

ANALYSIS OF PRIMARY MONOCHROMATIC ABERRATIONS IN SPHERICAL LENSES

Student: Batuhan Göksu 16022038 Advisor: Prof. Dr. Mehmet Hikmet YÜKSELİCİ

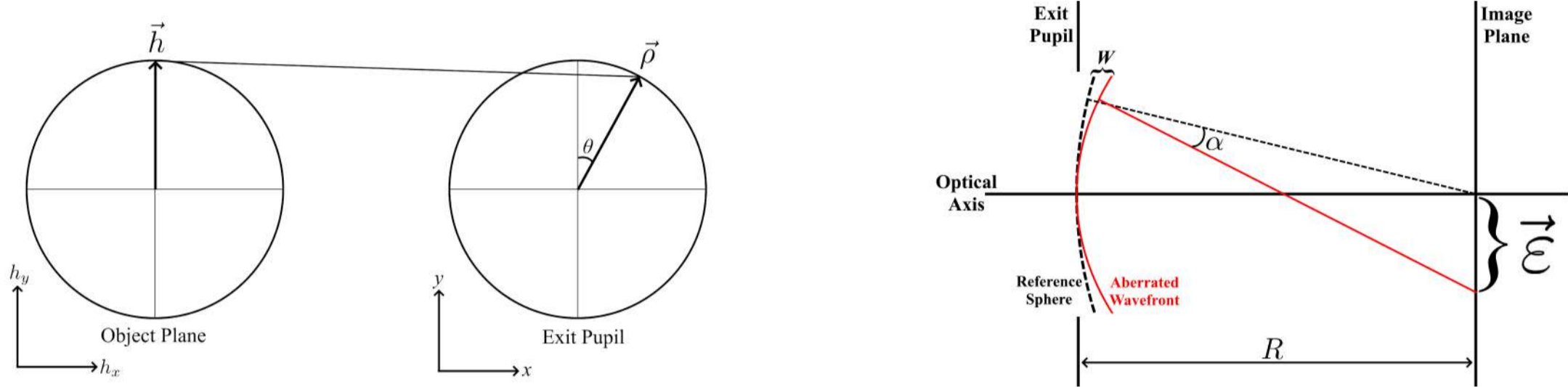
Abstract

In geometrical optics, an ideal optical system converges light rays propagating from a single point on the object plane into a single point on the image plane. However, real optical systems are non-ideal and cause the light rays to deviate from the ideal path resulting in the image to be aberrated. In this study the primary monochromatic aberrations of a Plano-convex spherical singlet lens will be analyzed and their effects on the wavefront and spot diagram will be visualized.

Wavefront Aberration Function

The wavefront aberration function, which gives the optical path difference between the aberrated wavefront and the reference sphere is given by, $W(h, \rho, \cos(\theta)) = \sum_{ijk} W_{ijk} h^i \rho^j \cos^k(\theta)$ in its algebraic form for a rotationally symmetric spherical lens.

In this function, h and ρ are the magnitudes of the field and aperture vectors which are normalized by the maximum field and aperture heights and θ represents the angle between the vectors. The field and aperture vectors lay on the object and exit pupil planes respectively, which are perpendicular to the optical axis. The coefficient W_{ijk} represents the maximum optical path difference in wavelengths between the aberrated wavefront and the ideal reference sphere at exit pupil.



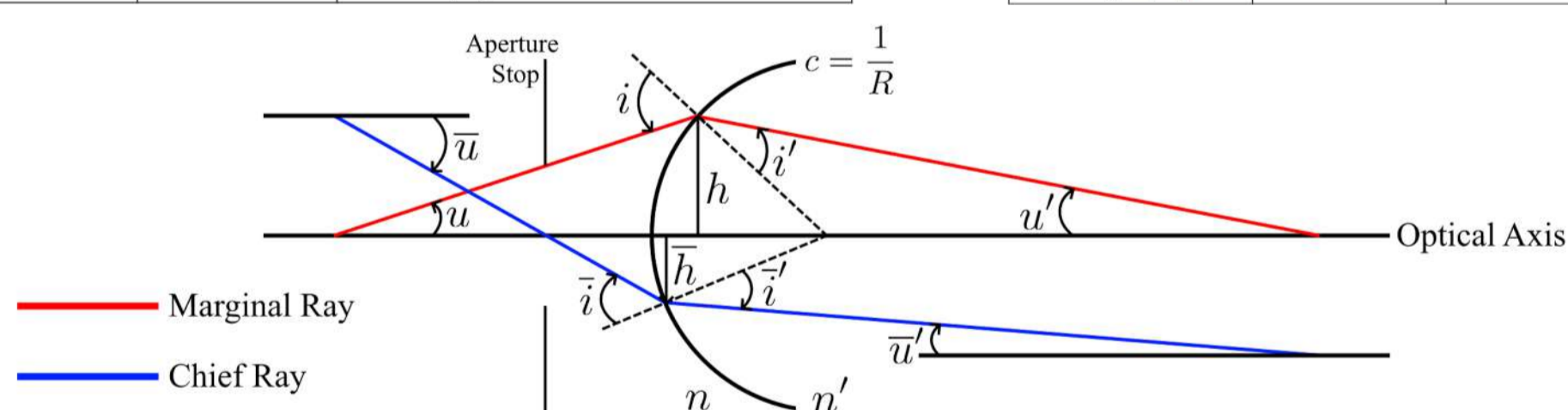
The 4th-order aberrations, also called the primary aberrations are the lowest order aberrations that affect the quality of the monochromatic image. These are represented by the terms bearing the coefficients W_{040} for Spherical aberration, W_{131} for Coma, W_{222} for Astigmatism, W_{220} for Petzval field curvature and W_{311} for Distortion. The term representing the quartic piston aberration W_{400} is a 4th-order monochromatic aberration but is not counted as a primary aberration as it does not affect the quality of image. The aberration function for primary monochromatic aberrations are given by,

$$W_4 = W_{040}\rho^4 + W_{131}h\rho^3 \cos \theta + W_{222}h^2\rho^2 \cos^2 \theta + W_{220}h^2\rho^2 + W_{311}h^3\rho \cos \theta$$

Seidel Sums

The coefficients of the wavefront aberration function can be calculated by using Seidel sums. Which are obtained from geometrically calculating the optical path difference on exit pupil between the reference sphere and aberrated wavefront at maximum field and aperture. The Seidel sum terms S_I to S_V represent the five primary monochromatic aberrations in order.

Aberration	Coefficient [m]	Relation to Seidel	Seidel Sum [m]
Spherical Aberration	W_{040}	$\frac{1}{8}S_I$	$S_I = -\sum_{i=1}^j (A^2 h \Delta(\frac{u}{n}))_i$
Coma	W_{131}	$\frac{1}{2}S_{II}$	$S_{II} = -\sum_{i=1}^j (A \bar{A} h \Delta(\frac{u}{n}))_i$
Astigmatism	W_{222}	$\frac{1}{2}S_{III}$	$S_{III} = -\sum_{i=1}^j (\bar{A}^2 h \Delta(\frac{u}{n}))_i$
Petzval Field Curvature	W_{220}	$\frac{1}{4}(S_{IV} + S_{III})$	$S_{IV} = -\sum_{i=1}^j (H^2 c \Delta(\frac{1}{n}))_i$
Distortion	W_{311}	$\frac{1}{2}S_V$	$S_V = -\sum_{i=1}^j (\bar{A} [H^2 c \Delta(\frac{1}{n}) + \bar{A}^2 h \Delta(\frac{u}{n})])_i$



If the coefficients of primary aberrations are written in terms of seidel sums, the primary wavefront aberration function becomes,

$$W_4 = \frac{1}{8}S_I\rho^4 + \frac{1}{2}S_{II}h\rho^3 \cos \theta + \frac{1}{2}S_{III}h^2\rho^2 \cos^2 \theta + \frac{1}{4}(S_{III} + S_{IV})h^2\rho^2 + \frac{1}{2}S_Vh^3\rho \cos \theta$$

Transverse Ray Aberrations

As rays represent the direction of the propagating wavefront, deformations in the wavefront due to the geometry of the lens causes the real rays to diverge from the ideal ray and fall on the image plane with an error. This error, called the transverse ray aberration can be obtained by,

$$\epsilon_y = \frac{1}{n'u'} \frac{\partial W}{\partial y} \quad \epsilon_x = \frac{1}{n'u'} \frac{\partial W}{\partial x}$$

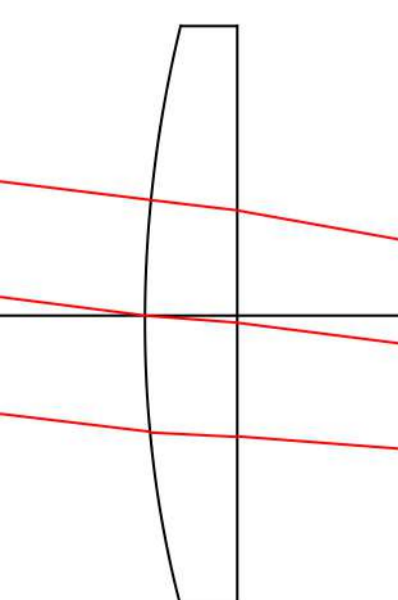
From this, the transverse ray aberrations in the direction of x and y axes of the image plane at paraxial focus can be obtained by the equations below, with sigma here representing the coefficients of transverse ray aberrations.

$$\epsilon_{3y} = \sigma_1\rho^3 \cos \theta + \sigma_2(2 + \cos 2\theta)\rho^2 h + (3\sigma_3 + \sigma_4)\rho h^2 \cos \theta + \sigma_5 h^3$$

$$\epsilon_{3x} = \sigma_1\rho^3 \sin \theta + \sigma_2\rho^2 h \sin 2\theta + (\sigma_3 + \sigma_4)\rho h^2 \sin \theta$$

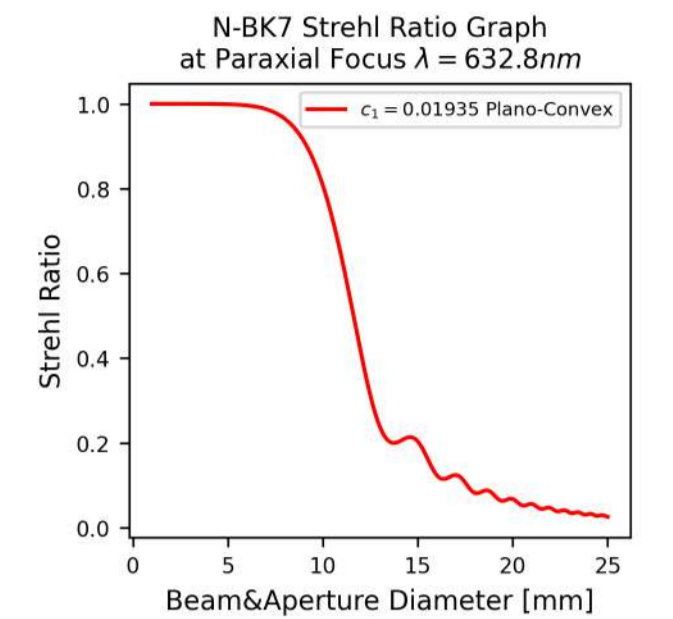
Lens Analysis

To analyze and show the effects of primary monochromatic aberrations on a non-ideal lens, a Plano-convex spherical singlet lens has been designed through the optical system design software OSLO EDU (Optics Software for Layout and Optimization). The lens is selected to be made of optical glass N-BK7 from the Schott catalog. It is designed to have a lens diameter of 25 mm, center thickness of 4 mm and a focal length of approximately 100 mm at the design wavelength of 587.6 nm where N-BK7 has a refractive index of 1.5168. The analysis and calculation of aberration coefficients themselves are done with light of wavelength 632.8 nm (red He-Ne laser) where N-BK7 has a refractive index of 1.5151. The aperture stop is set to be on the first surface and the Seidel sums are calculated at a semi-field angle of 7.125°. The python library matplotlib is used to create square grid spot diagrams of the image at paraxial focus image plane and 3D surface plots of the wavefront deformation in comparison to the ideal reference sphere. The shape of the analyzed lens along with the 10 mm diameter beam coming at 7.125° is shown on the image to the right.

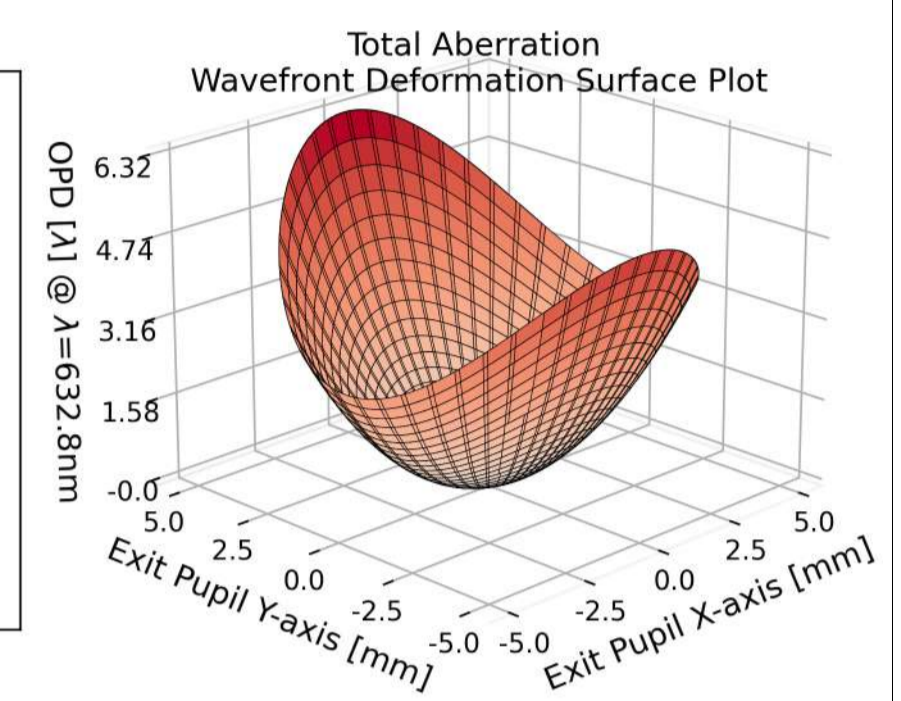
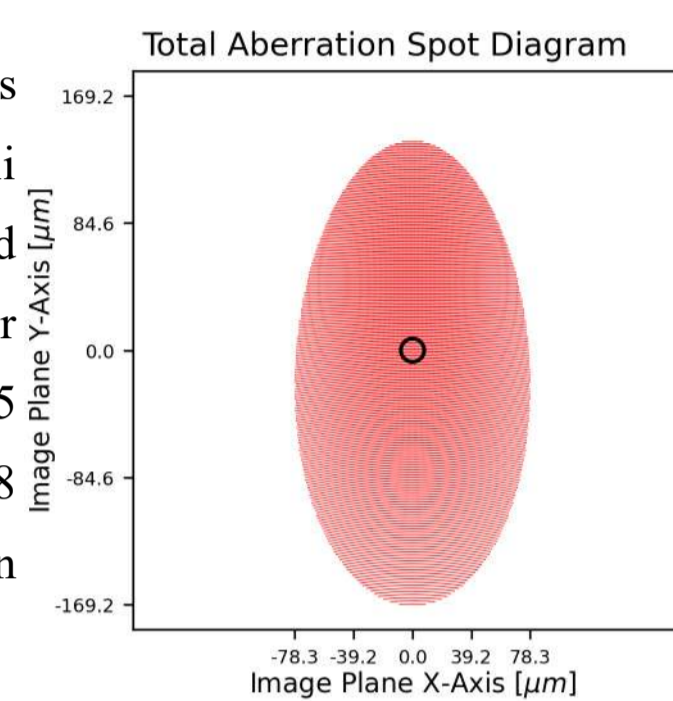


Results

Aberration Type	Wavefront Aberration Coefficient (λ)	Transverse Ray Aberration Coefficient (mm)
Spherical Aberration	10.463977	-0.212495
Coma	5.676731	-0.028833
Astigmatism	18.941033	-0.096206
Petzval Field Curvature	15.815541	-0.064455
Distortion	0.286472	-0.001455

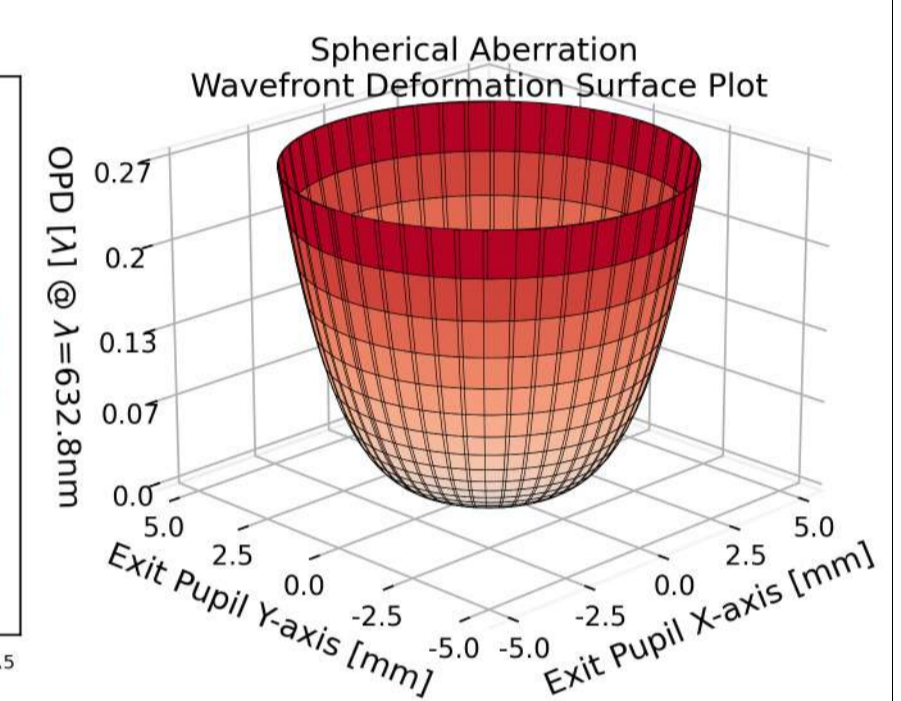
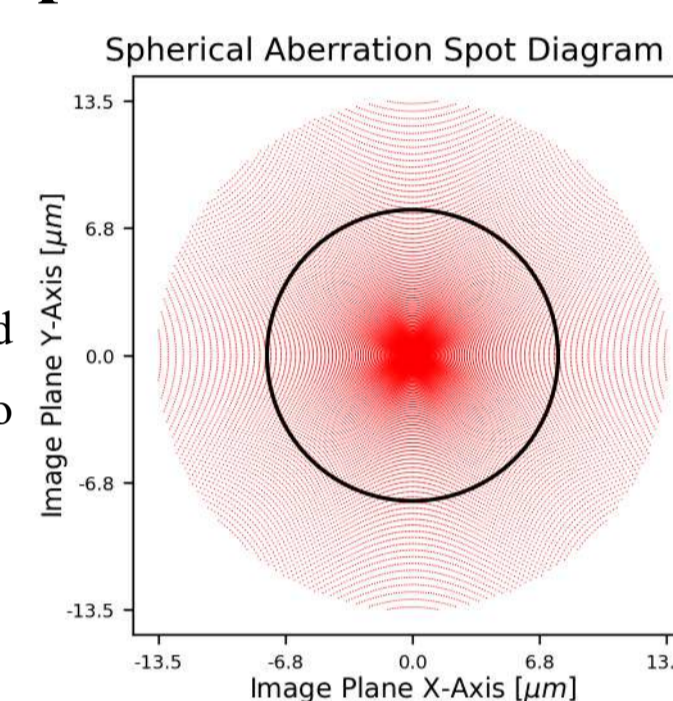


The Strehl ratio of the lens at 0° field angle is calculated at different Gaussian beam radii and graphed as shown. The spot diagram and wavefront deformation plots are shown for semi-field angle 7.125° and beam radius of 5 mm where Strehl ratio is approximately 0.8 for the 0° field angle. The Airy disk is shown as the black circle in the spot diagrams.



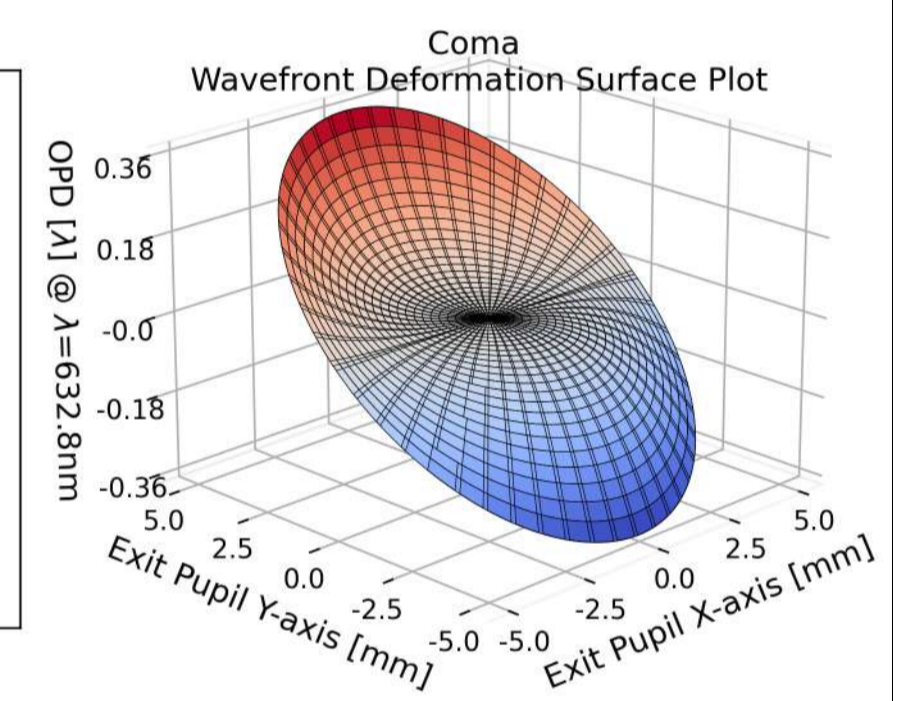
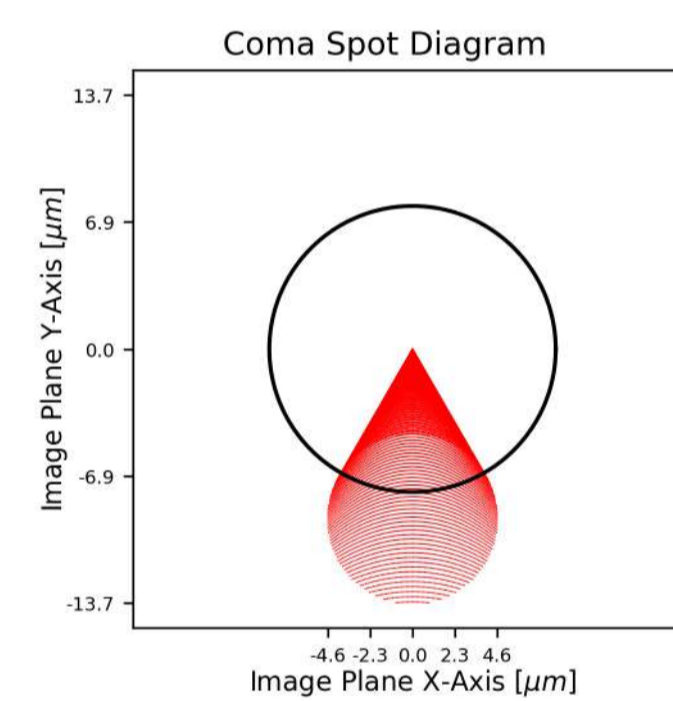
Spherical Aberration

Spherical aberration is an on-axis aberration caused by rays at different aperture heights focusing at different focal lengths. Since spherical aberration is unaffected by the field angle the spot diagram to the right is equal to one calculated at 0° and shows an image that can be considered diffraction-limited at a Strehl ratio that is slightly above 0.8.



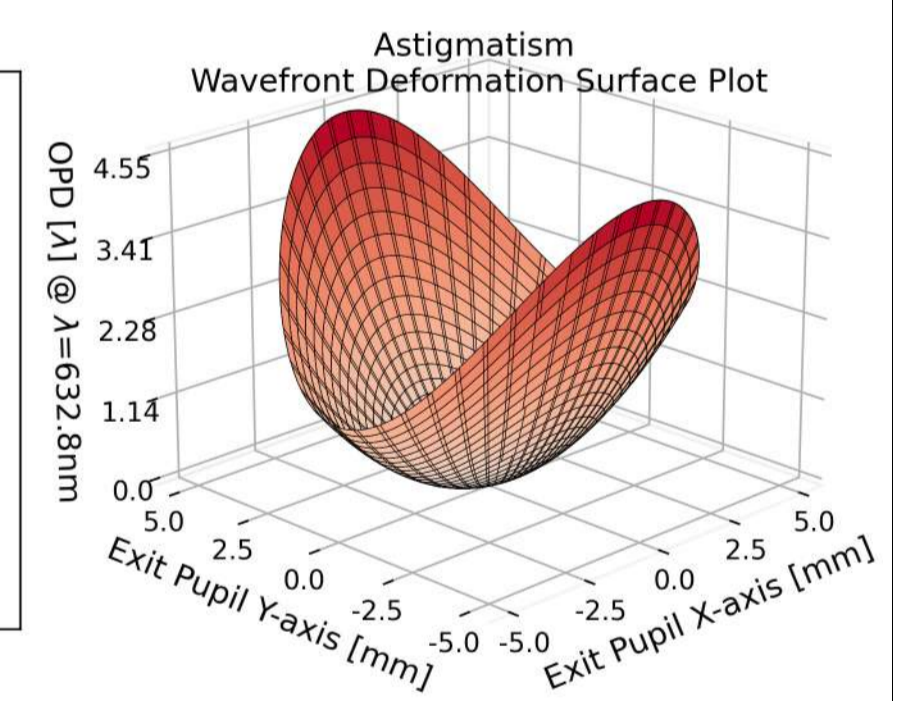
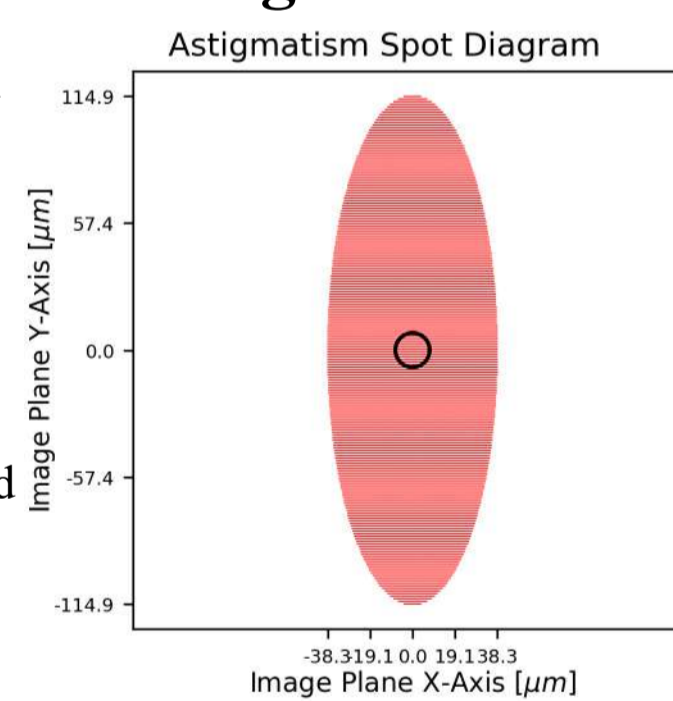
Coma

Coma is an off-axis aberration caused by the rays coming at different field and aperture heights not being magnified equally. Coma is called positive or negative depending on the direction of the “comet” shape it causes. The spot diagram to the right depicts positive coma as the tip of the shape is directed at optical axis.



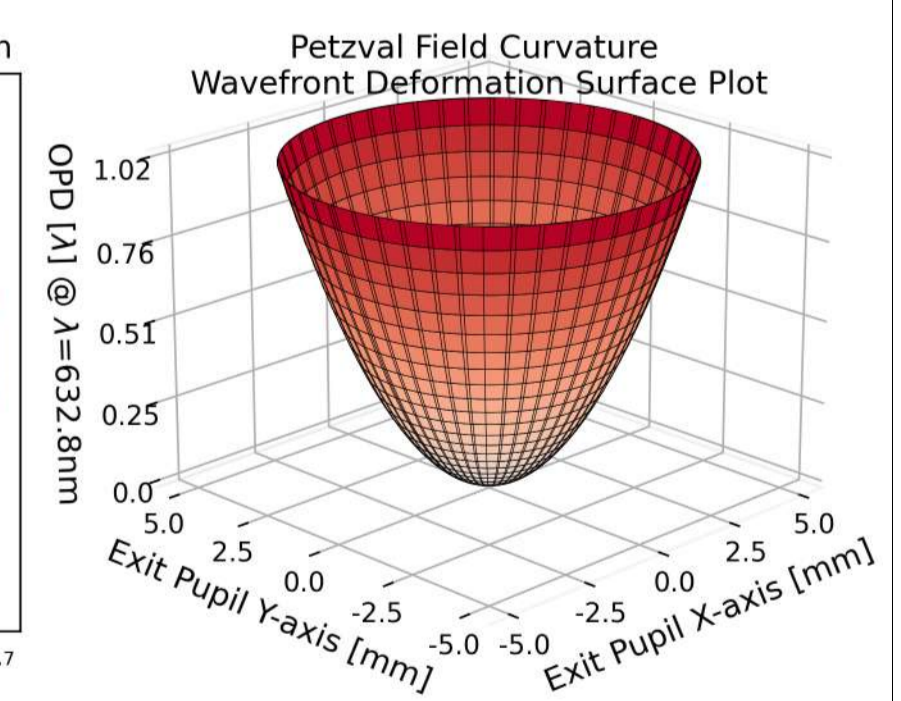
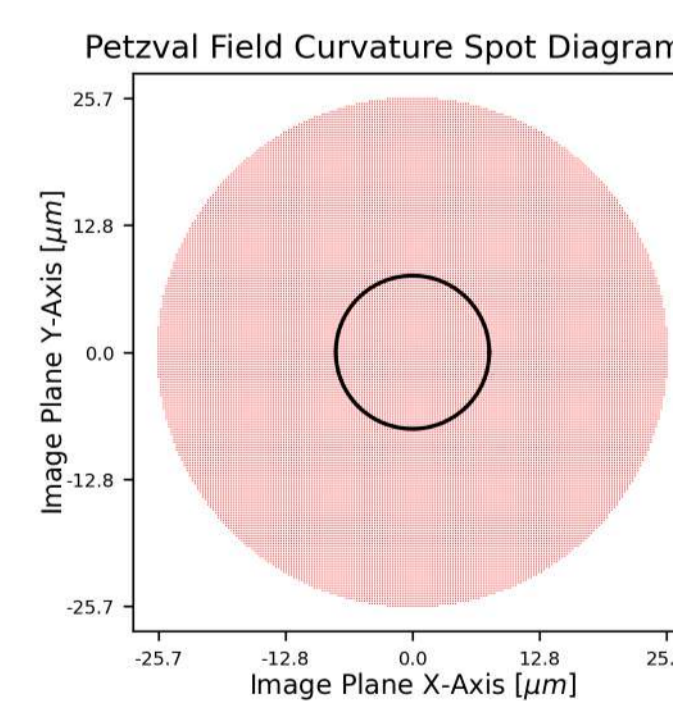
Astigmatism

Astigmatism is an off-axis aberration caused by meridional and sagittal rays focusing at different points longitudinally. It can result in the image being blurry vertically or horizontally. On the graphs, astigmatism on the paraxial focus plane due to tangential and sagittal field curves are isolated from the Petzval field curvature and shown.



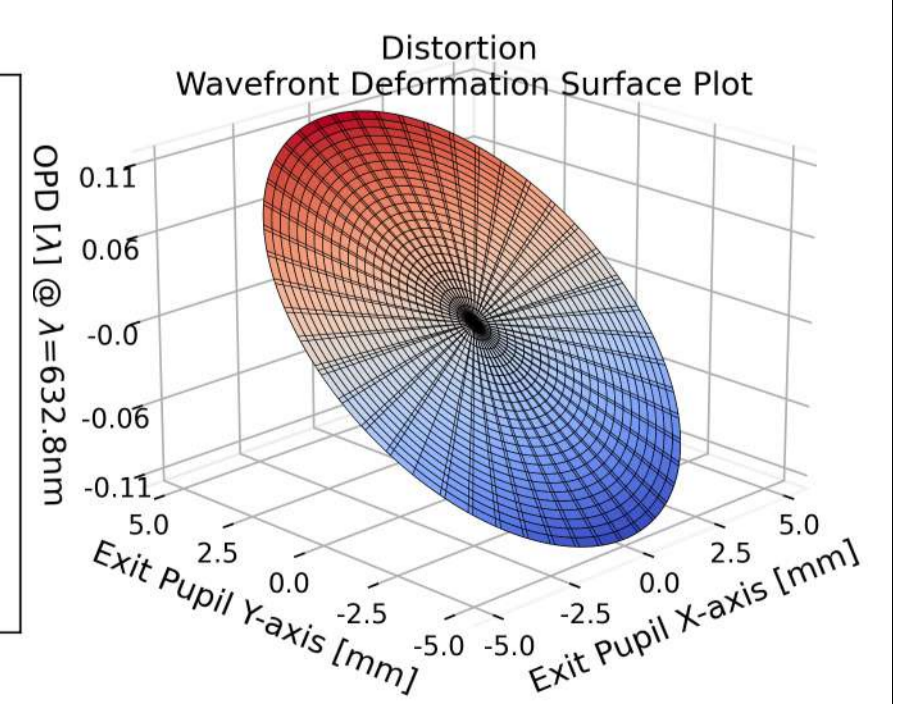
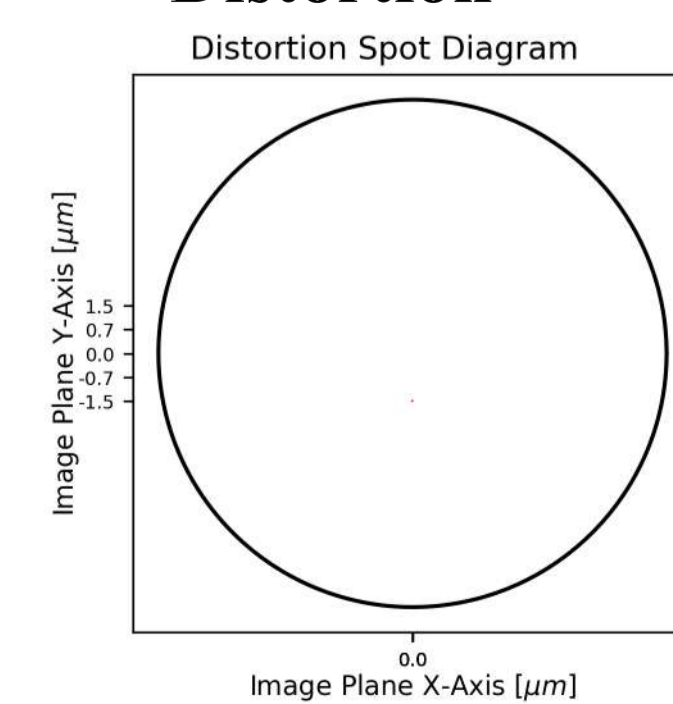
Petzval Field Curvature

Petzval field curvature is an off-axis aberration caused by the rays falling on the image plane not getting focused on a single focal plane. Due to Petzval field curvature the object on the flat object plane is focused not on a flat image plane perpendicular to optical axis but on a paraboloidal surface called the Petzval surface.



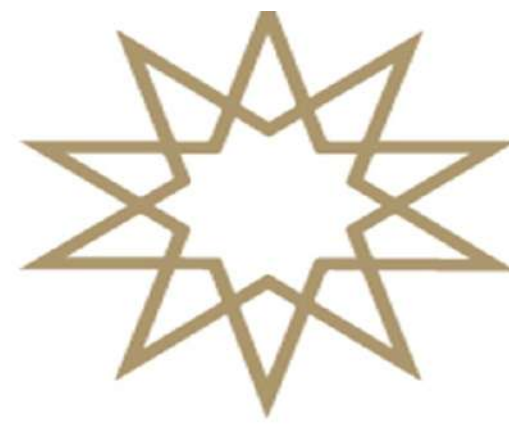
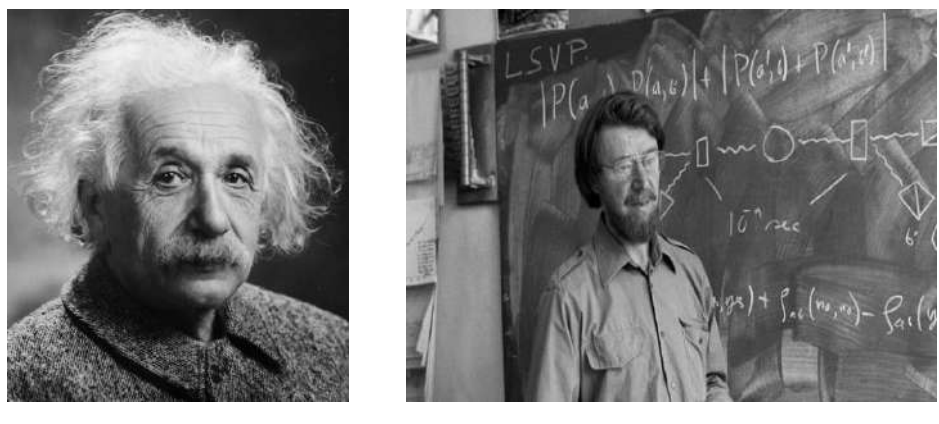
Distortion

Distortion is an off-axis aberration caused by the rays coming at different field heights not being magnified equally on the image plane. As it can be seen on the spot diagram the rays converge into a single point at the image plane but get shifted towards or away from the optical axis causing the image to be distorted.



REFERENCES

- [1] Sasián, J. (2012). Introduction to Aberrations in Optical Imaging Systems. Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Gross H. (2007). Handbook of optical systems. volume 3 aberration theory and correction of optical systems. Wiley-VCH.
- [3] Welford, W.T. (1986). Aberrations of Optical Systems (1st ed.). Routledge.
- [4] Lambda Research Corporation. (2021). OSLO Optics Reference.



FİZİK BÖLÜMÜ

GEÇİKMİŞ SEÇİM KUANTUM SİLGİSİ DENEYİ

Yiğitcan ÖZTÜRK 17022071

Proje Danışmanı: Prof. Dr. Tuncer KAYA

ÖZET

Albert Einstein'ın EPR Paradoksunu ortaya atmasının ardından, John Archibald Wheeler'ın kuantum mekaniği alanındaki önemli katkıları, özellikle de gecikmiş seçim deneyi, bu soruların üzerine daha fazla ışık tuttu. Wheeler'ın öncülüğünde geliştirilen Gecikmiş Seçim Kuantum Silgisi deneyleri, ışığın çift yarık deneyinde sergilediği garip davranışları anlamak amacıyla tasarlandı. Deney, ölçüm zamanlamasının sonuçları üzerindeki etkileri inceledi ve kuantum sistemlerinde ölçümün nasıl bir değişiklik yarattığını anlamamıza yardımcı oldu. Bu deneyin, Bell Teoremlerine ve ardından gelen kuantum dolaşıklık üzerine yapılan çalışmalara nasıl bir katkıda bulunduğunu anlamak, Wheeler'ın kuantum mekaniğine getirdiği önemli perspektifleri vurgular. Wheeler, kuantum dünyasının doğasını sorgulayan bu deneyin yanı sıra, kara delikler, kara delik radyasyonu ve çekim teorisi gibi diğer konulardaki çalışmalarıyla da tanınmış bir fizikçi olarak öne çıktı. John Clauser ve diğer fizikçilerle birlikte yürütülen deneyler, bu temel çalışmaları güçlendirdi ve kuantum mekaniği alanında derinleşen bir anlayışa katkıda bulundu. Bu çalışmaların toplamı, Clauser'ın 2022'de Nobel Fizik Ödülü'nü almasında etkili oldu, ve bu ödül, kuantum mekaniğiyle ilgili yapılan bu temel araştırmalara verilen bir onur ifadesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

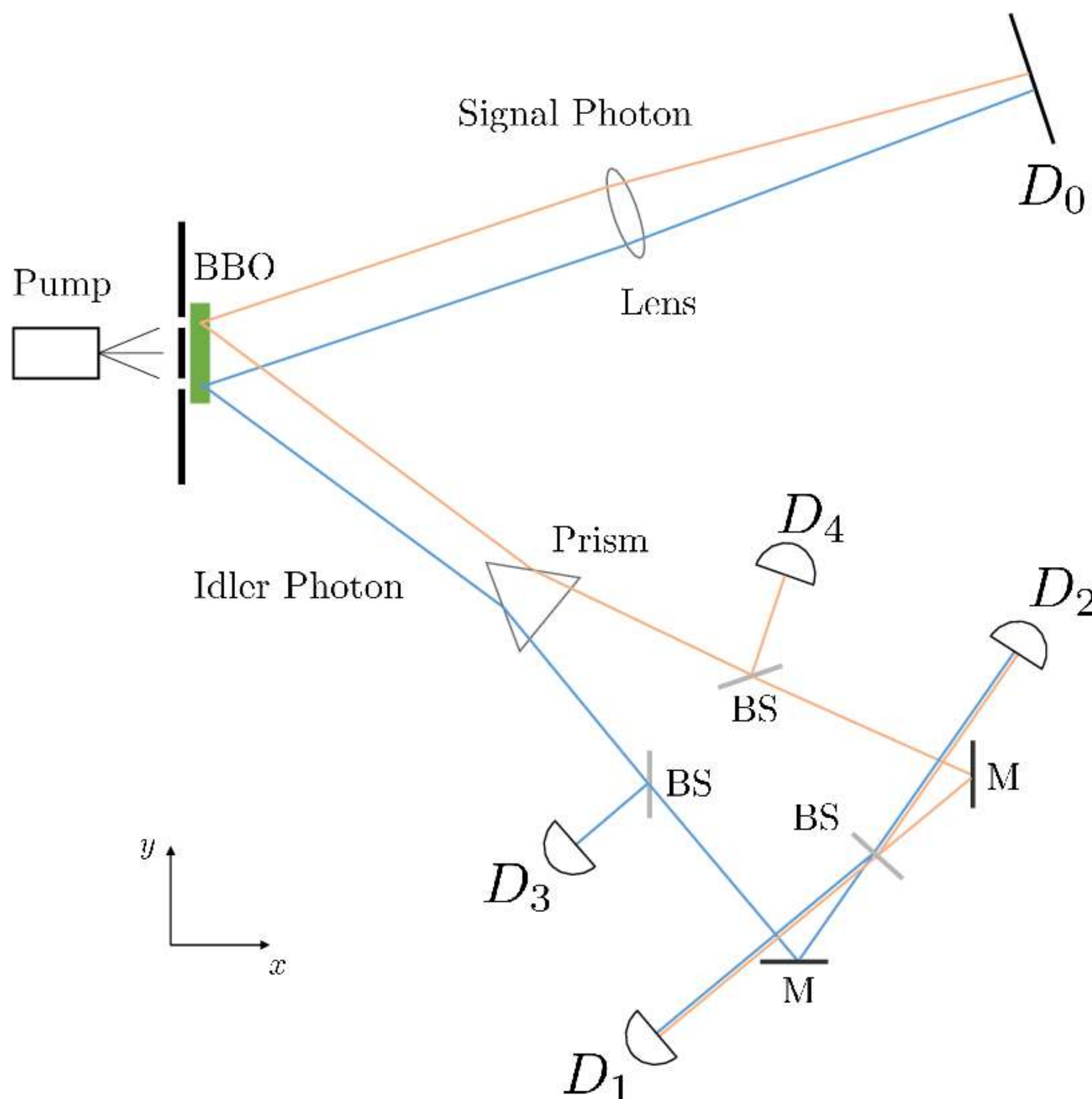
GİRİŞ

1935 yılında Einstein, Boris Podolsky ve Nathan Rosen, kuantum mekaniğinin eksik bir fiziksel teori olduğunu iddia etmek amacıyla bir düşünce deneyini tanıttılar. Bu deney, daha sonra John Archibald Wheeler tarafından geliştirilen "gecikmeli seçim" deneyine kadar uzanan bir dizi düşünsel aşamayı içeriyordu. Einstein ve diğerleri, bu düşünce deneyi aracılığıyla, kuantum mekaniğinin belirli durumlar için eksik veya yetersiz olduğunu ileri sürdüler. Bu bağlamda, "EPR Paradox" olarak da bilinen bu düşünce deneyi, kuantum mekaniğinin temel prensipleriyle ilgili derin düşünce ve tartışmaların başlamasına yol açtı. Wheeler'ın gecikmeli seçim deneyi ise kuantum mekaniği üzerine yapılan bu tartışmalara yeni boyutlar ekledi.

Wheeler'ın gecikmiş seçim deneyi, Wheeler tarafından 1978 yılında önerilen kuantum fiziğinde bir düşünce serisi deneyidir. Bu deneyin asıl amacı fotonun dalga ya da parçacık olarak mı davranacağını net olarak gözlemek üzerinedir. Bu deney serilerinin birçok örneği vardır. Bunlardan birkaçı da laboratuvar girişimölçeri, evrensel girişimölçer ve hem evrensel hem de laboratuvar imkanı bir çift yarık deneyi tabanlı deney ölçüm düzenekleridir.

Biz ise bu çalışmamızda sizlere 1999 yılında Yoon-Ho Kim, R. Yu, S. P. Kulik, Y. H. Shih ve Marlan O. Scully tarafından ilk kez raporlanan ve Wheeler gecikmiş seçim deneyi alternatifi olarak ortaya çıkan bir deney düzenine bahsedeceğiz. Bu deney düzeni hem meseleyi anlamamız açısından hem de olaylara yeni bir bakış açısı sağlamamız açısından üzerinde durulması gereken önemli bir deney düzeniğidir.

DENEY DÜZENİĞİ



Şekil 1. Gecikmiş seçim kuantum silgi deneyi kurulumu. Dedektör D0 hareketlidir.

KUANTUM SÜPERPOZİSYON VE DOLANIKLIK

Deney aşamalarından bahsetmeden önce bu iki kuantum kavramını sizlere kısaca anlatmak istiyorum.

Kuantum süperpozisyonu, kuantum nesnelere, Schrödinger'in dalga fonksiyonu tarafından tanımlanan olasılıklar dahilinde aynı anda farklı kuantum durumlarında bulunabilme yeteneğidir.

Kuantum fiziğinde süperpozisyon durumunu temel haliyle aşağıdaki vektör ifadesi ile temsil edebiliriz. (α ve β bir olasılık değerine tekabül etmektedir.)

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$
$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Kuantum dolanıklık ise aynı sistemden çiftler halinde oluşturulan kuantum parçacıklarının örneğimizde fotonların kuantum durumlarının birbirine bağımlı olması durumunu ifade eder. Bu durumda, foton çiftlerinden biri ölçüldüğünde, diğer foton anında ve uzaktaki bir noktada da ilgili özelliğin değerini alır. Bu durumu daha açıklayıcı bir şekilde düşünmek için, iki fotonun birbirinden kilometrelerce uzakta olduğunu ve dolanıklı olduklarını hayal edebiliriz.

Kuantum fiziğinde dolanıklık durumunu foton polarizasyon değerlerinin Dikey (V) ve Yatay (H) olduğunu varsaydıysak aşağıdaki vektör ifadesi ile temsil edebiliriz.

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle_1|V\rangle_2 + |V\rangle_1|H\rangle_2)$$

DENEY AŞAMALARI

Deneyimizde güçlü bir lazer kaynağından çıkan ana fotonlarımız önce çift yarıktan geçerek süperpoze olmakta ve iki ayrı olasılık durumu meydana getirmektedir. Bu iki ayırım sonucunda fotonumuz doğrusal olmayan bir BBO kristalinden de geçerek birbiriyle bağımlı iki ayrı dolanık fotona ayrılacaktır.

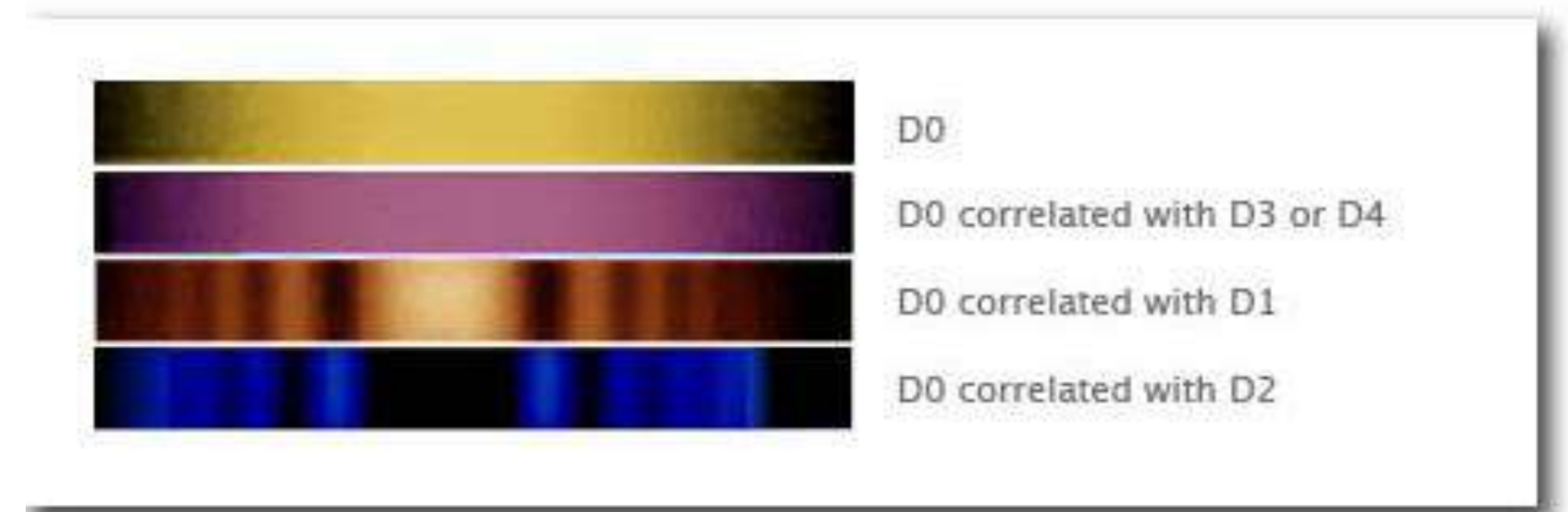
Bu iki dolanık fotonlardan birini sinyal (signal) fotonu, diğerini de aylak (idler) fotonu olarak isimlendiriyoruz. Bu iki foton dolanık olduğu için başlangıçta fazları, frekansları ve enerjileri aynıdır. Düzenekte toplamda 4 tane birbirinden farklı yollara sapmış fotonlar görmekteyiz. Ancak bunların yalnızca 2 tanesi doğru olmak zorundadır çünkü çift yarık haznesi, ana fotonu ikiye bölmez yalnızca tek foton için iki ayrı olası yol tayin eder. BBO kristali ise basit bir deyimle spontane bir şekilde ana fotonu, ikiz yavru fotona böler.

Bu olaylar sonucunda oluşan ikiz fotonlar dolanık olduklarından olası sinyal fotonlarımız D0 dedektörüne geldiğinde aylak fotonlara bağımlı bir desen kaydı oluşturacaktır, bu kaydı gözlemlemeden önce aylak fotonlardan birini D3 veya D4 dedektörü yardımıyla ölçtüğümüzde ise anlık olarak ana fotonun da hangi yarıktan geçtiği hakkında bir bilgi sahibi olmuş olacağız. Bu durumda ise D0 dedektörümüzde (parazitler filtrelediği takdirde) tek yarık deseni belirecektir.

Ancak sürecin devamında aylak fotonlar "Işın Ayırıcıdan" (BS) %50 olasılıkla karşıya geçip D1 veya D2 dedektörüne gelirse ana fotonun hangi yarıktan geçtiği yol bilgisini de beraberinde silmiş olacağız haliyle bu durumda D0 dedektöründe (parazitler filtrelediği takdirde) girişim deseni belirecektir.

Son olarak özetlemek gerekirse bu deneyde D0 dedektöründeki desenin oluşumunda aylak fotonlar geciktirilerek kaydedilen sonucun aylak fotonların yapacağı hareketlere bağlı şekilde zaman farkı dinlemeden işlendiğini ancak diğer dedektör verileri olmadan da tek başına okunamadığını gözlemliyoruz.

DENEY SONUÇLARI

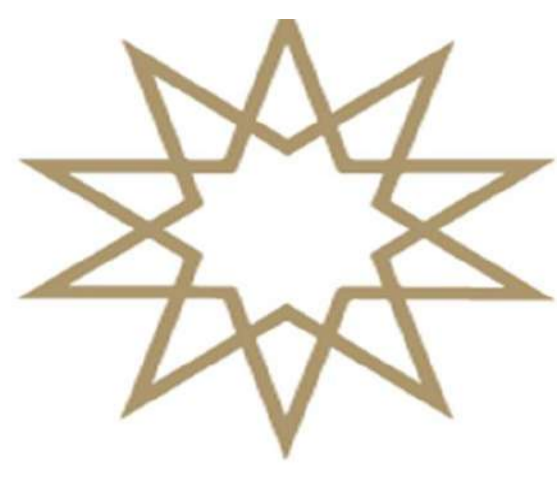


Şekil 2. Gecikmiş seçim kuantum silgi deneyi D0 ölçüm desenleri.

Sonuç olarak baktığımızda D0 dedektörü diğer dedektörlere bağlı olarak farklı sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlara göre seçimlerin gecikmesinden yola çıkarak klasik fizik sezgisinde düşünmemizin yanlış olduğu kanısına varırız. Bu noktada şu yoruma dahi gidebiliriz parçacıklar dolanık oldukları zaman bizim evrenimizin uzay ve zaman kurallarını hiçe sayarak birbiri ile iletişim kurmakta ve birbirlerine etki edebilmektedirler. Fakat bu sistemin benzerini kullanarak zaman makinesi türevleri yapılamamaktadır bunun sebepleri de kuantum fiziğinin ölçüm probleminde yatmaktadır ve günümüzde de hala bu gizem çözülememiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Kim, Y.-H., Yu, R., Kulik, S. P. and Shih, Y. Delayed "choice" quantum eraser. Phys. Rev. Lett. 84, 1-5 (2000).
- [2] Fankhauser, Johannes (2019). "Taming the Delayed Choice Quantum Eraser". *Quanta*. 8: 44-56.
- [3] John Archibald Wheeler, "The 'Past' and the 'Delayed-Choice Double-Slit Experiment'", pp 9-48, in A.R. Marlow, editor, *Mathematical Foundations of Quantum Theory*, Academic Press (1978).
- [4] Strange Paths. "The quantum eraser experiment". Accessed 13 July 2023. <http://strangepaths.com/the-quantum-eraser-experiment/2007/03/20/en/>.



Bu çalışmamızda integre edilebilirlik üzerine yoğunlaşıldı ve ağırlıklı olarak KdV denklemi üzerine araştırma yapıldı. Diferansiyel denklemlerin çözümleri yapıldı ve grafiklerle desteklendi.

KDV(Korteweg-De Vries) DENKLEMİ

$$u_t + 6uu_x + \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0$$

Bu denklem, bir dalga yayılımını modellemek için kullanılır. u fonksiyonu, zaman (t) ve uzay (x) değişkenlerine bağlı olarak dalga profilini ifade eder.

KdV denklemi, integrabilite özelliği ile öne çıkar.

- Integrabilite, bu denklemin belirli matematiksel özelliklere sahip olmasını sağlar.
- Bu özellik, KdV denkleminin analitik olarak çözülebilir olmasını ve özel dalga çözümlerine (solitonlar) sahip olmasını sağlar.

Soliton Çözümü:

$$u(x, t) = \frac{c}{2} \operatorname{sech}^2\left(\frac{\sqrt{c}}{2}(x - ct - x_0)\right)$$

Bu çözüm, KdV denkleminin soliton çözümünü ifade eder. Burada c , solitonun hızını temsil eder ve x_0 , başlangıç konumunu belirtir.

Kink Çözümü:

$$u(x, t) = -2 \frac{\sqrt{c}}{\cosh^2\left(\frac{\sqrt{c}}{2}(x - ct - x_0)\right)}$$

Bu çözüm, denklemin kink çözümünü ifade eder.

Non-linear Schrödinger (NLS) Denklemi:

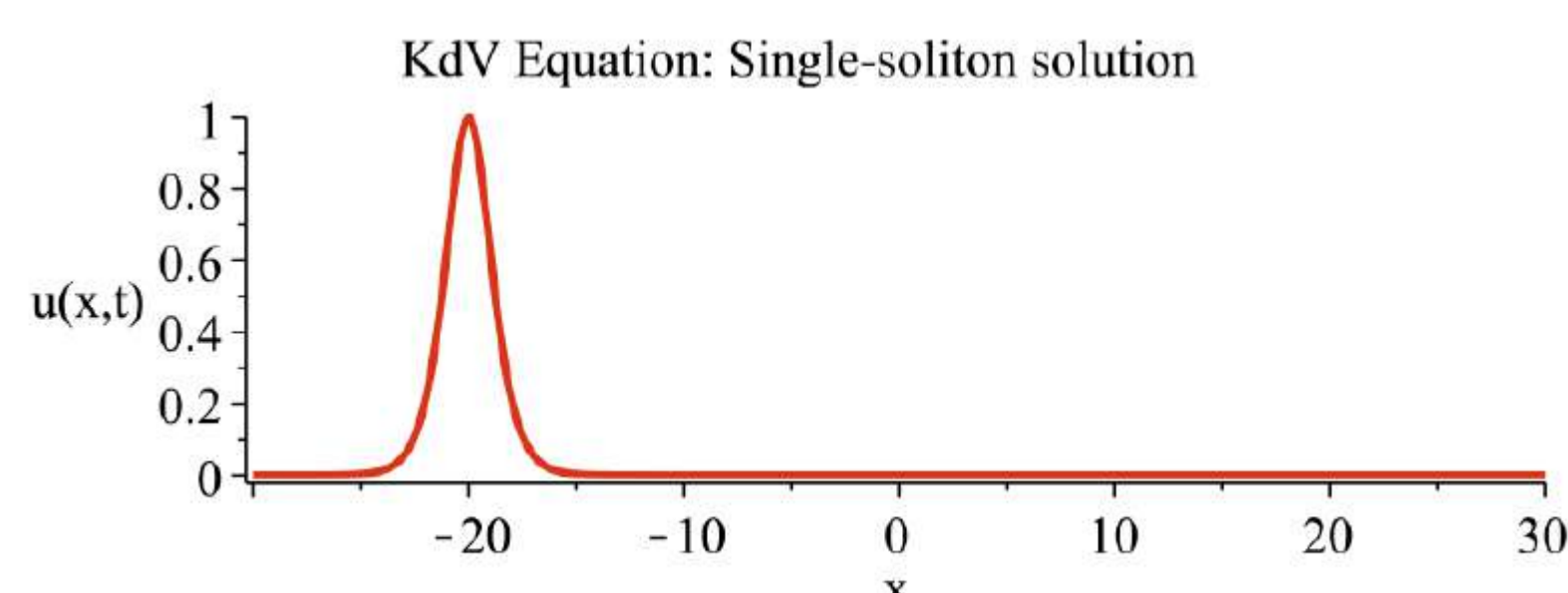
$$i \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + |\psi|^2 \psi = 0$$

Bu denklem, kuantum mekaniğinde ve optikte birçok uygulama alanına sahiptir. ψ genellikle bir dalga fonksiyonunu temsil eder ve bu denklem, dalga paketlerinin evrimini ve etkileşimini modelleyen bir matematiksel ifadedir.

Kadomtsev-Petviashvili (KP) Denklemi:

$$4u_t + 6uu_x + uu_{xxx} + 3\alpha^2 u_{yy}$$

Bu denklem, iki uzay değişkenine (x ve y) sahip iki boyutlu bir denklemdir ve belirli hidrodinamik durumları ve plazma dalgalarını modelleme yeteneğine sahiptir. α bir parametredir.



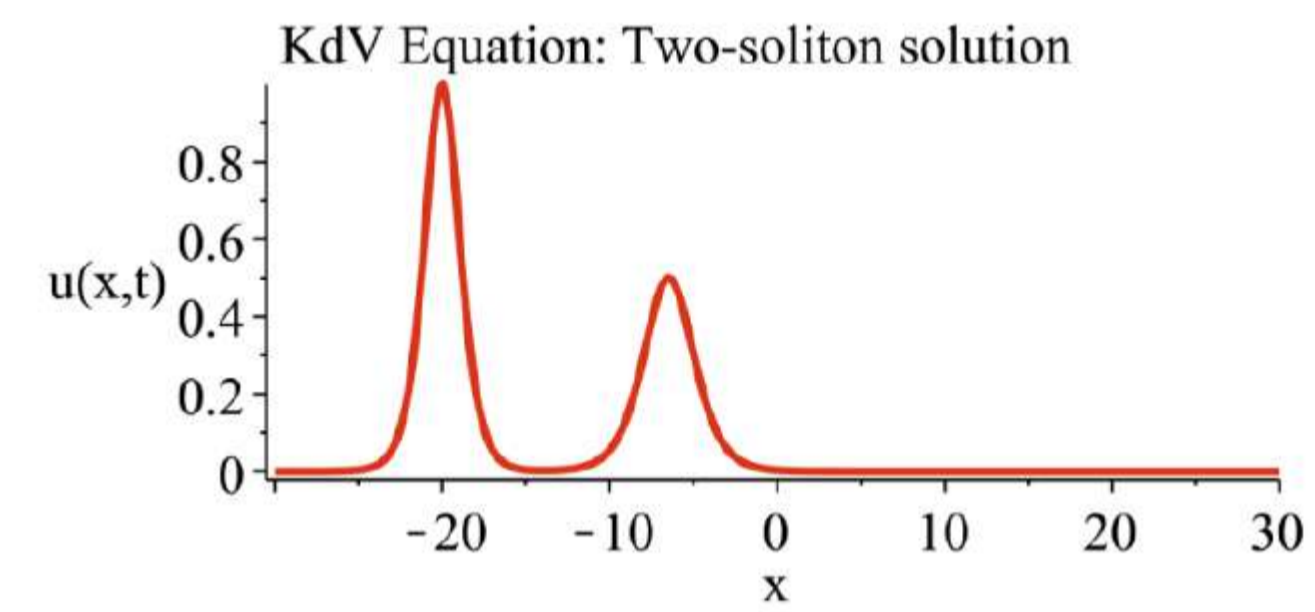
Modifiye KdV Denklemi Deniz Dalgalarının Modellenmesi

$$u_t + uu_x - \epsilon^2 u_{xxt} + \beta u_{xxx} = 0$$

Bu denklem, belirli bir deniz kenarındaki dalga yüksekliklerini ve dalga profillerini tanımlayabilir. ϵ ve β , su dalgalarının özelliklerini ve çeşitli faktörlerin etkisini temsil eden parametrelerdir.

Klasik KdV Denkleminin çözümü

$$u_t + 6uu_x + \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0$$



Applications to Finite and Infinite Dimensional Systems

The Lorenz System : simple models of hydrodynamic turbulence

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sigma(y - x) \\ \dot{y} &= \rho x - xz - y \\ \dot{z} &= xy - bz, \end{aligned}$$

in the case of initial conditions $\sigma = 1/2$, $b = 1$, $\rho = 0$ The system is integrable

Painlevé özelliği Nedir

$$y(t)' = y(t) ; \text{Klasik Euler denklemi.}$$

$$y' = y^2 + t;$$

Painlevé özelliğini göstermek için biraz modifiye edilmiştir.

$$\frac{dy}{y^2 + t} = dt$$

$$y(t) = \tan(t+C) \text{ olarak bulunur.}$$

$t = 0$ durumu için $y' = y^2$ Bu diferansiyel denklem $y=0$ çözümünü içerir. Ancak bu çözüm t ile değişmediği için t noktasındaki bir singularite değildir.

KAYNAKÇA

- [1]V.E . Zakharov(Ed.) What is Integrability Springer Verlag Berlin Heidelberg New York London
- [2]Lecture Notes in Physics Founding Editors: W. Beiglbock, J. Ehlers, K. Hepp, H. Weidenm " üller
- [3] Y. Kosmann-Schwarzbach B. Grammaticos K.M. Tamizhmani (Eds.) Integrability of Nonlinear Systems



FİZİK BÖLÜMÜ

Çevre Dostu Radyasyon Zırhlayıcıların Geliştirilmesi

Epoksi/Gümüş Kompozitleri

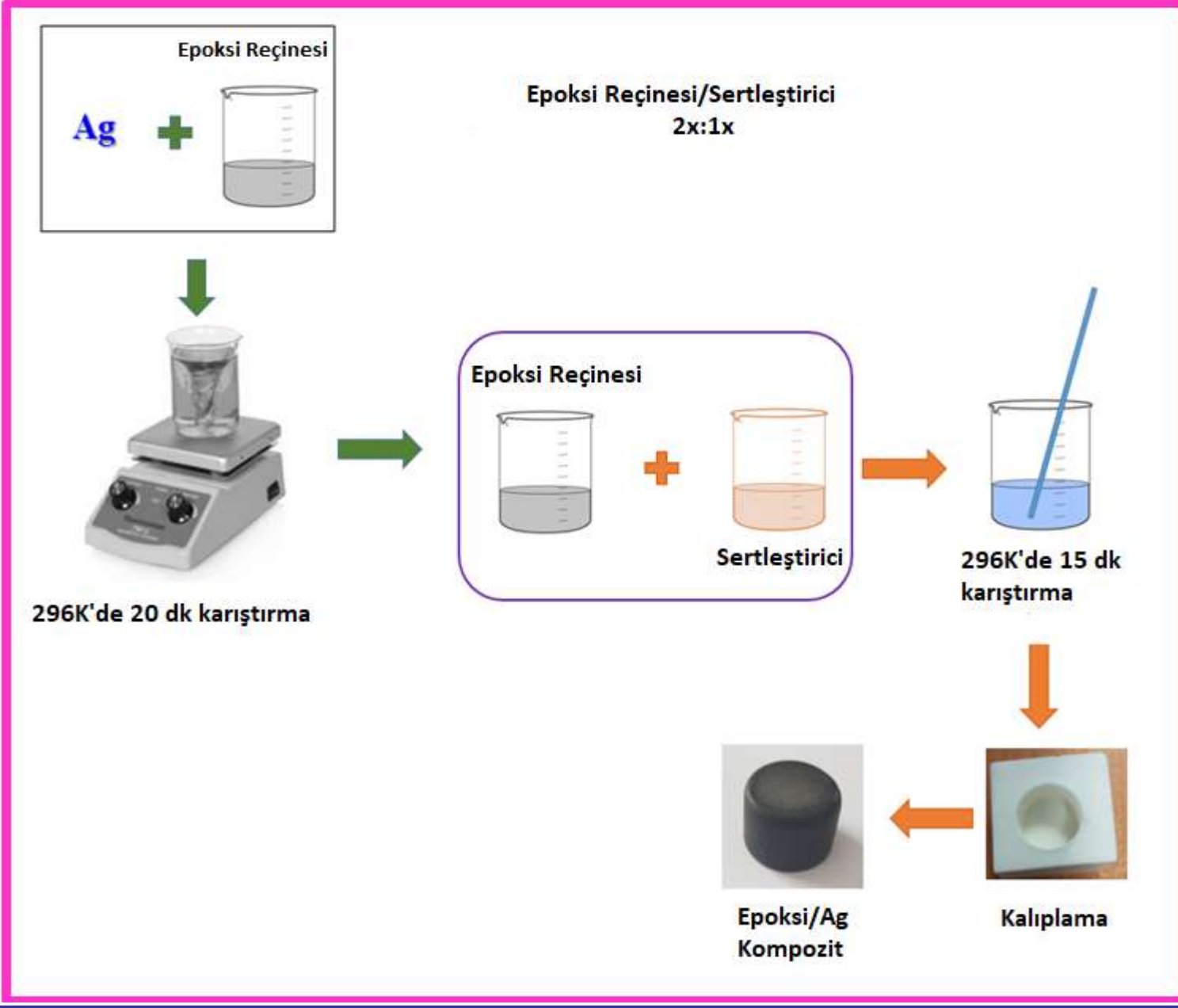
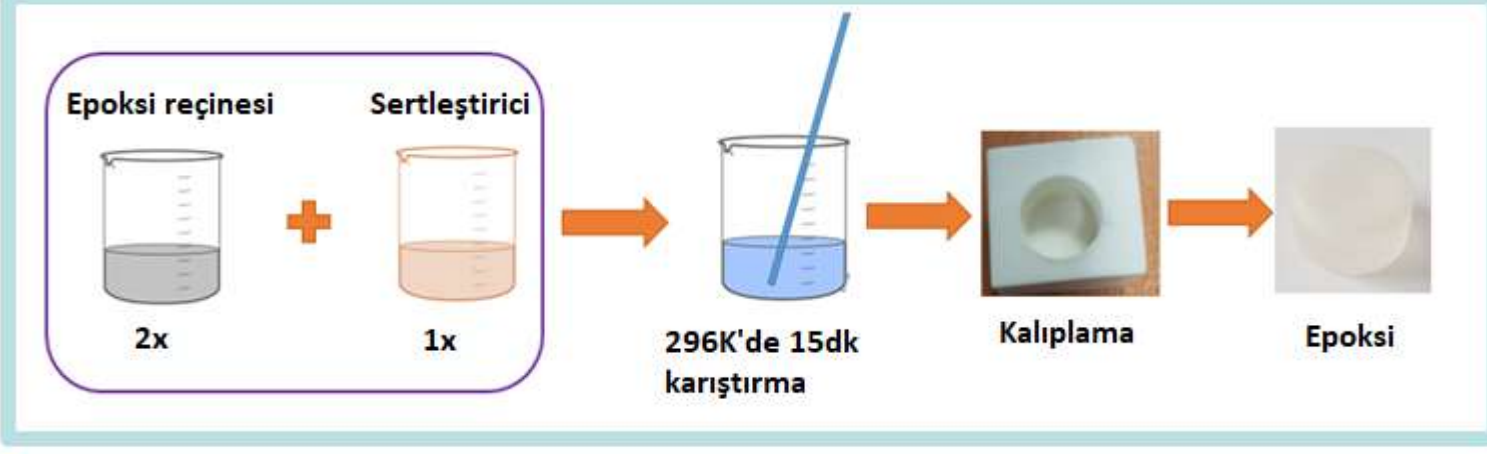
Ata Dağhan KAYACIK

Dr.Öğr.Üyesi Yaşar KARABUL

ÖZET

Düşük maliyeti, kolay kürlenme ve işleme özellikleri, katkı maddeleriyle uyumlu olması gibi avantajları epoksinin endüstriyel sektörde kullanılmasının temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, epoksi matrisine gümüş (Ag) partiküllerin eklenmesiyle epoksinin iyonlaştırıcı radyasyon zırlama performansının artırılması hedeflenmiştir. Ag katkı ağırlığı % 0'dan %32'ye kadar değiştirilmiştir. Deneysel çalışma, NaI(Tl) dedektörü, Ba-133 (81 keV ve 356 keV) ve Cs-137 (662 keV) radyoaktif nokta kaynakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin kütle azaltma katsayısı (MAC), yarı değer kalınlığı (HVL) ve ortalama serbest yol (MFP) değerleri hem deneysel olarak hem de WinXCom yazılımıyla teorik olarak belirlenmiştir. Deneysel ve WinXCom bulguları incelendiğinde arasında yüksek uyum gözlemlendi. Yüksek konsantrasyonda Ag partiküllerinin eklenmesinin, düşük enerjili fotonlara karşı epoksinin radyasyon önleme yeteneğini artırdığı ortaya çıkarıldı.

KOMPOZİTLERİN HAZIRLANMASI



Bisfenol A-epiklorohidrin epoksi reçinesi ve isoforon diamini, 2:1 oranında karıştırıldı. Çözelti 15 dakika boyunca karıştırıldı. Ardından çözelti, aynı yarıçapta ancak farklı yüksekliklere sahip iki silindirik kalıba döküldü ve 24 saat boyunca kurumaya bırakıldı. Aynı adımları izleyerek kompozitler de hazırlandı.

Numune	ρ (gcm ⁻³)
Saf Epoksi	1.10952
Epoksi/ %2 Ag	1.111481
Epoksi/ %4 Ag	1.120852
Epoksi/ %8 Ag	1.174551
Epoksi/ %16 Ag	1.275377
Epoksi/ %32 Ag	1.343998

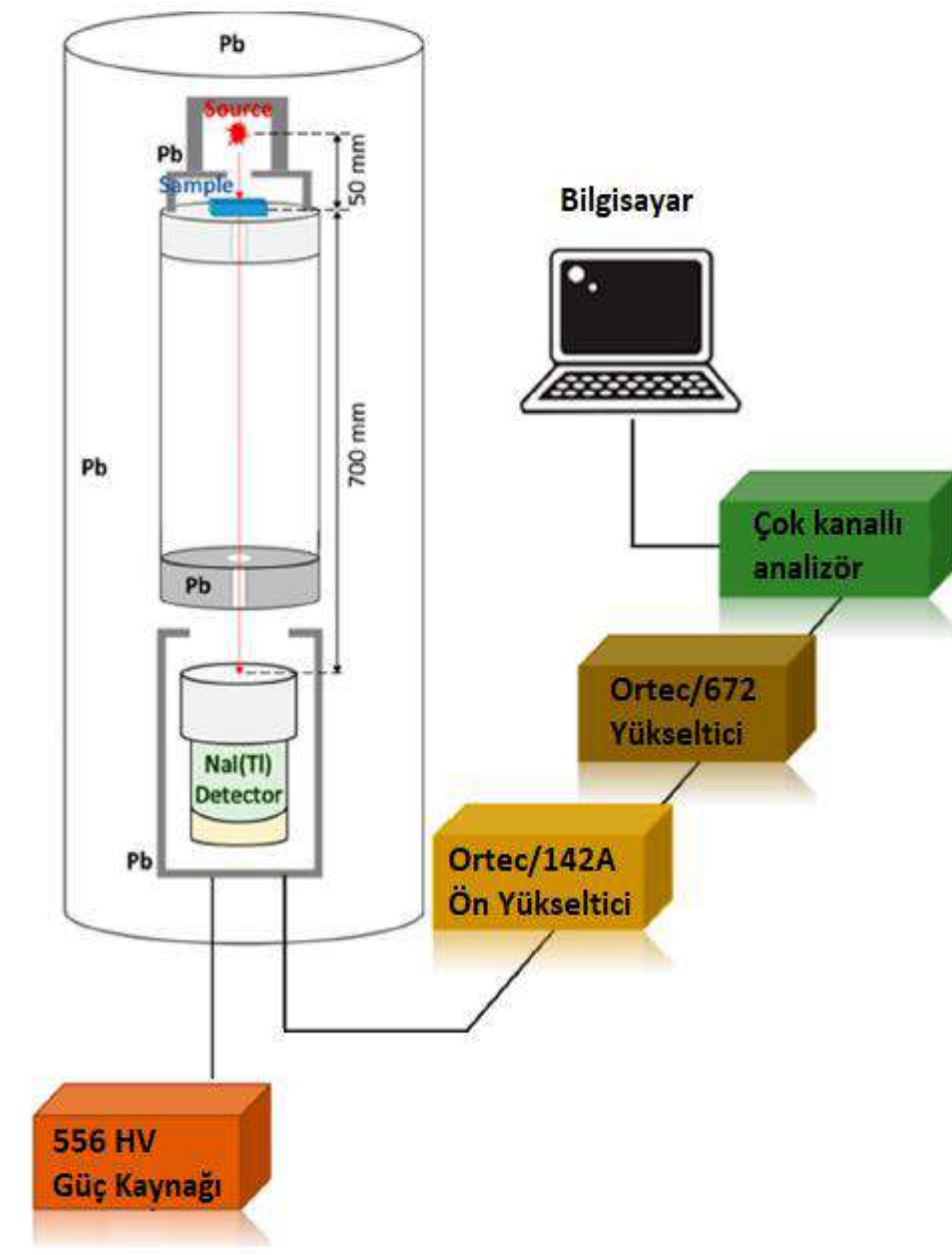
DENEYSEL & TEORİK

Numune	MAC-Deneysel (cm ² g ⁻¹)			MAC-WinXCom (cm ² g ⁻¹)		
	81 keV	356 keV	662 keV	81 keV	356 keV	662 keV
Epoksi	0.173	0.099	0.077	0.182	0.108	0.0835
Epoksi/%2 Ag	0.223	0.102	0.077	0.230	0.109	0.0834
Epoksi/%4 Ag	0.266	0.105	0.079	0.277	0.109	0.0832
Epoksi/ %8 Ag	0.353	0.109	0.081	0.372	0.110	0.083
Epoksi/%16 Ag	0.529	0.112	0.082	0.563	0.111	0.082
Epoksi/%32 Ag	0.887	0.117	0.082	0.944	0.114	0.081

- ✓ Epoksinin MAC değerleri, her foton enerjisi için gümüş katkısının artmasıyla hiyerarşik olarak arttığından, gümüş katkısının saf epoksinin radyasyon zırlama kabiliyetini artırdığı sonucuna varılabilir.
- ✓ 81 keV için yüksek MAC değerleri, gelen radyasyonu zayıflatma için baskın fotoelektrik soğurma ile ilişkilendirilir.
- ✓ 662 keV için düşük MAC değerleri, Compton saçılma olasılığının arttığı şeklinde değerlendirilir.
- ✓ Ayrıca, WinXCom tarafından belirlenen deneysel sonuçlar ve teorik bulgular uyum içindedir..

DENEY DÜZENİĞİ

Gama ışını spektrometresi, bir NaI(Tl) saçılma dedektörü (3×3 inç) ve bir fotoçoğaltıcı tüpünden oluşmaktadır. Kristal genellikle ¹³⁷Cs'nin 662 keV zirvesinde %7 belirtilmiş ve bir NaI(Tl) kristali için ışık bozunma süresi sabiti yaklaşık 0.23 μ s'dir. Numuneler, çapları 2 cm olan ve farklı kalınlıklara sahip 0.893–1.234 cm arasındaki ¹³³Ba ve ¹³⁷Cs radyoaktif nokta kaynakları tarafından üretilen kollimatlı γ -ışınları önünde konumlandırıldı. Dar bir ışın geometrisi kullanılarak, lineer zayıflatma katsayıları (m) hesaplandı. Analiz, Maestro 32 yazılım programı kullanılarak gerçekleştirildi.



TEORİK METOT

Teorik hesaplamalar, X-ışını ve gama ışınları için bileşiklerin ve karışımların tesir kesitlerini ve kütle azaltma katsayılarını belirlememizi sağlayan WinXCom yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi.

RADYASYON ZIRHLAMA PARAMETRELERİ

MAC, malzemenin gelen radyasyonun yoğunluğunu ne kadar zayıflatabileceğini ölçen bir değerdir ve lineer zayıflatma katsayısı (μ (cm⁻¹)) ile kütle yoğunluğu (ρ) oranıyla tanımlanır.

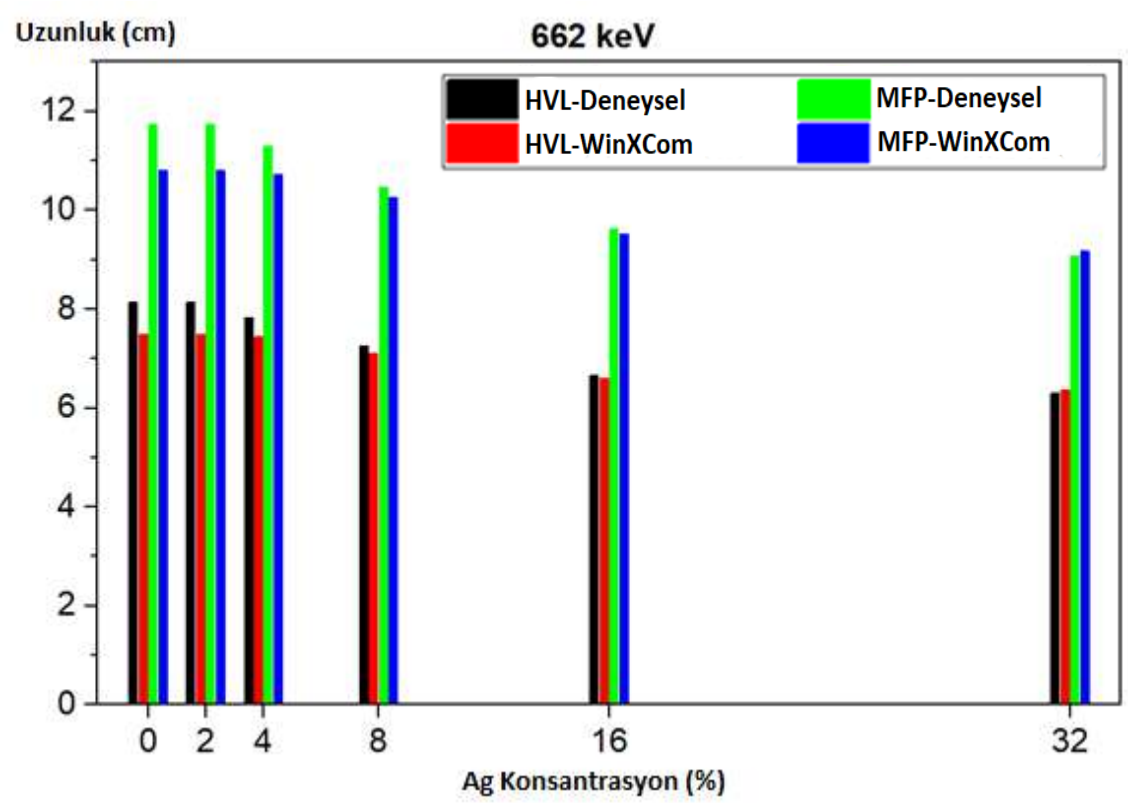
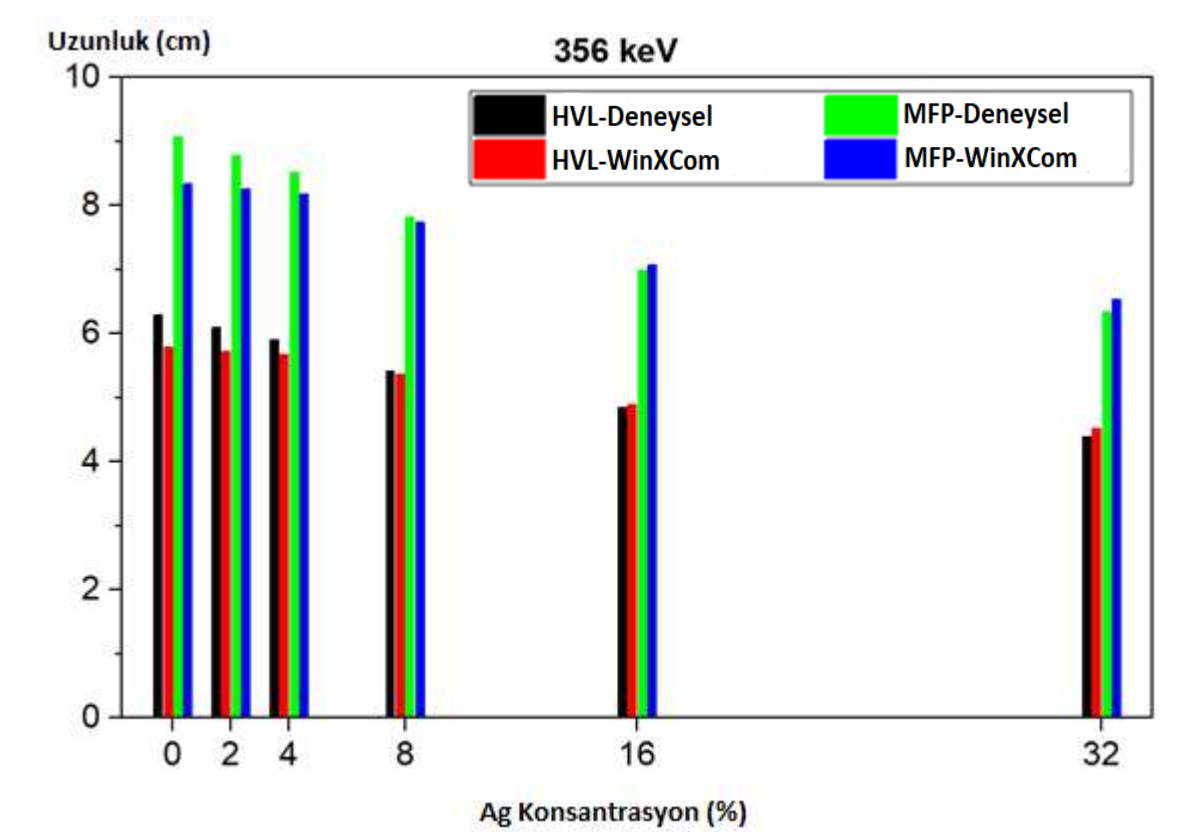
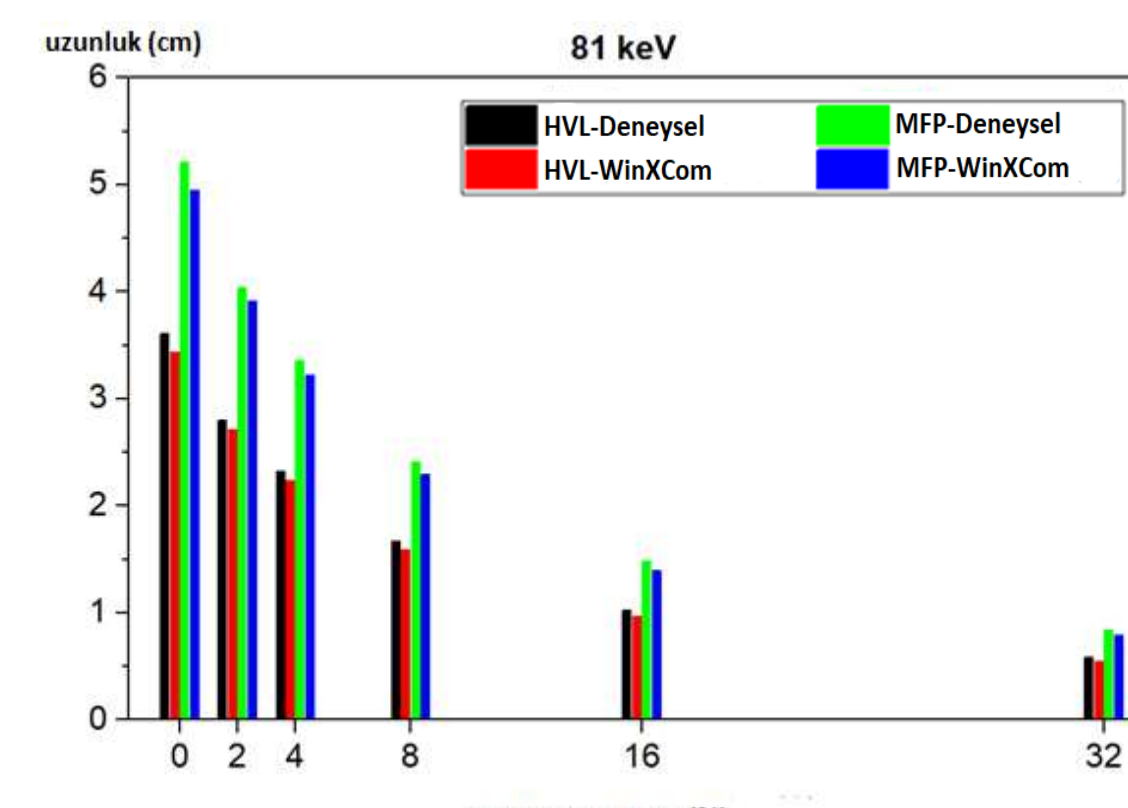
HVL, gelen radyasyonun yoğunluğunu yarıya indiren emici malzeme kalınlıklarını cm cinsinden ifade eder.

MFP, aynı zamanda lineer zayıflatma katsayısının tersidir ve malzemede herhangi bir etkileşim olmaksızın radyasyonun seyahat edebileceği uzunluğu temsil eder.

İyi bir radyasyon zırlama malzemesi için, MAC'ın yüksek olması, HVL ve MFP'nin mümkün olduğunca düşük olması beklenir.

Epoksi/ %32 Ag kompozitin MAC değeri, bazı geleneksel iyonlaştırıcı radyasyon kalkan malzemeleriyle karşılaştırıldığında, 81 keV-662 keV aralığındaki fotonlara karşı Ag içeren epoksi kompozitin radyasyon kalkanlama üstünlüğüne sahiptir, özellikle 81 keV ve 356 keV'deki fotonlara karşı.

Numune	MAC (cm ² g ⁻¹)		
	81 keV	356 keV	662 keV
Alüminyum	0,222	---	0,091
Bakır	0,795	---	0,089
Tuğla	---	0,105	0,080
Çimento	---	0,104	0,075
Beton	---	0,102	0,080
Epoksi/ %32 Ag	0,887	0,117	0,082



- ✓ HVL ve MFP değerleri, gümüş katkısının artmasıyla kademeli olarak azalır.
- ✓ 81 keV'deki keskin HVL ve MFP azalmaları, etkili radyasyon zırlanmasına bağlıdır.

KAYNAKÇA

- [1]Turhan, M. F., Akman, F., Taşer, A., Dilsiz, K., Oğul, H., Kacal, M. R., & Agar, O. (2022). Gamma radiation shielding performance of CuxAg (1-x)-alloys: experimental, theoretical and simulation results. *Progress in Nuclear Energy*, 143, 104036
- [2]Çağlar, M., Karabul, Y., Kılıç, M., Özdemir, Z. G., & İçelli, O. (2021). Na2Si3O7/Ag micro and nano-structured glassy composites: The experimental and MCNP simulation surveys of their radiation shielding performances. *Progress in Nuclear Energy*, 139, 103855.
- [3]Karabul, Y., & İçelli, O. (2021). The assessment of usage of epoxy based micro and nano-structured composites enriched with Bi2O3 and WO3 particles for radiation shielding. *Results in Physics*, 26, 104423.

FİZİK BÖLÜMÜ

PVA-PVP KOMPOZİTLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE ÇARPAZ BAĞLANMA SICAKLIĞI VE ÇARPAZ BAĞLANMA SÜRESİNİN ETKİLERİ

Deniz KAYA 17022020

Danışman: Doç. Dr. Cenk DENKTAŞ

ÖZET

Günümüzde gittikçe önem kazanan doku mühendisliği alanında organ üretimi ve hasarlı dokuları onarımı gibi iyileştirmeler için üstün özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesi arayışında öne çıkan Polivinilpirolidon (PVP) ve Polivinil Alkol (PVA) polimerlerinin beraber sentezlenmesi ile üretilen bu kompozitlerin çarpaz bağ sıcaklığı ve çarpaz bağ süresinin malzemelerimiz üzerindeki etkilerini incelendi. Hazırlanan örneklerin fiziksel tayinleri sonucunda Gerilme (Stress) ve Gerinim (Strain) verileri ile elastikiyet katsayısı (Young Modülü) bulundu ve malzemenin en uygun fiziki formu için gereken bağ sıcaklığı ile bağ süresi arasındaki mekanizma incelendi.

GİRİŞ

Polyvinilpirolidon (PVP) suda çözünebilir, biyouyumlu, toksik olmayan, kimyasal olarak inert ve renksiz bir polimerdir. Polivinil Alkol (PVA) benzer şekilde suda çözünebilir, renksiz, kokusuz ve düşük toksisitesi nedeniyle çeşitli tıbbi uygulamalarda kullanılan, ve aynı zamanda dünyada üretilen en yüksek hacimli sentetik reçinedir [1]. PVA ve PVP'nin biyouyumluluğu, biyolojik olarak parçalanabilirliği, toksik olmamaları ve kanserojen olmamaları, işlenmelerinin kolaylığı gibi avantajları nedeniyle Biyomedikal mühendisliği, organ dokusu üretimi ve ilaç sektöründe kullanımı çok yaygındır. PVA'nın hidroksil grubu ve PVP'nin proton kabul eden karboksil gruplarının bağlanması sonucunda oluşan ürünler yapısal mekanik özelliklere, kontrollü çözünürlüğe ve hücre canlılığına elverişli polimerik bir iskele oluşturmak için idealdir [2]. Tartarik asit polimerlerin sentezi için uyumlu bir monomer / komonomer olmakla beraber birçok meyveden elde edilebilir. Yaygın olarak bulunabilen ve nispeten ucuz olan tartarik asit, polimer sentezimizde kullanılmıştır. Son olarak kompozite katılan gliserol ise polimerler ile başarılı bir biyouyumluluk sergiler ve bugüne kadar ilaç dağıtımı, doku implantları ve antibakteriyel özellikteki uygulamalar için kullanılmaktadır [3]. Bu çalışmada PVA, PVP, tartarik asit ve gliserin kullanılması temel amacı, biyouyumlu uygulamalar için toksik olmayan, hücre çoğalmasına ve büyümesine elverişli bir ortam sağlayarak, bu malzemelerin potansiyel kullanım alanlarını incelemek oldu [4]. Kompozitlerimizin sıcaklık altında çarpaz bağlanması sonucunda polimerlerimizin fiziksel özellikleri önemli ölçüde artmış oldu. Bu oluşan yeni kimyasal bağlar, polimer zincirlerini birbirine bağlayarak malzememizin mekanik dayanıklılığını, sıcaklık direncini ve kimyasal direncini arttırdı. Bu özellikler, çarpaz bağlanmanın polimer tabanlı malzemelerin kullanım alanını genişletmesini ve özellikle biyomedikal, elektronik ve malzeme bilimi gibi birçok alanda önemli olmasını sağlar. Bu çalışmanın temelinde de çarpaz bağlanma sıcaklığı ve çarpaz bağlanma süresinin üretilen kompozitler üzerinde etkisini incelemek yatmaktadır.

DENEY TASARIMI

PVA / PVP / Gliserin / Tartarik Asit'in Sentezi:

- Polivinil Alkol (CAS 9002-89-5) ve Polyvinilpirolidon (CAS 9003-39-8) ayrı ayrı saf su içinde 80°C'de 60 dakika boyunca karıştırıldı.
- Homojen bir şekilde karışan PVA ve PVP birleştirilerek aynı kaptaki 20°C'ye düşene kadar 90 dakika boyunca karıştırıldı.
- Ardından oda sıcaklığına gelen polimerlerin içerisine ayrı bir beherde su ile 20°C'de karıştırılmaya bırakılan Tartarik Asit eklenerek 45 dakika boyunca karışmaya bırakıldılar.
- Sonrasında az miktarda Gliserin karışmış polimer ve asidin içerisine damlatılarak 20°C'de 30 dakika boyunca homojen bir şekilde karışmaya bırakıldı.
- Ardından karışım petri kaplarına ince bir katman olacak şekilde dökülerek etüvde 24 saat boyunca kurutuldu.
- Son olarak kuruyan kompozitler 100°C ve 120°C'de olmak üzere etüv içerisinde 5 - 10 - 20 dakika olacak şekilde termal olarak çarpaz bağlandı.

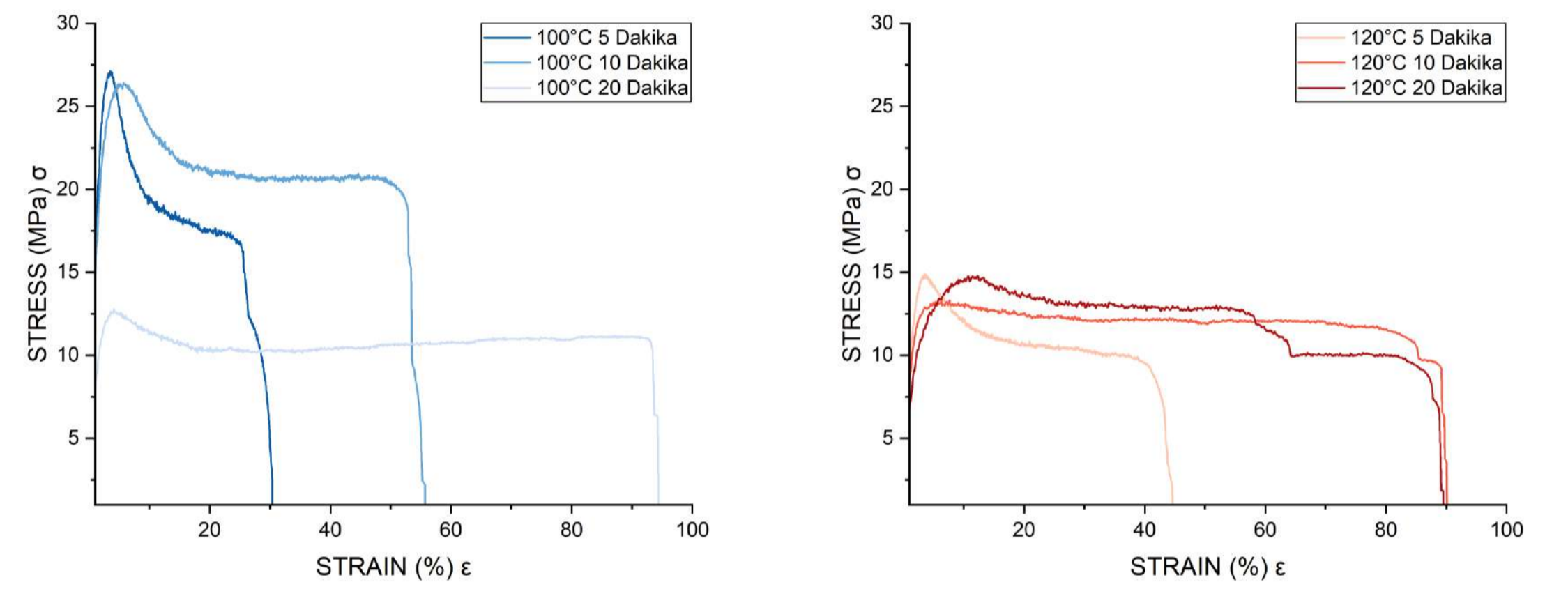
Fiziksel Karakterizasyon ve Young Modülü'nün Bulunması:

Etüvden çıkarılan ve çarpaz bağlanana kompozitlerimiz 5x25mm boyutlarda kesilerek Universal Testing Machine yardımı ile gerilme ve gerinim testlerine tabii tutuldu. Çarpaz bağlanmaya bağlı parametrelerimiz süre ve sıcaklık olduğundan elimizdeki 6 farklı malzemenin her birinden beşer adet örnek kesilerek her bir örneğin ortalaması alındı. Ardından elde edilen verilen OriginLab uygulamasına aktarılarak 100°C ve 120°C için çarpaz bağlanma süresinin yer aldığı Grafik-1 ve Grafik-2 oluşturuldu. Ardından her bir örneğin elastisite modülünün hesaplanması için kopma noktasından merkeze olan mesafenin %5'lik dilimi alınarak grafiğin eğimi, yani Young Modülü hesaplanmış oldu.

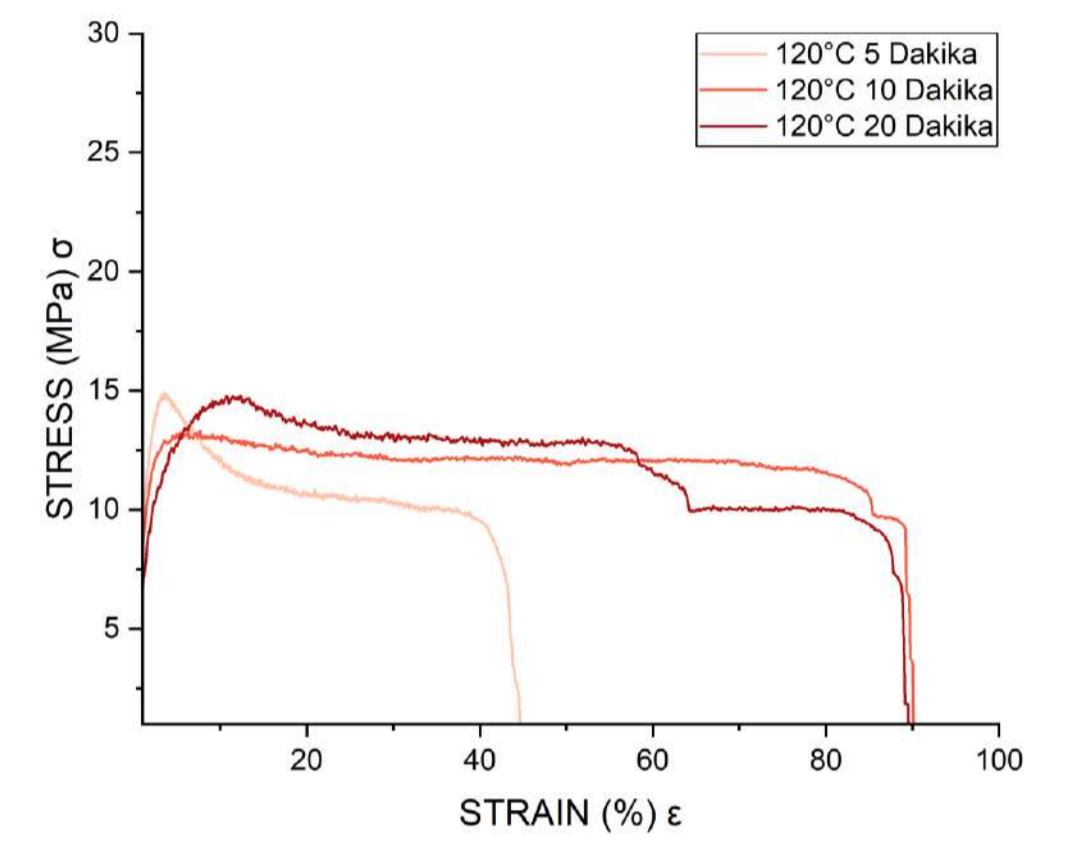
$$E = \frac{\text{çekme gerilmesi}}{\text{Birim şekil değişimi}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{A_0 \Delta L}$$

Tüm kompozitlerin tek bir grafikte gözüktüğü Grafik-3 eklenerek bütün çarpaz bağlanma sıcaklığına ve çarpaz bağlanma süresi ile birlikte Young modülünün hesaplandığı değerler Tablo-1'e eklendi.

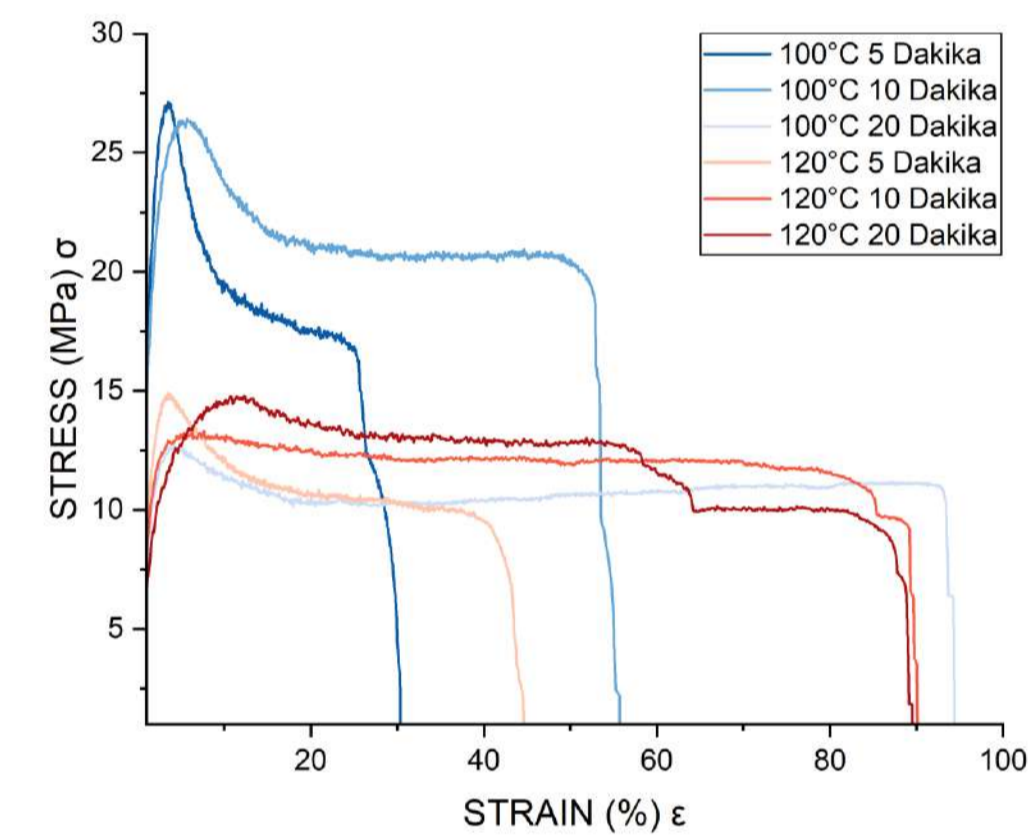
FİZİKSEL ANALİZ SONUÇLARI



Grafik-1



Grafik-2



Grafik-3

Örnek	Strain ε yüzde (%)	Stress σ (Mpa)	Young modülü (Pa)
100°C 5 dakika	1.26231	18.11848	14.35309
100°C 10 dakika	2.56415	22.95743	8.95323
100°C 20 dakika	2.65088	11.96951	4.51529
120°C 5 dakika	1.99876	12.92996	6.46899
120°C 10 dakika	4.11091	12.88901	3.13531
120°C 20 dakika	4.27386	12.45086	2.91325

Tablo-1

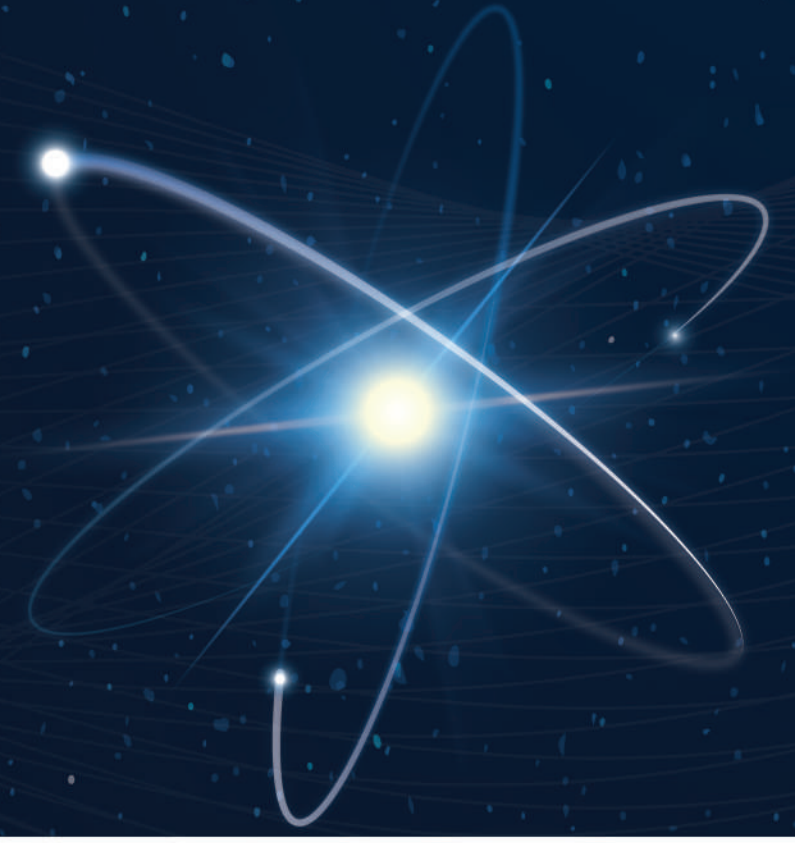
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Grafik-3'te de görülebileceği gibi, kullanılan malzemelerimiz için çarpaz bağ sıcaklığı ve süresi kompozitin fiziksel özellikleri üzerine etkisi değişkendir. Kompozitin elastisitesini arttırmak için yüksek sıcaklıklar yerine çarpaz bağ süresini arttırmak daha verimli malzemelerin üretilmesinde rol oynayabilir. 5 dakikalık örnekler en zayıf ve elastik olmayan sonuçları verirken, 10 ve 20 dakikalık örnekler elastisitesini arttırarak gerinime karşı olan direncini arttırdıkları gözükmektedir.

Kompozit içerisindeki gliserin yerine başka gliseritler, tartarik asit yerine başka asitler ile deneyler tekrarlanabilir. Böylece üretilen yeni kompozitler birbiri ile kıyaslanabilir, biyomedikal alandaki kullanımları genişletilebilir ve insanlığın gittikçe önemle ihtiyaç duyduğu doku onarımı, organ üretimi gibi alanlar için çığır açıcı keşiflere yol açabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Chaudhuri, B., et al. "A novel biocompatible conducting polyvinyl alcohol (PVA)-polyvinylpyrrolidone (PVP)-hydroxyapatite (HAP) composite scaffolds for probable biological application." *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 143 (2016): 71-80.
- [2] Chahal, Sugandha, et al. "Fabrication, characterization and in vitro biocompatibility of electrospun hydroxyethyl cellulose/poly (vinyl) alcohol nanofibrous composite biomaterial for bone tissue engineering." *Chemical Engineering Science* 144 (2016): 17-29.
- [3] Sunil Dhamaniya and Josemon Jacob. 2012. Polymer Bulletin (Jun 2012) ISSN NO: 0170- 0839 DOI: 10.1007/s00289-011-0606-9.
- [4] Zhang, H. and Grinstaff, M.W. (2014), Recent Advances in Glycerol Polymers: Chemistry and Biomedical Applications. *Macromol. Rapid Commun.*, 35: 1906-1924.



INTRODUCE

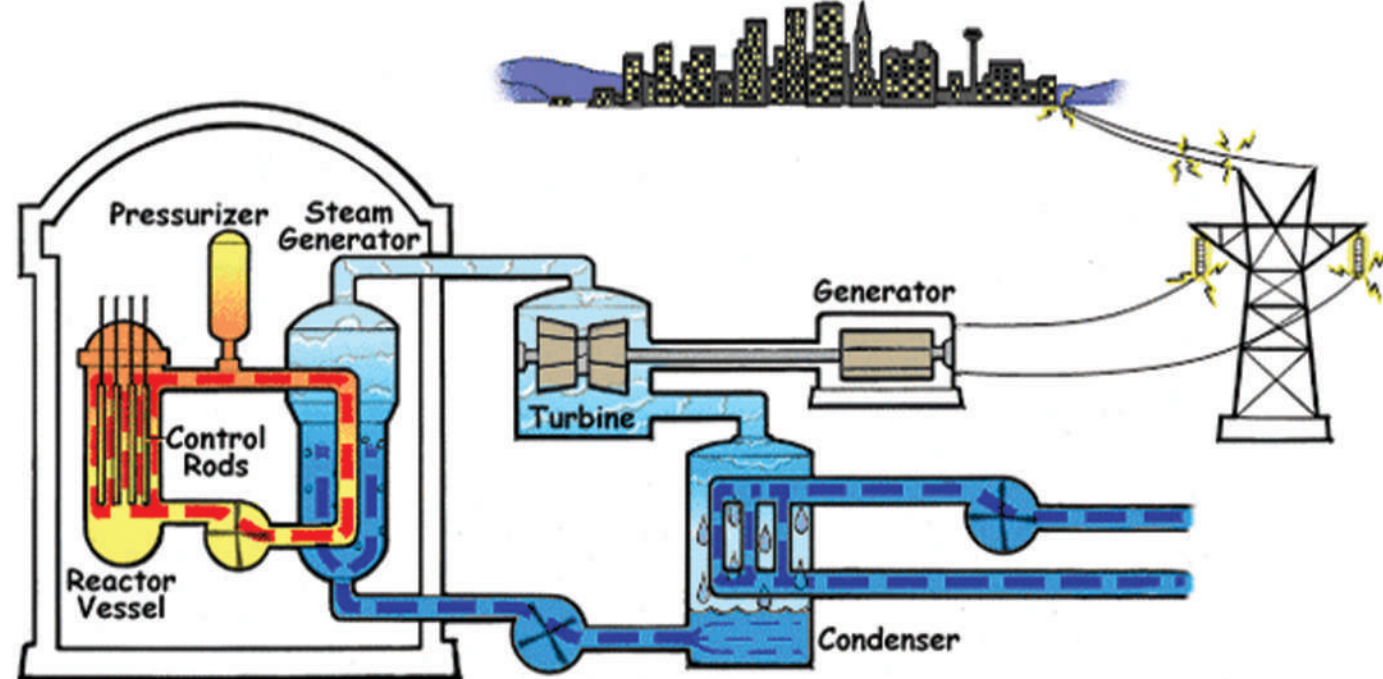
Nowadays, our energy needs are increasing, meaning that we will need more energy to meet our basic needs in various sectors and in our homes. In order to meet this increasing demand, it is inevitable to turn to sustainable and environmentally friendly energy sources. Our main energy sources are; fossil fuels, renewable energy sources, hydrogen energy and nuclear energy

NUCLEAR ENERGY

Nuclear energy is the energy obtained as a result of nuclear reactions. The nucleus of the atom contains both protons and neutrons. Energy is released when any change occurs in the nucleus of an atom. There are two basic types of nuclear reactions

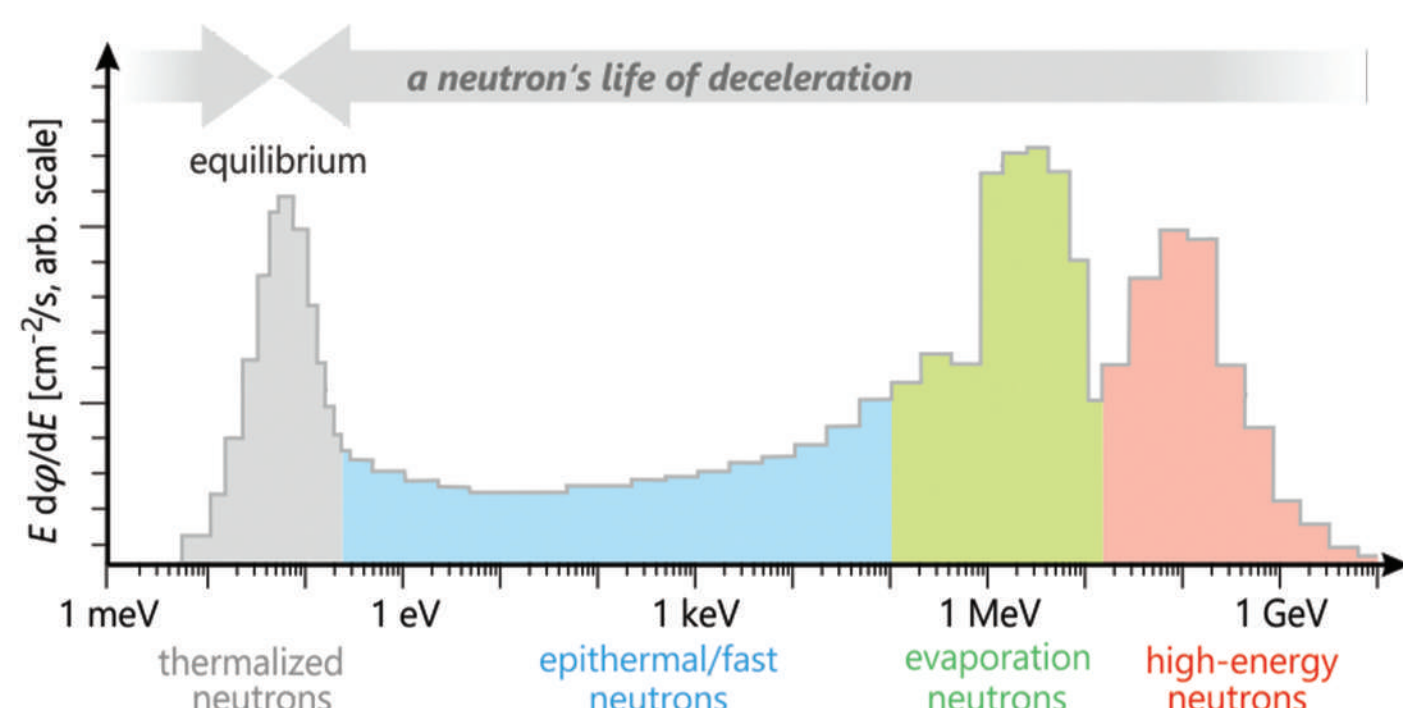


In both cases, there is a difference between the reacting and exiting masses. The mass difference is converted into heat energy. Heat vaporizes a circulating liquid, such as water in nuclear reactors. The resulting steam produces mechanical energy by rotating turbines. Turbines are usually powered by a generator.



NUCLEAR REACTORS

Nuclear reactors work on the principle of fission. Neutrons play an important role in nuclear reactors and enable the production of energy in reactors by initiating nuclear fission reactions. Nuclear fragments are in a very mobile state and emit neutrons, photons, electrons and other subatomic particles. The emitted neutrons can then cause new fissions, resulting in more neutrons, and so on. It creates such a continuous, self-sustaining chain reaction. A large amount of energy is released in this process, and this energy forms the basis of nuclear power systems.

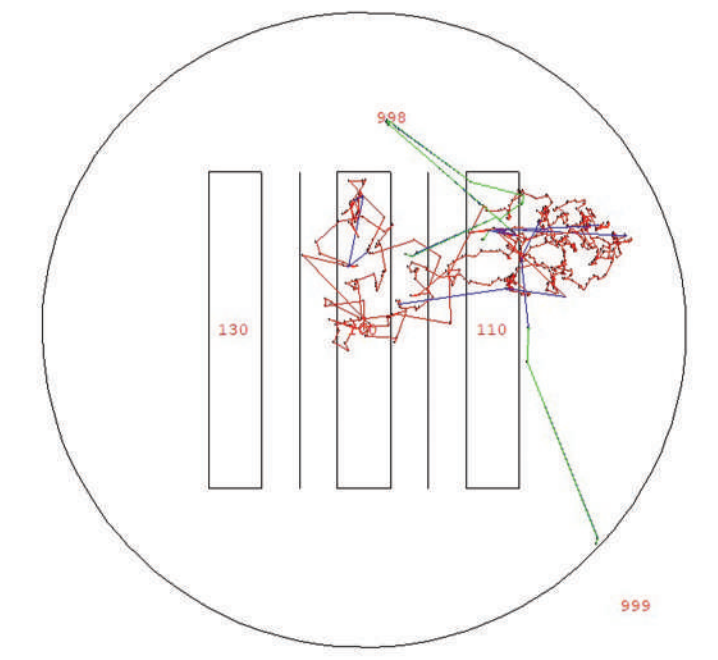
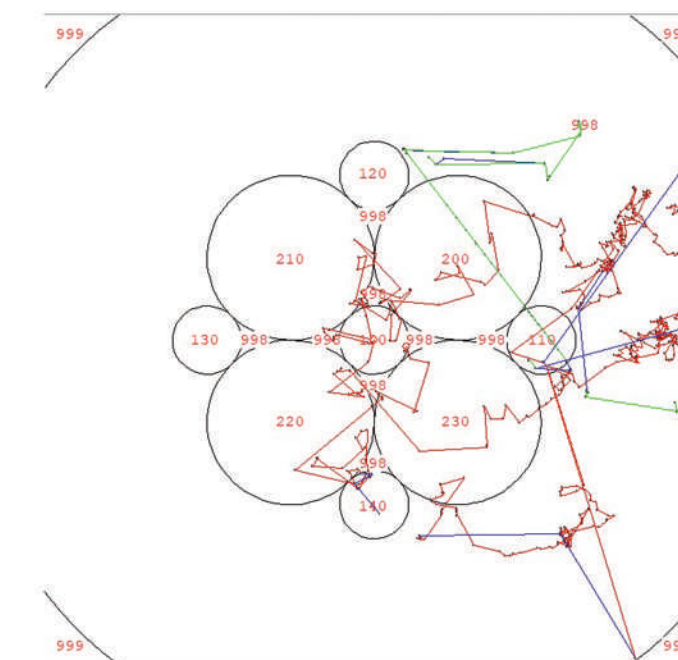


All reactors have a central zone containing a core, fuel, fuel cladding, coolant and moderator. Fission energy in a nuclear reactor is produced in the core. The neutrons emitted in fission are very energetic, with average energies around two million electron volts. Neutrons lose energy when scattered or collided with nuclei in a reactor, they lose energy most efficiently by colliding with light atoms such as hydrogen and deuterium. Neutrons occur until the reactor reaches thermal equilibrium at energies of a few hundredths of an electron volt.

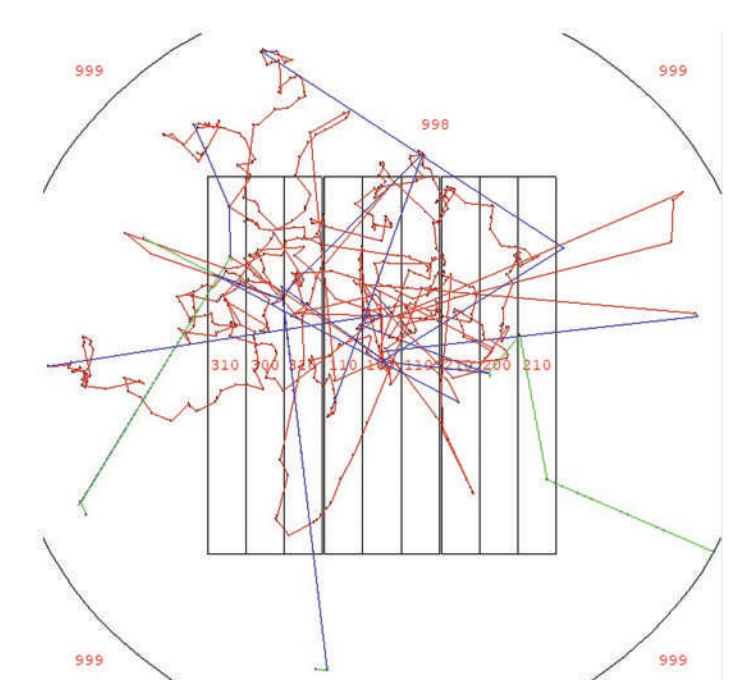
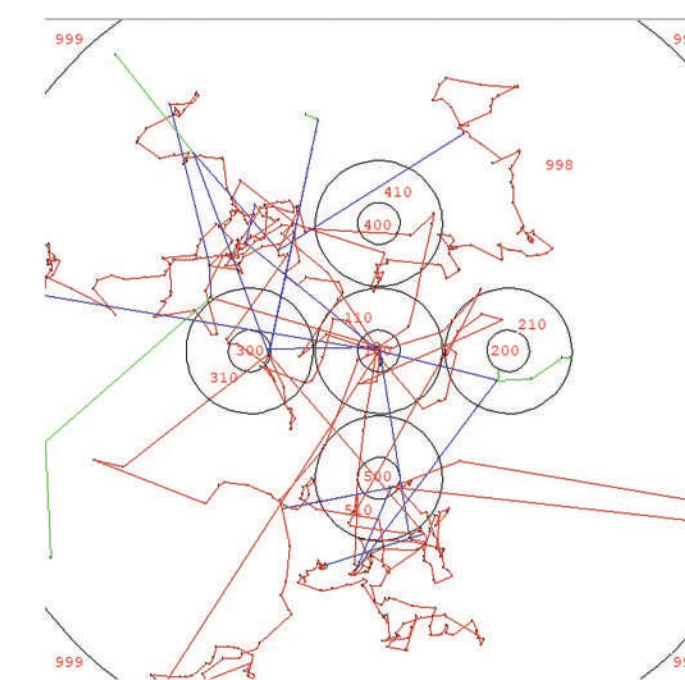
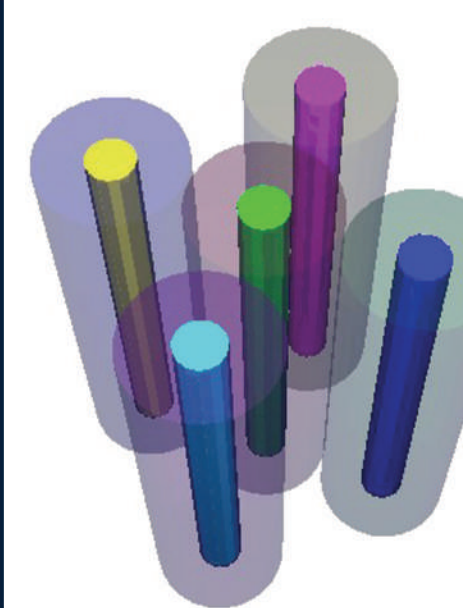
EXPERIMENT

In the experiment, the fuel core in nuclear reactors was designed using Mncp. Graphite coated uranium cell and non-graphite coated uranium cell were designed. The effect of neutrons was examined in designed cells, the fuel core was shot with a three neutrons and this situation was examined.

Cell 1



Cell 2



Green: electronc
Red: neutrons
Blue: photons

SMR

Developing nuclear reactor designs generally aim to be smaller in size, modular, safe, produce less waste and produce more efficient energy. Although the power output of SMRs is significantly less than a full-scale nuclear power station, they can be more easily manufactured and transported to where they are needed.

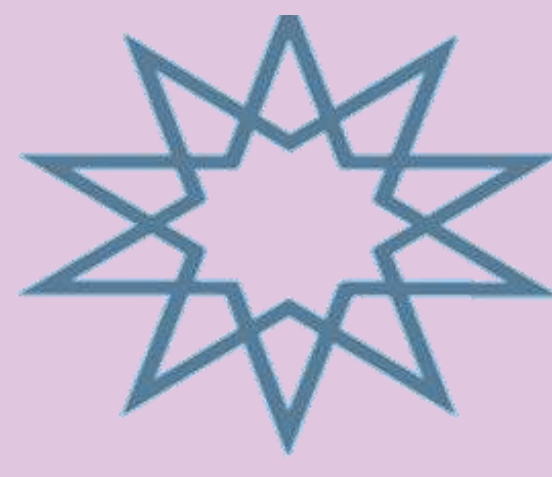


CONCLUSION

Most experts continued to believe that nuclear energy could be a safe power source, as the nuclear energy accidents that had occurred were mainly caused by human errors rather than some internal factors. However, there is one condition for concluding that nuclear energy is generally a safe form of energy. The facilities that will produce this power must be designed, constructed and operated to high standards by knowledgeable, well-trained professionals, and a regulatory mechanism must be in place to implement these standards.

REFERENCES

[1] James Carter, J., (2016), Small modular reactor deployment, <https://www.elsevier.com/>



RADYASYON KORUYUCU GİYSİLER İÇİN BARYUM OKSİT NANOPARTİKÜL KATKILI POLYESTER

Kerime Selin ERTAŞ 18022083

Danışman: Doç. Dr. Mehmet KILIÇ

ÖZET

Bu çalışmada kütlece %0-20 aralığındaki BaO nanoparçacıklarına (NP) sahip Polyester/BaO nanokompozitlerinin (NC) gama ışını perdeleme kapasitesi incelenmiştir. Polyester, giyim kumaşlarında yaygın olarak kullanıldığı için ana matris olarak seçilmiştir. Polyesterin düşük atom numaralı elementlerden oluşması sebebiyle radyasyonun zararlı etkilerini zırlama kabiliyetini arttırması için ve gama ışını perdeleme performansını geliştirmek için, birlikte çökteltme yöntemiyle sentezlenen BaO NP'lerden yararlanılmıştır. NC'lerin gama ışını zırlama performansları, bir NaI(Tl) dedektörü ve ¹³³Ba, ¹³⁷Cs ve ⁶⁰Co radyoaktif kaynakları kullanılarak deneysel olarak belirlenen kütle zayıflama katsayısı (MAC), yarı değer katmanı (HVL) ve ortalama serbest yol (λ) ile incelendi. Tüm deneysel veriler değerlendirildiğinde, BaO NP katkısının artmasıyla polyesterin radyasyondan korunma yeteneğinin arttığı, en ciddi iyileşmenin ise 81 keV gibi düşük enerjili iyonlaştırıcı radyasyonda olduğu sonucuna varıldı.

GİRİŞ

Kurşun ve kurşun türevleri yüksek toksik etkiye sahip bir malzeme grubu olduğundan; mevcut çalışmalar, nükleer tesislerde ve sağlık merkezlerinde kullanılan X ve gama ışınlarını zayıflatmak için kullanılabilir **hafif, ucuz, toksik olmayan ve etkili** yeni iyonlaştırıcı radyasyon koruyucu malzemelerin geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu açıdan bakıldığında, polimerler esneklik, düşük maliyet ve hafiflik gereksinimlerini karşılayan iyi adaylardır. Ancak, düşük atom numaralı element içerikleri nedeniyle, ancak yüksek atom numaralı elementler veya bileşiklerle takviye edildiklerinde iyonlaştırıcı radyasyona karşı zırlama oluşturabilirler. **Bu noktadan hareketle, bu çalışmada polimer olarak polyesterin yukarıda bahsedilen avantajları ile toksik olmayan BaO NP'lerin iyonlaştırıcı radyasyon zırlama işlevi birleştirilerek polyester bazlı bir zırh elde edilmesi amaçlanmıştır.**

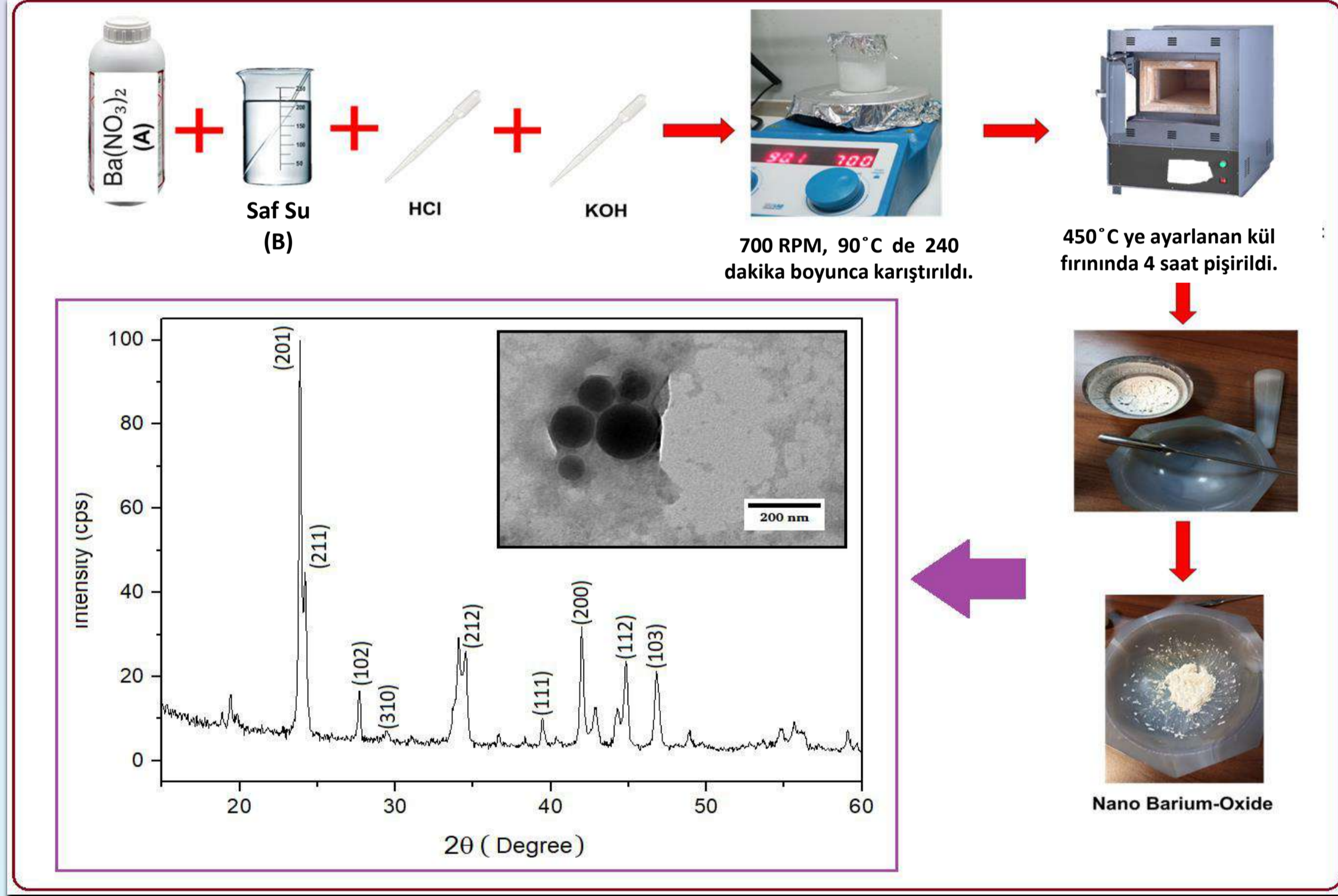
MALZEMELER VE DENEYSEL DETAYLAR

Kompozitlerin Ana Matrisi: Polyester

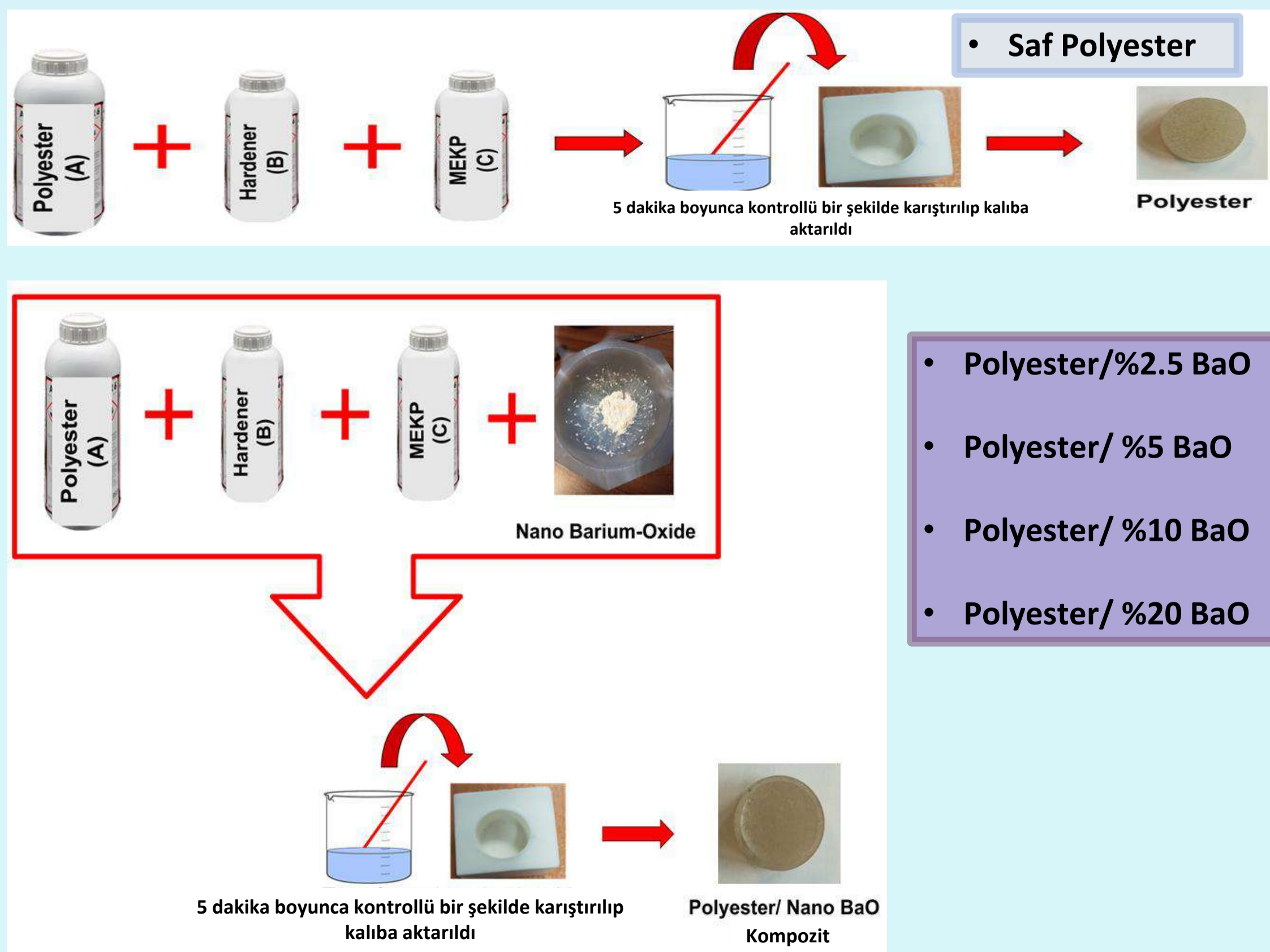
1940'lı yıllarda geliştirilen polietilen tereftalat (PET) polimerinin üretilmesi ile sentetik bir elyaf türü olan polyester elde edilmiştir. Polyesterler dayanıklı, esnek, kolay şekillendirilebilir ve uygun maliyetli oldukları için kompozitlerde kullanılmaktadır.

Kompozitlerin Katkı Partikülü: BaO NPs

Nano baryum oksit partiküllerinin üretim şeması aşağıdaki gibidir [1]

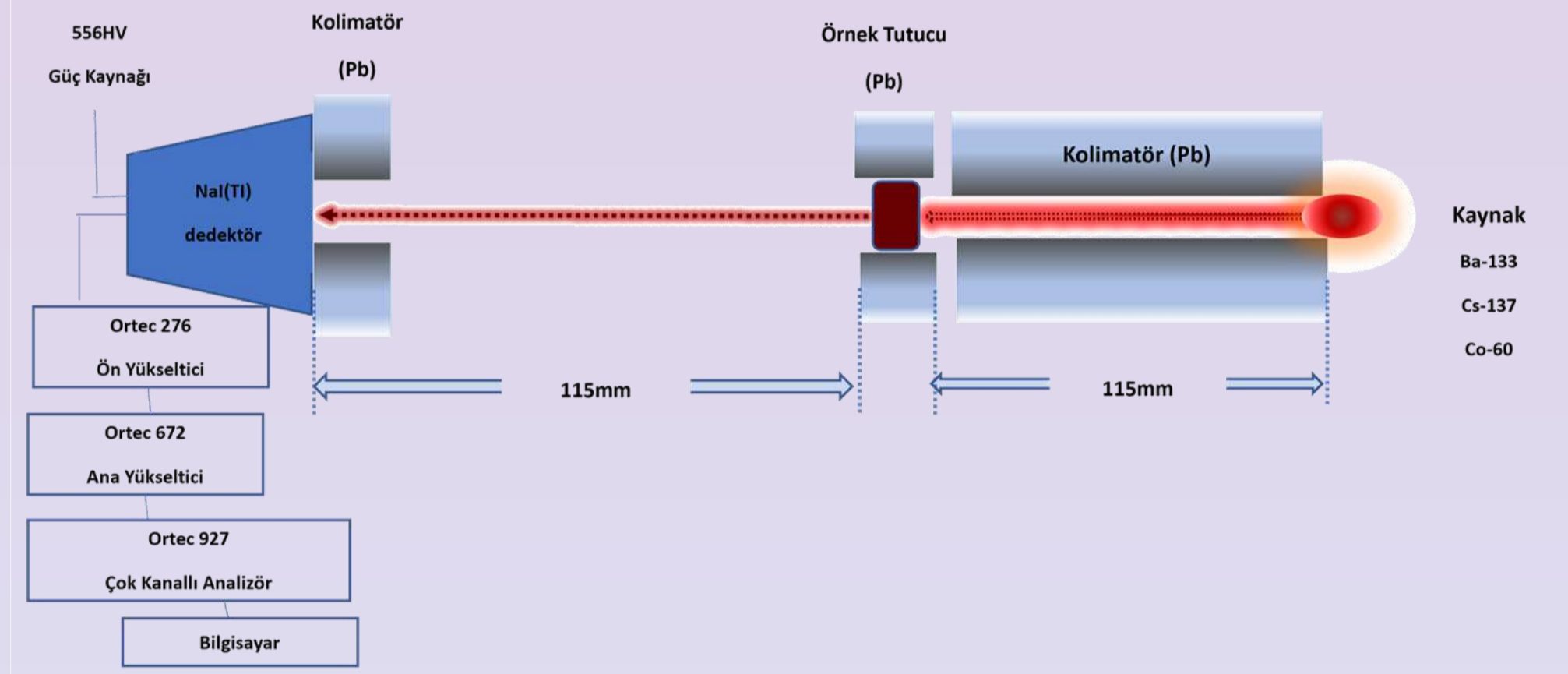


SAF POLYESTER VE POLYESTER/NANO BaO KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI



DENEYSEL DÜZENEK

Sistem NaI(Tl) dedektörü, buna bağlı elektronik sistemler (foto çoğaltıcı tüp, amplifikatörler analog-dijital sinyal dönüştürücü ve çok kanallı analizör gibi) ve MAESTRO yazılımının yüklü olduğu bir bilgisayardan oluşmaktadır. Düşük (81 keV ve 356 keV), orta (662 keV) ve yüksek enerjili (1173 keV ve 1332 keV) gama-ışınlarının kaynağı olarak ¹³³Ba, ¹³⁷Cs ve ⁶⁰Co 'dan oluşan üç noktasal radyoaktif kaynak kullanılmıştır.



Deneylerde, gama ışınlarının gelen (I_0) ve iletilen (I) şiddetleri ölçülmüştür. Beer- Lambert yasası kullanılarak örneklerin MAC, HVL ve λ değerleri hesaplanmıştır.

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

μ (cm^{-1}) lineer zayıflama katsayısıdır ve x absorbe edici ortamın kalınlığıdır.

$$\text{MAC} = \mu \cdot \rho^{-1}$$

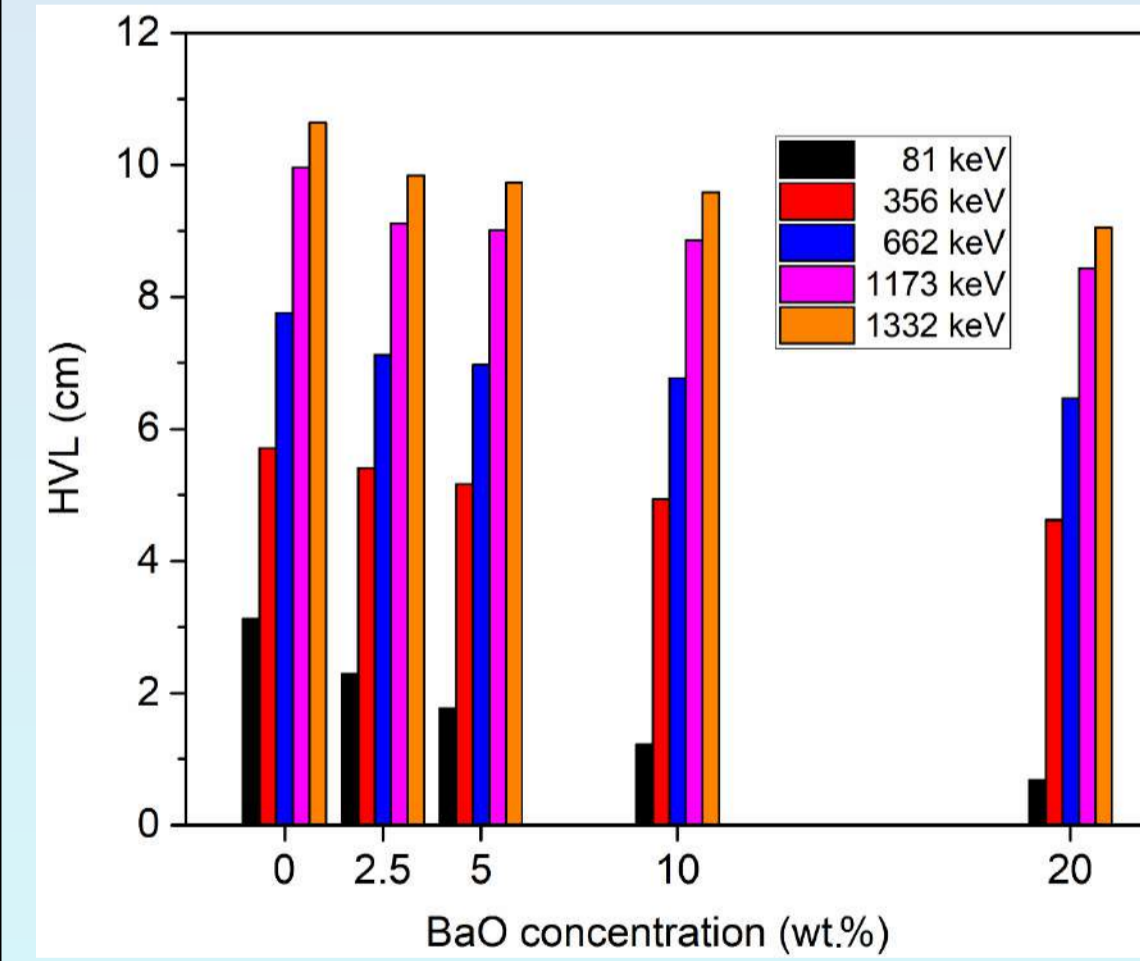
$$\text{HVL} = \mu^{-1} \cdot \ln 2$$

$$\lambda \mu = 1$$

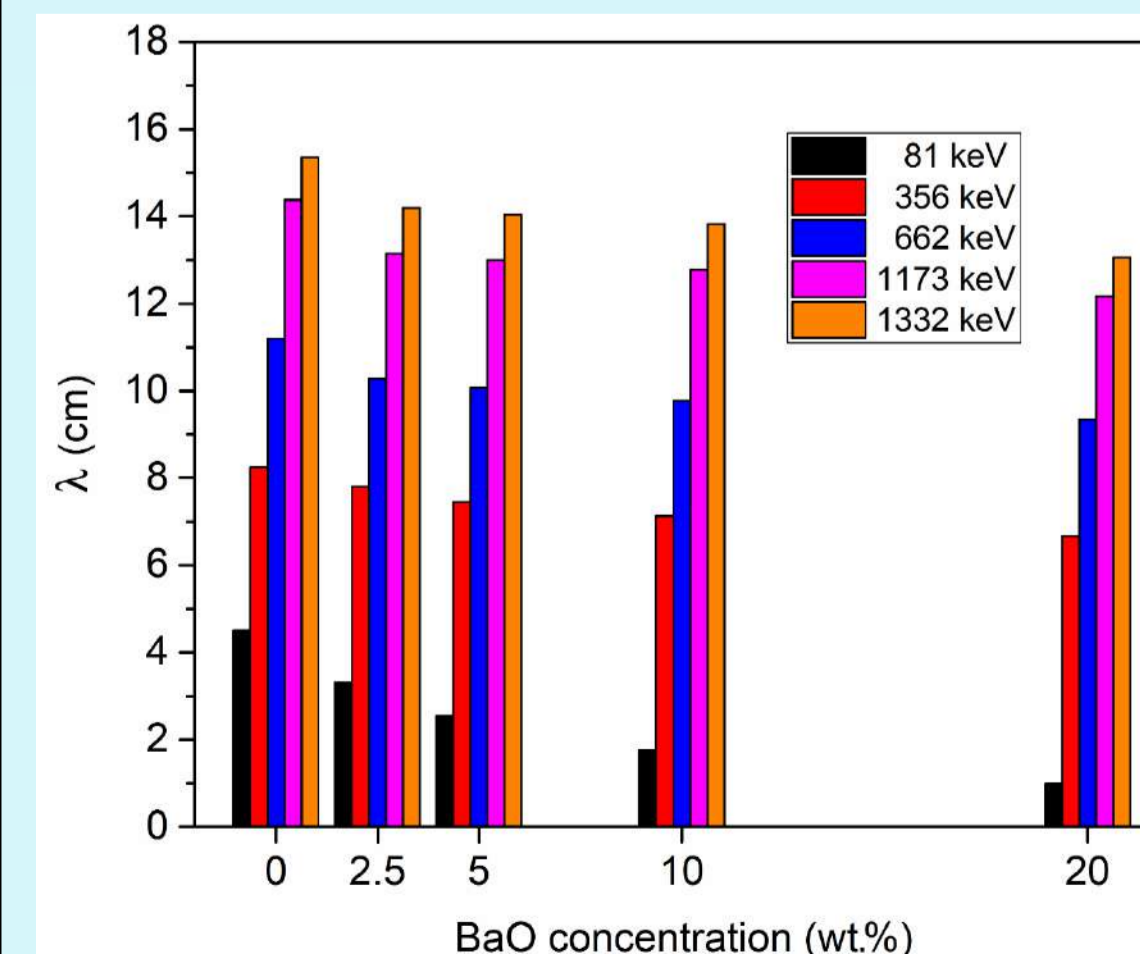
SONUÇ

Kütle Zayıflama Katsayısı (MAC) cm^2/g

Numune	Foton Enerjisi	81 keV	356 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV
Saf Polyester		0.1934	0.1058	0.0779	0.0607	0.0568
Polyester/%2.5 BaO		0.2426	0.1029	0.0781	0.0611	0.0566
Polyester/%5.0 BaO		0.3122	0.1068	0.0791	0.0612	0.0567
Polyester/%10.0 BaO		0.4413	0.1088	0.0794	0.0607	0.0561
Polyester/%20.0 BaO		0.7506	0.1110	0.0794	0.0609	0.0567

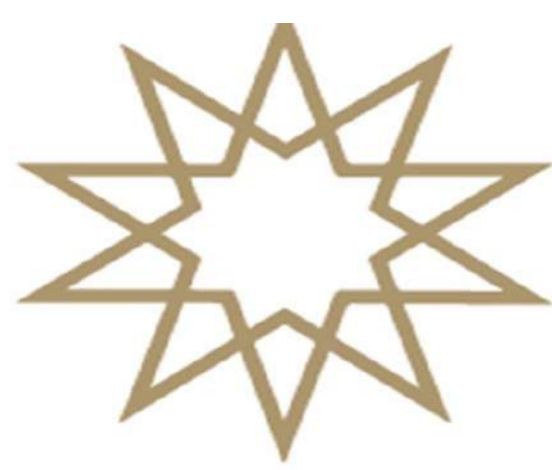


81 keV MAC ve HVL değerleri dikkate alındığında, saf polyester oldukça düşük MAC (0.1934 cm^2/g) ve yüksek HVL (3.125 cm) değerlerine, yani en düşük atom numarası element içeriğine atıfta bulunan zayıf radyasyon kalkanı yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte, BaO nanoparçacık, yani yüksek Z elementi ilavesi, polyesterin radyasyondan korunma kabiliyetini önemli ölçüde geliştirmektedir (%20 ilavesi için $\text{MAC} = 0.7506 \text{ cm}^2/\text{g}$ ve $\text{HVL} = 0.884 \text{ cm}$) Ancak, artan foton enerjilerinde, özellikle 1173 ve 1332 keV'de artan BaO nanoparçacık katkısına rağmen, ne MAC değerinde önemli bir artış ne de HVL değerinde önemli bir düşüş kaydedilmiştir. Bu davranış I için de geçerlidir. I düşük foton enerjilerinde nanoparçacık katkısı ile kısırlarken, yüksek foton enerjilerinde bu sağlanamamıştır. Bu nedenle üretilen kompozitlerin 81 keV gibi düşük enerjili fotonları zayıflatmada daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.



KAYNAKÇA

[1] BEYAZAY, E., KARABUL, Y., KILIÇ, M., EKEN KORKUT, S., & Özdemir, Z., (2022). PCz/BaO nanocomposites: Synthesis, characterization, and energy storage properties. PHYSICA B-CONDENSED MATTER, vol.634.
[2] Çağlar, M., Kayacık, H., Karabul, Y., Kılıç, M., Özdemir, Z. G., & İçelli, O. (2019). Na2Si3O7/BaO composites for the gamma-ray shielding in medical applications: Experimental, MCNP5, and WinXCom studies. Progress in Nuclear Energy, 117, 103119.
[3] Beyazay, E., Şahin, N., Karabul, Y., Kılıç, M., & Güven Özdemir, Z. (2023). BaO nanoparticle contribution to PVA on the way to become a more functional material. Journal of Applied Polymer Science, 140(45), e54640.



UNRAVELING THE IMPACT OF INDIUM DOPING ON NiO_x FOR ADVANCED PEROVSKITE SOLAR CELLS

Student: Melisa AYDIN 18022066

Advisor: Doç. Dr. F. Pinar CHOI

ABSTRACT

This thesis pioneers the investigation of In(II) and In(III) chloride doping for nickel oxide thin films in perovskite solar cells as to our knowledge there is no prior literature that has explored this aspect. The research introduces a solution-based, glove-box-free fabrication approach for such solar cells utilizing inorganic nickel oxide hole transport layers. Examining the impact of In(II) and In(III) chloride dopants on NiO_x thin films, it was observed that In(II) doping resulted in higher current densities. In contrast, In(III) doping exhibited an increase in open-circuit voltage and an improvement in the fill factor, indicating superior solar cell performance. These enhancements are suggested to be associated with increased hole concentration and improved lattice integration.

INTRODUCTION

• Importance of Perovskite Solar Cells and Charge Transport Layers

Perovskite solar cells, named after the Russian mineralogist Perovskit, have gained significance due to their unique crystalline structure, with a general formula of ABX₃. In 2009, CH₃NH₃PbX₃ perovskites were introduced as light absorbers in solar cells, with modest efficiency~4% [1]. By 2013, perovskite solar cells achieved PCEs as high as 15% [2] and now boosted to 25.7% [3] earning recognition as one of the top 10 breakthrough technologies.

- Outstanding light-harvesting
- High dielectric constant
- Balanced electron-hole mobilities
- Adaptability to flexible devices & fabrication at low T (<150°C)
- low-cost, high-efficiency solar cells

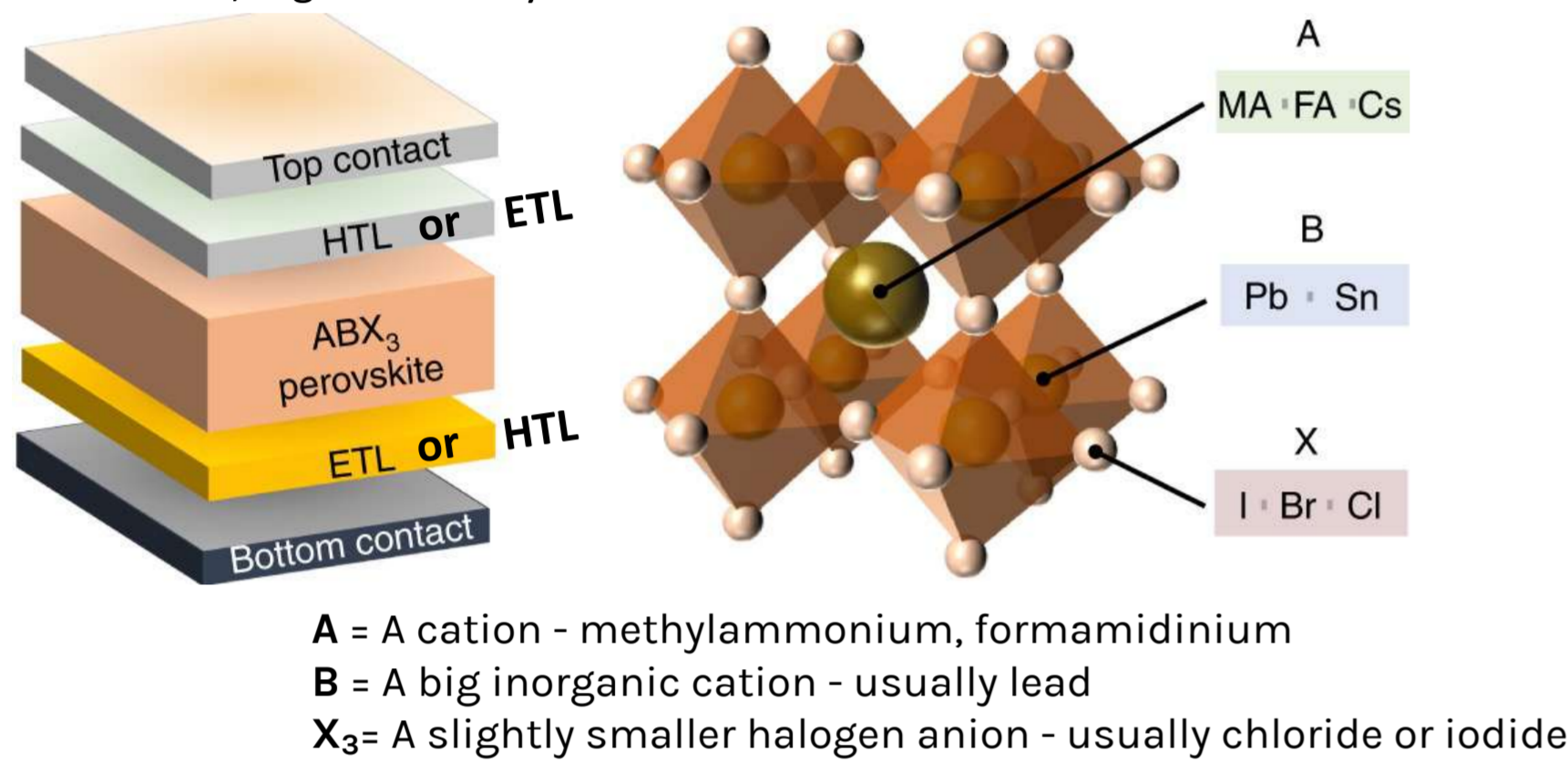


Fig. 1. Schematics showing the layer-by-layer device structure of a typical PSC and crystals of perovskite [4].

While perovskite light absorbers play an important role in solar harvesting, the success of the solar cell depends on additional layers, such as electron and hole transport layers (HTL). These layers are essential for the stable and efficient devices. Their effectiveness is related to the crystal structure, chemistry, electronic and optical properties, and compatibility with the perovskite synthesis process. Various materials, including polymers like PEDOT:PSS have been employed as HTLs in inverted planar PSCs. The unmatched work function between PEDOT:PSS and lead iodide perovskites further limits photovoltaic parameters, notably open-circuit voltage. In contrast, inorganic p-type semiconductors offer higher stability. CuSCN, Cu₂O, CuS, CuO, CuI, CoO_x, Cu₂BaSnS₄, and NiO_x demonstrate transparency and favorable energy level alignment with many perovskites. NiO_x stands out, with PCEs overreaching 20%, comparable to the highest achieved with organic HTLs in inverted PSCs.

NiO_x Hole Transport layers

• Advantages

- ✓ Suitable Work Function and Band Gap
- ✓ Adaptable Synthesis Methods
- ✓ Efficient Hole Extraction
- ✓ High Transparency
- ✓ Stable Crystal Structure
- ✓ Long-Term Stability

• Disadvantages

- Low Intrinsic Conductivity
- Energy Level Offset
- Charge Recombination
- Require Conductivity Adjustment

• Doping of NiO_x HTLs

Doping of NiO_x in perovskite solar cells reported with various dopants such as Cu, Ag, Co, Zn, alkali or alkaline-earth metals; Li, Sr, and rare-earth ions Y, La. Doping not only enhances these electrical properties but also influences band alignment with the perovskite light absorber layer and may impact its crystallinity. P-type doping boosts conductivity but is accompanied by undesired transmittance loss. Alkali and alkaline-earth metals have a negligible impact on transmitting but provide less effective conductivity enhancement compared to p-type dopants [5].

• Preparation of Nickel Oxide Solution

124 mg of nickel acetate tetrahydrate salt is mixed with ethanol (5 ml) to form a 0.1 M solution. To enhance dissolution, diethanolamine (30 μl) is added. The solution is stirred for 1 hour at 65°C using a magnetic stirrer. Prior to use, it is filtered through a filter with a pore size of 0.45 μm.

• Doping of NiO_x with In(II) and In(III) Additives: Indium(II) chloride (185.72 g/mol) and Indium(III) trichloride (221.18 g/mol) are separately added to the pure nickel oxide solution in predetermined amounts and the solutions are stirred at 65°C.

• Fabrication of NiO_x Films:

The filtered solution is deposited onto cleaned ITO-coated glass substrates using a spin-coater at 4000 rpm for 30 s. After the first layer is dried at 70°C for 90 s, coating is repeated. Finally, samples are annealed in an oven at 450°C for 30 minutes.

EXPERIMENTAL

• Device Fabrication

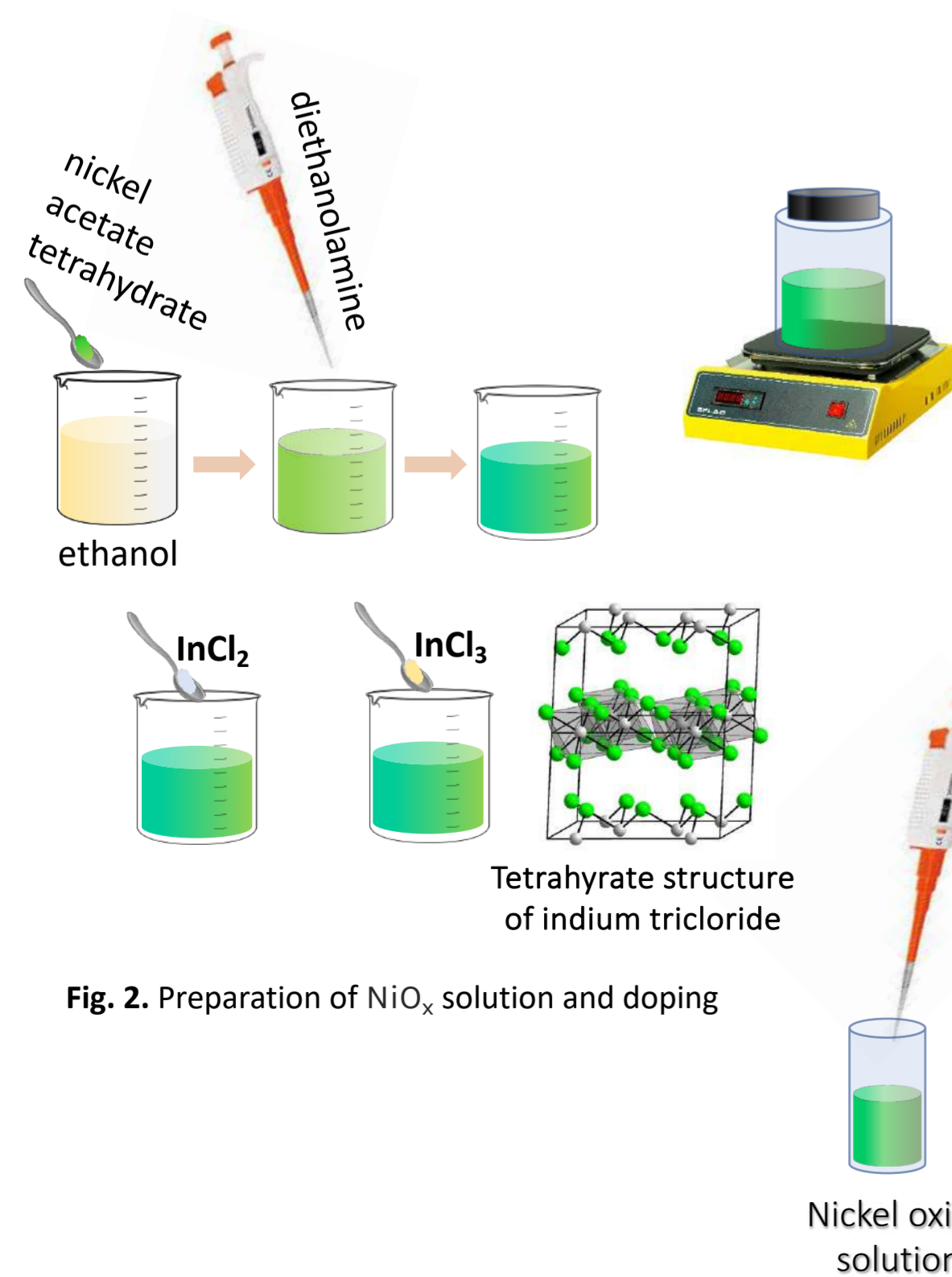


Fig. 2. Preparation of NiO_x solution and doping

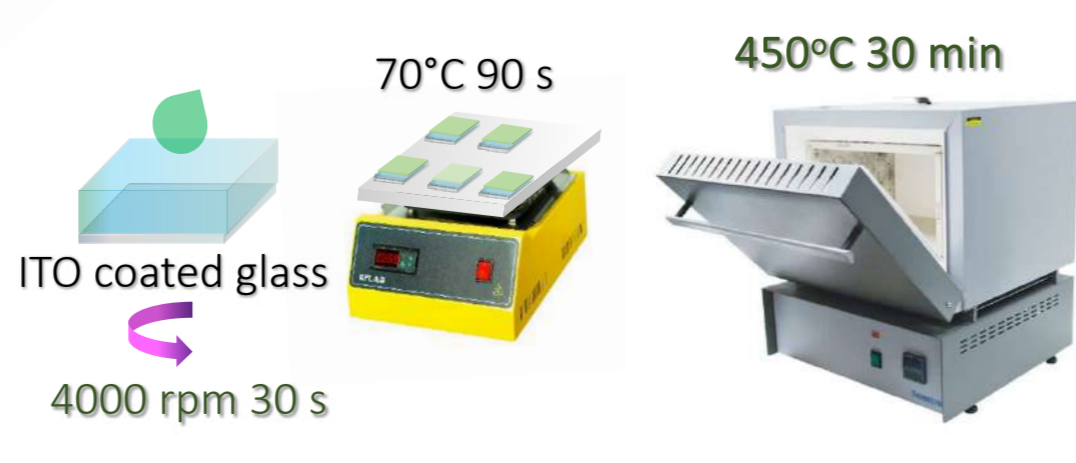


Fig. 3. Formation of NiO_x HTLs

• Device Fabrication

1.4 mM PbI₂ and 1.4 mM MAI are added to GBL (gamma-butyrolactone). The solution is stirred on a heated magnetic stirrer at 90°C for at least 12 hours. Before use, it is filtered through a 0.45 μm PVDF filter. ITO-coated NiO_x carriers are kept at 100°C on a heated plate. The perovskite solution is also kept at 90°C on a heated magnetic stirrer. The hot solution is dropped onto the warm ITO/NiO_x films, covering the entire surface. Using a spin-coater, the rotation process starts according to coating parameters, and after a specific time, 100 ul of toluene is dropped toward the center. After washing, the perovskite structure is visibly formed, and complete crystallization is achieved by annealing on the heated plate at 100°C for 20 minutes. Room temperature should not exceed 19°C, and humidity should not exceed 65%. For ETL, 20 mg PCBM is mixed with 1 ml chlorobenzene on a heated magnetic stirrer at 45°C for at least 2 hours while for HBL 0.5 mg BCP is mixed with 1 ml ethanol at room temperature on a magnetic stirrer for at least 2 hours. These ETL and HBL layers are covered on the perovskite immediately without filtration. The PCBM solution is first coated at 2000 rpm for 35 s and dried at 90°C for 90 s. The BCP solution is then coated at 4000 rpm for 40 s. The production of the cells is completed with the Ag metal contact vaporization over a mask around 100 nm [6].

RESULTS AND DISCUSSION

The UV-visible spectrophotometry analysis of ITO/NiO_x (Fig.4), samples revealed consistently high transparency across the solar spectrum promoting utilization of insolation. Notably, In(III) doping showed a minor reduction in transmittance, suggesting a limited impact on transparency. This indicates the viability of NiO_x, even with doping, for inverted PSCs. In Fig 5, increased absorbance was observed in optical absorption curves, similarly recorded by UV-visible spectroscopy, across ITO/NiO_x/perovskite samples. In(III) doping demonstrated a distinctive increment in absorbance. Furthermore, band gap of the perovskite was found to be consistent with literature, ~1.55 eV.

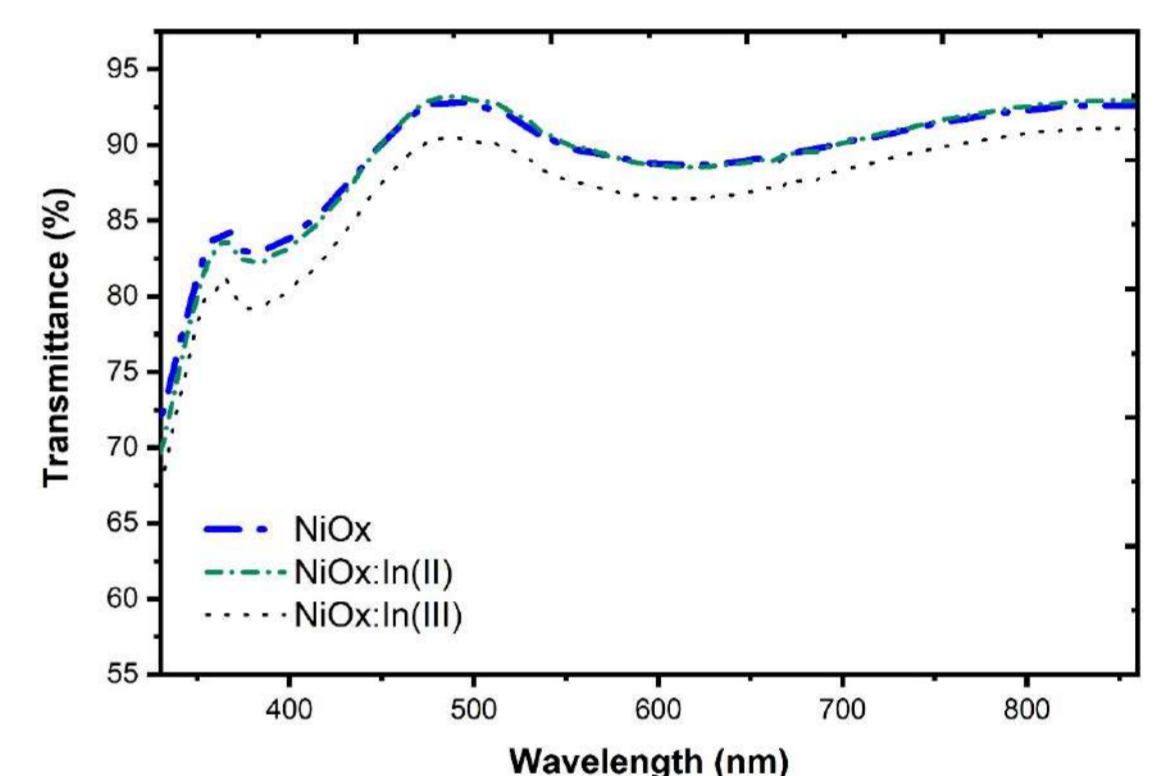


Fig. 4. Optical transmittance curves of NiO_x HTLs

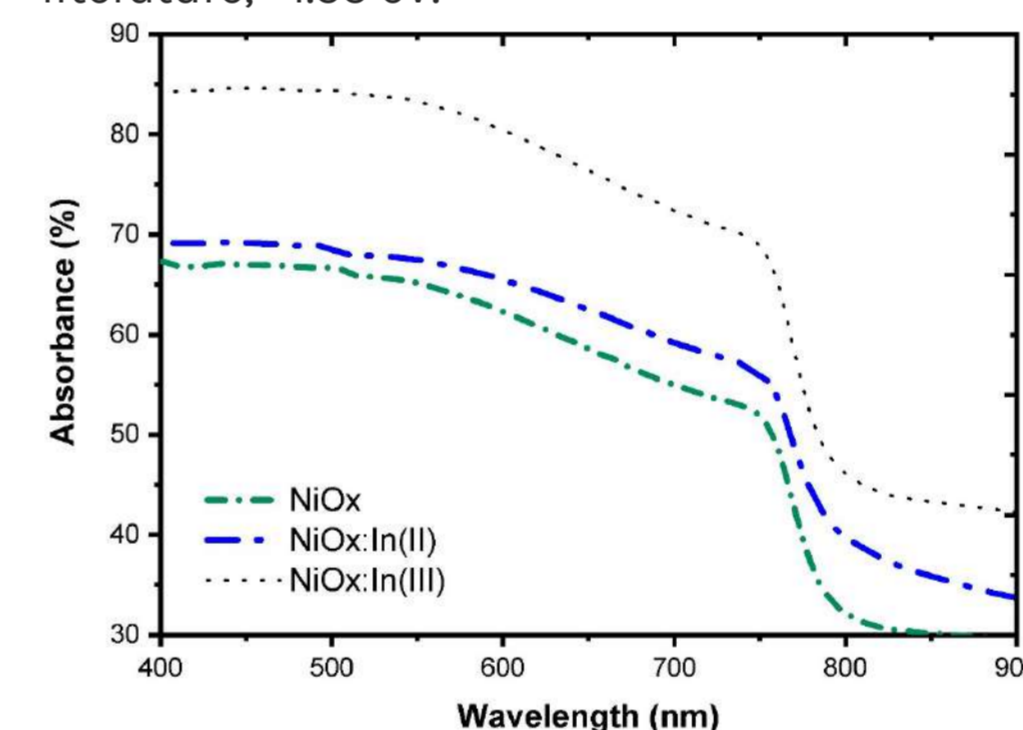


Fig. 5. Absorbance curves of perovskite layers on NiO_x

Light current-voltage curves, recorded under simulated sunlight (AM 1.5 G), are presented in the Fig. 6 for champion cells. In(II) doping led to higher current densities, while In(III) expanded the open-circuit voltage value, accompanied by a notably enhanced fill factor. The table provides solar cell parameters and parasitic resistances calculated based on the inverse slopes in the relevant regions.

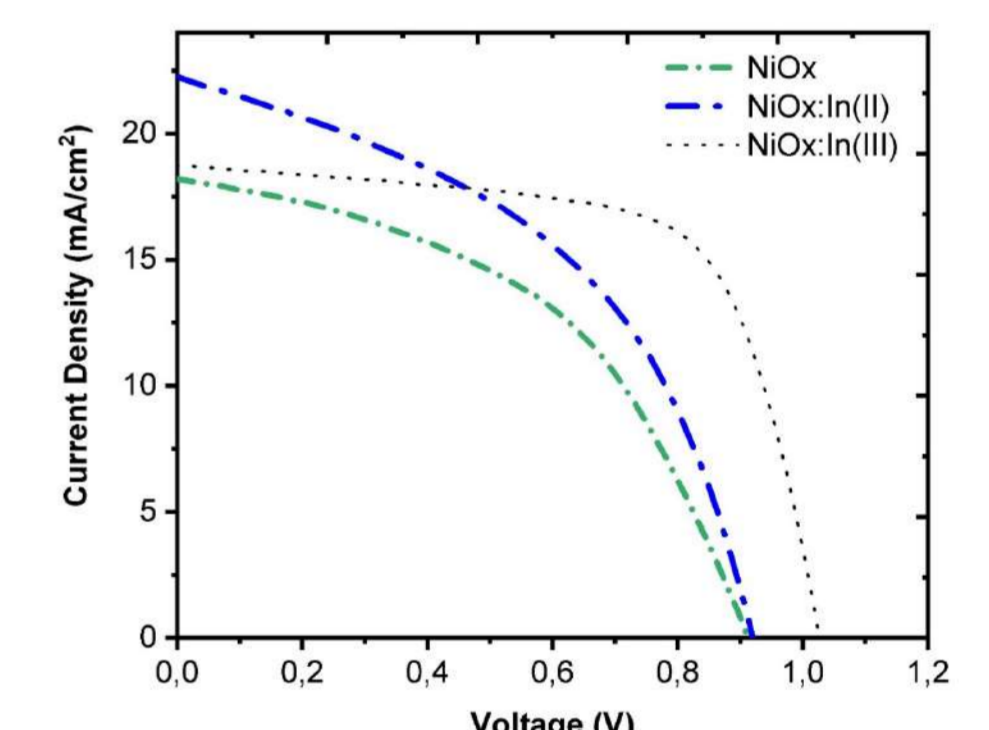


Fig. 6. Light current voltage curves of the champion cells.

Table 1. Solar Cell Parameters of Champion Cells

	V _{oc}	J _{sc}	FF	PCE	R _{series}	R _{shunt}
Ref	921	18.2	0.47	7.88	19.2	151.7
In(II)	921	22.3	0.46	9.45	15.9	111.1
In(III)	1027	18.8	0.68	13.12	9.1	526.3

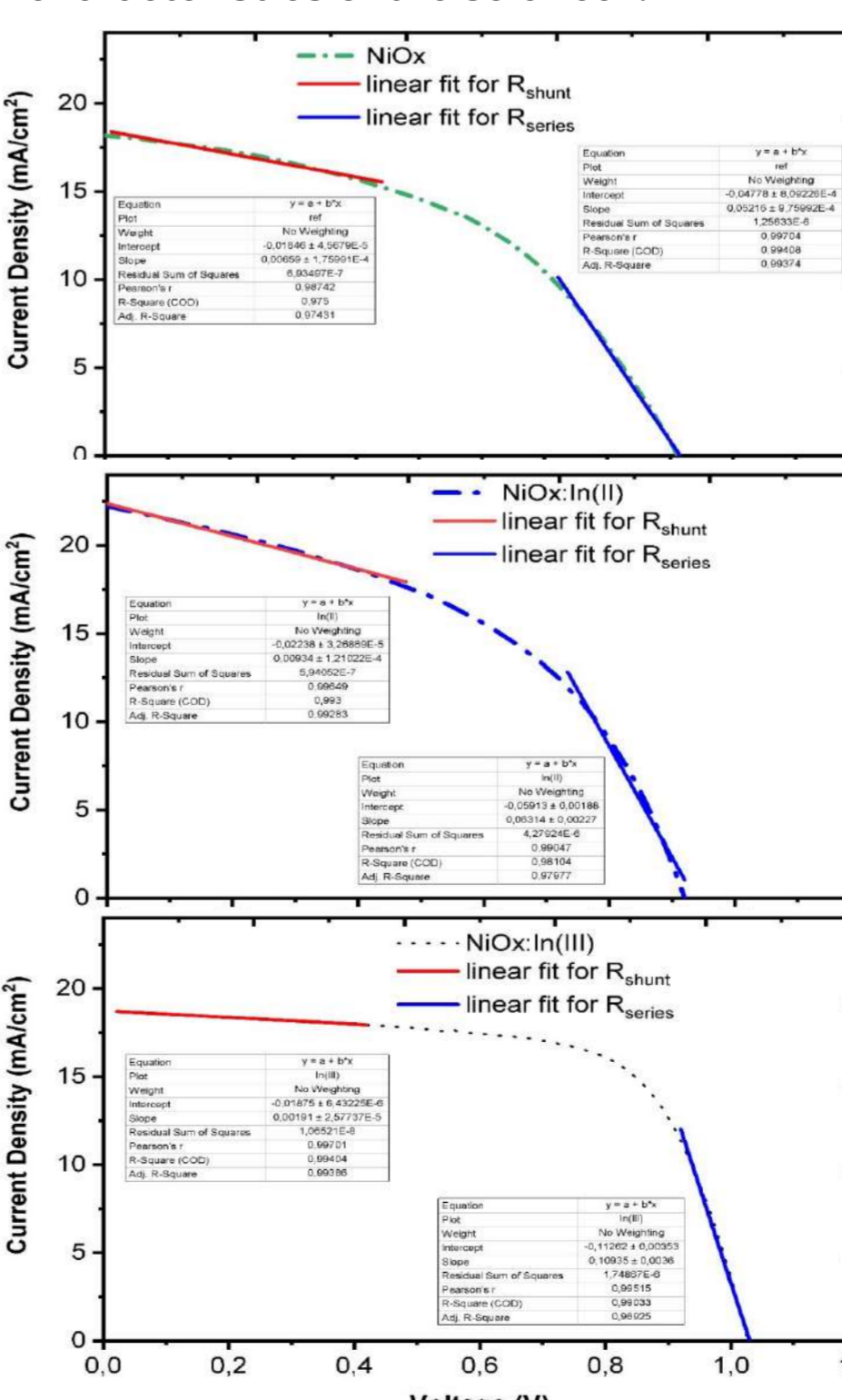


Fig. 7. Linear fits for parallel and series resistance calculation.

Indium belongs to the post-transition metals group with two main oxidation states: In(II) and In(III). In(II) compounds are less frequently encountered compared to their In(III) counterparts. In(II) chloride is prone to engaging in redox reactions, wherein indium experiences an oxidation state change from +2 to +3. In(III) chloride is more stable and commonly participates in various chemical reactions, functioning as a Lewis acid by accepting electron pairs. A Lewis acid refers to a chemical species capable of accepting an electron pair from another molecule, ion, or Lewis base to establish a coordinate covalent bond. The collaborative interaction between the Lewis base and the Lewis acid serves to passivate Pb²⁺ and PbX₃⁻ antisite defects, enlarge perovskite grain size, and enhance charge-carrier separation and transport. This, in turn, contributes to an overall improvement in device efficiency.

For a clear exploration of doping effects, additional experiments like XPS, UPS, and Hall measurements are required. Despite In(III) exhibits promising potential as a candidate for NiO_x HTLs in CH₃NH₃PbI₃ solar cells. The superior performance of In(III) is likely associated with heightened hole concentration hence mobility, potentially indicating better integration into the NiO_x lattice compared to In(II). Exploring co-doping with varying In(II) and In(III) contents stands out as a fascinating path for future research.

REFERENCES

[1] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai and T. Miyasaka, J. Am. Chem. Soc. 131, 6050 (2009). [2] M. Liu, M. B. Johnston and H. J. Snaith, Nature 501, 395 (2013). [3] <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> [4] Zhou, Yuanyuan, et al. "Advances and challenges in understanding the microscopic structure-property-performance relationship in perovskite solar cells." Nature Energy 7.9 (2022): 794-807. [5] Xu, Lin, et al. "Inverted perovskite solar cells employing doped NiO hole transport layers: A review." Nano Energy 63 (2019): 103860. [6] Choi, Fatma Pinar Gokdemir, Hamed Moeni Alishah, and Serap Gunes. "Cerium and zinc co-doped nickel oxide hole transport layers for gamma-butyrolactone based ambient air fabrication of CH₃NH₃PbI₃ perovskite solar cells." Applied Surface Science 563 (2021): 150249. [7] Zhang, Fei, et al. "Suppressing defects through the synergistic effect of a Lewis base and a Lewis acid for highly efficient and stable perovskite solar cells." Energy & Environmental Science 11.12 (2018): 3480-3490.



Superconductivity: Fundamental Principles and Applications

Neda Jabbarnezhad - 10022902

Advisor : Prof. Çiğdem NUHOĞLU

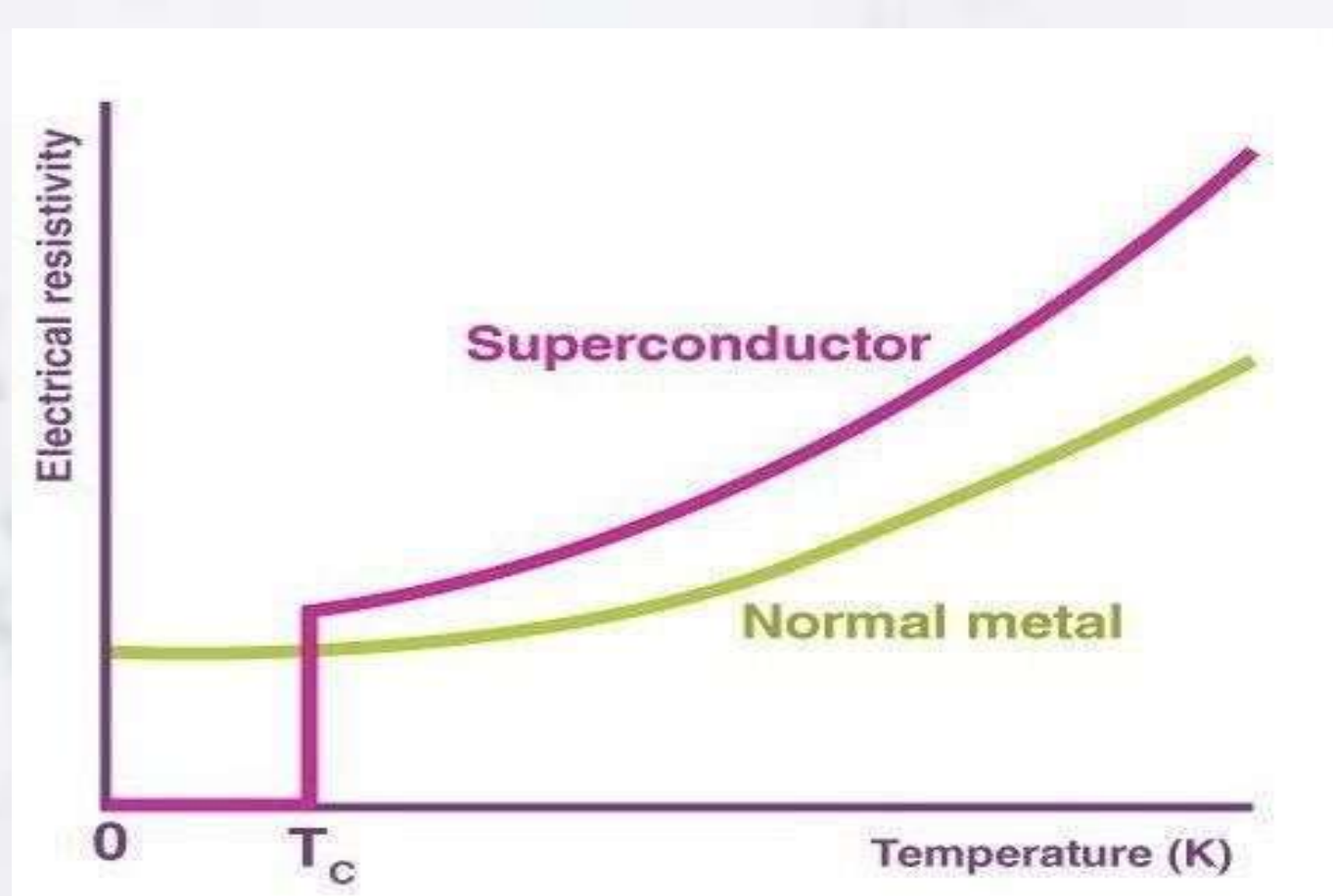
Faculty Of Arts & Science, Department Of Physics

ABSTRACT

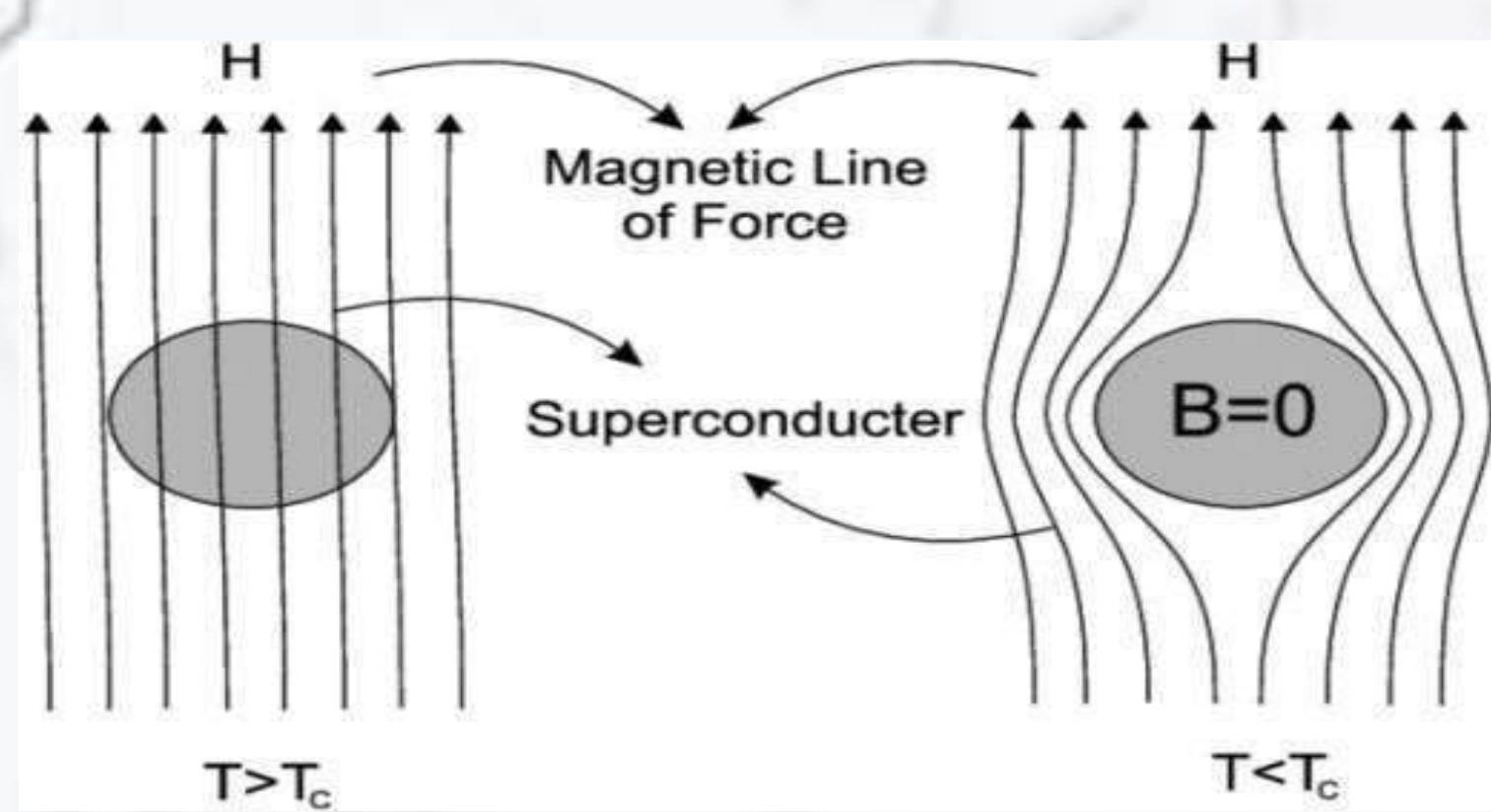
Superconductivity, a unique and captivating phenomenon observed in certain materials, involves the complete absence of electrical resistance and the expulsion of magnetic fields. First discovered in 1911, superconductors hold immense promise for diverse applications, ranging from efficient energy transmission to cutting-edge technologies like quantum computing. This presentation provides a concise overview of the fundamental principles of superconductivity, emphasizing its potential impact on various fields.

SUPERCONDUCTIVITY PRINCIPLES

A superconductor is a material that can conduct electricity or transport electrons from one atom to another with no resistance. Low temperature is crucial for reducing resistivity because the vibrations of ions in the material (phonons) act as a source of resistivity. The decrease in temperature leads to a reduction in ion vibrations, resulting in lower resistance.↓

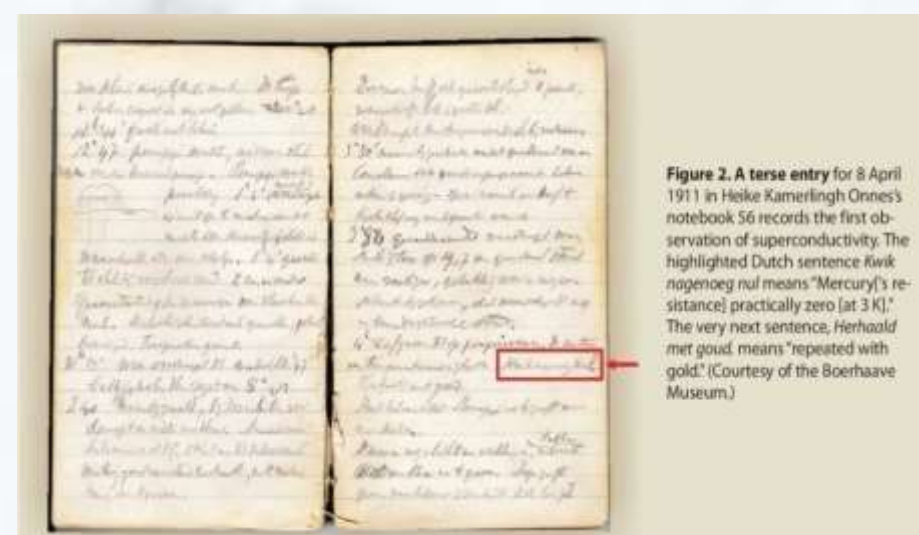
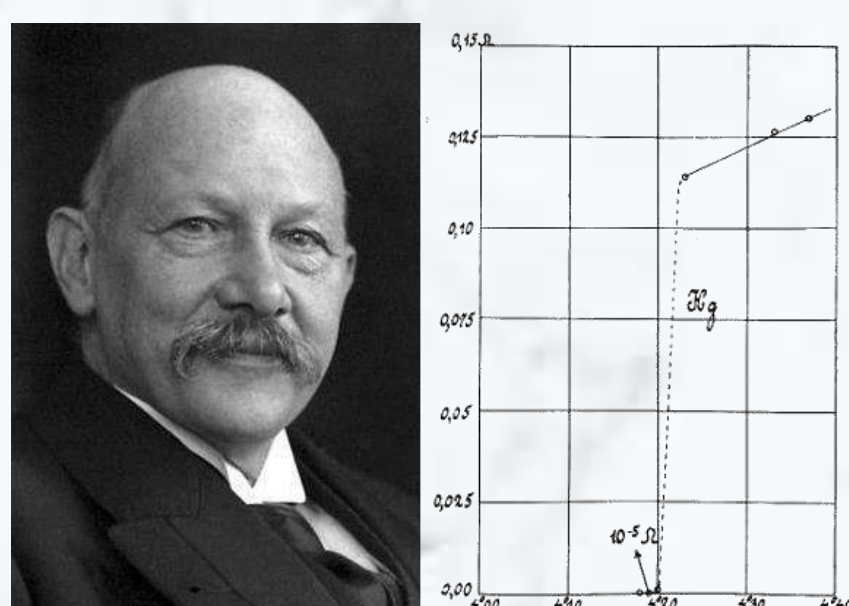


Superconductors are the material having almost zero resistivity and behave as diamagnetic below the superconducting critical temperature. and the material exhibits the property of perfect diamagnetism. This means that it expels the magnetic field from within itself. The expulsion of the magnetic field is the key difference between superconductivity and perfect conductivity because, in perfect conductivity, you would expect the magnetic field to remain constant. In contrast, in superconductivity, the magnetic field is consistently zero. [1] ↓



HISTORY

Heike Kamerlingh Onnes and the discovery of superconductivity.



. A terse entry for 8 April 1911 in Heike Kamerlingh Onnes notebook 56 records the first observation of superconductivity

In 1908, a Dutch scientist, Onnes, succeeded in liquefying helium, opening up a new frontier in low-temperature physics research. Three years later, in 1911, at the Leiden laboratory, Onnes was studying the temperature dependence of specific electrical resistance in a sample of mercury(Hg) when he witnessed a sudden drop in the resistance of the sample to zero at a temperature close to T_c and it remains immeasurably low at all accessible temperatures below T_c.

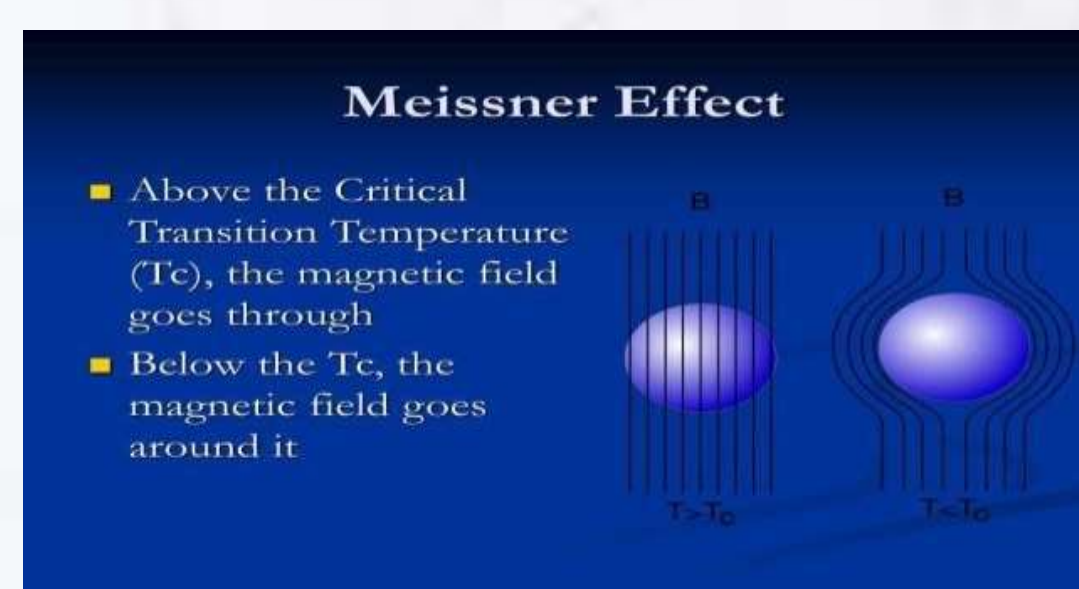
INVESTING ABOUT OTHER ELEMENTS

Soon after mercury, most of the other elements in the periodic table were investigated, and their critical temperatures were identified, as shown in Figure (1). It was observed that another external influencing factor that can promote superconductivity in materials is pressure, as some elements in the periodic table require pressure to exhibit superconductivity (see Figure (1)).

s		s-d										s-p										He	
Element		Element										Element										Element	
T _c		T _c										T _c										T _c	
Li	He											H	C	N	O	F	Ne						
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt															
s-f		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu								
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr								

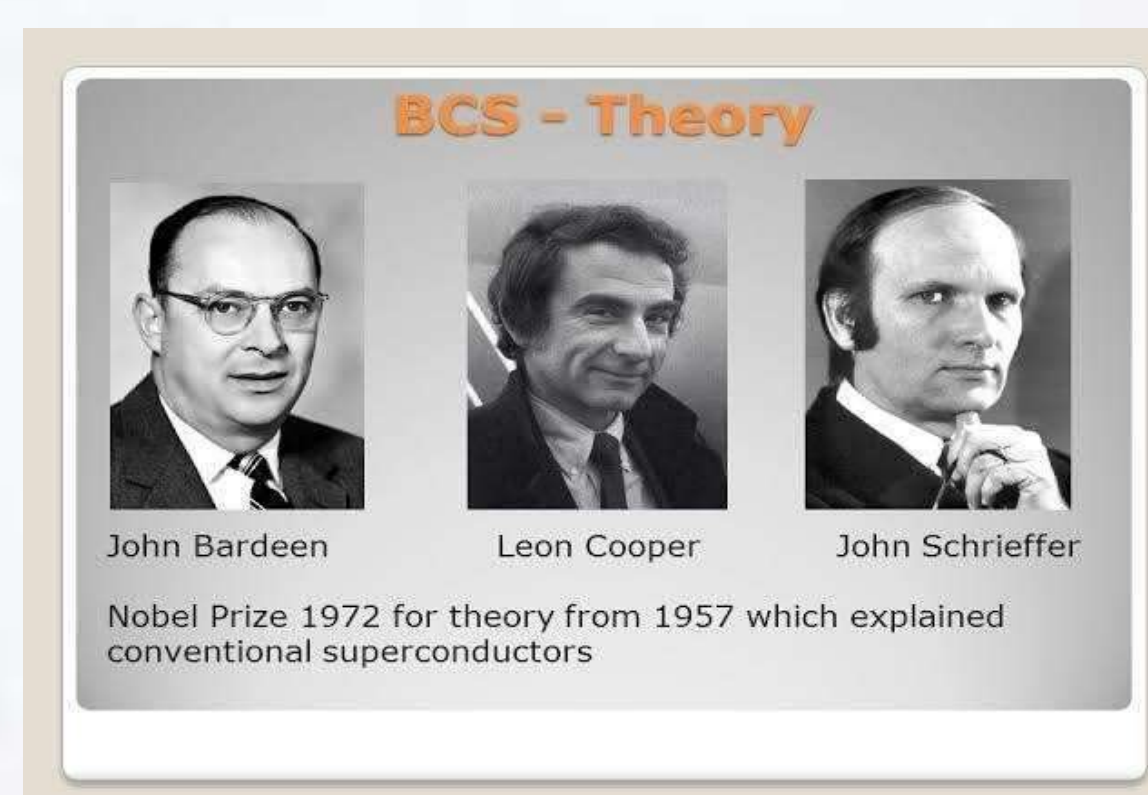
Figure (1): The elements in the periodic table that exhibit superconductivity with (in yellow) and without (in blue) pressure are shown. For each element, the critical temperature (T_c in Kelvin) and the required pressure are included.

THE MEISSNER EFFECT



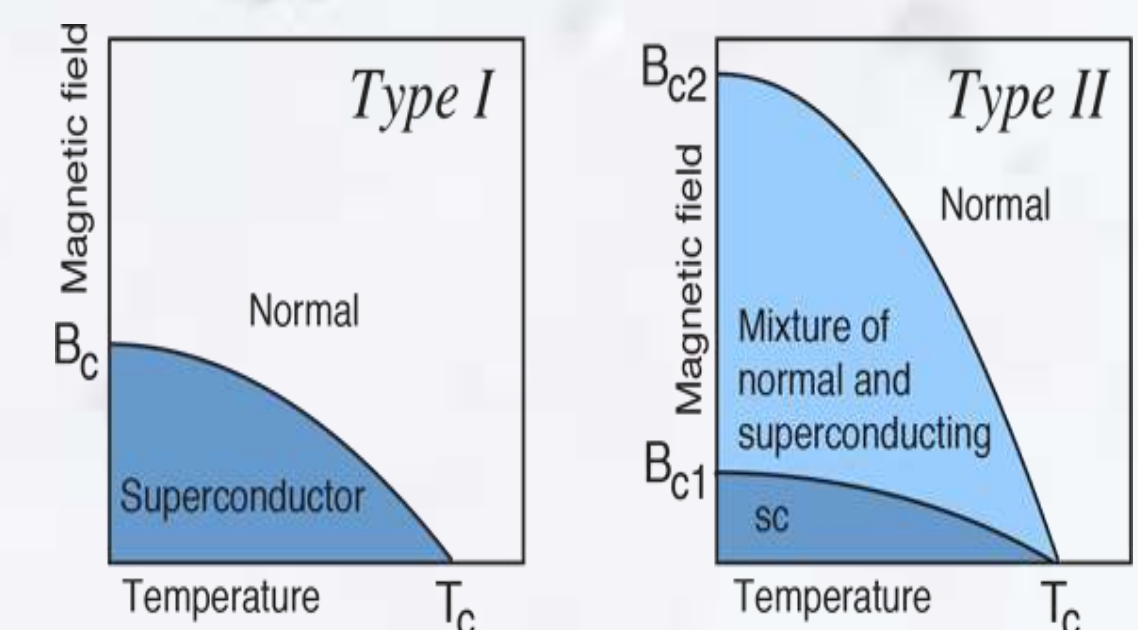
In 1933, Walter Meissner and Robert Ochsenfeld discovered that a superconductor repels magnetic fields. This is the principle upon which the electric generator operates. But, in a superconductor the induced currents exactly mirror the field that would have otherwise penetrated the superconducting material causing the magnet to be repulsed. This is what's called the Meissner Effect. [2]

BCS THEORY



In 1957, three American scientists, John Bardeen, Leon Cooper, and John Schrieffer wrote the BCS Theory. It explained superconductivity at low temperatures close to absolute zero for elements and simple alloys. It fails however as temperatures increase and materials get more complex. BCS suggests that electrons team up in cooper pairs. Cooper pairs are two electrons that appear to "team up" in accordance with theory despite the fact that they both have a negative charge and normally repel each other. (Named for Leon Cooper.) Below the superconducting transition temperature, paired electrons form a condensate which flows without resistance. However, since only a small fraction of the electrons are paired, the bulk does not qualify as being a "boseinstein condensate"[3]

TYPES OF SUPERCONDUCTORS

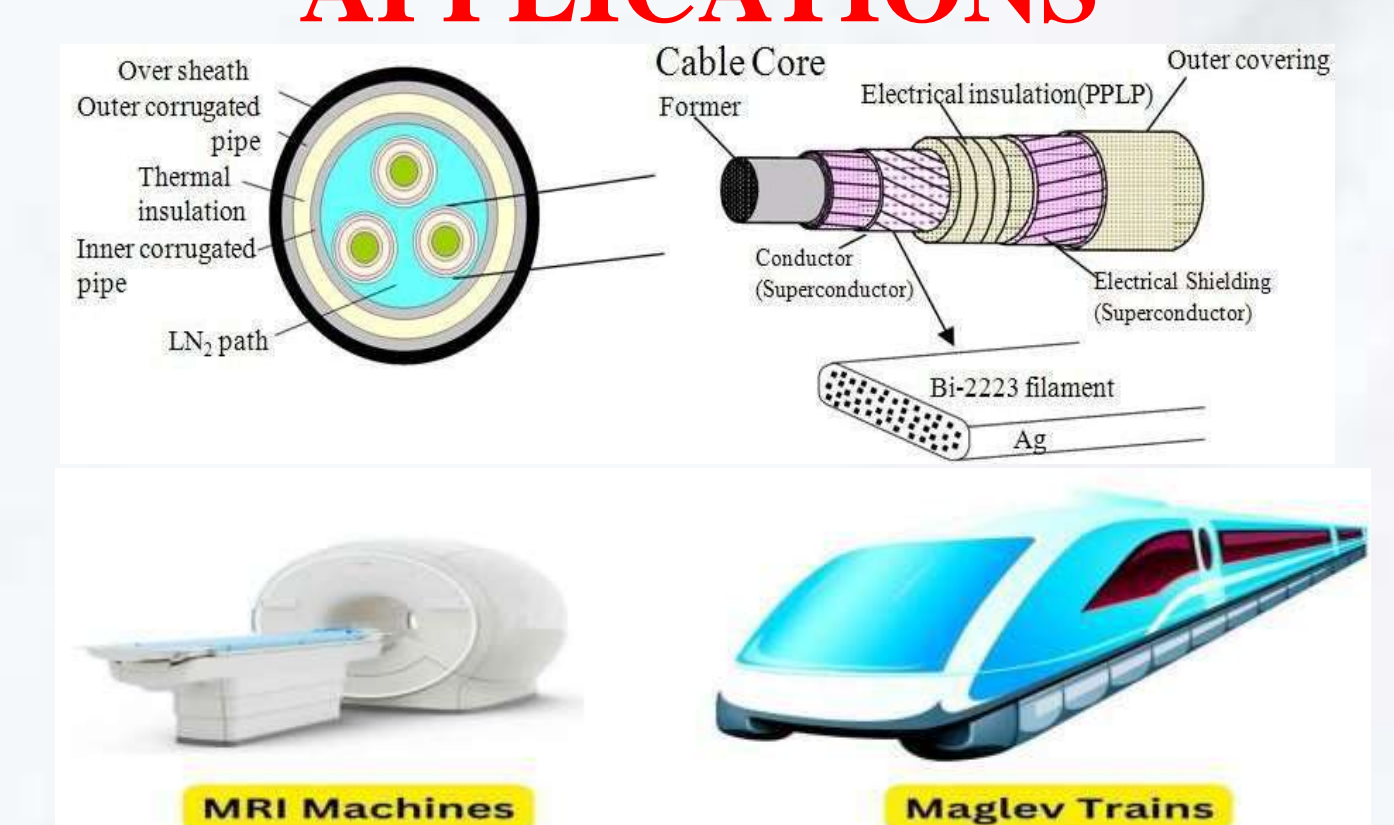


Another important factor in superconductivity is the magnetic field, which can suppress the superconductive effect in most materials. In general, superconductivity is present mostly in diamagnetic materials. The magnetic properties of materials can be influenced by the magnitude of the magnetic field. There are two types of superconductors, namely type I and type II, which differ in their response to magnetic fields. Type I superconductors are diamagnetic and abruptly lose their diamagnetic properties at some magnetic threshold and eventually their superconductivity, while type II superconductors have mixed states of superconductive and normal states in a range of magnetic fields. Type II superconductors usually possess higher critical temperatures compared to Type I.

NOBEL PRIZES

Year	Subject	Laureates
1972	Superconductivity (BCS-Theory)	J. Bardeen L. N. Cooper J. R. Schrieffer
1973	Josephson Effects + Tunneling Phenomena	B. D. Josephson L. Esaki I. Giaever
1987	High Temperature Superconductors	J. G. Bednorz K. A. Mueller
1996	Superfluidity in ⁴ He	D. M. Lee D. D. Osheroff R. C. Richardson
2003	Contributions to Superconductivity	A. A. Abrikosov V. L. Ginsburg A. J. Leggett
2008	Spontaneous Symmetry Breaking	Y. Nambu

SOME OF THE NOTABLE APPLICATIONS



CONCLUSION

In conclusion, in this presentation a brief background about superconductivity including the history, fundamental principles, different types, and some notable applications of it has been presented.

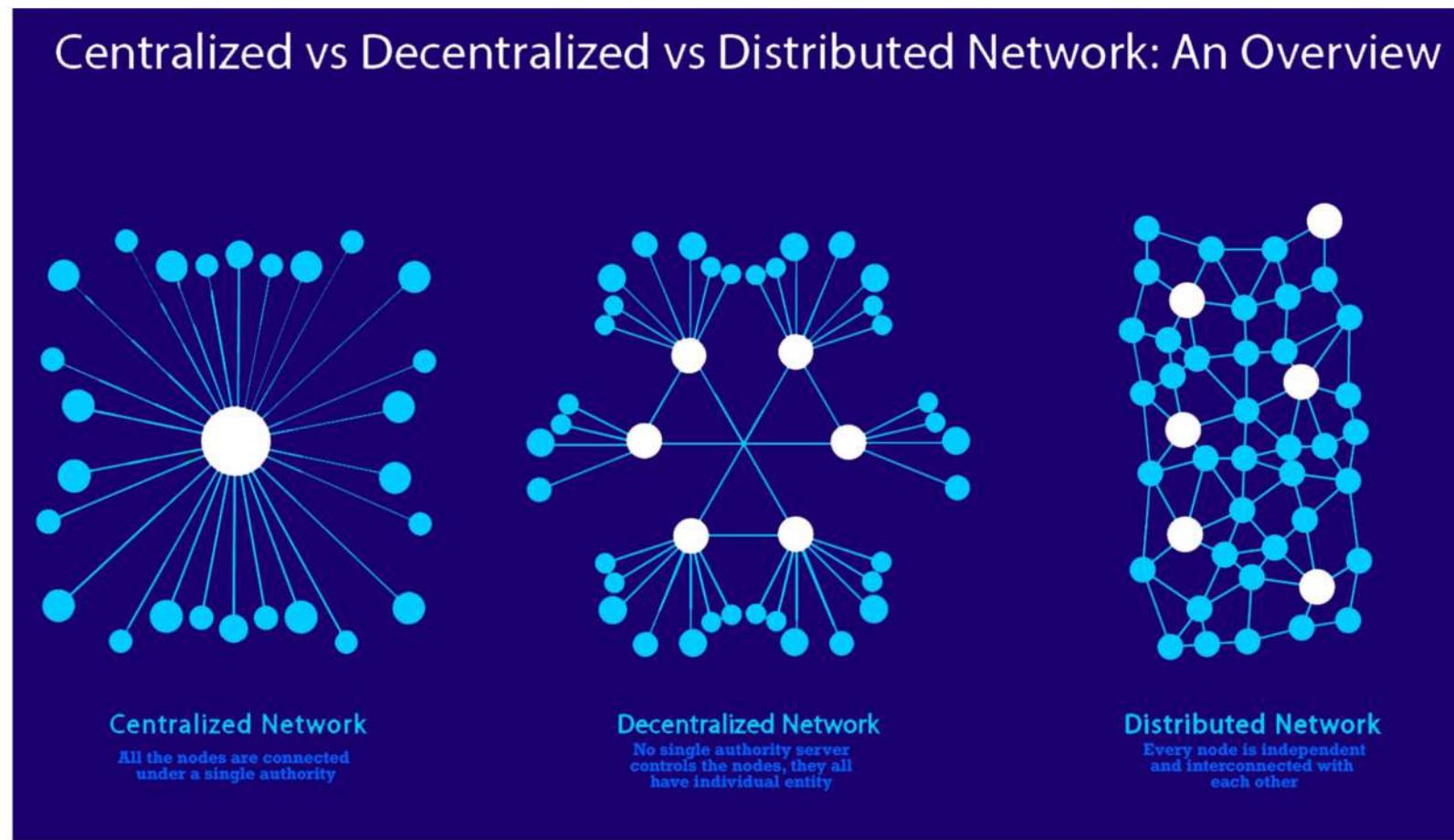
References

- [1]"Superconductivity: The Meissner Effect, Persistent Currents and the Josephson Effects." MIT Department of Physics, Feb. 8, 2011.
- [2]<https://www.scribd.com/document/77241948/Superc-onductors>
- [3] <https://www.metallurgyfordummies.com/history-of-superconductor.html>

SUMMARY

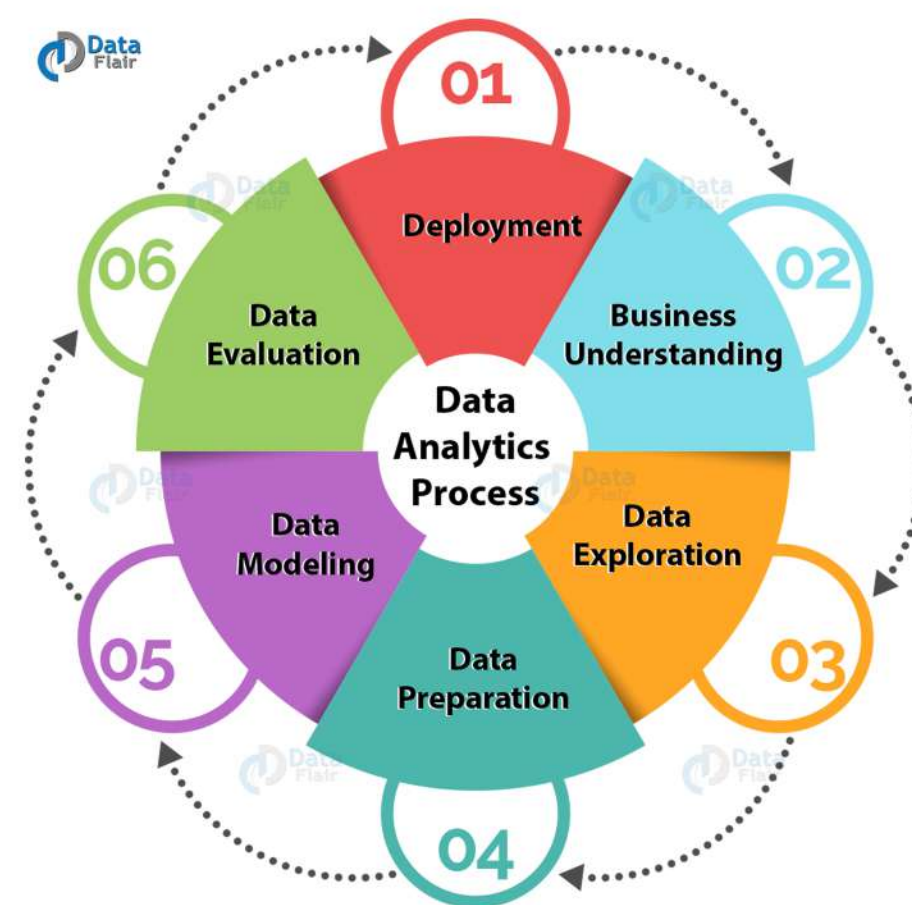
The integration of fundamental physics concepts into the business world plays a crucial role in various domains. Let's talk about Brownian motion, employed in financial modeling, aids in forecasting asset price movements and enhances risk management strategies, recognizing the unpredictable nature of market behavior. Statistical modeling, rooted in physics, contributes to the reliability of mathematical models in physics and artificial intelligence, addressing uncertainty and optimizing parameterization. On the other hand, Big data analytics, coupled with physics-based statistical methods, transforms consumer behavior analysis, allowing businesses to personalize recommendations, conduct A/B tests, and improve marketing strategies. Concepts like elasticity and risk sensitivity, derived from physics principles, prove valuable in financial analysis, improving risk management strategies and enhancing the reliability of price forecasts. Additionally, technologies like Arduino in Industry 4.0 and IoT applications, as well as the foundational principles of distributed systems in blockchain, showcase the direct application of fundamental physics in optimizing production processes, increasing efficiency, and ensuring secure and transparent digital ledgers.

Blockchain: Distributed Systems Basics



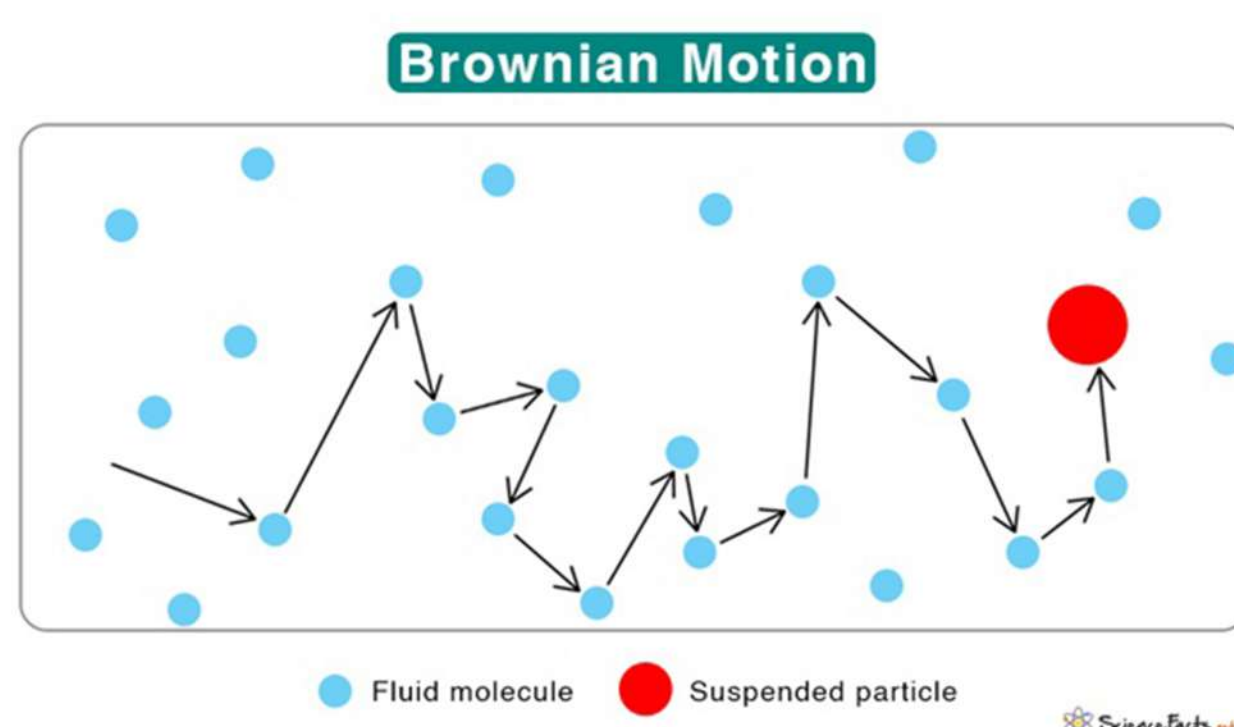
Distributed systems basics provide a way of modeling interactions and collaboration between computers, similar to how things work in the physical world. This approach is important for blockchain technology, which relies on a secure and distributed structure. The foundation allows computers in a network to work together, ensuring transparency and reliability in creating a secure digital ledger, or blockchain. The idea is akin to how particles interact in physics or how systems function cohesively. Understanding distributed systems helps blockchain manage complexity and applies to making interactions trustworthy and efficient in large-scale organizations.

Big Data



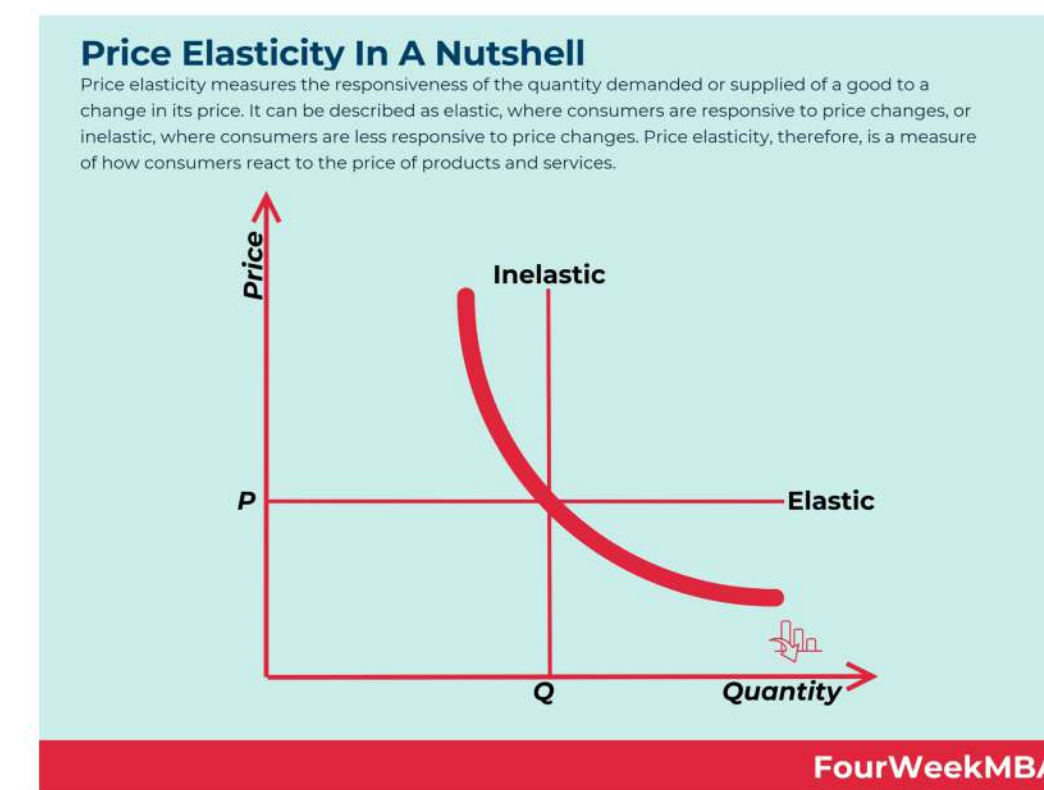
Big data analytics and physics fundamentals are combined with statistical models to understand consumer behavior on online shopping platforms. This approach provides the possibility to increase customer satisfaction and optimize marketing strategies for businesses through personalized recommendations, A/B tests and experiments. As a result, the integration of consumer behavior analysis, big data and physics-based statistical methods offers a competitive advantage to the business world.

Brownian Motion



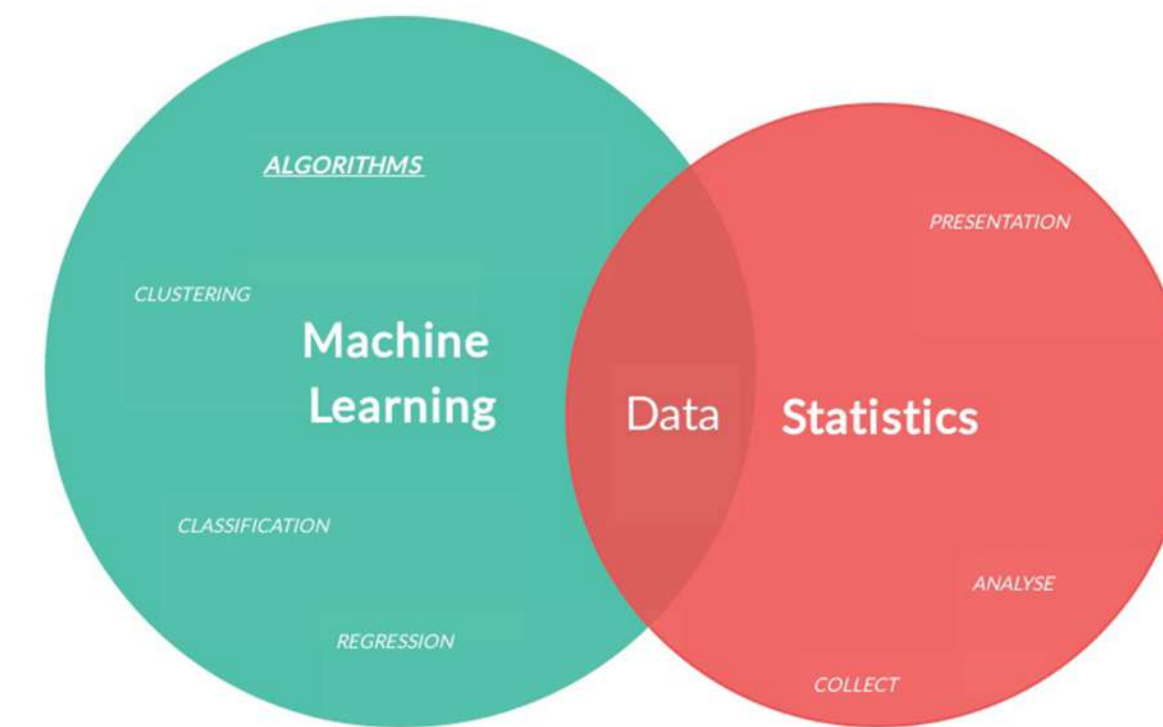
In the world of finance, Brownian motion is used to model random asset price movements, providing the basis for financial forecasting models. These models can be used effectively in areas such as risk management and option pricing to help understand and manage uncertainty in financial markets. Moreover, the Brownian movement emphasizes that market

Environment-Specific Elasticity and Sensitivity



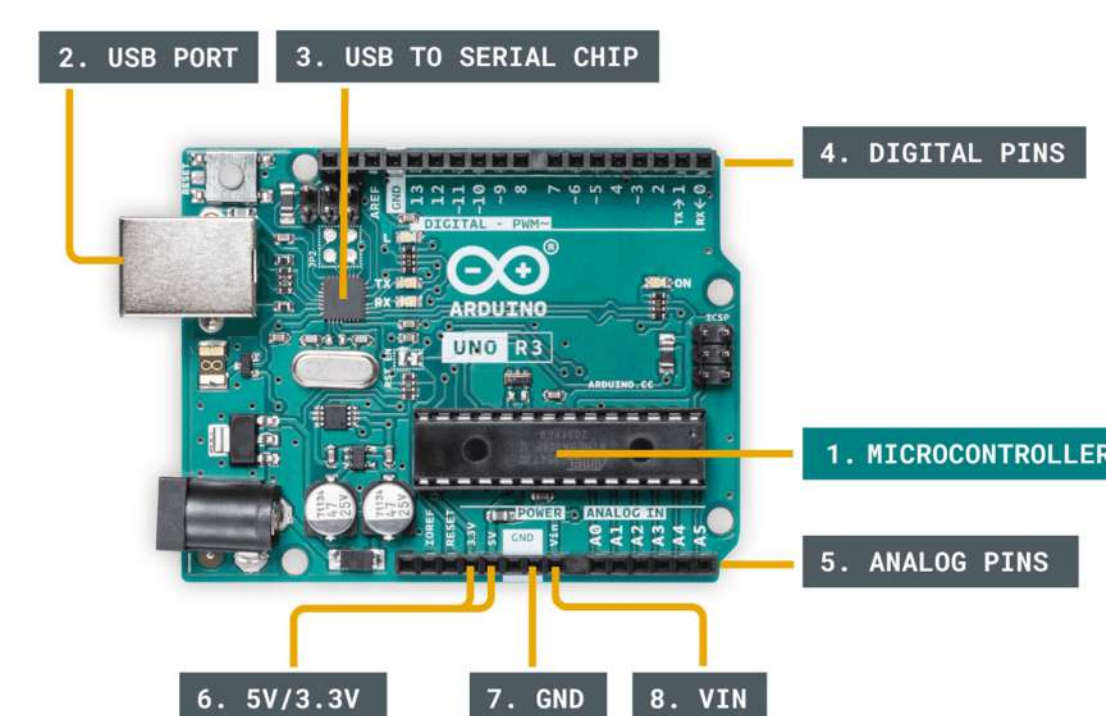
Elastic behavior and risk sensitivity are concepts used to understand how the prices of financial assets respond to certain factors. Just as the principles of elasticity in physics reflect the tendency of materials to return to their original shape after deforming under force, financial assets exhibit a similar elastic response to certain factors. These concepts can deepen understanding by using the fundamentals of physics to improve risk management strategies in financial analysis and make price forecasts more reliable.

AI LLM Statistic Modelling



Statistical modeling addresses the uncertainty and error margins of mathematical models in physics, making them more reliable and generalizable. This modeling process is used in artificial intelligence applications to deal with uncertainty, perform parameter optimization and evaluate predictive power. In this context, statistical modeling plays an important role as a fundamental tool in the fields of physics and artificial intelligence.

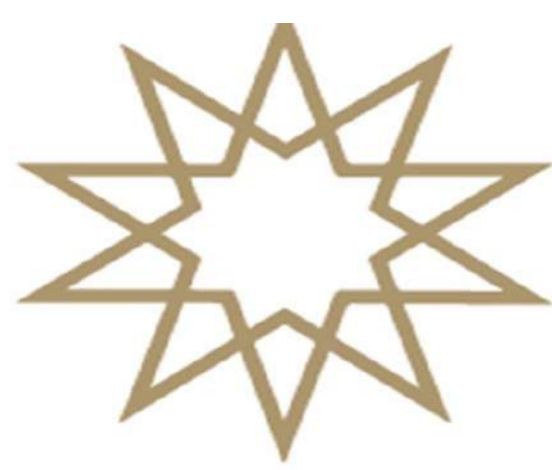
Arduino: Industry 4.0 & Internet of Things (IoT)



Arduino provides a platform that can be used in industry 4.0 and Internet of Things (IoT) applications. With sensors, data collection and connectivity capabilities, businesses can develop Arduino-based projects to monitor and optimize production processes and increase efficiency.

SOURCE;

1. Distributed Computing to Blockchain, Pandey, Goundar, Fatima
2. Big Data: The Management Revolution, McAfee, Brynjolfsson
3. The Feynman Lectures of Physics, Feynman
4. Environment-specific elasticity and sensitivity analysis of the stochastic growth rate, Åberg, Svensson
5. Machine Learning and Statistics: A matter of perspective, Cunningham
6. Computer Communications, Praveen Kumar Malik



HOT OR NOT? EXAMINING THE ANTI-SOLVENT WASHING TEMPERATURE IN PLANAR PEROVSKITE SOLAR CELLS

ÜMİT ARI 18022068

Doç. Dr. F. Pınar CHOI

This thesis addresses a noteworthy gap in the literature about the optimization of anti-solvent washing temperature during perovskite film formation. The perovskite solution, containing MAI and PbI₂ in GBL, undergoes toluene anti-solvent washing during spin coating. Toluene's lower polarity compared to GBL boosts perovskite crystallization by eliminating surplus GBL. Investigating three washing temperatures (hot, cold, and room temperature) aims to establish a versatile method for tailoring perovskite film morphology. Results indicate the superiority of cold washing, producing higher-quality layers and superior device performance. Cold-washed cells exhibit the highest open circuit voltage and fill factor, for a slight decrease in current density. Analysis of shunt and series resistances highlights a desired reduction in series resistance for cold-washed cells, contributing to improved performance. Despite the need for additional statistical data and measurements (AFM, SEM, XRD), the findings underline the potential of cold washing to enhance cell efficiency.

INTRODUCTION

Why Perovskite solar cells?

Perovskites are a family of materials that have shown potential for high performance and low production costs in PV era. Perovskite solar cells (PSCs) have shown remarkable progress in recent years with rapid increases in efficiency of about 3% in 2009 to **over 25%** today. [1]

Structure of Perovskite

A = An organic cation - methylammonium (CH₃NH₃⁺) or formamidinium (NH₂CHNH₂⁺)

B = A big inorganic cation - usually lead(II) (Pb²⁺)

X₃ = A slightly smaller halogen anion - usually chloride (Cl⁻) or iodide (I⁻)

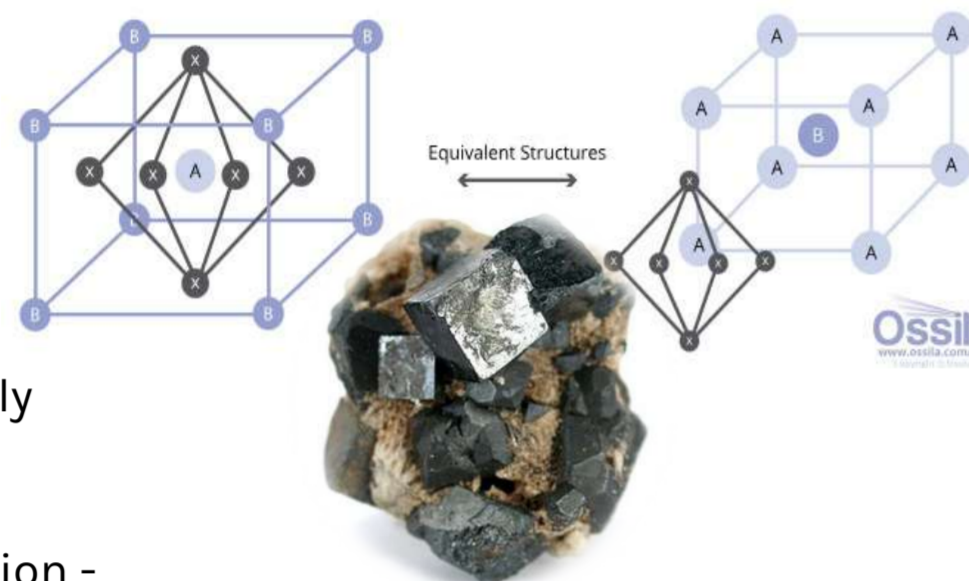


Fig. 1. Crystals of perovskite, crystal structure [3] and photograph of flexible PSC [4].



Properties of Perovskite

- Wide Band Gap (adjustable band gap)
- High Absorption Coefficient
- Carrier Mobility
- Ease of Processing



Fig. 2. Band gap engineering of perovskite (FAPbI₃/Br_{3-y}) films with different y values [5]

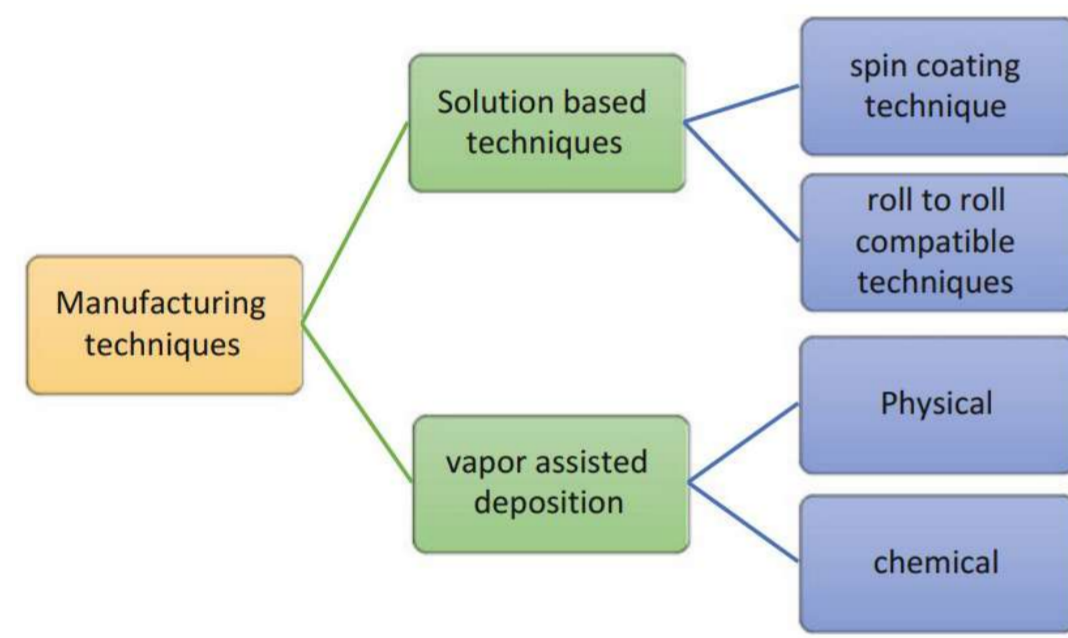


Fig. 3. Classification of PSC manufacturing techniques [6]

Sol-gel Based Techniques

- Spin-coating
- Drop-casting
- Roll-to-Roll Printing
- Spray Coating
- Blade Coating
- Slot Die Coating
- Electrodeposition
- Ink-Jet Printing

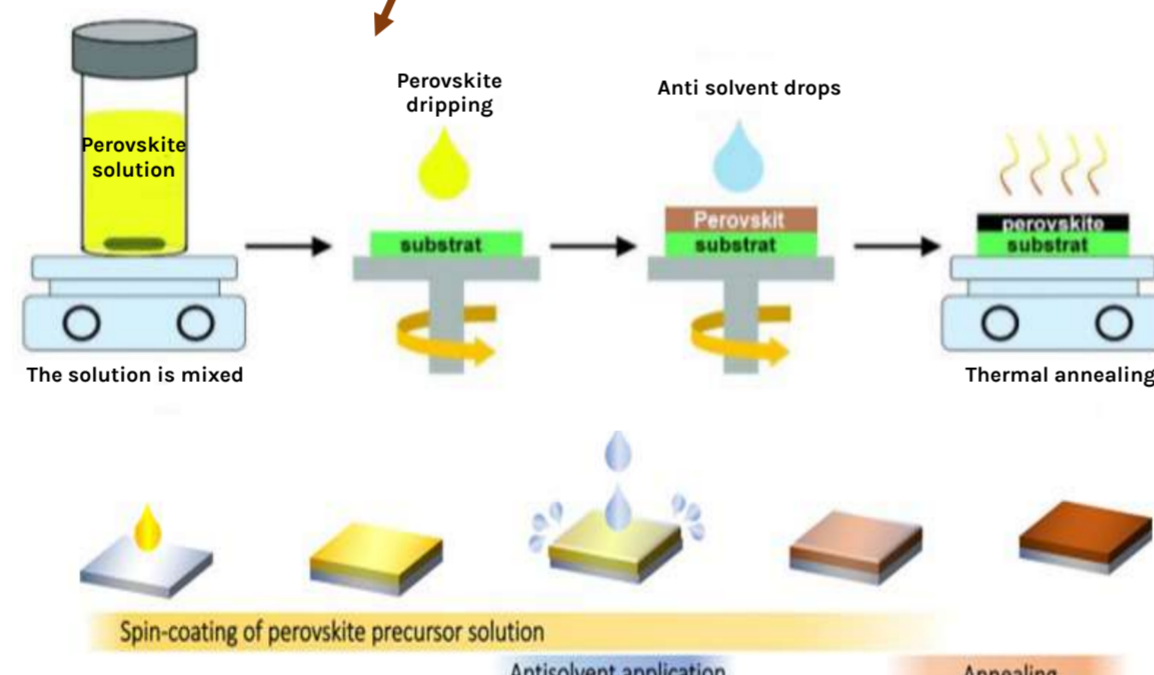


Fig. 4. One step anti-solvent washing assisted deposition of PSC [7, 8]

Anti-solvent washing Route

Anti-solvent washing is a method used to precipitate a dissolved substance in solution. This occurs when the anti-solvent added to the solution precipitates the dissolved substance in the solution, which is then extracted.

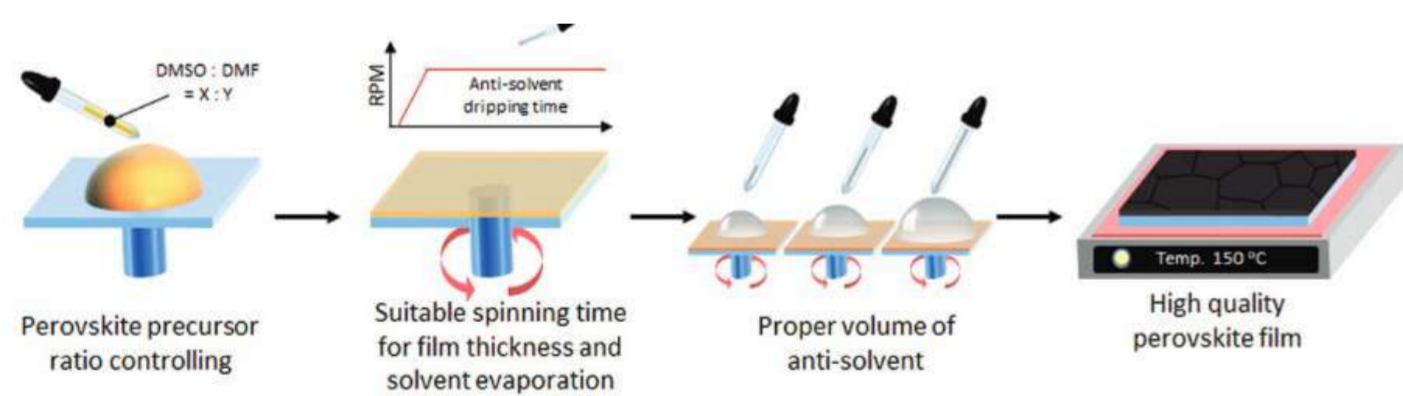


Fig. 5. Controlling anti-solvent washing route deposition [9]

EXPERIMENTAL

Device Fabrication

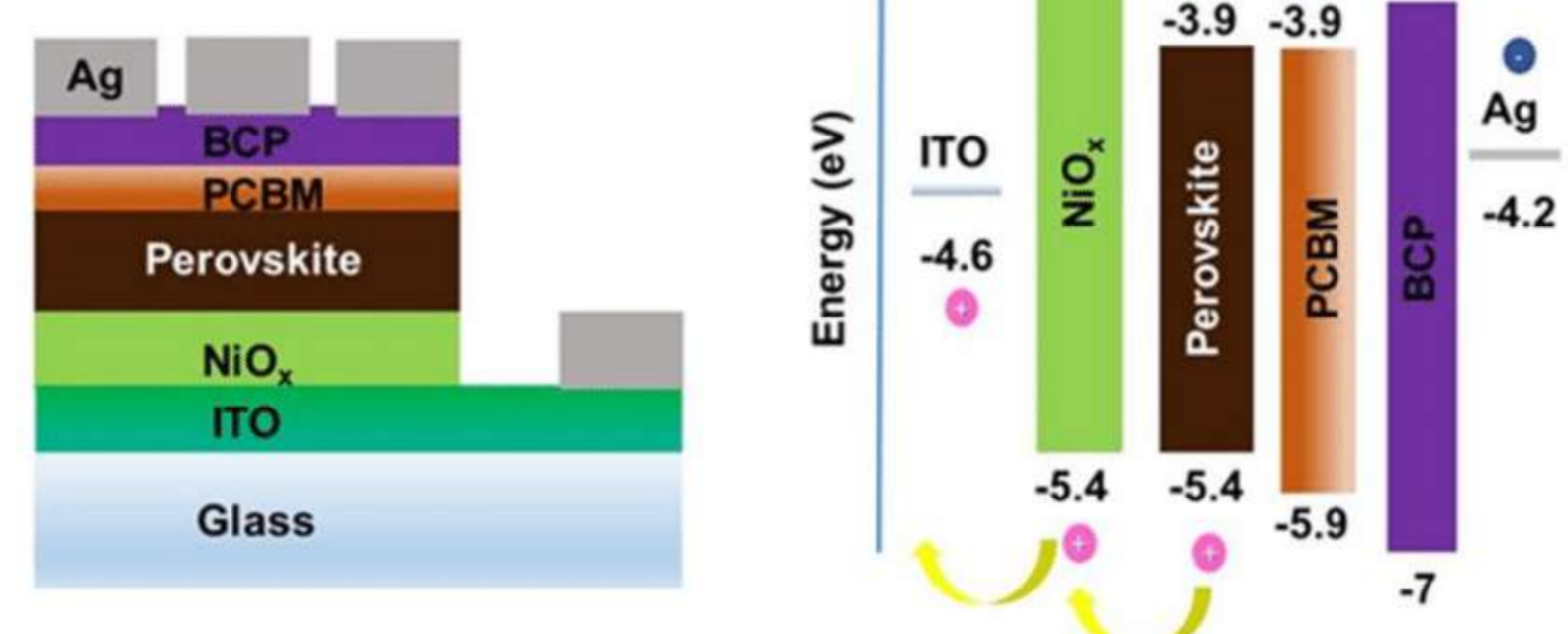
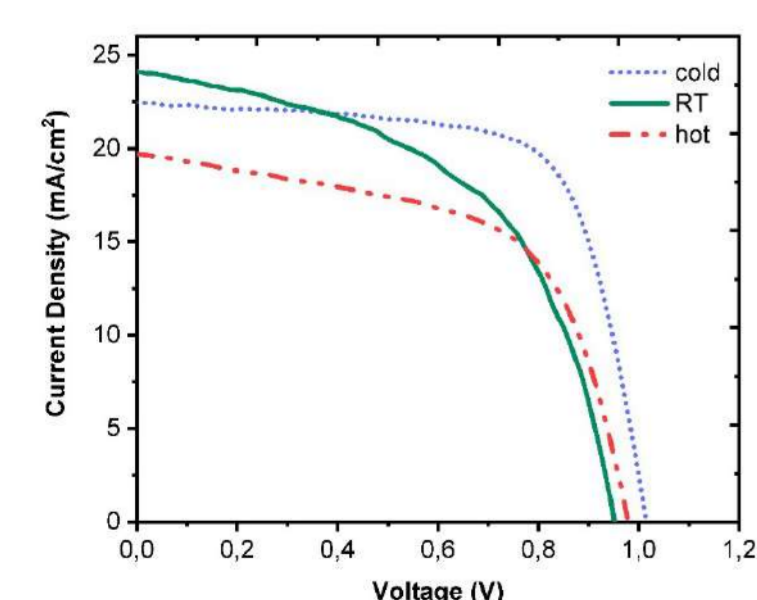


Fig. 6. Configuration of solar cell structure and energy level alignment [10]

- ITO (indium-doped tin oxide) glass substrates. (ultrasonically cleaned by acetone and isopropyl alcohol.
- Nickel oxide (NiO_x) hole transport layers. (spin-coated, annealed 450 C [10])
- CH₃NH₃PbI₃ (methylammonium lead triiodide) perovskite absorber layers. (MAI and PbI₂ dissolved in gamma butyrolactone at 75 C overnight. Perovskite precursor is spin-coated through one-step anti-solvent washing with three different temperatures of toluene)
- [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM) organic electron transport layers. (spin-coated 20 mg/ml in chlorobenzene)
- Bathocuproine (BCP) hole-blocking layers. (spin-coated 0.5 mg/ml in ethanol)
- Ag metal contacts. (thermally evaporated ~ 100 nm, masked with an area of 1 cm²)

Except for Ag evaporation, all fabrication steps were carried out in ambient air under >55% RH and 17–20°C environment temperature.

Washing with toluene in different temperatures

The literature lacks optimization on the temperature of anti-solvent washing therefore investigating the fabrication process based on washing temperature is valuable. Our perovskite solution containing MAI and PbI₂ dissolved in gamma-butyrolactone (GBL) with a ratio of 1.4mM:1.4mM. During spin coating of this perovskite precursor, anti-solvent washing is done by toluene which is a common aromatic hydrocarbon and less polar than GBL thus resulting in rapid crystallization of the perovskite by removing excess GBL. Here we employed hot (75°C) cold (15°C) and room temperature (25°C) in the anti-solvent washing route to investigate the perovskite formation and bring a universal approach to customize perovskite film morphology and crystallinity.



Fig. 7. Deposition of perovskite layers with different washing temperatures.

RESULTS AND DISCUSSION

Current voltage curves of PSCs recorded under ABET solar simulator for 100 mW/cm² illumination (AM 1.5G) with a scan rate of 250 mV/s and 30 ms delay time are given in Fig 8. Solar cell parameters are depicted in Table 1.

- Open circuit voltage and short circuit current are found from the illuminated JV curve
- FF is calculated using maximum power point
- PCE is found using these parameters

$$PCE = \frac{V_{oc} J_{sc} FF}{P_{in}}$$

Table 1. Solar Cell Parameters of Champion Cells

	V _{oc} (mV)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
Cold	1017	22.5	69.1	15.8
RT	952	24.1	52.7	12.1
Hot	980	19.7	59.1	11.4

Results show that cold washing is advantageous to form higher-quality layers and champion devices overall. Open circuit voltage and FF are found to be highest for the cold-washed cells while current density is slightly decreased. Moreover, shunt and series resistances were evaluated from the illuminated JV curves using the inverse slope method as given in each graph and presented in Table 2. Series resistance was found to be similar for RT and hot-washed cells while significantly decreased by cold washing. Even increment in shunt resistance clear in cold-washed cells related to higher performance and moderate current densities. Also, absorbance spectra recorded for perovskite single layers and given in Fig 9.

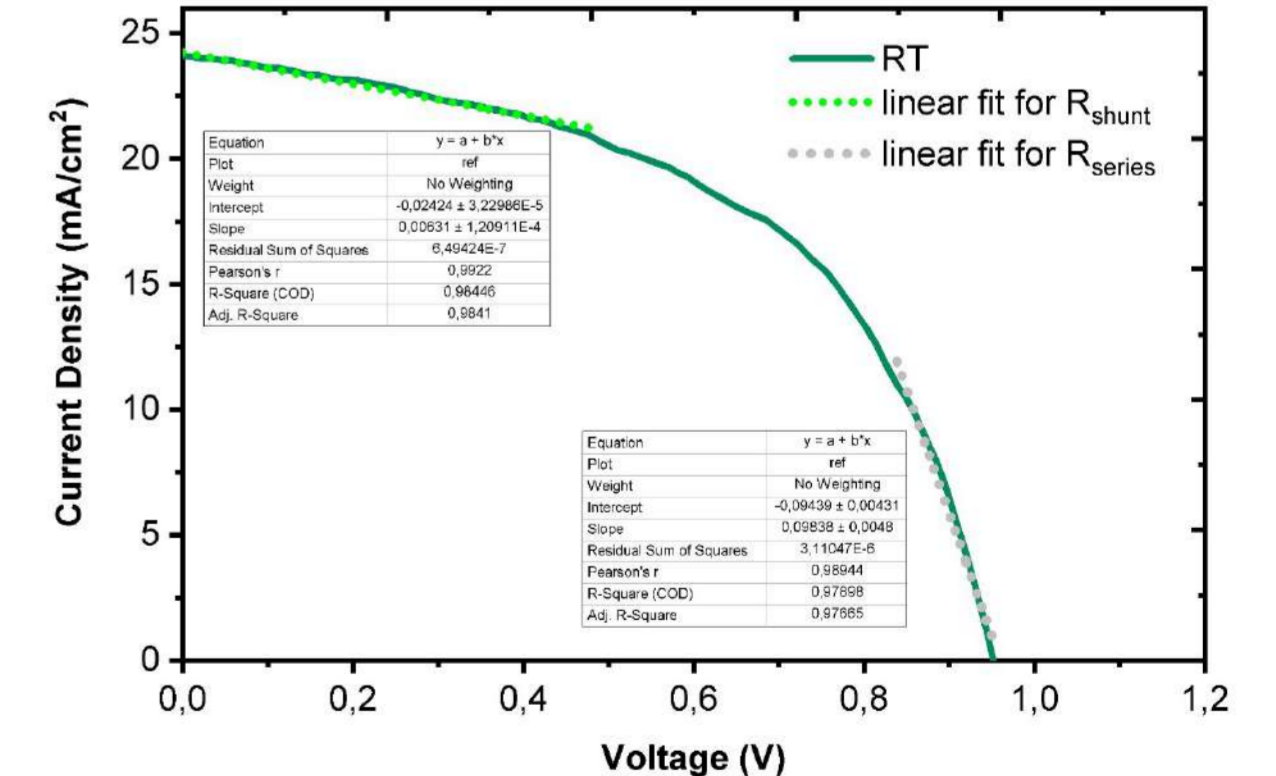
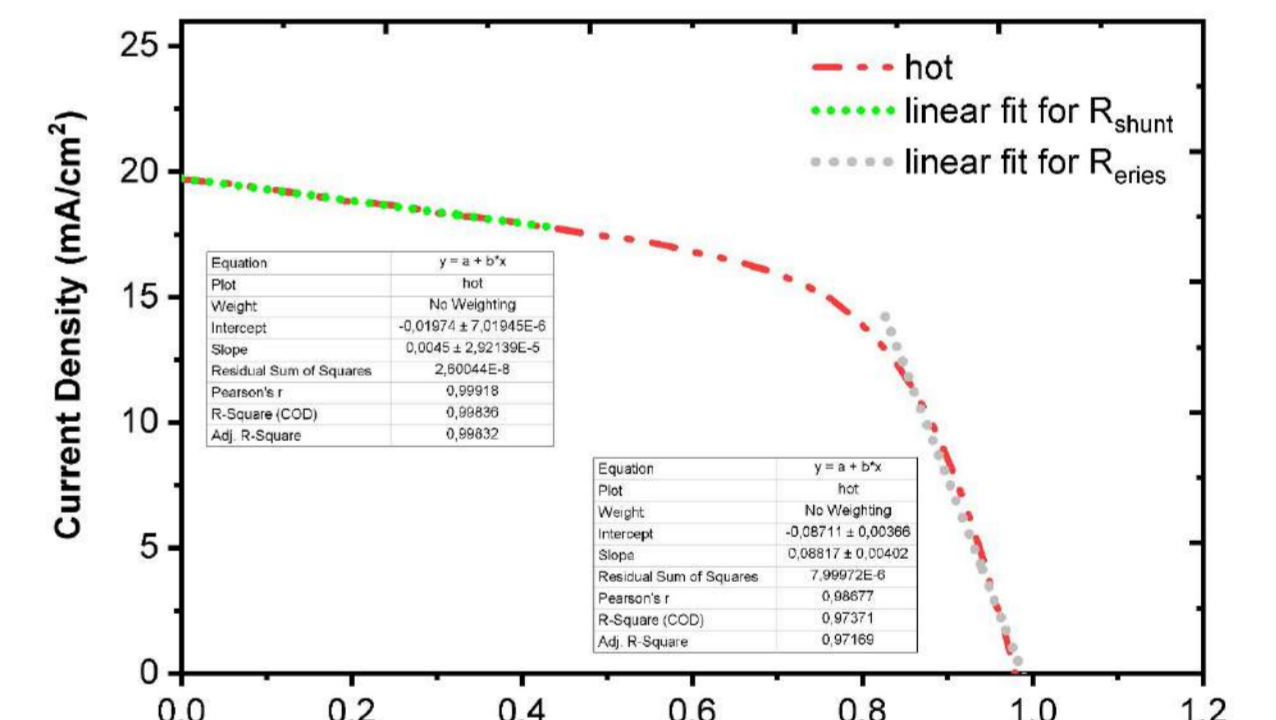
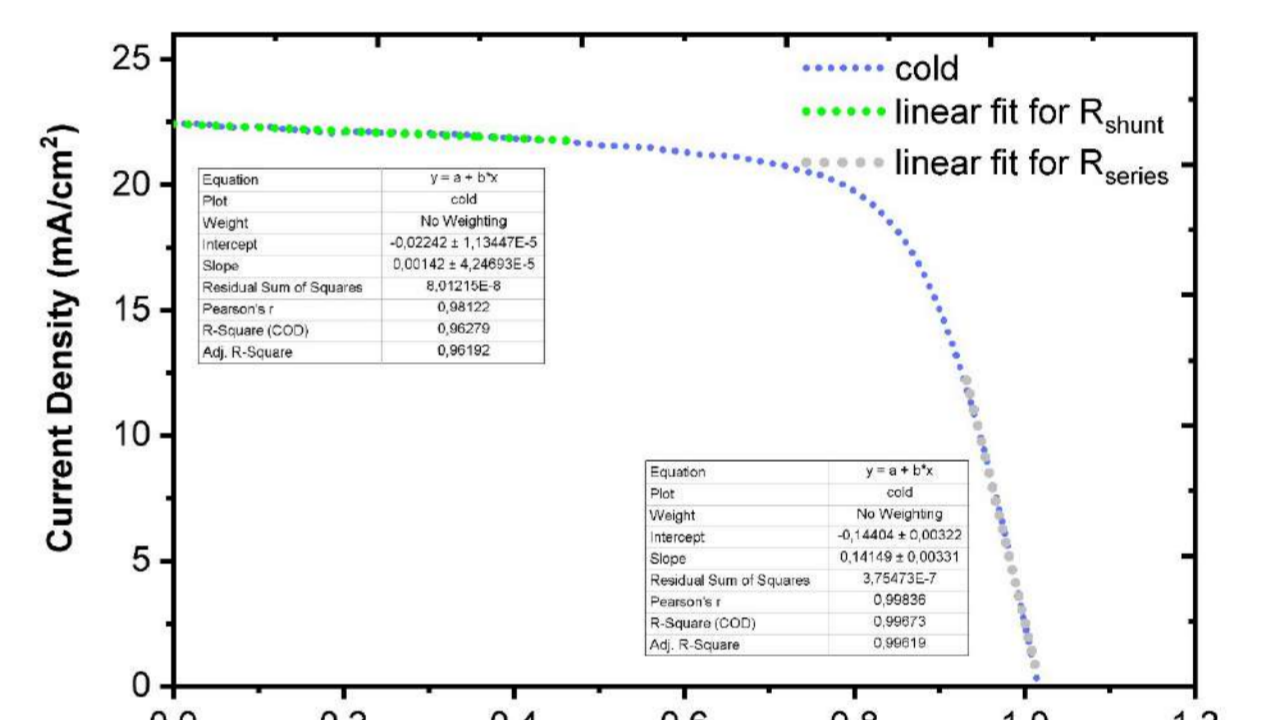


Fig. 8. Illuminated current voltage curves of the PSCs.

Table 2. Parasitic Resistances of PSCs and estimated E_g from absorbance

	Cold	RT	Hot
R _{shunt} (Ωcm ²)	704.2	158.5	222.2
R _{series} (Ωcm ²)	7.0	10.2	11.3
E _g (eV)	1.55	1.55	1.50

Cold-washed layers' absorbance is slightly increased around 550 nm compared to RT-washed cells, while hot-washed cells exhibited a higher absorbance after 550 nm towards longer wavelengths. Band gap values were found to be consistent with the literature with a slight deviation for hot-washed layers.

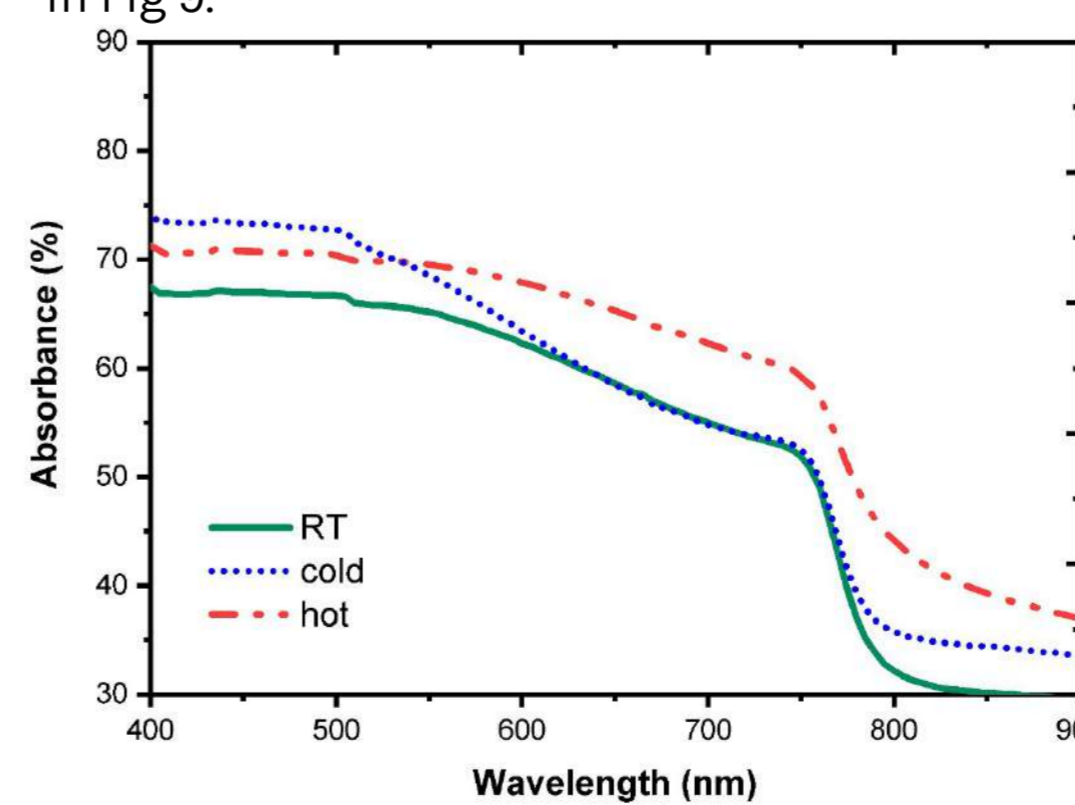


Fig. 9. Absorbance spectra of the perovskite layers.

Statistical data with a various number of repeated experiments and AFM, SEM, and XRD measurements are required to comment precisely. Yet, cold washing is thought to be a good prospect for improving cell efficiency and the mechanism behind that should be examined.

REFERENCES

- <https://www.energy.gov/eere/solar/perovskite-solar-cells> [3] <https://www.ossila.com/pages/perovskites-and-perovskite-solar-cells-an-introduction> [4] <https://www.chemistryworld.com/news/first-building-integrated-deployment-shows-perovskite-solar-growth-maturity/3009953.article> [5] 5. Zhu, Weidong, et al. "Microstructure engineering of metal-halide perovskite films for efficient solar cells." Emerging Solar Energy Materials. IntechOpen, 2018. [6] Kajal, Priyanka, Kunal Ghosh, and Satvishesh Powar. "Manufacturing techniques of perovskite solar cells." Applications of Solar Energy (2018): 341-364. [10] Moenini Alilshah, Hamed, et al. "Effect of bathocuproine concentration on the photovoltaic performance of NiOx-based perovskite solar cells." Journal of the Mexican Chemical Society 65.2 (2021): 149-160.

ÖZET

Günümüzde giderek artan enerji tüketimine çözüm getirmek amacıyla, daha verimli enerji depolama aygıtlarının geliştirilmesi bilimsel çalışmalarda öncelikli alanlar arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, yeni ve verimli enerji depolama sistemlerinin tasarlanması için öncelikle malzemelerin elektriksel özelliklerinin araştırılmasına ve geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, pil, süperkapasitör gibi enerji depolama sistemlerine yönelik cihazlarda kullanımları bakımından avantajlı olan yüksek enerji depolama yeteneğine sahip farklı oranlarda bakır katkıli nikel ferrit nano parçacıklar ortak çöktürme yöntemi ile sentezlendi. Hazırlanan örneklerin fiziksel ve kimyasal yapılarının incelenmesinde Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi, Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopu (FE-SEM), X-ışını Kırınım Yöntemi (XRD); Dielektrik özelliklerin tayini için Empedans Spektroskopisi kullanıldı. Farklı oranlarda katkılandırılmış Nikel Ferrit Nanoparçacıkların ($Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$) frekansa bağlı kompleks dielektrik ve alternatif akım (ac) iletkenlik mekanizmaları incelendi.

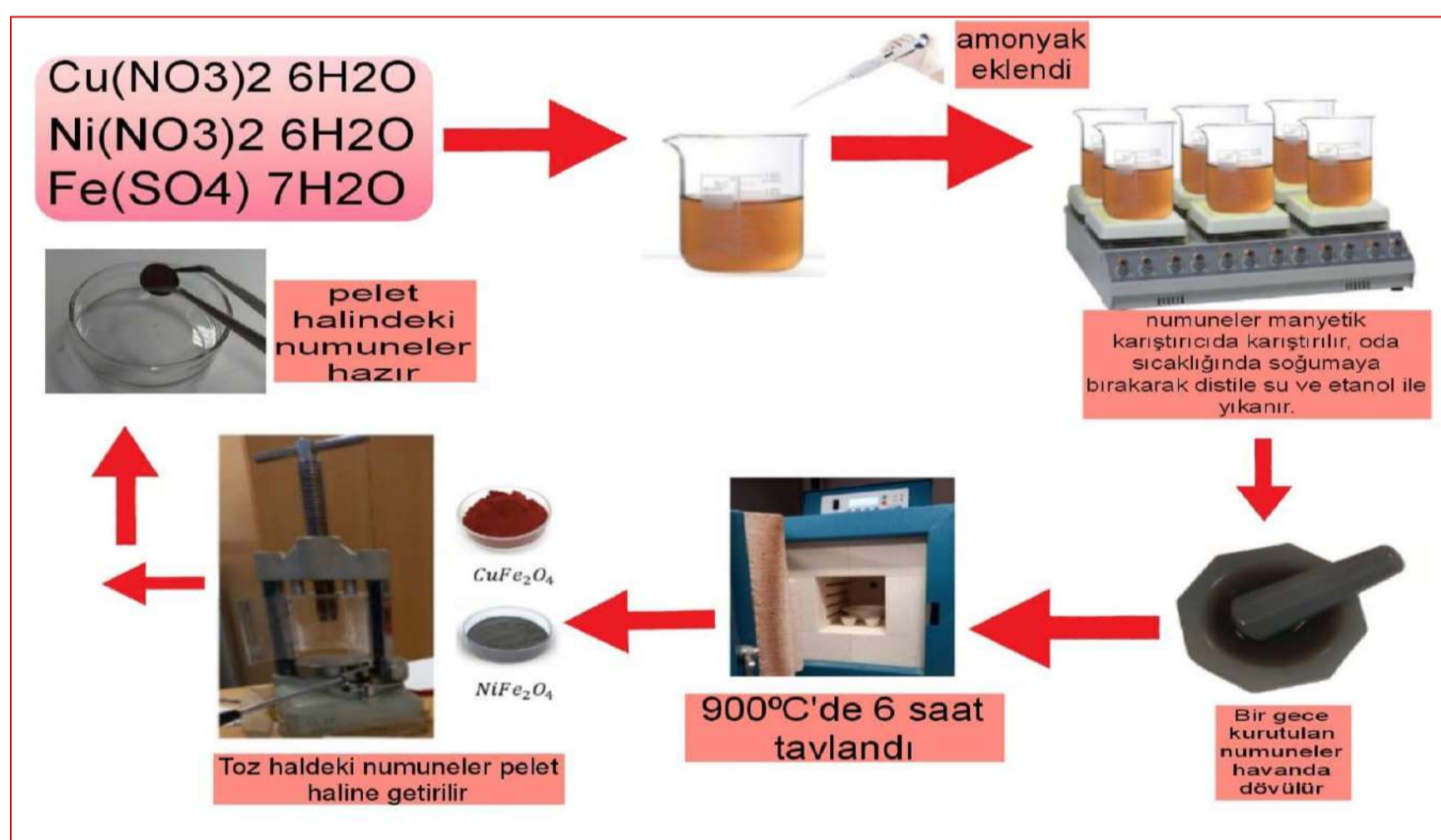
GİRİŞ

- Ferrit nanoparçacıklar dikkat çeken optik, manyetik ve elektriksel özellikleri nedeniyle kapsamlı bir şekilde araştırıldığından fonksiyonel malzemeler arasında önemli bir yere sahiptir. Elverişli özellikleri nedeniyle sensörler, yüksek frekanslı cihazlar, enerji depolama sistemleri, tıbbi cihazlar, veri depolama sistemleri başta olmak üzere çeşitli alanlarda potansiyel uygulamaları bulunmaktadır.
- Spinel ferritler (MFe_2O_4) yapısındadır ve M metal elementini temsil etmektedir. Bileşikte M: Kobalt, Magnezyum, Demir, Bakır, Nikel, Çinko olabilir [1]. Spinel ferritler, nano ölçekte süper paramanyetizma, değişim sapması, spin eğilimi, ve T-T ve O-O intra alt tabaka süperdeğişim etkileşimleri bakımından genellikle büyük ölçeklerde elde edilmesi zor olan birkaç olay sergilerler. Spinel ferritlerin dielektrik ve manyetik özellikleri kristal boyutları tarafından kontrol edilir. Bu nedenle nanoparçacıkların sentez aşamasında parçacık boyutu, sinterleme sıcaklığı, katkılama oranı, bileşenlerin kimyasal oranı gibi parametreler, ferritlerin özellikleri üzerinde etkili olmaları bakımından önem taşır. Kristal yapısına bağlı olarak spinel ferritler normal spinel, ters spinel ve karmaşık spinel olarak üçe ayrılırlar. Malzemenin kristal yapısında M metalinin MFe_2 katyon yapısındaki dağılımı etkili rol oynamaktadır.
- Spinel ferritler arasında nikel ferrit nanoparçacıklar, ılımlı etkili anizotropisi, karşılaştırılmalı düşük koersivitesi, yüksek doygunluk manyetizasyonu ve oda sıcaklığında yarı iletken davranışı nedeni ile önem kazanmışlardır [2].
- Nikel ferrit nanoparçacıklar, elverişli dielektrik özellikleri nedeniyle başta enerji depolama sistemleri olmak üzere birçok potansiyel kullanım alanına sahiptir. Diğer taraftan, uygun metaller ile katkılama yapılarak bu malzemelerin manyetik, dielektrik ve manyetostriktif özelliklerinin modifikasyonu mümkün olmaktadır. Bu durum katkı metalinin yapısına ve spinel yapıdaki katyon yönelimine bağlı olarak belirlenmektedir.
- Bu projede enerji depolama sistemlerinde kullanılabilen, yüksek dielektrik özelliklere sahip katkıli nikel ferrit nanoparçacıkların geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmamızda, bakır atomları katkı metali olarak kullanılarak, nikel ferrit nanoparçacıkların bakır oranına bağlı olarak yapısal ve dielektrik özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

MALZEME ve METODLAR

$Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$ Ferrit Nanoparçacıkların Sentezlenmesi:

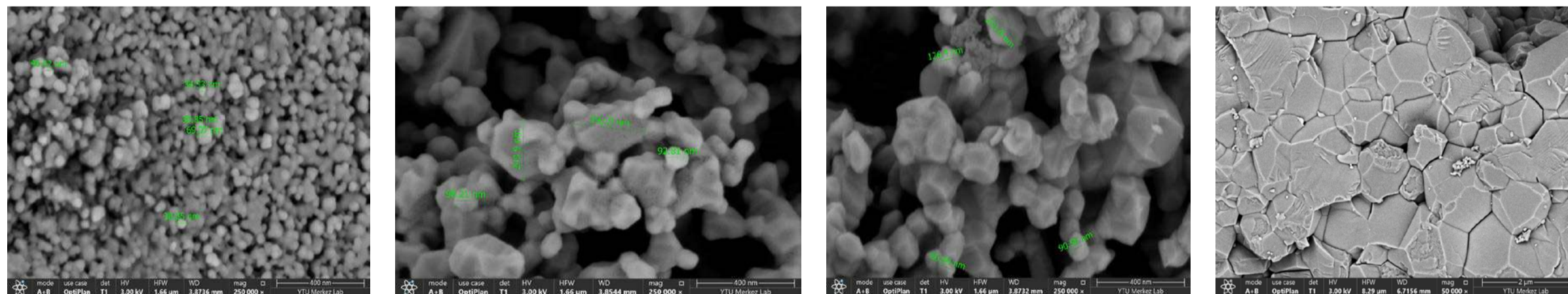
- $Cu_xNi_{1-x}Fe_2O_4$ ferrit nano-parçacıklar, farklı substitüsyon oranlarında ($x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ve 1.0) ortak çöktürme (co-precipitation) yöntemiyle sentezlendi.



Empedans Analiz Ölçümleri:

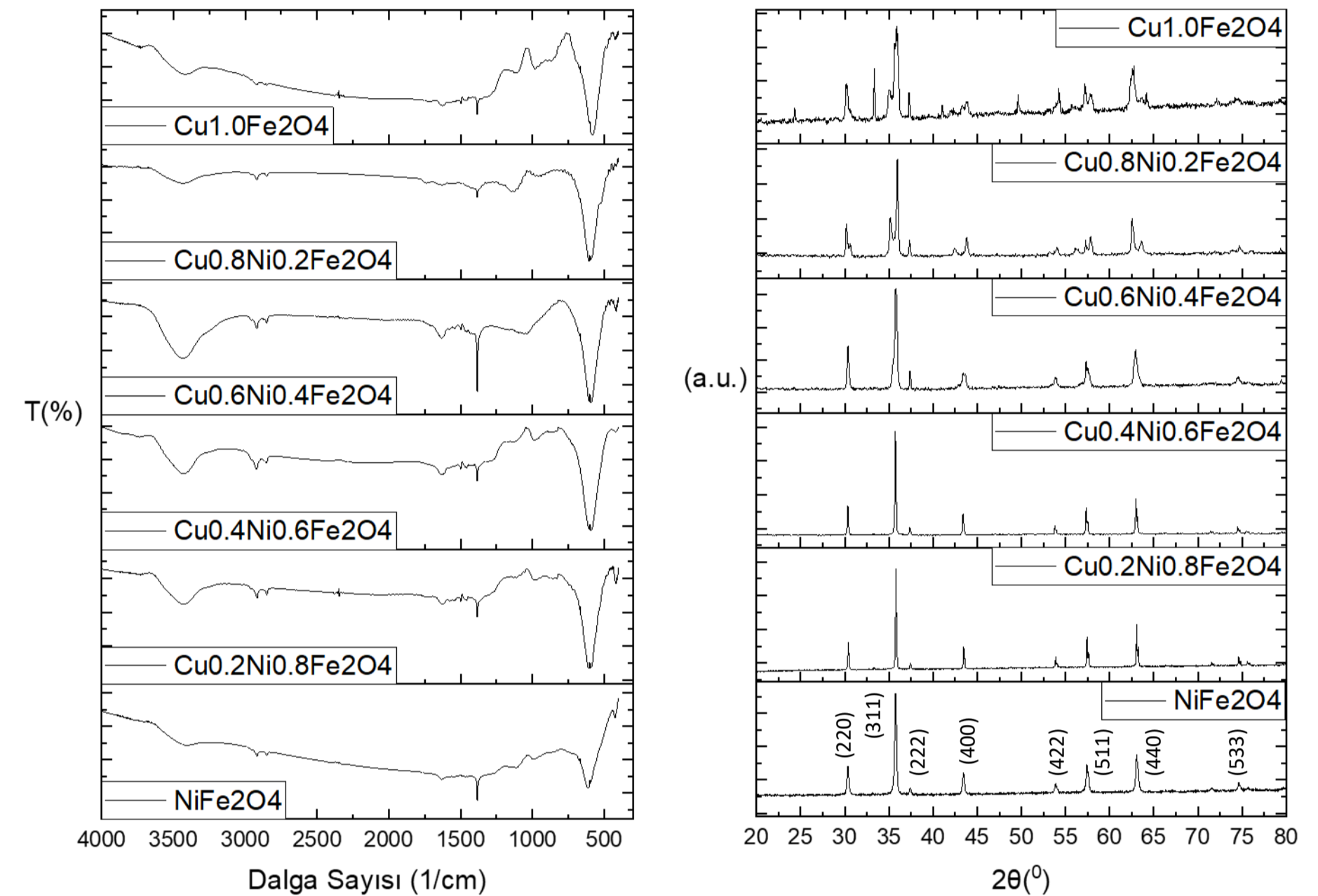
Dielektrik/Empedans ölçümleri, Novocontrol Technologies Alpha-AN analizörü ile oda sıcaklığında 10 Hz–10 MHz frekans aralığında alındı.

YAPISAL ANALİZLER



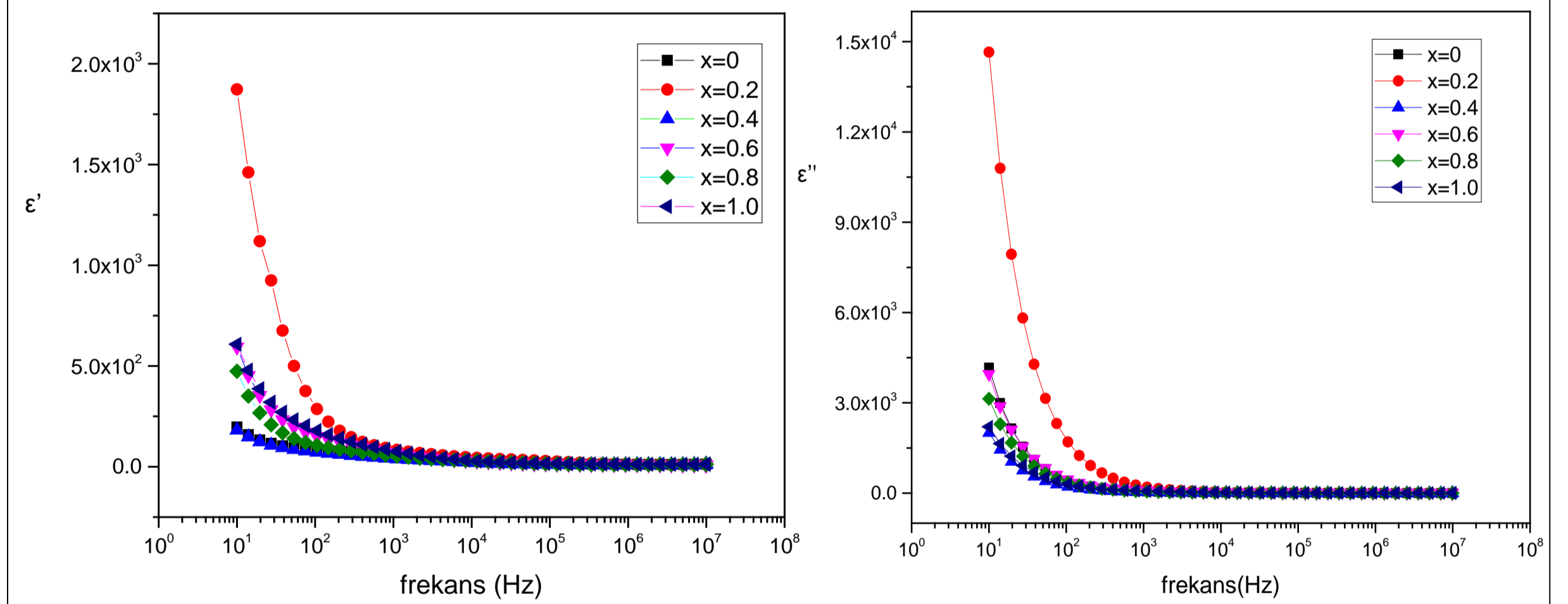
Şekil 1. Nanoparçacıkların FE-SEM görüntüleri sırasıyla, $x=0$ ($NiFe_2O_4$), $x=0.2$, $x=0.4$, $x=1.0$ ($CuFe_2O_4$)

- Nikel ferritlerin FESEM görüntüleri, parçacıkların nanometre mertebesinde, yaklaşık olarak aynı boyutta ve küresel şekilli olduğunu göstermektedir. Bakır atomlarının artarak nikel ile yer değiştirmesiyle tanecek boyutlarının ve tanecekler arası boşlukların arttığı görüldü.
- Nikel ferritlerin XRD analizi, kübik spinel ferrite ait karakteristik pik desenlerini sergilemektedir. $Ni_{1-x}Cu_xFe_2O_4$ serisinde $x = 0.6$ kadar örneklerin kırınım desenleri yine tek fazlı saf spinel yapıyı doğrulamaktadır. Bununla birlikte, $x = 0.8$ ve $x=1.0$ örneklerinde belirlenen ek pikler Cu-Fe safsızlık fazına atfedilmektedir. Bu durum, $NiFe_2O_4$ kristal örgüsünde oktahedral bölgedeki daha küçük Ni^{2+} (0,69 Å) katyon iyonlarının daha büyük Cu^{2+} (0,73 Å) katyonları ile yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Buna göre, bakır içeriği arttıkça deneyde kullanılan sinterleme sıcaklığının kararlı fazlar üzerinde etkisinin yeterli olmadığı görülmektedir [3].
- Örneklerin FTIR desenlerinde 600-400 cm^{-1} aralığındaki karakteristik pikler sırasıyla kristal yapının tetrahedral ve oktahedral bölgelerindeki Metal-Oksijen titreşim bağlarına karşılık gelmektedir. Bu durum tüm örneklerin spinel ferrit yapıda olduğunu doğrulamaktadır. Tetrahedral mod titreşimleri, oktahedral titreşim modundan daha yüksektir. Bu durum tetrahedral kafes M-O bağ uzunluklarının oktahedral kafes bağ uzunlarından daha kısa olması ile açıklanmaktadır. Bakır oranı arttıkça, tetrahedral bağ titreşim piki 612 cm^{-1} doğru, oktahedral bağ titreşim piki 425 den 421 cm^{-1} doğru kayma vermektedir.



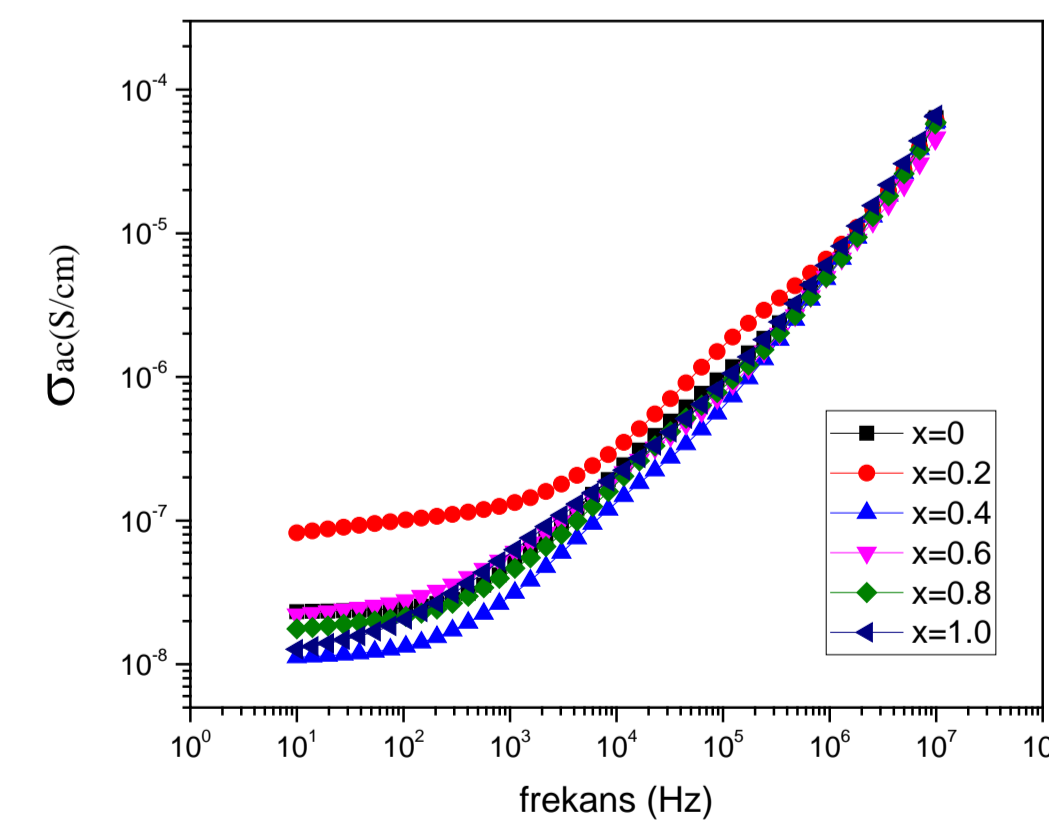
Şekil 2. Nanoparçacıkların FT-IR ve XRD desenleri

KOMPLEKS DIELEKTRİK ve İLETKENLİK FONKSİYONLARININ ANALİZİ



Şekil 3. Nanoparçacıkların dielektrik sabiti (ϵ') ve dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') frekansa bağlı değişimi

Tüm örneklerin dielektrik sabitinin ve dielektrik kayıp faktörünün düşük frekanslarda artan frekansa bağlı olarak hızla azaldığı; yüksek frekanslarda ise bu değişim oranının azalarak yaklaşık frekansa bağımsız bir davranış gösterdiği belirlendi. Bu dielektrik davranış ferritlerin yapısındaki tanecek ve tanecek sınırlarının etkin rol oynamasına bağlı olarak değişen bir mekanizmanın varlığını göstermektedir ve literatür ile uyumludur [3]. Bu mekanizma, Koop's teorisine uyumlu olan Maxwell-Wagner ara yüzey tipi kutuplanma ile açıklanabilir [4].



Şekil 4. Nanoparçacıkların AC iletkenliğinin frekansa bağlı değişimi

x	ϵ' (f=10Hz)	ϵ'' (f=10Hz)	ϵ' (f=100Hz)	ϵ'' (f=100Hz)	σ_{ac} (S/cm)
0	1.97E+02	4.17E+03	8.43E+01	4.13E+02	2.32E-08
0.2	1.87E+03	1.47E+04	2.86E+02	1.70E+03	8.22E-08
0.4	1.81E+02	2.00E+03	7.20E+01	2.15E+02	1.12E-08
0.6	5.94E+02	3.95E+03	1.51E+02	4.52E+02	2.22E-08
0.8	4.74E+02	3.13E+03	1.06E+02	3.52E+02	1.76E-08
1	6.08E+02	2.21E+03	1.79E+02	3.01E+02	1.27E-08

KAYNAKÇA

- [1] Y. Pu et al., Journal of Magnetism and Magnetic Materials 322 (2010) 1985-1990.
- [2] Ş. Atmaca, Nikel Ferrit Nanoparçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu, Balıkesir Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi (2016).
- [3] M. Satish et al., Journal of Magnetism and Magnetic Materials 585 (2023) 171113.
- [4] C. G. Koops, Phys. Rev. 83 (1951) 121.

Teşekkür: Bu çalışma, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2022 yılı 2. dönem 1919B012222665 numaralı başvuru kapsamında desteklenmiştir. Nanoparçacıkların sentezinde Prof. Dr. Didem KAHYA'dan (Ankara Ün. Kimya Bölümü) destek alınmıştır.