

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE
KULLANILMAK ÜZERE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ
İYİLEŞTİRİLMİŞ NİTRAT BAZLI TUZ ERİYİK/NANOĞÖZENEKLİ
ALUMİNA MEMBRAN KOMPOZİT YAPILARIN TASARLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Göktürk YAZLAK

Mikro ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hatice DURAN DURMUŞ

NİSAN 2020



Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.



Prof. Dr. Nurdan DEMİRCİ SANKIR
Ana Bilim Dalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 161611025 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa Göktürk YAZLAK**'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE KULLANILMAK ÜZERE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İYİLEŞTİRİLMİŞ NİTRAT BAZLI TUZ ERİYİK/NANOGÖZENEKLİ ALUMİNA MEMBRAN KOMPOZİT YAPILARIN TASARLANMASI**” başlıklı tezi **21/04/2020** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hatice DURAN DURMUŞ

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi. İlke ANAÇ (Başkan)

Gebze Teknik Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Aydan YELTİK

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.



Mustafa Göktürk Yazlak

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE KULLANILMAK ÜZERE TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ İYİLEŞTİRİLMİŞ NİTRAT BAZLI TUZ ERİYİK/NANOĞÖZENEKLİ ALUMİNA MEMBRAN KOMPOZİT YAPILARIN TASARLANMASI

Mustafa Göktürk Yazlak

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mikro ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hatice Duran Durmuş

Tarih: Nisan 2020

Çevre bilincinin gelişmesi ve mevcut enerji teknolojilerinin optimizasyonu o kadar önemli hale geldi ki tuz eriyiklerin benzersiz fizikokimyasal özelliklerinden dolayı hem ısı transfer ajanı (ITA) hem de termal enerji depolama (TED) akışkanı olarak çok çeşitli uygulamalar için kullanımları tekrar gündeme gelmiştir. Çünkü, tuz eriyikler ve bunların karışımları, düşük viskozite, düşük buhar basıncı, düşük maliyet, yüksek kimyasal kararlılık ve çevre dostu olmaları gibi önemli avantajlarından dolayı bir endüstriyel akışkan için istenilen tüm özelliklere sahiptirler. Günümüzde bu eriyikler çalışma sıvısı olarak nükleer enerji santralleri, kimya endüstrisi, petrol rafinerileri ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (YGE) santralleri gibi birbirinden çok farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm bu uygulamalarda, kullanılan tuz karışımı türü ve oranları kullanım alanlarına göre seçilmektedir. Uygun bir ITA ve TED malzemesinin seçilmesi, güneş ışını alıcısının, termal depolama tanklarının ve ısı değiştiricilerinin maliyetini en aza indirmek ve yüksek termodinamik verimlilik elde

etmek için önemlidir. Mevcut erimiş tuz ITA'ları yüksek erime noktalarına ($> 200^{\circ}\text{C}$) sahiptir ve 600°C 'nin üzerinde bozunmaya başlar. Bu uygulamadaki ana sorun, tuz eriyiklerin akşamları veya kış aylarında kolayca donabilmesi ve bu durumda boru hattını tıkayarak çalışma koşullarını zorlaştırmasıdır. Bu nedenle, daha düşük bir erime noktasına ve daha yüksek bir termal stabiliteye sahip ucuz tuz eriyik bileşimlerinin geliştirilmesi, YGE santrallerinin hem termodinamik veriminin arttırılmasında hem de çalışma koşullarının iyileştirilmesinde önemlidir. Bu tez çalışmasında düşük erime noktası ($< 200^{\circ}\text{C}$) ve yüksek termal iletkenlik elde etmek için yeni bir nanoyapılı tuz eriyik tasarlanmıştır. Farklı gözenek büyüklüğüne (25 ile 400 nm arasında) sahip anodik alümina oksidin (AAO) içerisine yerleştirilmiş potasyum nitrat (KNO_3), sodyum nitrat (NaNO_3) ve bunların ötektik karışımlarının (Solar Tuz, kütlece 60% NaNO_3 - 40% KNO_3) termal ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan AAO/tuz kompozit yapının termal karakterizasyonu diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termal özellikler analizörü (TPS) ile yapısal karakterizasyonu ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile incelenmiştir. DSC ile yapılan karakterizasyonda, AAO porlarına sıkıştırılan KNO_3 , NaNO_3 ve ötektik karışımın erime sıcaklıklarında ani bir düşüş gözlemlenmiştir. DSC sonuçlarına göre AAO/ KNO_3 ve AAO/Solar Tuz kompozit yapısında por çapına bağlı sistematik bir düşüş gözlemlenmemiştir ancak AAO/ NaNO_3 kompozit yapısında por çapı arttıkça erime sıcaklığının daha fazla düştüğü gözlemlenmiştir. En fazla erime sıcaklığı düşüşünün 173°C ile 400nm por çapına sahip AAO/ KNO_3 kompozit yapıda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yapılan TPS ölçümlerine göre bütün kompozit yapılarda belirgin bir termal iletkenli artışı görülmektedir. Bu artışın yine AAO/ KNO_3 ve AAO/Solar Tuz kompozit yapılarında sistematik olmadığı ancak AAO/ NaNO_3 kompozit yapıda sistematik olduğu gözlemlenmiştir. En fazla termal iletkenlik artışı %78 ile 35nm por çapına sahip AAO/ KNO_3 kompozit yapısında görülmektedir. XRD analizi, KNO_3 'ün gözeneklerin uzunlamasına eksenine paralel yönlendirilmiş tek bir kristal yapı oluşturduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Tuz eriyik, Anodik alumina oksit, Erime sıcaklığı, Ötektik karışım

ABSTRACT

Master of Science

DESIGN OF NITRATE-BASED MOLTEN SALT/NANOPOROUS ALUMINUM MEMBRANE COMPOSITE STRUCTURES WITH IMPROVED THERMOPHYSICAL PROPERTIES FOR USE IN CONCENTRATED SOLAR TERMAL PLANTS

Mustafa Göktürk Yazlak

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Micro and Nanotechnology Science Programme

Supervisor: Assoc. Prof. Hatice Duran Durmuş

Date: April 2020

Due to the development of environmental awareness and optimization of existing energy technologies, the use of salt melts as a heat transfer agent (HTA) and thermal energy storage (TES) fluid has been brought up again for a wide variety of applications due to the unique physicochemical properties. Because, salt solutions and their mixtures have all the desired properties for an industrial fluid due to their important advantages such as low viscosity, low vapor pressure, low cost, high chemical stability and environmental friendliness. Today, these melts are widely used as working fluids in many different fields such as nuclear power plants¹, chemical industry², oil refineries³ and concentrated solar power (CSP) plants⁴. In all these applications, the salt mixture type and proportions are selected according to their usage areas. Choosing a suitable HTA and TES material is important to minimize the cost of solar receiver, thermal storage tanks and heat exchangers and achieve high thermodynamic

efficiency. Existing molten salt ITAs have high melting points ($> 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) and begin to decompose above $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. The main problem with this application is that salt melts can freeze easily in the evening or in the winter, and in this case, it obstructs the working conditions by blocking the pipeline. Therefore, the development of inexpensive salt melt compositions with a lower melting point and a higher thermal stability is important in both improving the thermodynamic efficiency of CSP plants and improving operating conditions. In this thesis, a new nanostructured salt solution was designed to achieve low melting point ($<200\text{ }^{\circ}\text{C}$) and high thermal conductivity. Thermal and structural of potassium nitrate (KNO_3), sodium nitrate (NaNO_3) and their eutectic mixtures (Solar Salt, 60% by weight NaNO_3 - 40% KNO_3) placed in anodic alumina oxide (AAO) with different pore sizes (between 25 and 400 nm). features are examined. Thermal characterization of the prepared AAO / salt composite structure was investigated by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal properties analyzer (TPS), and its structural characterization was examined by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). In characterization with DSC, a sudden drop in the melting temperatures of KNO_3 , NaNO_3 and eutectic mixture compressed into AAO pores was observed. According to DSC results, no systematic decrease in pore diameter was observed in AAO / KNO_3 and AAO / Solar Salt composite structure, but it was observed that melting temperature decreased more as pore diameter increased in AAO/ NaNO_3 composite structure. It has been observed that the maximum melting temperature decrease is $173\text{ }^{\circ}\text{C}$ in AAO / KNO_3 composite structure with pore diameter of 400nm. According to the TPS measurements, a significant increase in thermal conductivity is observed in all composite structures. It was observed that this increase was not systematic in AAO / KNO_3 and AAO / Solar Salt composite structures, but it was systematic in AAO / NaNO_3 composite structure. The highest thermal conductivity increase is seen in AAO / KNO_3 composite structure with pore diameter of 35nm. XRD analysis showed that KNO_3 forms a single crystal structure directed parallel to the longitudinal axis of the pores.

Keywords: Molten salts, Anodic alumina oxide, Melting temperature, Eutectic mixture

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma boyunca değerli yardım ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Hatice DURAN'a, tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Mikro ve Nanoteknoloji Bölümü öğretim üyelerine, bana burs sağlayan okulum TOBB ETÜ'ye, beni her zaman destekleyen anne ve babama ve laboratuvarında hiçbir zaman desteğini esirgemeyen sevgili arkadaşım Dr. Zehra Oluz'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmaya 118M582 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TUBİTAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
KISALTMALAR	xvi
SEMBOL LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tekli Tuz Eriyikleri.....	4
1.2 Tuz Eriyik Karışımları	7
1.2.1 Nanoparçacık katkılı tuz eriyik karışımları.....	10
1.3 Tuz Eriyik Karışımlarının Viskozite ve Yoğunlukları.....	12
1.4 Tuz Eriyik Karışımlarının Isı Kapasitesi	13
1.5 Tuz Eriyik Karışımların Faz Diyagramları	14
1.6 Alümina Membran Kompozit Yapıları	16
1.6.1 Alümina membran kompozit yapıların termal özellikleri.....	16
1.6.2 Alümina membran kompozit yapıların morfolojisi	20
1.7 Tuz Eriyiklerin Kristallenmesi.....	22
1.7.1 Homojen çekirdeklenme	24
1.7.2 Heterojen çekirdeklenme	25
1.7.3 Kristal büyümesi	26
2. GEREÇ VE YÖNTEM	27
2.1 Kullanılan Kimyasallar	27
2.2 Ötektik Karışımın Hazırlanması	27
2.3 Alümina Membranların Üretilmesi	27
2.4 Alümina Membranların Hazırlanması.....	29
2.5 Alümina Mebranlarının Yüzey Modifikasyonu	30
2.6 Tuzların Nanogözeneklerin İçerisine Yerleştirilmesi	30

2.6.1 Tuzların nanogözenekler içerisine eriyik halde yerleştirilmesi.....	31
2.6.2 Tuzların nanogözenekler içerisine sulu çözelti halinde yerleştirilmesi	31
2.6.3 Tuzların nanogözenekler içerisine kontrollü soğutularak yerleştirilmesi .	31
2.7 Alümina Membranından Alüminyum Altaşın Uzaklaştırılması	32
2.8 Karakterizasyon Yöntemleri	32
2.8.1 Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC).....	32
2.8.2 X-ışını kırınımı (XRD).....	33
2.8.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	33
2.8.4 Termal özellikler analizörü (TPS).....	33
3. BULGULAR	35
3.1 Tekli Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Erime Sıcaklığı Analizi	37
3.2 İkili Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Erime Sıcaklığı Analizi	40
3.3 Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Kristal Yapı Analizi	42
3.4 Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Morfolojik Analizi	44
3.5 Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Termal İletkenlik Sabiti Ölçümleri	45
4. SONUÇLAR	47
5. KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Isı Transfer Ajanı (ITA) olarak eriyik tuzların kullanıldığı bir güneş güç tesisindeki akış şemasının şematik diyagramı	2
Şekil 1.2: Termal yağ (Syltherm 800) ve tuz eriyiklerin (a) termal verimlilik analizi (b) ekserjetik verimlilik analizi	5
Şekil 1.3: Saf (a) KNO_3 ve (b) $NaNO_3$ tuzlarının erime sıcaklıkları ölçümleri.....	6
Şekil 1.4: Ötektik nitrat tuzu karışımının (Solar Tuz) $600^\circ C$ 'ye kadar sıcaklıklarda viskozite, yoğunluk, termal iletkenlik ve ısı kapasitesi deneysel değerleri	9
Şekil 1.5: Solar tuz içerisine kütlece %0.1 ile %1.5 arasında (a) CuO ve (b) TiO_2 eklenmesi ile elde edilen spesifik ısı kapasitesi (C_p) ölçümleri	11
Şekil 1.6: Spesifik ısı kapasitesinin farklı nanoparçacık boyutlarıyla değişimi	12
Şekil 1.7: $NaNO_3 - KNO_3$ ikili tuz karışımı faz diyagramı	15
Şekil 1.8: $KNO_3 - NaNO_3 - Ca(NO_3)_2$ üçlü tuz karışımının faz diyagramı	15
Şekil 1.9: 25nm ile 380nm arasında por çaplarına sahip AAO içerisine yerleştirilen IPP polimerinin (a) soğutma ve (b) ısıtma DSC ölçümleri	17
Şekil 1.10: AAO çapının bir fonksiyonu olarak AAO/P3HT kompozitinin termal iletkenlik (K) ve oryantasyon parametresi, Γ , grafiği.	19
Şekil 1.11: Boş ve KNO_3 doldurulmuş AAO'ların XRD analizi	21
Şekil 1.12: AAO membranın (a) yüzey morfolojisi, (b) enine kesit görünümü ve (c) AAO/kobalt nanotel yapının enine kesit FE-SEM görüntüleri.	21
Şekil 1.13: Homojen ve heterojen çekirdeklenme için gerekli olan serbest enerji.....	25
Şekil 2.1: Al ince filmin okzalik asitli elektroliz çözücüsü içerisinde 1. Anadizasyon (a) ve 2. Anadizasyon (b) işlemlerine tabi olduktan sonra elde edilen ~65nm por çaplı AAO membranın SEM görüntüleri.	29
Şekil 2.2: AAO membranların üretimini şematik diyagramı.	29
Şekil 2.3: Tuz eriyik doldurulmuş AAO porlarının tarama geometrisi	33

Şekil 2.4: TPS 2500S sıcak disk termal özellikler analizörü ve kullanımı	34
Şekil 3.1: KNO_3 tuzunun 200nm gözenek çapına sahip AAO içerisine eriyik olarak doldurulması ile elde edilen kompozit yapının (a) DSC ölçümü (b) SEM görüntüsü.....	35
Şekil 3.2: : KNO_3 tuzunun 200nm gözenek çapına sahip AAO içerisine tuz-su çözeltisi olarak doldurulması ile elde edilen kompozit yapının (a) DSC ölçümü (b) SEM görüntüsü.....	36
Şekil 3.3: KNO_3 tuzunun 200nm gözenek çapına sahip AAO içerisine tuz-su çözeltisi halinde kontrollü soğutulmuş olarak doldurulması ile elde edilen kompozit yapının (a) DSC ölçümü (b) SEM görüntüsü	37
Şekil 3.4: Saf KNO_3 tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş KNO_3 tuzunun erime sıcaklıklarını gösteren DSC ölçümleri.....	38
Şekil 3.5: Saf $NaNO_3$ tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş $NaNO_3$ tuzunun erime sıcaklıklarını gösteren DSC ölçümleri.....	39
Şekil 3.6: Ötektik tuz (Solar Tuz) karışımının ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş ötektik tuzun erime sıcaklıklarını gösteren DSC ölçümleri.....	40
Şekil 3.7: 25nm AAO/ KNO_3 kompozitinin X-ışını kırınım desenleri	42
Şekil 3.8: 200nm AAO/ KNO_3 kompozitinin X-ışını kırınım desenleri	43
Şekil 3.9: 400nm AAO/ KNO_3 kompozitinin X-ışını kırınım desenleri	43
Şekil 3.10: (a) 25nm, (b) 35nm, (c) 65nm, (d) 200nm ve (e) 400nm por çaplı AAO'lar içerisine doldurulmuş KNO_3 tuzunun SEM görüntüleri	44
Şekil 4.1: Boş ve KNO_3 doldurulmuş AAO'ların oda sıcaklığında alınmış termal iletkenlik değerleri grafiği.....	48

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: YGE santrallerinde en yaygın olarak kullanılan 6 nitrat tuzun ΔT değeri.....	7
Çizelge 1.2: Farklı Alümina Tipleri İçin Oda Sıcaklığındaki Bildirilen Termal İletkenlik Değerleri	18
Çizelge 2.1: Anodizasyon koşullarına göre AAO por yapı özelliklerinin değişimi. a ve b sırasıyla 1. ve 2. anodizasyon işlemi sırasında kullanılan akım şiddetleridir..	28
Çizelge 2.2: DSC ölçümlerinde kullanılan sıcaklık aralıkları ve ısıtma/soğutma hızları.....	33
Çizelge 2.3: TPS analizi ölçüm koşulları.....	34
Çizelge 3.1: Saf KNO_3 tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş KNO_3 tuzunun erime sıcaklıkları	38
Çizelge 3.2: AAO polarına doldurulmuş KNO_3 , $NaNO_3$ ve solar tuz kütlesi.....	39
Çizelge 3.3: Saf $NaNO_3$ tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş $NaNO_3$ tuzunun erime sıcaklıkları	40
Çizelge 3.4: Ötektik tuz (Solar Tuz) karışımının ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş solar tuzun erime sıcaklıkları	41
Çizelge 3.5: Farklı por çaplarına ait boş AAO ve AAO/ KNO_3 kompozit yapıların ısı iletkenlik değerleri	45
Çizelge 3.6: Farklı por çaplarına ait boş AAO ve AAO/ $NaNO_3$ kompozit yapıların ısı iletkenlik değerleri	45
Çizelge 3.7: Farklı por çaplarına ait boş AAO ve AAO/Solar tuz kompozit yapıların ısı iletkenlik değerleri.....	46

KISALTMALAR

AAO: Anodik Alümina Oksit

KNO₃: Potasyum Nitrat

NANO₃: Sodyum Nitrat

LiNO₃: Lityum Nitrat

Ca(NO₃)₂: Kalsiyum Nitrat

CsNO₃: Sezyum Nitrat

YGE: Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi

ITA: Isı Transferi Ajanı

TED: Termal Enerji Depolama

DSC: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

XRD: X-Işını Kırınımı

TPS: Geçici Düzlem Kaynağı

TE: Tuz Eriyik

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
----------	----------

T	Sıcaklık
μ	Dinamik Viskosite
ν	Kinematik Viskosite
ρ	Yoğunluk
k	Termal İletkenlik
C_p	Isı Kapasitesi

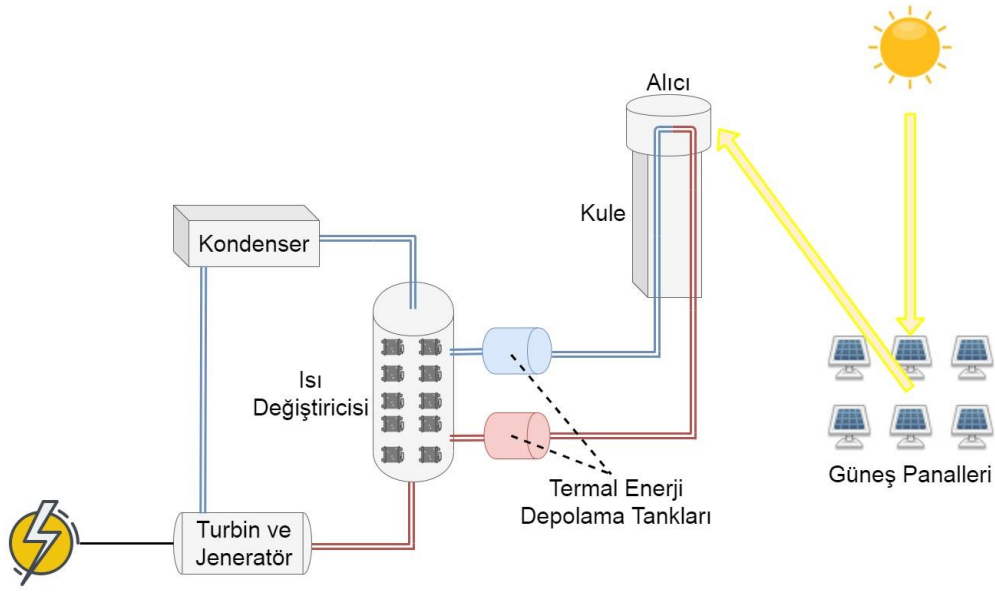
1. GİRİŞ

Dünya ekonomisinin mevcut durumu araştırmacıları, ülkelerin gelişim ihtiyaçlarını tahrip etmeden enerji üretimini arttırmak için geleneksel yakıtlara alternatif yeni enerji kaynaklarının araştırması, yeni ve temiz çalışan akışkanların bulunması ve mevcut enerji teknolojilerinin geliştirilmesine yönlendirmektedir. Birçok gelişmiş ülkede de elde edilen enerjinin belirli bir bölümünün yenilenebilir olması ve özellikle güneş enerjisinden üretilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bugüne kadar güneş enerjisi ile elektrik üretiminde başlıca iki sistem kullanılmıştır. Birincisi, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemler, ikincisi ise, güneş enerjisini yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak odaklanması sonucunda elde edilen buharın elektrik üretimidir. Bu sistemler içerisinde yoğunlaştırılmış güneş enerjisi uygulamaları, önümüzdeki yılların iklim değışiklikleri ve buna bağlı olarak yaşanacak enerji, su ve gıda sıkıntısı gibi küresel sorunlara entegre çözümler sunmakta ve diğer yenilenebilir teknolojilere göre daha hızlı gelişmektedir [1].

YGE teknolojisi odaklanmış güneş ışığı kullanır. YGE tesisleri, güneş enerjisini konsantre etmek (odaklamak) ve yüksek sıcaklıktaki ısıya dönüştürmek için aynalar kullanır. Bu ısı daha sonra geleneksel bir jeneratör vasıtasıyla kanalize edilir ve elektrik enerjisi üretilir. YGE tesisleri iki bölümden oluşur: biri güneş enerjisini toplayan ve onu ısıya dönüştüren bölüm, diğeri ise ısı enerjisini elektriğe dönüştüren bölümüdür.

YGE teknolojileri doğrusal ve noktasal olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal yoğunlaştırıcıları, parabolik oluk kolektörler ve doğrusal Fresnel yansıtıcı sistemleri; noktasal yoğunlaştırıcıları ise, merkezi alıcı sistemler (MAS) ve çanak toplayıcılar oluşturmaktadır. MAS sistemlerinin merkezinde bir güneş güç kulesi bulunur. Güneş izlemek ve ışınlarını bir alıcıya odaklamak için birçok büyük, düz heliostat (ayna) kullanır. Şekil 1.1'de gösterildiği gibi, alıcı konsantre güneş ışığının erimiş tuz gibi bir sıvıyı 565°C'ye kadar ısıtıldığı uzun bir kulenin tepesinde oturur. Erimiş tuz, buhar

yapmak için hemen kullanılabilir veya daha sonra kullanılmak üzere saklanabilir. Erimiş tuz ısıyı verimli bir şekilde korur, böylece elektriğe dönüştürülmeden önce günlerce saklanabilir. Bu, elektriğin bulutlu günlerde veya gün batımından birkaç saat sonra yoğun ihtiyaç duyulan dönemlerde üretilbileceği anlamına gelir [2]. Daha sonra ITA'dan aktarılan termal enerji Rankine Çevrimi, Brayton Çevrimi veya Stirling motoru kullanılarak konvansiyonel yollarla elektrik elde edilir. YGE santrali tasarımında genel eğilim ITA olarak seçilen akışkanın aynı zamanda termal enerji depolama (TED) malzemesi olarak da kullanıma uygun olmasıdır.



Şekil 1.1: Isı Transfer Ajanı (ITA) olarak eriyik tuzların kullanıldığı bir güneş güç tesisindeki akış şemasının şematik diyagramı

Su, termal yağ, iyonik sıvılar ve eriyik tuzlar gibi çeşitli malzemeler, ITA olarak yaygın olarak kullanılan akışkanlardır [3]. Düşük maliyeti, yüksek ısı kapasitesi ve yüksek ısı iletkenliği gibi avantajlarından dolayı su, pek çok endüstriyel uygulamada ITA ve TED sıvısı olarak akla ilk gelen sıvıdır. Ancak, suyun sıvı halinin korunacağı sıcaklık aralığının çok küçük olması onun YGE santrallerinde kullanımını büyük oranda kısıtlamaktadır. Çünkü bilindiği gibi, su sadece donma noktasının (0°C) üstünde ve kaynama sıcaklığının (100°C) altında etkin olarak kullanılabilir. Hatta pratik uygulamalarda kaynama sıcaklığına yaklaştıkça büyük miktarda madde kaybından dolayı, gerçek kullanım sıcaklığı 100°C 'den bile daha düşüktür. Doğrudan su buharı olarak kullanım genel olarak sistemi ekonomikleştirirken, çalışma sıcaklığı

kısıtlandığı için verim de düşük kalmaktadır. Termal yağların YGE'lerde TED sıvısı olarak kullanımları ise onların bazı fizikokimyasal özelliklerden kaynaklanan dezavantajlardan dolayı oldukça sınırlıdır. Bu yağlar için üst sınır yaklaşık 300°C 'dir ve bu sıcaklığın üzerinde sıvı hali muhafaza edilemez. Dahası, düşük termal ayrışma sıcaklığı, düşük yoğunluk ve düşük ısı kapasitesi, bu yağların ITA olarak kullanım potansiyelini sınırlamaktadır. Her ne kadar erime sıcaklıkları suya nazaran daha yüksek olsa da çalışma etkin sıcaklık aralığı pratik uygulamalar için hala oldukça dardır. İyonik sıvılar ise TED sıvısı olarak kullanılan başka bir akışkan türüdür. Diğer iki sıvı ile karşılaştırıldığında ana avantajlarından birisi sıvı hal çalışma sıcaklık aralığının çok daha geniş olmasıdır. Ayrıca, mükemmel kimyasal kararlılıkları, düşük buhar basınçları, yüksek ısı kapasitesi ve düşük yoğunluk karakteristikleri, iyonik sıvıların termal enerji depolama verimliliğini artırır. Fakat bünyelerinde bulunan halojenlerden (I, Br, Cl) kaynaklı korozyon problemi ve yüksek maliyetleri, iyonik sıvıların enerji transferi ve depolama alanındaki kullanımlarını bir hayli sınırlar [4].

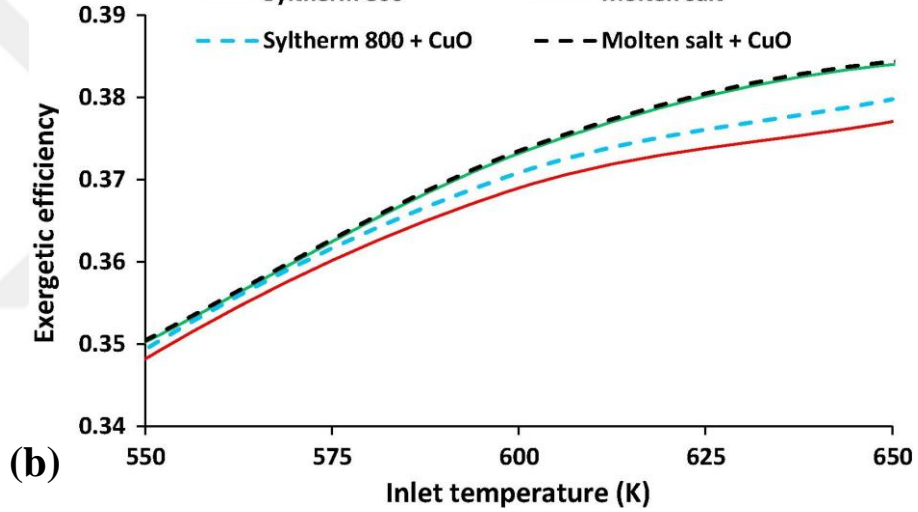
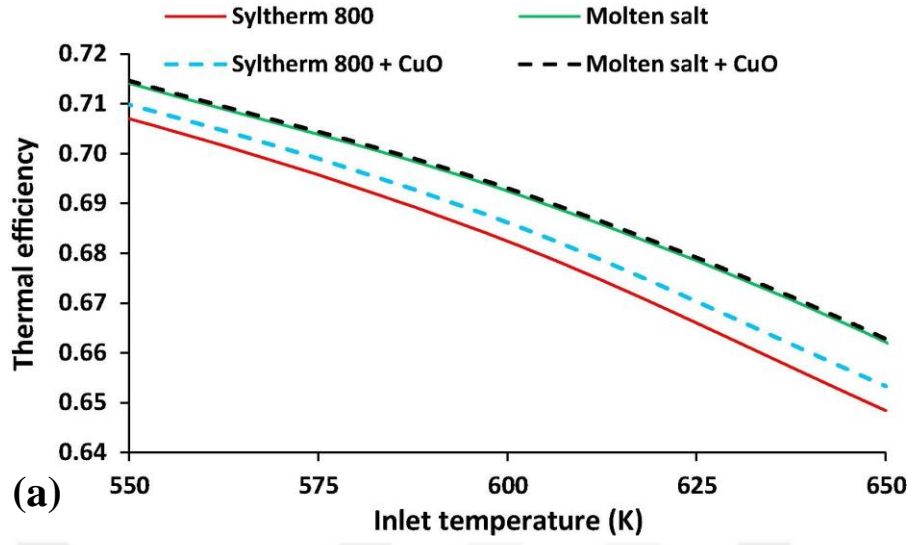
Tüm bu veriler ışığında, ideal bir ITA şu özelliklere sahip olmalıdır: Yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılık (500-800°C), mümkün oldukça düşük donma (erime) sıcaklığı (< 100°C), büyük özgül ısı kapasitesi ve ısı iletkenlik, düşük buhar basıncı (atmosferik basınçta uçucu olmaması).

Yukarıda listelenen tüm akışkan sınıflarının fiziko-kimyasal özellikleri ve çalışma sıcaklık aralıklarıyla karşılaştırıldığında, eriyik tuzlar termal iletken ve termal enerji depolama akışkanı olarak en uygun malzemelerdir. Bu sıvıların sahip oldukları yüksek ısı kapasitesi (Isı depolama sisteminin termal enerji depolama yoğunluğunu artırır), mükemmel termal kararlılık ve ihmal edilebilir buhar basıncı onların YGE uygulamalarında kullanım ömrünü diğer akışkanlarla kıyasla arttırmaktadır. Genellikle, saf erimiş tuzların sıvı sıcaklık aralığı 150 °C ile 500 °C aralığındadır. Bu sıcaklık aralığı aynı zamanda tuzun kullanıldığı ısı depolama cihazının da çalışma sıcaklık aralığıdır. Bu çalışma aralığı değişik tuz kombinasyonları kullanılarak ikili ve üçlü tuz karışımları için daha da genişletilebilir.

1.1 Tekli Tuz Eriyikleri

Tuz eriyikleri inorganik tuzların füzyonundan elde edilen homojen bir sıvıdır. Pratik uygulamalar için bu sıvıların en önemli avantajları: kontrol edilebilir çalışma sıcaklık aralığı, düşük maliyet ve çevre dostu olmalarıdır. Bütün bu avantajlarından dolayı YGE santrallerinde ITA ve TED ortamı olarak yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bunun yanısıra erimiş tuz teknolojisi, ısı depolama, ısı işlem, yüksek sıcaklık elektrokimyasal kaplama ve pek çok endüstriyel proseslerin ısı işlemlerinde ITA olarak yıllardır kullanılmaktadır.

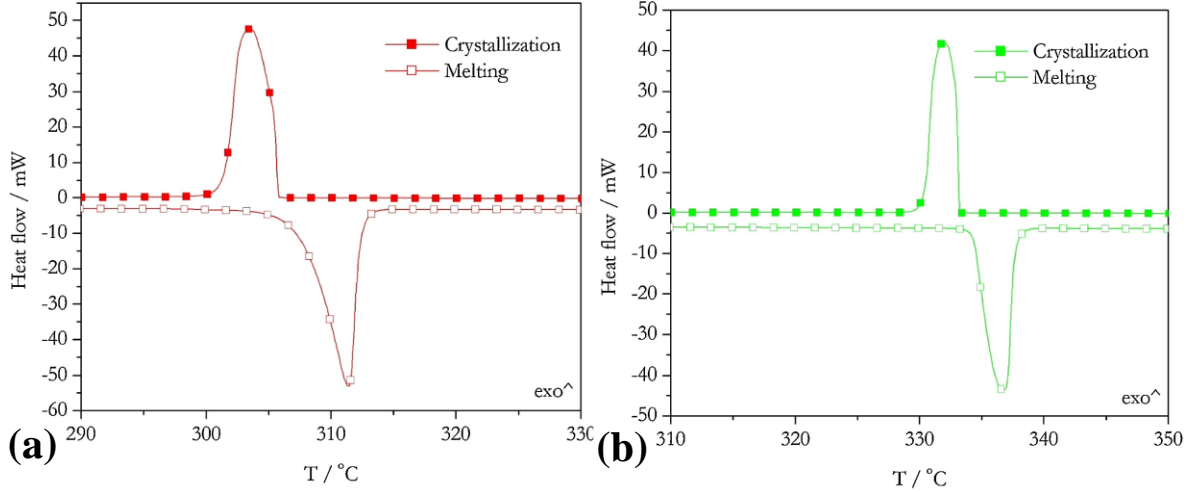
Esasen erimiş tuz temelli teknolojilerle ilgili çalışmalar 19 yy. başlarına kadar uzanır [4]. Bu konu ile ilgili ilk çalışmada kaynaşmış tuzlardan alkali metaller izole edilmiştir. Daha sonraları 1950'lerle bu tuzlar nükleer reaktörlerde [5] ve kimya endüstrisinde kömürün gazlaştırması gibi prosesler için sentetik veya katalitik ortam olarak kullanılmışlardır [6]. Günümüzde ise yukarıda da vurgulandığı gibi ağırlıklı olarak alternatif yenilenebilir enerji kaynakları ve çevre koruma gibi acil sorunları çözmek için güneş enerji panellerinde kullanılmaları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Erimiş tuzlarla termik bir depolama sisteminin kullanımı çok avantajlıdır. Düşük erime noktalı erimiş tuz kullanılarak enerji depolaması yöntemi sadece maliyet etkin değildir, ayrıca çevre dostudur. Marinelli ve ark. [7] bir YGE tesisin enerji üretme performansını ve sistemin maliyeti tuz eriyikli TED'li ve ısı depolamasız olarak hesaplamış ve karşılaştırmıştır. Bu çalışmada erimiş tuzlarla termal depolama yapıldığında yıllık elektrik üretiminin iki katına çıkarıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bellos ve ark [8] termal yağ ve tuz eriyiklerin termal ve ekserjetik (Şekil 1.2) performanslarını YGE santralleri için teorik olarak karşılaştırmıştır. Ekserjetik ve termal analiz sonuçlarına göre erimiş tuzların termal yağlara kıyasla daha yüksek verimlilik gösterdiği hesaplanmıştır. Ayrıca yaptıkları çalışmada termal yağ ve tuz eriyiklerin içerisine CuO nanoparçacıkları eklenmesi ile termal ve ekserjetik verimliliğin değişimini teorik olarak raporlamıştır. CuO nanoparçacık eklenmesi termal ve ekserjetik verimliliği arttırdığı hesaplanmıştır. Günümüzde nitrat, sülfat, karbonat, klorür ve florür bazlı tuz eriyikler, YGE tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır[9]. Bu akışkanlar arasında nitratlar ve nitritlerin, florürler ve klorürlere kıyasla alaşımlara karşı nispeten iyi huylu olduğu rapor edilmiştir [10]. Çünkü nitrat ve nitrit tuzları hidroliz ve oksijen kirliliğine karşı çok daha az duyarlıdır.



Şekil 1.2: Termal yağ (Syltherm 800) ve tuz eriyiklerin (a) termal verimlilik analizi (b) ekserjetik verimlilik analizi [8]

Nitrat ve nitrür tuzları, bazik ve güçlü oksitleyici özellikleri nedeniyle içinde buldukları reaksiyon kaplarının pasif oksit tabakalarını stabilize ederler ve demir, krom ve diğer alaşım bileşenlerin korozyonunu önlerler. Kullanıldıkları ekipmanları pasif olarak koruma altına alırlar ve korozyona karşı dirençlerini artırırlar [10]. Bu avantajına ek olarak ITA olarak nitrat bazlı tuz kullanılması, aynı akışkan ısı depolama için de kullanılabilceğinden ve böylece alıcı ile termal depolama arasında ara ısı değiştirici ihtiyacı ortadan kalkacağından ekonomik olarak avantajlıdır. Dolayısıyla, erimiş nitrat bazlı tuzlar güneş panellerinde TED ve ITA olarak kullanılacak en umut verici kimyasallardır. Bu avantajların yanı sıra tek bileşenli nitrat bazlı tuzlar, YGE

santrallerinde TED ve ITA olarak verimli bir şekilde kullanılabilmesi erime sıcaklıklarının düşürülmesi gerekmektedir. YGE santralleride en yaygın olarak kullanılan nitrat bazlı tekli tuzlar potasyum nitrat (KNO_3) ve sodyum nitrat ($NaNO_3$). Bu tuzların erime sıcaklıkları sırasıyla $334^\circ C$ ve $308^\circ C$ 'dir [11] (Şekil 1.3).



Şekil 1.3: Saf (a) KNO_3 ve (b) $NaNO_3$ tuzlarının erime sıcaklıkları ölçümleri[11]

Erime sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle bu tuzların gece boyunca donarak YGE santrallerindeki boru sistemlerini, vanaları, ısı değiştirici borularını tıkama riski bulunmaktadır. Özellikle kış aylarında bu durum ciddi risklere yol açmaktadır. Bu nedenle termal verimliliğin artırılması yanında erime sıcaklıklarının da düşürülmesi önemlidir. Bu riski minimize etmek için düşük erime sıcaklıklı çok bileşenli ötektik nitrat tuz karışımları geliştirilmiştir. Ötektik karışımlar çalışma sıcaklığı aralığında stabil ve homojen termofiziksel özellikler sağlar.

Ötektik karışımlar çalışma sıcaklığı aralığında stabil ve homojen termofiziksel özellikler sağlar. YGE'lerde kullanılan çok bileşenli ötektik tuz karışımlarının erime sıcaklıkları $250^\circ C$ 'den düşüktür. Günümüzde YGE santrallerinde kullanılan ötektik nitrat tuz karışımları içerisinde en yaygın olarak tercih edilen çok bileşenli ötektik tuz karışımları, Solar Tuz (kütlece 60% $NaNO_3$ -40% KNO_3), Hitec® (kütlece 7% $NaNO_3$ -53% KNO_3 -40% $NaNO_2$) ve Hitec XL® (kütlece 45% KNO_3 -7% $NaNO_3$ -48% $Ca(NO_3)_2$)'dir.

1.2 Tuz Eriyik Karışımları

İdeal bir tuz eriyik formülasyonunda düşük erime sıcaklığının yanında, yüksek termal bozunma sıcaklığı da önemli bir parametredir. Eriyik tuzlar, erime noktasından (T_e) bozunma sıcaklığına (T_b) kadar olan sıcaklıklarda ısı transferi ajanı ve ısı depolama malzemesi olarak kullanılabilir. Bu aralık **çalışma sıcaklık aralığı** ($\Delta T = T_b - T_e$) olarak tanımlanır (Çizelge 1.1). Geniş çalışma aralıklı çok bileşenli tuzlar bir YGE santralinde ısıl enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesindeki verimliliğini arttırmak için kullanılır.

Çizelge 1.1: YGE santrallerinde en yaygın olarak kullanılan 6 nitrat tuzun ΔT değeri

Tuz Türü	Çalışma sıcaklık aralığı (ΔT , °C)	Erime Sıcaklığı (°C)
$\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$	390	222
$\text{LiNO}_3\text{-NaNO}_3\text{-KNO}_3$	415	128
$\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$	423	132
$\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-CsNO}_3$	428	145
$\text{LiNO}_3\text{-NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-CsNO}_3$	459	95
$\text{LiNO}_3\text{-NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-CsNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$	485	78

Erimiş tuzlar, yüksek sıcaklıkta termal enerji depolamak için en çok kullanılan malzemelerdir. Enerji ile ilgili endüstriyel uygulamalarda sergiledikleri çeşitli fiziksel özelliklerden dolayı kullanılmaktadırlar. Bir TED sisteminin performansını etkileyen ilk faktör, ısıyı depolamak için kullanılan malzemelerin sıvı oldukları sıcaklık aralığının termal stabilitesidir. Nitrat bazlı erimiş tuzların (MNO_3 , M = alkali metal) termal stabilitesi, ısının 250°C ve 620°C arasında depolanmasını sağlar. Bu aralık saf alkali nitratlar (LiNO_3 , NaNO_3 , KNO_3) için tipiktir ancak nitrat karışımları daha düşük bir donma noktası gösterir (örneğin ötektik $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$ karışımı için bu 220°C'dir). Bu, daha geniş termal stabilite aralığı, sonuç olarak ısı depolama ortamı olarak nitrat erimiş karışımları kullanan YGE tesislerinin gereksinimlerini belirli seviyelere kadar karşılar.

Teknolojik olarak uygun bir nitrat karışımı olan Solar Tuz, kütlece %60 NaNO_3 'ten ve %40 KNO_3 'ten oluşmaktadır. Çizelge 1.1 incelendiğinde Solar Tuz yüksek

sıcaklıklarda en yüksek dayanıklılığa sahip olmasına rağmen en dar çalışma sıcaklık aralığına sahiptir. Solar tuzun çalışma sıcaklığının artırılmasının önündeki en önemli engel, sıcaklıklar 600-630 °C'nin üzerinde yaşadığı kütle kayıplarıdır. Bu sıcaklıkların altında kütle kayıpları nispeten sabittir ve başarılı bir şekilde kontrol edilebilir, ancak bu sıcaklıkların üzerinde kütle kayıpları önemli ölçüde artmaya başlar. Buna karşın çok-bileşenli tuzlar (üçlü ve dördü karışımlar) daha düşük erime sıcaklığına sahiptirler. Bu listede CsNO₃ içeren erimiş tuzlar daha büyük çalışma sıcaklık aralığı ve daha büyük termal enerji depolama kapasitesine sahip olmasına rağmen büyük ölçekli ticari uygulamalar için oldukça pahalıdır.

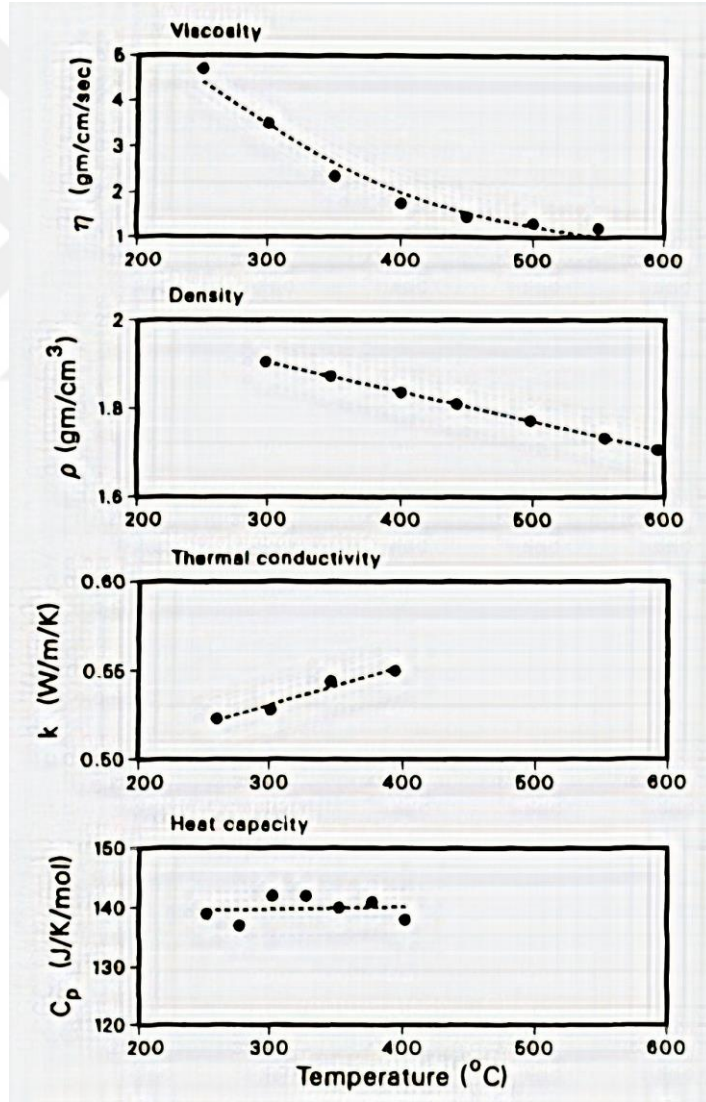
Termal enerji yönetiminde erimiş tuzların bu yaygın kullanımına rağmen, bu malzemelerle ilgili birçok temel ve zorlayıcı sorun, hem deneysel hem de teorik düzeyde hala çözülememiştir. Örneğin, özgül ısı kapasitesinin (C_p) sıvı fazlarındaki sıcaklığa bağımlılığı, özellikle nitrat eriyik karışımlarının oranları ile ilgilidir. Deneysel olarak, sıcaklık ile artan, sabit veya azalan farklı bağımlılıklar bulunmuştur [12], [13].

Erimiş nitrat tuz karışımları, sıcaklık ve bileşimine bağlı olarak çeşitli reaksiyonlara maruz kalabileceğinden, bu erimiş tuz karışımının uzun süreli kullanımı için önemli bir husus da kimyasal stabiledir. 600°C üzerinde yaşanan kütle kaybının sebebi, nitratın nitrit ve oksijene ayrışmasıdır.



Erimiş tuzun stabilitesi, bir YGE sistemi için bariz bir avantajdır. Bununla birlikte, atmosferik karbondioksit ve su buharının uzun süreli kullanım sırasında tuzun bozulmasına neden olduğu bilinmektedir. CO₂ ve H₂O'nin nitrat eriyikleri ile etkileşimleri elektrokimyasal ve kimyasal teknikler kullanılarak araştırılmıştır [13]. CO₂'nin karbonat oluşturmak üzere reaksiyona girerek kimyasal değişikliklere neden olabileceği bulunmuştur. DSC çalışmaları, nitrat tuzundaki alkali karbonatların çözünürlüklerinin büyük olduğunu göstermesine rağmen, metalik safsızlıkların, karbonatları ısı değiştiricisinin en soğuk kısımlarında çöktüğü gözlemlenmiştir. Bu durumda çöken bu reaksiyon safsızlıkları ısı değiştiricisine zarar vermektedir.

YGE santrallerinde bulunan alıcıların, ısı değiştiricilerinin, pompaların ve termal enerji depolama altsistemleri gibi bileşenlerde ısı transferini ve sıvı akışını içeren tasarım hesaplamaları için çalışma sıvısının fiziksel özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Literatürde [14] tek alkali nitrat tuzları için önemli özelliklerin çoğu (rneğin, viskozite, yoğunluk, termal iletkenlik ve ısı kapasitesi) hakkındaki veriler mevcut olmasına rağmen, YGE santrallerinde kullanılan karışımların fiziksel ve termal özellikleri çalışma sıcaklığı aralığında kısıtlıdır. R. W. Bradshaw and R. W. Carling [13] yaptıkları çalışmada solar tuzun viskozite, yoğunluk, termal iletkenlik ve ısı kapasitesi değerlerini deneysel olarak ölçmüşlerdir (şekil 1.4). Ancak alışma sıcaklık aralığında (222°C ile 600°C arasında) termal özelliklerin eksik olduğu görülmektedir.



şekil 1.4: Ötektik nitrat tuzu karışımının (Solar Tuz) 600°C'ye kadar sıcaklıklarda viskozite, yoğunluk, termal iletkenlik ve ısı kapasitesi deneysel değerleri [13]

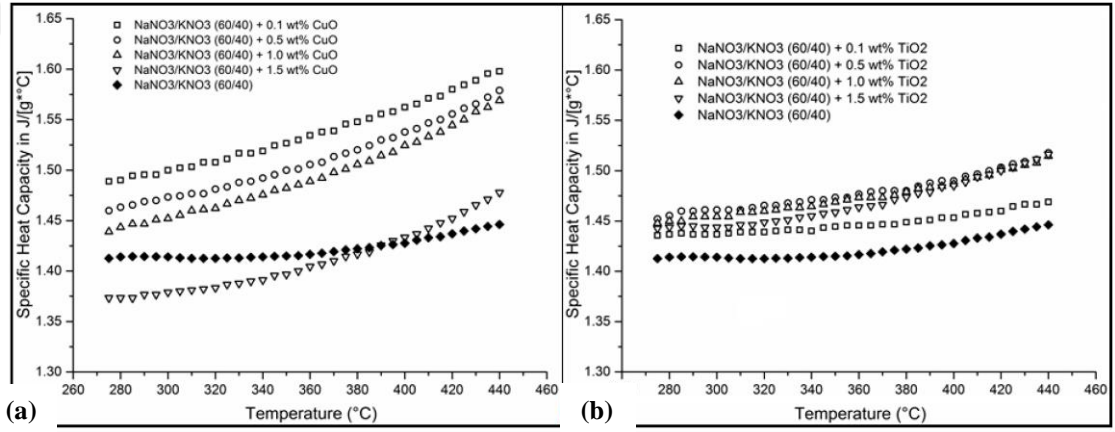
Bu tuzların termodinamik ve ısıl özelliklerin karakterizasyonuna yönelik çalışmalar çok eskiye dayanmasına rağmen, literatür incelendiğinde aynı tuz sistemleri için farklı veri setleri arasında (özellikle ötektik nokta bileşimi) hala büyük tutarsızlıkların bulunduğunu gözlemlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar büyük oranda Solar Tuz, Hitec[®] ve Hitec XL[®] olarak bilinen ticari tuzların ötektik bileşimi doğru kabul edilerek gerçekleştirilmektedir. En basit ikili tuz karışımından en sofistike üçlü tuz eriyik karışımına kadar tüm tuzları içine alan sistematik bir çalışma faz geçiş sıcaklığı (Faz diyagramları) çalışması mevcut değildir. Solar Tuz karışımına kütlece %1 lik nano katkı ilavesinde bile Solar Tuz ile aynı ötektik bileşim noktası sıcaklığında çalışılmaktadır[15]–[17].

1.2.1 Nanoparçacık katkılı tuz eriyik karışımları

Klasik erimiş tuzların erime noktasını düşürebilmek için Ren ve ark. [18] nitrat bazlı tuz eriyik karışımı ($\text{KNO}_3\text{-NaNO}_3\text{-LiNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2\cdot\text{H}_2\text{O}$, (Kütlece oran 6:1:2:2) geliştirdi. Nitrat bazlı karışımın erime noktası 90°C 'nin altına düştü ve ortalama özgül ısı kapasitesi yaklaşık $1,54 \text{ J}/(\text{g.K})$ olarak raporladı. Benzer yaklaşımla Xuehui An ve ark. [19] $\text{LiNO}_3\text{-NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-CsNO}_3$ nitrat karışımlı tuz eriyik hazırlamıştır. Bu yeni karışımın erime sıcaklığı 95°C 'ye kadar inmiştir. Bazı çalışmalarda tuz bileşen sayısı artırılarak ($\text{LiNO}_3\text{-NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-KNO}_3\text{-CsNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$) erime sıcaklığı 65°C 'ye indirilmiş ve sisteminin termal bozunma sıcaklığı 500°C 'nin üzerine çıkartılmıştır [20]. Solar Tuz bileşimine LiNO_3 , CsNO_3 , and $\text{Ca(NO}_3)_2$ tuzlarından birisinin veya birkaçının eklenmesi elde edilen karışımın erime sıcaklığını düşürmektedir. Ancak LiNO_3 (1862 TL/kg) ve CsNO_3 (12692 TL/kg) tuzları oldukça pahalıdır.

Klasik ticari erimiş tuzların özgül ısı kapasitesi nispeten düşüktür. Bu, ITA / TED depolama boyutlarında büyük bir artışa neden olur. Zang ve ark. [19] Solar Tuz ve Hitec[®] karışımlarının özgül ısı kapasitesi sırasıyla $1,54 \text{ J}/(\text{g.K})$ ve $1,34 \text{ J}/(\text{g.K})$ olarak raporlamışlardır. Düşük özgül ısı kapasitesi nedeniyle, erimiş tuzların kullanıldığı proseslerde büyük ölçekli termal depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Riazi ve ark. [21] Solar Tuz'un özgül ısı kapasitesini iyileştirmenin YGA tesisatları üzerindeki teknik ve ekonomik etkilerini incelediler. Maksimum potansiyel özgül ısı artışı % 200 kabul edildiğinde, ısı depolama ortamının hacmi % 80 oranında azalmış, termal akışkanın kütle akış hızı, alıcı tüplerinin sayısı ve pompalama parazit yükü %

90'a kadar düşmüş ve YGE kulesinin net güç çıkışı % 3'e kadar yükselmiştir. Son yıllarda, özgül ısı kapasitesini arttırmak için birçok girişim yapılmaktadır. Literatür incelendiğinde son 10 yılda, tuz eriyiklerine eser miktarda (ağırlıkça %1 veya %2 lik) nanoparçacık eklenmesinin, erimiş tuzun spesifik ısı kapasitesini arttırmak için yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ding ve ark. [22] $\text{NaNO}_3/\text{KNO}_3$ ötektik karışımında nanoparçacık konsantrasyonunun etkisini CuO (ağırlıkça % 0,1) ve TiO_2 (ağırlıkça % 0,5) için test ettiğinde saf tuz karışımının C_p değerinde ($1,42 \text{ J/g}^\circ\text{C}$) sırasıyla % 10,5 luk ve %4,95 lik bir artış gözlemlenmiştir. Sonuçlar, C_p 'deki değişimlerin CuO ve TiO_2 konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir (Şekil 1.5).

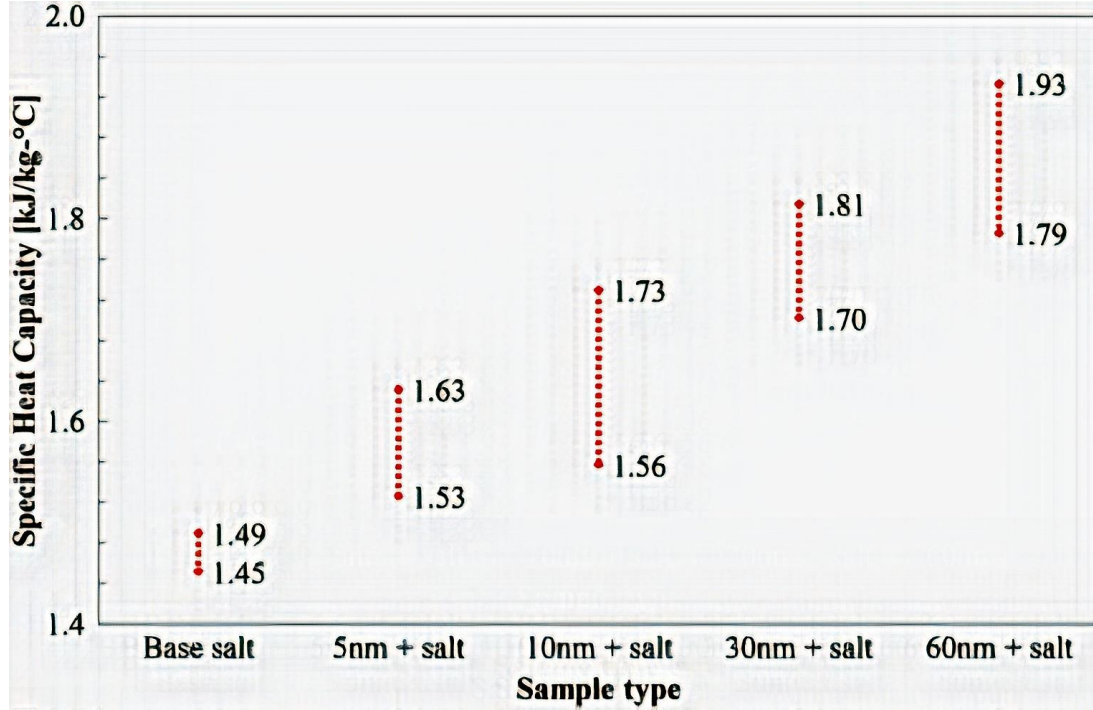


Şekil 1.5: Solar tuz içerisine kütlece %0.1 ile %1.5 arasında (a) CuO ve (b) TiO_2 eklenmesi ile elde edilen spesifik ısı kapasitesi (C_p) ölçümleri [22]

Farklı bir çalışmada, Chieruzzi ve ark.[23] KNO_3 saf tuzunun spesifik ısı kapasitesi ($1,118 \text{ J/g}^\circ\text{C}$) üzerinde SiO_2 ve Al_2O_3 nanopartiküllerin etkisini incelemiştir. Bu grup nanoparçacıkların % 1' oranında artırılmasıyla en fazla C_p artışı % 9,5 ile SiO_2 nanoparçacık eklenmesiyle gerçekleştiği rapor edilmiştir. Shin ve ark. [24] Solar Tuz bileşimine farklı boyutlarda (5, 10, 30, 60 nm) SiO_2 nano parçacıkları eklemiştir. Yapılan çalışmada SiO_2 nanoparçacıklarının erimiş tuzun özgül ısı kapasitesindeki artışı incelenmiştir. Sonuçlar, 60 nm SiO_2 nanopartikülleri ilave edilen Solar tuzun özgül ısı kapasitesinde $1,47 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ değerinden % 28'lik bir artışla $1,80 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ulaştığını göstermektedir (Şekil 1.6).

Pan ve ark. [25] Hitec[®] karışımına ilave edilen Al_2O_3 nanopartikülleri ile özgül ısı kapasitesinde $1,37 \text{ J/gK}$ 'den % 19.9' luk bir artışla $1,64 \text{ J/gK}$ 'e arttığını göstermiştir.

Genel olarak literatür incelendiğinde, tuz karışımlarına düşük konsantrasyonlarda nanopartikül eklenmesinin viskozite ve ısıl iletkenlik üzerinde muazzam bir artış etkisi gözlemlenirken, yoğunluk artışı üzerindeki etki ise küçük kalmaktadır.



Şekil 1.6: Spesifik ısı kapasitesinin farklı nanoparçacık boyutlarıyla değişimi [24]

Kapsamlı bir literatür taraması yapıldığında 2018 yılına kadar nanopartikül ilavesi ile en yüksek C_p artışı %120 ile SiO_2 katkılı ötektik $\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3$ tuz eriyiklerde olduğu rapor edilmiştir [26]. Yukarıda listelenen çalışmalar incelendiğinde tuz eriyiklere nanoparçacık katkısı hep özgül ısıyı arttırmak üzerine kurgulanmıştır. Maalesef, nanomalzeme katkısının ötektik bileşim ve erime noktası üzerindeki etkisini sistematik olarak (şekil, boyut, konsantrasyon, v.b.) inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

1.3 Tuz Eriyik Karışımlarının Viskozite ve Yoğunlukları

Tuz eriyiklerinin termokimyasal ve termofiziksel özellikleri bir çok grup tarafından incelenmiştir. Solar Tuzun yoğunluğu Nissen [27] tarafından Arşimend yöntemi ile ölçülmüştür ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bradshaw [28] yine Arşimend yöntemini kullanarak tuz eriyiklerin yoğunluğunu bileşimin ve sıcaklığın fonksiyonu olarak incelemiştir. Nunes ve ark. [9] genel olarak sıcaklık ve yoğunluk arasında;

$$\rho = a - b \times T \quad (1.2)$$

olacak şekilde bir bağıntı türetmişlerdir. Burada a ve b tuz eriyik türüne bağlı karakteristik sabitleri, ρ (kg/m^3) yoğunluk ve T(K) sıcaklıktır. İkili tuz eriyik karışımların çoğunun dinamik viskoziteleri sıcaklıkla ilişkili olduğunu ve Arrhenius bağıntısı ile hesaplanabileceğini göstermişlerdir. Yine aynı çalışmada genel olarak viskozite

$$\mu = A \times \exp(-E/RT) \quad (1.3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada A tuzlar arası etkileşimin ölçüsü olarak bir sabit, R akışkanın aktivasyon enerjisidir. Buna karşın Serrano-Lopez ve ark. [29] çok bileşenli nitrat tuz karışımlarının viskozite sıcaklık ilişkisinin Vogel Fulcher Tammann (VFT) türü lineer olmayan davranış sergiledikleri raporlanmıştır. Yoğunluk ve viskozitenin doğru olarak tespit edilmesi ekipmanların boyutlandırılmasına ilişkin çok önemli özelliklerdir.

1.4 Tuz Eriyik Karışımlarının Isı Kapasitesi

YGE uygulamalarında etkin ısı depolama hesaplamaları için bir diğer önemli parametre de tuz eriyiklerin ısı kapasitesidir. Isı kapasitesi araştırmalarında Solar Tuz ve Hitec[®] bileşimleri tüm nitrat tuz eriyikler arasında en fazla çalışılmış bileşiklerdir. Tufeu ve ark. [30] Solar Tuz ötektik karışımın spesifik ısı kapasitesini 1,498 J/g.K olarak hesaplamıştır. Boerema ve ark. [31] Hitec[®] için spesifik ısı ve sıcaklık arasında;

$$C_p(J/g \cdot ^\circ\text{C}) = 1.560 - (T - 273.15)/1000 \quad (1.4)$$

şeklinde bir empirik bağıntı elde etmiş ve Hitec[®] ötektik tuz karışımının termal performansını tekli tuz sistemleriyle (Saf NaNO_3 , NaNO_2 ve KNO_3 tuzlarının ısı kapasitesi sırasıyla 0.129, 0.110 ve 0.142 kJ/mol.K [32]) karşılaştırmışlardır. Yaptıkları hesaplamalara göre saf sodyum tuzunun termal iletkenlik katsayısı Hitec[®] ötektik karışımından 10 kat ve ısı kapasitesi 2 kat daha fazladır. Fakat sıvı sodyumun saflaştırılmasının (çevreden tamamen izole edilebilmesi) maliyeti kilogram başına % 200'e kadar daha pahalı olduğundan dolayı Hitec[®] tuz karışımına alternatif olamamaktadır. Bu tuzlara ait termokimyasal veri setleri, Wisconsin

Üniversitesi'ndeki ORNL enstitüsünden Manohar ve ark. [10] tarafından 1950-1970 tarihleri arasında oluşturulmuştur.

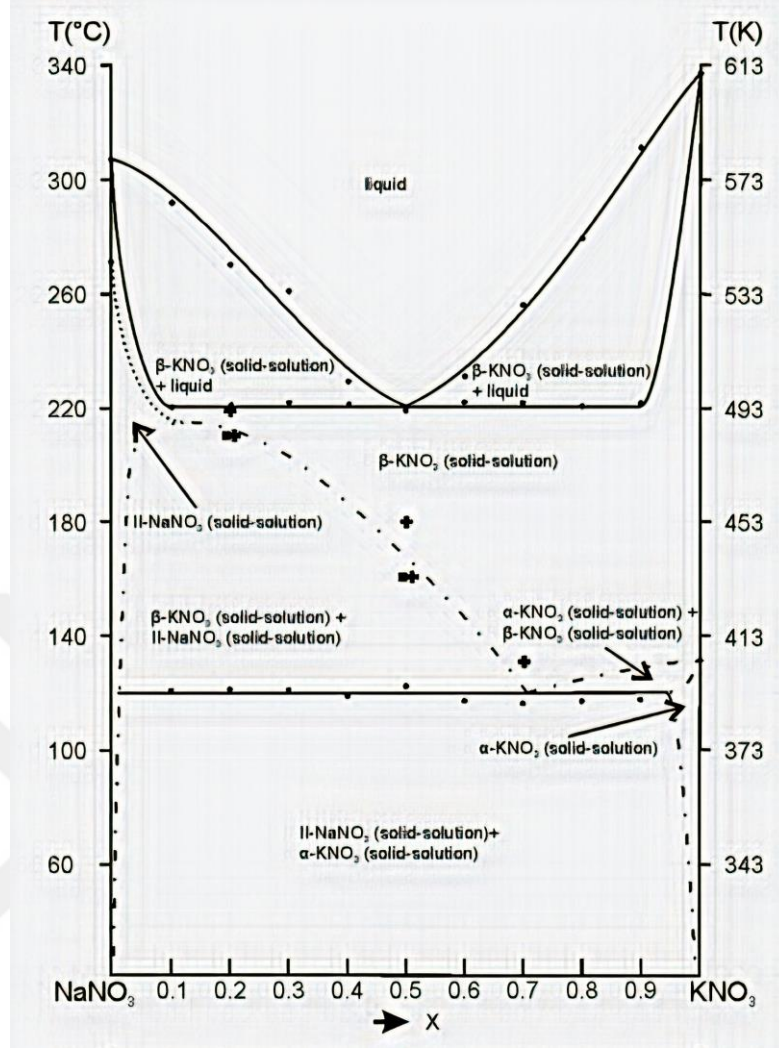
1.5 Tuz Eriyik Karışımların Faz Diyagramları

Faz diyagramları, çok bileşenli malzeme davranışlarının araştırılması, malzeme tasarımı ve proses optimizasyonu çalışmalarında sağlıklı ve güvenilir bir yol haritası oluşturulmasına hizmet etmektedir. Üçlü tuz eriyiklerin termodinamik ve ısı özelliklerinin karakterizasyonuna yönelik çalışmalar incelendiğinde aynı tuz karışımları için farklı veri setleri arasında (örneğin ötektik nokta bileşimi) büyük tutarsızlıkların olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, Menzies ve Dutt [33] KNO_3 - NaNO_3 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ tuz karışımının üçlü faz diyagramını 1911 yılında ilk defa rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada bu bileşiğin ötektik kompozisyonunu ağırlıkça 43% KNO_3 -15% NaNO_3 -42% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ olarak belirtilmiş olup en düşük erime sıcaklığını 175°C olarak ölçmüşlerdir. Daha sonra Janecke [34] aynı tuz karışımının ötektik bileşimini 1942 yılında 27% KNO_3 -10% NaNO_3 -63% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ olarak rapor etmiş ve erime sıcaklığını 130°C olarak hesaplamıştır.

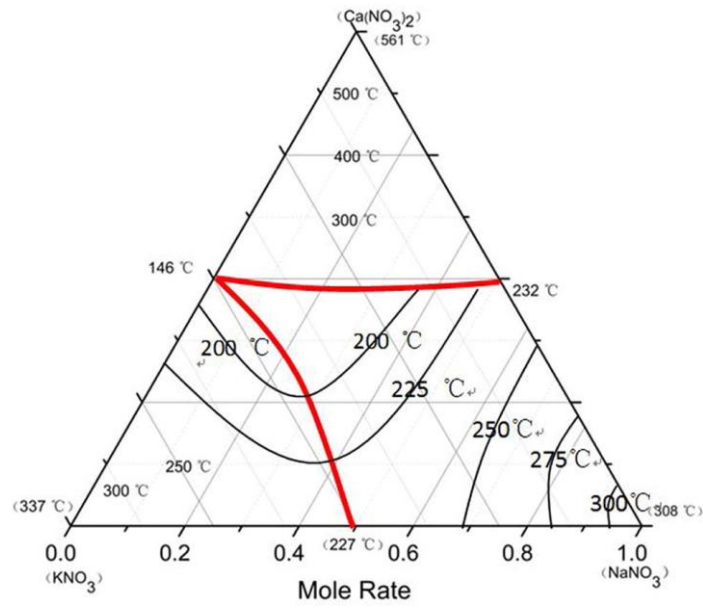
Bu çalışmadan sonraki 50 yıl içerisinde aynı tuz karışımı için ötektik bileşim ve erime sıcaklıkları birbirinden çok farklı olarak raporlanmıştır. En son 1990 yılında Bradshaw ve ark. [35] bu tuz eriyik karışımlarını (43-50%) KNO_3 - (7-34%) NaNO_3 - (16-48%) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ olarak rapor etmiş ve erime sıcaklıklarını bileşime bağlı olarak 140 °C ile 190 °C arasında değiştiğini teyit etmiştir.

Benages-Vilau ve ark. [36] yaptığı çalışma incelendiğinde NaNO_3 ve KNO_3 tuzlarının ikili faz diyagramlarını DSC ölçümleri ile elde etmiştir. (Şekil 1.7). Elde edilen faz diyagramına göre ikili tuz karışımının ötektik erime sıcaklığını 221°C olarak rapor etmişlerdir.

Chen ve Zhao [37] yaptıkları çalışmada KNO_3 - NaNO_3 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ üçlü tuz karışımının faz diyagramlarını oluşturmuşlardır. Oluşturulan faz diyagramı Şekil 1.8'de verilmiştir. (mol %46) KNO_3 – (%20) NaNO_3 – (%34) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ karışımının erime sıcaklığını 120°C olarak bulmuşlardır.



Şekil 1.7: $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3$ ikili tuz karışımı faz diyagramı [36]



Şekil 1.8: $\text{KNO}_3 - \text{NaNO}_3 - \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ üçlü tuz karışımının faz diyagramı [37]

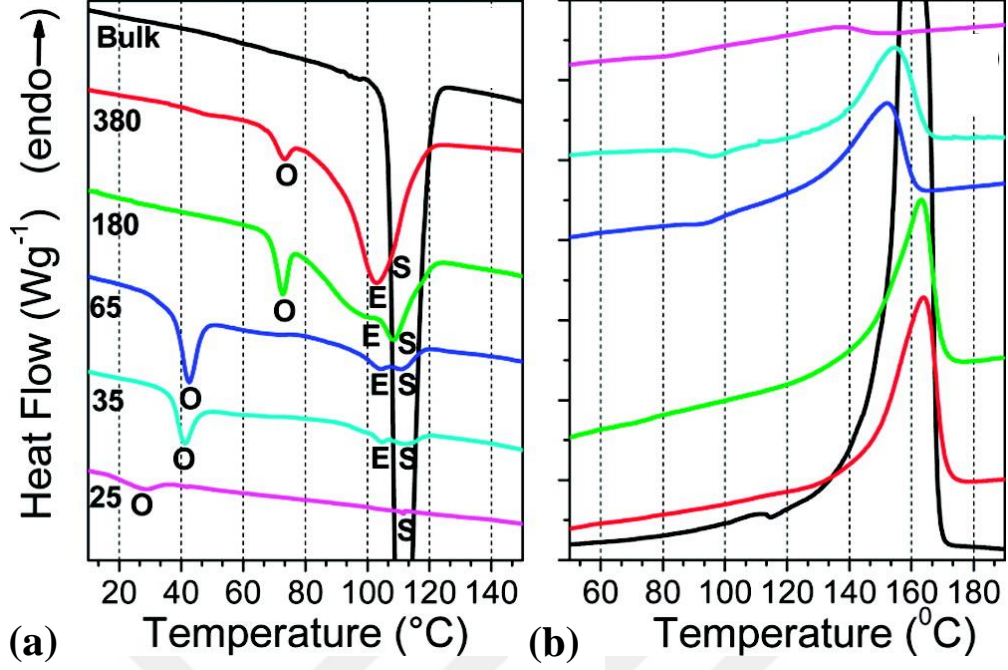
1.6 Alümina Membran Kompozit Yapıları

Kullanılabilirliği ve düşük maliyetli üretimi nedeniyle AAO'lar, havacılık, otomobil, elektrik, askeri sanayi, yapı malzemeleri, katalizörler vb. gibi birçok alanda çalışılmakta ve uygulanmaktadır [38]. AAO hazırlamalarında, sol-gel [39], plane-get [40], elektro-spining [41] ve anodik oksidasyon [42] gibi yöntemler kullanılmaktadır. Fabrikasyon alümina membranlar bazı temel gereksinimleri karşılayabilmesine rağmen, çeşitli kimyasal reaktiflerin kullanımı ve kimyasal reaksiyonları nedeniyle fabrikasyon prosedürü nispeten karmaşıktır. Anodik oksidasyon, yeni malzemelerin yüzey işleme veya üretimi için kullanılan en popüler yöntemlerden biridir ve son yıllarda kullanılan en yaygın yöntemdir.

Zhu ve ark.[43] yaptıkları çalışmada, N_2O 'nun N_2 'ye indirgenmesi için mezopoz AAO porları üzerinde desteklenen bakır katalizörlerin hazırlandığını, AAO destek yapılarının emdirilmiş bakır katalizörünün dağılımlarını, fazlarını ve termal özelliklerini etkilediğini bildirmiştir. Araştırmalar [44], [45] kemik şekilli veya dallı liflerle takviye edilmiş bir AAO kompozitin, deformasyona ve çekmeye ek direnç oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca aynı çalışmalarda termal direncin arttığını ve buna bağlı olarak kullanım alanlarının arttırılabileceğine vurgu yapılmaktadır. Bu nedenle AAO morfolojisi önemli araştırma konularından biridir.

1.6.1 Alümina membran kompozit yapıların termal özellikleri

Sıkıştırma ortamı olarak nanoporlu oksit membranların kullanılmasının en büyük avantajı boyutlarının çok homojen olmaları ve kolaylıkla istenilen kalınlıkta ve yükseklikte hazırlanabilir olmalarıdır. Duran ve ark. [46] yaptığı çalışmada izotaktik-Polipropilen (IPP) çeşitli çaplardaki AAO membran içerisine yerleştirilmiş ve IPP/AAO kompozit yapının kristallenme üzerindeki etkisi incelendiğinde AAO gözenek çapı 65nm'den küçük olduğu durumlarda yarıkristal polimerin erime sıcaklığında 60°C kadar ani bir düşme gözlemlenmiştir (Şekil 1.9). Ayrıca 25nm ve 35nm por çapındaki gözeneklerde IPP'de heterojen kristallenmenin olmadığı buna karşın çok düşük sıcaklıklarda (30°C ve 40°C sırasıyla) homojen kristallenmenin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1.9: 25nm ile 380nm arasında por çaplarına sahip AAO içerisine yerleştirilen IPP polimerinin (a) soğutma ve (b) ısıtma DSC ölçümleri [46]

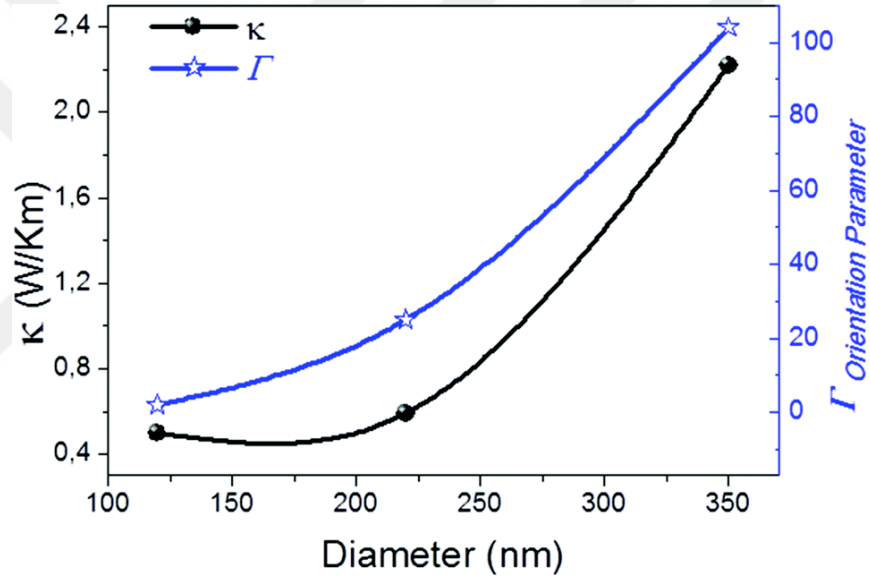
Benzer çalışmalar düşük moleküler ağırlıklı diğer sıvılar (örneğin 5CB ve E7 sıvı kristal molekülleri) için de uygulandığında nanosıkıştırmanın hem kristallerin erime sıcaklıklarını düşürdüğü hem de faz davranışlarını değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Termal iletkenlik sabiti temel bir ısı transfer özelliğidir. Her ne kadar yoğunluk ve sıcaklık ölçümlerine dair literatürde geniş bir konsensus olsa da yüksek sıcaklıkta termal iletkenlik ölçümüne dair çelişkiler mevcuttur. Herşeyden önce yüksek sıcaklıklarda (>500 °C) direkt olarak termal iletkenlik ölçecek standart bir teknik bulmak zorlaşmaktadır. Bu konuda literatürdeki çelişkili sonuçlar i) örnek saflığı ve homojenliğin kontrol edilememesi, ii) tuzun termal kararlılığının bozulması, iii) numune ile çevresindeki gaz halindeki atmosfer ve konteynır materyali arasındaki etkileşim, iv) uygun sıcaklık ölçme sensörünün bulunamaması ve v) konveksiyon ve radyasyon gibi diğer eşzamanlı ısı transfer mekanizmalarının yüksek sıcaklıklarda etkinliklerinin artmasından dolayıdır. Ancak oda sıcaklığında AAO'ların termal iletkenlikleri bir çok metot kullanarak ölçülebilmektedir. Çizelge 1.2'de literatürde kullanılan metotlarla elde edilen termal iletkenlik katsayıları verilmiştir.

Çizelge 1.2: Farklı Alümina Tipleri İçin Oda Sıcaklığındaki Bildirilen Termal İletkenlik Değerleri

Örnek	Özellikleri	Termal İletkenlik (W/m.K)	Ölçüm Metodu
Al		237 [47]	
Ticari AAO	Por Çapı: 20nm Gözeneklilik: %30	$K_{\text{eff}}=1,33 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,9$ [48]	Transient Heat Flow
Ticari AAO	Por Çapı: 200nm Gözeneklilik: %72	$K_{\text{eff}}=0,38 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,31$ [49]	Fotoakustik Teknik
AAO Sülfürik Asit	Por çapı ve gözeneklilikle ilgili bir veri verilmemiş	$K_{\text{eff}}=0,81$ [50]	Transient Heat Flow
AAO Sülfürik Asit	Por Çapı: 16nm Gözeneklilik: %34 Por Çapı: 12nm Gözeneklilik: %1	$K_{\text{eff}}=0,53 \rightarrow K_{\text{AAO}}=0,8$ $K_{\text{eff}}=1,01 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,1$ [51]	Steady-State Teknik
AAO Oksalik Asit	Por çapı ve gözeneklilikle ilgili bir veri verilmemiş	$K_{\text{eff}}=1,30$ [50]	Transient Heat Flow
AAO Oksalik Asit	Por Çapı: 35nm Gözeneklilik: %13 Por Çapı: 26nm Gözeneklilik: %4	$K_{\text{eff}}=1,31 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,62$ $K_{\text{eff}}=1,5 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,6$ [51]	Steady-State Teknik
AAO Fosforik Asit	Por Çapı: 120nm Gözeneklilik: %25	$K_{\text{eff}}=0,98 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,3$ [52]	Laser Flash Teknik
AAO Fosforik Asit	Por Çapı: 120nm Gözeneklilik: %8 Por Çapı: 220nm Gözeneklilik: %25 Por Çapı: 350nm Gözeneklilik: %55	$K_{\text{eff}}=1,27 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,38$ $K_{\text{eff}}=1,04 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,38$ $K_{\text{eff}}=0,64 \rightarrow K_{\text{AAO}}=1,38$ [53]	3 ω Teknik

Tuz eriyiklerin erime noktasının nanosıkıştırma etkisi ile düşmesinin yanı sıra, Mahmud ve ark. [54] yaptıkları teorik çalışmada TE/AAO kompozit yapının ısı transfer sabiti ve ısı kapasitesinin tuz karışımlarına göre arttığı gözlemlenmiştir. Martin-Gonzales ve ark. [55] yaptığı çalışmada boş AAO'ların termal iletkenliğini 1.03-1.32 W/m.K arasında hazırlanma yöntemine göre değiştiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca yaptıkları başka bir çalışmada [53] poli-(3-heksiltiofen) (P3HT) polimer nanotellerin termal iletkenliklerinin porların içerisinde kristal yöneliminin ayarlanmasıyla kontrol edilebildiği vurgulanmıştır. Şekil 1.10 incelendiğinde AAO/P3HT kompozit yapıda termal iletkenliğin por çapı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 1.10: AAO çapının bir fonksiyonu olarak AAO/P3HT kompozitinin termal iletkenlik (K) ve oryantasyon parametresi, Γ , grafiği [53].

Martin-Gonzales ve ark. [56] yaptığı bir diğer çalışmada bizmut tellür doldurulmuş AAO membranların termal iletkenliğini yaklaşık 1.7 W/m.K olarak ölçmüşler ve termal iletkenlikte %31'lik bir artış raporlamışlardır.

Bilindiği gibi kompozit malzemelerin termal ve fiziksel özellikleri, meydana geldikleri malzemelerden farklılık göstermektedir. Her bir bileşenin katkı sağladığı termofiziksel özellikleri sayısal olarak tayin etmek için Etkin Ortam Teorisi yaygın olarak kullanılmaktadır. TE/AAO kompozit yapıların teorik olarak etkin termal iletkenlik ve ısı kapasitesi hesaplamaları için Maxwell Garnett teorisini [57] uyguladığımızda, etkin

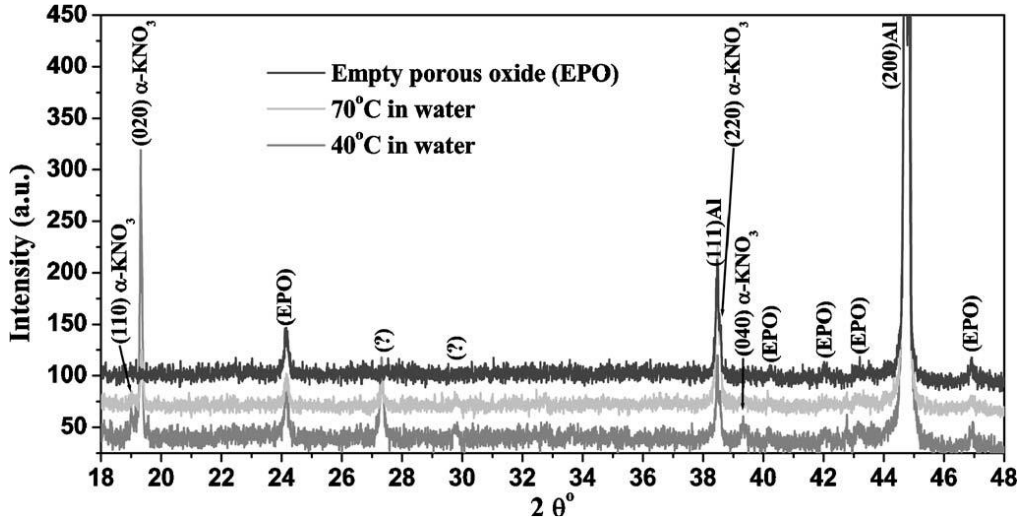
termal iletkenlik, katılan her bir içeriğin (TE ve AAO) termal iletkenlik sabiti (k) ve porozite hacim oranı (ϕ) ile ilişkilendirilerek $k_{TE-AAO} = \phi k_{TE} + (1 - \phi)k_{AAO}$ elde edilir. Bu ön hesaplamalara göre Solar Tuz için ($T=600-730K$) $k_{TE}= 0.47$ W/m.K[29] ve $k_{AAO}= 1.9$ W/m.K [55] olarak alındığında en küçük porozite (25nm por çapı için %13) ve en yüksek porozite (380nm por çapı için %55) değerleri için $k_{TE/AAO}$ sırasıyla 1.71 ve 1.11 W/m.K olarak hesaplanır. Bu hesaba göre solar tuz nanogözeneklerin içerisine yerleştirildiğinde en fazla %260 lık bir artış beklenmektedir.

Bu çok idealize edilmiş bir değerdir. Nanogözeneklerin yüzey pürüzlülüğü, tuz ile nano por duvarlarındaki anyonların etkileşimi, yüksek sıcaklıklara çıkıldığında nano por arayüzeyinde oluşacak fonon-fonon etkileşiminden doğacak termal kayıplardan dolayı bu teorik artışın düşmesi beklenmektedir.

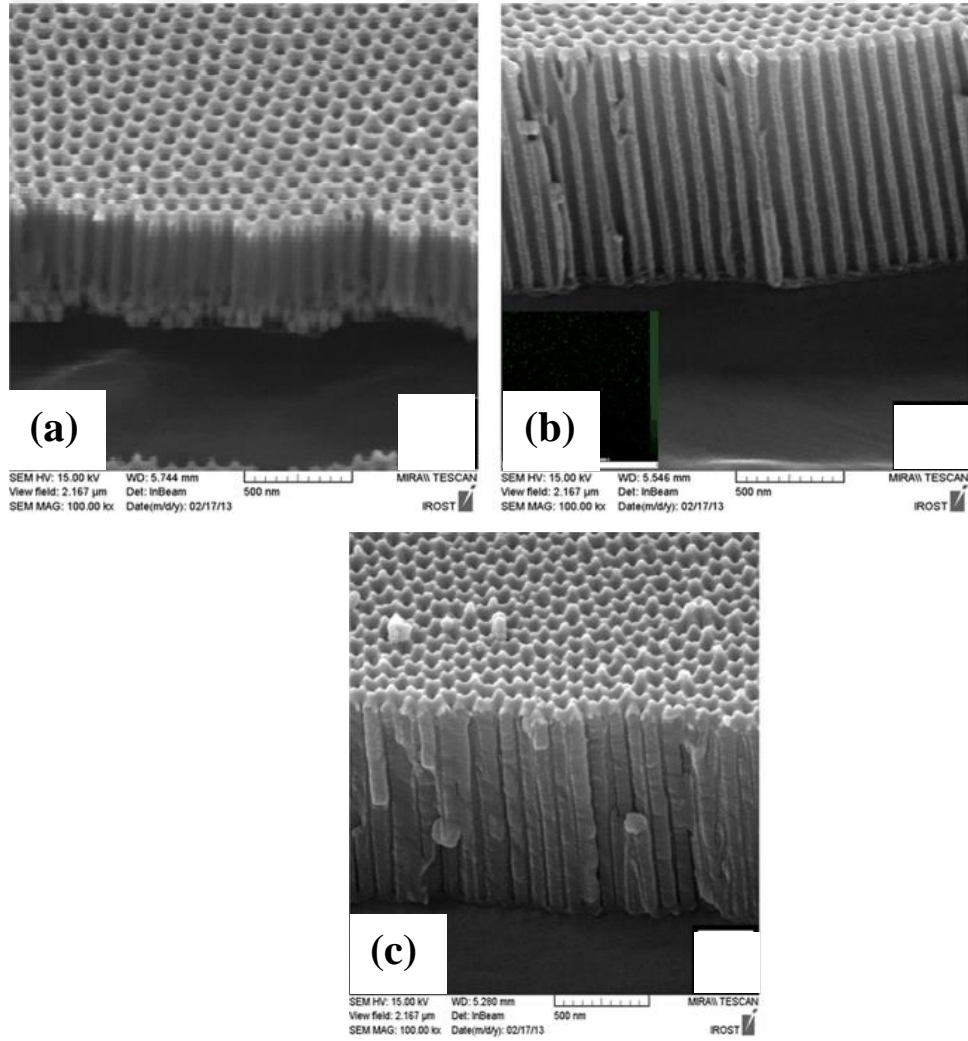
1.6.2 Alümina membran kompozit yapıların morfolojisi

Doron ve Shiomo [58] yaptıkları çalışmada potasyum nitrat tuzu doldurulmuş AAO porlarının XRD analizlerini gerçekleştirmiştir. KNO_3 kristallerinin yönü, gözeneklerin uzunlamasına eksenine paralel olarak elde etmişlerdir. Aynı grubun bir diğer çalışmasında [59] ise potasyum sodyum tartarat tuzu ile çalışılmış ve tuz AAO porları (30nm) içerisinde tek kristal yapısında büyütülmüştür. Kristallerin monoklinik kristalografik yapıya ve düzgün kristalografik oryantasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yapmış oldukları XRD analizi Şekil 1.11’de verilmiştir. (110) piki zorlukla fark edilirken, (020) pikinin yoğunluğu önemli ölçüde daha yüksektir. Bu nedenle, gözenekler içindeki KNO_3 kristallerinin yönlendirildiği ve ölçüm geometrisine (010) göre yönlerinin, gözeneklerin dikey düzlemi boyunca dikey olarak AAO por düzlemine hizalandığı sonucuna varmışlardır.

Hekmat ve ark. [60] 50nm por çapına sahip AAO membran porları içerisinde elektro kimyasal biriktirme yöntemi ile kobalt nanoteller büyütmüşlerdir. AC akımı kullanılarak AAO şablonunun gözeneklerine homojen bir şekilde yerleştirilen geniş alanlı, yüksek yoğunluklu ve iyi düzenlenmiş kobalt nanotelleri dizilerini başarılı bir biçimde yerleştirmişlerdir (Şekil 1.12).



Şekil 1.11: Boş ve KNO₃ doldurulmuş AAO'ların XRD analizi [58]



Şekil 1.12: AAO membranının (a) yüzey morfolojisi, (b) enine kesit görünümü ve (c) AAO/kobalt nanotel yapının enine kesit FE-SEM görüntüleri. [60]

Naberezhnov ve ark. [61], gözenekli camlar ve gözeneklere gömülü KNO_3 nanokompozitlerin kristal yapısının dielektrik özelliklerini incelemiştir. Gözenekli camların porlarına yerleştirilmiş potasyum nitrat tuzunun kırınım boyutunu 36nm olarak bulmuş ve bu değerin ortalama gözenek çapını (7nm) aşmadığını göstermiştir. Rysiakiewicz-Pasek ve ark. [62] yaptıkları çalışmada, ortalama por çapları 320, 46 ve 7 nm olan camların porlarına sodyum nitrat tuzu yerleştirmiştir. Sodyum nitrat tuzunun kristal yapısını ve dielektrik tepkisini düşük ve tuzun erime sıcaklığına kadar olan yüksek sıcaklıklarda, nötron kırınımı ve dielektrik spektroskopisi ile incelenmiştir. 46 ve 7 nm gözeneklere sahip gözenekli camlarda $NaNO_3$, 50 ve 20 nm'lik kırınım boyutlarına sahip dendrit nanokümler oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca por çapının azalması ile $NaNO_3$ tuzunun erime sıcaklığının da düştüğünü rapor etmişlerdir. Koroleva ve ark. [63], nano porlu camlara yerleştirilmiş KNO_3 nanokompozit malzemelerin dielektrik özelliklerini 293K ile 570 K sıcaklık aralığında aralığında incelemiştir. Ortalama gözenek çapı 320 , 46 ve 7 nm'ye sahip üç tip gözenekli yapı kullanmışlardır. Dielektrik geçirgenliğinin, tüm kompozit yapılar için yüksek sıcaklık fazındaki temel artışı gözlemlemişlerdir.

1.7 Tuz Eriyiklerin Kristallenmesi

Kristalizasyon, atomların veya moleküllerin kristal adı verilen son derece yapılandırılmış bir forma katılaştırılmasıdır. Genellikle bu bir maddenin bir çözeltilisinden kristallerin yavaş çökmesini ifade eder. Bununla birlikte, kristaller saf bir eriyikten veya doğrudan gaz fazından birikmeden oluşabilir. Kristalizasyon ayrıca sıvı çözeltiliden saf katı kristal faza kütle transferinin meydana geldiği katı-sıvı ayırma ve saflaştırma tekniğini de ifade edebilir. Kristalleşmenin meydana gelmesi için iki olay meydana gelmelidir. İlk olarak, atomlar veya moleküller çekirdeklenme adı verilen bir işlemde mikroskopik ölçekte birlikte kümelenir. Daha sonra, kümeler kararlı ve yeterince büyük olursa, kristal büyümesi meydana gelebilir.

İki farklı çekirdeklenme mekanizması vardır: birincil ve ikincil çekirdeklenme. Birincil çekirdeklenme, bir sıvı veya çözeltiliden yeni faz oluşumudur. Homojen ve heterojen çekirdeklenme olmak üzere ikiye ayrılır. Heterojen çekirdeklenmede, toz veya kir partikülleri gibi küçük görünmez parçacıkların yabancı bir substratı, çekirdeklenmenin başladığı çözeltilide bulunur. Homojen çekirdeklenmede böyle bir

substrat yoktur ve çekirdekler, birlikte kümelenen çözünen varlıkların istatistiksel dalgalanmaları ile oluşturulur.

İkincil çekirdeklenme, çözültide halihazırda mevcut olan kristalize edici materyalin kristallerinden çekirdeklerin üremesidir. Bu çekirdekler genel olarak yıpranma parçalarıdır ve daha büyük kristallerin kristalleştirici donanımı ile çarpışmasından meydana gelirler. Daha büyük kristaller arasındaki kristalleştirici çarpışmalarındaki yüksek katı yoğunluklarda ikincil çekirdek olarak işlev gören fragmanlar oluşturabilir.

Orta derecede çok çözüner bileşiklere kadar buharlaşmanın veya soğutmanın kristalleşmesinin başlangıç safhasında, birincil çekirdeklenme meydana gelir. Daha büyük kristallere doğru büyümelerinden sonra, ikincil çekirdeklenme devralır ve düşük süpersatürasyon değerlerinde en önemli çekirdek kaynağı haline gelir. Az çözüner bileşiklerin çökeltilmesi için, işlem genellikle iki nedenden ötürü birincil çekirdeklenme baskınlığını sürdürmektedir. Aşırı doygunluk, özellikle besleme akışlarının giriş noktalarında birincil çekirdek üretmek için yeterince yüksek kalır ve genellikle topaklanmış kristaller yıpranmaya eğilimli olmayacak kadar küçük kalır.

Selzer ve ark. [64] yaptıkları çalışmada, mikrofluidik bir cihazda bir dizi çözelti damlacıkları üzerinde izotermal kristalizasyon deneyleri gerçekleştirerek, sürekli fazın, sulu çözültiden potasyum nitratın (KNO_3) kristal çekirdeklenmesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla, KNO_3 'ün birincil kristal çekirdeklenmesi oranları indüksiyon zamanı ölçümlerinden türetilir. Çekirdeklemenin, kullanılan sürekli fazdan bağımsız olarak farklı heterojen çekirdeklenme mekanizmalarını takip ettiği bulunmuştur. Süper doygunluğa bağlı olarak, heterojen çekirdeklenme merkezleri damlacıkların bir kısmında hızlı çekirdeklenmeyi tetiklerken, damlacıkların geri kalan kısmında yavaş çekirdeklenme gözlenmektedir.

Wyckoff ve ark. [65] yaptıkları çalışmada, Sodyum nitratın, eşkenar dörtgen fazdan (kalsit tipi), bozulmuş bir eşkenar dörtgen fazına, 548,5 K civarında bir faz geçişinden geçtiği bulunmuştur. Sodyum nitratın kristal yapısı, X-ışınlarının kristal kesitlerden geçirilmesiyle elde edilen Laue fotoğraflarının incelenmesinden belirlenmiştir. Sodyum nitratın yapısı Wyckoff ve ark. tarafından belirlenmiş ve eşkenar dörtgen (kalsit tipi) hücre için birim hücre boyutu 296K'de $a = 6.3247 \text{Å}$ 'dur.

D'Aguanno ve ark. [66] yaptıkları çalışmada KNO_3 , $NaNO_3$ ve bunların ötekrik karışımlarının farklı sıcaklıklardaki kristal yapılarını incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada, klasik moleküler dinamiğe dayalı, $NaNO_3$, KNO_3 ve ötektik karışımlarının termostatik özelliklerinin sıcaklık davranışları, özgül ısıların termal davranışları vurgulanarak kapsamlı bir teorik analiz gerçekleştirmişlerdir.

Rao ve ark. [67]'nin yaptıkları çalışmada, nitrat, nitrit ve karbon bazlı tuzların kristal yapılarını, sıcaklık, zaman ve çekirdek tohumunun çeşitliliğine göre incelemiştir. Ketelaar ve Strijk [68] araştırmaları da geçişin kristaldeki NO_3 gruplarının iç rotasyonundan kaynaklandığını göstermektedir. En olası dönme modu, N atomundan geçen ve NO_3 grubunun düzlemine dik olan bir eksenidir. Terauchi ve Yamada [69], NO_3^- iyonlarının oryantasyonunun düzenlenmesi ile ilişkili sodyum nitrat kristalinin faz geçişini x-ışını saçınımı ölçümleri ile incelemiştir. Sonuçları mikroskopik olarak analiz etmiş ve NO_3^- iyonları arasındaki çift etkileşimlerinin faz geçişi sırasında önemli bir rol oynadığı sonucuna varmışlardır.

Jona ve ark. [70] potasyum nitrat tuzunun kristallenmesi sırasındaki aşamalarını detaylı olarak incelemiştir. Potasyum nitrat, 299K'de ve atmosfer basıncında stabil faz olan form II (aragonit tipi)'den, 403K'de I formuna (kalsit tipi) dönüşür. Soğutma sırasında, KNO_3 397K'de faz I'den yeni bir faz III'e dönüşür. Fischmeister [71] yaptığı çalışmada, 425K'de KNO_3 form I için birim hücre boyutlarını $a = 5.42\text{Å}$ ve $c = 19.41\text{Å}$ olarak raporlamıştır. Isıtma sırasında, form I'in birim hücresi anizotropik olarak genişler, işaretli genişleme c eksenidir (anyon düzleminin normalidir). a-ekseni boyunca genişleme negatiftir. Bu negatiflik, NO_3^- 'ün doğrusal titreşiminin, düzlemdeki N-atomu etrafındaki dönüşten daha makul bir bozukluk şekli olduğunu düşünmüştür.

1.7.1 Homojen çekirdeklenme

Konsantrasyondaki lokal dalgalanmalar, tekrar parçalanabilen çok sayıda kümenin oluşumuna neden olur. Düşük veya tam doymuş çözeltilerde, küme oluşumu ve küme çürümesi dengededir; bu tersinir bir süreçtir. Bununla birlikte, aşırı doymuş çözeltilerde, ya parçalanmış ya da büyüyen kritik boyutlu kümeler oluşur. Volmer-Weber ve Becker-Döring'in klasik çekirdeklenme teorilerinde [72], bu kümeler tekli çözünen varlıkların bağlanması ve ayrılmasıyla oluşur. Kümeler ayrıca kümelerin

çarpışmasıyla büyüyebilse de, konsantrasyonları her zaman tek çözünen maddelerden çok daha düşüktür ve bu küme genişlemesi süreci göz ardı edilebilir.

Kritik yarıçapı r^* olan bir kümenin kritik boyutu şu şekildedir:

$$r^* = 2\gamma \frac{V_{molar}}{\Delta\mu} \quad (1.5)$$

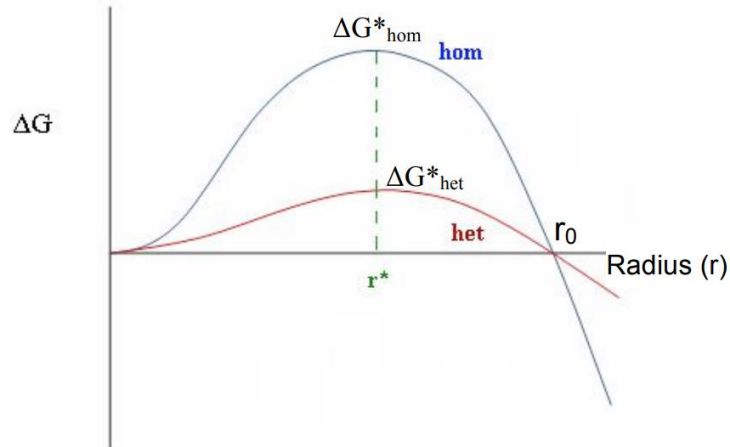
γ katı-sıvı arasındaki arayüzey enerjisi, V_{molar} molar hacim ve $\Delta\mu$ ise birim hacimde sıvı katı faz dönüşümünün olması sonucu serbest enerjide meydana gelen değişimdir.

1.7.2 Heterojen çekirdeklenme

Heterojen çekirdeklenme, faz sınırları, yüzeyler (konteyner, şişeler vb.) veya toz gibi safsızlıklar gibi tercih edilen yerlerde oluşur. Bu tür tercihli bölgelerde, etkili yüzey enerjisi daha düşüktür, bu nedenle serbest enerji bariyerini azaltır ve çekirdeklenmeyi kolaylaştırır [73]. Yüzeyler, fazlar arasında sıfırdan büyük ıslatma - temas açıları nedeniyle çekirdeklenmeyi teşvik eder, partiküllerin çekirdeklenmesini kolaylaştırır. Heterojen çekirdeklenme için gerekli olan serbest enerji ($\Delta G_{heterojen}$), homojen çekirdeklenme için gerekli olan serbest enerjiye ($\Delta G_{Homojen}$) ve temas açısının (θ) bir fonksiyonunun çarpımına eşittir:

$$\Delta G_{heterojen} = \Delta G_{Homojen} \times f(\theta) \quad (1.6)$$

Heterojen çekirdeklenme için gerekli bariyer enerjisi, homojen çekirdeklenmeye göre daha azdır (Şekil 1.13).



Şekil 1.13: Homojen ve heterojen çekirdeklenme için gerekli olan serbest enerji [73]

1.7.3 Kristal büyümesi

Bir kristal ve buharı arasındaki arayüz, erime noktasının çok altındaki sıcaklıklarda moleküler olarak keskin olabilir. İdeal bir kristalin yüzeyi, tek tabakaların yayılmasıyla veya eşdeğer olarak tabakaları sınırlayan büyüme adımlarının yanal ilerlemesi ile büyür. Algılanabilir büyüme hızları için, bu mekanizma çekirdeklenmenin termal dalgalanmalar vasıtasıyla meydana gelmesi için yeterince nükleasyon bariyerini düşürmek için sonlu bir itici güç (veya aşırı soğutma derecesi) gerektirir. Eriyik kristal büyümesi teorisini Burton ve Cabrera iki ana mekanizmaya ayırdı [74], [75]:

1) Düzgün olmayan yanal büyüme; Yüzey, yükseklikte bir düzlemler arası boşluk (ya da bunun bazı integral katları) olan basamakların yanal hareketi ile ilerler. Bir yüzey elemanı hiçbir değişikliğe uğramaz ve bir adımın geçişi haricinde kendiliğinden normal ilerlemez ve daha sonra adım yüksekliği ile ilerler.

2) Düzgün normal büyüme; Yüzey, kademeli bir büyüme mekanizması gerekmeksizin kendi kendine normal ilerler. Bu, yeterli bir termodinamik itici gücün varlığında, yüzeyin her elemanının, ara yüzün ilerlemesine katkıda bulunan sürekli bir değişiklik yapabildiği anlamına gelir. Keskin veya süreksiz bir yüzey için, bu sürekli değişiklik, birbirini izleyen yeni katmanların her birinde geniş alanlar üzerinde az çok düzgün olabilir. Daha dağınık bir yüzey için, sürekli bir büyüme mekanizması aynı anda birkaç ardışık katman üzerinde değişiklik gerektirebilir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1 Kullanılan Kimyasallar

Tez çalışmasında kullanılan kimyasallar; Potasyum nitrat ($\geq 99\%$), sodyum nitrat ($\geq 99\%$), oktadesil fosfonik asit (ODPA), n-heptan (99%), izopropil alkol ($\geq 99.5\%$) bakır (II) klorür dihidrat ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ($\geq 99.0\%$) ve hidroklorik asit (HCl) ($\geq 37\%$) Sigma Aldrich firmasından alınmıştır.

2.2 Ötektik Karışımın Hazırlanması

Ötektik karışımın (Solar Tuz, kütlece 60% NaNO_3 -40% KNO_3) hazırlanmasında tuzların homojen olarak karıştırılması çok önemlidir. Tuzların homojen olarak karışması için aşağıdaki prosedür uygulanmıştır.

- 1) Sodyum Nitrat ve potasyum nitrat tuzları ayrı ayrı olarak 200°C 'de 8 saat kurutulmuştur.
- 2) Kütlece 60% NaNO_3 -40% KNO_3 tuz karışımı hazırlanmıştır.
- 3) Karışımın homojen olabilmesi için 400°C 'de 8 saat boyunca karışımlar eriyik halde bekletilmiştir.
- 4) Daha sonra bu karışımlar fırın içerisinde kendiliğinden soğutulmaya bırakılmıştır.
- 5) Oda sıcaklığına gelen tuz karışımları daha sonra bir havan ile dövülmüş ve toz haline getirilmiştir.
- 6) Karışımın homojen olduğundan emin olmak için bu işlem 3'er kez tekrar edilmiştir.

2.3 Alümina Membranların Üretilmesi

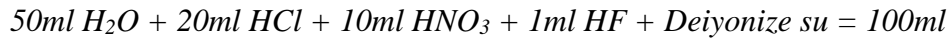
Tuz eriyiklerin nanogözeneklerin içine infiltrasyonunu işlemi için 25 nm, 35 nm, 65 nm, 200 nm, 400 nm çaplara ve yaklaşık 100 μm derinliğe sahip anodik alümina membranlar (AAO) Prof. Dr. Martin Steinhart ve grubu tarafından ikili anodizasyon yöntemi uygulanarak üretilmiştir. Bu yöntem kontrollü bir elektrokimyasal korozyon işlemidir. İnce Al metalik tabakanın bir elektrolit çözelti içerisindeki anodizasyon tepkimesine dayanır [76].

Membranın kalınlığı, por yoğunluğu ve por çapı gibi özelliklerin belirleyen ana parametreler; uygulanan akım, anodizasyon süresi, sıcaklık, kullanılan elektrolit türü ve konsantrasyonudur. Hedeflenen boyutlarda nanogözenek elde etmek için uygulanması gereken koşullar Çizelge 2.1’te gösterilmektedir.

Çizelge 2.1: Anodizasyon koşullarına göre AAO por yapı özelliklerinin değişimi. a ve b sırasıyla 1. ve 2. anodizasyon işlemi sırasında kullanılan akım şiddetleridir

Elektrolit tipi	Akım, (mA/cm^2)	Voltaj, (V)	AAO kalınlığı, (μm)	Ortalama por çapı, (μm)
Fosforik asit	40 ^a	195	-	0.180
	20 ^b	195	86±10	0.400
Sülfürik asit	18 ^a	25	-	0.014
	10 ^b	25	96±3	0.025
Okzalik asit	30 ^a	40	-	0.03
	15 ^b	40	88±6	0.06

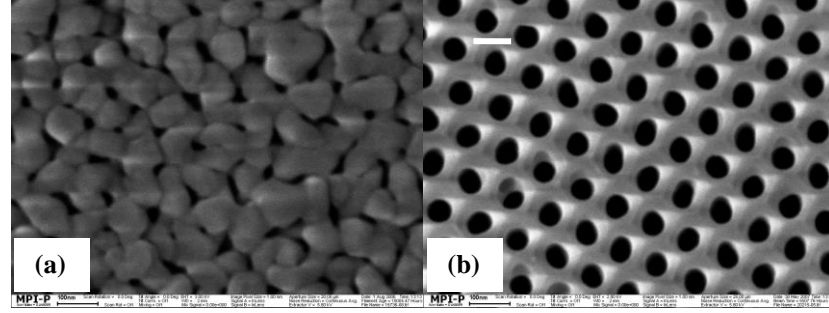
İkili anodizasyon yönteminden önce ince alüminyum tabakalar (kalınlık 1mm) aşağıdaki kimyasallarda 60°C’de 15 saniye bekletildikten sonra tekrar deiyonize suda yıkanıp ve kurutulmak üzere 500°C’de 3 saat bekletilmiştir.



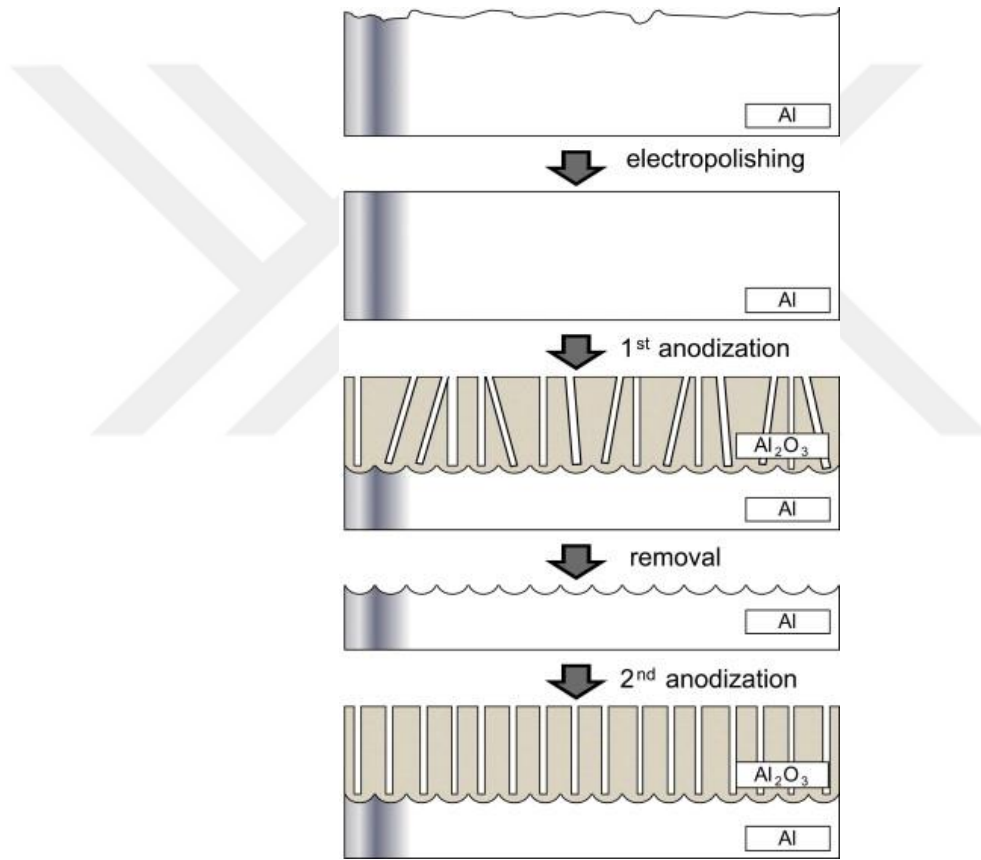
Temizlenmiş Al levhalar ardından doğrusal gerilim altında asidik elektrolit çözeltisi içerisinde ilk anodizasyon işlemine tabi tutulmuştur. 1. anodizasyon sonucunda düzenli olmayan eliptik yapıda porlar ortaya çıkmaktadır.

Düzensiz yönelime sahip porlar çözüldükten sonra yine aynı elektrolit çözelti içerisinde bu sefer daha yavaş bir şekilde 2. anodizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.2). Bu işlem sırasında hem por çapları artar hem de hekzagonal dizimli periyodik silindirik porlar elde edilmektedir (Şekil 2.1).

Elde edilen periyodik silindirik porlu membran yapılacak deney için uygun dizimli olarak üretilmiştir. 25, 35, 65,200 ve 400nm por çapına sahip 100µm membran kalınlığı olan AAO’lar yapılacak deneyde kullanılacaktır.



Şekil 2.1: Al ince filmin okzalik asitli elektroliz çözütüsü içerisinde 1. Anadizasyon (a) ve 2. Anadizasyon (b) işlemlerine tabi olduktan sonra elde edilen ~65nm por çaplı AAO membranının SEM görüntüleri [76].



Şekil 2.2: AAO membranların üretimini şematik diyagramı [76].

2.4 Alümina Membranların Hazırlanması

Porlu membranlar hazırlanırken üretim sırasında kullanılan kimyasallardan dolayı ve anodizasyon işlemi (elektrolitten gelen $C_2O_4^{2-}$, OH^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} türü anyonlar) sırasında membran üzerinde çeşitli safsızlıklar ortaya çıkmaktadır. AAO membranlar ıslak kimyasal işleme maruz bırakıldıktan sonra gözeneklerindeki doymuş buhar

basıncı, membran yüzeyi üzerindeki doymuş buhar basıncından daha düşük olduğu için su buharı kılcal yoğuşma yaparak membran gözeneklerinde yoğunlaşabilmektedir. Bu sıvıyı gözeneklerden uzaklaştırmak için membranlar vakumlu fırında 200°C’de gece boyunca bekletilmiştir.

2.5 Alümina Mebranlarının Yüzey Modifikasyonu

Porlu membranların hazırlanması sırasında, por içerisinde ve membran yüzeylerinde çeşitli anyonlar ($C_2O_4^{2-}$, OH^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} v.b.) oluşur. Bu anyonlar tuzların porların içerisine infiltrasyonu sırasında direnç yaratabilmektedir veya tuz kristallerin yöneliminden dolayı kristalleşme mekanizması üzerinde etkili olabilirler. Bu etkileri ortadan kaldırmak için anyonların AAO porlarından ve yüzeyinden temizlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle AAO'lara oktadesil fosfonik asit yüzey modifikasyonu yapılmıştır. Bu modifikasyon sırasında izlenen prosedür aşağıdaki gibidir:

- 1) ODP A'nın, porların içerisine tamamen girebilmesi ve orada tutunabilmesi için öncelikle AAO'lar %30'luk hidrojen peroksit (H_2O_2) çözeltisinde 45°C’de 2 saat bekletilmiştir ve daha sonra 120°C’de 30 dakika boyunca 200mbar vakum altında kurutulmuştur.
- 2) AAO'lar 4.2nM'lık ODP A - n-heptan/izopropil alkol (v:v/5:1) karışımı içerisinde oda sıcaklığında 48 saat bekletilmiştir.
- 3) Daha sonra AAO'lar çözelti içerisinden çıkarılmış ve yüzeye tutunamayan ODP A'yı temizleyebilmek için n-heptan/izopropil alkol (v:v/5:1) karışımı ile yıkanmıştır.
- 4) Temizlenen AAO'lar 200mbar vakum altında oda sıcaklığında 24 saat boyunca kurutulmuştur.

2.6 Tuzların Nanogözeneklerin İçerisine Yerleştirilmesi

AAO nanogözeneklerinin doldurulması için üç farklı yöntem denenmiştir. Bu yöntemler aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Tuzların nanogözeneklerin içerisine yerleştirilmesi işlemine başlamadan önce, safsızlıklardan arındırılan AAO'lar hassas terazi (0,1 mg hassaslıkta) üzerinde beşer defa tartıldı.

2.6.1 Tuzların nanogözenekler içerisine eriyik halde yerleştirilmesi

AAO'ların ağırlıkları ölçüldükten sonra;

- 1) Tuzlar AAO'ların üzerine toz halinde yerleştirildi.
- 2) AAO'lar 400°C'de bulunan kül fırınına yerleştirildi ve bu sıcaklıkta tuzlar 8 saat boyunca AAO'lar üzerinde eritildi.
- 3) Daha sonra fırının sıcaklığı 150°C'ye düşürüldü ve bu sıcaklıkta 2 saat bekletildi.
- 4) AAO'lar oda sıcaklığına kadar kendi halinde soğutulmaya bırakıldı ve AAO membranının üzerinde fazladan kalan tuzlar nemli bir zımpara kumaşı ile temizlendi.
- 5) Son olarak oda sıcaklığında vakumlu bir fırında nemi uzaklaştırıldı.

Bu aşamalar her örneğin ağırlıkları hassas terazide sabitlenene kadar tekrarlandı ve ağırlıkların sabitlendiği yerde porların dolduğu düşünüldü.

2.6.2 Tuzların nanogözenekler içerisine sulu çözelti halinde yerleştirilmesi

AAO'ların ağırlıkları ölçüldükten sonra;

- 1) Oda sıcaklığında tam doymuş tuz-su çözeltisi hazırlandı.
- 2) Hazırlanan tam doymuş tuz-su çözeltisi AAO'ların üzerine bir şırınga yardımı ile damlatıldı.
- 3) Tuz-su çözeltisi damlatılan örnekler, suyun AAO porlarından uzaklaştırılması amacı ile vakum altında 12 saat bekletildi.
- 4) AAO'ların üzerinde kalan fazla tuzlar yumuşak zımpara kumaşı ile temizlendi.

Aynı şekilde AAO'ların ağırlıkları hassas terazide sabitlenene kadar dolun işlemi tekrarlandı.

2.6.3 Tuzların nanogözenekler içerisine kontrollü soğutularak yerleştirilmesi

Tartımı yapılan AAO'ların porlarını doldurmak için aşağıdaki prosedür izlendi.

- 1) Sulu tuz çözeltisi 70°C'de doygun olarak hazırlanmıştır.

- 2) AAO'lar sulu çözelti içerisinde 70°C'de 30dk bekletilmiştir.
- 3) Daha sonra tuz/su çözeltisi 70°C'den 25°C'ye kadar 0.25°C/dk hızla kontrollü olarak soğutulmuştur. Böylelikle AAO porlarının içerisinde tuz kristalleri büyütülmesi amaçlanmıştır.
- 4) AAO'lar 25°C'de çözelti içerisinde çıkarıldıktan sonra vakumlu fırında oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan AAO'ların üzerinde kalan tuzlar nemli ve yumuşak bir zımpara kumaşı ile temizlenmiştir.

Bu prosedür AAO porları tamamen dolana kadar tekrar edilmiştir. Porların etkin bir şekilde dolduğunu anlamak için her doldurma işleminden sonra porlu membran yüzeyleri temizlenip tekrar tartılmıştır. Ağırlık sabit kaldığında prosedür sonlandırılmıştır. Dolu ve boş membranların arasındaki ağırlık farkından AAO porları içerisinde ne kadar tuz olduğu saptanmıştır.

2.7 Alümina Membranından Alüminyum Alttaşın Uzaklaştırılması

Alümina membranın alt tarafında bulunan alüminyum tabakanın uzaklaştırılması için 13,6 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 400 ml H_2O + 400 ml HCl (37% v/v) karışımı hazırlanmıştır. Bu karışım AAO'nun sadece alüminyum tabakasını aşındırmaktadır. Böylelikle membrane kısmı kolaylıkla elde edilebilmektedir. Daha sonra yapılacak karakterizasyon işlemine göre elde edilen membranlar analiz işlemine hazır hale getirilmektedir.

2.8 Karakterizasyon Yöntemleri

2.8.1 Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

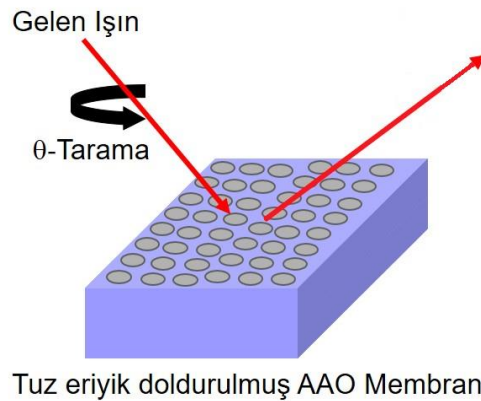
Pelet haline getirilen farklı por çaplarına sahip membranlar içerisindeki tuzların termal özellikleri Mettler Toledo (DSC-822) marka diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) cihazı ile incelenmiştir. Uygulanan prosedür Çizelge 2.2'de verilmiştir. DSC ölçümlerinde kullanılan sıcaklık aralıkları ve ısıtma/soğutma hızları por içerisine doldurulan saf tuzların erime sıcaklıkları göz önünde bulundurularak karşılaştırılmış ve uygulanmıştır.

Çizelge 2.2: DSC ölçümlerinde kullanılan sıcaklık aralıkları ve ısıtma/soğutma hızları

	Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Bitiş Sıcaklığı (°C)	Isıtma/Soğutma Hızı (°C / dk)
1. Soğutma	25	-10	10
1. Isıtma	-10	250	10
2. Soğutma	250	-10	10
2. Isıtma	-10	250	10
3. Soğutma	250	25	10

2.8.2 X-ışını kırınımı (XRD)

AAO porlarına sıkıştırılmış tuz kristal yapılarını gözlemlemek için XPERT-PRO kırınım ölçer sistemi PW3050/60 $\theta/2\theta$ gonyometresi kullanılmıştır. 10° - 60° tarama aralığında veriler elde edilmiştir. Şekil 2.3’de tarama geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Tuz eriyik doldurulmuş AAO porlarının tarama geometrisi

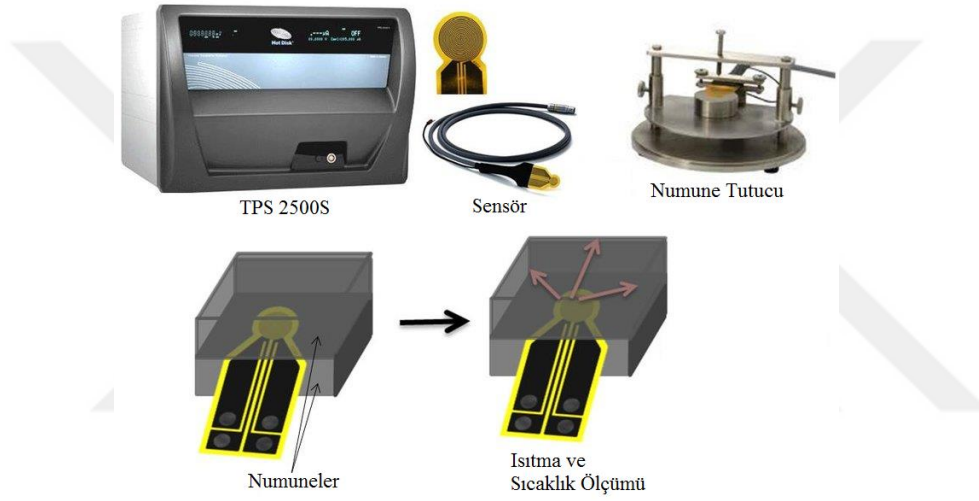
2.8.3 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

AAO porlarına doldurulan tuz kristallerine ait taramalı elektron mikroskop görüntüleri LEO Gemini 1530 cihazı ile 3,5nm 0,9-10kV elektron hızlandırma voltajı kullanılarak elde edilmiştir. Bu görüntülerle AAO porlarının tuz kristalleri ile dolu olup olmadığı incelenmiştir.

2.8.4 Termal özellikler analizörü (TPS)

Por içerisine sıkıştırılmış tuz kristallerinin termal iletkenlik değerleri sıcak disk geçici düzlem kaynağı (TPS) yöntemi ile TPS 2500S isimli sıcak disk termal özellikler

analizörü ile oda sıcaklığında elde edilmiştir. TPS yönteminde Sıcak Disk Sensörü, ince bir metal (Nikel) folyo ile kazınmış, çift sarmal şeklinde elektrik iletken bir desenden oluşur. Bir ölçüm gerçekleştirirken, her biri düzlem yüzeyi sensöre bakacak şekilde iki adet numune parçası arasına bir Sıcak Disk Sensörü yerleştirilir (Şekil 2.4). Sensörün sıcaklığını yüksek sıcaklığa kadar arttıracak kadar güçlü bir elektrik akımı uygulayarak ve aynı zamanda zamanın bir fonksiyonu olarak direnç (sıcaklık) artışını kaydeden Sıcak Disk Sensörü hem bir ısı kaynağı hem de dinamik bir sıcaklık algılayıcısı olarak kullanılır. Bu yöntemle, 0.005 ile 1800 W/m.K arasındaki termal iletkenlik değerlerini %3'ten az bir hassasiyetle elde etmek mümkündür.



Şekil 2.4: TPS 2500S sıcak disk termal özellikler analizörü ve kullanımı

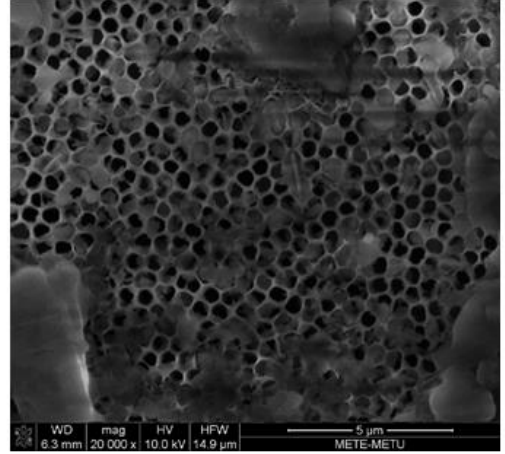
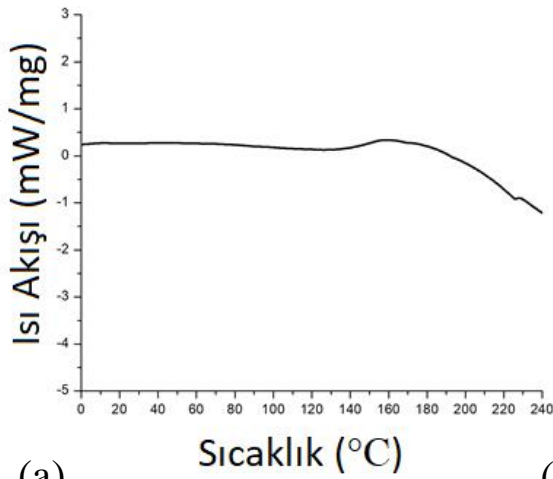
Tez için elde edilen bütün termal iletkenlik değerleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2.3'te termal iletkenlik ölçümünün gerçekleştirildiği koşullar verilmiştir.

Çizelge 2.3: TPS analizi ölçüm koşulları

Numune	Ölçüm Süresi (s)	Verilen Güç (W)	Ortam Sıcaklığı (°C)
Boş AAO	4	260	22,7
AAO/KNO ₃	5	200	23,4
AAO/NaNO ₃	5	220	23,9
AAO/Solar Tuz	5	200	23,4

3. BULGULAR

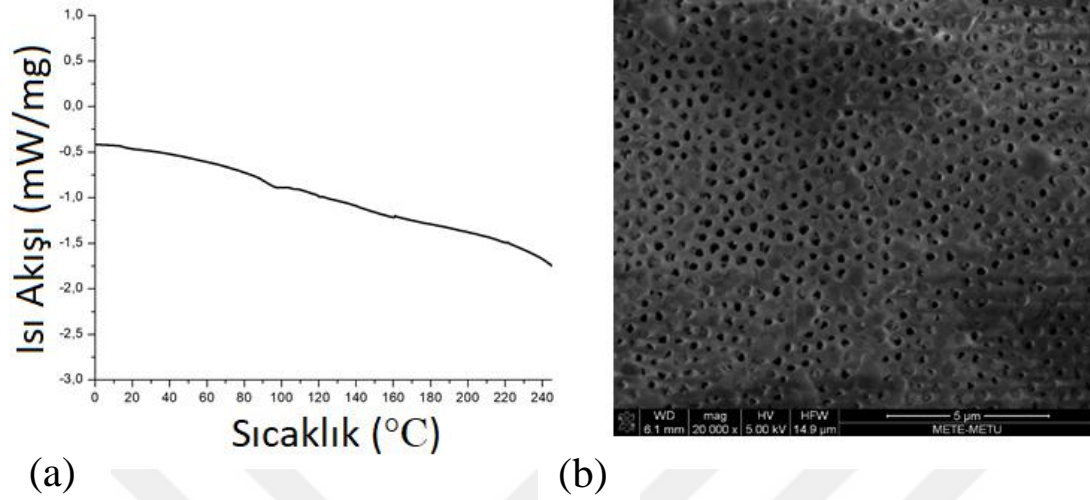
Tuzların AAO porlarına doldurulmasında üç farklı yöntem denenmiştir. Bu yöntemlerle elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. KNO_3 tuzunun AAO porlarına eriyik halde yerleştirilmesi denenmiştir (2.6.1). Bu yöntemle porların doldurulması hedeflenmiştir ancak Şekil 3.1'deki sonuçlar incelendiğinde DSC ölçümlerinde herhangi erime piki elde edilememiştir ve SEM görüntülerinde porların büyük bir kısmının boş olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemle hazırlanan örneklerin başarısız olduğu gözlemlenmiştir. Tuzlar AAO'nun üzerinde $400^\circ C$ 'de eritilip tekrar dondurulduğunda, tuzların AAO membran üzerine yapıştığını ve temizleme sırasında bu tuzların membranların üzerinden tamamamen temizlenemediği gözlemlenmiştir. Ayrıca $400^\circ C$ 'de hazırlanan örneklerin sıcaklığın etkisiyle genişerek kırıldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı AAO'lar bu yöntemle başarılı bir şekilde doldurulamamıştır.



Şekil 3.1: KNO_3 tuzunun 200nm gözenek çapına sahip AAO içerisine eriyik olarak doldurulması ile elde edilen kompozit yapının (a) DSC ölçümü (b) SEM görüntüsü

Eriyik halde doldurma yönteminin başarısız olduktan sonra, AAO porları tuz-su çözeltisi ile doldurulmasına karar verilmiştir (2.6.2). Bu yöntemde tuz-su çözeltisi bir

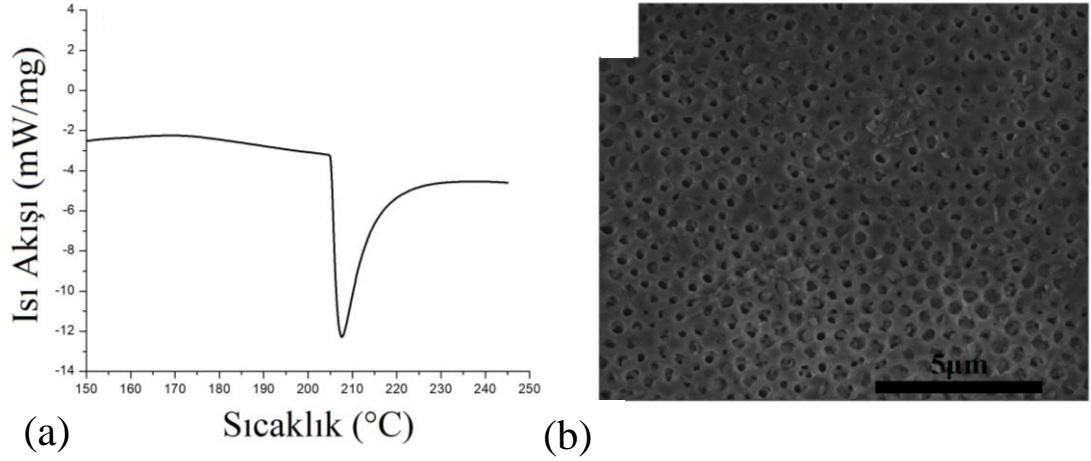
şırınga yardımı ile AAO membranının üzerine damlatılmış ve daha sonra vakum altında suyun uzaklaştırılıp tuzun porların içerisinde kalması amaçlanmıştır.



ŞEKİL 3.2: : KNO_3 tuzunun 200nm gözenek çapına sahip AAO içerisine tuz-su çözeltisi olarak doldurulması ile elde edilen kompozit yapının (a) DSC ölçümü (b) SEM görüntüsü

Şekil 3.2’de sonuçlar incelendiğinde oda sıcaklığında tam doymuş tuz-su çözeltisi ile hazırlanan örneklerin porlarının dolu olmadığı SEM görüntülerinde görülmektedir ve aynı zamanda DSC ölçümlerinde erime piki elde edilememiştir. Bu yöntemle hazırlanan örneklerde şırınga ile damlatılan tuz-su çözeltisi miktarı çok az olduğu için vakum sırasında su çok hızlı bir biçimde buharlaşmıştır. Bu durum AAO porlarının tuz-su çözeltisi dolmadan suyun buharlaşmasını gerçekleştirmektedir. AAO porları dolmadan su buharlaştığından dolayı bu yöntem de başarısız olmuştur. Ayrıca tuz-su çözeltisini vakum almadan AAO membranların üzerinde bekletmek bir çözüm olmamıştır çünkü porların içerisinde bulunan hava direnç oluşturmaktadır ve porların tuz-su çözeltisi ile dolmasını engellemektedir.

Denenen ilk iki yöntemin başarısız olmasından dolayı, son olarak $70^{\circ}C$ ’de tam doymuş tuz-su çözeltisi kontrollü olarak soğutularak AAO’ların doldurulması hedeflenmiştir (2.6.3). Bu yöntemle hazırlanan AAO kompozitinin sonuçları Şekil 3.3’te verilmiştir. DSC sonuçlarında elde edilen erime piki ve SEM görüntülerindeki doluluk oranı incelendiğinde, kontrollü soğutma yöntemi ile hazırlanan numuneler yapılacak diğer karakterizasyon işlemleri için uygun bulunmuştur.



Şekil 3.3: KNO_3 tuzunun 200nm gözenek çapına sahip AAO içerisine tuz-su çözeltisi halinde kontrollü soğutularak doldurulması ile elde edilen kompozit yapının (a) DSC ölçümü (b) SEM görüntüsü

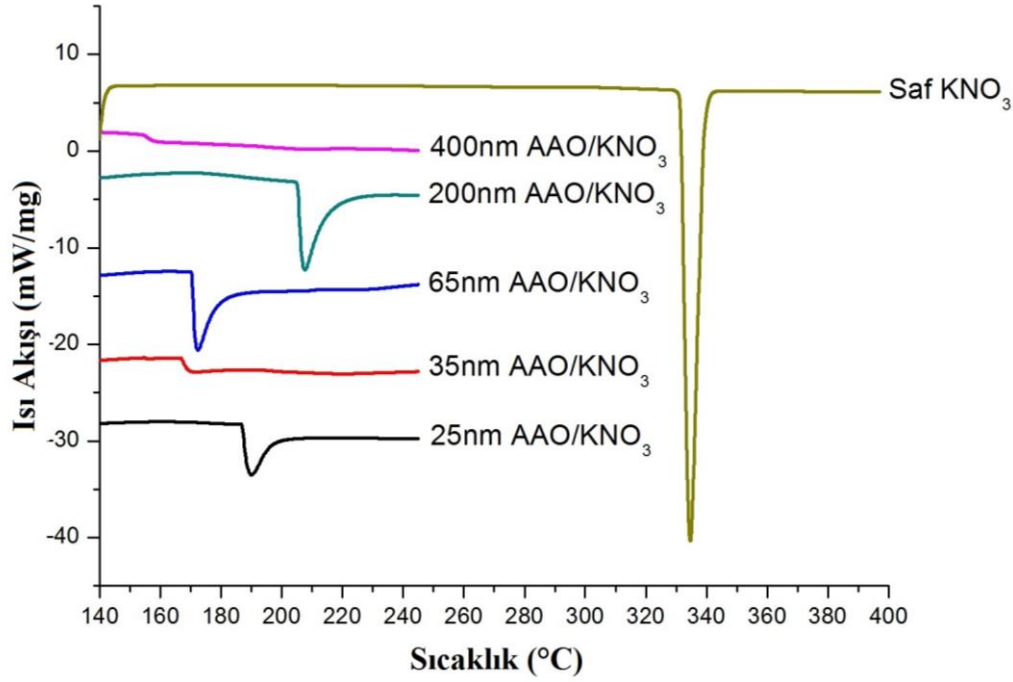
Gerçekleştirilen yöntemde $70^\circ C$ 'de tam doygun olarak hazırlanan KNO_3 -su çözeltisinin içerisine AAO'lar daldırılmıştır. Bu halde yaklaşık 30dk bekletilmiş ve daha sonra $0.25^\circ C/dk$ hızla soğutulmuştur. Buradaki asıl amaç tuz-su çözeltisinin porlar içerisine yerleştirip soğuma işlemini başlattıktan sonra por içerisinde tuz kristallerini büyütmektir. Por içerisinde büyüyen tuz kristalleri porları doldurup, AAO içerisinde nano sıkıştırma etkisini incelememizi sağlamıştır.

Sonuçlar incelendiğinde DSC ölçümlerinde bariz bir erime piki görülmektedir. Ayrıca SEM görüntülerinde porların neredeyse tamamının dolduğu gözlemlenmektedir. Bu yöntemle hazırlanan AAO kompozit yapıların başarılı olduğu görülmektedir. Bundan sonra yapılan bütün ölçümlerde kontrollü soğutma yöntemi kullanılmıştır.

3.1 Tekli Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Erime Sıcaklığı Analizi

DSC ölçümleri sayesinde yığın tuzların (KNO_3 , $NaNO_3$ ve bunların ötektik karışımları) ve AAO/Tuz kompozit yapıların erime sıcaklığı değerleri ölçülmüştür. AAO/ KNO_3 kompozit yapının gözenekleride tuzların yığın tuzlara kıyasla erime sıcaklıklarının oldukça düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 3.4).

En fazla düşüşün 400nm'lik AAO porlarında, en az düşüşün ise 200nm'lik AAO porlarında gerçekleştiği gözlemlenmektedir.



Şekil 3.4: Saf KNO₃ tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş KNO₃ tuzunun erime sıcaklıklarını gösteren DSC ölçümleri

Saf KNO₃ tuzunun erime sıcaklığının en fazla 334°C'den 161°C'ye düştüğü, en az ise 209°C'ye düştüğü görülmektedir. Erime sıcaklığındaki düşüşün por çapına sistematik olarak bağlı olmadığı görülmektedir. Ancak her AAO por çapı için erime sıcaklıklarının bariz bir biçimde düştüğü gözlemlenmektedir. Çizelge 3.1'de farklı por çaplarına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş KNO₃ tuzunun erime sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 3.1: Saf KNO₃ tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş KNO₃ tuzunun erime sıcaklıkları

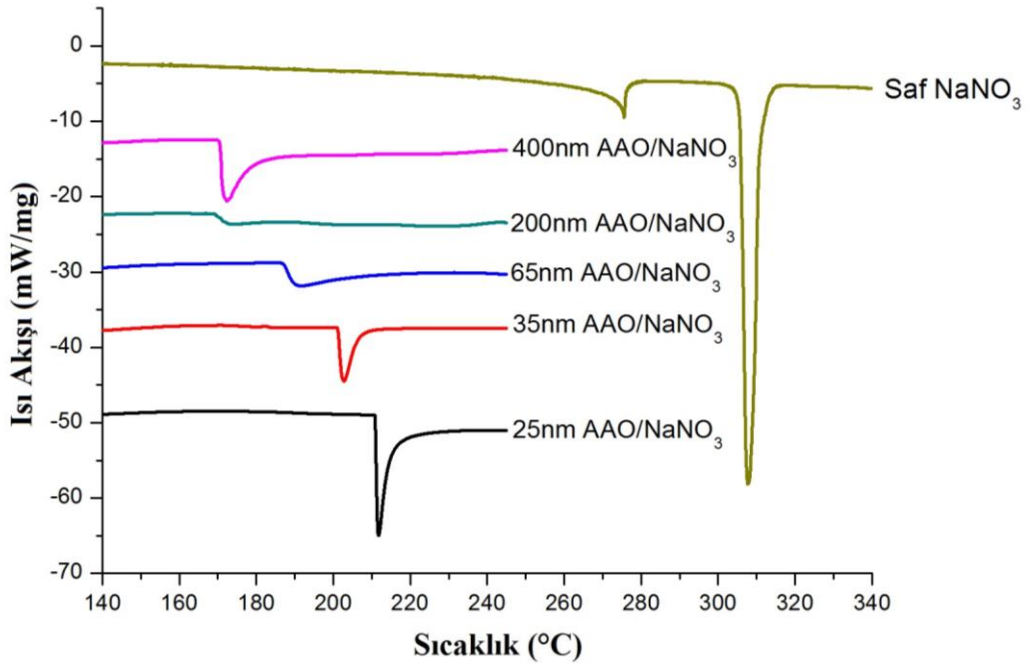
Numune	Erime Sıcaklığı (°C)
Saf (Yığın) KNO ₃	334
25nm AAO/KNO ₃	189
35nm AAO/KNO ₃	168
65nm AAO/KNO ₃	171
200nm AAO/KNO ₃	207
400nm AAO/KNO ₃	161

AAO/NaNO₃ kompozit yapının erime sıcaklığı değerleri DSC analizi ile elde edilmiştir. DSC analizinin sonuçları Şekil 3.5’de verilmiştir. KNO₃ tuzunda olduğu gibi NaNO₃ tuzunda da erime sıcaklıkları saf NaNO₃’e göre düşüş göstermektedir.

En fazla düşüşün 308°C’den 172°C’ye 400nm AAO/NaNO₃ kompozit yapıda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. En az düşüşün ise 308°C’den 212°C’ye 25nm AAO/NaNO₃ kompozit yapıda gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.2: AAO polarına doldurulmuş KNO₃, NaNO₃ ve solar tuz kütlesi

Por Çapı (nm)	KNO ₃ Kütlesi (mg)	NaNO ₃ Kütlesi (mg)	Solar Tuz Kütlesi (mg)
25	1,9 ± 0,05	2,4 ± 0,05	2,2 ± 0,05
35	2,8 ± 0,05	3,4 ± 0,05	3,1 ± 0,05
65	3,9 ± 0,05	4,4 ± 0,05	4,0 ± 0,05
200	5,2 ± 0,05	5,9 ± 0,05	5,4 ± 0,05
400	6,4 ± 0,05	7,8 ± 0,05	6,9 ± 0,05



Şekil 3.5: Saf NaNO₃ tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO’lar içerisine doldurulmuş NaNO₃ tuzunun erime sıcaklıklarını gösteren DSC ölçümleri

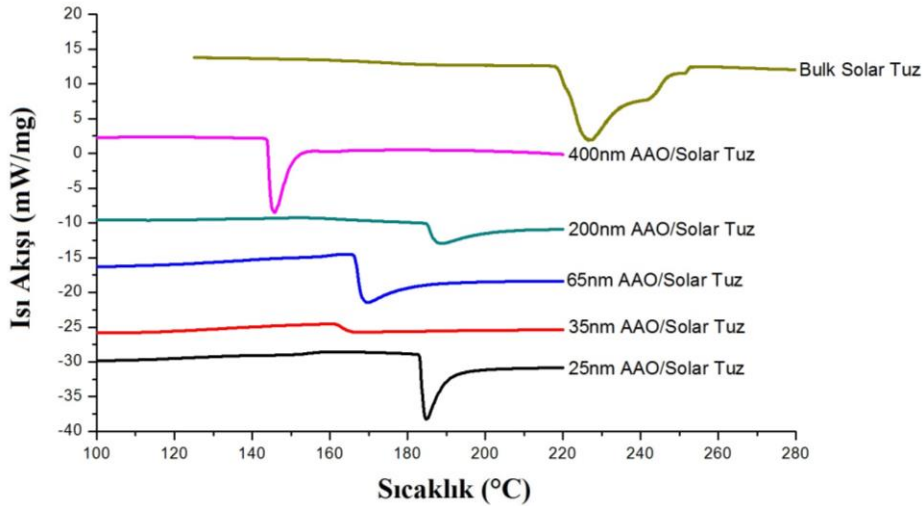
Şekil 3.5 ve Çizelge 3.3 incelendiğinde AAO/NaNO₃ kompozit yapının erime sıcaklığı düşüşü sistematik olarak değişmektedir. Kompozit yapıda, AAO por çapı arttıkça erime sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.3: Saf NaNO₃ tuzunun ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş NaNO₃ tuzunun erime sıcaklıkları

Numune	Erime Sıcaklığı (°C)
Saf (Yığın) NaNO ₃	308
25nm AAO/NaNO ₃	212
35nm AAO/NaNO ₃	203
65nm AAO/NaNO ₃	195
200nm AAO/NaNO ₃	175
400nm AAO/NaNO ₃	172

3.2 İkili Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Erime Sıcaklığı Analizi

AAO/Solar tuz kompozit yapının erime sıcaklık değerlerini gösteren DSC ölçümleri Şekil 3.6'te gösterilmiştir. Erime sıcaklığı düşüşü en fazla 400nm AAO/Solar tuz kompozit yapıda gözlemlenirken, en az ise 25nm AAO/Solar tuz kompozit yapıda gözlemlenmektedir.



Şekil 3.6: Ötektik tuz (Solar Tuz) karışımının ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş ötektik tuzun erime sıcaklıklarını gösteren DSC ölçümleri

Çizelge 3.4: Ötektik tuz (Solar Tuz) karışımının ve 25, 35, 65, 200 ve 400nm por çapına sahip AAO'lar içerisine doldurulmuş solar tuzun erime sıcaklıkları

Numune	Erime Sıcaklığı (°C)
Solar Tuz	222
25nm AAO/Solar Tuz	185
35nm AAO/Solar Tuz	162
65nm AAO/Solar Tuz	169
200nm AAO/Solar Tuz	184
400nm AAO/Solar Tuz	142

Erime sıcaklığı düşüşü KNO_3 tuzuda olduğu gibi yine sistematik bir düşüş göstermemektedir.

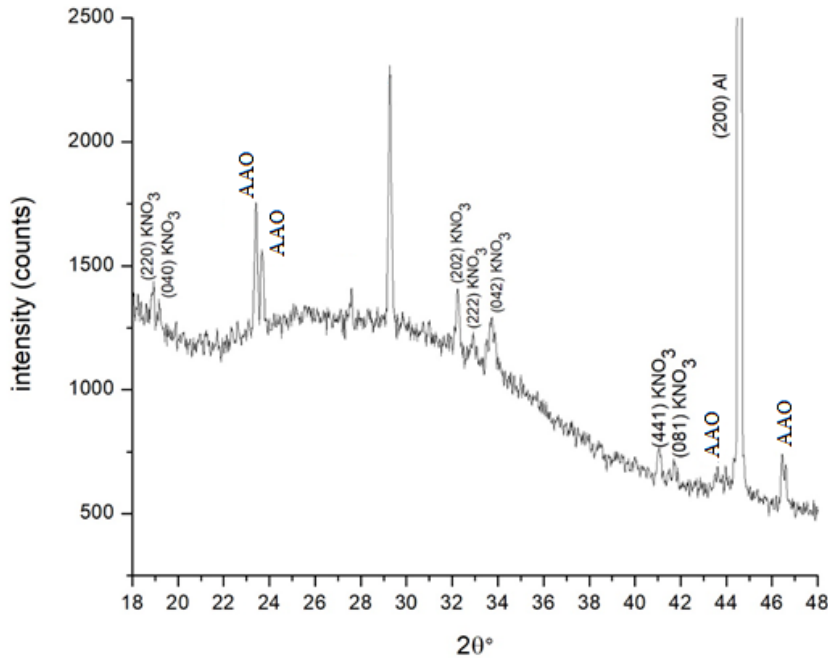
Çizelge 3.4'te AAO/Solar Tuz kompozit yapının erime sıcaklıkları verilmektedir. Sistematik bir azalış olmamasına rağmen erime sıcaklıklarında kayda değer birazalış görülmektedir.

DSC ölçümlerine göre bütün kompozit yapılarda erime sıcaklığında düşüş görülmektedir. Naberezhnov ve ark. [61] yaptıkları çalışmada da dielektrik spektroskopi deneylerinde KNO_3 doldurulmuş nano gözenekli camlarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen kompozit yapılarda faz geçişi sıcaklıklarında değişim gözlemlenmiştir. Yaptıkları bir diğer çalışmada ise [63] farklı ortalama gözenek çaplarına sahip potasyum nitrat doldurulmuş üç tip gözenekli cam (320nm, 46nm ve 7nm) hazırlanmıştır. Bu kompozitler 293 - 570 K sıcaklık aralığında ve 0.1 - 10^7 Hz frekans aralığında dielektrik özelliklerinin incelendiğinde, ferroelektrik faz geçişinin sıcaklığının ortalama gözenek çaplarının azaltılmasıyla azaldığını gözlemlemişlerdir. Ancak bizim yaptığımız deneylere göre ortalama por çapı azaldıkça erime sıcaklığı artmaktadır. Literatüre göre AAO porlarında tuzlara etki eden temelde iki kuvvet bulunmaktadır [46]. Bu iki kuvvet, elastik kuvvetler ve yüzey etkisi kuvvetleridir. Burada elastik kuvvetler moleküllerin düzensizliğinden dolayı ortaya çıkan kuvvet ve yüzey etkisi kuvveti ise por yüzeyi ile molekül arasında gerçekleşen bağlanma dayanımıdır. Literatüre göre yüzey etkisi faz geçiş sıcaklığında artış sağlarken, elastik kuvvetler azaltmaktadır. Buna göre $NaNO_3$ doldurulmuş AAO'ların sonuçları incelendiğinde 400nm'de elastik kuvvetler 25nm'ye göre daha

baskın geldiği görülmektedir. Bu durumda 400nm por çaplı AAO'larda erime sıcaklığı daha fazla düşmektedir. Aynı şekilde 25nm por çaplı AAO'larda yüzey etkisi baskın olduğu için erime sıcaklığındaki düşüş daha az olmaktadır. KNO_3 ve ikili tuz doldurulmuş kompozitlerde düzensiz bir erime sıcaklığı düşüşü nedeni, AAO membran üzerinde kalan fazladan tuzlara bağlı olduğu düşünülmektedir. KNO_3 tuzu kristallenme sırasında, yapısı gereği AAO'nun oksit tabakasına yapışmaktadır. Bu durum KNO_3 tuzunu yüzeyden tam olarak temizlemeyi zorlaştırmaktadır.

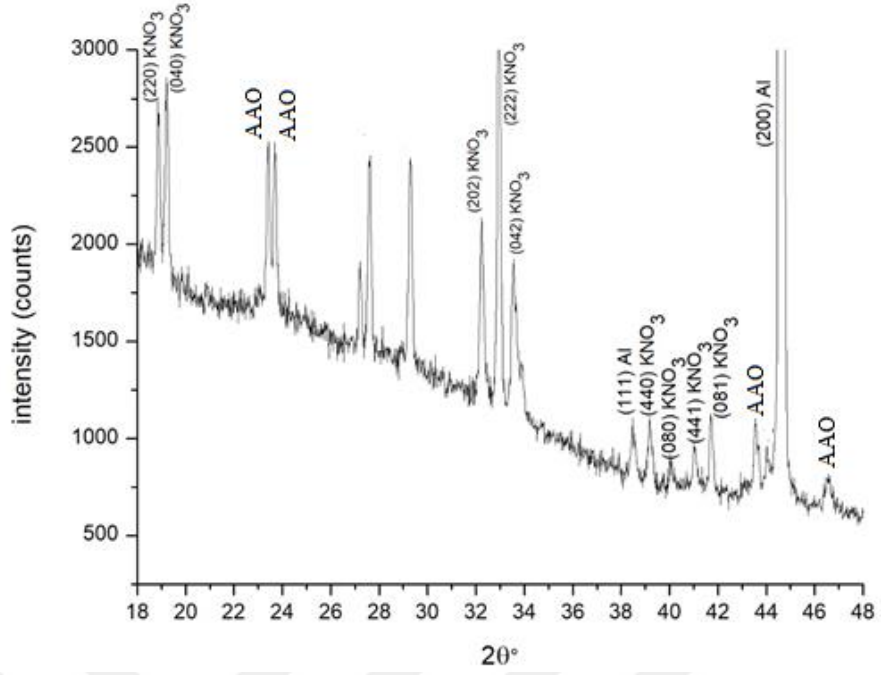
3.3 Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Kristal Yapı Analizi

25nm, 200nm ve 400nm por çaplı AAO/ KNO_3 kompozit yapının XRD kırınım desenleri sırasıyla Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir.

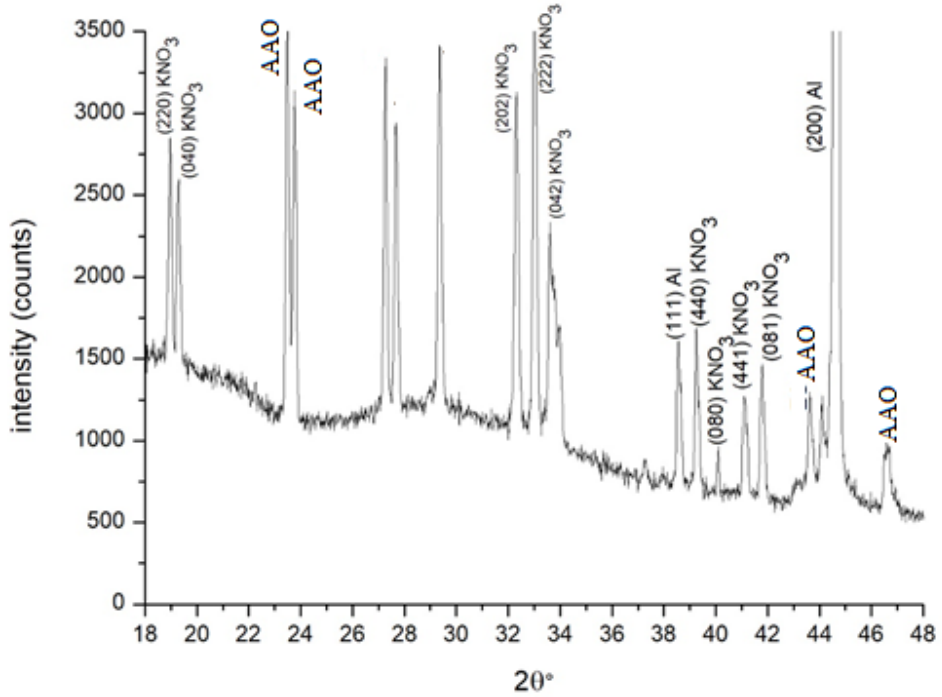


Şekil 3.7: 25nm AAO/ KNO_3 kompozitinin X-ışını kırınım desenleri

KNO_3 dolu gözenekli AAO filmin XRD spektrumunda, paraelektrik ortorombik faza karşılık gelen iki tepe noktasının ((220) ve (040)) mevcut olduğu gözlemlendi. Bu iki zirvenin yoğunluğu birbirine yakındır ve bu gözeneklerdeki KNO_3 kristallerinin [010] ve [110] yönüne doğru kristalografik yöneliminin bir göstergesidir.



Şekil 3.8: 200nm AAO/KNO₃ kompozitinin X-ışını kırınım desenleri



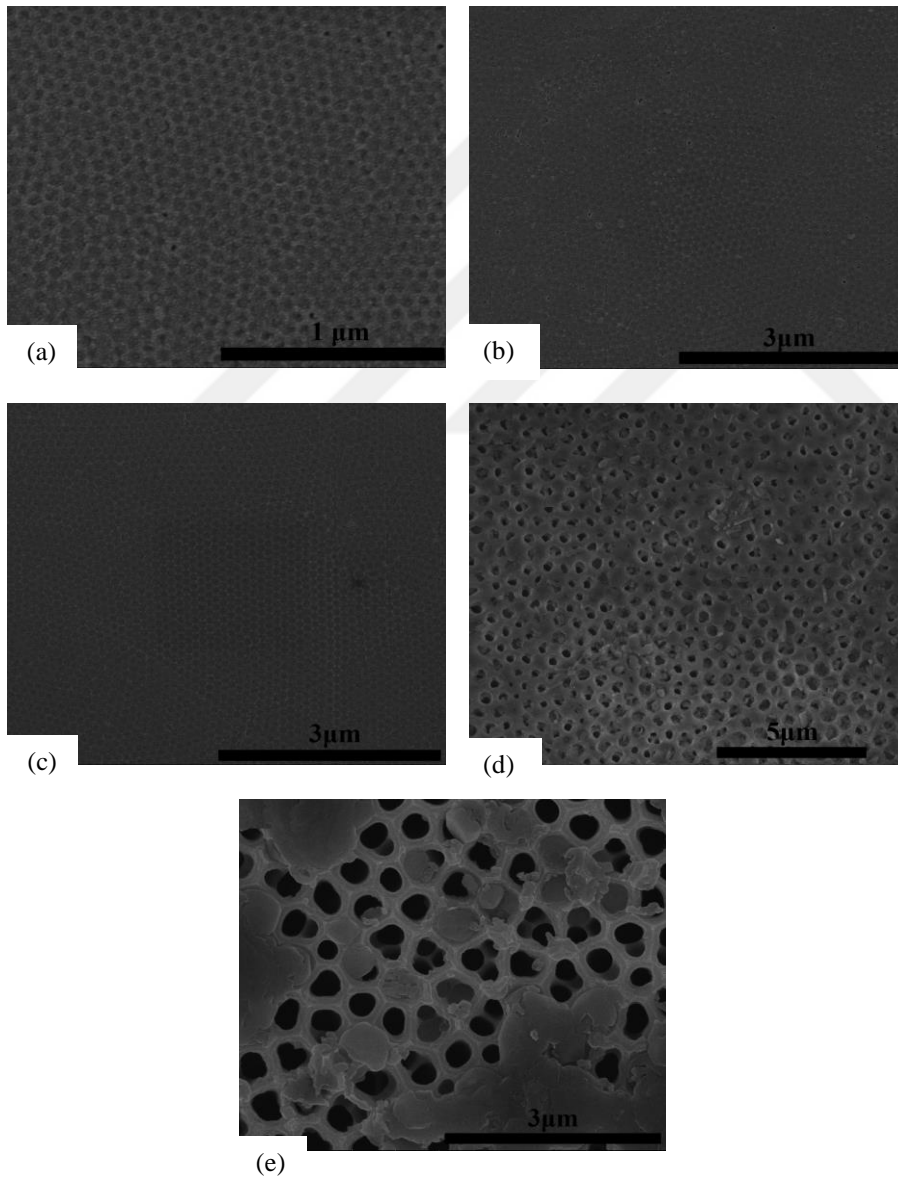
Şekil 3.9: 400nm AAO/KNO₃ kompozitinin X-ışını kırınım desenleri

KNO₃ kristallerinin yönü, gözeneklerin uzunlaşmasına eksenine paralel olarak yönlendirildiği anlaşılmaktadır.

3.4 Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Morfolojik Analizi

AAO/ KNO_3 kompozitinin SEM görüntüleri Şekil 3.10'de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde 25nm, 35nm ve 65nm'lik AAO'ların porları tam dolu olarak görülmektedir. Ancak 200nm ve 400nm'lik AAO'ların porları kısmen dolu olarak görülmektedir.

200nm ve 400nm'lik AAO'ların hazırlanışında kullanılan asit, diğer AAO'lardan farklı olduğu için bu iki AAO kısmen doldurulmuştur ancak AAO'ların por çapları büyük olduğu için por içerisine doldurulan tuz kütlesi yüksek çıkmaktadır.



Şekil 3.10: (a) 25nm, (b) 35nm, (c) 65nm, (d) 200nm ve (e) 400nm por çaplı AAO'lar içerisine doldurulmuş KNO_3 tuzunun SEM görüntüleri

Çizelge 3.2’te AAO porlarına doldurulmuş KNO_3 tuzu kütlesi verilmektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi 200nm ve 400nm’lik AAO’ların porları kısmen doludur ancak SEM görüntüleri üstten alındığı için porlar kısmen dolu görülmektedir.

3.5 Tuz Eriyik/AAO Kompozitlerin Termal İletkenlik Sabiti Ölçümleri

Farklı por çaplarına sahip AAO’lar içerisine KNO_3 doldurulması ile ısı iletkenlik değerlerinin büyük oranda arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek artışın 35nm por çapına sahip AAO/ KNO_3 kompozitinde gerçekleştiği görülmüştür.

Çizelge 3.5: Farklı por çaplarına ait boş AAO ve AAO/ KNO_3 kompozit yapıların ısı iletkenlik değerleri

AAO Por Çapı	Isıl İletkenlik (Boş AAO)	Isıl İletkenlik (AAO/ KNO_3)	% Artış Miktarı
25 nm	$0,485 \pm 0,023$ W/m.K	$0,626 \pm 0,028$ W/m.K	%29
35 nm	$0,511 \pm 0,019$ W/m.K	$0,822 \pm 0,046$ W/m.K	%73
65 nm	$0,498 \pm 0,041$ W/m.K	$0,716 \pm 0,078$ W/m.K	%21
200 nm	$0,822 \pm 0,027$ W/m.K	$0,957 \pm 0,034$ W/m.K	%16

Çizelge 3.6: Farklı por çaplarına ait boş AAO ve AAO/ $NaNO_3$ kompozit yapıların ısı iletkenlik değerleri

AAO Por Çapı	Isıl İletkenlik (Boş AAO)	Isıl İletkenlik (AAO/ $NaNO_3$)	% Artış Miktarı
25 nm	$0,485 \pm 0,023$ W/m.K	$0,683 \pm 0,023$ W/m.K	%41
35 nm	$0,511 \pm 0,019$ W/m.K	$0,834 \pm 0,044$ W/m.K	%63
65 nm	$0,498 \pm 0,041$ W/m.K	$0,696 \pm 0,068$ W/m.K	%40
200 nm	$0,822 \pm 0,027$ W/m.K	$1,153 \pm 0,038$ W/m.K	%40

Çizelge 3.6’da $NaNO_3$ tuzunun AAO porlarına doldurulması ile elde edilen kompozit yapının termal iletkenlik değerleri verilmiştir. En yüksek termal iletkenlik değeri artışının 35nm por çaplı AAO/ $NaNO_3$ kompozit yapıda gerçekleşmiştir. $NaNO_3$ doldurulmuş AAO kompozit yapısında ısı iletkenlik değerleri incelendiğinde, 200nm AAO/ $NaNO_3$ kompozitinde 1 W/m.K’nin üzerine çıkmıştır. Ancak KNO_3

doldurulmuş örneklerde ısı iletkenlik değeri istenilen 1 W/m.K'nin üzerine çıkamamıştır. En yakın değeri 0,957 W/m.K ile 200nm por çapına sahip örnekte elde edilmiştir. Isıl iletkenlik değerlerinin büyük ölçüde artması ve 1 W/m.K'in üzerinde değeri elde edilmesi, hazırlanan kompozit yapıların YGE santrallerinde ITA veya TDA olarak kullanılabilmesi düşünölmektedir.

Çizelge 3.7: Farklı por çaplarına ait boş AAO ve AAO/Solar tuz kompozit yapıların ısı iletkenlik değeri

AAO Por Çapı	Isıl İletkenlik (Boş AAO)	Isıl İletkenlik (AAO/Solar Tuz)	% Artış Miktarı
25 nm	0,485± 0,023 W/m.K	0,543± 0,025 W/m.K	%12
35 nm	0,511± 0,019W/m.K	0,724± 0,033 W/m.K	%42
65 nm	0,498± 0,041 W/m.K	0,603± 0,028 W/m.K	%21
200 nm	0,822± 0,027 W/m.K	1,003± 0,051 W/m.K	%22

Çizelge 3.7'de solar tuzun AAO porlarına doldurulması ile elde edilen kompozit yapının termal iletkenlik değeri verilmiştir. En yüksek termal iletkenlik değeri artışının 35nm por çaplı AAO/Solar tuz kompozit yapıda gerçekleşmiştir. Ayrıca çok az bir farkla, solar tuz doldurulmuş 200nm por çaplı AAO kompozitinin ısı iletkenlik değeri 1 W/m.K'nin üzerinde elde edilmiştir.

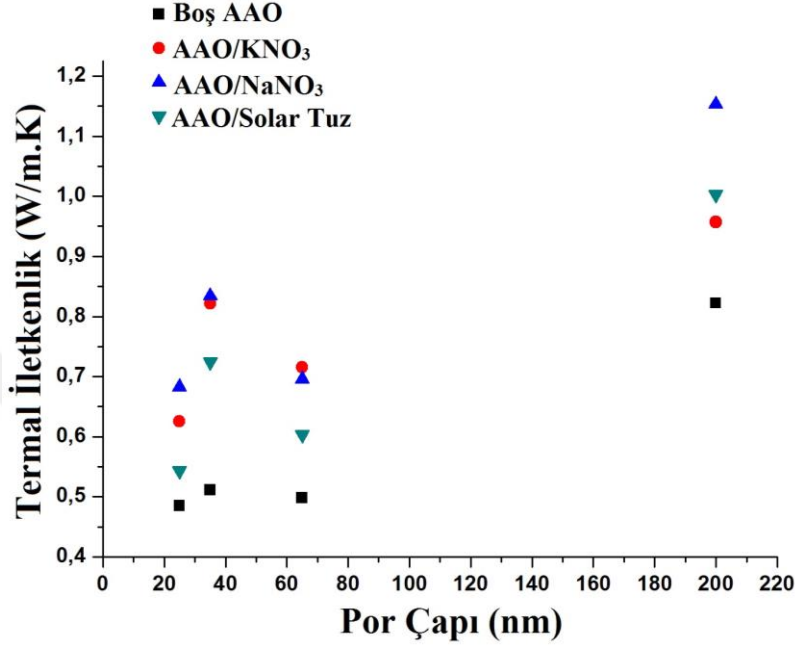
4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında KNO_3 , $NaNO_3$ ve bu tuzların ötektik karışımları başarılı bir şekilde AAO membran porlarına yerleştirilmiştir. Porların doluluk durumunu incelemek için hem hassas terazi ile ağırlık ölçümleri (Çizelge 3.2) ile hem de SEM görüntüleri (Şekil 3.10) ile kontrol edilmiştir. Bu ölçümler ile porların büyük oranda dolu olduğu gözlemlenmiştir.

AAO/ KNO_3 kompozit yapıda yapılan XRD analizi ile AAO porlarına yerleştirilen KNO_3 tuzunun por içerisindeki yönelimi analiz edilmiştir. 25nm, 200nm ve 400nm por çapına sahip AAO/ KNO_3 kompozit yapısı için XRD analizi yapılmış olup elde edilen ölçümlere göre KNO_3 kristali gözeneklerin uzunlamasına eksenine paralel olarak yönlendirildiği anlaşılmaktadır. Doron ve Shiomo[58] yaptıkları çalışmada potasyum nitrat tuzu doldurulmuş AAO porlarının XRD analizlerini gerçekleştirmiştir. KNO_3 kristallerinin yönü, gözeneklerin uzunlamasına eksenine paralel olarak elde etmişlerdir. Yani XRD ile alınan ölçümler literatürle uyumluluk göstermektedir. Bu durumda tuzların AAO porlarına düzgün bir biçimde yerleştirildiği söylenebilir.

Porların içerisine yerleştirilen tuzların termal analizleri de yapılmıştır. Bu analizlere göre porların içerisine yerleştirilen tuzların termal özellikleri yığın tuzlara göre değişiklik göstermektedir. Yapılan DSC çalışmasına göre, farklı por boyutlarına sahip AAO içerisine doldurulmuş bütün tuzların erime sıcaklıklarında bariz bir düşüş gözlemlenmiştir. KNO_3 doldurulmuş AAO'ların DSC sonuçları incelendiğinde, en fazla erime sıcaklığı düşüşü 400nm por çapına sahip AAO'lara doldurulmuş KNO_3 tuzunda gerçekleşmiştir. KNO_3 tuzunun erime sıcaklığı en fazla $173^\circ C$ kadar düşmüştür. Ötektik tuz karışımı ile hazırlanan AAO'lar da ise en fazla erime sıcaklığı düşüşü 400nm por çapına sahip AAO'larda gerçekleşmiştir. Ötektik karışımın erime sıcaklığı en fazla $37^\circ C$ düşmüştür. Ancak KNO_3 ve ötektik tuz karışımında, erime sıcaklığı düşüşlerinin por çapının bir fonksiyonu olmadığı gözlemlenmiştir. $NaNO_3$ tuzu ile hazırlanan AAO kompozit yapıda bu durum diğer tuzlara göre farklıdır çünkü erime sıcaklığı bu yapıda por çapı azaldıkça artmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre

erime sıcaklığı her bir AAO/tuz kompozit yapıda düştüğü görülmektedir. Bu durumda hazırlanan bu kompozit yapıların, halihazırda YGE santrallerinde kullanılan ITA'lara göre erime sıcaklığının düşük olduğu ölçülmüştür. Erime sıcaklığındaki bu düşüş YGE santrallerinin çalışma verimini arttıracakı düşünülmektedir.



Şekil 4.1: Boş ve KNO₃ doldurulmuş AAO'ların oda sıcaklığında alınmış termal iletkenlik değerleri grafiği

AAO/tuz kompozit yapısının termal iletkenlik değerleri TPS yöntemi ile oda sıcaklığında (yaklaşık 25°C) elde edilmiştir. Boş AAO'lara göre hazırlanan kompozit yapılarda termal iletkenlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek termal iletkenlik artışının 35nm AAO/KNO₃ yapıda gerçekleştiği görülmektedir. Artış miktarı %73 olarak hesaplanmıştır. Kompozit yapılar kendi içerisinde por çapına bağlı olarak sistematik bir değişim göstermese de ayrı ayrı bütün kompozitler 35nm AAO'da en yüksek termal iletkenlik değerine ulaşmaktadır. Şekil 4.1'de ölçülen bütün termal iletkenlik değerleri grafik halinde verilmiştir. Grafikten de görüleceği gibi bütün kompozit yapılarda termal iletkenlik miktarları artmaktadır. Termal iletkenlikteki bu artış ITA olarak kullanılması planlanan bu kompozit yapılarda termal verimin artmasını sağlayacaktır. Çalışma ve termal verimin artması ile YGE santrallerinde genel verimliliğin artacağı öngörülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre AAO/tuz kompozit yapının YGE santrallerinde kullanılan tuzlara kıyasla daha verimli olabileceği sonucuna varılmıştır. Erime sıcaklığındaki düşüş, termal iletkenliğinin artırılması ve AAO içerisinde düzgün bir yapıda olması nedeniyle hazırlanan kompozitin sadece YGE santrallerinde değil ayrıca nükleer santrallerde de ITA ve TED olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Ayrıca yapılan bütün termal iletkenlik ölçümleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Bu ölçümlerin YGE santrallerinin çalışma sıcaklığında yapılması gerekmektedir. Gelecekte bu ölçümlerin tamamlanması planlanmıştır.





5. KAYNAKLAR

- [1] **Morrison, M. C. and Bateman, K. J.**, (2014), "Transfer and storage of molten salt for the pyroprocessing of used nuclear fuel," in *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, vol. 8A, doi: 10.1115/IMECE2014-36481.
- [2] **Tabak, C., Dinçer, H., Karayazi, K., Arslan, E., Yildiz, M. H., and Karayazi, S.**, "YOGUNLAŞTIRICI GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ."
- [3] **Reddy, R. G.**, (2013), "Novel Molten Salts Thermal Energy Storage for Concentrating Solar Power Generation," The University of Alabama, Tuscaloosa, Golden, CO (United States), doi: 10.2172/1111584.
- [4] **Gaune-escard, M.**, *Ionic Liquids and Molten Salts: Never the Twain?* (2010).
- [5] **Weinberg, A. M.**, (1970), "Preface: Molten-Salt Reactors," *Nucl. Appl. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 105–105, doi: 10.13182/nt70-a28617.
- [6] **Cover, A. E., Schreiner, W. C., and Skaperdas, G. T.**, "THE KELLOGG COAL GASIFICATION PROCESS."
- [7] **De Luca, F., Ferraro, V., and Marinelli, V.**, (2015), "On the performance of CSP oil-cooled plants, with and without heat storage in tanks of molten salts," *Energy*, vol. 83, pp. 230–239, doi: 10.1016/j.energy.2015.02.017.
- [8] **Bellos, E., Tzivaniadis, C., and Tsimpoukis, D.**, (2018), "Thermal, hydraulic and exergetic evaluation of a parabolic trough collector operating with thermal oil and molten salt based nanofluids," *Energy Convers. Manag.*, vol. 156, pp. 388–402, doi: 10.1016/j.enconman.2017.11.051.
- [9] **Nunes, V. M. B., Queirós, C. S., Lourenço, M. J. V., Santos, F. J. V., and Nieto de Castro, C. A.**, (2016), "Molten salts as engineering fluids – A review: Part I. Molten alkali nitrates," *Applied Energy*, vol. 183. Elsevier Ltd, pp. 603–611, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.09.003.
- [10] **Sohal, M. S., Ebner, M. a, Sabharwall, P., and Sharpe, P.**, (2010), "Engineering database of liquid salt thermophysical and thermochemical properties," *Idaho Natl. Lab. Idaho Falls CrossRef*, no. March, pp. 1–70, doi: ext-10-18297.
- [11] **McCulley, C. and Vyazovkin, S.**, (2016), "Crystallization of ionic salts for calibration of differential scanning calorimeters," *Thermochim. Acta*, vol. 640, pp. 62–65, doi: 10.1016/j.tca.2016.08.003.
- [12] **Bauer, T., Laing, D., and Tamme, R.**, (2012), "Characterization of sodium nitrate as phase change material," *Int. J. Thermophys.*, vol. 33, no. 1, pp. 91–104, doi: 10.1007/s10765-011-1113-9.
- [13] **Bradshaw, R. W. and Carling, R. W.**, (1987), "A Review of the Chemical and Physical Properties of Molten Alkali Nitrate Salts and Their Effect on Materials Used for Solar Central Receivers," *ECS Proc. Vol.*, vol. 1987–7, pp. 959–969, doi: 10.1149/198707.0959pv.

- [14] **Janz, G. J. and Tomkins, R. P. T.**, (1981), *Physical Properties Data Compilations Relevant To Energy Storage - 4. Molten Salts: Data on Additional Single and Multi-Component Salt Systems.*, no. pt 4.
- [15] **Muñoz-Sánchez, B. et al.**, (2017), “Molten salt based nanofluids based on solar salt and alumina nanoparticles: An industrial approach ARTICLES YOU MAY BE INTERESTED IN Silica and alumina nano-enhanced molten salts for thermal energy storage: A comparison AIP Conference Molten Salt Based Nanofluids Based on Solar Salt and Alumina Nanoparticles: An Industrial Approach,”, vol. 1850, p. 80018, doi: 10.1063/1.4984437.
- [16] **Ercole, D., Manca, O., and Vafai, K.**, (2017), “An investigation of thermal characteristics of eutectic molten salt-based nanofluids,” *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 87, pp. 98–104, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.06.022.
- [17] **Ueki, Y., Fujita, N., Kawai, M., and Shibahara, M.**, (2017), “Thermal conductivity of molten salt-based nanofluid ARTICLES YOU MAY BE INTERESTED IN,” *AIP Adv.*, vol. 7, p. 55117, doi: 10.1063/1.4984770.
- [18] **Ren, N., Wu, Y. T., Ma, C. F., and Sang, L. X.**, (2014), “Preparation and thermal properties of quaternary mixed nitrate with low melting point,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 127, pp. 6–13, doi: 10.1016/j.solmat.2014.03.056.
- [19] **Zhang, P., Cheng, J., Jin, Y., and An, X.**, (2018), “Evaluation of thermal physical properties of molten nitrate salts with low melting temperature,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 176, pp. 36–41, doi: 10.1016/j.solmat.2017.11.011.
- [20] **Raade, J. W. and Padowitz, D.**, (2011), “Development of molten salt heat transfer fluid with low melting point and high thermal stability,” *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME*, vol. 133, no. 3, doi: 10.1115/1.4004243.
- [21] **Riazi, H., Saeed, S., Tehrani, M., and Taylor, R. A.**, *THE VALUE OF SOLAR SALT SPECIFIC HEAT ENHANCEMENT IN CONCENTRATED SOLAR THERMAL PLANTS.* (2016).
- [22] **Lasfargues, M., Geng, Q., Cao, H., and Ding, Y.**, (2015), “Mechanical dispersion of nanoparticles and its effect on the specific heat capacity of impure binary nitrate salt mixtures,” *Nanomaterials*, vol. 5, no. 3, pp. 1136–1146, doi: 10.3390/nano5031136.
- [23] **Chieruzzi, M., Miliozzi, A., Crescenzi, T., Torre, L., and Kenny, J. M.**, (2011), “A New Phase Change Material Based on Potassium Nitrate with Silica and Alumina Nanoparticles for Thermal Energy Storage,” doi: 10.1186/s11671-015-0984-2.
- [24] **Dudda, B. and Shin, D.**, (2013), “Effect of nanoparticle dispersion on specific heat capacity of a binary nitrate salt eutectic for concentrated solar power applications,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 69, pp. 37–42, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2013.02.003.
- [25] **Ho, M. X. and Pan, C.**, (2014), “Optimal concentration of alumina nanoparticles in molten hitec salt to maximize its specific heat capacity,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 70, pp. 174–184, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.10.078.

- [26] **Shin, D. and Banerjee, D.**, (2013), “Enhanced specific heat capacity of nanomaterials synthesized by dispersing silica nanoparticles in eutectic mixtures,” *J. Heat Transfer*, vol. 135, no. 3, doi: 10.1115/1.4005163.
- [27] **Nissen, D. A.**, (1982), “Thermophysical Properties of the Equimolar Mixture NaNO₃-KNO₃ from 300 to 600 C,” *J. Chem. Eng. Data*, vol. 27, no. 3, pp. 269–273, doi: 10.1021/je00029a012.
- [28] **Bradshaw, R. W.**, (2009), “Effect of composition on the density of multi-component molten nitrate salts,” Albuquerque, NM, and Livermore, CA (United States), doi: 10.2172/983681.
- [29] **Serrano-ópez, R., Fradera, J., and Cuesta-López, S.**, (2013), “Molten salts database for energy applications,” *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification.*, doi: 10.1016/j.cep.2013.07.008.
- [30] **Tufeu, R., Petitet, J. P., Denielou, L., and Le Neindre, B.**, (1985), “Experimental determination of the thermal conductivity of molten pure salts and salt mixtures,” *Int. J. Thermophys.*, vol. 6, no. 4, pp. 315–330, doi: 10.1007/BF00500266.
- [31] **Boerema, N., Morrison, G., Taylor, R., and Rosengarten, G.**, (2012), “Liquid sodium versus Hitec as a heat transfer fluid in solar thermal central receiver systems,” *Sol. Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 2293–2305, doi: 10.1016/j.solener.2012.05.001.
- [32] **Kawakami, M. . S. K. . Y. S. and T. T. .**, (2004), “Heat capacity measurement of molten NaNO₃-NaNO₂-KNO₃ by drop calorimetry.”
- [33] **Menzies, A. W. C. and Dutt, N. N.**, (1911), “The liquidus surface of the ternary system composed of the nitrates of potassium, sodium and calcium,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 33, no. 8, pp. 1366–1375, doi: 10.1021/ja02221a012.
- [34] **Chemie, E. J.-E. und angewandte physikalische and 1942, undefined**, “The quaternary system Na, K, Ca, Mg.”
- [35] **Bradshaw, R. W. and Meeker, D. E.**, (1990), “High-temperature stability of ternary nitrate molten salts for solar thermal energy systems,” *Sol. Energy Mater.*, vol. 21, no. 1, pp. 51–60, doi: 10.1016/0165-1633(90)90042-Y.
- [36] **Benages-Vilau, R., Calvet, T., Cuevas-Diarte, M. A., and Oonk, H. A. J.**, (2015), “Phase Transitions A Multinational Journal The NaNO₃-KNO₃ phase diagram The NaNO₃-KNO₃ phase diagram,” doi: 10.1080/01411594.2015.1083567.
- [37] **Chen, Y. Y. and Zhao, C. Y.**, (2017), “Thermophysical properties of Ca(NO₃)₂-NaNO₃-KNO₃ mixtures for heat transfer and thermal storage,” *Sol. Energy*, vol. 146, pp. 172–179, doi: 10.1016/j.solener.2017.02.033.
- [38] **Lee, P.Y., Uchijima, T., Yano, T.**, (2003), “Processing and Performance of Alumina Fiber Reinforced Alumina Composites,” *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 4, pp. 337–340.
- [39] **Tan, H. Bin**, (2011), “Preparation of long alumina fibers by sol-gel method using tartaric acid,” *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, vol. 18, no. 6, pp. 691–694, doi: 10.1007/s12613-011-0498-6.
- [40] **Kang, W., Cheng, B., Li, Q., Zhuang, X., and Ren, Y.**, (2011), “A new method for preparing alumina nanofibers by electrospinning technology,” *Text. Res. J.*, vol. 81, no. 2, pp. 148–155, doi:

- 10.1177/0040517510377831.
- [41] **Azad, A. M.**, (2006), “Fabrication of transparent alumina (Al₂O₃) nanofibers by electrospinning,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 435–436, pp. 468–473, doi: 10.1016/j.msea.2006.07.075.
- [42] **Kikuchi, T. et al.**, (2014), “Ultra-high density single nanometer-scale anodic alumina nanofibers fabricated by pyrophosphoric acid anodizing,” *Sci. Rep.*, vol. 4, pp. 1–6, doi: 10.1038/srep07411.
- [43] **Zhu, Z. H., Zhu, H. Y., Wang, S. B., and Lu, G. Q.**, (2003), “Preparation and characterization of copper catalysts supported on mesoporous Al₂O₃ nanofibers for N₂O reduction to N₂,” *Catal. Letters*, vol. 91, no. 1–2, pp. 73–81, doi: 10.1023/B:CATL.0000006320.85524.f1.
- [44] **Zhu, Y. T. et al.**, (1999), “Mechanical properties of bone-shaped-short-fiber reinforced composites,” *Acta Mater.*, vol. 47, no. 6, pp. 1767–1781, doi: 10.1016/S1359-6454(99)00071-3.
- [45] **Fu, S.Y., Li, S.H., Li, S.X., He, G.H., Zhou, B.L. and Lung, C. W.**, (1993), “A Study on Branched Structure Fiber-Reinforced Composites,” *Fiber Compos.*, vol. 29, no. 6, pp. 1541–1546.
- [46] **Duran, H., Steinhart, M., Butt, H. J., and Floudas, G.**, (2011), “From heterogeneous to homogeneous nucleation of isotactic poly(propylene) confined to nanoporous alumina,” *Nano Lett.*, vol. 11, no. 4, pp. 1671–1675, doi: 10.1021/nl200153c.
- [47] **CRC Handbook of Chemistry and Physics, 88th ed Editor-in-Chief: David R. Lide** (National Institute of Standards and Technology) CRC Press/Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL. 2007. 2640 pp. \$139.95. ISBN 0-8493-0488-1., vol. 130, no. 1. American Chemical Society (ACS), (2008).
- [48] **Borca-Tasciuc, D. A. and Chen, G.**, (2005), “Anisotropic thermal properties of nanochanneled alumina templates,” *J. Appl. Phys.*, vol. 97, no. 8, p. 084303, doi: 10.1063/1.1881793.
- [49] **Publications, N., Biswas, K. G., Sands, T. D., Cola, B., and Xu, X.**, (2009), “Purdue e-Pubs Thermal conductivity of bismuth telluride nanowire array-epoxy composite,” doi: 10.1063/1.3143221.
- [50] **Ogden, T. R., Rathsam, A. D., and Gilchrist, J. T.**, (1987), “Thermal conductivity of thick anodic oxide coatings on aluminum,” *Mater. Lett.*, vol. 5, no. 3, pp. 84–87, doi: 10.1016/0167-577X(87)90081-4.
- [51] **Lee, J., Kim, Y., Jung, U., and Chung, W.**, (2013), “Thermal conductivity of anodized aluminum oxide layer: The effect of electrolyte and temperature,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 141, no. 2–3, pp. 680–685, doi: 10.1016/j.matchemphys.2013.05.058.
- [52] **Chen, C. L. et al.**, (2010), “Fabrication and characterization of electrodeposited bismuth telluride films and nanowires,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 114, no. 8, pp. 3385–3389, doi: 10.1021/jp909926z.
- [53] **Rojo, M. M., Martín, J., Grauby, S., Borca-Tasciuc, T., Dilhaire, S., and Martín-Gonzalez, M.**, (2014), “Decrease in thermal conductivity in polymeric P3HT nanowires by size-reduction induced by crystal orientation: New approaches towards thermal transport engineering of organic materials,” *Nanoscale*, vol. 6, no. 14, pp. 7858–7865, doi: 10.1039/c4nr00107a.
- [54] **Mahmud, R., Morshed, A. K. M. M., and Paul, T. C.**, “Heat capacity of nanoconfined liquid: A molecular dynamics simulation,” (2017), in *ASME*

International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), vol. 8, doi: 10.1115/IMECE2017-72231.

- [55] **Abad, B., Maiz, J., and Martin-Gonzalez, M.**, (2016), “Rules to Determine Thermal Conductivity and Density of Anodic Aluminum Oxide (AAO) Membranes,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 120, no. 10, pp. 5361–5370, doi: 10.1021/acs.jpcc.6b00643.
- [56] **Abad, B., Maiz, J., Ruiz-Clavijo, A., Caballero-Calero, O., and Martin-Gonzalez, M.**, (2016), “Tailoring thermal conductivity via three-dimensional porous alumina,” *Sci. Rep.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, doi: 10.1038/srep38595.
- [57] **Dyck, N. C., Denomme, R. C., and Nieva, P. M.**, (2011), “Effective medium properties of arbitrary nanoparticle shapes in a localized surface plasmon resonance sensing layer,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 115, no. 31, pp. 15225–15233, doi: 10.1021/jp203150n.
- [58] **Yadlovker, D. and Berger, S.**, (2007), “Reversible electric field induced nonferroelectric to ferroelectric phase transition in single crystal nanorods of potassium nitrate,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 91, no. 17, pp. 1–4, doi: 10.1063/1.2801522.
- [59] **Yadlovker, D. and Berger, S.**, (2007), “Controlled growth and nucleation of ferroelectric and dielectric single-crystal nano-rods inside nano-porous aluminum oxide,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 126, no. 1, pp. 277–282, doi: 10.1016/j.snb.2006.12.018.
- [60] **Hekmat, F., Sohrabi, B., and Rahmanifar, M. S.**, (2014), “Growth of the cobalt nanowires using AC electrochemical deposition on anodized aluminum oxide templates,” *J. Nanostructure Chem.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–4, doi: 10.1007/s40097-014-0105-2.
- [61] **Naberezhnov, A. et al.**, (2014), “Phase transitions in nanostructured potassium nitrate,” *Phase Transitions*, vol. 87, no. 10–11, pp. 1148–1156, doi: 10.1080/01411594.2014.953954.
- [62] **Rysiakiewicz-Pasek, E. et al.**, (2011), “Phase transitions and macroscopic properties of NaNO₃ embedded into porous glasses,” *J. Non. Cryst. Solids*, vol. 357, no. 14, pp. 2580–2586, doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2011.03.016.
- [63] **Koroleva, E., Naberezhnov, A., Rysiakiewicz-Pasek, E., Vakhrushev, S., Sysoeva, A., and Kumzerov, Y.**, (2016), “Dielectric response of potassium nitrate in a restricted geometry,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 94, pp. 322–326, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.03.046.
- [64] **Selzer, D., Frank, C., and Kind, M.**, (2019), “On the effect of the continuous phase on primary crystal nucleation of aqueous KNO₃ solution droplets,” *J. Cryst. Growth*, vol. 517, pp. 39–47, doi: 10.1016/j.jcrysgro.2019.04.004.
- [65] **Wyckoff, R. W. G.**, (1920), “Crystal structure of sodium nitrate,” *Phys. Rev.*, vol. 16, no. 2, pp. 149–157, doi: 10.1103/PhysRev.16.149.
- [66] **D’aguanno, B., Karthik, M., Grace, A. N., and Floris, & A.**, (2018), “Thermostatic properties of nitrate molten salts and their solar and eutectic mixtures OPEN,” vol. 8, p. 10485, doi: 10.1038/s41598-018-28641-1.
- [67] **Rao, Prakash, and Natarajan**, “Crystal structure transformations in inorganic nitrites, nitrates, and carbonates.” doi: 10.6028/NBS.NSRDS.53.

- [68] **Ketelaar, J. A. A. and Strijk, B.**, (2010), “The atomic arrangement in solid sodium nitrate at high temperatures,” *Recl. des Trav. Chim. des Pays-Bas*, vol. 64, no. 6, pp. 174–182, doi: 10.1002/recl.19450640604.
- [69] **Terauchi, H. and Yamada, Y.**, (1972), “X-Ray Study of Phase Transition in NaNO₃,” *J. Phys. Soc. Japan*, vol. 33, no. 2, pp. 446–454, doi: 10.1143/JPSJ.33.446.
- [70] **Schulze, G.**, (1963), “F. Jona and G. Shirane, *Ferroelectric Crystals*. 402 S. Oxford/London/New York/Paris 1962. Pergamon Press. Preis geb. 84 s. net,” *ZAMM - Zeitschrift für Angew. Math. und Mech.*, vol. 43, no. 10–11, pp. 512–512, doi: 10.1002/zamm.19630431016.
- [71] **Fischmeister, H. F.**, (1956), “X-ray measurements of the thermal expansion of trigonal potassium, lithium, and silver nitrates,” *J. Inorg. Nucl. Chem.*, vol. 3, no. 3–4, pp. 182–186, doi: 10.1016/0022-1902(56)80016-x.
- [72] “**CRYSTALLIZATION**,” pp. 64–84, doi: 10.1016/B0-12-226770-2/00031-4, (2000).
- [73] **Liu, X. Y.**, (2000), “Heterogeneous nucleation or homogeneous nucleation?,” *J. Chem. Phys.*, vol. 112, no. 22, pp. 9949–9955, doi: 10.1063/1.481644.
- [74] **Burton, W. K. and Cabrera, N.**, “Crystal growth and surface structure. Part I,” *Discussions of the Faraday Society*, vol. 5, no. 0. The Royal Society of Chemistry, pp. 33–39, 1949, doi: 10.1039/DF9490500033.
- [75] **Cabrera, N. and Burton, W. K.**, (1949), “Crystal growth and surface structure. Part II,” *Discussions of the Faraday Society*, vol. 5, no. 0. The Royal Society of Chemistry, pp. 40–48, doi: 10.1039/DF9490500040.
- [76] **Martín, J., Maiz, J., Sacristan, J., and Mijangos, C.**, (2012), “Tailored polymer-based nanorods and nanotubes by ‘template synthesis’: From preparation to applications,” *Polymer (Guildf.)*, vol. 53, no. 6, pp. 1149–1166, doi: 10.1016/j.polymer.2012.01.028.

ÖZ GEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mustafa Göktürk Yazlak
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Tarihi ve Yeri : 31.07.1990 / ADANA TÜRKİYE
E-posta : gokturkyazlak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2020, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Mikro ve Nanoteknoloji

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Kurum	Görev
2016-...	TOBB ETÜ	Tam Burslu YL. Öğrencisi
2013	Yatağan Termik Santrali	Stajyer
2012	Çekmece Nükleer Araştırma Santrali	Stajyer

YABANCI DİL: İngilizce ve Almanca

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Yazlak, M.G., Steinhart.M., Thiel, J., Duran,H., (2020) Design of nitrate-based molten salt/nanoporous alumina composites with improved thermophysical properties, European Materials Research Society, Strasbourg, France.

Yazlak, M.G., Steinhart.M., Thiel, J., Khan, Q., A., Duran,H., (2020) Improvement of Thermophysical Properties of nitrate-based molten salt/nanoporous alumina

composites, 2nd International Eurasian Conference On Science, Engineering and Technology, Gaziantep, Turkey.

