

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

MATEMATİK ANABİLİM DALI

**GAZ SENSÖRÜ TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞI TABANLI MATEMATİKSEL
MODELLEME YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sibel ÇELİK AÇIKBAŞ

**HAZİRAN UŞAK
2019**

**T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

MATEMATİK ANABİLİM DALI

**GAZ SENSÖRÜ TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞI TABANLI MATEMATİKSEL
MODELLEME YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sibel ÇELİK AÇIKBAŞ

UŞAK 2019

Sibel ÇELİK AÇIKBAŞ tarafından hazırlanan **Gaz Sensörü Tasarımı Ve Yapay Sinir Ağı Tabanlı Matematiksel Modelleme Yaklaşımı** adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ali DENİZ

Tez Danışmanı, Matematik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Matematik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ali DENİZ

Matematik Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Kemal BÜYÜKKABASAKAL

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Veysel Fuat HATİPOĞLU

Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Tarih: 28/06/2019

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Murat Kemal KARACAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sibel ÇELİK AÇIKBAŞ



**GAZ SENSÖRÜ TASARIMI VE YAPAY SİNİR AĞI TABANLI MATEMATİKSEL
MODELLEME YAKLAŞIMI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Sibel ÇELİK AÇIKBAŞ

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2019

ÖZET

Bu tezde, kimyasal sensör element olarak kullanılmak üzere Langmuir-Blodgett (LB) tekniği ile grafen oksit (GO) ince filmleri hazırlanmıştır. GO nano LB ince filmlerin özelliklerinin karakterize edilmesi için Kuartz Kristal Mikrobalsans (KKM) sistemi kullanılmıştır. Aynı zamanda, nano ince film sensörünün çeşitli zararlı organik buharlara karşı seçiciliği KKM tekniği ile incelenmiştir. Nano ince filmlerin şişme süreçleri Fick denklemleri ile analiz edilmiştir. Şişme sürecinde organik buharların difüzyon katsayıları (D) da elde edilmiştir. İlk deneysel çalışmalar, GO malzemesinin etkili kimyasal sensör karakteri sergilediği diklorometan buharına karşı verdiği büyük tepki ile ortaya çıkmıştır. Deneysel veriler kullanılarak kuartz titreştiricinin frekans değişiminin NARX-ANN tabanlı matematiksel modeli tasarlanmıştır. NARX-ANN sonuçları tasarlanan modelin etkin olduğunu doğrulamıştır.

Anahtar kelimeler: Nano ince film, grafen oksit, Fick' in ikinci yasası, NARX-ANN matematiksel model.

Sayfa Adedi: 54

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Ali DENİZ

**THE DESIGN OF GAS SENSOR AND THE APPROACH OF ARTIFICIAL
NEURAL NETWORKS BASED MATHEMATICAL MODEL**

(M.Sc.Thesis)

Sibel ÇELİK AÇIKBAŞ

UNIVERSITY OF UŞAK

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

In this thesis, graphene oxide (GO) thin films were prepared by Langmuir-Blodgett (LB) thin film technique to use as chemical sensor element. Quartz crystal microbalance (QCM) was employed to characterize the properties of GO nano LB thin film layers. Also, selectivity of the nano thin film sensor to various harmful organic vapors was investigated by QCM technique. Fick's Equations were used for analyzing the swelling process of nano thin film sensor. Diffusion coefficients (D) values of organic vapors for swelling were also obtained. The initial experiments have revealed that GO materials exhibited an effective chemical sensor characteristic with a large response to dichloromethane vapor. Then, by using experimental data that obtained during this process, NARX-ANN based mathematical model of frequency shift of the quartz resonator was designed. The results of NARX-ANN verify the efficiency of the designed model.

Keywords: Nano thin film, graphene oxide, Fick's second law, NARX-ANN mathematical model.

Page Number: 54

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali DENİZ

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca katkı, eleőtiri ve manevi destekleri için Danıőmanım Doç. Dr. Ali DENİZ' e, deney araç ve malzemelerinin temin edilmesinde yardımcı olan Balıkesir Üniversitesi öğretim üyeleri Prof. Dr. Rıfat ÇAPAN ve Prof. Dr. Matem ERDOĞAN' a matematiksel modellemede yardımını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Kemal BÜYÜKKABASAKAL' a, maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim Doç. Dr. Yaser AÇIKBAŞ' a ve AİLE' me TEŞEKKÜR ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	iviii
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE METOD	2
2.1. Grafen /Grafen Oksit (GO)	2
2.2. Zararlı Uçucu Organik Bileşikler (UOB)	3
2.2.1. Benzen	5
2.2.2. Diklorometan	6
2.2.3. Karbontetraklorür.....	7
2.3. Langmuir-Blodgett İnce Film Üretim Tekniği	8
2.3.1. Langmuir-Blodgett İnce Film Üretiminin Tarihçesi.....	8
2.3.2. Langmuir-Blodgett İnce Filmlerinde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	9
2.3.3. LB Sisteminde Yüzey Basıncı Ve İzoterm Grafiği	9
2.3.3.1.Yüzey Basıncı.....	9
2.3.3.2. İzoterm Grafiği	11
2.3.4. Langmuir- Blodgett Tekniği İle İnce Film Oluşturma Avantajları.....	12
2.3.5.Langmuir – Blodgett İnce Film Tekniğinin Uygulama Alanları	13
2.4. Kuartz Kristal Mikrobalans Sistemi (KKM)	13
2.4.1.Kuartz Kristalin Yapısı	14
2.4.2. Kuartz Kristal Ölçüm Sistemi	15
2.5. Sensörler	15
2.6. Fick' in İkinci Kanunu	17
2.7. Yapay Sinir Ağları	18

2.7.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	18
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
3.1. GO Maddesine ait İzoterm Grafiği Değerlendirmeleri	22
3.2.Kuartz Kristal Yüzey Üzerine GO Langmuir-Blodgett İnce Film Üretimi	23
3.3.Kuartz Kristal Mikrobals (KKM) Ölçümleri	24
4. MATEMATİKSEL MODELLEMELER	26
4.1. Fick' in İkinci Yasası' nın İki Boyutlu Bir Düzleme Uygulanması ve Difüzyon Katsayısı Hesabı.....	26
4.2 .Tasarlanan ANN Yapısı.....	29
4.3 .Yapay Sinir Ağı Modelleme Sonuçları.....	31
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	36
6. KAYNAKLAR.....	38
7. ÖZGEÇMİŞ.....	41

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.2.1. Benzen molekül yapısı.....	5
Şekil 2.2.2. Diklorometan molekül yapısı.....	6
Şekil 2.2.3. Karbon tetraklorür molekül yapısı.....	7
Şekil 2.3.1. Wilhelmy plaka yöntemiyle yüzey basıncı ölçümü a) plakanın önden görünümü b) plakanın yandan görünümü.....	10
Şekil 2.3.2. İdeal bir izoterm grafiğinden elde edilen molekül başına düşen alan grafiği.....	12
Şekil 2.4.1. Tipik bir kuartz kristalin yapısı.....	14
Şekil 2.5.1. Tipik şematik sensör sistemleri.....	16
Şekil 2.6.1. Nöronun yapısı.....	19
Şekil 2.6.2. Yapay Sinir Ağları Genel Yapısı.....	20
Şekil 3.1.1. GO maddesine ait izoterm grafiği.....	23
Şekil 3.2.1. Üretilen GO LB ince filmin tabaka sayısına bağlı rezonans frekansındaki değişimi.....	24
Şekil 3.3.1. GO LB ince filmin zararlı organik buharlara karşı tepkisi.....	25
Şekil 4.1.1. Normalize frekans değişiminin zamana göre değişimi.....	28
Şekil 4.1.2. Normalize frekans değişiminin zamanın kareköküne göre değişimi.....	28
Şekil 4.2.1. Tez kapsamında tasarlanan NARX-ANN yapısı.....	29
Şekil 4.3.1. Diklorometan için NARX ANN modelleme sonuçları.....	32
Şekil 4.3.2. Karbon tetraklorür için NARX ANN modelleme sonuçları.....	33
Şekil 4.3.3. Benzen için NARX ANN modelleme sonuçları.....	34

TABLO LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Çevre ve dünya atmosferine zarar veren uçucu organik bileşikler ve kaynakları.....	4
Tablo 2.5. Sensörlerin fiziksel veya kimyasal özelliğe göre ölçtüğü büyüklükler.....	15
Tablo 3.1. 0,34 g/L derişimli ve 1200 µL çözelti hacimlerindeki faz geçişlerinde yüzey basıncı değerleri.....	23
Tablo 4.1. NARX ANN modelleme hatasına ait ortalama karesel hata(MSE) ve standart sapma değerleri.....	35
Tablo 4.2. Deneysel sonuçlardan ve NARX-ANN modelinden elde edilen difüzyon katsayıları	35

KISALTMALAR VE SİMGELER

KISALTMALAR

LB

UOB

mg

mmol

ml

μ L

kPa

DCM

KTK

PTFE

m

mm

μ m

nm

mN

sn

QCM

AÇIKLAMA

Langmuir-Blodgett

Uçucu Organik Bileşikler

miligram

milimol

mililitre

mikrolitre

Kilopaskal

Diklorometan

Karbon tetraklorür

Politetrafloroetilen

metre

milimetre

mikrometre

Nanometre

mili Newton

saniye

Kuartz Kristal Mikrobalans

SİMGELER

L

W

t

h

θ

ρ_w

AÇIKLAMA

Kromotografi kağıdının boyu

Kromotografi kağıdının eni

Kromotografi kağıdının kalınlığı

kromotografi kağıdının ara fazda kalan kısmı

Kağıdın ara faz ile yaptığı açı

Kağıdın yoğunluğu

F	Net kuvvet
ΔF	Kuvvet değişimi
g	Yer çekimi ivmesi
ρ	Sıvının yoğunluğu
γ	Ara faz sıvısının yüzey gerilimi
γ'	Çözelti ile ara faz karışımının yüzey gerilimi
$\Delta\gamma$	Yüzey gerilimindeki değişim
Π	Yüzey basıncı
τ	transfer oranı

1. GİRİŞ

Bu yüksek lisans tezinin içeriğini, deneysel ve teorik çalışmalar oluşturmaktadır. Nano boyutta ince filmlerin üretimi ve kimyasal sensör uygulamalarının araştırılması, tezin deneysel çalışmalarını; elde edilen verilerin Fick'in ikinci yasası ve yapay sinir ağ yapısı temelli matematiksel modelin kullanımı ile işlenmesi teorik çalışmaları oluşturmaktadır. Deneysel ve teorik çalışmalara ait sonuçların karşılaştırılması ve tartışılması bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Tezin deneysel çalışmalarında, doğaya ve canlı sağlığını önemli derecede olumsuz etkileyen zararlı organik uçucular arasından karbon tetraklorür, benzen ve diklorometan organik buharları kimyasal sensör uygulamaları için tercih edilmiştir. Langmuir-Blodgett (LB) ince film metoduyla üretilen grafen oksit (GO) nano ince filmlerinin bu zararlı buharlara verdiği tepkiler KKM cihazı ile incelenerek kimyasal sensör olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

Tezin teorik çalışmalarında ise deneysel çalışmalardan elde edilen veriler yapay sinir ağı tabanlı matematiksel modelleme yardımıyla doğrulanmaya çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Grafen / Grafen Oksit (GO)

Karbon çok çeşitli alanlarda, örneğin ağır metaller de dahil olmak üzere bir çok kirleticinin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması gibi çalışmalarda yoğun olarak kullanılan çok yönlü bir adsorbandır. Bu yönlülüğün çeşitliliğini arttırmak için karbon araştırılmış ve bunun sonucunda grafen karbon ailesinin en son ortağı olarak keşfedilmiştir [1]. Grafen, iki bitişik karbon atomu arasında güçlü kovalent bağların olduğu sp² karbon altıgen ağlardan oluşan fiziksel ve kristal yapısı bakımından büyük bir spesifik yüzey alanına, yüksek iç hareketliliğe ve yüksek Young modülüne sahip önemli bir malzemedir [2,3]. Bu üstün özellikleri sayesinde “mucize materyal” adını almıştır [4]. Grafenin sahip olduğu olağandışı enerji dağılım ilişkisi, tek katmanlı grafenin içinde bulundurduğu elektronların kütesiz göreceli Dirac fermiyonları gibi davranması, kuantum spin Hall etkisi ve kolayca işlevselleştirilebilmesi gibi özellikleri vardır [5]. Grafenin başka bir özelliği ise elektronların saçılma uğramadan alt mikrometre seviyelerinde hareket edebilecek kadar yüksek bir kristal kalite sergilemesidir [6]. Grafen, karbon nanotüplere elektrot olarak kullanılarak ucuz bir alternatif sağlayan reaksiyonları transfer edebilmektedir [7]. Grafen araştırmalarında hızlı ve kesin sonuç alınabilmesinin en önemli nedenlerinden biri yüksek kaliteli grafen eldesinde laboratuvar prosedürlerinin nispeten daha basit ve ucuz olmasıdır [4]. Grafen çok farklı üretim yöntemiyle elde edilebilir. Bunlardan bazıları ise; kimyasal buhar biriktirme, Grafen oksitin (GO) indirgenmesi, Epitaksiyel büyütme ve mikromekaniksel olarak grafitin tabakalarının ayrılmasıdır [8]. Ayrıca grafen katalizörler kullanılmaksızın grafitten daha temiz bir materyal elde edilerek sentezlenebilir. Bu durumda grafenin saflığı ve kalitesini kullanılan grafit belirlemektedir. Grafen üstün özellikleri ve çeşitli üretim aşamaları sayesinde temiz enerji cihazları, elektronik, kataliz, sensörler, güçlendirilmiş kompozitler ve biyotıp olmak üzere birçok alanda kullanım yeri bulmuştur [9]. Elektrokimyasal algılama gelecek vaat eden uygulamalar arasındadır. İki boyutlu düzlemde grafen çeşitli nanopartiküller, biyomoleküller, metaller, vb. çok sayıda maddenin immobilizasyonu için

kendine geniş bir yüzey alanı sağlamaktadır. Grafenler haddelenmiş yapısal karbon nanotüplerin aksine katalizin her iki tarafta da desteklenmesi için açık yapıya sahip iki boyutlu genel bir tabaka modeline sahiptir. Bu sebeple grafenin daha etkili bir kataliz taşıyıcısı olması beklenmektedir [7]. Grafenler çeşitli gazların algılanması ve tespiti konusunda da sensörlerde efektif bir şekilde kullanılmaktadır [10]. Genel olarak, sensörler bir algılama sistemiyle elektriksel olmayan fiziksel ve kimyasal analitleri elektriksel sinyallere çevirerek tespit eden bir ara yüz sağlamaktadır. Temel algılama prensipleri belirli alanlara maruz kaldıklarında iletkenliklerinin değişerek sinyale dönüşmesine dayanmaktadır [11].

2.2 Zararlı Uçucu Organik Bileşikler (UOB)

Yüksek buhar basıncına ve suda düşük çözünürlüğe sahip, kaynama sıcaklığı 260 C°'ye kadar olan alifatik veya aromatik yapıdaki hidrokarbonlar uçucu organik bileşikler olarak adlandırılır [12]. Bu bileşiklerin kapalı ortamlarda ve düşük konsantrasyonlarda kısa süreli solunumu halinde; uyuşukluk, baş ağrısı, yorgunluk ve sinir sistemiyle ilgili şikayetlere sebep olabilmektedir, düşük konsantrasyonlarda ve sürekli solunum halinde; kronik solunum yolu hastalıkları, astım veya kanser gibi etkileri görülmektedir. Maruz kalınan konsantrasyon miktarı yükseldikçe olumsuz yaşamsal etkilerin arttığı, koma ve ölümle sonuçlanabildiği görülmüştür. Günümüzde endüstri, sanayi ve kozmetik ürünlerinde bu bileşiklerin kullanımındaki artış sonucu bu bileşiklerin sadece kapalı ortamlardaki hava kalitesinin değil açık ortamlardaki hava kalitesini de düşürdükleri ve atmosfere de büyük ölçüde zarar verdiği anlaşılmıştır. Aşağıdaki Tablo 2.1' de bazı uçucu organik bileşiklerin doğaya ve çevreye salınımında kaynak rol oynayan alanlar verilmiştir.

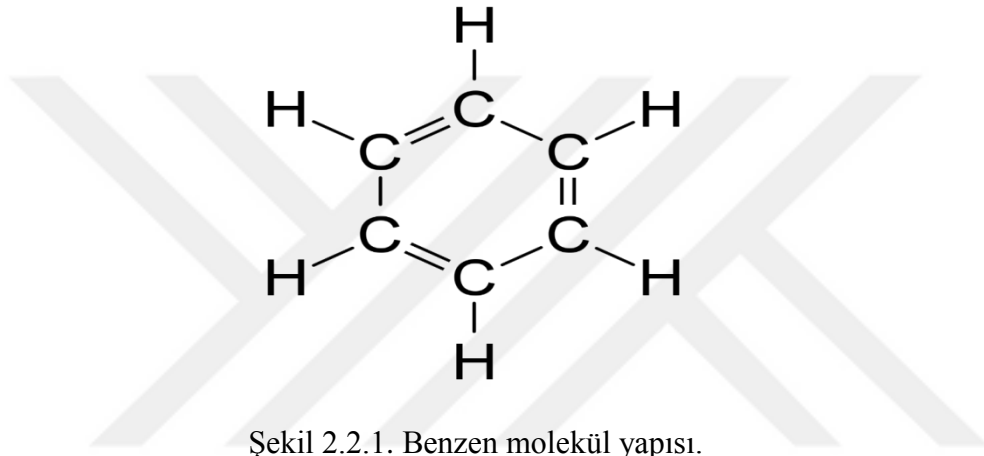
Tablo 2.1. Çevre ve dünya atmosferine zarar veren uçucu organik bileşikler ve kaynakları [13].

Kaynaklar	Ortaya çıkan uçucu organik bileşikler
Ticari ürünler	Alifatik hidrokarbonlar (n-dekan, dallanmış alkanlar, aromatik hidrokarbonlar (toluen, ksilen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (metil klorür), alkoller, ketonlar (aseton, metil etil keton), aldehydler (formaldehit), esterler (glikoleterler), terpenler, (limonen, alfa-pinen)
Boyalar	Alifatik hidrokarbonlar (n-hekzan, n-heptan), aromatik hidrokarbonlar (toluen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (metil klorür, propilen diklorür), alkoller, ketonlar (metil etil keton), esterler (etil asetat), eterler (metil eter, etil eter, butil eter)
Yapıştırıcı malzemeler	Alifatik hidrokarbonlar (hekzan, heptan), aromatik hidrokarbonlar, halojenlenmiş hidrokarbonlar, alkoller, aminler, ketonlar (aseton, metil etil keton), esterler (vinil asetat)
Döşeme ve kumaşlar	Aromatik hidrokarbonlar (stiren, bromlanmış aromatikler), halojenlenmiş hidrokarbonlar (vinil klorür), aldehydler (formaldehit), eterler, esterler.
Yapı malzemeleri	Alifatik hidrokarbonlar (n-dekan, n-dodekan, aromatik hidrokarbonlar (toluen, etil benzen), halojenlenmiş hidrokarbonlar (vinil klorür), aldehydler (formaldehit), ketonlar (aseton), eterler, esterler.

Kapalı ortamlarda bulunan veya kullanılan uçucu organik bileşiklerin kokuyla duyulan sınırın altında ve dış ortamda bulunan uçucu organik bileşiklere göre 5 kat daha fazla olduğu ölçülmüştür [14,15]. Bu sebeple kapalı ortamlarda uçucu organik bileşiklere karşı önlem alınabilmesi için bu bileşiklerin tespit edilmesi önemlidir. Literatürde, son yıllarda yapılan ince film çalışmalarının, kapalı ortamlarda koku yoluyla algılayamayacağımız miktarda bulunan gaz veya organik uçucuların tespit edilmesine yardımcı olacak malzemelerin sensör özelliğini araştırmak için deneysel çalışma ve projeler mevcuttur.

2.2.1 Benzen

Benzen, aromatik hidrokarbon bileşik türü olan, hoş kokulu, renksiz, normal koşullar altında sıvı halde bulunan ve oda koşullarındaki buhar basıncı(20C°) 9,95kPa gibi yüksek bir değere sahip olduğundan çok hızlı buharlaşabilen, su ve bazı diğer organik bileşiklerle çözelti oluşturabilen bir organik bileşik türüdür. Benzin, aseton, eter gibi birçok farklı türevi bulunmaktadır. Benzen ve türevleri; kömür katranı distilasyonu, alifatik hidrokarbonları yüksek basınç ve ısı altında aromatize ederek veya petrolden sentez yoluyla elde edilebilir [16]. Molekül yapısı aşağıda Şekil 2.2.1’de gösterildiği gibidir.



Benzen, fiziksel özellikleri açısından daha kullanışlı ve maliyetinin diğer türevlerine göre daha düşük olduğundan sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Kullanım alanlarından başlıcaları; deri eşyaları ve karton kutu imalatlarında yapıştırıcı olarak, kuru temizleme, madeni aletleri temizleme, oto ve yıldız boyaları eritme, seyreltme işlerinde, kauçuk ve film sanayisinde sıkça kullanılan bir malzemedir.

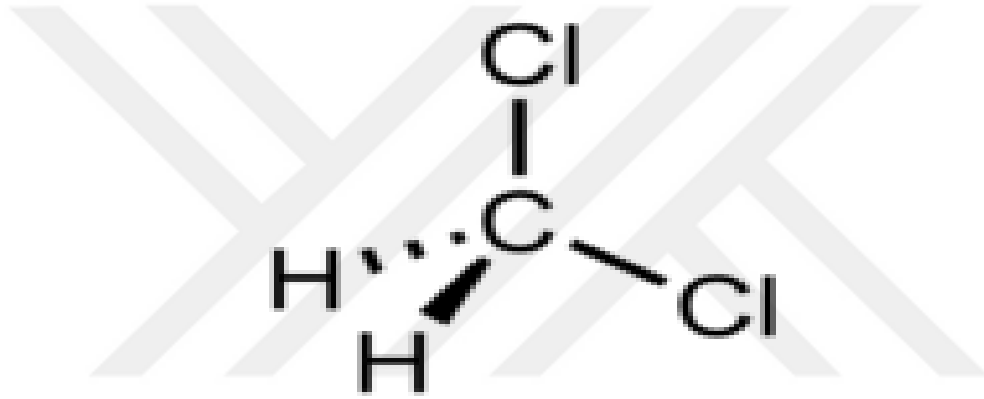
Benzen, insan veya canlı vücuduna daha ziyade solunumla alındığı takdirde zarar verici etkileri görülmüştür. Sindirim yoluyla vücuda alınan benzen miktarı çok az düzeydedir ve deri yoluyla insan vücuduna alınan benzen ise canlıya ciddi zararlar verecek kan konsantrasyonlarına ulaşamaz. Solunum yoluyla vücuda alınan benzenin yaklaşık %50’ absorbe olurken kalan kısmı yine solunum yoluyla dışarı atılır [17].

Benzen buharına kısa süreli maruz kalınması halinde, baş dönmesi, ter boşanması, yüz kızarması, soluğun benzen kokması, çarpıntı, kusma ve bulantı gibi etkileri görülürken kısa süreli yüksek dozlarda solunumu ölümcül sonuçlara sebep olabilmektedir. Benzen kullanılan çalışma alanlarında düşük dozlarda sürekli maruziyet söz konusu olduğundan

zamanla kronik solunum hastalıklarına veya sinir sistemi bozukluklarına yol açabilmektedir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı 8 Ağustos 2013 tarihli resmi gazetede 8 saatlik çalışma süresi boyunca günlük benzene maruz kalma üst sınır değerini 1ppm veya $3,25\text{mg}/\text{m}^3$ olarak yayınlamıştır [18].

2.2.2 Diklorometan

Diklorometan (DCM veya metilen klorür), CH_2Cl_2 (bknz. Şekil 2.2.2) formülüne sahip organik bir bileşiktir. Orta derecede tatlı bir aromaya sahip bu renksiz, uçucu sıvı, yaygın olarak bir çözücü olarak kullanılır. Su ile çözelti oluşturmaz, birçok organik çözücü ile karışabilir ve 20C° 'de buhar basıncı 46,6 kPa'dır.



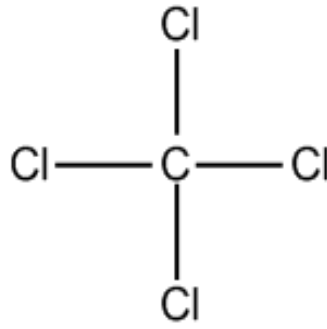
Şekil 2.2.2. Diklorometan molekül yapısı.

Doğal DCM kaynakları arasında okyanus kaynakları, makro algler, sulak alanlar ve yanardağlar yer almakla birlikte çevredeki diklorometanın çoğunluğu endüstriyel emisyonların bir sonucudur. Kullanım alanları; Boya sıyırıcı ve yağ giderici olarak yaygın olarak kullanılır. Gıda endüstrisinde, kahve ve çikolatayı kafeinsiz hale getirmenin yanı sıra şerbetçiotu özleri ve diğer aroma maddeleri hazırlamak için kullanılmaktadır. DCM kimyasal olarak bazı plastikleri kaynakla birleştirir. Örneğin, elektrik sayaçlarının muhafazasını kapatmak için kullanılır. Genellikle plastik kaynak yapıştırıcılarının ana bileşeni olarak satılır. Ayrıca, plastik bileşenlerle bir araya getirmek için model yapıcı hobi uzmanları tarafından yaygın şekilde kullanılır. Giysi baskı endüstrisinde ısıyla sızdırmaz hale getirilmiş konfeksiyon transferlerini kaldırmak için kullanılır. DCM, inşaat mühendisliği malzeme test alanında kullanılır. Özellikle, bitümlü malzemelerin bir çözücü olarak test edilmesi gibi kullanım alanları mevcuttur.

Solunum yoluyla vücuda alındığı takdirde solunum sistemi tahrişine neden olabilir. Çözücülerle uzun süreli ve tekrarlanan temas, uzun dönemde, kalıcı sağlık sorunlarına neden olabilir. Yüksek konsantrasyonlardaki buharlara uzun süreli veya tekrarlanan maruziyet, bulantı, kusma, baş ağrısı gibi olumsuz etkilere sebep olabilmektedir [19,20].

2.2.3 Karbon tetraklorür

Karbon tetraklorür (KTK), UTUKB tarafından adıyla tanınan tetraklorometan, klorinatlı bir hidrokarbon bileşimidir. Düşük seviyelerde koku yoluyla fark edilebilecek hoş bir kokuya sahip renksiz ve suda çözünmeyen bir maddedir ve 20C°'de buhar basıncı 11,94kPa'dır. Molekül yapısı Şekil 2.2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.2.3. Karbontetraklorür molekül yapısı.

Hoş kokusundan dolayı tütsü yapımında, kuru temizleme, yangın söndürücü, polar olmayan bileşik ve yağları çözmek için, soğutucu floroklorokarbonların üretiminde ara bileşik olarak kullanılmaktadır. Ancak 1980'lerden beri çevresel kaygılar sebebiyle ve ozon tabakasına büyük zarar verdiği anlaşılan, karbontetraklorür üretimi ve karbonklorürden elde edilen kloroflorokarbon kullanımı hızla azaltılmaya başlanmıştır ve daha da azaltılmaya çalışılmaktadır [20].

KTK, insanlarda ağız yoluyla 3-5 ml alınması durumunda ölümcül olabilir. Vücuda sindirim, deri ve solunum yoluyla alınabilir. Vücuda alındıktan sonra bütün organ ve dokulara dağılır. En çok yağ dokularında birikir. KTK zehirlenmesi, merkezi sinir sisteminin baskılanmasına neden olur. Buna bağlı olarak; baş ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, ataksi, titreme, bilinçsizce konuşma, hafıza kaybı, uyuma hali, bilinç kaybı, optik sinir hasarı ve işitme kaybı gibi belirtileri görülür [21].

2.3 Langmuir-Blodgett İnce Film Üretim Tekniği

2.3.1 Langmuir-Blodgett İnce Film Üretim Tarihçesi

LB tekniğinin temelleri ilk olarak 1774 yılında Benjamin Franklin tarafından, rüzgarlı bir günde Chapalm gölüne yaklaşık bir çay kaşığına yakın (yaklaşık 2ml) bir miktar yağđı göle döktükten sonra, bu kadar az miktardaki yağđın çok kısa bir zaman aralığında birkaç metre karelik bir alana yayıldığını, belli bir zaman sonra gölün yaklaşık dörtte biri kadarlık bir alanı (yaklaşık yarım hektar) kapladığını gözlemlemiştir. Daha sonra yaklaşık 2ml yağđın yarım hektarlık hava-su ara yüzeyinde düzenli ince bir yağ tabakası olduğunu ve bu yağ tabakasının kalınlığının 2nm civarında olabileceğini hesaplamıştır. Bu sayede LB ince filmlerinin temeli oluşmuştur [22].

19. yy' da Alman asıllı kimyacı ve ev hanımı olan Agnes Pockels evinin mutfağındaki lavaboyu kullanarak, su-hava ara yüzeyine tek katmanların yayılması ve yabancı maddelerin suyun yüzey gerilimine etkisini yüzey basınç-alan (izoterm) grafiklerini tespit etti ve yayınladı [22].

Agnes Pockels'in çalışmalarından yaklaşık 25 yıl sonra John William Strutt Rayleigh su yüzeyinde oluşan tek katmanların(monolayer) doğasını incelemiş ve ardından amfifilik yapıların monolayer filmler oluşturabildiği sonucuna ulaşmıştır [23].

Buraya kadar yapılan tüm çalışmalar amfifilik yapıların su-hava ara yüzeyinde oluşturduğu yapıların davranış özelliklerine dair inceleme ve gözlemler olmuştur. Bundan sonra yapılan en önemli çalışma su yüzeyindeki amfifilik malzemenin katı yüzeyler üzerine transfer edilebileceğini öne süren İrving Langmuir ve çalışma arkadaşı Katherine Blodgett tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda Langmuir-Blodgett ultra ince filmleri adı ile anılan ultra ince film üretimleri başlamıştır ve günümüzde birçok alanda bu yöntem kullanılmaktadır [23].

İrving Langmuir su yüzeyinde amfifilik moleküllerin izoterm grafikleri üzerinde detaylı araştırmalar yapmış ve cam, mika, vb. gibi alt taşlar üzerine yüzey basınç-alan (izoterm) değişimlerinden faydalanılarak istenilen nanometre mertebesindeki kalınlıklarda kolayca ve düşük maliyetli ince filmlerin üretilebileceğini göstermiştir [24]. Bu çalışmasıyla 1932 yılı Nobel ödülü almıştır. Katherine Blodgett'in bu çalışmaya olan katkısı ise katı yüzeyler üzerinde uzun karboksili gruplarının depozisyonunu incelemiş ve sıvı yüzeyinde

yönlenmiş olan moleküllerden Langmuir modeline göre oluşmuş olan filmleri katı yüzeylere gerçekleştirmiş olmasıdır [23].

2.3.2 Langmuir-Blodgett İnce Filmlerinde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

LB ince filmleri sıvı-sıvı veya sıvı- gaz ara yüzeyinde organize olmuş moleküllerin katı bir yüzeye transferi işlemine dayandığından LB filmi üretimi için kullanılan malzemelerin molekülleri sıvı yüzeyinde ve sıvı içerisinde çözünmeden ve kararlı bir yapıda kalabilmesi önemlidir [25].

LB ince film üretimi için kullanılan kaplama malzemeleri amfifilik yapıya sahip moleküllerdir. Amfifilik yapı, yapısında hem hidrofilik gruplar hemde hidrofobik grupları bir bütün olarak bulunduran moleküllere denir. Bu tür yapıya sahip moleküller su içerisinde çözünmezler. Hidrofilik polar grup, su molekülleri ile çekici bir etkileşim içindeyken moleküllerin diğer ucu olan hidrofobik polar olmayan gruplar su ile itici bir etkileşim içindedirler. Bu sebeplerle amfifilik yapıya sahip moleküller su yüzeyinde yüzebilme ve katı yüzeye ince film transferi gerçekleştirilebilmektedir.

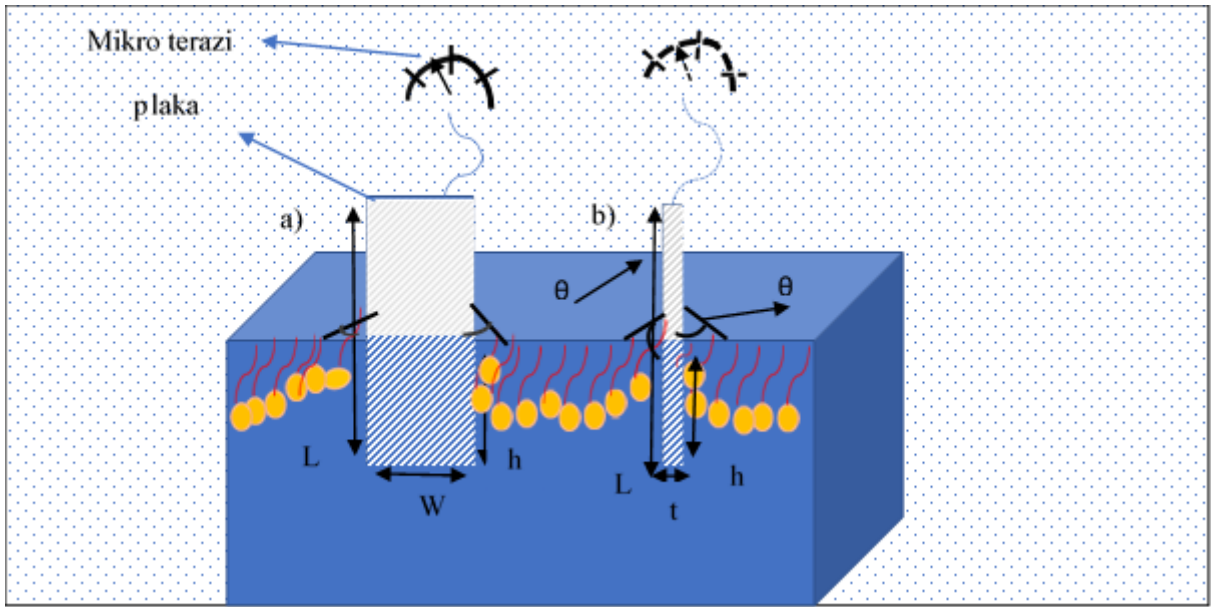
LB yönteminde tek katman film oluşturmak için kullanılan sıvı saf su değildir, bazı durumlarda saf su içerisine farklı iyonlar ilave edilerek istenilen monolayer özelliklerine sahip olacak şekilde modifiye edilebilir. Bunun dışında yüzey gerilimi yüksek olan sıvılar, örneğin; etilen, gliserol, civa gibi sıvılar da kullanılmaktadır. İstenilen özelliklere sahip ince film üretebilmek için kullanılan bu sıvılar ara faz olarak adlandırılır [26].

2.3.3 LB Sisteminde Yüzey Basıncı ve İzoterm Grafiği

2.3.3.1 Yüzey Basıncı

LB filmlerinde, monolayer katmanların dizilimi (film kalınlığı) ve homojenliği açısından yüzey basıncının kontrolü çok önemlidir. Yüzey basıncı, bariyerlerin arasındaki mesafe arttıkça yüzey aktif moleküllerin birbirleriyle etkileşimleri azdır ve dolayısıyla düşüktür. Bariyerler arasındaki mesafeyi daralttıkça moleküller daha çok etkileşirler ve aralarındaki çekim kuvveti artar bundan dolayı da yüzey basıncı yükselir. Yüzey basıncının artış gösterdiği durum sıvı faz evresi yani yüzeydeki moleküllerin yarı düzenli olduğu durumdur. Bariyerler kapatılırken bir yere kadar yüzey alanıyla yüzey basıncı ters orantılı olacak şekilde ilerlerken, belli bir yerden sonra yüzey basıncının hızlı bir şekilde artıp yüzey

alanının sabit kalması durumu bize sıvı- hava ara yüzeyinde düzgün tek tabakanın oluştuğunu gösterir [27]. Bu metotların her ikisinde de yaklaşık hassasiyet 10^{-3}mN/m^2 dir [28]. LB teknelerinde yüzey basıncı ölçümü için Wilhelmy tekniği kullanılmaktadır (Şekil 2.3.1). Wilhelmy tekniği ile LB teknesinin üzerinde ince film tabakasına değecek şekilde asılı plakanın üzerine etkiyen yüzey gerilimi kuvvetinin plaka boyutlarının da yardımıyla yüzey gerilimindeki değişiklik hesaplanır [26]. LB teknelerinde plakaya etkiyen kuvvetler bir mikro terazi yardımıyla ölçülür ve ölçülen değer bir bilgisayar programı yardımıyla değişen yüzey basıncına karşılık yüzey alanı grafiği şeklinde bilgisayar ekranında görüntülenir.



Şekil 2.3.1. Wilhelmy plaka yöntemiyle yüzey basıncı ölçümü a) plakanın önden görünümü b) plakanın yandan görünümü.

Wilhelmy metodunda plaka yerine kromatografi kağıdı kullanılır. Kromatografi kağıdı üzerine etkiyen kuvvetler sayesinde yüzey basıncı hesaplanabilir. Kromatografi kağıdının boyutları L , W , t ve yoğunluğu ρ_w olan dikdörtgen bir şekle sahiptir. Yüzey basıncı ölçülecek sıvının yoğunluğu ρ , kağıdı suya batırıldığımız derinlik h ve aşağı yönde uygulanan net kuvvet F olmak üzere; ara faz yüzeyine ince film malzemesini ilave ettiğimizde yani ara fazın yüzey gerilimini değiştirdiğimizde, mikro terazinin kullanımı için kromatografi kağıdı tamamen ara faz sıvısı ile ıslanmış ve h sabit olacak şekilde kromatografi kağıdı üzerindeki kuvvet (F) değişiminden veya kuvvetin (F) sabit tutulup h derinliğini değiştirerek ölçümün yapılması gerekir. Genel olarak kullanılan ise kuvvet değişimi (ΔF) ve yüzey gerilimindeki değişim ($\Delta\gamma$) arasında bir ilişki kurulur. Yüzey

gerilimindeki değişim, ara faz yüzey gerilimi ve ara faza ince film malzemesi eklendikten sonraki yüzey gerilimi olmak üzere, yüzey gerilimi değişimi hesaplanır. Yüzey gerilimindeki değişim, yüzey basıncı değişimine eşit olduğu düşünülerek;

$$\Pi = \Delta F / W \quad (2.1)$$

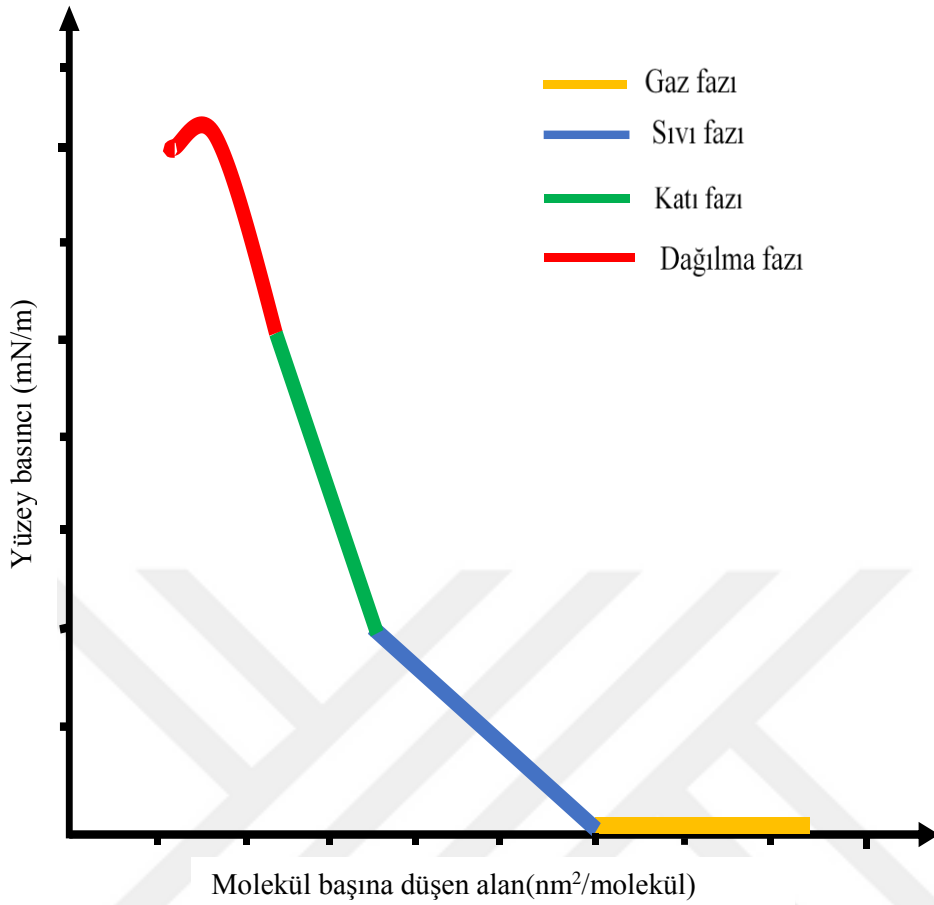
Şeklinde hesaplanır [29].

Yüzey basıncı için plaka olarak kullanılan kromatografi kağıdının ara faz sıvısı ile yaptığı açının bilinmesi ve değişmemesine dikkat edilmelidir. Ayrıca ince film malzemesi olarak ara faza serpiyen moleküllerin de kromatografi kağıdı tarafından emilmemelidir [24].

2.3.3.2 İzoterm Grafiği

Tek tabakaların su-hava ara yüzeyindeki dağılımları, ince film oluşturulacak moleküllerin su yüzeyinde kapladığı alanla ilişkilidir. Su-hava ara yüzeyinde birim alan başına düşen molekül sayısı ise yüzey basıncını belirler. Yüzey basıncının, yüzey alanı ile değişimini irdeleyen grafiklere izoterm grafikleri denir [28]. LB teknesinde bulunan bariyerler arasındaki mesafenin daraltılmasıyla değişen yüzey alanına karşılık yüzey basıncı grafiği (izoterm grafiği) oluşturulur. Oluşturulan bu grafik sayesinde, su-hava ara yüzeyindeki moleküllerin katı yüzeye transfer edilmesi için en uygun yüzey basınç değeri elde edilir.

İzoterm grafiği elde edilirken; bariyer tamamen açık olduğu durumda yüzey basıncı neredeyse sıfırdır, bu durumda su yüzeyindeki moleküller arasındaki etkileşim çok az olduğu için gaz fazı olarak adlandırılır. Bariyerler yavaşça hareket ettirilip aralarındaki mesafe daraltılmaya başlatıldığında belli bir yerden sonra yüzey basıncının artmasına rağmen yüzey alanı sabit kalır. Moleküller arası etkileşim maksimum olduğu bu durum katı faz olarak adlandırılır ve katı yüzeyine transfer işlemi için uygun yüzey basınç değeri bu fazdan belirlenir. Gaz fazı ile katı faz arasındaki geçiş süreci ise sıvı fazdır. Eğer bariyerler daha fazla sıkıştırılırsa moleküller birbiri üzerine biner ve yığılma olur. Bu durumda LB ince filminin üretimi söz konusu değildir ve dağılma fazı olarak bilinir. Şekil 2.3.2' de ideal bir izoterm grafiği ve grafik üzerinde ince film üretimi için en uygun aralık (katı faz) ve diğer durumlar gösterilmiştir.



Şekil 2.3.2. İdeal bir izoterm grafiğinden elde edilen molekül başına düşen alan grafiği.

2.3.4 Langmuir- Blodgett Tekniği İle İnce Film Oluşturma Avantajları

LB ince film üretme tekniğini diğer ince film üretme tekniklerinden daha avantajlı kılan özellikleri;

- Kalınlığının kontrol edilebilir olması ve nano boyutlarda üretilebilmesi
- İnce film malzemesinin moleküler yapısının kontrol edilebilir olması
- Değişik uygulamalar için simetrik ve asimetric yapılarının üretilebilmesi
- Üretim basit ve düşük maliyetli olması
- Bilim, teknoloji, sağlık ve endüstri gibi birçok alanda uygulanabilir olması

gibi sıralanabilir.

2.3.5 Langmuir – Blodgett İnce Film Tekniğinin Uygulama Alanları

Son yüzyılda sanayinin gelişmesiyle birlikte dünya atmosferinin kirliliği bütün dünya ülkelerinin gündeminde yer almaya başlamıştır. Bu yönde birçok bilimsel projeler desteklenmiş ve desteklenmesi için yasalar çıkarılmaya başlanmıştır. LB ince film tekniği ile üretilen ince film sensörlerinin maliyetinin düşük olması sebebiyle, zararlı gazların tespit edilmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir. LB metoduyla üretilen gaz sensörleri oldukça duyarlı, seçici ve geri dönüşümlü olabilmektedir. Üretilen sensörün hangi gazı algılayacağı ise, ince film malzemesinin yapısına bağlı olarak değişir.

Asimetrik yapıdaki LB ince filmleri pyroelektrik özellikte malzemeler üretilebilir. Bu malzemeler sıcaklık değişimlerine duyarlı olması sebebi ile askeri, sanayi ve uzay araştırmaları için termal kameralar, yangın alarmları ve gece görüş kameralarında sensör olarak üretilebilir.

LB ince filmleri dielektrik sabitinin genellikle düşük olması nedeniyle bazı elektronik devrelerde kapasitör olarak kullanılabilir. İletişim ve telekomünikasyon endüstrisinde yüksek aralıklı band yapısına sahip LB filmleri, optik anahtar ve bilgi depolama devre sistemlerinde kullanılabilir.

2.4 Kuartz Kristal Mikrobalans Sistemi (KKM)

“Piezo” Yunan dilinde uygulanan kuvvet anlamına gelmektedir. Piezoelektrik olayı 18. Yüzyılda keşfedilmiştir. Piezoelektrik özellik, elektrikteki enerjiyi mekanik enerjiye ya da mekanikteki enerjiyi elektrik enerjisine çevirebilmek olarak tanımlanabilir. Piezoelektrik olay, birim yüzeye tesir eden kuvvet sırasında malzemenin içindeki kristalize yapının her iki etrafında olan +q ve -q yüklerin ortaya çıkması sonucu oluşur.

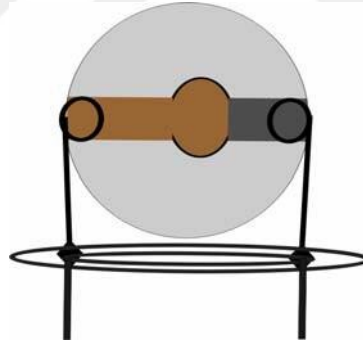
Piezoelektrik malzemeler içinde kullanılan (PZT) kurşun-zirkonyum-titanyum seramiktir. Piezoelektrik etki, simetrik merkezi olmayan kristaller ile oluşturulmaktadır. Kullanılan malzemeler:

- Kuartz (SiO_2)
- Turmalin
- Baryum Titanat (BaTiO_3)

Günümüzde kuartz kristal en işlevselli kullanılan doğal bir piezoelektrik kristaldir. Kuartz kristalin aşırı dayanıklı olması, endüstri alanında tercih edilmesini sağlamıştır [26]

2.4.1 Kuartz Kristalin Yapısı

Kimyasal bir bileşiğe karşı verilen tepkinin termal olması optiksel olması ya da elektriksel sinyallere dönüştürebilmesi sensörlerin tanımı olabilir. Bilinen bütün sensörler iki bileşenli bir sistem olarak kabul edilebilir. Sensör uygulamaları için kullanılan KKM sistemi çok ince bir kuartz kristalinden meydana gelmektedir ve piezoelektrik yapıdadır. Çok ince kuartz kristalin üstünde bulunan elektrotlara basınç uygulanmaya çalışıldığında piezoelektrik etkiden dolayı mekaniksel güç elde edilir. Şekil 2.4.1’de tipik bir kuartz kristalin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.4.1: Tipik bir kuartz kristalin yapısı

Kuartz kristal doğru bir elektronik devreye bağlandığında, kuartz kristal madde uygulanan elektriksel değişim ile kaynağın frekansında titreşimler olmasına neden olmaktadır.

kuartz kristalin titreşim frekansının, kristalin kesimi ile yakın ilgisi vardır. Araştırmalar sonucu kuartz kristalinin titreşim frekanslarının sıcaklıkla değişimini incelemek istediğimizde, kuartz kristalin oda sıcaklığında en kararlı titreşime sahip olduğu bulunmuştur [28].

2.4.2 Kuartz Kristal Ölçüm Sistemi

KKM sistemi, çok ince kesilmiş olan bir kuartz kristalin her iki tarafına dairesel iki adet metal olan elektrot yerleştirilmesi ile oluşur. KKM' de metal olan elektrotlar, elektronik devrede uygun olacak biçimde sisteme bağlandığında çok ince kuartzın piezoelektrik özelliğinden dolayı ölçülebilir frekans oluşturur. Rezonans frekansı çok küçük kütle farklarına hassas olduğundan KKM üzerine yüzey kaplandıkça rezonans frekansında farklılıklar gözlenecektir.

2.5 Sensörler

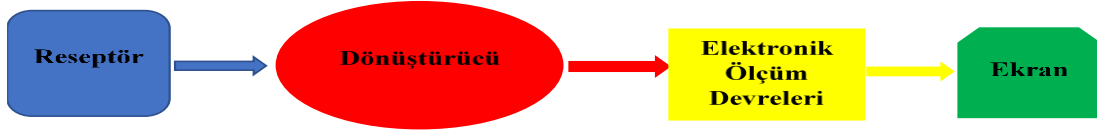
Genel olarak, herhangi bir fiziksel veya kimyasal özelliğin miktarı ve durumu ölçülebilir veya gözlenebilir elektrik sinyallerine dönüştüren araçları sensör olarak adlandırabiliriz. Günümüzde insan hayatını kolaylaştırmak, çevre kirliliğini önlemek, canlı sağlığını korumak, bilimsel araştırma yapmak gibi birçok alanda kullanılan sensörlerin çalışmaları için dayandığı fiziksel ve kimyasal özellikleri ve ölçtüğü veya algıladığı büyüklükler aşağıdaki Tablo 2.5' te verilmiştir.

Tablo 2.5. Sensörlerin fiziksel veya kimyasal özelliğe göre ölçtüğü büyüklükler [30-32].

Fiziksel veya Kimyasal Özellik	Ölçtüğü Büyüklükler
Mekanik	Uzunluk, alan, hacim, hız, ivme, kuvvet, tork, basınç, ses dalga boyu, şiddet
Termal	Sıcaklık, ısı, entropi, ısı akışı vs.
Elektriksel	Voltaj, akım, direnç, yük, indüktans, kapasite, dielektrik sabiti, polarizasyon, elektrik alanı, frekans, dipol momenti
Manyetik	Alan şiddeti, akı yoğunluğu, manyetik moment, manyetik geçirgenlik
Optik	Yoğunluk, faz farkı, dalga boyu, polarizasyon, yansıtma indeksi
Kimyasal	Konsantrasyon, reaksiyon hızı, pH, oksidasyon/indirgeme potansiyelleri
Biyolojik	Biyolojik örnek içinde kimyasal bir maddenin miktarı ve/veya aktivitesine seçici ve tersinir olarak tepki gösteren ayrıca biyolojik aktivitelerde hedef analitler

Sensör sistemleri tipik olarak aşağıdaki Şekil2.5.1' de görüldüğü gibi dört ana unsurdan oluşur.

Şekil 2.5.1: Tipik şematik sensör sistemleri.



Bu sistemde reseptör, algılama mekanizmasının başladığı kısımdır. Reseptör, ölçümü alınacak numune veya ortamla temas eder ve bu temas sonucu, ortam veya numune reseptördeki moleküllerle kısa süreli etkileşime geçerek, reseptör moleküllerinin yapılarında veya hareketlerinde değişime neden olur. Bu değişim sensör sisteminin ikinci kısmı olan dönüştürücüde bir elektrik sinyaline dönüştürülür ve bu sinyalin büyüklüğü elektronik ölçüm devreleri aracılığı ile belirlenerek bilgisayar ekranına veya uyarıcıya iletilir. Sensör sisteminde reseptör olarak kullanılan materyal, çeşitli kaplama yöntemleriyle oluşturulmuş organik veya inorganik hassas malzemelerdir.

İdeal bir sensörde bulunması gereken özellikler aşağıda sıralanmıştır;

- **Doğruluk**: Bir sensör ortamdaki ölçümü olabildiğince hassas ve doğru olarak yapabilmelidir. Sensörün doğru ölçüm yaptığı, değeri bilinen numune veya ortamlar kullanılıp kalibre ederek anlaşılabilir.
- **Kararlılık veya Tekrarlanabilirlik**: Aynı ortamın şartlarını değiştirmeden farklı zamanlarda alınan ölçüm değerlerinin birbirine yakın olması o sensörün kararlı olduğu anlamına gelir.
- **Duyarlılık**: Sensöre etki eden fiziksel veya kimyasal değişim oranıdır. Örneğin; herhangi bir gaz sensörünün bulunduğu ortamdaki gazın konsantrasyonu 1000ppm arttığında sensörün çıkış voltajı 1 V artıyorsa sensörün duyarlılığı 1mV' tur.

Sensördeki duyarlılık değerinin düşük olması sensörün kullanıma daha uygun olduğunu gösterir.

- **Seçicilik:** Sensör sadece istenilen niceliği ayırt ederek ölçüm yapması o sensörün seçici ve ideal bir sensör olduğunu gösteren bir diğer özelliktir.
- **Gürültü:** Sensör çıkışındaki sinyallerde rasgele değişimlerin olmasıdır. Gürültünün az olması sensörün iyi çalıştığı anlamına gelir.
- **Doğrusallık:** Ortamdaki ölçülen niceliğin büyüklüğü ile sensörün çıkış sinyali arasındaki ilişkidir. Niceliğin büyüklüğü ile sensörün çıkış sinyali doğru orantılı olarak değişiyorsa sensör doğrusal bir özellik gösteriyor demektir.
- **Doygunluk:** İdeal bir sensörün ölçülen niceliğin büyüklüğüyle orantılı olarak çıkış sinyalleri üretmesi beklenirken belli bir değerden sonra sensörün çıkış sinyali ile ölçülen niceliğin büyüklüğü doğrusal olarak değişmez. Bu belli değere sensörün doygunluk değeri denir ve doygunluk değeri ne kadar yüksekse okadar yüksek değerlerde ölçümler alınabilir.
- **Tepki Süresi:** Sensörün ölçülen niceliğe ne kadar sürede tepki verdiği önemlidir ve genellikle tepki süresinin kısa olması ideal sensörlerde olması gereken bir özelliktir.
- **Histerizis:** Sensörün, sıfır seviyesinden yarı konsantrasyon seviyesine kalibre edilmesi ile tam konsantrasyondan yarı konsantrasyon oranına kalibre edilmesi arasındaki farka histerizis denir. Bir örnek ile açıklanacak olursa; 0-100 ppm arası ölçüm yapabilen bir cihaz, 50 ppm gaza maruz kaldığında 0 dan 50 ppm'e kalibre edildiğinde, cihaz monitöründe 50 ppm olarak okunur. Fakat cihaz 50 ppm gaz ortamında 100 ppm'e kalibre edilirse sensör 55 ppm gibi bir değer gösterebilir ve arada oluşan bu farka histerizis denir. İdeal bir sensörden beklenen, alınan ölçüm sonuçlarında histerizis oluşmamasıdır.

2.6 Fick'in İkinci Kanunu

Fick'in birinci kanununa göre derişimin mesafe ile değişimi zamandan bağımsız iken, Fick'in 2. kanununa göre ise, derişim ve akı hem zaman, hem de mesafeye bağlıdır. Kısaca derişim ve akı, zaman ve mesafenin bir fonksiyonudur (Eş. 2.2).

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{dJ}{dx} \quad (2.2)$$

Eş. 2.2' in ikinci dereceden kısmi diferansiyeli alınarak,

$$\frac{dJ}{dx} = -D \frac{d^2C}{dx^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

elde edilir. Bu eşitlikte, $-dJ/dx$ ifadesi yerine dC/dt ifadesi konduğunda, Fick'in 2. Kanunu olarak bilinen eşitlik elde edilir (Eş. 2.4) :

$$-\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.7 Yapay Sinir Ağları

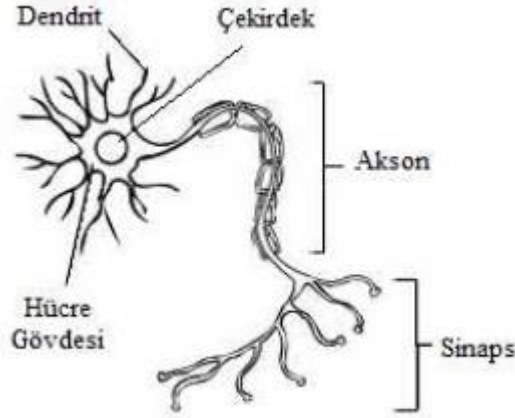
Çeşitli çalışmalardan elde edilen verilerin matematiksel olarak modellenmesi amacıyla literatürde kullanılabilecek çok çeşitli yöntemler yer almaktadır. Bu tez çalışmasında, deneysel olarak elde edilen verilerin modellenmesi amacıyla son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşan yapay sinir ağları tercih edilmiştir.

Yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan verileri modelleyebilme gücü ve işlem kolaylığı, özellikle kara kutu diye tabir edilen sistemlerin modellenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmasına sebep olmaktadır.

2.7.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağlarının kullanım fikri McCulloch isimli bir diş hekimi tarafından ortaya atılmıştır. Bu fikirde insan beynine ait biyolojik yapının matematiksel modellemede örnek teşkil edeceği düşünülmüş ve insan beyninde yer alan nöronun yapısı baz alınarak bir

modelleme sistemi oluşturulmuştur. Yapay sinir ağlarının yapısına geçmeden önce nöron yapısının incelenmesi, YSA mimarisinin nasıl bir temelden meydana geldiğini ortaya sunmaktadır. Nöronun yapısı aşağıdaki Şekil 2.6.1’de verilmiştir.



Şekil 2.6.1. Nöronun yapısı

Nöronun yapısına bakıldığında, dendritler sinir hücresine iletilen uyarı girdilerini toplayan birimdir. Hücre çekirdeği ise dendritlerden gelen elektriksel sinyalleri alır ve aksona gönderir. Akson birimi ise gelen bilgileri anlamlandırarak yapılacak olan işlemler için çıkış işareti oluşturur ve bu işaretleri diğer nöronlara iletmesi için sinapsa gönderir. Tüm bu yapının benzetimi olan yapay sinir ağlarının yapısında ise girişler, girişlerin çarpıldığı ağırlıklar, çeşitli girdilerin ağırlıklardan sonra toplandığı toplama fonksiyonu, toplanan işaretlerin işlendiği aktivasyon fonksiyonları ve son olarak aktivasyon sonucu elde edilen işaretin hücre çıktısı olarak iletildiği çıkış katmanı olmak üzere beş temel kısım bulunmaktadır. Bu bahsi geçen kısımlar akson, dendrit, çekirdek, sinaps gibi yapılarla benzetim yapılarak oluşturulmuş yapılardır.

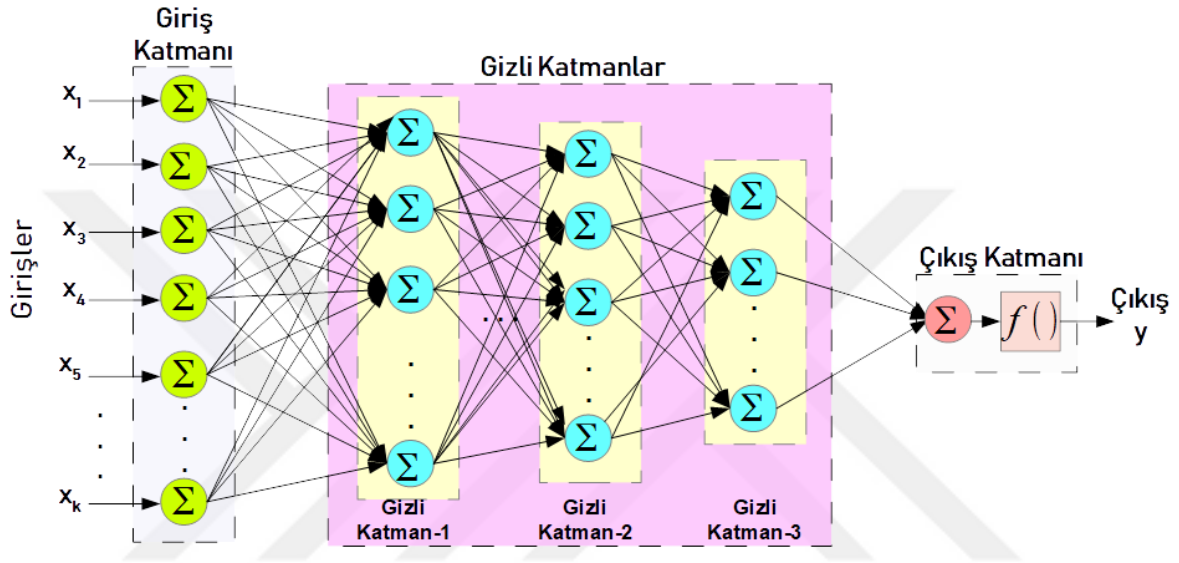
Yapay sinir ağlarının;

- Genelleme
- Çok sayıda değişken ve parametre kullanma
- Doğrusal olmama
- Paralel çalışma
- Uyarlanabilirlik

- Öğrenme ve adapte olabilme
- Eksik verilerle çalışabilme

gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır.

Şekil 2.6.2’de yapay sinir ağlarının genel yapısı verilmiştir.



Şekil 1.6.2. Yapay sinir ağları genel yapısı

Yapay sinir ağlarının genel yapısına bakıldığında 3 temel katman bulunmaktadır. Bu katmanlar sırasıyla:

- Giriş katmanı
- Gizli katman
- Çıkış katmanı

oları adlandırılır. Bu katmanların herbirinde tasarımcı tarafından adedi belirlenen nöronlar yer almaktadır. Nöronların sayısının belirlenmesinde analitik bir karar verme yöntemi kullanılmamaktadır. Bu sayı, tasarımcı tarafından en başarılı modelleme sonucu verilecek şekilde belirlenebilmektedir. Nöronların çıkışından diğer nöronlara sinyallerin iletiminde ağırlık katsayıları bulunur. Bu katsayılar daha sonra da bahsedeceğimiz YSA eğitimi esnasında sürekli olarak güncellenerek, YSA'nın matematiksel model parametreleri arasında

yer alacaktır. Çıkış katmanında yer alan “ $f()$ ” fonksiyonu ise aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Aktivasyon fonksiyonları çok seçenekli olup, ilgili fonksiyon tasarımcı tarafından en iyi yakınsama performansını elde etmek için seçilmektedir. Sigmoid, gauss, doğrusal, tanjant hiperbolik gibi fonksiyonlar aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılabilir.

Yapay sinir ağlarının modelleme yapabilmesi için öncelikle giriş çıkış verilerine ait ölçüm değerlerinin bulunması gerekmektedir. Elde edilen bu verilerle yapay sinir ağlarının eğitilmesi işlemi gerçekleştirilir. Eğitim esnasında, yapay sinir ağı modelleme çıkışının gerçek ölçüm değerine en yakın olabilmesi için nöronlara ait ağırlık katsayıları her bir eğitim adımında güncellenir. Bu güncelleme esnasında, model çıkışı ile gerçek veri arasındaki hata işaretinden elde edilen maliyet fonksiyonunun gradyan vb. gibi yöntemlerle minimize edilmesi amaçlanır. Eğitim işlemi sonunda elde edilen ağırlıklar kullanılarak yapay sinir ağının model yapısı tamamlanmış olur.

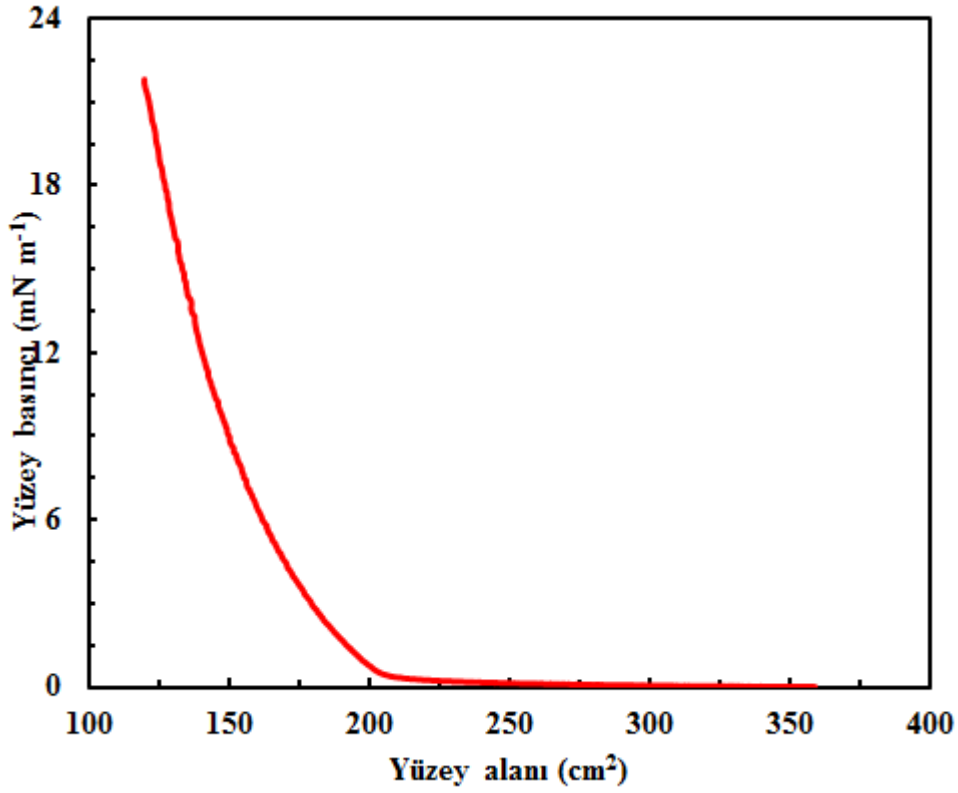
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar öncesi gerekli temizlik işlemleri büyük bir hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Tamamen bilgisayar kontrollü LB ince film üretim sürecinde, yüzey basınç değeri ~ 19 mN/m hedef değerine sabitlenerek kuartz kristal yüzey üzerine 10 tabaka nano boyutta GO LB ince film sensörü hazırlanmıştır.

Kuartz kristal yüzey üzerine kaplı 10 tabaka GO LB ince filmi, 500 mikro litrelik şırınga yardımı ile benzen, diklorometan ve karbon tetraklorür organik buharlarına maruz bırakılmıştır. GO LB ince filmi, her bir organik buhardan doymuş konsantrasyonda etkileşime bırakılarak, nano ince film sensörünün bu organik buharlara doymuş konsantrasyonlarda verdiği tepki KKM cihazı yardımı ile takip edilmiştir.

3.1 GO Maddesine ait İzoterm Grafiği Değerlendirmeleri

Bu bölümde, GO maddesine ait izoterm grafikğinin elde edilmesi ve bu grafiklerin yorumlanması yer almaktadır. Şekil 3.1.1' de 0,34 g/L konsantrasyonunda hazırlanan kloroform çözeltisine ait izoterm grafiği verilmiştir.



Şekil 3.1.1. GO maddesine ait izoterm grafiği.

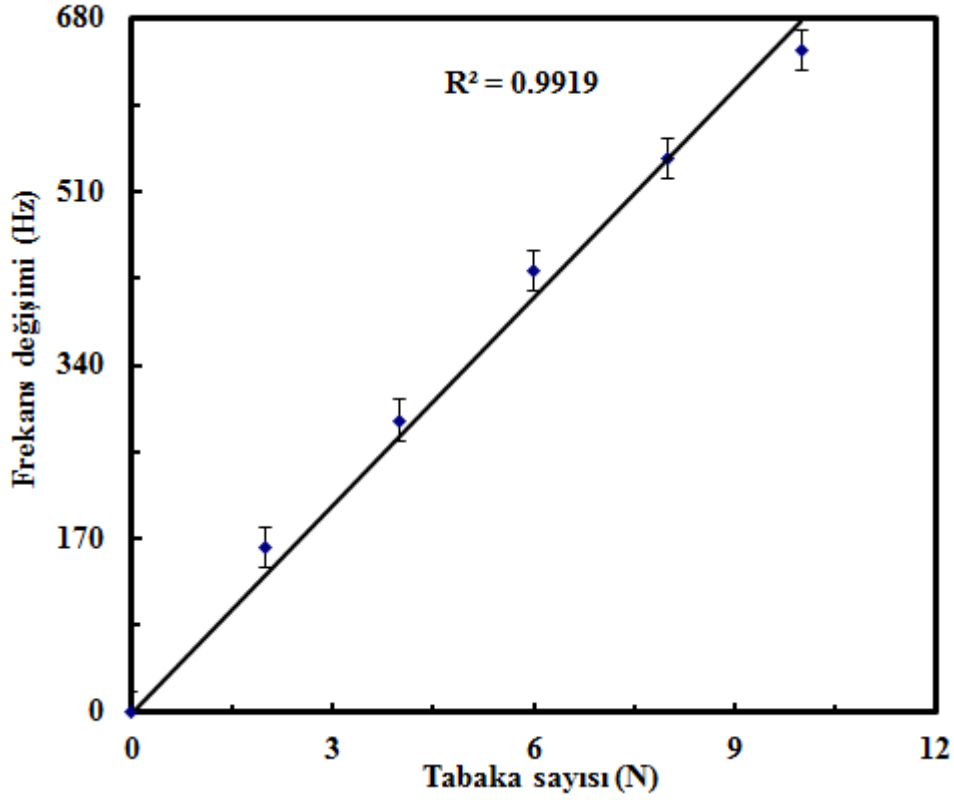
Yukarıdaki grafikten görüldüğü üzere transfer için uygun (katı faz) yüzey basıncı değeri Şekil 3.1.1' den elde edilmiştir. Saf su yüzeyine serpilmiş 1200 μL çözelti hacmi için elde edilen izoterm grafiğinden yararlanılarak; gaz, sıvı, katı ve dağılma fazları (gaz-sıvı ve sıvı-katı arası geçişlerin net olarak belirli olmamakla birlikte) yaklaşık yüzey basıncı aralık değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1. 0,34 g/L derişimli ve 1200 μL çözelti hacimlerindeki faz geçişlerinde yüzey basıncı değerleri

Çözelti hacmi	Gaz	Sıvı	Katı	Dağılma
3000 μL	~0-1 mN/m	~1-8 mN/m	~8-22 mN/m	Gözlenmedi

3.2 Kuartz Kristal Yüzey Üzerine GO Langmuir-Blodgett İnce Film Üretimi

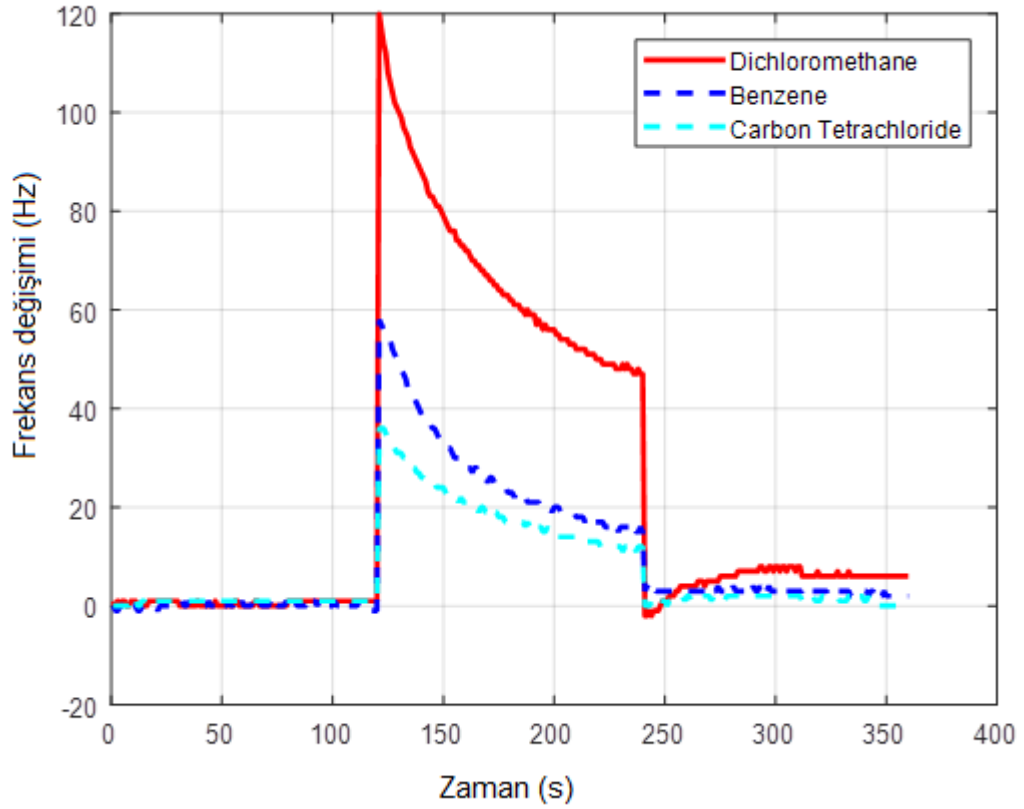
Kuartz kristal mikrobalsans yöntemi ile kuartz kristal yüzey üzerine üretilen GO LB ince filmlerin kütleye bağlı frekans değişimleri incelenmektedir. Şekil 3.2.1' de rezonans frekansının tabaka sayısına göre değişimi verilmiştir.



şekil 3.2.1. Üretilen GO LB ince filmin tabaka sayısına bağlı rezonans frekansındaki değişimi.

3.3 Kuartz Kristal Mikrobals (KKM) Ölçümleri

Kuartz kristal yüzey üzerine 10 tabaka GO LB ince film kaplanmış ve bu nano boyuttaki ince film sensörünün zararlı organik buharlar ile etkileşmeleri incelenmiştir. Üretilen GO LB ince film sensörünün diklorometan, benzen ve karbon tetraklorür organik buharlarıyla etkileşimi incelenip sensör maddesinin duyarlılığı hakkında bilgi edinilmiştir. Gaz molekülleri ince film tarafından tutulduğunda, ince film ile organik buharın etkileşmesi gerçekteşir. Ortama gönderilen gaz moleküllerinin derişimlerine göre LB ince filmlerin gazlarla olan tepkileri değişmektedir.



Şekil 3.3.1. GO LB ince filmin zararlı organik buharlara karşı tepkisi.

GO LB ince film sensörü, KKM' de gaz hücresine yerleştirildikten 0-120 saniye aralığında ortam taze havaya maruz bırakılmıştır. Şekil 3.3.1' de 120 ile 240 s arasında ortama zararlı organik buharlar verilmiştir. Mikrolitrelik enjektör yardımıyla 0.5 ml diklorometan buharı alınarak gaz hücresindeki film yüzeyine gönderilmiştir. Bu 120 saniyelik süreçte diklorometan buharı molekülleri ile GO molekülleri etkileşmeye girdiğinden frekans değişiminde hızlı bir artış gözlenmiştir. 240. saniyede ortama tekrar hava gönderilmiş olup frekans değişimi ilk haline döndüğü görülmüştür. Bu işlem benzen ve karbon tetraklorür zararlı organik buharlar için gerçekleştirilmiştir.

4. MATEMATİKSEL MODELLEMELER

4.1 Fick' in İkinci Yasası' nın İki Boyutlu Bir Düzleme Uygulanması ve Difüzyon Katsayı Hesabı

GO LB ince filmlerin zararlı organik buhar ile olan etkileşimleri KKM sisteminde incelenmiştir. GO LB ince film sensörü-zararlı organik buhar etkileşmelerine ait grafikler yardımıyla difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Difüzyon katsayıları hesaplanırken Fick yasasından faydalanılmıştır.

Fick'in 2. yasası bir iki boyutlu düzleme uygulanırsa ve sabit difüzyon katsayısı kabul edilerek çözümlerse, zamana bağlı konsantrasyon değişimi için [33];

$$\frac{C}{C_0} = \frac{x}{a_0} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n} \sin \frac{n\pi}{a_0} \exp\left(-\frac{Dn^2\pi^2}{a_0^2}t\right) \quad (4.1)$$

elde edilir. Bu eşitlikte, a_0 : kalınlık, D : difüzyon katsayısı, C , C_0 , t ve $t=0$ zamandaki difüzyonun konsantrasyonunu, x : C 'nin ölçüldüğü mesafeyi gösterir.

$$M = \int_v C dV \quad (2.7-4.2)$$

Eşitlik (4.2), hacim elemanı için düşünülürse ve Eşitlik (4.1)'de yerine yazılırsa Eşitlik 4.3 elde edilir.

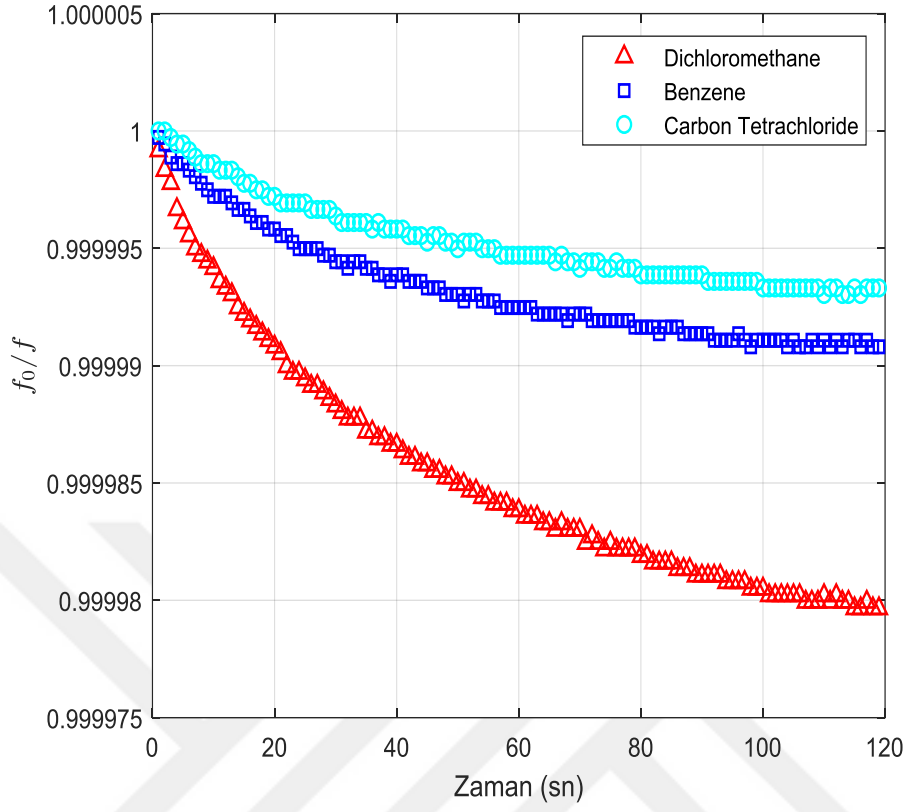
$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 D \pi^2 t}{a_0^2}\right) \quad (4.3)$$

Burada M_t ve M_∞ , difüzyonun t ve sonsuz zaman anındaki yüzeye difüz eden miktarlarıdır. Bu eşitlik daha basit bir forma indirgenğinde Eşitlik (4.4) elde edilir.

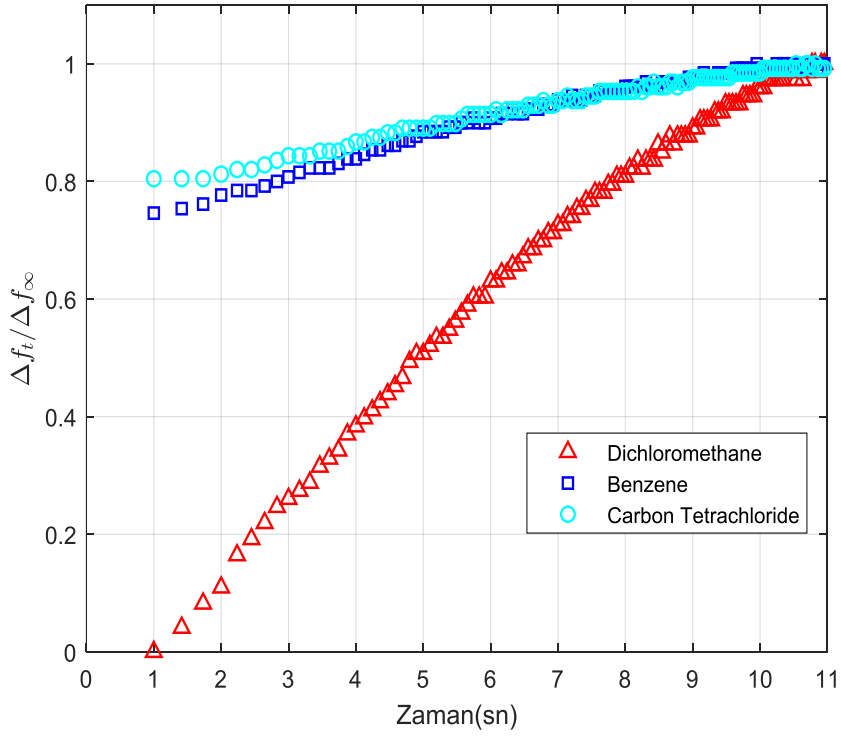
$$\frac{M_t}{M_\infty} = 4 \sqrt{\frac{D}{\pi a_0^2}} t^{1/2} \quad (4.4)$$

Erken zaman denkliği olarak adlandırılan bu eşitlik, difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılır. KKM sisteminde alınan ölçümlerde GO LB ince film sensörü ile organik buhar etkileşiminde, filmin içerisine difüz eden zararlı organik buhar moleküllerinin miktarı arttıkça Δf frekans değişimi de arttığından Eşitlik (4.4), Eşitlik (4.5)'e dönüştürülebilir.

$$\left(\frac{\Delta f_t}{\Delta f_\infty} \right) = 4 \sqrt{\frac{D}{\pi a_0^2}} t^{1/2} \quad (4.5)$$



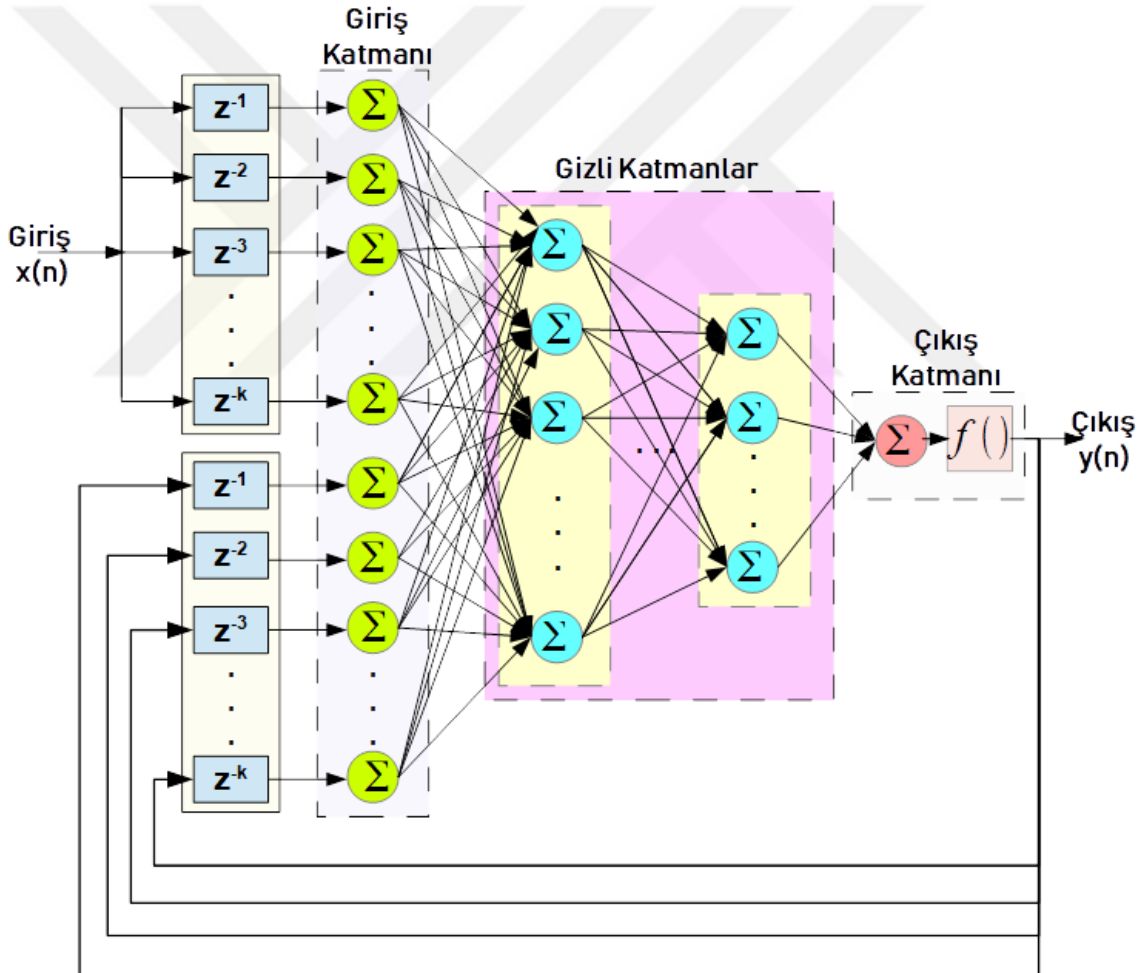
Şekil 4.1.1. Normalize frekans değişiminin zamana göre değişimi.



Şekil 4.1.2. Normalize frekans değişiminin zamanın kareköküne göre değişimi.

4.2 Tasarlanan ANN Yapısı

Bu tez çalışması kapsamında deneysel verilerin modellenmesinde doğrusal olmayan otoregressif yapay sinir ağı (NARX ANN) tasarımı yapılmıştır. Bu ağın tercih edilmesindeki en önemli unsurlardan biri, NARX yapılarında model çıkışının, giriş ve çıkışın geçmiş ve şimdiki değerleri ile ilişkilendirilebilmesi ve doğrusal olmayan verilerin modellenmesinde sahip olduğu gücü olarak ifade edilebilir. NARX-ANN' ye ait genel mimari aşağıdaki Şekil 4.2.1' de verilmiştir.



Şekil 4.2.1. Tez kapsamında tasarlanan NARX-ANN yapısı.

Bu çalışmada kuartz rezonatörlerdeki frekans kaymasının zamana göre modellenebilmesi amacıyla NARX-ANN yapısı kullanılmıştır. Frekans kaymasının matematiksel olarak modellenebilmesi kuartz rezonatörler için difüzyon katsayısının hesaplanmasında analitik bir yaklaşım imkanı sunacaktır.

Tasarlanan yapay sinir ağı yapısı giriş ve çıkış katmanlarında birer nöron, tek gizli katmanda ise 10 adet nöron bulunmaktadır. Daha önceki kısımlarda da bahsedildiği üzere yapay sinir ağlarına ait katmanlardaki nöron sayıları, tasarımcı tarafından en iyi veri modelleme amacıyla belirlenmektedir. Yapay sinir ağının eğitilmesi için Levenberg-Marquadt algoritması tercih edilmiştir. Levenberg-Marquadt algoritmasının doğrusal olmayan veriler için geliştirilmiş bir algoritma olmasıyla birlikte gradyan ve gauss-newton metotlarını birleştirmesi bu tercihte önemli bir etken olmuştur. Levenberg-Marquadt algoritması aranan optimum noktadan oldukça uzakken gradyan algoritması gibi çalışırken, aranan optimum noktaya yaklaşıldıkça gauss-newton algoritması ile çalışarak yapay sinir ağının eğitme performansını arttırmaktadır.

Deneylerden elde edilen veriler, rastgele kümelere ayrılarak %70'i eğitime, %15'i geçerlilik ve kalan %15'i ise test amacıyla yapay sinir ağının eğitme ve performans testi için kullanılmıştır.

Tasarlanan yapay sinir ağı diklorometan, karbon tetraklorür ve benzene ait ölçüm değerlerinin son iki ölçüm değeriyle, zamanın değerini girdi olarak kullanmaktadır. Yapay sinir ağı model yapısı matematiksel olarak temel bir ifadeyle aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$z(k) = f(t(k), z(k-1), z(k-2)) \dots \dots \dots (4.6)$$

Bu ifade de $f()$ yapay sinir ağından eğitime sonrası elde edilen doğrusal olmayan transfer fonksiyonunu, z diklorometan, karbontetraklorür veya benzen'e ait frekans kaymasını, t ise zamanı ifade etmektedir.

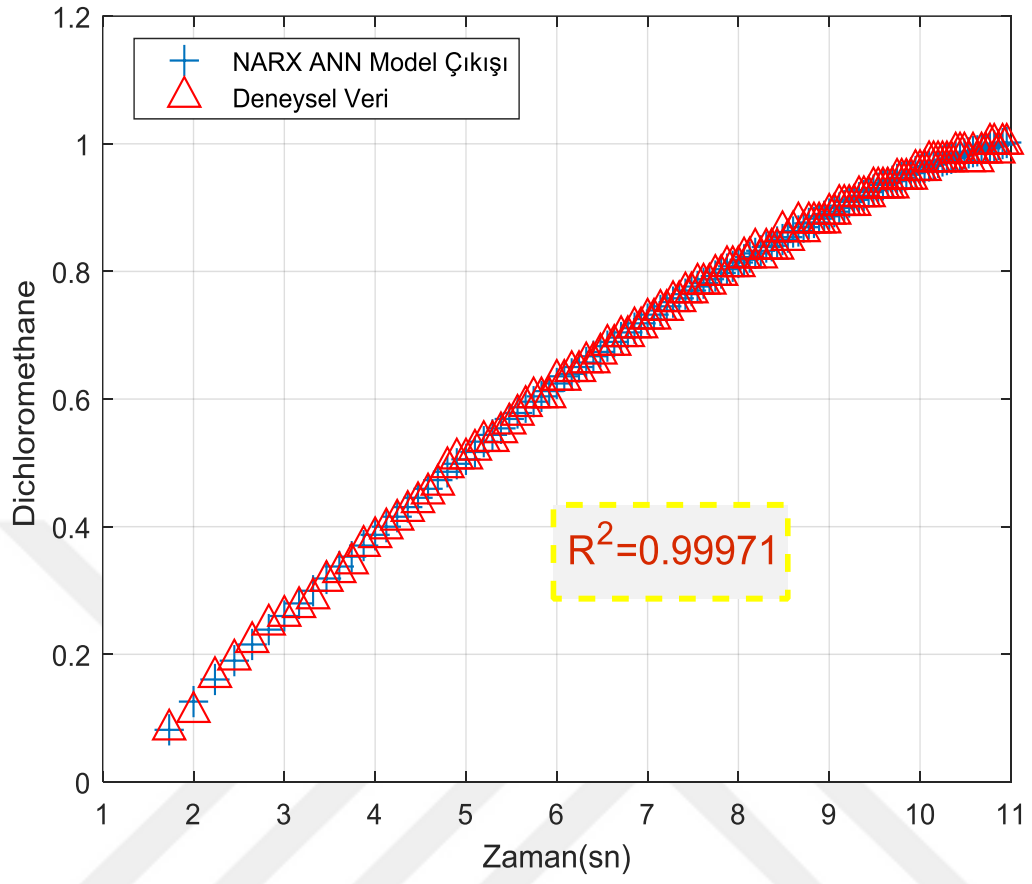
4.3 Yapay Sinir Ağı Modelleme Sonuçları

Tasarlanan NARX-ANN yapay sinir ağı deneysel verilerle yukarıda da bahsedilen kriterler altında eğitilmiş ve yakınsama performansları aşağıda sunulan şekillerle gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen matematiksel model çıkışlarının deneysel veriye yakınsama performansının istatistiksel olarak da incelenebilmesi için Pearson korelasyon katsayısı $\rho(y, \hat{y})$ aşağıdaki formülasyonla hesaplanmıştır.

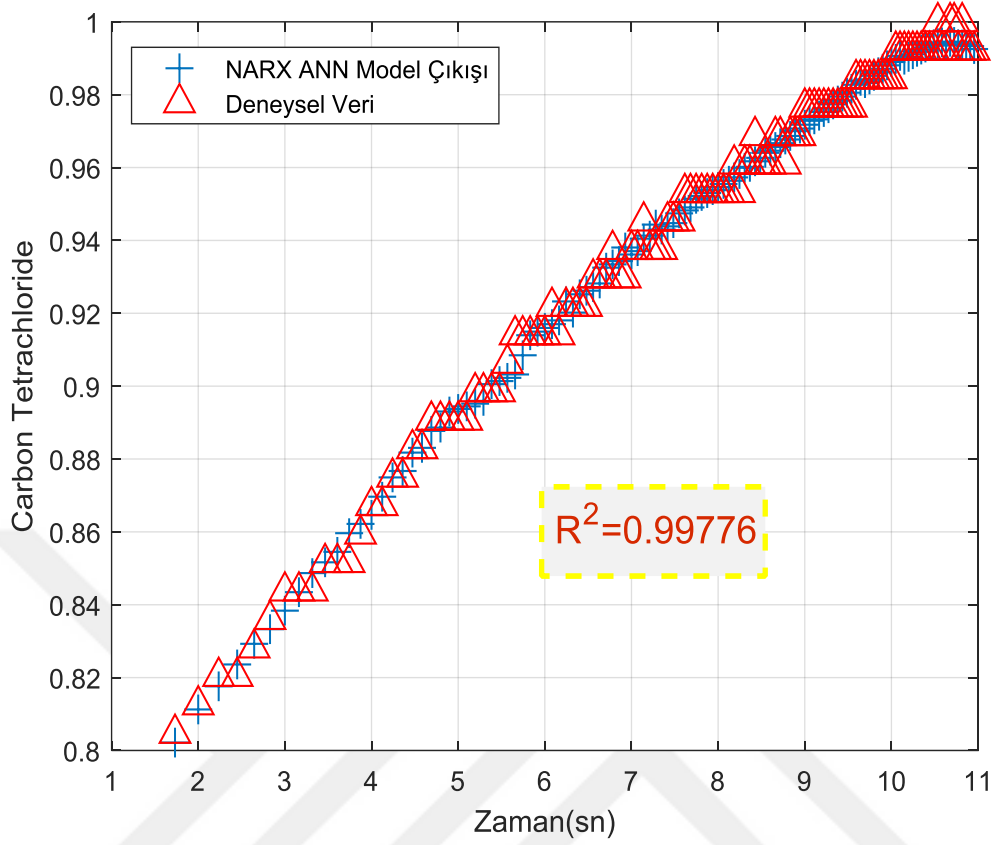
$$\rho(y, \hat{y}) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - \mu_y}{\sigma_y} \right) \left(\frac{\hat{y}_i - \mu_{\hat{y}}}{\sigma_{\hat{y}}} \right) \dots \dots \dots (4.7)$$

Bu ifade de y , \hat{y} sırasıyla deneysel veri ve ANN matematiksel model çıkışı; N deneysel ölçüm sayısı; μ_y ve $\mu_{\hat{y}}$ sırasıyla deneysel ve ANN model çıkış ortalamaları; σ_y , $\sigma_{\hat{y}}$ ise deneysel veri ve model çıkışı arasındaki standart sapma değerlerine karşılık gelmektedir.

Diklorometan'a ait NARX-ANN modelleme sonucu ve deneysel ölçüm değerleri Şekil 4.3.1' de verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere NARX-ANN, gerçek ölçüm değerlerini başarıyla modellemiş ve gerçek ile model datası arasında 0.99971 gibi bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir.

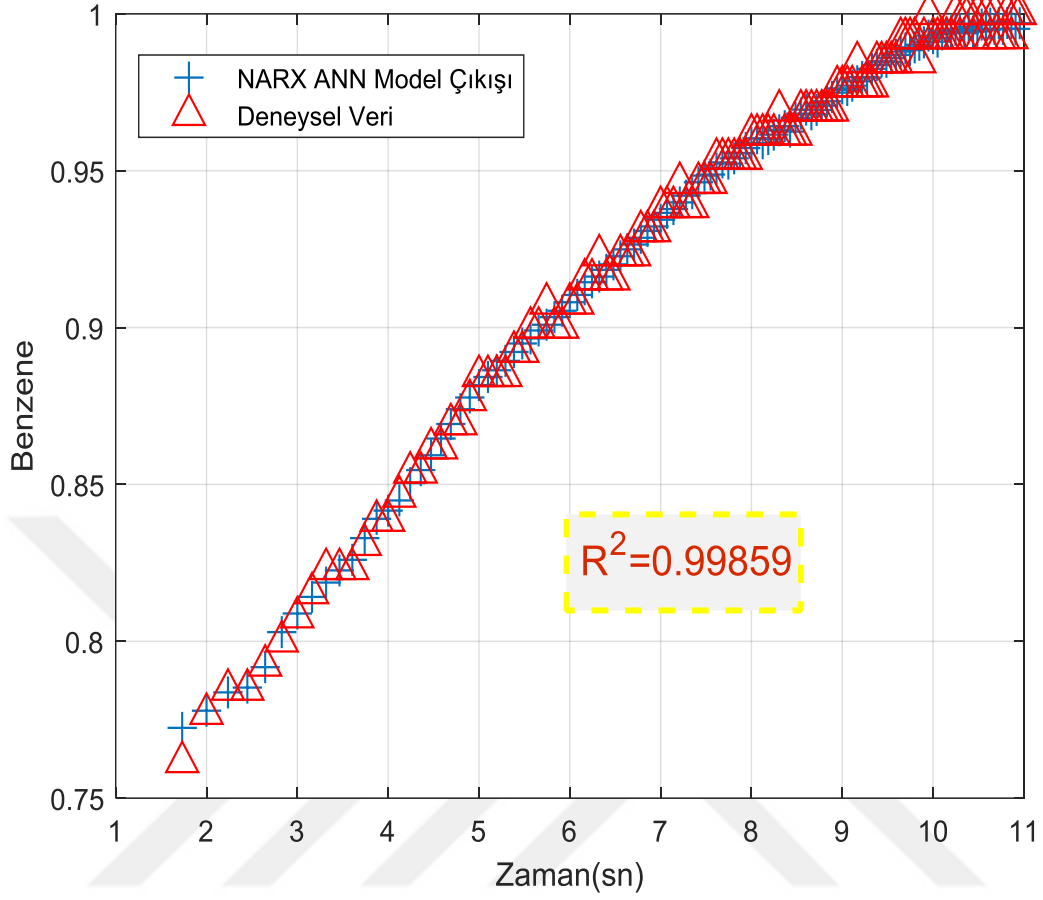


Şekil 4.3.1. Diklorometan için NARX ANN modelleme sonuçları.



Şekil 4.3.2. Karbontetraklorür için NARX ANN modelleme sonuçları.

Diklorometan'a benzer bir şekilde, karbon tetraklorür'e ait frekans kayması NARX-ANN tarafından başarıyla modellenmiştir. İlgili modelleme sonucu Şekil 4.3.2' de verilmiştir. Karbon tetraklorür'e ait model-gerçek veri arasındaki korelasyon katsayısı ise 0.99776 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3.3. Benzen için NARX ANN modelleme sonuçları

Şekil 4.3.3' e bakıldığından benzen için tasarlanan NARX-ANN yapısının başarılı sonuçlar verdiği ve 0.99859 korelasyon katsayısı elde edildiği görülmüştür.

NARX ANN modelleme hatasına ait ortalama karesel hata(MSE) ve standart sapma değerleri Tablo 4.1' de verilmiştir. Tablo 4.1' e bakıldığından tasarlanan ANN modelinin çok küçük sapmalarla gerçek veriye yakınsadığı görülmüştür.

Tablo 4.1. NARX ANN modelleme hatasına ait ortalama karesel hata(MSE) ve standart sapma değerleri

Organik Buharlar	MSE	Standart sapma
Diklorometan	$3.615 \cdot 10^{-5}$	0.00573
Benzen	$1.123 \cdot 10^{-5}$	0.00336
Karbontetraklorür	$1.096 \cdot 10^{-5}$	0.00332

Diklorometan, karbon tetraklorür ve benzen ait difüzyon katsayıları hem deneysel verilerden hem de NARX-ANN ile elde edilen matematiksel model çıkışından hesaplanarak aşağıdaki Tablo 4.2' de verilmiştir. Tablo 4.2' e bakıldığında NARX-ANN ile hesaplanan difüzyon katsayılarının gerçek difüzyon katsayılarına oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2. Deneysel sonuçlardan ve NARX-ANN modelinden elde edilen difüzyon katsayıları.

Organik Buharlar	Deneysel	NARX
Diklorometan	$2.527 \cdot 10^{-15}$	$2.531 \cdot 10^{-15}$
Benzen	$1.038 \cdot 10^{-16}$	$1.053 \cdot 10^{-16}$
Karbontetraklorür	$1.612 \cdot 10^{-16}$	$1.480 \cdot 10^{-16}$

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Saf su yüzeyine GO kloroform çözeltilisinden serpilerek 1200 µL serpilmiş ve izoterm grafiği elde edilmiştir. Kuartz cam yüzeye GO molekül transfer için uygun yüzey basıncı, izoterm grafiğine ait katı faz aralığından (8-22 mN/m) 19 mN/m olarak tespit edilmiştir. İzoterm grafiğinden molekül başına düşen alan miktarı hesaplanıp, LB film üretimi için ultra saf yüzeyinde düzenli tabaka oluşturduğu ve yüzey aktif bir molekül yapısına sahip olduğu anlaşılmıştır. Kuartz kristal yüzeye oluşturulan GO LB ince filmlerin seçilen zararlı organik buharlara doymuş konsantrasyonda maruz bırakılırken, KKM ölçümleri alınmış ve bunun sonucunda GO LB ince filmin diklorometan buharına karşı daha fazla tepki verdiği gözlenmiştir. Ayrıca, GO LB ince film sensörü bu tez kapsamında kullanılan bütün zararlı organik buharlara karşı tepki gösterdiği kinetik ölçümlerden görülebilmektedir. İnce film sensörünün klor içeren organik buharlara karşı gösterdiği tepki, benzen ve türevlerine gösterdiği tepkiden daha fazla olduğu görülmüştür.

KKM ölçümlerinden elde edilen deneysel veriler yapay sinir ağı tabanlı matematiksel modelleme (NARX-ANN) yardımıyla doğrulanmaya çalışılmıştır. Bu modelleme öncesi, Fick'in 2. Yasası kullanılarak zararlı organik buharların grafen oksit ince film sensörü içine ne kadar difüzyon olduğu hakkında bilgi edinmek için difüzyon katsayısı hesabı yapılmıştır. Elde edilen difüzyon katsayısı değerleri, NARX-ANN modelleme sonucu elde edilen difüzyon katsayısı değerleri ile kıyaslanmıştır.

Diklorometan, karbon tetraklorür ve benzen ait difüzyon katsayıları hem deneysel verilerden hem de NARX-ANN ile elde edilen matematiksel model çıkışından hesaplanarak Tablo 4.2' de verilmiştir. Tablo 4.2' e bakıldığında NARX-ANN ile hesaplanan difüzyon katsayılarının gerçek difüzyon katsayılarına oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışma SCI-expanded kapsamında taranan *“IEEE Sensors Journal”* dergisinde *“Chemical sensor properties and mathematical modelling of*

graphene oxide Langmuir-Blodgett thin films” başlıklı makale olarak literatüre kazandırılmıştır [34].



6. KAYNAKLAR

- [1] Sreeprasad, T. S., Maliyekkal, S. M., Lisha, K. P., & Pradeep, T., 2011, “Reduced graphene oxide-metal/metal oxide composites: Facile synthesis and application in water purification “ , *Journal of Hazardous Materials.*, 186(1): 921–931.
- [2] Malard, L. M., Pimenta, M. A., Dresselhaus, G., & Dresselhaus, M. S., 2009, “Raman spectroscopy in graphene”, *Physics Reports.*, 473(5–6): 51–87.
- [3] Zhu, Y., Murali, S., Cai, W., Li, X., Suk, J. W., Potts, J. R., & Ruoff, R. S., 2010, “Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications” , *Advanced Materials.*, 22(35): 3906–3924.
- [4] Novoselov, K. S., Fal’Ko, V. I., Colombo, L., Gellert, P. R., Schwab, M. G., & Kim, K., 2012, “A roadmap for graphene”, *Nature.*, 490(7419): 192–200.
- [5] Teweldebrhan, D., Lau, C. N., Ghosh, S., Balandin, A. A., Bao, W., Calizo, I., & Miao, F., 2008, “Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene” , *Nano Letters.*, 8(3): 902–907.
- [6] Meyer, J. C., Geim, A. K., Katsnelson, M. I., Novoselov, K. S., Booth, T. J., & Roth, S., 2007, “The structure of suspended graphene sheets” , *Nature.*, 446(7131): 60–63.
- [7] Luo, J., Jiang, S., Zhang, H., Jiang, J., & Liu, X., 2012, “A novel non-enzymatic glucose sensor based on Cu nanoparticle modified graphene sheets electrode” , *Analytica Chimica Acta.*, 709: 47–53.
- [8] Bedeloğlu, A., & Taş, M., 2016, “Graphene And Its Production Methods” , *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering.*, 16(3): 544–554.
- [9] Liu, Q., Shi, J., & Jiang, G., 2012, “Application of graphene in analytical sample preparation” , *TrAC - Trends in Analytical Chemistry.*, 37: 1–11.
- [10] Zee, F., & Judy, J. W., 2001, “Micromachined polymer-based chemical gas sensor array” , *Sensors and Actuators, B: Chemical.*, 72(2): 120–128.
- [11] Chang, J. F., Kuo, H. H., Leu, I. C., & Hon, M. H., 2002, “The effects of thickness and operation temperature on ZnO:Al thin film CO gas sensor” , *Sensors and Actuators, B: Chemical.*, 84(2–3): 258–264.
- [12] Acar, I., “*Uçucu Organik Bileşikler*”, İstanbul Üni. Kimya Müh., Derleme, www.turkchem.net, 2018.
- [13] Maroni, M., Seifert, B., Lindvall, T., “*Indoor air quality – A comprehensive*” Reference Book., Elsevier, Amsterdam, 1995.

- [14] Wallace, L.A., “*Personel Exposure to 25 Volatile Organic Compounds*”, Toxicology and Industrial Health, 1991.
- [15] Alyüz, B., Veli, S., “*İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlık Üzerine Etkileri*”, Kocaeli Üni. Müh. Fak., Çevre müh. Bölümü, <http://dergipark.gov.tr/>, 2006
- [16] Bilir, N., Yıldız, A.N., “*İş Sağlığı Güvenliği*”, Ankara, Hacettepe Üni. Yay., 2004.
- [17] Tözün, M., Ünsal, A., “*Benzen Ve Sağlık Etkileri*”, Derleme, <https://www.Ejmanager.Com/>, 2008.
- [18] www.Resmigazete.Gov.Tr. “*Anonim*” 2018.
- [19] <https://Prosafety.com.tr/>. “*Anonim*” 2018.
- [20] www.Wikipedia.Org. “*Anonim*” 2018.
- [21] Kitiz, B., “*Karbontetraklorür Verilen Rat Böbrek Dokularında Oksidan/Antioksidan Sistemlerin Araştırılması*”, Gazi Üni., Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Kimya Ana Bilim Dalı, 2011.
- [22] Özkaya, C., “*Perilendiimid Türevi Moleküllerin Langmuir-Blodgett İnce Film Özelliklerinin İncelenmesi*”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [23] Oğuzhan, Ö., “*Langmuir-Blodgett Metodu Kullanılarak Triazin Türevi İle Ito Yüzeyinin Modifikasyonu*”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [24] Özbek, Z., “*Kalikseren Maddelerinin İnce Film Ve Elektrik Özellikleri*”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [25] Gürfidan, L., “*Farklı Uzunlukta Alkil Zinciri Bulunduran İnorganik Ligandların Langmuir- Blodgett İnce Filmlerinin Hazırlanması Ve Uygulamaları*”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [26] Civan, M., “*Bazı Organik Moleküller İle Üretilen Langmuir-Blodgett Filmlerin Moleküler Yapılarının Fourier Transform Kırmızı -Altı Spektrometresi Kullanılarak İncelenmesi*”, Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [27] Açıkbaz, Y., “*1,3-Bis-(4- İmino -3 Hidroksi-Benzoikasit) İndan Maddesinin Langmuir-Blodgett İnce Film Özelliklerinin İncelenmesi*”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [28] Uzunoğlu, T., “*II-VI Yarı İletken Nano Parçacık İçeren Organik Langmuir-Bodgett İnce Filmlerin Özelliklerinin İncelenmesi*”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Müh. Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 2008. .

- [29] Yıldırım, G., “*Benzoik Asit Türevi Langmuir- Blodgett İnce Filmlerin Elektrik Özelliklerinin İncelenmesi*”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [30] Temel, F.,”*Farklı Yapıdaki Kaliksaren Türevlerinin Gaz Algılama Özelliklerinin İncelenmesi*”, Selçuk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Müh. Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [31] Sümer, F., “*Quartz Kristal Mikrobalans Tekniği İle Farklı Kaliksaren Molekülleri İle Modifiye Olmuş Karbon Nanotüp Yapılarının Karbon Monoksit Gaz Sensörü Olarak Geliştirilmesi*”, Ege Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Müh., Elektronik Ana Bilim Dalı, 2011.
- [32] Hulanicki, A., Glab, S. &Ingman, F., “*Chemical Sensors Definitions And Classification*”. Pure And Applied Chemistry, 63(9), 1247-1250, (1991).
- [33] Açıkbaş, Y., “*Perilendiimid Türevlerinin Organik Buharlara Karşı Duyarlılıklarının İncelenmesi*”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 2012.
- [34] Büyükkabasakal, K., Acikbas, S.C., Deniz, A., Acikbas, Y., Capan, R. & Erdogan, M., “*Chemical sensor properties and mathematical modelling of graphene oxide Langmuir-Blodgett thin films*”. IEEE Sensors Journal, [DOI 10.1109/JSEN.2019.2926367](https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2926367), (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı, Adı: Çelik Açıkbaş, Sibel

Uyruğu: T.C

Doğum Yeri Ve Tarihi: Susurluk, 07.05.1981

Medeni Hali: Evli

Telefon: 0533 817 3145

E-Mail: e_sibel_celik@hotmail.com

Lise: Susurluk Süper Lisesi, 2003

Lisans: Trakya Üniversitesi/ Matematik, 2006

İş Deneyimi: Balıkesir_Ayvalık Bil-Fem Dershanesi, Manisa Birey Dershanesi, Bursa Mustafakemalpaşa Zafer Dershanesi, Bursa Mustafakemalpaşa Sınav Koleji, Bursa Mustafakemalpaşa Sınav Dershanesi

Kullandığı Bilgisayar Programları: MS Office programları, LİMS (Laboratuar işlem takipprogramı), Auto-Cad (proje çizim programı düşük seviyede)

Yabancı Dil: İngilizce(Başlangıç seviyesinde)

Hobiler: Kitap okumak, film izlemek, spor yapmak, müzik dinlemek, seyahat etmek