tüpleri” olarak ve fizikçilerin ise olağan dışı elektronik özellikleri nedeniyle ilgisini çekmiştir. Genel olarak karbon nanotüpler içiçe geçmiş tüp sayılarına göre tek duvarlı, çift duvarlı, çok duvarlı vb. şeklinde isimlendirilir. Uzunlukları ve çapları üretim yöntemlerine göre değişmekle birlikte çap uzunluk oranı 100 ile 1000 arasında değişmektedir [1].

Karbon nanotüpler keşiflerinden bu yana dünyada birçok bilim adamının dikkatini çekmiştir. Bu yoğun ilgi nanotüperin olağanüstü fiziksel, kimyasal ve elektiksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı elektronik alanda etkili sonuçlar veren bir malzeme olmuştur, kimyasal ve biyolojik sensör, kompozit malzeme olarak da günümüzde kullanılan nanotüplerin ileride birçok alanda kullanımı hayal gibi gelse de çok uzak değildir [7]. Karbon nanotüpler, karbon nanoparçacıklarının değişik şekillerde dizilmesiyle teşkil edilen bir veya iki duvarlı, açık veya kapalı uçlu, düz veya spiral şeklindeki yapılardır. Karbon nanotüplere; yalıtkanlık, yarı iletkenlik veya süper iletkenlik gibi çok değişik elektronik hususiyetler ile sertlik, elâstiklik veya dayanıklılık açısından farklı davranış şekilleri verilmiştir. Karbon nanotüplerin $2800^{\circ}C$ 'de bile kararlı yapısının devam ettiği, elektrik iletkenliği hususiyetinin korunduğu ve bu şartlarda bakır tellerden bin kat daha iletken olduğu tespit edilmiştir [10].

Karbon nanotüpler, elektronik açıdan da üstün hususiyetlerle donatılmıştır. Elektronik araçların güçlerinin artırılıp boyutlarının küçültülmesiyle ortaya çıkan ısınma ve kırılma gibi problemler, nanomalzemeler kullanılarak giderilmeye çalışılmaktadır [10].

Tabiatta canlıların hizmetine sunulmuş doğal nanomalzemeler çok eski zamanlardan beri insanlar tarafından kullanılmaktadır. Mesela tabii nanomalzemelerden olan kil minerali, günümüzde hem teknoloji sahasında hem de çevreyle alakalı uygulamalarda kullanılmaktadır. Parçacıklı bir yapıya sahip kılınmış olan killere, harikulade yüzey hususiyetleri verilmiştir. Dünyada sınırlı miktarda bulunan kalsiyum montmorillonit kili, 1800'lü yıllardan beri birçok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır. Hayvanların da yiyerek veya içinde yuvarlanarak bu kilden faydalandığı tespit edilmiştir. Yüzeye çekme ve emme (adsorb ve absorb) hususiyetleri sebebiyle, vücudu toksik maddelerden arındırma özelliği verilen bu kil, canlı çamur olarak da adlandırılmaktadır. Kalsiyum montmorillonit kilinin zehirden arındırma hususiyeti dışında; bağırsak problemleri, açık yara, ağrı, kolit (kalın bağırsak iltihabı), ishal, hemoroit, ülser, sivilce, kansızlık gibi birçok rahatsızlığın tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir[10].

Nanoparçacıklar, çok önceleri seramik imalatında boya maddesi olarak kullanılmıştır. 19. yüzyılda, çok küçük parçacıklardan müteşekkil (kolloidal) altın; romatizma ve kireçlenme gibi hastalıklar ile bütün kötülüklerin anası olan alkol bağımlılığının tedavisinde kullanılmıştır. Eski devirlerde süsleme sanatında, nanomalzemelerle cama farklı renkler ve optik hususiyetler kazandırılmıştır. Yüzlerce yıl önce uygulanan bu tekniklerin mahiyeti günümüzde dahi tam manasıyla çözülememiştir [10].

KNT'ler, diğer tüm nanomalzemeler içerisinde belki de en büyük öneme sahip olanlardır. KNT, en basit manada, nanometre çaplı, µm boylu borusal yapılardır. Diğer bir ifade ile KNT'ler, yapısal açıdan bakıldığında, tek ya da daha çok grafen (grafitin tek bir katmanı) levhadan yapılı, içiboş bir silindir gibi hayal edilebilir. Söz konusu silindirin çapı 0.4 nm'den 100 nm ya da daha yüksek değerlere kadar çıkabilir. Üretim yöntemi ve şartlarına bağlı olarak çok farklı olabilen KNT'lerin boyları ise yüzlerce µm'den cm mertebesine kadar çıkabilir [10].

KNT'ler genelde kendisini oluşturan grafen duvar sayısına göre sınıflandırılır. Nihai nanotüp yapısı, grafen borusu biçimli TDKNT'dir. TDKNT'ler, 1-2 nm aralığında

değişen ve Gauss dağılımı gösteren çap değerlerine sahiptir. Fakat zeolit gözenekleri içerisinde sentezlemek sureti ile 0.4 nm kadar küçük çaplı TDKNT'ler de üretilmiştir. Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler (TDKNT) çaplarına, boylarına ve geometrik yapılarına bağlı olarak yüksek esneklik ve dayanıklılığa sahip, eksenleri boyunca yüksek gerinimler altında yapısal kararlılıklarını koruyan malzemelerdir [8]. TDKNT'ler, kendisini oluşturan grafen silindirin tüp eksenine göre yönelimine bağlı olarak üç farklı türde olabilir: "Koltuk", "zigzag" ve "kiral" nanotüpler. TDKNT'ler çoğu kez altıgen-paketlenmiş kristalli demetler (halatlar) halinde bulunurlar. Bu demetler birbirlerine van der Waals kuvvetleri ile tutunurlar ve 100-500 TDKNT içerebilirler ÇDKNT, ikiden fazla grafen çepere sahip nanotüplerdir. ÇDKNT'lerin iççapları 0.4 nm'ye kadar inebilmekle beraber 5 nm civarındadır. Dışçapları ise daha önce de belirtildiği üzere 15 nm mertebesindedir. Kuramsal hesaplamalarla ÇDKNT'lerde duvarlararası mesafenin 0.339 nm olacağını tahmin edilmiştir. İki duvarlı nanotüpler özel bir durum arz etmekte olup "çift duvarlı nanotüp (ÇDKNT) adını alır. Çeşitli yan ürünlerle beraber TDKNT'lerin TEM görüntüsünde, demetlerin birbirlerine olan uzaklıkları 0.34-0.39 nm aralığında ölçülmüştür. Bu değerler "turbostratik sınırın (0.344 nm)" ve grafitteki levhalararası uzaklığın (0.335 nm) üstünde bulunduğundan ÇDKNT'lerde komşu grafen duvarlarının, birbirleri ile kristalografik açıdan ilişkili olmadığı söylenebilir [9]. Ayrıca hesaplamalar ÇDKNT'lerde komşu duvarlararası etkileşimlerin az olduğuna ve dolayısı ile duvarların birbirlerinden bağımsız dönme ve öteleme hareketleri yapabileceğine işaret etmektedir [10].

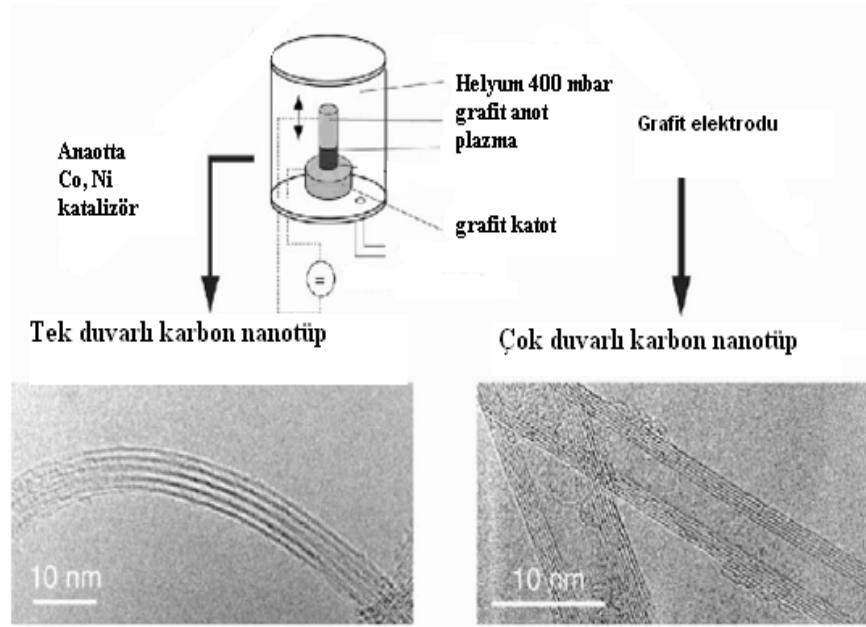
2.1.1.1. Karbon Nanotüp Üretim Yöntemleri

Karbon nanotüpler genel olarak ark boşalım, lazer aşındırma ve karbon buhar birikimi olmak üzere üç ayrı metotla üretilmektedir. Nanotüp yapısının oluşumuna ait yollar detaylı olarak bilinmemekle birlikte nanotüp yapısının oluşumunda birden çok mekanizmanın rol aldığı düşünülmektedir. Üç basamaklı bir mekanizmaya göre nanotüplerin ve fullerenlerin oluşumunda metal katalizör parçacığı üzerinde öncelikle başlatıcı bir C₂ yapısı oluşur. Bu yarı kararlı karbür parçacığından hızla çubuğa benzer bir yapı oluşurken grafit özelliğinde duvarlar yavaşça meydana çıkar [11].

1-Ark Buharlaşma Tekniği

Ark buharlaşma tekniği, ilk keşfedilen, laboratuvar imkânlarında kolayca yapılabilecek ve en geniş kullanım alanı bulan metot olmasına rağmen, diğer metotlarla karşılaştırıldığında bu metotta daha az saflıkta yapılar oluşur ve ürün nanotüplerden Fe, Ni, Co gibi katalitik metallerin ayrılmasını gerektirir. Bu metotta C60 üretim yönteminden farklı olarak inert gaz (helyum, argon vb) ortamında grafit elektrotları yüksek arklama (örneğin 20V, 50-100 A) sırasında temas halde değil birbirine değmeyecek kadar yakın (yaklaşık 1 mm) tutulur. Katalizör olarak metal parçacıkları (ağırlıkça % 1) eklenebilir. Uygulanan akım iki elektrot arasında yüksek sıcaklıkta bir akışa yol açarak anottan buharlaşan karbonun bir kısmının katotta silindirik olarak tekrar yoğunlaştırır. Bu silindirik tortunun merkezinde hem nanotüpler hem de nanoparçacıklar oluşur. Yüksek verimde nanotüplerin oluşumu plazma akımının düzenliliğine ve karbon elektrotundaki birikimin sıcaklığına bağlıdır [1].

Argon ve helyum gazı ortamında üretilen tek duvarlı karbon nanotüplerinde çapların değıştiği gözlenmiştir. Ortamı oluşturan argon-helyum gazlarının termal iletkenlik ve yayınlılık katsayıları, gazların bağıl derişimleriyle etkilenmekte; ısıl transfer, kütle yayınlılığı, sıcaklık ve ortamdaki karbon-metal parçacıklarının yoğunlukları ile nanotüplerin çapları belirlenebilmektedir. Bu metotta eğer anot metal katalizörleri (Fe, Co, Ni vb) ile doplanırsa 1.2-2.4 nm çapında tek duvarlı karbon nanotüpleri elde edilir. Eğer her iki elektrot da grafit ise ürünün ÇDKNT olması beklenir. Ancak bu metotta fullerenler, amorf karbon ve grafit tabakaları gibi yan ürünler de gözlenir [1].

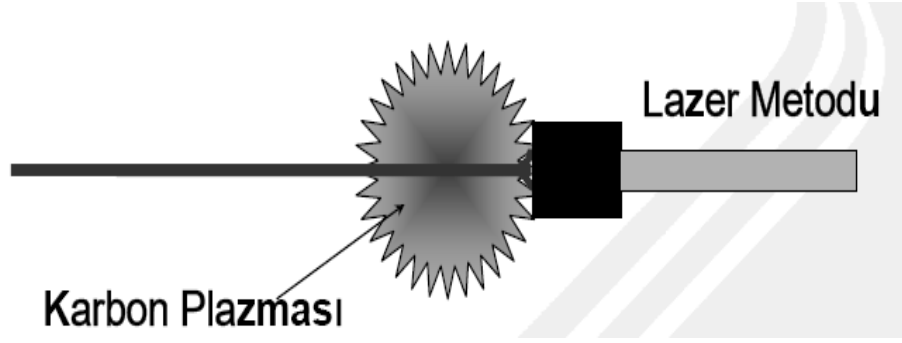


Şekil 2.2: Ark buharlaştırma tekniği ile karbon nanotüp üretimi [39].

2- Lazer Aşındırma Tekniği

Bu teknikte farklı gaz atmosferlerinde, yüksek sıcaklık fırınında (1200 °C) kuartz tüp içerisindeki grafit ve metal katalizör parçacıkları üzerine lazer sinyali gönderilir ve buharlaştırılır. Buharlaştırılan maddeler soğudukça küçük karbon molekülleri ve atomları daha büyük kümeler oluşturmak üzere yoğunlaşırken bu esnada katalizör daha yavaş yoğunlaşır [1].

Başka bir mekanizmada fulleren veya grafit tabakasına Ni veya Co katalizörleri ilâşerek fullerenin kapanmasını engeller ve tüplerin oluşumuna yol açar. Lazer aşındırma yöntemi ile % 90'a varan saflıkta nanotüpler üretilir. Bu metotta da eğer saf grafit elektrotlar kullanılırsa ÇDKNT'ler, eğer Co, Ni, Fe, gibi katalizörler içeren grafit çubuklar kullanılırsa TDKNT'ler üretilmektedir [1].

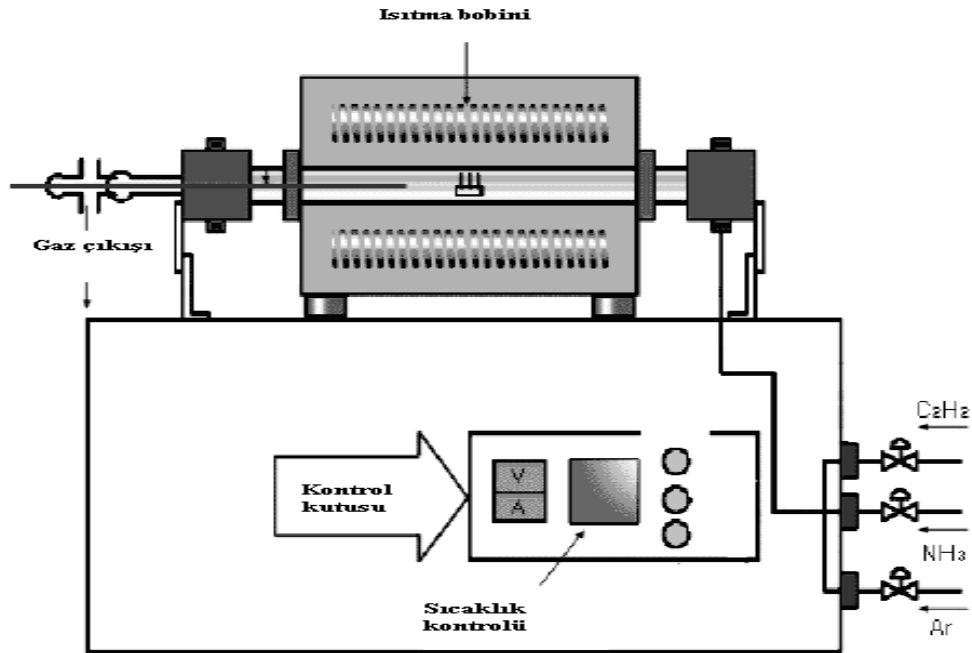


Şekil 2.3: Lazer aşındırma yöntemi ile karbon nanotüp üretimi [38].

3- Karbon Buharı Birikimi Tekniği

Bu metotta gaz fazında bir karbon ile gaz haldeki karbon molekülüne enerjinin geçmesi için bir enerji kaynağı (plazma veya dirençle ısıtılmış bir bobin) kullanılır. En çok kullanılan gaz kaynakları metan, etan, karbon monoksit ve asetilendir. Enerji kaynağı reaksiyona girecek atomik karbonu oluşturmak amacı ile kullanılır. İki asamadan oluşan bu yöntemde öncelikle katalizör yüzeyi hazırlanır. Gaz fazındaki karbon Ni, Fe veya Co gibi bir katalizörle kaplanmış ve ısıtılmış olan substrata doğru hareket eder. İkinci aşamada nanotüpler kimyasal olarak (genellikle amonyak ile) veya ısı tavlama ile aşındırılmış yüzeyde kümeler oluşturarak elde edilir. Karbon nanotüplerinin mükemmel dizilişi bu metot ile nano boyutta kontrol edilebilir. Karbon nanotüpleri bu metotta 650-900°C sıcaklıkta sentezlenir. Karbon buharı birikimi yönteminde nanotüplerin oluşumu daha yavaş olmasına rağmen tek duvarlı veya çok duvarlı karbon nanotüplerinin üretiminde seçici özellikler gösterir [1].

Besleme gazı yüksek kararlılığından dolayı düşük sıcaklıklarda bozunmamasına rağmen katalizör yüzeyinde bozunur ve katalizörün nano parçacıkları üzerinde toplanarak farklı özellikte nanotüpleri oluşturur. Bu metodun avantajları daha büyük miktarlarda ürün elde edilebilirken daha düşük sıcaklıklarda çalışılması, düzgün bağlı karbon nanotüpleri elde edilebilmesidir. Katalizör seçimi yapılarak karbon nanotüplerin büyümesi ve tasarımı kontrol edilebilir. Fakat bu avantajlarının yanında katalizörler safsızlık olarak nanotüplerde kalabilmekte nanotüp kusurları gözlenmektedir [1].



Şekil 2.4: Karbon buhar birikimi yöntemi ile karbon nanotüp üretimi [38].

2.1.1.2. Karbon Nanotüplerin Kullanım Alanları

Karbon nanotüplerin, elektronik malzeme olarak manyetik ve optik nanoaygıt yapımında; ayrıca hafıza elemanı, kapasitör, transistör, diyot, mantık devresi ve elektronik anahtar yapımında kullanım alanı bulmaktadır. Kimyasal açıdan karbon nanotüpler etkili sonuç veren makro moleküllerdir. Bu makro moleküller kurşun, kadmiyum, bakır ve çinko gibi ağır metalleri sulu ortamlardan ayırmada denenmiş ve etkili olduğu gözlemlenmiştir. Karbon nanotüpler ile ağır metal adsorpsiyonu çok komplikedir ve metal iyonları ve KNT yüzeyindeki negatif yüklü fonksiyonel gruplar arasında kimyasal bir etkileşim söz konusudur [12].

Bunların yanında Karbon nanotüpler, bilinen en sağlam malzeme olma özelliğine sahip olduğundan, hasarsız bir karbon nanotüp, kendi ağırlığının 300 milyon katı bir ağırlığa dayanabilecek sağlamlıktadır. Bu sağlamlıkta başka bir malzeme yoktur. Karbon nanofiberler, çok geniş yüzey alanına sahiptir. Nanofiberin kütlesiyle alanı arasındaki oran, normal malzemelere göre çok büyüktür. Örneğin kütlesi 1 gr. olan bir Karbon nanotüp fiberin alanı, 300 m²'yi bulmaktadır. Karbon nanotüp fiberlerin bu özelliği

sayesinde, nanometre düzeyinde süper kapasitörler; dolayısıyla da yapay kas üretimi mümkün olabilecektir. Hidrojen depolamaya da olanak sağlayan geniş yüzey alanı, Karbon nanotüp fiberleri, potansiyel enerji depolama malzemesi haline getmektedir [13].

Başka bir heyecan verici bir araştırma alanı ise karbon nanotüplerin mekaniksel özellikleridir. Grafit ve karbon fiberlerine benzer olarak, nanotüplerin çok sağlam ve yüksek elastik modülüne sahiptir. Ayrıca tek katmanlı karbon nanotüplerin tıpkı uzay teknolojisi uygulamalarında kullanılan nanofiber gibi çok sağlam ve esneme altında kırılmama dayanıklılığına sahip olması beklenmektedir. North Carolina Üniversitesinden Jorzy Bernhole ve meslektaşlarının hesaplarına göre bir nanotüp kırılmadan yüksek oranda uzayabilmektedir. Karbon fiberlerin aksine tek katmanlı karbon nanotüpler dikkate değer oranda esnektir. Burkulabilir, düzleştirilebilir, küçük daireler şeklinde kıvrılabilir [14].

Sonuç olarak nanotüpler sadece karbon fiberlerin avantajlarına sahip olmayıp, aynı zamanda çok daha esnek ve basınç altında kırılmaya dayanıklıdır. Bu özellikler tek başlarına ya da diğer özellikleriyle birleştirilerek kullanılabilir. Örneğin Hyperian Uluslararası Katalizör Komitesi bu moleküllerden az miktarda plastiğe katılarak, plastiği elektriksel olarak iletken hale getirmiştir. İletken plastikler otomotiv sektöründe elektriksel olarak yüklü boya imal etmek üzere kullanılmıştır. Böylece boya tasarrufu sağlanmıştır [14].

Karbon nanotüplerin teknolojiadaki kullanım alanlarını sıralayacak olursak;

NASA, Rice Üniversitesine karbon nanotüplerden oluşan bir enerji iletim kablosu yaptırmaktadır. Bu kablo gelecekte uzay mekiklerinde kullanılacaktır. Bunun nedeni ise uzay mekiklerini ağır bakır kablolardan kurtarıp kuantum kablolar ise hafifletmek, hafifleyen mekikte daha fazla yakıt için yer elde edilecektir. Kimi projelerde ise karbon nanotüplerden uzay asansörü kurarak, Dünya yörüngesine astronot ve erzak taşıma hedeflenmektedir.

Sağlık alanına yönelik olarak yapılacak akıllı nanorobotlar, hastalığın teşhisini koymada önemli görevler üstlenecek ve gerektiğinde hastalıklı bölgelere ilaç vererek tedavi gücünü arttıracaktır. Özellikle kanser tedavisinde yeni açılımlar yaratacağı düşünülmektedir. Ayrıca adele yırtılması gibi doku tamirinde KNT'e fonksiyonel grup bağlanmasıyla kullanılması hedeflenmektedir [14].

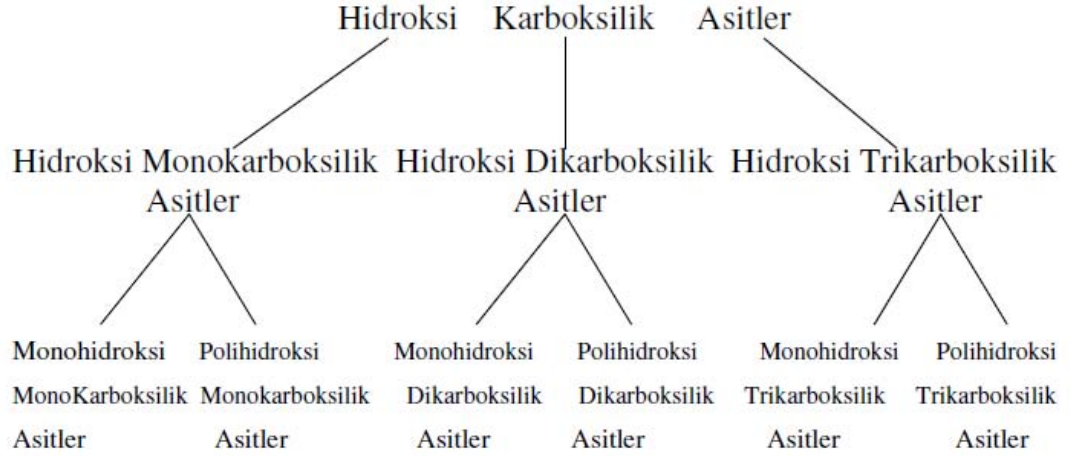
2.2.HİDROKSİ KARBOKSİLİK ASİTLER

Hidroksi karboksilik asitler asitliği karakterize eden karboksil grubunun yanında, hidroksil grubu da içerirler. Bundan dolayı hem asit hem de alkol davranışı gösterebilirler. Bir asit olarak tuzları, esterleri ve amidleri oluştururlar. Bir alkol olarak da diğer asitlerle esterleri ve kendiliklerinden asetalleri ve eterleri oluşturabilirler. Hidroksi karboksilik asitler sahip oldukları hidroksil grubunun sayısına göre mono ve polihidroksi karboksilik asitler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Hidroksi karboksilik asitleri karboksil gruplarının sayısına göre ise genel olarak su şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

1- Hidroksi Monokarboksilik asitler: Bu asitlerin en bilinen örnekleri laktik asit (2 - hidroksipropiyonik asit), fenilglükolik asit, hidrakilik asit ve glükolik asittir.

2- Hidroksi Dikarboksilik asitler: Hidroksi dikarboksilik asitlerin en basiti "tartronik asit" adı ile bilinen hidroksimalonik asittir. Diğer örnekler olarak malik asit ve tartarik asit gösterilebilir.

3- Hidroksi Trikarboksilik asitler: En önemli hidroksi trikarboksilik asit sitrik asittir. [2-3].



Şekil 2.5: Hidroksikarboksilik asitlerin sınıflandırılması [2].

2.3.AĞIR METALLER

Ağır metaller doğal sistemlerde ortaya çıkan bir grup elementi ifade edebildiği gibi, doğal ve bozulan sistemlerde düşük derişimlerde bulunan ve belli derişimlere yükseldiğinde ise canlı organizmalar için zehirli etkisi olan elementleri de ifade edilmektedir [15].

Ağır metaller, zehirlilik derecesine ve canlı bünyesindeki işlevlerine göre sınıflandırılır. Bilinen en zararlı ağır metaller kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve cıvadır (Hg). Bu metaller her derişimde zehirlidir ve biyolojik işlevleri yoktur. İkinci grup metaller arsenik (As), bizmut (Bi), indiyum (In), antimon (Sb) ve talyum (Tl) insan bünyesine biyokimyasal açıdan gerekli değildir. Üçüncü grup metaller ise biyokimyasal olarak gerekli metallerdir. Bunlar bakır (Cu), çinko (Zn), kobalt (Co), nikel (Ni), vanadyum (V), selenyum (Se), krom (Cr) ve demirdir (Fe). Bununla birlikte bu metaller belli derişim düzeyinin üzerinde zehirli konuma gelmektedir. Bu grup elementlerden Ni, Cr, Cu ve Se'nin fazlasının nükleik asitlerle etkileşimi nedeniyle kanserojen etki göstermektedirler [15].

2.3.1.Ağır Metal Kirliliği ve Toksisitesi

Günümüzde endüstriyel ve maden atıklarının içerdiği toksik ağır metallerin yüzeysel sulara karışmaları, canlılar üzerinde oluşturabileceği potansiyel risk nedeniyle son yıllarda önemli bir konu haline gelmiştir.

Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların içinde bazen eser miktarda bazen de yüksek konsantrasyonlarda metaller bulunur. Metallerin boşaltım ortamlarındaki canlı yaşam üzerinde, konsantrasyonlarına bağlı olarak toksik etki yapabilirler. Sulardaki konsantrasyonları ppm (mg/L) veya daha düşük, örneğin ppb ($\mu\text{g/L}$), düzeyinde olan elementler eser elementler olarak bilinir. Çoğu kirleticinin çevresel konsantrasyonu bu düzeydedir. Eser miktarlarda bile sakıncalı olabilen bu metaller arasında en önemli grubu ağır metaller dediğimiz kadmiyum, bakır, kurşun, krom, çinko, mangan, cıva, arsenik, antimon, nikel, selenyum, molibden gibi elementler oluşturur. Bunların bir bölümü yaşamı destekleyen, diğer bölümü ise toksik sayılabilecek ağır metallerdir [16].

Ağır metaller sulara düşük konsantrasyonlarda bulunur, bunlar demir, kobalt, magnezyum, molibden v.s. yaşam için gerekli olanlarla birlikte biyolojik faaliyetlere katılmayan kurşun, kadmiyum, cıva gibi toksik metaller içerir. Özellikle toksik ağır metaller, enzimlerdeki S- ve N- atomlarına saldırarak onlara bağlanır ve enzimleri immobilize ederler. Ayrıca kadmiyum, bakır, kurşun ve cıva iyonlarının hücre membranına bağlanmasıyla hücre duvarında madde taşınımı (besin alımı, atıkların dışarı atılması) engellenmiş olur. Bunun yanı sıra biyolojik fosfat bileşikleriyle çökelti oluşturabilir veya bunların ayrışmasını katalizleyebilir [16].

2.3.2.Zararlı Atıkların Sulardan Giderilmesi

Çevre kirliliği içinde en önemli sırayı su kirliliği alır. Çünkü toprak ve havada kirlilik oluşturan maddeler zamanla yağmur, kar ve yeraltı suyu hareketleri gibi nedenlerle suya geçmektedir. Bu yolla canlı organizmalara, yiyecek ve içeceklerle insanlara kadar geçen

bu maddeler içinde en önemli sırayı toksik ağır metaller alır. Bu toksik metallerin, organik atıklarla birleşerek veya başka bileşiklerine dönüşerek daha toksik hale gelmesi önemli sonuçlar oluşturmaktadır [16].

Sulardan ve çeşitli atıklardan zararlı maddelerin ve özellikle toksik ağır metallerin giderilmesi için değişik işlemler uygulanmaktadır. Bunlar;

- kimyasal çöktürme
- koagülasyon ve flokülasyon
- iyon değişimi
- ekstraksiyon
- kompleks oluşturarak ayırma
- biyolojik işlemler
- elektrokimyasal işlemler
- membran prosesleri
- adsorpsiyon

olarak sıralayabiliriz. Burada adsorpsiyon ekonomik ve kolay uygulanabilirliği açısından önemli bir proses olarak ortaya çıkmaktadır [16].

2.4. ADSORPSİYON

Bir katı veya bir sıvının sınır yüzeyinde meydana gelen derişim değişmesi olayına adsorpsiyon denir. Bir başka deyişle adsorpsiyon, taneciklerin bir yüzeye tutunmasıdır. Tutunan maddeye adsorbat, ona destek olan alttaki yüzeye ise adsorban adı verilir. Bu olayın tersine ise desorpsiyon denir. Adsorpsiyon, seçimli bir yüzey olayıdır ve adsorbe olan maddeler iyon ya da molekül olabilirler. Adsorpsiyon ile absorpsiyon olayı birbiriyle karıştırılmamalıdır Adsorpsiyonda sınır yüzeyinde birikme olurken, absorpsiyonda madde adsorban içine doğru yayılır [19].

Karbon aracılığı ile adsorpsiyon mekanizmasını açıklamakta üç temel kavram kullanılmaktadır [17].

1. Yüzey Gerilim Kuvvetleri
2. Fiziksel Kuvvetler
3. Kimyasal Kuvvetler

Yüzey Gerilim Kuvvetleri

Bir sıvının yüzey serbest enerjisini minimuma indirmek için kendi molekülleri arasında çekici kuvvetlere sahip olduğu bilinmektedir. Yüzey gerilimi olarak bilinen bu kuvvetler, sıvı içinde başka bir maddenin dağılmasını önleyip, onları yüzeye doğru iterler. İşte bu güçler adsorpsiyonu meydana getirmektedir.

Fiziksel Kuvvetler

Adsorpsiyonun belki de en önemli nedeni, sıvı ile sıvı içindeki maddenin molekülleri arasındaki iyofobik kuvvetler veya sıvı içindeki mevcut moleküllerin adsorbe edecek fazın adsorban moleküllerine duyacağı özel ilgidir. Bu özellikleri en iyi belirleyen parametre çözünürlüktür. Çözünürlüğü fazla olan maddeler zor, az olanlar ise kolay adsorbe edilirler. Diğer fiziksel kuvvetler moleküller arasındaki Van der Waals kuvvetleri ve elektrik güçlerden doğan elektrokinetik kuvvetlerdir.

Kimyasal Kuvvetler

Adsorpsiyonun bir diğer nedeni de adsorbanın sıvı içindeki moleküller ile kimyasal reaksiyona girerek sabit kimyasal bağlar oluşturmasıdır. Bu tür adsorpsiyonun genellikle adsorpsiyon enerjisi taşıdığı ve adsorbe edilen moleküllerin konumlarını değiştiremediği gözlenmiştir.

2.4.1 Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

_ Çözeltinin derişimi ya da gazın basıncı: Adsorpsiyon, çözeltiler için derişimle ve gazlar için basınçla artar. Bu artış, adsorban üzerinde denge derişimine ulaşılan kadar sürer. Adsorban doyduğunda gazın basıncının ya da çözeltinin derişiminin artması, adsorplanan madde miktarını değiştirmez [18].

_ Genel olarak sıcaklık değişimine su ve atıksu arıtma sistemlerinde karşılaşılr. Ancak sıcaklığın adsorpsiyon işleminde çok az bir etkisi vardır. Bununla beraber 4 °C ve 60 °C arasında sıcaklık değişimleri adsorpsiyon kapasitesini ve hızını değiştirdiği saptanmıştır. Adsorpsiyon işleminde ekzotermik, difüzyon işlemleri ise endotermiktir. Bundan dolayı ısı artışına paralel olarak adsorpsiyon hızı artar. Aynı zamanda aynı sistem içinde adsorpsiyon kapasitesi düşer. Daha çok sıcaklık, adsorbat moleküllerinin iyonizasyonunu ve çözünmesini etkileyecektir [18].

_ Ortamın pH' ısı: Polar olmayan bir yapının (örneğin aktif karbon) üzerine asit ve bazların adsorpsiyonu, ortamın pH'ından etkilenir. Hidrojen ve hidroksil iyonları kuvvetle adsorbe olurlar. Bu durum, çözeltideki diğer iyonların adsorpsiyonunu etkiler. Sudaki tipik kirleticilerin adsorpsiyonu, genel olarak pH' ın artması ile azalma gösterir [19].

_ Adsorbanın ve adsorbatın, fiziksel özellikleri ile kimyasal özellikleri: Adsorban ve adsorbatın hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri adsorpsiyonu etkiler. Bu özellikler arasında, adsorbanın yüzey alanı, adsorbanın gözenek yapısı, adsorbanın yüzey özellikleri, adsorbatın tanecik yapısı, adsorbatın iyonlaşma eğilimi ve polaritesi gibi özellikler örnek olarak sayılabilir [19].

2.4.2. Adsorpsiyon Mekanizması

Adsorpsiyonun üç basamakta gerçekleştiği varsayılmaktadır:

1) Adsorbatın, çözeltiliden adsorban yüzeyine kütle transferi ya da film difüzyonu: Durgun ya da laminer bir rejimde akan bir akışkanın içindeki taneciklerin tek basına yaptıkları ötelenme hareketidir. Hareket tek yönde gerçekleşmektedir ve hareket sırasında diğer tanecikler ile çarpışmalar yön değişikliğine sebep olur. Hareketin yönü yüksek derişimden düşük derişime doğrudur.

2) Adsorbatın, adsorbanın gözenekleri içinde tanecik içi difüzyonu ya da geçişi: Tanecik içindeki difüzyon, gözenekli yapıya sahip olan katının gözenekleri içinde gerçekleşir ve gözeneklerin şekli ile büyüklüğüne bağlıdır. Gözenek şekli, dağılımı ve büyüklüğüne bağlı olarak, taneciklerin birim zamanda aldığı yola difüzyon katsayısı ismi verilir. Hareketin yönü yüksek derişimden düşük derişime doğrudur.

3) Adsorbatın, adsorbanın iç kısımlarındaki sitelere adsorpsiyonu: Adsorban içine difüzlenen moleküller, büyüklüklerine ve yapılarına göre adsorbanın gözenekleri içinde adsorplanırlar. Üçüncü basamak çok hızlıdır ve hız kontrol basamağını ilgilendirmez [19].

2.4.3. Adsorpsiyon Çeşitleri

Üç tip adsorpsiyon çeşidi vardır:

- Fiziksel
- Kimyasal
- Değişim (İyon değişimi gibi)

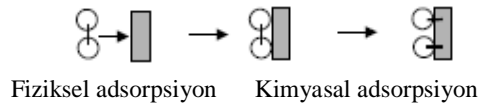
Fiziksel adsorpsiyonun moleküller arası düşük çekim gücünden ve ya Van der Waals kuvvetlerinden dolayı meydana gelmektedir. Adsorbe olan molekül katı yüzeyinde belirli bir yere bağlanmamıştır, yüzey üzerinde hareketli bir durumdadır. Bununla

birlikte, adsorbat adsorbanın yüzeyinde birikir ve gevşek bir tabaka oluşturur. Fiziksel adsorpsiyon genellikle geri dönüşümlüdür (tersinir) [20].

Kimyasal adsorpsiyon ise daha kuvvetli güçlerin etkisi sonucu oluşur (kimyasal bileşiklerin oluşumu). Genellikle adsorbat, yüzey üzerinde bir molekül kalınlığında bir tabaka oluşturur, moleküller yüzey üzerinde hareket etmezler. Adsorban yüzeyinin tamamı bu mono moleküler tabaka ile kaplandığında, adsorbanın adsorplama kapasitesi bitmiş olur. Bu tür adsorpsiyon çok nadir olarak geri dönüşümlüdür (tersinmez). Adsorbe olan maddenin uzaklaştırılması için (rejenerasyon) adsorbanın yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gibi işlemler uygulanır [20].

Değişim adsorpsiyonu, adsorbat ile yüzey arasındaki elektriksel çekim ile olmaktadır. İyon değişimi bu sınıfa dahil edilir. Burada, zıt elektrik yüklerine sahip olan adsorbat ile adsorban yüzeyinin birbirlerini çekmesi önem kazanmaktadır. Elektrik yükü fazla olan iyonlar ve küçük çaplı iyonlar daha iyi adsorbe olurlar. Tüm bu adsorpsiyon çeşitlerine rağmen, bir adsorpsiyon işlemini tek bir adsorpsiyon çeşidi ile açıklamak zordur [20].

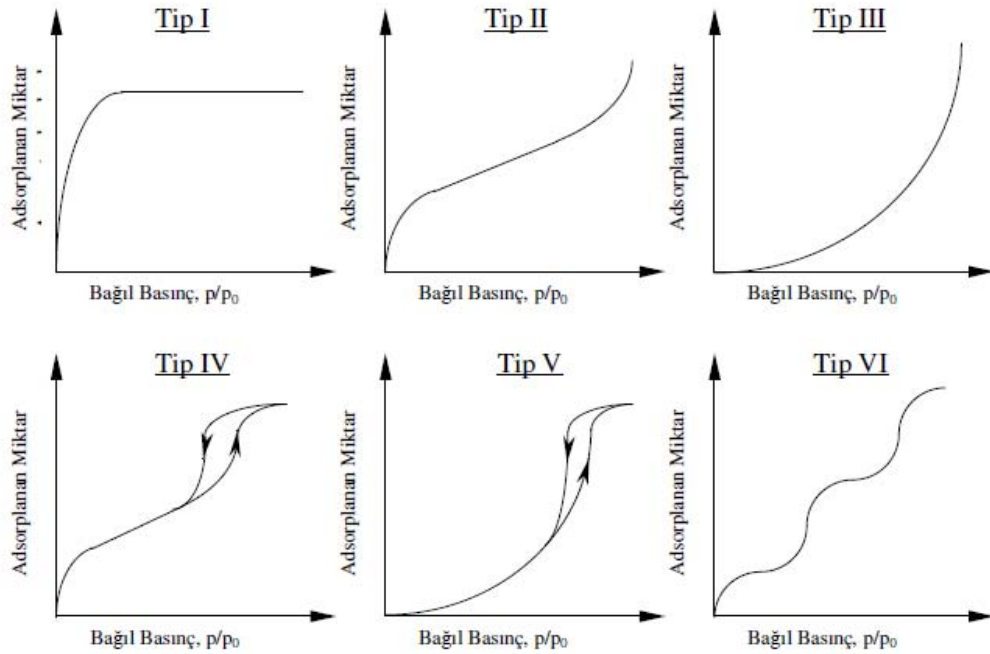
Adsorpsiyonun hızı ve miktarı adsorbanın yüzeyinin bir fonksiyonudur. Bunun için, aktif karbon ($1000 \text{ m}^2/\text{g}$) gibi kütesine oranla yüzey alanı büyük olan maddeler kullanılır. Gazların adsorpsiyonu sırasında basınç yükseltilecek olunursa, adsorban daha fazla miktarda madde adsorplayacaktır. Çözeltilerin adsorpsiyonu için de aynı kural geçerlidir. Çözeltinin adsorpsiyonu, adsorbe olacak maddenin doğasına ve çözelti içerisindeki konsantrasyonuna bağlıdır. Sıcaklık da önemli bir faktördür [20].



Şekil 2.6: Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon

2.4.4. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon olayında gaz ile katı temas ettiğinde, gaz fazında kalan gaz derişimi, yüzeyde tutunan gaz derişimi ile dinamik bir denge yani adsorplananın katı ve gaz fazlar arasında belirgin bir dağılıma ulaşınca kadar sürer. Bu dağılım oranı, adsorpsiyon işleminde denge durumunun bir ölçüsüdür. Adsorpsiyon dengesini belirtmek için, sabit sıcaklıkta gaz fazında dengede kalan adsorplananın derişimine karşı, adsorbentin birim ağırlığına adsorplanan miktar grafiğe geçirilerek adsorpsiyon izotermi adı verilen eğriler elde edilir. Gazlar için bu derişim genellikle mol yüzdesi veya kısmi basınç olarak verilir. Genel olarak adsorbentin birim ağırlığında adsorbe olan madde miktarı artan derişimle artar. Adsorpsiyon sürecindeki doğrusal olmayan bu artış en iyi şekilde izotermiyle anlaşılabılır. Adsorpsiyon izotermi genel olarak altı ayrı sınıfta değerlendirilir. Bunlara ait örnek izotermi Şekil 2.7’de verilmiştir [1].



Şekil 2.7: Adsorpsiyon izotermi [1].

Tip I izoterm ağırlıklı olarak mikro gözenekli yapıdaki adsorbentlerde görülür. Tek tabakalı bir adsorpsiyon olduğunu gösterir, Langmuir izoterm modeli ile açıklanabilir. Çoğunlukla mikro gözenekler bağıl basınç 1’in altında iken dolar. Adsorpsiyon olayı

kısmi basınç yaklaşık 0,5 iken tamamlanmış olur. Örnek olarak 77 K'de azotun karbon üzerinde adsorpsiyonu verilebilir [1].

Genellikle çok tabakalı adsorpsiyonu gösteren ve gözenekli olmayan katılarda gözlenen adsorpsiyon ise Tip II'dir. Tek tabaka tamamlanmadan diğer tabakalar kondenzasyon şeklinde oluşmaya başlar. Tek tabaka adsorpsiyon üzerinde diğer tabakaların oluşması daha yüksek bağıl basınçlarda gözlenir. Mikro ve mezo gözenekli karbon yapılarıdaki adsorpsiyon da bu şekilde gözlenir. Tip II izotermi çoğunlukla gözeneksiz ve mikro gözenekli adsorbent karakteristiğidir [1].

Tip III'de adsorplanan moleküller arasındaki bağlayıcı kuvvet, adsorplanan moleküller ile adsorbent arasındaki kuvvetten daha büyüktür. Bağıl basınca göre elde edilen eğri dış bükeydir. Genellikle gözeneksiz veya makro gözenekli yapılarda rastlanır. Bu tip izotermiler zayıf adsorbent-adsorplanan etkileşimini gösterir. Adsorbentle adsorplanan arasındaki zayıf etkileşim düşük basınçlarda düşük adsorpsiyona yol açar. Fakat bir molekül adsorbent yüzeyine tutunduğunda, adsorpsiyon prosesinde yürütücü kuvvet rolü üstlenir ve daha yüksek bağıl basınçlarda adsorpsiyonun daha hızlı yürütmesine yol açar [1].

Tip IV izoterminde giderek artan eğim mezo gözeneklerin varlığından kaynaklanmaktadır. Kılcal yoğunlaşma ve yüksek bağıl basınçlarda sınırlı adsorpsiyon gözlenmektedir [1].

Tip V izotermelerinde bağıl basınç ekseninde gözlenen dışbükeylik, zayıf adsorbent-adsorplanan ilişkisini göstermektedir. Bu tür izotermiler katıların mikro veya mezo gözenekliliğine işaret eder. Suyun karbon üzerindeki adsorpsiyonu buna örnek olarak verilebilir [1].

Tip IV izotermelerinde kuramsal bir izoterm olarak literatürde yerini alan bu şekil, ikinci bir adsorpsiyon tabakası oluşmadan önce tam bir mono moleküler tabakanın oluştuğu varsayımına dayanır. Literatürde kriptonun karbon siyahı üzerinde 90 K de adsorpsiyonu buna örnektir. Tam homojen gözeneksiz katı yüzeylerinde gözlenir [1].

İzoterm verilerinin analizi, sonuçların temsili ve dizayn amaçları için kullanılması açısından son derece önemlidir. Adsorpsiyon izotermi; spesifik yüzey alanına, katı adsorbanın yüzey kimyasına, adsorplanan maddenin yapısına ve ortamın asitliğine bağlıdır. Adsorpsiyon işlemleri için çok sayıda izoterm türetilmiştir. Fakat literatürde en çok adı geçen izoterm; Freundlich, Langmuir, B.E.T. izotermidir [27]. Bu çalışmada adsorpsiyon işlemi için Freundlich ve Langmuir izotermi deneysel verilere uygulanmıştır.

1) Freundlich İzotermi:

1906 yılında Freundlich tarafından ortaya konan ilk adsorpsiyon izotermidir. Deneysel olarak geliştirilmiş bir denklem olup, çok tabakalı adsorpsiyon gibi heterojen yüzeyler için kullanılır. Bu durumda doygunluğa ulaşma hali söz konusu olmadığından adsorbana ait kapasiteden söz edilemez [27].

Freundlich izotermine ait bağıntı:

$$Q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2.1)$$

K_f : Freundlich sabiti

n : Freundlich sabiti

C_e (mg/L): denge derişimi

Q_e (mg/g): birim miktar adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı

2) Langmuir İzotermi:

1918 yılında Langmuir tarafından gerçekleştirilen teorik bir denge izotermidir. Adsorpsiyon yüzeyinde alıcı noktaların olduğunu ve her alıcı noktanın sadece bir molekül adsorplama yapabileceğini, dolayısıyla meydana gelen tabakanın bir molekül

kalınlığında olacağını kabul eder. Yanısıra tüm adsorpsiyon alanları adsorban moleküllerine karşı eşit çekim uygular ve absorbe olan molekül bitişik alandaki molekül ile etkileşimde olmaz. Maksimum doyma noktasında yüzey tek tabaka ile kaplanmakta ve yüzeye adsorbe olmuş adsorban miktarı sabit kalmaktadır. Bu izoterm homojen yüzeyli ve tam verimli adsorpsiyon işlemleri için uygulanmaktadır.

Langmuir izotermine ait bağıntı:

$$C_e/Q_e = (K_L / Q_0) + (C_e / Q_0) \quad (2.2)$$

C_e (mg/L): denge derişimi

Q_e (mg/g): birim miktar adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı

Q_0 : Langmuir sabiti

K_L : Langmuir sabiti [27].

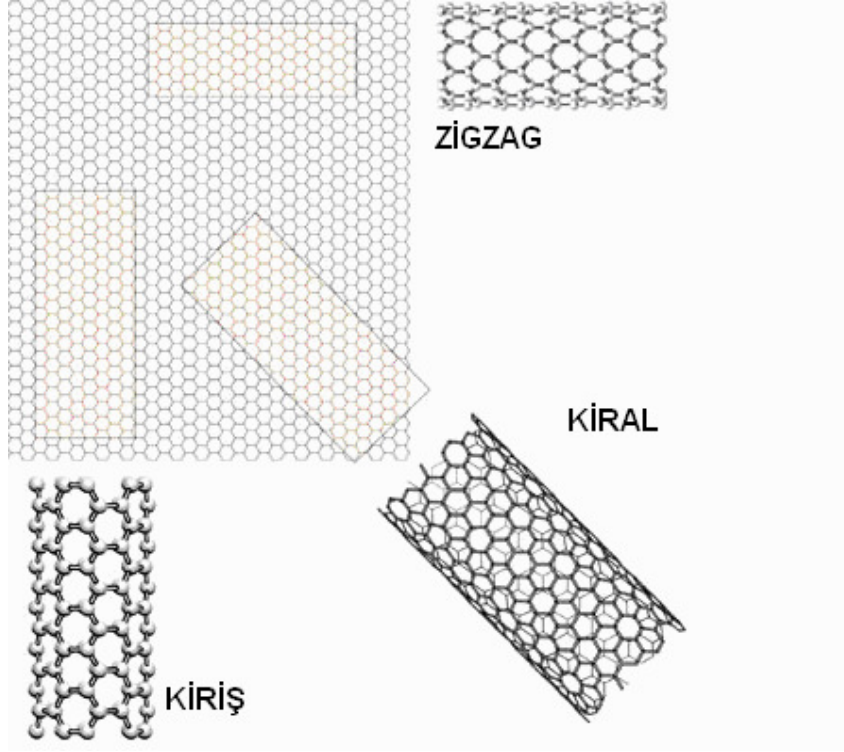
3.MALZEME VE YÖNTEM

3.1. KARBON NANOTÜPLERİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Karbon nanotüpler karbon atomlarının çapı 1mm'den küçük olan silindir şeklinde ve uzunluğu birkaç mikrondan birkaç nanometreye kadar olabilen ve sadece karbon atomlarından meydana gelen yapılardır [21].

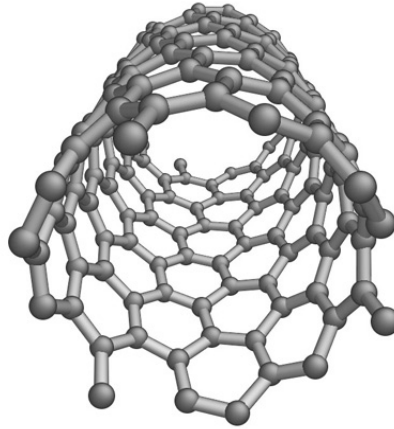
Karbon nanotüpler, bilinen en güçlü fiberlerdir.Tek bir nanotüp,birim alanda taşıtabildiği yük göz önüne alındığında, çelikten 10^{100} kat daha güçlüdür [22].

Karbon nanotüplerin yapısını anlamak için altıgen şeklindeki benzen halkalarından meydana gelen iki boyutlu bir grafit yaprağının bir eksen etrafında dönerek silindir şeklinde katlanmasını göz önünde canlandırmak yardımcı olur. Yaprığın boyutlarına ve nasıl katlandığına bağlı olarak nanotüplerin birkaç çeşidi oluşabilir [22].

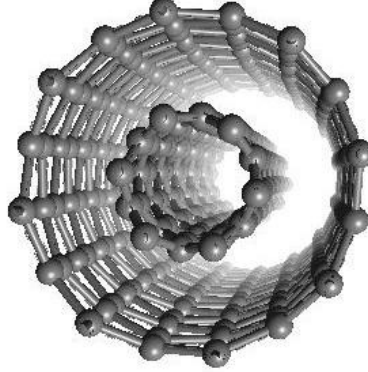


Şekil 3.1: Karbon nanotüplerin oluşum yönleri [38].

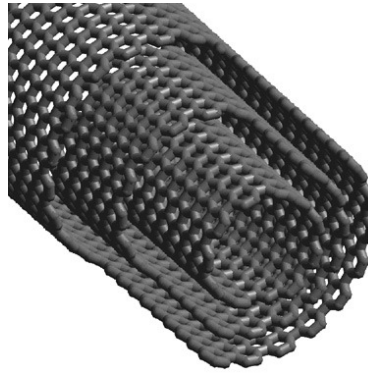
Ayrıca grafitin doğası gereği tek ve ya çok katmanlı olmasına benzer şekilde nanotüpler tek ve ya çok duvarlı olarak da sınıflandırılabilirler.



Şekil 3.2: Tek duvarlı karbon nanotüp



Şekil 3.3: Çift duvarlı karbon nanotüp



Şekil 3.4: Çok duvarlı karbon nanotüp

3.1.1. Karbon Nanotüplerin Mekanik Özellikleri

Grafen tabakasındaki karbonlar arası kimyasal bağ doğada bilinen en güçlü bağlardan olduğundan, karbon nanotüplerin çok iyi mekanik özelliklere sahip olması beklenmektedir. Dolayısıyla bileşik malzemelerin güçlendirilmesinde karbon nanotüpler önemli bir potansiyele sahiptir [23].

KNT'lerin mekanik özelliklerini belirleyen önemli parametreler, esneklik sabiti, Young modülü (Y) ve Poisson oranıdır. Bu parametreler esnek yapıdaki bozulma, germe zoru, eğilme mekanizması, bükülmeye karşı dayanıklılık gibi durumları açıklar. Nanotüplerin

Young modüllerinin ilk ölçümlerinde sabitlenmiş nanotüplerin serbest uçlarının ısısal titreşim genlikleri ile sıcaklık ilişkisi incelenmiştir. Hesaplara göre izole edilmiş TDKNT'lerin Young modülleri yaklaşık 1TPa degere sahiptir. KNT'ler çok yüksek Young modülüne sahip olmalarına rağmen, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ölçümlerine göre, kırılmaksızın düğüm halinde bükülebilmektedir. Böylece KNT'lerin esnekliği, dayanıklılığı ve geri dönüşümlü şekil değişiklikleri kapasitesi incelenmektedir. Küçük çaplı TDKNT'ler kırılmadan yaklaşık %30 uzatılabilmekte ve kırılma baskısının değeri 55 GPa olarak belirlenmiştir. TDKNT'lerde eksiklikler düzenlenerek büyük gerilmelere uyum sağlanabilir. ÇDKNT'lerle yapılan gerilme kuvveti deneylerine göre en dıştaki tabaka kırılırken iç tabakalar sıyrılarak çıkmaktadır. Bükme kuvveti etkisinde dış tabakalarda bükülme ve iç tabakalarda baskı ile ÇDKNT'ler bükülürler. Çapı 12 nm den küçük olan nanotüpler için etkin bükülme modülü yaklaşık 1 TPa değerinde belirlenmiştir. Bununla birlikte daha büyük çaplardaki ÇDKNT'ler için etkin bükülme modülü yaklaşık olarak 100 GPa değerine kadar düşmektedir [23].

Deneyler sonucunda, ÇDKNT'lerin eksenleri boyunca uzamasının zor olmasına rağmen, yanal olarak eğilmelerinin kolay olduğu ve büyük yanal şekil değişikliklerine karşı geri dönüşümlü olarak dayanabildikleri ortaya çıkmıştır. Nanotüplerin gerçek dayanıklılığının belirlenmesi; oldukça değişken ölçeklendirmeler gerektirdiğinden dolayı zahmetli bir iştir [23].

Bu kadar yüksek mekanik özelliklere karşın ağırlıkları da oldukça düşük olan karbon nanotüplerin üretimi ve saflaştırma teknikleri bu malzemeleri polimer vb. materyaller için iyi birer katkı maddesi olma ihtimalinin olduğunu göstermektedir.

3.1.2.Karbon Nanotüplerin Elektriksel Özellikleri

Bir tek grafit levhası yarımetaldir. Bunun anlamı sahip olduğu özellikleri yarıiletken ile metal arasında orta düzeyde olmasıdır. Grafit levha yuvarlanarak nanotüp oluşturulduğunda; daire çevresinde yalnızca karbon atomları sıralanmaz, aynı zamanda elektronların kuantum mekaniksel dalga fonksiyonları da uyumlu olarak düzenlenir.

Bir başka heyecan verici araştırma da transistörlerle ilgilidir. Transistörler tamamlanmış devrelerin temel yapı bloklarıdır. Gelecekte nanotüplerin devrelerde kullanılmasıyla, transistörlerin yapılıyor olması kaçınılmaz olacaktır [24].

3.1.3. Karbon Nanotüplerin Isısal Özellikleri

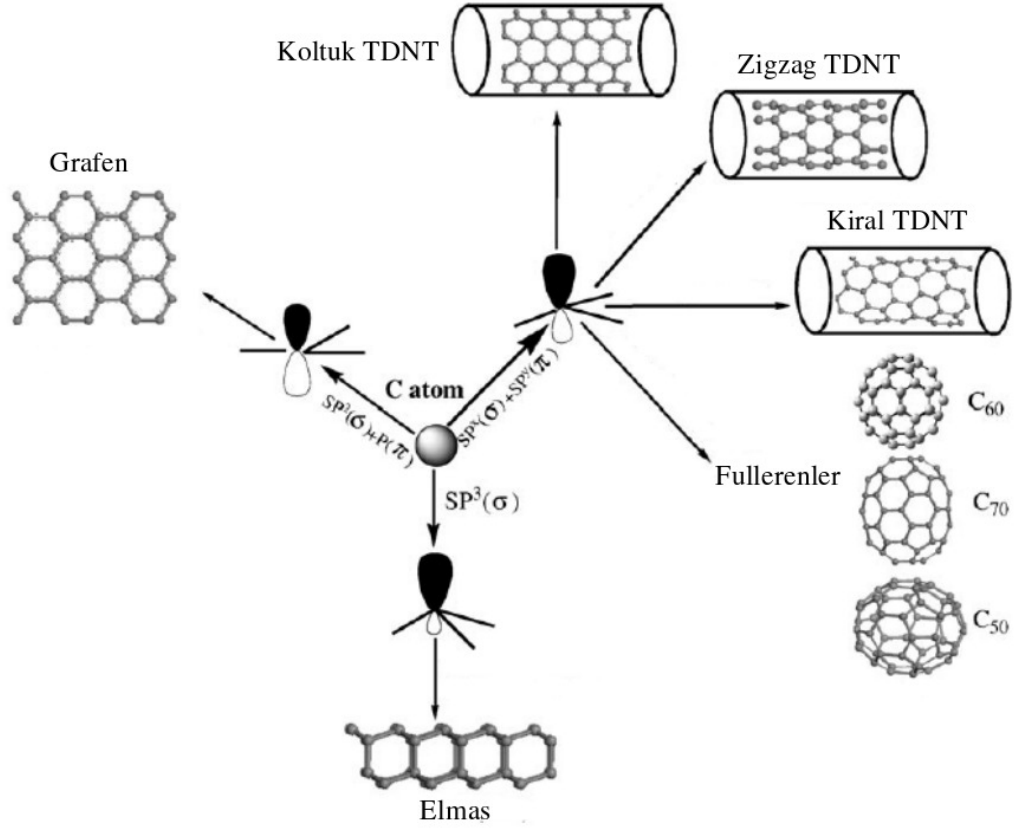
KNT'lerin özgül ısı, ısısal iletkenlik ve ısısal güç gibi ısısal özelliklerinin oldukça özel olmalarına rağmen, elektronik özellikleri veya mekanik özellikleri kadar geniş olarak incelenmemiş olmasının nedeni kısmen bu çalışmalar için gereken tekniklerin gelişmelerin ilerisinde olmasından kaynaklanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda 2 nm den küçük çaplı TDKNT'ler için fonon kuantizasyon etkisi görülebilirken, yüksek sıcaklıklarda tek bir nanotüpün özgül ısı sıcaklığa lineer bağlı olarak, iki boyutlu grafininki ile benzerdir. Nanotüplerin gerçek ısısal iletkenliklerinin ve termoelektrik güçlerinin incelenmesi ve ölçümleri tek bir nanotüp düzeyinde yapılmalıdır. Fakat bu tür ölçümler teknik olarak oldukça zor olduklarından dolayı bu alandaki çalışmalar sadece teoride görülmektedir [23].

KNT'lerin çok yüksek ısısal iletkenliğe sahip olmaları çok büyük Young modülüne sahip olmalarıyla ilişkilidir. Tek başına 14 nm çaplı ÇDKNT'ün ısısal iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değerlerinin ölçümleri sonucu düzlem grafin ile karşılaştırılabilen 3000 W/mK den büyük değerler ortaya çıkar. Küçük çaplı tüplerin ise grafinden daha büyük ısısal iletkenliğe sahip olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ısısal iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değerlerinin çizimlerinde, düşük sıcaklıkta 14 nm çaplı ÇDKNT'lerin iki boyutlu sistemler gibi davrandığı görülür. [23].

3.1.4. Karbon Nanotüplerin Kimyasal ve Kolloidal Davranışı

KNT kimyası, uygulamada olağanüstü önem arz etse de halen tam olarak anlaşılammıştır. Aslında bu durumun nanotüplerin ilk keşfedildikleri günden itibaren bir molekülden çok bir malzeme olarak görülmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Sebebi ne olursa ne olsun, nanotüplerin elektronik uygulamalarında bile kimyasal davranışlarının denetlenebilecek kadar öğrenilmiş olması gerektiği düşünülürse, bu alanda çok daha ciddi çalışmaların gerektiği açıktır [10-23].



Şekil 3.5: Karbonun allotropları [10].

Karbon malzemelerin kimyası, saf elementli diğer malzemelere nazaran olağanüstü çarpıcı davranışlara sahne olmaktadır. Grafit, elmas, fullerenler, KNT'ler ve lonsdaleit gibi farklı allotroplar ile camsı yapılar içeren karbon lifleri, karbon siyahı ve camsı karbon gibi malzemeler birbirlerinden tümüyle farklı davranışlardır. Yalın hali ile ideal TDKNT'ler, düz grafenden, eğrilikleri sebebi ile daha reaktif olmakla beraber inerttir. Nanotüplerin reaktifliği π - orbitallerinin yönlenmesi ve kimyasal bağların geometrik piramitleşmesi ile belirlenir. TDKNT'lerdeki kimyasal bağların bir kısmı, tüp eksenine ne paralel ne de diktir. Bu sebeple π - orbitalleri düzgün yönlenebilir. π - orbitallerinde gözlenen bu olgu reaktifliği belirleyen temel etmen olmakla beraber bağ piramitleşmesinin de katkısı vardır. Ancak belirtmek gerekir ki piramitleşme kuramı tek başına TDNT'lerin kimyasal davranışını açıklamaktan çok uzaktadır. Buna karşın

"bağ-eğriselliği" yaklaşımı KNT'lerin reaktifliklerini açıklamada çok başarılıdır [10-23].

Kimyasal açıdan bakıldığında bir KNT iki kısımdan oluşur: uç ve gövde duvarları. Uçlar, beş-halkalı yapılarla ve yüksek eğrisellikli geometirisi ile fullerenlere benzerler ve daha yüksek reaktiflik gösterir. Gövde duvarları ise daha inerttir. Bununla birlikte pratikte nanotüpler duvarlarında ciddi oranlarda kristal kusuru barındırabilir. Sıradan bir numunede, KNT'deki karbon atomlarının %1-3'ü kusurlu yerlerde-dir. Gövde duvarlarındaki kusurlar Stone-Wales yapıları, sp³ hibritleşmeleri ve örgü yapısında boşluklar biçiminde olabilir. Bu tür kusurlar kimyasal olarak bilinçlice de oluşturulabilir [10-23].

TDKNT'lerin birçok uygulamasında kimyasal modifikasyon gereklidir. Kompozitlerde dispers etme ve matriksle bağlanma; sensör uygulamalarında ortamdaki türleri tespit edecek türleri yüzeylere tutturma; gaz depolama ve lityum katkılama çalışmalarında duvarlarda delikler açma vb. amaçlarla kimyasal modifikasyon zorunludur. Bu bakımdan düşünülünce TDKNT duvarlarına yan grupların denetimli ve sistematik biçimde bağlanması başarılı olabilirse bunun birçok uygulamanın önünü açabileceği açıktır. İşlevsellendirme kovalent ya da kovalent-olmayan yollarla gerçekleştirilebilir. Kovalent-olmayan işlevsellendirmenin ana üstünlüklerinden biri TDKNT'nin elektronik yapısına zarar vermemesidir. Kovalent-olmayan işlevsellendirmeye örnek olarak TDKNT'leri çizgisel polimerlerle sararak suda çözünür hale getirme verilebilir. Polimerlerle sarmanın yanında, özel biyolojik moleküllerin TDKNT yüzeylerine adsorplanması sağlanarak da işlevsellendirme yapılmıştır. Kovalent işlevsellendirme, bu tür modifikasyon yaklaşımlarına nazaran TDKNT özellikleri ve yapısının ayarlanmasında müthiş bir esneklik sağlar. TDKNT'ler çok yüksek oranlarda işlevsellendirilebilse de yan duvarlara gerçekleşen kovalent bağlanma elektronik yapıyı bozar. Bu tür kovalent bağlanmalarla TDKNT'lerin burkulma dayanımının %15'e kadar düşeceği tahmin edilmiştir. Benzer biçimde, sadece %1 oranında fenil grubu bağlı TDKNT'lerin ısı iletkenlik katsayısı üçte birine ineceği hesaplanmıştır. Kesilerek kısaltılmış KNT'lerin uçlarına uzun zincirli hidrokarbonlar bağlanarak organik çözücülerde çözünürlük sağlanabilir. Suda çözünürlüğü artırmak için de farklı kimyasal gruplar bağlanabilir. TDKNT'lerde yüzey alanı 3000 m²/g değerine kadar çıkar. Ayrıca

karbon esaslı malzemelerin katalizör destek malzemesi olarak, asit/bazlara olan dayanımları, yüzey kimyası ve özelliklerinin denetlenebilirliği, geri dönüşümlerinin basitçe yakma ile sağlanabilmesi gibi üstünlükleri bilinmektedir. Bu bakımdan nanotüplerin katalizör destek malzemesi olarak kullanılmasının yolları aranmıştır. Destek malzemesi uygulamalarında TDKNT'lerin metal koordinasyon bileşiklerine karşı olan reaktifliği büyük önem taşır. KNT ucu ve kusurlu noktalarındaki oksijenli işlevsel gruplarla yapılacak metal koordinasyon etkileşimleri, bu noktalardan nanotüpe metal kümecikleri ve nanotanecikleri tutturabilme olanağı sağlar. Genel olarak da bakıldığında, KNT esaslı katalizör destek malzemeleri, aktif karbona göre, işlevini kaybetmeden uzun ömürlü çalışma, mezogözenekli yapı ve metalle kendine has etkileşimleri gibi üstünlükler göstermektedir [10-23].

KNT'lerdeki tüm atomlar aslen yüzey atomu olduğundan nanotüpler kimyasal sensör yapımı için muhteşem adaylardır. KNT'lerden yapılmış gaz sensörleri, oda sıcaklığında bile yüksek duyarlılık gösterilen ticari olarak mevcut geleneksel yarıiletken sensörler ancak 200°C üstünde çalışır. KNT sensörler, kendisine adsorplanan molekülün iletkenliğinde yol açtığı değişimin tespit edilmesi esasına göre işler. Ancak izlenen molekül eğer nanotüp yüzeyine çok zayıf biçimde adsorplanıyorsa KNT'ler uygun biçimde modifiye edilmelidir. KNT'ler, yüksek elektron aktarım hızları ile, çözelti ortamlarında çalışacak amfoterik-elektrokimyasal sensörler ve özellikle biyosensörler için çok uygundur. Kimyasal kuvvet mikroskopisinde AFM ucu özel kimyasal işlevsel gruplarla modifiye edilir. Böylece incelenen yüzeyin kimyasal özelliklerine bağlı bir görüntü elde edilebilir. Görüntü sinyali, uç ile numune arasındaki yapışma etkilerinden oluşur. Geleneksel silisyum ve silisyum nitrür uçlarla çalışılan kimyasal kuvvet mikroskopisinde hayli yol kat edilmiş ise de bu uçların eğrilik yarıçaplarının yüksek olması ve teşhisi sağlayacak işlevsel grubun uç üzerinde bağlanacağı noktanın denetimli olmaması pratikte ciddi sınırlamalar getirmektedir. Ancak KNT uçlar kullanarak bu sorunlar aşılabılır. Nanotüp uçların eğrilik yarıçapı çok küçük olup işlevsel grubun uca bağlanacağı yer neredeyse tümüyle bellidir. Bu tür TDNT uçları ile nanometre-altı çözünürlükte kimyasal yüzey analizi yapılabilir [10-23].

KNT'lerin yüksek yüzey alanları ve düşük dirençleri elektrokimya alanında muazzam bir ilgiye yol açmıştır. KNT'lerin yakıt hücrelerinde metal desteği olarak kullanılan geleneksel karbon siyahının yerini alabileceği belirtilmiştir. Yanı sıra, KNT'ler birim ağırlık başına en yüksek iletkenlik değerine sahip olmaları ve yüksek yüzey alanları ile süperkapasitörler için ideal bir elektrot malzemesidir. Amorf karbon elektrotlarla kıyaslayınca KNT'ler, yüksek iletkenlik, yapısal dayanım ve bağlayıcı gerektirmeden film hazırlayabilme gibi üstünlükler göstermektedir [10-23].

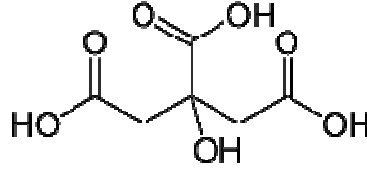
Tablo 3.1: Karbon nanotüplerin uygulama alanları

Uygulama	Kimyasal modifikasyonun işlevi
Nanoelektronikler	Elektronik bant yapısının lokal modifikasyonu
(Biyo-)kimyasal sensörler	Analit moleküllerinin seçimli tespiti
Katalizör destek malzemeleri	Moleküllerin veya metal nanotaneçiklerin tutturulması
Kompozit malzemeler	Matrisle bağlanma
Kimyasal kuvvet mikroskopisi	Yüzeylerle kimyasal açıdan seçimli etkileşim
Alan emisyonu	Tüp uçlarındaki iş fonksiyonunun düşürülmesi
Nanofiltrasyon	Moleküllerin veya iyonların sterik engellerle seçimli geçişi
Yapay kaslar	Çapraz bağlanma ile nanotüp filmlerin kararlılıklarını artırmak
Denetimli ilaç salımı	Biyouyumluluk, hedef moleküllerin tespiti
Farmakoloji	Enzim inhibisyonu, hücre zarındaki iyon kanallarının bloke edilmesi
Hücre büyümesi	Hücre yüzeyleri ile özel etkileşimler

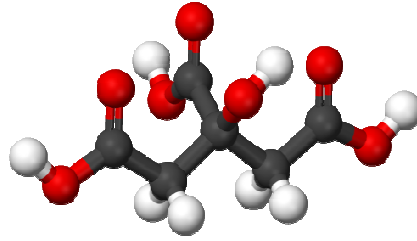
3.2.SİTRİK ASİT

Sitrik asit, bitkilerin ve hayvanların doğal metaboliti olan bir trikarboksilik asittir. Gıda, ilaç, kozmetik, deterjan ve tekstil gibi endüstri dallarında önemli kullanım alanına sahip olan sitrik aside talep gün geçtikçe artmaktadır. Sitrik asit ilk olarak 1784 yılında limon suyundan kristallendirilerek elde edilmiştir. İlk olarak 1917 yılında Currie tarafından *Aspergillus niger* mikroorganizması ile biyokimyasal üretimi gerçekleştirilmiştir [26-27].

Sitrik asit fermentasyon prosesinde, yüzey kültürü, daldırılmış kültür ve katı hal kültürü olmak üzere üç temel fermentasyon tekniği vardır. Ticari olarak sitrik asit üretimi 1923 yılında *A.niger* mikroorganizmasının kullanıldığı katı hal fermentasyonuyla başlamış daha sonra yerini daldırılmış prosesle üretimi almıştır [26-27].



Şekil 3.6: Sitrik asidin yapısal formülü [40].



Şekil 3.7: Sitrik asidin üç boyutlu molekül formülü [40].

3.2.1.Sitrik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Sitrik asit (2-hidroksi-1,2,3 propanatri karboksilik asit), bitki ve hayvanların bilinen metabolitleri olan doğal bir bileşiktir. Sitrik asit gıda, içecek ve ilaç sanayinde geniş olarak kullanılan çok yönlü bir bileşiktir. Sitrik asit, susuz, sıcak çözeltilisinden elde

edilen kristalleri yarı şeffaf, renksiz ve ya beyaz kristal tozları halindedir. Sitrik asit nemli havada eriyebilir. Bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.2.'de verilmiştir [26-27].

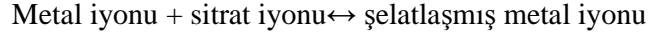
Sitrik asidin sulu çözeltileri değerli tampon çözeltilerdir. Çünkü sitrik asit zayıf asit olması ve üç karboksilik grubunun olmasından dolayı üç pK'ya sahiptir. Bunlar 20°C'da pK1=3.14, pK2=4.77 ve pK3=6.39'dur. Sitrat çözeltilisinin tampon aralığı 2,5 ile 6.5 arasındadır. Tampon çözeltisi olarak sitrik asit ve sodyum sitrat kullanılır [26-27].

Tablo 3.2. Sitrik asidin bazı fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Molekül formülü	C ₆ H ₈ O ₇
Molekül ağırlığı	192.13
Gram eşdeğer ağırlığı	64.04
Erime noktası, °C	153
Isıl bozunma sıcaklığı, °C	175
Yoğunluğu, g / mL	1.665

Sitrik asit 175 °C'nin üzerine ısıtılırsa akonik asit, sitrakonik asit, itakonik asit, aseton dikarboksilik asit, karbondioksit ve suya parçalanır. Sitrik asit, peroksitler, hipoklorit, persulfat, permanganat, periyodat, hipobromit, kromat, mangan dioksit ve nitrik asit gibi okside edici farklı maddelerin varlığında kolaylıkla okside olabilir. Sitrik asidin hidrojenasyona uğramasıyla 1,2,3-propanetri karboksilik asit oluşur. Sitrik asit, alkaliler, amonyak ve aminler gibi kationlarla mono-di ve tribasik tuzları oluşur. Uygun bir baz kullanılarak sitrik asidin sudaki çözeltisiyle direkt nötralleşme tepkimesiyle tuzları elde edilebilir. Trisodyum sitrat, sitrik asidin diğer tuzlarına göre, geniş olarak kullanılan tuzudur. Nötralleşme reaksiyonu oldukça yüksek ekzotermik bir reaksiyondur (1109 J/g sitrik asit). Sitrik asit, çok değerlikli metal iyonları ile şelatları oluşturacak pek çok kompleksler verirler. Bu önemli özelliğinden dolayı, sitrik asit veya sitratlar

metal bulaşmasının kontrolünde kullanılır. Metal iyonu normalde renkli olup, sitrat varlığında ise, renksiz veya çok az renklidir. Farklı pH koşullarında metal hidroksitler çökebilir, sitrat kompleksi çözünebilir. Metal iyonları varlığında, organik moleküller katalitik olarak bozunabilir; sitrik asit ile metal iyonları şelat oluşturarak kararlı kalabilir. Şelat bir denge reaksiyonudur. Daima, şelat iyonlarıyla birlikte serbest halde metal iyonları da bulunabilir.



Sitrik asidin sulu çözeltisi karbon çeliklerine orta derecede korozif etki gösterir. Genellikle, cam, fiberglas polietilen, polipropilen, polivinil klorür ve çapraz bağlı vinil klorür gibi plastikler sitrik asitle korozyona uğramazlar. Sitrik asit, bitki ve hayvan dokularında geniş olarak bulunur. Sitrik asit bütün organizmalarda, Krebs çevrimiyle oluşur. Trikarboksilik asit çevrimi veya sitrik asit çevrimi, karbonhidratların, yağların veya proteinlerin suya dönüşümünü içerir. Bu çevrim, organizmanın büyümesi, hareket etmesi, kemosentezi ve yenilenmesi için, gerekli enerjiyi sağlar. Aynı zamanda bu çevrim hücre sentezindeki amino asit ve yağlar gibi karbon içeren maddelerin sentezini de sağlar. Birçok maya, mantar ve bakteri türü sitrik asit çevrimini içerir. Sitrik asit üretim prosesinde bunlardan maksimum ürün verecek türleri seçilir. Bu temele dayanarak, günümüzde sitrik asit üretmek için, ticari fermantasyon prosesleri geliştirilmektedir [26-27].

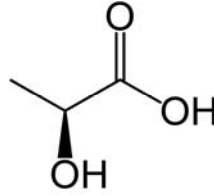
3.2.2.Sitrik Asidin Kullanım Alanları

Sitrik asidin farklı gıda alanlarında ve endüstriyel uygulamalarda kullanımı çok fazladır. pH ayarlamak için, basit bir asit olarak; pH ' ı korumak ve kontrol etmek için, bir tampon olarak; çok değerlikli metal iyonları ile kararlı bir kompleks yapı verecek şelatör olarak; emülsiyonları ve diğer çok fazlı sistemleri kararlı kılmak için dağıtıcı madde (dispersing agent) olarak; ayrıca, gıdalarda ve içecek ürünlerinde tat verici olarak kullanılır [26-27].

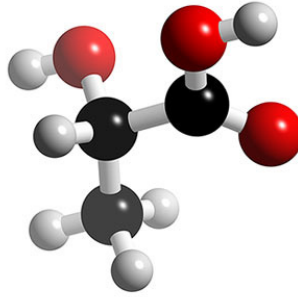
Sitrik asit, sodyum sitrat ve potasyum sitrat karbonatlı ve karbonatsız içeceklerde geniş olarak kullanılır. Meyve suyu, düşük kalorili içecekler ve susuzluk giderici içeceklerde, tek başına ve / veya sitrat tuzlarıyla birlikte tat verici ve antimikrobiyal korumayı arttırmak amacıyla kullanılır [26-27].

3.3.LAKTİK ASİT

Laez 1780 yılında İsveçli kimyager Scheele tarafından bulunan, ekşi tatta, kokusuz, zayıf bir organik asittir. Su, alkol ve eterle kolayca karışabilen, kloroformda çözünmeyen laktik asit, asimetrik karbon atomuna sahip en basit hidroksi asittir ve D (-) ve L (+) olmak üzere iki tane optik izomeri vardır. Bu iki izomer arasında kimyasal ve fiziksel özellikler açısından bir fark yoktur ancak L (+) - laktik asit vucutta metabolize edilebilirken, D(-) - laktik asit edilemez [28-27].



Şekil 3.8: Laktik asidin yapısal formülü [41].



Şekil 3.9: Laktik asidin üç boyutlu molekül formülü [41].

Laktik asit ve tuzları eczacılık, kimya, plastik, tekstil ve gıda alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle gıda sanayinde kokusuz olması, hafif ekşilik olması ve kullanıldığı gıdaların lezzetini değiştirmemesi nedeniyle asitliği düzenleyici ve koruyucu olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemizde de domates konservesi, margarinler, et ürünleri, reçel, jöle ve marmelatlar, şekerlemeler, turşu ve zeytin salamuraları, deniz ürünleri ve bira sanayinde kullanılmaktadır [28-27].

Her insanın vücudunda oluşan doğal bir organik birleşik olan laktik asit, kas, kan ve vücudun değişik organlarında bulunur. Laktat ile aynı anlamda kullanılır. Laktat; laktik asidin anyonudur. Sodyum (Na) – Potasyum (K) tuzları vardır. Temel kaynağı glikojen olarak adlandırılan karbonhidratın, yıkımı sonucu oluşan bir yan üründür. Anaerobik koşullarda pirüvat üretildiği zaman kas hücresi onu aerobik olarak enerji üretimine katmayı dener. Şayet kas hücresi üretilen tüm pirüvatı kullanma kapasitesine (aerobik olarak) sahip değilse, pirüvat, laktada dönüşür [28-27].

Laktik asit türevleri ve poli-laktik asit endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Laktik asit uzun yıllardan beri kimyasal yolla veya fermantasyonla üretilmektedir. Ancak düşük maliyetli üretim ve saflaştırma yöntemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Pahalı olmayan karbonhidrat kaynakları kullanmak, yüksek verimlilik ve daha uygun laktik asit üretimini sağlayacaktır. Fermantasyon için en yüksek verimlilik 37 °C te ve pH = 5,5 de elde edilmiştir [28-27].

3.3.1. Laktik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Laktik asitin (2-hidroksipropanoik asit) saf ve susuz formu beyaz kristal yapıdadır ve erime noktası düşüktür. Ancak saf haldeki asiti elde etmekteki güçlükler nedeniyle konsantrasyonlu sıvı çözelti veya şurup halinde bulunur. İyi kalitede çözeltiler renksiz ve kokusuzdur. Laktik asit; su, alkol ve eterle karışan, kloroform ile karışmayan renksiz, kokusuz, higroskopik, asidik, ekşimsi bir sıvıdır. $C_3H_6O_3$ kapalı formülüne sahip, molekül ağırlığı 90,08 g/mol dür [28-27]. Hemen hemen her oranda su ile karışabilen laktik asit, konsantrasyonu %20 ve daha fazla olan çözeltilerde içerdiği hidroksil ve karboksil fonksiyonel grupları nedeniyle ısının da etkisiyle kendi kendine esterifikasyon sonucunda $H(OCH(CH_3)CO)_n$ OH genel formülü ile gösterilebilen siklik dimerler(laktit) veya lineer polimerle (laktoillaktik asit) oluşur. Laktik asit molekülünde -COOH, -H, -OH ve -CH₃ olmak üzere 4 değişik grup taşıyan bir karbon atomu vardır. Bu gruplar asimetrik karbon atomunun etrafında iki değişik durumda yer alırlar. Eğer üç boyutlu sistemde karboksil grubunun yukarıya baktığı kabul edilirse, hidroksil grubu ya

sola (L(+)-laktik asit), ya da sağa bakar (D(-)-laktik asit). Biri birinin optik izomeri olan bu yapılardan L(+)-laktik asit polarize ışığı sağa dondururken, D(-)-laktik asit sola dondurur ve bu iki optik izomer arasında fiziksel ve kimyasal özellikler açısından önemli farklılıklar yoktur. Laktik asitin değişik basınçlardaki kaynama noktası değerleri incelendiğinde uçucu olmayan bir asit olduğu söylenebilir, yoğunluğu ise konsantrasyon ve sıcaklıkla hemen hemen lineer olarak artar. Laktik asit çözeltilerinin viskoziteleri ise konsantrasyonla doğru, sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir [29].

Tablo 3.3: Laktik asidin bazı fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Molekül formülü	$C_3H_6O_3$
Molekül ağırlığı	90.08 g/mol
Erime noktası	D: 53°C L: 53°C D/L: 16.8°C
Kaynama noktası	82°C (0.5 mmHg için) 122°C (12 mmHg için)
Asitlik (pK_a)	3.86
Yoğunluk	1.21 g/cm ³ (20°C)
pH değerı	≈2.8 (10 g/l, H ₂ O, 20°C)
Buhar basıncı	0.1 hPa (25°C)

3.3.2.Laktik Asidin Kullanım Alanları

Laktik asit iyi çözücü özelliklerine sahip zayıf bir asittir. Kolaylıkla polimerleşebilir. Bu özellikleri nedeniyle geniş bir kullanım alanı vardır. Besin maddelerinin korunması amacıyla asitlik sağlar. Laktik asit, asitlendirici, tat verici, pH tampon reaktifi ve bakteriyel bozunmalarda inhibitör olarak proses adımlarında kullanılır.

Laktik asit ($C_3H_6O_3$) ve tuzları (potasyum, kalsiyum, amonyum, magnezyum) gıdalarda ilk olarak kullanılan asitliği düzenleyicilerdir. Diğer asitlerden farklı olarak daha viskoz ve uçucu olmayan bir sıvı olan laktik asidin, diğer asitliği düzenleyicilere kıyasla gıdalarda koruyucu özelliğinin yüksek olduğu bilinmektedir ve diğer yemek asitlerine göre hafif bir asidik tadı vardır.

Laktik asit fermente ve salamura gıdalarda, mikroorganizma gelişimini önlemek amacıyla kullanılmaktadır. En geniş kullanım alanının ise peynir olduğu bilinmektedir. Laktik asit; peynirlerde, diğer süt ürünlerinde, bira ve şarapta pH ayarlayıcı olarak kullanılmaktadır.

Polilaktik asitler, çeşitli reçinelerin üretiminde kullanılır. Fenol formaldehit reçineleri üretiminde bitirme ajanı olarak kullanılmakta olup, ayrıca yapıştırıcı formülasyonlarında da yer almaktadır.

Teknik süt asidi, dericilikte deriyi kabartmak ve kirecini uzaklaştırma gayesi ile kullanılabilirdiği gibi, ayrıca tuzları da boyacılıkta kullanılır. Arıtılmış süt asidi, şarap asidi ve limon asidi yerine şurup ve gazoz yapılmasında kullanılmaktadır.

Laktik asit, çoğu eczacılık ve kozmetik uygulamalarda kullanılmaktadır. Eczacılıkta, damla ve şurup şeklinde kullanılır. Çocuklardaki yeşil ishale karşı kullanılır. Ayrıca antibiyotik tedavisinden sonra, bağırsak florasını düzeltmek için kullanılır. Bunun yanısıra merhem formülasyonlarında, losyonlarda, akne önleyici çözeltilerde ve diyaliz uygulamalarında da kullanılmaktadır. Kalsiyum yetersizliği tedavilerinde kalsiyum laktat olarak kullanılır.

Laktik asidin polimerleri biyolojik parçalanabilme özelliği olan termoplastiklerdir. Biyolojik olarak bozunabilme terimi, bir polimerin biyolojik reaksiyon sonucu karbon

dioksit, metan, su ve biyolojik kütleyle indirgenebilmesi anlamına gelir [20]. Bu polimerler şeffaftır. Özellikleri bakımından petrol türevi olan plastıklere yaklaşıır.

Laktik asidin etil/butil laktat gibi esterleri yeşil dostu çözücüler olarak adlandırılırlar. Bunlar yüksek sıcaklıkta kaynayan, zehirli olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen komponentlerdir [27].

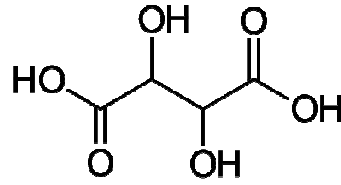
Laktik asidin esterleri; fırında pişirilen yiyeceklerde emülsifiye edici olarak kullanılırlar (stearoil-2-laktat, gliseril laktostearat, gliseril laktopalmitik). Kalsiyum laktat, pasta yapımında kabartma tozu olarak, bakır laktat ise elektro kaplama işlemlerinde geniş olarak kullanılmaktadır [27].

Laktik asit çeşitli ticari ölçülerde satılır ve en iyi derecede olanlar iyi saflaştırılmış substratların kullanıldığı fermentasyon sıvılarından elde edilir. Ticari ölçülerden biri 'ham' ya da 'teknik' laktik asittir. Bu renkli bir ürün olup laktik asidin sudaki %22, 44, 50, 66 ve 80 gibi çeşitli konsantrasyonlarında hazırlanan çözeltilisidir. Bu laktik asitte fermentasyon ortamından gelen kirlilikler bulunur ve saf ürünün gerekli olmadığı birçok sanai alanlarda kullanılır. Bunlardan biri derilerde kirecin giderilmesidir [27].

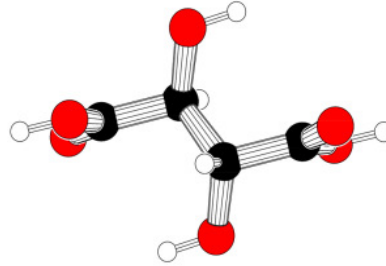
3.4.TARTARİK ASİT

Tartarik asit, kristal yapılı, suda çözünebilen,2,3-dihidroxybutanedioic acid, 2,3-dihydroxysuccinic acid isimleriyle bilinen, dikarboksilli asittir. Süksinik asidin iki hidroksilli bir türevidir [30].

Tartarik asit ilk olarak c.800 de Farslı simyacı Cabir bin Hayyan tarafından potasyum tartarat yani bilinen diğer adıyla tartardan ayrıştırıldı. Modern süreç ise 1769 yılında İsveçli kimyacı Carl Wilhem Scheele tarafından sentezlenmiştir [30].



Şekil 3.10: Tartarik asidin yapısal formülü [32].



Şekil 3.11: Tartarik asidin üç boyutlu molekül formülü [32].

Tartarik asit “üzüm asidi” olarak bilinmektedir. Çünkü doğada tartarik asite üzümden başka bir meyvede pek rastlanmaz. Tartarik asit, şarapta bulunan organik asitlerin %90'ını oluşturmaktadır. Şarabın asiditesini belirleyen ve şarabın pH'sının 3.0-3.5 arasında olmasını sağlayan temel asittir. Tartarik asit; şarapta potasyum tartarat veya dipotasyum tartarat formunda da bulunabilir. Şaraptaki tartarik asit miktarı 1.5 g/L–3.0 g/L arasında değişebilir. Şarapta yeterli miktarda tartarik asit bulunması, şarabın tat ve aromasını geliştirir. Aynı zamanda; şarap asiditesinin oluşmasında ve şarabın kararlılığının sağlanmasında da büyük öneme sahiptir [30].

3.4.1. Tartarik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Tartarik asit ticari adı ile bilinen asit, 2-3-dihidroksisüsenik asidin dekstro şekli olup, kapalı formülü $C_4H_6O_6$ ve molekül ağırlığı 150,087 g'dır. Tartarik asidin önemli türevleri , Rochelle tuzu(potasyum sodyum tartarat, hafif müşhil), tartar kusturucu (antimon potasyum tartarat) ve tartardır (potasyum bitartarat) [31].

Dekstro-tartarik asit, sulu çözeltilerden $5^\circ C$ 'nin üzerinde kristallendiğinde, anhidride kristaller şeklinde elde edilir, $5^\circ C$ 'nin altında kristallendiğinde ise monohidrat şeklinde

kristallenir, oda sıcaklığında ise kararsız hale geçer. Anhidride kristalleri monoklinik sisteme ait olup 169-170 °C’de erirler. Özgül ağırlıkları 20°C’de 1,76’dır. Sulu bir çözeltinin optik çevrimi konsantrasyonuna bağlı olarak değişir [31].

Tablo 3.4: Tartarik asidin bazı fiziksel özellikleri

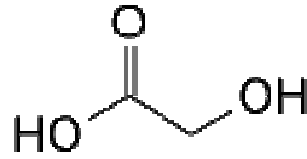
Özellik	Değer
Molekül Formülü	C ₄ H ₆ O ₆
Molekül Ağırlığı	150,087
Erime noktası, °C	170
Yoğunluğu, g/mL	1,76
Sudaki Çözünürlüğü, g/100 mL,20°C’de	133

3.4.2.Tartarik Asidin Kullanım Alanları

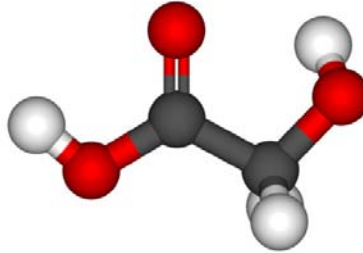
Başta gıda sanayi olmak üzere çeşitli sanayi dallarında kullanılan bu asit, şarabın mayalanması esnasında potasyum bitartarat ve potasyumun yan ürünü olarak elde edilir. Tartarik asit, sitrik asit gibi karbonatlı içeceklerin hazırlanmasında da kullanım alanı bulmaktadır. Günümüzde kullanılan Purgy ve Purgazeuse ilaçlarının temel etken maddesidir. Tartarik asit çoğunlukla gazozlarda, jelatinli tatlılarda, metallerin temizlenmesinde ve cilalanmasında, yün boyama işlemlerinde kullanılır. Antimon potasyum tartaratları da böcek ilacı ve mordan olarak kullanıldığı görülmektedir. Tartarik asidin ve alkalituzlarının kompleksleşme kabiliyeti elektro kaplama proseslerinde avantaj sağlar. Örneğin; bakırsiyaniür Rochelle tuz banyolarından kaplanması işleminde kullanılır. [31-32].

3.5.GLİKOLİK ASİT

Glikolik asit veya sistematik adıyla hidroksi asetik asit, hidroksi karboksilik asitler sınıfının ilk ve en basit üyesidir. Renksiz ve kokusuz olan glikolik asit 1848'de Stecker tarafından glisin ve nitroz asidinden sentezlenmiş ve 1854'de Sokolov ve Stecker tarafından karakterize edilmiştir. Glikolik asitin en büyük kullanım alanları tekstil ve deri sanayi, metal temizleme ve parlatma endüstrileridir.



Şekil 3.12: Glikolik asidin yapısal formülü [42].



Şekil 3.13: Glikolik asidin üç boyutlu molekül formülü [42].

3.5.1.Glikolik Asidin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Saf glikolik asidin erime noktası 79 - 80 °C'dir. Yanma ısısı 2191 cal / gram, çözünme ısısı 36.8 cal / gram'dır. Soğuk sudan hidrasyon olmadan monoklinik kristalleri elde edilebilir. Uçucu bir madde olmadığından buharları zararlı olmamasına rağmen glikolik asit son derece korrozif bir maddedir. Glikolik asitin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.5' te sunulmuştur [2].

Tablo 3.5: Glikolik asidin bazı fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Molekül Formülü	C ₂ H ₄ O ₃
Molekül Ağırlığı	76,05
Asitlik (pK _a)	3,83
Kristal Sistemi	Monoklinik
Erime Noktası °C	80
Kırılma İndisi 20 °C	1,2417
(%70'lik sulu çözelti)	
Yanma Isısı (20 °C'de)	2191
cal/g	
Viskozite (25°C'de %50'lik çözeltisi) cP	6,5

3.5.2. Glikolik Asidin Kullanım Alanları

Glikolik asitin en önemli kullanım alanı tekstil boyamacılığıdır. Yün elyafına boyama sırasında çok az zarar verdiğinden yün boyamasında kullanılan oldukça ekonomik ve başarılı bir yardımcı maddedir. Asit boyar maddelerin naylona uygulanmasında geniş bir şekilde kullanılır. Bazı termoset reçinelerin fabrikasyonunda boyutsal stabiliteyi arttırmak için kolloidal çözeltileri halinde, metal endüstrisinde metali parlatmak ve boya tutunmasını sağlamak için önemli miktarlarda glikolik asit kullanılır. Diğer hidroksi karboksilik asitlerde olduğu gibi glikolik asit de bakır oksit ile kompleks oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu özellik bakırın tel haline çekilmeden önce sıcak glikolik asit çözeltisine daldırılarak parlatılmasında kullanılır. Glikolik asit, çeşitli makinelerin, ısı değiştiricilerin temizlenmesinde de kullanılmaktadır. Glikolik asitin bir türevi olan diglikolik asit, reçinelerin üretiminde ve organik sentezlerde plastikleştirici olarak kullanılır [2].

3.6. KADMİYUM

Kadmiyum yer kabuğunda oldukça ender rastlanan, beyaz, parlak ve oldukça yumuşak bir metaldir [33]. Hemen her zaman öteki elementlerin filizleriyle bir arada bulunur. Kadmiyumun tarihçesi, eskilerin bakırla alaşım yapmada kullandıkları çinkonunla yakından bağlantılıdır. Bununla birlikte çinko kullanılmadan önce filizlerden hiç ayrılmazdı. Böylece, kadmiyum dâhil, tüm katışıklar işlenmiş ürünün kapsamına girmiş olurdu. Geçmişin bu garipliği, kadmiyumun kimyasının binlerce yıl saklı kalmasına yol açmıştır. 1817 yılında Alman kimyager-mineralog Friedrich Strohmeyer, çinko karbonatla bazı gözlemler yaptı. Demire özgü bir kimyasal tepkimede karbonat, sarı bir madde oluşturdu. Ancak, yapılan incelemeler buna yol açan şeyin ne demir, ne de çinko olduğunu gösteriyordu. Gerçekte Strohmeyer, tepkimeleri bazı durumlarda demire benzeyen yeni bir element bulmuştu. Buluşunu çinko karbonatla yapılan çalışma sonucu gerçekleştirdiğinden, eski Yunancada kalaminin (çinko karbonat) karşılığı olan kadmeia'dan esinlenerek kadmiyum adını vermiştir [34].

3.6.1. Kadmiyumun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kadmiyum atom ağırlığı 112,4 g/mol erime noktası 320,9°C, kaynama noktası ise 767 °C'dir. Kaynama noktasının düşük olması nedeniyle kolayca uçabilir. Cd'nin metal buharı hava ile temas ettiğinde derhal çok ince kolloidal yapıya dönüşür. Saf kadmiyum mineralleri(CdS,CdCO₃,CdO,CdSe) doğada çok seyrek olarak ve genelde ZnS,ZnCO₃ gibi bileşiklerin içinde %0,1-5 oranına kadar bulunur [34].

Kadmiyum sülfür parlak renkli bir bileşiktir ve kadmiyum sarısı da denen portakal sarısı boya maddelerinin temelini oluşturur. 100 atmosfer basınçta 1700°C kadar ısıtılırsa, sülfür ayrışmadan erir. Erimiş maddenin dikkatlice soğutulması, berraklığı aşırı kalınlıkta ötürü azalmış ve kırılma indisi elmasinkinden yüksek billurlar oluşmasına yol açar [34].

3.6.2. Kadmiyumun Kullanım Alanları

Kadmiyum sülfür billurları yarı iletkenler ve elektrik akımını doğrulayabilirler. Kadmiyum sülfat (CdSO₄) belirli göz hastalıklarının tedavisinde kullanılan başka bir bileşiktir. Elektronikte bu bileşik, elektromotif kuvvet standardı olarak kullanılan

Weston pilleri yapmakta kullanılır. Ayrıca, kadmiyum alaşım ya da arı olarak kaplamacılıkta da kullanılır. Demir, pastan, yüzeyi elektroliz yoluyla ince bir kadmiyum tabakasıyla örtülerek korunur. Fakat bu işlemden önce demirin yağının dikkatle giderilmesi ve temizlenmesi gerekir [34].

3.7. NİKEL

Nikel gümüş-beyaz bir metaldir, oldukça sert olup, periyodik cetvelde geçiş metalleri arasında yer alır [35]. Yer kabuğunun belli başlı elementlerinden olan nikel doğada çoğunlukla demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar şeklinde bulunur. Önemli nikel mineralleri arasında nikelin (NiAs), kloantit (NiAs₂), pendlandit (Fe, Ni)S, millerit (NiS), annabergit Ni₃ (AsO₄)₂ 8H₂O, garnierit (Ni, Mg)₃ Si₂O₅ (OH)₄ sayılabilir [36].

İşletilebilir limit tenörler lateritik yataklar için %1 Ni, sülfid yataklar için %0,2-0,3 Ni dir. Co/Ni oranlarının 1/30 olması durumunda aynı yataktan kobalt üretimi de yapılabilmektedir [36].

Nikel tarihi M.Ö.20 yılına kadar dayanmaktadır. Hatta bazı eski Çin dökümanlarında, beyaz nikelin genelde gümüş ile karıştırılması sebebiyle bu bilgi kesin değildir. Nikel içeren mineraller cama yeşil renk vermek için de kullanılmıştır. 1751’de Baron Axel Fredeik Cronstedt bakırı nikolitten ayırmaya çalışırken nikeli de elde etmiştir [36].

3.7.1. Nikelin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Nikel yüzey merkezi kübik yapıya sahip metaldir. Nikelin yoğunluğu 8,9 g/cm³, atom numarası 28, atom ağırlığı 58.69 g/mol olup erime sıcaklığı 1455 °C olan bir metaldir. Bu malzeme 1000 °C’ ye kadar mekanik özelliklerini koruyabilmektedir ayrıca demir ve kobalt gibi ferromanyetik özellikler gösterir. Nikelin sertliği, düşük karbonlu çeliklere benzer olup yumuşak bir metaldir, diğer metallerle karşılaştırıldığında bazı

üstün özelliklere göstermektedir. Nikel yüksek aşınma direnci, yüksek korozyon direnci, yüksek sıcaklıklardaki sürünme direnci iyi olup demir ve kobalt gibi ferromanyetik özellikleri göstermektedir [36].

Saf nikel genelde sülfürlü cevherlerden kavurma ve indirgeme işlemleri ile kazanılmaktadır. Cevherden demir, kobalt ve bakır gibi metal ve metal olmayan katkıları bulunmaktadır. Saf nikel, üretimi esnasında eritme fırınlarından kaynaklanan az miktarda kükürt içermektedir. Nikel içerisindeki kükürt, çeliklerdekine benzer bir davranış gösterip sülfür olarak tane sınırlarında çökeldiğinden, yapıyı gevrekletmektedir. Ancak gevrekliğe neden olan sülfürler mikroyapı incelemelerle ayırt edilemeyecek düzeydedir. Nikel içerisine %0,05 Mn ilave edilerek MnS çöktürlerinin dağılımı sağlanarak gevrek davranış gösteren bir yapı oluşturularak nikelin mikroyapısı süreklilik kazanmakta ve daha sünek bir davranış göstermektedir [36].

3.7.2.Nikelin Kullanım Alanları

Nikel cevheri, başlıca paslanmaz ve alaşım çeliği üretiminde, demirsiz alaşımlarda, elektrokaplama kullanılır. Nikelin uç ürünleri ise uçak, gemi ve kara taşıtlarının korozyona maruz parçalarının üretiminde, kimya sanayiinde, elektrikli aletlerde, petrol sanayiinde ve mutfak aletleri yapımında kullanılır ayrıca cama yeşil renk vermek amacıyla da kullanım alanı bulan nikel, bozuk para üretiminde ve dekoratif gümüş yerine kullanılmaktadır. Nikel (III) oksit ise birçok nikel-kadmiyum, nikel-demir ve nikel-metal hidrit şarj edilebilir pilde katot olarak da kullanılır [35-36].

4.BULGULAR

Bu bölümde asit adsorpsiyonunda kullandığımız biyoteknolojik asitlerin ve ağır metallerin tek duvarlı karbon nanotüplerle adsorpsiyon denemelerinin sonuçları sunulmuştur.

Asit denemeleri sırasında öncelikle asitlerin zamanla adsorpsiyon etkinlikleri incelenip dengeye gelme süreleri belirlenmiş, daha sonra farklı başlangıç asit konsantrasyonları ve farklı sıcaklıkların adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. Bu denemeler sırasında önceden belirlenen dengeye gelme süreleri göz önüne alınmıştır.

Çalışmanın ikinci aşaması olan ağır metallerin, tek duvarlı karbon nanotüplerle adsorpsiyon denemelerinde ise farklı adsorban konsantrasyonlarının adsorpsiyon üzerindeki etkileri incelenmiştir.

4.1.ADSORPSİYON DENEMELERİ

Yapılan denemelerde, Merck marka asitler kullanılıp adsorpsiyon sonrası çözeltiler 125 mm mavi bantlı süzgeç kağıdından süzülerek Merck marka NaOH çözeltisi ile titre edilip birim adsorbent başına adsorbe olan miktar “Q” aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [12];

$$Q = (C_o - C_e) \cdot V/m \quad (4.1)$$

Burada;

Q (mg/g) : Birim asorbent başına adsorpsiyon miktarı

C_o (mg/L) : Başlangıç konsantrasyonu

C_e (mg/L) : Denge konsantrasyonu

V (L) : Adsorpsiyon çözeltisi hacmi

m (g) : Adsorban miktarı

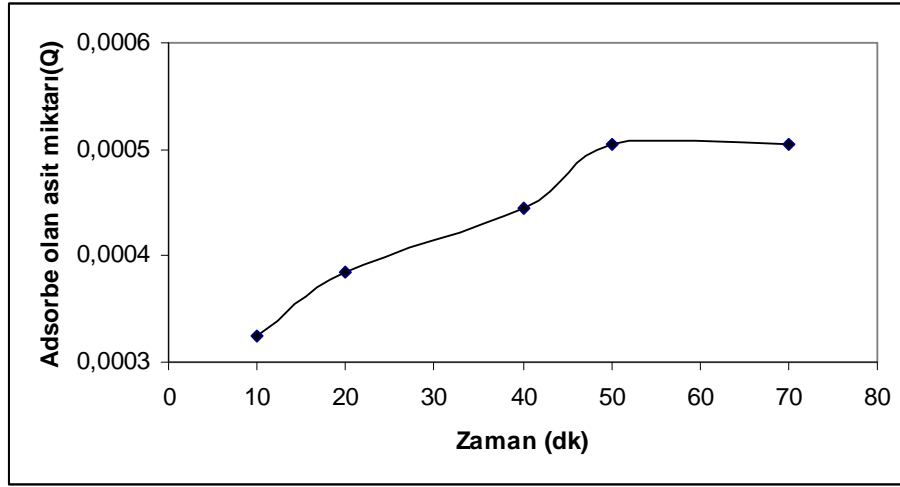
4.1.1.Sitrik Asit Denemeleri

4.1.1.1. Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi

Bu denemelerde 0,01g karbon nanotüp ile 3 mL, % 9'luk sitrik asit çözeltileri hazırlanmış, 10 dakikalık aralıklarla alınan örnekler süzülerek su fazındaki asit konsantrasyonu analiz edilmiş ve sistemin ne kadar sürede dengeye geldiği belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Sitrik asidin, karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Zaman (dakika)	Denge Kons. C (g /L)	Adsorbe olan asit miktarı Q (g /mg)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)
0,49	9,32	0,01	10	93,0	0,000324	1,14
0,49	9,32	0,01	20	92,8	0,000384	1,36
0,49	9,32	0,01	40	92,6	0,000444	1,57
0,49	9,32	0,01	50	92,4	0,000504	1,78
0,49	9,32	0,01	70	92,4	0,000504	1,78



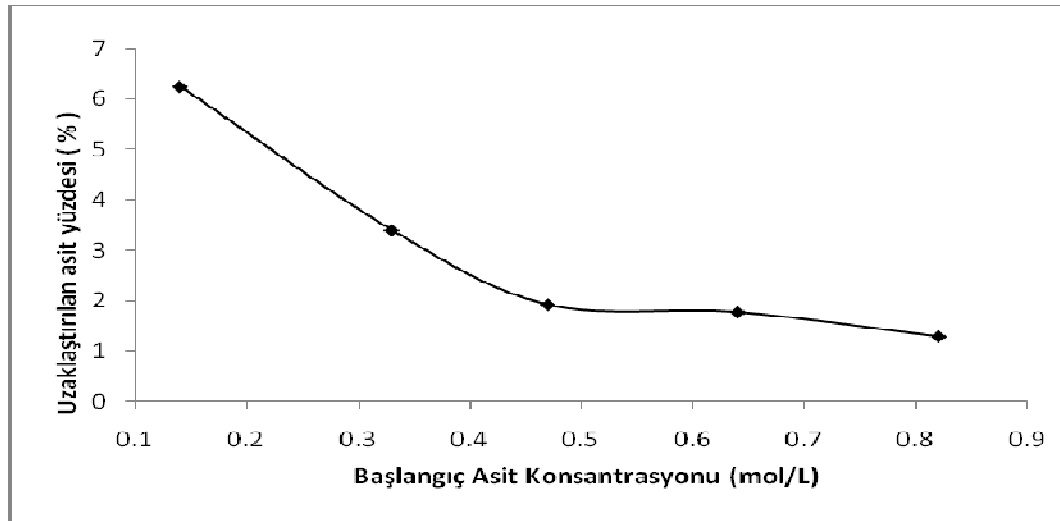
Şekil.4.1: Sitrik asidin,karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi

4.1.1.2.Başlangıç Asit Konsantrasyonunu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede sitrik asidin % 3, % 6, % 9, % 12 ve % 15'lik çözeltileri hazırlanmış ve 0,01 g tek duvarlı karbon nanotüp ile 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Çözeltiler süzülüp sulu faz analiz edilmiş, bulunan sonuçlar Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Başlangıç asit konsantrasyonunun sitrik asit adsorpsiyonuna etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,14	2,68	0,01	25,20	6,25	25
0,33	6,30	0,01	61,20	3,40	25
0,47	9,01	0,01	88,50	1,92	25
0,64	12,20	0,01	120,70	1,77	25
0,82	15,66	0,01	155,40	1,29	25



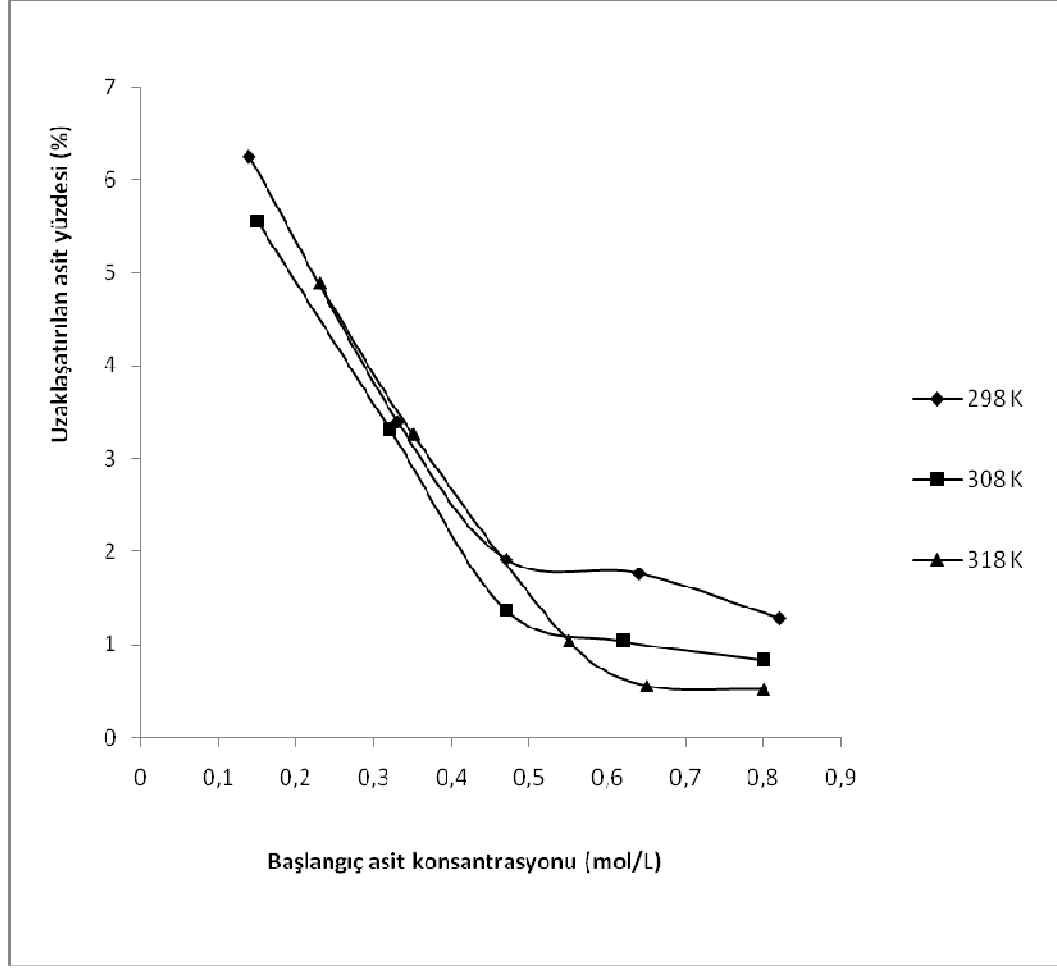
Şekil 4.2: Başlangıç asit konsantrasyonunun sitrik asit adsorpsiyonuna etkisi

4.1.1.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede sitrik asidin hazırlanan beş farklı konsantrasyondaki çözeltileri 25, 35 ve 45°C’de, 0,01g karbon nanotüp kullanarak adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş, süzülerek sulu faz analiz edilmiş, sonuçlar Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3: Sıcaklık değişiminin sitrik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,14	2,68	0,01	25,20	6,25	25
0,33	6,30	0,01	61,20	3,40	25
0,47	9,01	0,01	88,50	1,92	25
0,64	12,20	0,01	120,70	1,77	25
0,82	15,66	0,01	155,40	1,29	25
0,15	2,73	0,01	27,20	5,55	35
0,32	6,02	0,01	59,40	3,32	35
0,47	9,00	0,01	89,00	1,37	35
0,62	11,80	0,01	117,80	1,04	35
0,8	15,25	0,01	152,30	0,84	35
0,23	4,32	0,01	42,00	4,89	45
0,35	6,70	0,01	65,00	3,27	45
0,55	10,56	0,01	104,50	1,04	45
0,65	12,40	0,01	124,10	0,56	45
0,80	15,30	0,01	152,80	0,52	45



Şekil 4.3: Sıcaklık değişiminin sitrik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

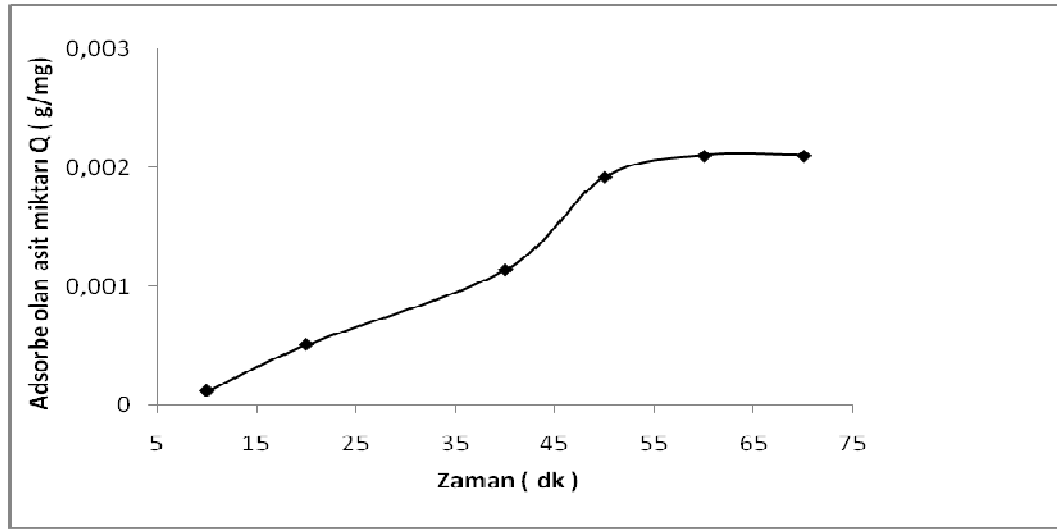
4.1.2.Laktik Asit Denemeleri

4.1.2.1.Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi

Bu denemelerde 0,01 g karbon nanotüp ile 3 mL'lik laktik asit çözeltileri hazırlanmış, su fazındaki asit konsantrasyonu analiz edilmiş ve sistemin ne kadar sürede dengeye geldiği belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.4.'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Laktik asidin, karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Zaman (dakika)	Denge Kons. C (g /L)	Adsorbe olan asit miktarı Q (g /mg)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)
1,19	10,70	0,01	10	106,80	0,00012	0,37
1,19	10,70	0,01	20	105,50	0,00051	1,58
1,19	10,70	0,01	40	103,40	0,00114	3,54
1,19	10,70	0,01	50	100,80	0,00192	5,97
1,19	10,70	0,01	60	100,20	0,00210	6,62
1,19	10,70	0,01	70	100,20	0,00210	6,62



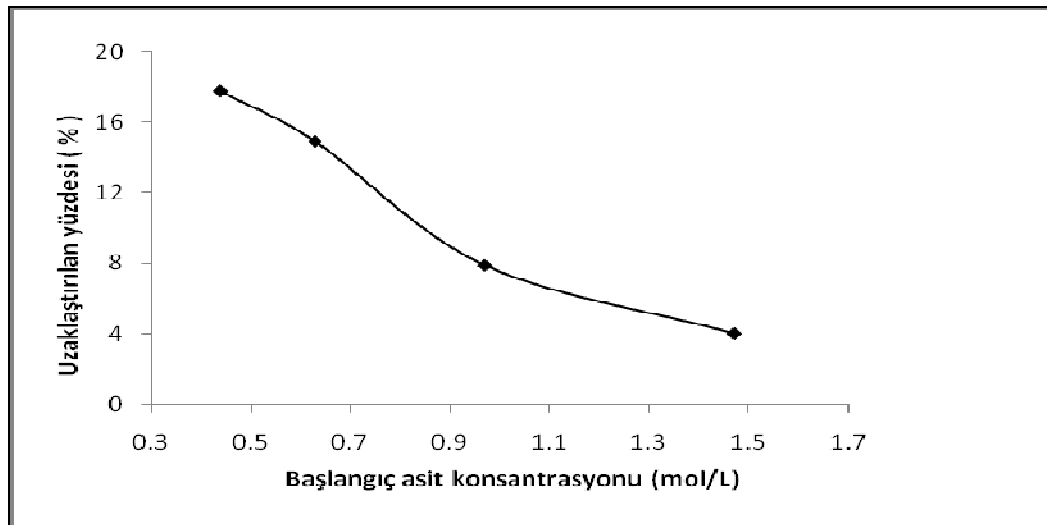
Şekil 4.4: Laktik asidin, karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi

4.1.2.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede laktik asidin % 3, % 6, % 9, % 12 ve % 15'lik çözeltileri hazırlanmış ve 0,01 g tek duvarlı karbon nanotüp ile 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş sonuçlar Tablo 4.5.'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Başlangıç asit konsantrasyonunun laktik asit adsorpsiyonuna etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,44	3,93	0,01	32,60	17,75	25
0,63	5,59	0,01	48,30	14,90	25
0,97	8,66	0,01	80,50	7,87	25
1,47	13,16	0,01	127,10	4,01	25



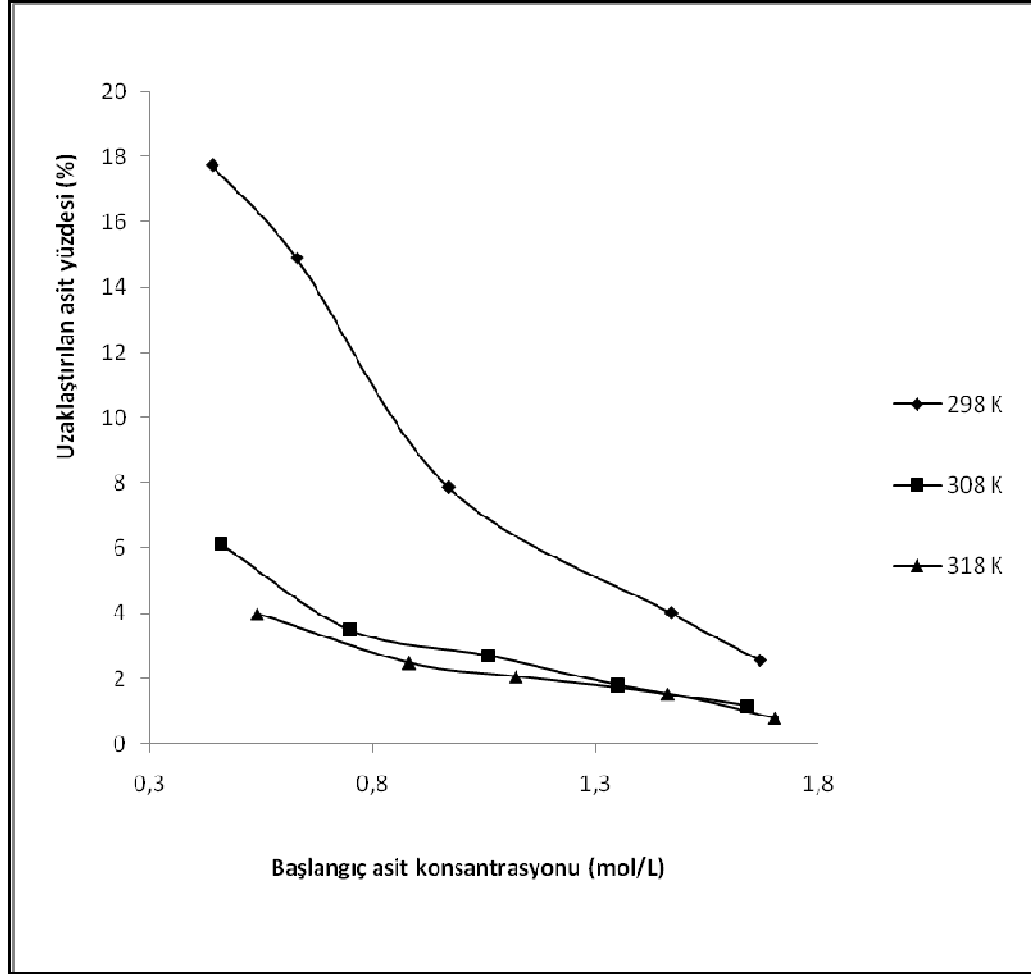
Şekil 4.5: Başlangıç asit konsantrasyonunun laktik asit adsorpsiyonuna etkisi

4.1.2.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede laktik asidin hazırlanan beş farklı konsantrasyondaki çözeltileri 25, 35 ve 45°C'de 0,01g karbon nanotüp kullanarak adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş ve sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: Sıcaklık değişiminin laktik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,44	3,93	0,01	32,6	17,75	25
0,63	5,59	0,01	48,3	14,90	25
0,97	8,66	0,01	80,5	7,87	25
0,47	13,16	0,01	127,1	4,01	25
1,67	15,02	0,01	146,6	2,55	25
0,46	4,08	0,01	38,9	6,12	35
0,75	6,73	0,01	65,2	3,49	35
1,06	9,54	0,01	92,9	2,71	35
1,35	12,15	0,01	119,4	1,81	35
1,64	14,75	0,01	146,0	1,17	35
0,54	4,82	0,01	46,7	4,00	45
0,88	7,88	0,01	77,3	2,49	45
1,12	10,04	0,01	98,8	2,07	45
1,46	13,13	0,01	129,5	1,53	45
1,70	15,23	0,01	151,9	0,80	45



Şekil 4.6: Sıcaklık değişiminin laktik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

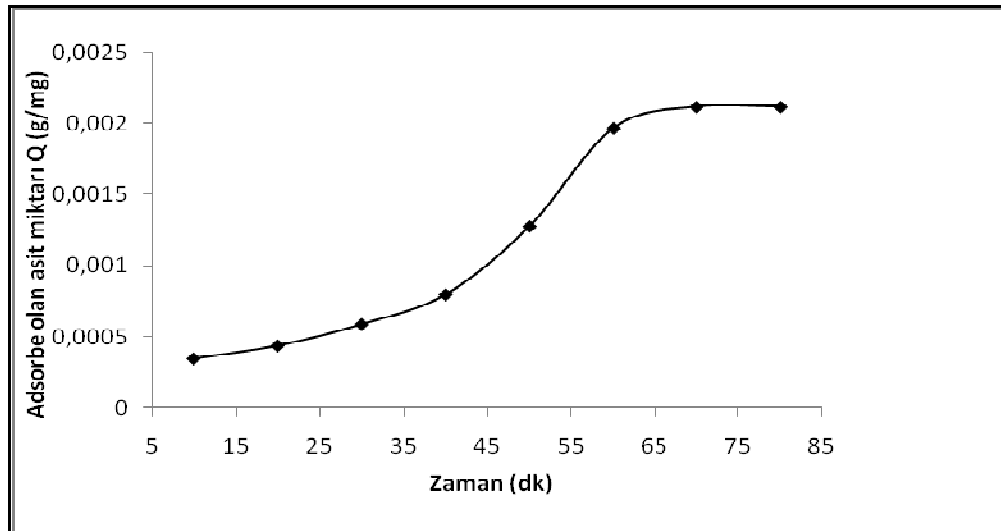
4.1.3. Tartarik Asit Denemeleri

4.1.3.1. Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi

Bu denemelerde 0,01 g karbon nanotüp ile hazırlanan 3 mL'lik tartarik asit çözeltileri temasa getirilmiş, su fazındaki asit konsantrasyonu analiz edilip sistemin ne kadar sürede dengeye geldiği belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Zaman (dakika)	Denge Kons. C (g /L)	Adsorbe olan asit miktarı Q (g /mg)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)
0,60	8,90	0,01	10	88,90	0,000348	1,28
0,60	8,90	0,01	20	88,60	0,000438	1,62
0,60	8,90	0,01	30	88,10	0,000588	2,17
0,60	8,90	0,01	40	87,40	0,000798	2,95
0,60	8,90	0,01	50	85,80	0,001278	4,73
0,60	8,90	0,01	60	83,50	0,001968	7,28
0,60	8,90	0,01	70	83,00	0,002118	7,83
0,60	8,90	0,01	80	83,00	0,002118	7,83



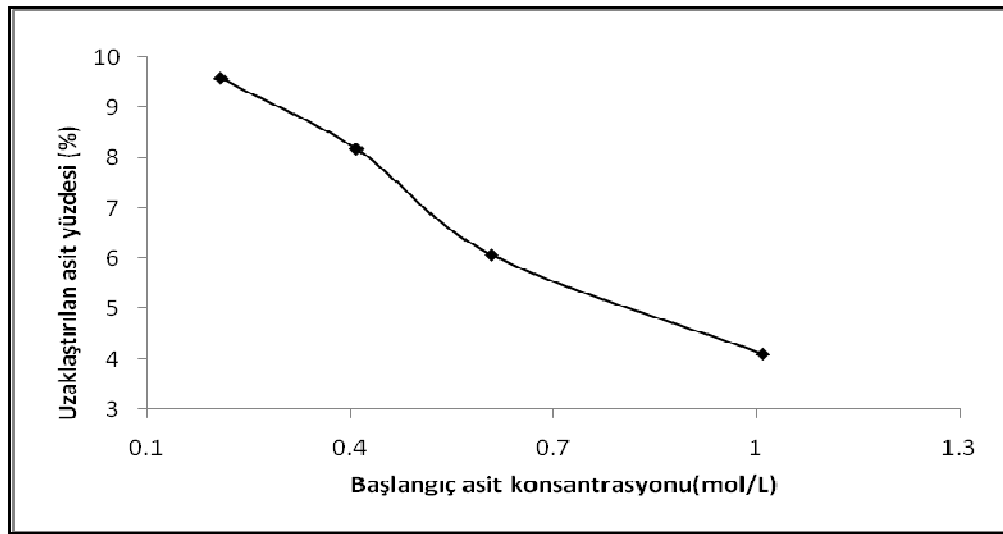
Şekil 4.7: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi

4.1.3.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede tartarik asidin % 3, % 6, % 9, % 12 ve % 15'lik çözeltileri hazırlanmış ve 0,01 g tek duvarlı karbon nanotüp ile 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş sonuçlar Tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.8: Başlangıç asit konsantrasyonunun Tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,21	3,02	0,01	28,50	9,58	25
0,41	6,02	0,01	56,50	8,18	25
0,61	9,03	0,01	86,00	6,07	25
1,01	15,07	0,01	145,30	4,10	25



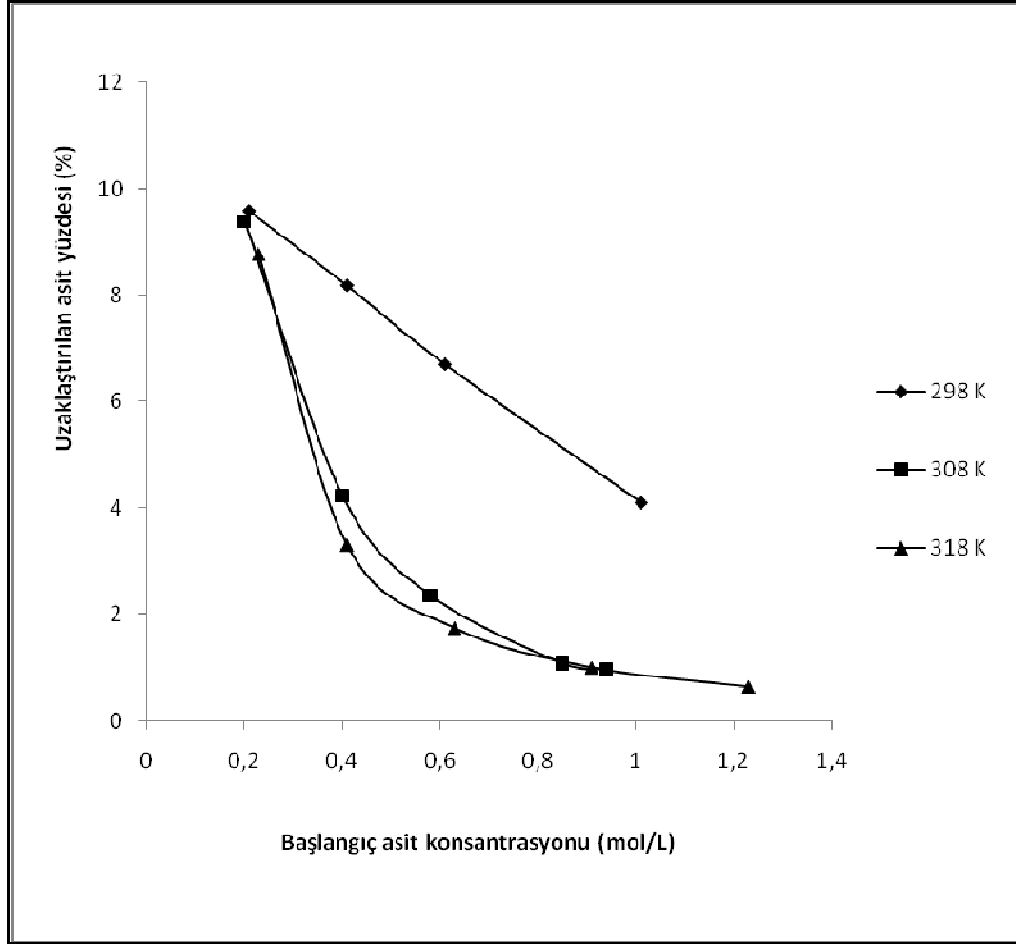
Şekil 4.8: Başlangıç asit konsantrasyonunun tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

4.1.3.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede tartarik asidin hazırlanan beş farklı konsantrasyondaki çözeltileri 25, 35 ve 45°C'de 0,01g karbon nanotüp kullanarak adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş ve sonuçlar Tablo 4.9.'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Sıcaklık değişiminin tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,21	3,02	0,01	28,50	9,58	25
0,41	6,02	0,01	56,50	8,18	25
0,61	9,03	0,01	86,00	6,07	25
1,01	15,07	0,01	145,30	4,10	25
0,2	3,00	0,01	27,20	9,39	35
0,4	5,87	0,01	57,50	4,23	35
0,58	8,68	0,01	85,00	2,36	35
0,85	12,72	0,01	126,20	1,08	35
0,94	14,01	0,01	139,70	0,98	35
0,23	3,35	0,01	31,50	8,77	45
0,41	6,14	0,01	59,50	3,31	45
0,63	9,40	0,01	92,90	1,75	45
0,91	13,59	0,01	135,20	1,01	45
1,23	18,34	0,01	183,40	0,65	45



Şekil 4.9: Sıcaklık değişiminin tartarik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

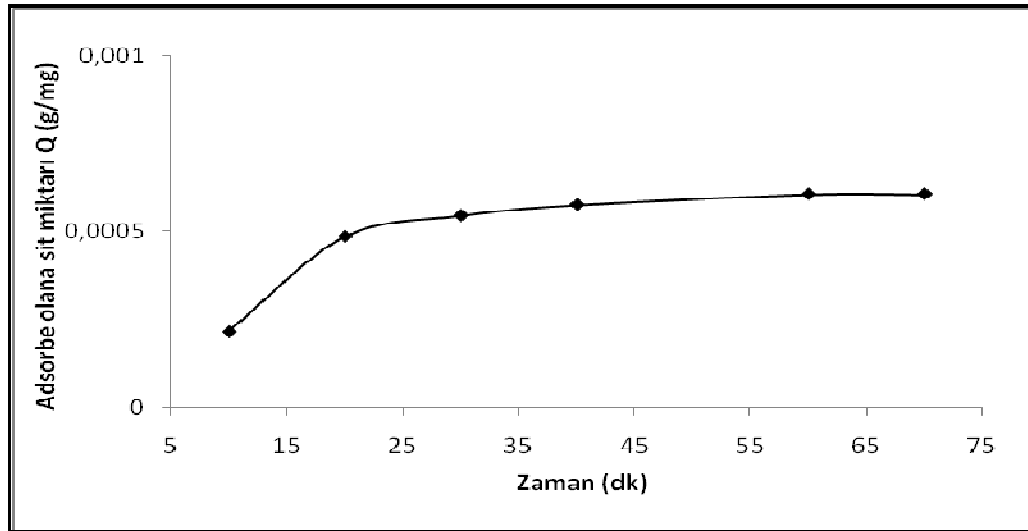
4.1.4. Glikolik Asit Denemeleri

4.1.4.1. Adsorpsiyonunun Zamanla Değişimi

Bu denemelerde 0,01 g karbon nanotüp ile 3mL'lik tartarik asit çözeltileri hazırlanmış su fazındaki asit konsantrasyonu analiz edilip sistemin ne kadar sürede dengeye geldiği belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.10.'da verilmiştir.

Tablo 4.10: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamana değişimi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Zaman (dakika)	Denge Kons. C (g /L)	Adsorbe olan asit miktarı Q (g /mg)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)
1,44	10,90	0,01	10	108,80	0,000216	0,65
1,44	10,90	0,01	20	107,90	0,000486	1,47
1,44	10,90	0,01	30	107,70	0,000546	1,66
1,44	10,90	0,01	40	107,60	0,000576	1,75
1,44	10,90	0,01	60	107,50	0,000606	1,84
1,44	10,90	0,01	70	107,50	0,000606	1,84



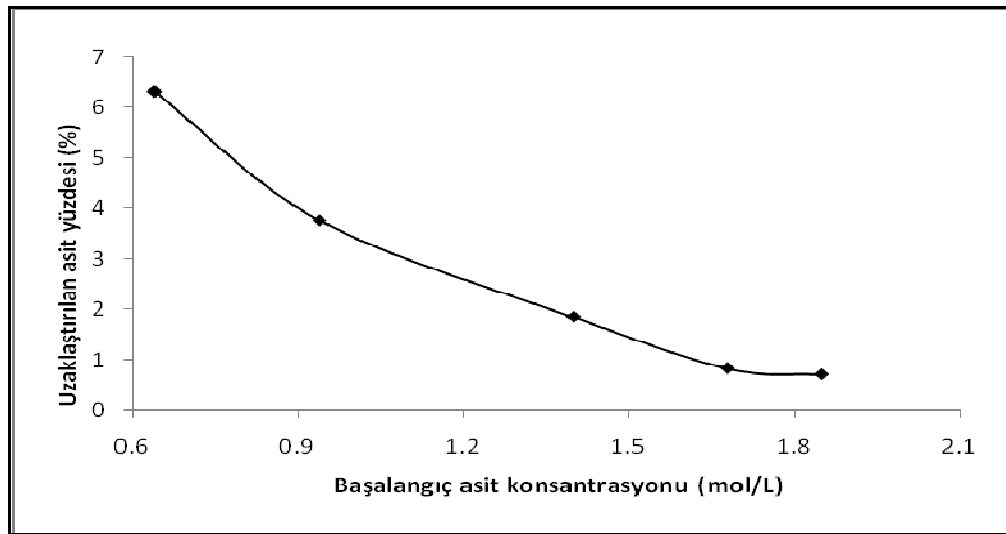
Şekil 4.10: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunun zamanla değişimi

4.1.4.2. Başlangıç Asit Konsantrasyonu Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede glikolik asidin % 3, % 6, % 9, % 12 ve % 15'lik çözeltileri hazırlanmış ve 0,01 g tek duvarlı karbon nanotüp ile 25°C'de adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş sonuçlar Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Tablo 4.11: Başlangıç asit konsantrasyonunun glikolik asit adsorpsiyonu üzerine etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,64	4,80	0,01	45,60	6,32	25
0,94	7,08	0,01	68,80	3,76	25
1,40	10,59	0,01	104,50	1,85	25
1,68	12,76	0,01	126,70	0,83	25
1,85	14,00	0,01	139,70	0,71	25



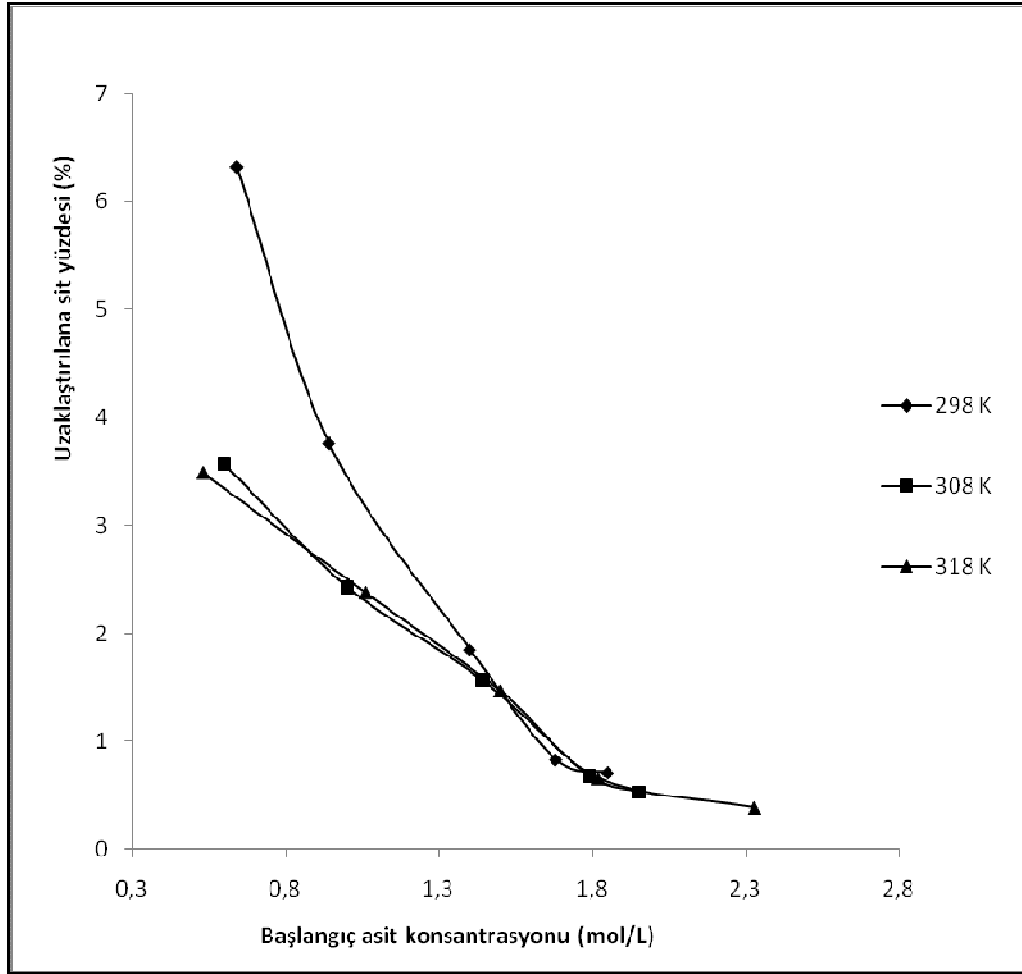
Şekil 4.11: Başlangıç asit konsantrasyonunun glikolik asit adsorpsiyonu üzerine etkisi

4.1.4.3. Sıcaklık Değişiminin Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemede tartarik asidin hazırlanan beş farklı konsantrasyondaki çözeltileri 25, 35 ve 45°C'de 0,01g karbon nanotüp kullanarak adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuş ve sonuçlar Tablo 4.12.'de verilmiştir.

Tablo 4.12: Sıcaklık değişiminin glikolik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

Başlangıç kons. (mol /L)	Başlangıç kons. (%w/w)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. Ce (g / L)	Uzaklaştırılan Asit Yüzdesi (%)	Sıcaklık °C
0,64	4,80	0,01	45,60	6,32	25
0,94	7,08	0,01	68,80	3,76	25
1,40	10,59	0,01	104,50	1,85	25
1,68	12,76	0,01	126,70	0,83	25
1,85	14,00	0,01	139,70	0,71	25
0,6	4,53	0,01	44,00	3,57	35
1,00	7,58	0,01	74,20	2,43	35
1,44	10,90	0,01	107,80	1,57	35
1,79	13,60	0,01	135,20	0,68	35
1,95	14,80	0,01	147,50	0,53	35
0,53	4,08	0,01	38,90	3,49	45
1,06	7,99	0,01	78,70	2,38	45
1,50	11,37	0,01	112,40	1,47	45
1,82	13,77	0,01	137,50	0,66	45
2,33	17,69	0,01	176,50	0,39	45



Şekil 4.12: Sıcaklık değişiminin glikolik asit adsorpsiyonu üzerindeki etkisi

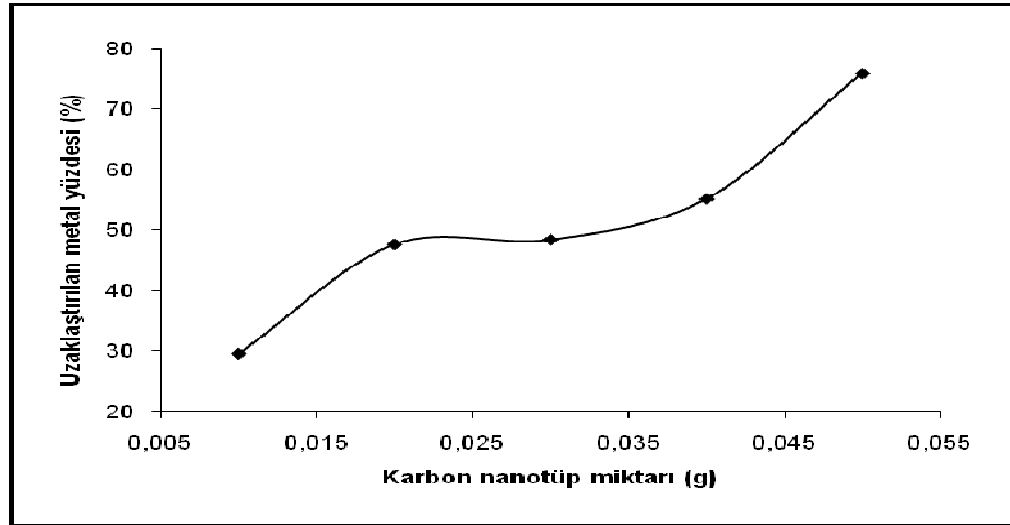
4.1.5. Kadmiyum Denemeleri

4.1.5.1. Farklı Karbon Nanotüp Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemelerde %99,9 analitik saflıkta kadmiyum sülfat ve ağırlıkça %40-60 tek duvarlı karbon nanotüp kullanılmıştır. 0,01-0,05 g'lık karbon nanotüp örnekleri, başlangıç Cd^{2+} miktarı farklı olan çözeltilerden 20 mL alınarak 25°C'de 6 saat boyunca 180 rpm çalkalama hızı ile temasa getirilmiştir. Adsorpsiyon sonucu çözeltilerden alınan örnekler İstanbul Üniversitesi, İleri Analizler Laboratuvarı bünyesinde bulunan Perkin-Elmer marka, A400 model Alevli Atomik Adsorpsiyon cihazı ile analiz edilmiş sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 4.13: 44 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltilinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri

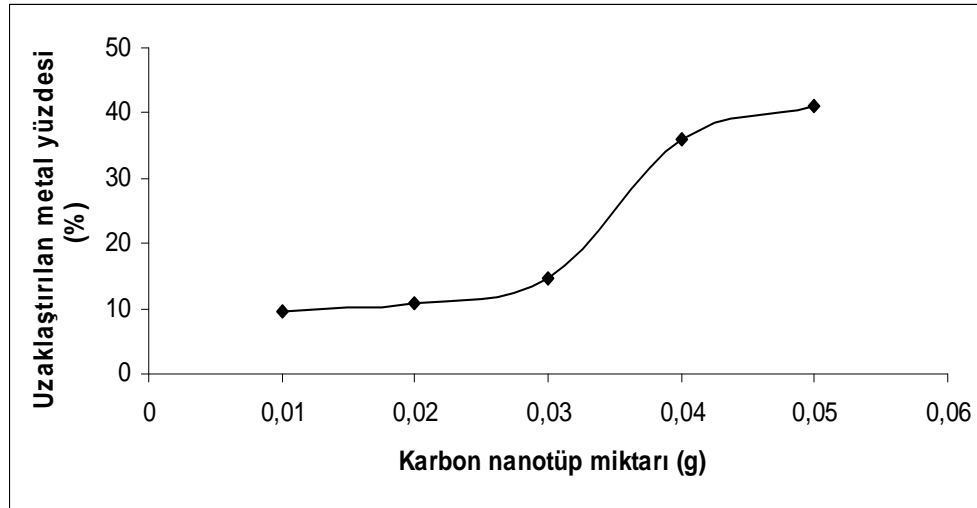
Başlangıç Kons. (g/L)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C, (g / L)	Adsorbe Olan Metal Miktarı Q, (mg /g)	Uzaklaştırılan Metal Yüzdesi (%)
0,04492	0,01	0,03164	26,56	29,56
0,04492	0,02	0,02351	21,41	47,66
0,04492	0,03	0,02315	14,51	48,46
0,04492	0,04	0,02013	12,39	55,18
0,04492	0,05	0,01079	13,65	75,97



Şekil 4.13: 44 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltilinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği

Tablo 4.14: 74 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltilinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri

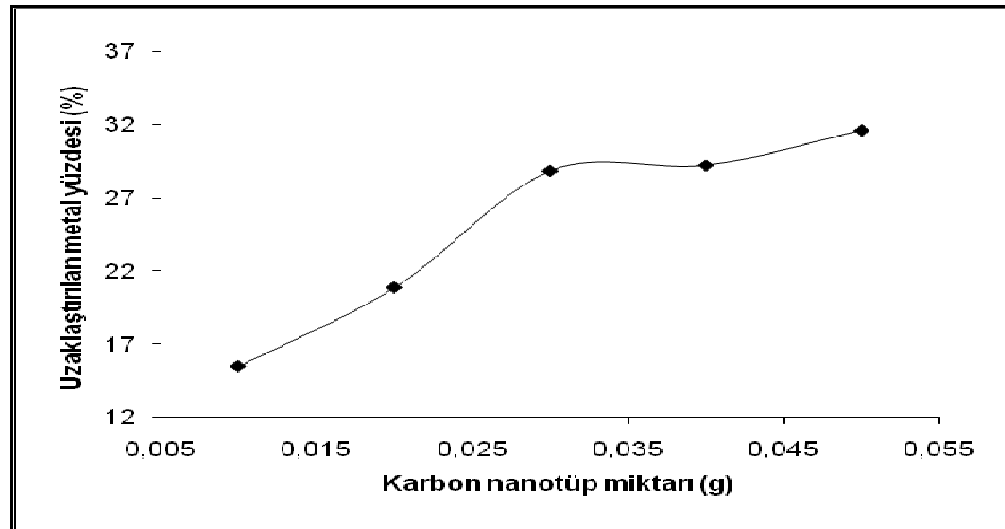
Başlangıç Kons. (g/L)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C, (g / L)	Adsorbe Olan Metal Miktarı Q, (mg/g)	Uzaklaştırılan Metal Yüzdesi (%)
0,07446	0,01	0,06738	14,16	9,50
0,07446	0,02	0,06636	8,10	10,87
0,07446	0,03	0,06361	7,23	14,57
0,07446	0,04	0,04774	13,36	35,88
0,07446	0,05	0,04830	12,25	41,13



Şekil 4.14: 74 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltilinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği

Tablo 4.15: 91 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri

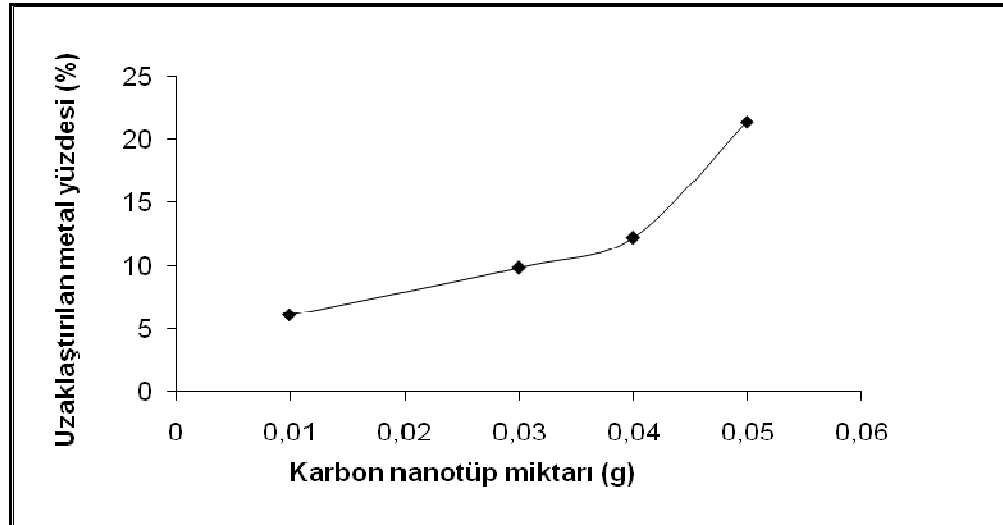
Başlangıç Kons. (g/L)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C, (g/L)	Adsorbe Olan Metal Miktarı Q, (mg/g)	Uzaklaştırılan Metal Yüzdesi (%)
0,09113	0,01	0,07704	28,18	15,46
0,09113	0,02	0,07212	19,01	20,86
0,09113	0,03	0,06483	17,53	28,85
0,09113	0,04	0,06449	13,32	29,23
0,09113	0,05	0,06230	11,53	31,63



Şekil 4.15: 91 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği

Tablo 4.16: 136 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri

Başlangıç Kons. (g/L)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C, (g / L)	Adsorbe Olan Metal Miktarı Q, (mg /g)	Uzaklaştırılan Metal Yüzdesi (%)
0,1369	0,01	0,1285	16,80	6,13
0,1369	0,03	0,1234	9,00	9,86
0,1369	0,04	0,1201	8,40	12,27
0,1369	0,05	0,1076	11,72	21,4



Şekil 4.16: 136 ppm kadmiyum içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği

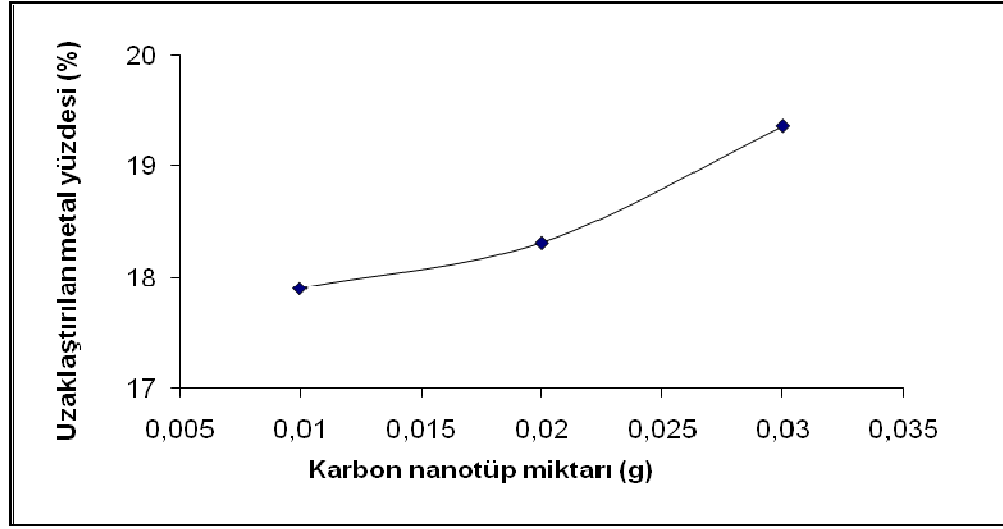
4.1.6.Nikel Denemeleri

4.1.6.1.Farklı Karbon Nanotüp Miktarlarının Adsorpsiyona Etkisi

Bu denemelerde %99.9 analitik saflıkta nikel sülfat ve ağırlıkça %40-60 tek duvarlı karbon nanotüp kullanılmıştır. 0.01-0.05 g'lık karbon nanotüp örnekleri, başlangıç Ni^{2+} içeriği değişen çözeltilerden 20 mL alınarak 25°C'de 6 saat boyunca 180 rpm çalkalama hızı ile temasa getirilmiştir. Adsorpsiyon sonucu çözeltilerden alınan örnekler İstanbul Üniversitesi, İleri Analizler Laboratuvarı bünyesinde bulunan Perkin-Elmer marka, A400 model Alevli Atomik Absorpsiyon cihazı ile analiz edilmiş, sonuçlar Tablo 4.17.'de verilmiştir.

Tablo 4.17: 94 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri

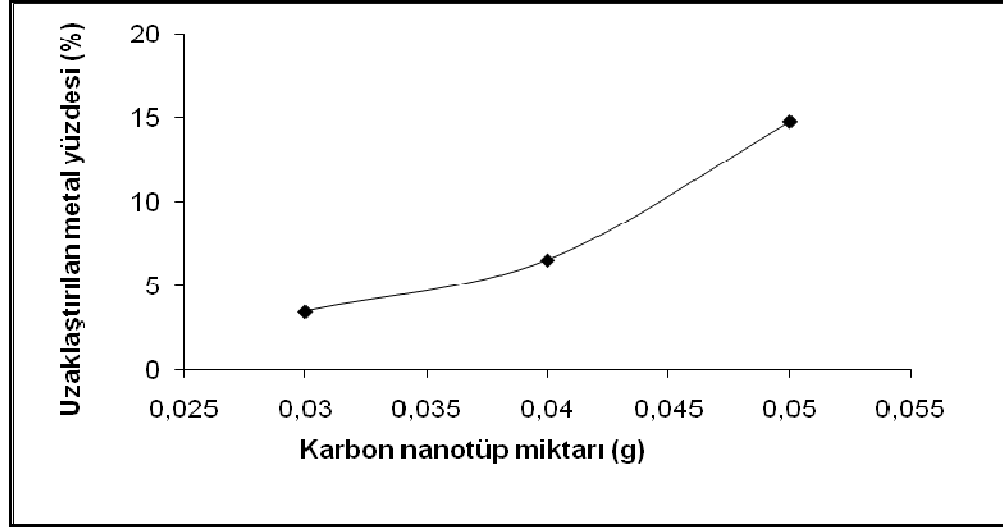
Başlangıç Kons. (g/L)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. C, (g / L)	Adsorbe Olan Metal Miktarı Q, (mg/g)	Uzaklaştırılan Metal Yüzdesi (%)
0,09414	0,01	0,0772	33,72	17,90
0,09414	0,02	0,0769	17,24	18,31
0,09414	0,03	0,7590	12,14	19,35



Şekil 4.17: 94 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği

Tablo 4.18: 101 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon verileri

Başlangıç Kons. (g / L)	Karbon nanotüp miktarı (g)	Denge Kons. Ce, (g / L)	Adsorbe Olan Metal Miktarı Q, (mg/g)	Uzaklaştırılan Metal Yüzdesi (%)
0,1014	0,03	0,0979	5,84	3,46
0,1014	0,04	0,09478	3,70	6,52
0,1014	0,05	0,08644	2,14	14,75



Şekil 4.18: 101 ppm nikel içeriği olan çözeltinin farklı karbon nanotüp miktarı ile adsorpsiyon grafiği

4.2.ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

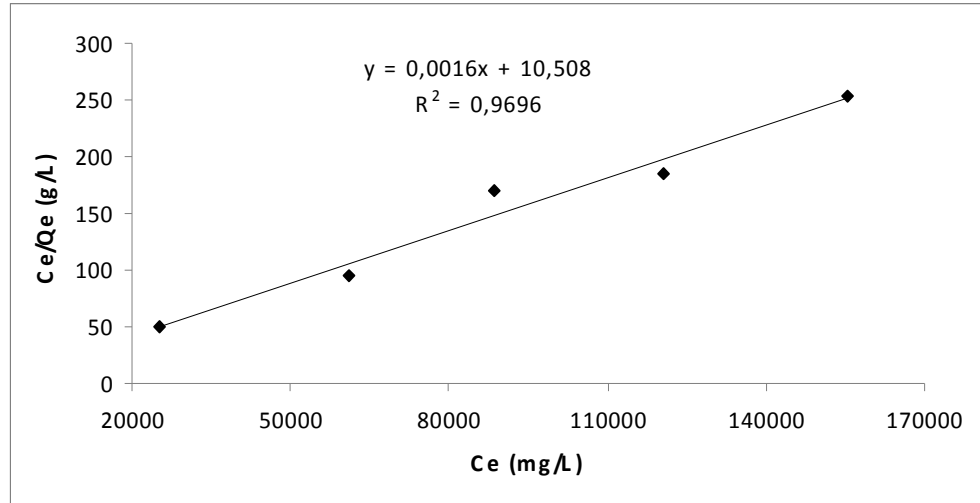
4.2.1.Sitrik Asit Adsorpsiyonu

1.Langmuir İzotermi

$$C_e / Q_e = K_L / Q_o + C_e / Q_o$$

Tablo 4.19: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri

Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
26880	25200	504	50,00
63360	61200	648	94,44
90240	88500	522	169,54
122880	120700	654	184,55
154440	155400	612	253,92



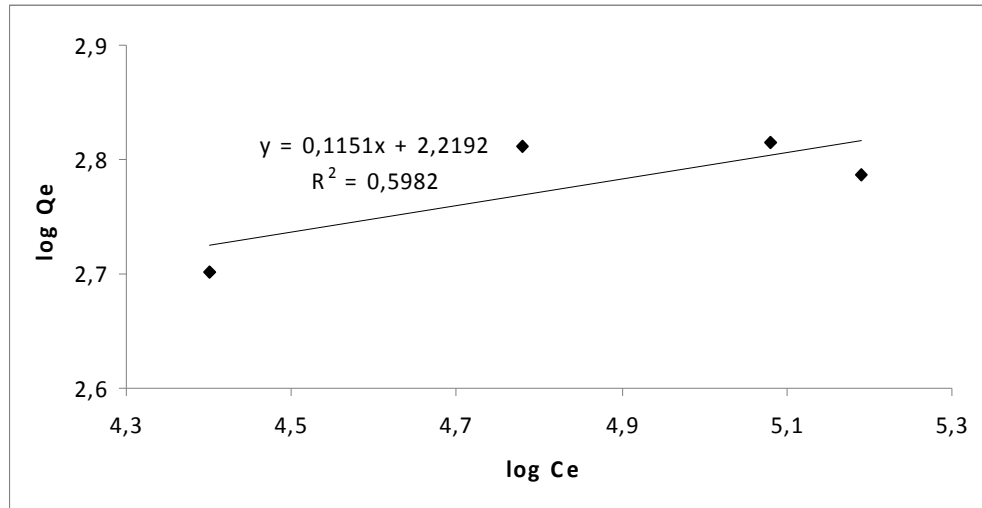
Şekil 4.19: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermi

2.Freundlich İzotermi

$$\log Q_e = \log K_f + 1/n \log C_e$$

Tablo 4.20: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi verileri

C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
252200	50	2,7024	4,40
61200	648	2,8115	4,78
120700	654	2,8155	5,08
155400	612	2,7867	5,19



Şekil 4.20: Sitrik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Freundlich izotermi

Tablo 4.21: Sitrik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri

Freundlich parametreleri				Langmuir parametreleri			
Log K_f (mg / g)	1/n	K_f	n	1/ Q_0	K_L/Q_0	Q_0	K_L
2,22	0,11	165,95	9,09	0,0016	0,508	625	317,5

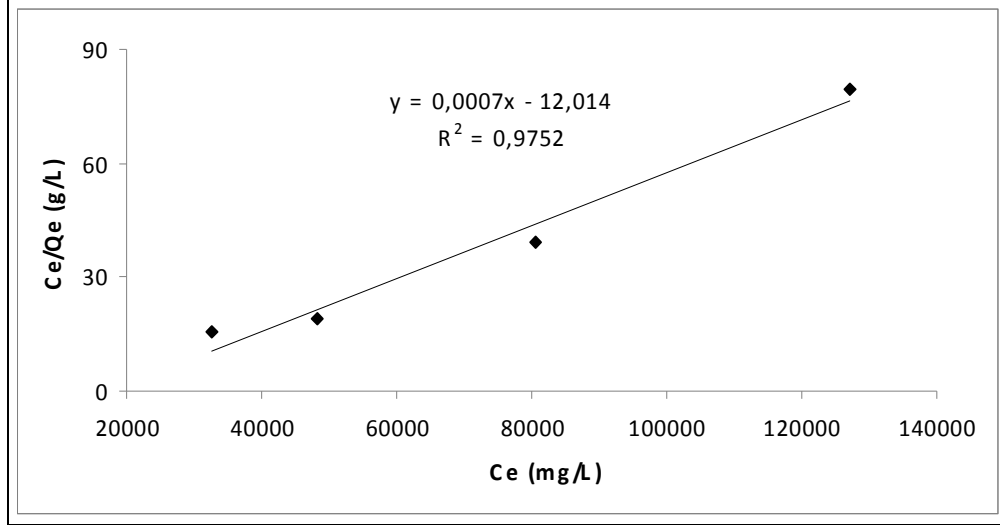
4.2.2.Laktik Asit Adsorpsiyonu

1.Langmuir İzotermi

$$C_e / Q_e = K_L / Q_0 + C_e / Q_0$$

Tablo 4.22: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri

Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
39640	32600	2112	15,43
56760	48300	2538	19,03
87380	80500	2064	39,00
132420	127100	1596	79,63



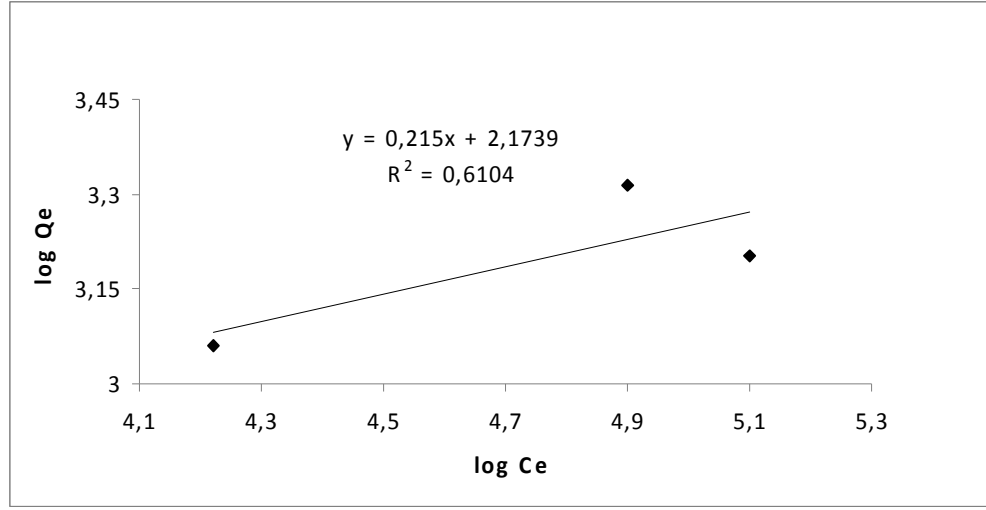
Şekil 4.21: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermi

2.Freundlich İzotermi

$$\log Q_e = \log K_f + 1/n \log C_e$$

Tablo 4.23: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi verileri

C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
80500	2064	3,3147	4,90
127100	1596	3,2030	5,10
146600	1152	3,0614	4,22



Şekil 4.22: Laktik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Freundlich izotermi

Tablo 4.24: Laktik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri

Freundlich parametreleri				Langmuir parametreleri			
Log K_f	1/n	K_f	n	1/ Q_0	K_L/Q_0	Q_0	K_L
2,17	0,215	149,24	4,65	0,0007	-12,014	1428,5	-17162,8

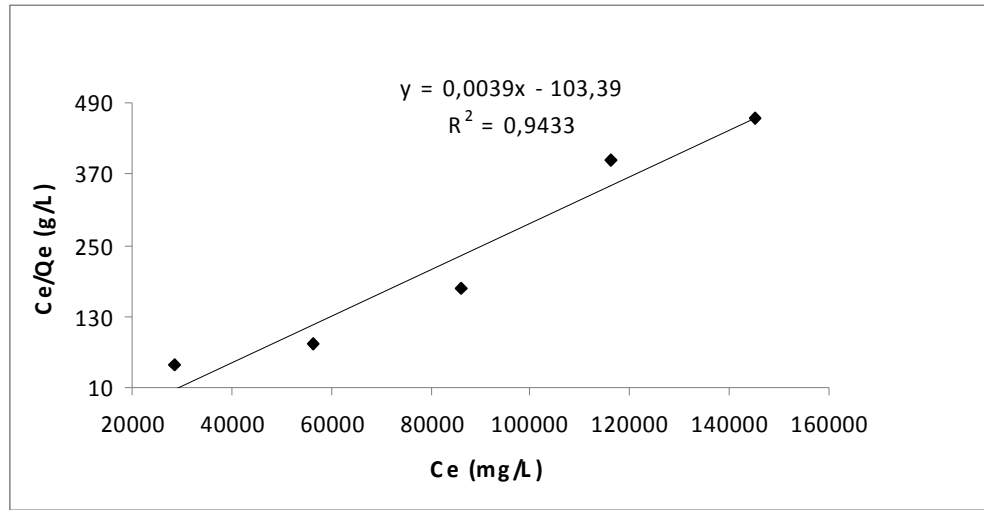
4.2.3. Tartarik Asit Adsorpsiyonu

1.Langmuir İzotermi

$$C_e / Q_e = K_L / Q_o + C_e / Q_o$$

Tablo 4.25: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri

Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
31520	28500	906	31,45
61540	56500	1512	37,36
91560	86000	1668	51,55
120960	116000	1488	77,95
151590	145300	1887	77,00



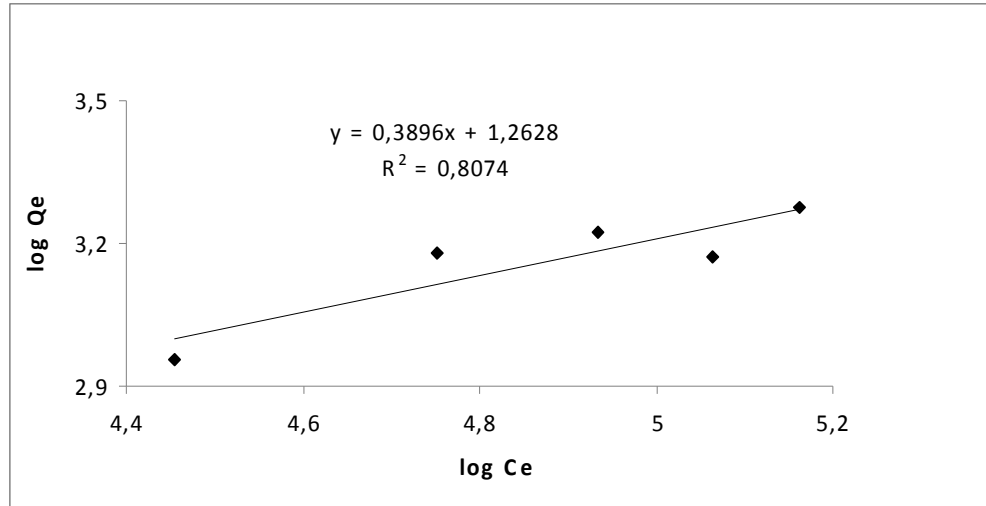
Şekil 4.23: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermi

2.Freundlich İzotermi

$$\log Q_e = \log K_f + 1/n \log C_e$$

Tablo 4.26: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi verileri

C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
28500	906	2,9571	4,4548
56500	1512	3,1795	4,7520
86000	1668	3,2221	4,9344
116000	1488	3,1726	5,0644
145300	1887	3,2757	5,1622



Şekil 4.24: Tartarik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Freundlich izotermi

Tablo 4.27: Tartarik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri

Freundlich parametreleri			Langmuir parametreleri				
Log K _f (mg / g)	1/n	K _f	n	1/ Q ₀	K _L /Q ₀	Q ₀	K _L
1,26	0,3896	18,19	2,56	0,0039	-103,39	256,4	-26510,2

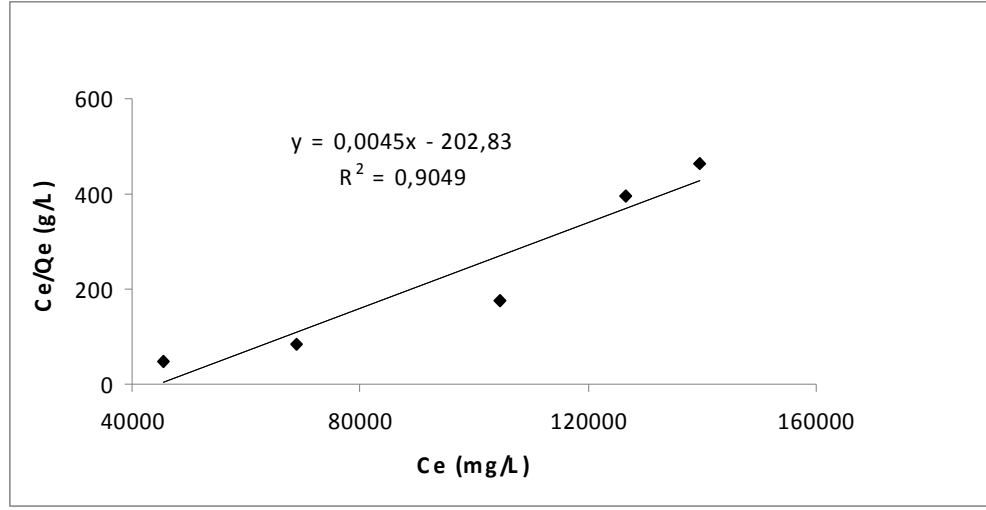
4.2.4.Glikolik Asit Adsorpsiyonu

1.Langmuir İzotermi

$$C_e / Q_e = K_L / Q_0 + C_e / Q_0$$

Tablo 4.28: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi verileri

Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	C _e / Q _e (g/L)
48680	45600	924	49,35
71490	68800	807	85,25
106470	104500	591	176,81
127770	126700	321	394,70
140700	139700	300	465,66



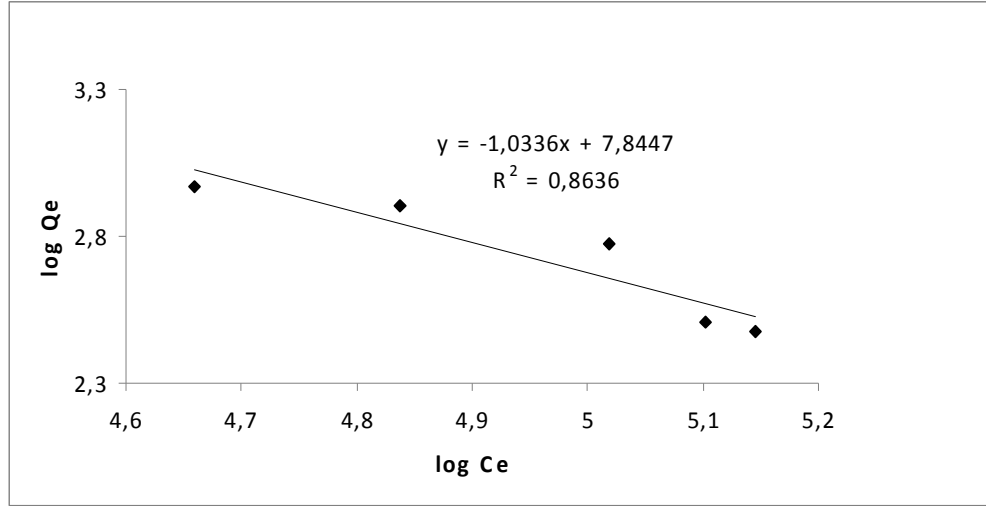
Şekil 4.25: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonunda Langmuir izotermini

2.Freundlich İzotermini

$$\log Q_e = \log K_f + 1/n \log C_e$$

Tablo 4.29: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermini verileri

C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
45600	924	2,9656	4,6589
68800	807	2,9068	4,8375
104500	591	2,7715	5,0191
126700	321	2,5065	5,1027
139700	300	2,4771	5,1451



Şekil 4.26: Glikolik asidin karbon nanotüp ile adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.30: Glikolik Asidin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri

Freundlich parametreleri				Langmuir parametreleri			
Log K_f	1/n	K_f	n	1/ Q_0	K_L/Q_0	Q_0	K_L
(mg / g)							
7,84	1,0337	69183097,1	0,96	0,0045	-202,83	222,2	-45073,3

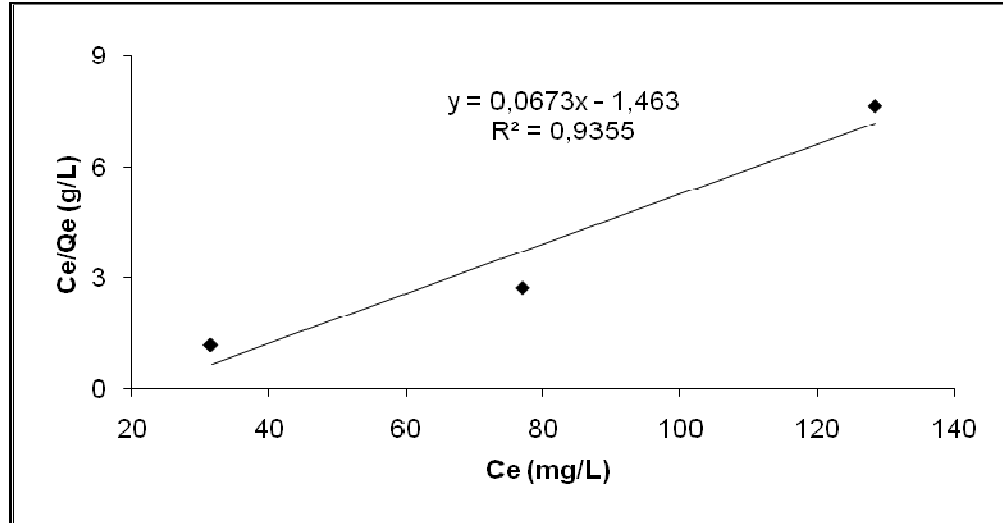
4.2.5. Kadmiyum Adsorpsiyonu

1.Langmuir İzotermi

$$C_e / Q_e = K_L / Q_o + C_e / Q_o$$

Tablo 4.31: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

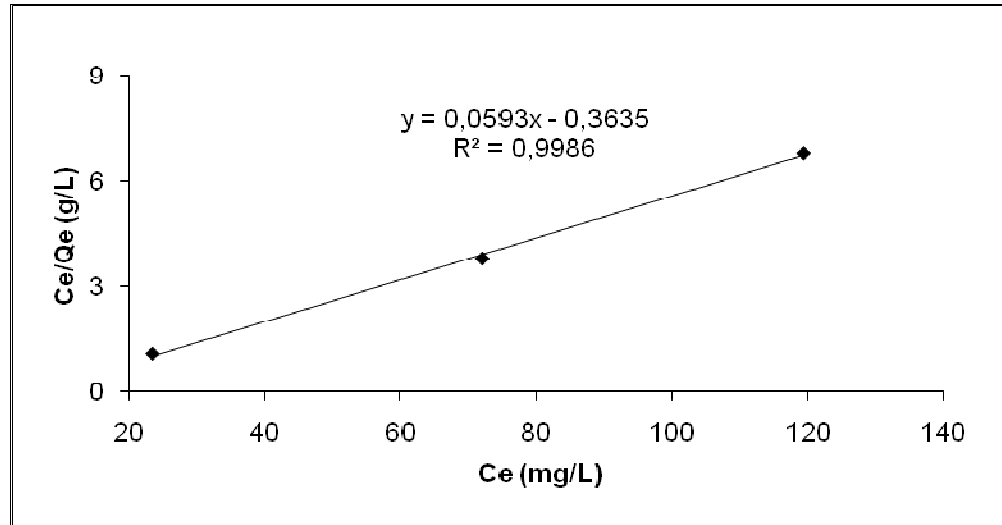
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
136,90	128,50	16,80	7,648
91,13	77,04	28,18	2,733
44,92	31,64	26,56	1,191



Şekil 4.27: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.32: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

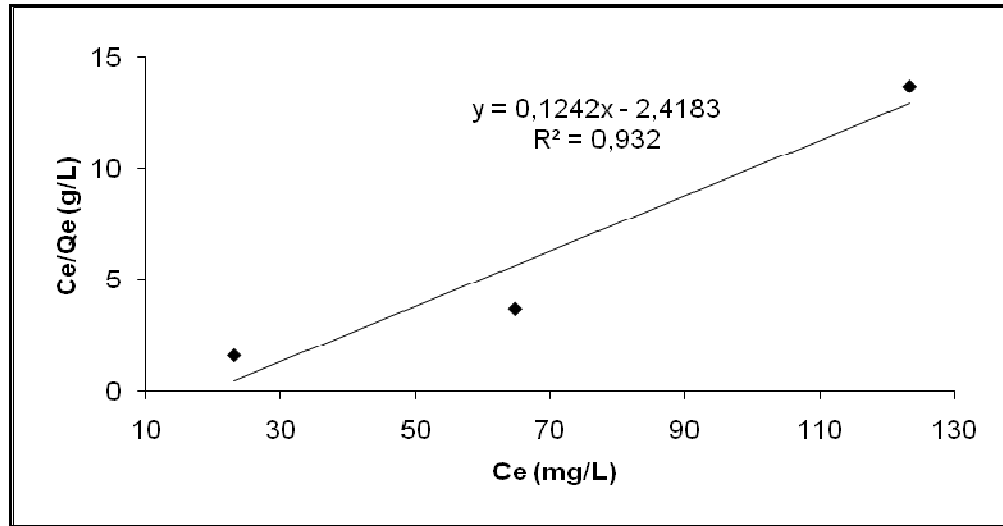
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
136,90	119,3	17,6	6,778
91,13	72,12	19,01	3,790
44,92	23,51	24,41	1,098



Şekil 4.28: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.33: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

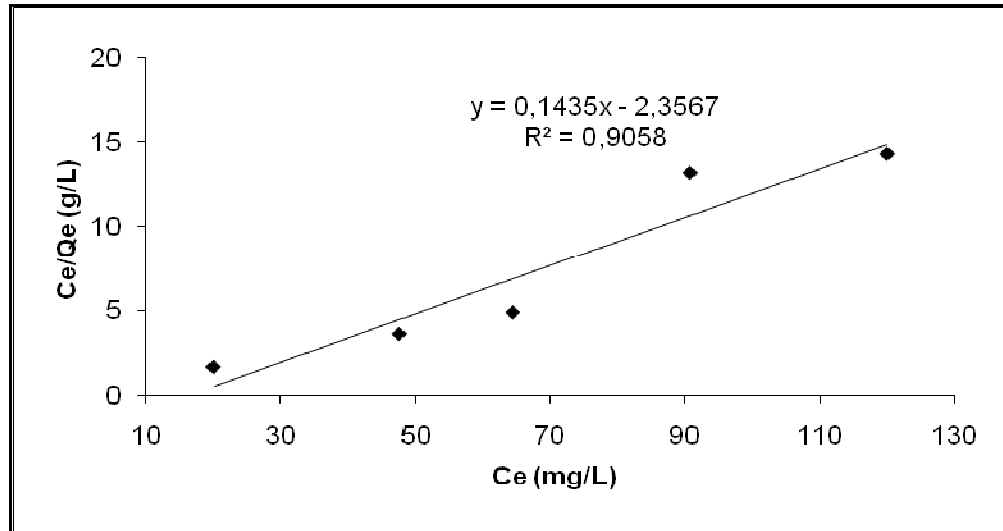
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
136,90	123,4	9,00	13,710
91,13	64,83	17,53	3,697
44,92	23,15	14,51	1,595



Şekil 4.29: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.34:Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

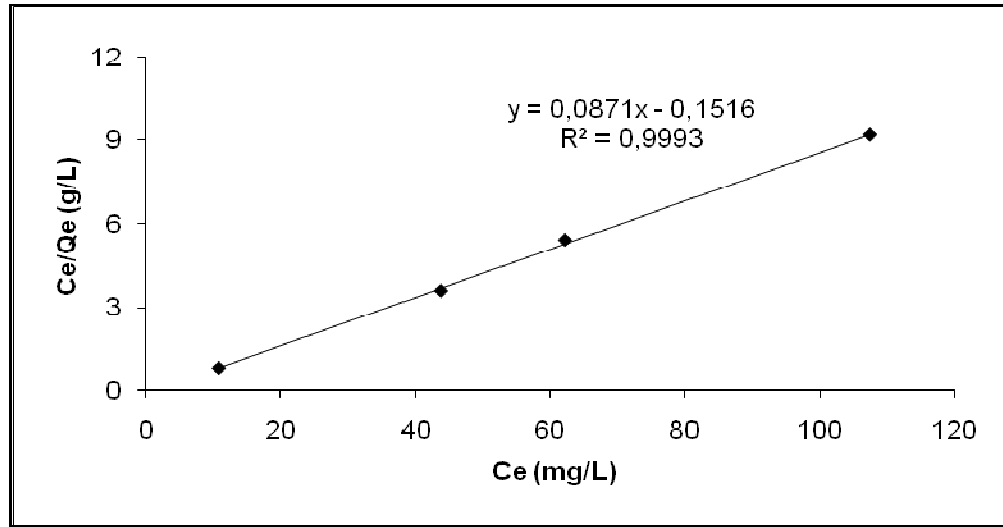
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
136,9	120,10	8,40	14,297
104,7	90,89	6,90	13,162
91,30	64,49	13,32	4,841
74,60	47,74	13,36	3,573
44,92	20,13	12,39	1,624



Şekil 4.30: Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.35: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
136,90	107,60	11,72	9,180
104,70	91,73	5,18	17,681
74,6	43,83	12,25	3,577
44,92	10,79	13,65	0,790



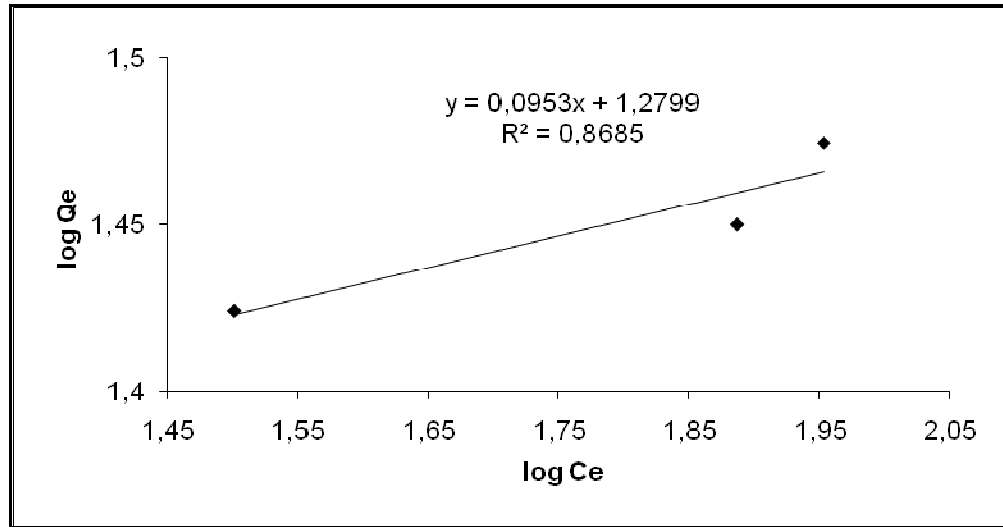
Şekil 4.31: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

2.Freundlich İzotermi

$$\log Q_e = \log K_f + 1/n \log C_e$$

Tablo 4.36: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

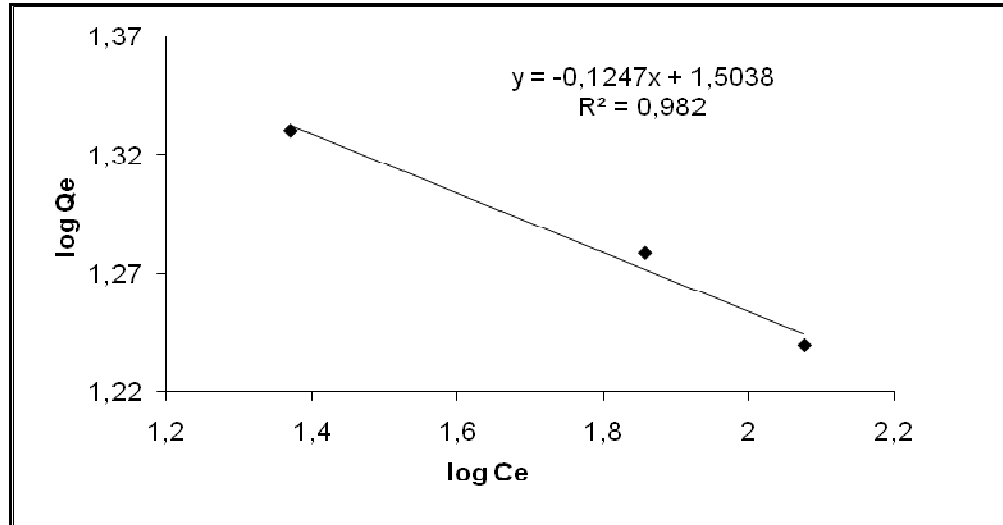
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
128,50	16,80	1,2253	2,1089
89,80	29,80	1,4742	1,9532
77,04	28,18	1,4499	1,8867
31,64	26,56	1,4242	1,5002



Şekil 4.32: Kadmiyumun 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.37: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

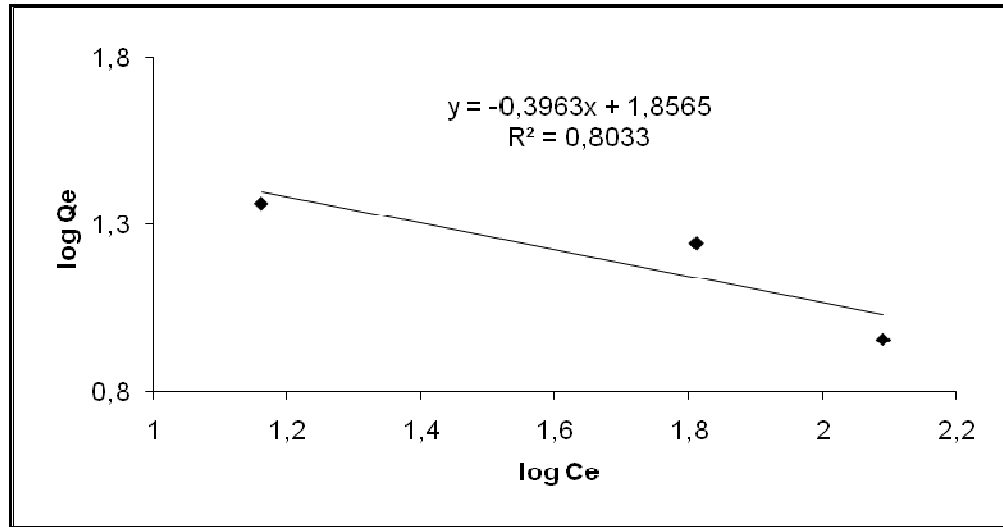
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
119,30	17,60	1,2455	2,0766
72,12	19,01	1,2789	1,8580
23,51	21,41	1,3306	1,3712



Şekil 4.33: Kadmiyumun 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.38: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

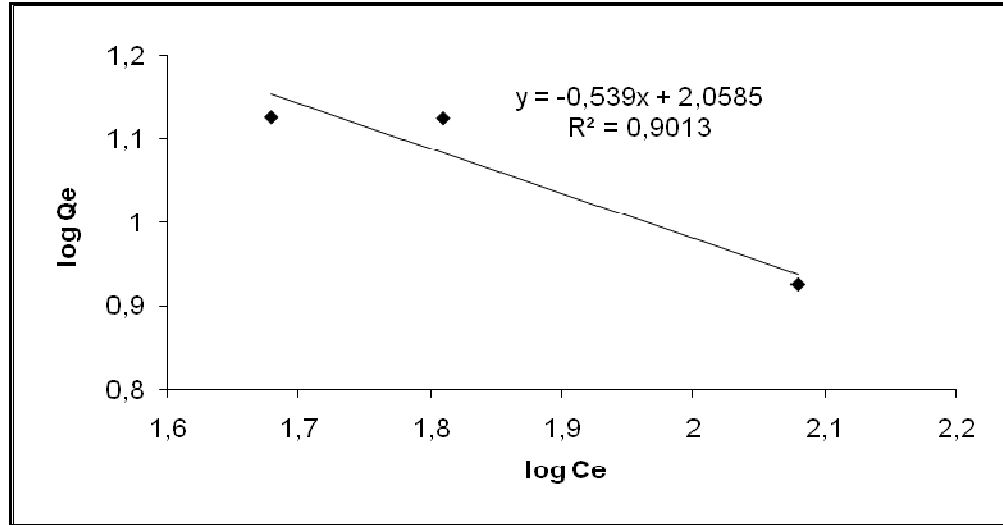
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
123,40	9	0,9542	2,0913
64,83	17,53	1,2438	1,8117
23,15	14,51	1,3645	1,1617



Şekil 4.34: Kadmiyumun 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.39: Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

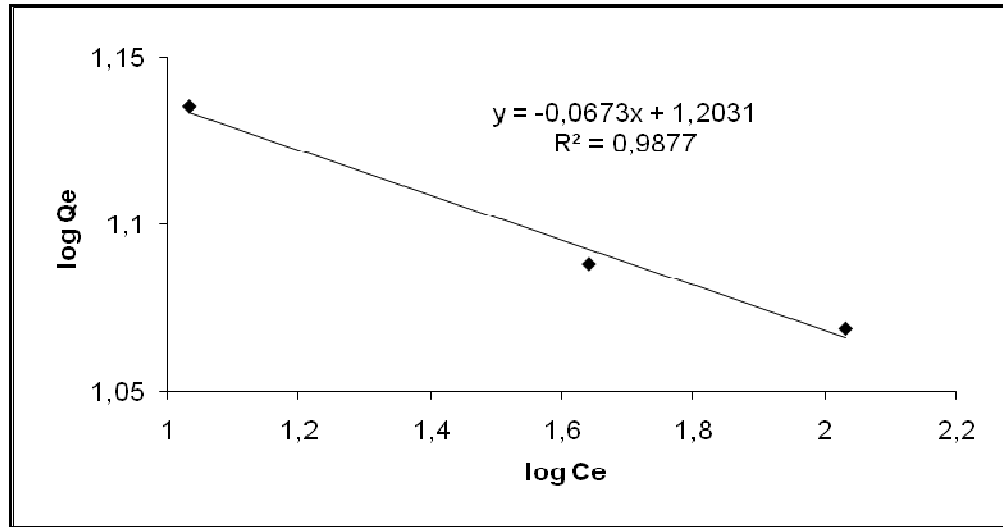
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
120,10	8,4	0,9242	2,0795
64,49	13,32	1,1245	1,8094
47,74	13,36	1,1258	1,6788



Şekil 4.35: Kadmiyumun 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.40: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
107,60	11,72	1,0689	2,0318
43,83	12,25	1,0882	1,6417
10,79	13,65	1,1352	1,0330



Şekil 4.36: Kadmiyumun 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.41: Kadmiyumun Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri

Karbon nanotüp miktarı (g)	Freundlich parametreleri				Langmuir parametreleri			
	Log K_f (mg / g)	1/n	K_f	n	1/ Q_0	K_L/Q_0	Q_0	K_L
0,01	1,27	0,0953	18,62	10,49	0,0673	-1,46	14,85	-21,69
0,02	1,50	-0,1247	31,62	-8,01	0,0593	-0,36	16,86	-6,12
0,03	1,85	-0,3963	70,79	-2,52	0,1242	-2,41	8,05	-19,40
0,04	2,05	-0,5390	112,20	-1,85	0,1435	-2,35	6,96	-16,37
0,05	1,20	-0,0673	15,84	-,14,85	0,0871	-15,16	11,48	-1,74

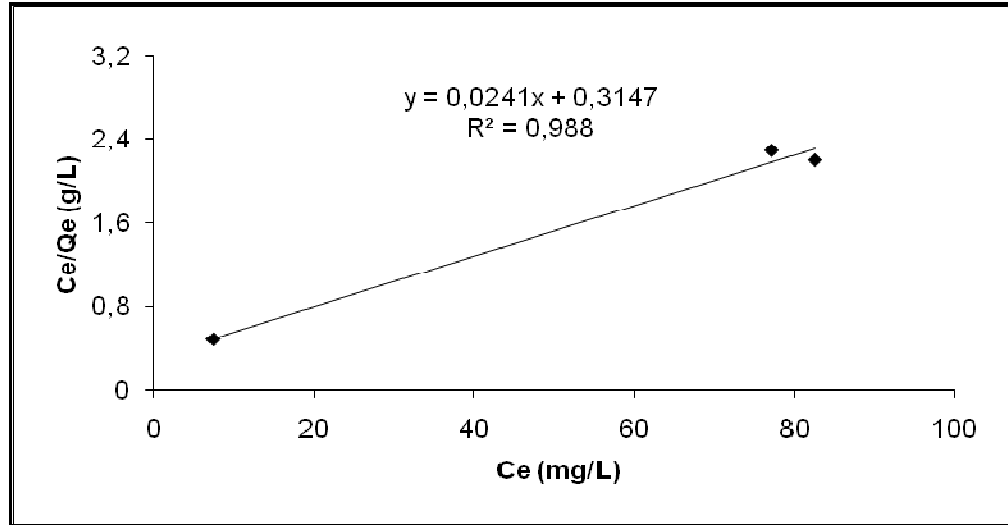
4.2.6. Nikel Adsorpsiyonu

1.Langmuir İzotermi

$$C_e / Q_e = K_L / Q_o + C_e / Q_o$$

Tablo 4.42: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

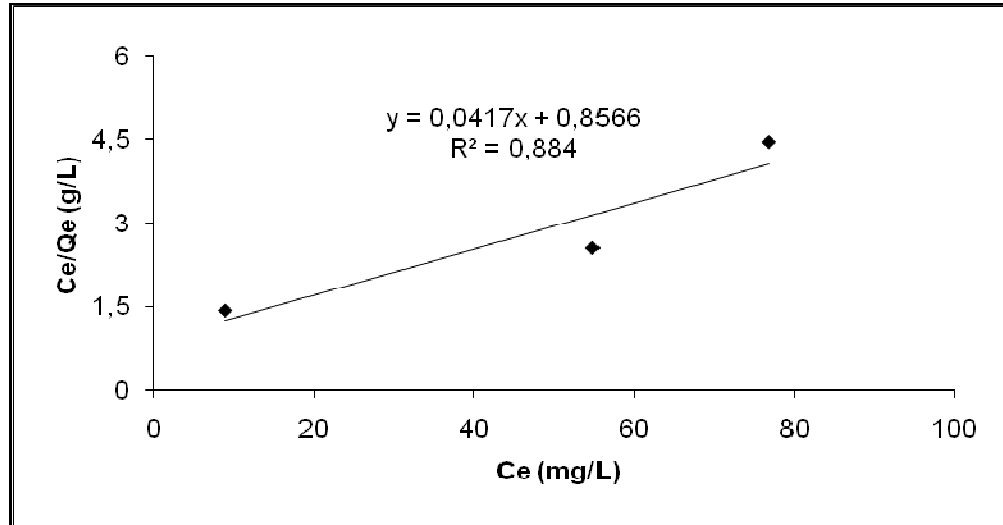
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
15,18	7,49	15,38	0,487
94,14	77,28	33,72	2,291
101,4	82,61	37,58	2,198



Şekil 4.37: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.43: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

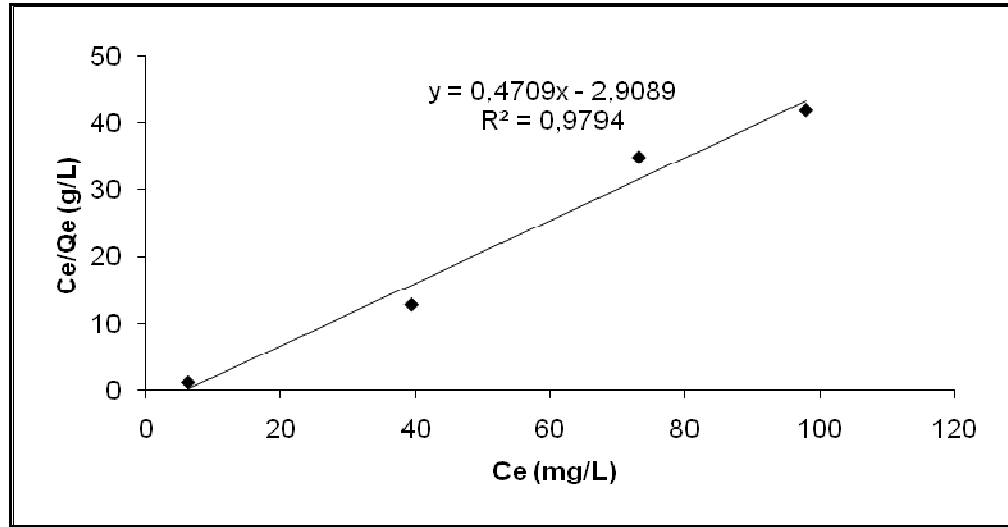
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
15,18	8,92	6,26	1,424
76,34	54,87	21,47	2,555
94,14	76,90	17,24	4,460



Şekil 4.38: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.44: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

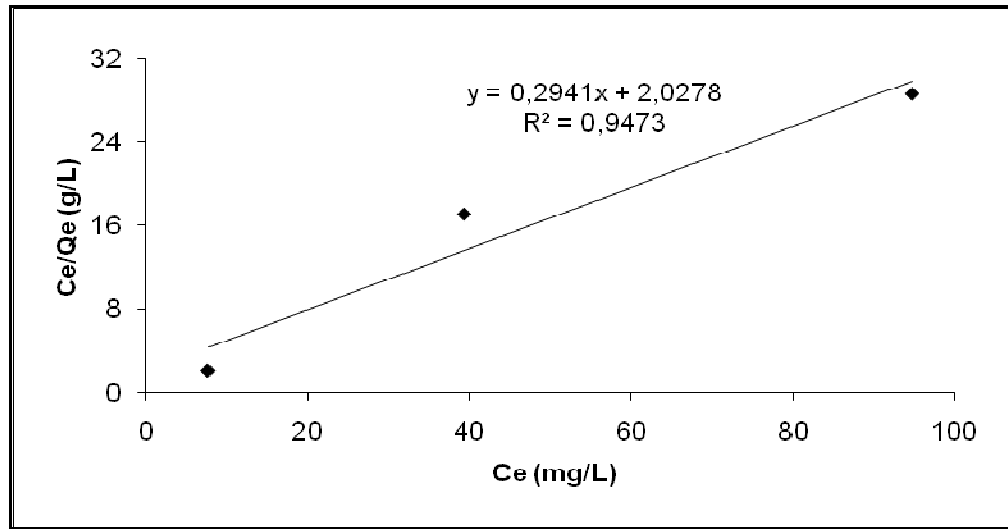
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
15,18	6,42	5,84	1,099
44,06	39,41	3,10	12,712
76,34	73,19	2,10	34,852
101,40	97,89	2,34	41,833



Şekil 4.39: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.45: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

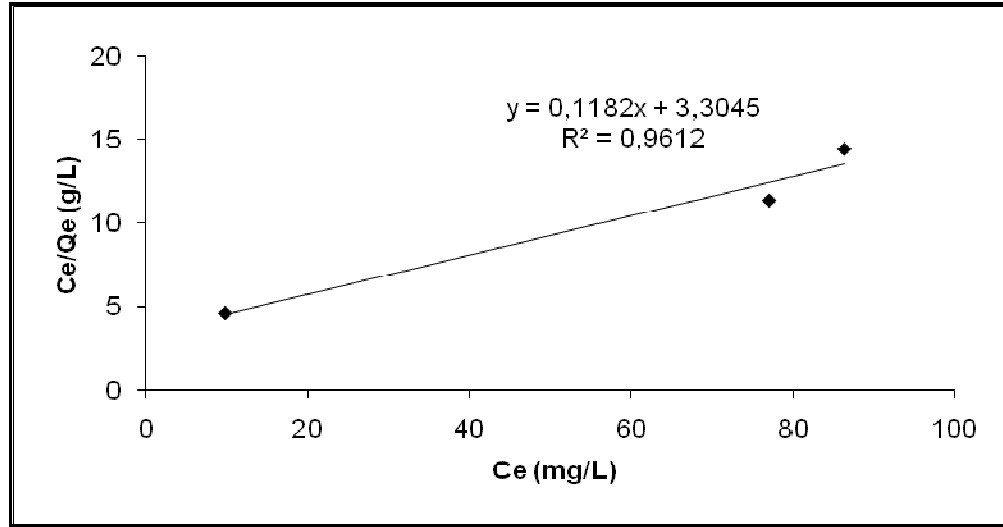
Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
15,18	7,77	3,705	2,097
44,06	39,45	2,305	17,115
101,4	94,78	3,310	28,634



Şekil 4.40: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

Tablo 4.46: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izoterm verileri

Başlangıç Asit Kons. (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e / Q_e (g/L)
15,18	9,83	2,140	4,593
94,14	77,18	6,784	11,376
101,4	86,44	5,984	14,445



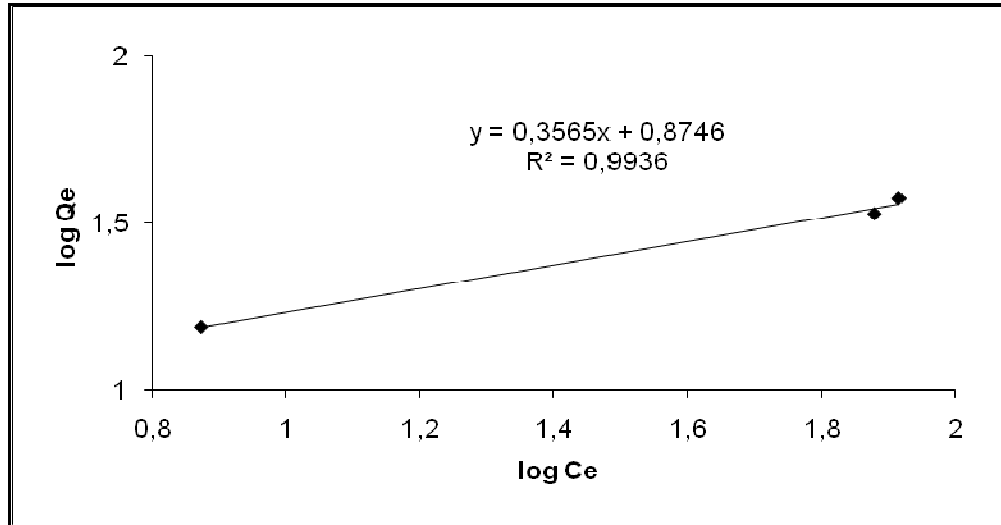
Şekil 4.41: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Langmuir izotermi

2.Freundlich İzotermi

$$\log Q_e = \log K_f + 1/n \log C_e$$

Tablo 4.47: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

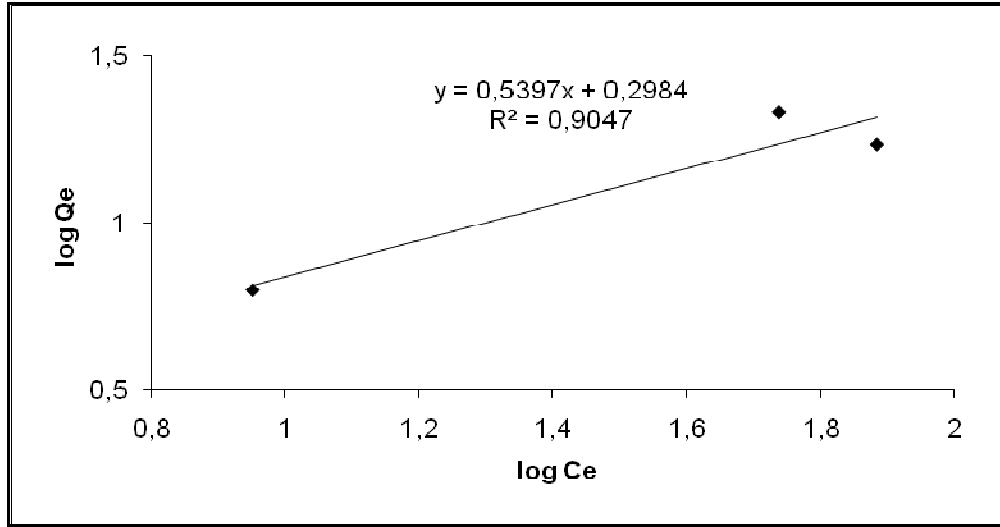
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
7,49	15,38	1,1869	0,8744
77,28	33,72	1,5278	1,8807
82,61	37,58	1,5749	1,9170



Şekil 4.42: Nikelin 0,01 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.48: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

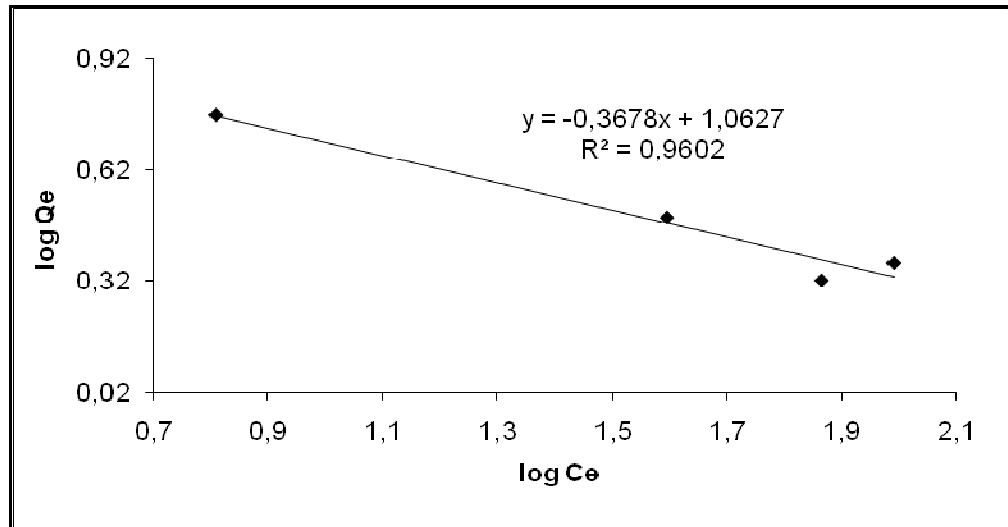
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
8,92	6,26	0,7965	0,9503
54,87	21,47	1,3318	1,7393
76,90	17,24	1,2365	1,8859



Şekil 4.43: Nikelin 0,02 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.49: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

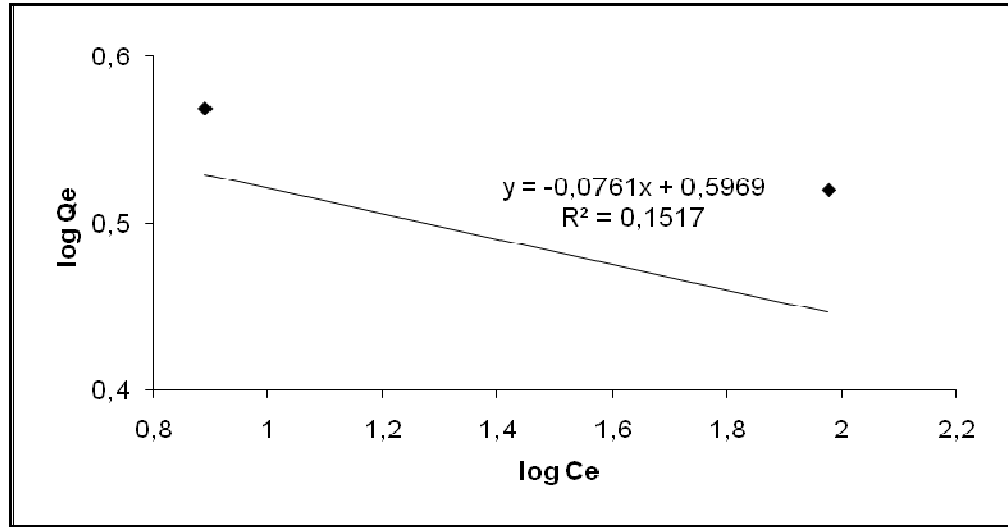
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
6,42	5,84	0,7664	0,8075
39,41	3,10	0,4913	1,5956
73,19	2,10	0,3222	1,8644
97,89	2,34	0,3692	1,9907



Şekil 4.44: Nikelin 0,03 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.50: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

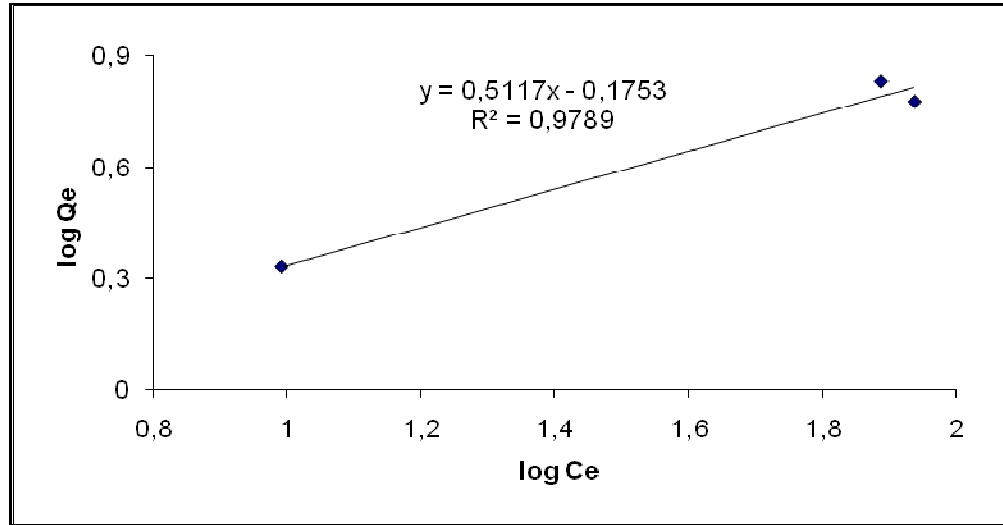
C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
7,77	3,70	0,5687	0,8904
39,45	2,30	0,3626	1,5960
94,78	3,31	0,5198	1,9767



Şekil 4.45: Nikelin 0,04 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.51: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izoterm verileri

C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	$\log Q_e$	$\log C_e$
9,83	2,14	0,3304	0,9925
77,18	6,78	0,8314	1,8875
86,44	5,98	0,7769	1,9367



Şekil 4.46: Nikelin 0,05 g karbon nanotüple adsorpsiyonuna ilişkin Freundlich izotermi

Tablo 4.52: Nikelin Nanotüp Üzerine Adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich İzoterm Parametreleri

Karbon nanotüp miktarı (g)	Freundlich parametreleri				Langmuir parametreleri			
	Log K_f (mg / g)	1/n	K_f	n	1/ Q_0	K_L / Q_0	Q_0	K_L
0,01	0,87	0,3560	7,49	2,80	0,0241	0,3147	41,49	13,05
0,02	0,2984	0,5397	1,98	1,85	0,0417	0,8566	23,98	20,54
0,03	1,06	-0,3678	11,48	-2,71	0,4709	-2,9089	2,12	-6,17
0,04	0,5969	-0,0761	3,95	-13,14	0,2941	2,0200	3,40	6,86
0,05	-0,1753	0,5117	-1,49	1,95	0,1182	3,3000	8,46	27,91

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, karbon nanotüplerin adsorpsiyon işlemlerinde kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Biyoteknolojik asitlerden sitrik, laktik, tartarik, glikolik asit, ağır metallerden Cd^{2+} ve Ni^{2+} tuzları KNT'lerle adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur.

İlk aşamada sitrik asit, laktik asit, tartarik asit ve glikolik asidin 5'er farklı başlangıç konsantrasyonundaki sulu çözeltileri hazırlanmış, sabit karbon nanotüp miktarı ile 25, 35 ve 45°C sıcaklıklarda adsorpsiyon işlemi uygulanmıştır. Yine aynı asitlerin yaklaşık % 9'luk çözeltileri kullanılarak dengeye gelme süreleri belirlenmiştir. Her bir asitten 22'şer deneme yapmak suretiyle, toplam 88 asit denemesi yapılmış denemelerin sonuçları tablolar halinde verilmiştir. Yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar kullanılarak her bir asit için Langmuir ve Freundlich izoterm verileri hesaplanıp grafikler halinde sunulmuştur.

İkinci aşamada ise $CdSO_4$ ve $NiSO_4$ çözeltileri hazırlanmış ve değişen KNT miktarı ile adsorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Toplam 40 adet deneme yapılarak sonuçlar elde edilmiş, tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

Karbon nanotüplerle yapılan asit adsorpsiyonu denemeleri sonucunda sıcaklık artışıyla adsorpsiyon etkinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedenini genel olarak sıcaklık farklarının az olduğu durumlarda, adsorpsiyon veriminde çok büyük bir fark olmamakla beraber sıcaklık arttığında, azalan bir trend gözlemlenmesi olarak açıklayabiliriz.

Yapılan denemeler sonucunda elde edilen denge değerleriyle adsorpsiyon izotermleri çizilmiş Freundlich ve Langmuir izotermi kıyaslanmıştır. Grafiklerden, KNT'lerle asit adsorpsiyonunda Langmuir izotermi Freundlich izotermine oranla daha fazla uyum sağladığı anlaşılmıştır. Adsorpsiyonun Langmuir izotermine uymasından, adsorbent üzerindeki aktif noktaların homojen olduğu düşünülmektedir [27].

Yapılan denemelerde farklı konsantrasyonda metal tuzlarının çözeltileri hazırlanmış ve 5 farklı KNT miktarı ile 6 saat boyunca 25 °C'de 180 rpm çalkalama hızında temas getirilmiştir. Adsorpsiyon sonrası sulu faz, adsorpsiyon işlemine tabi tutulmamış çözelti

ile aynı şartlarda AAS'de analiz edilmiştir. Artan karbon nanotüp miktarıyla, aynı başlangıç konsantrasyonu için adsorpsiyon yüzdesi artarken, adsorpsiyon etkinliğinin azaldığı görülmüştür. Li ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Pb^{2+} 'nın KNT'lerle adsorpsiyon işleminin 60 dakikada dengeye geldiğini belirlemişler ve metal tuzu çözeltisinin başlangıç konsantrasyonunun ne kadar düşük olursa dengeye gelme süresinin o kadar kısa olacağını ifade etmişlerdir [37]. Yapılan denemelerde farklı konsantrasyondaki çözeltiler için en uygun KNT miktarının 0,01 g olduğu belirlenmiş, bulunan sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Elde edilen denge değerleri kullanılarak Freundlich ve Langmuir izotermi çizilmiş, grafiklerden karbon nanotüplerle metal adsorpsiyonunda hem Langmuir hem de Freundlich izoterm modelinin uygun olduğu tesbit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. KOCABAŞ, S. 2006, “*Karbon Nanotüpleri üzerinde hidrojen adsorpsiyonunun incelenmesi*”, Doktora tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
2. USLU, H., 2005, “*Bazı hidroksi organik asitlerin sulu çözeltilerinden ayrılmasının incelenmesi*”, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
3. İNCİ, İ., 2000, “*Bazı hidroksi karboksilik asitlerin sulu çözeltilerinden ekstraksiyonlarının incelenmesi*”, Doktora tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
4. İNCİ, İ., HASDEMİR, M., BİLGİN, M., AYDIN, A., 2000 “*Laktik asidin Alamine-336 ile çeşitli seyreltici çözücüler kullanarak ekstraksiyonunun incelenmesi*”, *Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*, 24, 45-51
5. HASAR, H., 2003, “*Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk*” *Journal of Hazardous Materials*, 97 49-57.
6. CHEN, C., WANG, X, 2006, Adsorption of Ni (II) from aqueous solution using oxidized multiwalled carbon nanotubes”, *Industrial Engineering Chemistry*, 45, 9144-9147.
7. BALASUBRAMANIAN, K., BURGHARD M., 2005, “*Chemically functionalized carbon nanotubes*”, *Small*, 1(2), 180-192.
8. www.fizik.itu.edu.tr/tr/seminer/document/gdereli1.pdf (Ziyaret tarihi: 8 Ağustos 2009)
9. <http://cohesion.rice.edu/naturalsciences/smalley/> (Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2009)
10. MUTLAY, İ., 2007, “*Sürekli karbon nanotüp üretimi*”, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
11. LIU, X., 2006, “*Synthesis, devices and applications of carbon nanotubes*”, A Dissertation Present Presented to the Faculty of the Graduate School University of South California.
12. LU, C., LIU, C., RAO, G., P., 2007, “*Comparisions of sorbent cost for the removal of Ni 2+ from aqueous solution by carbon nanotubes and granular activated carbon*”, *Journal of Hazardous Material*, 151, 239-246.
13. http://www.yaklasansaat.com/dunyamiz/bilim_ve_teknoloji/nanoteknolojide_karbon.asp (Ziyaret Tarihi: 10 Eylül 2009)
14. <http://arsiv.ntvmsnbs.com/news/321325.asp> (Ziyaret tarihi: 20 Şubat 2009)

15. KALAY, B., 2006, “*Sulu çözeltilerden Cu^{2+} 'nın kaolinit yüzeyine adsorpsiyonu*”, Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
16. GÜÇLÜ, K., 1999, “*pH ve kaompleksan bağımlı ağır metal adsorpsiyonunun incelenmesi ve modellenmesi*”, Doktora tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. ÖZER, Y., 1993, “*Aktif karbon adsorpsiyonu*”, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
18. GÖKÇE, C., E., 2005, “*Farklı kaynaklardan üretilen adsorbanlarla hümik asitlerin adsorpsiyonu*”, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. ÇALIŞKAN, E., 2007, “*Asit, lantanyum ve alüminyum ile işlem görmüş aktif karbonlar ile florür adsorpsiyonu.*”, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
20. <http://kimyadepo.googlepages.com/adsorbsiyondeney4.pdf> (Ziyaret tarihi: 28 Aralık 2008)
21. BUNDLY, F., P., 2003, “Direct conversion of graphite to diamond in statik pressure apparatus”, *Journal of Chemical Physics*, 38, 631-643.
22. ORAL, A., 2005, “Taramalı uç mikroskobu: atomlarda magnetik girdaplara görüntüleme”, *Bilim ve Teknik*.
23. SEVİ, A., H., 2006, “*Nanoteknolojide karbon nanotüplerin dayanıklılık simülasyonları*”, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
24. KOÇ, M., B., 2005, “*Nanotüpler*”, Bitirme Ödevi, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
25. REYNHOUT, X., E., E., 2003, “*The wonderous world of carbon nanotubes*”, Eindhoven University Technology.
26. BAYRAKTAR, E., 1998, “*Tutuklanmış A.Niger ile sitrik asit üretiminin gerçekleştiği üç fazlı dolgulu kolon biyoreaktörünün modellenmesi*”, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
27. BAYAZİT, Ş., S., 2008, “*Fermantasyonla üretilen organik asitlerin ayırma yöntemlerinin değerlendirilmesi*”, Yüksek lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
28. ASILDAĞ, M., 2006, “*Laktik asidin fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi.*”, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

29. GÖKSUNGUR, Y., 1998, “*Melastan laktik asit üretim tekniklerinin kullanılabilirliği ve ortam şartlarının optimizasyonu*”, Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
30. SAVRAN, H., E., 1999, “*Nar suyunda organik asit dağılımı*”, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
31. ÖZHAN, H., Ç., ÜLKÜ, C.P., URUN, S., ÖZTÜRK D., 2009, “*Tartarik asit üretimi*”, Bitirme Ödevi, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi.
32. http://en.wikipedia.org/wiki/Tartaric_acid (Ziyaret Tarihi: 25 Ağustos 2009)
33. USLU, G., 1999, “*Kadmiyum II, kurşun II ve bakır II iyonlarının R.arrhizus’un üreme kinetiğine etkisi ve adsorpsiyonu*” Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
34. <http://en.wikipedia.org/wiki/Cadmium> (Ziyaret Tarihi: 1 Eylül 2009)
35. <http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel> (Ziyaret Tarihi: 1 Eylül 2009)
36. İPEK, İ., 2008, “*Nikel ve monel malzemelerin kaynağı*”, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
37. LI, Y., H., DI, Z., DING, J., WU, D., LUAN, Z., Y., 2005, “Adsorption thermodynamic, kinetic and desorption studies of Pb^{2+} on carbon nanotubes”, **Water Research.**, 39, 605-609.
38. AKBULUT, H., 2006, “*Karbon nanotüpler*”, Seminer Sunumu, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
39. <http://students.chem.the.nl/ifp03/synthesis.html> (Ziyaret tarihi: 18 Kasım 2008)
40. http://en.wikipedia.org/wiki/Citric_acid (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)
41. http://en.wikipedia.org/wiki/Lactic_acid (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)
42. http://en.wikipedia.org/wiki/Glycolic_acid (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2009)

ÖZGEÇMİŞ

1983 İstanbul doğumlu Özge Nurhayat Arslanoğlu, 2002 yılında Gaziosmanpaşa Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra aynı yıl İ.Ü. Kimya Mühendisliğinde lisans eğitimine başlamıştır. 2007 yılında buradan mezun olduktan sonra yine aynı yıl Temel İşlemler ve Termodinamik A.B.D.'a yüksek lisans eğitimi için kabul edilmiş ve halen bu bölümde eğitimine devam etmektedir.