

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TNT'NİN DUYARSIZLAŞTIRILMASINDA NANO VANADYUM PENTAOKSİT ( $V_2O_5$ )' İN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ARİF HIŞIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA ANABİLİM DALI  
ANORGANİK KİMYA PROGRAMI

DANIŞMAN  
PROF. DR. ULVİ AVCIATA

İSTANBUL, 2013

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TNT’İN DUYARSIZLAŞTIRILMASINDA NANO VANADYUM PENTAOKSİT (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)’İN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Arif Hışır tarafından hazırlanan tez çalışması 12 / 02 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Ulvi AVCIATA  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan AVCIATA  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Ulvi AVCIATA  
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Ahmet GÜL  
İstanbul Teknik Üniversitesi



Doç Dr. M. Kasım Şener  
Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 00502.STZ.2009-2 numaralı SANTEZ projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana her türlü konuda destek olan, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve yürütücüsü olduğu SANTEZ projesinde bana çalışma imkanı sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi AVCIATA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Deneysel çalışmalarım sırasında XRD ve SEM analizlerinin gerçekleştirilmesine ve sonuçların yorumlanmasına yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan AVCIATA'ya teşekkür ederim.

Çalışmamın başından itibaren her konuda yardım ve desteğini aldığım Prof. Dr. Nüket ÖCAL'a, Doç. Dr. Çiğden YOLAÇAN'a, Doç. Dr. M. Kasım ŞENER'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek olan annem Zeliha HIŞIR'a ve babam Adnan HIŞIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Şubat, 2013

Arif HIŞIR

## İÇİNDEKİLER

---

	<b>Sayfa</b>
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Orijinal Katkı.....	3
<b>BÖLÜM 2.....</b>	
<b>PATLAYICILAR.....</b>	
2.1 Genel Bilgi.....	4
2.2 Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması.....	5
2.2.1 Hızlarına Göre.....	2
2.2.1.1 Düşük Hızlı Patlayıcılar.....	5
2.2.1.2 Yüksek Hızlı Patlayıcılar.....	3
2.2.2 Hassasiyetlerine Göre.....	3
2.2.2.1 Birincil Patlayıcılar.....	3
2.2.2.2 İkincil Patlayıcılar.....	4
2.2.2.3 Üçüncül Patlayıcılar.....	4
2.3 Patlayıcı Çeşitleri .....	7

2.4 TNT (Tri Nitro Toluen) .....	9
2.5 Duyarsızlaştırma.....	12
2.6 Patlayıcı Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	10
2.6.1 Darbe Duyarlılığı .....	14
2.6.2 Sürtünme Duyarlılığı .....	15
2.6.3 Elektrostatik Boşanım Duyarlılığı .....	15
2.6.4 Termal Duyarlılığı .....	16
2.7 Patlayıcı Performansı.....	13
2.7.1 Patlama Hızı.....	16
2.7.2 Patlama Basıncı .....	17
BÖLÜM 3 .....	18
NANOTEKNOLOJİ .....	18
3.1 Nanoteknolojinin Tanımı ve Amaçları.....	18
3.2 Nanoteknolojinin Gelişim Basamakları .....	27
3.3 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları .....	30
3.4 Nanoteknolojinin Türkiye'deki Durumu.....	39
3.4.1 Yapılmakta Olan Çalışmalardan Özetler .....	40
3.5 Sol-Jel Yöntemi ile Nano Malzeme Sentezi.....	43
BÖLÜM 4 .....	45
KARIŞIMLARIN HAZIRLANMASINDA KULLANILAN KİMYASALLAR VE KARAKTERİZASYONLARI .....	45
4.1 Kullanılan Kimyasallar .....	45
4.2 Kullanılan Cihazlar .....	45
4.3 NTO'nun Sentezlenmesi.....	46
4.3.1 Spektroskopik Veriler.....	48
4.3.2 Partikül Büyüklüğü Analizi .....	49
4.3.3 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile Elde Edilen Veriler.....	53
4.3.4 DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) ile Bozunma Sıcaklığı Tayini ....	54
4.3.5 Safılık Tayini .....	55
4.3.6 Uçucu Madde Tayini .....	55
4.4 Nano Vanadyum Pentaoksit ( $V_2O_5$ ) Sentezi .....	56
4.4.1 Spektroskopik Veriler.....	58
4.4.1.2 Kristal Boyut Analizleri.....	60

4.4.1.3 SEM Analizleri .....	62
4.4.1.4 EDS Analizleri.....	65
4.4.1.5 FT-IR Analizleri.....	66
BÖLÜM 5.....	68
KARIŞIMLARIN HAZIRLANMASI VE DARBE HASSASİYETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ.....	68
5.1 Karışımların Hazırlanması.....	68
5.2 Darbe Hassasiyetinin Ölçülmesi.....	69
BÖLÜM 6.....	79
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	84

## SİMGE LİSTESİ

---

Å	Angstrom
$\nu$	Frekans
°C	Santigrat derece
j	joule
$A_{\max}$	Maksimum absorbans
ppm	Milyonda bir(parts per million)
N	Newton
nm	Nanometre
$\epsilon$	Molar absorbtivite
$\mu\text{m}$	Mikrometre
$\theta$	Bragg açısı



## KISALTMA LİSTESİ

AKM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AN	Amonyum Nitrat
ANFO	Amonyum Nitrat Fuel Oil
ATR	Azaltılmış Toplam Yansıma
BAM	Almanya Malzeme Araştırma ve Test Federal Enstitüsü
D <sub>p</sub>	Nanometre Cinsinden Kristal Boyutu
DMF	N,N-Dimetil Formamid
DMSO	Dimetil Sülfoksit
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTA	Diferansiyel Termik Analiz
EDS	Enerji Dağılım Spektroskopisi
FT-IR	Kızılötesi Fourier Dönüşümü Spektroskobu
HMX	Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine
HPLC	Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi
IR	Infrared
İPA	Izopropil Alkol
MeOH	Metil Alkol
MS	Kütle Spektroskopisi
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans
NTO	3-nitro-1,2,4-triazol-5-one
RDX	1,3,5-Trinitroperhydro-1,3,5-triazine
PETN	3-Nitrooxy-2,2,-bis[(nitrooxymethyl)propyl]nitrate
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
STANAG	Standardizasyon Antlaşması
TGA	Termo Gravimetrik Analiz
THF	Tetrahidrofuran
TNT	2,4,6,-Trinitrotoluen
UV	Ultraviyole
VoD	Patlama Hızı(Velocity of Detonation)
XRD	X-Işınları Kırınımı

## ŞEKİL LİSTESİ

---

	Sayfa
Şekil 1.1 TNT'nin yapısı.....	6
Şekil 1.2 Toluen'den yola çıkarak farklı düzenlenmelerde TNT üretimi.....	7
Şekil 2.1 Çeşitli doğal ve yapay maddelerin nanometrik boyutlarının gösterimi.....	17
Şekil 2.2 Nano ölçekli maddeler tarafından sağlanan artan yüzey alanının gösterimi.....	19
Şekil 2.3 Sol-Jel süreci.....	41
Şekil 3.1 NTO'nun sentezi.....	44
Şekil 3.2 NTO'nun infrared spektrumu.....	45
Şekil 3.3 NTO'nun <sup>1</sup> H-NMR spektrumu.....	46
Şekil 3.4 Şiddete göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 5).....	47
Şekil 3.5 Sayıya göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 5).....	47
Şekil 3.6 Şiddete göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 7).....	48
Şekil 3.7 Sayıya göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 7).....	48
Şekil 3.8 Şiddete göre tanecik boyutu analizi (ultrasonik banyoda kristallendirme).....	49
Şekil 3.9 Sayıya göre tanecik boyutu analizi (ultrasonik banyoda kristallendirme).....	49
Şekil 3.10 Nano lif yapıda sentezlenen NTO toz numunenin X200 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	50
Şekil 3.11 Nano lif yapıda sentezlenen NTO toz numunenin X5000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	50
Şekil 3.12 Bozunma sıcaklığı analizi.....	51
Şekil 3.13 HPLC ile saflık tayini.....	52
Şekil 3.14 Vanadyum tri-izopropoksit sentezine ait reaksiyon.....	53
Şekil 3.15 V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tozlarının üretim süreci.....	54
Şekil 3.16 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen 16 nolu numunenin XRD analiz sonucu.....	55
Şekil 3.17 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen 17 nolu numunenin XRD analiz sonucu.....	56
Şekil 3.18 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen 18 nolu numunenin XRD analiz sonucu.....	56
Şekil 3.19 Kristal boyut ile tane boyutu arasındaki bağlantı.....	58

Şekil 3.20	Sentezlenen 16 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x20000 ve x11000 deki SEMgörüntüleri.....	59
Şekil 3.21	Sentezlenen 16 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x50000 deki SEM görüntüsü.....	59
Şekil 3.22	Sentezlenen 17 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x10000 ve x20000 deki SEM görüntüleri.....	60
Şekil 3.23	Sentezlenen 17 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x50000 deki SEM görüntüsü.....	60
Şekil 3.24	Sentezlenen 18 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x10000 ve x20000 deki SEM görüntüleri.....	61
Şekil 3.25	Sentezlenen 18 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x50000 deki SEM görüntüsü.....	61
Şekil 3.26	Sentezlenen 16 nolu nano vanadyum pentaoksit tozlarının EDS analiz sonucu.....	62
Şekil 3.27	Sentezlenen 17 nolu nano vanadyum pentaoksit tozlarının EDS analiz sonucu.....	62
Şekil 3.28	Sentezlenen 18 nolu nano vanadyum pentaoksit tozlarının EDS analiz sonucu.....	63
Şekil 3.29	16 numaralı toz vanadyum pentaoksit numunesinin FT-IR(ATR) spektrumu.....	64
Şekil 3.30	17 numaralı toz vanadyum pentaoksit numunesinin FTIR(ATR) spektrumu.....	64

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 1.1 TNT'nin Fransa üretimi için nitrolama asitlerin kullanım oranları.....	7
Çizelge 1.2 TNT'nin özellikleri.....	9
Çizelge 1.3 Bazı patlayıcı maddelerin çeşitli yöntemlerle hesaplanan darbe duyarlılığı sonuçları.....	11
Çizelge 1.4 Çeşitli patlayıcı maddelerin BAM yöntemi sürtünme duyarlılık testi sonuçları.....	12
Çizelge 1.5 Çeşitli patlayıcı maddelerin elektrostatik boşalım testi sonuçları.....	12
Çizelge 1.6 Çeşitli patlayıcı maddelerin termal duyarlılık tutuşma testi sonuçları.....	13
Çizelge 1.7 Çeşitli patlayıcı maddelerin farklı araştırma grupları tarafından hesaplanmış patlama hızları.....	13
Çizelge 1.8 NTO, RDX ve TATB'ın plaka göçüğü test sonuçlarından hesaplanmış patlama basınçları.....	14
Çizelge 2.1 Bazı nesnelerin nanometrik olarak boyutları.....	17
Çizelge 2.2 Nanoteknoloji alanındaki yenilikler ve gelişmeler.....	26
Çizelge 2.3 Nanomalzemelerin değer zincirinin çeşitli aşamalarındaki varolan ve potansiyel uygulamaları.....	30
Çizelge 3.1 NTO'nun kimyasal özellikleri.....	44
Çizelge 3.2 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen vanadyum pentaoksit tozların kristal boyut değerleri.....	58
Çizelge 4.1 Karışımların hazırlanması sırasında kullanılan maddelerin sıralaması, sıcaklık değerleri, karıştırma hızı ve karıştırma süresi.....	66
Çizelge 4.2 BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 1).....	67
Çizelge 4.3 Bruceton metodu ile darbe hassasiyeti test sonuçları(Numune 1).....	69
Çizelge 4.4 Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 1).....	69
Çizelge 4.5 BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 2).....	70
Çizelge 4.6 Bruceton metodu ile darbe hassasiyeti test sonuçları(Numune 2).....	71
Çizelge 4.7 Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 2).....	72

Çizelge 4.8	BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 2A).....	73
Çizelge 4.9	Bruceton metodu ile darbe hassasiyeti test sonuçları(Numune 2A).....	73
Çizelge 4.10	Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 2A).....	74
Çizelge 4.11	BAM Darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi(Numune 2H).....	75
Çizelge 4.12	Bruceton metodu test sonuçları(Numune 2H).....	76
Çizelge 4.13	Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 2H).....	76
Çizelge 4.14	Hazırlanan karışımların, BARUTSAN TNT'si ve saf TNT'nin darbe hassasiyeti test sonuçları.....	77

**TNT'İN DUYARSIZLAŞTIRILMASINDA NANO VANADYUM PENTAOKSİT (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)' İN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Arif HIŞIR

Kimya Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ulvi AVCIATA

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan AVCIATA

Patlayıcılar; ani bir reaksiyon sonucu ortama yüksek miktarda ısı ve gaz açığa çıkaran maddelerdir. Genellikle tahrip edici ve askeri amaçlar için kullanılırlar. Bilinen en eski patlayıcı, günümüzde de havai fişeklerde kullanılan kara baruttur. Roket, füze vb. mühimmat sistemlerinin kolay depolanması, taşınması, cephede maruz kaldığı etkiler ve kullanımı durumlarında yangına, mermi çarpmasına, çevresindeki patlamalara vb. etkilere karşı çevreye ve askeri personele zarar vermemesi isteği duyarsız mühimmat kavramını ortaya çıkarmıştır [1].

Duyarsız mühimmat kavramı; istenildiğinde güvenilir bir şekilde tam performans gösterebilen, kullanıma hazır bulunan ve operasyonel ihtiyaçları karşılayan; kazara ateşlenme ihtimali azaltılmış, cephede ve herhangi bir kaza durumunda ortaya çıkan tehditlerin silah platformlarında, lojistik sistemlerde ve askeri personelde oluşturabileceği muhtemel hasarı azaltılmış mühimmatlardır. Modern ordularda hem iyi termal kararlılığı sahip, darbe ve şoklara karşı duyarsız olan hem de yüksek performansa sahip patlayıcılara son derece ihtiyaç vardır [1].

Yüksek performans elde etme amacı, askeri savaş başlıklarında kullanımı bulunan patlayıcı bileşenler alanındaki çalışmaların arkasında itici güç olarak yıllardır bulunmaktadır. Yüksek patlayıcıların düştüğü tehlikeli durumlar genel olarak 3 başlıkta toplanır: en sık olanı darbe ile alevlenme, ikincisi termal ısınma ve üçüncüsü de şoklardır. Patlayıcıların fiziksel, kimyasal ve elektriksel etkilere maruz kalması sonucu oluşturduğu bu olumsuzluklar patlayıcıların duyarsızlaştırılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Birçok ülke askeri ve özel ortaklıklı kurum ve kuruluşlar tarafından var olan patlayıcı envanterinin duyarsızlaştırılması ve yeni nesil duyarsız patlayıcıların elde edilmesi titizlikle ve önemle yürütülmektedir. Türkiye Cumhuriyeti de ülke çıkarlarını gözetererek bu konuda çalışmalarını hızlandırmalı ve sonuç alınabilecek şekilde bu konudaki araştırmalarını yoğunlaştırması hayati öneme sahiptir. Aksi takdirde hem askeri açıdan geri kalacak hem de oluşabilecek kazalarda büyük kayıplara sahip olabilecektir.

Ayrıca 2000'li yılların teknolojik gelişmelerinde büyük öneme sahip olan ve gelecek yılların en önemli araştırma alanlarından birisi olacak nanoteknoloji yeni nesil, daha etkili ve kompleks askeri ürünlerin geliştirilmesinde yavaşta olsa kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde var olan nanoteknolojik gelişmeler ışığında elde edilen bilgiler nano yapıya sahip ürünlerin üstün özelliklerini(iletim özellikleri; momentum, enerji ve kütle) ortaya çıkarmış ve bu üstün özelliklerin kullanılmaya başlandığı en önemli alanlardan biriside askeri yeni nesil ürün geliştirilmesidir.

Bu çalışmada TNT'nin nano vanadyum pentaoksit ve diğer katkı maddeleri ile hazırlanan karışımları hazırlanmış ve bu karışımların darbe hassasiyetleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda hazırladığımız karışımların darbe hassasiyetleri saf TNT ve Barutsan TNT'sine göre darbelere karşı daha duyarsız olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Duyarsız mühimmat, nanoteknoloji, yüksek patlayıcılar, termal kararlılık, darbe.

**EFFECT OF NANO VANADIUM PENTAOXIDE (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) PARTICLES IN DESENSITIZATION OF TNT**

Arif HIŞIR

Department of Chemistry

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ulvi AVCIATA

Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Oğuzhan AVCIATA

Explosives are substances which reveal a large amount of heat and gas to environment as result of a sudden reaction.They are usually used with the aim of demolition and military.Black powder is known the oldest explosive and it is stil used in fireworks. Easy storage and transportation of munition systems such as rocket or missile etc. and effect of exposure in front line, in case of usage against fire, impact of bullet and effect of explosion around at least desire to harm to the environment and military personel caused to appear concept of insensitive munition [1].

Insensitive munition concept is the munition that can able to cause full performance safely on demand, ready to use, satisfy operational purposes, reduced probability of ignition accidentally and reduced of probable damages of threats that will able to cause against weapon platforms, logistic systems and military personal in front line or in any case of accident. Modern armies need explosives that have both good thermal stability, impact and shock insensitive and as well as extremely high performance [1].



High performance has been for many years the driving force behind research in the field of explosive compounds for use in military warheads. High explosives, dangerous situations that fall generally collected in three chapters: the first one flaming with impact, the second one is thermal heating and the third one is the shock.

Desensitization of existing stock of explosive and to produce new generation insensitive munitions are performed selectively and importantly by lots of countries' armies, institutions and organizations, which have special partnership. Republic of Turkey has to speed up studies in this area for preserving national interest and it is really critical importance to ratched up studies in this area.

Also Nanotechnology, which has great importance on technologic development of 2000s and will be one of the most important research areas in future has been started using on development of more effective and complex military products. Informations, which get in the light of existing nanotechnologic developments at present time reveal great properties (conduction properties; momentum, energy and mass) of nanostructured products and one of the most important area started using these great properties is developing new generation military product.

In this study, We prepared mixtures of TNT with nano vanadium pentaoxide particles and other added substances and impact sensitivities of these mixtures were measured. As a result of performed measurements, impact sensitivities of our prepared mixtures are beter than pure TNT and TNT of BARUTSAN.

**Key words:** Insensitive munition, high explosives, nanotechnology, thermal stability, impact.

#### 1.1 Literatür Özeti

Patlayıcılar; ani bir reaksiyon sonucu ortama yüksek miktarda ısı ve gaz açığa çıkaran maddelerdir. Genellikle tahrip edici ve askeri amaçlar için kullanılırlar. Bilinen en eski patlayıcı, günümüzde de havai fişeklerde kullanılan kara baruttur. Roket, füze vb. mühimmat sistemlerinin kolay depolanması, taşınması, cephede maruz kaldığı etkiler ve kullanımı durumlarında yangına, mermi çarpmasına, çevresindeki patlamalara vb. etkilere karşı çevreye ve askeri personele zarar vermemesi isteği duyarsız mühimmat kavramını ortaya çıkarmıştır [1].

Duyarsız mühimmat kavramı; istenildiğinde güvenilir bir şekilde tam performans gösterebilen, kullanıma hazır bulunan ve operasyonel ihtiyaçları karşılayan; kazara ateşlenme ihtimali azaltılmış, cephede ve herhangi bir kaza durumunda ortaya çıkan tehditlerin silah platformlarında, lojistik sistemlerde ve askeri personelde oluşturabileceği muhtemel hasarı azaltılmış mühimmatlardır. Modern ordularda hem iyi termal kararlılığı sahip, darbe ve şoklara karşı duyarsız olan hem de yüksek performansa sahip patlayıcılara son derece ihtiyaç vardır [1].

Yüksek performans elde etme amacı, askeri savaş başlıklarında kullanımı bulunan patlayıcı bileşenler alanındaki çalışmaların arkasında itici güç olarak yıllardır bulunmaktadır. Yüksek patlayıcıların düştüğü tehlikeli durumlar genel olarak 3 başlıkta toplanır: en sık olanı darbe ile alevlenme, ikincisi termal ısınma ve üçüncüsü de şoklardır. Patlayıcıların fiziksel, kimyasal ve elektriksel etkilere maruz kalması sonucu

oluşturduğu bu olumsuzluklar patlayıcıların duyarsızlaştırılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Duyarsız bir mühimmat bir hedefi yok etmek için planlanmış görevinden farklı olarak mühimmata bir mermi çarpması veya bir patlama sonrası ortama yayılan şarapnel parçaları gibi herhangi bir etki altında patlamayacak mühimmatlardır. Normal şartlar altında modern mühimmatlar etkili temel askeri yeterliliği sağlayan ve nispeten güvenli olan mühimmatlardır. Çok zor şartlar altında aynı zamanda çok iyi patlama performansı gösteren, tüm mühimmat sistemlerinde bulunan yüksek patlayıcılar, roket yakıtları, ısıya ve mekanik darbelere karşı duyarlı enerjetik maddelerdir. Böylelikle duyarsız mühimmatlar kurşun ve şarapnel parçalarının ve ya alevin neden olduğu olumsuz durumların en aza indirildiği patlayıcıdır. Bu yüzden dış etkiler önemlidir.

Olağanüstü sıcaklıklarda, füze ve ya benzeri duyarsız mühimmatlar yalnızca yanacaktır, patlama ve ya infilak gerçekleşmeyecektir. Bu güvenlik artışı ile duyarsız mühimmatlar daha küçük taşıtlarda taşınabilirken, saklanma ve taşınmaları için büyük miktarlara izin verilebilir. Aynı zamanda fiziksel etkilere maruz kalması durumunda kolayca patlayan duyarlı mühimmatların depolanma maliyetlerine oranla büyük kazanç elde edilir. Kazara alevlenme ve patlamaları azaltmak için Amerikan deniz, kara ve hava kuvvetleri PBXN-103, PBXN-109 gibi çok daha duyarlı patlayıcıları var olan duyarlı patlayıcılar ile yer değiştirmektedirler.

Güvenlik için Amerikan deniz, hava ve kara kuvvetleri var olan ana patlayıcı maddeleri 1 inç'ten daha büyük kritik çapa sahip duyarsız ana mühimmatlar ile değiştirmektedirler. Gelecek nesil sualtı ve torpido patlayıcıları 1 inç'ten daha büyük kritik çapa sahip olacaklardır. Bu tür duyarsız patlayıcılara örnek olarak; 3-4 inç arasından kritik çapa sahip PBXW-124( %27 NTO, %20 RDX, %20 Al, %20 amonyum perklorat, %13 bağlayıcı) ve 7 inç kritik çapa sahip PBXW-122 (%47 NTO, %5 RDX, %15 Al, % 20 amonyum perklorat, %13 bağlayıcı)'dir. Var olan itici patlayıcılar ve füzeler yeni duyarsız ana patlayıcıları tam olarak başlatmak için yeterli enerji verimine sahip değildirler. İtici patlayıcıların artan miktarı ise hassasiyeti ve kazara ateşlenmelerin oranını artıracaktır. Üstelik var olan füze ve itici patlayıcıların sayısı çok fazladır ve bu mühimmatların duyarsızlaştırılmaları çok yüksek maliyete neden olmaktadır.

## 1.2 Tezin Amacı

TNT en çok kullanılan askeri patlayıcıların başında gelen madde olup, tek başına veya patlayıcı madde karışımlarında geniş şekilde kullanılmaktadır. Askeri yüksek infilaklı tahrip maddeleri sınıfına giren diğer patlayıcılara karşı, standart patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Genellikle el bombaları yapımında kullanılır.

TNT nispeten düşük toksiteye sahip ve saklanması güvenlidir. Bu yüzden çeşitli metallere hassas bileşikler veren amonyum pikrat ve pikrik asit ve yüksek toksiteye sahip hekzanitrofenilamin ve trinitrobenzen gibi patlayıcılara tercih edilir. TNT patlama sırasında karbonun yanması tamamlamak için yeterli oksijen içermez. Bu yüzden yararlı bir şekilde aşırı miktarda oksijene sahip amonyum nitrat ile karıştırılır [8].

Ham TNT yan reaksiyonlardan kaynaklanan nitrolanmış fenolik bileşikler ve TNT'nin çeşitli izomerlerini içerir. Saflaştırmanın genel metodu simetrik olmayan trinitro bileşiklerinin sülfonik asit türevlerine dönüştürülmesi ve pH 8-9 arasında %4'lük sodyum sülfid çözeltisi ile ham TNT'yi uzaklaştırmaktır. Bu ürünler daha sonra alkali bir çözeltiyle yıkama ile uzaklaştırılır. Saf TNT daha sonra sıcak su ile yıkanır ve pul pul ayrılır ve paketlenir. Simetrik olmayan trinitrotoluenler ve diğer ürünlerin eser miktarı TNT'nin erime noktasını düşürecektir. Aynı zamanda daha ileri dönemlerde TNT %62'lik nitrik asit ve ya organik çözücülerden yeniden kristallendirilebilir [9].

Bu çalışmada TNT'nin nano vanadyum pentaoksit ve diğer katkı maddeleri ile hazırlanan karışımları hazırlanmış ve bu karışımların darbe hassasiyetleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda hazırladığımız karışımların darbe hassasiyetleri saf TNT ve Barutsan TNT'sine göre darbelere karşı daha duyarsız olmuştur. Elde edilen duyarsız mühimmatlar var olan duyarlı patlayıcıların yerini zamanla alacaktır.

## 1.3 Orijinal Katkı

Yaptığımız çalışmalar sonucunda elde edilen duyarsız karışımlar zamanla var olan duyarlı patlayıcı karışımlarının yerini alarak, oluşabilecek kazalarda can kayıplarının yurtdışından duyarsız mühimmatların tedarik edilmesini engelleyerek savunma sanayi alanında bu konuda oluşabilecek dışa bağımlılık azaltılabilecektir.

#### 2.1 Genel Bilgi

Patlayıcılar; ani bir reaksiyon sonucu ısı, ışık, ses ve basınç ile birlikte ortama yüksek miktarda gaz açığa çıkaran potansiyel enerji içeren reaktif maddelerdir. Bir patlayıcı madde içerisinde depolanmış bu potansiyel enerji:

- Nitrogliserin gibi bir kimyasal enerji,
- Gaz silindirleri ve aerosol kabı gibi sıkıştırılmış gazlar,
- Uranyum-235 ve plütonyum-239 gibi bölünebilir izotoplar gibi nükleer enerji olabilir [2].

Genellikle tahrip edici ve askeri amaçlar için kullanılırlar. Bilinen en eski patlayıcı, günümüzde de havai fişeklerde kullanılan kara baruttur. Eski Çinliler'in belki de binlerce yıldır bildikleri kara barutu 1249'dan bir süre önce ilk kez tanımlayan İngiliz Katolik rahip Roger Bacon oldu. Güherçile (potasyum nitrat), kükürt ve odun kömürü karışımı olan kara barut yandığı zaman kendi hacminin 4.000 katı kadar gaz çıkarır. Çok hızlı gerçekleşen bu tepkime sırasında odun kömürü ve kükürt güherçilenin çıkardığı oksijenle yanar.

Alman kimyacı Christian Schönbein'in 1846'da keşfettiği pamuk barutu daha güçlü bir patlayıcıdır. İlk dumansız barut türü olan pamuk barutu, pamuk liflerinin derişik nitrik asit ve sülfürik asitle işlenmesiyle elde edilir. Bu tür bir lif parçası tutuşturulursa hızla ve sessizce yanar; ama sert bir darbeyle karşılaşırsa büyük bir şiddetle patlar. Bu tip

patlayıcılar günümüzde pamuk yerine kâğıt ve odun talaşı asitle işleme sokularak yapılır ve nitroselüloz adını alır.

1847'de İtalyan kimyacı Ascanio Sobrero, gliserini derişik nitrik asit ve sülfürik asidin içine yavaş yavaş damlatarak nitrogliserin'i bulmuştur. Patladığı zaman kendi hacminin 12 bin katı kadar gaz çıkaran nitrogliserin son derece güçlü bir patlayıcıdır ama taşınırken küçük bir sarsıntıda kolayca patladığı için kullanılması son derece tehlikelidir.

1866'da İsveçli kimyacı Alfred Nobel nitrogliserinin diyatomit (kizelgur) adı verilen kumlu bir toprakla karıştırıldığında peynirimsi katı bir maddeye dönüştüğünü ve bu durumdayken güçlü bir patlayıcı olduğu halde güvenli bir biçimde taşınabildiğini bir rastlantı sonucu bulmuş ve bu maddeye dinamit adını vermiştir.

1863 yılında ise Alman kimyageri J.Wilbrand tarafından TNT (trinitro toluen) bulunmuş ve birinci dünya savaşından kısa bir süre önce silah cephanelerinde kullanılan nitrik asidin yerini almıştır [3].

Patlayıcılar genellikle ikiye ayrılır. Bunlar, patlama etkisi düşük itici patlayıcılar ve patlama etkisi yüksek güçlü patlayıcılardır. Günümüzde kullanılan dumansız barut gibi itici patlayıcılar, nitrogliserinle nitroselülozun karıştırılmasıyla elde edilir. Her türlü ateşli silah fişğinde bulunan ve bazı uçak motorları ile dizel motorlarında ilk hareketi vermek için kullanılan bu patlayıcılar güdümlü silah ve roketlerin hareketini sağlayan itici gücü elde etmek için de kullanılır [4].

## **2.2 Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması**

### **2.2.1 Hızlarına Göre**

#### **2.2.1.1Düşük Hızlı Patlayıcılar**

Bu tür patlayıcılar ses hızından daha düşük hızda patlayıcı madde boyunca ilerleyen bozunma oranını sağlayan bileşiklerdir. Bu bozunma yüksek patlayıcı şok dalgalarından patlayıcı madde boyunca çok daha yavaş yayılan bir alev tarafından üretilir. Normal şartlar altında düşük patlayıcılar saniyede 400 metre civarında bir oranda yanma meydana getirirler [2].

Patlamaya benzer bir etki üretmek ve çok hızlı olarak tutuşturmak düşük patlayıcılar için mümkündür ancak bu yüksek basınç ve sıcaklık altında meydana gelebilir. Düşük patlayıcılar genel olarak başlatıcı olarak kullanılırlar. Bu grup içerisindeki patlayıcılar havai ve işaret fişekleri gibi silah barutları ve ışık piroteknikleri olarak sınıflandırılırlar [2].

#### **2.2.1.2 Yüksek Hızlı Patlayıcılar**

Yüksek patlayıcılar süpersonik hızda patlayıcı madde boyunca ilerleyen şok oluşturan infilak edici patlayıcı maddelerdir. Yüksek patlayıcılar saniyede 3-9 kilometre arasında patlama genişlemesine sahip olurlar. Genel olarak madencilikte, yıkım işlemlerinde ve askeri uygulamalarda kullanılırlar. Yüksek patlayıcılar birincil patlayıcılar ve ikincil patlayıcılar olarak hassasiyetlerine bağlı olarak iki patlayıcı sınıfı içerisinde sınıflandırılırlar [2].

#### **2.2.2 Hassasiyetlerine Göre**

##### **2.2.2.1 Birincil Patlayıcılar**

Birincil patlayıcılar darbe, sürtünme, ısı, statik elektrik ve elektromanyetik ışınım gibi etkilere karşı olağanüstü hassas patlayıcılardır. Enerjinin nispi olarak küçük bir miktarı başlatıcı olarak yeterlidir.

Çok genel bir kural olarak, birincil patlayıcılar PETN'den çok daha hassas olan patlayıcılar olarak kabul edilir. Pratik ölçüm olarak birincil patlayıcılar yeteri kadar hassastırlar ve bir çekiç darbesi tarafından bile uyarılabilirler. Aynı zamanda PENT de genel olarak bu şekilde uyarılabilir.

Bu yüzden bu şekilde bir uyarılma genel bir söylemdir. Birincil patlayıcılar sık sık ateşleyicilerde ve ya daha az hassas olan ikincil patlayıcıların daha şiddetli şekilde patlamalarını sağlamak için kullanılırlar. Birincil patlayıcılar genel olarak patlayıcı kapsüllerde fiziksel şok iletimini taşımak/iletmek için kullanılabilir [2].

### **2.2.2.2 İkincil Patlayıcılar**

İkincil patlayıcılar birincil patlayıcılardan daha az hassastır ve uyarılmak için yeteri kadar fazla enerjiye ihtiyaç duyarlar. İkincil patlayıcıların var olan daha az hassasiyeti daha çeşitli uygulamalarda kullanılabilmesine olanak sağlar. Aynı şekilde saklama ve depolama açısından daha güvenlidirler. İkincil patlayıcılar ateşlenme zincirinde daha yüksek miktarlarda kullanılır ve genellikle küçük miktarda birincil patlayıcılar tarafından ateşlenebilirler. İkincil patlayıcılara örnek olarak TNT ve RDX gösterilebilir [2].

### **2.2.2.3 Üçüncül Patlayıcılar**

Plastik patlayıcı olarak da adlandırılan üçüncül patlayıcılar birincil patlayıcıların elverişli miktarı tarafından patlatılmadan darbeye karşı çok duyarsızdırlar. Genellikle bu tür patlayıcılar güvenlik için saklama ve madde maliyetlerini daha aza indirmek için kullanılabilirler. En fazla büyük çaptaki inşaat uygulamaları ve madencilikte kullanılır. ANFO( Amonyum Nitrat Fuel-Oil) üçüncül patlayıcılara örnek olarak verilebilir [2].

## **2.3 Patlayıcı Çeşitleri**

Uygulamada patlayıcı maddeler askeri ve sivil patlayıcılar olmak üzere ikiye ayrılır. Ancak aynı madde kimi zaman hem askeri, hem de sivil amaçla kullanılabilir. Bir patlayıcı madde, nitrogliserin gibi tanımlanmış tek bir bileşik yada kara barut gibi bir karışım olabilir. Patlayıcı maddeler yalnızca infilak nispet ve hızlarında (saniyede metre olarak) değil, aynı zamanda kesici, parçalayıcı ve çukur açıcı tesirlerine etki eden, yoğunluk ve enerji üretimi gibi diğer özellikleri itibariyle de farklılık gösterirler.

Kesici ve parçalayıcı etki ile ilgili çoğu askeri tahriplerde olduğu gibi kullanılan patlayıcı madde miktarı; TNT'nin kırıcılık ve parçalama etkisine bağlı olan nispi bir etkinlik faktörüyle düzenlenmiştir. Yüksek bir patlayıcı maddenin parçalama (kırıcılık) etkisi, o maddenin infilak hızıyla bağlantılıdır. Mesela saniyede 8040 m/s patlama hızı ile C4 bileşiminin patlama hızı 6900 m/s olan TNT ile nispi etkinlik faktörü 1,34 'dür.



Genel olarak;

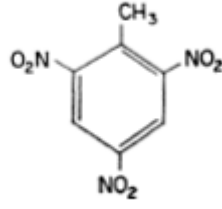
- Tahrip edici patlayıcılar,
- Askeri patlayıcılar,
- Ateşlemeye yarayan patlayıcılar,
- Fırlatıcı yakıt olarak kullanılan patlayıcılar olarak sınıflandırılır.

Tahrip edici patlayıcılar; kömür ocaklarında, inşaatlarda ve tünel açmalarda kullanılır. Tahrip edici patlayıcıların en iyilerinden biri olan ve granüler bir madde olan dinamit temel olarak nitrogliserin (NG), Amonyum nitrat(AN), sodyum nitrat ve talaş tozunun silindir kutular içinde yerleştirilmesinden ibarettir. İstenilen güce göre kullanılan malzemelerin miktarları ve oranları değiştirilebilir. Amonyum nitrat (AN) ihtiva eden patlayıcılar ucuz ve emin olduklarından dolayı inşaatlarda ve yüzey maden ocaklarında kullanılır. Bir diğeri ise ANFO(Amonyum Nitrat Fuel Oil) dur. Bunlar %95 Amonyum nitrat %5 fuel-oil karışımından meydana gelirler.Kayalarda açılan deliklere akıtılarak kolayca yerleştirildiğinden dolayı taş ocaklarında kullanılır.

Askeri patlayıcılar; askeri maksatla yapılan patlayıcıların fiziksel ve kimyasal olarak uzun zaman sıcaklık değişimlerine, çevresel etkilere dayanabilmesi gerekmektedir. Ayrıca savaş zamanında sıkıntı çekilmemesi için bu patlayıcıların hammaddelerinin de bol olması gereklidir. Günümüzde askeri amaçla kullanılan patlayıcıların başında TNT gelmektedir.

Askeri patlayıcılardan olan pentolin (%50 PENT, %50 TNT) bazukalarda, Amotol (%50 Amonyum nitrat, %50 TNT) uçaktan atılan bombalarda, tritonal (%80 TNT, %20 Aluminyum) torpidolarda kullanılır. Fırlatıcı yakıt patlayıcıları ise; mermi ve roketleri hedefe ulaştırmak için kullanılırlar. Diğer patlayıcı tiplerinin aksine bu patlayıcılar infilak etmezler, bol miktarda gaz üretirler.

## 2.4 TNT (Tri Nitro Toluen)



Şekil 1.1 TNT'nin yapısı

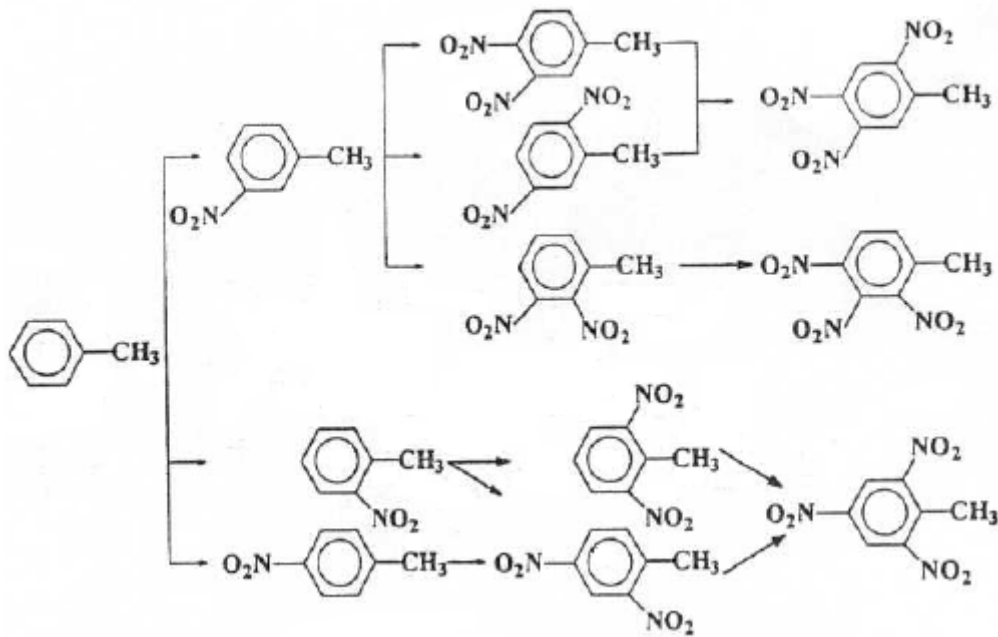
1902 civarında Alman'lar ve İngiliz'ler TNT(trinitrotoluen) üzerinde çalışmalar yapmış ancak ilk kez 1863 yılında Alman kimyager Wilbrand tarafından hazırlanmıştır. 2,4,6-trinitrotoluen'in hazırlanışının ilk detaylı çalışması 1870 yılında Beilstein ve Kuhlberh tarafından 2,4,5-trinitrotoluen izomeri keşfettikleri sırada gerçekleşti. Saf 2,4,6-trinitrotoluen 1880 yılında Hepp tarafından hazırlanmış ve yapısı 1883 yılında Claus ve Becker tarafından yayınlanmıştır.

TNT'nin üretimine 1891 yılında Almanya'da başlandı ve 1899 yılında alüminyum bir patlayıcı karışım üretmek için TNT ile karıştırılmıştır. 1902 yılında, TNT pikrik asidin yerini alarak Alman ordusu tarafından kullanılmaya başlanmıştır. 1912 yılında ise Amerikan ordusu tarafından TNT kullanılmaya başlanmıştır. 1914 yılına kadar TNT 1. Dünya savaşı boyunca tüm ordular tarafından standart patlayıcı olarak kullanılmıştır.

TNT'nin üretimi kömür katranından elde edilen toluen'in varlığına bağlı olarak sınırlı hale gelmiştir ve patlayıcı maddelerin doldurulması talebi karşılanamamıştır. Böylelikle TNT'yi daha az miktarda içeren ancak patlayıcı özelliklerini kaybetmeyen patlayıcı karışımlarına daha çok önem verilmiştir. Amatol olarak adlandırılan amonyum nitrat ve TNT karışımı olarak üretilen patlayıcı karışım TNT'nin eksikliğini gidermek için geniş çapta kullanılmıştır [5].

En çok kullanılan askeri patlayıcıların başında gelen madde olup, tek başına veya patlayıcı madde karışımlarında geniş şekilde kullanılmaktadır. Askeri yüksek infilaklı tahrip maddeleri sınıfına giren diğer patlayıcılara karşı, standart patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Genellikle el bombaları yapımında kullanılır.

TNT'nin başlangıç maddesi toluen'dir, özellikle doymamış alifatik hidrokarbonlardan arınmıştır. TNT birkaç basamakta nitrik ve sülfirik asit ile karıştırılmış toluenin nitrolanması sonucunda üretilir. Toluen ilk olarak mononitrotoluen daha sonrası için dinitrotoluen ve son olarak ham trinitrotoluene dönüşür. Bu üç nitrolama basamağı serbest SO<sub>3</sub> grupları ile yüksek asit karışım konsantrasyonuna ihtiyaç duyar. Toluen'den farklı düzenlenmelerdeki trinitrotoluen'lerin üretimi için özet aşağıdaki reaksiyon şemasında gösterilir [6].



Şekil 1.2 Toluen'den yola çıkarak farklı düzenlenmelerde TNT üretimi

TNT, toluenin kuvvetli nitrat asitleriyle karıştırıldığında meydana gelen oksidasyon yan reaksiyonlarını uzaklaştırmak için birkaç adımda nitrolanır. Geleneksel yöntem üç nitrolama basamağı ile yürütülür, geleneksel yönteme bir örnek olarak Fransa'da gerçekleştirilen nitrolama aşağıdaki tabloda verildiği şekildedir [7].

Çizelge 1.1 TNT'nin Fransa üretimi için nitrolama asitlerin kullanım oranları

	1. Basamak	2. Basamak	3. Basamak
Nitrik Asit wt. %	28	32	49
Sülfürik Asit wt. %	56	61	49
Su wt. %	16	7	2

İkinci Dünya savaşı süresince ve sonrasında sürekli nitrolama metodu (toluenin reaktöre girmesi ve oluşan ilk ürünün devam eden süreçte diğer reaktöre girerek işlemin devam etmesi ve sonucunda trinitrotoluen elde edilmesi sürekli süreç olarak adlandırılır) üç-basamaklı sürecin yerini almıştır. Bununla birlikte kimya mühendisliği büyük ölçüde farklılık gösterebilir ancak prensipte toluen bir defada sürece girer ve sonunda TNT üretimi gerçekleştirilir. Ters yöndeki nitrolayıcı asit akışı çeşitli istenildiği gibi kuvvetlendirilebilir. Nitrolayıcıda ki en önemli faktörlerden birisi karıştırma hızıdır. Özellikle daha sonraki basamaklarda nitrolamanın tamamlanabilmesi için karıştırma hızı büyük öneme sahiptir.

TNT nispeten düşük toksiteye sahip ve saklanması güvenlidir. Bu yüzden çeşitli metallerle hassas bileşikler veren amonyum pikrat ve pikrik aside ve yüksek toksiteye sahip hekzanitrofenilamin ve trinitrobenzen gibi patlayıcılara tercih edilir. TNT patlama sırasında karbonun yanması tamamlamak için yeterli oksijen içermez. Bu yüzden yararlı bir şekilde aşırı miktarda oksijene sahip amonyum nitrat ile karıştırılır [8].

Ham TNT yan reaksiyonlardan kaynaklanan nitrolanmış fenolik bileşikler ve TNT'nin çeşitli izomerlerini içerir. Saflaştırmanın genel metodu simetrik olmayan trinitro bileşiklerinin sülfonik asit türevlerine dönüştürülmesi ve pH 8-9 arasında %4'lük sodyum sülfid çözeltisi ile ham TNT'yi uzaklaştırmaktır. Bu ürünler daha sonra alkali bir çözeltiyle yıkama ile uzaklaştırılır. Saf TNT daha sonra sıcak su ile yıkanır ve pul pul ayrılır ve paketlenir. Simetrik olmayan trinitrotoluenler ve diğer ürünlerin eser miktarı TNT'nin erime noktasını düşürecektir. Aynı zamanda daha ileri dönemlerde TNT %62'lik nitrik asit ve ya organik çözücülerden yeniden kristallendirilebilir [9].

Saf TNT 230 °C'de yanar veya patlar. 6900 m/s infilak hızı ile yüksek infilaklı tahrip maddelerinden birisidir. Muhafaza kabından çıkartıldığı zaman parlak sarı renklidir fakat güneş ışığının etkisiyle yavaş yavaş açık kahverengine döner. Gevşek halde 5200 m/s, sıkışık halde 700 m/s hızındaki darbelere dayanıklıdır. İnfilaktan sonra oksijen yetersizliğinden dolayı siyah bir duman bırakır. Oksijen noksanlığını karşılamak amacıyla amonyum nitrat veya sodyum nitrat karıştırılır. Tek tüfek mermisi isabetiyle patlamasa da, makinalı tüfek ateşiyle patlayabilir. Her iklimde ve hava şartlarında bozulmadan uzun süre depo edilmeye elverişlidir.

Çizelge 1.2 TNT'nin özellikleri

Özellikler	Patlayıcı Madde
Renk	Soluk sarı kristal
Molekül ağırlığı	227.1
Erime sıcaklığı/ °C	80.8
Termal tutuşma sıcaklığı	300
Kristal yoğunluğu (20 °C'de)/ gcm <sup>-3</sup>	1.654
Oluşum enerjisi/ kJ kg <sup>-1</sup>	-184.8
Oluşum entalpisi/ kJ kg <sup>-1</sup>	-261.5

## 2.5 Duyarsızlaştırma

Duyarsız bir mühimmat bir hedefi yok etmek için planlanmış görevinden farklı olarak mühimmata bir mermi çarpması veya bir patlama sonrası ortama yayılan şarapnel parçaları gibi herhangi bir etki altında patlamayacak mühimmatlardır. Normal şartlar altında modern mühimmatlar etkili temel askeri yeterliliği sağlayan ve nispeten güvenli olan mühimmatlardır. Çok zor şartlar altında aynı zamanda çok iyi patlama performansı gösteren, tüm mühimmat sistemlerinde bulunan yüksek patlayıcılar, roket yakıtları, ısıya ve mekanik darbelere karşı duyarlı enerjetik maddelerdir. Böylelikle duyarsız mühimmatlar kurşun ve şarapnel parçalarının ve ya alevin neden olduğu olumsuz durumların en aza indirildiği patlayıcıdır. Bu yüzden dış etkiler önemlidir.

Körfez savaşında savaş araçlarında meydana gelen hasarların birçoğu kendi taşıdıkları mühimmat kapasitelerinde istenilmeyen şekilde meydana gelen patlamalar tarafından meydana gelmiştir. Enerjetik maddelerin büyük bir bölümü düşük riskli; şarapnel parçaları ve mermiler tarafından darbeye ve kendiliğinden ateşlenmeye daha az savunmasız patlayıcılar ve başlatıcılarıdır. Savaş başlıkları için olumsuz durumlarda daha iyi direnç gösterebilen, daha kararlı plastik patlayıcılar darbe ve ısıya çok hassas olan TNT gibi patlayıcıların yerlerini almaya başlamıştır. Günümüzde silah başlatıcıları için daha az hassas ve çok daha enerjetik tekli, çiftli ve üçlü karışımlar önceki uygulamaların yerini almaktadır. Bu yeni patlayıcılar ve silah başlatıcıları, plastikleştirici ve enerjetik bağlayıcılar içeren RDX ve HMX gibi enerjetik kristallerden meydana gelmektedir.

Olağanüstü sıcaklıklarda, füze ve ya benzeri duyarsız mühimmatlar yalnızca yanacaktır, patlama ve ya infilak gerçekleşmeyecektir. Bu güvenlik artışı ile duyarsız mühimmatlar daha küçük taşıtlarda taşınabilirken, saklanma ve taşınmaları için büyük miktarlara izin verilebilir. Aynı zamanda fiziksel etiklere maruz kalması durumunda kolayca patlayan duyarlı mühimmatların depolanma maliyetlerine oranla büyük kazanç elde edilir. Kazara alevlenme ve patlamaları azaltmak için Amerikan deniz, kara ve hava kuvvetleri PBXN-103, PBXN-109 gibi çok daha duyarlı patlayıcıları var olan duyarlı patlayıcılar ile yer değiştirmektedirler.

Güvenlik için Amerikan deniz, hava ve kara kuvvetleri var olan ana patlayıcı maddeleri 1 inç'ten daha büyük kritik çapa sahip duyarsız ana mühimmatlar ile değiştirmektedirler. Gelecek nesil sualtı ve torpido patlayıcıları 1 inç'ten daha büyük kritik çapa sahip olacaklardır. Bu tür duyarsız patlayıcılara örnek olarak; 3-4 inç arasından kritik çapa sahip PBXW-124( %27 NTO, %20 RDX, %20 Al, %20 amonyum perklorat, %13 bağlayıcı) ve 7 inç kritik çapa sahip PBXW-122 (%47 NTO, %5 RDX, %15 Al, % 20 amonyum perklorat, %13 bağlayıcı)'dir. Var olan itici patlayıcılar ve füzeler yeni duyarsız ana patlayıcıları tam olarak başlatmak için yeterli enerji verimine sahip değildirler. İtici patlayıcıların artan miktarı ise hassasiyeti ve kazara ateşlenmelerin oranını artıracaktır. Üstelik var olan füze ve itici patlayıcıların sayısı çok fazladır ve bu mühimmatların duyarsızlaştırılmaları çok yüksek maliyete neden olmaktadır.

## **2.6 Patlayıcı Özelliklerin Değerlendirilmesi**

Farklı laboratuvarlardan elde edilmiş patlayıcı duyarlılığına dair sonuçları doğrudan karşılaştırmak anlaşılabilir sonuçlar vermez. Değişik test düzenekleri ve metotları farklı sonuçlar verebilir. Aynı test görünüşte farklı prosedürlere göre gerçekleştirilebilir ancak farklı operatörler tarafından sonuçların yorumlanması subjektif bir yargılamaya neden olacaktır. Bununla beraber duyarlılık sonuçları referans patlayıcılar ile elde edilmiş sonuçlarla kıyaslandığında değerli bir kanıya varılmış olabilir. Birçok ülkenin askeri ve özel ortaklıklı kurum ve kuruluşu tarafından patlayıcı maddelerin duyarsızlaştırılması çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Duyarsızlaştırma için üç ana sınıflandırma bulunmaktadır:

1-Dökme-Termoset plastik bağı,

2-Preselemiş patlayıcılar,

3-Eritip dökme yöntemi.

Bu çalışmaların büyük bir bölümü Amerika Birleşik Devletleri hava kuvvetleri (USAF) tarafından gerçekleştirilmiştir, USAF tarafından yapılan çalışmalarda TNT ve NTO karışımları(bazı karışımlar alüminyum ve wax içermektedir) hazırlanmıştır, İsveç ve Norveç arasında da ortak çalışmalar yapılmış ve TNT'nin HMX içeren formülasyonları geliştirilmiştir.

### 2.6.1 Darbe Duyarlılığı

NTO'nun darbeye karşı duyarlılığının PETN, RDX ve HMX daha az olduğu evrensel olarak elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır (Çizelge 1.3). Öncü araştırmalar NTO'nun TNT'ye göre darbe hassasiyetinin daha fazla olduğunu göstermiştir [10, 11], ancak daha ileri çalışmalarda bunun tam tersi olduğu görülmüştür [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Çizelge 1.3: Bazı patlayıcı maddelerin çeşitli yöntemlerle hesaplanan darbe duyarlılığı sonuçları

Test	NTO	PETN	HMX	RDX	TNT	TATB
Julius Peter Apparatus CSI test (J) [26]	22	-	5	4.5	30	-
Rotter Impact (Figure of Insensitivity)* [4]	80-90	40	60	80	106-115	-
US Drop Impact Type 12 (cm) [4, 19]	>280	12	26	22	148	>320
US Impact Sensitivity H <sub>50</sub> (cm) [51, 52]	92	13-16	32	28	80	>177
30 kg Hammer: non reactive height (m) [26]	>4	0.5	0.5	1	>4	>4

\*RDX (80) referans alınmıştır.

### 2.6.2 Sürtünme Duyarlılığı

NTO'nun sürtünme duyarlılığının TATB'ye benzer; PETN, RDX, HMX ve TNT'den ise daha az olduğu gözlenmiştir (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4: Çeşitli patlayıcı maddelerin BAM\* yöntemi sürtünme duyarlılık testi sonuçları

	NTO	PETN	HMX	RDX	TNT	TATB
SNPE Data (N)	>353	125	175	133	~353	>353
South African Data (N)	>353	-	-	247	>353	-

\* BAM Sürtünme = Julius Peters, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) Yüksek Sürtünme Duyarlılık Ölçer

Graham et al. tarafından yapılan çalışmada amonyum perklorat (AP)'in eritilip kürleştirilen karışımlarda yüksek sürtünme duyarlılığı oluşturduğu görülmüştür [18]. Bu sorunu azaltmak için NTO dahil birçok katı yükseltgen madde denenmiştir. NTO'nun hem duyarlılığı geliştirdiği hem de bilgisayarlı hesaplamalarla tahmin edilebilen performansı geliştirdiği görülmüştür.

### 2.6.3 Elektrostatik Boşanım Duyarlılığı

NTO elektrostatik boşanım ile ateşlenmeye karşı RDX ve TNT'den daha az duyarlıdır (Çizelge 1.5).

Çizelge 1.5: Çeşitli patlayıcı maddelerin elektrostatik boşanım testi sonuçları

	NTO	RDX	TNT
SNPE (J) [45, 46]	> 0.726	-	-
Güney Afrika (J) [47, 48]	15	0.225	0.138
ABD (3 mil, J) [5,19]	0.91	0.22	-
ABD (10 mil, J) [5,19]	3.40	0.55	-



#### 2.6.4 Termal Duyarlılığı

Değişik araştırma grupları termal uyarana karşı ateşlenme duyarlılığını sabit değerdeki örnek kütleyi ısıttıktan sonra termal kaçağın belirlediği sıcaklığı kaydederek ölçmüşlerdir. NTO'nun RDX, HMX ve PETN'den ısıtmaya karşı daha az duyarlı olduğu ancak TATB'den daha duyarlı olduğu bulunmuştur (Çizelge 1.6).

Çizelge 1.6: Çeşitli patlayıcı maddelerin termal duyarlılık tutuşma testi sonuçları

	NTO	PETN	HMX	RDX	TNT	TATB
Tutuşma Sıcaklığı (SNPE) (°C) [26]	280	190	270	220	290	350
Tutuşma Sıcaklığı (MRL) (°C) [4]	258	149	-	216	240	-
Henkin Kritik Sıcaklığı (°C) [5, 19]	237	175	210	219.6	261	-

#### 2.7 Patlayıcı Performansı

##### 2.7.1 Patlama Hızı

Fransız araştırmacılar FORTRAN-BKW, Amerikalılar CHEETAH ve Çekler Kamlet Jacops yöntemiyle NTO'nun patlama hızını ölçmüşler ve birbiriyle uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir (Çizelge 1.7) [11].

Çizelge 1.7: Çeşitli patlayıcı maddelerin farklı araştırma grupları tarafından hesaplanmış patlama hızları

	NTO	HMX	RDX	PETN	TATB
Fransa (m/s)	8510	9100	8850	8500	8000
Çek (m/s)	8590	9130	8890	8930	-
Amerika (m/s)	8560	9300	8930	-	8100

Chapman ve arkadaşları iç çapı 4,1 cm olan sınırlandırılmış NTO kullanarak yoğunluğu %93.3' ten %97 TMD'ye getirirken patlama hızını da 8020 m/s 'den 8200 m/s'ye çıkarmıştır [19]. SNPE değişik yoğunluk ve çaptaki sıkıştırılmış ancak sınırlandırılmamış NTO (Class I ve IV) için patlama hızını araştırmışlardır [20].

En küçük partikül boyutlu olan (Class IV) sürekli olarak aynı yoğunluk ve çapta Class I'den daha yüksek patlama hızına sahip olduğu görülmüştür. Her bir sınıfın patlama hızı değeri yoğunlukla artmaktadır. Class I 15 mm'nin daha altında kararlı değildir. Becuwe ve Delcos ayrı bir çalışmada iç çapı 4 mm olan bakır patlatma kordonları içindeki NTO'nun patlama hızı değerleri ölçülmüştür [21]. Diğer çalışmalarla uyumlu olarak 1.69 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta 7400 m/s ve 1.71 g/cm<sup>3</sup> yoğunlukta 7700 m/s patlama hızı değerleri elde edilmiştir. Kullanılan çap NTO'nun kritik çapından daha düşüktür ve bu nedenle bakır tarafından ağır bir sınırlandırma olduğu kabul edilmiştir.

### 2.7.2 Patlama Basıncı

NTO'nun RDX ve Tetryl ile göreceli patlama basıncının tespiti Spear et al. Tarafından Plaka göçüğü testi uygulanarak gerçekleştirilmiştir [10]. Sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış NTO kullanıldığında 12,7 mm çapta Tetryl'in %85'i, RDX'in %76'sı, 15,9 mm çapta ise Tetryl'in %88,5'i kadar basınç açığa çıkmıştır. RDX ve Tetryl'den daha zayıf performansa sahip olduğu görülmesine rağmen daha yüksek çaplarda RDX'in performansına yaklaşmaktadır. Lee et al. tarafından patlama basıncı değişik yoğunluk ve çaplarda hesaplanmış ve ölçülmüş, RDX ve TATB ile yüksek çapta kıyaslamalar yapılmıştır (Çizelge 1.8) [12].

Çizelge 1.8: NTO, RDX ve TATB'in plaka göçüğü test sonuçlarından hesaplanmış patlama basınçları

Patlayıcı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çap (cm)	Ölçülen basınç (GPa)	Hesaplanan basınç (GPa)
NTO	1.93	-	-	34.9
	1.781	4.13	27.8	28.4
	1.853	4.13	26.0	31.6
	1.792	2.54	24.0	28.4
	1.855	2.54	Başarısız	31.6
	1.759	1.27	25.0	27.1
	1.824	1.27	Başarısız	-
RDX	1.767	4.12	33.8	34.8
TATB	1.87	4.12	27.7	31.3

**3.1 Nanoteknolojinin Tanımı ve Amaçları**

'Nano' sözcüğü Yunanca da cüce anlamında kullanılan "nanos" kelimesinden türetilmiştir. Nano sözcük olarak, bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir. Böylelikle bir nanometre ise metrenin bir milyarda birine eşit bir uzunluk birimidir. Bir nanometre içine yan yana ancak 2-3 atom dizilebilmektedir; yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesne oluşturulabilir [22].

Nano teknolojinin temeli, atom veya molekülleri tek tek hassas şekilde birleştirip, doğadaki atomik dizilimi taklit ederek istenen ürünü elde etme ve ya var olan büyük moleküllerden nano boyutlarda ürünlerin elde edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Çünkü maddeleri farklı kılan; en küçük birim olan atomların dizilişlerindeki çeşitliliğidir [23].

Malzemenin büyüklüğü nanometre ölçütlerine inince kuantum davranışlar bilinen klasik davranışların yerini almakta, fiziksel özellikleri kesikli bir değişim göstermeye başlamaktadır [24]. Yani belli bir hacim kaplayan bir madde bir veya birden fazla boyutta (uzunluk, genişlik veya kalınlık) nanometre ebatlarında veya bundan daha küçük parçacıklara bölündüğünde, taneciklerin her biri kendi başına en başta belli bir hacmi olan bu maddenin özelliklerinden çok farklı ve beklenmedik özelliklere sahip olmaktadır.

Kimyasal ve fiziksel özellikler, yapının büyüklüğüne ve atom yapısının ayrıntılarına, dışarıdan sisteme bağlanan yabancı bir atomun cinsine ve yerine göre çok farklı ve olağanüstü davranışlara sergilemekte. Bu yabancı atom bir geçiş elementi olduğunda bağlandığı bir nano yapıya manyetik özellikler kazandırabilmekte. Kısaca, bir nano

yapının fiziksel özellikleri, bağ yapısı ve dolayısı ile mukavemeti onun büyüklüğüne ve boyutuna bağlı olarak önemli değişimler gösterebilmekte. Örneğin, nano ölçekteki malzemelerin iletim özellikleri (momentum, enerji ve kütle) artık sürekli olarak değil ancak kesikli olarak tarif edilmektedir [25].

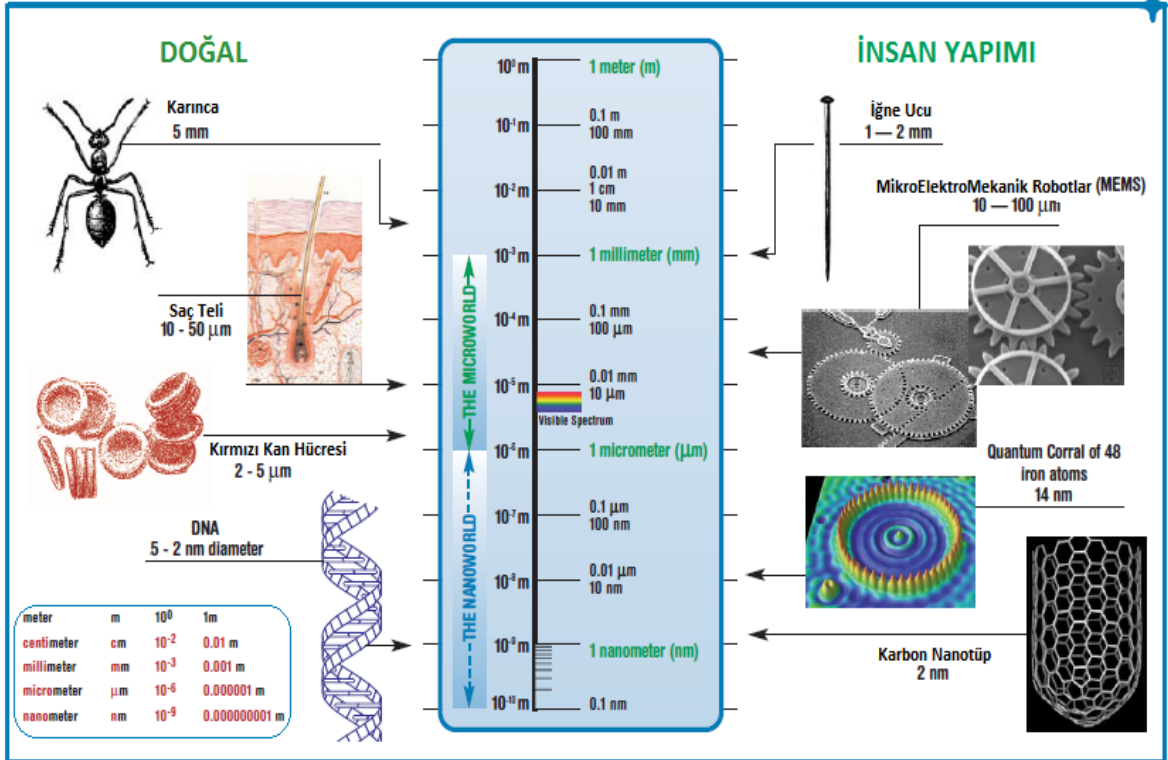
Benzer olarak, optik, elektronik, manyetik ve kimyasal davranışlar klasik değil kuantum olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, karbon atomlarından oluşan elmas kristali iyi bir yalıtkan olduğu halde, bir boyutlu karbon atom zinciri altın ve gümüş zincirlerinden bile daha iyi bir iletken olabilmektedir. Şimdi çok kısa bir tanım gerekirse; nano bilim, nanometre ölçütlerinde ortaya çıkan bu yeni davranışları kuantum kuramı yardımı ile anlamamızı sağlar; nano teknoloji ise ya yeni nano yapılar tasarlayıp sentezlemeyi, ya da nano yapılara yeni olağanüstü özellikler kazandırmayı ve bu özellikleri yeni işlevlerde kullanmayı amaçlar. Bir başka deyişle nano teknoloji bilinen molekülleri yeni atom ve moleküller ekleyerek işlevsel duruma sokar.

Bu şekilde sentezlenen yapılar çok aktif olabilir ve önemli kimyasal süreçlere aracılık edebilir, olağanüstü elektronik veya manyetik özellikler sergileyebilirler. Nano teknoloji bilinen bütün teknolojilere kıyasla çok daha fazla temel bilime ve kuramsal araştırmalara gereksinim duymaktadır. Örneğin, tarama tünelleme ve ya atomik kuvvet mikroskoplarını kullanarak yüzey üzerinde atomları iterek birbirlerinden ayırmak ve istenilen şekilde dizmek mümkündür.

Bütün bu gelişmeler, 19. yüzyılda dünyayı yeniden şekillendiren sanayi devrimine eşdeğer bir bilimsel ve teknolojik devrim başlatmıştır. Bu şekilde atom ve moleküller ile oynayarak tek molekülden oluşan transistör ve elektronik aygıtlar gerçekleştirilmiştir ve dünyada birçok araştırma grubunun aktif çalışmaları ile geliştirilmektedir. Bütün bu çalışmalar ve gelişmeler elektronik, kimya, fizik, malzeme bilimi, uzay ve hatta sağlık bilimlerini bir ortak arakesitte buluşturmuştur [24].

Çizelge 2.1 Bazı Nesnelerin Nanometrik Olarak Boyutları

Nesne	Tahmini Nano Boyut
Bir atomun boyutu	1 nm
DNA molekülünün boyutu	2 nm
Bilgisayarda ki bir telin boyutu	100 nm
Ultraviyole ışığın dalga boyu	300 nm
Bir toz parçacığının boyutu	800 nm
Bazı bakterilerin uzunluğu	1000 nm
Kırmızı kan hücresinin boyutu	10.00 nm
Saç telinin kalınlığı	75.000 – 100.000 nm



Şekil 2.1 Çeşitli doğal ve yapay maddelerin nanometrik boyutlarının gösterimi

Kütlesel malzemedeki daha büyük parçacıklarla karşılaştırıldığında, nanoparçacıklar tamamen yeni ya da gelişmiş, belirli özelliklere (boyut, dağılım, morfoloji, faz vs.) dayalı olan niteliklere sahiptirler. Nano teknoloji konusunda çalışma yapan uzmanlara göre, nanoparçacıkların en fazla gelecek vadeden yararlanılabilir özellikleri aşağıdaki gibidir:

### **Özgül Yüzey Alanı (m<sup>2</sup>/g)**

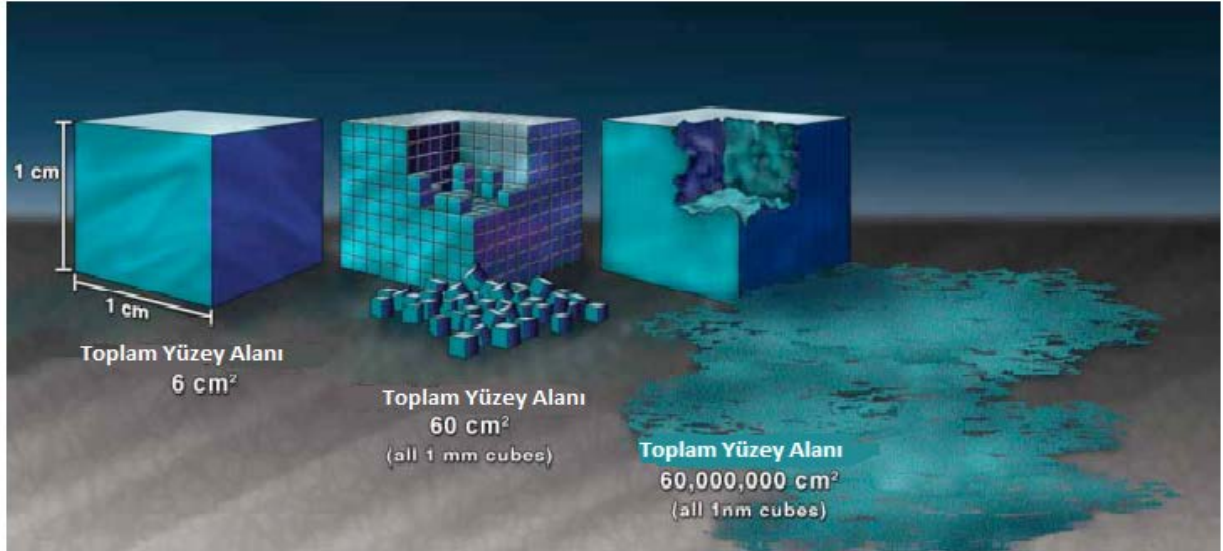
Nanoparçacıkların boyutları azaldıkça, yüzeylerinin hacimlerine olan oranı da artar. Özgül yüzey alanı, yüzey alanının stabilizasyonu, nanopartiküllerin topolojisi (pürüzsüzlük) ve destek malzemeyle ara yüzey gibi özelliklerle ilgili olduğu gibi, asıl olarak katalitik reaktivite ve diğer benzer özelliklerle (örn.sensörler) de ilgilidir. Buna verilebilecek en iyi örnekler, özellikle son teknoloji katalizörlerin aktivitesiyle karşılaştırma yapıldığında, büyük yüzey alanı ve büyük destek porozitenin, üstün katalitik aktiviteye neden olduğu soy metallere dayalı katalizörlerdir. Bu özellikten ayrıca metal oksit katalizörlerde de yararlanılmaktadır (örneğin otomotiv sektörü için seryum oksit katalizörleri).

Metal parçacıkların yüzey alanı arttıkça, belirli uygulamalardaki biyolojik aktiviteleri de yüzeydeki enerjinin artması sonucunda artabilir. Örneğin, gümüş nanoparçacıkları, anti-mikrobiyel uygulamalar için kullanılmaktadır. Ayrıca, özgül yüzey alanındaki artış, metal nanoparçacıklarının sinterleme sıcaklığını da düşürmektedir.

Polimer dolgusu olarak kullanımda, büyük yüzey alanı, güçlü polimer/dolgu etkileşimine neden olur ve daha düşük yüklemelerde daha verimli güçlendirmeye olanak sağlar. Bu da, gelişmiş malzeme performansı sağlar ve daha az malzeme kullanımına olanak tanıyarak maliyetin düşmesine yardımcı olur. Ancak nanoparçacık üretiminin maliyeti, az malzeme kullanarak sağlanan bu kârı dengeleyebilir.

Silikat nanoparçacıklarında, bunların tabaka halindeki yapılarına sahip olmaları ve polimerik malzemeye görece düşük miktarda silikat eklenmesine rağmen oldukça büyük özgül alan elde edilmesini sağlayabilmeleri, camlar için bariyer (düşük cam geçirgenliği) görevi gören fiziksel bir yapı oluşturabilir. Ayrıca, molekülün metale nüfuz etmesi için kat etmesi gereken ortalama yolu büyük miktarda uzatarak, düşük moleküler ağırlığı olan maddeler oluşturulmasına yarayabilirler.

Bu özellik, otomotiv yakıt sistemlerinde ve filmlerde, gıda ve kimyasal ambalajlama gibi çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Ayrıca, alev geciktirici uygulamalar için de uygundur. Nanoparçacıklar, nispeten küçük bir yüzey alanı için oldukça yüksek alev geciktiriciliğine sahiptirler, bu özellik de onları, halojene dayalı alev geciktiricilerin yerine geçmek için uygun adaylar haline getirir [26].



Şekil 2.2 Nano ölçekli maddeler tarafından sağlanan artan yüzey alanının gösterimi

### Manyetik Özellikler

Parçacık boyutunun nano-boyuta düşmesi, sıklıkla manyetik davranışta (kütlesel malzemedekilere göre) gelişmeye neden olur. Örneğin, nano-boyuttaki yapı taşlarından oluşan mükemmel yumuşak kıvamlı manyetik malzemeler (transformatörler, çeşitli sensörler vs. gibi uygulamalarda) bulunduğu gibi, sert manyetik malzemeler (değişken sıçrama mıknatısları) de bulunmaktadır. Yukarıdaki özelliklerden yararlanan iki ana uygulama, yüksek yoğunluklu medya depolanması ve medikal uygulamalardır.

Nanomalzemeler, bir matriste ya da sübstratta düzenli dağıtılmışlarsa, veri depolama malzemeleri olarak kullanılabilirler. Metal nanoparçacıklar, bio-yakıtlar için pazar malzemeleri (ferro akışkanlar) olarak kullanılabilirler. Tek başlarına metalik manyetik nanoparçacıklar (genellikle çekirdek/kabuk yapısında), süper-manyetik davranış sergileyebilir ve ilaç taşıyıcı sistemler (örneğin Ni ve Fe), hipertermi ve manyetik görüntüleme kontrast reaktifleri gibi çeşitli medikal uygulamalarda kullanılabilirler [26].

## Optik Özellikler

Soğurma ya da emilim dalga-boyu, boyut seçimiyle, ligandlar ve harici pertürbasyonla(küçük değişimler teorisidir. Bir çeşit yaklaşık hesap yöntemidir. En geniş uygulama alanı atom fiziği ve parçacık fiziğinde bulur. Atomların enerji seviyeleri kuantumlu bölge ve sürekli bölge olmak üzere iki biçimde ele alınır) kontrol edilebilir. Örneğin, nanoparçacık boyutu ışığın kritik dalga-boyundan daha küçükse, saydamlık elde edilebilir. Bu da nanomalzemeleri (örneğin metaller, silikatlar ya da metal oksit seramikler), saydamlık ve diğer özellikleri (UV, IR-soğurma, iletkenlik, mekaniksel güç vs.) birleştirerek, bariyer filmler ve kaplama uygulamaları için oldukça uygun hale getirmektedir. Ayrıca, ilginç optik (ışık soğurma/filtre etme) özellikler kozmetik uygulamalarda da kullanılabilir.

Metal nanoparçacıklar bir süredir, yüksek hassaslıktaki sensörlar ve biyolojik numunelerin gelişmiş imajlama mikroskopisi için kullanılmaktadırlar. Metal oksit seramik nanoparçacıkları, uygun yayıcılarla dop edilebilen, yüksek bant aralığına sahip malzemelerdir. Yayıcılarla dop edilmiş nadir toprak elementleri, matriksin optik özelliklerini dopantın optik özelliğiyle ayırtmak amacıyla araştırılmaktadır.

Bu perspektife göre, geniş aralık matrislerinin elde edilmesi, kovalent yarı iletkenlerin sağlayamadığı bir avantajdır. Optik uygulamalara verilebilecek diğer örnekler, dizin eşleme için kullanılan, çizilmeye dayanıklı, gelişmiş zirkonyum dioksit ( $ZrO_2$ ) ya da transparan, aşınmaya ve UV'ye dayanıklı kaplamalar olarak kullanılan seryum dioksit ( $CeO_2$ ) nanoparçacıklarıdır [26].

## Elektriksel Özellikler

Nanoparçacıkların tek tek özellikleri sayesinde taşımayı kontrol etmek mümkündür. Örneğin, kimyasal yapı ve boyut, iyonik potansiyeli (*IP*) ya da elektron ilgisini (*EA*) kontrol ederler. Kendiliğinden düzenlendiklerinde, iç parçacıklar yoluyla, ligandinin doğası ve uzunluk birleştirilerek ya da mekanik basınç uygulanarak daha da fazla kontrol sağlanabilir. Bu da, elektronik ve donanım mantığı uygulamaları için elverişlidir.

Metal nanoparçacıkları –metal olmayanların tersine-, daha ince bir tabakaya ve daha güvenilir bir elektriksel rotaya sahip olduklarından, tipik olarak daha fazla noktadan noktaya temas da sahiptirler. Bu özellikten, iletken gümüş mürekkebinde ve diğer



elektronik uygulamalarda yararlanılmaktadır. Metal oksit seramik nanoparçacıklar, elektromanyetik dalgalara karşı özel tepki gösteren, özel aygıtlar elde etmek amacıyla kullanılabilir.

Yüzeyin işlenmesiyle beraber, bu parçacıkların sahip olduğu oldukça yüksek yüzey alanı, yalıtım sistemlerinde alan ayrıştırma özellikleri ve kırılma gücü gibi performans özelliklerini çarpıcı bir biçimde geliştirebilir. Bu nanoparçacıklar sayesinde, elektronik gereçler için yeni ambalaj malzemeler üretilebilir [26].

### **Termal Özellikler**

Homojen olarak yayıldıklarında, polimer sistemlere yönelik metal nanoparçacıkların termal özelliklerinde belirgin bir geliştirme sağlanarak, işleme süresi kısaltılabilir. Sinterleme ve erime sıcaklığı, azalan nanoparçacık boyutuyla küçülür. Örneğin, 100 nm'den küçük olan gümüş nanoparçacıkların sinterleme sıcaklığı 150 °C kadar düşük olabilir. Bazı uygulamalar için yüksek termal iletkenlik gereklidir. Küçük parçacıklar temel matrikse daha verimli eklenebilir (matris kuvveti azaltılmadan) ve daha iyi termal iletkenlik sağlayabilirler.

Tabakalar halindeki silikatların, genellikle termoplastik bileşiklerin ısı deformasyon sıcaklığını (belirli boyutlardaki bir cismin, belirlenmiş bir yük altında deforme olmaya başladığı sıcaklık) geliştirdikleri iyi bilinmektedir. Bu özellik, düşük maliyetli termoplastiklerin, şimdiye kadar çok daha pahalı olan kopolimerlerin kullanıldığı alanlarda uygulanmalarını yaygınlaştırabilir.

Örneğin, ucuz polipropilen bileşikler, araba motor kapağı altı uygulamaları için, daha pahalı olan poliamidlerin yerine geçebilir. Termal istikrarın (oksidatif istikrar) modifiye edilip edilemeyeceği tartışmalıdır. Zira yüksek oranda hızlandırılmış olan testlerin, matriste oluşan ayrışım ürünlerine silikatlar tarafından sağlanan bariyer etkisinden yararlanabildiği ve böylece de dengenin ayrışımından uzaklaştırıldığı açıktır. Ancak gerçekte silikatlar, çoğu durumda ayrışımı destekliyor görünmektedir [26].

## Kimyasal Özellikler

Reaktivite kataliz ve ilgili uygulamalar (sensörler vs.) için en önemli özellik olarak kabul edilebilir. Reaktivite ve katalitik aktivitenin birleştirilmesiyle, yakıtlar (ve yakıt katkı maddeleri), yakıt pilleri ve patlayıcılar gibi bazı mühim uygulama alanları için kritiktir.

Kataliz, büyük yüzey alan/hacim oranı ve olası homojen nanoparçacık dağılımıyla gelişmektedir. Bu da, genellikle kullanılmakta olan platin grubu değerli metallerin (yakıt pilleri ve katalitik dönüştürücülerde fazlasıyla kullanılmaktadırlar) ihtiyaç duyulan miktarlarının azaltılmasında yardımcı olur ve yalnızca nanoparçacık halindeyken etkili katalizör olabilen altının ve bunun gibi daha az kullanılan diğer metallerin de kullanımının önünü açar.

Metal nanoparçacıkları biosit uygulamalarında kullanılabilirler. Daha önce de sözü edildiği gibi, kararlı haldeki gümüş nanoparçacıkları, su bazlı biosit polimerik kaplamalar için uygun bir formda üretilebilirler. Ayrıca, banyo demirbaşlarına yönelik anti bakteriyel seramiklere ve sargı bezlerine de eklenmektedirler. Kaplamaların koruyucu özelliklerinde artış, ayrıca metal nanoparçacıklar (örneğin Zn, Pb ve Mn) eklenerek de elde edilebilir. Metal parçacıkları, nispeten kolaylıkla işlevselleştirilebilirler; bu da kendiliğinden düzenlenmeyi (organize olmuş malzemeler) başlatmak için ya da substratlara bağlanmak için (örneğin biyolojik sensörler) kullanılabilir.

Polimer kompozitleri, kompleks oksit nano parçacıklarla doplamak, bu kompozitlerin yararlı özelliklerini güçlü bir ortama maruz bırakma esnasında dramatik bir şekilde iyileştirir. Yine (metallerde olduğu gibi), metal oksitlerin kimyasal, özellikle de katalitik özellikleri, en ilginç potansiyeli oluşturmaktadır. Foto katalitik kendi kendini temizleyen camlarda, geçirgenlik sıklıkla zorunlu olan bir unsurdur (hatta koruyucu güneş kremlerinde olduğu gibi, kendi başına anahtar bir özellik de olabilir).

Nadir toprak oksitler, havadaki neme ve başka kirleticilere karşı hassastırlar. Bu nedenle de kimyasal reaktivite, yüzey özelliklerini – özellikle de yüzeydeki dopantların ışığı soğurması- önemli miktarda etkileyebilir. Ayrıca, büyük yüzey/hacim oranı bu etkiyi daha da artırır ve nanometre ölçekten yararlanmayı kritik hale getirir [26].

## **Mekanik Özellikler**

Kompozitlerde, nanoparçacığın kimyasına, en boy oranına, dağılma ve polimer matrisiyle fazlar arası etkileşimlere (yüzey kaplamayla ve polimer formülasyonuna eklenen uyumlulaştırıcı maddelerle düzenlenen) bağlı olarak, nihai kompozitlerin mekanik özelliklerinde farklı güçlendirme oranları elde etmek mümkündür.

Metal oksit seramik nanoparçacıkları, özel aşımelerde mekanik gücü artırabilir ve bu da ayrıca daha düşük ağırlıktaki malzemelerin elde edilmesine neden olur. Metal oksidin kimyasına bağlı olarak, morfolojisinde, matris materyalle arasındaki fazlar-arası etkileşimlerde, son kompozitin mekanik özelliklerinde farklı etkiler elde edilebilir (örneğin yüksek ya düşük oranda katılık, güç, sertlik vs.). Bu nispeten düşük parçacık hacim oranlarında elde edilebilir.

Silikat nanoparçacıkları, kompozitlerdeki mekanik gücü geliştirmek için kullanılırlar ve böylece daha-düşük ağırlıklı ancak bunun yanında da hala güçlü olan malzemeler elde etmeye olanak tanırırlar. Silikatların mekanik özellikleri, daha büyük parçacıkların başaramayacağı biçimde artırdığı kanıtlanmıştır. Özellikle, güçlendirici parçacıklar kullanıldığında gerçekleşen etki gücündeki orantılı düşüşe neden olmadan büyük elastik modülü elde edilebilir.

Sonuç olarak bu, düşük-maliyetli termoplastiklerin, şimdiye kadar yalnızca çok daha pahalı olan polimerlerin kullanıldığı alanlardaki kullanımını genişletebilir. Böylece, tabakalı silikatlardan oluşan nanokompozitler, saf polimerlere göre daha gelişmiş mekanik özelliklere sahip olabilirler (örneğin, modül, çekme direnci ve su dayanıklılığı) ve bu özellikler paketleme ya da enjeksiyon kalıplama parçaları için önemli olabilirler.

Metal nanoparçacıkları da, meta-seramik nano kompozitlerinde mekanik güçlendirme (geliştirilmiş sertlik) olarak kullanılabilirler. Oksit olmayan seramik nanoparçacıkları da daha gelişmiş modül, kırılma sertliği ve tabakalar arası güce neden olur.

Tüm bunlara rağmen, bazı uzmanların görüşlerine göre, belirli nanoparçacık-bazı kompozitler kısa süreli bir "altın çağ" yaşayacaklar ve ardından da yerlerini nanotüp kompozitlere bırakacaklardır. Şu konuda şüphe yoktur ki, mekanik özellikler söz konusu olduğunda, hâlihazırda birçok araştırma grubu tarafından da gösterilmiş olduğu gibi, nanotüpler bu alana çok önemli bir katkı sağlamak üzere hazırlanmaktadır [26].

### 3.2 Nanoteknolojinin Gelişim Basamakları

Nanoteknolojinin ortaya çıkışından günümüze kadar geçen süreçte tarihsel gelişimi aşağıda verilmiştir [27].

**1. Nesil (2000 yılına kadarki süreç):** Pasif nano yapılarıdır. Nano yapıları kaplamalar, nano parçacıklar, nano parçacıkların dispersiyonu, metal, polimer, seramikten yapılmış nano yapılar 1. nesil ürünlere örnek olarak verilebilir [23, 28].

**2. Nesil (2005 yılına kadarki süreç):** Aktif nano yapılarıdır. Transistörler, biyolojik ve biyolojik olmayan sensörler, hedefe giden ilaç ve kimyasallar 2. nesil ürünlere örnek verilebilir [23, 28].

**3. Nesil (2010 yılına kadarki süreç):** Nano boyutta ve çoklu ölçülü yapılarda ağ kuran, birçok sentez yöntemi kullanan üç boyutlu nano sistemlerdir [28].

**4. Nesil (2015 yılına kadarki süreç):** Nano sistemdeki her molekülün özel bir yapıya sahip olduğu ve farklı rol oynadıkları heterojen moleküler nano sistemlerdir [28].

Bilim dünyası genel olarak, nano-ölçeğin öneminin ilk kabul edilmesini, Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman'ın 29 Aralık 1959'da, Amerikan Fizik Topluluğu'nun Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde (Caltech) gerçekleştirilen yıllık toplantısında verdiği konuşmaya dayandırır. "Küçük boyutlarda yapılabilecek çok şey var" başlıklı tarihsel konuşmasında Feynman, ilk kez malzemelerin ve aygıtların nanometre aralığındaki özelliklerinin, gelecekte fırsatlara olanak tanıyacağını ve başka birçok şeyle birlikte, örneğin Brittanica Ansiklopedisi'nin 24 cildinin tamamını bir kalem ucuna yazıp sığdırılabileceğini ileri sürmüştür.

Feynman ayrıca, atomları ve molekülleri manipüle etme yeteneğini elde etmek için tekrarlamalı minyatürcülükten geçmeyi önerdi. Bu, onda-bir ölçekte olan bir makine araçları setini geliştirerek, daha sonra bunları, yüzde-bir ölçekte olan sonraki kuşak makine gereçlerini geliştirmek ve çalıştırmak için kullanarak, bu şekilde devam ederek de nihayet atomların ve moleküllerin dahi manipüle edilebileceği bir safhaya gelene kadar devam ederek gerçekleşecekti. Özetle, bu tarihi konuşmasında Feynman, "Vurgulamak istediğim şey, bir şeyleri küçük ölçekte manipüle etmek ve kontrol etmektir" demiştir [29, 30].

Dr. Richard Feynman, geleceğin bilim insanlarının ve mühendislerin atom ve moleküllerden karmaşık yapılar inşa edebileceklerini tahmin etmiştir. Ancak, “nanoteknoloji” terimi 1974 yılına kadar, Norio Taniguchi adındaki bir Japon araştırmacının mikrometre ölçekteki mühendislikle, yeni ortaya çıkmakta olan ve üstün duyarlılıklı mekanik işleme ve alt mikro-metre aralığında yüksek kalitede malzemelerin işlenmesini içeren alan arasında ayırım yapmasına kadar tam olarak belirginleşmemiştir.

1980’li yıllarda peş peşe gelen Nobel Fizik Ödüllerine konu olan çeşitli bilimsel çalışmalar hem nanometre ölçeklerinde saklı yeni davranışları ortaya çıkarmış, hem de atomu görüp onu istediğimiz yere taşıyabilmemize olanak sağlamıştır.

1981 yılında IBM tarafından yeni bir mikroskop türü “Scanning Tunneling Microscope” taramalı tünel mikroskobu (STM) geliştirilmiş ve geliştirmede pay sahibi olan araştırmacılar (Gerd Binnig ve Heinrich Röhrer) bu buluşları ile 1986’da Nobel Fizik ödülünü almışlardır. Aynı zamanlarda STM mikroskobunun bir türevi olan “Atomic Force Microscope” (AFM), atomik kuvvet mikroskobu geliştirilmiştir.

Feynman’ın bahsetmiş olduğu taramalı tünel mikroskobu, atomik kuvvet mikroskobu, yakın alan mikroskobu vb. gibi cihazların 1980’lerde geliştirilmesi ve eşzamanlı olarak gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano ölçeğinde ölçüm ve modelleme yapılması da mümkün olmuştur [30].

1990’ların başında Rice Üniversitesinde Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacılar 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen futbol topu şeklindeki Buckyball adını verdikleri “fulleren” molekülleri geliştirmişlerdir. 1 nanometre büyüklüğünde ve çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen bu molekül yapısı ile 1996 yılında Nobel Kimya ödülünü almışlardır. 1991 yılında Japon NEC firması araştırmacılarından Sumio Iijima’nın, karbon nano tüpleri bulduğu belirtilmiştir. Karbon nano tüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş bir şekli olup, çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6’da 1’i kadardır.

90'lerde Feynman'ın fikirleri Eric Drexler tarafından yazılan "Engines of Creation" adlı kitapta geliştirilmiştir. Drexler'in fikirleri şüpheyle karşılanmasına karşın, 1992 yılında yayınlamış olduğu Nano sistemler: Moleküler Makineleşme, Üretim ve Hesaplama, "Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation" adlı kitabında genel kavram ve düşüncelerini detaylı analiz ve tasarımlar ile ayrıntılı olarak anlatmıştır [31].

1999 yılında ABD'de Bill Clinton hükümeti nanoteknoloji alanında yürütülen araştırma, geliştirme ve ticarileştirme faaliyetlerinin hızını artırma amacını taşıyan ilk resmi hükümet programını, Ulusal Nanoteknoloji Adımını (National Nanotechnology Initiative) başlatmıştır [32]. 2001 yılında Avrupa Birliği, Çerçeve Programına nanoteknoloji çalışmalarını öncelikli alan olarak dahil etmiştir. Japonya, Tayvan, Singapur, Çin, İsrail, İsviçre, Norveç, İrlanda ve Rusya benzer programlar başlatarak 21. Yüzyılın ilk küresel teknoloji yarışında önlere yer almak için çalışmalarına hız vermişlerdir [32].

Çizelge 2.2 Nanoteknoloji alanındaki yenilikler ve gelişmeler

YIL	Nanoteknoloji Alanındaki Yenilikler ve Gelişmeler
1959	Rirchard Feyman'ın "Aşağıda Daha Çok Yer Var" adlı konuşmasında nano teknolojiye ait olaylara değinmesi, nano teknolojinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir.
1974	Nano teknoloji terimini ilk kez Noria Taniguchi kullanmıştır.
1981	Gerd Brinning ve Gerhard Rohrer Taramalı Tünel Mikroskopunu (STM) üretmişlerdir.
1986	İlk nano teknoloji kitabı, Eric Drexler tarafından yazılmıştır.
1991	Atomik Kuvvet Mikroskopu icat edilmiştir.
1996	NASA, nano teknoloji üzerinde çalışmaya başlamıştır.
1997	İlk nano teknoloji şirketi Zynex kurulmuştur.
2004	Nano mekanik sistemler için ilk merkez kurulmuştur.

### 3.3 Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

Nano teknoloji uygulamaları denilince akla hemen pahalı ve yüksek teknoloji gerektiren ultra-yüksek vakum cihazları, yüksek sıcaklıklar veya nanometre boyutlarında biriktirme yapabilen aygıtlar geliyor. Oysaki doğadaki örnekler bakıldığında birçok tepkime ve malzemenin üretimi oda sıcaklığında, normal şartlar altında ve sulu ortamlarda gerçekleşmektedir. "Lotus Yaprağı" veya "Köpekbalığı Derisi" örneklerinde olduğu gibi doğadaki canlılar yüzey özelliklerini mütevazı koşullarda kolayca ve hızlıca kontrol edebilmektedirler.

Nanometre ölçeklerinde malzemelerin sahip oldukları üstün fiziksel özellikleri kullanarak çeşitli alanlarda (bilişim ve iletişim, elektronik, biyoteknoloji, farmakoloji, tıp, savunma, tekstil, makine ve inşaat sanayileri vb. gibi) teknolojik devrim niteliğinde yeni ürünler elde edilebilmektedir. Teknolojide pazar beklentileri birbirinden farklılıklar göstermektedir:

- Artan iletişim olanakları çok küçük, fakat yüksek kapasiteli ve "cüzdan" gibi taşınabilir bilgisayarların kişilerin kullanımına sunulmasına olanak hazırlamaktadır.
- Yerel gen ve ilaç tedavileri, bazı organların ve kemiklerin tamiri, protein motorları gibi biyo teknolojik uygulamalar olağanüstü özellikler gösteren nano-yapılara talep doğurmuştur.
- Savunma sanayinde, biyolojik, kimyasal ve nükleer silahlara karşı mikrosensörler, süper dayanıklı malzemeler, kompozit kumaşlar.
- Kuantum kriptoloji, kuantum bilgi işleme.
- Hava tahmini, yaygın ekonomik modellemeler, stratejik ve savunma planları, araba çarpışma testleri gibi çok parametrelili ve çok karmaşık problemlerin hassas çözümleri süper bilgisayarların kullanımını gerektirmektedir. Aygıtların küçülerek yüksek operasyon hızlarına erişebileceği beklenmektedir.

## **Bilişim ve İletişim**

Modern bilişim toplumu, daha büyük aktarma ve işleme hızları, daha yüksek depolama yoğunlukları olan taşınabilir, güçlü ve sağlam bilgi işleme araçları ve esnek, entegre edilebilir ekranlar için gittikçe artmakta olan talebi tetiklemektedir.

İlerisi için, kablosuz teknolojiden yararlanan ve geniş bir bant ağına bağlı olan ucuz, güçlü ve portatif hesaplama aygıtlarının tüm insanların kullanımına açık olacağı, her yerde hazır bulunacak bir bilgisayar vizyonu tarif edilebilir. Nanoteknoloji geleceğin bilişim ve iletişim teknolojileri için anahtar olacaktır. Bazı ilgili bileşenler ve uygulamalar aşağıda özetlenerek verilmiştir [33].

## **Veri İşleme ve Depolama**

Nanoteknoloji, ultra yüksek entegre mantık üretimi, olağanüstü yüksek depolama yoğunluklu, minyatürleştirilmiş yığınsal bellekler ve bilgisayarlara yönelik yeni, kalıcı, yüksek performansla çalışan hafızalar için potansiyel oluşturmaktadır. Pazara girmeleri beklenen oldukça fazla sayıda nanoteknolojik veri hafızası fikirleri mevcuttur. Burada bahsedecek olursak, bunlardan biri de verilerin kalıcı olması (veriler, güç kesilmesi durumunda da korunur ve böylece bilgisayarlardaki önyükleme işlemi gereksiz hale gelir), düşük enerji tüketimi gibi özel karakteristikleri olması nedeniyle, DRAM hafızaların yerine geçmesi beklenen ve manyetik etkilere dayanıklı olan MRAM'lardır.

IBM hâlihazırda, taramalı uç teknolojisine dayalı nano ölçekli/yazma/silme uçları dizine sahip bir mikro mekanik aygıt olan ve "Millipede" de denilen atomik kuvvet mikroskopuna dayalı bir hafıza geliştirmektedir. Bu aygıtın, kalıcı, düşük güç ve büyük kapasiteli veri hafızası (yaklaşık 10 cm<sup>2</sup> başına 1 Tbit'e kadar; bu da günümüzdeki DVD teknolojisinden yüz kat iyidir) potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca, faz-değişimi malzemeleri, biyolojik moleküller ya da kuantum noktalarına dayalı veri hafızaları da geliştirme aşamasındadır [33].



## **Ekranlar**

Gelecekte, tam-renkli, tam-hareketli, enerji-verimli ve daha da fazla “çok-yönlü” olan ekranlara yönelik talep, cep telefonlarının, elektronik kitapların ve diğer elektronik aygıtların her yere yayılmasıyla artacaktır. Bu ekranlar düşük maliyetli olmalı, az miktarda güç tüketmeli, ince ve hafif olabilmelidir.

Bu tür esnek ekranlar, hem daha ekonomik üretim proseslerinin önünü açacaktır hem de gözlüklere, otomobil ön-camlarına ve diğer öğelere entegre edilmiş baş-üstü ekranlar gibi, geleceğe ait uygulamaları mümkün kılacaktır. Bazı nanoteknolojik düz-panel ekran teknolojileri, organik ışık-yayan diotlar (OLED) ya da karbon nanotüplere dayalı alan emisyonu ekranları (KNT-AEE) gibi büyük umutlar vaat etmektedir. Varolan teknolojik sorunlar çözüldüğü zaman, her iki ekran tipi için de büyük bir pazar potansiyeli öngörülmektedir [33].

## **Kimya**

Kimya endüstrisinde nanoyapılı malzemeler ve nanoteknolojik üretim prosesleri, bir süreden beri kullanılmaya başlanmıştır. Kimyasal nanoteknolojiye dayanan bazı ürünler halihazırda pazara girmişlerdir. Nanoparçacıklara dayalı güneş kremleri, kendi kendini temizleyen boyalar ve seramikler (“lotus etkisi”), biyoçiplerde işaretleyici nanoparçacıklar, araba lastiklerinde doldurucu nanoparçacıklar ya da katalizörler bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Temelde kimyasal nanoteknoloji ürünleri için geniş uygulama alanları mevcuttur, ancak ticarileşme için önemli olan, geleneksel malzemelerden daha iyi bir fiyat-performansı oranının örneklenerek gösterilebilmesi ve seri üretimde gerçek-dünya için uygunluk sağlanması gerekmektedir. Büyük miktarlarda ve rekabet edebilecek maliyetlerde üretilmedikleri takdirde, nanomalzemeler yaygın olarak kullanılamaz. Tablo 4.1’de, nanomalzemelerin değer zincirinin çeşitli aşamalarında varolan ve potansiyel uygulamaları sıralanmıştır.

Çizelge 2.3 Nanomalzemelerin değer zincirinin çeşitli aşamalarındaki varolan ve potansiyel uygulamaları

Temel Ürünler	Ara Ürünler	Uygulamalar
<b>İnorganik nanoparçacıklar</b> Metal oksitler, nanokiller, metaller, fullerenler, karbon siyahı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katalizörler</li> <li>• Membranlar ve filtreler</li> <li>• Pigmentler ve boyalar</li> <li>• Aşındırıcılar</li> </ul>	<b>Tıp</b> İlaç taşıma, biyoçipler, implantlar, antimikrobiyeller
<b>Organik nanoparçacıklar</b> Polimer dispersiyonları, ilaçlar, boyalar, makromoleküller (dendrimerler vs.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doldurucular</li> <li>• İlaç ve ilaç taşıyıcılar</li> <li>• Metal yapraklar</li> <li>• Tekstil fiberler</li> </ul>	<b>Kozmetik</b> Güneş kremleri, dudak boyaları, diş macunları
<b>Nanogözenekli malzemeler</b> Aerojeller, zeolitler vs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İşaretleyiciler</li> <li>• Superiletkenler</li> </ul>	<b>Otomobil</b> Lastikler, yapım malzemeleri, katalizörler, ön camlar, yakıt pilleri
<b>Nanokompozitler</b> Seramikler, metaller/alaşımlar, polimerler, fonksiyonelleştirilmiş nanoparçacıklar, organik yarıiletkenler, ferroakışkanlar vs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz depolama</li> <li>• Paketleme</li> <li>• Kaplayıcılar</li> <li>• Termoelektrik</li> <li>• İletken polimerler</li> <li>• Organik yarıiletkenler</li> </ul>	<b>Bilişim Teknolojisi</b> Veri depolama, ekranlar, lazer-diotlar, cam fiberler
		<b>Enerji</b> Güneş pilleri, bataryalar, yakıt pilleri, kapasitörler

Kaynak: Luther, W., 2004

Uzun vadede, kimyasal nanoteknolojinin geleneksel malzemeleri geliştirmenin de ötesine geçeceği beklenmektedir. Moleküler nanoteknolojinin görünür amaçlarından biri de, yapı-içi algılama ve davranma özellikleri, programlanabilir optik, termal ve mekanik nitelikler ve hatta kendi kendini iyileştirme gibi özellikleri olan “akıllı” malzemeler üretmektir.

Buradaki bir amaç da, sentetik ve biyolojik malzemelerin, yapıların ve sistemlerin birleştirilmesi ve teknolojik uygulamalar için biyolojik proseslerin taklit edilmesidir. Nanobiyoteknolojinin bu alanı henüz temel araştırma safhasındadır, ancak gelecek için en fazla ümit vadeden araştırma alanlarından biri olarak görülmektedir [33, 34].

## Otomotiv

Otomotiv endüstrisinin belirli özellikleri, bu pazarı nanoteknolojinin girişi için bereketli bir market haline getirmektedir. Pazar oldukça büyüktür, nispeten kısa yenilik döngüleri bulunmaktadır. Yakıt ekonomisi ve güvenlik açısından pazara ve denetleyici baskılara tabidir ve ayrıca da tüketici baskılarına maruz kalan trendlerden büyük miktarda etkilenmektedir. Tüm bu faktörler yenilikçi teknolojilerin pazara girişini desteklemektedir.

Nanoteknolojik kabiliyet, gelecek otomotiv mühendisliğinde, bu endüstrinin uluslararası çapta rekabet edebilir kalması için gerekli olan çekirdek alanlarından biri olacaktır. Nanoteknolojik yenilik çabalarının otomotiv mühendisliğindeki kapsamı, somut geliştirme faaliyetleri sayesinde kullanımda olan elemanlardan, potansiyeli olan fakat gerçekleştirilmeleri uzun zaman alabilecek fikirlere kadar uzanmaktadır.

Bunlardan bazıları, özünde yeni fakat ürünün üzerinde geniş kapsamlı etkileri olan gelişmelerdir. İkincil etkiler birçok başka endüstri alanlarında da beklenmektedir. Nanoteknolojik gelişmeler, tüm otomotiv alt-sistemlerinde ve bileşenlerde rol oynayabilir. Örneklerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Araba lastiklerinde dolgu maddeleri olarak nanoparçacıklar (gerçekleştirilmiş, geliştirmeye devam ediliyor),
- Ekranlar ve aynalar için yansımayı engelleyici kaplamalar (gerçekleştirilmiş)
- Nanoparçacık-takviyeli polimerler ve metaller (geliştirilme aşamasında, kısmi olarak gerçekleştirilmiş)
- Gelişmiş yakıt pili teknolojisi ve hidrojen depolaması (araştırma aşamasında)
- Nanoelektronığe dayalı sensörler (örneğin manyetorestif sensörler) ve elektronik bileşenler (örneğin baş-üstü görüntü ekranları, yol bilgisayarı) (araştırma aşamasında)
- Yakıt pili katkı maddeleri olarak katalitik nanoparçacıklar (araştırma aşamasında)
- Aynalar ve ekranlar için buğulanmayı engelleyici kaplamalar olarak hidrofil yüzey kaplamaları (araştırma aşamasında)
- Ultra-hafif araba yapıları için karbon nanotüp kompozitler (uzun dönemli araştırma).

## Tıp ve Sağlık Bakımı

Sağlık hizmetleri büyük miktarda sosyal ve ekonomik faktörden etkilenmektedir. Dünyadaki sağlık hizmetleri pazarları, yıllık yüz milyar Avro'ya bedeldir ve ilaçlar bu miktarın büyük bir kısmını oluşturmaktadır (2002 yılında ABD'de yaklaşık olarak 400 milyar \$). Aşağıdaki örneklerin de gösterdiği gibi, nanoteknoloji halihazırda sağlık hizmetleri pazarında yer almaktadır [33, 35].

- Atomik kuvvet mikroskobu (AKM) teknolojisi, tanı ve ilaç keşfinde kullanım için daha küçük ve daha hassas mikrodiziler yaratmak için kullanılmaktadır. AKM ayrıca yüzeylerin nanoyapılandırılması ve örneğin bu yüzeylerin daha biyoyumlu hale getirilmesi için de kullanılabilir.
- Fullerenler, dendrimerler ve kuantum noktaları (benzersiz floresan özellikleri olan yarı-iletken malzeme kompleksleri) gibi nanoparçacıklar, görüntüleme (örneğin manyetik rezonans görüntüleme [MRI] ve ultrason), madde taşınması (örneğin modifiye edilmiş bir fulleren, klinik denemelerde anti-HIV maddesi olarak kullanılmaya başlanmaktadır) dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. İlaçları nanoparçacıklarla formüle etmek ayrıca çözünürlüklerini geliştirebilir (birçok ilaç, suda fazla çözünmemeleri nedeniyle pazarlanmamaktadır), mide asidi ve enzimlere dayanırlıklarını artırabilir (ince bağırsaktan daha fazla emilim sağlayabilir) ve olan kontrollü bir salınım (dakikalar ya da saatler içinde değil, günler boyunca) olarak tanıyabilir. Nanotüpler, hem “konteyner” hem de hücrelere “nano-enjeksiyon” gerçekleştirecek potansiyel sistemler olarak, madde taşınması için kullanılabilecek bir diğer mekanizmayı temsil etmektedirler.
- Hipertermi tedavisinde, manyetik parçacıklar biyolojik türlerle kaplanır ve kanserli alanlara enjekte edilir. Kaplayıcının moleküler yapısı, yalnızca kanser hücrelerinin parçacıkları soğurmalarına neden olur. Bundan sonra dış manyetik alan kullanılarak parçacıklar aktive edilir ve bu da kanserli hücrelerin ısınıp ölmelerine neden olur. Bu yöntem, gelecek birkaç on yıl için, en fazla ümit vaat eden kanser tedavi yöntemidir.

- Örneğin titanyum alaşımı nanokompozitleri ameliyat gereçleri ve implantların biyo uyumluluklarını ve uzun ömürlülüklerini geliştirmek için kullanılabilir.
- Nanoyapılı yüzeyler hücrel tutunmayı geliştirebilir (örneğin yüzeyleri nano ölçekli oluklarla oymak ya da AKM gibi aygıtlar kullanarak yüzeyleri hücrelere bağlanan moleküllerle donatmak) ve hücreleri, belirlenmiş yapılar oluşturmak üzere büyümeye yönlendirebilir.

Yapı iskeletleri olarak görev alacak biyo-parçalanabilir polimerler dâhil edilerek, bu yapılar 3-boyutlu dokular oluşturmak üzere toplanabilir. Nanoyapılandırma ayrıca, implantlar için anti-mikrobiyel kaplama sağlamak için de kullanılabilir.

- Tıbbi gereçleri ya da diğer parçaları sterilize etmek için nanomalzemelere dayalı olan antimikrobiyel malzemeler (örneğin polimer tüplere katılmış gümüş ya da titanyum dioksitle kaplanmış yüzeyler).

Orta vadede, yeni tıbbi tedaviler beklenmektedir, örneğin kan akışında, vücudun belirli bir bölgesine ilaç taşıyacak olan kendi kendini düzenleyebilen içleri boş küreler. Molekül-boyutundaki “konteynırlar” ya da “kafes bileşikler” (örneğin fullerenler ya da dendrimerler) de ilaç-taşıma ve hedefleme amaçları için önemli olacaktır.

Bunun yanında ek olarak manyetik parçacıklarla ya da antikorlarla birleştirme yoluyla dışardan kontrol dahi mümkün olacaktır. Günümüzde enjekte edilerek kullanılabilen insülin ve serum, nanomalzemelerin yardımıyla ağız yoluyla alınabilir hale gelebilir. Bu tür nanoölçekli ilaç taşıma sistemlerinin potansiyeli 2007 yılında 50 milyon \$ olarak tahmin edilmiştir [33, 36].

Uzun dönemde nanoteknolojiler, bireylerin DNA’larının hızlı bir şekilde sıralanmasını (nano-sıralama) sağlayabilir ve dolayısıyla bir hastalığa olan genetik yatkınlık, ilaç toleranssızlığı ve ilaç metabolizma hızlarının (tüm bunlar farmakogenomik alanı altında toplanmaktadır) tayin edilmesine yardımcı olabilir.

ilaç taşınması ya da görüntüleme uygulamaları için, tek tek vücuttaki hücreler moleküllerle hedeflenebilecektir. Çip-üstü laboratuvar aygıtlarında gelişmeler sonucunda, hastalardaki rahatsızlıklar daha hızlı teşhis edilebilecek ve aynı zamanda benzer aygıtlarla hastanın hayati belirtileri daha iyi gözlenebilecektir.

Zarar görmüş vücut parçaları, doku mühendisliğindeki (kliniklerdeki biyoreaktörlerde büyütülmüş olan fizyolojik dokular ve organlar) gelişmeler sayesinde değiştirilebilecek ve gelişmiş implantlar, hastaların görme ve işitme yetilerini yeniden kazanmalarını sağlayabilecektir. Daha da fazla hayal gibi görünen ve özellikle ABD'nin üzerinde durduğu bir yaklaşım, nanoteknolojiyi, geliştirilmiş insan-makine arayüzleri, yapay uzuvlar, elektronlarla nöro-bağlama vs. yoluyla insan performansını geliştirmek için kullanmaktır [33, 37]

### **Enerji ve Çevre**

Enerji araştırmaları gittikçe daha da fazla önem kazanmaktadır; özellikle geniş çaplı anahtar AB politikalarının (örneğin enerji tedarikinin çeşitlendirilmesi ve güvenlik, iklim değişikliği ve hava kirliliğiyle mücadele, enerji pazarının özgülleştirilmesi, sürdürülebilir gelişme, endüstriyel rekabet, bölgesel gelişme ve uyum vs.) ve desteklenmesi açısından önemlidir. Nanoteknoloji tüm enerji sektörü (üretim, depolama, dağıtım ve kullanım) için umut vaat eden potansiyellere sahiptir. Ayrıca dünyanın enerji kaynaklarından yararlanma yollarında değişiklik yapabilmemizi sağlama potansiyeline de sahiptir [33].

### **Enerji Üretimi**

Nanoteknoloji, en fazla yenilenebilir enerji kaynakları için umut vaat etmektedir. Diğer yandan, maddenin atomik ve moleküler seviyede tam kontrolü, plastik gibi ucuz bir sübstratın üzerine aktif bir malzemedan ince bir katman oluşturularak daha ucuza üretilebilecek olan ve dolayısıyla da maliyet etkinliği olan güneş PV (camdan çok daha ucuz ve çok daha hafiftir) gibi yenilenebilirler için bir gerekliliktir.

PV'lerde cam, maliyet açısından kısıtlayıcı olan faktördür ve bu nedenle de PV'ler alanında, camla önemli bir atılım gerçekleştirmek ya da maliyet etkinliği sağlamak gerçekte mümkün olmayacaktır. Örneğin, nanokatmanlar ya da nanoçubuklar içeren güneş pilleri üretmek, tekli-yapılı yüzeyleri daha verimli güneş emicileri (emilen

dalgaboyunda, kuantum dotlarıyla çeşitlilik sağlama) ve nano-porlu elektrotlar olarak kullanarak, güneşten dönüştürülen elektrik miktarında önemli bir artış sağlayabilir.

Bu malzemeler plastik elektroniklerle birleştirilerek yarıiletken polimer fotovoltailer geliştirilmekte ve bunlar da özellikle hafiflikleri ve esnek özellikleri nedeniyle avantajlıdır. Yakıt pilleri de, nanoyapılı elektrotlar ve elektrolitlerden ve bunların sayesinde elde edilen, nanometre kalınlığında büyütülmüş yüzeyleri olan ince filmlerden yarar sağlarlar [33].

### **Enerji Depolama**

Enerji depolaması için nanoteknoloji uygulamaları, bataryalar ve yakıt pilleri için nanoparçacıkların ve nanotüplerin kullanılmasını içerir. Nanoteknoloji, yeniden şarj edilebilir bataryaların performanslarının, özel olarak moleküler elektrokimyasal davranışlarının incelenmesiyle geliştirilmesi için kullanılmaktadır.

Nano boyuttaki lityum titanattan yararlanan yeni patentlenmiş olan lityum iyonu bataryaları, günümüzdeki geleneksel bataryalara göre 10–100 kat daha büyük şarj/yük boşaltma hızları sağlayabilir. Birkaç grup, Nanoyapılı malzemelerde hidrojen depolanması olanakları (yakıt pili teknolojisine uygulanabilecek olan karbon nanotüpler, nanokristalin magnezyum bileşikleri ya da organometalik bileşikler) üzerinde araştırma yapmaktadır [33].

### **Çevresel Faydalar**

Nano parçacıklar metalleri daha hafif, daha güçlü ve daha sert yapabilir, seramiklerin şekillenebilirliklerini ve yumuşaklık özelliklerini geliştirebilir. Bunun direkt bir sonucu, aynı malzemelerin enerji, yakıt ve malzeme kullanımını azaltmasıdır. Mekanik sistemlerde, enerjinin çoğu yüzeyler arasındaki sürtünmenin üstesinden gelmek için gereklidir. Nanometre ölçekte nano ölçekli lubrikantların ve yüksek ince yüzey mühendisliğinin kullanımı, enerji ihtiyacını büyük ölçüde azaltacaktır. Ürünlerin malzeme miktarını düşürmek, sürdürülebilirlik açısından anahtar bir husustur. Nanoteknolojideki trendler, temel olarak hammadde ve enerji kullanımını düşürerek, daha temiz endüstriyel üretim ve ürünler için katkıda bulunacaktır.

Biyoteknolojiyle beraber nanoteknoloji ve yeni malzemelerin araştırılması, geri dönüşüm ve üretim için daha az enerjiye ihtiyaç duyan ürünlerin geliştirilmesine yardımcı olabilir [33].

### **Gıda Sektörü**

Nanoteknolojinin gıda sektöründe de uygulamaları vardır. Birçok vitamin ve kartinoidler gibi bunların başlatıcıları olan maddeler suda çözünemezler. Ancak ustalıkla üretildiklerinde ve nanoparçacıklar olarak formüle edildiklerinde, bu maddeler soğuk suyla kolaylıkla karışabilir ve insan vücudundaki biyo yararlanımları da artar.

Birçok gazoz ve meyva suyu, alımlı bir renk de veren bu özel olarak formüle edilmiş olan katkı malzemelerini ihtiva etmektedir. Bu tip mikronize bileşenlerin dünyadaki pazar potansiyeli 1 milyar \$ olarak tahmin edilmiştir (Distler, D. 2002 ve Luther, W. 2004). Burada bahsedilebilecek başka yararlı buluş da, nanoparçacıklarla güçlendirilmiş, gıdanın taze ve daha uzun zaman korunmasına olanak tanıyan, düşük gaz geçirgenliği olan polimerlerdir. Ayrıca iç ve dış duvar kaplama teknolojileri de, PET şişelerin gaz yoğunluklarını geliştirmek amacıyla -örneğin plazma teknikleri uygulanarak- kullanılmaktadır.

Gelecekte ayrıca, biyo ve gaz sensörleri de gıda sektörü için önem kazanabilir. Bu sensörler, gıdanın tazeliğini gözlemek amacıyla paketleme malzemelerine entegre edilebilir. Gıdanın bozulması sensördeki renk değişimiyle gösterilebilir. Hâlihazırda birkaç kavram bu tür uygulamalara yönelik olarak geliştirilmiştir (örneğin silikon ya da polimer ince filmler) [33].

### **3.4 Nanoteknolojinin Türkiye'deki Durumu**

Sanayi devrimine büyük ölçüde uzak kalmış ve ya bu sürecin içerisine geç girmiş bir ülke olarak gelecekte kilit bir öneme sahip olacak nano teknoloji alanında bu nispeten başlangıç sürecinde yetkinlik kazanmak ve doğru adımları atmak Türkiye için hayati önem taşımaktadır. Bu bölümde öncelikle kamu kuruluşları tarafından gerçekleştirilen çalışmalar çerçevesinde Türkiye'deki mevcut durum özetlenecektir.



Daha sonra biri uluslar arası kuruluş (RAND) olmak üzere iki ayrı raporda belirtilen Türkiye'nin güçlü ve zayıf yanları özetlenecek ve nano teknoloji alanında geleceği şekillendirecek bir yol haritası ortaya konacaktır [24].

### 3.4.1 Yapılmakta Olan Çalışmalardan Özetler

#### **Vizyon 2023 Strateji Belgesi:**

Şu ana kadar Türkiye'de nanoteknoloji alanında atılan adımlar istenilen gelişmeyi sağlayacak seviyeye ulaşamamıştır. 1990'ların başında beri dünyada gelişmekte olan nanoteknoloji politikalarına Türkiye'nin büyük ölçüde seyirci kaldığı söylenebilir. Yine de 2000'li yılların başında itibaren çeşitli adımlar atılmaya başlanmıştır. Bunların en önemlilerinden biri ise ortaya koyduğu 2023 yılı Türkiye vizyonu çerçevesinde nanoteknolojiyi bu vizyona ulaşılmasında gerekli ve öncelikli teknolojik faaliyet alanlarından biri olarak tanımlayan "Vizyon 2023 Strateji Belgesi"dir [24].

Bu belge, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin yol ayrımına getirdiği Türkiye'yi geleceğin önemli teknolojilerinde egemenlik sağlayarak uluslararası toplumun önemli bir üyesi olmasını sağlayacak ve yarınlarını garantiye alacak teknoloji ve bilim politikaları için stratejik bir yol haritası ortaya koymaktadır. Nanoteknolojinin içinde bulunduğu "stratejik teknolojiler" bilgi ve iletişim teknolojileri, biyoteknoloji ve gen teknolojileri, mekatronik, üretim süreç ve teknolojileri, malzeme teknolojileri, enerji ve çevre teknolojileri, tasarım teknolojileridir.

"Vizyon 2023 Strateji Belgesi", nanoteknolojiyi "gelecek 10-15 yıl içinde yaratacağı büyük ve sürpriz ürünler ve yeni pazarlar ile insan yaşamını ve ekonomik faaliyetleri kökten değiştirme gücüne sahip" bir alan olarak tanımlamış ve bu amaçlar doğrultusunda bir nanoteknoloji yol haritası ortaya koymuştur. Bu amaçla özellikle nanofotonik, nanoelektronik, nanomanyetizma, nanomalzeme, nanokarakterizasyon, nanofabrikasyon, nano ölçekte kuantum bilgi işleme ve nanobiyoteknoloji öncelikli faaliyet alanları olarak ortaya konmuştur [24]. Bu yol haritası, Ar-Ge kaynaklarının oluşturulması, politika araç ve kurumlarının kurulması, gerekli insan gücünü yetiştirme ve bunun için gerekli kaynağın ayrılması, siyasi sahiplenme ve son olarak da toplumsal katmanlarda farkındalık yaratma amaçlarını taşımaktadır. Vizyon 2023 Strateji

Belgesine ek olarak Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı'nın katkısıyla Bilkent Üniversitesi tarafından sunulan ve 3 yıla yayılan bir projeye UNAM Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi kurulmuştur. Yaklaşık 9000 metrekare kapalı alanda 62 adet laboratuvarı bulunan 7 katlı yeni binasına 2007 sonunda taşınan merkez, "sanayi ürünlerimizin katma değerinin yükselip dış pazarda rekabet gücü kazanması için kamu, özel sektör ve diğer üniversitelerle birlikte nanoteknoloji geliştirmeyi ve bu yeni teknolojileri uygulamayı" hedeflemektedir [24].

Bu hedef doğrultusunda ve nanoteknolojide ki genel gelişmelere ve eğilimlere de paralel olarak nanobiyoteknoloji, nanomalzeme ve kimya, enerji ve hidrojen ekonomisi, yüzey kaplama, katalizör tasarımı gibi güncel konularda da çalışmalar yürütülmektedir. Ayrıca UNAM'daki araştırmalara paralel olarak yürütülen 'Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji' yüksek lisans ve doktora programı açılarak nanoteknoloji alanındaki uzman açığının da disiplinler arası bir yaklaşımla kapatılabilmesi için çalışmalar başlatılmıştır.

Bu iki gelişmenin dışında Türkiye'de birçok üniversitede nanoteknoloji alanında çalışma yapılmaktadır. Koç Üniversitesi bünyesinde bulunan Mikro-Nano Teknolojileri Araştırma Merkezi mikro mekanik araç üretimi, katı lazer materyaller ve ince organik maddeler üzerinde çalışmaktadır. Benzer bir şekilde Sabancı Üniversitesi'nde kimya, malzeme bilimi ve mühendisliği, elektronik, mekatronik ve biyoloji mühendisliklerinin ortak çalışmalarıyla nano büyüklükte karbon maddeler, jeller ve sensör teknolojisinde, seramik ve optik maddeler ile lineer olmaya optik polimerler üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı ve Ar-Ge Merkezi, Hacettepe Üniversitesi Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı Yüksek Lisans ve Doktora Programları, Üniversitesi İleri Teknolojiler Ar-Ge Merkez Laboratuvarları, Gebze Teknoloji Enstitüsü, MAM-Marmara Araştırma Merkezi ve İzmir Teknoloji Enstitüsü nanoteknoloji alanında çalışmalar yapılan önemli akademik merkezlerdir [24].

**RAND Corporation Ulusal Güvenlik Araştırma Bölümü (National Security Research Division):**

Biyoteknoloji, nanoteknoloji, malzeme teknolojileri ve bilgi teknolojileri gibi önümüzdeki yıllarda dünyada büyük ve önemli küresel etkisi öngörülen alanlara yönelik bir yayınladığı araştırma raporunda Türkiye'nin de dahil olduğu temsili 29 ülkenin bu teknolojilerin önemli uygulama alanlarında günümüzdeki konumları değerlendirilmiştir.

Dünyanın biyoteknoloji, nanoteknoloji, malzeme ve bilgi teknolojileri alanlarındaki gelişmelere bağlı olarak küresel teknolojik bir devrim sürecinde bulunduğu tespitinden yola çıkılarak hazırlanan bu raporda, 2020 yılına yönelik önemli toplumsal ve sosyal etkileri öngörülen ve bu 4 teknolojik alandaki gelişmelere bağlı olarak şekillenecek 16 teknoloji uygulama alanı belirlenmiştir.

Bu alanlara örnek olarak ucuz güneş enerjisi (cheap solar energy), kırsal kablosuz iletişim (rural wireless communications), giyilebilir bilgisayarlar (wearable computers), kuantum şifreleme (quantum cryptography), hibrid arabalar (hybrid vehicles), geliştirilmiş teşhis ve ameliyat yöntemleri (improved diagnostic and surgical methods) ve yeşil üretim (green manufacturing) verilebilir.

Rapor detaylı bir şekilde bu teknolojilerin teknik ve uygulama olarak 2020 yılında bir market değeri olarak ortaya koyulabilme potansiyelini, buna engelleri ve bunu kolaylaştıracak faktörleri ortaya koymuştur. Sonuç olarak 29 ülke teknoloji kapasiteleri, teknolojik alan uygulamalarına engeller ve teşvikler göz önünde bulundurularak belirlenen 16 alandaki uygulayabilme potansiyeline göre 4 ana grupta toplanmıştır.

İlk grup, Kuzey Amerika, Batı Avrupa, Avustralya ve Japonya-Kuzey Kore gibi Doğu Asya gelişmiş ekonomilerinden oluşan ve bu 16 uygulama alanından en az 14 tanesinde potansiyele sahip ülkeler olarak verilmiştir. Bu ülkeler genel olarak çok iyi derecede bilim&teknoloji kapasitesi ve teşviklerin çokluğu-bariyerlerin azlığı nitelikleri ile tanımlanmışlardır.

Asya'nın geri kalanı ve Doğu Avrupa ülkelerinden oluşan ikinci grup ise 10-12 uygulama potansiyeli, çok iyi derecede bilim ve teknoloji kapasitesi, yüksek sayıda teşvik ama aynı zamanda yine yüksek sayıda bariyer varlığı olan ülkeler olarak verilmiştir.

Latin Amerika ülkeleri, Güneydoğu Asya, Türkiye ve Güney Afrika'dan oluşan 6-9 uygulama alanı potansiyelli ülkeler üçüncü grubu oluşturmuştur. Bu grup çok iyi bilim ve teknoloji kapasitesi olmayan ve bariyer hem de teşvik sayısının az olduğu ülkeler olarak ortaya çıkmıştır.

Son grup ise Afrika'nın büyük bir bölümü, Orta Doğu, Karayip ve Pasifik Adalarından oluşan 1-5 teknoloji uygulama alanı potansiyelli ülkelerdir. Bu ülkeler genel olarak bilim ve teknoloji kapasitesi açısından zayıf ve bariyerlerin teşviklerden fazla olduğu ülkelerdir.

Türkiye bugüne kadar teknoloji tüketen bir ülke olmuştur ve teknoloji üretememenin cezasını teknoloji üreten ülkelere çok büyük miktarlarda para ödeyerek ve o ülkelere bağımlı hale gelerek ödemektedir.

Bu rapordan anlaşılacağı üzere Türkiye'nin gelecekte teknoloji alanında söz sahibi olabilmesi için, hızlı bir şekilde bilim ve teknoloji kapasitesini artırması, geleceğin kilit çalışma alanlarına vereceği teşvikleri hızlı bir şekilde ve akıllıca ortaya kayabilmesi ve teknolojik gelişmelerin önündeki engellerin kaldırılmasını sağlanmalıdır [24].

### **3.5 Sol-Jel Yöntemi ile Nano Malzeme Sentezi**

Sol-jel prosesi, düşük sıcaklıklarda ve çözelti ortamında kimyasal tepkime yoluyla anorganik yapıların sentezlenmesidir. Bu tepkimenin en önemli özelliği sıvı halden (çözelti veya kolloid çözelti) katı hale (iki veya çok fazlı jel) geçiş imkanı vermesidir. Sol-jel prosesinde, reaktif anorganik monomer veya oligomer oluşturacak herhangi bir başlangıç maddesi kullanılabilir. Sol-jel alanındaki çoğu çalışmada başlangıç maddeleri olarak  $M(OR)_n$  formundaki alkoksitler (M: metal, n: değerlik, R: alkil,  $C_xH_{2x-1}$ ) kullanılmaktadır. Alkoksitler uygun anorganik monomer kaynaklarıdır ve birçok organik çözücüde çözünürler [38]. Sol-jel prosesi ile malzeme alanında cam, seramik ve nano toz üretimi yapılabilmektedir. Sol-jel prosesiyle çok bileşenli camların hazırlanması 1950 yıllarına kadar uzar.

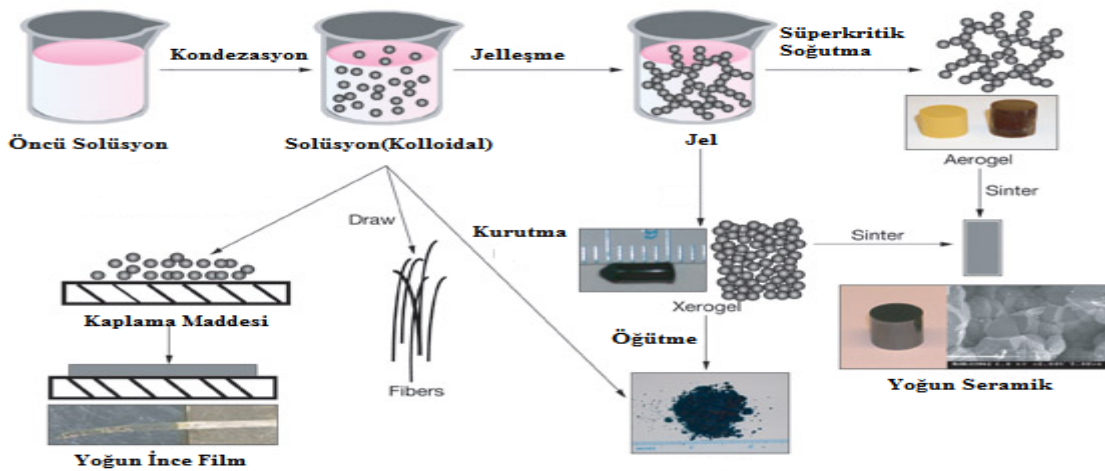
Çok bileşenli oksit cam karışımlarının hazırlanmasındaki temel amaç, tüm bileşenlerin çözünmüş öncü bileşenlerden oluştuğu bir çözelti halinde olması ve çözelti içerisindeki

karışımın moleküler seviyede olmasından dolayı homojen ürünlerin elde edilebilmesidir.

Sol-jel ile sentezlenen ürünler yüksek saflıktadır (optik). Karıştırma moleküler olduğu için homojendir. Isıl işlem sıcaklığı 1000 °C nin altında olur, ekonomiklik sağlar. Jelleşmede kurutmada por boyutları ve dağılımı kontrol edilebilir. Malzemelerin üzerine kaplama yapılarak malzemenin çizilme, sürtünme, aşınma gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri geliştirilir. Daldırma metodu ile kompozit malzeme üretilir. Yeni malzeme elde edilir (plastik-seramik).

Sol-jel prosesinin en geniş uygulama alanı kaplamalardır. Sol-jel prosesi ile tek veya çok bileşenli oksit kaplamalar elde edilebilir. Sol-jel prosesiyle elde edilen çeşitli kaplamalar arasında antireflektif (düşük yansıtmalı), reflektif (yansıtmalı), fotokromik (ışıkla etkisi ile renk değiştiren), elektrokromik (elektrik etkisiyle renk değiştiren), antistatik, fotokatalitik, hidrofobik ve oleofobik kaplamalar sayılabilir.

Fiziksel buhar biriktirme ve kimyasal buhar biriktirme gibi geleneksel kaplama tekniklerine göre sol-jel prosesinin başlıca avantajları, yüksek homojeniteye sahip kaplamaların elde edilebilmesi, büyük veya eğimli malzemelerin basit kaplama cihazları ile kaplanabilmesi ve düşük ısıl işlem sıcaklıklarının yeterli olmasıdır [39]. Sol-jel yönteminin dezavantajlarından birisi sentez hammadde fiyatlarının yüksek olmasıdır. Proses süresi uzundur; kullanılan organik hammaddeler sağlığa zararlıdır; sinterleşmede büzülme ile hatalar oluşması bu yöntemin dezavantajlarıdır.



Şekil 2.3 Sol-Jel süreci

---

**KARIŞIMLARIN HAZIRLANMASINDA KULLANILAN KİMYASALLAR VE  
KARAKTERİZASYONLARI****4.1 Kullanılan Kimyasallar**

NTO'nun sentezlenmesinde kullanılan semikarbazid hidroklorür Sigma-Aldrich firmasından; formik asit (% 98-100), sülfürik asit (%98) ve dumanlı nitrik asit (%100) Merck firmasında temin edilmiştir. Trinitrotoluen Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu tarafından üretilmiş olup karışımların hazırlanması için tarafımıza gönderilmiştir. Nano vanadyum pentaoksit partikülleri Yıldız Teknik üniversitesi anorganik kimya laboratuvarında sentezlenmiştir. Nano vanadyum pentaoksit sentezinde kullanılan 1,3-dimetoksiimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)amid (%98) Sigma-Aldrich firmasından, izopropil alkol (%99,9) ve vanadum pentaoksit tozu (ultra saf) Merck firmasından temin edilmiştir. Vanadium triisopropoksit Yıldız Teknik üniversitesi anorganik kimya laboratuvarında sentezlenmiştir. 325 mesh tanecik boyutunda toz alüminyum karışımında kullanılmıştır. Indramic-800 türü wax Industrial Raw Materials LLC (112 West 56th Street, New York, NY 10019) şirketinden ticari olarak tedarik edilmiştir.

**4.2 Kullanılan Cihazlar**

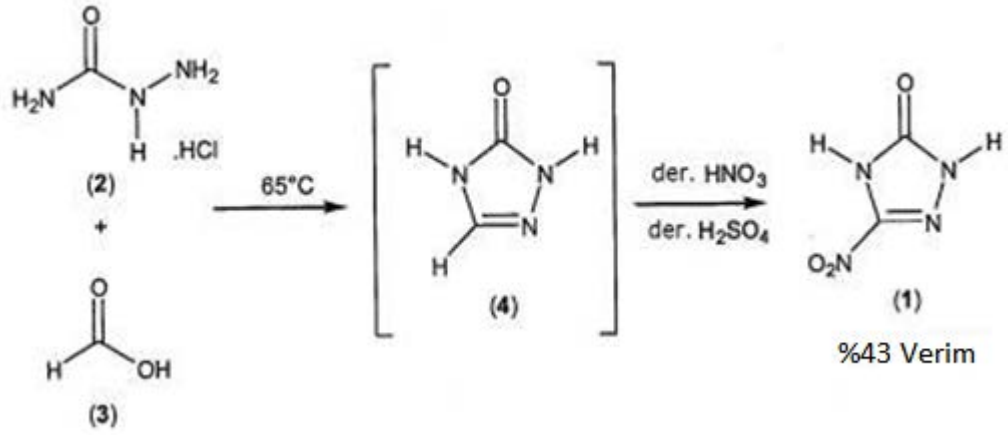
Spektroskopik verilerin elde edilmesinde kullanılan FTIR, <sup>1</sup>H NMR; Saflık tayininde kullanılan HPLC ve partikül büyüklüğü, DSC-TGA, Erime noktası analizlerinde kullanılan diğer ekipmanlar Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü bünyesinde dir. Sentezlenen nano boyutlu tozların kristal fazlarının belirlenmesi ve kristal boyutlarının hesaplanması için Rigaku marka D-Max 2200 X-ışınları kırınım cihazı, nano boyutlu tozların x250-

x55000 e kadar büyütmelelerdeki görüntülerini elde etmek amacıyla Jeol marka JSM-5910LV taramalı elektron mikroskobu cihazı ve nano boyutlu tozların bölgesel elemental analizi için Jeol JSM-5910LV taramalı elektron mikroskobu ile entegre çalışan Oxford Instruments marka EDS cihazı kullanılmıştır. Sentezlenen nano boyutlu tozların XRD, SEM ve EDS verileri Marmara Üniversitesi'nde yapılan ölçümlerle elde edilmiştir.

Perkin Elmer Spektrum 100 FT-IR spektrometresi ve Bruker Avance 500 MHz NMR spektrometresi'nde FT-IR ve <sup>1</sup>H-NMR spektrumları alınmıştır. <sup>1</sup>H NMR spektrumu DMSO'da (dimetilsulfoksit) çözünerek alınmıştır. Partikül büyüklüğü ile ilgili analizler Brookhaven Instrument Company 90 Plus Particle Sizer cihazıyla gerçekleştirilmiştir. DSC ile bozunma sıcaklığı tayini TA - SDT Q 600 cihazıyla yapılmıştır. Glove-Box içerisine yerleştirilen sıcaklık kontrollü termomikserde hazırlanan karışım işlemlerinde kapaklı eppendorf tüpleri kullanılmıştır. Darbe hassasiyetleri TÜBİTAK-SAGE laboratuvarlarında bulunan cihazlarla test edilmiştir. Hazırlanan karışım işlemlerinde kapaklı eppendorf tüpleri kullanılmıştır.

#### **4.3 NTO'nun Sentezlenmesi**

Formik asit %88 olarak hazırlandı. 8,625 mL % 88'lik formik asit (3) ve 8,36 g semikarbazid hidroklorür (2) 100°C'de 2 saat boyunca kaynatıldı. Semikarbazid hidroklorür çözüldü ve kısa surede çökme gözlemlendi. 2 saat sonunda 5 mL % 98'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 25 mL dumanlı nitrik asit karışımı oda sıcaklığında reaksiyon balonuna ilave edildi. Çeker ocak altında 65°C'de 2 saat kaynatıldı. Asit ilaveleri ve reflüks sırasında kahverengi dumanlar gözlemlendi. Reaksiyon balonu buz banyosunda soğutuldu, goeche kroze ile karışım süzüldü ve soğuk su ile yıkandı. Sıcak sudan kristallendirme sonrasında beyaz kristaller goeche kroze ile süzüldü ve kurumaya bırakıldı. 4,2040 g NTO elde edildi. Erime noktası tayin edildi. Verim: %43, Erime noktası 266-267 °C olarak belirlendi.



Şekil 3.1 NTO'nun sentezi

Çizelge 3.1 NTO'nun kimyasal özellikleri

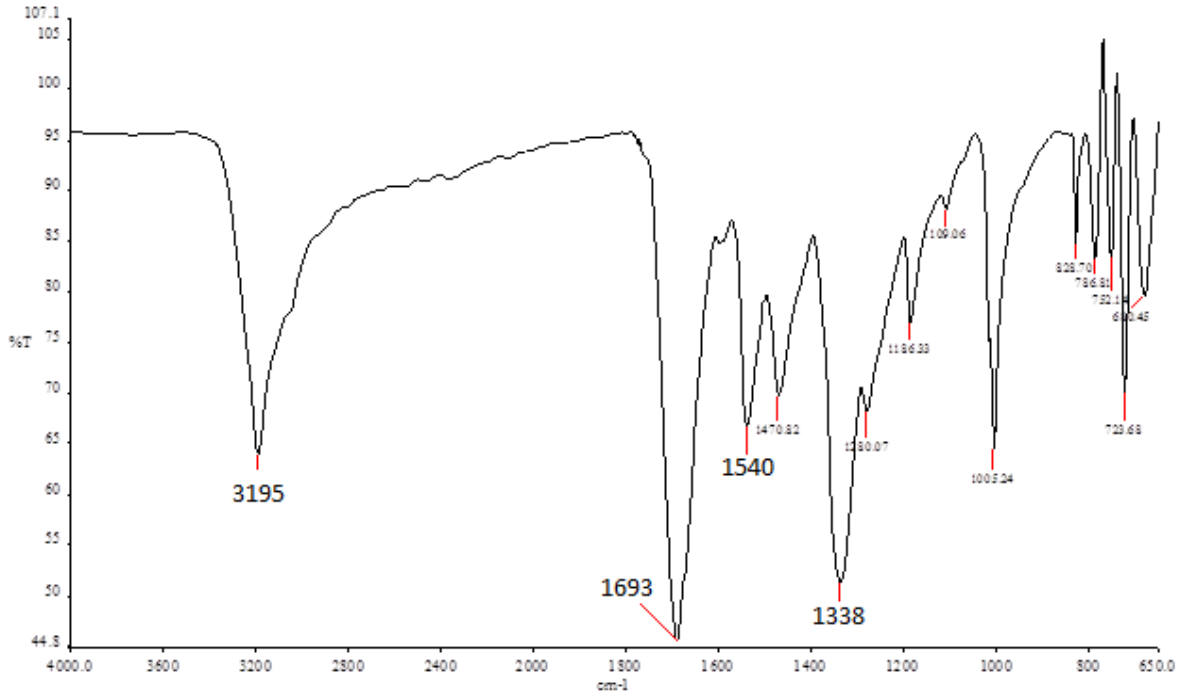
Empirik Formülü	$\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_4\text{O}_3$
Molekül Ağırlığı (g/mol)	130
Erime Noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	273 (dekompozisyon) [4]
Oksijen Dengesi (%)	-24.60 [27]
Kristal Yoğunluğu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.911 [26] ,1.93 [5,19]
Asidite (pKa)	3,76 [7], 0.1M çözeltide 2.35 [64]
NMR spektrumu (ppm) $^1\text{H}$ NMR $^{13}\text{C}$ NMR $^{15}\text{N}$ NMR	13.5 (H-N komşu $\text{NO}_2$ ) ve 12.8 ( <i>d6</i> -DMSO) [66] 154.4 (C=O) ve 148.0 (C- $\text{NO}_2$ ) ( <i>d6</i> -DMSO) [5 , 7] -34.5 (N-H), -112.9 (N-H), -205.4, -207.4 ve -243.9 [68]
IR Spektrumu ( $\text{cm}^{-1}$ )	3212 (NH), 1714 (C=O) ve 1547 ( $\text{NO}_2$ ) [26]
Yakın IR spektrumu ( $\text{cm}^{-1}$ )	6250 ve 4550 [65]
Raman IR Spektrumu ( $\text{cm}^{-1}$ )	1361 ve 1329 [67]
UV Spektrumu	$A_{\text{max}}$ :315nm, $\epsilon$ :4830 $\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ [7]



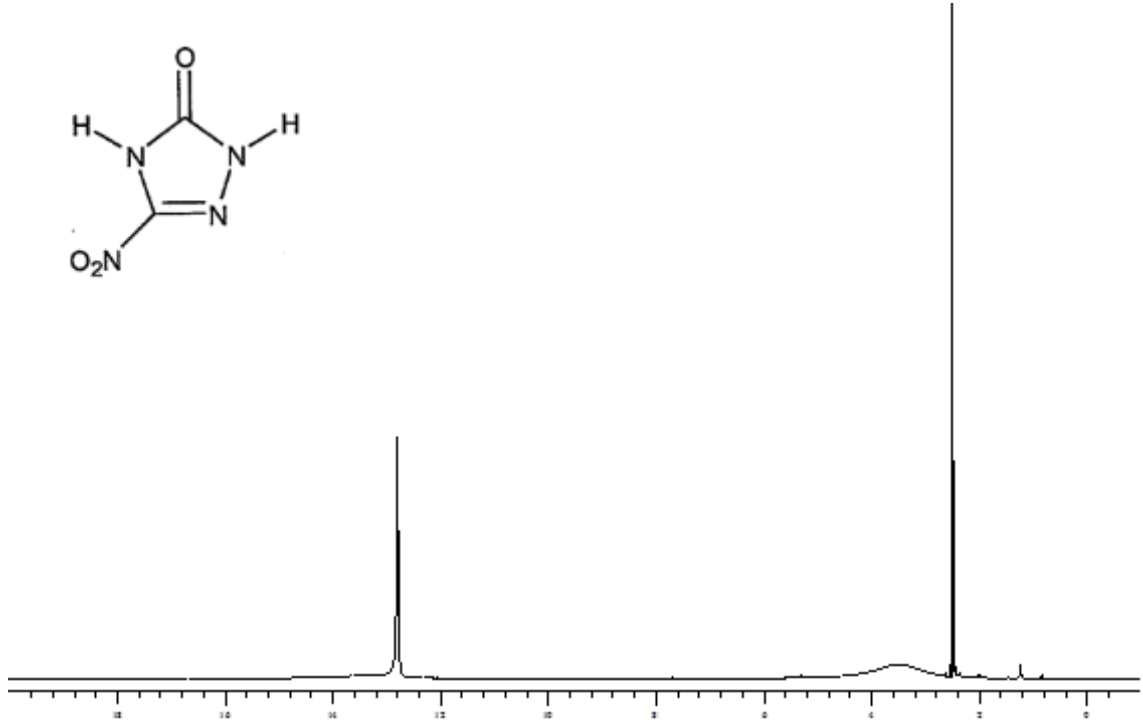
#### 4.3.1 Spektroskopik Veriler

Sentezlenen NTO'nun yapısını teyit edebilmemiz için FTIR ve  $^1\text{H}$  NMR spektroskopisi yöntemlerinden yararlanıldı. Yeni bir molekül sentezi olmaması ve literatürde rahatlıkla ilgili spektroskopik verilere ulaşılabilmesi nedeniyle yapı tayininde daha ileri yöntemlere ihtiyaç duyulmamıştır (Şekil 5.1).

FTIR sonuçları şu şekildedir: FTIR (ATR)  $\nu=3195$  (–NH gerilimi), 1693 (–C=O gerilimi), 1540 ve 1338 (C–NO<sub>2</sub> gerilimi)  $\text{cm}^{-1}$  (Şekil 5.2). Madde DMSO (dimetilsülfoksit) de çözünerek  $^1\text{H}$  NMR spektrumu alınmıştır. Maddedeki iki tane N-H pikinin protonları beklenen yerlerde çıkmışlardır. Bu da yapıyla uyumluluk göstermektedir (Şekil 5.3). Sonuç olarak sentezlenen NTO'nun erime noktası, FTIR ve  $^1\text{H}$  NMR değerlerinin literatürle uyum içerisinde olması sentezlenen maddenin yapısıyla ilgili kuşkuya yer bırakmamaktadır.



Şekil 3.2 NTO'nun infrared spektrumu

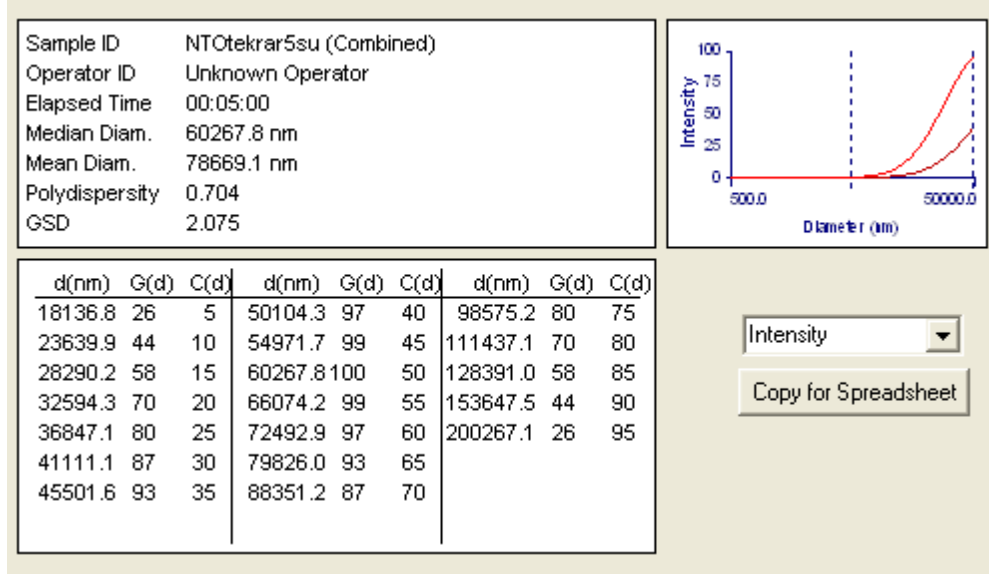


Şekil 3.3 NTO'nun <sup>1</sup>H-NMR spektrumu

#### 4.3.2 Partikül Büyüklüğü Analizi

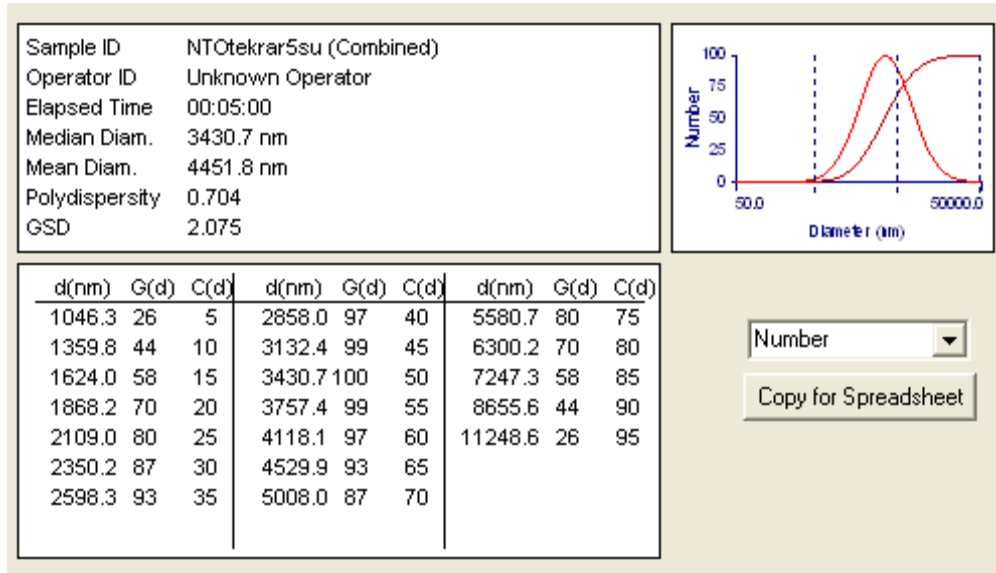
Sentezlenen NTO'nun kristallendirme işleminden sonra ultrasonik banyoda tekrar kristallendirilerek tanecik boyutunda farklılıklar olup olmayacağı denenmiştir. Literatüre göre tanecik boyutunda küçülmeler beklenmektedir. NTO tane boyutu ile ilgili analizler Brookhaven Instrument Company 90 Plus Particle Sizer ile gerçekleştirilmiştir. Cihazın hassasiyet aralığı 500 – 50.000 nanometre aralığındadır.

NTO– Su karışımı numune kabına konarak cihaza verildi. Ölçüm yaptığımız numuneler direkt sudan kristallendirilenler (Numune no: 5 ve Numune no: 7) ve yeniden kristallendirme aşamasında ultrasonik banyo kullanılan numunede (NTO ultrasonik) farklılıklar vardır. Elde ettiğimiz sonuçlar sayı (number) ve şiddete (intensity) göre değerlendirilmektedir.



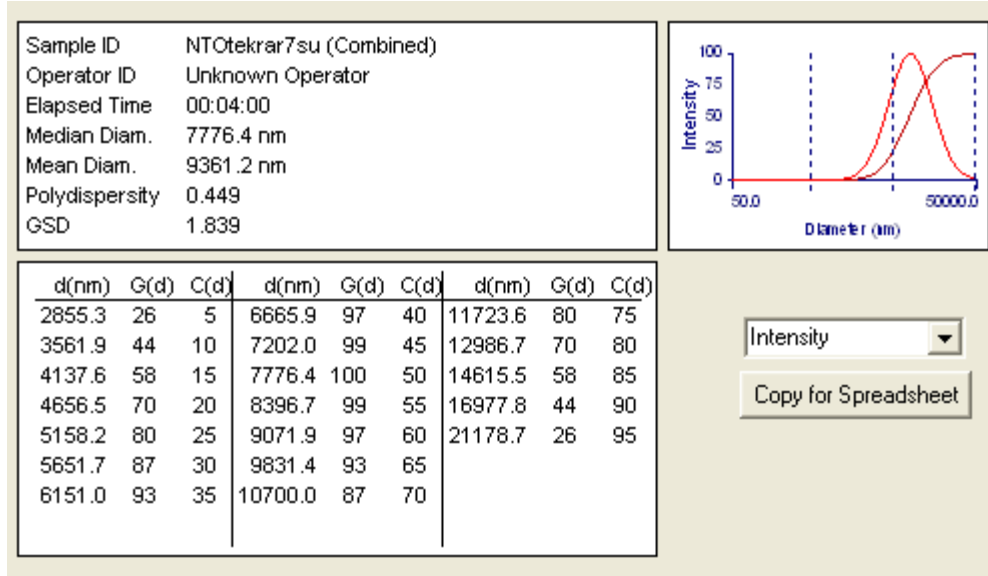
Şekil 3.4 Şiddete göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 5)

Numune kabında bulunan taneciklerin boyut analizi şiddete göre hesaplandığında alınan sonuçlar yukarıdaki gibidir ve tanecik boyutu ortalama olarak 60000 nm civarında hesaplanmaktadır. Sayıya göre yapılan değerlendirmeye göre ise ortalama olarak ölçülen tanecik boyunun 3430 nm kadar olduğu aşağıdaki ikinci grafikte görülmektedir. Bu iki farklı değer aslında numunemizin homojen olmadığına yani farklı büyüklükte NTO parçacıklarının bulunduğuna işaret etmektedir.

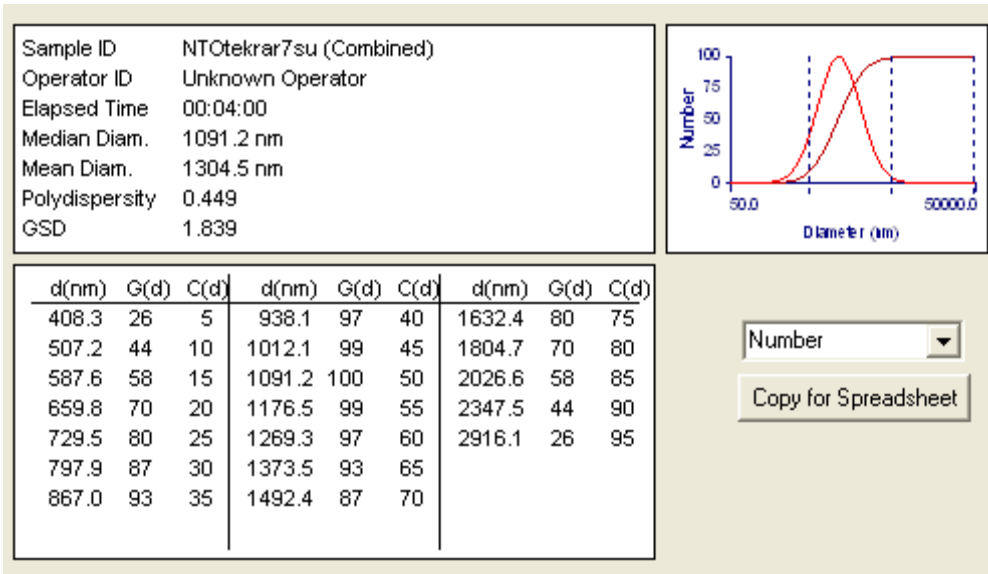


Şekil 3.5 Sayıya göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 5)

Diğer bir NTO numunesinden elde edilen tane boyutu analiz sonuçları aşağıda görüldüğü gibidir. Ortalama 7766 nm (şiddete göre) ve 1304 nm (sayıya göre) gibi daha küçük taneciklerin numune kabında yer aldığı tespit edilmiştir.

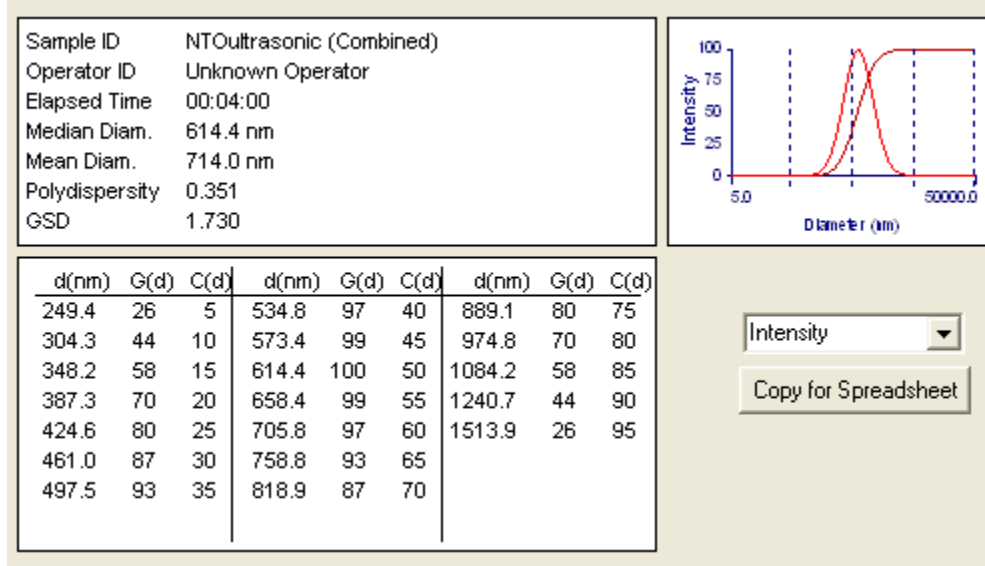


Şekil 3.6 Şiddete göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 7)

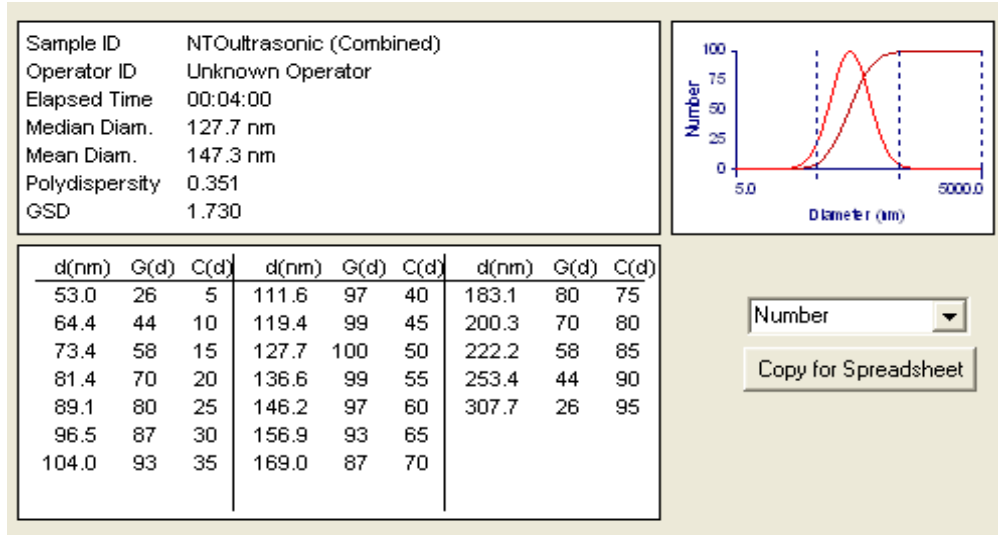


Şekil 3.7 Sayıya göre tanecik boyutu analizi (Numune no: 7)

Tanecik analizini gerçekleştirdiğimiz son numunemizi ultrasonik banyoda sudan yeniden kristallendirme işlemi ile hazırladık. Bu deneme ile daha küçük tanecik boyutuna ulaşmayı hedefliyorduk ve aldığımız veriler ile bu beklenti teyit edildi. Şiddete göre 614 nm ve sayıya göre 127 nm ortalama tanecik boyutu ölçüldü.



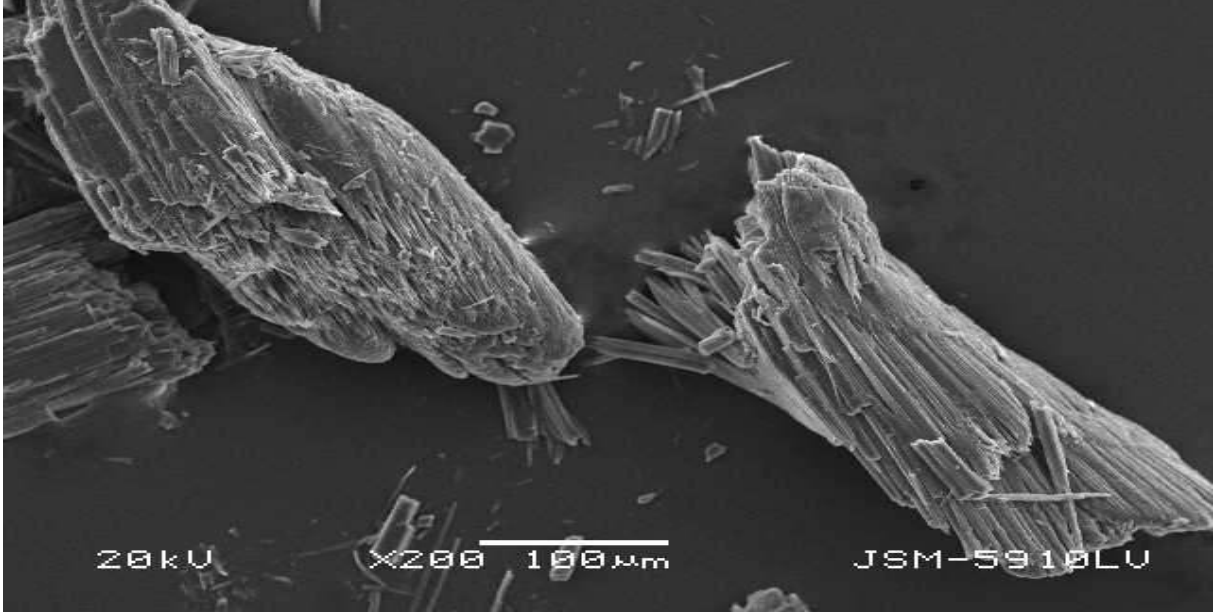
Şekil 3.8 Şiddete göre tanecik boyutu analizi (ultrasonik banyoda kristallendirme)



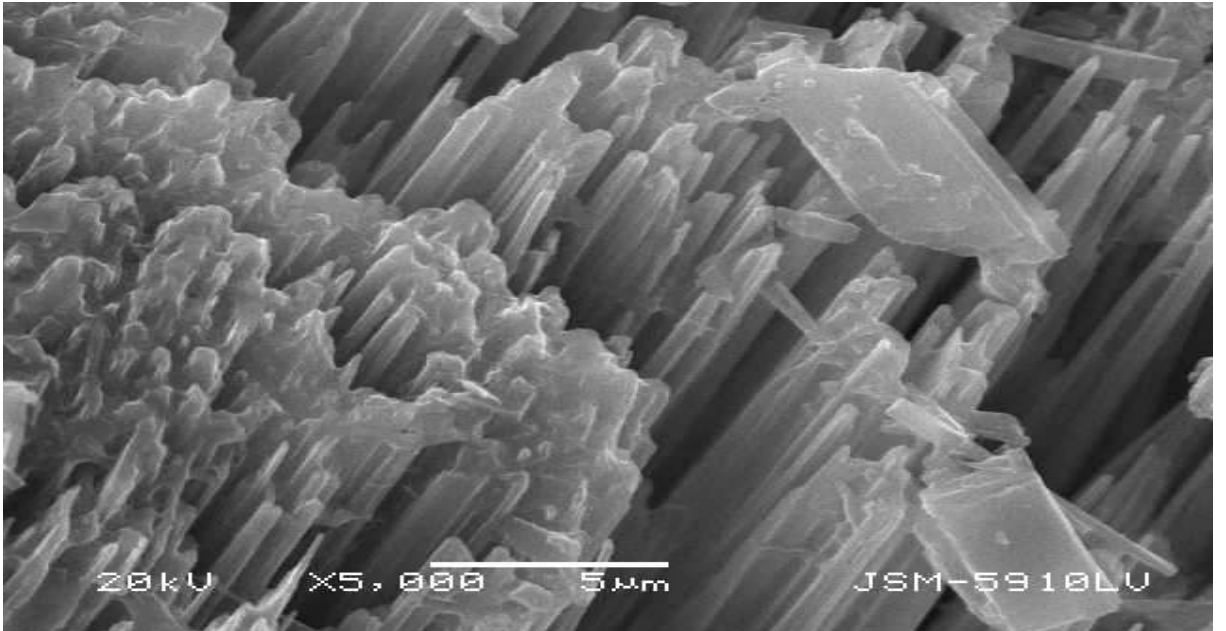
Şekil 3.9 Sayıya göre tanecik boyutu analizi (ultrasonik banyoda kristallendirme)

#### 4.3.3 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile Elde Edilen Veriler

5 mikron ölçekli skalada yapının nano lifi yapıda olduğu açıkça görülmektedir. Yapı tek fazdan saf bir şekilde sentezlenmiştir.



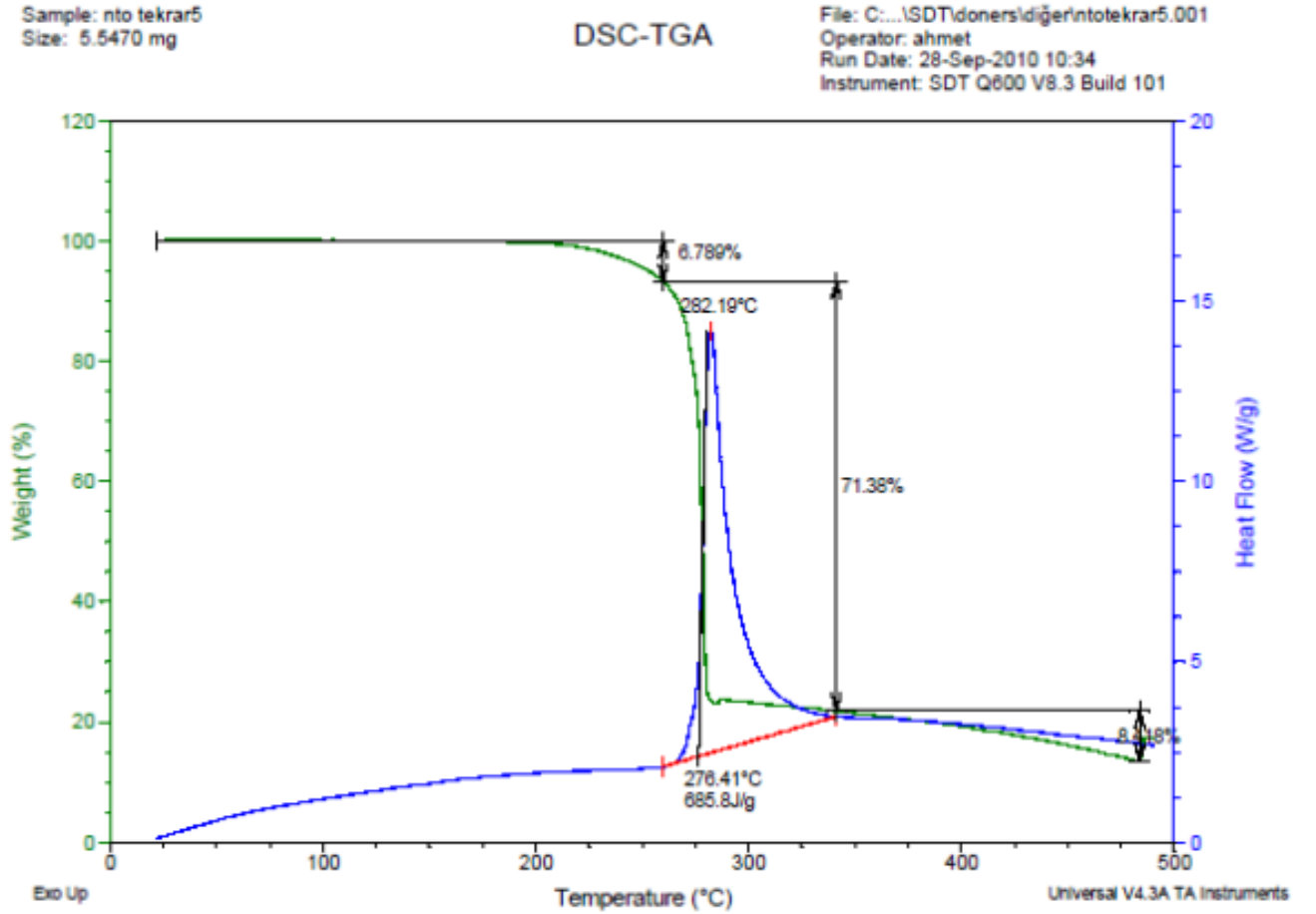
Şekil 3.10 Nano lif yapıda sentezlenen NTO toz numunenin X200 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 3.11 Nano lif yapıda sentezlenen NTO toz numunenin X5000 büyütmedeki SEM görüntüsü

#### 4.3.4 DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) ile Bozunma Sıcaklığı Tayini

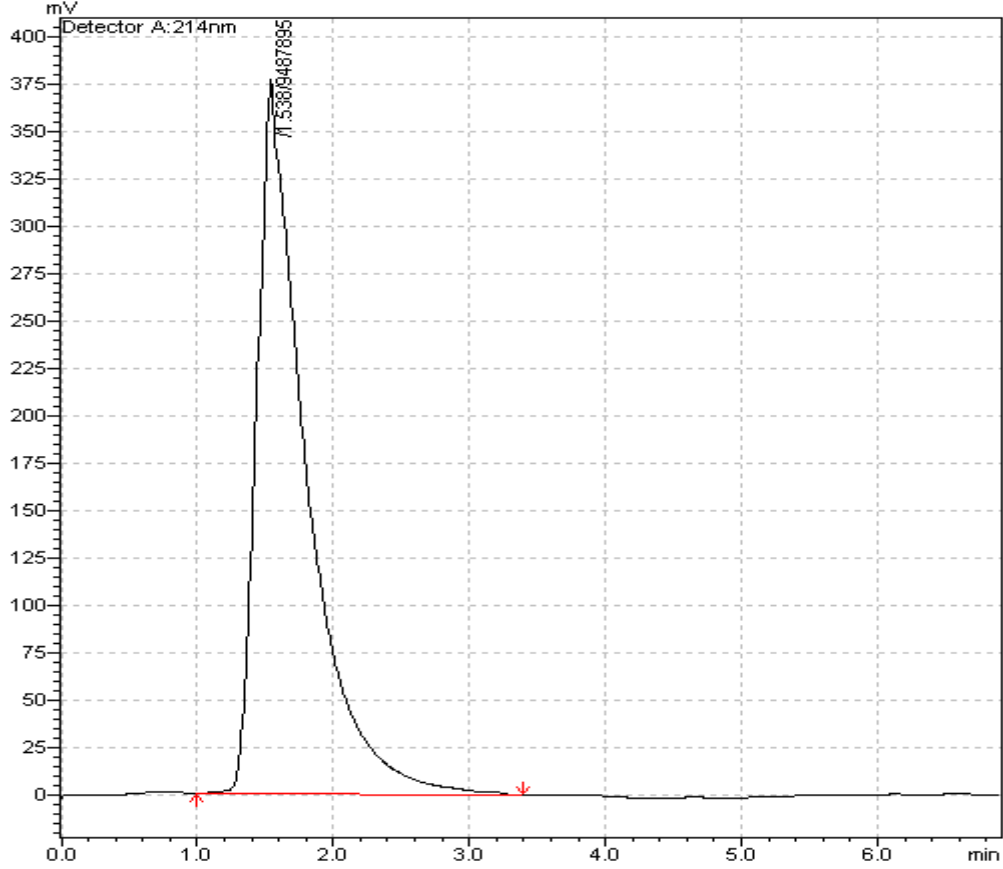
Bozunma sıcaklığı 276,41 °C' de başlayıp en son 282,19 °C' ye kadar çıkmaktadır. Bu sonuçlar literatür verileri ile uyum göstermektedir. Bu esnada 685,8 J/g enerji açığa çıkmıştır. Termal Gravimetrik analizde ise 259 °C'ye kadar %6,79; 259–336,7 °C arasında %71,4 ve 500 °C sıcaklığa kadar olan devamında da %8,42 madde kaybı yaşandığı görülmektedir.



Şekil 3.12 Bozunma sıcaklığı analizi

#### 4.3.5 Saflık Tayini

Sentezlediğimiz NTO'nun saflığını tespit etmek amacıyla, HPLC analizi ve uçucu madde tayini uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Stanag 4543'de tanımlanan yöntemlere göre HPLC analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13 HPLC ile saflık tayini

Yapılan HPLC çalışmaları sonucunda %99 saflıkta ürün elde edildiği görülmüştür.

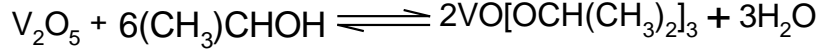
#### 4.3.6 Uçucu Madde Tayini

Sentezini gerçekleştirdiğimiz NTO numunesinden belli miktarlarda 4 tartım alıp 103 °C'de etüvde 2 saat boyunca bekletildi. 2 saatin sonunda tekrar tartım alınarak yüzdesel olarak madde kaybı hesaplandı. % Uçucu Madde = 0,0198. Bu değer Stanag 4543 da belirtilen 0,1'den küçük olma şartını sağlamaktadır.



#### 4.4 Nano Vanadyum Pentaoksit (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) Sentezi

Nano vanadyum pentaoksit sentezine başlamadan önce ilk olarak, sentez reaksiyonunda kullanacağımız vanadium tri-izopropoksit ( VO[OCH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sub>3</sub> ), vanadium pentaoksit'in izopropil alkol (%99,9) ile argon atmosferinde, 85-90 °C'de ve 6 saat reflux edilmesiyle sentezlendi. Vanadyum pentaoksit ve izopropil alkol arasındaki tersinir reaksiyon sonucu vanadium tri-izopropoksit sentezi gerçekleştirilebilir [40].



Şekil 3.14 Vanadyum tri-izopropoksit sentezine ait reaksiyon

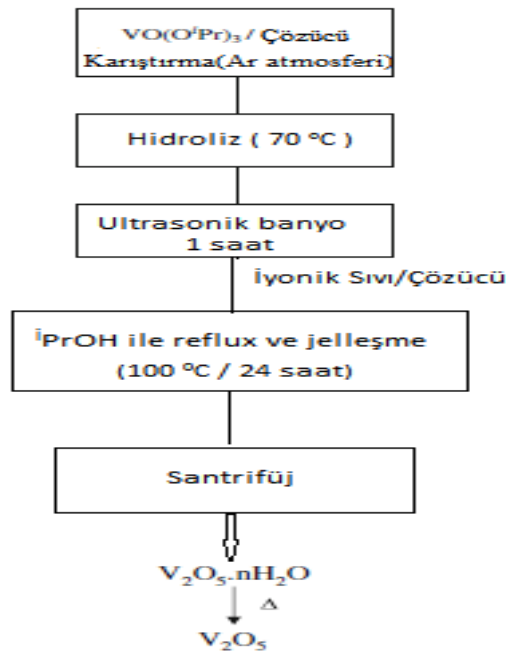
2 boyunlu bir cam balon içersine 18.2 gr toz V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,1 mol), 50 ml izopropil alkol (0,6 mol= 45 ml, 5 ml izopropil alkol aşırı alınmıştır), 5 gr moleküler sieve (200 °C'lik etüv içerisinde 2 saat boyunca aktifleştirme işlemi için bekletildi) ve kaynama taşı konuldu.

Cam bolunun geniş boynuna reflux işlemi için geri soğutucu bağlandı. Reaksiyon sonrası oluşan vanadyum tri-izopropoksit hava ile teması sonucu bozunduğundan reflux işlemi argon atmosferinde gerçekleştirildi. Argon atmosferinin reaksiyon ortamında sağlanması için geri soğutucun üst kısmına içerisi argon gazı ile doldurulmuş plastik balon bağlandı. Reflux işlemi 85-90 °C' de ve 6 saatte gerçekleştirildi.

Reflux sonrası cam balon içersindeki karışım süzgeç kağıdı üzerinden süzüldü ve sarı berrak vanadyum tri-izopropoksit sıvısı kapaklı deney tüplerinin içersine alındı ( yaklaşık 10 ml). Deney tüplerine reaksiyon sonrası oluşan suyun reflux işlemi sırasında cam balonda bulunan moleküler sievler tarafından yeterli miktarda tutulmamış olması ihtimaline karşılık tekrar miktar moleküler sieve eklendi. Süzgeç kağıdı üzerinde kalan reaksiyona girmeyen vanadyum pentaoksit(sarı-kahverengi) saat camı üzerinde etüvde 120 °C de kurutuldu. Vanadyum tri-izopropoksit sentezi sonucu, sol-jel yöntemi ile nano vanadyum pentaoksit sentezine geçilmiştir.

100 ml'lik üç boyunlu cam balonun bir boynuna argon gazı girişi için adaptör takıldı, ikinci boynuna enjektör ile madde ilavesi için septum takıldı, üçüncü boyun ise argon gazı geçiriliyor iken açık tutuluyorken argon gazı geçişi sonlandırıldıktan sonra ise kapatıldı. Cam balon manyetik karıştırıcı üzerinde bulunan yağ banyosu içersine konuldu, ilk olarak cam balon içersine argon gazı geçirildi ve bir süre argon gazı geçişi sağlandıktan sonra cam balonun hava ile teması kesildi. Cam balonun içersinde argon atmosferi oluşturulduktan sonra ilk olarak 3 ml vanadyum tri-izopropoksit, 2 ml iyonik likit (1,3-dimetoksiimidazolyum bis(triflorometilsülfonil)amid) ve daha sonra yavaşça 2 ml izopropil alkol cam balon içersine eklendi.

Berrak bir çözelti elde edilinceye kadar cam balondaki karışım 70 °C' de yaklaşık 1 saat karıştırıldı. Daha sonra 2 ml bi-distile saf su, karışan çözelti üzerine damla damla ilave edildi. 1 saatlik karıştırma işlemi sonrası hapsedilmiş suyun uzaklaştırılması için cam balon 1 saat ultrasonik banyo içersinde bekletildi. Daha sonra cam balona bir geri soğutucu jelleşme ve reflux işlemlerinin aynı anda gerçekleşmesi için bağlandı. Sıcaklık 100 °C yükseltildi ve 24 saat boyunca reflux işlemi gerçekleştirildi. 24 saat reflux sonrası cam balon içersindeki karışım deney tüplerine alındı ve santrifüj ile katı ve sıvı birbirinden ayrıldı. Santrifüj işlemi sonrası elde edilen katı madde etüvde kurutuldu ve  $V_2O_5 \cdot nH_2O$  yapısındaki  $nH_2O$  uzaklaştırılmıştır.



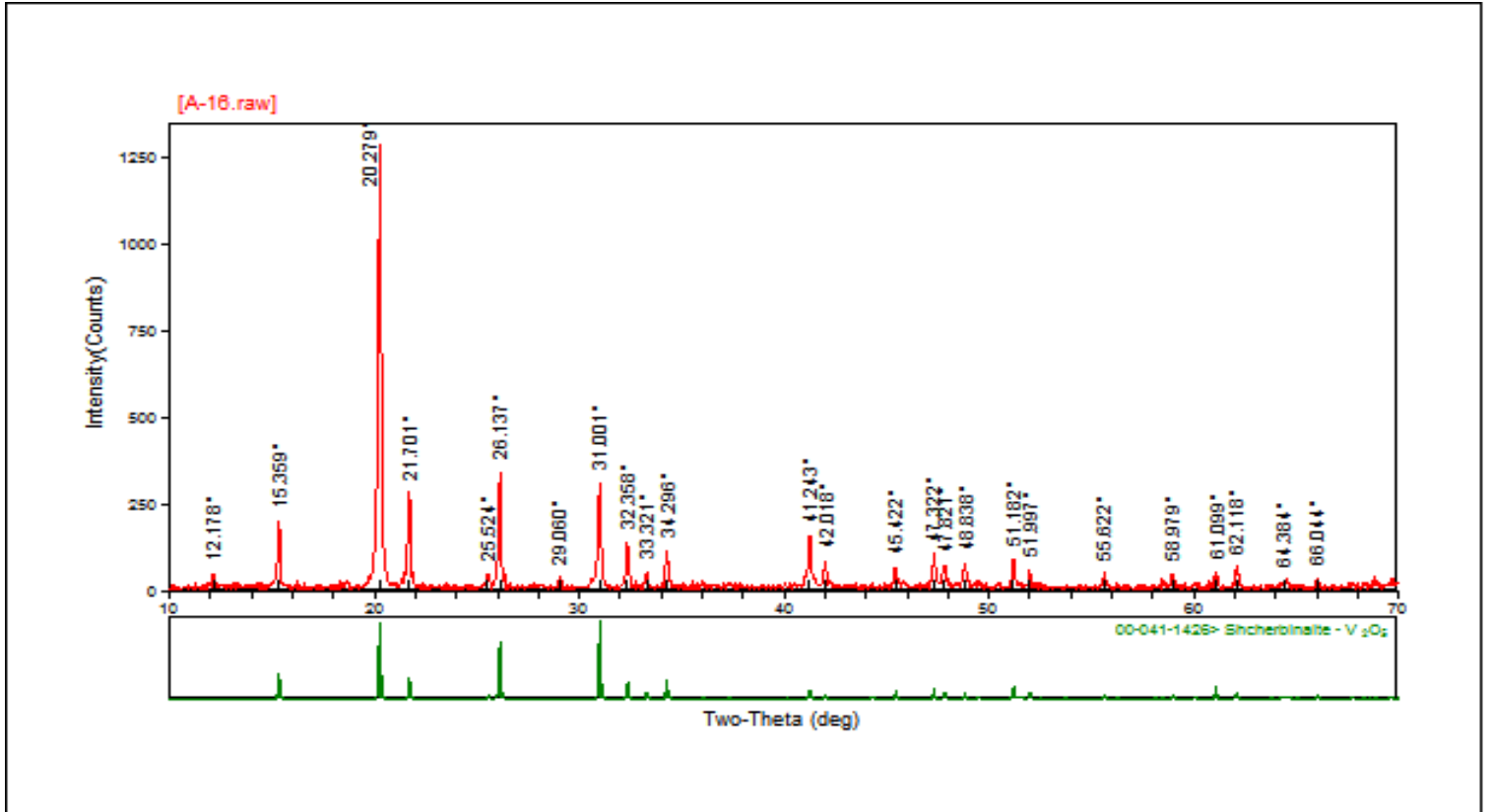
Şekil 3.15  $V_2O_5$  tozlarının üretim süreci

#### 4.4.1 Spektroskopik Veriler

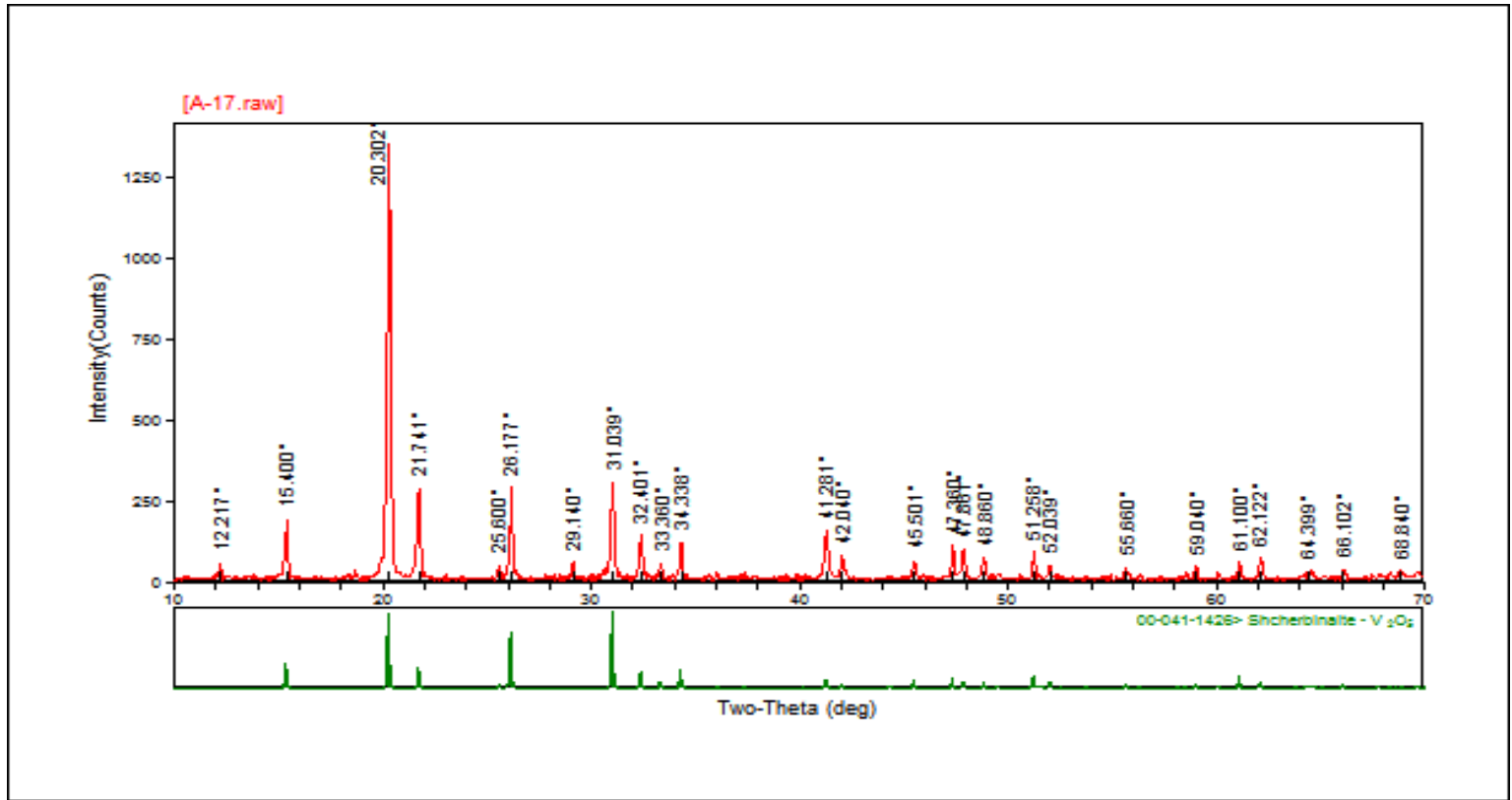
##### 4.4.1.1 XRD Analizleri

Sol-jel yöntemi ile sentezlenen nano boyutlu tozların kristal fazlarının belirlenmesi ve kristal boyutlarının hesaplanması için Rigaku marka D-Max 2200 X-ışınları kırınım cihazı kullanılmıştır.

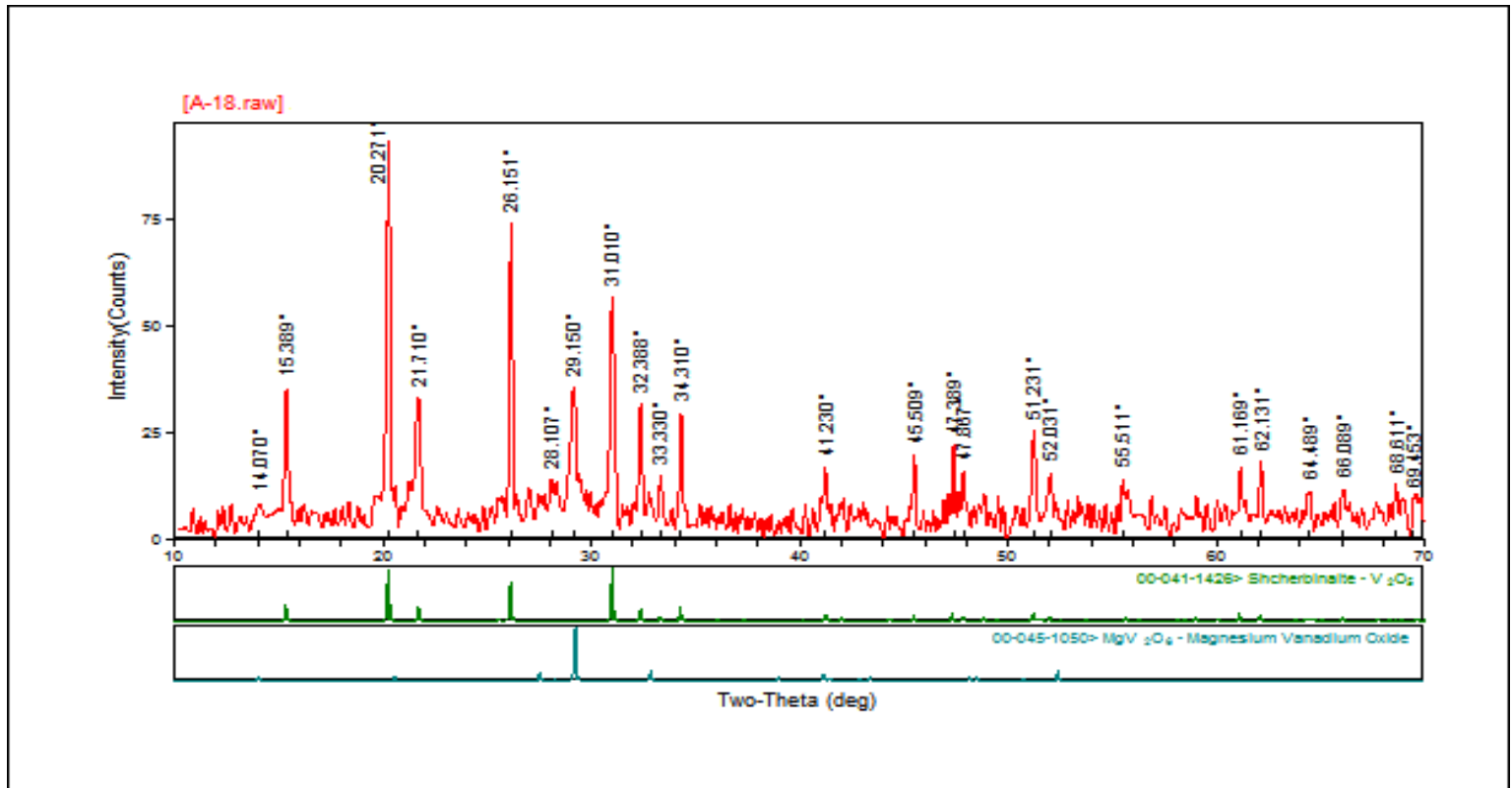
Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 de sol-jel yöntemi ile sentezlenen tozların XRD analiz neticelerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar neticesinde ICDD tarafından oluşturulan JCPDS standartlarına göre 41-1426 JCPDS kart numarası (Shcherbinaite yapısı) uyumluluk göstermektedir.



Şekil 3.16 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen 16 nolu numunenin XRD analiz sonucu



Şekil 3.17 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen 17 nolu numunenin XRD analiz sonucu



Şekil 3.18 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen 18 nolu numunenin XRD analiz sonucu

18 numaralı numunenin XRD sonuçları değerlendirildiğinde 41-1426 JCPDS kart numarası (Shcherbinaite yapısı) ile uyumluluk gösteren yapının yanı sıra 45-1050 JCPDS kart numarası ile uyumlu magnezyum vanadyum oksit yapısı gözlenmektedir. Bu yapıya ait değerlerin açığa çıkması, 18 numaralı numune için gerçekleştirilen EDS analiz sonucunda gözlenen Mg pikini açıklamaktadır. Mg pikinin gözlenmesi yapılan deneysel çalışmalar sırasındaki kirliliklerden ve ya kullanılan standart maddelerde eser miktarda var olan Mg'dan kaynaklanıyor olabilir.

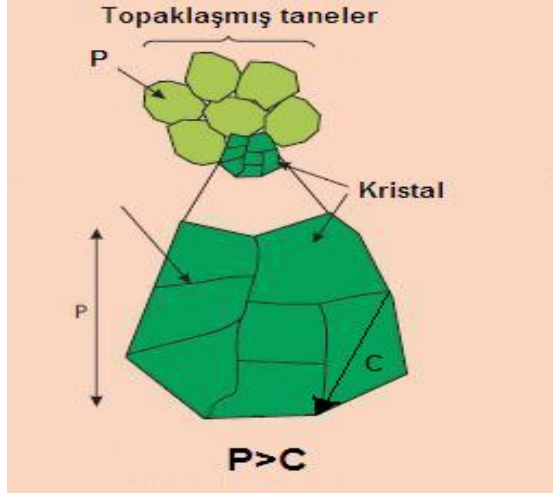
#### 4.4.1.2 Kristal Boyut Analizleri

XRD analiz neticelerinden elde edilen Full Width at Half Maximum (FWHM) değerleri Debye-Scherrer denklemine (3.1) uygulandığında Çizelge 3.2 de görülen ortalama kristal boyutu değerleri elde edilmiştir.

$$D_p = \frac{0.94\lambda}{\beta_{1/2} \cos \theta} \quad (3.1)$$

Bu denklemde;  $D_p$ , nanometre cinsinden kristal boyutu;  $\lambda$ , Cu-K $\alpha$  ışınması ile elde edilen X-ışınının dalga boyunu (=0.15418 nm.); 0.94; bilinen bir sabit;  $\beta_{1/2}$ , en yüksek şiddetli pikin tam tepesinin ortasından tabanına çizilen doğrunun yarısının (FWHM) bulunarak buradan itibaren uzunluk olarak elde edilen pik genişliğinin radyana dönüştürülerek sistemdeki açı cinsinden değeridir. Burada  $\theta$ , kırınım açısı olan Bragg açısıdır. Analizden elde edilen değer  $2\theta$ ,  $\theta$  ya oradan da radyana dönüştürülür. Elde edilen değerler yerlerine yerleştirilerek kristal boyut hesaplaması yapılır.

Buradan, kristal boyutu ile partikül boyutunun birbirinden farklı olduğu, karıştırılmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Pek çok kristal bir araya gelerek partikülü meydana getirmektedir. Yani bir malzemenin kristal boyutu nanometre mertebelerinde iken, aynı malzemenin partikül boyutu mikrometre mertebelerinde olabilmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Kristal boyut ile tane boyutu arasındaki bağlantı

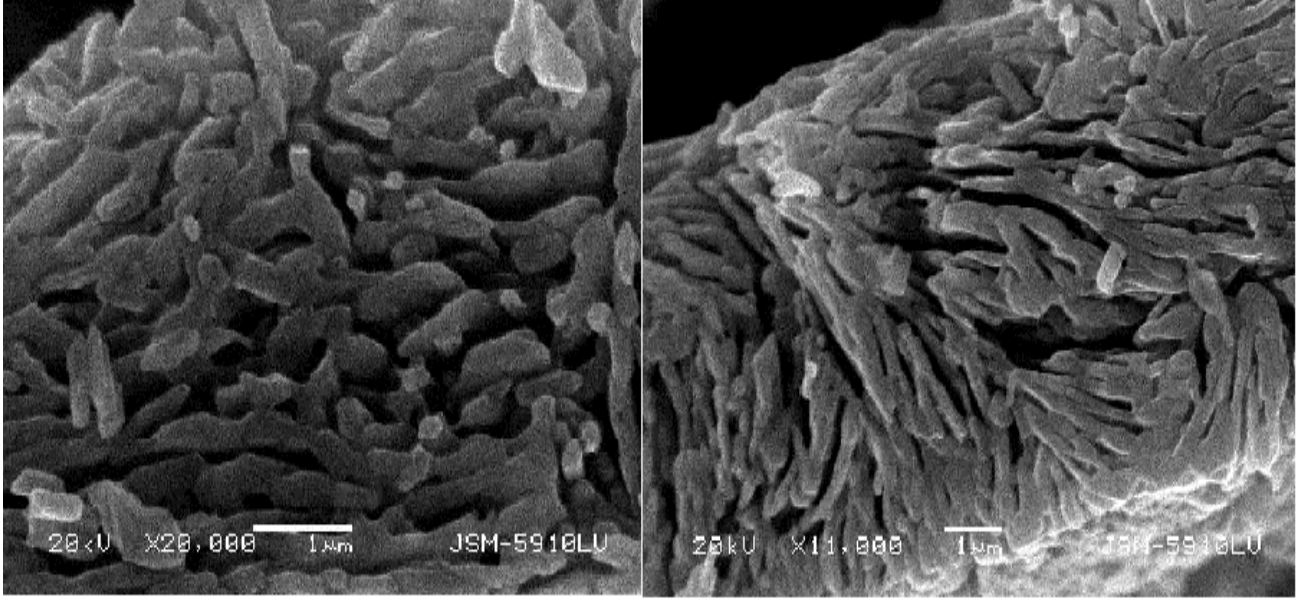
Çizelge 3.2 Sol-jel yöntemiyle sentezlenen vanadyum pentaoksit tozların kristal boyut değerleri

Numune No	Kristal Boyut (nm)
16	48,943
17	47,325
18	40,993

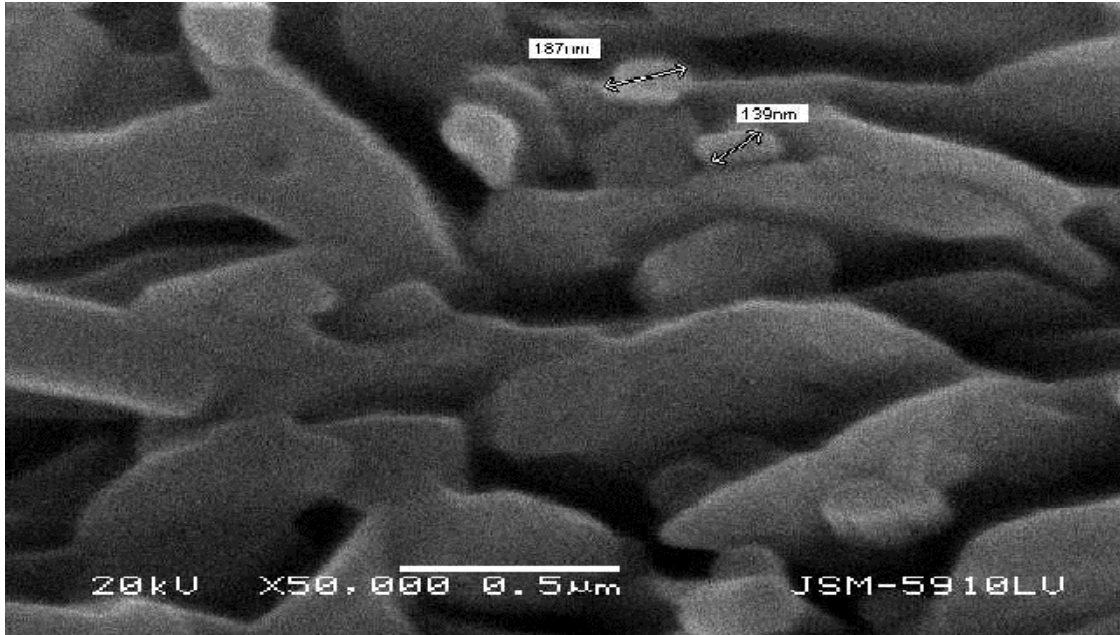
Numune 16, 17 ve 18 için gerçekleştirilen XRD analizleri sonucunda, en şiddetli 3 pikin FWHM ve  $2\theta$  değerleri ile hesaplanan ortalama tanecik boyutları Çizelge 3.2 de görülmektedir.

#### 4.4.1.3 SEM Analizleri

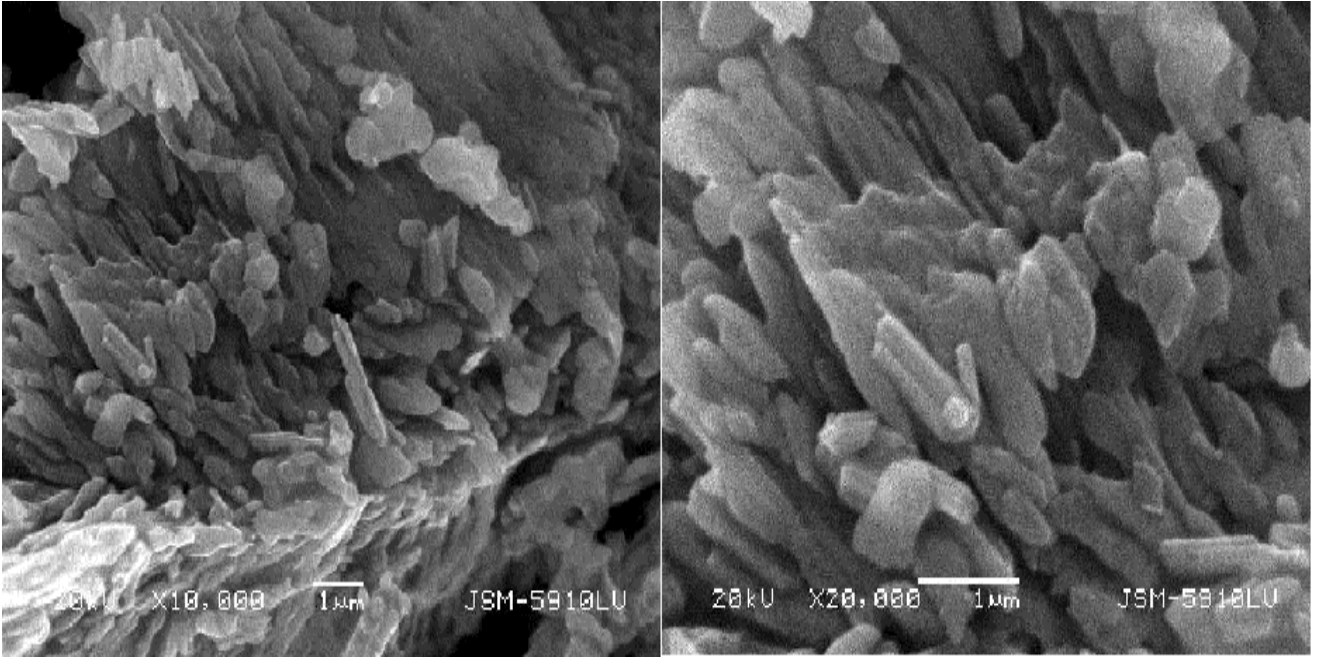
Sol-jel yöntemi ile sentezlenen nano boyutlu vanadyum pentaoksit tozlarının x50000' e kadar büyütmelelerdeki görüntülerini elde etmek amacıyla Jeol marka JSM-5910LV taramalı elektron mikroskobu cihazı kullanılmıştır.



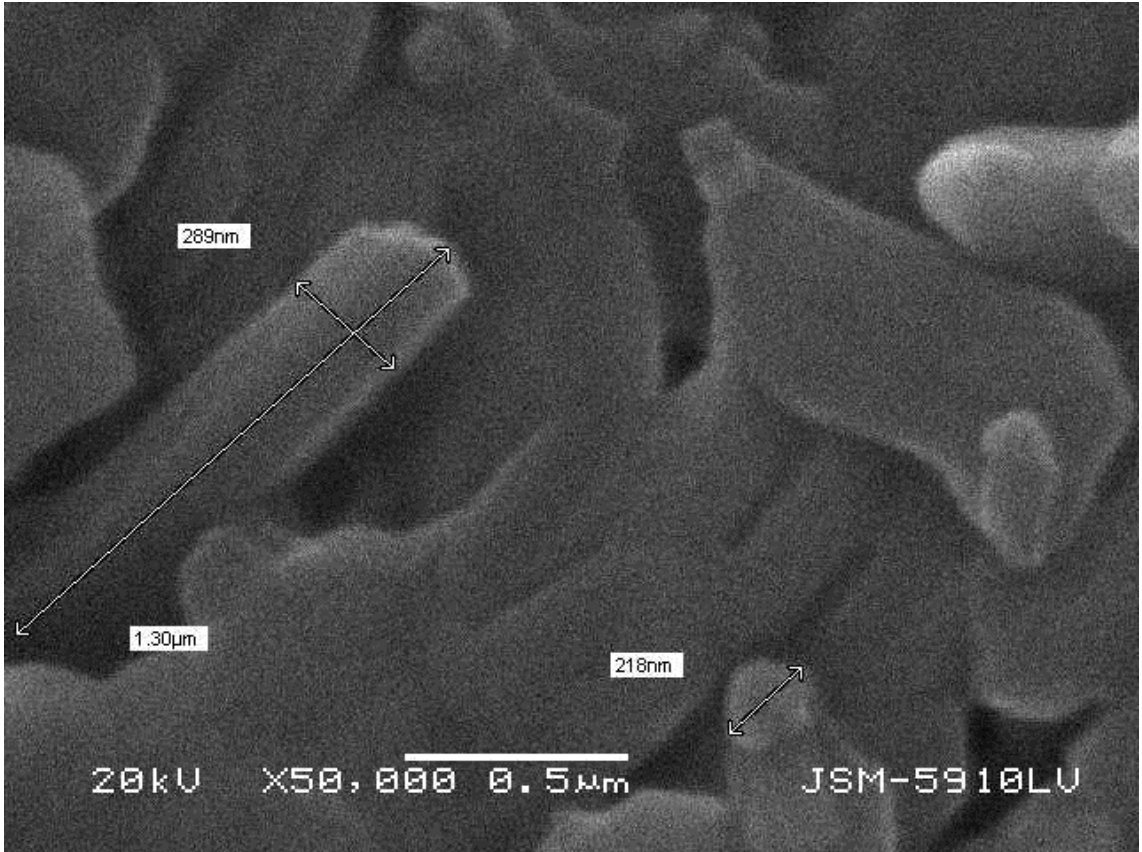
Şekil 3.20 Sentezlenen 16 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x20000 ve x11000 deki SEM görüntüleri



Şekil 3.21 Sentezlenen 16 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x50000 deki SEM görüntüsü

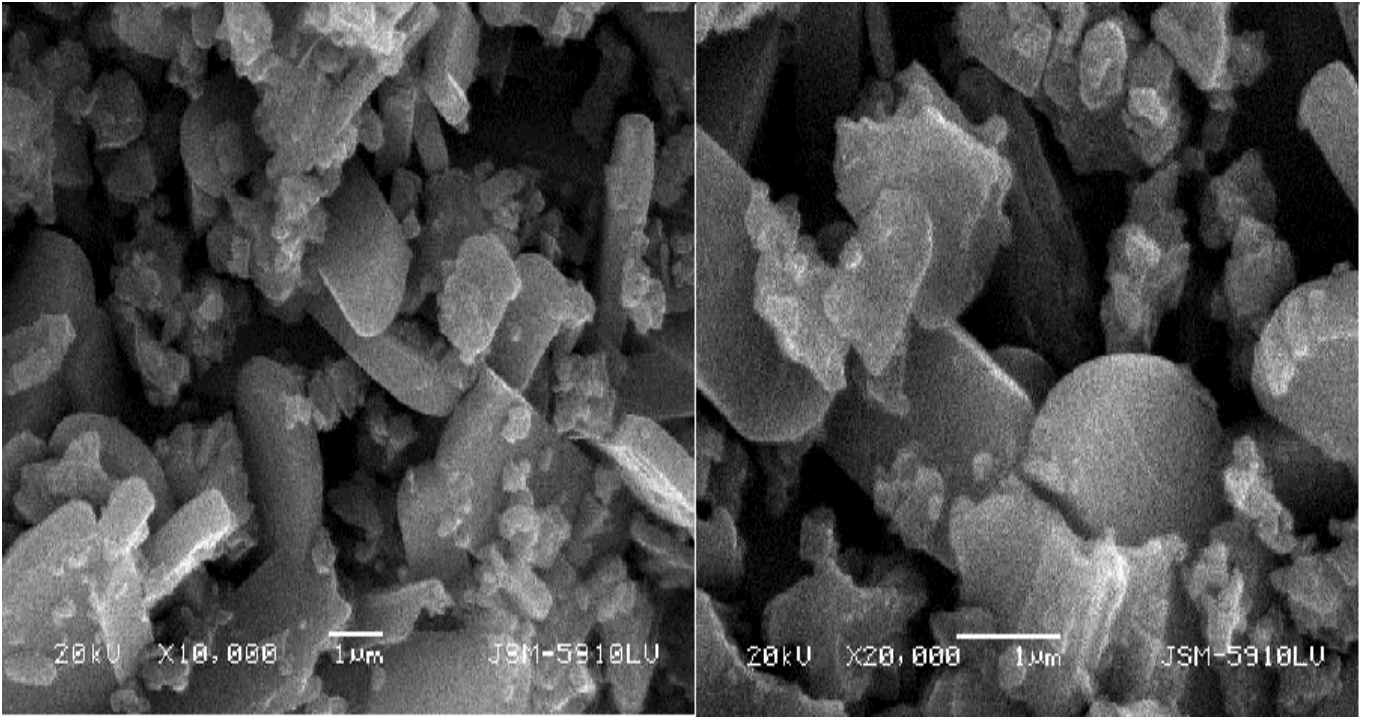


Şekil 3.22 Sentezlenen 17 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x10000 ve x20000 deki SEM görüntüleri

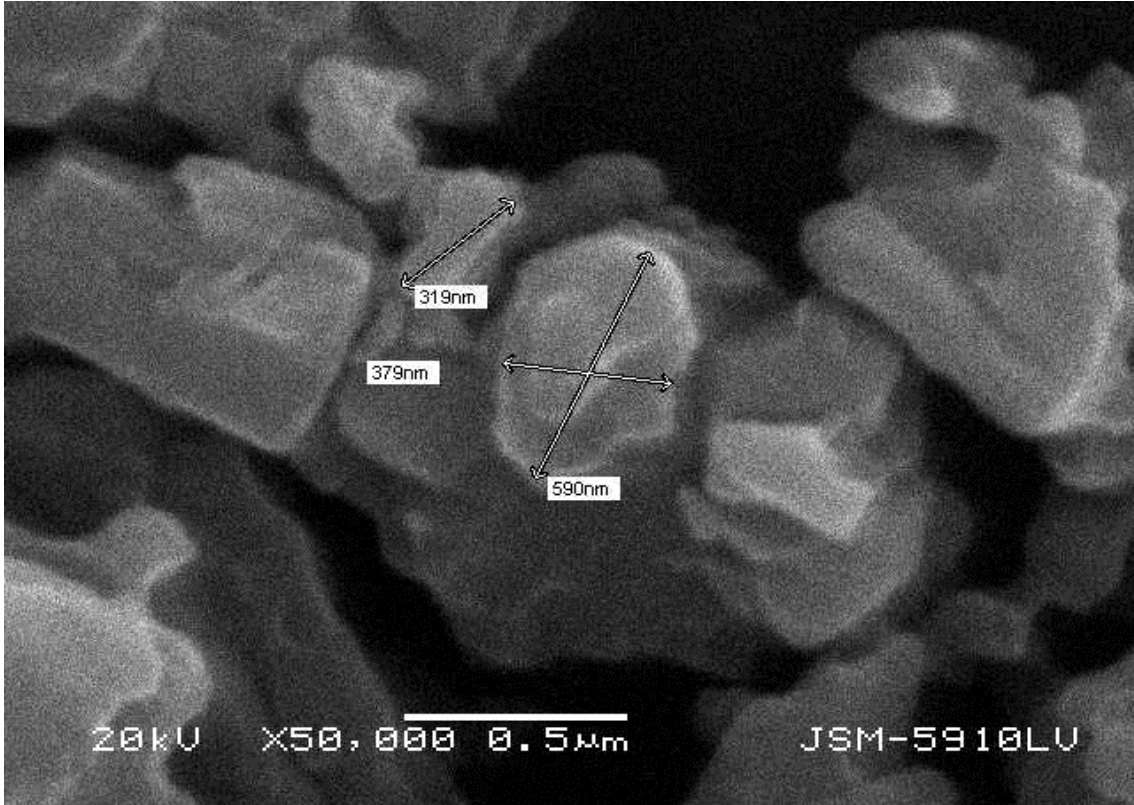


Şekil 3.23 Sentezlenen 17 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x50000 deki SEM görüntüsü





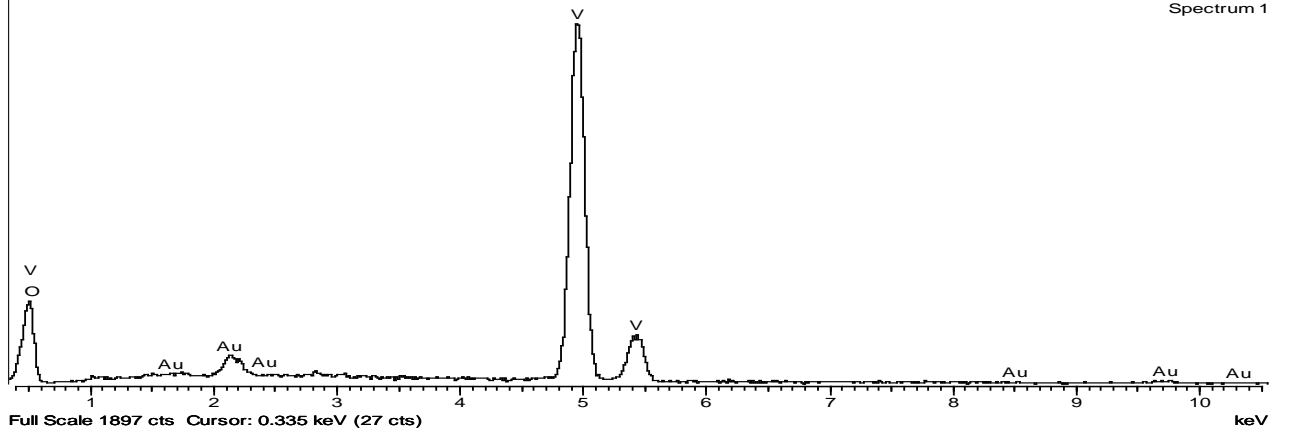
Şekil 3.24 Sentezlenen 18 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x10000 ve x20000 deki SEM görüntüleri



Şekil 3.25 Sentezlenen 18 numaralı vanadyum pentaoksit tozunun x50000 deki SEM görüntüsü

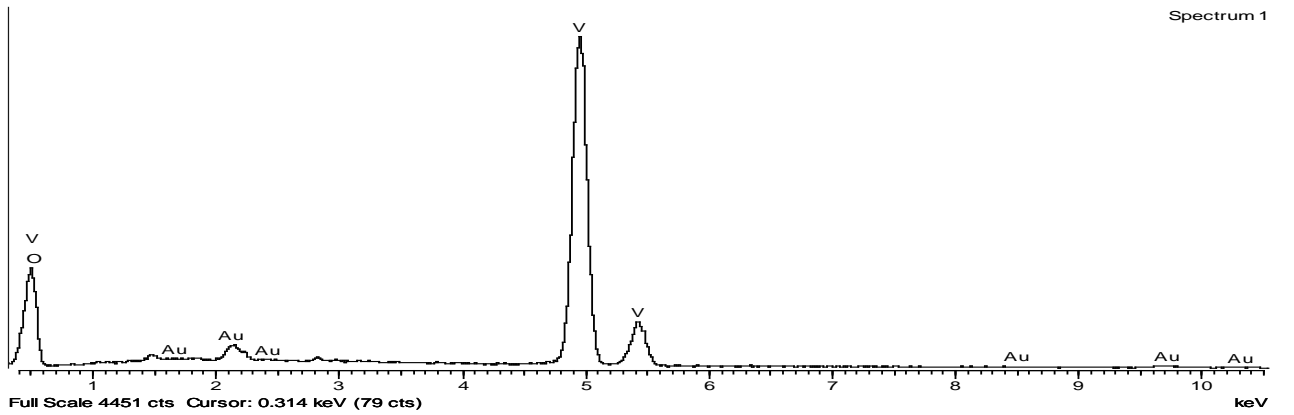
#### 4.4.1.4 EDS Analizleri

Sentezlenen nano boyutlu tozların bölgesel elementel analizi için Jeol JSM-5910LV taramalı elektron mikroskobu ile entegre çalışan Oxford Instruments marka EDS cihazı kullanılmıştır.



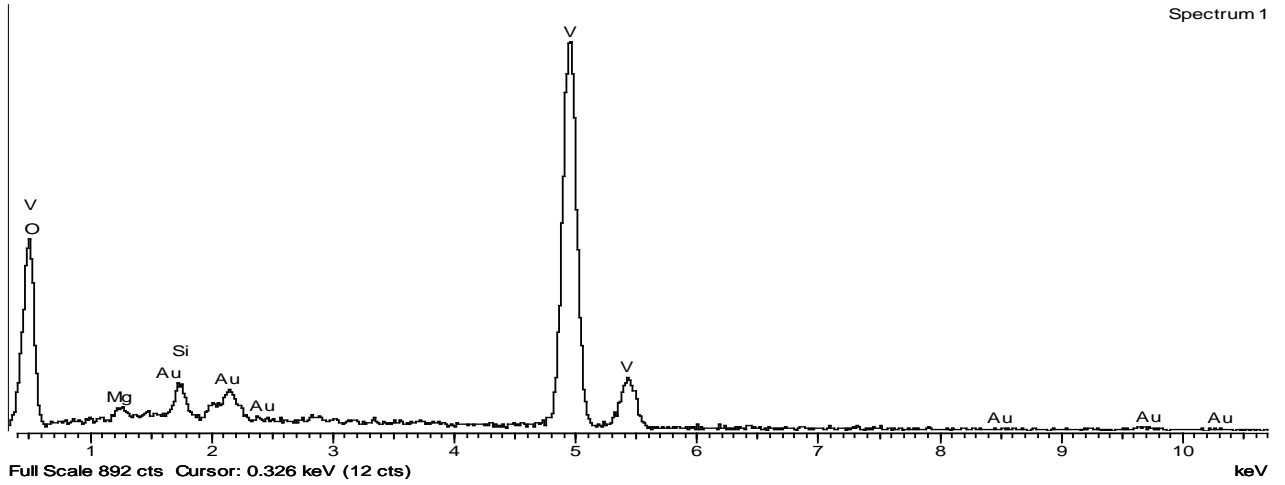
Şekil 3.26 Sentezlenen 16 nolu nano vanadyum pentaoksit tozlarının EDS analiz sonucu

Sol-jel yöntemi ile sentezlenen 16 nolu nano vanadyum tozların EDS cihazında yapılan analizlerinde elementel olarak yüksek şiddette vanadyum(V) ve oksijen(O) pikleri elde edilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.27 Sentezlenen 17 nolu nano vanadyum pentaoksit tozlarının EDS analiz sonucu

Sol-jel yöntemi ile sentezlenen 17 nolu nano vanadyum tozların EDS cihazında yapılan analizlerinde elementel olarak yüksek şiddette vanadyum(V) ve oksijen(O) pikleri elde edilmiştir (Şekil 3.27).



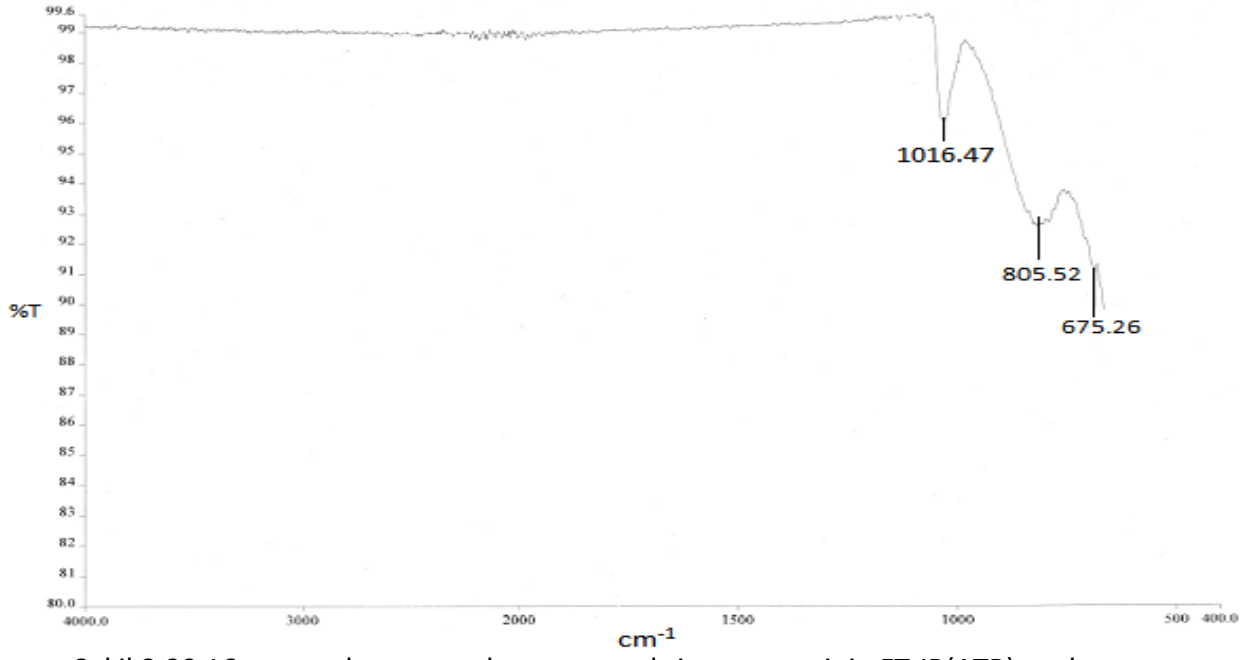
Şekil 3.28 Sentezlenen 18 nolu nano vanadyum pentaoksit tozlarının EDS analiz sonucu

18 nolu numunenin de EDS analiz sonuçlarına bakıldığında yüksek şiddette vanadyum(V) ve oksijen(O) pikleri elde edilmiştir (Şekil 3.28). Ayrıca analiz sonuçlarında Si ve Mg elementleri de gözlemlenmiştir.

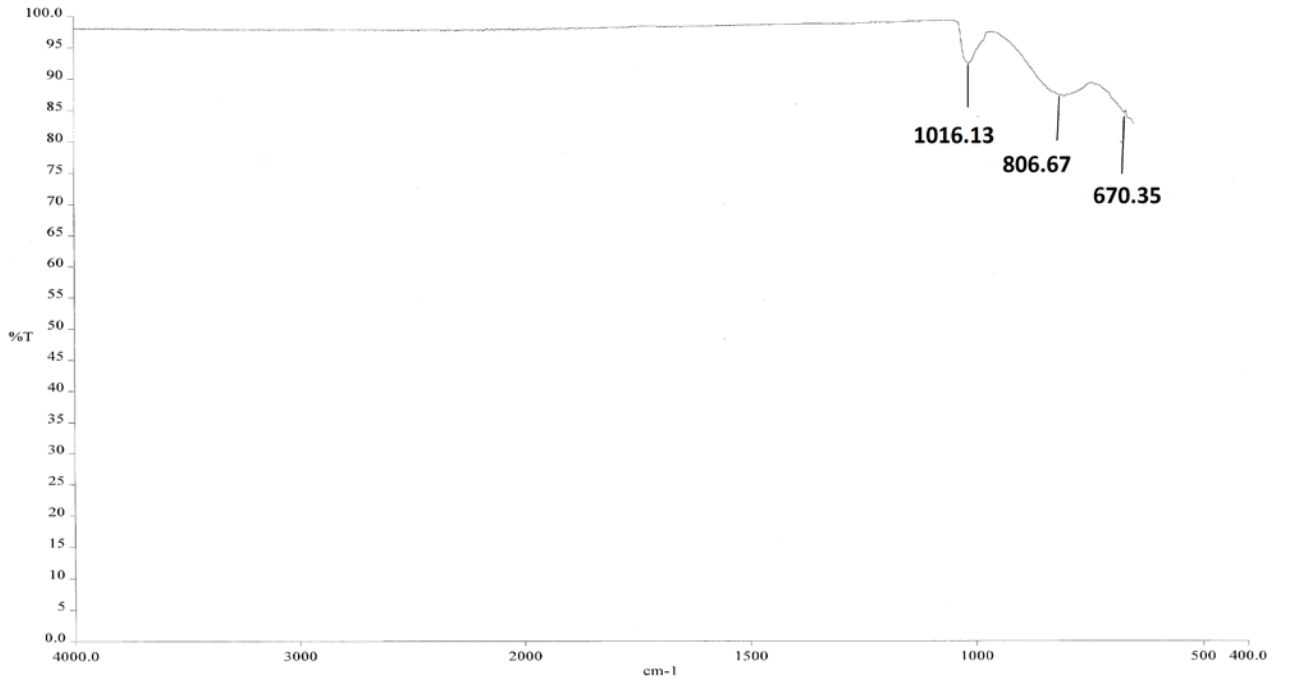
Analiz sonucunda gözlenen Si elementi saat camı üzerinde kurutulan tozların toplanması sırasında yapılan kazıma işlemi nedeniyle toz numune içerisine karışan cam partiküllerinden kaynaklanabilir. Mg elementinin gözlemlenmesi ise kullanılan cam malzemelerin tam olarak temizlenememesi sonucu ya da maddenin havanda toz haline getirilmesi sırasında toz numune içerisine karışan kirlilikten kaynaklanabilir.

#### 4.4.1.5 FT-IR Analizleri

Sentezlenen tozların mevcut kimyasal bağlarını tespit etmek amacı ile Perkin Elmer marka Spectrum One FT-IR Spectrometer cihazı kullanılmıştır. FT-IR Spektroskopi cihazı ile tarama sayısı 4, çözünürlüğü  $4 \text{ cm}^{-1}$  olan IR spektrumları elde edilmiştir. IR spektrumları ( $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$ ) için FT-IR cihazının safir kristali taşıyan ve iç yansıtma sağlayan düzlemsel olarak azaltılmış toplam yansıtma aksesuarı (ATR) kullanılmıştır.  $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında IR spektrumları çekilmiştir. Elde edilen tozların şekil 3.29 ve şekil 3.30 da ki FTIR spektrumlarında  $675.26 \text{ cm}^{-1}$  ve  $670.35 \text{ cm}^{-1}$  civarında gözlenen pikler asimetric V-O-V gerilimini,  $805.52 \text{ cm}^{-1}$  ve  $806.67 \text{ cm}^{-1}$  de gözlenen pikler simetric V-O-V gerilimini,  $1016.47 \text{ cm}^{-1}$  ve  $1016.13 \text{ cm}^{-1}$  de gözlenen pikler V=O titreşimlerini tanımlamaktadır.



Şekil 3.29 16 numaralı toz vanadyum pentaoksit numunesinin FT-IR(ATR) spektrumu



Şekil 3.30 17 numaralı toz vanadyum pentaoksit numunesinin FTIR(ATR) spektrumu

**KARIŞIMLARIN HAZIRLANMASI, DARBE HASSASİYETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ****5.1 Karışımların Hazırlanması**

Karışımların hazırlanması işlemleri çalışılan maddelerin patlama riskinin azaltılması amacıyla inert gaz olan azot gazı ile doldurulmuş Glove-Box içerisinde gerçekleştirilmiştir. Karışımların hazırlanmasında kullanacağımız maddeler öncelikle Glove-Box'ın malzeme tepsisine yerleştirilir. Glove-Box'un içerisindeki hava vakum pompası kullanılarak tamamen boşaltılır ve Glove-Box'ın içerisi azot gazı ile tamamen doldurulur. Bu işlem 3 kez tekrarlandıktan sonra karışımların hazırlanması için tartım işlemlerine başlanabilir.

Maddelerin karıştırılma sırası erime noktalarına bağlı olarak seçildi ve ilk olarak diğer maddelere göre düşük erime noktasına sahip TNT (erime noktası: 80,7-81<sup>0</sup>C) test tüpü(eppendorf tüpü) içerisinde eritildi. Daha sonra ise düşük erime noktasına sahip olmayan bir başka madde test tüpü içerisindeki sıvı TNT ile karıştırıldı. Sıralama mantığı genel olarak; düşük erime noktasına sahip bir madde ile düşük erime noktasına sahip olmayan bir madde karıştırılır.

İlk olarak TNT test tüpünde tartılarak thermomixer de 92°C'ye kadar ısıtılır ve eritilir. Eriyen TNT içerisine sırasıyla nano V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve tanecik boyutu 325 mesh olan alüminyum tozu belirlediğimiz miktarlarda ilave edilir. Karışımın ısıtıcılı karıştırıcı (thermomixer) da tekrar eriyerek karışması sağlanır. Daha sonra indramic- 800 wax belirli miktarda ilave edilerek thermomixer de karıştırmaya devam edilir. Indramic-800'ün eklenmesinden sonra son olarak NTO karışıma eklenmiştir.

Karışımlar hazırlandıktan sonra eppendorf tüpü soğutucu kabına alınarak eriyiğin oda sıcaklığında donması sağlanır. Donmuş olan karışım eppendorf tüpünden çıkarılarak mermer havanda toz haline getirilir. Böylece istenen miktarda karışım hazırlamak için birden fazla deneme yapıp, toz haline getirildikten sonra ayrı bir şişede toplanır.

Çizelge 4.1: Karışımların hazırlanması sırasında kullanılan maddelerin sıralaması, sıcaklık değerleri, karıştırma hızı ve karıştırma süresi

Kullanılan Madde	Sıcaklık ( <sup>0</sup> C)	Karıştırma Hızı(rpm)	Zaman(dk)
1.TNT	92	1000	~2 (Eriyinceye kadar)
2.V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	97	1400	10
3.Al	97	1400	10
4.Wax(Indramic 800)	97	1000	10
5.NTO	97	1400	30

## 5.2 Darbe Hassasiyetinin Ölçülmesi

Darbe hassasiyeti testi NATO askeri standart anlaşmalarından Stanag 4489 başlığı altında anlatılmaktadır. Ülkemizde NATO standartlarına uygun analiz yapabilecek imkanlara sahip, akredite olmuş tek laboratuvar TÜBİTAK-SAGE' de yer almaktadır. Yıldız Teknik üniversitesi bünyesinde hazırlanan karışımlar darbe hassasiyeti ölçümü için TÜBİTAK-SAGE' ye gönderilmiştir. Elde edilen sonuçlarla ilgili bazı tanımlar ve testin uygulanışı şu şekildedir:

**%50 Noktası:** Enerjik malzemenin %50 olasılıkla pozitif reaksiyon verdiği enerji noktası.  
**Pozitif Reaksiyon:** Enerjik malzemeye darbe uygulandığında patlama, alev, duman ya da çelik parçalarda reaksiyona bağlı kalıntı görülmesi durumu. Numune test sonrasında gözlemlendiğinde numunede bir renk değişimi var ve numune üzerinde boşluklar varsa bu durumu da reaksiyon pozitifdir.

Negatif Reaksiyon: Enerjik malzemeye darbe uygulandığında malzemenin herhangi bir kimyasal değişim göstermemesi durumu. Numune test sonrasında gözlemlendiğinde numunede bir renk değişimi yok fakat numune üzerinde boşluklar varsa bu durumda reaksiyon negatiftir. Renk değişimi olup olmadığı konusunda bir endişe duyulduğu takdirde sonuç negatif reaksiyon olarak tanımlanır.

Logaritmik Aralık: Birbirini izleyen iki düşürme yüksekliğinin ayrı ayrı logaritmaları hesaplandığında iki logaritmik değer arasındaki fark.

Rulman Silindiri: Darbe hassasiyeti testinde kullanılan ve rulman zarfının içine giren silindirik çelik parça.

Rulman Zarfı: Darbe hassasiyeti testinde kullanılan ve rulman silindirine yataklık yapan çelik parça. Referans Belge: Stanag 4489 Ed. 1 Annex-C (BAM Darbe Hassasiyeti Test Cihazı).

Hazırladığımız karışım numunelerine sırasıyla uygulama yapılmıştır. Testin başlanacağı orta noktanın bulunması için 4 adet onar setlik deneme yapılır. Sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir. *Numune 1 için darbe hassasiyeti testine başlanmadan önce, testin başlanacağı orta noktanın bulunması 5 kg düşürme ağırlığı kullanılmış ve orta nokta bulunmuştur.*

Çizelge 4.2 BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 1)

Deneme -1										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7										
50,1										
56,2						o				
63,1					x		o			
70,8				x				o		x
79,4	o		x						x	
89,1		x								
100										

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

Çizelge 4.2 (devam) BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 1)

Deneme -2										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7										
50,1										
56,2										
63,1										o
70,8	o								x	
79,4		o		o				x		
89,1			x		o		x			
100						x				
Deneme -3										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7										o
50,1									x	
56,2								x		
63,1							x			
70,8		o				x				
79,4	x		o		x					
89,1				x						
100										
Deneme -4										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7										
50,1									o	
56,2								x		o
63,1	o						x			
70,8		o		o		x				
79,4			x		x					
89,1										
100										

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

Denemeler sonunda orta nokta 63,1 cm olarak bulunmuş ve bu noktadan başlanarak 30 adet atış gerçekleştirilmiştir. Bruceton yöntemiyle elde edilen test sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Çizelge 4.3 Bruceton metodu ile darbe hassasiyeti test sonuçları(Numune 1)

H <sub>50</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
44,7																														
50,1					o		o														o		o							
56,2		o		x		x		o					o							x		x		o						x
63,1	x		x						o				x		o					x					o		o		x	
70,8										o		x				o											x		x	
79,4											x																			
89,1																														
100																														

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

30 deneme sonunda elde edilen veriler değerlendirilerek standart sapma ve orta noktanın bulunmasında kullanılacak olan A ( $\sum in_i$ ) ve B ( $\sum i^2n_i$ ) değerleri hesaplanmıştır. Bruceton hesap tablosu aşağıdaki tabloda verilmiştir. A:18, B:38, N:14, C:1,7 olarak bulunmuştur. Logaritmik aralık (D): 0,05 sabit değeri kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 1)

Uygulanan yükseklik, cm	X sayısı (pozitif reaksiyon)	O sayısı (negatif reaksiyon)	i	in	i <sup>2</sup> n
50,1	0	4	0	0	0
56,2	5	4	1	4	4
63,1	5	4	2	8	16
70,8	4	2	3	6	18
79,4	2	0	4	0	0
<b>Toplam</b>	<b>16</b>	<b>14</b>		<b>18</b>	<b>38</b>
				<b>A</b>	<b>B</b>

i: Kullanılan düşürme yüksekliği sıralaması ( i=0 ile başlar), N: Pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı, n: Belirli bir düşürme yüksekliğindeki pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı.

$M=C+D [A/N + 1/2]$  ve  $S=1,629 D [((NB-A2)/N2)+0,029]$  formüllerinde kullanılarak %50 pozitif reaksiyon görülen ortalama düşürme yüksekliği logaritması (M) ve standart sapma (S) hesaplanmıştır.

M, ( $H_{50}$ )=61,6 cm (30,8 J), S (Standart sapma)=1,2 cm (0,6 J), S/D=1.77

1 numaralı numuneye ait hesaplanan S/D değeri STANAG 4489 Ed. 1'de belirtilen  $0.5 \leq S/D \leq 2.0$  kriterini sağlamaktadır.

*Numune 2 için darbe hassasiyeti testine başlanmadan önce, testin başlanacağı orta nokta 5 kg düşürme ağırlığı ile bulunmuştur.*

Çizelge 4.5 BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 2)

Deneme -1										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7								0		
50,1			0		0		X		0	
56,2		X		X		X				0
63,1	X									
70,8										
79,4										
89,1										
100										
Deneme -2										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7										
50,1										
56,2	0		0		0				0	
63,1		X		X		0		X		X
70,8							X			
79,4										
89,1										
100										

Deneme -3										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7										
50,1										
56,2										
63,1	o		o		o					
70,8		x		x		o				x
79,4							o		x	
89,1								x		
100										
Deneme -4										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44,7										
50,1										
56,2										
63,1	o		o		o		o			
70,8		x		x		x		o		x
79,4									x	
89,1										
100										

Çizelge 4.5 (devam) BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 2)

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

Denemeler sonunda orta nokta 70,8 cm olarak bulunmuş ve bu noktadan başlanarak 30 adet atış gerçekleştirilmiştir. Bruceton yöntemiyle elde edilen test sonuçları Çizelge 4.6' da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Bruceton metodu ile darbe hassasiyeti test sonuçları(Numune 2)

H <sub>50</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
44,7																														
50,1																														
56,2					o		o																							
63,1			x		x		o					o																		
70,8	o		x						o		o		x		o						o		o							
79,4		x								x		x			o		o		x		x		o		o		o		x	
89,1																	x		x						x		x		x	
100																														

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

30 deneme sonunda elde edilen veriler değerlendirilerek standart sapma ve orta noktanın bulunmasında kullanılacak olan A ve B değerleri hesaplanmıştır. Bruceton hesap tablosu aşağıdaki tabloda verilmiştir. A:44, B:144, N:15, C:1,75 olarak bulunmuştur. Logaritmik aralık (D): 0,05 sabit değeri kullanılmıştır.

Çizelge 4.7 Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 2)

Uygulanan yükseklik, cm	X sayısı (pozitif reaksiyon)	O sayısı (negatif reaksiyon)	i	$i_n$	$i^2n$
56,2	0	2	0	0	0
63,1	2	2	1	2	2
70,8	2	6	2	4	8
79,4	6	5	3	18	54
89,1	5	0	4	20	80
<b>Toplam</b>				<b>44</b>	<b>144</b>
				<b>A</b>	<b>B</b>

i: Kullanılan düşürme yüksekliği sıralaması ( i=0 ile başlar), N: Pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı, n: Belirli bir düşürme yüksekliğindeki pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı.

$M=C+D [A/N -1/2]$  ve  $S=1,620 D [((NB-A2)/N2)+0,029]$  formüllerinde kullanılarak %50 pozitif reaksiyon görülen ortalama düşürme yüksekliği logaritması (M) ve standart sapma (S) hesaplanmıştır.

M, ( $H_{50}$ )=74,4 cm (37,2 J), S (Standart sapma)=1,2 cm (0,6 J), S/D=1.66

2 numaralı numuneye ait hesaplanan S/D değeri STANAG 4489 Ed. 1’de belirtilen  $0.5 \leq S/D \leq 2.0$  kriterini sağlamaktadır.

*Numune 2A için darbe hassasiyeti testine başlanmadan önce, testin başlanacağı orta noktanın bulunması için 10 kg ile denemelere başlanmış, ancak 10 kg ile yapılan*

çalışmalar numunenin bu ağırlıkta yüksek hassasiyet göstermesi sebebiyle sonlandırılmıştır ve 5 kg ile orta nokta bulunmuştur.

Çizelge 4.8 BAM darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi (Numune 2A)

Deneme -1 (10 kg ile)										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28,2										
31,6							0		x	
35,5				0		x		x		
39,8			x		x					
44,7		x								
50,1	x									
56,2										
Deneme -2 (10 kg ile)										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25,1						0				
28,2					x					
31,6		0		x						
35,5	x		x							
39,8										
44,7										
50,1										
56,2										
Deneme -3 (5 kg ile)										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31,6										
35,5										
39,8										
44,7		0								0
50,1	x		0		0		0		x	
56,2				x		x		x		
63,1										

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

Deneme sonunda orta nokta 50,1 cm olarak bulunmuş ve bu noktadan başlanarak 30 adet atış gerçekleştirilmiştir. Bruceton yöntemiyle elde edilen test sonuçları çizelge 4.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Bruceton metodu ile darbe hassasiyeti test sonuçları(Numune 2A)

H50, cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
28,2																														
31,6																														
35,5																														
39,8							0																							
44,7		0			x		0	0			0														0	0	0	0		
50,1	x	0	x				x	0	x	0		x	0			0		0					x		x	x	x			
56,2			x								x			0	x		0	0		0	0	x								
63,1																	x			x	x									
70,8																														

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

30 deneme sonunda elde edilen veriler değerlendirilerek standart sapma ve orta noktanın bulunmasında kullanılacak olan A ve B değerleri hesaplanmıştır. Bruceton hesap tablosu aşağıda Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. A:24, B:50, N:15, C:1,6 olarak bulunmuştur. Logaritmik aralık (D): 0,05 sabit değeri kullanılmıştır.

Çizelge 4.10 Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 2A)

Uygulanan yükseklik, cm	x sayısı (pozitif reaksiyon)	o sayısı (negatif reaksiyon)	i	in	i <sup>2</sup> n
39,8	0	1	0	0	0
44,7	1	7	1	7	7
50,1	7	4	2	8	16
56,2	4	3	3	9	27
63,1	3	0	4	0	0
Toplam	15	15		24	50
				A	B

i: Kullanılan düşürme yüksekliği sıralaması ( i=0 ile başlar), N: Pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı, n: Belirli bir düşürme yüksekliğindeki pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı.

Elde edilen veriler  $M=C+D [A/N -1/2]$  ve  $S=1,620 D [((NB-A^2)/N^2)+0,029]$  formüllerinde kullanılarak %50pozitif reaksiyon görülen ortalama düşürme yüksekliği logaritması (M) ve standart sapma (S) hesaplanmıştır.

M, (H<sub>50</sub>)=50,7 cm (25,3 J), S (Standart sapma)=1,2 cm (0,6 J), S/D=1.30

2A numaralı numuneye ait hesaplanan S/D değeri STANAG 4489 Ed. 1'de belirtilen  $0.5 \leq S/D \leq 2.0$  kriterini sağlamaktadır.

Numune 2H için testin başlanacağı orta noktanın bulunması 10 kg düşürme ağırlığı ile yapılmıştır.

Çizelge 4.11. BAM Darbe hassasiyeti başlangıç noktası belirlenmesi(Numune 2H)

Deneme -1 (10 kg ile)										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28,2										
31,6	0		0		0					
35,5		X		X		0				
39,8							0			
44,7								0		0
50,1									X	
56,2										
Deneme -2 (10 kg ile)										
H(cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31,6										
35,5				0						
39,8	0		X		0				0	
44,7		X				0		X		X
50,1							X			
56,2										
63,1										
70,8										

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

Deneme sonunda orta nokta 39,8 cm olarak bulunmuş ve bu noktadan başlanarak 30 adet atış gerçekleştirilmiştir. Bruceton yöntemiyle elde edilen test sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Bruceton metodu test sonuçları(Numune 2H)

H50, cm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
28,2																														
31,6																														
35,5				o								o								o		o								o
39,8	o		x		o				o		x		o						x		x		o		o				x	
44,7		x			o		x		x				o		o		x						x		o		x			
50,1							x								x		x										x			
56,2																														
63,1																														
70,8																														

(x: Pozitif reaksiyon, o: Negatif reaksiyon)

30 deneme sonunda elde edilen veriler değerlendirilerek standart sapma ve orta noktanın bulunmasında kullanılacak olan A ve B değerleri hesaplanmıştır. Bruceton hesap tablosu aşağıda Çizelge 4.13’de verilmiştir. A:14, B:22 ,N:15, C:1,55 olarak bulunmuştur. Logaritmik aralık (D): 0,05 sabit değeri kullanılmıştır.

Çizelge 4.13 Bruceton metodu hesap tablosu (Numune 2H)

Uygulanan yükseklik, cm	x sayısı (pozitif reaksiyon)	o sayısı (negatif reaksiyon)	i	in	i <sup>2</sup> n
35,5	0	5	0	0	0
39,8	5	6	1	6	6
44,7	6	4	2	8	16
50,1	4	0	3	0	0
Toplam	15	15		14	22
				<b>A</b>	<b>B</b>

i: Kullanılan düşürme yüksekliği sıralaması ( i=0 ile başlar), N: Pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı, n: Belirli bir düşürme yüksekliğindeki pozitif ya da negatif reaksiyonların toplam sayısı.



$M = C+D [ A/N + 1/2]$  ve  $S= 1,620 D [((NB-A^2)/N^2)+0,029]$  formüllerinde kullanılarak %50 pozitif reaksiyon görülen ortalama düşürme yüksekliği logaritması (M) ve standart sapma (S) hesaplanmıştır.

$M,(H_{50})=41,8 \text{ cm (41,8 J)}$ ,  $S \text{ (Standart sapma)}=1,1 \text{ cm (1,1 J)}$ ,  $S/D=1.01$

Numune 2H için hesaplanan S/D oranı STANAG 4489 ED.1'de belirtilen  $0,5 \leq S/D \leq 2.0$  kriterini sağlamaktadır.

STANAG, NATO üyesi ülkelerin birlik içerisindeki faaliyetlerinin standartlaştırılması için oluşturulmuş bir antlaşmadır. Birlik içerisindeki ülkelerin askeri birimlerinde kullanılan patlayıcı maddelerin patlayıcı özelliklerinin belirlenen standartlarda ölçülmesi ve gerekli test araçlarının oluşturulması için çeşitli STANAG yönergeleri bulunmaktadır. STANAG 4487 patlayıcı maddelerin sürtünme hassasiyetlerinin, STANAG 4489 darbe hassasiyetlerinin, STANAG 4490 elektrostatik boşalım hassasiyetinin ölçülmesi için gerekli test süreçlerini ve test araçlarını tanımlamaktadır.

STANAG 4489 da patlayıcı maddelerin darbe hassasiyetlerinin ölçülebilmesi için 3 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar:

- A. ERL/Bruceton Testi,
- B. Rotter Darbe Testi,
- C. BAM Darbe Testi.

Uygulanan testlerin ortak noktası STANAG da yer alan darbe testlerinde belirtilen miktardaki örnek patlayıcı madde üzerine çeşitli yüksekliklerden bırakılan ağırlıkların uygulamış olduğu enerjinin ( $J=h*kg*m/s^2$ ) patlayıcı madde de herhangi bir etkiye neden olup olmadığı gözlemlenir.

%50 pozitif reaksiyonun (ses, duman, kıvılcım) görüldüğü düşme yüksekliği (metre) kaydedilir ve  $M = C+D [ A/N + 1/2]$  ve  $S= 1,620 D [((NB-A^2)/N^2)+0,029]$  formüllerinde kullanılarak %50 pozitif reaksiyon görülen ortalama düşürme yüksekliği logaritması (M) ve enerjisi hesaplanır. Elde edilen sonuçlar Joule cinsinden örneğe ait %50 pozitif reaksiyona neden olan darbe enerjisi ( $E_{50}$ ) ve standart sapmayı (S) ifade etmektedir.

Saf TNT için bu değer tipik olarak 30 Joule'dur. Hazırlanan numuneler ile darbeye karşı duyarlılık konusunda saf TNT'den daha üstün bir patlayıcı karışım elde edildiği kesindir. Çizelge 4.14'de TÜBİTAK-SAGE tarafından STANAG 44889/Yöntem C'ye göre hazırladığımız karışımlar ve BARUTSAN TNT'si için uygulanan darbe hassasiyeti sonuçları ve saf TNT için literatürde var olan darbe hassasiyeti sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 4.14 Hazırlanan karışımların, BARUTSAN TNT'si ve saf TNT'nin darbe hassasiyeti test sonuçları

Numune No	Düşürme Ağırlığı (kg)	H <sub>50</sub> Noktası (cm)	%50 Noktası Enerjisi (J)	S/D
1	5	61,6	30,8	1,70
2	5	74,4	37,2	1,66
2H	10	41,8	41,8	1,01
2A	5	50,7	25,3	1,30
Barutsan TNT	10	41,5	41,5	1,53
Saf TNT (Literatür)	5	30	15	

Hazırladığımız karışımların darbe hassasiyeti sonuçlarını incelediğimizde en duyarsız karışım 2H olarak gözükmemektedir. Nano vanadyum pentaoksit kullanılarak hazırladığımız karışımın darbe hassasiyeti diğer karışımlara göre daha fazladır. Vanadyum pentaoksit oksijen taşıyıcı özelliği gösterdiğinden dolayı karışım içerisinde artan oksijen dengesi yanmayı ve dolayısı ile patlamayı hızlandırmaktadır.

Günümüzde her alanda gerçekleşen teknolojik ilerleme yeni nesil askeri mühimmat geliştirilmesi alanında da kendisini göstermekte ve kullanılmakta olan askeri patlayıcı maddelerin daha güvenli ve etkili hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada TNT'nin nano vanadyum pentaoksit ve diğer katkı maddeleri ile hazırlanan karışımları hazırlanmış ve bu karışımların darbe hassasiyetleri ölçülmüştür. Laboratuvar ölçeğinde elde edilen veriler ışığında mevcut duyarlı patlatıcıların yerini hazırlanacak yeni nesil duyarsız patlayıcılar alacaktır.

- [1] Ayers, A.J. ve Beaumont, A.L., (1993). Defence Instruction (General) LOG 07-10.
- [2] Wikipedia, Explosive material, [http://en.wikipedia.org/wiki/Explosive\\_material](http://en.wikipedia.org/wiki/Explosive_material), (10/2012)
- [3] Akhavan, J., (1998). The Chemistry of Explosives, The Royal Society of Chemistry, 16-17
- [4] Walter B. Sudweeks, Felix F. Chen ve Michael D. McPherson, (2003). Chemical Explosives and Rocket Propellants, Riegel's Handbook of Industrial Chemistry, 10<sup>th</sup> ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York
- [5] Akhavan, J., (1998). The Chemistry of Explosives, The Royal Society of Chemistry, 8-9
- [6] Akhavan, J., (1998). The Chemistry of Explosives, The Royal Society of Chemistry, 114-115,
- [7] Fordham, S., (1980) High Explosives and Propellants, 2<sup>nd</sup> ed., Pergamon Press Ltd., Oxford, 30
- [8] Fordham, S., (1980). High Explosives and Propellants, 2<sup>nd</sup> ed., Pergamon Press Ltd., Oxford, 31
- [9] Akhavan, J., (1998). The Chemistry of Explosives, The Royal Society of Chemistry, 115
- [10] Spear, R.J., Louey, C.N. ve Wolfson, M.G, (1989). A Preliminary Assesment of NTO as an Insensitive High Explosive, MRL-TR-8918, Material Research Laboratory, Melbourne, Australia
- [11] Kamlet, M.J. ve Jacobs, S.J., (1968). "Chemistry of Detonations. A Simple Method for Calculating Detonation Properties of C-H-N-O Explosives", Journal of Chemical Physics, 48(1): 23-35

- [12] Lee, K.-Y., Chapman, L.B. ve Coburn, M.D., (1987). 3-nitro-1,2,4-triazole-5-one, A Less Sensitive Explosive, *Journal of Energetic Materials*, 5:27-33
- [13] Qian, L. Ve Hinestroza, J.P., (2004). Application of Nanotechnology for High Performance Textiles. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4(1):1-7,
- [14] Barnard, P.W., Fouche, F.C. ve Bezuidenhout, H.C., (1997). Less Sensitive TNT Based Formulations, *Australasian Explosive Ordnance Symposium (Parari '97)*, 3rd, Canberra, Australia
- [15] Fouche, F.C. ve van Schalkwyk, G.C., (1996). TNT-Based Insensitive Munitions, *International Conference of ICT, 27th*, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 25- 28th June, Fraunhofer-Institut Fur Chemische Technologie, Berghausen, Bundesrepublik Deutschland, 69(1)- 69(12)
- [16] Doherty, R.M. ve Simpson, R.L., (1997). A Comparative Evaluation of Several Insensitive High Explosives, *International Conference of ICT, 28th*, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 24-27th June, Fraunhofer-Institut Fur Chemische Technologie, Berghausen, Bundesrepublik Deutschland, 32 (1)- 32(23)
- [17] Dobratz, B.M., (1981). *LLNL Explosives Handbook. Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants*, Lawrence Livermore National Laboratory, California, USA
- [18] Graham, K.J., Williams, E.M., Lynch, R.D., Floyd, T.G. ve Struck, S.R., (1994). Reducing the Sensitivity of High-Performance Warhead Fills, *Insensitive Munitions Technology Symposium, Meeting #471*, Virginia, USA, 6-9th June, American Defense Preparedness Association, 541-563
- [19] Chapman, L.B., (1989). NTO Development at Los Alamos, *International Symposium on Detonation, 9th, Vol I*, Oregon, USA, 28th August-1st September, 401-405
- [20] Gimenez, P., Chabin, P., Mala, J. ve Spycerelle, C, (1993). An Extensive Experimental Study of Pressed NTO, *International Detonation Symposium, 10th*, Massachusetts, USA, 12-16th July, Office of Naval Research, Virginia, USA, 276-283
- [21] Becuwe, A. ve Delclos, A., (1993). "Low-Sensitivity Explosive Compounds for Low Vulnerability Warheads", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 18: 1-10

- [22] Çıracı S, Özbay E, Gülseren O, Demir HV, Bayındır M, Oral A, Senger T, Aydınlı A ve Dana A., (2005). Türkiye’de Nanoteknoloji. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Ağustos sayısı
- [23] Roco MC., (2007). National Nanotechnology Initiative: Past, Present, Future, In: Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology, Goddard III WA, Brenner DW, Lyshevski SE, Iafate GJ. Taylor & Francis, USA, (3):1-21
- [24] Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri Vizyon 2023 Projesi, (2004). Nanoteknoloji Strateji Grubu, TÜBİTAK, Ankara, 4
- [25] Qian, L., Hinesroza, J.P., (2004). Application of Nanotechnology for High Performance Textiles. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4(1):1-7
- [26] Willems and van der Willenberg (W & W), (2005). NRM Nanoroadmap Project: Roadmap Report on Nanoparticles
- [27] Foresight Institute, A Short History of Nanotechnology, [www.foresight.org/nano/history.html](http://www.foresight.org/nano/history.html), (8 Mayıs 2009).
- [28] Advanced Manufacturing Portal, Manufacturing The Future, [www.manufacturing.gov/pdf/NSTCIWGMFGRD\\_March2008\\_Report.pdf](http://www.manufacturing.gov/pdf/NSTCIWGMFGRD_March2008_Report.pdf), (20 Mayıs 2009).
- [29] Feynman, R. P., (1959). There is Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics
- [30] Sharifzadeh, M., (2006) Nanotechnology Sector Report, Cronus Capital Markets, 1st Quarter
- [31] Drexler, K.E., (2006). Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation, ISBN 0-471-57518-6
- [32] [www.nano-teknoloji.info](http://www.nano-teknoloji.info), (2007).
- [33] Luther, W., (2004). International Strategy and Foresight Report on Nanoscience And Nanotechnology
- [34] European Commission: Future Needs and Challenges for Materials and Nanotechnology Research, (2001). Report of the DGRTD/3 European Commission
- [35] Wagner, V., Wechsler, D., (2004). Nanobiotechnology II, Technology Analysis, (50)

- [36] BBC, Biomedical Application of Nanoscale Devices: Commercial Opportunities, Conference Proceedings, (2003). Nanotech and Biotech Convergence, Business Communication Corporation
- [37] Roco, M., (2002). Converging Technologies for Improving Human Performance, , National Science Foundation Report
- [38] Schmidt H., (1988). "Chemistry of Material Preparation by the Sol-Gel Process", Journal of Non-Crystalline Solids, 100: 51-64
- [39] Uhlmann D.R., Suratwala T., Davidson K., Boulton J.M., ve Teowee G., (1997) "Sol-Gel Derived Coatings on Glass", Journal of Non-Crystalline Solids, 218:113-122
- [40] Prandtl W., Hess L., (1913). Z Anorgan Chem 82:103
- [41] Hasan, K., Y., (2013). TNT'nin Değişik Oranlarda NTO ile Karışımlarının Hazırlanması ve Değerlendirilmesi, 38-47

**KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** : Arif HIŞIR  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 11.02.1987 / İstanbul  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : arifhsr@hotmail.com

**ÖĞRENİM DURUMU**

<b>Derece</b>	<b>Alan</b>	<b>Okul/Üniversite</b>	<b>Mezuniyet Yılı</b>
Y.Lisans	Anorganik Kimya	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lisans	Kimya	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2010
Lise	Fen	Ümraniye Lisesi	2004