



*Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi*

**ISSN: 2717-8404**

Cilt/Volume: 4 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2023

# JOURNAL

**SCIENCE | TECHNOLOGY | ENGINEERING**

**Bilim ⊕ Teknoloji ⊕ Mühendislik**





### KÜNYE

Editör *Editor*

**Assoc. Prof. Dr. Mehmet BULUT**

**DANIŞMA KURULU** *Advisory Board*

**Prof. Dr. Ali KARA**

Gazi University, Türkiye

**Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU**

Balıkesir University, Türkiye

**Prof. Dr. Osman TAYLAN**

King Abdulaziz University, KSA

**Prof. Dr. İbrahim TÜRKÖĞLU**

Fırat University, Türkiye

**Prof. Dr. Galip CANSEVER**

Altınbaş University, Türkiye

**Prof. Dr. Enrique Herrera VIEDMA**

University Of Granada, Spain

**Prof. Dr. Fatih UGURDAG**

Özyeğin University, Türkiye

**Prof. Dr. Cheng-wei FEİ**

Fudan University, China

**Assoc. Prof. Dr. Behrooz KESHTEGAR**

Zabol University, Iran

**Dr. Hakan TORA**

Atılım University, Türkiye

**Dr. Şenol PAZAR**

Biruni University, Türkiye

**Dr. İbrahim ÖZ**

Yıldırım Beyazıt University, Türkiye

**EDİTÖRLER KURULU** *Editorial Board*

**Prof. Dr. A. Beril TUGRUL**

İstanbul Technical University, Türkiye

**Prof. Dr. Yunus ÇENGEL**

Aydın Adnan Menderes University, Türkiye

**Prof. Dr. Hüsamettin BULUT**

Harran University, Türkiye

**Prof. Dr. Hamit ADİN**

Batman University, Türkiye

**Assoc. Prof. Dr. Metin VARAN**

Sakarya Applied Science University, Türkiye

**Assoc. Prof. Dr. Hasan TİRYAKİ**

İstanbul University - Cerrahpaşa

**Dr. Yalçın BULUT**

MATRİSEB Engineering Consultancy, TURKEY

**Dr. Hijaz AHMAD**

International Telematic University, ITALY

**Dr. Yiğit Ali ÜNCÜ**

Akdeniz University, Türkiye

**Uluslararası Danışma Kurulu**

*International Advisory Board*

**Prof. Dr. Hafedh BELMABROUK**

Majmaah University, KSA

**Prof. Dr. Ali ALLAHVERDİ**

Kuwait University, KUWAIT

**Yazım ve Dil Editörü** *Copyeditor*

**Asiye BULUT**-*Sociologist*



e-mail : [jster.editor@gmail.com](mailto:jster.editor@gmail.com)

### EDİTÖR NOTU / Editor Note

Journal of Science, Technology and Engineering Research, cumhuriyetin 100. yılında da mühendislik ve teknoloji alanında yapılan değerli akademik çalışmaların taraflara ulaştırılmasında, ulusal ve uluslararası bilimsel hedeflerine ulaşmada kararlı bir şekilde yol almaktadır.

Geride bırakılan 3 yılda JSTER akademik camiada, kalitesi yüksek makaleleri bilim alanına kazandırmış ve saygın bilim ve mühendislik dergileri arasına girmeyi başarmıştır. Bu anlamda katkı veren editöriyel ekibimize, danışma kurulu üyelerimize, tüm yazar ve hakemlerimize teşekkür ederiz.

*Journal of Scientific, Technology and Engineering Research, in the centennial of the republic, is decisively moving forward in reaching its national and international scientific goals, in delivering valuable academic studies in the field of engineering and technology to the parties.*

*In the past 3 years, JSTER has brought high quality articles to the field of science in the academic community and has managed to become one of the respected science and engineering journals. We would like to thank our editorial team, members of the advisory board, all authors and referees who contributed in this sense.*

*We are;*

***Journal of Science,  
Journal of Technology,  
Journal of Engineering Research.***

### Yayın Dili / Publishing Language

Dergide yayınlanacak makalelerin yayın dili olarak, Türkçe ve İngilizce dillerinde yazılmış makaleleri yayınlamaktadır.

*As the publication language of the articles published in the journal, it publishes articles written in Turkish and English.*

### Telif Hakkı / Copyright

Dergide yayımlanan makaleler, izin alınmaksızın hiçbir şekilde başka bir yerde yayımlanamaz veya konferans, seminer, kongre gibi yerlerde bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı, ancak dergimiz kaynak gösterilerek kullanılabilir.

*Articles published in the journal may not be published elsewhere without permission or can not be presented as a paper in conferences, seminars, congresses. Some or all of the articles can only be used by citing our journal.*

<https://dergipark.org.tr/en/pub/jster>

Ey oğul, sabretmesini bil, vaktinden önce çiçek açmaz,  
şunu da unutma, insanı yaşat ki devlet yaşasın.

**Şeyh Edebali**



## İÇİNDEKİLER / CONTENTS



### **Araştırma Makalesi /** Research Article

- The Effect of Patching Properties on Tensile Stress Behaviours in The Repair of Composite Plates  
Abdullah ŞİŞMAN, Mehmet RAMAZANOĞLU ENG 1 - 8
- Studied the Impact of the Foundation on the Underground Cavity Using the Finite Element Method  
Hosni Abderrahmane TALEB, Ismahene GUEMIDI ENG 9 - 16
- Kırmızı ve Kızılötesi Işığın Hipokloröz Asit Kombine Uygulamalarının ile Keratinosit (HaCaT) ve Fibroblast Hücre Hattı (Human Dermal Fibroblast HDFa) Üzerinde Etkilerinin Belirlenmesi  
Betül ŞAHİN, Başak ÜNVER KOLUMAN, Mücahit SEÇME, Yavuz DODURGA,  
Gülçin ABBAN METE, Mustafa KÖSE, Mahmed Sari NJJAR, Ahmet KOLUMAN TUR 17 - 29
- Evolution of Mechanical Properties of an AA 6061 T6 Aluminum alloy Processed by Cold Working (CW)  
Debhı ALİ ENG 30 - 35
- Optimizing the Performance of Lead-free CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub> Perovskite Solar Cells via Thickness, Doping, and Defect Density Control  
Leila GHALMI ENG 44 - 51
- Helis Dişli Çiftlerinde Optimum Kütle ve Hacme Ulaşmak için Geometrik parametrelerin değişiminin İncelenmesi  
Ezgi KUBİLAY TUR 52 - 66
- 3D simulation of tunnel excavation in soft soil  
Nesrine EL HOUARI ENG 67 - 77
- ### **İnceleme Makalesi /** Review Article
- A Review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis  
Aliyu SABO, Kamaluddeen IBRAHİM KANYA, Nazıru SHU'AIBU, Chigozie ONYEMA ,  
Ahmed ALIYU, Hadıza TANKO, Sama'ıla KWASAU ENG 36 - 43



RESEARCH ARTICLE

# The Effect of Patching Properties on Tensile Stress Behaviors in the Repair of Composite Plates

 Mehmet Ramazanoğlu, \*<sup>1</sup> Abdullah Şişman

Grand Metal San. ve Tic. A.Ş., Kahramanmaraş, Türkiye  
mehmetramazanoglu46@gmail.com, [orcid.0000-0001-6860-0895](https://orcid.org/0000-0001-6860-0895)

\*<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering and Architecture, Kahramanmaraş, Türkiye  
[asisman@ksu.edu.tr](mailto:asisman@ksu.edu.tr), [orcid.0000-0001-9898-2556](https://orcid.org/0000-0001-9898-2556)

## HIGHLIGHTS

- Effect and importance of patch properties in the repair of composite plates
- Damaged materials should be repaired with larger patches with the same or more layer number
- Damage repair with adhesive joints brought the strength of the damaged area back to state before the damage
- Damage repair with adhesive joints is quite successful

## Keywords:

- Glass Fiber Reinforced Composite
- Single-Sided Lap Joints
- Tensile Stress Properties

## GRAPHICAL ABSTRACT

In this study, the effect of patch sizes and number of patch layers on tensile stress behavior in the repair of elliptical damaged laminated composite sheets was investigated experimentally. For this purpose, glass fiber reinforced laminated composite sheets with elliptical holes were prepared. These plates were subjected to tensile loads and their failure loads were determined experimentally. Then, using DP460 adhesive material, glass fiber reinforced composite sheets with elliptical damage were repaired using single-sided lap joints with glass fiber reinforced composite patches of varying sizes and layer numbers, and the repaired samples were subjected to tensile loads and their failure loads were determined and its effects on stress behavior were also investigated experimentally.

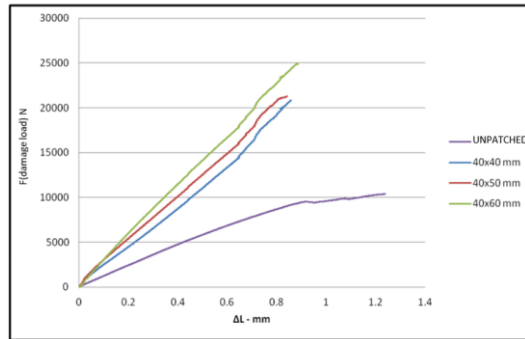


Figure A. Failure load changes for patches of 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm with 4 layers.

## Article Info:

Received : 5 November 2022

Accepted : 14 November 2022

## DOI:

10.53525/jster.1200014

## \*Correspondence:

Abdullah Şişman  
[asisman@ksu.edu.tr](mailto:asisman@ksu.edu.tr)  
Gsm: +90 535 7304040

**Aim of Article :** In this study, it was aimed to determine the effect of patch properties on tensile stress behaviors in the Repair of composite plates.

**Theory and Methodology :** Patches with different properties were adhered to the composite material with a one-sided lap joint using DP460 adhesive. The tensile strengths of the repaired specimens were investigated experimentally.

**Findings and Results:** Damaged materials should be repaired with larger patches with the same or more layer number.

**Conclusion :** Damage repair with adhesive joints brought the strength of the damaged area back to state before the damage. Damage repair with adhesive joints is quite successful



RESEARCH ARTICLE

# The Effect of Patching Properties on Tensile Stress Behaviors in the Repair of Composite Plates

Mehmet Ramazanoğlu, \*<sup>1</sup> Abdullah Şişman

Grand Metal San. ve Tic. A.Ş., Kahramanmaraş, Türkiye  
mehmetramazanoglu46@gmail.com [orcid.0000-0001-6860-0895](https://orcid.org/0000-0001-6860-0895)

\*<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering and Architecture, Kahramanmaraş, Türkiye  
[asisman@ksu.edu.tr](mailto:asisman@ksu.edu.tr) [orcid.0000-0001-9898-2556](https://orcid.org/0000-0001-9898-2556)

## Citation:

Ramazanoğlu M., Şişman A. (2023). *The Effect of Patching Properties on Tensile Stress Behaviors in the Repair of Composite Plates*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(1): 1-8. DOI: 10.53525/jster.1200014

## HIGHLIGHTS

- Effect and importance of patch properties in the repair of composite plates
- Damaged materials should be repaired with larger patches with the same or more layer number
- Damage repair with adhesive joints brought the strength of the damaged area back to state before the damage
- Damage repair with adhesive joints is quite successful

## Article Info

Received: 05 November 2022

Accepted: 14 November 2022

## DOI:

10.53525/jster.1200014

## \*Corresponding Author:

Abdullah Şişman  
[asisman@ksu.edu.tr](mailto:asisman@ksu.edu.tr)  
Gsm: +90 535 7304040

## ABSTRACT

In this study, the effect of patch sizes and number of patch layers on tensile stress behavior in the repair of elliptical damaged laminated composite sheets was investigated experimentally. For this purpose, glass fiber reinforced laminated composite sheets with elliptical holes were prepared. These plates were subjected to tensile loads and their failure loads were determined experimentally. Then, using DP460 adhesive material, glass fiber reinforced composite sheets with elliptical damage were repaired using single-sided lap joints with glass fiber reinforced composite patches of varying sizes and layer numbers, and the repaired samples were subjected to tensile loads and their failure loads were determined and its effects on stress behavior were also investigated experimentally.

**Keywords:** Glass Fiber Reinforced Composite, Single-Sided Lap Joints, Tensile Stress Properties

## I. INTRODUCTION

Composite materials and especially fiber-reinforced composite materials are used primarily in aircraft structures, automotive, etc., due to their high strength/weight ratio. It is increasingly used in all fields and sectors. In structures where composites are used, various damages can be seen due to many reasons such as various impacts, fatigue life, mechanical and dynamic vibrations and temperature changes. Replacing a damaged structure is extremely costly and sometimes impossible. Especially in the aviation industry, there are structures with very high costs. As mentioned above, these structures are repaired in order to eliminate the

discontinuities that may occur due to various reasons. Mechanical and adhesive repair techniques are generally used for the repair of these damages. Adhesive joints are increasingly preferred due to their uniform stress distribution, lightness, high fatigue strength and development of increasingly stronger adhesives.

In recent years, many studies have been carried out on this subject. For example, Ergün [1] studied the tensile properties of repairing elliptically damaged aluminum plates with composite patch experimentally and numerically. Gülakman [2] worked on the production of glass fiber / epoxy material, determination of its mechanical properties and calculation of interface



fracture toughness. Three point bending test, double fixed beam test technique, single notch edge tensile test and compact tensile test were performed with experimental analysis. Li et al. [3] used the composite patching technique to repair helicopter tail shafts damaged in wars. As a result, they found that the composite patches completely repaired these structures. In addition, experimental and numerical methods showed closeness to each other. Rachid et al. [4] investigated the effect of patch shape on efficiency and durability in aircraft structures repaired with bonded composite and developed a three-dimensional finite element method. According to Ramji et al. [5], they developed a three-dimensional finite element method to find the optimum composite patch shape. They determined the patch shapes as circle, square, ellipse, rectangle, rectangular octagon and elongated octagon. As a result, the best performance was observed in materials with elongated octagonal patches. Özgür [6] studied the bonding parameters of the rubber material pair by using the post-gluing method. According to Soy [7] they studied the adhesive repair of Al 2024-T3 alloy plate with composite patch with the help of computer aided modeling. Tensile and bending stress behaviors were investigated by experimental and numerical analysis. Tek [8] studied stress analysis in single and double lap adhesive joints. Comparisons were made in damage loads with experimental and numerical analyzes. Gültekin et al. [9] studied experimental and numerical determination of the tensile properties of different single-lap joint types with adhesives in different thicknesses. They found that the change in the adhesive thickness and the adhered material thickness affect the experimental damage loads. Demir et al. [10] worked on the effect of support patches in single-lap joints with adhesives on damage loads. They found that support patches increased the failure loads effectively. Adin et al. [11] studied on the effect of patching aluminum with composite patches on the fatigue stresses numerically. They found that patching with composites increased fatigue life significantly. Adin et al. [12] worked on the effect of patching aluminum pipes on the fatigue stresses numerically. They saw that patch dimensions are important in fatigue stresses and higher fatigue stresses were obtained in quarter-circle patches. Adin et al. [13] examined the double-reinforced adhesive joints strength and they stated the reasons of widespread uses of aluminum alloys and glass fiber reinforced composite materials. Akpınar [14], worked on tensile failure loads of different lap joint types. After

experiments, he observed a significant increase in failure loads in the three-step lap joints. Durmuş et al. [15] analyzed three step-lap joints adhesively bonded with different step lengths. As the first step length increases They have seen increased damage loads. Temiz et al. [16], studied the increase in strength of single lap joint by residual stresses caused by bonded curvature. They noted that the reason of the pressure perpendicular to the overlap area was the trend of the elastic material to go back to its starting shape after curing.

## II. MATERIALS AND METHODS

In this study, glass fiber reinforced composite material was used as patch and bonded material to form a single-sided lap joint. These composite materials were obtained from İZOREEL company in İzmir. The cutting process was made according to the size of the glued and patch material to be used. Materials bonded with 4-layer glass epoxy were cut in 140x60x1 mm dimensions, with elliptical holes. The mechanical properties of the glass fiber reinforced composite material are given in Table 1.

**Table 1.**

The mechanical properties of the glass fiber reinforced composite material

Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzeme	
$E_x$	44 (GPa)
$E_y$	20 (GPa)
$E_z$	20 (GPa)
$G_{xy}$	4 (GPa)
$G_{xz}$	4 (GPa)
$G_{yz}$	3 (GPa)
$\nu_{xy}$	0,32
$\nu_{xz}$	0,32
$\nu_{yz}$	0,41

E : Modulus of Elasticity

G : Shear Module

$\nu$ : Poisson Ratio

The patches are made of glass epoxy composite sheets with 2, 4 and 6 layers (0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm thickness), cut in sizes 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm, 50x40 mm and 60x40 mm In this study, DP-460 was used as the adhesive material having epoxy and accelerator components by high strength volume ratio of 2/1. Special spiral tips are used to provide this ratio. The mechanical properties of the adhesive material are given in Table 2, and the shape and dimensions of the damaged samples and patches are given in Figure 1, Figure 2,



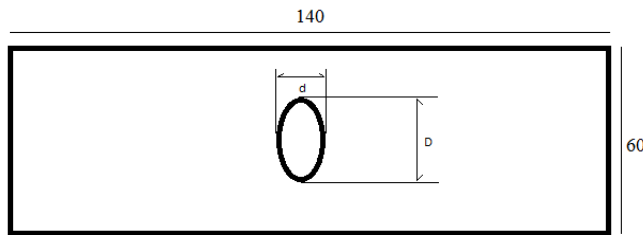
Figure 3 and Table 3.

Patched lap joints obtained using DP460 adhesive material are shown schematically in Figure 3. 0.15 mm, which is the ideal adhesive thickness for DP 460 adhesive, was chosen for bonding composites and this thickness was fixed with measurements during applications.

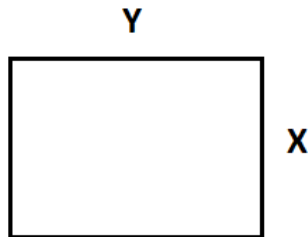
**Table 2.**

Mechanical properties of adhesive material (DP-460)

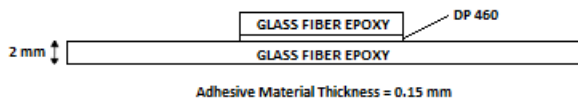
Modulus of Elasticity	2077.1 MPa
Poisson Ratio	0.38
Tensile Strength	44.616 MPa



**Figure 1.** Glass fiber reinforced composite bonded material with elliptical holes.



**Figure 2.** Glass fiber reinforced composite patch.



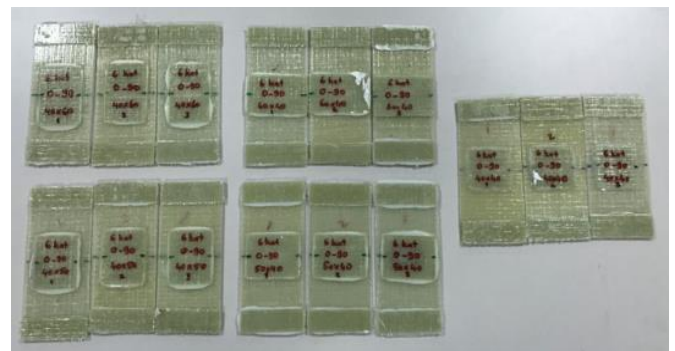
**Figure 3.** Schematic representation of the prepared test samples.

**Table 3.**

Sample parameters and values

EXPERIMENT SAMPLE DIMENSIONS						
DAMAGED PLATES (4 Layers, 0-90 Fiber Angle, Glass-Epoxy Composite)				PATCHES (0-90 Fiber Angle, Glass-Epoxy Composite)		
Sheet Size (mm)	Adhesive Thickness (mm)	Elliptical Damage Size		patch Material Size		patch thickness
		D Large Ellipse Diameter (mm)	D Small Ellipse Diameter (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
60x140x1	0.15	24	11	40	40	0.5mm (2 layers)
				40	50	
				40	60	
				50	40	
				60	40	1mm (4 layers)
				40	40	
				40	50	
				40	60	
				50	40	1.5mm (6 layers)
				60	40	
				40	40	
				40	50	
				50	40	
				60	40	

Photographs of some of the test specimens prepared using DP460 adhesive material are shown in Figure 4.



**Figure 4.** Photographs of some of the prepared test samples.

### III. DETERMINATION OF EXPERIMENTAL FAILURE LOADS

All experiments were carried out with ZWICK Z100 tensile testing machine, under computer control, at room temperature of 50% humidity, at a constant drawing

speed of 1 mm/min which is the ideal drawing speed for anisotropic and composite materials. Tensile tests were carried out on undamaged unpatched samples first, then on unpatched samples with elliptical damage, and then on samples patched with one-sided lap joints with elliptical damage. The tests were carried out in 3 repetitions. After the experiments were completed, the samples were observed thoroughly, the damaged areas were examined and their photographs were taken. The maximum loads and damage types of the samples were recorded. The ZWICK tester is shown in Figure 5.



**Figure 5.** ZWICK Z100 testing machine.

The moment at which a patched sample breaks from outside the patch area of glass epoxy plate while it is between the jaws of the tensile device is given in Figure 6. Average failure loads and damage types for each orientation are given in Table 4. After the experiments were completed, the samples were thoroughly observed and the damage areas were examined.



**Figure 6.** Sample break time.

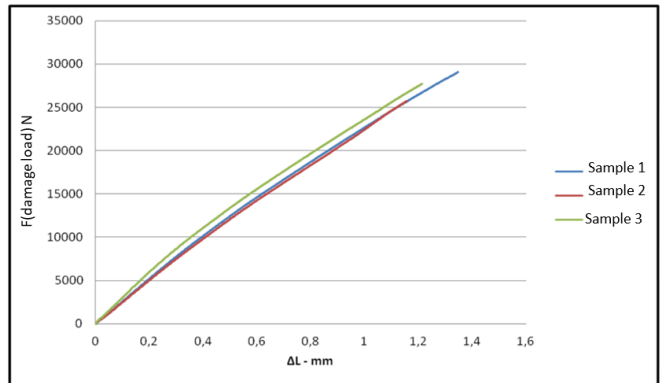
**Table 4.**  
 Failure loads and damage types of lap joints

Patch Layers	Patch Dimensions (Width x Length)	Experimental Failure Load (N)	Damage Types
--------------	-----------------------------------	-------------------------------	--------------

Undamaged Unpatched	-	27508	-
Damaged Unpatched	-	10500	BFES
2 Layers	40 x 40	20400	BFES
	40 x 50	21800	BFES
	40 x 60	22800	BFES
	50 x 40	20633	BFES
	60 x 40	21100	BFES
4 Layers	40 x 40	21500	BOP
	40 x 50	22300	BOP
	40 x 60	24067	BOP
	50 x 40	24567	BOP
	60 x 40	24967	BOP
6 Layers	40 x 40	23093	BOP
	40 x 50	26307	BOP
	40 x 60	26921	BOP
	50 x 40	24918	BOP
	60 x 40	25764	BOP

BFES: Break from Ellipse Section

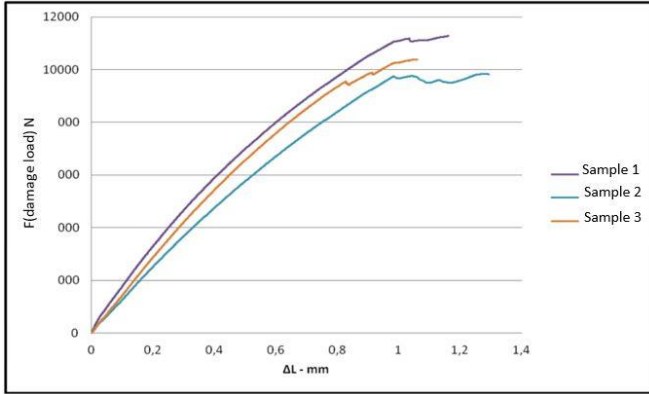
BOP: Break Out of the Patch



**Figure 7.** Failure load variation of 3 undamaged and unpatched samples.

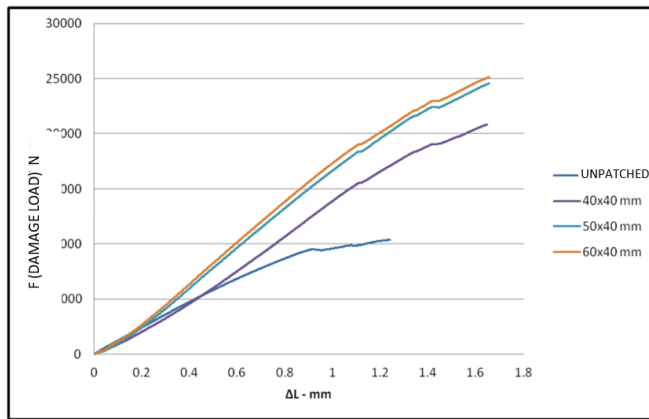
In Figure 7, an average failure load of 27508 N is seen in the tests performed without damage and patch.





**Figure 8.** Failure load variation of 3 damaged and unpatched samples.

In Figure 8, an average failure load of 10500 N is seen in the tests of damaged and unpatched samples. Damaged specimens show 62% loss of strength.

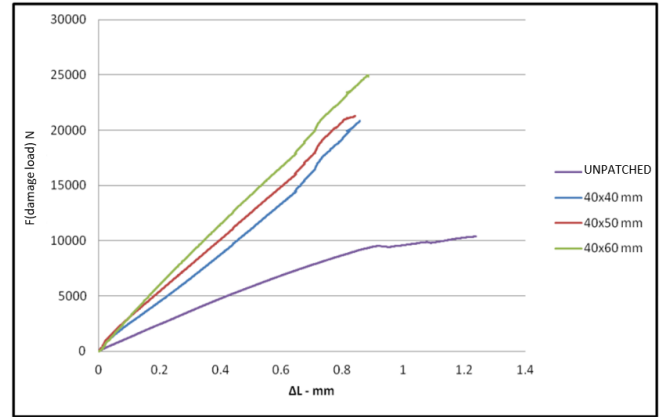


**Figure 9.** Failure load changes for patches of 40x40 mm, 50x40 mm, 60x40 mm with 4 layers.

In Figure 9, it is seen that as the patch length (y) and thickness (z) are kept constant and the patch width (x) increases, the failure loads increase because the adhesion surface areas also increase. Samples with 4 layers and 40x40 mm patches showed an average failure load of 21500 N, samples with 50x40 mm patches showed an average failure load of 24567 N, and samples with 60x40 mm patches showed an average failure load of 24967 N.

Compared to the elliptical damaged samples exposed to tensile load without patch, it is seen that samples with 40x40 mm patches carry 104% excess load, samples with 50x40 mm patches carry 133% more load, and samples with 60x40 mm patches carry an excessive load by 137%.

As a result, as the patch width increases, the failure loads of the samples increase as the adhesion area increases.

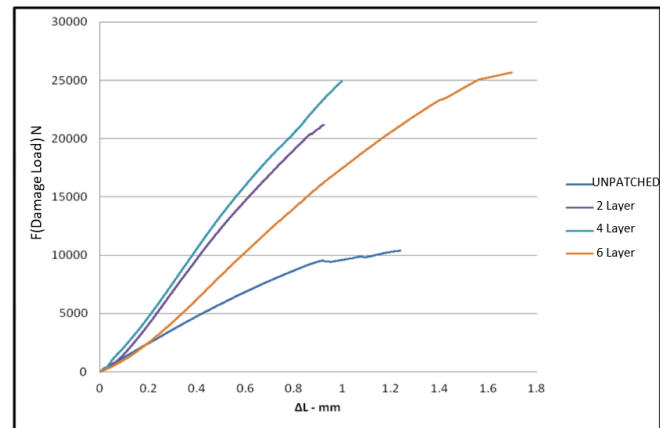


**Figure 10.** Failure load changes for patches of 40x40 mm, 40x50 mm, 40x60 mm with 4 layers.

In Figure 10, it is seen that the failure loads increase as the adhesion surface area increases as the patch width (x) and thickness (z) are kept constant and the patch length (y) increases. The number of layers is 4, 40x40 mm samples resisted an average failure load of 21500 N, 40x50 mm samples showed an average failure load of 22300 N and 40x60 mm samples showed an average failure load of 24067 N.

According to the elliptical damaged samples exposed to tensile load without patch, it is seen that samples with 40x40 mm patches carry 94% more load, samples with 40x50 mm patches carry 112% more load, and samples with 40x60 mm patches carry an excess load by 129%.

As a result, an increase in the failure loads of the samples was observed as the adhesion area increased as the patch length increased.



**Figure 11.** Failure load changes in the number of 2 layers, 4 layers and 6 layers of the patch with a width and length of 60x40 mm.



In Figure 11, it is seen that as the number of layers increases in the adhered patches, the failure loads also increase as the patch width (x) and length (y) are kept constant and the patch thickness (z) increases. Having a width and length of 60x40 mm, the 2-layer samples showed an average failure load of 21100 N, the 4-layer samples showed an average failure load of 24967 N, and the 6-layer samples showed an average failure load of 25764 N.

According to the elliptical damaged samples exposed to tensile load without patch, it is seen that 2-layer samples carry 101% excess load, 4-layer samples carry 138% overload, while 6-layer samples carry 145% excess load.

As a result, as the number of patch layers increases, the patch thickness also increases, the patch strength increases and the failure loads of the samples increase.

#### IV. RESULTS AND EVALUATION

In this study, in the repair of elliptical damaged laminated composite plates, the effect of patch sizes and patch layer number on tensile stress behavior was investigated experimentally.

The undamaged samples were tested first. Later, when the elliptical damaged specimens were tested, a tensile strength loss of 62% was observed. When the elliptical damaged samples are patched and tested with patches of varying sizes and layer numbers, it is seen that they carry up to 145% more tensile load than the unpatched samples. As a result, it is clear that damage repair with adhesive joints is quite successful.

In addition, it was observed that the failure loads increased with increasing patch width, length and number of layers. Since the increase in the width and length of the patch increases the adhesion strength by increasing the adhesion area, it is thought that the increase in the number of patch layers increases the strength of the patch material, thus increasing the tensile strength.

When 4-layer damaged composite materials are patched with 2-layer patches, the failure loads are lower than the failure loads of the undamaged plates and break from the ellipse section inside the patch. When patched with 4 and 6 layer patches, the failure loads are very close to the failure loads of the undamaged plates and the repaired plates breaks from the outside of the patch. This shows us that damaged materials should be repaired with patches with the same or more layer number.

If the damaged materials are repaired with patches with a lower layer number than their own layer number, it has

been observed that the success of the repair decreases. However, if damaged materials are repaired with patches with the same or more layer number, it was seen that the repair was very successful and the repair brought the strength of the damaged area back to the state before the damage, so the patch broke from the outside.

The ruptures from the outside of the patch show that the damage repair with the adhesive joints was so successful that it returned the sample to its undamaged strength, so the sample was broken from the outside of the patch, that is, from the outside of the damaged area.

#### CONFLICTS OF INTEREST

They reported that there was no conflict of interest between the authors and their respective institutions.

#### RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

In the studies carried out within the scope of this article, the rules of research and publication ethics were followed.

#### ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the Kahramanmaraş Sütçü İmam University USKIM laboratories and staff, where we conducted our experiments, for their assistance.

#### REFERENCES

- [1] R. K. Ergün, "Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Repairing Elliptical Perforated Aluminum Sheets with Composite Patch on Tensile Behavior", (Kahramanmaraş Sütçü İmam University Institute of Science and Technology, Unpublished Master Thesis), Kahramanmaraş, 2014.
- [2] A. Gülakman, "Glass/Epoxy Material Production, Determination of Mechanical Properties and Calculation of Interface Fracture Toughness", (Dokuz Eylül University Institute of Science, Published Master Thesis), İzmir, 2008.
- [3] H. C. H. Li, J. Wangb, A. Baker, "Rapid Composite Bonded Repair for Helicopter Tail Drive Shafts", *Composites: Part B*, 43 : (2012), pp. 1579-1585.
- [4] M. Rachid, B. Serier, B. B. Bachir, M. Belhouari, "Numerical Analysis of the Patch Shape Effects on the Performances of Bonded Composite Repair in Aircraft Structures", *Composites: Part B*, 43 : (2012), pp. 391-397.
- [5] M. Ramji, R. Srilakshmi, P. M. Bhanu, "Towards Optimization of Patch Shape on the Performance of Bonded Composite Repair Using FEM". *Composites: Part B*, 45 : (2013), pp. 710-720.



- [6] A. K. Özgür, “Rubber Material Pair Using Post-Adhesive Method”, (Uludağ University Institute of Science and Technology, Published Master's Thesis), Bursa, 2013.
- [7] U. Soy, “Adhesive Repair of Al 2024-T3 Alloy Plate with Composite Patch with the Help of Computer Aided Modeling”, (Sakarya University Institute of Science and Technology, Published Master's Thesis), Sakarya, 2005.
- [8] G. Tek, “Single and Double-Action Adhesive Connections”, (Gazi University Institute of Science, Published Master Thesis), Ankara, 2011.
- [9] K. Gültekin, S. Akpınar, A. Özel, “The Effect of Moment and Flexural Rigidity of Adherend on the Strength of Adhesively Bonded Single Lap Joints”, *The Journal of Adhesion*, pp. 710-720, 2015.
- [10] K. Demir, S. Bayramoğlu, S. Akpınar, “The fracture load analysis of different support patches in adhesively bonded single-lap joints”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, Volume 108, 2020.
- [11] H. Adin, Z. Sağlam, M. Ş. Adin, “Numerical Investigation of Fatigue Behavior of Non-patched and Patched Aluminum/Composite Plates”, *European Mechanical Science*, Volume 5, Issue 4, 168 - 176, 2021.
- [12] H. Adin, B. Yıldız, M. Ş. Adin, “Numerical Investigation of Fatigue Behaviors of NonPatched and Patched Aluminum Pipes”, *European Journal of Technique*, Vol. 11, No.1, 2021.
- [13] M. Ş. Adin, M. E. Kılıçkap, “Strength of Double-Reinforced Adhesive Joints”, *Materials Testing* 63, 176–181 (2021)
- [14] S. Akpınar, “The strength of the adhesively bonded step-lap joints for different step numbers”, *Compos. B Eng.*, 67 (2014), pp. 170-178
- [15] M. Durmuş, S. Akpınar, “The Experimental and Numerical Analysis of the Adhesively Bonded Three step-Lap Joints with Different Step Lengths”, *Theor. Appl. Fract. Mech.*, 107 (2020), Article 102498
- [16] S. Temiz, S. Akpınar, M.D. Aydın, E. Sancaktar, “Increasing Single Lap Joint Strength by Adherend Curvature-Induced Residual Stresses”, *J. Adhes. Sci. Technol.*, 27 (2013), pp. 244-251

RESEARCH ARTICLE

# Studied the Impact of the Foundation on the Underground Cavity Using the Finite Element Method

\*.1  Hosni Abderrahmane TALEB, <sup>1,2</sup>  Ismahene GUEMIDI

\*University Abdelhafid Boussouf, Institute of Science and Technology, Civil Engineering and Hydraulic Department, Mila. ALGERIA  
[talebhosni@yahoo.fr](mailto:talebhosni@yahoo.fr), [Orcid.0000-0001-8942-9492](https://orcid.org/0000-0001-8942-9492)

<sup>1</sup>FIMAS Laboratory, University of Bechar, Algeria

<sup>2</sup>University Chadli Bendjedid of El Tarf, Algeria  
[ismahene\\_civil@yahoo.fr](mailto:ismahene_civil@yahoo.fr), [Orcid.org/0000000204869622](https://orcid.org/0000000204869622)

## HIGHLIGHTS

- Study and Examined the underground cavities
- The danger of instability of cavities in the field of civil engineering
- The danger of instability of cavities in the field of civil engineering

## Keywords:

- Finite Element Method
- Modeling
- Cavity
- Foundation
- Instability

## GRAPHICAL ABSTRACT

The world is widely exposed to risks related to the presence of underground cavities, whether natural or linked to human activities. These cavities represent a potential risk of collapse and thus of danger, particularly in urban areas. This article aims to explore through numerical modeling the effect of the mechanical characteristics of the soil on the instability of the underground cavity. Subsequently, a parametric study was conducted to study the influence of certain factors, including the relative distance between the foundation and the cavity and the influence of the size of the cavity on the ground. The studies will be carried out after a calculation by the finite element method.

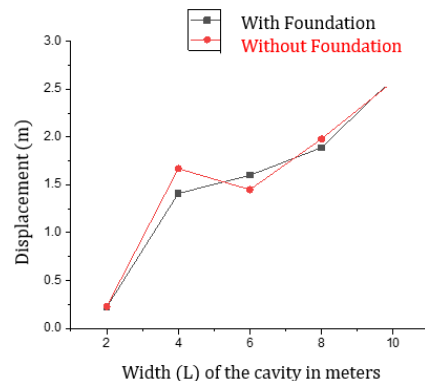


Figure 7. Displacement due to change in width L with and without foundation

## Article Info:

Received : January 10, 2023

Accepted : January 28, 2023

DOI: 10.53525/jster.1232122

## \*Correspondence:

TALEB Hosni Abderrahmane  
[talebhosni@yahoo.fr](mailto:talebhosni@yahoo.fr)

**Aim of Article:** *The purpose of this research is to study the effect of underground cavities with and without foundation.*

**Theory and Methodology:** *We used the modeling of this underground cavities by the finite elements in the presence and with absence of foundation.*

**Findings and Results:** *Results and findings shows that the underground cavities effects by the presence of the foundations. After a series of numerical modelling, the results indicate a linear increase of displacement for an increase of height H. The deformation field will be very remarkable and indicates the collapse of the underground cavity.*

**Conclusion :** *We calculate the hollow ground's instability (collapse), displacements, and deformation field both with and without a foundation. With the purpose of confirming the impact of the subterranean cavity's height H, breadth L, and distance D from the earth's free surface, the finite element technique the Plaxis code is employed..*



RESEARCH ARTICLE

# Studied the Impact of the Foundation on the Underground Cavity Using the Finite Element Method

\*.1 Hosni Abderrahmane TALEB, <sup>1,2</sup> Ismahene GUEMIDI

\*University Abdelhafid Boussouf, Institute of Science and Technology, Civil Engineering and Hydraulic Department, Mila. ALGERIA  
[talebhosni@yahoo.fr](mailto:talebhosni@yahoo.fr), [Orcid.0000-0001-8942-9492](https://orcid.org/0000-0001-8942-9492)

<sup>1</sup>FIMAS Laboratory, University of Bechar, Algeria

<sup>2</sup>University Chadli Bendjedid of El Tarf, Algeria  
[ismahene\\_civil@yahoo.fr](mailto:ismahene_civil@yahoo.fr), [Orcid.org/0000000204869622](https://orcid.org/0000000204869622)

## Citation:

Taleb, H. A., Guemidi, I. (2023). *Studied the Impact of the Foundation on the Underground Cavity Using the Finite Element Method*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(1): 9-16, DOI: 10.53525/jster.1232122

## HIGHLIGHTS

- Study and Examined the underground cavities
- The danger of instability of cavities in the field of civil engineering
- Understand the phenomenon of cavities to find solutions

## Article Info

Received : January 10, 2023

Accepted: January 28, 20233

## DOI:

10.53525/jster.1232122

## \*Corresponding Author:

TALEB Hosni Abderrahmane  
[talebhosni@yahoo.fr](mailto:talebhosni@yahoo.fr)

## ABSTRACT

The world is widely exposed to risks related to the presence of underground cavities, whether natural or linked to human activities. These cavities represent a potential risk of collapse and thus of danger, particularly in urban areas. This article aims to explore through numerical modeling the effect of the mechanical characteristics of the soil on the instability of the underground cavity. Subsequently, a parametric study was conducted to study the influence of certain factors, including the relative distance between the foundation and the cavity and the influence of the size of the cavity on the ground. The studies will be carried out after a calculation by the finite element method.

**Keywords:** Finite Element Method, Modeling, Cavity, Foundation, Instability.

## I. INTRODUCTION

The progressive development of the territory leads to the exploitation of new lands, currently abandoned because they present risks to the safety of users [1-6]. This is notably the case for potential collapse zones, which are linked to the presence of underground cavities. Ground movements include a set of more or less brutal displacements of the ground or subsoil, of natural or anthropic origin. The volumes involved are between a few cubic meters and a few million cubic meters. The displacements can be slow (a few millimeters per year) or very fast (a few hundred meters per day), and are a function of the nature and layout of the geological layers

[7-8]. The risk of underground cavities is one of the risks of ground movement. Underground cavities are particularly present in the plain. They are either anthropic cavities (quarries, marl pits, etc.) dug by man to extract materials or natural cavities (sinkholes); see figure 1.

The proposed study focuses on the particular geotechnical context of numerical modeling of an underground cavity, especially the awareness of ground displacement (instability) or collapse related to the change in distance between the underground cavity and the free surface of the earth, the change in height and width of this cavity. This communication is an attempt to comprehend the phenomenon, that there are numerous

possibilities for finding solutions, to reinforce the underground cavity, and, of course, to discover simple, quick, cost-effective, and environmentally friendly solutions.



Figure. 1. Underground cavities in residential areas [9]

## II. PRESENTATION OF THE CASE STUDY

Given the total geometry, the case studied corresponds to an underground cavity of 3 m in height and 3 m in width, the ground with a single layer under the presence of a foundation of 2 m in length, and this ground of 27 m in height and 40 m in length.

The project is symmetrical (Figure 2); it will be modeled by a 2D axisymmetric geometric model. The numerical modeling is performed using PLAXIS-2D. The MOHR-COULOMB model (MC) is used to simulate the behavior of the cavity. The following table 1 represents the geotechnical parameters of the terrain for the evaluation of the displacement under the effect of the presence of the underground cavity.

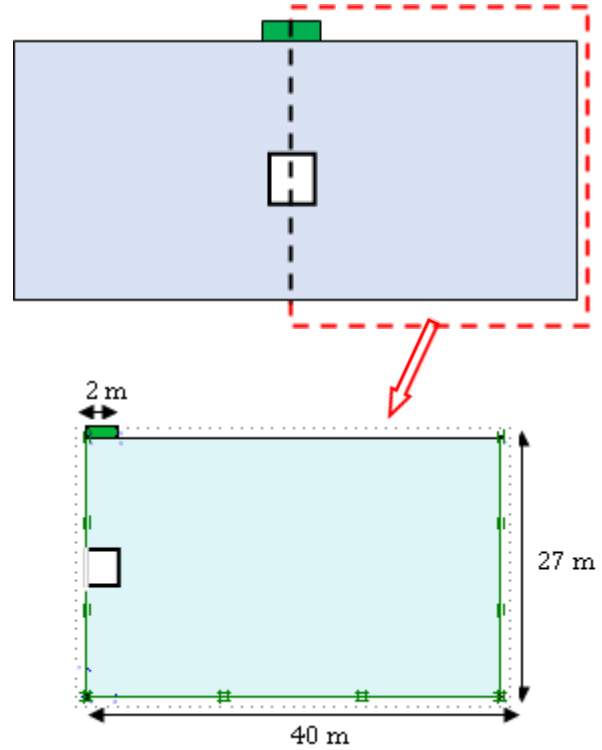


Figure. 2. Geometry of the model

Table I.  
Geotechnical Properties

Symbol	Parameters	Soil	foundation
	Model of behavior	M-C	Non-porous elastic liner
$\gamma_h$	Bulk density	16.0 (KN/m <sup>3</sup> )	24.0
$\gamma_s$	Saturated density	18.0 (KN/m <sup>3</sup> )	-
$E$	Young's modulus	2.00E+06 (KN/m <sup>2</sup> )	6.680E+07
$\nu$	Poisson's ratio	0.35	0.20
$C$	Cohesion	2	-
$\varphi$	Friction angle	24.0	-

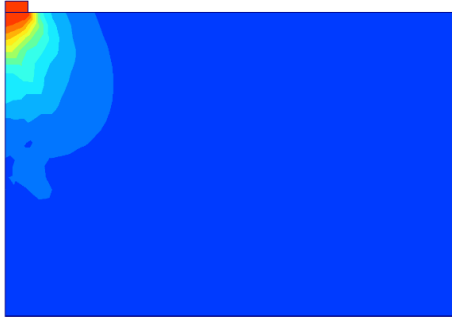
The case studied consists of analyzing the behavior of a ground in the presence of an underground cavity.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

The method of the finite elements axisymmetric model is used to simulate the underground cavity. The presence of an underground cavity in a land with two phases, the first without a foundation and the second with a foundation, is investigated in this study through a series of modeling. We are interested in the influence of the three following parameters:

- 1) Variation in the distance (D) between the underground cavity and the earth's free surface (Figure 5(a)).
- 2) Change in the width (L) of the cavity (Figure 8, a);
- 3) Change in the height of the underground cavity (Figure 12, a).

The following figure shows the modeling of the ground displacement field with a foundation without underground cavity the total displacement is 0.012 m.

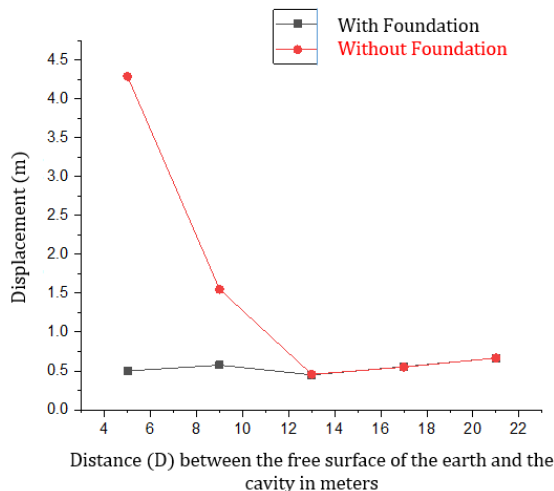


**Figure 3.** Ground displacement field with the presence of a foundation without cavity

The study is framed in these parameters by the effect of the cavity's distance D on the total displacement of the ground.

*A. The Effect of the Distance (D) Between the Cavity and the Free Surface of the Earth*

In this paper, we recall that the shape, width, and height (3 m and 3 m, respectively) are fixed, and the change in distance D only occurs between 5 m and 21 m (see Figure 5 a), with and without foundation. The sensitivity study of a distance parameter on the total displacement gives the results in the following graph:

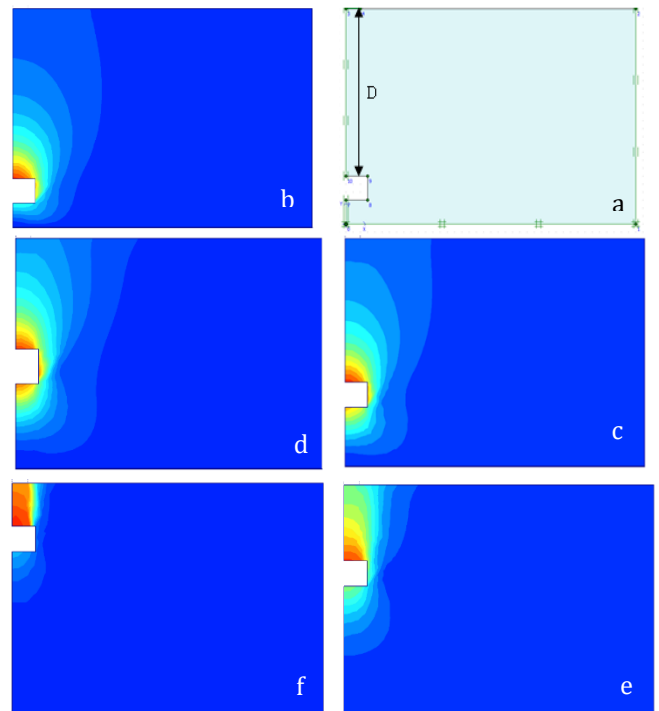


**Figure 4.** Ground displacement under the effect of distance D with and without foundation

1) Without foundation: it is noticed that the displacements are almost the same between 0.67 m and 0.50 m, so the presence of the cavities without weight (exploitation or permanent) influences (the instability) collapse of the underground cavities.

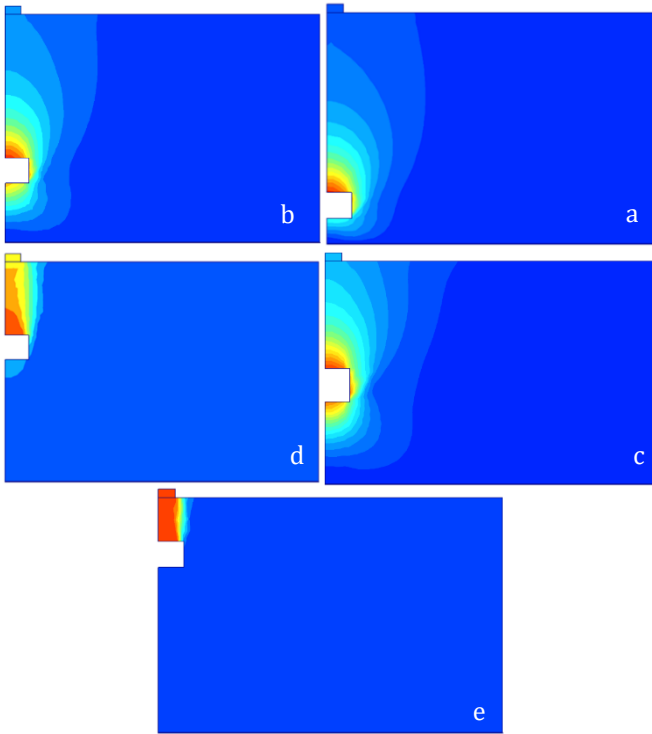
2) With a foundation: if the underground cavity is very close (5-11 m) to the free surface of the earth, the displacements will be very large up to 4.29 m

Considering that the total displacements were nearly the same from 13 m to 21 m with and without the foundation, these results indicate that the influence of this weight (the foundation) ended at 13 m.



**Figure 5.** Displacement fields without foundation with change of distance D (b = 21, c = 17, d = 13, e = 9, f = 5 m)

Figure (5, b) depicts the effect of the distance D (21 m) on the total displacement of the ground without foundation; it depicts the displacement spindle around the underground cavity and the weak displacements on the earth's free surface. Figures (5, c, and d) show the importance of the displacement on the free surface of the ground with D = 17 and 13 m. On the other hand, figures (5, e, and f) illustrated the distances D = 5 m and 9 m and the situation of the large displacement of the free surface of the ground above the underground cavity, indicated by the red color.



**Figure 6.** Displacement fields in the presence of a foundation with change in distance D (a = 21, b = 17, c = 13, d = 9, e = 5 m)

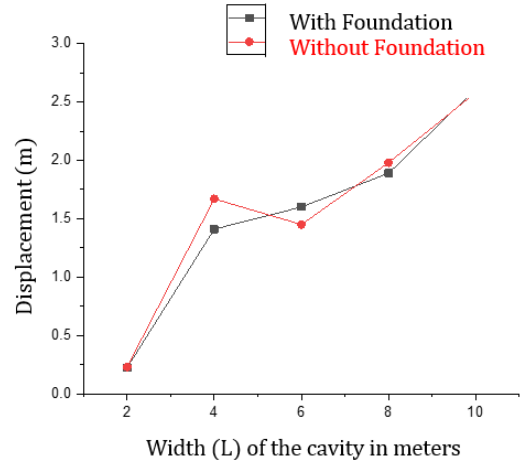
In the presence of a foundation with the same characteristics and distances, the models are shown in Figure 6. The free surfaces of the earth are influenced by the distance D (21, 17 and 13 m), as shown in Figure 6 (a, b, and c), and the displacements are significant. In figures (6 d and e), the displacement field on the free surface is a little bit smaller compared to figures (6 a, b, and c), but the displacement is big between the underground cavity and the foundation because of the small distance D (5 m).

### B. The Effect of the Width (L) of the Underground Cavity

For the evaluation of the total ground displacement and the deformation field, we change the width L of the underground cavity each time; we recall that the cavity of 1 m height and distance D 11 m are fixed; in this part of the modeling, the change of width is between 2 and 10 m (see Figure 8 a), in this modeling series of courses with and without foundation.

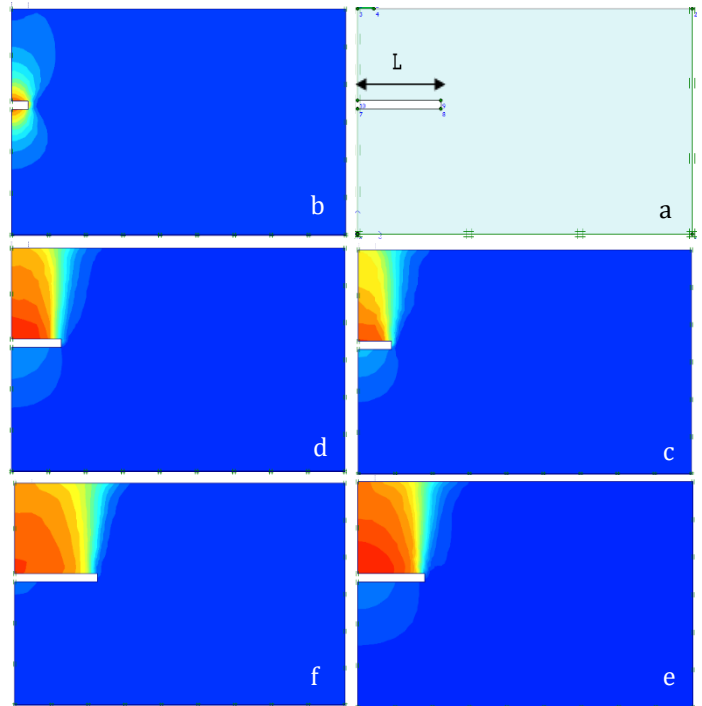
The results of the different calculations are shown in this graph (Figure 7). It shows an almost linear increase in the total displacement of the ground without foundation for a variable cavity width (2 m, up to 10 m) and fixed height H (1 m). Thus, with the increasing

width of the underground cavity, the displacement increases progressively.



**Figure 7.** Displacement due to change in width L with and without foundation

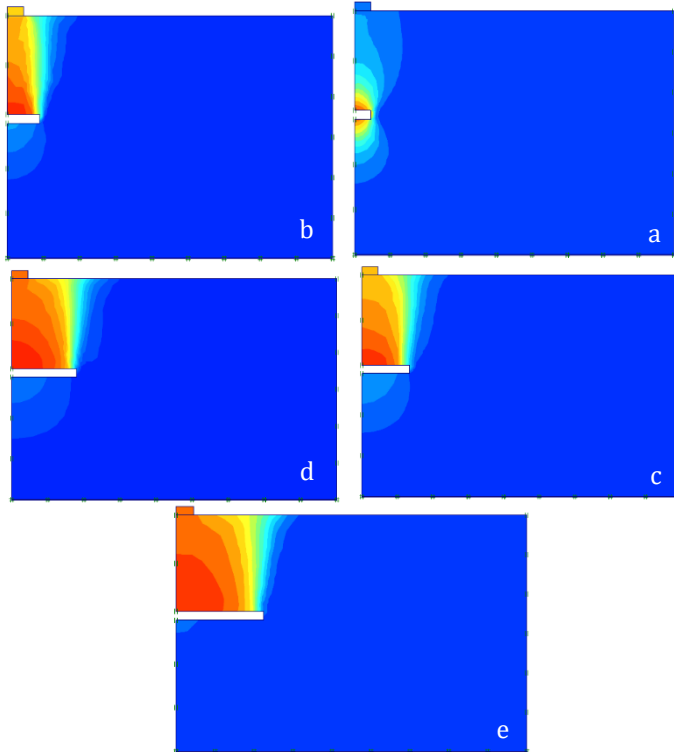
Modeling with foundation almost the same remarks with the previous series of modeling (without foundation), increase of displacements with enlargement of the width of the underground cavity, in modeling of 6 m width the displacement a little small than the displacement of same width without foundation. The maximum displacement in this modeling is 2.61 m.



**Figure 8.** Displacement fields without foundation with change in width L (b = 2, c = 4, d = 6, e = 8, f = 10 m)



In this section, we will present a study that allows us to better understand the effect of changes in cavity width (L) on the deformation field and the total shape of the earth (Figure 8). In Figure (8 b), small displacements around the underground cavity are observed in relation to other shapes, while Figures (8 c, d, e, and f) present a proportional increase in the deformation of the ground with the increase in the width of the underground cavity.

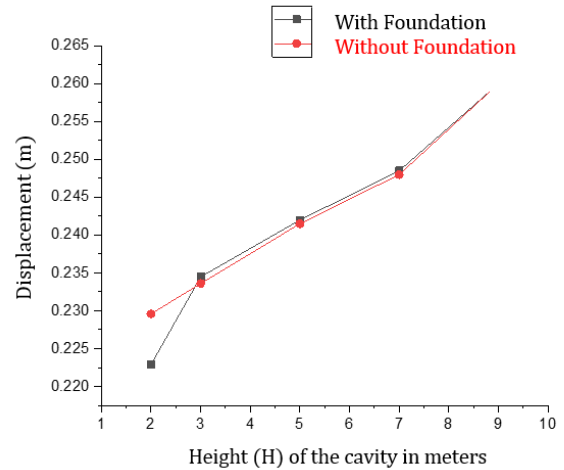


**Figure 9.** Displacement fields in the presence of a foundation with a change in width L (a = 2, b = 4, c = 6, d = 8, e = 10 m)

### C. The Effect of the Height (H) of the Underground Cavity

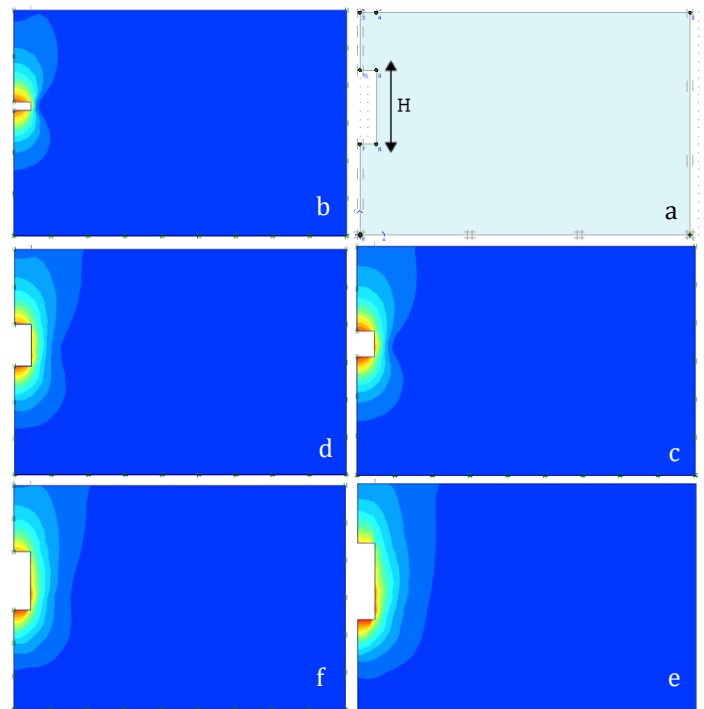
Finally, this part concerns the influence of the height of the underground cavity on the total displacement of land and the form of deformation. Currently, in this section of the modeling, the change will be in the height H only, and this change will be between 2 and 9 meters, as shown in Figure 11 a. the first without foundation and the second in the presence of a foundation.

The results of the different calculations are shown in this graph (Figure 10), shows a linear increase in displacement for a variable height H (between 2 m and 9 m).



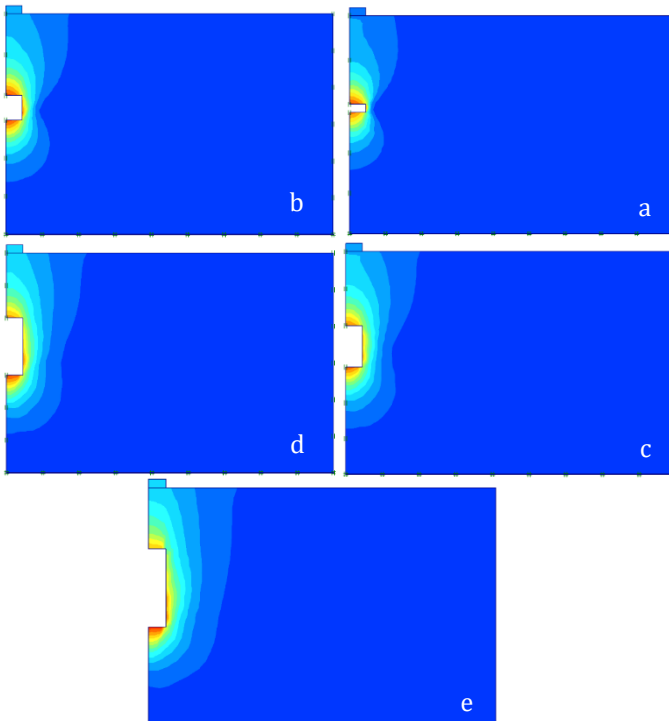
**Figure 10.** Displacement due to change in H-height with and without foundation

The results of the total displacements with and without foundation illustrated that the displacements increase with an increase in the height of the underground cavity. We also notice that in the height of 2 m with a foundation, the displacement is a little larger than in the modeling without a foundation, and the other modeling is almost the same.



**Figure 11.** Displacement fields without foundation with change of H (b = 2, c = 3, d = 5, e = 7, f = 9 m)

In the models of underground cavities without foundation, we fixed the width of this cavity (2 m) and changed the height  $H$  of the cavity. Figure 11 b) depicts the kinematics of the deformation field around the opening; on the other hand, in figures 11 c, d, e, and f, with an increase in height  $H$ , we also have an increase in the deformation field on the free surface of the earth.



**Figure. 12.** Displacement fields in the presence of a foundation with a change in height  $H$  ( $a = 2$ ,  $b = 3$ ,  $c = 5$ ,  $d = 7$ ,  $e = 9$  m)

Now we are interested in the influence of the foundation and the modification of the height  $H$  of the underground cavity on the total ground displacement and the deformation shape. In this section of the modeling, we see the same effects as in the series of models without foundation, but with the influence of foundation at the free surface level, we see an amplification of the deformation field on the ground's free surface.

#### IV. CONCLUSION

In this paper, we determine the instability (collapse), displacements, and deformation field of the cavity ground, with and without the presence of a foundation. The method used is the finite element method by the Plaxis code, with the aim of verifying the effect of the distance  $D$  between the underground cavity and the free

surface of the earth, the height  $H$ , and the width  $L$  of the cavity. Our results showed:

##### A. The influence of the distance $D$ :

- 1) The results show that the displacement increases with the cavity near the free surface of the earth, for a smaller distance, the displacement becomes larger;
- 2) The deformation field will be very remarkable and indicates the collapse of the underground cavity

##### B. The influence of width $L$ :

- 1) The displacement is almost proportional to the increase in the width of the underground cavity;
- 2) We notice that there are remarkable effects on the fields of ground deformations without and with foundations because of influence of width of underground cavity, we also notice the collapse of the underground cavity once we increase width of this cavity.

##### C. The influence of the height $H$ :

- 1) After a series of numerical modelling, the results indicate a linear increase of displacement for an increase of height  $H$ .
- 2) The results of height change with presence or absence of foundations, give different collapse (destabilization) regimes of underground cavities, deformation fields in continuous increase i.e. displacement in accordance with height.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research is carried out and funded in the context of the project "Interaction of geotechnical structures with their environments". Under the proposals "University Formation Research Project (PRFU)". The project approval code is: A01L02UN080120200002. We thank all member of this research.

#### REFERENCES

- [1] Minh Tuan Pham. thèse de doctorat. "Granular Platform Reinforced By Geosynthetics Above Cavities: Laboratory experiments and numerical modeling of load transfer mechanisms". Université Grenoble Alpes. 2016.
- [2] Taleb H.A, Guemidi I. "The influence of fissured material on tunnel stability (a numerical study)". *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, No 6, <https://doi.org/10.33271/nvngu/20226/059>, 2022.
- [3] Taleb H.A, Cheriet F, Azzouzi Oue, Ledjdel H. "Two Dimensional Numerical Analysis of Tunnel by the Finite Element Method: Evaluation Case of "Djelfa, Algeria"".



*International Journal of Advanced Studies in Computer Science and Engineering*. Volume 11, Issue 06, 2022.

[4] Guemidi I, Taleb H.A, Elbahi B, Ahmed M. K. M, “A Numerical Study Using a Two-Dimensional Finite Elements Method to Analyze the Stability of Seven Tunnel Transversal Sections”. *International Journal of Advanced Studies in Computer Science and Engineering*. Volume 11, Issue 08, 2022.

[5] Chitaranjan, Pany. (2022). Investigation of Circular, Elliptical and Obround Shaped Vessels by Finite Element Method (FEM) Analysis under Internal Pressure Loading, *Journal of Scientific Technology and Engineering Research*, 3(1): 24-31.DOI: 10.53525/jster.1079858

[6] Taleb H.A, Guemidi I. “numerical modelling of the Position of the New Tunnel and Their Effect on the Existing Tunnel”. *International Journal of Innovative Research in Sciences and Engineering Studies (IJIRSES)* Volume: 3, Issue: 1, 2023.









[7] Département du nord. Le risque mouvement de terrain. 2009.

[8] 2<sup>eme</sup>”Rencontre Nationale Prévention des risques liés aux effondrements de cavités souterraine”. Actes du colloque. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. République Française, 14. Octobre. 2015.

[9] Available at :<https://www.solscope.fr/zoom-technique-approche-globale-des-problematiques-de-cavites-souterraines.b18-363.htm>, 2021.

RESEARCH ARTICLE

# Determination of The Effects of Red And Infrared Light On Keratinocyte (HaCaT) And Fibroblast Cell Line (Human Dermal Fibroblast HDFa) Combined With Hypochlorous Acid Application

<sup>1</sup>  Betül Şahin, <sup>2</sup>  Başak Ünver Koluman, <sup>3</sup>  Mücahit Seçme, <sup>3</sup>  Yavuz Dodurga, <sup>4</sup>  Gülçün Abban Mete, <sup>1,\*</sup>  Mustafa Köse, <sup>1</sup>  Mahmed Sari Njjar, <sup>1</sup>  Ahmet Koluman

<sup>1</sup>Pamukkale University, Faculty of Technology, Biomedical Engineering, Denizli, Turkey  
*bsahin15@posta.pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7071-3845 - mkose151@posta.pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1848-4317*  
*sari.njjar@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2494-1086 - akoluman@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5308-8884*

<sup>2</sup>Pamukkale University Faculty of Medicine, Department of Hematology, Denizli, Turkey  
*bkoluman@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1106-5021*

<sup>3</sup>Pamukkale University Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Denizli, Turkey  
*msecme@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2084-760X - ydodurga@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4936-5954*

<sup>4</sup>Pamukkale University Faculty of Medicine, Department of Histology and Embryology, Denizli, Turkey  
*gabban@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6794-3685*

## HIGHLIGHTS

- Investigation of cell growth enhancement in red, and infrared light treatment at various wavelengths in photobiomodulation
- Evaluation of the number of reproduction of two different cell cultures by applying red light, and infrared light for a specified period of hypochlorous acid
- The importance of faster diagnosis, and treatment of patients' wounds, and the importance of the telemedicine approach that can result in these processes more quickly

## Keywords:

- Wound healing
- Hypochlorous acid
- Red light
- LED
- Dermal Fibroblast

## GRAPHICAL ABSTRACT

Injury is one of the most common health problems people face in daily life. Finding, and that removing the reasons of wound healing delays helps to speed up the healing process. However, the inability of people living far from health institutions to access health services, increasing health costs, and poorly managed wounds can lead to the development of chronic wounds after a while. The aim of this study was to investigate the in vitro effects of red LED light, infrared LED light, and hypochlorous acid on two different cell types. A low-cost, and portable optical setup was designed for the study. Red light, infrared light, hypochlorous acid, and the combination of these lights with hypochlorous acid were applied to the keratinocyte cell line (HaCaT), and fibroblast cell line (BJ). At the end of the experiment, keratinocyte, and fibroblast cells reacted differently to the treatments. An increase was observed in keratinocyte after 48, and 72 hours, while a decrease in the fibroblast cells. The ability of photobiomodulation to promote wound healing is due to the increased proliferation of cells. We think that the data we have obtained can help to wound healing in health fields.

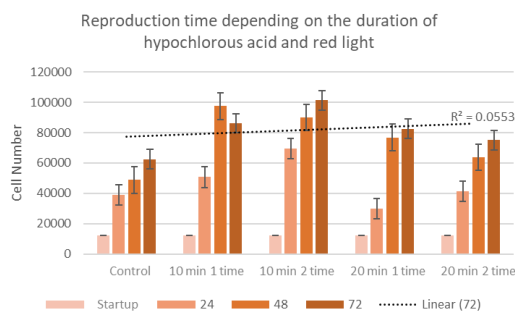


Figure A. Reproduction time depending on the duration of hypochlorous acid and red light

## Article Info:

Received : 07 January 2023

Accepted : 03 February 2023

## DOI:

10.53525/jster.1230846

## \*Correspondence:

Mustafa KÖSE,

mkose151@posta.pau.edu.tr

Phone: +90 538 3854587

**Aim of Article:** The aim of this study is to investigate the in vitro effects of red LED light, infrared LED light and hypochlorous acid on two different cell types.

**Theory and Methodology:** It was aimed to observe the changes in the number of reproductions of two different cell cultures by applying red light and infrared light with hypochlorous acid at specified times and to determine the parameters that provide the highest reproduction.

**Findings and Results:** Keratinocyte and fibroblast cells reacted differently to the treatments. An increase was observed in keratinocyte after 48 and 72 hours, while a decrease in the fibroblast cells.

**Conclusion:** The ability of photobiomodulation to promote wound healing is due to the increased proliferation of cells. We think that the data we have obtained can help to wound healing in health fields.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

# Kırmızı ve Kızılötesi Işığın Hipokloröz Asit Kombine Uygulamalarının ile Keratinosit (HaCaT) ve Fibroblast Hücre Hattı (Human Dermal Fibroblast HDFa) Üzerinde Etkilerinin Belirlenmesi

<sup>1</sup> Betül Şahin, <sup>2</sup> Başak Ünver Koluman, <sup>3</sup> Mücahit Seçme, <sup>3</sup> Yavuz Dodurga, <sup>4</sup> Gülçün Abban Mete, <sup>1,\*</sup> Mustafa Köse, <sup>1</sup> Mahmed Sari Njjar, <sup>1</sup> Ahmet Koluman

<sup>1</sup>Pamukkale University, Faculty of Technology, Biomedical Engineering, Denizli, Turkey  
*bsahin15@posta.pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7071-3845*  
*mkose151@posta.pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1848-4317*  
*sari.njjar@hotmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2494-1086*  
*akoluman@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-5308-8884*

<sup>2</sup>Pamukkale University Faculty of Medicine, Department of Hematology, Denizli, Turkey  
*bkoluman@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1106-5021*

<sup>3</sup>Pamukkale University Faculty of Medicine, Department of Medical Biology, Denizli, Turkey  
*msecme@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2084-760X*  
*yododurga@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4936-5954*

<sup>4</sup>Pamukkale University Faculty of Medicine, Department of Histology and Embryology, Denizli, Turkey  
*gabban@pau.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6794-3685*

## Alıntı / Citation :

Şahin, B., Koluman, B.Ü., Seçme, M., Dodurga, Y., Mete, G.A., Köse, M., Njjar, M.S., Koluman, A. (2023) *Determination of The Effects of Red And Infrared Light On Keratinocyte (HaCaT) And Fibroblast Cell Line (Human Dermal Fibroblast HDFa) Combined With Hypochlorous Acid Application*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(1): 17-29.  
DOI: 10.53525/jster.1230846

## ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Fotobiyomodülasyonda çeşitli dalga boylarında kırmızı ve kızılötesi ışık tedavisinde hücre büyümesini artırdığı araştırılması
- Hipokloröz asitin belirlenen sürede kırmızı ışık ve infrared ışık uygulanarak iki farklı hücre kültürünün üreme sayısındaki değişikliklerin değerlendirilmesi
- Hastaların yaralarda, teşhis ve tedavi süreçlerinin daha hızlı gerçekleştirilmesi ve teletıp yaklaşımının bu süreçleri daha hızlı şekilde sonuçlanabileceğinin önemi

## Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 7 Ocak 2023

Kabul Tarihi : 3 Şubat 2023

DOI: 10.53525/jster.1230846

### \*Sorumlu Yazar /

Correspondence Author

Mustafa KÖSE,

mkose151@posta.pau.edu.tr

Tel: +90 538 3854587

## ÖZET / ABSTRACT

Yaralanma, gündelik yaşamda insanların sık karşılaştığı sağlık sorunları arasında yer almaktadır. Yaralarda iyileşmeyi engelleyen sebeplerin bulunması ve bu sebeplerin ortadan kaldırılması iyileşme sürecinin hızlandırılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak sağlık kuruluşlarına uzak yaşayan insanların sağlık hizmetine ulaşamaması, artan sağlık maliyetleri ve iyi yönetilemeyen yaralar, bir süre sonra kronik yaranın gelişmesine yol açabilmektedir. Bu çalışmanın amacı kırmızı LED ışık, infrared LED ışık ve hipokloröz asidin iki farklı hücre tipi üzerindeki in vitro etkilerini araştırmaktır. Çalışmada uygulama için düşük maliyetli ve taşınabilir optik düzenek hazırlanmıştır. Keratinosit hücre hattına (HaCaT) ve fibroblast hücre hattına (BJ) kırmızı ışık, infrared ışık, hipokloröz asit ve bu ışıkların hipokloröz asit ile kombinasyonu uygulanmıştır. Deneyin sonunda keratinosit ve fibroblast hücreleri uygulamalara farklı tepki gösterdiği ortaya konulmuştur. Keratinosit hücrelerinde 48 ve 72 saat sonra artış gözlemlenirken fibroblast hücrelerinin üremelerinde azalma gerçekleşti. Fotobiyomodülasyonun yara iyileşmesini destekleme kabiliyeti, hücrelerin üremesindeki artışa bağlıdır. Elde ettiğimiz veriler ile sağlık alanlarında yara iyileşmesine katkı yapabileceğini düşünmekteyiz.

**Anahtar Kelimeler:** Yara iyileşmesi, hipokloröz asit, red light, LED



## I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Deri, yüzey alanı bakımından insan vücudunda bulunan en büyük organdır. Deriler iç organları ve dokuları sıcaklıktan, enfeksiyondan ve mekanik hasardan korumaktadır [1]. Fakat kimyasal, fiziksel veya hastalıklar gibi farklı nedenlerle deri bütünlükleri bozulmakta ve tahrip olmaktadır. Bunun sonucunda ise dokuların ya da organların fizyolojik özellikleri tamamen veya geçici olarak kaybolmaktadır. Bu durum yara olarak tanımlanmaktadır. Ciltte yaralanmanın şiddetine ve yaralanan bölgenin özelliğine göre farklı derecelerde yaralar oluşabilmektedir. Yaralarda derinliğin artması iç organların ve dokuların etkilenme oranını artırmaktadır [2, 3]. Bunun yanı sıra yaraların sağlık ekonomisi üzerinde de önemli etkisi bulunmaktadır. Sadece Amerika'da iyileşmeyen yaralar için yaklaşık 50 milyar dolar, cerrahi yaralar için yaklaşık 12 milyar dolar ve yanıklar için de yaklaşık her yıl 7,5 milyar dolarlık maliyet oluşmaktadır [2]. Herhangi bir travma ile hasar alan dokuların sıralı biyokimyasal ve hücrel proseler ile fonksiyonel ve anatomik özelliklerini geri kazanması sürecine yara iyileşmesi denilmektedir. İyileşme süreci yaralanmadan hemen sonra başlamaktadır ve bu süreçte özel bir sıra takip edilerek yaralar mümkün olduğunca kısa sürede kapatılmaktadır. Yara gerilim kuvvetinin normal düzeyine getirilmesi bu süreçlerin temel amacı arasında bulunmaktadır [4, 5]. Yara iyileşme süresi yaralanan bölgeye, yaranın büyüklüğüne ve yaranın ciddiyetine göre değişiklik göstermektedir. Buna ek olarak radyoterapi, kemoterapi, büyüme faktörleri ve sitokinler, genetik bozukluklar, beslenme gibi faktörler de yara iyileşmesini etkilemektedir. Yara iyileşmesinin uzun sürmesi yaralarda enfeksiyon riskini artırmaktadır. Sağlıklı bir yara iyileşmesi için, dokunun iyi beslenmesi ve nemlenmesi gerekmektedir [4, 6]. Yara iyileşmesi genellikle dört aşamada tanımlanmaktadır. Bunlar sırasıyla hemostaz, inflamasyon, proliferasyon ve remodelizasyon (maturasyon) şeklindedir. Bu aşamaların kesin sınırları bulunmamaktadır. Her bir evre birbiriyle iç içe geçebilmektedir. Akut yaralarda bu evreler sorunsuz bir şekilde düzenli olarak ilerlemektedir. Kronik yaralarda ise benzer şekilde iyileşme süreci başlatılacak, ancak inflamasyon, proliferasyon ve maturasyon evrelerinin sürelerinde artış gözlenecektir [7]. Fotobiyomodülasyon (PBM), düşük seviyeli ışık tedavisi olarak da bilinmektedir. Bu teknikte görünür ve kızılötesi spektrumda lazer ve ışık yayan diyotlar (LED) ışık kaynaklarının iyonlaştırıcı olmayan formlarının kullanılmasıyla hücrelerde fotokimyasal olaylar meydana getirilmektedir [8]. Fotobiyomodülasyon, düşük güç kullanılması nedeniyle dokuda belirgin bir sıcaklık artışına neden olmamaktadır [9]. Kırmızı ve kızılötesi

ışığın vücuttaki fizyolojik etkileri birbirine benzemektedir. Bu iki ışığın arasındaki fark, kızılötesi ışığın vücutta kırmızı ışığa göre daha derin nüfuz edebilmesidir. Bilimsel araştırmalarda en terapötik olan kırmızı ve kızılötesi ışığın dalga boyları sırasıyla 620-700 nm ile 700-1000 olduğu bildirilmektedir [10]. Bu tedavi yangısal cevabı azaltmak, ağrıyı hafifletmek, doku onarımını teşvik etmek amacıyla kullanılmaktadır. Fotobiyomodülasyonun hayvan deneylerinde ve klinik çalışmalarda yara iyileşmesini hızlandırdığı, mitokondriyal metabolizmayı artırdığı, ATP üretimini artırdığı, anti-enflamatuar hareket sağladığı, damar oluşumunu artırdığı gözlenmiştir [9, 11]. İn-vitro çalışmalarda kırmızı ve kızılötesi ışıkları; fibroblast, lenfosit, iskelet kası hücreleri, insan epitel hücreleri, endotel hücre, miyoblast, keratinosit, osteoblast gibi hücre tiplerinin çoğalmasında uyardığı gösterilmektedir [10]. Hipokloröz asit, bakteri ve virüs gibi yabancı varlıkların istilasına yanıt olarak, bağışıklık sisteminin ayrılmaz bir parçası olan nötrofiller tarafından doğal olarak üretilmektedirler. Son 15 yılda Hipokloröz asit (HOCl) solüsyonları sitotoksikite olmaksızın hem antimikrobiyal hem de yara iyileştirici özellikler göstermiştir [12]. Yapılan araştırmalar, güçlü antimikrobiyal özellikleri, anti-enflamatuar etkileri ve biyofilmleri parçalama yeteneği nedeniyle HOCl solüsyonlarının yara ve skar yönetiminde potansiyel bir araç sunduğunu göstermektedir [13]. Çalışmalarla desteklenen HOCl'nin bakterilere, virüslere ve mantarlara karşı olan etkisinin, yara bakımında prosedür öncesi ve sonrası bir antiseptik ve anti-enflamatuar ajan olarak önemli bir potansiyele sahiptir ve antiseptik olarak tercih edilebilecek ilk seçenekler arasında yer almaktadır [12, 14]. Bu çalışmada iki farklı İki hücre hattı üzerine kırmızı ve kızılötesi ışık uygulaması hipokloröz asit ile beraber ve ayrı ayrı uygulanmış ve hücrelerin üreme zamanında ve sayısında değişim incelenmiştir.

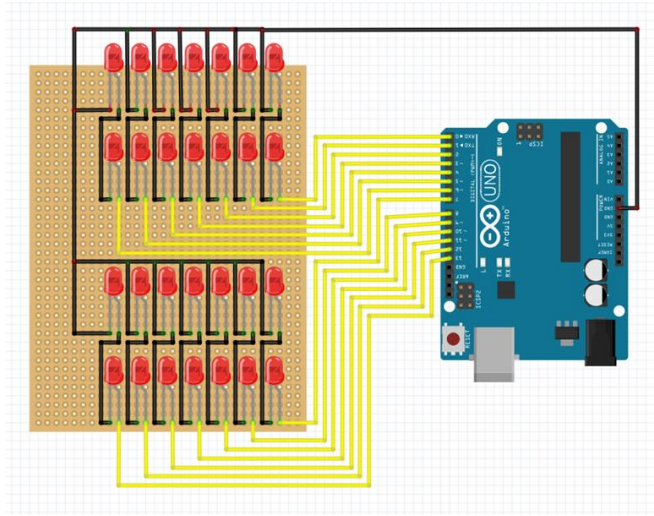
## II. TEORİ VE YÖNTEM [THEORY AND METHODOLOGY]

Bu çalışmada kırmızı LED ışık ve infrared LED ışığın, fibroblast (BJ) hücre hattı ile keratinosit (HaCaT) hücre hattı 37 °C'de %95 nem ve %5 CO<sub>2</sub>'li etüvde inkübe edilmiştir.

### 2.1. Devre Tasarım

Işık kaynakları için 5 mm boyutunda 625-740 nm dalga boyunda 28 adet kırmızı mantar LED ve 5mm boyutunda 750nm-1mm dalga boyunda 28 adet infrared mantar LED

kullanılmıştır. LED'lerin bağlantı çizimi şekil 1'de gösterilmiştir. LED'ler sadece bir yönde akımı geçirmektedirler. LED'e doğru voltaj uygulandığında P maddesindeki deliklerle N maddesindeki elektronlar birleşim yüzeyinde nötrleşmektedir. Bu elektronlar daha yüksek bir enerji seviyesinden daha düşük bir enerji seviyesine düştüğü için, enerjiyi fotonlar (ışık) şeklinde yaymaktadırlar. LED'lerin yaydığı ışık, LED çipi içerisindeki yarı iletken katkı maddeleri ile ilgilidir. LED'in hangi renkte ışık yayması isteniyorsa galyum, arsenit, alüminyum gibi kimyasal malzemelerden uygun oranda yarı iletken malzemeye katkı yapılmaktadır.



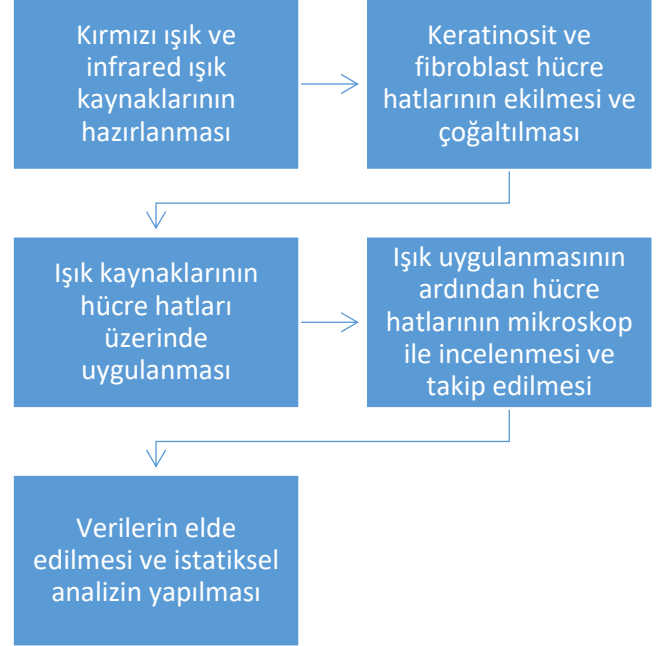
Şekil 1. Bağlantı şeması

## 2.2. Yazılım

Tasarlanan ışık sisteminin yazılımı için gerekli kodlama Software programında hazırlanmıştır.

## 2.3. Uygulama

Bu çalışmada kırmızı LED ışık, infrared LED ışık ve hipokloröz asidin HaCaT hücre hattı ve BJ hücre hat çoğalmaları üzerinde oluşturdukları etki gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma genel olarak beş aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın akış şeması şekil 2'de gösterilmiştir



Şekil 2. Akış şeması

Çalışmada dördü kontrol grubu olmak üzere toplamda 36 grup bulunmaktadır. Çalışmadaki grupları Tablo 1'de belirtilmiştir. Uygulama parametreleri ise sırayla Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5'te belirtilmiştir.

Tablo 1. Kontrol grupları uygulama parametreleri

Kontrol grupları uygulama		
Grup No	Hücre Tipi	HOCl İçeriği
1.	Keratinosit	Yok
2.	Fibroblast	Yok
3.	Keratinosit	Var
4.	Fibroblast	Var

Tablo 2. Keratinosit hücrelere kırmızı ışık uygulama parametreleri

Keratinosit hücrelere kırmızı ışık uygulama						
Grup No	Hücre Tipi	Işık Tipi	Uygulama Süresi	HOCl Asit İçeriği	Günde	
1.	Keratinosit	Kırmızı	10'	Yok	1	
2.	Keratinosit	Kırmızı	20'	Yok	1	
3.	Keratinosit	Kırmızı	10'	Yok	2	
4.	Keratinosit	Kırmızı	20'	Yok	2	
5.	Keratinosit	Kırmızı	10'	Var	1	
6.	Keratinosit	Kırmızı	20'	Var	1	
7.	Keratinosit	Kırmızı	10'	Var	2	
8.	Keratinosit	Kırmızı	20'	Var	2	

**Tablo 3.** Fibroblast hücelere kırmızı ışık uygulama parametreleri

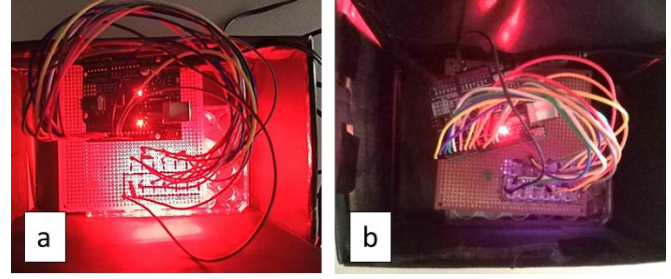
Fibroblast hücelere kırmızı ışık uygulama					
Grup No	Hücre Tipi	Işık Tipi	Uygulama Süresi	HOCl Asit İçeriği	Günde
1.	Fibroblast	Kırmızı	10'	Yok	1
2.	Fibroblast	Kırmızı	20'	Yok	1
3.	Fibroblast	Kırmızı	10'	Yok	2
4.	Fibroblast	Kırmızı	20'	Yok	2
5.	Fibroblast	Kırmızı	10'	Var	1
6.	Fibroblast	Kırmızı	20'	Var	1
7.	Fibroblast	Kırmızı	10'	Var	2
8.	Fibroblast	Kırmızı	20'	Var	2

**Tablo 4.** Keratinosit hücelere infrared ışık uygulama parametreleri

Keratinosit hücelere infrared ışık uygulama					
Grup No	Hücre Tipi	Işık Tipi	Uygulama Süresi	HOCl Asit İçeriği	Günde
1.	Keratinosit	Infrared	10'	Yok	1
2.	Keratinosit	Infrared	20'	Yok	1
3.	Keratinosit	Infrared	10'	Yok	2
4.	Keratinosit	Infrared	20'	Yok	2
5.	Keratinosit	Infrared	10'	Var	1
6.	Keratinosit	Infrared	20'	Var	1
7.	Keratinosit	Infrared	10'	Var	2
8.	Keratinosit	Infrared	20'	Var	2

**Tablo 5.** Fibroblast hücelere infrared ışık uygulama parametreleri

HaCaT ve BJ hücre hatlarının ekimi için 24 kuyucuklu plaklar kullanıldı. Her bir kuyucuğa 1 ml besi yeri eklendi. Önceden çoğaltılan hücreler tripsin-EDTA ile flasklardan kaldırıldı ve aşağıda bildirilen eşitliği kullanılarak her bir kuyucuğa 12000 hücre ekildi. Hücrelerin yüzeye tutunması için bir gün boyunca 37 °C'de %95 nem ve %5 CO<sub>2</sub>'li etüvde inkübe edildi. Hücreler istenilen büyüme oranına yüzeyde %80-90 confluency olduğunda, tablolarda belirtilen gruplara 2 ppm hipokloröz asit eklendi ve hücreler bir gün daha inkübatörde bekletildi. Bu işlemin ardından optik düzenek, ekilen hücelere 1 cm uzaklıkta olacak şekilde ayarlandı ve her bir grup için tablolarda belirtilen ışık parametreleri uygulandı. Şekil 3'te hücre kültürlerine kırmızı ve infrared ışığın uygulanması gösterilmiştir. Hücre kültürlerine mümkün olduğunca karanlık ortamda ışık verilmesine özen gösterildi. Işıklar verildikten sonra sırasıyla hücrelerin 24, 48 ve 72 saat sonra gösterdikleri değişiklikler mikroskop ile incelendi.



**Şekil 3.** Hücre kültürlerine a) kırmızı ve b) infrared ışığın uygulanması

Hücreler incelendikten sonra sayım işlemine geçildi. Öncelikle kuyucuklarda bulunan besiyerleri pipetle uzaklaştırıldı ve 500 µl PBS ile yıkandı. Ardından kuyucuklara 400 µl tripsin-EDTA ilave edilerek hücreler kaldırıldı. Tripsin-EDTA'nın üzerine 600 µl besiyeri ilave edildi ve oluşan hücre süspansiyonu 2 ml'lik eppendorf tüplere aktarıldı. Steril 0.5 ml'lik eppendorf tüpüne 50 µl tripan mavisini ve 50 µl hücre süspansiyonu eklenerek 1:1 oranında karışım elde edildi. Bu karışımdan 10 µl alındı ve Thoma lamı üzerine aktarıldı. Thoma lamına aktarılan karışımın invert mikroskopta 4X büyütmede sayımı gerçekleştirildi. Thoma lamında mavi olarak işaretlenmiş 4 büyük alan sayıldı. Hücrelerin konsantrasyonu (1) aşağıdaki eşitliği kullanılarak hesaplandı.

$$\text{Hücre Konsantrasyonu (hücre/ml)} = \frac{\text{Hücre sayısı} \times 10.000}{\text{Alan sayısı} \times \text{Dilüsyon faktörü}} \quad (1)$$

### III. BULGULAR [RESULTS]

#### Fibroblast hücelere infrared ışık uygulama

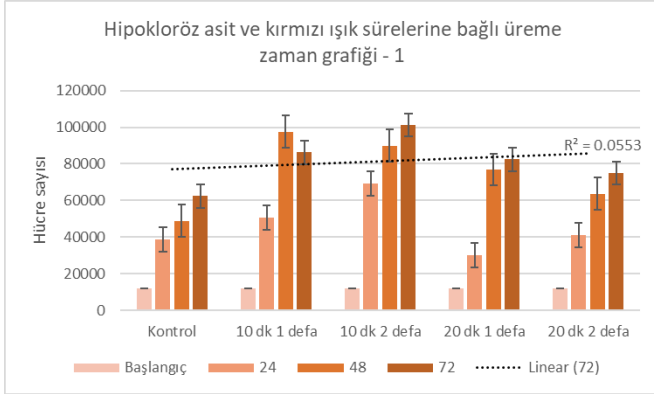
Grup No	Hücre Tipi	Işık Tipi	Uygulama Süresi	HOCl Asit İçeriği	Günde
1.	Fibroblast	Infrared	10'	Yok	1
2.	Fibroblast	Infrared	20'	Yok	1
3.	Fibroblast	Infrared	10'	Yok	2
4.	Fibroblast	Infrared	20'	Yok	2
5.	Fibroblast	Infrared	10'	Var	1
6.	Fibroblast	Infrared	20'	Var	1
7.	Fibroblast	Infrared	10'	Var	2
8.	Fibroblast	Infrared	20'	Var	2

Bu çalışmada HaCaT ve BJ hücre kültürleri, hipokloröz asit uygulaması ile birlikte iki farklı ışık kaynağı (kırmızı ve infrared ışık) ile muamele edilerek hücrelerdeki üreme hızlarına bakılmıştır.

#### 3.1. HaCaT Hücre Kültüründe Kırmızı Işık Uygulaması Sonuçları

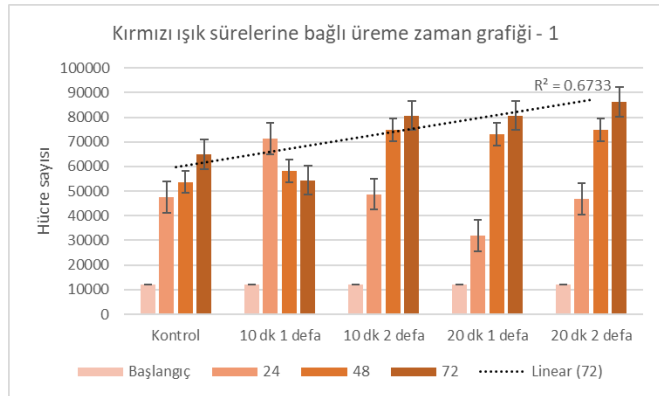


HaCaT hücre kültüründe kırmızı ışık ve hipokloröz asidin beraber uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 4’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Keratinosit hücre kültüründe kırmızı ışık ve hipokloröz asidin farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

Kırmızı ışık ve hipokloröz asit beraber uygulanan HaCaT hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda kontrol grubuna göre tüm gruplarda hipokloröz asit eklenmesinin önemli ölçüde etkisi olduğu, buna ek olarak kırmızı ışık verilen gruplarda da 20 dakika 1 defa uygulanan grubun 24. saati hariç diğer gruplarda belirgin bir artış olduğu gözlemlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ). Buna bağlı olarak saatler bazında bakıldığında en belirgin hücre artışını 10 dakika 2 defa uygulanan hücre gruplarında 72. saatte belirlenmiştir. HaCaT hücre kültüründe kırmızı ışık uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 5’te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Keratinosit hücre kültüründe kırmızı ışığın farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

Sadece kırmızı ışık uygulanan HaCaT hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda 20 dakika 1 defa ve 20 dakika 2 defa uygulamalarının 24. saati ile 10 dakika 1 defa uygulamasının 72. saati hariç diğer uygulama gruplarında kontrol grubuna göre belirgin bir artış gözlemlenmiştir

( $p \leq 0.05$ ). Buna bağlı olarak saatler bazında bakıldığında en belirgin hücre artışı 20 dakika 2 defa uygulanan hücre gruplarında 72. saatte belirlenmiştir. Kırmızı ışık uygulamasından elde edilen verilere bakıldığında 72. saatte hipokloröz asit ekli grupta 10 dakika 2 defa uygulamada 101.000 hücre sayılmışken hipokloröz asit içermeyen grupta 72. saatte 80.625 hücre sayılmıştır. Her iki hücre sayımı da kontrol grubuna göre yüksek olmakla beraber hipokloröz asit eklenen grupta belirgin bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak hipokloröz asit ekli kırmızı ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 6’de belirtilmiştir.

**Tablo 6.** Hipokloröz asit ekli kırmızı ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit ekli kırmızı ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat
10 dakika 1 defa	4,22	8,12	7,19
10 dakika 2 defa	5,78	7,5	8,44
20 dakika 1 defa	2,5	6,41	6,88
20 dakika 2 defa	3,44	5,31	6,25

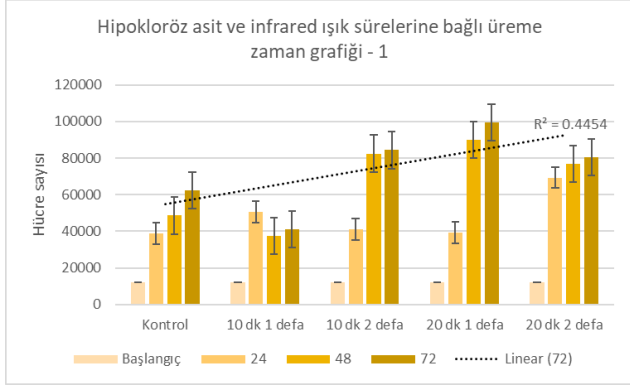
Benzer şekilde hipokloröz asit içermeyen kırmızı ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 7’de belirtilmiştir.

**Tablo 7.** Hipokloröz asit içermeyen kırmızı ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit içermeyen kırmızı ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat
10 dakika 1 defa	5,96	4,84	4,53
10 dakika 2 defa	4,06	6,25	6,72
20 dakika 1 defa	2,66	6,09	6,72
20 dakika 2 defa	3,91	6,25	7,19

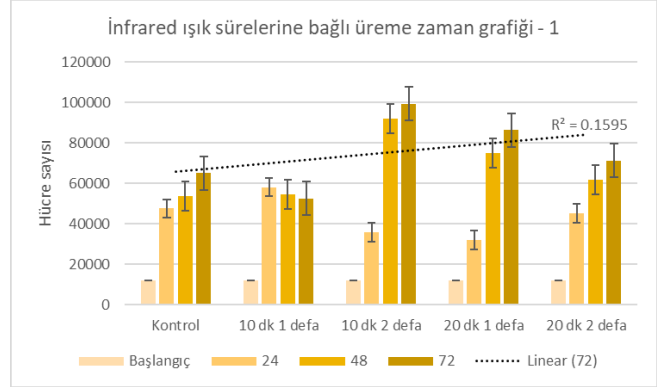
### 3.2. HaCaT Hücre Kültüründe İnfrared Işık Uygulaması Sonuçları

HaCaT hücre kültüründe infrared ışık ve hipokloröz asidin beraber uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 6’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Keratinosit hücre kültüründe infrared ışık ve hipokloröz asidin farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

İnfrared ışık ve hipokloröz asit beraber uygulanan HaCaT hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda kontrol grubuna göre tüm gruplarda hipokloröz asit eklenmesinin olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak infrared ışık verilen gruplarda da 10 dakika 1 defa uygulanan grubun 48. saati ve 72. saati hariç diğer gruplarda belirgin bir artış olduğu gözlemlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ). Buna bağlı olarak saatler bazında bakıldığında en belirgin hücre artışını 20 dakika 1 defa uygulanan hücre gruplarında 72. saatte belirlenmiştir. HaCaT hücre kültüründe infrared ışık uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 7’de gösterilmiştir. Sadece infrared ışık uygulanan HaCaT hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda ise 10 dakika 1 defa uygulamasının 72. saati, 10 dakika 2 defa uygulamasının 24. saati, 20 dakika 1 defa uygulamasının 24. saati ile 20 dakika 2 defa uygulamasının 24. saatinde kontrol grubuna göre belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte belirtilen gruplar hariç diğer uygulama gruplarında kontrol grubuna göre belirgin bir artış gözlemlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ). Buna bağlı olarak saatler bazında bakıldığında en belirgin hücre artışı 10 dakika 2 defa uygulanan hücre gruplarında 72. saatte belirlenmiştir.



**Şekil 7.** Keratinosit hücre kültüründe infrared ışığın farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

İnfrared ışık uygulamasından elde edilen verilere bakıldığında 72. saatte hipokloröz asit ekli grupta 20 dakika 1 defa uygulamada 99.375 hücre sayılmışken hipokloröz asit içermeyen grupta 72. saatte 86.250 hücre sayılmıştır. Her iki hücre sayısını da kontrol grubuna göre yüksek olmakla beraber hipokloröz asit eklenen grupta belirgin bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, infrared ışık uygulamasından elde edilen verilere göre 72. saatte hipokloröz asit eklenmeyen grupta 10 dakika 2 defa uygulamada 99.375 hücre sayılmışken hipokloröz asit ekli grupta 72. saatte 84.375 hücre sayılmıştır. Yine iki hücre sayımının kontrol grubuna göre yüksek olmasıyla beraber hipokloröz asit eklenmeyen grupta daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ). Bu veriler sonucunda ise 72. saatte hipokloröz asit ekli grubun 20 dakika 1 defa uygulaması ile hipokloröz asit ekli olmayan grubun 10 dakika 2 defa uygulamasının hücre sayılarının eşit olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak hipokloröz asit ekli infrared ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 8’de belirtilmiştir.

**Tablo 8.** Hipokloröz asit ekli infrared ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit ekli infrared ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat
10 dakika 1 defa	4,22	3,12	3,44
10 dakika 2 defa	3,44	6,88	7,03
20 dakika 1 defa	3,28	7,5	8,28
20 dakika 2 defa	5,78	6,41	6,72

Benzer şekilde hipokloröz asit içermeyen infrared ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan

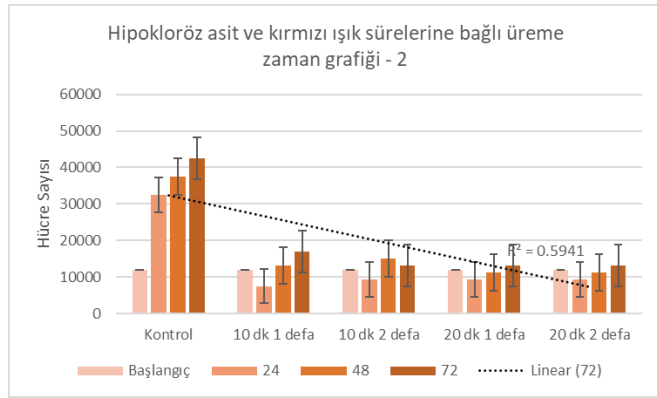
kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 9'da belirtilmiştir.

**Tablo 9.** Hipokloröz asit içermeyen infrared ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit içermeyen infrared ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat
10 dakika 1 defa	4,84	4,53	4,38
10 dakika 2 defa	2,97	7,66	8,28
20 dakika 1 defa	2,66	6,25	7,19
20 dakika 2 defa	3,75	5,16	5,94

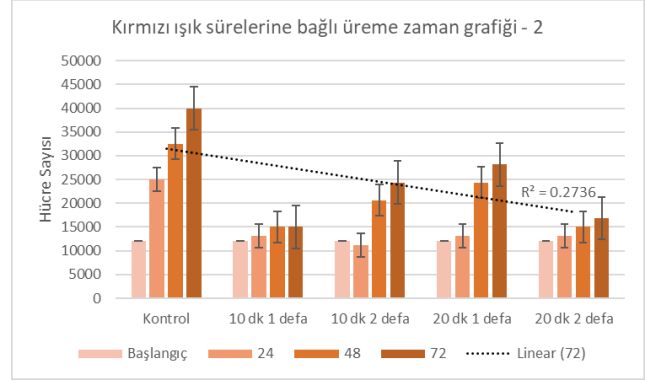
### 3.3. BJ Hücre Kültüründe Kırmızı Işık Uygulaması Sonuçları

BJ hücre kültüründe kırmızı ışık ve hipokloröz asidin beraber uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 8'de gösterilmiştir.



**Şekil 8.** Fibroblast hücre kültüründe kırmızı ışık ve hipokloröz asidin farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

Kırmızı ışık ve hipokloröz asit beraber uygulanan BJ hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda kontrol grubuna göre hipokloröz asit eklemesinin tüm gruplarda olumlu bir etki gözlemlenmemiştir ( $p \leq 0.05$ ). Buna ek olarak kontrol grubuna göre kırmızı ışık verilen gruplarda da belirgin bir hücre artışı gözlemlenmemiştir. BJ hücre kültüründe kırmızı ışık uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 9'da gösterilmiştir.



**Şekil 9.** Fibroblast hücre kültüründe kırmızı ışığın farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

Sadece kırmızı ışık uygulanan BJ hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda kontrol grubuna göre tüm gruplarda belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. Ancak saatler bazında bakıldığında kontrol grubuna en yakın hücre artışı 20 dakika 1 defa uygulanan hücre gruplarında 72. saatte gözlemlenmiştir ( $p \leq 0.05$ ). Kırmızı ışık uygulamasından elde edilen verilere bakıldığında 72. saatte hipokloröz asit içermeyen grupta 20 dakika 1 defa uygulamada 28.125 hücre sayılmışken hipokloröz asit ekli grupta 72. saatte 13.125 hücre sayılmıştır. Hipokloröz asit eklenmeyen grubun hücre sayısı, hipokloröz asit ekli olan grubun hücre sayısından fazla olmasına rağmen kontrol grubuna göre her iki grubun hücre sayısında belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. Buna bağlı olarak hipokloröz asit ekli kırmızı ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 10'da belirtilmiştir.

**Tablo 10.** Hipokloröz asit ekli kırmızı ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit ekli kırmızı ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat
10 dakika 1 defa	0,63	1,09	1,41
10 dakika 2 defa	0,78	1,25	1,09
20 dakika 1 defa	0,78	0,94	1,09
20 dakika 2 defa	0,78	0,94	1,09

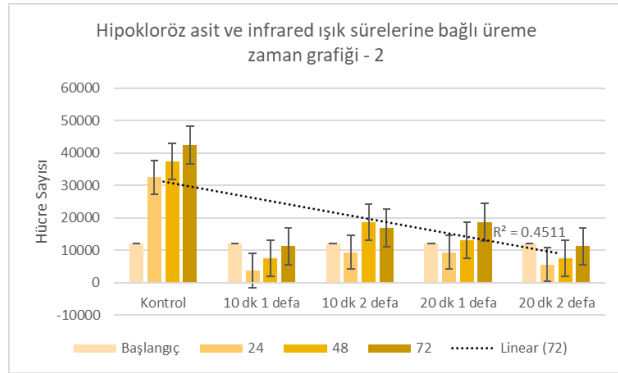
Benzer şekilde hipokloröz asit içermeyen kırmızı ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 11'da belirtilmiştir.

**Tablo 11.** Hipokloröz asit içermeyen kırmızı ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit içermeyen kırmızı ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat
10 dakika 1 defa	1,09	1,25	1,25
10 dakika 2 defa	0,94	1,72	2,03
20 dakika 1 defa	1,09	2,03	2,34
20 dakika 2 defa	1,09	1,25	1,41

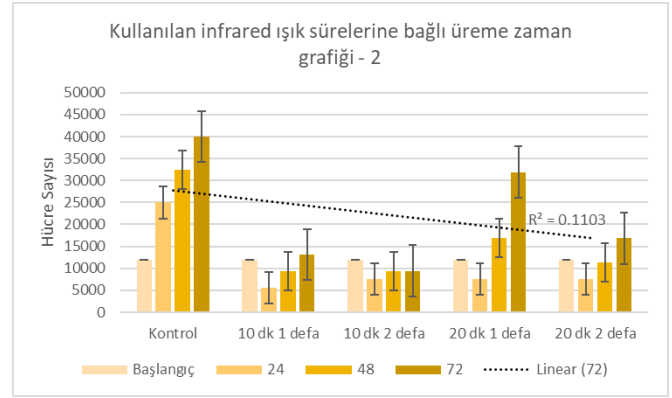
### 3.4. BJ Hücre Kültüründe İnfrared Işık Uygulaması Sonuçları

BJ hücre kültüründe infrared ışık ve hipokloröz asidin beraber uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 10'de gösterilmiştir.



**Şekil 10.** Fibroblast hücre kültüründe infrared ışık ve hipokloröz asidin farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

İnfrared ışık ve hipokloröz asit beraber uygulanan BJ hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda kontrol grubuna göre hipokloröz asit eklemesinin tüm gruplarda olumlu bir etki gözlemlenmemiştir. Buna ek olarak kontrol grubuna göre infrared ışık verilen gruplarda da belirgin bir hücre artışı gözlemlenmemiştir ( $p \leq 0.05$ ). BJ hücre kültüründe infrared ışık uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 11'de gösterilmiştir. Sadece infrared ışık uygulanan BJ hücre kültüründe yapılan analizler sonucunda kontrol grubuna göre tüm gruplarda belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. Ancak saatler bazında bakıldığında kontrol grubuna en yakın hücre artışı 20 dakika 1 defa uygulanan hücre gruplarında 72. saatte gözlemlenmiştir.



**Şekil 11.** Fibroblast hücre kültüründe infrared ışığın farklı uygulama sürelerinde elde edilen hücre sayıları ile bu veriler arasındaki doğrusal regresyon ve belirleme katsayı değeri ( $R^2$ )

İnfrared ışık uygulamasından elde edilen verilere bakıldığında 72. saatte hipokloröz asit içermeyen grupta 20 dakika 1 defa uygulamada 31.875 hücre sayılmışken hipokloröz asit ekli grupta 72. saatte 18.750 hücre sayılmıştır. Hipokloröz asit eklenmeyen grubun hücre sayısı, hipokloröz asit ekli olan grubun hücre sayısından fazla olmasına rağmen kontrol grubuna göre her iki grubun hücre sayısında belirgin bir artış gözlemlenmemiştir ( $p \leq 0.05$ ). Buna bağlı olarak hipokloröz asit ekli infrared ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 12'de belirtilmiştir.

**Tablo 12.** Hipokloröz asit ekli infrared ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit ekli infrared ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat
10 dakika 1 defa	0,31	0,63	0,94
10 dakika 2 defa	0,78	1,56	1,41
20 dakika 1 defa	0,78	1,09	1,56
20 dakika 2 defa	0,47	0,63	0,94

Benzer şekilde hipokloröz asit içermeyen infrared ışık uygulama gruplarının kontrol grubu ile yapılan kıyaslamalarda kaç kat artış gösterdiği Tablo 13'te belirtilmiştir.

**Tablo 13.** Hipokloröz asit içermeyen infrared ışık uygulama gruplarının gösterdikleri artış katsayıları

Hipokloröz asit içermeyen infrared ışık uygulama			
Gruplar	24. saat	48. saat	72. saat



10 dakika 1 defa	0,47	0,78	1,09
10 dakika 2 defa	0,63	0,78	0,78
20 dakika 1 defa	0,63	1,41	2,66
20 dakika 2 defa	0,63	0,94	1,41

#### IV. TARTIŞMA [DISCUSSION]

Fotobiyomodülasyonda çeşitli dalga boylarında kırmızı ve kızılötesi ışık tedavilerinin hücre büyümesini arttırdığı birçok çalışmada gösterilmiştir [15, 16, 17]. Ayrıca hipokloröz asidin de yara iyileşmesine katkısı olduğu bilinmektedir [13, 14, 18]. Kliniklerde ve bilimsel araştırmalarda genellikle LED ışık terapisi ve hipokloröz asidin hücre hatlarındaki biyolojik etkileri ayrı olarak ele alınmıştır. Ancak LED ışık tedavilerinin hipokloröz asitle beraber kullanımına ilişkin bir bilgi literatürde mevcut değildir. Bu çalışmada, literatürde belirtilen olumlu özellikler dikkate alınarak taşınabilir iki adet optik düzenek tasarlanmış olup ışık kaynağı olarak kırmızı ve kızılötesi dalga boylarında ışık yapan LED'ler tercih edilmiştir. Çalışmada sırasıyla epidermis ve dermiste bulunan, iki birincil hücre tipi olan keratinosit ve fibroblast hücre kültürleri, hazırlanan düzenekle kırmızı LED ışık ve infrared LED ışık ile muamele edilmiştir. Kırmızı ışık, infrared ışık ve bu ışıklarla birlikte kullanılan hipokloröz asit uygulamalarının bu hücrelerin üreme hızında meydana getirdiği değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu kapsamda yapılan analizlerde, keratinosit hücre kültüründe kırmızı ışık uygulamasından elde edilen verilere bakıldığında 10 dakika (2 defa) süresinin 48. ve 72. saatinde kontrol grubuna göre daha belirgin bir fark yarattığı ve üremelerin daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada Fuchs ve ark. (2021). Keratinosit (HEKn) hücrelerini 12 dakika belirli dalga boyunda kırmızı LED ışığa maruz bırakmışlardır [19]. PBM tedavisinden 72 saat sonra hücrenin metabolik aktivite artışı sergilediğini, daha önceki zaman noktalarında ise kontrole kıyasla metabolik aktivitede herhangi bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmamızda kırmızı ışık uygulanan gruplara bakıldığında 10 dakika süre ile uygulamaya maruz bırakıldıktan 72 saat sonra keratinosit hücrelerinin üremelerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile verilerimiz uyum göstermemektedir. İki çalışma arasında mevcut farklılığın kullanılan ışık kaynağının gücü, hücre kültürü seçiminde fark ve uygulama şekline bağlı olduğu düşünülmektedir. Yapılan benzer bir çalışmada Courtois ve ark. (2021) keratinosit (HaCaT) hücre kültürüne iki farklı dozda 660 nm dalga boyunda kırmızı ışık uygulamıştır [20]. Çalışma sonucunda uygulanan kırmızı ışığın keratinositlerin proliferasyonunu ve migrasyonunu artırdığını, PBM'in bu hücredeki arttırma etkinliğinin yara iyileşmesini

destekleyebileceğini söylemişlerdir. Başka bir çalışmada, kornea epitel hücreleri, mavi ışık ve kırmızı ışığa maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda kırmızı ışığın mitokondriyal işlevi geliştirdiği ve mavi ışığın hücrelere vermiş olduğu olumsuz etkisini kırmızı ışığın azalttığı belirtilmiştir [21]. Çalışmamızda HaCaT hücreleri üzerine uygulanan kırmızı ışık uygulamasından elde edilen verilerine bakılarak çalışmamızın yara iyileşmesine katkı sağlayabileceğini söylememiz mümkündür. Vinck ve ark. (2003) fibroblast hücrelerine kırmızı ışık ve infrared ışık uygulamasının kontrol grubuna göre yüksek oranda etkisi olduğunu bildirmişlerdir [22]. Yapılan başka bir çalışmada 30 dakika süreyle kırmızı ve infrared LED ışığın adenokarsinogenik insan bazal epitel hücreleri, insan osteosarkom hücreleri ve PtK2 keseli epitel hücrelerinde kontrol grubuna göre cell confluency artış olduğunu belirtmişlerdir [23]. Çalışmamızda kullanılan kırmızı ve infrared ışığın keratinosit hücrelerinde 20 dakika süreyle günde 1 kez uygulamadan elde edilen veriler bu çalışmalar ile uyum göstermektedir. Fuchs ve ark. (2021) kırmızı ve infrared LED ışığa maruz bırakılan fibroblast (HFF1) hücrelerinde 72 saatten sonra belirgin bir artışın olduğunu belirtmişlerdir [19]. Çalışmamızda hem kırmızı ve hem de infrared ışığa maruz bırakılan fibroblast hücrelerinde bir artış gözlemlenmemiştir. Verilerimiz ile bu çalışma uyum göstermemektedir. Yapılan başka bir çalışmada ışık kaynağı olarak LED kullanılarak iki çeşit keratinosit hücreleri 5 dakika kırmızı ışık ve infrared ışık ile muamele edilmiştir ancak mukozal kolonilerin sayısında etkisiz olduğu bildirilmiştir [24]. Çalışmamızda keratinosit hücre grubuna kırmızı ve infrared uygulanmasından elde ettiğimiz verilere baktığımızda bu çalışma ile sonuçlarımız uyum göstermemektedir. Fotobiyomodülasyon uygulamalarında, hücrelerdeki biyolojik yanıtlar birçok parametreye bağlıdır. Uyarıcı yanıtların ışığın dalga boyuna, ışınlanmanın zamanına ve uygulama sayısına bağlı olduğu ve çoklu ışınmaların kümülatif etkiye neden olabileceği söylenmektedir [25, 26]. Çalışmamızda keratinosit hücre kültüründe infrared ışık uygulanan gruplara göre kırmızı ışık uygulanan gruplarda daha etkili sonuçların alındığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı hücrelerde uygulamalardan elde edilen verilere bakıldığında günde tek bir uygulama ile günde iki kez uygulama arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Günde iki kez uygulamaya tabi tutulan hücrelerde daha belirgin bir artış tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak kullanılan ışınların dalga boyunun, uygulama süresinin ve sayısının hücre büyümesi rol oynadığını, çalışmamızın bu bilgileri desteklediği görülmektedir. Haina ve ark. (1982) kırmızı ışığın uygulandığı yarada granülasyon dokusunun kontrole göre % 25 artırdığını belirtmiştir [27]. Yapılan başka bir çalışmada Silveria ve ark. (2016) sıçan üzerinde yaptığı çalışmada yanık yarası üzerine kırmızı ve infrared



ışık uygulamıştır [28]. Deney sonucunda infrared ışığın enflamatuvar yanıtı azalttığını ve yara onarımında etkili olduğu rapor edilmiştir. De sousa ve ark. (2013) sıçan üzerinde oluşturdukları kesi yarasını kırmızı ışık ile muamele etmişlerdir [29]. Elde ettikleri kantitatif sonuçların anjiyogenezi stimüle ettiğini belirtmişlerdir. Benzer bir çalışmada Corazza ve ark. (2007) kırmızı ışığın anjiyogenez etkisini gözlemlemişler ve yara onarımında anjiyogenez artışı olduğunu söylemişlerdir [30]. Yapılan başka bir çalışmada Bastos ve ark. (2009) sıçanlarda yara üzerine uyguladıkları kırmızı ve infrared ışığın kollojen fiber üretiminde etkili olduğunu belirtmişlerdir [31]. Bu çalışmalarda kırmızı ve infrared ışığın oluşturduğu biyolojik etkilerin yara iyileşmesine katkı sağladığı görülmektedir. Çalışmamızda hücrelerde oluşan biyolojik etkiler konumuz olmadığı için çalışılmamıştır. Ancak uyguladığımız kırmızı ve infrared ışığın keratinosit hücre üremelerinde artışın görülmesi yara iyileşmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Çalışmamızda keratinosit ve fibroblast hücrelerinin kontrol gruplarına 2 ppm hipokloröz asit eklenmiştir. Keratinosit hücrelerinde hipokloröz asit eklenmeyen kontrol grubu ile karşılaştırıldığında hücrelerin üremelerinde azalma meydana gelmiştir. Fibroblast hücrelerinde ise hipokloröz asit eklenmeyen kontrol grubuna göre hücrelerde artış gözlenmiştir. Odom ve ark. (2019) dört hastanın kronik yaraları üzerini hipokloröz asit ile muamele ettiler ve cilt tahrişi olmadan yaranın önemli ölçüde iyileştiğini belirtmişlerdir [32]. Yapılan bir çalışmada Sakarya ve diğ. (2014) scratch yöntemini kullanarak stabilize HOCI solüsyonunu keratinosit ve fibroblast hücrelerine uygulamıştır [33]. Stabilize HOCI solüsyonunun fibroblast migrasyonunu düşük dozda arttığını ve yüksek dozda azalttığını belirtmiştir. Keratinosit hücrelerinde ise doza bağlı bir şekilde 24 saat sonra bir artış gözlemlemişlerdir. Stabilize HOCI çözeltisinin hücrelerde gözlemledikleri sonuçların yara iyileşmesini artırdığını belirtmişlerdir. Çalışmamızda fibroblast hücrelerinde olumlu yönde gözlemlediğimiz değişim bu çalışmayla uyum göstermektedir. Tran ve ark. yapılan çalışmalarda hipokloröz asidin yara iyileşmesi ve antimikrobiyal açıdan düşük dozun umut verici olduğunu belirtmiştir [12]. Çalışmamızda keratinosit hücrelerinde hipokloröz asit eklenen grupta gözlemlediğimiz azalmanın uygulama dozundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca çalışmamızda uygulanan hipokloröz asit ve kırmızı ışık ile infrared ışık uygulamalarının bir arada olduğu çalışma literatürde gözlemlenmemekle beraber keratinosit hücre kültüründeki çalışma verilerimize bakıldığında kontrol grubunda hipokloröz asit tek başına istenen etkiyi gösterememiş olmasına karşılık, ışık uygulamalarıyla beraber bakıldığında belirgin bir farklılık oluşturduğu gözlemlenmiştir.

## V. SONUÇ [CONCLUSION]

Yaralanma, gündelik yaşamda insanların sık karşılaştığı sağlık sorunları arasında yer almaktadır. Günümüzde yaranın bakımı ve tedavisi için pek çok yöntem mevcut olmasına rağmen yaşlı nüfusun artması, kronik hastalıkların artması, sağlık kuruluşlarına uzak yaşayan insanların sağlık hizmetine ulaşamaması ve sağlık harcamalarındaki artışların olması, tedavide hem hastalara hem de sağlık kuruluşlarına zorluklar oluşturabilmektedir. Genel olarak yara bakımının hasta açısından yıpratıcı ve hastaneye bağımlı yapısının değiştirilmesi hedeflenmelidir. Bu amaçla, teletıp yaklaşımı içerisinde birçok teşhis yaklaşımının evde sağlık kapsamında uygulanmaya başladığı ve yaygınlaştığı gözlemlenmektedir. Yara tedavisi gibi uzun soluklu bir tedavi sürecinde hastanın kendi başına uygulayabileceği çevre dostu teknolojilerin kullanımının yaygınlaşması hem hastanelerde yığılımın azalması hem de ekonomik açıdan etkisi olacağı düşüncesi ile yaygınlaştırılması önemlidir. Bu çalışmada, hipokloröz asit ile birlikte belirlenen sürelerde kırmızı ışık ve infrared ışık uygulanarak iki farklı hücre kültürünün üreme sayısındaki değişikliklerin gözlemlenmesi ve en fazla üremeyi sağlayan parametrelerin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmadan elde edilen verilere bakıldığında sadece keratinosit hücre kültüründe olumlu yönde bir artış olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak hipokloröz asidin varlığı durumunda toplam 6 adet uygulama ile sadece LED ışıkların verildiği 6 adet uygulamanın iyileşmeye katkı sağlayacağı gözlemlenmiştir. Bu uygulamalar arasından hipokloröz asit ve kırmızı ışığın 10 dakika (2 defa) süre ile diğer uygulamalara kıyasla iyileşmeye daha fazla katkı yapacağı düşünülmektedir. Hastaların yaşam kaliteleri yaralarda teşhis ve tedavi süreçlerinin daha hızlı gerçekleştirilmesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır ve teletıp yaklaşımının bu süreçleri daha hızlı bir şekilde sonuçlandırılabilmesi kanaati oluşturmuştur. Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında endüstriyel prototip yapılması ve etik kurul alınarak hastalarla çalışma yapılmasına yönelik aşamaların hayata geçirilmesi hedeflenmektedir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.



### ETİK KURALLARA UYGUNLUK [COMPLIANCE WITH ETHICAL RULES]

Yazar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan eder.

### TEŞEKKÜR [ACKNOWLEDGMENT]

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "Kırmızı ve Kızılötesi Işığın Hipokloröz Asit Kombine Uygulamalarının ile Keratinosit (Hacat) ve Fibroblast Hücre Hattı (Human Dermal Fibroblast HDFa) Üzerinde Etkilerinin Belirlenmesi" isimli yüksek lisans tezi olarak yürütülmüş ve başarıyla tamamlanmıştır.

### KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] T. O. H. Prasetyono, "General concept of wound healing, revisited. Medical", Journal of Indonesia, 208, 2009.
- [2] M. Rodrigues, N. Kosaric, C. A. Bonham, and G. C. Gurtner, "Wound healing: a cellular perspective", Physiological Reviews, 99(1), 665–706, 2019.
- [3] A. H. Kurtoğlu ve A. Karataş, "Yara tedavisinde güncel yaklaşımlar: modern yara örtüleri", Ankara Ecz. Fak. Dergisi, 38(3), 211-232, 2009.
- [4] G. Baktır, "Yara iyileşmesi ve deneysel yara modelleri", Experimed, 9(3), 130-7, 2019.
- [5] M. Topalan, ve D. Önel, "Yara iyileşmesi", (eds: M. Topalan ve Ş. Aktaş), Güncel Yönleriyle Kronik Yara, Aygül Ofset Matbaacılık, 1-26, 2010.
- [6] A. H. K. Köklü, ve D. A. U. Çankal, "Yara iyileşmesini etkileyen faktörler içerisinde beslenmenin yeri", Atatürk Üniv. Diş Hek. Fak. Dergisi, 7, 135-141, 2013.
- [7] A. F. Falabella, and R. S. Kirsner, Wound healing, U.S.A : Taylor and Francis Group, 2005.
- [8] R. C. Mosca, A. A. Ong, O. Albasha, K. Bass, and P. Arany, "Photobiomodulation therapy for wound care: a potent, noninvasive, photoceutical approach", 32(4), 2019.
- [9] L. F. De Freitas and M. R. Hamblin, "Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 22(3), 348–364, 2016.
- [10] M. Sloan, Red light therapy miracle medicine, EndAllDisease Publishing, 2018.
- [11] Ö. Yücel, "Led Fotobiyomodülasyon Tedavisinin Dental İmplant Stabiliteleri Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, Konya, 2013.
- [12] A. Q. Tran, N. Topilow, A. Rong, P. J. Persad, M. C. Lee, J. H. Lee and W. W. Lee, "Comparison of skin antiseptic agents and the role of 0.01% hypochlorous acid", Aesthetic Surgery Journal, 41(10), 1170–1175, 2020.
- [13] D. Joachim, "Wound cleansing: benefits of hypochlorous acid", Journal of Wound Care, 29(Sup10a), S4–S8, 2020.
- [14] M. H. Gold, A. Andriessen, A. C. Bhatia, P. Bitter, S. Chilukuri, J. L. Cohen and C. W. Robb, "Topical stabilized hypochlorous acid: The future gold standard for wound care and scar management in dermatologic and plastic surgery procedures", Journal of Cosmetic Dermatology, 2020.
- [15] N. Tripodi, D. Corcoran, P. Antonello, N. Balic, D. Caddy, A. Knight, C. Meehan, F. Sidirolou, S. Fraser, D. Kiatos, M. Husaric, V. Apostolopoulos and J. Feehan, "The effects of photobiomodulation on human dermal fibroblasts in vitro: A systematic review", Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 112100, 2020.
- [16] P. T. R. De Abreu, J. A. A. de Arruda, R. A. Mesquita, L. G. Abreu, I. M. A. Diniz and T. A. Silva, "Photobiomodulation effects on keratinocytes cultured in vitro: a critical review", Lasers in Medical Science, 2019.
- [17] V. Heiskanen and M. R. Hamblin, "Photobiomodulation: lasers vs. light emitting diodes?", Photochemical & Photobiological Sciences, 17(8), 1003–1017, 2018.
- [18] L. Wang, M. Bassiri, R. Najafi, K. Nafaji, J. Yang, B. Khosrovi, W. Hwong, E. Barati, B. Belisle, C. M. C. stabilized hypochlorous acid: a component of the inorganic armamentarium of innate immunity", J Burns Wounds, 6, e5, 2007.
- [19] C. Fuchs, M. S. Schenk, L. Pham, L. Cui, R. R. Anderson and J. Tam, "Photobiomodulation response from 660 nm is different and more durable than that from 980 nm", Lasers in Surgery and Medicine, 2021.
- [20] E. Axisa, F. et al. Photobiomodulation by a new optical fiber device: analysis of the in vitro impact on proliferation/migration of keratinocytes and squamous cell carcinomas cells stressed by X-rays. Lasers Med Sci 36, 1445–1454 2021.
- [21] C. Núñez-Álvarez, and N. N. Osborne, "Enhancement of corneal epithelium cell survival, proliferation and migration by red light: Relevance to corneal wound healing", Experimental Eye Research, 2019.
- [22] E. M. Vinck, B. J. Cagnie, M. J. Cornelissen, H. A. Declercq and D. C. Cambier, "Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation", Lasers in Medical Science, 18(2), 95–99, 2003.
- [23] R. Spitler, and M. W. Berns, "Comparison of laser and diode sources for acceleration of in vitro wound healing by low-level light therapy", Journal of Biomedical Optics, 19(3), 038001, 2014.
- [24] I. Khan, and P. R. Arany, "Photobiomodulation therapy promotes expansion of epithelial colony forming units", Photomedicine and Laser Surgery, 34(11), 550–555, 2016.
- [25] G. B. Ateş, "Photobiomodulation On Human Osteoblasts And Osteogenic Differentiation Of Adipose-Derived Stem Cells", Doktora Tezi, Boğaziçi University, İstanbul, 2017.
- [26] B. Türsen ve Ü. Türsen, "Dermatolojide ışık yayan diyet", 2015.
- [27] D. Haina, R. Brunner, M. Landthaler, O. Braun-Falco and W. Waidelich "Animal experiments on light-induced woundhealing", Optoelectronics in Medicine, 164-169, 1982.
- [28] P. C. L. Silveira, K. B. Ferreira, F. R. da Rocha, B. L. S. Pieri, G. S. Pedrosa, C. T. De Souza, R. A. Pinho, "Effect



- of low-power laser (lpl) and light-emitting diode (led) on inflammatory response in burn wound healing”, *Inflammation*, 39(4), 1395–1404, 2016.
- [29] A. P. C. De Sousa, G. M. Paraguassu, N. T. T. Silveria, J. de Souza, J. N. Cangussu, dos Santos And A. L. B. Pinheiro, “Laser and ld phototherapies on angiogenesis”, *Lasers Med Sci*, 28(3), 981-7, 2013.
- [30] Corazza, J. Jorge, C. Kurachi and V. S. Bagnato, “Photobiomodulation on the angiogenesis of skin wounds in rats using different light sources”, *Photomedicine and Laser Surgery*, 25(2), 102–106, 2007.
- [31] J. L. N. Bastos, R. F. Z. Lizarelli and N. A. Parizotto, “Comparative study of laser and LED systems of low intensity applied to tendon healing”, *Laser Physics*, 19(9), 1925–1931, 2009.
- [32] E. B. Odom, M.-B. Mundschenk, K. Hard and D. W. Buck, “The utility of hypochlorous acid wound therapy in wound bed preparation and skin graft salvage”, *Plastic and Reconstructive Surgery*, 143(3), 677e–678e, 2019.
- [33] S. Sakarya, N. Gunay, M. Karakulak, B. Ozturk ve B. Ertugrul, “Hypochlorous acid: an ideal wound care agent with powerful microbicidal, antibiofilm, and wound healing potency”, *Wounds*, 26(12), 342-350, 2014.



RESEARCH ARTICLE

# Evolution of Mechanical Properties of an AA 6061 T6 Aluminum alloy Processed by Cold Working (CW)

\* DEBIH Ali

\*University M'sila, Faculty of technology, Mechanical Engineering Department, M'sila, Algeria

## HIGHLIGHTS

- The study explains the importance of thermomechanical treatment
- The study explains the relationship between mechanical properties and microstructure
- Dependence of yield stress and ultimate tensile strength on grain size accords with Hall–Petch equation.

## Keywords:

- AA 6061T6
- Cold working
- Ultrafine grain
- Mechanical properties
- Sever plastic deformation

## GRAPHICAL ABSTRACT

The evolution of mechanical properties, microstructure and their stability after different thermomechanical treatment of an AA6061 heat treated industrial to T6 condition alloy processed by cold working were studied by tensile tests and analyzed by optical microscope. It is shown that a ultrafine-grained structure in alloy 6061 can be formed already after two cycles of treatment by cold working. Along with grain refinement, in the process of a CW treatment there occurs in the alloy a dynamic strain aging, which results in the formation of fine particles of a strengthening. It has been established that the alloy in the UFG state demonstrates a considerably higher level of strength and better plasticity in comparison with the material after a standard strengthening treatment. Cold work by compression high pressing (CW-CHP) can be applied in several cycles depending on the hardening behavior of the material. The influence of the nonmetric size of the grains produced by the (CW-CHP) of a cylindrical rolling machine with four passes of sever plastic deformation with different reduction ratios

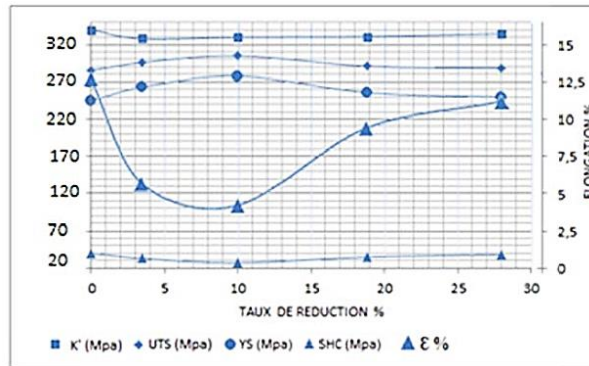


Figure A. Evolution of mechanical properties under cold work processing

## Article Info:

Received : January 12, 2023

Accepted : February 24, 2023

## DOI:

10.53525/jster.1233386

## \*Correspondence:

DEBIH Ali

[ali.debih@univ-msila.dz](mailto:ali.debih@univ-msila.dz)

Phone : +213 035554396

**Aim of Article :** evaluation of mechanical properties of AA 6061 T6 thermo mechanically treated by cold working.

**Theory and Methodology:** Principal of cold working, tensile tests and microscopic observations were presented in the work.

**Findings and Results:** Results are summarized in Figure A of the extended abstract

**Conclusion :** The use of cold working as a method of sever plastic deformation, made it possible to obtain a uniform UFG structure at the first and second cycles of mechanical treatment at room temperature.



RESEARCH ARTICLE

# Evolution of Mechanical Properties of an AA 6061 T6 Aluminum alloy Processed by Cold Working (CW)

DEBIH Ali

\*University M'sila, Faculty of technology, Mechanical Engineering Department, M'sila, Algeria  
 Email: [ali.debih@univ-msila.dz](mailto:ali.debih@univ-msila.dz)

**Citation:**

Ali, D. (2023). *Evolution of Mechanical Properties of an AA 6061 T6 Aluminum alloy Processed by Cold Working (CW)*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(1): 30-35. DOI: 10.53525/jster.1233386

**HIGHLIGHTS**

- The study explains the importance of thermomechanical treatment
- The study explains the relationship between mechanical properties and microstructure
- The highest strengths (about 305 MPa) and yield stress (278 MPa) are resulted at the second cycle of cold working.
- Dependence of yield stress and ultimate tensile strength on grain size accords with Hall–Petch equation.

**Article Info**

Received: January 12, 2023

Accepted: February 24, 2023

**DOI:**

10.53525/jster.1233386

**\*Corresponding Author:**

DEBIH Ali  
[ali.debih@univ-msila.dz](mailto:ali.debih@univ-msila.dz)  
 Phone: +213 035554396

**ABSTRACT**

Nano scale grain size reduction (Ultra-fine grain) is one of three suitable methods for improving the mechanical properties of 6000 series aluminum alloys, by structural precipitation, strain hardening or by cold work hardening. For the cold working, several techniques are now available such as (Equal channel angular pressing with parallel channels), (Equal Channel Angular Extrusion), (Torsion under High Pressure), (Mechanical Milling), (Accumulative Roll Bonded), (Cold Working). Cold work by compression high pressing (CW-CHP) can be applied in several cycles depending on the hardening behavior of the material. The influence of the nonmetric size of the grains produced by the (Cold working-compression haute pressing) of a cylindrical rolling machine with four passes of Sever plastic deformation with reduction ratios of (3.5, 10, 18.8 and 28%), on the mechanical behavior of the alloy 6061 T6, was analyzed by determining the ultimate tensile strength ( $R_m$ ), yield strength ( $R_{p0.2}$ ), the strain hardening capacity  $SHC$  ( $R_m - R_{p0.2}$ ), the work hardening coefficient  $n'$ , the modulus of 'work hardening  $K'$ '. The increase in the rate of work hardening by the reduction of the sample sections and consequently the reduction of the grain size at the first and the second pass, improves the mechanical properties of the alloy to the maximum values, and then the presence of crack initiation participates to the moderate decrease of the mechanical properties.

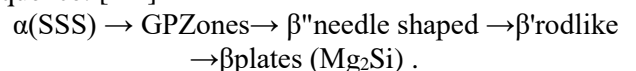
**Keywords:** AA 6061T6, Cold working, Ultrafine grain, Mechanical properties, Sever plastic deformations

**I. INTRODUCTION**

Aluminum alloys are widely used for the manufacture of high-strength structures with minimum weight as the aeronautical, automotive and marine fields. The 6000 alloy of the Al-Mg-Si system is characterized by a very good formability and a medium resistance but it is suitable for thermal and thermochemical treatments [1]. The purpose of the heat treatment is to increase the mechanical performance by applying a solution cycle at 520°C followed by isothermal hold in order to dissolve

the intermetallic particles then a water quench to freeze the SSSS state, this primary cycle must be followed by a second cycle of artificial maturation at 180°C for 8

hours to activate the precipitation phenomenon when arriving at the stable  $Mg_2Si$  state according to the sequence: [2-4]



SSS denotes “supersaturated solid solution”, GP denotes “Guinier-Preston”, metastable  $\beta''$

precipitates with needle shaped forms, metastable  $\beta'$  precipitates with rodlike forms and stable  $\beta$  phase.

The improvement of the mechanical properties of the AA 6061 alloy already treated to T6 condition, by the reduction of the grain size to the Nano metric scale (Ultra-fine grain "UFG") has attracted the attention of several studies.

Several techniques are used to generate the UFG structures, such as Equal channel angular pressing with parallel channels (ECAP-PC) [5,6], Equal Channel Angular Extrusion (ECAE) [7], Accumulative Roll Bonded (ARB)[ 8, 9], Mechanical Milling (MM) and Cold working-compression high pressing (CW-CHP)[10], all these techniques use the same phenomenon of hardening which is an important parameter for expressing the élastoplastique behavior of materials, particularly for their shaping by plastic deformation (PD). It participates in the evolution of the crystallographic texture of the material and the accumulation of dislocation energy during deformation. Work hardening generally results in a hardening of metals. The hardening laws are presented as well as the evolution of the microstructure by recrystallization. They used several models to describe strain hardening such as Hall Peach's relationship (1) and Hollomon's equation (2):

$$R_{p0,2} = \sigma_0 + k/d^{1/2} \quad (1) \quad [11]$$

Where d is the average grain size.

$$R_{p0,2} = K \cdot \epsilon^n \quad (2) \quad [12]$$

Cold working by high radial pressure is a successful severe plastic deformation (SPD) technic to produce ultrafine grained (UFG) metals and alloys, without any limitations that restrict its application under conditions of industrial production for obtaining UFG aluminum semi-finished products.

Haneen M. Saud and Mohammed A. Abdulrazzaq [13] investigated the influence of cold working by peening and burnishing process on AA2024 T4 ,different times of peening were used to analysis the effect of time on mechanical properties .the result showed that the fatigue strength, the hardness and the roughness improved with increase the time of peening until certain value of time. Marta Harničárová et al. [14] confirmed that the refinement of the microstructure after processing by the ECAP method on an aluminum alloyAlMgSi0.5 is the reason for the changes in mechanical properties.

Abdulrahman Shuaibu Ahmad et al. [15] investigated the effect of residual stress generated by manufacturing process and they confirmed that the cold working compression reduces the residual stresses significantly and efficiently based on the compression ratio used for

an aluminum alloy 2219 sample. The 2 % compression ratio is observed to have the highest percentage of residual stress reduction.

The aim of this work is to present a technique that combines the two treatments, thermal and mechanical, in order to improve the mechanical properties of the AA 6061 T6 alloy as much as possible.

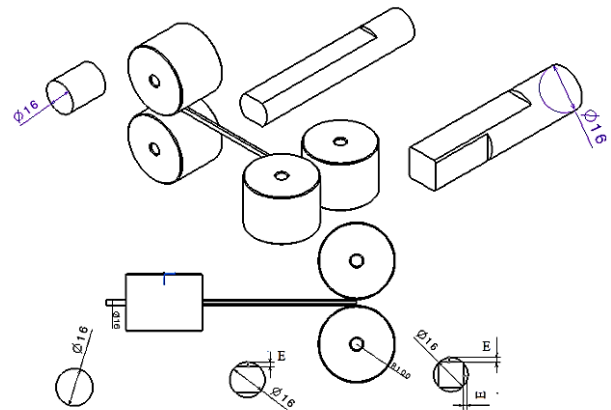
## II. MATERIALS AND METHOD

The material used in this investigation is an industrial 6061 Aluminum- Magnesium-Silicon alloy. The Chemical composition as determined by EDS is shown in Table I. The material was supplied in the form of a bar with 16 mm as diameter in a T6 condition. This condition is achieved by the following combination of operations: solution treatment at a temperature of 520 °C for 8 h, followed by quenching in water (20 °C) and aging treatment at a temperature of 180 °C for 8 h.

**Table I.** Example Chemical composition of the base material AA 6061 aluminium alloy (wt. %).

Al	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Cr
Balance	0.82	0.47	0.17	0.06	0.19	0.03

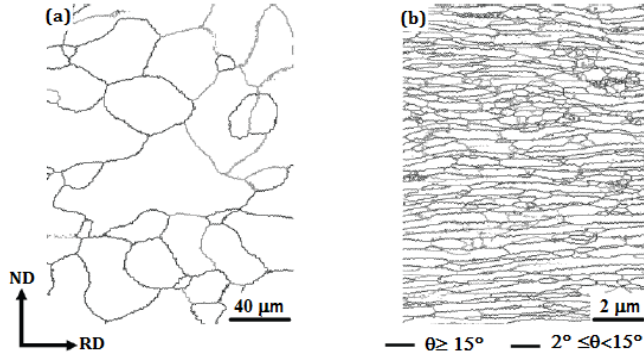
In order to study the influence of various sequences of cold working on mechanical properties of AA6061 T6, different series of mechanical treatments were utilized, at room temperature, as illustrated in Figure 1.



**Figure. 1.** Scheme of the CW treatment.

A mechanical treatment by radial pressure parallel to the axis of extrusion of the samples is applied by a rolling mill with a diameter of 200 mm in order to generate cold radial pre-deformations (CW), and also to reduce the size of the grains superficially as indicated in Figure 2, according to the principle cold working. Four compression passes are applied which allows us to make

a passage from diameter 16 to diameter 12 x 12 mm<sup>2</sup>, with a surface reduction rate presented in table II.

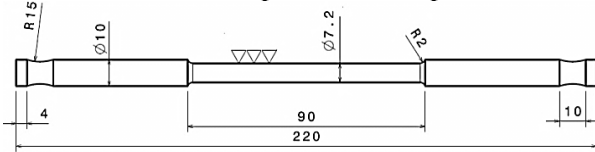


**Figure 2.** Ultrafine grain generation by cold working.

**Table II.** Area reduction rate.

Round bar (16 mm od diameter)				
Height of arc (reduction) mm	0.5	1	1.5	2
Area reduction rate %	3.5	10	18.8	28

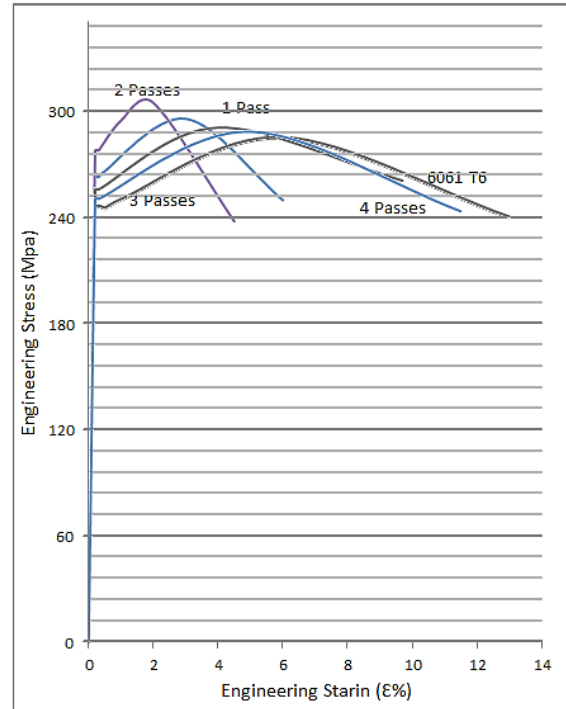
Some strips were cut from cold worked bars AA6061T6 in rolling direction. Tensile test specimens were then prepared from all the strips according to ASTM E-8 specifications (Figure 3) in rolling direction. The gauge length of specimens was 90 mm. Tensile tests were performed, at room temperature, with a deformation rate of ( $d\varepsilon/dt=10^{-3} s^{-1}$ ) and crosshead speed of 2 mm.min<sup>-1</sup>, with loading direction parallel to the working direction by using hydraulic testing machine. Nominal stress- strain curves and data were analyzed and yield strength, tensile strength and elongation of different thermal-mechanical samples were compared.



**Figure 3.** Tensile test specimen "all dimensions in mm".

### III. RESULTS AND DISCUSSION

Data and representative tensile engineering stress-strain curves of the AA 6061 T6 (reference for comparison) and cold worked, from one to four cycles, samples can be seen in Figure 4 and Table III. The results show that with increasing number of cold working cycles, a proportional successive improvement of the yield stress and ultimate tensile strength accompanied with the decrease in elongation and remarkable changes in its microstructures.



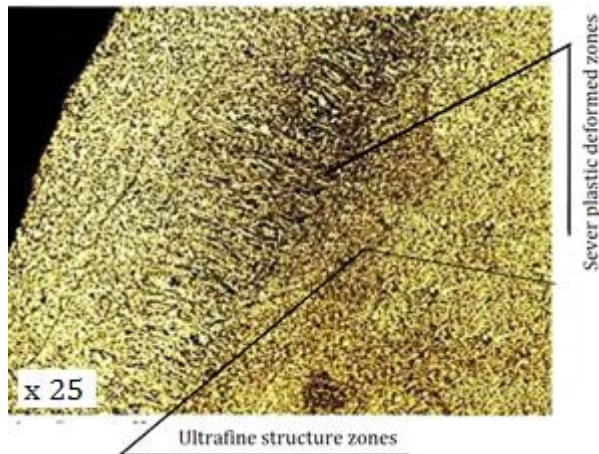
**Figure 4.** The Engineering stress-strain curves of 6061 alloy after CW-CHP processing and conventional heat-treatment to T6 condition.

After the first and second cold working cycles, there was formed a substructure (Figure 5), which contains an increased dislocation density; this structure ensures a considerable increase in the strength characteristics of the material in comparison with the initial T6 condition.

**Table III.** Mechanical properties of the aluminum alloy 6061T after CW processing at room temperature.

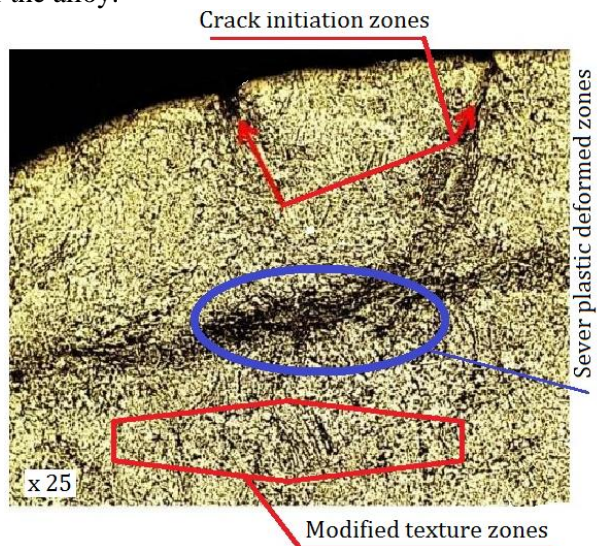
Treatment condition	UTS MPa	YS MPa	$\varepsilon\%$	SHC MPa	n'	K
AA 6061 T6	285	245	13	40	0,06	340
AA 6061 T6, 3.5 % CW	296	263	6	33	0,03	328
AA 6061 T6, 10 % CW	305	278	4,5	27	0,02	330
AA 6061 T6, 18.8 % CW	291	256	9,7	35	0,04	331
AA 6061 T6, 28 % CW	288	250	11,5	38	0,05	335

In this case, the material demonstrates very high characteristics of plasticity (stress hardening capacity SHC= 40 MPa) and Strain hardening exponent ( $n'=0.06$ ), (Table III). The formation of a mixed structure, after the first and second cycles, which contains both fragmented and ultrafine grains (Fig. 5), ensures both a further increase in the strength characteristics and a certain decrease in plasticity. These results are on total concordance with the results of [13].



**Figure. 5.** Micrograph of different zones generated at the first and second cold working cycles.

The effect of the third and fourth cycles of cold working on the cross section of an AA6061 T6 specimen is presented in Figure 6, the presence of the sever plastic deformed zone always contributes to the improvement of the properties mechanical compared to the initial state, but the appearance of the initiation crack zones participate to the reduction of the mechanical properties of the alloy.



**Figure. 6.** Micrograph of different zones generated at the third and fourth cold working cycles.

#### IV. CONCLUSION

Cold working has been outlined as one of the possible ways to improve the mechanical properties of the AA 6061 T6 alloy within the studied ageing temperatures and times.

The use of cold working as a method of sever plastic deformation, made it possible to obtain a uniform UFG structure at the first and second cycles of mechanical treatment at room temperature.

The increase in the rate of work hardening by the reduction of the sample sections and consequently the reduction of the grain size at the first and the second pass, improves the mechanical properties of the alloy "increase of the mechanical resistance and the yield strength and decrease the ductility".

The 6061T6 alloy after four cycles of cold work processing exhibits a combination of further plasticity (SHC of 38 MPa) and certain increase in strength, which is very attractive for its future application.

Exaggerated increase in the work hardening rate at the third and fourth pass localizes the deformation by deterioration of the deformed bands and generates crack initiations which participate consequently in the reduction of the mechanical properties and redirects the mechanical behavior towards the initial state T6.

At the third and fourth number of cold working cycle, the elongation to failure increases from 4,5 % at the second cycle , 9,7 % at the third cycle then to 11,5 % at the fourth cycle, The mechanism of fracture is changed from brittle to ductile.

#### REFERENCES


- [1] Bahman Mirzakhania, Mostafa Mansourinejad, "Tensile properties of AA6061 in different designated precipitation hardening and cold working", *Procedia Engineering* 10 (2011) 136–140.
- [2] M. Abdulwahab , I.A. Madugu , S.A. Yaro , S.B. Hassan , A.P.I. Popoola , "Effects of multiple-step thermal ageing treatment on the hardness characteristics of A356.0-type Al–Si–Mg alloy", *Materials and Design* 32 (2011) 1159–1166.
- [3] Suttawan Imurai, Julatep Kajornchaiyakul , Chachana Thanachayanont, John T.H. Pearce and Torranin Chairuangstri, "Age Hardening and Precipitation Behavior of an Experimental Cast Al-Mg-Si Alloy Treated by T6 and T6I6 Heat Treatments", *Chiang Mai J. Sci.* 2010; 37(2) : 269-281,



- [4] X. fang, M. song, K. li and y. du, "Precipitation sequence of An Aged Al-Mg-Si Alloy", *J. Min. Metall. Sect. B-Metall.* 46 (2) B (2010), pp 171 – 180, <http://dx.doi.org/10.2298/JMMB1002171F>
- [5] M. Yu. Murashkin, E. V. Bobruk, A. R. Kilmam]etov, and R. Z. Valiev, "Structure and Mechanical Properties of Aluminum Alloy 6061 Subjected to Equal-Channel Angular Pressing in Parallel Channels". *The Physics of Metals and Metallography*, (2009), Vol. 108, No. 4, pp. 415–423.
- [6] L. W. Meyer , R. Schönherr , M. Hockauf, "Increasing strength, ductility and impact toughness of ultrafine-grained 6063 aluminium alloy by combining ECAP and a high-temperature short-time aging", *Journal of Physics: Conference Series* 240 (2010) 012123. doi:10.1088/1742-6596/240/1/012123.
- [7] M. A. Rekik, T. Makhlof, N. Njah, "Evolution of microstructural and mechanical properties of an industrial 2017 Aluminium alloy processed by equal channel angular extrusion". *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 28 (2012) 012039. doi:10.1088/1757-899X/28/1/012039
- [8] T. Hausöl, H.W. Höppel and M. Göken: "Microstructure and mechanical properties of accumulative roll bonded aluminium alloy AA5754". *Journal of Physics: Conference Series* 240 (2010) 012128. doi:10.1088/1742-6596/240/1/012128
- [9] Genki Horii, Daisuke Terada and Nobuhiro Tsuji, "Strain hardening and softening in ultrafine grained Al fabricated by ARB process", *Journal of Physics: Conference Series* 240 (2010) 012114. doi:10.1088/1742-6596/240/1/012114
- [10] D. Ortiz, M. Abdelshehid, R. Dalton, J. Soltero, R. Clark, M. Hahn, E. Lee, W. Lightell, B. Pre[gger, J. Ogren, P. Stoyanov, and O.S. Es-Said, "Effect of Cold Work on the Tensile Properties of 6061, 2024, and 7075 Al Alloys". *JMEPEG* (2007) 16:515–520. DOI: 10.1007/s11665-007-9074-7
- [11] Michel Colombie, "Matériaux métalliques", Dunod, Paris 2001, 61, ( in French).
- [12]. Bineeth Benny, "Use of Hollomon Equation in Combination with Conventional Equation, for Finding Change in strain Hardening Exponent Value, among Differently Aged and Tensile tested Maraging Steel Samples", *SSRG – IJMSE* ) Volume 2 Issue 3, 2016, 6-7.
- [13] Haneen M. Saud and Mohammed A. Abdulrazzaq, "Study the effect of cold working on the mechanical properties of aluminum alloy 2024 T4", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 928 (2020) 022125, doi:10.1088/1757-899X/928/2/022125
- [14] Marta Harničárová, Jan Valíček, Milena Kušnerová , Ivan Kopal , Miloslav Lupták , Rastislav Mikuš , Zdeněk Pavelek , Martin Fabián and Vladimír Šepelák, "Structural and Mechanical Changes of AlMgSi0.5 Alloy during Extrusion by ECAP Method", *Materials* 2022, 15, 2020. <https://doi.org/10.3390/ma15062020>.
- [15] Abdulrahaman Shuaibu Ahmad, Wu Yunxin, Gong Hai1, Liu Lei, "Determination of the Effect of Cold Working Compression on Residual Stress Reduction in Quenched Aluminium Alloy 2219 Block", *Journal of Mechanical Engineering* 65(2019)5, 311-318, DOI:10.5545/sv-jme.2018.5938

REVIEW ARTICLE

# A Review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis

\*  Aliyu Sabo, \*\*Kamaluddeen I. Kanya, Naziru Shu'aibu, Chigozie Onyema, Aliyu Ahmed, Hadiza Tanko, and Sama'ila Kwasau.

Centre for Power System Dynamic Simulation, Electrical Electronic Engineering Department, Nigerian Defence Academy, Kaduna, Nigeria.

\*Aliyu Sabo, Orcid: 0000-0003-2894-812X, s.aliyu@nda.edu.ng

\*\*Kamaluddeen I. Kanya, Orcid: 0000-0002-2083-2088, kamaluddeen.ibrahim@nda.edu.ng

## HIGHLIGHTS

- Review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis.

## GRAPHICAL ABSTRACT

A review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis (PFA) that are newly proposed are presented in this paper. The State-of-the-Art Techniques such as Particle Swarm Optimization Algorithm for optimal Power Flow Incorporating Wind Farms, Hybrid Firefly and Particle Swarm Optimization Algorithm, etc., have generally shown superiority over and above the existing classical methods such as Newton-Raphson, Gaus-Siedel e.tc. The histogram of Figure A shows comparison of the average time of convergence between the classical and State-of-the-Art Techniques.

## Keywords:

- Power FLOW
- Newton-Raphson
- Gaus-Siedel
- Fast Decoupled

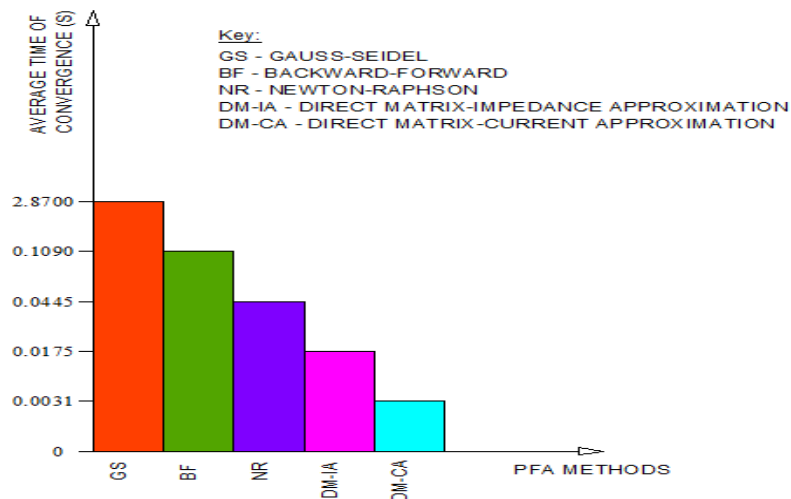


Figure A. Comparison of average time of convergence of the PFA methods

## Article Info:

Received : January 13, 2023

Accepted : March 17, 2023

## DOI:

910.53525/jster.1233034

## \*Correspondence:

Kamaluddeen I. Kanya  
[kamaluddeen.ibrahim@nda.edu.ng](mailto:kamaluddeen.ibrahim@nda.edu.ng)  
Phone : +234 80 35908285

**Aim of Article:** The purpose of this research is to contribute in reviewing the State-of-the-Art techniques for power flow analysis thereby highlighting the most effective techniques for implementation.

**Theory and Methodology:** PFA plays a leading role in advanced energy management systems application which include contingency analysis, state estimation, reliability assessment and optimal power flow. Calculations of PFA are made by characteristic values of various components such as busbars, generators, power lines and transformers on power system

**Findings and Results:** The State-of-the-Art methods of PFA were reviewed and, from the results contained in the reviewed papers, the methods showed superior performance over the classical ones.

**Conclusion :** This paper presents a review of the State-of-the-Art Techniques for PFA in comparison with classical methods. The State-of-the-Art Techniques were found to be more effective and therefore more suitable for application.



REVIEW ARTICLE

# A Review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis

\* Aliyu Sabo, \*Kamaluddeen I. Kanya, Naziru Shu'aibu, Chigozie Onyema, Aliyu Ahmed, Hadiza Tanko, and Sama'ila Kwasau

Centre for Power System Dynamic Simulation, Electrical Electronic Engineering Department, Nigerian Defence Academy, Kaduna, Nigeria.

\*Aliyu Sabo, 0000-0003-2894-812X, s.aliyu@nda.edu.ng

\*\*Kamaluddeen I. Kanya, 0000-0002-2083-2088, kamaluddeen.ibrahim@nda.edu.ng

---

## Citation:

Sabo, A., Kanya, K.I, Shu'aibu, N., Onyema, C., Ahmed, A., Tanko, H., and Sama'ila Kwasau (2023). *A review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis*, Journal of Science, Technology and Engineering Research, 4(1):36-43.  
DOI: 10.53525/jster.1233034

---

## HIGHLIGHTS

- *Review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis.*

---

## Article Info

Received : January 13, 2023

Accepted : March 17, 2023

## DOI:

10.53525/jster.1233034

## \*Corresponding Author:

Kamaluddeen I. Kanya  
[kamaluddeen.ibrahim@nda.edu.ng](mailto:kamaluddeen.ibrahim@nda.edu.ng)  
Phone: +234 80 35908285

---

## ABSTRACT

*A Review of State-of-the-Art Techniques for Power Flow Analysis (PFA) which are newly proposed is presented in this paper. However, some of the existing classical methods for the Power Flow Analysis such as Newton-Raphson method, Gauss-Seidel method, and Fast Decoupled Power Flow Technique were also discussed so as to give a background and a wider view of the improvements recorded so far. From the findings, State-of-the-Art Techniques such as Particle Swarm Optimization Algorithm for optimal Power Flow Incorporating Wind Farms, Hybrid Firefly and Particle Swarm Optimization Algorithm, Mann Iteration Process Technique for III-Conditioned System, and Modified Gauss-Seidel (MGS) method have shown superiority over and above the existing classical methods when it comes to accuracy, convergence speed and overall efficiency. Particularly, there are two newly proposed methods for dc grids namely Direct Matrix-Current Application and Direct Matrix-Impedance Approximation methods that stand out as regards accuracy, convergence and computational speed which means they can be used in planning, optimization and analysis purposes. Furthermore, MGS was validated using a 6-bus system in 3 cases. Each case had less than 25 iterations and the maximum voltage magnitude, phase angle and system frequency error in all the cases studied were less than 0.01%, 0.1% and 0.001% respectively.*

**Keywords:** Power Flow, Neuton-Raphson, Gaus-Siedel, Fast Decoupled

## I. INTRODUCTION

The importance of Power Flow Analysis (PFA) in power system cannot be over emphasized. Its role is very fundamental in the various advanced energy management systems application that include; contingency analysis, state estimation, reliability assessment and optimal power flow especially that, in recent times, the growth of electric utilities is rampant hence, the need for cost effective, secure and reliable

power supply generation for economic operations [1]. Power flow analysis entails reducing to a minimum level, the real  $\Delta Pi$  and reactive  $\Delta Qi$  power residuals mismatches in a power system, so that the voltage magnitude and phase angle solutions are accurate [2]. Calculations of PFA are made by characteristic values of various components such as busbars, generators, power lines and transformers on power system [3]. To reduce complexity and increase computational speed, digital computer has been used for nearly five decades in





solving the power flow equations however, there is still problem of solving certain typical power system network – despite a recorded substantial progress. This is due to the adherence to nonlinearity and operating constraints of the system [4]. For a large-scale power system particularly, due to the nonlinearity, an analysis of AC power flow can be computationally intensive in multistage, or online applications [5]. Also, the inherent nonconvexity power flow could make the optimization intractable when involved in optimization-based applications [5]. As interconnected power systems are expanding in recent years, the complexity in handling AC PF has become one of the binding factors for power system analysis and optimization [5]. Some of the widely used classical methods of solving the nonlinear PF equations include Newton-Raphson method, Gauss-Seidel method, Fast Decoupled method, etc. However, more functional evaluations are required during each iteration which is a limitation. Another limitation associated with these methods is that they may converge to a root different from the expected one or even diverge if the starting value is not close enough to the root. Therefore, the new state of the art methods of PF analysis is discovered to generally give better results than the classical methods and give the power the room to flow perfectly, fitting the new grid changes like Decentralized Generation (DG) [6]. These State-of-the-Art methods include Direct Matrix-Current Application (DM-CA) and Direct Matrix-Impedance Approximation (DM-IA) [5], Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Optimal PF Incorporating Wind Farm [6], Hybrid Firefly and Particle Swarm Optimization (HFPSO) [7], Artificial Neural Networks (ANNs) [8], Quasi-Oppositional Heap-Based Optimization (QOHBO) Technique [9], Three Stage Semi-Implicit Approach (3S-SIA) [10], Mann Iteration Process (MIP) For Ill-Conditioned System [11], Hybrid of Current-balance and Power-balance formulation using Rectangular Coordinates (HCPB) [12], Modified Gauss-Seidel (MGS) [13], Batched Fast Decoupled Method [14], Newton-Raphson Load Flow Analysis in Power System Networks with STATCOM in New Approach [14] and so on. This paper will therefore, focus on these state-of-the-art techniques.

## II. CLASSICAL METHODS OF POWER FLOW ANALYSIS

Finding the voltage magnitude and phase angle of each bus, when power is generated, and loads as pre-specified is the major consideration in power flow studies. And to that extent, the buses are classified as load bus (P-Q bus), generator bus (P-V bus) and slack bus (swing bus) [4].

Power flow system outputs are voltages at various buses, network line flows as well as losses in the system. The outputs are determined by resolving nodal power equations which are non-linear. This is where classical methods of power flow analysis, which are iterative, like Newton-Raphson, Gauss-Seidel and Fast-Decoupled techniques are employed to resolve these equations.

### A. Slack Bus

This is a special generator bus serving as the reference bus. Its voltage is assumed to be fixed in both magnitude and phase, for instance  $1 < 0^\circ pu$ .

### B. Load (PQ) Bus

It is a bus at which the real and reactive power are specified, and for which the bus voltage will be calculated.

### C. Generator (PV) Bus

This is a bus at which the magnitude of the voltage is defined and is kept constant by adjusting the field current of a synchronous generator.

### D. Newton-Raphson

It is one of the classical methods of PFA. It is used to find solution to equations of  $f(x) = 0$  forms by iteration. After determining an interval [a,b] that contains a single root, Newton Raphson is applied. The method is about substituting the curve  $y = f(x)$  for the tangent to the curve itself, starting from any point. After a number of iterations, the recurrence relation of the method is given by the following expression [6].

$$x_{n+1} = x_n - f(x_n)/f'(x_n)$$

However, when looking for a solution that is too far away from the considered interval, sometimes, Newton-Raphson may fail to converge [6].

### E. Gauss-Seidel

This is another iterative method also used to solve the power flow equations. Recall that:

$$I_{bus} = Y_{bus} * V_{bus} \text{ (A)}$$

The current  $I_k$  of  $k$ -th of the  $I_{bus}$ , is written in a less compact form as;

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} \cdot V_n \text{ (A)}$$

The complex power can be written as:



$$S_k = P_k + jQ_k = V_k \cdot I_k^* \text{ (A)}$$

And when the current is expressed as a function of  $I_k$ , we have

$$I_k = (P_k + jQ_k)/V_k^* \text{ (A)}$$

And finally, we have:

$$V_k = 1/Y_{kk}[(P_k + jQ_k)/V_k^* - (\sum_{n=1}^{k-1} Y_{kn} \cdot V_n + \sum_{n=k+1}^N Y_{kn} \cdot V_n)] \text{ (V)}$$

With  $k = 1, 2, \dots, N$  nodes. This expression links  $V_k$  ( $V_{kt} + jV_{ki}$ ) with the active and reactive power of the individual bus and is the solving equation underlying the Gauss-Seidel method [6].

However, the Gauss-Seidel method has a slow convergence where the convergence speed has the same order of magnitude as the number of busbars.

#### F. Fast-Decoupled Power Flow Technique

This method includes two steps; (1) decoupling real and reactive power calculations; (2) obtaining of the Jacobian matrix elements directly from the Y-bus.

### III. STATE-OF-THE-ART METHODS OF POWER FLOW ANALYSIS

In the previous section, we have seen how classical methods use iteration to solve power flow equations, which could be for AC or DC systems. Despite the fact that the methods are used on DC grids, they are originally used in power flow studies for AC networks. However, among the new methods developed for PFA, two new methods for dc grids were developed and compared with the classical methods, they perform better as regards convergence, accuracy and computational effort needed. These methods are Direct Matrix-Current Application (DM-CA) and Direct Matrix -Impedance Approximation (DM-IA) [7]. Other new PFA methods are also discussed in this section.

#### A. DM-CA And DM-IA

Table 1 shows comparison of various PF techniques as applied to IEEE test feeder. Accuracy is defined as a Root Mean Square Error (RMSE) with regard to the actual solution of the power flow problem and the desired convergence tolerance  $\epsilon$ . The average number of

iterations, RMSE, and computation time average are also contained in the Table.

**Table 1.** RMSE, average iterations and computation time needed for various PF techniques

Simulation Convergence Tolerance, $\epsilon = 10^{-6}$ [7]			
Method	RMSE [p.u.]	Average Iterations	Average Time [s]
Gauss-Seidel	0.000189	367	2.87
Newton-Raphson	$1.1 \cdot 10^{-9}$	2.74	0.0445
Backward-Forward	$3.0 \cdot 10^{-9}$	2.88	0.109
DM-CA	$2.9 \cdot 10^{-9}$	2.87	0.0031
DM-IA	$2.7 \cdot 10^{-14}$	2.00	0.0175
Quadratic Solver	$5.3 \cdot 10^{-15}$	N/A	240
Optimization Problem	$4.1 \cdot 10^{-10}$	2.00	9.54

#### B. Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Optimal Power Flow Incorporating Wind Farms

One of the population-based optimization strategies is particle swarm optimization (PSO). In 1995, Dr. Eberhart and Dr. Kennedy created and developed this optimization approach. The social nature of fish schooling or bird flocking inspired this optimization strategy. The PSO was applied to a modified IEEE 30 bus system in which buses 11, 13, and 15 were replaced by a wind farm, and the results suggest that this technique may be used to solve any power flow problem. In comparison to Newton Raphson, it outperformed it [8].

#### C. Hybrid Firefly and Particle Swarm Optimization Algorithm (HFPSO)

This algorithm was created by Ibrahim Berkan Aydilek. The HFPSO method combines the Firefly Optimization (FFO) and Particle Swarm Optimization (PSO) [8] techniques to improve exploration and exploitation tactics to accelerate convergence[8]. To validate the

algorithm's validity, a normal IEEE 30-bus test network was used, and it was discovered that the approach provides a good tool for dealing with OPF difficulties in power networks.

#### D. Artificial Neural Networks (ANNs)

Having the ability to learn complex non-linear input and output relationship is the main characteristic of neural networks where they use sequential training procedures and adapt themselves to the data application [10]. ANNs are generally a parallel computing system in massive form that consists of an extremely large number of many interconnections of simple processors [10]. Their models ideally try to use some organizational principles like learning, generalization and computation in a network of weighted graphs whereas the nodes are in the form of artificial neurons and directed edges are connections between neuron inputs and outputs [10]. See Figure 1.

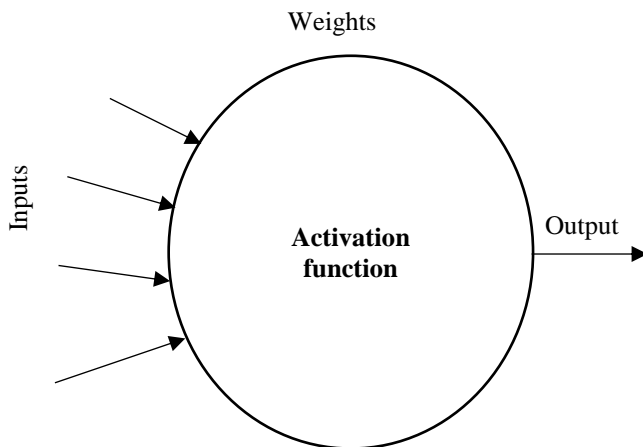


Fig. 1: An Artificial Neuron

#### E. Quasi-Oppositional Heap-Based Optimization (QOHBO) Technique

Modern power flow analysis techniques are designed to satisfy the increasing demand of power system by making analysis faster, detailed and more reliable, one new approach proposed utilizes the concept of quasi-oppositional learning to augment the speed of convergence by applying it to HBO (Heap-Based Optimization). Basetti in his research [11] proposed this method to ameliorate the convergence speed of PF iteration, as a derivative-free method. In this research, the QOHBO power flow technique is applied to a standard IEEE and ill-conditioned systems to test the

effectiveness of the technique. The algorithm of this technique was validated when loaded to its maximum limit at high R/X ratio. The results obtained showed that the QOHBO power flow technique has less computation time, further enhanced reliability in the presence of photovoltaic generator (PVG) and could provide multiple PF solutions that can be utilized for voltage stability analysis. When compared to other well-known method, the robustness of the algorithm outperformed its counterparts.

#### F. Three (3) Stage Semi-Implicit Approach (3S-SIA)

Power-Flow (PF) problem has been customary solved using the classical Newton-Raphson technique (NR). These old methods are quite efficient for managing well-conditioned systems. Oppositely, NR finds multiple convergence issues in ill-conditioned systems. Power-Flow Analysis in a practical large-scale ill-conditioned system, is too complex and challenging for most available techniques. Marcos Tostado in his paper [12] tackles this issue by developing the Three Stage Semi-Implicit Approach (3S-SIA as) a novel efficient and robust PF method. This technique uses a Semi-Implicit approach but combines other numerical arrangements for improving its robustness and efficiency. The 3S-SIA is efficient in the sense that it requires just a matrix factorization in each iteration, resulting in similar computational burden when compared to NR. The result obtained proved that 3S-SIA is remarkably more robust than NR. Nevertheless, there are still some gaps in this method because the references in this paper do not provide comprehensive theoretical analysis about convergence properties of semi-implicit approaches.

#### G. Mann Iteration Process (MIP) Technique for Ill-Conditioned System

A wide-ranging theoretical analysis is provided, from which it has been demonstrated that the Mann Iteration Process with asymptotic stability may achieve a high convergence rate. It also constitutes highly robust methodology, improving the properties of the Newton-Raphson method. In all cases, the results obtained with the Mann Iteration Process are superior to that obtained using other classical methodologies, being able to efficiently solve various large-scale ill-conditioned systems [13].

#### H. Current - Balance Technique



The most widely used power flow analysis formulation is the power balance formulation [14]. In the power balance form, the summation of power injected and absorbed at each bus and by the network respectively, must be equal to zero [14]. However, evaluation of the Jacobian matrix is main computational drawback of the power balance form. Therefore, the current-balance is used at each bus, in place of the power-balance which is, essentially, Kirchoff's current law [14]. Thus, the proposed current-balance power-balance technique approach is the expression in rectangular form, the variables of the combination of current balance equations for PQ buses, power balance equations and voltage magnitude constraints equation for the PV buses [14].

### I. The Modified Gauss Seidel (MGS)

For application in an islanded microgrid, the Gauss-Seidel method requires some modifications [15]. These include calculation of the system frequency and variables of all the buses [15]. Also, in the iteration procedure, the Ybus needs to be included since it's the function of the system frequency hence, changes after every iteration. More so, the system losses need to be distributed among the DGs [15]. A 6-bus system is used to validate the proposed technique with the parameters of the systems given. Within the three cases studied, there were less than 25 iterations for each case. Also, the maximum voltage magnitude, phase angle and system frequency error in all the cases studied were less than 0.01%, 0.1% and 0.001% respectively [15].

### J. Batched Fast Decoupled Method

There is a significant increase in computing time of load flow problem due to its massive growth, and as a result, its application in many real time analyzing tools has been limited [16]. Therefore, to improve its performance, a parallel computing strategy must be utilized with state-of-the-art devices so as to accelerate the computations [16]. So, a massive load flow problem can be solved by processing severally or independently on CPU, hence, the design of the proposed GPU – accelerated batched decouple solver [16]. This technique concentrates on the calculation of the imbalanced load of the forward and backward substitutions (FS/BS) and their solution using fixed coefficient matrices [16]. Furthermore, the proposed solver, achieves a speed up of 24.17x for 13659-bus system by discovering the parallelism of massive load flows and a single load flow compared with implementation on CPU [16].

### K. A New Approach Newton-Raphson Load Flow Analysis in Power System Networks with STATCOM

Newton Raphson is the most reliable classical method of power flow analysis because of its fast convergence speed, and accuracy [17]. However, as the power system is expanding, so is the dimension of load flow equations growing from several thousands, very fast, to tens of thousands. This, compelled the interested researchers to continue seeking for the methods that can efficiently tackle such problems. Therefore, STATCOM is one of the most useful devices for improving quality of the power in electrical power system due to its quick voltage regulation, transient stability improvement and variable reactive power compensation [17].

The equation for the  $i^{th}$  bus with STATCOM is rewritten as follows [17]:

$$S_i = (P_{Li} + jQ_{Li}) + (P_{si} + jQ_{si}) \quad (1)$$

$$P_i = P_{Li} + P_{si}, Q_i = Q_{Li} + Q_{si} \quad (2)$$

$$I_{si} = (P_{si} - jQ_{si})/V_i^* \quad (3)$$

$$V_{si} = V_i - I_{si}Z_{si} \quad (4)$$

### L. Generalized Hopfield Neural Network

A fixed weight is used in formulating this proposed LFA method. The method can solve any order of a nonlinear algebraic set of load flow equations its cost of computation less than the usual [3]. An energy function used in designing the proposed method has the equations;

$$E = \sum_{j=1}^n (g_j(\cdot))^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{And } g_j(\cdot) = f_j(x_1, x_2, \dots, x_j, x_n \dots \dots \dots (2)$$

In this technique, the number of the neurons is selected based on the number of parameters to be determined [4]. Therefore, two approaches were deployed;  
 1<sup>st</sup> approach: Its formulation is using real and reactive power flow. It is tested on a 3-bus and 5-bus systems and, the form of energy function is found to be feasible for solving the load flow problem [4].  
 2<sup>nd</sup> approach: Real and reactive power mismatches were used to form the energy function (since its required to reduce the real and reactive power mismatches to zero in order to obtain the phasor forms of the voltage at all the buses in a load flow analysis of a power system), and the



energy function found is the minimizing function whose value is reduced to zero, or at least, the minimum value[4]. Therefore, this approach is found to be more appropriate in solving the PF problem.

Overall, the proposed GHNN method is found to have very less computing time, converges very fast, simple program formulation and less memory required when compared with Newton Raphson method [4].

#### IV. PERFORMANCE COMPARISON BETWEEN STATE-OF-THE-ART AND CLASSICAL METHODS OF POWER FLOW ANALYSIS

As evidently seen from the highlighted methods, there is a clear performance superiority by the State-of-the-art techniques when compared against the classical ones.

When performing iterations, a classical method like Newton Raphson will fail to converge when interval [a,b] of the  $f(x)=0$  containing a single root is far away from the solution.

Furthermore, Gauss-Seidel method converges very slowly with an identical magnitude order between the convergence speed and the busbar number.

However, on the part of the State-of-the-art methods, for example, Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Optimal Power Flow Incorporating wind farms outperformed the Newton Raphson method as it can be used to solve any power flow problem.

Moreso, as contained in Table 1, the accuracy error (RMSE) of some of the techniques used on some IEEE test feeders showed that the RMSE value of the DM-CA technique compared to that of the Gauss-Seidel had an average of 2.87 iterations and an average time of 0.0032s while the Gauss-Seidel method had 367 and 2.87s average iterations and average time respectively. Therefore, State-of-the-Art PFA methods have no doubt come with significant improvements over and above the Classical PFA methods.

#### V. CONCLUSION

This paper focuses on review of some of State-of-the-Art techniques for PFA. However, some of the popular Classical methods namely GS, NR, BF, QS and OP were considered in comparison with two newly proposed State-of-the-Art PFA methods for dc grids as regards accuracy, convergence and computational effort needed. The two newly proposed state-of-the-art methods for dc, which are DM-CA and DM-IA, showed superior performance, which means they can be used for planning, optimization and analysis purposes [7].

Furthermore, the paper presented more State-of-the-Art techniques that were proposed, which show superiority

over the existing classical methods in terms of accuracy, speed of convergence and overall efficiency. These methods/techniques include PSO, HFPSO, ANNs, QOHBO, 3S-SIA, MIP, HCPB, MGS and Batched Fast Decoupled Methods. Others include A New Approach New-Raphson Load Flow Analysis in Power System Networks with STATCOM and Load flow analysis using generalized Hopfield neural network. As demands increase, it is expected that more techniques will be developed as researches continue.

#### CONFLICTS OF INTEREST

There was no conflict of interest between the authors and their respective institutions.

#### RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

In the studies carried out within the scope of this article, the rules of research and publication ethics were followed.

#### ACKNOWLEDGMENT

The authors are thankful to the Centre for Power System Dynamic Simulation, Electrical Electronic Engineering Department, Nigerian Defence Academy, Kaduna, Nigeria.

#### REFERENCES

- [1] M. Z. Islam *et al.*, "Optimal Power Flow using a Novel Harris Hawk Optimization Algorithm to Minimize Fuel Cost and Power loss," *2019 IEEE Conf. Sustain. Util. Dev. Eng. Technol. CSUDET 2019*, no. November, pp. 246–250, 2019, doi: 10.1109/CSUDET47057.2019.9214591.
- [2] V. Veerasamy *et al.*, "A novel RK4-Hopfield Neural Network for Power Flow Analysis of power system," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 93, p. 106346, 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2020.106346.
- [3] S. B. Efe and M. Cebeci, "Power flow analysis by Artificial Neural Network," vol. 2, no. 6, pp. 204–208, 2013, doi: 10.11648/j.ijepe.20130206.11.
- [4] V. Veerasamy, R. Ramachandran, M. Thirumeni, and B. Madasamy, "Load flow analysis using generalised Hopfield neural network," 2018, doi: 10.1049/iet-gtd.2017.1211.
- [5] Z. Li and J. Yu, "Approximate Linear Power Flow Using Logarithmic Transform of Voltage Magnitudes With Reactive Power and Transmission Loss Consideration," vol. 33, no. 4, pp. 4593–4603, 2018.
- [6] B. G. Risi, F. Riganti-Fulginei, and A. Laudani, "Modern Techniques for the Optimal Power Flow Problem: State of the Art," *Energies*, vol. 15, no. 17, 2022, doi: 10.3390/en15176387.
- [7] N. H. Van Der Blij *et al.*, "Improved Power Flow Methods for DC Grids," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. 2020-June, no. 734796, pp. 1135–1140, 2020, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152570.
- [8] S. I. Evangeline, "Particle Swarm Optimization Algorithm for Optimal Power Flow Incorporating Wind Farms," *2019*



- IEEE Int. Conf. Intell. Tech. Control. Optim. Signal Process.*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/INCOS45849.2019.8951385.
- [9] A. Khan, H. Hizam, N. I. bin A. Wahab, and M. L. Othman, “Optimal power flow using hybrid firefly and particle swarm optimization algorithm,” *PLoS One*, vol. 15, no. 8 August, pp. 1–21, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0235668.
- [10] W. A. Alsulami, “Fast and Accurate Load Flow Solution for On-line Applications Using ANN,” vol. I, no. June, 2017.
- [11] V. Basetti, S. S. Rangarajan, C. K. Shiva, S. Verma, R. E. Collins, and T. Senjyu, “A quasi-oppositional heap-based optimization technique for power flow analysis by considering large scale photovoltaic generator,” *Energies*, vol. 14, no. 17, 2021, doi: 10.3390/en14175382.
- [12] M. Tostado-véliz, S. Kamel, T. Alquthami, and S. Member, “A three-stage algorithm based on a Semi-Implicit approach for solving the Power-Flow in realistic large-scale ill-conditioned systems,” 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2975058.
- [13] M. Tostado-véliz, H. M. Hasanien, S. Member, and R. A. Turkey, “Mann-Iteration Process for Power Flow Calculation of Large-Scale Ill-Conditioned Systems: Theoretical Analysis and Numerical Results,” vol. XX, pp. 1–12, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3114969.
- [14] S. Abhyankar and A. J. Flueck, “Fast Power Flow Analysis using a Hybrid Current-Power Balance Formulation in Rectangular Coordinates,” no. 1.
- [15] F. Mumtaz, M. H. Syed, M. Al Hosani, and H. H. Zeineldin, “A Simple and Accurate Approach to Solve the Power Flow for Balanced Islanded Microgrids,” pp. 1–5.
- [16] L. P. System, Z. Liu, Y. Song, Y. Chen, S. Huang, and M. Wang, “Batched Fast Decoupled Load Flow for,” *2018 Int. Conf. Power Syst. Technol.*, no. 201804270000856, pp. 1775–1780, 2018.
- [17] R. Gono and Z. Leonowicz, “A New Approach Newton-Raphson Load Flow Analysis in Power System Networks with STATCOM,” no. August, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-14907-9.



RESEARCH ARTICLE

# Optimizing the Performance of Lead-free $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ Perovskite Solar Cells via Thickness, Doping, and Defect Density Control

\*,<sup>1</sup> Leila Ghalmi, S. Bensmaine, C.E.H. Merzouk

<sup>\*,1</sup>Department of Physics, Research Unit on Renewable Materials and Energy (URMER) Abou Bekr Belkaid University - Tlemcen (UABT).  
[leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz](mailto:leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz) orcid.0000-0001-5238-5609  
[s\\_bensmaine@yahoo.fr](mailto:s_bensmaine@yahoo.fr)  
[hayatmerzouk@gmail.com](mailto:hayatmerzouk@gmail.com)

## HIGHLIGHTS

- $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite is a promising alternative for efficient and environmentally friendly solar cells.
- The researchers achieved a high-power conversion efficiency of 23.9% in the optimized cell.
- The use of lead-free perovskite materials can reduce manufacturing costs and improve environmental sustainability.

## Keywords:

- Perovskite solar cells,
- Photovoltaic performance,
- Manufacturing process,
- Lead-free perovskite,
- Numerical simulation.

## GRAPHICAL ABSTRACT

This study focuses on  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite as a lead-free alternative for solar cells. The researchers used one-dimensional simulation software to investigate the photovoltaic properties of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite solar cells with a  $\text{TiO}_2/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3/\text{Cu}_2\text{O}$  structure. The thickness of the absorbing layer, doping concentration, and density of defects were adjusted to improve the performance of the solar cells. The obtained results demonstrate that  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite has the potential to be an efficient and environmentally friendly absorber. The researchers achieved a high-power conversion efficiency (PCE) of 23.9%, along with a high short-circuit current density ( $J_{sc}$ ) of 31,519  $\text{mA}/\text{cm}^2$ , an open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of 0.965V, and a high fill factor (FF) of 78.7%. These results are encouraging and demonstrate the potential of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite as a promising alternative to  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  for use in solar cells. Furthermore, the use of lead-free perovskite materials in solar cells could offer several advantages, including improved environmental sustainability and reduced manufacturing costs. It also opens opportunities for the development of more stable and efficient solar cells that can be produced on a large scale. However, more research is needed to further optimize the performance and stability of lead-free perovskite solar cells before they can be commercially viable.

**Table A** The name figure or table about given info and result

	$V_{oc}$ (V)	$J_{sc}$ ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	FF (%)	PCE (%)
Reference cell	0,748	30,982	77,819	18,035
Optimized cell	0,965	31,519	78,717	23,943

## Article Info:

Received : January 10, 2023

Accepted : March 20, 2023

## DOI:

10.53525/jster.1231984

## \*Correspondence:

Leila GHALMI

[leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz](mailto:leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz)

Phone : +213 541 765240

**Aim of Article:** The article aims to investigate and optimize  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite as a lead-free alternative for solar cells to achieve higher efficiency and improved environmental sustainability.

**Theory and Methodology:** The theory and methodology of this work involve using  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite as a lead-free alternative for solar cells, with the researchers utilizing one-dimensional simulation software to study its photovoltaic properties with a  $\text{TiO}_2/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3/\text{Cu}_2\text{O}$  structure. They adjusted the thickness of the absorbing layer, doping concentration, and density of defects to optimize the performance of the solar cells.

**Findings and Results:** The researchers found that  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite can be a highly efficient and eco-friendly absorber for solar cells, achieving a high-power conversion efficiency (PCE) of 23.9% in the optimized cell. They also obtained a high short-circuit current density ( $J_{sc}$ ) of 31,519  $\text{mA}/\text{cm}^2$ , an open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of 0.965V, and a high fill factor (FF) of 78.7%, demonstrating its potential as a viable alternative to  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ .

**Conclusion :** the use of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite as a lead-free alternative for solar cells shows promising results, with high power conversion efficiency and environmentally sustainable advantages. However, further research is needed to optimize the stability and performance of lead-free perovskite solar cells before they can be commercially viable.



RESEARCH ARTICLE

# Optimizing the Performance of Lead-free $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ Perovskite Solar Cells via Thickness, Doping, and Defect Density Control

\*1 Leila Ghalmi, S. Bensmaine, C.E.H. Merzouk

\*1 Department of Physics, Research Unit on Renewable Materials and Energy (URMER) Abou Bekr Belkaid University - Tlemcen (UABT)  
[leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz](mailto:leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz), [Orcid.0000-0001-5238-5609](https://orcid.org/0000-0001-5238-5609)  
[s\\_bensmaine@yahoo.fr](mailto:s_bensmaine@yahoo.fr)  
[hayatmerzouk@gmail.com](mailto:hayatmerzouk@gmail.com)

## Citation:

Ghalmi, L., Bensmaine, S., Merzouk, C.E.H. (2023). *Optimizing the Performance of Lead-free  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  Perovskite Solar Cells via Thickness, Doping, and Defect Density Control*, Journal of Science Technology and Engineering Research,4(1):44-51. DOI: 10.53525/jster.1231984

## HIGHLIGHTS

- $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite material as a promising lead-free alternative for perovskite solar cells.
- One-dimensional simulation software used to investigate the photovoltaic properties of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite solar cells with a  $\text{TiO}_2/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3/\text{Cu}_2\text{O}$  structure.
- Improved performance of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite solar cells achieved by adjusting the thickness of the absorbing layer, doping concentration, and density of defects.
- Obtained results demonstrate the potential of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  as a highly efficient and environmentally friendly solar absorber.
- The study highlights the importance of developing lead-free perovskite solar cells with high stability and efficiency for large-scale production.

## Article Info

Received : January 10, 2023

Accepted : March 20, 2023

## DOI:

10.53525/jster.1231984

## \*Corresponding Author:

Leila GHALMI  
[leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz](mailto:leila.ghalmi@univ-tlemcen.dz)  
Phone: +213 541 765240

## ABSTRACT

Perovskite solar cells have gained significant attention due to their excellent photovoltaic performance and simple manufacturing process. However, the use of lead (Pb) in the widely studied  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  perovskite material limits its large-scale production due to low stability in the air. As a result, researchers have turned to lead-free  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite as a promising alternative. In this study, we used one-dimensional simulation software to investigate the photovoltaic properties of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite solar cells with a  $\text{TiO}_2/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3/\text{Cu}_2\text{O}$  structure. By adjusting the thickness of the absorbing layer, doping concentration, and density of defects, we were able to improve the performance of the solar cells. The obtained results of  $J_{sc} = 31,519 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{oc} = 0,965 \text{ V}$ ,  $FF = 78,717\%$ , and  $PCE = 23,943\%$  demonstrate the potential of lead-free  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  as a highly efficient and environmentally friendly solar absorber.

**Keywords:** Perovskite solar cells, Photovoltaic performance, Manufacturing process, Lead-free perovskite, Numerical simulation.

## I. INTRODUCTION

Perovskite solar cells have garnered significant attention in recent years as a promising photovoltaic technology due

to their high efficiency and low-cost manufacturing process [1, 2]. In particular, the lead (Pb)-free hybrid perovskite  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  has emerged as a strong contender for widespread use due to its high stability in the air and ability to achieve efficiencies over 25% [3, 4].





In this study, we used numerical simulation to investigate the photovoltaic properties of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite solar cells with a  $\text{TiO}_2/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3/\text{Cu}_2\text{O}$  structure. The obtained results demonstrate the potential of lead-free  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  as a highly efficient and environmentally friendly solar absorber [13].

## II. METHOD

Perovskite materials are a class of compounds with a specific crystal structure that have attracted a lot of interest in the field of solar cells because they have the potential to be more efficient and less expensive to produce than traditional solar cell materials. One perovskite that has been widely studied is  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ , which is a hybrid organic-inorganic material made up of tin, iodide, and methylammonium ions [12].

In a solar cell, the  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite material is typically used as the light-absorbing layer, which converts sunlight into electrical energy. The efficiency of this conversion process can be improved by adding other layers or materials to the cell structure. For example,  $\text{TiO}_2$  is often used as a scaffold material to help support the perovskite layer and improve its stability.  $\text{Cu}_2\text{O}$  is another material that has been explored for use in perovskite solar cells as a way to improve the device's ability to extract electrical charge carriers [14].

Overall, the use of perovskite materials and other layers or materials in solar cells is an active area of research and development, with the goal of developing more efficient and cost-effective solar energy technologies.

### A. Reference Solar Cell Structure to Simulate

The purpose of the simulation of the reference solar cell structure is to study its performance and behavior under standard outdoor conditions, which include an illumination of  $1000 \text{ w/m}^2$  at 300 K and an AM 1.5G air mass [11]. By simulating the solar cell structure, we can gain a better understanding of its underlying mechanisms and identify potential areas for improvement. The simulation allows for a detailed analysis of the electrical and optical properties of the solar cell, which can help in optimizing the design and improving the efficiency of the cell.

The reference solar cell structure is a planar structure consisting of three layers:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ , and  $\text{Cu}_2\text{O}$ , and is representative of a hybrid perovskite solar cell. The  $\text{TiO}_2$  layer serves as an electron transport layer (ETL) and the front contact (anode) of the solar cell, while the  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  layer is a p-type hybrid halide

perovskite material that functions as the light-absorbing layer [9]. The  $\text{Cu}_2\text{O}$  layer, on the other hand, is a p-type copper oxide material that serves as a hole transport layer (HTL) to the copper metal electrode (Figure1) [10].

By simulating this solar cell structure under standard conditions, we can gain insights into its performance and behavior, such as its current-voltage (IV) characteristics, power conversion efficiency (PCE), and spectral response. The simulation also allows for a comparison of the results with experimental data, which can provide validation for the simulation model. Ultimately, the goal of the simulation is to enhance the understanding of the solar cell structure's operation and to provide insights into potential improvements in its design and performance.

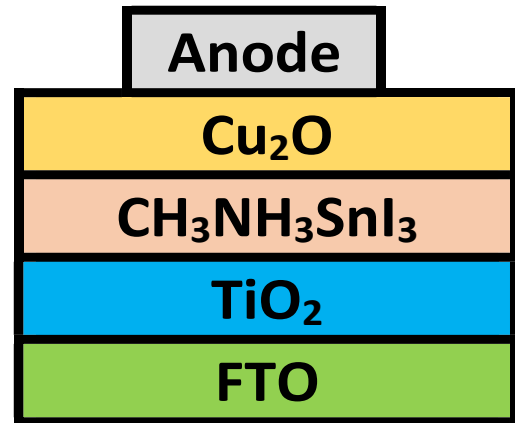


Figure. 1. Lead-free  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  solar cell structure.

The energy levels of the studied solar cell are shown in Figure 2.

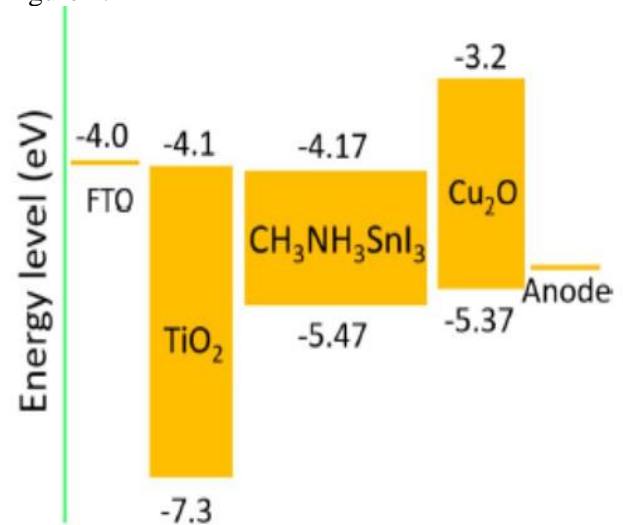


Figure. 2. Diagram of energy levels [5].



**B. Reference Cell Parameters and Properties**

The Reference Solar Cell (RSC) is a device used as a reference point for comparing the performance of different types of solar cells. It consists of three layers: a titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) layer, a methylammonium tin iodide (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub>) layer, and a cuprous oxide (Cu<sub>2</sub>O) layer. These layers have different thicknesses and properties that play a crucial role in determining the performance of the RSC. Table 1 summarizes the properties of these layers, including their thicknesses and electrical and optical properties. The TiO<sub>2</sub> layer is a wide bandgap n-type semiconductor that serves as the electron transport layer. The CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub> layer is a p-type semiconductor with a perovskite crystal structure that acts as the light-absorbing layer. The Cu<sub>2</sub>O layer is a p-type semiconductor that acts as the hole transport layer. The properties of these materials, such as their bandgap energy, carrier mobility, and absorption coefficient, can be sourced from literature [5] and used to model the behavior of the RSC under various conditions.

To predict the performance of the RSC, it is important to consider the various operating conditions it may encounter. As mentioned earlier, these conditions include the intensity and spectrum of the incident light, temperature, humidity, and mechanical stress. By carefully specifying these conditions and incorporating them into the model, it is possible to accurately predict the performance of the RSC under a range of application conditions.

In addition to the properties of the individual layers, the cell also has interface parameters that describe the interactions between the layers. These parameters are listed in Table 2 [5] and may include information about the work function, the conduction and valence band offsets, and the surface recombination velocities at the interfaces. Understanding the interface parameters is important for predicting the overall performance of the cell and for optimizing its design.

The absorption coefficient of CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub> perovskite, shown in the figure below, was obtained from experimental data [6] and was imported into the software as a file. The absorption coefficient describes the ability of the material to absorb light and is an important parameter for predicting the performance of a solar cell. The figure 3 shows the absorption coefficient as a function of wavelength, which can be used to understand the material's spectral response and optimize its use in a solar cell. The data from reference [6] was used to input the absorption coefficient into the software, which can then be used to model the photovoltaic characteristics of the solar cell.

For the absorption coefficients of the Cu<sub>2</sub>O and TiO<sub>2</sub> hole and electron transport layers (HTL and ETL), respectively, the SCAPS model was used. The absorption coefficients for these layers were calculated using the following equations:

Cu<sub>2</sub>O HTL:

$$\alpha(\lambda) = A_1 \times \left(\frac{\lambda}{1000}\right)^{-B_1} \dots (1)$$

TiO<sub>2</sub> ETL:

$$\alpha(\lambda) = A_2 \times \left(\frac{\lambda}{1000}\right)^{-B_2} \dots (2)$$

In these equations, the absorption coefficient is a function of wavelength, which is divided by 1000 to convert it from nanometers to micrometers. The constants A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, and B<sub>2</sub> are material-specific parameters that can be obtained from literature or experiments. Using these equations, the absorption coefficients of the Cu<sub>2</sub>O and TiO<sub>2</sub> layers can be calculated for different wavelengths and used in the SCAPS model to predict the photovoltaic characteristics of the solar cell.

**Table 1.** Electrical and optical properties of the different layers of the cell

Parameters	FTO (TCO)	TiO <sub>2</sub> (ETL)	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> SnI <sub>3</sub>	Cu <sub>2</sub> O (HTL)
Thickness (nm)	500	120	450	100
Eg (eV)	3.4	3.2	1.3	2.17
χ (eV)	4.5	4.1	4.17	3.2
ε <sub>r</sub>	9.1	9.0	8.2	7.1
N <sub>c</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1.1*10 <sup>19</sup>	2.2* 10 <sup>18</sup>	1*10 <sup>18</sup>	2*10 <sup>17</sup>
N <sub>v</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1.1*10 <sup>19</sup>	1.8*10 <sup>19</sup>	1*10 <sup>18</sup>	1.1*10 <sup>19</sup>
μ <sub>n</sub> (cm <sup>2</sup> /Vs)	20	0.05	2000	200
μ <sub>p</sub> (cm <sup>2</sup> /Vs)	10	0.05	300	80
ND (cm <sup>-3</sup> )	1*10 <sup>19</sup>	1*10 <sup>18</sup>	0	0
NA (cm <sup>-3</sup> )	0	0	1*10 <sup>14</sup>	1*10 <sup>18</sup>

**Table 2.** Parameters for the defects in materials and at interfaces.

Paramètres	TiO <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> SnI <sub>3</sub>	Cu <sub>2</sub> O	Interface TiO <sub>2</sub> /CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> SnI <sub>3</sub>	Interface CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> SnI <sub>3</sub> /Cu <sub>2</sub> O
Defect type	Neutre	Neutre	Neutre	Neutre	Neutre
σ <sub>n</sub> (cm <sup>-2</sup> )	1*10 <sup>-15</sup>	2.5*10 <sup>-15</sup>	1* 10 <sup>-15</sup>	1 * 10 <sup>-15</sup>	1 * 10 <sup>-15</sup>
σ <sub>p</sub> (cm <sup>-2</sup> )	1*10 <sup>-15</sup>	8.5*10 <sup>-15</sup>	1* 10 <sup>-15</sup>	1 * 10 <sup>-15</sup>	1 * 10 <sup>-15</sup>
Energy distribution	Uniform	Gaussian	Uniform	Uniform	Uniform
Energy level with respect to E <sub>v</sub> (above E <sub>v</sub> ) (eV)	0.600	0.650	0.100	0.600	0.600
Characteristic energy (eV)	-	0.100	-	-	-
N <sub>t</sub> (cm <sup>-3</sup> )	1* 10 <sup>14</sup>	3.029*10 <sup>16</sup>	1 * 10 <sup>14</sup>	1 * 10 <sup>10</sup>	1 * 10 <sup>10</sup>

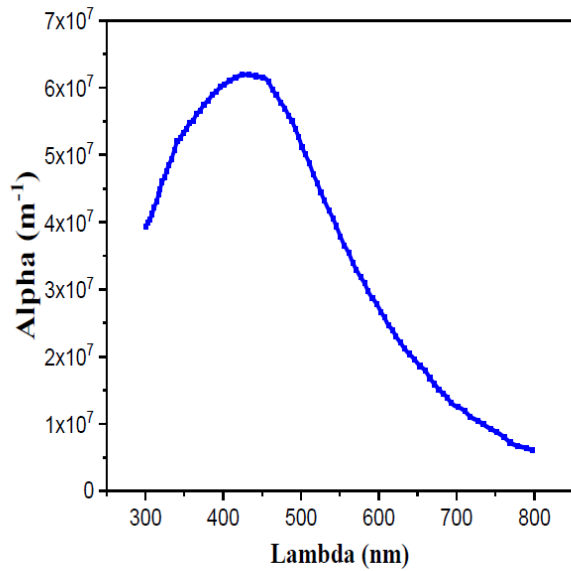


Figure 3. Absorption coefficient of CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub> perovskite

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### A. Characteristic (J-V) and quantum efficiency QE

In introducing the parameters from Table 1 into the SCAPS simulator, we obtained the current density versus voltage (J-V) characteristic curve shown in Figure 4. From this curve, we were able to determine the photovoltaic parameters (J<sub>sc</sub>, V<sub>oc</sub>, FF, and η) for the cell under study. Figure 5 shows the external quantum efficiency of the cell as a function of wavelength (λ).

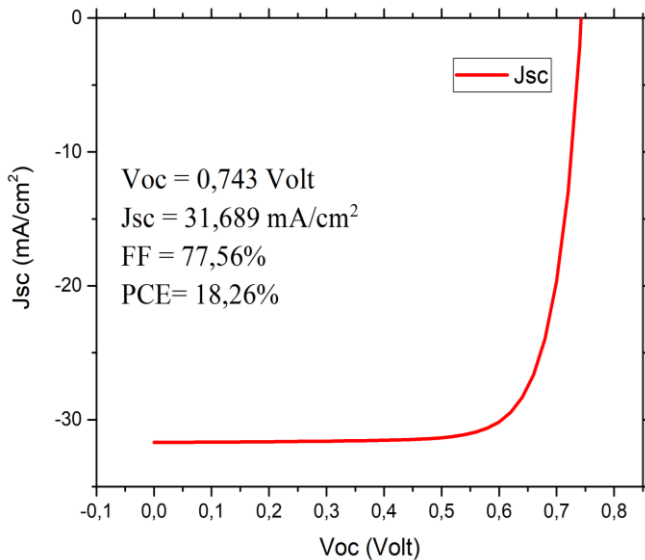


Figure 4. The current-voltage (J-V) characteristic curve.

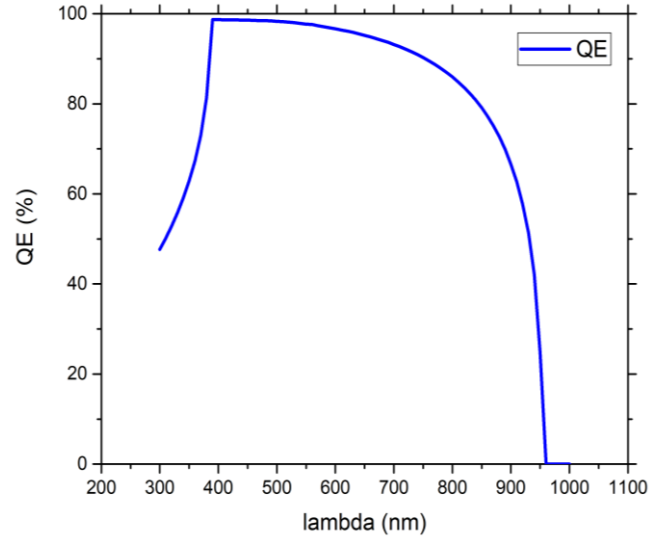
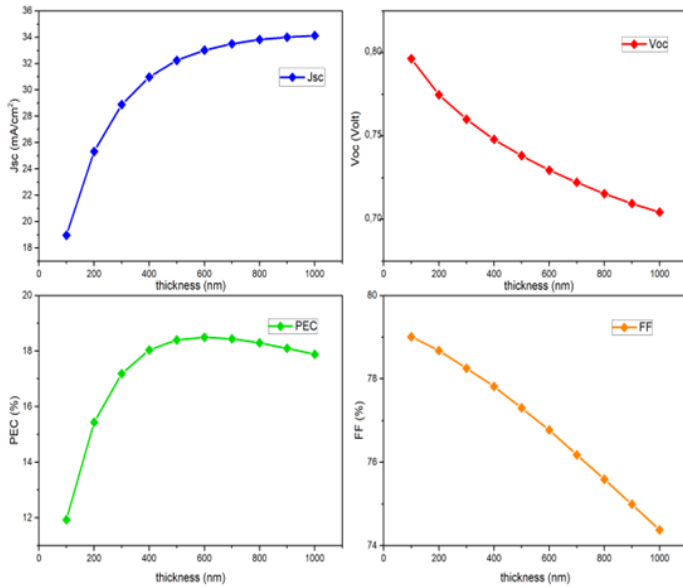


Figure 5. Quantum efficiency (QE) as a function of wavelength

Due to its narrower bandgap of 1.3 eV, the CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub> perovskite has an optical absorption edge that is shifted to 960 nm, as seen in the external quantum efficiency (QE) curve (Figure 5). The QE covers the entire visible spectrum and reaches a maximum absorption at 400 nm to nm, with notable absorption beginning at 960 nm. The red shift of the QE curve is advantageous for absorption of infrared wavelengths.

#### B. Effect of absorbent layer thickness

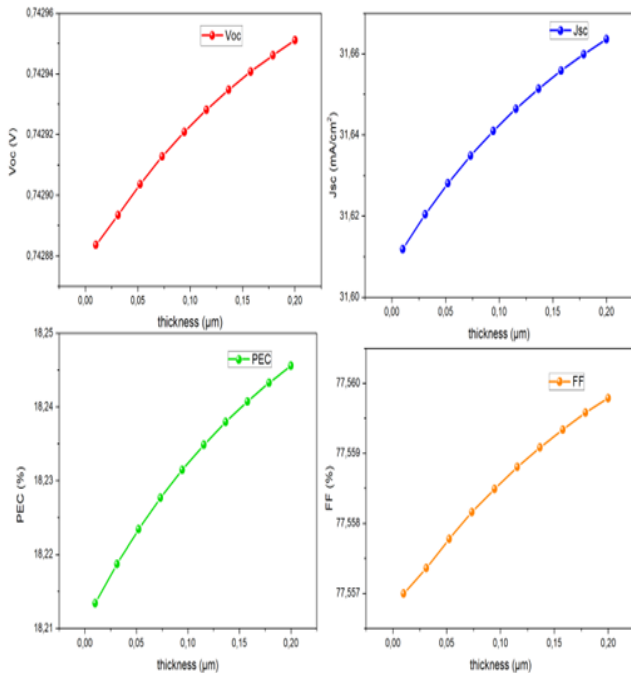
The absorbing layer plays a very important role in the performance of the cell, so to study this effect we varied the thickness of the absorbing layer from 100 nm to 1000 nm. The simulation results are shown in Figure 6. We can see that the variation of the thickness of the perovskite affects all the parameters of the cell. The current density (J<sub>sc</sub>) increases with the increasing thickness of the absorber (perovskite), due to the large absorption coefficient of the latter. The PCE increases with the increasing thickness, reaching a maximum of 18,50 % at a thickness of 600 nm. Beyond this thickness, it begins to decrease due to the charge carrier diffusion length becoming shorter than the thickness of the perovskite, with some carriers not reaching the electrodes. The slight decrease in V<sub>co</sub> with thickness is also due to an increase in recombination. The decrease in fill factor with increasing absorber thickness can be attributed to the increasing series resistance of the latter. This simulation study therefore confirms that the film must have an optimal thickness of 600 nm. This shows that perovskite is a material that, even with thicknesses of only a few hundred nanometres, is able to have better light absorption and higher efficiency.



**Figure 6.** Variation of photovoltaic parameters as a feature of  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  thickness.

*C. Effect of ETL layer thickness ( $\text{TiO}_2$ )*

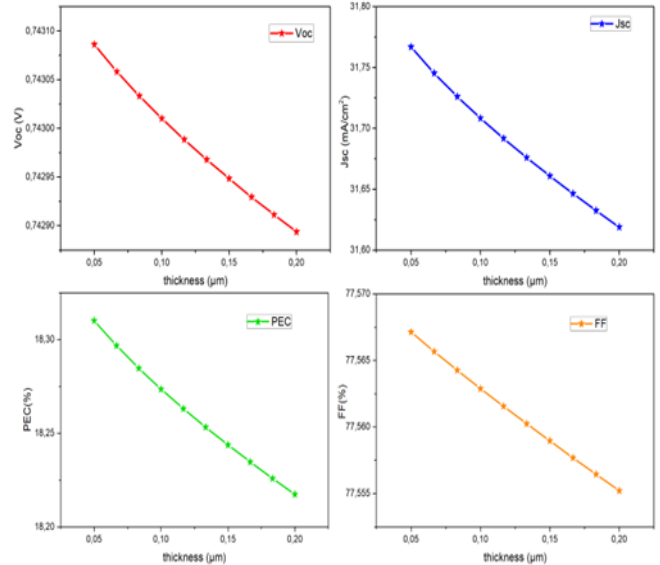
Here, it is observed that the thickness of the  $\text{TiO}_2$  layer does not have an effect on all the cell's performance, so a thickness of 100 nm was chosen, based on comparison with values already published in the literature



**Figure 7.** Variation of photovoltaic parameters as a function of  $\text{TiO}_2$  thickness

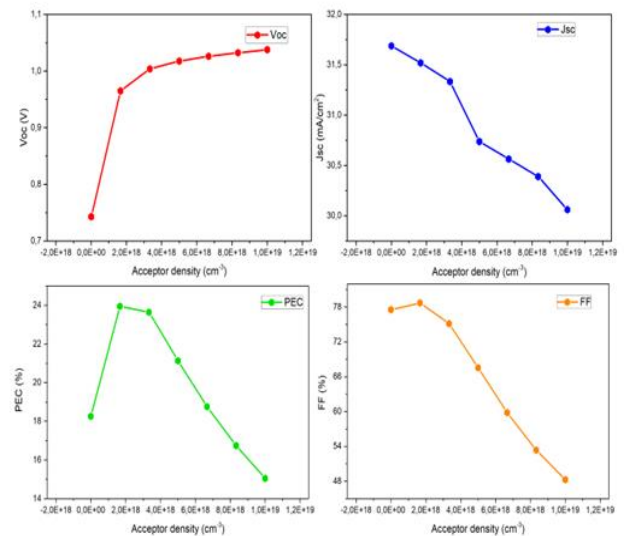
*D. Effect of HTL ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) layer thickness*

According to Figure 8, the thickness of the  $\text{Cu}_2\text{O}$  HTL layer has almost no effect on the generated photocurrent, but does affect the other parameters, only for very low values (less than 50 nm). Therefore, a value of 100 nm was chosen, in accordance with other references.



**Figure 8.** Variation of photovoltaic parameters as a function of  $\text{Cu}_2\text{O}$  thickness

*E. Effect of the Na acceptor density ( $\text{cm}^{-3}$ ) of the absorbing layer*



**Figure 9.** Variation of photovoltaic parameters as a function of Na acceptor density ( $\text{cm}^{-3}$ ).



According to Figure 9, it can be seen that the cell's performance is only affected by the hole acceptor density above a value of  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . A slight change in PV parameters is observed with increasing acceptor doping concentration up to  $1,66675 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .  $V_{oc}$  increases as the Fermi energy of the holes decreases. Initially,  $J_{sc}$  decreases slightly and then decreases dramatically. This is likely due to an increase in charge carrier recombination within the perovskite absorbing layer [8]. However, PCE drops rapidly when Na exceeds  $1,66675 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

#### F. The photovoltaic parameters of the optimized cell

The final device features an absorbing layer thickness of 600 nm and a hole acceptor density of Na equal to  $1,67 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . The photovoltaic parameters of both the reference cell and the optimized  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$ -based cell are reported in Table 3. It is clear from the results that the optimized cell exhibits significantly improved performance compared to the reference cell. This demonstrates the importance of carefully considering and manipulating various device parameters during the optimization process in order to achieve high-efficiency photovoltaic devices. The results also highlight the effectiveness of the optimization efforts in achieving this goal. Overall, this study emphasizes the critical role of device design and optimization in the development of high-performance solar cells.

**Table 3.**  
Photovoltaic parameters of the reference and optimized cell.

	$V_{oc}$ (V)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	PCE (%)
Reference cell	0,748	30,982	77,819	18,035
Optimized cell	0,965	31,519	78,717	23,943

#### IV. CONCLUSION

In conclusion, we have studied and simulated a solar cell based on the perovskite material  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  using the one-dimensional simulation tool SCAPS-1D. Our main objective was to determine the optimal parameters to improve the performance of the solar cell. Our simulation results show that the thickness, doping concentration, work function, defect density of the absorbing layer, and defects at the interfaces play a significant role in the performance of the solar cell.

After optimizing the photovoltaic parameters of the absorbing layer, we were able to significantly improve the electrical performance of the solar cell. Specifically,

we achieved a  $J_{sc}$  of  $31.52 \text{ mA/cm}^2$ , a  $V_{oc}$  of 0.97 V, an FF of 78.72%, and a PCE of 23.95%. These findings demonstrate the effectiveness of optimization efforts in achieving high-performance solar cells and highlight the importance of considering various device parameters in the design process.

In summary, our study provides important insights into the design and optimization of perovskite solar cells. Our findings could guide future efforts to develop more efficient and cost-effective solar cell technologies, which are crucial for the widespread adoption of renewable energy sources and the mitigation of climate change.

#### CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

In the studies carried out within the scope of this article, the rules of research and publication ethics were followed.

#### ACKNOWLEDGMENT

L. Ghalmi et al. would like to thank the Materials and Renewable Energy Research Unit, University of Tlemcen, and the Algerian General Directorate of Scientific Research and Technological Development (DGRSDT) for their scientific and academic support.

#### REFERENCES

- [1] Lee, K., Kim, H., & Park, N. G. (2012). High-performance photovoltaic perovskite layers fabricated through intramolecular exchange. *Science*, 338(6107), 643-647.
- [2] Tan, Z., Zhao, N., & Wu, J. (2016). Efficient and stable perovskite solar cells: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1119-1129.
- [3] Mitzi, D. B., Park, N. G., & Osgood, R. M. (2014). High-efficiency hybrid photovoltaic perovskites. *Nature Materials*, 13(9), 873-880.
- [4] Ye, L., Li, Y., & Chen, L. (2017). Tin-based hybrid perovskites for photovoltaic applications. *Advanced Energy Materials*, 7(7), 1603441.
- [5] P. K. Patel, "Device simulation of highly efficient eco-friendly  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite solar cell," *Sci. Rep.*, vol. 11, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-82817-w.
- [6] P. Sun, Q. Li, and L. Yang, "Theoretical insights into a potential lead-free hybrid perovskite: substituting  $\text{Pb}^{2+}$  with  $\text{Ge}^{2+}$ ," *Nanoscale*, p. 10, 2015, doi: 10.1039/C5NR05337D.
- [7] M. Burgelman, "SCAPS manual," 2020.
- [8] L. Yang, A. T. Barrows, and D. G. Lidzey, "Device simulation of lead-free  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  perovskite solar



- cells with high efficiency,” vol. 25, p. 10, 2016, doi: 10.1088/1674-1056/25/10/108802.
- [9] Y. M. Lee, I. Maeng, J. Park, M. Song, and J. Yun, “Comprehensive Understanding and Controlling the Defect Structures : An Effective Approach for Organic-Inorganic Hybrid Application,” vol. 6, no. November, pp. 1–9, 2018, doi: 10.3389/fenrg.2018.00128.
- [10] Ozkaya, U., & Seyfi, L. (2016). Modeling and Analysis of Absorbing Boundary Condition in Antenna Design. In CBU International Conference Proceedings (Vol. 4, pp. 832-839).
- [11] M. Burgelman, “SCAPS manual,” 2020.
- [12] C.Asma, “Optimisation et simulation numérique du profil de la couche absorbante et des différentes couches.”
- [13] C.Meriem, “Optimization by simulation of the nature of the buffer, the gap profile of the absorber and the thickness of the various layers in CZTSSe solar cells,” pp. 0–30, 2017.
- [14] P. K. Patel, “Device simulation of highly efficient eco-friendly CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>SnI<sub>3</sub> perovskite solar cell,” *Sci. Rep.*, vol. 11, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-82817-w



RESEARCH ARTICLE

# Investigation of the Variation of Geometric Parameters to Reach Optimum Mass and Volume in Helical Gear Pairs

\* Ezgi Kubilay, <sup>1</sup> Serpil Karakuş,

\*University of Ankara, Faculty of Agriculture, Agricultural Machinery and Technology Department, Ankara, Turkey  
 ezgikubilay55@gmail.com, Orcid:0000-0003-0875-5670

<sup>2</sup>University Bülent Ecevit, Faculty Engineering, Machine Engineering Department, Zonguldak, Turkey

## HIGHLIGHTS

- *Determination of geometric parameters of gear pairs Exchange between sources in related subjects of this article*
- *Obtaining low volume, low mass and high strength values*
- *It aims to bring low cost and material savings to designs.*

## Keywords:

- Helical gear
- Optimization
- Helix angle
- Contact angle
- Gear width
- Module
- Toothroot stress safety factor
- Gearcontact surface stress safety factor

## GRAPHICAL ABSTRACT

In this study, it was tried to determine the parameter changes to be made in order to save volume and mass in helical gear groups. For this purpose, a sample helical gear pair, which is used more in today's technology compared to other gear types and used in gearboxes, was used for design. The tangential force, normal force, stress values factors and stress safety factors of the gear pair were calculated. While the volume and mass optimization of the gear is performed, it is requested that the tooth root and gear contact surface stress values are in the desired range and not exceed the limit values for the safety factor. For this purpose, before the optimization of the gear group, the power, speed and torque values that carry the initial dimensions determined to the safety limits were determined. As variable parameters, formulas accepted in gear strength calculations and basic influencing parameters used in volume and mass calculation formulas are used. According to this generalization, helix angle, grip angle and tooth width and normal module parameters were determined as variable parameters. While performing the optimization, one parameter was changed while the other variable parameters remained at their initial design values. The selected objective designs were subjected to stress analysis and stress points were observed in the ANSYS WORKBENCH program. Stress points were compared for selected suitable low mass and bulky designs and it was determined which parameter change gave a safer result.

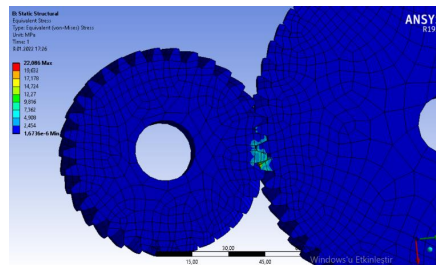


Figure A. Ansys workbench analysis results

## Article Info:

Received : 22 March 2023

Accepted : 17 May 2023

## DOI:

10.53525/jster.1269221

## \*Correspondence:

Ezgi KUBİLAY

[ezgikubilay55@gmail.com](mailto:ezgikubilay55@gmail.com)

Phone: +905528800218

**Aim of Article :** *This section should state the purpose of the research. Times New Roman fonts 10 pts and italic style.*

**Theory and Methodology :** *The experimental method or theory of the study should be given briefly. References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Use the Times New Roman fonts 10 pts and italic style.*

**Findings and Results:** *Results and findings should be clear and concise. The most attractive results of the research should be given in this section. Use the Times New Roman fonts 10 pts and italic style.*

**Conclusion :** *The main conclusions of the study must be presented in the Conclusions section. Use the Times New Roman fonts 10 pts and using italic form. a conclusion may review the main points of the paper, do not replicate the abstract as the conclusion. A conclusion might elaborate on the importance of the work or suggest applications and extensions.*



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

# Helis Dişli Çiftlerinde Optimum Kütle Ve Hacme Ulaşmak İçin Geometrik Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi

\* Ezgi Kubilay, <sup>1</sup> Serpil Karakuş,

\*Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Turkey  
ezgikubilay55@gmail.com, Orcid: 0000-0003-0875-5670

<sup>2</sup>Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Turkey

## Alıntı / Citation :

Kubilay, E., Karakuş, S. (2023). *Investigation of the Variation of Geometric Parameters to Reach Optimum Mass and Volume in Helical Gear Pair*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(1):52-66. DOI: 10.53525/jster.1269221

## ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Dişli çiftlerinin geometrik parametrelerinin tayini
- Düşük hacim, düşük kütle ve yüksek mukavemet özelliklerinin elde edilmesi
- Tasarımlara düşük maliyet ve malzeme tasarrufu kazandırmayı hedeflemektedir

## Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 22 Mart 2023  
Kabul Tarihi : 17 Mayıs 2023

DOI: 10.53525/jster.1269221

## \*Sorumlu Yazar:

Ezgi KUBİLAY,  
[ezgikubilay55@gmail.com](mailto:ezgikubilay55@gmail.com)  
Tel: +905528800218

## ÖZET / ABSTRACT

Bu çalışmada helis dişli gruplarında hacimden ve kütleden tasarruf etmek için yapılacak parametre değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla diğer dişli tiplerine göre günümüz teknolojisinde daha çok kullanılan ve dişli kutularında kullanılan örnek bir helis dişli çifti tasarım için kullanılmıştır.. Seçilen başlangıç tasarımı AUTODESK INVENTOR programında oluşturulmuştur. Ardından dişli için güç ve devir değeri girilerek tork değeri INVENTOR'un DESIGN bölümünde hesaplanmıştır. Aynı bölümde dişli çiftine ait teğetsel kuvvet, normal kuvvet, gerilme değerleri faktörleri, gerilme güvenlik faktörleri hesaplanmıştır. Dişlide hacim ve kütle optimizasyonu yapılırken diş dibi ve dişli temas yüzeyi gerilmesi değerlerinin istenilen aralıkta olması ve güvenlik faktörü için sınır değerlerini aşmaması istenmiştir. Bu amaçla dişli grubunda optimizasyon yapılmadan önce belirlenen başlangıç ölçülerini güvenlik sınırlarına taşıyan güç, devir ve tork değeri belirlenmiştir. Bu değerler yapılan hiçbir optimizasyonda değiştirilmemiş ve sabit kalmıştır. Aynı zamanda dişli çevrim/iletim oranı, diş sayısı da tüm optimizasyonlarda sabit tutulmuştur. Değişken parametreler olarak dişli mukavemet hesaplamalarında kabul edilen formüller ile hacim ve kütle hesaplama formüllerinde kullanılan temel etkileyici parametreler kullanılmıştır. Bu genellemeye göre helis açısı, kavrama açısı ve diş genişliği ile normal modül parametreleri değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Optimizasyon yapılırken bir parametre değiştirilirken diğer değişken parametreler başlangıç tasarımındaki değerlerinde kalmıştır.. Seçilen, amaç tasarımları gerilme analizine tabi tutularak ANSYS WORKBENCH programında gerilme noktaları gözlenmiştir. Gerilme noktaları seçilen uygun düşük kütle ve hacimli tasarımlar için karşılaştırılmış ve hangi parametre değişiminin daha güvenli sonuç verdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Helis dişli, Helis açısı, Kavrama açısı, Diş dibi güvenlik faktörü, Dişli temas yüzeyi gerilme faktörü





## 1. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Dişli çarkların çalışma sistemleri, profillerinin revize edilmesi ve dişli çark sistemlerinin günümüzdeki uygulama alanlarının geliştirilmesi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Konuyla ilgili bir çalışmada, ağır yük düz ve helis dişlilerin performans analizi ile ilgili çalışılarak, daha küçük hacimli dişli çiftlerinin endüstride kullanımının uygunluğu ölçülmeye çalışılmıştır. Dişlilerin yük altında esnediği kabul görülmüş ve bunun dişli performansı ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. İletim hatalarının önüne geçmek için tepe kırma işlemi uygulanmış ve helis dişlilerin hassas uygulamalarda daha mukavim sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [1]. Dişli geometrik parametreleri üzerinde optimizasyon çalışması yapılmıştır. Traktör şanzımanı üzerinde kullandıkları bir dişli grubu için; optimizasyon parametresi olarak modül, diş genişliği, merkez uzaklığı, dişli kalitesi, diş sayısı, helis açısı, kavrama açısı değerleri girilmiştir. Bu değişimlerin şanzımanda en yüksek gerilmeyi oluşturduğu dişli belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda %8,5 oranında en büyük diş dibi gerilmesinin pinyon dişlide gözlemlendiği tespit edilmiştir [2].

Elektrikli araçların şanzımanlarının 2. Vites dişlilerindeki deformasyon analizi yapılmıştır. Bu çalışmada malzemeye yapılan kimyasal analiz ve mekanik özellik ve tane yapısının belirlenmesi için tahribatsız muayene analizleri sonucunda dişlinin hatalı ısıl işlem prosesi gördüğü, çelik malzemenin içerisinde istenmeyen kalıntı maddelerin bileşik oluşturması sonucu yaşanan yanlış alaşımın ve Ti eksikliği verilerine ulaşılmıştır. Bu sebeple dişli yüzeyinin hasara uğradığı gözlemlenmiştir [3]. Profil kaydırmalı helisel alın dişli çark mekanizmalarının optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, profil kaydırma miktarı arttıkça, yan yüzey basıncı ve diş dibi mukavemeti emniyet katsayısının arttığı, diş dibi gerilmesi ve yan yüzey basıncı emniyet katsayısının düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca profil kaydırma miktarı değiştirilerek dişli parametreleri; modül, helis açısı, diş sayısı ve diş genişliği değiştirilmek suretiyle mevcut koşullar içinde daha küçük ve yeterli mukavemette veya emniyet katsayısı yüksek bir dişli elde edilebileceği sonucuna varılmıştır [4].

Dişli kutularında parametrelerin hacim ve mukavemete etkilerinin araştırılması çalışmasını yürütmüşlerdir. Çalışmanın sonucunda diş sayılarının değişiminin hacim ve oluşan gerilmeler üzerinde doğrudan etkilerinin olduğu görülmüştür. Sistemde oluşan gerilmeler açısından en

düşük malzeme hacmi kriterinde kademelerde oluşan gerilmeler arasındaki farkın daha az olduğu gözlemlenmiştir [5].

Bu çalışmada güç aktarma elemanı olarak sıklıkla kullanılan helis dişli grupları kullanılmıştır. Üretim ve imalat sektöründe yaşanan gelişmeler sayesinde dişli teknolojisinde de elbette pek çok ilerleme kaydedilmiştir. Dişlilerin geometrik parametrelerinde yapılan her değişiklik çalışma performansına ve dişli mukavemetine etki etmektedir.

Dişli geometrik parametrelerini belirlemede kullanılan ve standartlarca kabul edilen formüller aşağıda yer almaktadır.

$$\text{Diş sayısı } z = \frac{d_0}{m}$$

$d_0$ : Bölüm dairesi çapı/taksimat dairesi çapı

$$\text{Modül: } \frac{t_0}{\pi} ; \frac{d_0}{z}$$

Diş adımı (Taksimatı): Dişin yuvarlanma dairesi üzerinden ölçülür.  $t_0 = \pi x m$

$$\text{Bölüm dairesindeki diş kalınlığı : } s_0 = \frac{.t_0}{2}$$

$$\text{Bölüm dairesindeki diş boşluğu : } l_0 = \frac{.t_0}{2}$$

$$\text{Müşterek diş yüksekliği : } h = 2 x m$$

$$\text{Diş başı yüksekliği : } h_b = m$$

$$\text{Diş taban yüksekliği : } h_t = 1,2 x t$$

$$\text{Dişin tüm yüksekliği : } h_z = 2,2 x m$$

$$\text{Diş başı boşluğu : } s_b = 0,2 x m$$

$$\text{Bölüm (yuvarlanma dairesi çapı) : } d_0 = 2 x r_0 = z x m \quad d_0 =$$

$$\sqrt[3]{\frac{2 x M_d}{K x \varphi_d}}$$

$$\text{Diş başı dairesi çapı : } d_b = 2 x r_b = d_0 + (2 x h_b)$$

$$\text{Diş taban dairesi çapı : } d_t = 2 x r_t = d_0 - (2 x h_t)$$

$$\text{Temel dairesi çapı : } d_g = 2 x r_g = d_0 x \cos \alpha_0$$

Kavrama açısı : DIN 867'ye göre genellikle 20° seçilir

$$\text{Çevrim oranı : } i = z_1 / z_2 = d_{01} / d_{02} = n_1 / n_2$$



İki dişlinin eksen aralığı :

$$a = r_{01} + r_{02} = \frac{d_{01} + d_{02}}{2}, \frac{z_1 + z_2}{2} \times m$$

$$a = r_{01} \times (i+1) = r_{02} = \frac{i+1}{i}$$

Diş genişliği :  $b = \phi \times t_0 = \phi \times \pi \times m$

Temel daire adımı :  $t_g = t_0 \times \cos \alpha_0$

Kavrama adımı :  $t_e = t_0 \times \cos \alpha_0$

Diş yan boşluğu :  $s_y$

Kavrama oranı :  $\varepsilon = \frac{g}{t_e} \geq 1$

Kavrama oranı :  $\varepsilon = \frac{g}{t_e} \geq 1$

## 2. TEORİ VE YÖNTEM [THEORY AND METHODOLOGY]

*Problemin tanımı;*

İmalat ve üretim teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile dişli ve güç aktarma organlarında pek çok gelişme yaşanmıştır. Özellikle dişli parametrelerinin dişli mukavemet ve çalışma verimine olan etkisi büyük oranda uygulama bazında kalarak doğru parametre değişimi ve revizyonların hem verim hem de dişlinin kütle ve hacmine olan etkisine yönelik akademik bir incelemenin eksikliği göze çarpmaktadır. Kütle ve hacimden tasarrufun hem var olan kaynakların kullanımı hem de maliyet açısından önem arz ettiği günümüz dünyasında optimum özellikleri verebilecek özelliklerdeki tasarımın yapılması oldukça önemli bir hale gelmiştir.

Bu çalışmada standart dişli kutularında kullanılan bir helisel dişli çark grubunun hacim ve kütlelerinden tasarruf yapmak amacıyla temel parametreleri üzerinden değişiklik yapıp amaç fonksiyonunun gerçekleştirilirken güvenlik şartlarının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle standart bir dişli tasarımı INVENTOR programında 3D modelleme ortamına aktarılmıştır. INVENTOR programındaki DESIGN komutu kullanılarak oluşturulan dişli grubuna ait helis açısı, kavrama açısı, diş sayısı, dişli aktarım/çevrim oranı, modül, güç ve devir değerleri manuel olarak girilmiştir. Manuel olarak girilen değerler ile dişli grubu program tarafından oluşturulup temel ölçüleri belirlenmiştir. Ardından girilen tasarım için program tarafından güvenlik faktörleri ve gerilme değerlerinin hesaplanması sırasında

kullanılan katsayılar atanmıştır. Ayrıca dişlilerin temas noktalarındaki teğetsel, normal ve bileşke kuvvetler ile kavrama oranı gibi değerler program içerisindeki yazılım tarafından hesaplanmıştır. Çalışmamızda bu değerleri baz alarak optimizasyon yapılmıştır. En son olarak yapılan optimizasyonların sonucunda elde edilecek üvnlü ve düşük hacimli tasarım değerleri gerilme analizine tabi tutularak çalışmalarını sırasında oluşabilecek hasar noktaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu yapılan analiz sonucunda başlangıç tasarımındaki gerilme kritiği noktaları ile karşılaştırma yapılmış ve dişli tasarımlarında optimal ölçülerin belirlenmesindeki kıstasların üzerine vurgu yapılmaya çalışılmıştır.

Çalışma için seçilen dişli grubunun çalışma parametreleri:

- Motor gücü: 65 KW
- Devir: 4500 rpm
- Kullanılan dişli oranı: 1,93
- Döndürülen dişli(Çıkış dişlisi) ya da büyük dişli olarak adlandırılan dişlinin diş sayısı: 64
- Pinyon/küçük dişli (giriş dişlisi) döndürülen dişli diş sayısı : 33
- Diş genişliği: 20 mm
- Tork hesabı : Güç = Tork x devir/ 9550

Bu çalışmada aynı güç ve devir etkisi altında daha küçük kütle ve hacme sahip dişli sistemi üretmek amaçlanmıştır. Amaç fonksiyonumuz, dişlilerin hacmi ve yük taşıma kabiliyetini etkileyen  $F_n$  kuvvetini minimize etmektir.  $F_n$  kuvvetini minimize ederken daha düşük hacimli bir tasarım elde edilmeye çalışılacaktır. Burada kullanılan malzeme ve malzeme ısıl işlem prosesinde herhangi bir değişiklik olmadığı baz alınarak sadece dişli sistemine ait profil parametreleri INVENTOR 3D Modelleme programında değiştirilerek, son kütle ve hacim değerleri kıyaslanacaktır. Bu kıyaslamalar sonucunda değerlendirme yapılırken belirlenen başlangıç tasarımındaki uygun diş dibi ve yüzey gerilmelerinin aşılması noktasına da dikkat edilmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Bu bilgiler ışığında belirlenen ölçülerdeki dişli sisteminin çizimi ve ana dişli ölçüleri aşağıdaki gibidir.

Dişli sisteminin modellenmesi AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2022 programında gerçekleştirilmiştir. Çizim gerçekleştirilirken programa ait DESIGN modülü içerisindeki SPUR GEAR komutu kullanılarak helis dişli grubu oluşturulmuştur. Tasarım parametrelerinde optimizasyon yapılacak olan sistem için temel öğeleri;



## Amaç:

Hacim(V) ve kütle (m) değerlerini minimize ederek en optimum değerleri gerekli güvenlik koşullarını sağlayacak şekilde elde etmeye çalışmaktır.

$$V = \frac{\pi}{4} b (d_{01}^2 + d_{02}^2) - \sum V_{diş boşluğu} \text{ (Hacim düşürmek)}$$

$$m = \rho \cdot V \text{ (Kütle düşürmek)}$$

$\rho = 7.85 \text{ gr/cm}^3$  (yüksek dayanımlı, düşük alaşımli çelik malzemenin yoğunluğudur).

$$S_F = \frac{\sigma_{FP}}{\sigma_F} \geq 1,3 \quad (\sigma_F - \sigma_{FP} \leq 0)$$

$$S_H = \frac{\sigma_{HP}}{\sigma_H} \geq 1,2 \quad (\sigma_H - \sigma_{HP} \leq 0)$$

Dişli sistemine ait kütle ve hacim değerleri INVENTOR yazılımı üzerinden malzeme kalitesinin girilmesi ile malzeme özellikleri komutu ile verilmektedir. Çalışmada bu veriler kullanılmıştır.

## Kısıt değerler:

SH (Yüzey gerilme faktörü), SF (dis dibi gerilme faktörü),  $\sigma_{Hlim}$ ,  $\sigma_{Flim}$  (Yüzey ve diş dibi gerilmelerinin limit değerleri) 'ni sağlamak sistemin tasarım kriteridir. Aynı zamanda P(güç), T(tork), n(Devir) değerlerinin sabit kalması ve Ft(Teğetsel kuvvet), Fn(Normal kuvvet) kuvvetlerinin dişin çalışması esnasında deformasyona sebebiyet vermeyecek değerlerde alınması gerekmektedir. Dişli grubuna ait çevrim oranı(i), diş sayıları değerleri yapılan hiçbir optimizasyon için değiştirilmemiştir. Değişim parametreleri : Kavrama açısı, Helis açısı, Normal modül ve Diş genişliğidir.

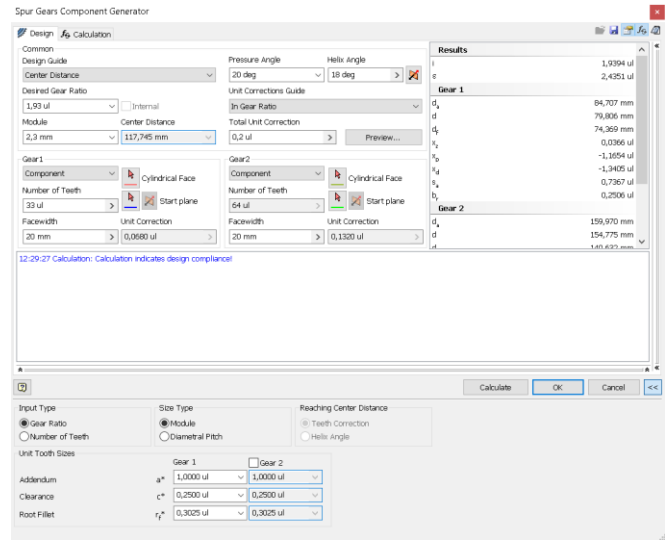
## Sabit Parametreler:

P (güç), n (devir), T (tork), z (diş sayısı), i (çevrim oranı)'dır.

## A. Dişli çiziminin yapılması

Başlangıç tasarımı olarak belirlenen dişli grubu AUTODESK INVENTOR programının DESIGN komutunda gerçekleştirilmiştir. Belirlenen ölçülerde dişli sistemini oluşturmak için öncelikle baz alınan 1,93 dişli oranı, 2,3 olarak tayin edilen dişli modülü ve 64/33 olarak belirlenen diş sayıları tasarım parametresi olarak girilmiştir. Ardından helis açısı ve kavrama açısı değerleri girilmiştir. Sistem dişliler arası merkez uzaklığını ve dişli

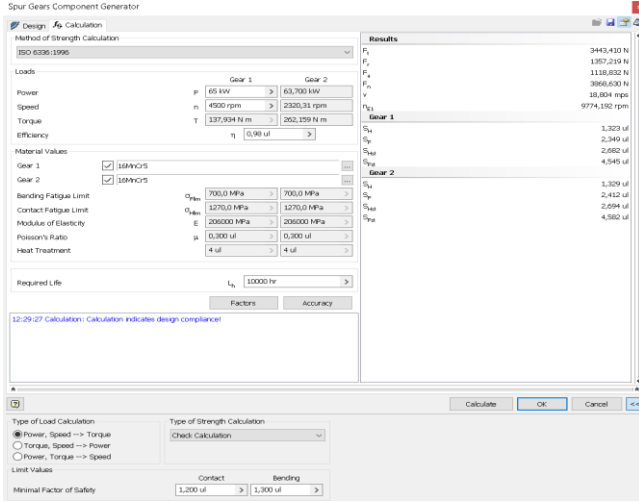
çap ölçülerini kendisi belirlemektedir. Bu belirlene ölçüler aşağıdaki gibidir.



Şekil 1. Dişli boyutsal parametrelerinin INVENTOR yazılımına girilmesi

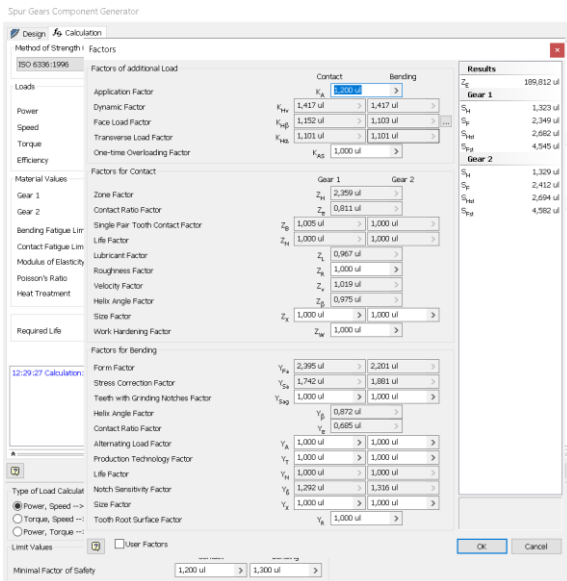
Dişli merkezleri arasındaki uzaklık sistem tarafından 117,745 mm olarak atanmıştır. Dişli sisteminin düzgün çalışması ve 1,93 çevrim oranını pinyon dişliden büyük dişliye aktarabilmesi için gerekli olan mukavemet değerleri ve faktörler yine sistem tarafından atanmıştır. Bu mukavemet değerleri belirlenmeden önce Sistemin CALCULATION bölümüne uygun güç ve devir değerleri girilmiştir.

Bu uygun güç değerlerinde belirlenen dişli ölçülerinde diş dibi gerilme ve yüzey gerilme değerlerinin hesaplanması için gerekli olan tüm katsayı ve faktörler yine sistem tarafından atanmıştır. Gerilme hesaplamasını yaparken buradan alınan limit gerilme değerleri ve katsayılar kullanılmıştır. Bu katsayılar ISO 6336-1996 standardına ilişkin formülasyonlar kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmanın literatür taraması kısmında INVENTOR'dan çekilecek olan katsayı ve gerilme değerlerinin bulunmalarına ilişkin formüller ve grafikler ayrıntılı olarak verilmiştir.



**Şekil 2.** Dişli güç parametrelerinin INVENTOR yazılımına girilmesi

Buna göre sisteme 65 KW güç pinyon dişliden verildiğinde büyük dişliye 63,700 KW güç aktarılmakta ve sisteme 4500 rpm değeri pinyon dişliden girildiğinde 2320,31 rpm olarak büyük dişliye aktarılmaktadır. Tork değeri ise küçük dişlide 137,934 Nm iken; 2. dişlide yani büyük dişlide 262,159 Nm'ye çıkmaktadır. Sisteme güç değeri ve tork değeri uygun dişli gerilme değerleri sağlanacak şekilde girilmiş ve tork değeri sistem tarafından hesaplanmıştır. Girilen değerler 1. Dişliye ait değerlerdir ve sistem 2. Dişliye gelecek olan değerleri kendisi tayin etmiştir. Tayin edilen değerlerin hepsi ISO 6336:1996 standardında yer alan formüller kullanılarak hesaplanmıştır.



**Şekil 3.** Dişli güç parametrelerinin INVENTOR yazılımına girilmesi

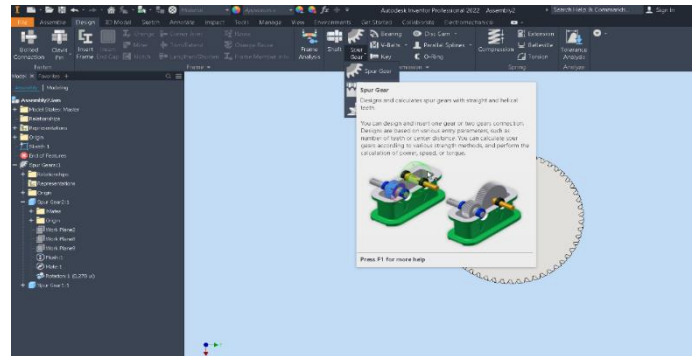
Standart olarak kullanılan dişli sistemi olarak belirlenen güç değerleri ve dişli ana ölçüleri dahilinde sistemde oluşturulan katsayı ve faktörler yukarıda verilmiştir. Bu veriler ışığında belirlenen dişli parametreleri değiştirilerek dişlide daha küçük hacim ve kütlelerde aynı güç değerleri ile aynı devirde gücü aktarabilme kabiliyeti tesbit edilmek istenmiştir. Bu tespitin değerlendirilmesi yapılırken teğetsel kuvvet ( $F_t$ ) ve yüzey gerilme (SH) ve diş dibi gerilme (SB) faktörlerinin alacağı değerler standart ve güvenli dişli grubunun değerleri ile kıyaslanmıştır.

Yapılan tasarımlar, operasyon ömrü ( $L_h$ ) =10000 saat üzerinden baz alınarak hesaplanmıştır. Oluşturulan dişli sistemi için 16MnCr5 (ısıtılmış işlem prosesi) malzemesi seçilmiştir.

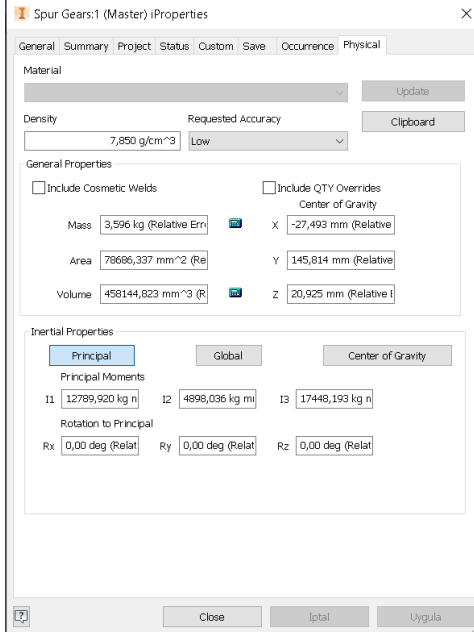
Malzemenin mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 1. 1. Dişli malzemesi kimyasal bileşenleri

Kimyasal bileşenler(16MnCr5)						
C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo
0,14-0,19	max.0,4	1-1,3	Max.0,025	Max.0,035	0,8-1,10	0,035



**Şekil 4.** Dişli grubunun DESIGN komutunda katı modele dönüştürülmesi



**Şekil 5.** Dişli grubunun fiziksel özelliklerinin modelleme programından kontrol edilmesi

Optimizasyonların tamamı  $P=65$  KW,  $n=4500/2320,31$  rpm, çevrim oranı=1,93 olarak sabit kalarak yapılacaktır. Aynı zamanda tork değeri 137,931/262,159 Nm olacak şekilde sabit kalacaktır. Diş sayısı da tüm tasarımlarda 64/33 olacak şekilde optimizasyon yapılacaktır. Yapılacak olan değişiklikler kavrama açısı, modül ve helis açısı üzerinde yapılacaktır. Amaç fonksiyonu olarak hacim ve teğetsel kuvveti aynı güç değerleri şartında küçültmek belirlenmiştir.

### Optimizasyon yapılması;

Optimizasyon 1;

Optimizasyon 1a;

1. Optimizasyon da modül, helis açısı güç ve devir ve diş genişliği değerleri sabit tutulup, kavrama açısı değiştirilerek; hacim, kütle, teğetsel kuvvet ve güvenlik faktörlerindeki değişiklikler kaydedilmiştir.

**Çizelge 2.** Optimizasyon 1a sonuçları

m <sub>n</sub> =2,3, i=64/33 ve β=18° P=65 KW n:4500 rpm b=20mm									
Kavrama açısı (α <sub>0n</sub> )	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü S <sub>r</sub> (-)		Güvenlik Faktörü S <sub>u</sub> (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
10	458011,844	3,596	3691,302	3443,904	3,1102	2	2,073	1,132	1,122
12	458062,905	3,596	3716,473	3443,714	2,9307	2,070	2,142	1,182	1,179
14	458095,673	3,596	3746,574	3443,592	2,7760	2,164	2,234	1,231	1,233
16	458117,822	3,596	3781,864	3443,510	2,6436	2,227	2,295	1,266	1,270
18	458133,434	3,596	3822,395	3443,451	2,5309	2,288	2,354	1,297	1,302
20	458144,823	3,596	3868,630	3443,410	2,4351	2,349	2,412	1,323	1,329
22	458153,371	3,597	3920,830	3443,378	2,3539	2,409	2,470	1,346	1,352
24	458159,942	3,597	3979,370	3443,354	2,2852	2,496	2,555	1,372	1,379
25	458162,669	3,597	4011,152	3443,343	2,2550	2,527	2,585	1,380	1,387

Optimizasyon 1b;

Optimizasyon yapılırken güç, devir, modül ve diş genişliği sabit tutulurken helis açısı değerleri değiştirilmiştir.

**Çizelge 3.** Optimizasyon 1b sonuçları

m <sub>n</sub> =2,3, i=64/33 ve α <sub>0n</sub> =20°, P=65 KW n:4500 rpm b=20mm									
Helis açısı β	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü S <sub>r</sub> (-)		Güvenlik Faktörü S <sub>u</sub> (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
7	419112,002	3,290	3868,006	3593,048	2,0143	1,956	2,023	1,133	1,153
10	426019,787	3,344	3868,122	3595,142	2,1394	2,022	2,089	1,174	1,190
13	435598,989	3,419	3868,279	3527,499	2,2569	2,116	2,182	1,222	2,236
16	448073,827	3,517	3868,476	3480,220	2,3666	2,243	2,308	1,280	2,289
18	458144,823	3,596	3868,630	3443,410	2,4351	2,349	2,412	1,323	1,329
20	469747,491	3,688	3868,802	3402,416	2,5	2,474	2,537	1,370	1,373
25	506393,391	3,975	3869,308	3281,967	2,6458	2,743	2,798	1,460	1,460
30	556373,085	4,368	3869,922	3136,592	2,7679	3,033	3,077	1,560	1,560
40	71625,182	5,623	3871,461	3775,582	2,9415	3,383	3,398	1,852	1,852
47	908508,332	7,132	3872,768	2471,895	3,01	3,665	3,663	2,154	2,154
50	102504,8223	8,047	3873,382	2330,145	3,0289	3,786	3,77	2,315	2,315
55	129205,3667	10,143	3874,470	2079,834	3,0461	3,966	3,950	2,634	2,634

Helis açısı, 55 dereceden sonra sistem girdileri ile uyuşmamaktadır. Ayrıca 47 derecen sonra sistem parametreleri mukavemet hesaplamalarının dışında kalmaktadır ve 55 derece de sistemin hız hesaplaması, minimum kritik hızdan yüksek olmaktadır.



### Optimizasyon 1c;

Optimizasyon yapılırken güç, devir, modül ve helis açısı sabit tutulurken diş genişliği değerleri değiştirilmiştir.

**Çizelge 4.** Optimizasyon 1c sonuçları

m <sub>n</sub> =2,3, i=64/33 ve α <sub>0n</sub> =20°, P=65 KW n:4500 rpm β=18°									
Diş genişliği b (mm)	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü S <sub>r</sub> (-)		Güvenlik Faktörü S <sub>u</sub> (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
10	229072,412	1,798	3868,630	3443,410	2,00075	1,395	1,443	<b>0,999</b>	<b>1,017</b>
15	343608,618	2,697	3868,630	3443,410	2,2213	1,905	1,957	<b>1,179</b>	<b>1,192</b>
16	366515,859	2,877	3868,630	3443,410	2,2641	1,998	2,052	1,210	1,222
18	412330,341	2,237	3868,630	3443,410	2,3496	2,178	2,236	1,268	1,277
20	458144,823	3,596	3868,630	3443,410	2,4351	2,349	2,412	1,323	1,329
22	503959,306	3,956	3868,630	3443,410	2,5207	2,513	2,581	1,375	1,377
25	572681,029	4,496	3868,630	3443,410	2,6490	2,707	2,780	1,429	1,429
30	687217,235	5,395	3868,630	3443,410	2,8628	2,913	2,991	1,479	1,479

### Optimizasyon 1d;

Optimizasyon yapılırken güç, devir, diş genişliği, kavrama açısı ve helis açısı, sabit tutulurken modül değerleri değiştirilmiştir. Modül değerinin değişimi, başlangıç tasarımındaki diş sayısı ve çevrim oranı değerleri sabit tutularak gözlemlenmeye çalışılmıştır. Başlangıç tasarımı üzerinden yapılan optimizasyona göre modül değişiminin hacmin ve kütle minimum değeri bulmasındaki görevi görülmek istenmiştir.

**Çizelge 5** Optimizasyon 1d sonuçları

m <sub>n</sub> =2,3, i=64/33 ve α <sub>0n</sub> =20°, P=65 KW n:4500 rpm β=18°, b=20mm									
Modül m <sub>n</sub> (-)	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü S <sub>r</sub> (-)		Güvenlik Faktörü S <sub>u</sub> (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
1,5	183579,507	1,441	5931,900	5279,895	2,8913	1,385	1,427	<b>0,989</b>	<b>0,989</b>
1,8	272993,870	2,143	494,250	4399,913	2,6727	1,809	1,861	<b>1,148</b>	<b>1,148</b>
1,9	306411,359	2,405	4683,079	4168,338	2,6152	1,910	1,964	<b>1,186</b>	<b>1,186</b>
2	341636,199	2,682	4448,921	3959,921	2,5634	2,039	2,096	1,230	1,230
2,3	458144,823	3,596	3868,630	3443,410	2,4351	2,349	2,412	1,323	1,329
2,5	544849,660	4,277	3559,140	3167,937	2,3667	2,562	2,629	1,384	1,394
3	793222,890	6,227	2965,950	2639,948	2,2355	3,060	3,137	1,522	1,538
4	142544,5658	11,190	2224,461	1979,961	2,0716	3,822	3,910	1,720	1,749
4,3	165033,6328	12,955	2069,267	1841,724	2,0373	3,992	4,082	1,764	1,795

Modül değeri 4,3 ve sonrasındaki değerlerde dişli grubunun dayanabileceği minimum kritik hızdan daha

yüksek bir hız değeri hesaplanmakta ve sistemin bu şekilde tasarlanması uygun görülmemektedir.

Burada modül değerleri karşılaştırıldığında yaptığımız standart tasarım üzerinden en uygun ve düşük hacimli değeri modülü 2 yaptığımızda elde ediyoruz. Bu 2 değerinin diğer optimizasyonlar üzerindeki etkisini gözlemlemek için tekrar optimizasyon yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş olacaktır.(Optimizasyon yapılırken modülün 2,3 olduğu durumlarda güvenlik değerleri negatif olan ve kütle artırımına sebep olan değerler optimizasyona tekrar alınmamıştır.)

### Optimizasyon 2;

Optimizasyonda modül değerinin standart/başlangıç tasarımımızdan daha düşük bir değerde kullanılarak nasıl güvenli ve düşük hacim ve kütle değerlerini sağlayacağını tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Burada optimizasyon 1d tablosundan gözlenen değerler dikkate alınmıştır. Optimizasyon 1d tablosuna göre modül değerini büyütme kütle artışına sebep olacaktır. Bu veriye göre seçilecek büyük ve küçük modül değeri, başlangıç tasarımımızdaki kütle değerini aşmayacak değerde ve güvenli olması beklenmektedir. İlk olarak 2 olan modül değeri seçilmiştir. Başlangıç tasarımımızdaki değerlerde hem güvenli hem de daha düşük hacimlidir. Bu sebeple optimizasyona alınmıştır. Diğer daha küçük değerler de güvenlik değerlerinde sorun yaşanıp, kütle azaltımına izin verilmeyeceği için sistem diğer küçük modül değerleri için parametre değişimi işlemine tabi tutulmamıştır.

### Optimizasyon 2a;

**Çizelge 6.** Optimizasyon 2a sonuçları

m <sub>n</sub> =2, i=64/33 ve P=65 KW n:4500 rpm β=18°, b=20mm									
Kavrama açısı (α <sub>0n</sub> )	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü S <sub>r</sub> (-)		Güvenlik Faktörü S <sub>u</sub> (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
17	341621,171	2,682	4371,624	3960,001	2,7133	1,964	2,024	<b>1,194</b>	<b>1,195</b>
18	341626,587	2,682	4395,755	3959,970	2,6592	1,989	2,048	1,207	1,208
20	341635,199	2,682	4448,925	3959,921	2,5634	2,039	2,096	1,230	1,230
22*	341641,662	2,682	4508,955	3959,885	2,4822	2,089	2,145	1,248	1,249
25*	341648,693	2,682	4612,825	3959,845	2,3833	2,188	2,240	1,277	1,278

Modül değerini 2 aldığımızda, kavrama açısı 17 dereceden sonra sistem hata vermeye başlıyor. Bu sebeple 17



dereceden daha küçük kavrama açıları bu sistemde optimizasyona alınmamıştır.

Optimizasyon 2b;

**Çizelge 7.** Optimizasyon 2b sonuçları

mn=2, i=64/33 ve , P=65 KW n:4500 rpm , b=20mm, α <sub>0n</sub> =20°									
Helis açısı, β (°)	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü S <sub>c</sub> (-)		Güvenlik Faktörü S <sub>m</sub> (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
16	33402,0079	2,622	4448,748	4002,263	2,4810	1,935	1,993	<b>1,186</b>	<b>1,190</b>
18	34163,5199	2,682	4448,925	3959,921	2,5634	2,039	2,096	1,230	1,290
20	35040,8483	2,751	4449,122	3912,779	2,6420	2,116	2,172	1,256	1,256
30	41590,9877	3,265	4450,411	3607,081	2,9755	2,573	2,614	1,419	1,419
40	53680,1441	4,212	4452,180	3191,919	3,2083	2,897	2,913	1,692	1,692
50	77029,5614	6,047	4454,389	2679,667	3,3470	3,295	3,291	2,131	2,131
55	97219,0090	7,632	4455,640	23918,05	3,3862	3,488	3,477	2,436	2,436

Helis açısı, 55 dereceden sonra sistem girdileri ile uyuşmaktadır. Ayrıca 47 derecen sonra sistem parametreleri mukavemet hesaplamalarının dışında kalmaktadır ve 55 derecede sistemin hız hesaplaması, minimum kritik hızdan yüksek olmaktadır.

Ayrıca modülün 2 olduğu durumda, 16 derece sistem hata vermektedir. 16 dereceden daha küçük helis açıları kullanıldığında sistemde daha büyük hata oranları görüleceği için optimizasyon 16'dan küçük değerler için gerçekleştirilmemiştir.

Optimizasyon 2c;

**Çizelge 8.** Optimizasyon 2c sonuçları

mn=2, i=64/33 ve , P=65 KW n:4500 rpm , β=18° , α <sub>0n</sub> =20°									
Diş denişliği b (mm)	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü SF (-)		Güvenlik Faktörü SH (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
18,9	322,845,263	2,534	4448,925	3959,921	2,5093	1,950	2,005	<b>1,199</b>	1,201
20	34162,5199	2,682	4448,925	3959,921	2,5634	2,039	2,096	1,230	1,230
22	37579,8719	2,960	4448,925	3959,921	2,6618	2,158	2,218	1,264	1,264
25	42704,3999	3,352	4448,925	3959,921	2,8093	2,302	2,367	1,302	1,302
30	51245,2798	4,023	4448,925	3959,921	3,0655	2,485	2,555	1,353	1,353

Kütle artışına sebep olan bir değer, fakat yapılan parametre değişiminin güvenlik katsayıları üzerine etkisi gözlenmek istediği için optimizasyon tablosuna eklenmiştir.

Optimizasyon 3;

Modül değerini 2,5 alarak, kütle ve hacim optimizasyonu yapılmaya çalışılmıştır. Değişim parametreleri helis açısı, diş genişliği ve kavrama açısıdır. 3. Optimizasyon sadece diş genişliği parametresini düşürmek üzerine yapılmıştır. Bunun sebebi, yukarıda yaptığımız parametre değişimlerinde, kavrama açısı ve helis açısındaki kütle ve hacim değişimleri gözlemlendiğinde; kavrama açısının büyük bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Helis açısı ise modülün 2,5 olduğu durumda, güvenli tasarımlar elde etmemizi sağlasa da belirlediğimiz helis açısı değerlerinde kütle ve hacimden tasarruf şartımızı sağlayamamaktadır. Bunu sağlayabileceğimiz tek parametre diş genişliğidir.

Standart tasarımımızda belirlediğimiz 20mm diş genişliği değerimizi arttırmamız yukarıdaki sonuçlardan yola çıkarak kütle ve hacmi arttıracaktır. Bu sebeple sadece diş genişliğini azaltma yönünde optimizasyonlar yapıлып, en optimum ve güvenli değerler aranmıştır.

mn=2,5 i=64/33 ve , P=65 KW n:4500 rpm , β=18° , α <sub>0n</sub> =20°									
Diş denişliği b (mm)	Hacim V(mm <sup>3</sup> )	Kütle m (kg)	Nomal kuvvet F <sub>n</sub> (N)	Teğetsel kuvvet F <sub>t</sub> (N)	Kavrama oranı (ε)	Güvenlik Faktörü SF (-)		Güvenlik Faktörü SH (-)	
						1. Dişli	2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli
10	27242,4830	2,139	3559,140	3167,937	1,9732	1,578	1,619	<b>1,067</b>	<b>1,088</b>
13,5	36777,3521	2,887	3559,140	3167,937	2,1110	1,948	1,999	<b>1,193</b>	1,211
14	38139,4762	2,994	3559,140	3167,937	2,1306	2,006	2,052	1,209	1,227
16	43587,9728	3,422	3559,140	3167,937	2,2093	2,198	2,256	1,273	1,288
18	49036,4694	3,849	3559,140	3167,937	2,2880	2,385	2,447	1,330	1,343
20	54484,9660	4,277	3559,140	3167,937	2,3667	2,562	2,629	1,384	1,394

**Çizelge 9.** Optimizasyon 3a sonuçları



Çizelge 10. Genel optimizasyon sonuçları

Dişli sistemlerinde düşük kütle ve hacimli tasarım optimizasyonu											
Modül: 2,3			Modül: 2			Modül: 2,3			Modül: 2		
Kavrama açısı	Hacim	Kütle	Kavrama açısı	Hacim	Kütle	Helis açısı	Hacim	Kütle	Helis açısı	Hacim	Kütle
10	458011,844	3,596	-	-	-	7	419112,002	3,29	-	-	-
12	458062,905	3,596	-	-	-	10	426019,787	3,344	-	-	-
14	458095,673	3,596	-	-	-	13	435598,989	3,419	-	-	-
16	458117,822	3,596	17	341621,171	2,682	16	448073,827	3,517	16	334020,079	2,622
18	458133,434	3,596	18	341626,587	2,682	18	458144,823	3,596	18	341635,199	2,682
20	458144,823	3,596	20	341635,199	2,682	20	469747,491	3,688	20	350408,483	2,751
22	458153,371	3,597	22*	341641,662	2,682	25	506393,391	3,975	-	-	-
24	458159,942	3,597	-	-	-	30	556373,082	4,368	30	415909,877	3,265
25	458162,669	3,597	25*	341648,693	2,682	40	716252,182	5,623	40	536801,441	4,212
-	-	-	-	-	-	47	908508,332	7,132	-	-	-
-	-	-	-	-	-	50	1025048,22	8,047	50	770295,614	6,047
-	-	-	-	-	-	55	1292053,67	10,143	55	972190,09	7,632
Modül: 2,3			Modül: 2			Modül: 2,5					
Diş genişliği	Hacim	Kütle	Diş genişliği	Hacim	Kütle	Diş genişliği	Hacim	Kütle			
10	229072,412	1,798	-	-	-	10	272424,83	2,139	-	-	-
-	-	-	-	-	-	13,5	367773,521	2,887	-	-	-
-	-	-	-	-	-	14	381394,762	2,994	-	-	-
15	343608,618	2,697	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	366515,859	2,877	-	-	-	16	435879,728	3,422	-	-	-
18	412330,341	3,237	18,9	322845,263	2,534	18	490364,694	3,849	-	-	-
20	458144,823	3,596	20	341635,199	2,682	20	544849,66	4,277	-	-	-
22	503959,306	3,956	22	375798,719	2,95	-	-	-	-	-	-
25	572681,029	4,496	25	427043,999	3,352	-	-	-	-	-	-
30	687217,235	5,395	30	512452,798	4,023	-	-	-	-	-	-

Çizelge 11. Optimizasyon genel sonuçları

Optimizasyon şartlarına uygun çıktı veren tasarım ve özellikleri															
Seçim	Değişken değerler				Hesaplanan değerler				Sabit değerler				Hesaplanan değerler		
	Modül	Diş genişliği	Kavrama açısı	Helis açısı	SH		SF		Çevrim oranı	Diş sayısı	Güç	Devir	Kütle	Hacim	Teğetsel kuvvet(N)
						2. Dişli	1. Dişli	2. Dişli							
Başlangıç tasarımı	2,3	20	20	18	1,323	1,329	2,349	2,412	1,93	64,33	64	4500	3,595	458144,8	3443,41
Seçim 1	2	20	18	18	1,207	1,208	1,989	2,048	1,93	64,33	64	4500	2,682	341626,6	3959,97
Seçim 2	2	20	20	18	1,23	1,23	2,039	2,095	1,93	64,33	64	4500	2,682	341635,2	3959,921
Seçim 3	2,3	16	20	18	1,21	1,222	1,998	2,052	1,93	64,33	64	4500	2,877	366515,9	3443,41





Çizelge 11’de gösterildiği modülün 2,3 olduğu durumda kavrama açısı değiştirildiğinde kütle ve hacim değişmektedir. Kavrama açısının artırılması kütle ve hacmi arttırmaktadır. Fakat bu oran diğer parametrelerin değişimine göre biraz daha düşüktür ve etkili bir seviyede değildir. Tabloda gösterilen kırmızı renkli hücrelerde parametre değişimi sonucunda çıkan değerlerin güvenlik değerlerine uymayan sonuçları gösterilmiştir. Kavrama açısı modülün 2,3 olduğu durumda 12 dereceden daha küçük değerlerde güvenlik değerini sağlamamaktadır. Ve 12 dereceden daha büyük bir değer kullanılması gerekmektedir. Yeşil renkle gösterilen standart/başlangıç tasarımıımızdaki değer üzerindeki kavrama açıları ise kütle ve hacmin artış gösterdiği fakat bu artışın gözle görülür büyük seviyelerde olmadığı gözlenmektedir. Kavrama açısının 25 dereceden daha büyük olduğu durumlarda ise sistem girdileri helis dişli sisteminin çalışması sırasındaki hız değerini sağlamadığı ve güvenlik değerlerini sağlamadığı sonucunu verdiği için bu modül değeri için ve bu parametrelerde 25 dereceden daha büyük kavrama açılarının kullanılması uygun değildir.

Kavrama açısı değerinin değişiminin kütle ve hacim üzerine etkisini incelediğimiz durumda modülü 2 aldığımız zaman güvenlik şartlarına uyma durumuna uygunluk gösterme açısı daha da büyümektedir. Yani 17 derecede ve daha küçük kavrama açıları sistem tasarlandığı zaman dişli grubu güvenli çalışma özelliği göstermemektedir. Bunun dışında kavrama açısı artırıldığında kütle ve hacmin artması özelliği yine aynı kalmaktadır. Yani buradan modül değeri küçüldüğü zaman kavrama açısını daha düşük değerlerde kullanma özelliğinin negatif yönde etkilendiği sonucunu gözlemlemekteyiz. Modülü arttırdığımızda ise kavrama açısı kullanma için sınır değerimiz daha da yükselecektir.

Fakat kavrama açısı ve modül değerinin artırılması hacim ve kütle de arttırdığı için bu çalışma da azaltma yönündeki tasarımlarda uygun güvenlik koşullarını sağlayan değerlerdeki sonuçlar üzerinde durulmuştur. Kavrama açısı parametresi için yapılan optimizasyonlar sonucunda yapılan değerlendirmeye göre, kütle ve hacimden güvenli bir şekilde tasarruf edebildiğimiz tasarımın modülün küçültülüp 2 yapılarak kavrama açısının 18 ve 25 derece arasında değerler aldığı tasarımlarda oluşturulabildiği gözlenmiştir.

Kavrama açısı için yapılan değerlendirmenin aynısı helis açısı için de geçerlidir. Yani helis açısı artırıldıkça kütle ve hacimde artmaktadır. Ve bu artış oranı kavrama açısı değişimine göre daha yüksek ve gözle görülür bir

seviyededir. Helis açısı parametresinin değişimin güvenli tasarım üzerine etkisi değerlendirildiğinde modül arttıkça kritik/sınır helis açısı değerinin azaldığı, modül azaldıkça ise kritik helis açısı değerinin ise yükseldiği gözlenmektedir. Örneğin tabloda gözlenen modülün 2,3 olduğu durumda 10 derece ve daha küçük değerlerde helis açısının bu tasarım için güvenli sonuçlar vermediği sonucu modülün 2 olduğu durumda helis açısının 16 olduğu değer ve daha küçük değerlerinde güvenli tasarımlar oluşturulmadığı durum halin gelmektedir. Ve kritik değer yükselmektedir. Helis açısı değişimi için yapılan optimizasyonlarda kütle ve hacimden güvenli bir şekilde tasarruf edilebildiği en uygun tasarımın, modülün 2,3 olduğu durumlardaki helis açısının 13 ve 17 derece arasında olduğu (13 ve 17 de dahil) değerler ile modülün 2 olduğu durumda helis açısının 17 ve 30 derece arasında değerler aldığı (17 ve 30 da dahil) denemelerde olduğu gözlenmiştir.

Modülün 2,5 olduğu durum için sadece dış genişliği üzerinde optimizasyon yapılmıştır. Bu karara optimizasyon 1d bölümünden alınan verilerden ulaşılmış olup, modülün artması ile kütle ve hacimden tasarruf sağlanamaması sonucuna ulaşılmıştır. Kütle veya hacimden tasarruf sağlanması için ancak kavrama açısı, helis açısı veya parametreleri olan değişim parametrelerinin başlangıç tasarımından daha küçük değerlerde kullanılması gerekmektedir. Ancak bu sonucu elde edebilmek için yapılan küçük parametre değerlerin de ise yüzey ve diş dibi gerilmeleri faktörleri istenen kritik değerden yüksek bir değer verememekte ve tasarımlar güvenli olamamaktadır. Ayrıca kavrama açısının kütle ve hacim değişimine büyük oranda bir etkisinin olmadığı gözlenmiş, modülün 2,5 olduğu değer için 2,3 olduğu değerden daha yüksek kütle değeri elde edileceği için bu değer optimizasyona büyük modül değerleri için alınmamıştır. Bu sebeple sadece dış genişliği için bu kütle ve hacim değişimi gözlemlenmeye çalışılmıştır.

Diş genişliği değişimi için yapılan optimizasyonlarda da yine aynı sonuçlara ulaşılmış, modülün artması ile kritik güvenli dış genişliği değerinin düştüğü, azaldıkça kritik dış genişliği değerinin arttığı gözlenmektedir. Diş genişliği başlangıç tasarımında 20 mm olarak kullanılmıştır. Bu değerden yüksek olan değerlerde kütle ve hacimden tasarruf sağlanamamakta ve artış gözlenmiştir. Bu değerden daha küçük dış genişliği değerleri için modülün 2,3 olduğu durumda sınır güvenli dış genişliği değeri 15mm (bu değer de güvensiz); modülün 2 olduğu durumda 18,9 mm; modülün 2,5 olduğu durumda ise 13,5 değeri sınır değer olarak hesaplanmıştır. Yapılan dış genişliği değişim optimizasyonları değerlendirildiğinde, değerlendirildiğinde kütle den

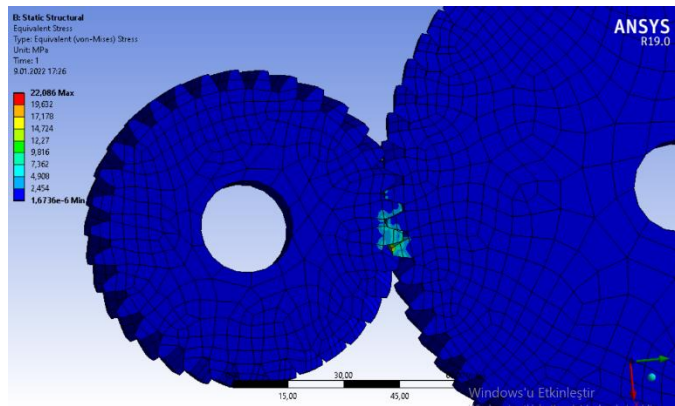
tasarruf edebildiğimiz durumların modülün 2,5 olduğu durumda 14-16mm arası (14 ve 16 da dahil) değerler ile modülün 2,3 olduğu durumdaki 16 ve 19mm arasındaki (16 ve 19 da dahil) değerler olduğu gözlenmiştir.

Şekilde standart tasarımdan tasarruf edebildiğimiz 3 adet tasarımın optimizasyonunda da kullanılan parametre değerleri verilmiştir. Bu değerler ve yukarıdaki elde ettiğimiz sonuçlar kıyaslandığında kütle ve hacmi azaltmamızı sağlayan modül değeri düşürüldüğünde dişlilerin birbirlerine temas ettikleri noktada oluşan teğetsel kuvvetin artış gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca modülü düşürdüğümüzde diş dibi ve diş temas yüzeyi gerilmeleri faktörleri kritik değere yaklaşmaktadır. Yani kütleden tasarruf etme ve güvenlik katsayısı şartını sağlama koşulu arasında bir ters orantı olduğu görülmektedir. Veriler dahilinde oluşturulacak dişli tasarımlarının çalışmaları sırasında oluşabilecek gerilme dağılımlarını görebilmek ve hasar oluşabilecek noktaları tespit edip, parametre değerlerinin uygunluğunu tespit edebilmek için ANSYS WORKBENCH programında analiz edilmişlerdir. Analize ait bilgiler ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

#### A. Başlangıç tasarımı için gerileme analizi

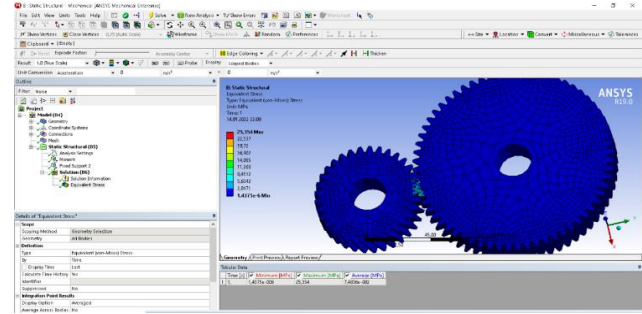
Dişli sistemi küçük dişlinin mil girişinden momente maruz bırakılmıştır. Uygulanan tork değeri 137,934 Nm'dir. Dişli sistemi büyük dişlinin mil girişi bölümünden sabitlenmiştir



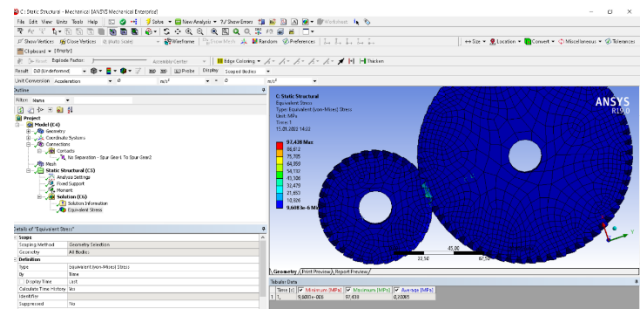
Şekil 6. Ansys workbench analiz sonuçları

#### Seçim 1 için ANSYS WORKBENCH analizi

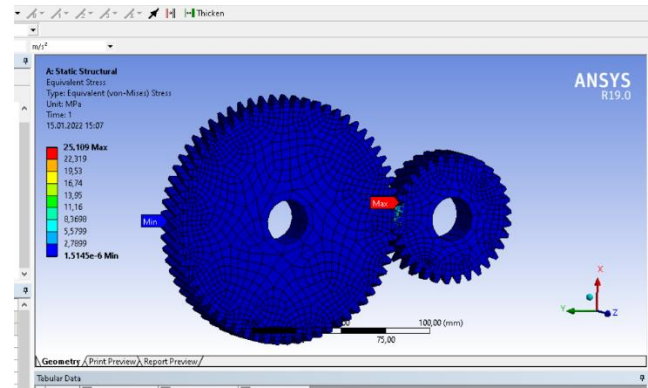
Seçim 1'e başlangıç tasarımına uygulanan işlemlerin aynısı uygulanmıştır. Verilen moment optimizasyonun temel şartı olarak tüm analizlerde aynı değer olarak uygulanmıştır.(137,094 Nm)



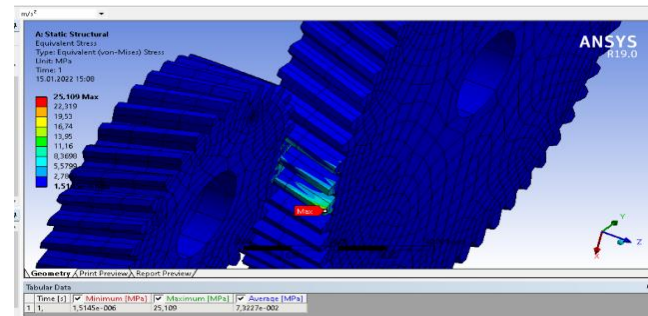
Şekil 7. Ansys workbench analiz sonuçları



Şekil 8. Ansys workbench analiz sonuçları



Şekil 9. Ansys workbench analiz sonuçları



Şekil 10. Ansys workbench analiz sonuçları



Çizelge 12. Ansys workbench analiz genel sonuçları

SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUCU				
	Başlangıç tasarımı	Seçim 1	Seçim 2	Seçim 3
Maksimum gerilme değeri	22,086 MPa	25,354 MPa	97,438 MPa	25,109 MPa
Minimum gerilme değeri	1,6736 MPa	1,4375 MPa	9,6083 MPa	1,5145 MPa

Bu çalışmanın amacı kütle ve hacim optimizasyonunu, güvenlik sınırları içerisinde gerçekleştiren en uygun tasarımı bulmak ve bu tasarımı sağlayan parametreler ile ilgili yorum yaparak hangi dişli ölçüsünün değişiminin etkisinin ne olduğunu gözlemlemektir. Bu amaçla yapılan optimizasyonlar sonucunda dişliler üzerine kavrama açısı, helis açısı, diş genişliği ve helis dişliler için normal modül değerinin etkisi gözlenmiştir.

Optimizasyon 1’de modül başlangıç tasarımı ile aynı kalmıştır. Yani modül değeri 2,3, güç 65 KW, devir 4500 rpm ve tork 137,934Nm olarak sabit kalmıştır. Bu sabitler ışığında ilk olarak kavrama açısı değiştirilip etkisi ve sınırları gözlenmek istenmiştir. Buna göre kavrama açısının kütle ve hacim azaltmaya istenen derecede bir etkisi olmamakla beraber, kavrama açısının artışı ile belli bir miktarda kütle ve hacim artışı söz konusudur. Yani kavrama açısı ile kütle ve hacim arasında doğru orantı vardır. Kavrama açısı arttırıldığında dişlilerin temas noktasındaki normal kuvvet değeri de artış göstermektedir. Buna karşı teğetsel kuvvet ile kavrama açısı arasında ters orantı olup, açının artışı ile teğetsel kuvvet azalmaktadır. Dişlilerin kavrama oranı kavrama açısının arttırılması ile azalmaktadır. Bilindiği gibi kavrama oranı, kavrama boyunun dişli taksimatına oranı olarak bilinmektedir. Ve dişliler ile ilgili kaynaklar ile yapılan hesaplamalarda 1’den büyük olması gerektiği belirtilmiştir. Bu kural dahilinde sistemimizde kavrama oranının 1’den uzaklaşması olumlu olarak görülürse kavrama açısının arttırılması dişli çiftlerindeki kavrama oranına negatif yönde bir etkisinin olduğu söylenebilir.

Diş dibi güvenlik faktörü ve dişli temas yüzeyi güvenlik faktörleri dikkate alındığında yani dişli temas gerilmeleri incelendiğinde kavrama açısının artışı ile dişli güvenlik faktörlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu da aralarında doğru orantı olduğu ve belirli sınırlar içinde artışın güvenli dişliler grupları oluşturmaya pozitif yönde bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Yalnız SH değeri 1.

Optimizasyonda 12 derecede dahil olmak üzere güvenlik sınırının altına düşmekte ve dişli yüzey gerilmeleri çalışma esnasında deformasyona sebebiyet verilebileceğini göstermektedir. Kavrama açısı 12 dereceden daha küçük derecelerde kullanıldığında da yine güvensiz sistemler oluşmakta ve tasarım için uygunluk göstermektedir. Sonuç olarak kavrama açısını küçük ve güvenli değerlerde yakalamamız hacim ve kütlede tasarrufu sağlamakta fakat 12 derece kavrama açısı için başlangıç modülümüzde sınır kabul edilmektedir. Kavrama açısını 25 derecenin üzerine çıkardığımızda ise iki dişlinin yüzeylerinin birbirini kestiği ve 25 derece ve sonrasında kavrama açısı değerlerinin kullanılmaması sonucuna ulaşılmaktadır.

Kavrama açısı parametresini modülü küçülterek (Optimizasyon 2) denemeye aldığımızda kavrama açısı azaltımı için kritik değer yükseldiği ve yüksek kavrama açıları kullanmamız gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Fakat modülü azaltmak dişli kütlelerini azaltan bir durum olduğu için daha yüksek kavrama açılarında da düşük kütle ve hacimler elde edilebilmektedir.

Helis açısı değişimini optimizasyon 1 için yani modülü ve diğer sabit değerleri başlangıç tasarımıyla aynı olduğunu kabul ederek incelediğimizde helis açısı için kritik ve güvensiz üst limit değerinin 10 derece olduğu gözlenmiştir. 10 derecede ve daha küçük helis açısı değerlerinde modül 2,3 iken Sistemin SH değeri güvenlik sınırının altında kalmaktadır. Helis açısı ile kütle ve hacim arasında bir doğru orantı söz konusudur. Yani helis açısının artışı ile kütle veya hacim de artmaktadır. Fakat, helis açısı, 55 dereceden sonra sistem girdileri ile uyuşmamaktadır. Ayrıca 47 derecen sonra sistem parametreleri mukavemet hesaplamalarının dışında kalmaktadır ve 55 derece de sistemin hız hesaplaması, minimum kritik hızdan yüksek olmaktadır. Helis açısı ile normal kuvvet arasında doğru orantı; teğetsel kuvvet arasında ters orantı olduğu gözlenmiştir. Helis açısı değeri arttıkça kavrama oranı değeri de artmaktadır. Ve kavrama açısı ile kavrama oranı arasındaki ilişki için yaptığımız yorumu helis açısı-kavrama oranı ilişkisi için de yapabiliriz yorumuna ulaşmaktayız. Güvenlik değerleri olan SH ve SF de helis açısı ile doğru orantılı olarak ilişkilendirilmiştir. Modülü azaltığımızda (Optimizasyon 2) ise, helis açısı için güvenli üst sınır değeri büyümektedir ve 16 dereceye çıkmaktadır.

Fakat kütle ve hacim azaltımı olarak değerlendirildiğinde modülü 2 yaptığımız denemelerdeki kütle ve hacim, başlangıç tasarımından düşük olduğu için, helis açısını 30 dereceye kadar kullandığımız durumlar için çalışma amacımızı gerçekleştirebilmekteyiz. Modülü arttırmak



kütle veya hacim artışına sebep olacağı ve başlangıç tasarımından yüksek kütle değerleri yakalanacağı için helis açısı ve kavrama açısı modülü büyütme optimizasyonuna (Optimizasyon 3) alınmamıştır.

Diş genişliği değişimi incelediğimizde kütle ve hacim değişimi ile doğru orantılı olduğu, normal ve teğetsel kuvvet değerlerine bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Dişlilerin kavrama oranları ve güvenlik faktörleri ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Optimizasyon 1 için diş genişliği olarak üst kritik sınır 15 mm iken, modülü düşürüp diş genişliği değişimi incelediğimiz optimizasyon 2c için kritik değer 18,9 mm'ye çıkmaktadır. Optimizasyon 3a için ise modülü yükseltmemiz neticesinde güvenlik değerleri de doğru orantılı olarak artacağı için sınır değerlerden uzaklaşıp, diş genişliği için kritik üst değeri 13,5'a taşımaktayız. (Tespit edilen tüm kritik değerler çalışmada kullanılan sabitler ve bu tasarım girdileri için geçerlidir. Farklı sabit değerler kullanılarak optimizasyonlar için farklı kritik/sınır değerler elde edilebilir.)

Son olarak modül değişimini incelediğimiz optimizasyon 1d için modül dışında diğer tüm parametreler başlangıç tasarımda olduğu gibi kalmıştır. Bu sayede modül değişiminin amaç fonksiyonumuza ulaşmadaki etkisi gözlemlenebilmiştir. Sonuç olarak modülün artışı kütle ve hacim değerini de radikal olarak arttırmaktadır ve aralarında doğru orantı söz konusudur. Modül değeri ile normal ve teğetsel kuvvet değerleri ters orantılıdır. Modül değerini arttırmamız sistemi daha güvenli hale getirmektedir ve güvenlik faktörleri ile de doğru orantı söz konusudur. Optimizasyon 1d için modül üst kritik değeri 1,9'dur. Ve alt sınır olarak modül değeri 4,3 ve sonrasındaki değerlerde kullanıldığında, dişli grubunun dayanabileceği minimum kritik hızdan daha yüksek bir hız değeri hesaplanmakta ve sistemin bu şekilde tasarlanması uygun görülmemektedir.

Çizelge 12'de görüldüğü gibi seçimi yapılan uygun 3 tasarım ile başlangıç tasarımı kıyaslandığında 3 tasarımın da maksimum gerilme değerlerinin dişlinin malzemesi olan 16MnCr5 alaşım elementinin akma dayanımını aşmadığı gözlenmektedir. 3 sistemde güvenli olmakla beraber maksimum gerilmeler kıyaslandığında başlangıç tasarımı dışındaki 3 tasarımında sistemin diş başı bölgelerinde bir gerilme artışına sebep olduğu gözlenmiştir. Özellikle diş genişliğini 16 mm olarak seçtiğimiz 'Seçim 3' tasarımı için, diş başı maksimum gerilme miktarı yüksek bir artış göstermiştir. Bu da diş genişliğini azaltmanın dişlinin mukavemetini azaltan bir faktör olduğu nu göstermektedir.

Dişli sistemlerinde profil parametrelerinde değişim yapılarak kütle ve hacimden tasarrufun arandığı deney çalışmalarında kavrama açısı, helis açısı, modül ve diş genişliği değerlerinin sistemlerin kütle ve hacimlerini arttırdığı sonucuna varılmaktadır. Fakat modül burada esas parametre olarak alınırsa, başlangıçta modülün küçültülüp diğer parametrelerin artırılması ile güvenlik faktörlerinin sağlanması dengesi kurulabilir. Bu mantıkla kurulan tasarımlarda hem daha az malzeme kullanımı hem de mukavemeti yüksek dişli grupları makine sistemlerine kazandırılabilir.

#### ETİK KURALLARA UYGUNLUK [COMPLIANCE WITH ETHICAL RULES]

Bu makaledeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.

#### KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] M. Kütük And N. Yildirim, "Ağır Yük Düz Ve Helis Dişlilerin Performansı Analizi," *Makine Ve Imalat Dergisi*, Vol. 5, No. 2, 11 2003.
- [2] E. Can And M. Bozca, "Optimisation Of Gear Geometrical Parameters Using KisoSoft," *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials*, 2019.
- [3] W. Feng, Z. Feng And L. Mao, "Failure Analysis Of A Secondary Driving Helical Gear In Transmission," *Engineering Failure Analysis*, Kasım 2020.
- [4] N. O. Çaycı, *Profil Kaydırmalı Helisel Alın Dişli Çark Mekanizmalarının Optimizasyonu*, İstanbul, 2012.
- [5] M. Zeyveli , H. Saruhan And C. Göloğlu, "Dişli Kutularında Parametrelerin Hacim Ve Mukavemetlerinin Araştırılması," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2008.
- [6] A. Duman, *Silindirik Helisel Dişli Çarklarda Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi*, Çorum, Yüksel Lisans Tezi, 2015.
- [7] F. Özek, *Optimum Ağırlıklı Düz Dişli Çark*, Elazığ, Yüksek Lisans Tezi, 2007.



- [8] K. T. Ü. Yrd.Doç.Dr. Temel Varol, "Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı Aşınma Deneyi Föyü," Trabzon, 2016.
- [9] Okday, Şefik; Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Elemanları, Dişli Çarklar, İstanbul: Kazmaz Matbaası, 1982.
- [10] F. E. Aysal, H. Bayrakçeken And Z. Girgin, "Şanzımanlarda Dişli Oranı Değişiminin Analizi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10 02 2015.
- [11] S.-C. Kim, S.-G. Moon, J.-H. Sohn, Y.-J. Park, C.-H. Choi And G.-H. Lee, "Macro Geometry Optimization Of A Helical Gear Pair For Mass, Efficiency, And Transmission Error," *Mechanism And Machine Theory*, Şubat 2020.
- [12] M. C. Fetvacı, "Pinyon-Tipi Takımla İmal Edilen Standart Olmayan Dişlilerin Bilgisayar Simülasyonu," *Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 2017.
- [13] A. Çiçek, "Dişlilerin Uzman Sistem Tabanlı Tanımlanması Ve Detaylı Boyutlarının Çıkarılması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Dergisi*, 2008.
- [14] H. Adin And M. Ş. Adin, "Numerical Analysis Of Damaged Helical Gear Wheel," *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 2021.
- [15] B. Yuan, G. Liu, Y. Yanjiong, L. Liu And Y. Shen, "A Novel Tooth Surface Modification Methodology For Wide-Faced Double- Helical Gear Pairs," *Mechanism And Machine Theory*, 2021.
- [16] W. Li, D. Pang And W. Hao, "Effect Of Helix Angle, The Friction Coefficient And Mechanical Errors On Unsteady-State Temperature Field Of Helical Gear And Thermal Sensitive Analysis," *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 2019.
- [17] Li, C., Sanchez, R. V., Zurita, G., Cerrada, M., Cabrera, D., & Vásquez, R. E. (2016). Gearbox Fault Diagnosis Based On Deep Random Forest Fusion Of Acoustic And Vibratory Signals. *Mechanical Systems And Signal Processing*, 76, 283-293.
- [18] Alipiev, O. (2011). Geometric Design Of Involute Spur Gear Drives With Symmetric And Asymmetric Teeth Using The Realized Potential Method. *Mechanism And Machine Theory*, 46(1), 10-32.
- [19] Chen, C. F., & Tsay, C. B. (2005). Tooth Profile Design For The Manufacture Of Helical Gear Sets With Small Numbers Of Teeth. *International Journal Of Machine Tools And Manufacture*, 45(12-13), 1531-1541.
- [20] Gurumani, R., & Shanmugam, S. (2011). Modeling And Contact Analysis Of Crowned Spur Gear Teeth. *Engineering Mechanics*, 18(1), 65-78.
- [21] İmrek, H., & Düzcükoğlu, H. (2007). Relation Between Wear And Tooth Width Modification In Spur Gears. *Wear*, 262(3-4), 390-394.
- [22] Kapelevich, A. (2000). Geometry And Design Of Involute Spur Gears With Asymmetric Teeth. *Mechanism And Machine Theory*, 35(1), 117-130.



RESEARCH ARTICLE

## 3D simulation of tunnel excavation in soft soil

\* Nesrine El Houari

\*EOLE laboratory, University of Tlemcen, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Tlemcen, Algeria  
[nesrine\\_fr10@yahoo.fr](mailto:nesrine_fr10@yahoo.fr) , [orcid.0000-0003-1182-215X](https://orcid.org/0000-0003-1182-215X)

### HIGHLIGHTS

- The results showed the interest of such analysis.
- The good agreement acquired by this comparison has led to useful conclusions for the design of tunnel
- the study shows that we can use 2D calculations to approach the three-dimensional reality of tunnels at least in preliminary studies.
- This investigation can provide a reference for multi-tunnels design and construction.

### Keywords:

- Shield tunneling
- 3D, 2D simulation
- Settlement, Longitudinal displacement
- Face tunnel stability

### Article Info

Received : January 16, 2023

Accepted : May 22, 2023

### DOI:

10.53525/jster.1236011

### \*Correspondence:

Nesrine El Houari

[nesrine\\_fr10@ahoo.fr](mailto:nesrine_fr10@ahoo.fr)

Phone : +213 557 369 526

### GRAPHICAL ABSTRACT

In tunnel engineering, soft ground tunneling has attracted the attention of tunnels engineers and researches. In this study, an analysis of the displacements and the tunnel face stability in soft ground (layered ground) using several calculation methods aimed at making confrontations are presented. Our purposes to approach 3D modelling in tunneling by a series of 2D computations using three procedures: The Lost Volume method (LVM), the Convergence Confinement method (CCM) and the face pressure method ( $P_F$ ). A series of 2D and 3D numerical studies were carried out to estimate the settlements and longitudinal displacements and the tunnel face stability. Empirical approaches have also been used to make comparisons. The results showed the interest of such analysis. The comparison of the numerical results to those calculated with different methods shows good agreement.

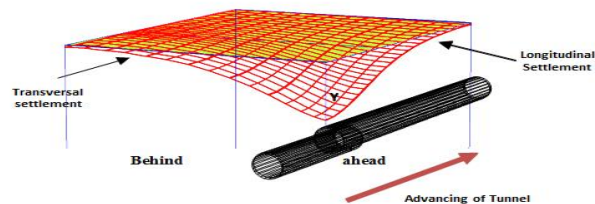


Figure A. Settlement trough obtained from 3D FE analysis

**Aim of Article:** This paper reports the two and three dimensional numerical results of a study carried out to estimate the surface settlements, longitudinal displacements and face stability induced by the excavation of shallow tunnel in soft ground. Empirical approaches were also used to make comparisons. The aim of this study was to use several 2D calculation methods to account for the 3D effect in the tunneling.

**Theory and Methodology:** Tunnel excavation is a 3D problem. However, 3D numerical analysis often requires excessive computational resources (storage and time). Consequently, tunnel excavation is often simulated 2D. Various methods have been proposed to take account 3D effect of tunnel face to model tunnel construction. In this study, three methods are used to simulate tunneling in order to make comparisons: the Lost Volume method (LVM), the Convergence-Confinement method (CCM) and the face pressure method ( $P_f$ ). We use Plaxis 2D and Plaxis 3D Tunnel software's for numerical calculation. Also, empirical and analytical approaches have been used to make comparisons using the popular methods of [1] for transversal displacement and [2] for longitudinal displacement.

**Findings and Results:** For predicting tunnel induced soil movement for shallow tunnel, we were highlights how 3D modelling the transverse settlement profile by comparing these results with 2D analyses using Plaxis finite elements software. The longitudinal settlement trough is also assessed with tunnel face stability. The results showed the interest of such analysis. The comparison of the 3D numerical results to those calculated with different methods 2D shows good agreement and led to useful conclusions for tunnel design.

**Conclusion:** in this paper, we have shown the interest of a 2D analysis using appropriate calculations confronted to 3D results, it turned out that the LVM and  $P_f$  methods provided results close to the actual excavation process. For the CCM method; the settlements are similar to those in 3D provided that the unsupported distance is reduced.



RESEARCH ARTICLE

# 3D simulation of tunnel excavation in soft soil

\*  Nesrine EL Houari

\*EOLE laboratory, University of Tlemcen, Faculty of Technology, Civil Engineering Department, Tlemcen, Algeria  
[nesrine\\_fr10@yahoo.fr](mailto:nesrine_fr10@yahoo.fr), [orcid.000-0003-1182-215X](https://orcid.org/000-0003-1182-215X)

## Citation:

El Houari, N. (2023) *No Problems Encountered in the Process of Publishing Articles in the Journal and Investigation of the Solutions*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(1):67-77. DOI: 10.53525/jster.1236011

## HIGHLIGHTS

- The results showed the interest of such analysis. The results can be used to show the utility of using 2D simulations instead of 3D for preliminary calculations.
- The good agreement acquired by this comparison has led to useful conclusions for the design of tunnel
- The study shows that we can use 2D calculations to approach the three-dimensional reality of tunnels at least in preliminary studies
- 3D numerical analysis often requires excessive computational resources (storage and time). Consequently, tunnel excavation is often simulated 2D. Various methods have been proposed to take account 3D effect of tunnel face to model tunnel construction. The 3 methods used have shown their benefit.

## Article Info

Received: January 16, 2023

Accepted: May 22, 2023

## DOI:

10.53525/jster.1236011

## \*Corresponding Author:

Nesrine El Houari

[nesrine\\_fr10@yahoo.fr](mailto:nesrine_fr10@yahoo.fr)

Phone: +213 557 369 526

## ABSTRACT

In urban areas, tunneling can induce ground movements which disturb the soil and surrounding structures. In tunnel engineering, soft ground tunneling has attracted the attention of tunnels engineers and researches. Several calculation methods have been invested in order to evaluate these movements caused by the excavation of tunnels which the design requires a proper estimation of surface movements and face stability analysis, varying from simple empirical and analytical formulas to advance analyzes using the Finite Element Method. These analysis methods have significant effects on the estimation of the deformations because the analysis method must take into account the interaction between the tunnel and the ground; this turns out to be a purely 3D process which presents significant complexity and difficulties of understanding and a very high calculation time and cost, which is why the need has arisen to invest in 2D procedures which simple and useful for a first approximation and preliminary design. The main objective of this article is to analyze the excavation effect of a shallow tunnel excavated using tunnel boring machines (TBM) on soft layered ground (sand and clay) and to compare the results obtained from an empirical and analytical solutions with 2D and 3D finite elements numerical analyses. In this study, three calculation procedures were invested: Lost Volume Method, Convergence-Confinement Method, and Face Pressure Method. In parallel, a face stability analysis as well as failure mechanisms by face collapse were also obtained. The results showed the interest of such analysis. The comparison of the numerical results to those calculated with different methods shows good agreement.

**Keywords:** Shield tunneling, Two and three dimensionnal Finite element analysis, Settlement, longitudinal displacement, tunnel face stability analysis

## I. INTRODUCTION

The increase in population requires urban space which becomes more limited, underground works have become an absolute solution to remedy this problem and to

provide the required infrastructure. The process of tunneling is very complex and the tunnel excavation is a 3D Mechanism. A better understanding into these mechanisms that control the tunneling induced deformations could reduce costs and help avoid any problems [3]. However, 3D numerical analysis often



requires excessive computational resources (storage and time). In order to overcome this difficulty, engineers adopt simplified approaches using two-dimensional model, which is obviously a simplification of the real problem. Various methods have been proposed to take into account the 3D effect of the working face to model the construction of the tunnel in 2D such as: the ground volume loss method (LVM), the Convergence-Confinement method (CCM) and the face pressure ( $P_f$ ). Several authors have carried out research to account for three-dimensional aspects in two-dimensional models [4-5-6-7-8-9-10]. These 2D models frequently lead to satisfactory displacement values with respect to measurements and to an estimate of the redistribution of stress [11].

Mroueh and Shahrour proposed a simplified 3D numerical model for the prediction of ground movements induced during the construction of a tunnel using TBM (Tunnel Boring Machine) based on the generalization of the Convergence-Confinement method (CCM) only [6]. Vitali and others show that 3D model agrees a more accurate analysis of the soil's construction effects and the repercussions of some key parameters such as the injection grout and chamber pressures [12]. In the study of [13], the authors focuses on the three-dimensional cross excavation problem of two tunnels, the numerical analysis method is used to study the effect of multi-tunnel excavation on the settlement of the ground surface. A series of three-dimensional finite element models were constructed to consider the intersection of two tunnels with different relative positions and different spacing. In their study, the 2D simulation is extended to 3D simulation for a more comprehensive understanding of the ground deformation affected by twin tunnel excavation. These models take into account only the ground volume loss method (LVM). [14] investigate the surface subsidence due to tunneling in 3D, the simultaneous impact of depth and diameter of the tunnel in both saturated and dry conditions have been investigated also using a FLAC3D Finite Difference program. Results showed that depth and diameter induce a significant effect on the ground surface displacement values. As face pressure increases ( $P_f$ ), the effect of tunnel depth and diameter on surface and crown displacements decreases.

To date, the majority of research work done to predict movement caused by tunneling uses one method to take account the 3D effect into 2D calculation. In our study,

the main objective is to develop a better understanding of the behavior of tunneling in ground using several methods at the same time. The main objectives of this paper are three-fold: first, to provide a 2D dimensional numerical analysis to model the tunneling process of the TBM (tunnel boring machine) in three methods: 1. the ground loss volume (LVM) method, 2. the convergence confinement method (CCM) and 3 face pressure method ( $P_f$  method). Second, to simulate the 3D numerical analysis for a proper prediction of surface movement. To investigate its development, Plaxis 3D tunnel FE program is used; and third, to analyze the stability of the face. In addition, empirical approaches have been used to make comparisons using the popular methods of [1] for transversal displacement and [2] for longitudinal displacement. The empirical results found have enriched the study. Comparisons are presented, with the results showed the usefulness of one method over the other.

## II. THEORY AND METHODOLOGY

There are mainly two settlement prediction approaches: (i) empirical, based on empirical formulas derived from past observations, (ii) numerical analysis such as finite element approach, which is the most popular method. In this study, both methods are employed to predict the surface settlement above the tunnels.

We use empirical approaches using the popular methods of [1] for transversal displacement and [2] for longitudinal displacement. And Plaxis 2D and Plaxis 3D Tunnel software's for numerical calculation.

### II.1 Empirical prediction for tunneling induced ground

The empirical methods are almost simple and useful. However, their use is limited for design purposes. Empirical methods aim at estimating the extent of the movements starting from a relatively thus reduced number of data they make it possible to obtain preliminary results which it is necessary, however, to use them with a great precaution. In practice, these methods should be more or less guided by the analytical approaches if they exist or by numerical calculations and then to fix them on the experimental curves [15]. Tunneling will generally induce both *transversal* and *longitudinal* settlements of ground movements.

#### II.1.1 Transverse behavior Tunnel induced ground

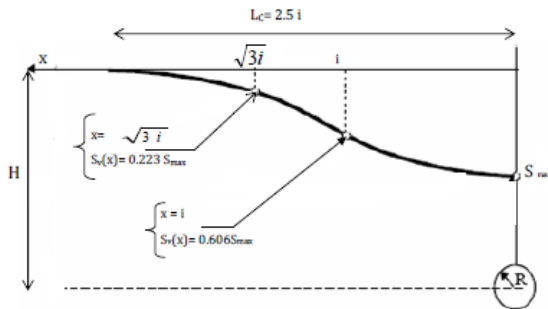
The settlements which result from various excavation phases generally has been found that the shape of the





surface settlement troughs developing during tunnel construction is reasonably well represented by a Gaussian distribution described for the first time by [1] as shown in Figure 1, the settlement  $S$  as:

$$S_v(x) = S_{\max} \exp\left(\frac{-x^2}{2i^2}\right) \quad (1)$$



**Figure 1.** 2D Settlement parameters and notation.

where  $S_{\max}$  is the maximum settlement, which occurs above the tunnel centre line; The width of settlement profile is defined by the important parameter  $i$ , which is the distance from the tunnel centre line to the point of inflexion of the trough (shown in Fig. 2); The maximum settlement is calculated using the [16] formula for the case of a circular tunnel with diameter  $D$ :

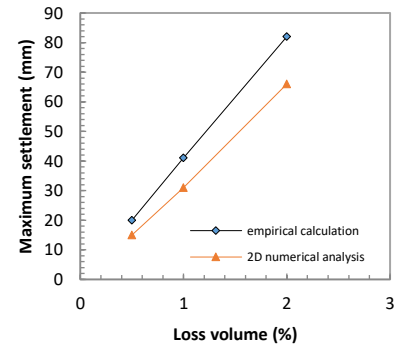
$$S_{\max} = \frac{0,313 V_L}{i} D^2 \quad (2)$$

For practical purposes, it is often reasonable to assume that simple approximate ratio is given by [10] delimiting the inflection point  $i$ :  $i=KH$

With:  $H$ : tunnel depth,  $K$  is usually in the range from 0.4 to 0.5 for the cohesive soils and 0.25 to 0.35 for the cohesiveness soils [8].

The settlements caused by tunneling are often characterized by the term volume loss ( $V_L$ ), expressed as a percentage of the notional excavated volume of the tunnel.

Figure 2 shows the influence of volume loss on the amplitude of settlement. The settlements increase with increase of loss volume.



**Figure 2.** Influence of the loss volume ( $V_L$ ) on the maximum surface settlement

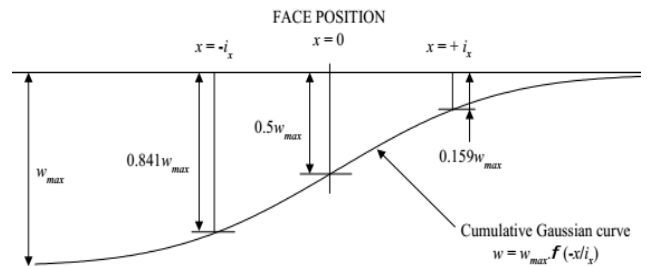
### II.1.2 Longitudinal behavior

The [2] empirical formula is used to assess surface settlement in the longitudinal direction:

$$S_v(x) = S_{\max} \cdot \frac{1}{i\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2i^2}} \quad (3)$$

Where  $x$  : is the distance to the face of the tunnel in the longitudinal direction of settlement.

[2] indicate that the values of minima settlement and maxima are reached respectively with  $x=+\infty$  (ahead of the face) and at  $x=-\infty$  (behind the face). They find that settlement ahead of the face is reduced significantly (Figure 3).



**Figure 3.** Empirical longitudinal settlement trough [8].

Both [1] and [2] formulas were adopted in this study for empirical calculation in order to estimate surface settlements in the transverse and longitudinal direction. It is about a trough of longitudinal settlement which ensures the model quoted in the literature, where displacements far ahead of the face are practically negligible and this at a distance from the order of a 1,5 Diameter approximately. At the face, these settlements are equal to 50% of maximum settlement.



## II.2 Numerical modeling

### II.2.1 Two dimensional analyses

Tunnel excavation is a three-dimensional problem. However, 3D numerical analysis often requires excessive computational resources (storage and time). Consequently, tunnel excavation is often simulated 2D. Various methods have been proposed to take account 3D effect of tunnel face to model tunnel construction. In this paper, three methods are used to simulate tunneling in order to make comparisons: the loss Volume method (LVM), the Convergence-Confinement method (CCM) and the face pressure method ( $P_f$ ).

#### 1. The Convergence-Confinement Method (CCM)

This method which is also referred to as the  $\lambda$  method was introduced by [17]. The parameter  $\lambda$  describes the proportion of unloading before the lining is installed. For  $0 < \lambda < 1$  the remaining radial stress on the lining is  $\sigma_r = (1-\lambda) \sigma_0$  where  $\sigma_0$  is the initial stress in the radial direction.

Using the following formula [18] :

$$\lambda(x) = \alpha + (1-\alpha) [1 - (m_0 R / (m_0 R + x))^2] \quad (4)$$

With:  $\alpha$  and  $m_0$  are two constants (Taken respectively 0.25 and 0.75) and  $R$ : radius of excavation.

The three-dimensional character of the tunneling process is introduced in this two-dimensional representation by means of the convergence-confinement method [19], which makes it possible to simulate the advance of the facet by means of a dimensionless parameter  $\lambda$  [11].

#### 2. The face pressure method ( $P_f$ )

A face stability analysis relates directly to the face pressure applied to the ground; the correct assessment of this pressure to avoid the instability of tunnel face has been the crucial obligation of various researchers who have proposed analytical approaches to determine this pressure.

Most of these approaches are based on the limit equilibrium method (called LEM) introduced by [20-21-22-23-24-25] or of limit analysis method (LAM) proposed by researchers such as [26-27-28-29].

**Table 1**

Analytical evaluation of the face pressure (LEM and LAM)

Authors	Formula	LEM	LAM
Broms & Bennermark (1967)	$P_f = q_s + \gamma H - N c_u$	188kPa	-
Krause (1987)	$P_f = (D\gamma/3 - \Pi c/2) / \tan\phi$	90 kPa	-
Davis and al.(1980)	$N = 2 + 2 \ln(c/R + 1)$	-	179 kPa
Atkinson & Mair (1981)	$P_f = q_s + \gamma H - (N c_u / F_s)$	-	195kPa

Where:  $\gamma$ = soil unit weight,  $c_u$ =undrained shear strength of the ground,  $q_s$ =surcharge,  $H$ : Depth,  $N$ : stability ratio,  $F_s$ : security coefficient,  $D$ = tunnel diameter,  $c$ : cohesion,  $\phi$ : friction angle.

We use  $P_f = 90$  kPa calculated using the [21] formula.

Only the method of Krause appears to provide a face pressure giving of the results being used to maintain the stability of ground.

### 3. Loss Volume Method (LVM)

The loss volume (or contraction) method, implemented in Plaxis, is a process stimulated by [30], where ground loss is simulated by tunnel contraction. This method consists of annulling out the foundation elements inside the tunnel and letting the rest of the foundation deform until the volume occupied by the tunnel is reduced in accordance with a fixed rate. The loss volume is simulated by applying a contraction to the tunnel lining. A contraction rate of 0.5% was adopted following parametric studies (See figure 2).

## III. APPLICATION TO A MODEL STUDY

The case considered for this study is schematized in Figure 4. It is concerning a shallow circular tunnel excavated with the TBM (Tunnel Boring Machine). The tunnel which is 8.5m. The tunnel axis lies 11.0 m below the ground surface. The model is 20.0 m wide, it extends 25.0 m in the Z-direction and it is 20.0 m deep. With these dimensions, the model is sufficiently large to allow for any possible collapse mechanism to develop and to avoid any influence from the model boundaries. The subsoil consists of three layers. The upper sand layer is 2.0 m deep and extends from the ground surface. Below the upper sand layer there is a clay layer of 12.0 m thickness and this layer is underlain by a stiff sand layer that extends to a large depth. Soil model is modeled using the Mohr-Coulomb criterion,

Only one symmetric half is included due to symmetry. The characteristics of the material are summarized in table 2.

The tunnel lining was modelled with an elastic model where flexural rigidity:  $EI = 143 \text{ MNm}^2$  and a normal rigidity:  $EA = 14 \text{ GN}$ . And lining thickness  $e = 0,35 \text{ m}$ .

The TBM and the soil are modelled by means of an interface. The interface allows for the specification of a reduced friction compared to the friction in the soil.

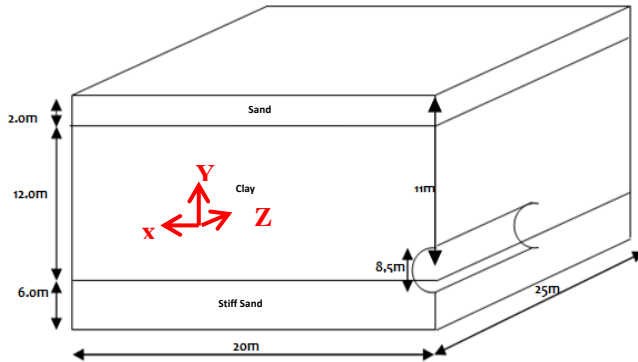


Figure 4. FE mesh for tunnel excavation

Table 2.  
 Material properties of soils

Parameter	Name	Sand 1	Clay	Sand 2	unit
Materiel Model	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
soil Weight	$\gamma_h$	20.0	18.0	20.0	kN/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	E	$1.3 \cdot 10^4$	$1.0 \cdot 10^4$	$7.5 \cdot 10^4$	kN/m <sup>2</sup>
Poisson's ratio	$\nu$	0.3	0.35	0.3	-
Friction angle	$\phi$	31.0	25.0	31.0	°

#### IV. TWO DIMENSIONAL FE ANALYSIS

Tunnel excavation is a three-dimensional problem [31-32]. Fully three dimensional (3D) numerical analysis, however, often requires excessive computational resources (both storage and time). Therefore, tunnel excavation is often modelled two dimensionally (2D). In tunnel engineering, numerical analysis by the finite element method (FEM) is widely utilized to understand the stresses and deformations around the tunnel because it can deduce indications clearly.

##### IV.1 Transverse behavior

For this part of study, all numerical analyses were carried out using Plaxis 2D finite element programs. In plane strain, the soil was modeled by 15-nodes elements with 7860 nodes and 945 elements.

Figure 5 shows 2D FE mesh and boundaries conditions for model. The horizontal and vertical displacements are assumed to be zero at the level of the substratum and the horizontal displacements are blocked on the lateral sides.

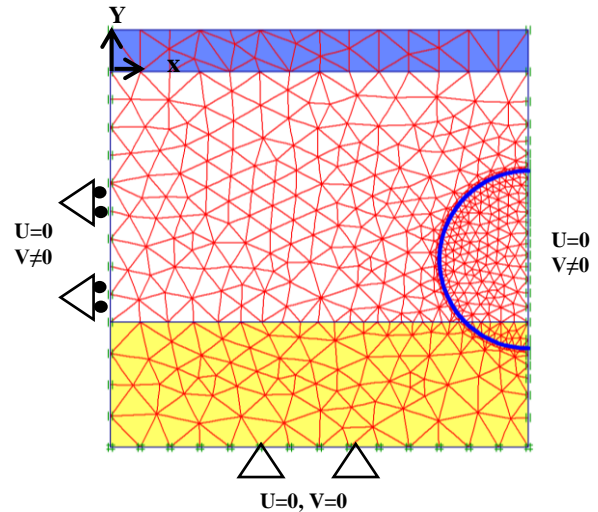


Figure.5 2D Finite Elements mesh

Figure 6 shows the development of transverse settlement with tunnel progress.

It's showing the comparison between the results obtained for the 3 methods of calculation 2D with that resulting from the method of [1] and calculation 3D. In the transverse direction, the surface settlement profile obtained is fairly consistent with the experimental observations. each method reproduces a different maximum settlement value but close to that of the three-dimensional settlement trough only the two methods known as face Pressure ( $P_f$ ) and Contraction (LVM) make it possible to describe the 3D curve in a very satisfactory way the 2D numerical approach called Convergence confinement with a confinement of 60% predicts the widths and inflection points of troughs more or less close to the 3D troughs. It is seen clearly that the profiles are connected perfectly with the normal curves for the three methods.

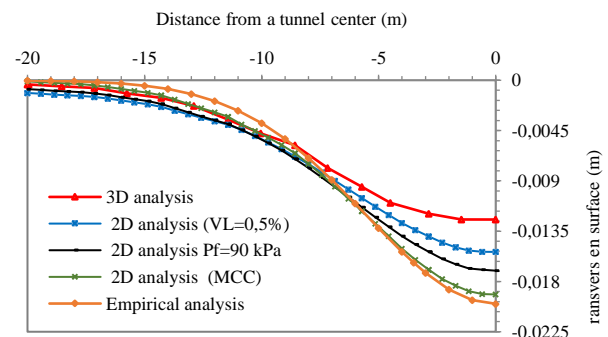
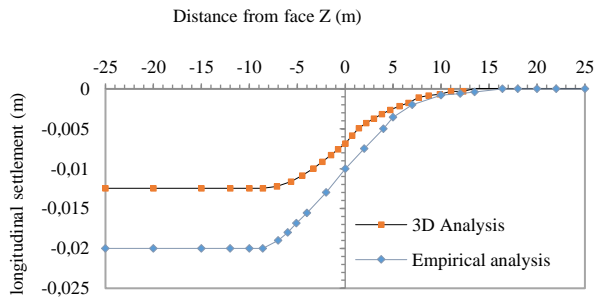


Figure.6 Transverse surface settlement troughs

#### IV.2 Longitudinal behavior

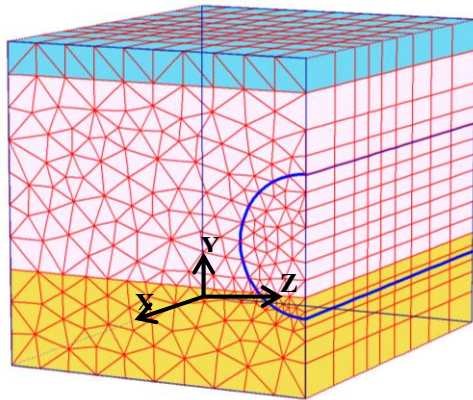
Figure 7 represented longitudinal displacements surfaces, it is showing the similarity of the two curves for maximum settlement, both troughs corroborate the model quoted in the literature, the only difference resides in the value of maximum settlement ( $S_{max}$ ). The maximum settlement is about 12mm in the numerical curve and that carried out  $S_{max}=20\text{mm}$  for empirical calculation. It should in parallel be announced that settlement at the face is equal to 50% of maximum settlement.



**Figure.7** Longitudinal surface settlement troughs

#### V. 3D DIMENSIONAL FE ANALYSIS

The prediction for transverse settlement profiles can be improved by applying fully 3D FE analysis. Numerical analyses were carried out using Plaxis 3D tunnel finite element program. 3D parallel strain were used, the soil was modeled by 15-nodes wedge elements with 3447 nodes and 10596 elements. **Figure 8** shows 3D mesh and boundaries conditions for model.



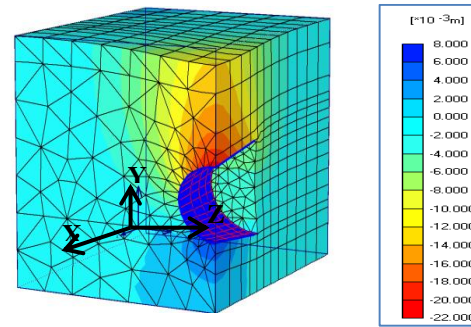
**Figure. 8** 3D FE mesh for tunnel excavation

#### V.1 Transverse Analysis

The analysis of the 3D results constitutes a difficulty because of the quantity significant of information to be treated. An analysis of the results starting from cuts in 2D already requires at this stage a considerable effort. If it is considered that volume 3D is formed by an infinity of plans 2D, which can contain significant information, and then we can easily imagine the quantity of data to be analysed. We thus had only some results selected among the thousands available.

Figure 9 shows a vertical displacement at the face of the tunnel (It's about of approximately 12mm) which reaches its maximum on crown and is propagated on the surface in transversal and longitudinal directions by reducing amplitude and while spreading themselves in ahead of tunnel.

Thus, we can conclude, in parallel, that the face pressure applied at the origin of calculations is sufficient to maintain the stability of the face.



**Figure. 9.** Vertical displacement

#### V.2 Face stability Analysis

Soft ground tunnelling in urban areas is more frequently being performed using the shield method. Due to its great influence on both ground settlement and construction safety, face stability is one of the most critical problems in shield tunneling.

In this research, a series of calculation were conducted using different formula to determine the required collapse pressure of a tunnel face during tunneling in our layered soils (See table 1).

In this part, we have analyses the face tunnel stability of. In tunneling, the face needs to be continuously supported with a liquid pressure, air, or with a pressure of ground. In our case, the pressure applied is in liquid form (bentonite). This pressure is limited between two values

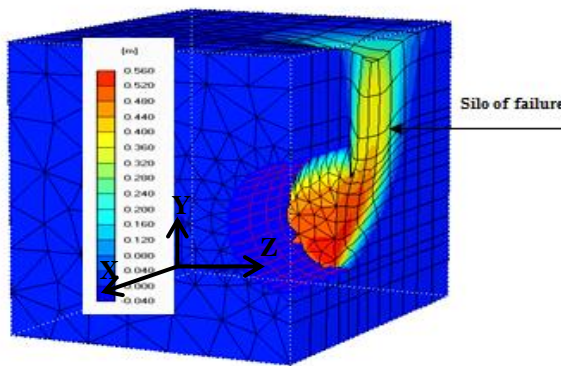


(a minimum and a maximum). A too low pressure can lead to the face collapse (active state); and too high pressure can take along to a blow-out and rising on the surface (passive state) [33].

Stability can be defined by means of a safety factor; which is implemented in Plaxis 3D tunnel program.

Figure 10 shows the mechanism of failure of model, note that our first model is regarded as a heterogeneous ground and this nature of ground is not studied in the literature and obtaining the mechanism of failure around the face was difficult.

We notice a mechanism of failure in the form of chimney; inward a ground surface forming a crater of the order of approximately one diameter; what corresponds, more, with the mechanism of failure quoted in the literature.



**Figure. 10** Mechanism of failure of Tunnel

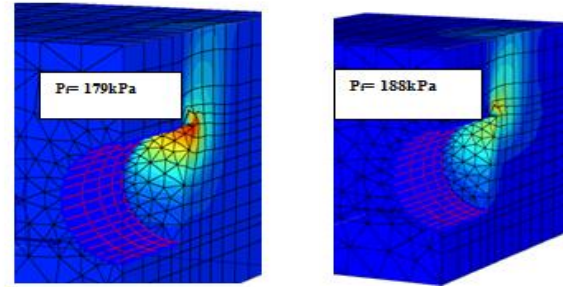
In parallel, our analyses were extent with calculations of extrusion to the face for other values of face pressure lower than that which is enough to maintain stability ( $P_F=90\text{kPa}$ ). Probably, some one of these values ( $P_F=70\text{kPa}$ ,  $P_F=80\text{kPa}$ ) gave the same results of deformations; nevertheless for others like  $P_F=50\text{kPa}$ ,  $P_F=40\text{kPa}$ ,  $P_F=30\text{kPa}$ ; we found a failure.

These observations lead to a strong result for the practice: the increase in the face pressure has, certainly tendency to limit settlement of surface ahead of shield, but results also in to accelerate settlements of surface behind the face. The maximum face pressure to use must thus be quite selected carefully.

Figure 11 exposes the results of surface longitudinal settlement while varying face pressures by pushing the mechanism to the failure. Settlements observed can be directly connected to the imposed face pressure value. This good correspondence confirms the interest which the estimate of this parameter carries which could bring

into play all the stability.

Indeed, when this face pressure is higher than the earth pressures ( $\sigma$ ), movements of repression are observed whose amplitude is increasing with the face pressure.



**Figure. 11.** Failure mechanism for various face pressure.

## VI. CONCLUSION

This paper reports 2D and 3D numerical results of a study carried out to estimate the surface transverse and longitudinal settlements and face stability induced by the excavation of shallow tunnel in soft ground. Empirical approaches were also used to make comparisons. The aim of this study was to use several 2D calculation methods to account for the 3D effect in the tunneling. Tunnel excavation is a 3D problem. However, 3D numerical analysis often requires excessive computational resources (storage and time). Consequently, tunnel excavation is often simulated 2D. A suite of FE analyses was performed to investigate the influence of 3D effects on the tunnel induced surface settlement trough.

Various methods have been proposed to take account 3D effect of tunnel face to model tunnel construction. Three methods are used to simulate tunneling in order to make comparisons: the Lost Volume method (LVM), the Convergence-Confinement method (CCM) and the face pressure method (Pf). We use Plaxis 2D and Plaxis 3D Tunnel software's for numerical calculation and empirical approaches have been used to make comparisons using the popular methods of [1] for transversal displacement and [2] for longitudinal displacement. We showed the utility of empirical calculations like first approximation at the preliminary studies. However, it is necessary, to pay attention as for the choices of the value of the loss volume ( $V_L$ ) which would have, a priori, being equalizes to 0,5% ; a value which enabled us to arrive at a very good agreement with



calculations 3D ; the choice of this parameter proved very influencing that it is for an empirical or even numerical study.

The soil response to excavation is significantly affected by the presence of the face. A face stability analysis relates directly to the face pressure applied to the ground; the correct assessment of this pressure to avoid the instability of tunnel face has been the crucial obligation of various researchers who have proposed analytical approaches to determine this pressure.

In our study, we notice a mechanism of failure in the form of chimney; inward ground surface forming a bowl of the order of approximately one diameter.

Information on the failure mechanisms by face collapse could be obtained during this analysis. The failure mechanism found was found to be very close to that observed. A too low pressure can lead to the face collapse (active state); and too high pressure can take along to a blow-out and rising on the surface.

Also, we found the results of surface longitudinal settlement while varying face pressures by pushing the mechanism to the failure. Settlements observed can be directly connected to the imposed face pressure value. This good correspondence confirms the interest which the estimate of this parameter carries which could bring into play all the stability. Indeed, when this face pressure is higher than the earth pressures ( $\sigma$ ), movements of repression are observed whose amplitude is increasing with the value of the face pressure.

#### CONFLICTS OF INTEREST

There are not conflict of interest between the authors and their respective institutions.

#### RESEARCH AND PUBLICATION ETHICS

In the studies carried out within the scope of this paper, the rules of research and publication ethics were followed.

#### ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank the reviewers for all this time to appraise this paper.

#### REFERENCES

- [1] Peck R. B. Peck (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground.
- [2] Attewell, P. B. (1978). Ground movements caused by tunnelling in soil. Pages 812-948 of: Large ground movements and structures. Pentech Press, London.
- [3] Franzius J. N. (2003). Behaviour of buildings due to tunnel induced subsidence. Thesis (PhD). London: Imperial College, University of London.
- [4] Ozkaya, U., Melgani, F., Bejiga, M. B., Seyfi, L., and Donelli, M. (2020). GPR B scan image analysis with deep learning methods. *Measurement*, 165, 107770.
- [5] Dias, D., and Janin, J.P., and Soubra, A.H., and Kastner, R. (2008), "Three-dimensional face stability analysis of circular tunnels by numerical simulations", *The Challenge of Sustainability in the Geoenvironment 'GeoCongress 2008'*, New Orleans, USA.
- [6] Mroueh, H., and Shahrou, I. 2008. A simplified 3D model for tunnel construction using tunnel boring machines. *Tunnelling and Underground Space Technology* 23 (2008) 38–45.
- [7] Demagh, R., Emeriault F. et Kastner R. (2008). Modélisation 3D du creusement de tunnel par tunnelier à front pressurisé dans les sols surconsolidés. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur (JNGG'08)* Nantes, 18-20 juin 2008, 305-312.
- [8] Bloodworth, A. G. (2002). Three-dimensional analysis of tunnelling effects on structures to develop design methods: Thèse de doctorat : Université d'Oxford, Grande Bretagne.
- [9] Kasper, T., and Meschke, G. (2004). A 3D finite element simulation model for TBM tunneling in soft ground. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol. 28, pp. 1441-1460
- [10] Liu, G. (1997). Numerical modelling of damage to masonry buildings to tunnelling. Thèse de doctorat : Université d'Oxford. Grande Bretagne.
- [11] Nguyen, P. G. (2003). Modélisation numériques des soutènements d'excavation. Thèse de doctorat. École nationale des ponts et chaussées.
- [12] Vitali OP, Celestino TB and Bobet A 2018 3D finite element modelling optimization for deep tunnels with material nonlinearity. *Underground Space*. 3(2) 125-139.
- [13] Jin Y. F. Zhu B. Q., Yin Z. Y., Zhang D. M. (2019) Three-dimensional numerical analysis of the interaction of two crossing tunnels in soft clay. *Underground Space* 4 (2019) 310–327.
- [14] Ramsheh F. A., Rashiddel A. , Dias D. (2021). 3D numerical simulations of tunneling induced soil deformations *Phys.: Conf. Ser.* 1973 012207.
- [15] AFTES (1995). Tassements lies au creusement des ouvrages en souterrain. *Revue Tunnels et Ouvrages Souterrains*, vol. 132, pp. 373-395.
- [16] Greenwood, J.D. (2003). Three-dimensional analysis of surface settlement in soft ground tunnelling, Master of



Engineering in Civil and Environmental Engineering, University of Minnesota, USA, 90p.

- [17] Panet M., Guenot A. (1982), Analysis of convergence behind the face of a tunnel. Proc. Int. Symp. : Tunnelling 82, Brighton.
- [18] Martin, F. (2012) *Mécanique des Roches et Travaux Souterrains*. Huitième édition Janvier 2012
- [19] Panet M. (1995). *Le calcul des tunnels par la méthode convergence-confinement*, Presses de l'ENPC.
- [20] Broms B.B., Bennermark H. (1967), Stability of clay at vertical openings. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, SM1 January 1967, pp. 71-94.
- [21] Krause, T. (1987). *Schildvortrieb mit flüssigkeits- und erdgestützter Ortsbrust*. Dissertation TU Braunschweig. (in German).
- [22] Jancsecz, S. and W. Steiner (1994). Face support for large Mix- Shield in heterogeneous ground conditions. Tunneling 94. London.
- [23] Anagnostou G., Kovári K. (1996). Face Stability Conditions with Earth Pressure Balanced Shields. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11, No. 2, 165-173.
- [24] Broere, W., 2001. *Tunnel Face Stability and New CPT Applications*, Dissertation, TU Delft 2001.
- [25] Carranza-Torres, C. (2004). " Computation of factor of Safety for Shallow Tunnels using Caquot's Lower Bound Solution. " In Publication.
- [26] Atkinson J. H., and Potts D. M. (1977). Stability of a shallow circular tunnel in cohesionless soil. Volume 27 Issue 2, June 1977, pp. 203-215. <https://doi.org/10.1680/geot.1977.27.2.203>
- [27] Davis E.H., Gunn M.J., Mair R.J., Seneviratne H.N. (1980), The stability of shallow tunnels and underground openings in cohesive material. *Geotechnique*, 30. n° 4, pp. 397-416.
- [28] Leca e dorm Leca E., Dormieux L. (1990). Upper and lower bound solutions for the face stability of shallow circular tunnels in frictional material. *Géotechnique*, Vol. 40, N° 4, pp. 581-606.
- [29] Javad, M., and Shahriar, K., and Moarefvand, P. (2011). Tunnel Face Stability Analysis in Soft Ground in Urban Tunneling by EPB Shield. (Case Study: 7 th Line in Tehran Metro). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(11): 589-601, 2011 ISSN 1991-8178.
- [30] Vermeer PA and Brinkgreve R (1993) *PLAXIS Version 5 Manual*. Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
- [31] Swoboda, G. 1979. Finite element analysis of the New Austrian Tunnelling Method (NATM). Page 581 of: Proc. 3rd Int. Conf. Num. Meth. Geomech., Aachen, vol. 2.
- [32] Gens, A. 1995. General report: Prediction, performance and design. Pages 1233 { 1247 of: Int. Symp. on pre-failure deformation charact. of geomaterials. Balkema, Rotterdam.
- [33] Anagnostou G. (2002). Urban tunneling in water bearing ground—Common problems and soil mechanical analysis methods. Proc. 2nd Int. Conference on Soil Structure Interaction in Urban Civil. Engineering.
- [34] Anagnostou, G. and Kovári, K. (1996). Face Stability Conditions with Earth Pressure Balanced Shields. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11, No. 2, 165-173.
- [35] Anagnostou G. Kovári K. (1997). Face stabilization in closed shield tunneling. *Rapid Excavation and Tunnel Construction*, Las Vegas.
- [36] Atahan C. (1995). *Modélisation numérique du creusement d'un tunnel à l'aide d'un bouclier à pression de boue*. Thèse de doctorat : École Nationale des ponts et chaussées.
- [37] Berredane, A., and Allal, M. A. and El Houari, N. (2019) "Interaction between two tunnels constructed at low depths : Case of a frictional and coherent soil". The First International Conference on Materials, Environment, Mechanical and Industrial Systems ICMEMIS'19. 29-30 June 2019, Djelfa, Algeria.
- [38] Berthoz, N. (2012). *Modélisation physique et théorique du creusement pressurisé des tunnels en terrains meubles homogènes et stratifiés*. Thèse Doc. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.
- [39] Berthoz, N., Branque D., Wong, H., and Subrin, D. (2010a). Evolution des champs de contraintes et déplacements autour d'un tunnelier à front pressurisé, *Actes des Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur*, Grenoble, France, pp. 779-786.
- [40] Bezuijen, A. (2007). Bentonite and grout flow around a TBM. Proc. ITA 2007, Prague.
- [41] Bezuijen, A., and Talmon, A.M. (2008). Processes around a TBM. *GEOtechniek – avril 2008*.
- [42] Boubou, R. (2010). *Prise en compte du mode de pressurisation du front et de la géologie dans l'étude de l'impact du creusement de tunnels*. Thèse de doctorat : INSA de Lyon. France.
- [43] Brinkgreve, R.B.J., Broere, W. (2004). *PLAXIS 3D Tunnel Version 2*, PLAXIS bv, Netherlands.



- [44] Brinkgreve, R.B.J., Broere, W., Waterman, D. (2004). PLAXIS 2-D Professional Version 8.0 – User’s Manual. PLAXIS b.v., The Netherlands.
- [45] Brinkgreve, R.B.J., and Vermeer P.A. (2001). Plaxis 3D Tunnel (Validation manual). Balkema, Lisse. COB. Centre for Underground Construction (1996). Parameterset voor de predicties, COB Report K100-W-004. Gouda.
- [46] Broere, W. (1998). Face stability calculation for a slurry shield in heterogeneous soft soils, Proc. Of the world tunnel congress 98 on tunnels and metropolises, Sao Paulo, Rotterdam : Balkema, 1, 215- 218.
- [47] Dolzhenko, N. (2002). Etudes expérimentale et numériques de modelé rendu bidimensionnel du creusement d’un tunnel. Développement d’une loi de comportement spécifique. In : Thèse de doctorat : INSA de Lyon. France.
- [48] Kasper, T., and Meschke G. (2006a). On the influence of face pressure, grouting pressure and TBM design in soft ground tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 21, pp.160-171. 32.
- [49] Kasper, T., and Meschke G. (2006b). A numerical study of the effect of soil and grout material properties and cover depth in shield tunnelling. *Computers and Geotechnics*, vol.33, pp.234-247.
- [50] El Houari, N., and Allal M. A. (2014). The Settlement of Soft Soil Caused by Tunneling in Presence of Flow. *Electronic Journal Geotechnical Engineering.(EJGE)*.Vol. 19. 2014, Bund. Z.
- [51] El Houari, N., and Allal M. A. (2013). Numerical study of the settlement caused by the tunneling in the presence of the flow Arabian Tunneling Conference & Exhibition 10-11 December 2013. Dubai United Arab Emirates.
- [52] El Houari, N., and Allal M. A., and Abou-Bekr N. (2011). Numerical Simulation of the Mechanical Response of the Tunnels in the Saturated Soils by Plaxis. *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol 5, N°01, pp 09-31.
- [53] El Houari N., and Allal M.A., and Abou-Bekr N (2008). Ground movement using Plaxis 2D. 20th Canadian Tunneling Conference, Ontario, Canada, 27-28 October 2008.
- [54] El Houari N. (2022). Ground movements induced by twin tunneling in soft soil. 5. International social sciences and innovation Congress 12-13 November 2022 Ankara/Turkey.
- [55] El Houari N. (2022). Soil responses caused by tunneling nearby of piles foundations. 8th International mardin artuklu scientific researches conference June 4-6, 2022 / Mardin, Turkey.
- [56] El Houari N. (2022). Numerical analysis of the underground works in heterogeneous soil in urban environment. 4. International Palandoken scientific studies congress 28-29 April 2022/Erzurum.
- [57] Galli, G., and Leonardi, A. (2004). Three-dimensional modelling of tunnel excavation and lining: *Computers and Geotechnics* 31.171–183. [www.elsevier.com/locate/compgeo](http://www.elsevier.com/locate/compgeo).
- [58] J. Yin-Fu , Z. Bing-Qing , Y. Zhen-Yu , Z. Dong-Mei. (2019). Three-dimensional numerical analysis of the interaction of two crossing tunnels in soft clay. *Journal of Underground Space* 4 (2019) 310–327. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.04.002>
- [59] Komu M. P., Guney U., Kilickaya . T. E., Gokceoglu C. (2019) Using 3D Numerical Analysis for the Assessment of Tunnel–Landslide Relationship: Bahce–Nurdag Tunnel (South of Turkey). *Geotech Geol Eng* <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01084-9>(0123456789(),-volV() 0123458697(),-volV)
- [60] Leca, E. (2000). Etude du comportement des tunnels creusés en terrains meubles : Laboratoire centrale des ponts et chaussées. Etude et recherche des LCPC, série Géotechnique. GT 66-96 pages. Paris. France.
- [61] Moller, S.C. (2006). Tunnel induced settlements and structural forces in linings. Ph thesis, Institute of Geotechnical Engineering. University of Stuttgart (Germany), 174p.
- [62] Mollon, G., and Dias D., and Soubra A.H. (2010). Face stability analysis of circular tunnels driven by a pressurized shield. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 136 (1), 215–229.
- [63] Subrin, D. (2002). Etudes théoriques sur la stabilité et le comportement des tunnels renforcés par boulonnage, thèse de doctorat de l’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
- [64] Talhaoui Z., El Houari N., (2022). Mechanical behavior of bituminous concrete. 0/14. 8th International mardin artuklu scientific researches conference. June 04-06, 2022 / Mardin, Turkey.
- [65] Viggiani, G., and Soccodato, F.M. (2004). Predicting tunneling-induced displacements and associated damage to structures. *Rivista italiana di geotechnical*, vol. 4, pp.
- [66] Allahverdi N, Nasri V (2013). Three dimensional numerical analysis for soft ground tunneling. In: Seventh international conference on case histories in geotechnical engineering, 29 April–4 May, Chicago.
- [67] S.G. Ercelebi, H. Copur, N. Bilgin & C. Feridunoglu. Surface settlement prediction for Istanbul metro tunnels via 3D FE and empirical methods. *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future – Erdem & Solak (eds) © 2005 Taylor & Francis Group, London, ISBN 04 1537 452 9.*





# JSTER

JOURNAL OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND ENGINEERING RESEARCH

*Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi*

ISSN: 2717-8404

## Al-Farabi (Alpharabius)



Russia 1975 SC# 4360 Nasr al-Farabi Arab Philosopher Individual Stamp

### **Ebu Nasr Muhammed Al-Farabi,**

Batı'da bilinen ismiyle **Alpharabius** (872 – 950):

Siyaset felsefesi, metafizik, etik ve mantık alanlarında yazan ünlü bir erken İslam filozofu ve hukukçuydu. Aynı zamanda bir bilim adamı, kozmolog, matematikçi ve müzik teorisyeniydi.

İslam felsefe geleneğinde, "İlk Öğretmen" olarak bilinen Aristoteles'in ardından genellikle "İkinci Öğretmen" olarak anılırdı. Orta Çağ boyunca orijinal Yunanca metinleri, yorumları ve incelemeleri aracılığıyla korumakla ve İbni Sina (Avicenna) ve Sefarad Yahudisi filozof İbn Meymun gibi birçok önde gelen filozofu etkilemekle tanınır.

El-Farabi aynı zamanda Aristotelesçi olmayan bir mantık geliştiren ilk Müslüman mantıkçıydı. Gelecekteki olumsal konuları, kategorilerin sayısı ve ilişkisini, mantık ve dilbilgisi arasındaki ilişkiyi ve Aristotelesçi olmayan çıkarım biçimlerini tartıştı. Ayrıca mantığı, birincisi "fikir" ve ikincisi "kanıt" olmak üzere iki ayrı gruba ayırmasıyla tanınır.

**Abu Nasr Muhammad Al-Farabi**, known in the West as **Alpharabius** (872 – 950) :

*He was a renowned early Islamic philosopher and jurist who wrote in the fields of political philosophy, metaphysics, ethics and logic. He was also a scientist, cosmologist, mathematician and music theorist.*

*In Islamic philosophical tradition he was often called "the Second Teacher", following Aristotle who was known as "the First Teacher". He is credited with preserving the original Greek texts during the Middle Ages via his commentaries and treatises, and influencing many prominent philosophers, such as Avicenna and Sephardic Jewish philosopher Maimonides.*

*Al-Farabi was also the first Muslim logician to develop a non-Aristotelian logic. He discussed the topics of future contingents, the number and relation of the categories, the relation between logic and grammar, and non-Aristotelian forms of inference. He is also credited for categorizing logic into two separate groups, the first being "idea" and the second being "proof."*

<https://www.thesciencefaith.com/al-farabi-alpharabius-the-second-teacher-master/>



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jster>

e-mail : jster.editor@gmail.com