



ULUSLARARASI
ÖĞRENCİ
SEMPOZYUMU
International Student Symposium

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ
BİLDİRİLER KİTABI

7

PROCEEDINGS BOOK
ENGINEERING SCIENCES

UDEF ULUSLARARASI
ÖĞRENCİ DERNEKLERİ
FEDERASYONU
FEDERATION OF INTERNATIONAL STUDENT ASSOCIATIONS
الاتحاد العالمي للمنظمات الطلابية

Yedikita
ULUSLARARASI ÖĞRENCİ DERNEĞİ
INTERNATIONAL STUDENT ASSOCIATION



Uluslararası
Öğrenci Sempozyumu
International
Student Symposium
ندوة الطلاب الدوليين



Kahramanmaraş
Büyükşehir Belediyesi



Kahramanmaraş
Gençlik Ve Spor Müdürlüğü



ULUSLARARASI
ÖĞRENCİ
SEMPOZYUMU
International Student Symposium

23-25 | 20
EYLÜL | 22
KAHRAMANMARAŞ
SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

8. ULUSLARARASI ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU
BİLDİRİLER KİTABI - 7
8th INTERNATIONAL STUDENT SYMPOSIUM
PROCEEDINGS BOOK – 7

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ
ENGINEERING SCIENCES

Editör / Editor

Doç.Dr. Sifatullah Bahij

Tasarım / Graphic Design

Cüret KARAKAŞ

UDEF

ISBN:

978-625-7480-23-9

Yayın Yeri ve Tarihi / Publication Place and Date

İstanbul, 2023

Yayıncı Bilgileri / Publisher Information

ULUSLARARASI ÖĞRENCİ DERNEKLERİ FEDERASYONU (UDEF)

FEDERATION OF INTERNATIONAL STUDENT ASSOCIATIONS

Dervişali Mh. Kariye Cami Sk. No: 6 34200 Fatih/İstanbul

Telefon: +90 (212) 255 88 66 | Fax: +90 (212) 255 88 62 | E-posta: info@udef.org.tr

Düzenleyen Kurumlar / Organized by
Uluslararası Öğrenci Dernekleri Federasyonu (UDEF) | Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi | Yedi Kıta Uluslararası Öğrenci Derneği

Destekleyen Kurumlar / Sponsoring Institutions
Kahramanmaraş Valiliği | Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi | Dulkadiroğlu
Belediyesi | Onikişubat Belediyesi | Kahramanmaraş Gençlik ve Spor İl Müdürlüğü

Düzenleme Kurulu / Organizing Committee
Dr. Salman Narlı UDEF | Emin Sandık UDEF | Yunus Tath UDEF | Azamat Arpachiev UDEF |
Abdul Raheem Akbari UDEF | Yılmaz Ergenekon Keklik YEDİ KITA UÖD | Necip Fazıl Kala
YEDİ KITA UÖD Fatih Kaynar YEDİ KITA UÖD | Ümmet Soydemir YEDİ KITA UÖD

Bilim Kurulu / Scientific Committee
Prof.Dr. Ahmet Alibasic University of Sarejevo | **Prof.Dr. Ahmet Alkan** Kahramanmaraş Sütçü İmam
Üniversitesi | **Prof.Dr. Ahmet Tekbıyık** Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Prof.Dr. Faruk**
Taşçı İstanbul Üniversitesi | **Prof.Dr. Hakkı Yazıcı** Afyon Kocatepe Üniversitesi | **Prof.Dr. Mehmet**
Çevik İzmir Katip Çelebi Üniversitesi | **Prof.Dr. Muhidin Mulalic** International University of Sarajevo
| **Prof.Dr. Yakup Poyraz** Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Assoc. Prof. Dr. Makame Omar**
Makame State University of Zanzibar (Tanzania) | **Assoc. Prof. Dr. Samarbek Syrgabaev** Bishkek
Humanitarian University | **Doç.Dr. Ahmet Ayhan Koyuncu** Afyon Kocatepe Üniversitesi | **Doç. Dr.**
Fatih Tiyek Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Doç. Dr. Feyza Betül Köse** Kahramanmaraş
Sütçü İmam Üniversitesi | **Doç.Dr. Mehmet Ali Aydemir** Muş Alparslan Üniversitesi | **Doç.Dr.**
Muhammet Nurullah Cicioğlu Batman Üniversitesi | **Doç.Dr. Nurul Huda Sakib** Jahangirnagar
University | **Doç. Dr. Seher Atmaca** Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Doç.Dr. Zafer Çelik**
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi | **Doç.Dr. Sifatullah Bahij** Kabul Teknik Üniversitesi | **Dr. Öğr.**
Üyesi Alimcan Buğda Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Aylin Yardımcı**
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Daşdemir Mahmandarov** Azerbaycan
İlahiyat Enstitüsü | **Dr. Öğr. Üyesi Kamran Abdullayev** Karadeniz Teknik Üniversitesi | **Dr. Öğr.**
Üyesi Marziye Memmedli Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Mesut Barış**
İstanbul Gelişim Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali Bolat** İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi
| **Dr. Öğr. Üyesi Rahmat Ullah** Gelişim Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Sultan Mahmud Rana** Rajshahi
University | **Dr. Öğr. Üyesi Taha Eğri** Kırklareli Üniversitesi | **Dr. Öğr. Üyesi Youssoufa Soumana**
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Organizasyon Komitesi
Muhammed Olimov UDEF | Cüret Karakaş UDEF | Abdullah Aslan UDEF | Harun
Çakıl UDEF | Osman Kamil Başören UDEF | İlker Türkmen UDEF | E. Burak Sırakaya
UDEF | Sebahattin Kala YEDİ KITA UÖD | Selahatdin Said Şan YEDİ KITA UÖD |
Muhammet Nazif Çevik YEDİ KITA UÖD | Nezirhan Balakan YEDİ KITA UÖD |
Imam Hissein Alio UDEF

İÇİNDEKİLER

<i>Aminu Yusuf</i> Phase Change Material Passive Cooling of a Concentrated Photovoltaic System	6
<i>Hachim Kassim, Nutullah Özdemir</i> Polimer ve Hümik Asit Uygulamalarının Toprakta Hacimsel Büzülme Parametresinin Gelişimi Üzerine Etkileri.....	15
<i>Hamad Raza, Qaiser Mehmood, Zulfiqar Ali, Mansoor A. Baloch</i> Statistical Modeling Of Fine-Grained Soils For Geotechnical Efficacy Using Artificial Neural Network And Minitab	28
<i>Mohammed Alshabbani</i> Tuzlu-Alkali ve Alkali Toprakların Islahında Organik Materyallerin Kullanılması.....	50
<i>Mohamed A. Basyooni, Yasin Ramazan Eker, Şule Ateş</i> Preparation Of Ultrathin Molybdenum Oxide Film Using Atomic Layer Deposition System For UV Photonic And Optoelectronic Applications	61
<i>Md Safuan Islam</i> A Review: Non-Newtonian Fluids, Their Behavior, And Application In Technical Textiles.....	74
<i>Ulanbek Toktogulov</i> Bilinmeyen Kapalı Bir Ortamda Otonom Hareket Edebilen İnsansız Hava Aracı	86

Phase Change Material Passive Cooling of a Concentrated Photovoltaic System

Aminu Yusuf¹

Abstract

Photovoltaic cells (PV) convert solar energy into electrical energy without releasing carbon emissions. And by concentrating the solar energy onto the PV, the high electrical output power can be generated. But concentrating the solar energy causes an increase in the surface temperature of the PV, which will lead to a reduction in the output power. To maintain a high output power of the PV, both active and passive cooling methods have been studied by many researchers. In this study, a passive cooling method using a suitable phase change material (PCM) is used to improve the output performance of the PV. This PCM is chosen because of its good thermo-physical properties and it is relatively low cost. Using built-in mathematical equations in COMSOL Multiphysics, numerical analysis is conducted for both standalone PV (with free air convection cooling) and PV-PCM systems. The results reveal that, at the highest concentration ratio, the surface temperature of the PV is reduced by 29 °C when the PCM (RT28HC) is incorporated in comparison with a standalone PV system. Likewise, the maximum output power and its corresponding energy conversion efficiency are enhanced by 36% and 35.7%, respectively. It is concluded that an effective cooling system should always be provided for concentrated photovoltaic systems.

Keywords: Energy, cooling, phase change material, photovoltaic.

Discipline: Energy Engineering

¹ Department of Electrical and Electronics Engineering, Istanbul University–Cerrahpaşa, Avcılar, Istanbul, 34320, Turkey. basinunwala@gmail.com

Introduction

Photons released by the sun can be converted into electrical energy through a photovoltaic system (PV). The PV can only convert the photons that have the same energy as its band gap energy (eV), while the photons with energy less than the energy of the band gap of the semiconductor pass through the semiconductor as if it were a transparent layer. Finally, the photons with energy greater than the band gap energy of the PV are converted into thermal energy and heat up the PV cell. The heating up of the PV causes an increase in the surface temperature of the PV and that can cause a performance reduction of the PV. By concentrating energy from the sun, a large number of photons with the energy higher than the band gap energy of the semiconductor used in the PV can be created. Thus, it is imperative to provide cooling to the PV to avoid overheating the surface of the PV. One of the most effective ways of lowering the temperature of the PV is through the use of a phase change material (PCM) [1]–[3], other methods of cooling the PV are through the use of a thermoelectric generator [4], [5], water cooling [6], wick cooling [7], and air cooling [8], [9]. A good PCM should have high latent heat, and high thermal conductivity should be non-corrosive, odour free, stable, reusable, cheap and abundant, and non-toxic [10]. Increasing the volume of the PCM can further enhance the cooling, but that will add to the existing weight of the PV. Optimisation is often carried out to determine the optimum volume where a trade-off between the performance enhancement and cost/weight increase of the entire system. There are about three different types of PCMs namely organic, inorganic and eutectic. Organic and eutectic PCMs have low thermal conductivities, while inorganic PCMs are highly corrosive and their cyclic/reusability is lower than the other two PCMs. Organic PCMs being inexpensive and highly abundant are generally most preferred PCMs in the PV systems. The heat transfer problem between the back surface of the PV to the PCM which is a result of the low thermal conductivity of the organic PCM can be addressed by introducing fins into the PCM container.

In this study, the solar energy is concentrated and the performance of the PV with natural air cooling and PCM cooling are numerically analysed. The effect of the PCM on the performance of the PV operating under highly concentrated solar energy is discussed.

Description of the Models

Two PV models Figure 1a) standalone PV and Figure 1b) PV-PCM have been modelled and analysed in COMSOL Multiphysics. Modelling of energy converters such as PV and

thermoelectric modules have been accurately conducted using the COMSOL Multiphysics [11], [12]. The properties of the PV are given in Table 1, where the reference efficiency of the PV is 15.6%, solar irradiance is 1000 W m^{-2} and efficiency temperature coefficient is 0.0045 K^{-1} [13] are used. An aluminium PCM container is attached to the back side of the PV where the PCM is RT28HC. In each case, the solar energy is assumed to be concentrated before reaching the glass cover of the PV. Likewise, clear sky and sun-tracking systems are assumed to be incorporated in the PV systems. The solar energy passes through the glass and EVA to reach the PV cell. Thus, both the glass cover and the EVA should have high transmissivity and very low reflectivity to allow the passage of solar energy. While since the conversion of solar energy into electrical energy occurs by absorbing the photons with energy equal to the band gap energy of the solar cell, the PV cell is expected to have a high absorptivity.

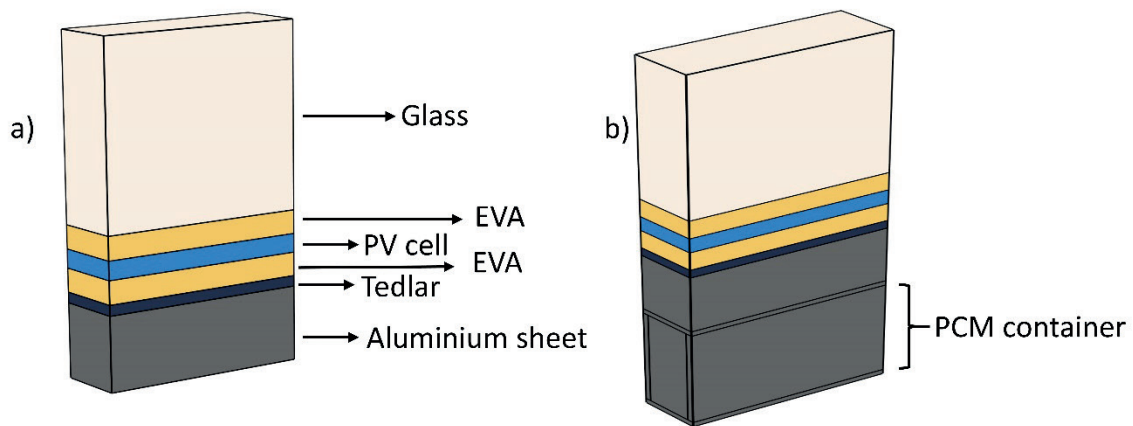


Figure 1: Proposed systems a) standalone PV, b) PV-PCM.

Table 1: Material properties of the PV cell [13], (Area $3 \times 10^{-6} \text{ m}^2$).

Material	ρ_d (kg m^{-3})	C_p ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	t (m)	τ	k ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	α	ϵ
Glass cover	3000	500	3×10^{-3}	0.95	1.8	0.05	0.95
PV cell	2330	677	3×10^{-4}	0.09	148	0.9	0.9
EVA	960	2090	3.8×10^{-4}	0.94	0.35	0.027	-----
Tedlar	1200	1250	1.7×10^{-4}	0.92	55	0.04	-----
Aluminium	2700	900	1.2×10^{-3}	-----	237	-----	0.02

The three dimensional heat energy equation in solid that is used to model the proposed systems is given as [14]:

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u}_t \nabla T \right] + \nabla \cdot (\mathbf{q} + \mathbf{q}_r) = -\omega T: \frac{dS_t}{dt} + Q \quad (1)$$

where ρ is the density, C_p is the specific heat capacity at constant stress, T is the absolute temperature, q_r is the heat flux by radiation, u_t is the velocity vector of translational motion, q is the heat flux by conduction, Q is the additional heat source, ω is the coefficient of thermal expansion, S_t is the second Piola-Kirchhoff stress tensor, Q_{ted} is the thermoelastic damping.

Electrical output power and energy conversion efficiency of the PV are given as [15]:

$$P_{pv} = CGA_{pv}\tau_g\eta_r \left(1 - \beta_{pv}(T_{pv} - 298)\right) \quad (2)$$

$$\eta_{pv} = \tau_g\eta_r \left(1 - \beta_{pv}(T_{pv} - 298)\right) \quad (3)$$

RT28HC PCM used in this study has solid and liquid densities of 800 Kg m^{-3} and 700 Kg m^{-3} , respectively. The PCM also has a latent heat of 250 kJ kg^{-1} , the thermal conductivity of $0.2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, the specific heat capacity of $2000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, and melts in the range of $27 - 29 \text{ }^\circ\text{C}$. Melting of the PCM occurs in the temperature range $T_{pc} \pm 0.5\Delta T_m$. Smooth function (θ) has values of 1 and becomes 0 just before and after the transformation. The specific enthalpy (H) of the PCM is expressed as [14]:

$$H = \frac{1}{\rho}(\theta\rho_1H_1 + (1 - \theta)\rho_2H_2) \quad (4)$$

Apparent heat capacity is:

$$C_p = \frac{1}{\rho}(\theta\rho_1H_1 + (1 - \theta)\rho_2H_2) + (H_2 - H_1)\frac{d\theta}{dT} \quad (5)$$

where the subscripts 1 and 2 represent phases 1 and 2, while the mass fraction of the PCM is:

$$\varphi = \frac{(1-\theta)p_2 - \theta p_1}{2\rho} \quad (6)$$

The latent heat distribution is defined as:

$$C_L(T) = (H_2 - H_1)\frac{d\theta}{dT} \cong L\frac{d\varphi}{dT} \quad (7)$$

During the phase transformation, $C_L(T)$ is approximated such that the total heat released per unit volume is the same as the latent heat (L):

$$\int_{T_{pc}-0.5\Delta T_m}^{T_{pc}+0.5\Delta T_m} C_L(T)dT = L \int_{T_{pc}-0.5\Delta T_m}^{T_{pc}+0.5\Delta T_m} \frac{d\varphi}{dT} dT = L \quad (8)$$

Density and the effective thermal conductivity and the of the PCM can be defined as:

$$\rho = \theta\rho_1 + (1 - \theta)\rho_2 \quad (9)$$

$$k = \theta k_1 + (1 - \theta)k_2 \quad (10)$$

Results and Discussions

As given in Eqs. (2) and (3), both the output power and the energy efficiency of the PV strongly depend on the value of the temperature of the PV. Figure 2 shows the variation of the temperature with concentrated solar energy for both standalone PV and PV-PCM systems. In each case, the temperature of the PV increases with an increase in the concentrated energy and the difference between the temperature of the PV for the two systems also increases with an increase in the concentrated energy. This shows that the cooling provided by the PCM is more effective at high concentrated solar energy.

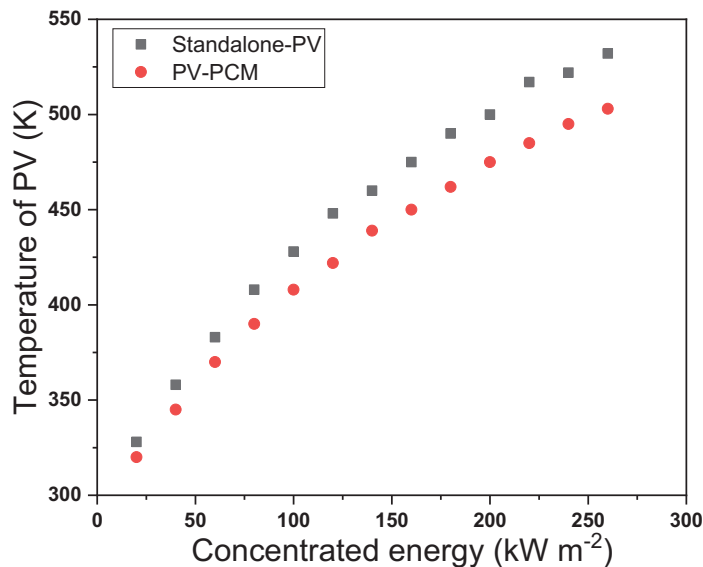


Figure 2: Plot of the temperature of the PV.

In Figure 3, the output powers for the PV operating in standalone PV and PV-PCM systems are presented. At very low solar energy, the two-output power have very similar values, but with an increase in the concentrated solar energy, the output power of the PV-PCM system outperformed the output power of the standalone PV system; this is due to the cooling provided by the PCM. At concentrated solar energy of about 220 kW m⁻², the output power of the standalone PV system becomes negative, indicating that the standalone PV system should not be operated up to that energy, otherwise it will burn. One can also see that there is an optimum concentrated

solar energy for each PV system.

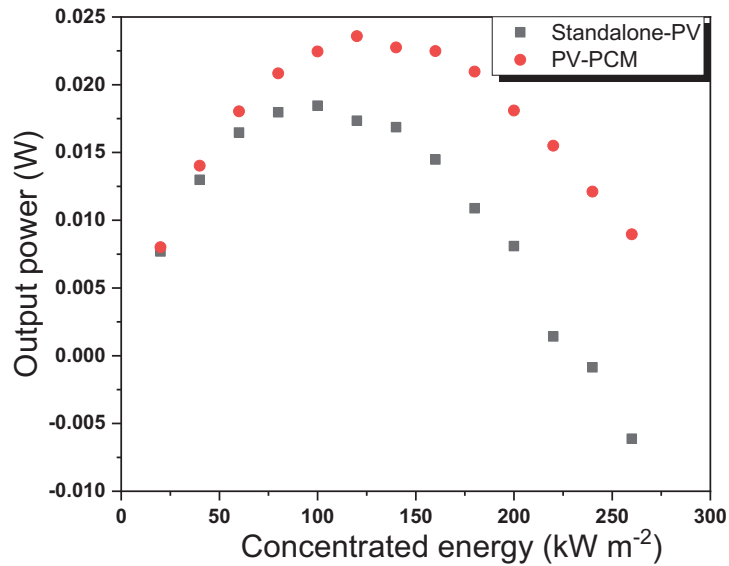


Figure 3: Plot of the output power of the PV.

Energy efficiencies of the standalone PV and PV-PCM systems decrease with an increase in the concentrated solar energy as shown in Figure 4, this is due to the increase in the temperature of the PV. It can be recalled that the energy efficiency is reduced by a certain factor, as the temperature of the PV increases beyond the standard temperature test condition which is 25 °C. Due to the cooling provided by the PCM, one can see that the energy efficiency of the PV-PCM system is superior to the energy efficiency of the standalone PV system.

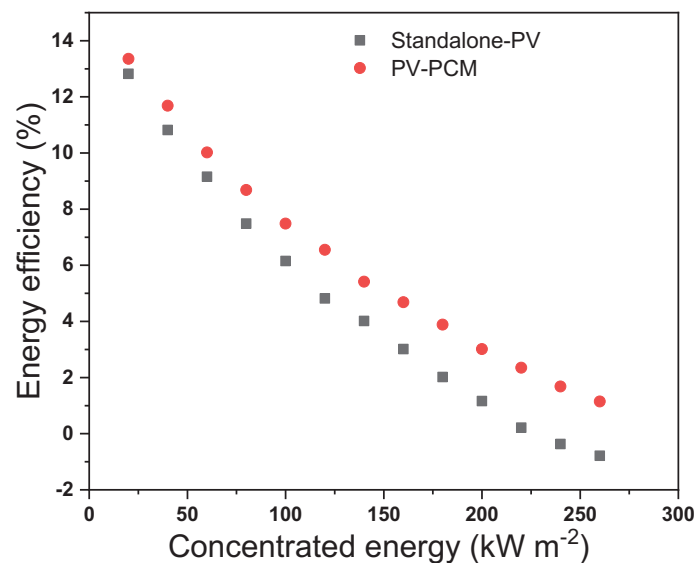


Figure 4: Plot of the energy efficiency of the PV.

In order to visualise the phase transformation of the PCM during the operation, Figure 5 is presented. Here, one can see that at about 8 sec of the operation, the PCM is completely in solid form. As the time in seconds progresses further say 15 sec of the operation, the PCM starts to melt, and the melting starts from the wall of the PCM container which is aluminium. Meaning that the heat absorption of the PCM is from the side walls. At 22 sec, the phase transformation is just about to be completed. It should be noted that during the phase transformation, high thermal energy is being absorbed by the PCM, and thus, enhanced cooling performance is observed during this period.

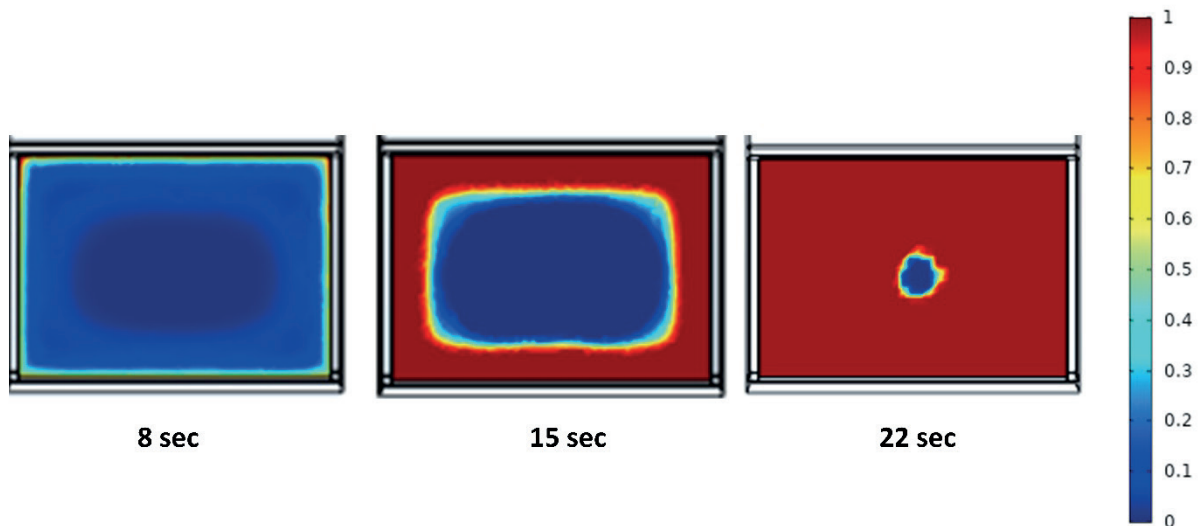


Figure 5: 2-D plot of phase transformation of phase change material from solid (0) to liquid (1) for the PV-PCM model.

Conclusions

Standalone PV and PV-PCM systems are modelled and analysed in COMSOL Multiphysics. The standalone PV system is cooled by natural air convection while the PV-PCM system is cooled by RT28HC PCM. Results have shown that the PCM can enhance the performance of a PV, where the difference between the temperatures of the standalone PV and the PV-PCM systems can reach up to 29 °C. This causes the output power and its corresponding energy conversion efficiency to be increased by 36% and 35.7%, respectively in comparison to the standalone PV system. The energy absorbed by the PCM during the operation of the PV-PCM system can be used for thermal application. The performance of the PV can be increased further

by increasing the latent heat and the thermal conductivity of the PCM.

References

- [1] M. J. Huang, P. C. Eames, and B. Norton, ‘Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaics’, *Solar Energy*, vol. 80, no. 9, pp. 1121–1130, Sep. 2006.
- [2] P. Singh et al., ‘Solar Photovoltaic Panels with Finned Phase Change Material Heat Sinks’, *Energies*, vol. 13, no. 10, p. 2558, May 2020.
- [3] E. Klugmann-Radziemska and P. Wcisło-Kucharek, ‘Photovoltaic module temperature stabilization with the use of phase change materials’, *Solar Energy*, vol. 150, pp. 538–545, Jul. 2017.
- [4] A. Yusuf, N. Bayhan, H. Tiryaki, B. Hamawandi, M. S. Toprak, and S. Ballikaya, ‘Multi-objective optimization of concentrated Photovoltaic-Thermoelectric hybrid system via non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA II)’, *Energy Conversion and Management*, vol. 236, p. 114065, May 2021.
- [5] A. Yusuf and S. Ballikaya, ‘Thermal resistance analysis of trapezoidal concentrated photovoltaic – Thermoelectric systems’, *Energy Conversion and Management*, vol. 250, p. 114908, Dec. 2021.
- [6] A. Yusuf and S. Ballikaya, ‘Exergetic assessment of a concentrated photovoltaic-thermoelectric system with consideration of contact resistance’, vol. 38, pp. 411-421, July 2022.
- [7] D. Chandan, U. C. Arunachala, and K. Varun, ‘Improved energy conversion of a photovoltaic module-thermoelectric generator hybrid system with different cooling techniques: Indoor and outdoor performance comparison’, *Intl J of Energy Research*, p. er.7820, Mar. 2022.
- [8] A. S. Joshi, I. Dincer, and B. V. Reddy, ‘Thermodynamic assessment of photovoltaic systems’, *Solar Energy*, vol. 83, no. 8, pp. 1139–1149, Aug. 2009.
- [9] A. Yusuf and S. Ballikaya, ‘Exergy analysis of a novel concentrated

photovoltaic- thermoelectric system’, IJEX, vol. 39, no. 1, p. 117, 2022,

- [10] A. Hasan, S. J. McCormack, M. J. Huang, and B. Norton, ‘Characterization of phase change materials for thermal control of photovoltaics using Differential Scanning Calorimetry and Temperature History Method’, Energy Conversion and Management, vol. 81, pp. 322–329, May 2014.
- [11] A. Yusuf and S. Ballikaya, ‘Electrical, thermomechanical and cost analyses of a low-cost thermoelectric generator’, Energy, vol. 241, p. 122934, Feb. 2022.
- [12] A. Yusuf et al., ‘Experimental and Theoretical Investigation of the Effect of Filler Material on the Performance of Flexible and Rigid Thermoelectric Generators’, ACS Appl. Mater. Interfaces, p. acsami.1c20004, Dec. 2021.
- [13] P. Motiei, M. Yaghoubi, E. GoshtashbiRad, and A. Vadiee, ‘Two-dimensional unsteady state performance analysis of a hybrid photovoltaic-thermoelectric generator’, Renewable Energy, vol. 119, pp. 551–565, Apr. 2018.
- [14] Heat Transfer Module Users Guide COMSOL Multiphysics 2019.
- [15] A. Yusuf, R. Tabakh, and S Ballikaya ‘Performance assessment of a trapezoidal concentrated photovoltaic – thermoelectric system’, 6th International conference on smart and sustainable energy (Splitech), Croatia, 2021, pp.45-49.

Polimer ve Hümik Asit Uygulamalarının Toprakta Hacimsel Büzülme Parametresinin Gelişimi Üzerine Etkileri

Hachim Kassim¹
Nutullah Özdemir²

Özet

Toprakta büzülme ve şişme kapasitesi üzerinde etkili olan bileşenlerin katkı ya da etki derecelerinin bilinmesi uygun bir bitki gelişim ortamının oluşturulması, su kayıplarının azaltılması, erozyonun kontrolü ve arazi yönetim planlarının seçimi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma, polivinil alkol (PVA), poliakrilamid (PAM) ve hümik asit (HA) uygulamalarının bazı toprak özellikleri ile hacimsel büzülme parametresinin gelişimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla sera koşullarında yürütülmüştür. Araştırmada üç farklı tekstüre sahip yüzey toprak (kil, tın ve kumlu tın) örnekleri kullanılmıştır. Serada, toprak örneklerine PVA, PAM ve HA sırasıyla 500, 100 ve 500 ppm dozlarında uygulanmış ve dört farklı periyotta (0, 15, 30 ve 45 gün) inkübasyona tabi tutulmuştur. İnkübasyon sırasında topraklardaki elverişli nemin %50'si tükenince sulama yapılmıştır. İnkübasyonun tamamlanmasından sonra topraklarda yapılan analiz ve değerlendirmeler sonucunda, PVA, PAM ve HA uygulamalarının hacimsel büzülme değerini düşürdüğü görülmüştür. Uygulanan düzenleyicilerin etkinlikleri toprak tekstür sınıflarına, düzenleyici özelliklerine ve periyot süresine bağlı olmuştur. PVA'nın diğer düzenleyicilere göre daha etkili olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Polimer, hümik asit, hacimsel büzülme, toprak tekstürü.

Disiplin: Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

Giriş

Toprağın kalitesi temel olarak insan nüfusunun artması, ekilebilir arazilerin yoğun yönetimi, kentleşme ve toprak bozulması nedeniyle tehdit altındadır. Tarım sistemlerinde uygun olmayan ve sürdürülemez üretim tekniklerinin yaygın kullanımı, toprak kalitesinin önemli ölçüde bozulmasına ve toprak organik madde içeriğinde ve mahsul üretiminde azalmaya neden olmaktadır [1, 2]. Toprağın korunması geleneksel olarak, tarımsal üretim için toprağın yerinde tutulmasıyla ilgili süreçleri vurgulamaktadır [3]. Tarımsal uygulamaların geliştirilmesi ve toprak kaynaklarının yönetimi, arazi kullanım modellerini, yetiştirme uygulamalarını (erozyon kontrolü dahil) ve çevre üzerindeki sonuçları hesaba katmalıdır [4].

Topraklar mekaniksel bileşim, kil içeriği, kil tipi, organik madde kapsamı gibi temel özelliklerine bağlı olarak birbirini izleyen kuruma ve ıslanma süreçlerine bağlı olarak büzülme ve genişleme süreçlerine maruz kalırlar. Şişme ve büzülme olaylarına bağlı olarak ortaya çıkan çatlaklar; bitki köklerinin ve genç fidelerin zarar görmesine, toprağın su ve hava dengesinin negatif etkilenmesine, nem kaybının artmasına, sulama suyunun etkinliğinin düşmesine ve toprakta strüktür bozulmasına yol açabilir [5, 6]. Bu nedenle toprakların şişme ve büzülme potansiyellerinin ortaya konulması toprak yönetimine ilişkin uygulamalar açısından oldukça önemlidir. Yürütülen araştırmalarda toprağın yapısal stabilitesini geliştirmek için organik polimerlerin uygulanmasının mümkün olduğu [7], kısa bir süre içerisinde toprakların fiziksel özelliklerini geliştirmede yapay polimerlerin kullanılabileceği tespit edilmiştir [8]. Bu doğrultuda, son yıllarda polivinil alkol (PVA), poliakriamid (PAM) ve hümik asit (HA) gibi organik kökenli çeşitli toprak stabilizatörleri üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların çoğu, sentetik organik polimerlerin çok düşük konsantrasyonlarda bile toprak yüzeyine uygulanmasının toprağın yapısal özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir [9, 10, 11, 12, 13]. Civelek [14] toprakların doğrusal uzama katsayısı olan COLE-çubuk ve hacimsel büzülme değerleri üzerine buğday samanı, fındık zürufu, hümik asit ve poliakrilamid düzenleyicilerinin etkilerini incelediği araştırmada; düzenleyici uygulaması ile COLE-çubuk ve hacimsel büzülme değerlerinin düştüğünü, COLE-çubuk değerleri ile organik madde arasında istatistiksel olarak önemli negatif ilişkiler bulunduğunu tespit etmiştir. Gizgin [15] ise yaptığı çalışmada, hümik asit uygulamasının toprakların hacimsel büzülme değerlerini denetlere göre önemli ölçüde yükselttiğini belirlemiştir.

Sentetik polimerler, hidrolik iletkenliği ve gözenekliliği artırmada, su tutma kapasitesini

geliştirmede [16], ve erozyona karşı direnci artırmada etkilidir [17]. Erozyon parsellerine (1x1 m) 20 kg ha⁻¹ PAM, 0.3 kg ha⁻¹ amonyum lauryl sülfat (ALS), 5 ton ha⁻¹ sıvılaştırılmış hümik madde ve 5 ton ha⁻¹ alçı taşı uygulanarak yürütülen bir araştırmada, sıvılaştırılmış hümik maddenin yüzey akışını %51 ve toprak kayıplarını %37 oranında azalttığı bildirilmiştir [18]. Benzer bir araştırma yürüten Yönter [19] ise laboratuvar koşullarında polivinilalkol (PVA) ve poliakrilamid (PAM) uygulamasının yüzey akış ve sıçramanın neden olduğu erozyon üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmanın sonuçları, artan PVA ve PAM dozlarının yüzey akış miktarı, yüzey akış ve sıçramayla oluşan toprak erozyonunu önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir.

Kassim ve Özdemir [20] yaptıkları çalışmada, PVA, PAM ve HA uygulamalarının toprağın doğrusal uzama katsayısı (COLE-çubuk) ve erozyon oranı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, düzenleyiciler COLE-çubuk ve erozyon oranı değerlerini önemli düzeyde düşürdüğü tespit edilmiştir. Yılmaz ve Uysal [21] yaptıkları çalışmada, polivinilalkol (PVA) ve poliakrilamid (PAM) uygulamalarının yüzey akış ve toprak kaybı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar PVA ve PAM solüsyonu kumlu tın tekstüre sahip 3 adet toprak örneğine uygulamışlardır. Araştırma sonucunda, adı geçen polimerlerin yüzey akış ve toprak kaybını önemli ölçüde azalttığı, ancak PVA'nın PAM'dan daha etkili olduğu saptanmıştır.

Bir araştırma yürüten Piccolo vd. [22] toprağa 0.05 g kg⁻¹ oranında hümik asit (HA) uygulamasının toprak kaybını %36 oranında azalttığını, agregat stabilitesini ve su tutma kapasitesini artırdığını bildirmişlerdir. Piccolo ve Mbagwu [23] ise hümik maddelerin (100 ve 200 kg ha⁻¹) toprak kayıplarını %40 oranında azalttığını ifade etmişlerdir. Sinkpehoun ve Yönter [24] yaptıkları araştırmada simüle yağış (40 mm h⁻¹) koşullarında oluşturulan sıçrama erozyonu tavalarna (30x30 cm) yerleştirilen tınlı toprak örneklerine sıvılaştırılmış hümik maddeler (0, 5, 10, 20 ve 40 mL L⁻¹) uygulamışlardır. Araştırmacılar, hümik maddelerin yüzey akışını (%24-45), akış (%7-97) ve sıçrama (%3-37) ile toprak kayıplarını önemli derecede azalttığını bildirmişlerdir.

Toprakta şişme ve büzülme potansiyeli üzerinde etkili olan bileşenlerin etki ya da katkı derecelerinin ortaya konulması, uygun bir bitki gelişim ortamının oluşturulması, su kayıplarının azaltılması, erozyonun kontrolü ve uygun bir arazi yönetiminin planlanması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma, polivinil alkol (PVA), poliakrilamid (PAM) ve hümik asit (HA) uygulamalarının kil, tın ve kumlu tın tekstüre sahip topraklarda hacimsel büzülme

parametresinin gelişimi üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Bu araştırma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanı (41°36'-36°18') ile Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bafra uygulama arazisinden (41°55'-35°86'; 41°50'-35°82') alınan yüzey toprak örnekleri üzerinde yürütülmüştür.

Sera denemesinde, hümik asit (HA), polivinilalkol (PVA) ve poliakrilamid (PAM) olmak üzere üç farklı toprak düzenleyici kullanılmıştır. Hümik asit olarak piyasada ticari olarak satılan, içerisinde %15 hümik madde içeren materyal kullanılmıştır. PVA olarak organik çözücülerde çözünmeyen ve özellikle sıcak suda çözünmeyen, Fluka etiketli PVA kullanılmıştır. Poliakrilamid olarak suda çözünür yapıda olan ve ACROS firmasından temin edilen PAM kullanılmıştır.

Yöntem

Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi

Araziden alınan yüzey (0-20 cm) toprak örnekleri gölgede kurutulduktan sonra 4,75 mm'lik elekten geçirilerek denemede kullanılmıştır. Toprak örnekleri fırın kurusu ağırlıkları esas alınarak tartılıp 1 kg'lık saksılara aktarılmıştır. Etiketlenen saksılara PVA, PAM ve HA sırasıyla 500, 100 ve 500 ppm dozlarında [25, 26, 27] olmak üzere, PAM ve HA saf su ile karıştırılarak, PVA ise saf suda 80 °C'de çözelti haline getirildikten sonra uygulanmışlardır. Dört farklı periyodun (0, 15, 30, ve 45 gün) esas alındığı çalışma, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'ne ait serada 30 Eylül 2020 tarihinde kurulmuştur. Deneme süresince topraktaki elverişli nemin %50'si (0.33 atm) tükenince sulama yapılmıştır. Her periyodun bitiminden sonra toprak örnekleri havada kurutularak elle ufalanmış ve analize hazır hale getirilmişlerdir.

Laboratuvar Analizleri

Toprak tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemi [28]; toprak reaksiyonu (pH) 1:2,5'lük toprak-su karışımında pH metre ile [29]; elektriksel iletkenlik değeri toprak-su karışımında cam elektrotlu elektriksel iletkenlik aleti ile [29]; toprakların kireç kapsamları Scheibler kalsimetre

yöntemi [29]; toprak organik maddesi Walkley-Black yöntemi [29]; tarla kapasitesi [28]; kation değişim kapasitesi Bower metodu [29] kullanılarak belirlenmişlerdir.

Toprakların hacimsel büzülme değerleri (VS); toprak örneklerinin başlangıç nem içeriği, büzülme sınırı ve büzülme oranı değerlerinden faydalanarak aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir [30].

$$VS = (W1 - SS)SR \quad (1)$$

Burada; W1: Toprak macununun başlangıçtaki yüzde nem içeriği, SS: Büzülme sınırı, SR: Büzülme oranı.

Araştırma sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi SPSS bilgisayar paket programı kullanılarak yapılmıştır. Çoklu karşılaştırmalarda Duncan testinden yararlanılmıştır (IBM SPSS statistics 21.0).

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Toprak Özellikleri

Sera koşullarında yürütülen bu çalışmada kullanılan toprakların deneme öncesi bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo1: Araştırmada kullanılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile hacimsel büzülme parametresi

Toprak No*:	Toprak özellikleri								
	Kum	Silt	Kil	Tekstür sınıfı	pH	EC	CaCO ₃	OM	KDK
	%				(1:2.5)	dS m ⁻¹	%	%	me/100g
1	31.70	23.14	45.16	C	6.97	0.1497	2.22	1.54	65.48
2	36.18	41.57	22.25	L	7.40	0.4924	8.47	3.02	38.26
3	58.91	29.34	11.75	SL	7.92	0.1173	8.26	0.77	31.66
mekaniksel parametre									
VS, %									
1	68.26								
2	18.59								
3	11.60								

1, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanı; 2, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bafra Uygulama arazisi; 3, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bafra Uygulama arazisi; OM, organik madde; KDK, kation değişim kapasitesi; VS, hacimsel büzülme.

Bu tablonun incelenmesinden de görüleceği üzere Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme alanından alınan (1 nolu örnek) kil bünyeli, nötr reaksiyonlu, az kireçli, organik madde

içeriği orta; Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bafra Uygulama arazisinden alınan (2 nolu örnek), tın bünyeli, hafif alkalin reaksiyonlu, orta kireçli, organik madde içeriği fazla; Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bafra Uygulama arazisinden alınan (3 nolu örnek) kumlu tın bünyeli, orta derecede alkalin reaksiyonlu, orta kireçli, organik madde içeriği az olan topraklardır. Toprakların pH değerleri 8.5'in altında olup topraklarda alkalilik sorunu bulunmamaktadır [31].

Araştırma konusu toprakların deneme öncesi belirlenen hacimsel büzülme parametresi irdelendiğinde (Tablo 3.1) adı geçen parametre değerlerinin %68,26 ile %11,60 arasında değişmekte olduğu, en yüksek değer kil tekstür sınıfında bulunan 1 nolu örnekte, en düşük değer ise kumlu tın tekstür sınıfına sahip 3 nolu örnekte olduğu belirlenmiştir.

Hacimsel Büzülme

Deneme konusu toprakların, polivinil alkol, poliakrilamid ve hümitik asit karıştırılarak dört farklı periyotta inkübasyona tabi tutulması sonrasında belirlenen hacimsel büzülme değerlerine ilişkin Varyans analiz sonuçları Tablo 3.2'de, hacimsel büzülme değerlerindeki ortalama değişimler (üç değer ortalama) ile çoklu karşılaştırma (Duncan) testi sonuçları ise Tablo 3.3'te verilmiştir. Tablo 3.2'deki Varyans analiz sonuçlarının incelenmesinden de görüleceği gibi, deneme topraklarının hacimsel büzülme değerlerine ilişkin kareler ortalaması ($p < 0.01$) önemli çıkmıştır. Başka bir ifadeyle, topraklar deneme sonundaki hacimsel büzülme değerleri bakımından farklılık göstermişlerdir.

Tablo 2: Toprakların hacimsel büzülme değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Kaynaklar	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	Önem düzeyi
Topraklar (A)	2	59947.627	29973.813	10456.011	.000
Düzenleyiciler (B)	2	179.778	89.889	31.357	.000
Peryotlar (C)	3	709.151	236.384	82.460	.000
A*B	4	81.362	20.340	7.096	.000
A*C	6	494.028	82.338	28.723	.000
B*C	6	200.196	33.366	11.639	.000
A*B*C	12	361.255	30.105	10.502	.000
Hata	72	206.399	2.867		

Genel 108 181075.634

Yine aynı tablodan düzenleyicilerin ve uygulanan periyotların kareler ortalamasının da ($p < 0.01$) önemli olduğu görülmektedir. Bu sonuç, denemede kullanılan polivinil alkol, poliakrilamid ve hümik asit gibi düzenleyiciler ile uygulanan periyotların hacimsel büzülme üzerindeki etkilerinin farklı olduğunu tespit etmektedir. Varyans analiz sonuçlarından toprak x düzenleyici, toprak x periyot, düzenleyici x periyot ve toprak x düzenleyici x periyot interaksiyonunun da önemli olduğu saptanmıştır.

Tablo 3: Toprakların hacimsel büzülme değerleri (ortalama) ile Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

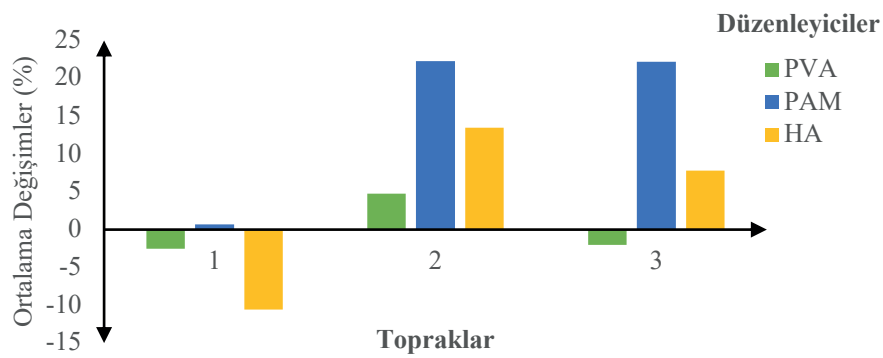
Topraklar	Düzenleyiciler	Periyotlar				Toprak ortalamaları
		1	2	3	4	
1	PVA	64.19	57.5	65.98	78.52	66,06a
	PAM	65.90	64.05	71.41	73.5	
	HA	54.79	55.9	61.51	71.97	
2	PVA	18.10	18.11	18.11	23.55	21.39b
	PAM	18.50	21.62	23.68	27.15	
	HA	15.15	20.54	22.5	26.17	
3	PVA	8.57	9.84	14.56	12.49	12.08c
	PAM	11.59	14.9	14.92	15.30	
	HA	11.53	12.2	12.70	13.60	
Periyot ortalamaları		30.15d	31.88c	33.60b	37.08a	
Düzenleyici ortalamaları	PVA	32.21c				
	PAM	35a				
	HA	32.32bc				

(Ayrı harflerle gösterilen ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testine göre farklıdır)

Kontrollere göre her üç düzenleyici de uygulama periyotlarına bağlı olarak toprakların hacimsel büzülme değerlerinde değişimlere neden olmuştur (Tablo 3.3). Söz konusu üç düzenleyici de 1 nolu toprağın hacimsel büzülme değerlerinde ilk 2 periyotta belirgin düşüşler sağlamıştır. Düzenleyicilerin 2 ve 3 nolu topraklardaki hacimsel büzülme değerini düşürücü etkileri 1 periyotla sınırlı kalmış olup periyot süresi uzadıkça düzenleyicilerin etkinlikleri azalmıştır.

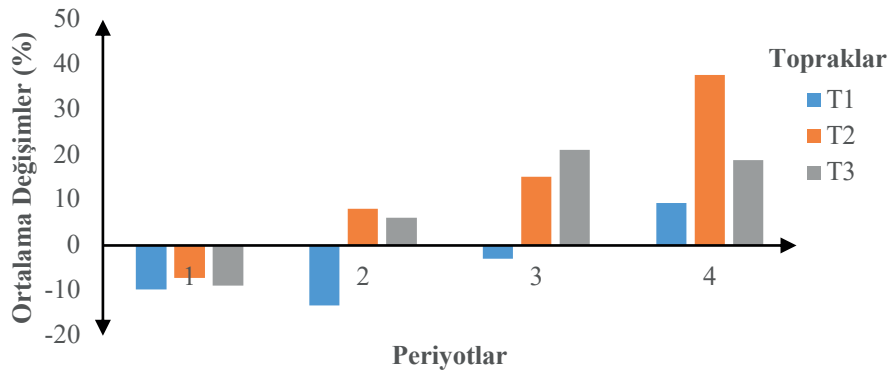
Deneme topraklarının, uygulanan düzenleyicilerin ve uygulama periyotlarının deneme sonundaki hacimsel büzülme değeri ortalamalarına göre karşılaştırılması için verilere uygulanan Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi sonuçları (Tablo 3.3) irdelendiğinde toprakların, uygulanan düzenleyicilerin ve uygulama periyotlarının deneme sonundaki hacimsel büzülme değeri ortalamalarında oluşturdukları etki bakımından farklılık gösterdikleri (sıralandıkları)

tespit edilmiştir. Bu grupta topraklar ve periyotlar arasındaki farklar ($p < 0.01$) önemli bulunmuştur (Ayrı harflerle gösterilen değerler adı geçen teste göre %1 düzeyinde önemlidir). Hacimsel büzülme değerinde kontrollere göre meydana gelen ortalama değişimler (%) Şekil 3.1’de verilmiştir. Bu verilerden de görüleceği üzere kil tekstür sınıfına sahip olan 1 nolu toprakta hümik asit ile elde edilen düşüşler çok daha yüksek düzeyde gerçekleşmiştir. İki nolu toprakta her üç düzenleyici de hacimsel büzülme değerlerini yükseltmişken 3 nolu toprakta ise sadece polivinil alkol düşüş sağlamıştır.



Şekil 1: Hacimsel büzülme değerlerinde düzenleyicilere göre belirlenen ortalama değişimler (%)

Polivinil alkol, poliakrilamid ve hümik asit uygulamaları toprakların hacimsel büzülmede neden olduğu ortalama değişimler (%), adı geçen düzenleyiciler arasında önemli farklılıklar göstermiştir. Bu üç düzenleyiciye ilişkin periyotların toprakların hacimsel büzülme ortaya çıkardığı değişimler (%) Şekil 3.2’de sunulmuştur. Bu verilerden de anlaşılacağı üzere periyot süresi uzadıkça düzenleyicilerin etkinlikleri düşmektedir.



Şekil 2: Hacimsel büzülme değerlerinde kontrollere göre periyotlarda belirlenen ortalama değişimler (%)

Uygulanan düzenleyicilerin ve uygulama periyotlarının etkileri grafik verileri dikkate alınarak irdelendiğinde hacimsel büzülme değerlerinin uygulanan düzenleyici türlerinden (PVA>HA>PAM) ve uygulama periyotlarından (1>2>3>4) şeklinde etkilendikleri söylenebilir (Tablo 3.3). Başka bir deyişle, PVA hacimsel büzülme değerini en çok azaltan düzenleyici olurken bu bakımdan PAM son sırada bulunmuştur.

Civelek (2021) toprakların hacimsel büzülme değeri üzerine buğday samanı, fındık zürufu, humik asit ve PAM düzenleyicilerinin etkilerini incelediği araştırmada düzenleyici uygulaması ile hacimsel büzülme değerinin düştüğünü ifade etmiştir. Gizgin [15] yaptığı çalışmada, humik asit uygulamasının toprakların hacimsel büzülme değerlerini denetlere göre önemli ölçüde yükselttiğini belirlemiştir.

Özdemir vd., [32] yaptıkları bir çalışmada asit, nötr ve alkalın reaksiyona sahip topraklara uygulanan çöp kompostu, tütün işleme atığı ve çeltik kavuzu kompostunun mekaniksel özellikleri iyileştirdiğini ve COLE-çubuk değerlerini düşürdüğünü saptamışlardır. Civelek [14] ise toprakların doğrusal uzama katsayısı COLE-çubuk değerleri üzerine buğday samanı, fındık zürufu, humik asit ve PAM düzenleyicilerinin etkilerini incelediği araştırmada; düzenleyici uygulaması ile COLE-çubuk değerlerinin düştüğünü ve COLE-çubuk değerleri ile organik madde içeriği arasında istatistiksel olarak önemli negatif ilişkiler bulunduğunu vurgulamıştır.

Sonuç ve Öneriler

Polivinil alkol, poliakrilamid ve humik asit uygulamalarının toprakta hacimsel büzülme parametresinin gelişimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla sera koşullarında yürütülen bu çalışma sonucunda; denemede kullanılan Polivinil alkol, poliakrilamid ve humik asit uygulamaları toprakların hacimsel büzülme değerlerinde değişimler sağladığı tespit edilmiştir. Her üç düzenleyici de 1 nolu toprağın hacimsel büzülme değerlerinde belirgin azalışlar gerçeklemiştir. Düzenleyicilerin 2 ve 3 nolu topraklardaki hacimsel büzülme değerini düşürücü etkileri 1. periyotla sınırlı kalmış olup periyot süresi uzadıkça düzenleyicilerin etkinlikleri azalmıştır. Sonuç olarak, Polivinilalkol, poliakrilamid ve humik asit uygulamalarının toprakta hacimsel büzülme gelişimi üzerine adı geçen düzenleyicilerin kendi özelliklerine, toprak tekstür sınıfına ve periyot süresine bağlı olarak olumlu yönde etkili olduğu saptanmıştır. Uygulamada

bu hususa dikkat edilmesinde fayda vardır.

Kaynakça

- [1] N. Verhulst, B. Govaerts, E. Verachtert, A. Castellanos-Navarrete, M. Mezzalama, P. Wall, A. Chocobar, . J. Deckers ve K. D. Sayre, «Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems,» %1 içinde *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*, USA, CRC Press, 2010, pp. 137-208.
- [2] J. Martinez-Blanco, . P. Munoz, A. Anton ve J. Rieradevall, «Assesment of tomato Mediterranean production in open-filled and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint,» *Journal of Cleaner Production*, no. 19, p. 985–997, 2011.
- [3] H. Blanco ve R. Lal, *Principles of Soil Conservation and Management*, New York: Springer Science Business Media, 2008.
- [4] W. T. Dickinson, «Pratiques agricoles des sols,» L'Encyclopédie Canadienne. Historica Canada, Montreal, 2015.
- [5] K. Sönmez ve T. Öztaş , «İğdır Ovası yüzey topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile mekaniksel özellikleri arasındaki ilişkiler,» *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt %1 / %2(1-4), no. 19, pp. 145-153, 1988.
- [6] O. Dengiz ve F. E. Gürsoy, «Farklı Pedolojik Özelliklere Sahip Toprakların Morfolojik, Mineralojik ve Bazı Mühendislik Özellikleri,» *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, cilt (1), no. 6, pp. 1-9, 2019.
- [7] R. Harris, G. Chesters ve O. Allen, , «Dynamics of soil aggregation,» %1 içinde *Advances in Agronomy*, USA, Academic Press, 1966, pp. 107-169.
- [8] . G. Levy ve M. Agassi, « Soil Stabilizers, Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation,» USA, Marcel Dekker, 1966, pp. 267-299.

- [9] M. De Boodt, *Soil conditioning, a modern procedure for restoring physical soil degradation*, Gent: Pedologie (Belgium), 1993, pp. 157-195.
- [10] R. E. Sojka ve . R. D. Lentz, *Time for yet another look at soil conditioners*, cilt 158, USA: Soil Science, 1994, pp. 233-234.
- [11] B. Z. Zhao ve F. A. Xu, *Improvement of soil physical properties with soil conditioners*, cilt 5(4), China: Pedosphere, 1995, pp. 363-370.
- [12] . A. Nadler, E. Perfect ve B. D. Kay, *Effect of polyacrylamide application on the stability of dry and wet aggregates*, cilt 60(2), USA: Soil Science Society of America Journal, 1996, pp. 555-561.
- [13] A. U. Imbufe, . A. F. Patti,, D. Burrow, A. Surapaneni, W. R. Jackson ve A. D. Milner, *Effects of potassium humate on aggregate stability of two soils from Victoria, Australia*, Cilt %1 / %2125(3-4), Victoria: Geoderma, 2005, pp. 321-330.
- [14] Z. Civelek ve N. Özdemir, «Organik atık ve polimer uygulamalarının toprakta doğrusal uzama katsayısı ve hacimsel büzülme değeri üzerine etkileri,» *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, cilt 9, no. (1), pp. 64 - 70, 2021.
- [15] . L. Gizgin, *Humik Asit Uygulamasının Şişme-Büzülme Potansiyeli Yüksek Toprakların Strüktürel Stabilitate Ölçütleri Üzerine Etkileri*, Erzurum: Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, 2020.
- [16] R. T. Shanmuganathan ve J. M. Oades, «Effect of dispersible clay on the physical properties of the B horizon of a red-brown earth,» *Australian Journal of Soil Research*, no. 20, p. 315–324, 1982.
- [17] J. D. Wood ve J. D. Oster, «The effect of cellulose xanthate and polyvinyl alcohol on infiltration, erosion and crusting at different sodium levels,» *Soil Science*, no. 139, p. 243–249, 1985.

- [18] K. D. Ritchey, L. D. Norton, A. Hass, J. M. Gonzalez ve D. Snuffer, «Effect of selected soil conditioners on soil properties, erosion, runoff and rye growth in nonfertile acid soil,» *Journal of Soil and Water Conservation*, cilt 67, no. 4, pp. 264-274., 2012.
- [19] G. Yönter, « Effects of Polyvinylalcohol (PVA) and Polyacrylamide (PAM) as Soil Conditioners on Erosion by Runoff and by Splash Under Laboratory Conditions,» *Ekoloji*, cilt 19, no. 77, pp. 35-41, 2010.
- [20] H. Kassim ve N. Özdemir, «Polimer ve Hüyük Asit Uygulamalarının Toprağın Strüktürel Gelişimi Üzerine Etkileri,» *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, cilt 10, no. 1, pp. 19-28., 2022.
- [21] G. Yılmaz ve H. Uysal, « PVA ve PAM Uygulamalarının Yüzey Akış ve Toprak Kaybı Üzerine Etkileri,» *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt 47, no. 2, pp. 191-199. , 2010.
- [22] A. Piccolo, G. Pietramellara ve J. S. C. Mbagwu, «Reduction in soil loss from erosion susceptible soils amended with humic substances from oxidized coal,» *Soil Technology*, cilt 10, no. 3, pp. 235-245, 1997.
- [23] A. Piccolo ve J. S. C. Mbagwu, «Exogenous humic substances as conditioners for the rehabilitation of degraded soils,» *Agro Food Industry Hi-Technology*, cilt 8, no. 2, pp. 2-4., 1997.
- [24] T. H. Sinkpehoun ve G. Yönter, « Effects of liquated humic substances on runoff, soil losses by runoff and by splash under artificial rainfall conditions,» *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt 55, no. 1, pp. 59-65, 2018.
- [25] N. Özdemir, E. Öztürk ve İ. Ekberli, « Effects of organic and inorganic amendments on soil erodibility,» *Eurasian Journal of Soil Science*, cilt 4, no. 4, pp. 266-271, 2015.
- [26] T. Yakupoğlu ve T. Öztaş, *Düzenleyici Olarak Kullanılan Bazı Polimerlerin Toprak ve Su Kayıpları Üzerine Etkilerinin Agregat Büyüklüğüne Bağlı Olarak Yapay Ardil*

Yağışlar Altında Araştırılması, TÜBİTAK MFAG Projesi, 2016.

- [27] E. L. Aksakal ve T. Öztaş, *Polivinilalkol, Hüyük Asit ve Poliakrilamid Uygulamalarının Strüktürel Stabilitel ve Toprak Kayıpları Üzerine Etkileri*, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 2010, pp. 953-962.
- [28] İ. Demiralay, *Toprak fiziksel analiz yöntemleri*, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1993.
- [29] B. Kacar, *Biki, Toprak ve Gübre Analizleri, Fiziksel ve Kimyasal toprak Analizleri*, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, Yayın No.1524, 2016.
- [30] ASTM, *Annual book of ASTM standards*, USA: American Society for Testing and Materials, 1974, pp. Part 19: 90-92.
- [31] S. S. Staff, *Soil survey manual*, USA: IICA CO , 1993.
- [32] N. Özdemir, Ö. T. K. Durmuş, İ. Ekberli ve İ. Zorba, «Düzenleyici Uygulamasının Farklı Reaksiyona Sahip Toprakların Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri,» *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, cilt 3, no. 2, pp. 130-138, 2016.

Statistical Modeling of Fine-Grained Soils for Geotechnical Efficacy using Artificial Neural Network and Minitab

Hamad Raza¹
Qaiser Mehmood²
Zulfiqar Ali³
Mansoor A. Baloch⁴

Abstract

The diverse geographical and chronological nature of soil qualities as it emerges naturally is beyond the designer's control. The engineers often interacted with the clayey soil (A-6) during the execution of the project. Transport of stiffer soils like A-2 and A-4 may increase the cost of the project. The use of the site-situated clayey soil (A-6) with some improvements is a necessity of the time. Geotechnical engineers typically effort to establish empirical equations for a particular area and soil type. However, these empirical equations are usually dependable on the nature of the soil from which the correlation is derived. Therefore, it is essential to design empirical equations that are best suited to the local area and easily accessible. Consequently, this study involves testing clayey soil (A-6) with filler using two testing procedures. The research was carried out to assess the effect of locally available and cheap modifiers on the California Bearing Ratio (CBR) of the clayey soil. The modifier used during the study includes stone dust. The soil was undergone to Triaxial testing for the estimation of shear strength parameters and CBR test to find out the CBR values of the soil. According to the study, stone dust proved to be the influencing modifier as it lowered the cohesion values and improved the CBR of weak soil. The statistical relationship between the CBR and the variables involved in the testing procedure was determined using Minitab software and Artificial Neural Network using SPSS. The comparison of both relationships was quite accurate based on its statistical parameters and the results clearly show that the neural networks, when trained with sufficient

¹ Lecturer Civil Engineering Department, University of Engineering and Technology, Taxila

² Ph.D. Engineering Geology, Cukurova University, Adana (Corresponding Author)

³ Ph.D. Civil Engineering, Cukurova University, Adana

⁴ Cheif Operating Officer, Punjab Higher Education Commission, Lahore

data and appropriate inputs can better anticipate output data.

Keywords: Flexible Pavements, CBR, Subgrade, Modifier, ANN, Minitab

Discipline: Engineering Geology (Science and Engineering)

Introduction

A pavement structure is composed of different layers of engineered materials. The stiffness, potential strength, and performance of the pavement structure depend upon the composition of these layers. The layers are often composed of soils and aggregates. The major problem associated with pavements in Pakistan is premature failure of the pavements. The most common of these failures have been rutting, fatigue cracking, and raveling due to low density. The failure can be due to many reasons like failure of the subgrade, poor compaction, inappropriate mix design, and heavy traffic. Historically, the pavements in Pakistan have failed due to subgrade failure and heavy trucking traffic. Therefore, the need to address this issue is of vital importance. Keeping this in mind, this study is carried out to study the effect of a modifier like stone dust for subgrade improvement. The modifier used in this study is locally available and cheap material. This material is abundantly available in Pakistan and can be used with great ease.

Sub-grade properties are the most important parameter for pavement's probable service performance. A well-compacted, stiff, and reliable resilient modulus subgrade is a prerequisite for the pavement's performance up to the desired value. Normally, A-1, A-2, and A-4 soils classified by AASHTO are considered to be having all the desired properties for a reliable subgrade. A-6 soils are present at most of the sites in Pakistan but they are not reliable as subgrade as they comprise soft clays. It is a common practice to transport the stiffer material i.e. A-1, A-2, and A-4 soils from distant places for the execution of the project increasing the project cost.

This study is focused on the improvement of AASHTO soil group A-6 for pavement subgrade. The study aims to find a nominal percentage of modifier i.e. stone dust to be used in soil (A-6) to make it useful as the subgrade. It will result in the development of a California Bearing Ratio

(CBR) database for pavement design applications. CBR value is a measure of the strength of subgrade soil and is frequently considered for the design of flexible pavements. The standard soaked CBR test method is both costly and time consuming. To address this problem, simple soil parameters such as the Plastic Index (P.I), Maximum Dry Density (MDD), Optimum Moisture Content (OMC), and Angle of Internal Friction and Cohesion can be used to determine the CBR value of subgrade soil [1]. This study intends to develop regression-based models for determining soaked CBR values in fine-grained subgrade soils.

The key objectives of this study are:

1. To investigate the effect of the addition of stone dust on engineering properties of weak soils.
2. To find the most economical and practical methods of improving the engineering properties of soil.
3. To assess the relationships and to develop statistical models between CBR with the amount of stabilizer and modification of geotechnical variables.
4. Proposing the most suitable statistical optimization in soil stabilization.

Experimental Program

The study work comprised estimating and ameliorating the index properties and potential strength of subgrade by adding stone dust as modifier. The experimental program starts with the selection of material and finding out their properties. After selection of soil and modifier, the modifier is added to soil in different percentages, and the samples prepared were subjected to different tests to determine their physical properties, compaction characteristics, shear strength parameters, and CBR. Laboratory tests were conducted according to the authoritative procedures of “ASTM” and “AASHTO”. The experimental program is shown in Figure 1:

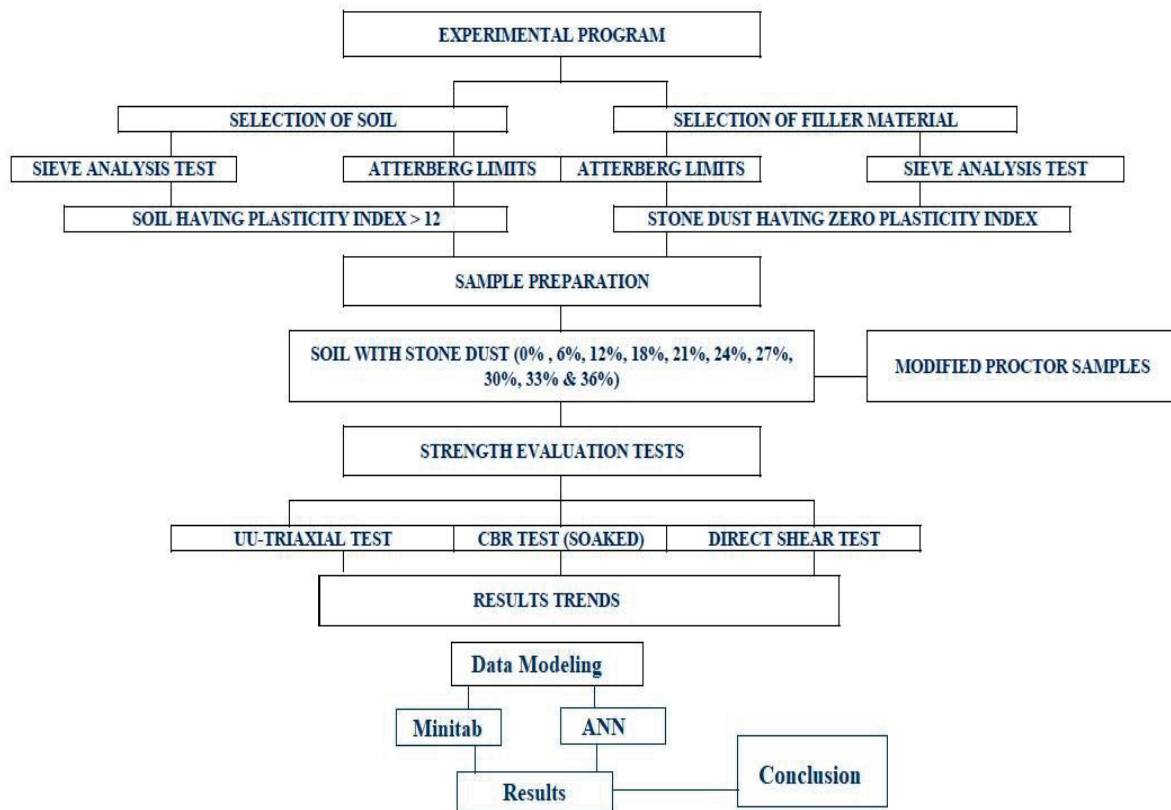


Figure 1. Flowchart of the study

Selection of Material

Appropriate data are required to carry out the necessary analyses in order to meet the study's objectives. In order to have sufficient and reliable data for the target analysis as defined in the methodology, soil samples were collected from Heavy Mechanical Complex, Residential Colony. Most of the samples collected were from undergoing construction areas during the excavation stage. The location map from where samples were collected is shown in Figure 2. The samples of stone dust were collected from 111 Pulley, Sargodha.

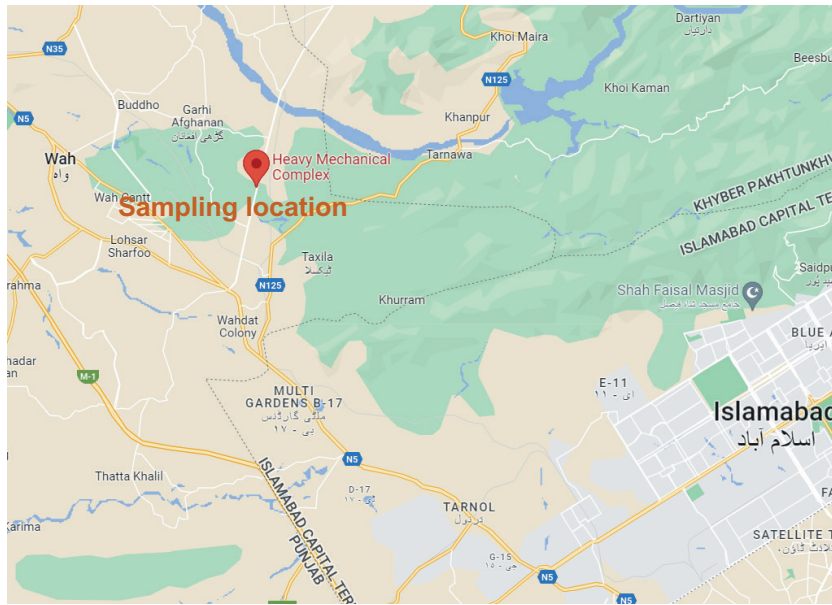


Figure 2. Soil sampling location map

Material Properties of Soil

After the collection of soil, it was tested for different soil index properties. Table 1 shows the summary of test results.

Table 1. Summary of Soil Index Properties

Sr. No.	Description	Results
1	Liquid Limit	35.5
2	Plastic Limit	22.62
3	Plasticity Index	12.88
4	Moisture Content (%)	15
5	Dry Unit Weight (lb/ft ³)	110
6	Specific Gravity	2.6

Soil Sieve Analysis:

The test was performed on collected samples according to the ASTM C-136, AASHTO T-87, and AASHTO T-88 [2], [3]. A graphical representation of sieve analysis test results is shown In Figure 3.

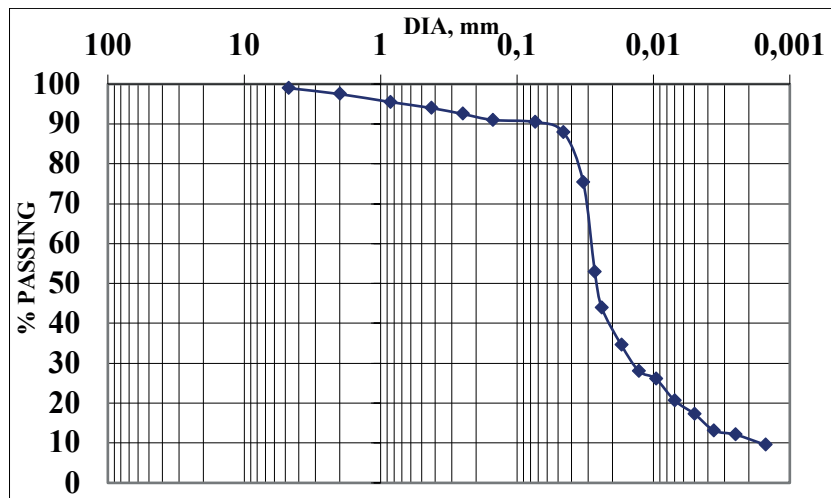


Figure 3. Soil Sieve Analysis

Soil Atterberg Limits

The next test performed for the classification was Atterberg limits. Atterberg limits include the Liquid Limit (L.L) and Plastic Limit (P.L). The liquid limit test was performed by adopting the procedure described in AASHTO T-89 and ASTM D-4318 (ASTM, 2017; AASHTO, 2011). It was found to be 35.5 (Figure 4).

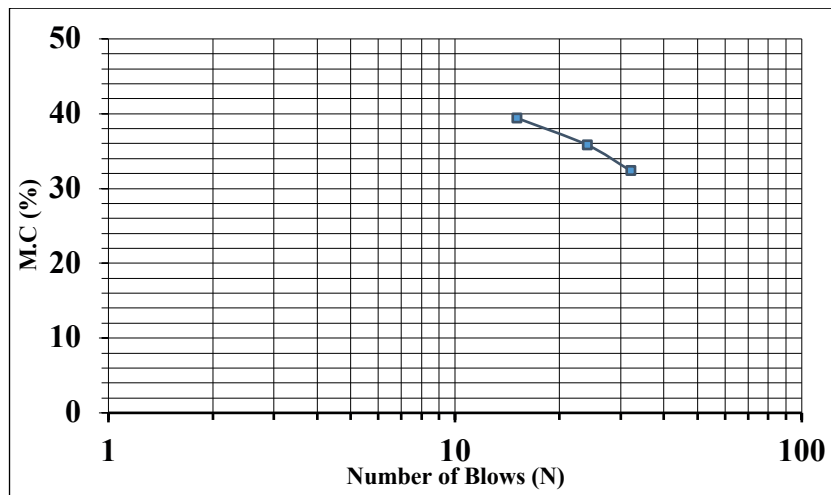


Figure 4. Soil Liquid Limit Test Results

The plastic limit calculation was the next step in characterization of the soil. The plastic limit test was performed by adopting the procedure described in AASHTO T-90 and ASTM D-4318 [4], [5]. It was found to be 22.62.

The plasticity index (P.I) value was determined by using the following relation:

$$P.I = L.L + P.L \quad (1)$$

It was found to be 12.88.

The tests performed for the characterization showed that the soil samples collected from the site were pure A-6 soils and that the research could be carried out on the samples.

Material Properties of Stone Dust

After the collection of stone dust as a modifier, it was tested for different index properties i.e. sieve analysis, Atterberg limits, plasticity index, hydrometer analysis, proctor test, and specific gravity (Table 2).

Table 2. Summary of Stone Dust Index Properties

Sr. No.	Description	Results
1	Plasticity Index	0
2	Specific Gravity	2.73

Stone Dust Sieve Analysis

The test was performed on collected samples of modifier according to the ASTM C-136 and AASHTO T-87 and T-88 [2], [5]. Figure 5 shows the graphical representation of sieve analysis test results.

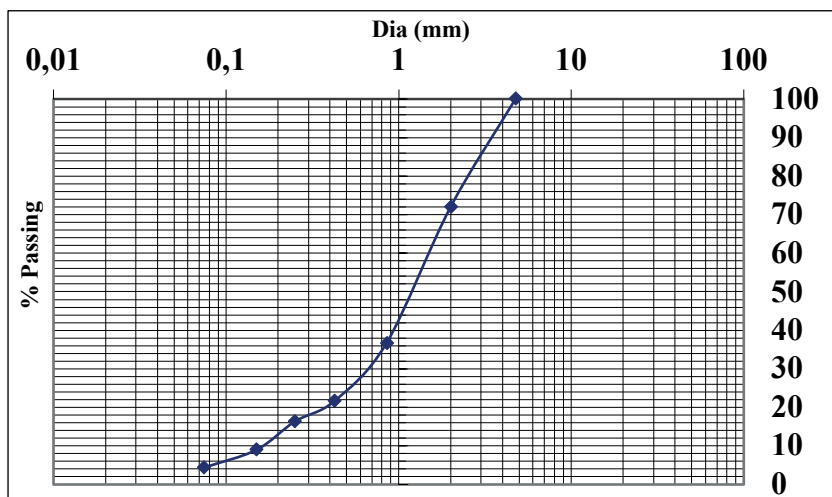


Figure 5. Stone Dust Sieve Analysis Test Results

The value of the coefficient of uniformity is 6.25 and the coefficient of curvature is 2.62. The

tests performed for the characterization showed that the stone dust sample collected was well-graded sand and that the research could be carried out on the sample as modifier.

Percentages of Stone Dust as Modifier

After the selection of soil and stone dust, samples were prepared by adding stone dust as modifier. The percentages added were 0%, 6%, 12%, 18%, 21%, 24%, 27%, 30%, 33% and 36%.

Testing Conditions & Techniques for CBR Test

The testing program starts with the preparation of specimens for the CBR test in accordance with ASTM D-1883 [6]. In the current study, the soil sample was remolded using one density and moisture content calculated from modified proctor test. A total number of 90 samples were prepared. Subsequent to the penetration test, the soil sample was remoulded in laboratory at an appropriate moisture content and density as per ASTM D-1557 [7]. The remoulded sample was soaked for 96 hours with a surcharge load. Swell readings were recorded during this period at random designated times. At the end of the soaking period, the penetration test was conducted at a rate of 1.27 mm/min. The force or load needed to create the penetration was measured in relation to the standard penetration depths at every 0.5 mm penetration, including the load values at 2.54 mm and 5.08 mm, till the total penetration reached 12.7 mm [8], [9]. The penetration resistance load was then plotted over the penetration depth, and the load-penetration curve was corrected.

The bearing ratio was determined by dividing the adjusted load by the associated standard load, multiplied by 100, using the adjusted value from the load curve for 2.54 mm and 5.08 mm penetration. If the bearing ratio of 2.54 mm is larger than that of 5.08 mm, the bearing ratio recorded for the soil is generally the one at 2.54 mm penetration. The test is completely redesigned on a new sample if the ratio at 5.08 mm penetration is larger. If the recurrent finding of 5.08 mm is again higher, the designed bearing ratio is 5.08 mm otherwise, if the bearing ratio of 2.54 mm is higher, the designed bearing ratio is 2.54 mm penetration.

Testing Conditions & Techniques for Direct Shear Test

Direct Shear Test covers the determination of shear strength parameters using a box shaped specimen of either undisturbed or remolded soil in accordance with ASTM D-3080 [10]. A total number of 30 samples were prepared. The testing program for the direct shear test was started

with the preparation of a box-shaped specimen having a minimum size of $6\text{cm} \times 6\text{cm}$ square and thickness of 2 cm. The soil specimen was placed in a square type shear box. A precise (and consistent) magnitude normal load and shear load were applied. The specific normal and shear loads that caused shear failure were recorded. After removing the soil specimen from the shear box, another sample of the same soil sample was placed in the shear box. After removing the soil specimen from the shear box and discarding it, another specimen of a similar soil sample was inserted in the shear box. A normal load different from the previous test was applied to the second sample, and a shearing force large enough to cause shear failure was applied once more. For the second test, the normal shear load that caused shear failure was measured. The obtained results of the two tests were graphed along the abscissa. The same scale was used along both the abscissa and the ordinate. A straight line was drawn connecting two plotted points was extended to intersect the ordinate. The point where the line intersects the ordinate is the cohesion “C”.

Testing Conditions and Techniques for Unconsolidated Undrained Triaxial Test

The testing program for UU-Triaxial Test was started by placing the membrane on the membrane stretcher. The rubber membrane was placed around the specimen and sealed at the cap and cap with O-rings. A thin coating of silicone grease on the vertical surfaces of the cap or base was helpful in sealing the membrane. The next step was assembling the triaxial chamber. The chamber was positioned within the axial loading device. To avoid applying a lateral force to the piston during testing, the axial loading device, the axial load-measuring device, and the triaxial chamber were carefully aligned. The pressure-maintaining and monitoring device was attached in order to fill the chamber with the confining liquid. The pressure maintaining and measurement equipment was adjusted to the required chamber pressure, and pressure was delivered to the chamber fluid [11]. Before exerting chamber pressure, the piston was held in place by the axial loading device. The axial load was imposed to generate axial strain with maximal deviator stress at 3 to 6 percent strain [11]. The elapsed time to obtain maximal deviator stress at these rates was roughly 15 to 20 minutes. It was continuing the up to 15% axial strain, however, the load was halted when the deviator stress peaked and then decreased by 20% or the axial strain reached 5% beyond the strain over which the peak in deviator stress happened. The stress-strain curve was defined by recording sufficient load and deformation values to three prominent digits.

Test Data & Trends

CBR Test

The CBR test was performed as per testing conditions and techniques and the results are arranged in table 3. Figures 6-8 show the result trends with an increase in the percentage of stone dust. When we increase the percentage of stone dust the CBR value increase (Fig. 6). The OMC has an inverse relation (Fig. 7) whilst the Maximum Dry Unit Weight (MDUW) has a direct relation with the CBR value of the soil (Fig. 8).

Table 3. Summary of CBR Test Results

Filler	% of Stone Dust	OMC (%)	Maximum Dry Unit Weight (lb/ft ³)	CBR (Soaked Values)
Stone Dust	0	15.06	110.2	5
	6	14.49	112.7	5.98
	12	13.74	115.44	6.22
	18	13.16	117.5	6.64
	21	13.08	118.05	6.9
	24	13.03	118.82	6.97
	27	12.96	119.09	7.1
	30	12.905	119.21	7.12
	33	12.856	119.3	7.14
	36	12.77	119.47	7.153

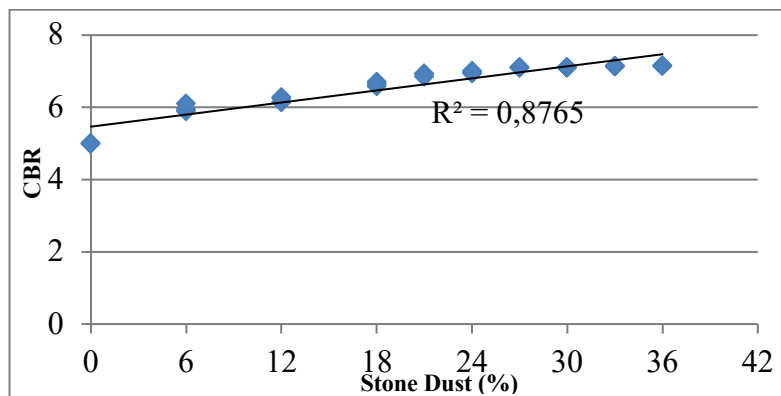


Figure 6. Effect of Stone Dust (%) on CBR

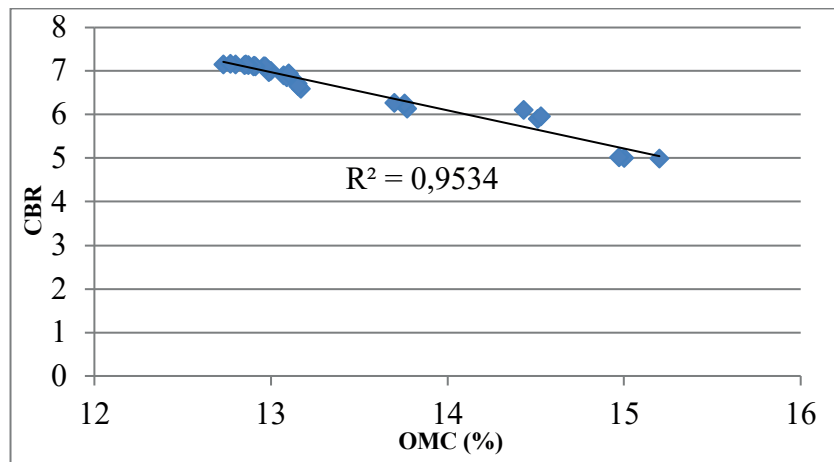


Figure 7. Effect of OMC on CBR with increase in % of Stone Dust

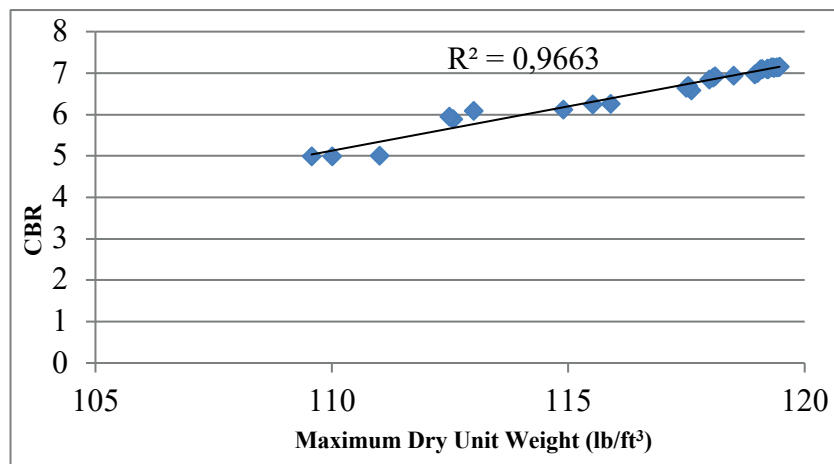


Figure 8. Effect of Dry Unit Weight on CBR with increase in % of Stone Dust

Direct Shear Test

The direct shear test was performed as per testing conditions and techniques and the results are arranged in table 4. Figures 9-11 show the result trends with an increase in the percentage of stone dust. When we increase the percentage of stone dust the cohesion value decreases (Fig. 9). The MDUW has an inverse whilst OMC has a direct relation with cohesion (Figs. 10, 11).

Table 4. Summary of Direct Shear Test Results

Filler	% of Stone Dust	OMC (%)	Maximum Dry Unit Weight (lb/ft³)	Cohesion (lb/ft²)
	0	15	110	696.37

	6	14.53	112.485	593.97
Stone Dust	12	13.755	115.515	573.48
	18	13.15	117.54	512.04
	21	13.10	118.10	475.17
	24	13	119	409.63
	27	12.96	119.07	403.49
	30	12.9	119.2	389.15
	33	12.85	119.33	354.33
	36	12.8	119.4	337.95

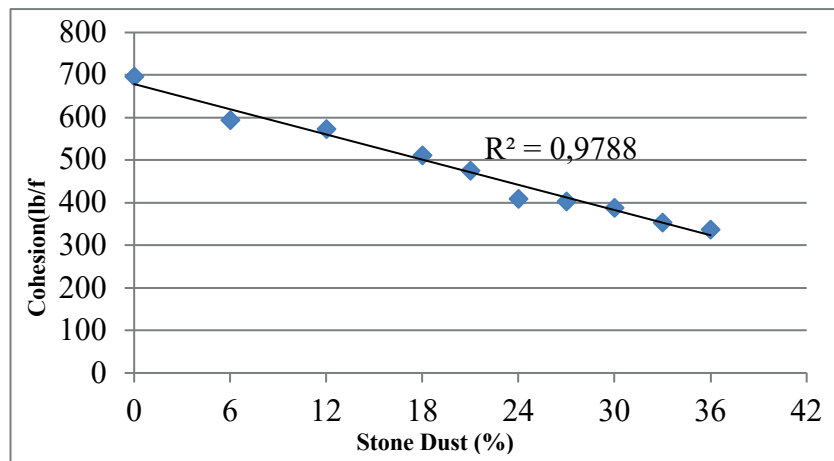


Figure 9. Effect of Stone Dust (%) on Cohesion

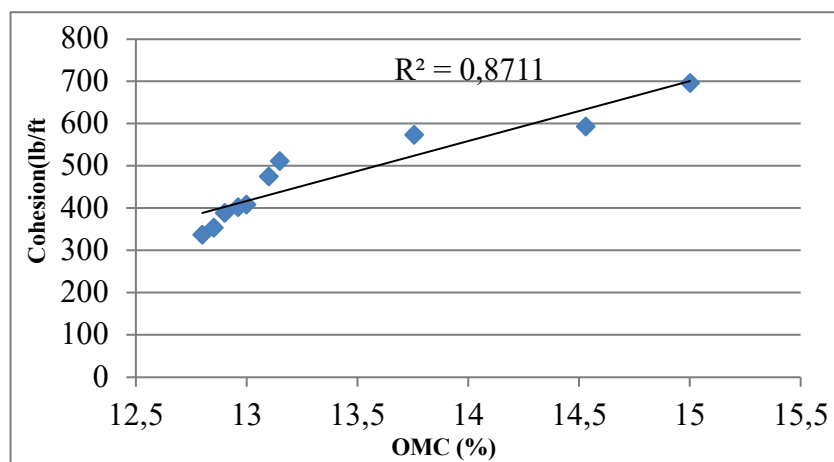


Figure 10. Effect of OMC on Cohesion with increase in % of Stone Dust

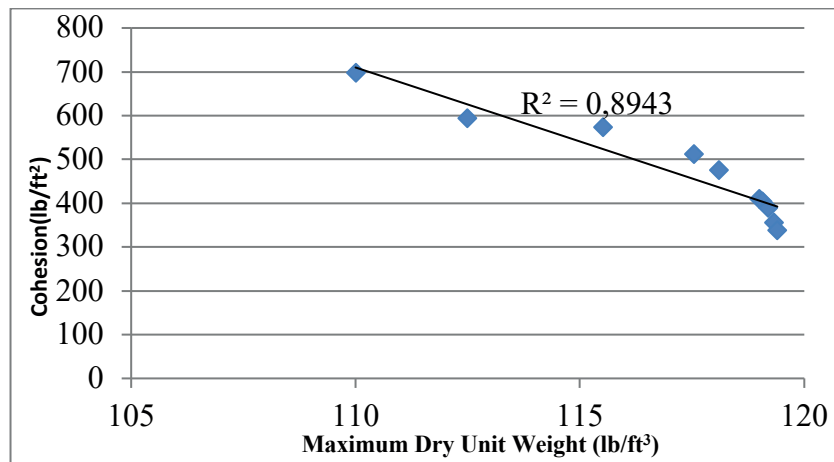


Figure 11. Effect of Dry Unit Weight on Cohesion with increase in % of Stone Dust

UU-Triaxial Test

The UU-Triaxial test was performed as per testing conditions and techniques previously described. The results are tabulated in table 5 and figures 12-14 show the result trends with an increase in the percentage of stone dust. The cohesion of the soil decreases with the increase in stone dust (Fig. 12). MDUW has inverse whilst OMC has a direct relation with cohesion.

Table 5. Summary of Triaxial Compression Test Result

Filler	% of Stone Dust	OMC (%)	Maximum Dry Unit Weight (lb/ft³)	Cohesion (lb/ft²)	Angle of Internal Friction
Stone Dust	0	15.18	110.2	634.25	8.13
	6	14.49	112.69	691.24	10.56
	12	13.74	114.9	564.61	12.1
	18	13.16	117.55	453.32	13.38
	21	13.07	118.07	434.9	14.07
	24	13.1	118.82	419.2	14.67
	27	12.96	119.09	397.34	14.73
	30	12.91	119.21	387.1	14.83
	33	12.86	119.33	380.27	14.92
	36	12.76	119.45	366.62	14.95

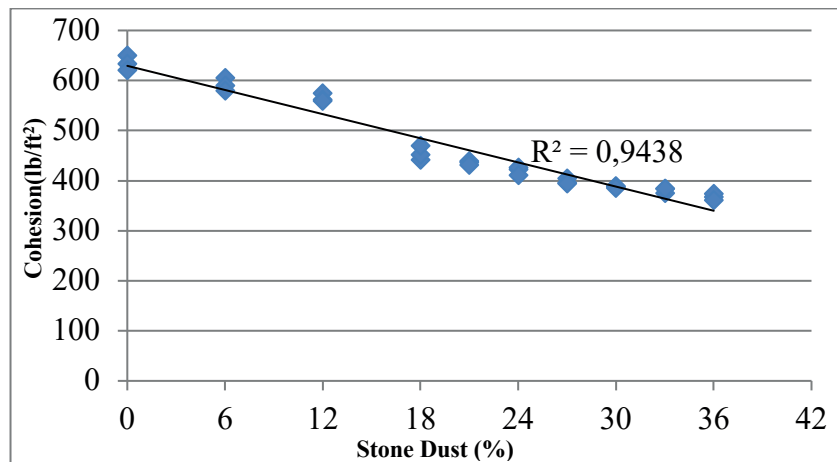


Figure 12: Effect of Stone Dust (%) on Cohesion

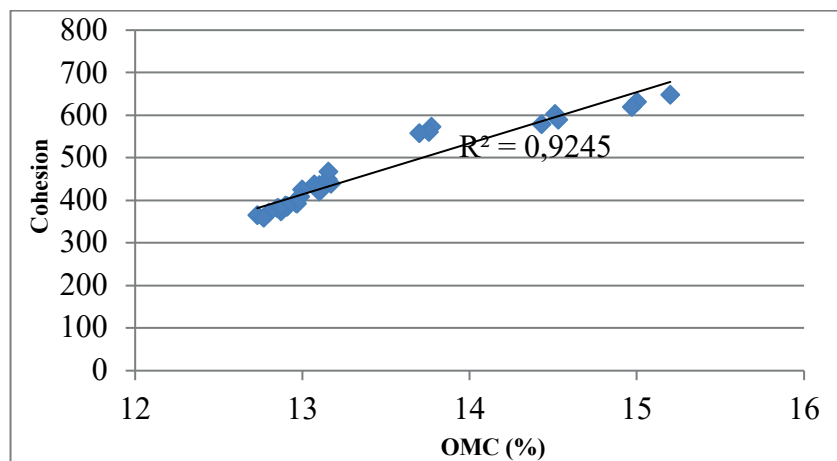


Figure 13. Effect of OMC (%) on Cohesion

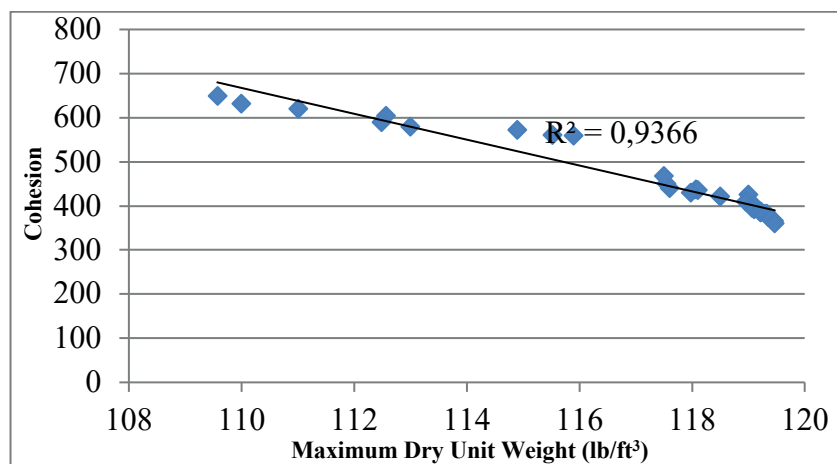


Figure 14. Effect of Maximum Dry Unit Weight (lb/ft³) on Cohesion

Results and Discussions

Data Modeling

The statistical analysis was performed during this research using two different techniques. In one analysis, CBR (Soaked) was related to the “% of Stone Dust” and “Cohesion” using software “Minitab”. In the second analysis, CBR (Soaked) was related to the “% of Stone Dust” and “Cohesion” by Artificial Neural Network Analysis using SPSS Software.

Correlation Using Minitab

The software “Minitab” developed the following correlation of CBR (Soaked) with “% Stone Dust” and “Cohesion” [12].

$$CBR = 8.9899 + 0.0107 (\% SD) - 11.4674 (C) \quad (1)$$

Where; C = Cohesion (kg/cm²) and % SD = Percentage of Stone Dust Used

Eq. 1 shows the dependency of CBR (Soaked) values on “% of Stone Dust” and “Cohesion”. It is quite clear that CBR (Soaked) is related to the “% of Stone Dust” and “Cohesion”. Further, the CBR (Soaked) values were then calculated based on Eq. 1 and compared with the CBR values measured in the laboratory. The comparison showed excellent results. The computed CBR (Soaked) values are shown in Table 6.

The laboratory measured CBR (Soaked) values and computed CBR (Soaked) values were then compared in a graphical manner and magnificent results were observed. Fig. 15 illustrates the comparison showing $R^2 = 0.9106$, which determines the relationship established is good and can be used to predict the CBR (Soaked) values.

Table 6. Measured CBR Values & Computed CBR Values

Filler	% of Stone Dust	CBR (Soaked) calculated in Lab	CBR (Soaked) computed from Minitab Equation
	0	4.99	5.44
Stone Dust	6	5.98	5.74
	12	6.22	5.96
	18	6.44	6.44

21	6.89	6.78
24	6.97	6.99
27	7.1	7.05
30	7.11	7.14
33	7.14	7.21
36	7.15	7.32

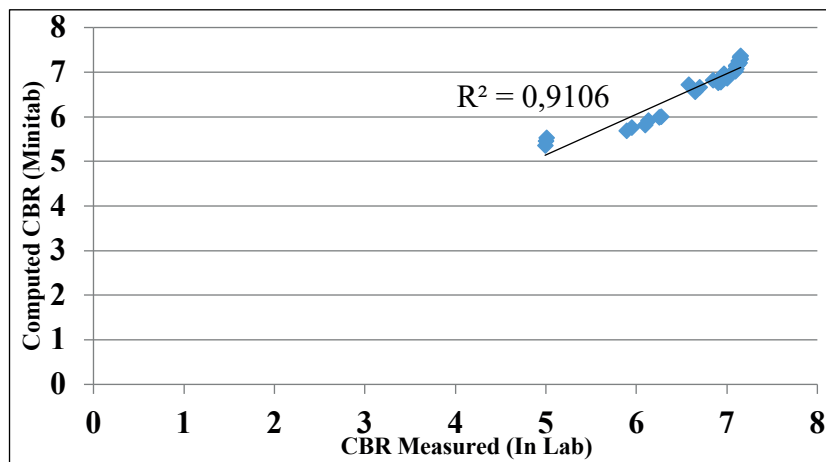


Figure 15. Measured CBR (In Lab) versus Computed CBR (Using Minitab)

The significance of a relationship can be checked by evaluating the “*p* (probability)” values. The “*p*” calculation is used to determine if the results are caused by chance or not. The lower the *p-value*, the results are more trustable. In this particular case, table 7 shows the *p-values* for different types of variables.

Table 7. *p-values* for various variables

Variable	<i>p-value</i>
% of Stone Dust	0.466
Cohesion	0.0034

Based on the *p-values* of the variables, it is very clear that Cohesion is the variable affecting the CBR most of all. Some other statistical graphs were also developed by the Minitab software and are shown in the figs. 16-19, all of the graphs support the accuracy of the relationship shown in Eq. 1.

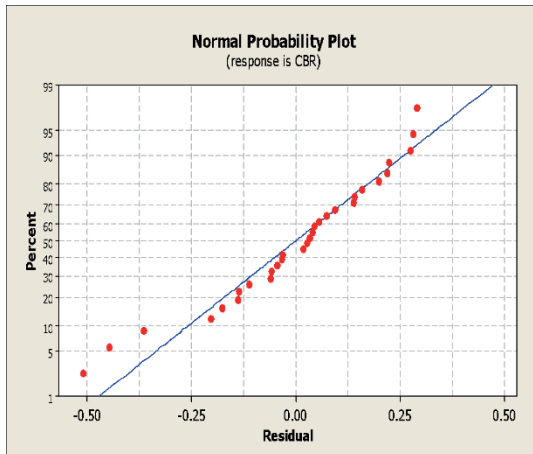


Figure 16. Normal Probability Plot

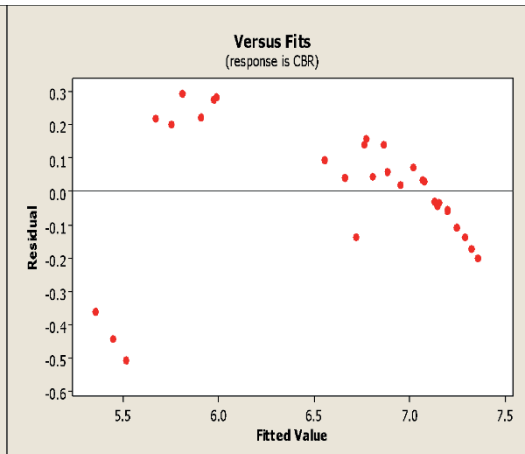


Figure 17. Residuals vs Fitted Values

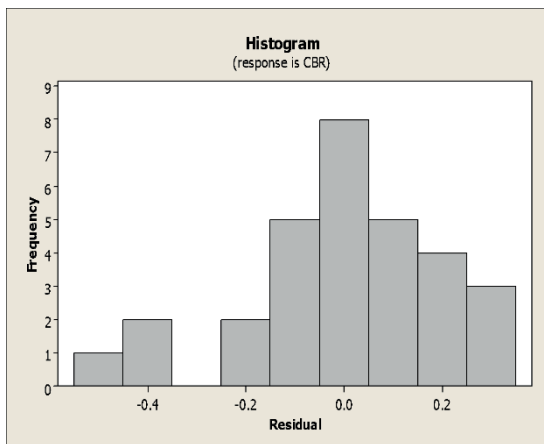


Figure 18. Residual Histogram

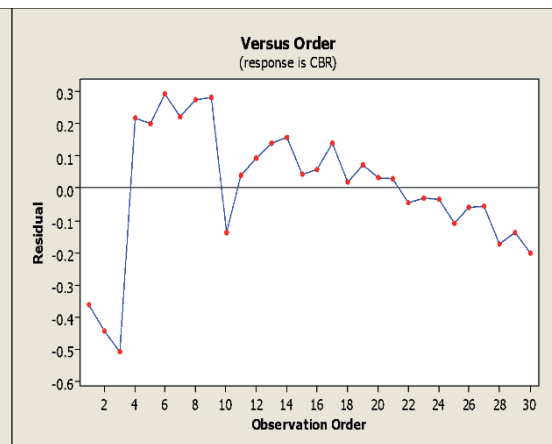


Figure 19. Residuals vs Order

The next relationship was then developed between CBR (Soaked) with “% of Stone Dust” and “Cohesion” by Artificial Neural Network Analysis using SPSS Software.

Artificial Neural Network Analysis Using SPSS

Artificial Neural networks (ANN) distinguish separated relevant information processing systems which are made of various small components called neurons [13]. In this study, the back-propagation (BP) technique is applied. It is the most frequently used network training learning rule consisting of two training process stages [14]. The first stage is to feed the data into the network's input layers and these layers were then evaluated by the network to produce the output layer. A comparison of the output data with the observed data is performed. In the second stage, the error is decreased by back-propagating the estimated error via the network. During this process, the error from each layer is measured and distributed backward, and then the weights are adjusted to lower the error. The data training procedure is regarded as complete

when the error is decreased to an acceptable standard [15]. After the training procedure is completed, a neural network utilizes the training data, acquires the capacity for generalization, and is ready to predict unseen data trends. The results obtained are shown in table 8 and the result comparison is shown in Figs. 20, 21.

Table 8. Model Summar

Traini ng	Sum of Squares Error	.007
	Relative Error	.001
	Stopping Rule Used	1 successive step(s) with no change in error ^a
	Training Time	0:00:00.02
Testin g	Sum of Squares Error	6.077E-7

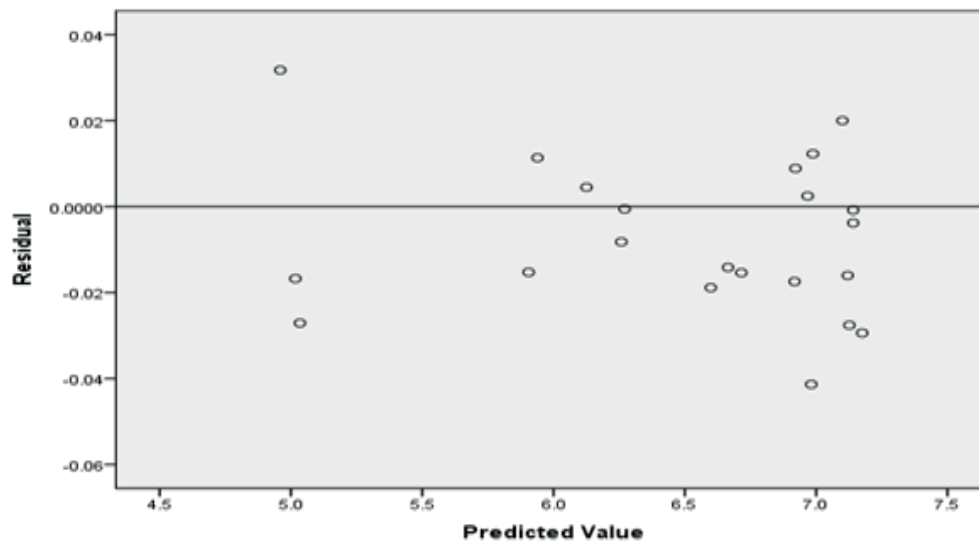


Figure 20. Residual Vs Predicted Value

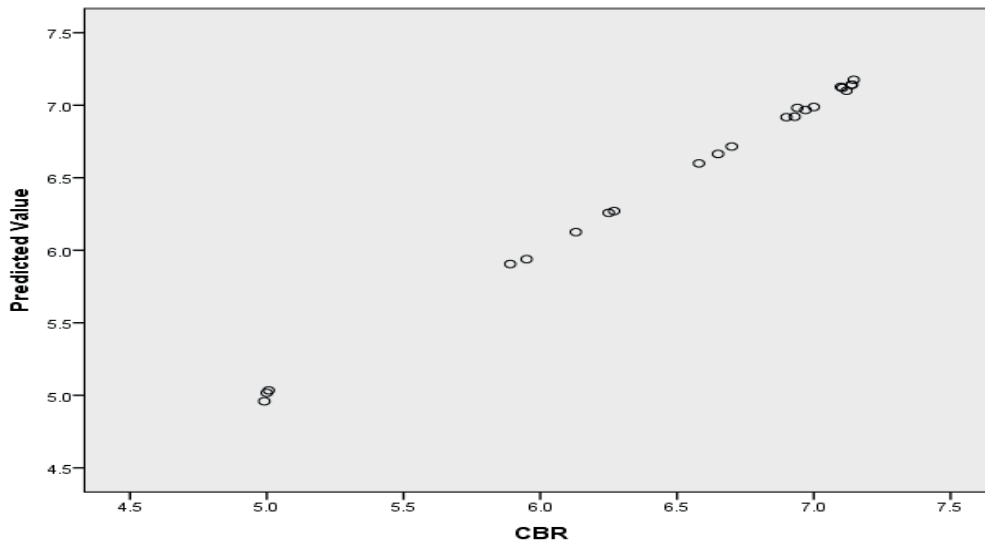


Figure 21. Predicted Value Vs Measured Value

To undertake controlled training, it is required to evaluate how well an ANN can function. There is a means to verify the output error caused between the actual and produced data [13], [15]. The two models are then compared by using Root Mean Squared Error (RMSE) and Coefficient of Determination (R^2).

The RMSE of a model prediction regarding the predicted parameters X_{Model} is defined as the square root of the mean squared error:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (2)$$

Where X_{obs} is observed values and X_{model} is modelled values at time/place i .

The coefficient of determination, designated as R^2 is a quantity in statistics that specifies the proportion of the change of the dependent parameters that is expected from the independent parameters and is given by the formula below

$$R^2 = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2\right)}{\left(\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2\right)} \quad (3)$$

The data obtained from the analysis were utilized by using Eq. 2, and 3, and the results obtained are shown in table 8.

Table 8. Comparison of Models

Type of Analysis	RMSE	R ²
Linear Regression	0.040	0.911
ANN	0.000049	0.999

The table shows a summary of the results obtained for the statistical and neural network analysis for the production of the CBR. The forecasting ability of the two models is obtained by using Root Mean Square Error (RMSE) and Coefficient of Determination R². The results clearly show that the neural networks, when trained with sufficient data and proper inputs can better prediction of output data.

Conclusions & Recommendations

Extensive laboratory testing was carried out on expansive soil with stone dust as a modifier to evaluate its potential use as good subgrade material.

Based on the results of the study, the conclusions are as follows:

1. The addition of stone dust in fine soil increases the value of the dry unit weight and decreases the value of optimum moisture content.
2. The modifier used significantly lowered the cohesion values and improved the CBR value of weak soil.
3. Strong correlation of CBR with cohesion obtained from Triaxial Testing and % of stone dust exists having R² values greater than 0.9 (Statistical Analysis using Minitab & ANN Technique using SPSS)
4. The results obtained from statistical analysis seem to be acceptable in the assessment of the soaked CBR value of fine-grained soils.
5. The findings clearly illustrate that when prepared with appropriate data and inputs, neural networks can better anticipate output data.

The difficulties encountered when attempting to perform the current study have identified areas where additional attempts may be made in the future. The recommendations regarding the subject study are as follows.

1. Improved soil can be compared with A-2 and A-4 soils according to the AASHTO classification to check the improvement caused by the modifier.
2. In future outcomes of this study can be strengthened by adding more experimental work.
3. Models developed in this study can be validated on real-scale data.
4. More range of high plastic soils should be stabilized under the methodology of the current study.
5. It would be interesting to evaluate the impact of compaction and moisture content on the values of CBR for coarse-grained materials under varied density and moisture conditions.

References

- [1] C. Ollidis and D. Hein, "Guide for the mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures materials characterization: Is your agency ready," 2004.
- [2] AASHTO, "Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils." Inst. AASHTO USA, 2004.
- [3] M. Arafa, B. A. Tayeh, M. Alqedra, S. Shihada, and H. Hanoona, "Investigating the effect of sulfate attack on compressive strength of recycled aggregate concrete," *J. Eng. Res. Technol.*, vol. 4, no. 4, 2017.
- [4] AASHTO, *Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing*. AASHTO, 2011.
- [5] ASTM, "ASTM D4318-17e1 standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils," *Annu. B. ASTM Stand.* 2017, 2017.
- [6] D. 1-1 ASTM, "Standard test method for California bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils," *West Conshohocken, PA, United States*, 2016.
- [7] A. C. D.-18 on S. and Rock, *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 Ft-lbf/ft³ (2,700 KN-m/m³)) 1*. ASTM International, 2009.
- [8] D. Abdella, T. Abebe, and E. T. Quezon, "Regression analysis of index properties of soil as strength determinant for California bearing ratio (CBR)," *GSJ*, vol. 5, no. 6, p. 1, 2017.

- [9] W.-F. Chen and J. Y. R. Liew, *The civil engineering handbook*. Crc Press, 2002.
- [10] D. ASTM, “Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions,” *D3080/D3080M*, vol. 3, p. 9, 2011.
- [11] A. C. D.-18 on S. and Rock, *Standard test method for unconsolidated-undrained triaxial compression test on cohesive soils*. ASTM International, 2007.
- [12] B. Yildirim and Ojes. Gunaydin, “Estimation of California bearing ratio by using soft computing systems,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 5, pp. 6381–6391, 2011.
- [13] P. P. Saklecha, Y. B. Katpatal, S. S. Rathore, and D. K. Agarwal, “ANN Modeling for Strength Characterization of Subgrade Soil in a Basaltic Terrain,” *Proc. ICAMB-2012*, pp. 9–11, 2012.
- [14] Q. Mehmood, W. Qing, J. Chen, J. Yan, M. Ammar, and G. Rahman, “Susceptibility Assessment of Single Gully Debris Flow Based on AHP and Extension Method,” *Civ. Eng. J.*, vol. 7, no. 06, 2021.
- [15] C. Venkatasubramanian and G. Dhinakaran, “ANN model for predicting CBR from index properties of soils,” *Int. J. Civ. Struct. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 614–620, 2011.

Tuzlu-Alkali ve Alkali Toprakların İslahında Organik Materyallerin Kullanılması

Mohammed Alshabbani¹

Özet

Toprak tuzluluğu ve alkaliliği, toprak kalitesini ve toprağın bitkisel üretim potansiyelini olumsuz yönde etkileyen arazi bozunma süreçleridir. Toprak tuzluluğu, kök bölgesinde ozmotik stresin oluşmasına yol açan yüksek tuz içeriği nedeniyle bitki büyümesini kısıtlar. Tuzlu alkali ve alkali toprakların ıslahı, üretimin sürdürülebilirliğinde önemlidir. Tuzlu alkali ve alkali toprakların geri kazanımında organik materyallerin (yeşil biyokütle, bitki artıkları, çiftlik gübresi, atık tesislerinin katı ve sıvı çıktıkları vb.) toprak üzerindeki olumlu etkilerinden faydalanılabilmektedir.

Farklı organik ıslah maddelerinin toprağa ilave edilen optimum oranları, fiziksel (toprak strüktürü, su geçirgenliği, su tutma kapasitesi, vb.), kimyasal (pH, kation değiştirme kapasitesi, vb.) ve biyolojik, (faydalı mikroorganizma popülasyonu, C/N oranı değesi, vb.) toprak özelliklerini geliştirebilir, bitki gelişimini ve toprak biyoçeşitliliğini çevre için herhangi bir risk olmaksızın destekleyebilir.

Toprağa organik materyal uygulaması, toprak ortamında karbondioksit ve organik asitlerin içeriğinin artması nedeniyle gelişen mineral çözünmesinin bir sonucu olarak tuzların toprak çözeltisine geçişini ve yıkanmasını artırır. Ayrıca, toprak organik maddesinin mineralizasyonu ve bu süreçte ortama kazandırılan organik asitler, toprak pH'sının düşmesine neden olur. Süreç içerisinde kalsiyum karbonatın çözünürlüğünün artması; toprak kolloidlerindeki değişim kompleksinde Na^+ 'un yerine Ca^{+2} konsantrasyonunun artmasına neden olarak, değişebilir sodyum yüzdesinde (ESP) azalma sağlar.

Ancak organik atıkların tarımda kullanılmasından önce içeriğinin karakterize edilmesi ve yönetiminin planlanması, arazi bozulmasının önlenmesinde ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında önemlidir. Farklı organik materyallerin toprağa ilavesi, toprak organik maddesinin korunmasında, karbon içeriğinin stoklanmasında ve iklim değişiminin

¹ Atatürk Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Yüksek Lisans Öğrencisi
mohammed.alshabbani20@ogr.atauni.edu.tr

dengelenmesinde etkin bir rol oynayabilir.

Anahtar Kelimeler: Organik Islah, Alkali Toprak, Tuzlu Toprak, Organik Materyallerin

Giriş

Dünyanın kara kütlesi yaklaşık %46'sı kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinden oluşmaktadır. Bu iklim bölgelerindeki sulanan arazilerin yaklaşık %50'sinde değişen şiddette tuzluluk sorunları vardır.

Dünya Toprak Haritası verilerine göre, dünya çapında 954 milyon hektar tuzdan etkilenen ve üretkenliği kısıtlı arazi var (FAO, 1988; Szabolcs 1991).

Bu toprakların 80,5 milyon hektarı Afrika'da, 50,8 milyon hektarı Avrupa'da, 357,3 milyon hektarı Avustralya'da, 146,9 milyon hektarı Amerika'da ve 319,3 milyon hektarı Asya'da bulunmaktadır (Sönmez, 2003).

Tuzluluk sorunu dünya genelinde her yıl 10 milyon hektarlık arazinin kaybedilmesine ve bu alanların kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır (Akgül, 2003).

Ülkemizde toprakların %1,7'sinde (1.518.746 hektar) ve tarım arazilerinin %3,8'inde (837.405 hektar) tuzluluk sorunu bulunmaktadır. Yani çorak arazi, ülkemiz arazi alanının %2'sine denk geliyor ve ekili arazinin %5,48'ini (27.699.003 hektar) oluşturuyor. Çorak arazinin %74'ü tuzlu toprak, %25,5'i tuzlu toprak ve %0,5'i alkali (sodyum) topraktan oluşmaktadır (Anonim 1980).

Organik madde eksikliğinden kaynaklanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik sorunlar, tuzlu ve/veya sodyumlu topraklarda, su ve besin maddelerini tutma yeteneğinin azalması, zayıf toprak agregasyonu, düşük kation değiştirme yeteneği ve özellikle mikrobiyal aktivitenin azalması dahil olmak üzere sıklıkla görülür (Xi 1998; Liang vd, 2003).

Organik maddeyi korumak ve toprak verimliliğini korumak veya iyileştirmek için toprağa organik madde eklemek, toprak yenilenmesinin en önemli yöntemlerinden biridir. Tuzlu ve/veya sodyumlu toprakları eski haline getirmek ve sürdürülebilir bir tarımsal ekosistem oluşturmak için organik gübreler ve toprak ıslah maddelerinin (gübreler, yem endüstrilerinden

gelen yan ürünler, kompost, vb.) kullanılması ve mahsul artıklarının yönetilmesi mümkün olabilir. Toprak organik maddesi korunabilir ve farklı organik maddeleri toprağa dahil ederek karbon tutulmasına ve küresel ısınmanın azaltılmasına aktif olarak katılabilir (Mahmoodabadi ve Heydarpour 2014).

Organik malzemeler doğada dinamik bir döngüye, toprak ekosisteminin sürekli yenilenmesine ve fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı toprak kalitesinde iyileşmeye olanak sağlar. Organik madde artık sağlıklı toprak ve uzun vadeli toprak yönetiminin önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Alkali toprak ıslahında kullanılan farklı organik madde türlerinin toprak yapısı üzerinde farklı etkileri olmasına rağmen, hepsi toprak tanelerini birbirine yaklaştırmaya meyillidir (Nelson ve Oades, 1998).

Tuzlu ve/veya sodyumlu topraklara organik maddelerin uygulanması, bu toprakların ıslahının yanı sıra, toprağa ilave besinlerin kazandırılması bakımından önemlidir.

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı organik maddeler toprak drenajını ve su tutma kapasitelerini artırır, toprak erozyonu ve toprağın fiziksel bozulması gibi sorunları önlemede rol oynar. Toprak bozulması sorunları, sınırlı arazi kaynaklarından beklenen sürdürülebilir üretkenliği olumsuz etkilemektedir. Ayrıca giderek azalan arazi kaynakları üzerinde nüfus artışı, iklim değişikliği, arazi kullanımındaki değişiklikler ve çevre kirliliği gibi faktörler baskıyı artırmaktadır.

Arazi kaynakları üzerindeki artan baskılar farklı bozulma türlerine yol açmaktadır. Bu kapsamda tuzdan etkilenen topraklar dünya ölçeğinde yaklaşık 1000 milyon hektarlık alan oluşturmakta dolayısıyla günümüzde tuzdan etkilenen topraklar tek başına önemli bir küresel boyut kazanmıştır.

Tuzdan etkilenen toprakların ıslahında jips kullanımı önemli bir uygulamadır. Ancak bu yöntemin uygulanmasında ihtiyaç duyulan jipsin maliyeti ve bunun sağlanmasındaki güçlükler jips kullanmasını engelleyen ciddi sorunlardan bazılarıdır. Organik materyal uygulaması, bu toprakların yönetiminde basit, etkili ve ucuz bir teknolojidir.

Alkali toprakların yüksek pH, değişebilir Na ve düşük organik madde içeriği ile olumsuz fiziksel özellikleri, doğal ve uygulanan besin maddelerinin etkinliğini ve kullanılabilirliğini olumsuz etkiler. Sonuç olarak bu topraklarda yetiştirilen bitkilerin gelişimi zayıf çimlenme ve beslenme bozukluklarından dolayı beklenilenden çok düşüktür.

Humik maddeler, toprak mikroorganizmalarının biyolojik aktivitelerine dayanan bitki ve hayvan kalıntılarının biyolojik ve kimyasal dönüşümü ile oluşturulur. Üç ana gruba ayrılabilirler: hümik asit, fulvik asit ve huminler. Huminler hem bazlarda hem de asitlerde çözünmezken, fulvik ve hümik asitler çözünür. Asitlerde çözünmez, hümik asitler bazlarda çözünür. Toprak ve bitki büyümesi için gerekli olan karmaşık organik moleküller, hümik ve fulvik asitleri içerir. Kompostlanmış bir atık üründeki hümik madde miktarı, olgunluğu için bir ölçü olarak kullanılabilir (Fukushima vd 2009). Organik gübre uygulaması, toprak pH'sını önemli ölçüde azaltarak, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek tuzlu ve sodik toprakların ıslahını geliştirir (Ansari and Ansari 2008). Bitki artıklarının toprağa karıştırılması agregasyonu, havalanmayı ve su tansiyonlarında tutulabilen su içeriğini artırır (Amoakwah et al. 2017)

Çorak bölgeleri restore etmek çok pahalı ve zordur. Bu nedenle, toprağa organik ve inorganik kökenli maddelerin eklenmesi, kuraklığın azaltılması veya kurak alanların en akılcı şekilde kullanılması için yapılabileceklerden biridir. Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri, organik veya inorganik bileşikler eklenerek iyileştirilir. Bu, toprağın su tutma kapasitesini artırır, tuzun toprak üzerindeki etkisini azaltır, toprak verimliliğini ve üretkenliğini artırır (Gumuzzio vd 1985, Fitch vd 1989, Dehgan vd 1994, Uysal ve Taysun 1995, Baran vd 1998, Nemati ve 2000, Özbek 2002, Abd El-Rehim vd, 2004).

Topraktaki hümik maddeler bitki büyümesi üzerinde dolaylı ve doğrudan etkiye sahiptir. Hümik maddelerin bitki büyümesi üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri, kök gelişimini ve bitkiler tarafından alınan besinlerin metabolizmasını içerir. Ek olarak, metalik iyonlar, şelatlar ve hidroksitler gibi bu elementlerin çoğunun suda çözünür formlarının oluşumunun yanı sıra su tutma, drenaj ve iyileştirilmiş havalandırmayı dolaylı olarak etkiler (Sözüdoğru vd 1996, Schnitzer ve Khan 1972).

Toprağın tuzluluğunun ve sodikliğinin çoğunluğu doğal süreçlerden kaynaklansa da, sulama ve arazi temizliği son zamanlarda ekili tarım arazilerinin önemli bir bölümünün tuzlu ve/veya sodik hale gelmesine neden olmuştur (Munns 2005).

Tuzluluk

Tuzlu Topraklar

Elektriksel iletkenlik (EC) 4 dS.m⁻¹'den yüksek, toprak pH'ı 8,5'ten düşük veya değiştirilebilir sodyum içeriği %15'ten az. Hem tuzlu hem de alkali olan topraklar için tuzlu-alkali (sodik) terimi kullanılır. Tuzlu-alkali topraklar, özellikleri bakımından tuzlu ve alkali topraklar arasındadır. Bunlar, elektriksel iletkenliği (EC) 4 dS.m⁻¹'den büyük, pH değeri en az 8,5 veya değişebilir sodyum yüzdesi 15'ten büyük olan topraklardır. Alkali toprak, pH değeri 8,5'ten büyük veya 15'ten büyük değiştirilebilir sodyum yüzdesi veya her iki koşul. 4 dS.m⁻¹'den daha düşük bir elektriksel iletkenliğe (EC) sahiptir (Tablo 1). Genel olarak, açık renkli, huysuz topraklar alkali topraklarla ilişkilidir. Bu, tuzdan etkilenen toprakların yüksek düzeyde iyonlara, özellikle de sodyum iyonlarına sahip olduğunu düşündürür. "Alkali toprak" terimi, pH değeri 7'den büyük olan toprakları ifade eder. (Richards, 1954)

Tablo 1, Tuzluluktan etkilenen toprakların sınıflandırılması

Tuzluluk Sınıfları	EC (dS m⁻¹)	pH	SAR	ESP (%)
Tuzsuz	< 4	< 8.5	< 12	< 15
Tuz	> 4	< 8.5	< 12	< 15
Tuzlu-Alkali	> 4	≥ 8.5	≥ 12	> 15
Alkali	< 4	> 8.5	≥ 12	> 15

Çalışmalara göre toprağın tuzluluğu, bitki büyüme ve verim potansiyelini önemli ölçüde azaltır. Toprağın EC değerindeki artışa bağlı olarak farklı bitkilerde yaşanan ürün kayıplarının araştırıldığı bir çalışmada, domates bitkisi için, toprağın tuz konsantrasyonunun 2.5 dS.m⁻¹'den 3.5 dS m⁻¹'e yükselmesi durumunda üründe %10'luk bir kayıp, 5 dS m⁻¹'ye yükseldiğinde üründe %25'lik bir azalma ve 7.6 dS.m⁻¹'e yükseldiğinde üründe %50'lik bir azalma olduğu kaydedilmiştir (Kotuby-Amacher vd ., 2007). Tablo 2'te bazı sebzeler için EC sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 2, Bazı meyve ve sebzelerde toprağın tuzluluğuna (EC) bağlı olarak yaşanan ürün kaybı (Kotuby-Amacher vd., 2007)

Bitki	Eşik Değeri (EC, dS m ⁻¹)	Farklı EC (dS m ⁻¹) Değerlerindeki Ürün Kaybı		
		%10	%25	%50
Domates	2.5	3.5	5	7.6
Biber	1.3	2.2	3.3	5.1
Ispanak	3.7	5.5	7	8
Marul	1.3	2.1	3.2	5.2
Havuç	1	1.7	2.8	4.6
Patates	1.7	2.5	3.8	5.9
Elma	1.7	2.3	3.3	4.8
Çilek	1	1.3	1.8	2.5

Alkali

Kolloidler, yüksek konsantrasyonda sodyum tuzlarının bulunduğu ortamlarda değişebilir sodyum ile doyurulduğunda, sodikasyon (alkalizasyon) olayı gerçekleşir. Kalsiyum (Ca⁺²) ve magnezyum (Mg⁺²) tuzlarının (CaCO₃, MgCO₃ ve CaSO₄) çözünürlük limitleri aşıldığında bu tuzların başka bir ortamda çökmesi ile ortamdaki orantılı sodyum miktarı artar.

Bir toprağın sodyum içeriği arttığında, toprak kolloidlerindeki diğer değişebilir katyonlar değiştirilir. Richards tarafından sağlanan bir formül veya nomogram kullanılarak, bu ikame miktarı doygunluk ekstraktındaki sodyum, kalsiyum ve magnezyum içeriğinden hesaplanabilir (Richards 1954)

Türkiye toprakları ile ilgili iki önemli sorun olan tuzluluk ve sodiklik, özellikle sulü tarımın büyümesiyle eş zamanlı olarak drenaj sorunları ve sulama suyu kalitesinin düşük olması nedeniyle son zamanlarda artmaktadır. Türkiye'nin 12,5 milyon hektarlık ekilebilir arazisinin yaklaşık 1,5 milyon hektarında veya dünyadaki tarımsal üretim alanlarının yaklaşık üçte birinde tuzlanma ve alkalileşme, 2,8 milyon hektarında drenaj sorunu bulunmaktadır (DSİ, 1997 ve 2001; Taban vd., 1999).

Tuzlu, tuzlu-sodik ve sorunlu alanlardaki kireçli ve kireçsiz toprakları denemek ve iyileştirmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ülkemizde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu kimyasalların kullanımı ve yıkama tekniklerine odaklanmış; sorunların çözümünde bitkilerin kullanımını inceleyen hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tuzlu Toprakların Islahı

Araştırmalarında, Pensacola Bahia bitkisinin köklerinin, sertleşmiş toprak tabakası içinde büyüme potansiyellerinin yüksek olduğunu, bu durumda toprakta gelişen pulluk tabakasını kırarak geliştiklerini tuzlu-sodik ve sodik toprakların olumsuz fiziksel özelliklerini iyileştirilmesinde bu bitkinin kullanılabileceğini vurgulamışlardır (Cresswell and Kirkegaard 1995).

Toprak yüzeyine uygulanan bitki biyokütlesi, toprak yüzeyinden buharlaşmayı azaltmaya yardımcı olur ve böylece kök bölgesi profilindeki tuz konsantrasyonunu azaltır (Kharche 2016)

Agropyron elangatum bitkisinin toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirmede etkili olduğunu, toprakta makro gözeneklerin miktarını artırarak, geçirgenlik ve havalanma üzerine olumlu etkilerde bulunduğunu çalışmalarında kaydetmişlerdir (Qadir ve Oster 2002).

Çalışmalarında kireçli alkali toprakta (pH:10.6, EC:2.7 dS m⁻¹ ve ESP 94) pirinç (Oryza Sativa) yetiştirmişlerdir. Toprağa jips uygulaması ve fitoremidasyon sonrasında pirinç üretimi 3,7 ton/ha dan 6,1 ton/ha'a artmıştır (Kumar ve Abrol, 1984).

Deniz börülcesi (Salicornia europaea) kullanarak kireçli tuzlu ve kireçli tuzlu-sodik özellikteki iki toprağın ıslahı konusunda çalışmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, deniz börülcesinin, tuzlu-sodik toprağın E_{Ce} değerini 8,07 dS m⁻¹ den 1.87 dSm⁻¹'ye, tuzlu toprakta ise 4,31 dSm⁻¹'den 1,59 dSm⁻¹'ye düşürmüştür. Deniz börülcesi tuzlu topraktan ise 56.52 kg/da-1 tuz kaldırmış, tuzlu-sodik topraktan 71,57 kg/da-1 tuzu uzaklaştırırken, SAR değerini 31,03'ten 20,82'ye düşürmüştür.(Elçi ve ark.2021).

Tuzlanmanın Önlenmesi

Tuzlu toprakların çoğunda yeraltı suyu seviyesi oldukça yüksektir. Uygun yerlerde açık veya kapalı drenaj kanalları açılarak yeraltı suyu kritik derinliğin altında tutulabilir.

Su yönetiminde sulama suyunun tuz içeriği 1000 ppm'i geçmemelidir. Bu değer üzerindeki tuz konsantrasyonlarında buharlaşma nedeniyle toprak yüzeyinde veya toprak içinde tuz birikimi meydana gelebilir (Terry, 1997). Tuzlu toprakları sulamak için en iyi zaman, buharlaşmanın en az olduğu zamanlardır ve damla sulama en iyi sulama tekniğidir (Kwiatowsky, 1998). Tuzlu su içeren sulama ve drenaj kanallarında sızıntının önlenmesi, su yönetimi ile ilgili bir diğer iyileştirme projesidir. Sonuç olarak, kanal çevresinde tuz birikmesi

önlenebilir (Woods, 1996).

Tuzlu topraklar, kültür bitkilerinin yetiştirme sezonları öncesinde, tuz içeriği düşük olan 500 mm ha-1 sulama suyu ilave edilerek yıkanabilir. Ancak yıkama işleminin yapılacağı alanda etkili bir drenaj sisteminin oluşturulması beklenen sonuçlar bakımından önemlidir (Terry, 1997). Tuzlu topraklarda tuza dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesi, tuzlu toprakları kullanmanın uygun bir yoludur.

Sonuç

Tuzluluk ve alkalilikten kaynaklanan toprak degradasyonu, bitkisel üretimi sınırlayan özellikleri nedeniyle arazi kaynaklarının optimal kullanımını engeller. Bu olumsuzluğun giderilmesi ve bu arazilerin tarıma kazandırılması arazi yönetimi bakımından önemlidir. Çevre sürdürülebilirliğini de önemseyen uygulamalarla sorunlu arazilerin geri kazanımı önemli bir husustur. Bu uygulamalar içinde toprağa organik materyal ilavesi toprak ıslahının yanında toprağın sürdürülebilirliği üzerinde de önemlidir.

Toprağa uygulanan organik materyaller; toprak organik maddesinin artmasının yanında toprağın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal özellikleri üzerinde faydalı etkileri vardır. Tuzlu/sodik topraklarda bu faydalı etkiler, toprakta doğal faaliyetlerin ve bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini ve toprakta uygun bir ortamın gelişmesine katkıda bulunarak besin elementlerinin elverişliliğini artırmada önemli rol oynar. Ancak farklı organik atıklar ve yan ürünler toprak için önemli bir organik madde kaynağı olsa da, bu organik maddeler için uygulama oranları ve uygulama zamanı gibi en uygun yönetim stratejisini seçmekte önemlidir.

Kaynakça

1. Abd El-Rehim, H.A., Hegazy, E. S. A. and Abd El-Mohdy, H.L., 2004. Radiation synthesis of hydrogels to enhance sandy soils water retention and increase plant performance. *Journal of Applied Polymer Science*. 93 (3): 1360-1371.
2. Akgül, H., 2003. Tuzluluk. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*. Sayı 340. Ankara.
3. Amoakwah, E., Frimpong, K. A., Okae-Anti, D., & Arthur, E. (2017). Soil water retention, air flow and pore structure characteristics after corn cob biochar application to a tropical sandy loam. *Geoderma*, 307, 189–197.
4. Anonim, 1980. Toprak Kaynakları İl Envanter Raporları. TOPRAKSU Genel Müdürlüğü

Yayımları, Ankara.

5. Ansari, A., & Ansari, A. A. (2008). Soil Profile Studies During Bioremediation of Sodic Soils Through the Application of Organic Amendments (Vermiwash, Tillage, Green Manure, Mulch, Earthworms and Vermicompost). *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), 550–553.
6. Baran, A., Çaycı., G. ve Sözüdoğru, S., 1998. The effect of bear factory sludge on chemical and physical properties of a clay loam soil. *M. Şefik Yeşilsoy Int. Symp. On Arid Region Soil*, 179-183, İzmir.
7. Cresswell, H.P. and Kirkegaard, J.A. (1995) Subsoil amelioration by plant roots—The process and the evidence. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 221-239.
8. Dehgan, B., Yeager, T.H. and Almira, F.C., 1994. Photinia and Podacarpus growth response to a hydrophilic polymer-amended medium. *Hort. Science* 29 (6): 641- 644.
9. DSİ, 1997. Aşağı Fırat Projesi Akçakale YAS Sulaması (Güneren şemseddin Birmuavi YAS Sulamaları) Ayrıntılı Arazi Sınıflandırma ve Drenaj Raporu. Şanlıurfa.
10. DSİ, 2001. Şanlıurfa Harran Ovası Sulaması Tuzluluk ve Drenaj Sorunları İnceleme raporu. DSİ. XV. Bölge Müdürlüğü. Şanlıurfa
11. Elçi, H., Aydemir, S., Yalçın, H., (2021). Deniz Börülcesinin (*Salicornia europaea*) Harran Ovası Kireçli Tuzlu ve Tuzlu-Sodik Topraklarında Büyüme Eğilimi ve Toprağı İyileştirici Etkisi. In *Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology*, 37(1): 110-117.
12. FAO. , 1988. Soil map of the world. Revised legend, by FAO–UNESCO–ISRIC. *World Soil Resources Report No. 60*. Rome.
13. Fitch, B.C., Chong, S.K., Arosemena, J., and Theseira, G.W., 1989. Effects of conditioner on soil physical properties . *Soil Sci Soc. Am. J.* 53 : 1536-1539.
14. Fukushima, M., Yamamoto, K., Ootsuka, K. et al. (2009) Effects of the maturity of wood-waste compost on the structural features of humic acids. *Bioresource Technology*, 100, 791–797.
15. Gumuzzio, J., Polo, A., Diaz, M.A., Ibanez, J.J., 1985. Ecological aspects of humification in saline soils in Central Spain. *Reved' Ecologie et de Biologie du Sd.* 22(2): 193-203.

16. Kharche V.K. 2016. Management of Salt Affected Soils for Sustainable Land Use Planning Ed. S.K. Singh, R.K. Batta and S. Chatterji “Land Use Planning for Arresting Land Degradation, Combating Climate Change and Ensuring Food Security – A Training Manual”, NBSS Publ. 171. ICAR-National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning, Nagpur, India, 135p.
17. Kotuby-Amacher, J., R. Koenig, N.B. Kitche, 1997. Salinity and Plant Tolerance. AG-SO 3. Logan, UT, USA: Utah State University Extension.
18. Kumar, A., Abrol, Ip., 1984. Studies on the reclaiming effect of Karnal-grass and Para-grass grown in a highly sodic soil. Indian J Agric Sci 54:189-193.
19. Kwiatowsky, J., 1998. Salinity Classification, Mapping and Management in Alberta. Food and Rual Development and Agriculture and Agrifood. Canada.
20. Liang, Y.C., Yang, Y.F., Yang, C.G., Shen, Q.R., Zhou, J.M., Yang, L.Z., 2003. Soil enzymatic activity and growth of rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil. Geoderma 115, 149–160.
21. Mahmoodabadi, M., and E. Heydarpour. 2014. Sequestration of organic carbon influenced by the application of straw residue and farmyard manure in two different soils. International Agrophysics 28:169–76.
22. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. The New Phytologist 167 (3):645–63. Oo, A. N., C. B. Iwai, and P. Saenjan. 2015. Soil properties and maize growth in saline and nonsaline soils using cassava-industrial waste compost and vermicompost with and without earthworms. Land Degradation and Development 26:300–310.
23. Nelson PN, Oades JM (1998). Organic matter, sodicity, and soil structure. (S. 76-91), (Eds: M.E. Sumner, R. Naidu) Sodic Soils. New York, Oxford University Press.
24. Nemati, M. R., Caron, J. And Gallichand, J., 2000. Using paper de-inking sludge to maintain soil structural from field measurements. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 275-285.
25. Özbek, A. K., 2002. Organik Kaynaklı Fabrikasyon Atıklarının ve Yapay Organik Polimerlerin Toprağın Strüktürel Gelişimi ve Nem Karakteristikleri Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Ziraat Fak., Erzurum (yayımlanmamış).

26. Qadır, M., Oster, J.D., 2002. Vegetative bioremediation of calcareous sodik soils: history mechanisms and evaluation. *Irrig Sci* 21:91-101.
27. Qadır, M., Qureshi, Rh., And Ahmad, N., 1997. Nurient availablity in a calcareous saline-sodik soil during vegetative bioremediation. *Arid Soil Res Rehabil* 11:343-352.
28. Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Salinity Laboratory Staff, United State Department of Agriculture, Washington D.C., Agricultural Handbook, No. 60.
29. Schnitzer, M. and Khan, S.U. 1972. Humic substances in the environtment. Marcel Deccer. New York.
30. Sönmez, B., 2003. Türkiye çoraklık kontrol rehberi. Toprak Ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Yayın No: 33, Ankara.
31. Sözüdoğru, S., Kütük, C., Yalçın, R. and Usta, S., 1996. Hümik asitin fasulye bitkisinin gelişimi ve besin maddeleri alımı üzerine etkisi. Ankara Üniv. Ziraat Fak Yay. No: 1452, Bilimsel Araştırma ve İnceleme 800, Ankara
32. Szabolcs, I., 1991. Desertification and salinisation. I. A. V. Hassan II-ISESCO. *Plant Salinity Research*, 3-18.
33. TABAN, S., GÜNEŞ, A., ALPASLAN, M., ÖZCAN, H., 1999. Değişik Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Tuz Stresine Duyarlılıkları. *Turk J Agric For*, 23(3), 625- 633.
34. Terry, R., 1997. Soil Salinity. Brigham Young University, Collage of Biology and Agriculture Publishing. No: 282.
35. Uysal, H. Ve Taysun, A., 1995. Kümeleşmeyi sağlayan bazı polimerlerin toprak özellikleri ile birlikte laboratuar şartlarında erozyona etkileri. İlhan Akalan Toprak-Çevre Sempozyumu. Cilt II. C101-111, Ankara.
36. Woods, S.A., 1996. Salinity tolerance of ornamental trees and shrubs. Food and Rual Development and Agriculture and Agrifood. Canada.
37. Xi, C.F., 1998. Chapter 15, Anthropogenic soils, in: Xi, C.F. (Ed.), *Soils of China*. China Agriculture Press, Beijing,China,pp.704–737(in Chinese).

Preparation of Ultrathin Molybdenum Oxide Film using Atomic Layer Deposition System for UV Photonic and Optoelectronic Applications

Mohamed A. Basyooni¹
Yasin Ramazan Eker²
Şule Ateş³

Abstract

Molybdenum oxides (MoO_3) have gained a lot of attention as one of the transition metal oxides because of their enormous electron affinity, broadband gap, various valence states, and layered structure, which could be used in sensors, optics, catalysis, electronics, energy units, and bio-systems. In this study, we prepared ultra-thin Molybdenum oxide (MoO_3) using an atomic layer deposition (ALD) system using Bis(tbutylimido)bis(dimethylamino)molybdenum (VI) as a Molybdenum (Mo) source. To understand the effect of depositing temperatures, we prepared the films at 100, 150, and 250° C. The ultra-thin films were then annealed in the air for 15min at 600° C and naturally collided. Different film thicknesses have been arranged from 1, 3, and 9 nm. The morphological and elemental properties were assessed using scanning transmission electron microscopy and energy-dispersion X-ray spectroscopy. The thickness of the films is increasing with increasing deposition temperature. Using atomic force microscopy we discovered highly homogeneous thin films with minuscule particle sizes. The thickness films show n-type semiconductor behavior with electron mobility of $9.80\text{E}+2 \text{ cm}^2/\text{V}$. These findings were examined and interpreted in light of temperature-dependent atomic inter diffusion, surface evaporation, and/or melting of MoO_3 , shedding fresh insight into ALD MoO_3 's electrical applications. This research could help to further the use of atomically thin transition metal oxides in nonlinear photonics and electrical devices, as well as their integration.

¹ Department of Nanotechnology and Advanced Materials, Graduate School of Applied and Natural Science, Selçuk University, Konya 42030, Turkey
Science and Technology Research and Application Center (BITAM), Necmettin Erbakan University, Konya 42090, Turkey

Corresponding author: M. A. Basyooni (m.a.basyooni@gmail.com)

² Department of Metallurgy and Material Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Necmettin Erbakan University, Konya 42060, Turkey
Science and Technology Research and Application Center (BITAM), Necmettin Erbakan University, Konya 42090, Turkey

³ Department of Physics, Faculty of Science, Selçuk University, Konya 42075, Turkey

Keywords: Nanostructured thin films, Atomic layer deposition, MoO₃ ultrathin film, Optoelectronics

Discipline: Nanoengineering

Introduction

Atomically thin two-dimensional (2D) metal oxides have exceptional physical and chemical characteristics. Because of its huge electron affinity, broad bandgap, multiple valence states, and layered structure, molybdenum oxides (MoO_x) have gotten a lot of interest as a transition metal oxide that might be employed in sensors, optics, catalysis, electronics, energy units, and biosystems. Recently, MoO₃ has become a widely used high-k transition metal oxide in a range of applications, including heterogeneous catalysis [1], super-capacitance [2], ion batteries [3], and photovoltaic [4]. Thin films of molybdenum trioxide have been investigated in charge-producing layers to improve the efficiency of organic light-emitting diode (OLED) devices [5], [6]. Lithium battery cathode materials and catalytic applications are two further applications. Meanwhile, the amorphous phase of MoO₃ has been shown to have electrochromic characteristics [7] and to be a capable antibacterial material [8].

A variety of processes have been devised for the manufacture of MoO₃ thin films, including chemical vapor deposition, ALD, chemical Li-intercalation, liquid phase deposition, and mechanical exfoliation [9]–[11]. Among these, the ALD technology is a layer-by-layer surface-controlled process based on self-limiting chemical reactions that can produce large-scale conformal dense nano-films with precise thickness and component control at extremely low temperatures [12]. ALD was recently established as a broad category of chemical vapor deposition (CVD) techniques. It is thought to be a promising method for creating high-quality metal oxide nanostructured thin films. The ALD technology has gotten a lot of attention since it allows for sub-nanometer film synthesis control. ALD is also a film deposition process that uses two gaseous solid half-reactions to build layers upon layers [13]. Furthermore, ALD functions at a lower temperature than typical precursor decomposition, which can range from below 400o C to room temperature. ALD can also be employed for a variety of applications, including high-refractive index optical coatings [14], dielectric layers with high permittivity for electrical devices [15], gas sensors [16], photoelectrochemical solar cells [17], and

photocatalytic coatings [18]. One of the most advantageous uses is microelectronic devices, which may be produced on a variety of substrates because of the ALD method's low-temperature growth process [19]. ALD is similar to CVD in that it is carried out in cycles, with each cycle containing two self-limited surface contacts between gaseous precursor molecules (steps) and the substrate surface [20]. As a result, unlike CVD and physical vapor deposition methods, ALD film production is independent of gas flow when enough precursor and reactant species are dosed. It was able to overcome the problems faced during the deposition of ultrathin oxide films [21] because of these advantages. ALD of metal oxides typically involves two self-saturating half-reaction cycles, one involving a metal precursor such as a halide, metal-organic, or organometallic, and the other involving the surface being exposed to an oxidant such as hydrogen peroxide (H_2O_2), deionized water (H_2O), ozone, or a combination of the two (O_3) [20]. Recently, ALD has been used to create ultrathin MoO_3 layers [10], [22], [23]. The bis(tert-butylimido) bis(dimethylamido) molybdenum precursor investigated in this study offers desirable ALD properties such as thermal stability, sufficient vapor pressure, and reactivity at common ALD process temperatures [24]. This chemical has also been reported to form ALD molybdenum nitride films using NH_3 as a co-reactant [25]. However, it is currently uncertain how to examine the nonlinear photonics of ultrathin MoO_3 films.

Materials and Methods

The metal-organic precursor $(N^tBu)_2(NMe_2)_2Mo$ (Strem Chemicals USA) was used to examine the development of molybdenum oxide for ALD techniques. At standard ALD process temperatures, it exhibits desirable ALD features such as thermal stability, enough vapor pressure, and reactivity. Using NH_3 as a co-reactant, this molecule was also shown to deposit ALD molybdenum nitride films [25]

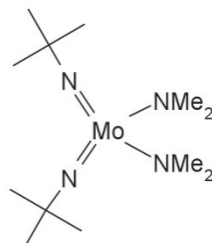


Figure 1: the chemical structure of Bis(*t*-butylimido)bis(dimethylamino)molybdenum(VI) [26].

It's a molybdenum-based organometallic chemical that's commonly utilized as a

semiconductor precursor. At temperatures ranging from 80 to 300 °C, molybdenum carbonitride films were formed utilizing plasma-enhanced atomic layer deposition procedures with $(N^tBu)_2(NMe_2)_2Mo$.

Using a rotating vacuum pump, the films will be deposited in a cross-flow, hot wall reactor (AT410 ALD system (ANRIC Technologies, MA, USA). For films developed at 100, 150, and 250° C, the chamber reactor will be kept at a consistent process temperature, as shown in Table 1. The ALD technique used a carrier gas flow of 20 sccm of ultra-high purity grade, 99.999 percent Ar to pulse the Mo precursor and oxidants. Throughout the process, the temperature of the Mo Precursor is kept at 80 degrees Celsius. Meanwhile, the dosage line and manifold are at 100 and 105 degrees Celsius, respectively. With a reactor operating pressure of 0.3 Torr, the process flow was a standard thermal pulse/purge ALD method. During the process's exposure, the purge flow is 10 sccm. An ATO3 ozone system (ANRIC Technology Canada) will deliver the ozone co-reactant to the chamber, which will be filled with ultrapure oxygen. Table 1 shows the purging times for Mo and O₃ sources. The optimal number of pulses for Mo and O₃ sources, respectively, is 3 and 2.

Table 1: shows the basic depositing parameters of MoO₃ ultrathin films.

Sample	Deposition Temp. (° C)	No. of Pulses	Exposition condition	Precursor temp. (° C)	Ar purge Flow Rate (sccm)	Mo Purges (ms)	Ozone Purges (ms)	Mo Exp. time (ms)	Ozone Exp. Time (ms)	Thickness (nm)
S0	100	400	Ozone	80	20	8000	10000	1000	1000	1
S1	150	400	Ozone	80	20	8000	10000	1000	1000	3
S2	250	400	Ozone	80	20	8000	10000	1000	1000	9

Characterization Techniques

A ZEISS GeminiSEM 500 field emission scanning electron microscope (FESEM) and scanning transmission electron microscope (STEM) were used to capture the surface morphology. Using

an Oxford Ultime extreme ZEISS, energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analysis of the samples was performed to characterize the quantitative analyses of the samples. The SWIN Hall 8800 Hall effect test device is used to measure carrier concentration and mobility. OptoSense Sourcemeter was used to take electrical. Photonic, and optoelectronic measurements. The Filmetrics F20 thin film analyzer was used to measure the film thickness. UV-VIS-NIR Spectrophotometer UV-3600i Plus Shimadzu was used to detect optical absorption (A) on glass substrates.

Results and Discussions

FE-SEM, STEM, And Surface Morphology

Fig. 2 shows the creation of ultrathin films at various deposition temperatures. As shown in Fig. 2 (a-c), FESEM was used to examine the surface morphology of MoO₃ at deposition temperatures of 100, 150, and 250° C. The sample surfaces are extremely homogeneous and evenly distributed throughout a wide range. The film appears to become denser when the deposition temperature is raised. Fig. 2 shows the ultrathin film preparation process at various deposition temperatures. The surface morphology of MoO₃ was examined by FESEM at deposition temperatures of 100, 150, and 250 degrees Celsius, as shown in Figure 2. (a-c). The samples' surfaces are extremely homogeneous and evenly distributed throughout a wide range of temperatures. As the deposition temperature is raised, the film appears to become denser.

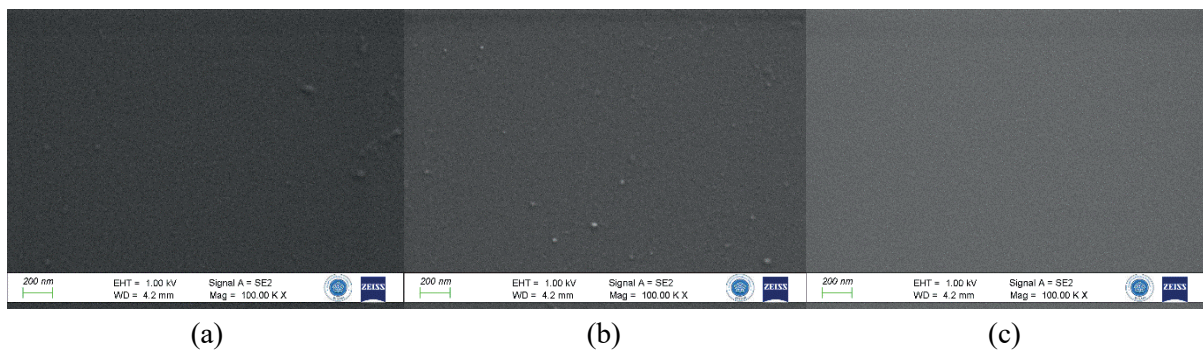


Figure 2: shows the FESEM and STEM images. (a), (b), and (c) shows the FESEM images of S0, S1, and S2, respectively.

Additionally, Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) is a common method for determining and measuring the elemental composition of sample areas when used in large-scale scanning mode. The composition analysis of the Mo and O elements is shown in Figure 3 (a, b, and c), with the

silicon substrate being responsible for the enormous peak. As the deposition temperature rises, we observe a decrease in the Mo content.

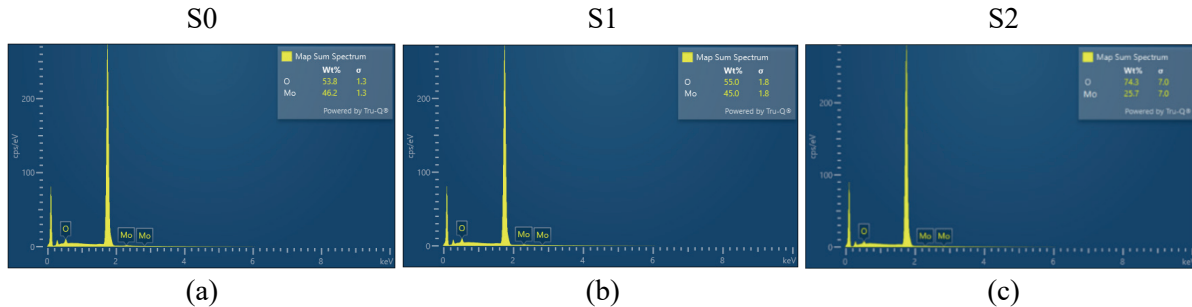


Figure 3: shows the EDS mapping and characterizations of the samples. (a), (b), and (c) show the sum spectrum of Mo and O of S0, S1, and S2, respectively.

Linear Optical Behavior and Bandgap

A UV-VIS spectrophotometer was used to evaluate the thin films' optical absorption (A), which is shown in Figure 4 (a). S1 thin films have the maximum absorption, followed by S0 and S2 thin films. Figure 4 (b) calculates and illustrates the optical band gap [27]. The bandgap (E_g) calculations are obtained by extrapolating the linear component of the plot of $(\alpha h\nu)^2$ vs $h\nu$ to $\alpha=0$. We see that the band gaps are around 3.54, 3.66, and 3.81 eV for S0, S1, and S2 thin films, respectively.

The optical quality of the samples and their suitability for use in optical-switch applications are assessed using the extinction coefficient (K) with wavelength. Figure 4 depicts the refractive index's behavior (c). With values of 1.37, 1.25, and 1.0 for S0, S1, and S2 thin films, the general behavior of n and K is comparable to one another. After 400 nm, however, n behaves in a nearly constant manner with no variation. The extinction coefficient is shown as a function of wavelength as $K = \frac{1}{4}$ in Figure 4(d), with values of 0.38, 0.26, and 0.00 denoting S0, S1, and S2 thin films, respectively. These values of both n and k are sharply increased by getting closer to the UV region and become congruous at higher wavelength values through the visible and near-infrared regions. Plotted in Figure 4 (e and f), respectively, are the real component (real) and the imaginary part (imaginary) of the dielectric constant for S0, S1, and S2 thin films. When the wavelengths are increased, the value of real decreases until it reaches coexistence at about 400 nm. The S0 and S1 thin film samples have the greater value, while the S2 sample has the largest difference.

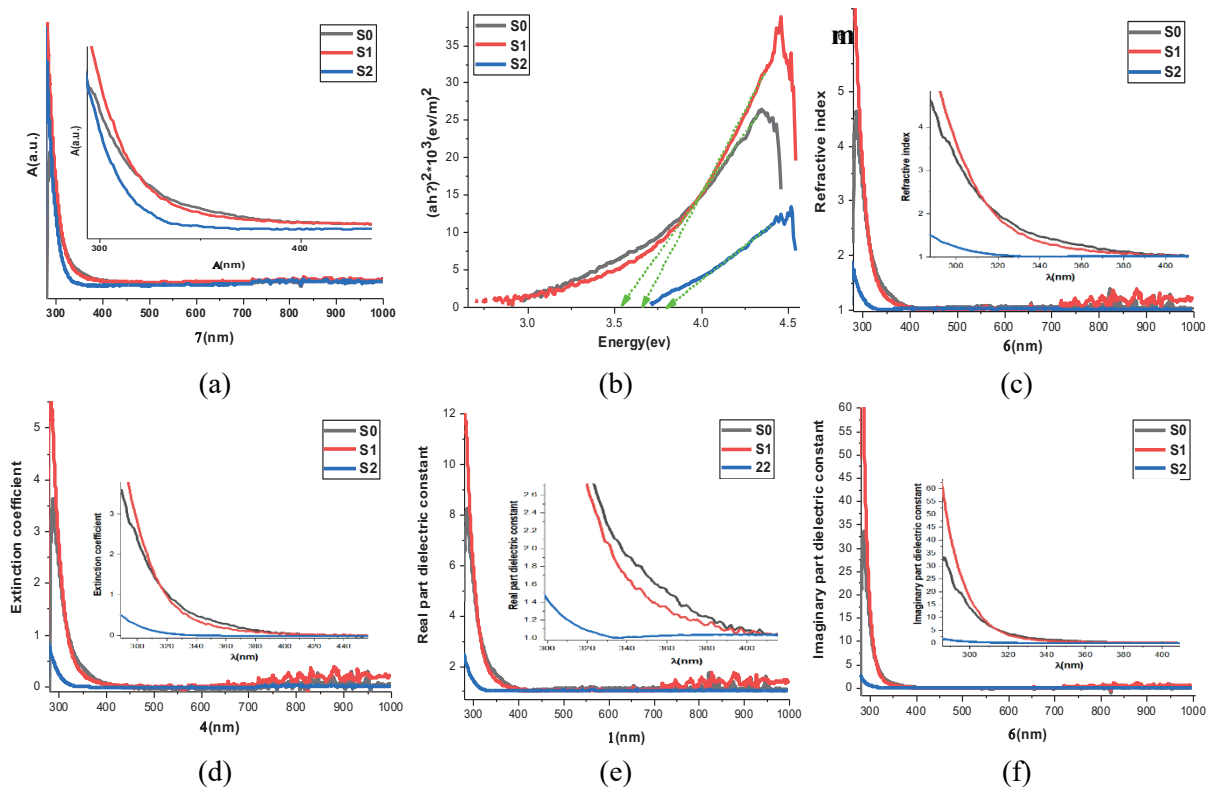


Figure 4: demonstrates the produced samples' linear optical performance. The optical absorbance, band gap, refractive index (n), extinction coefficient (K), the real part of the dielectric constant, and imaginary part of the dielectric constant of S0, S1, and S2 thin films are depicted in (a), (b), (c), (d), (e), and (f), respectively.

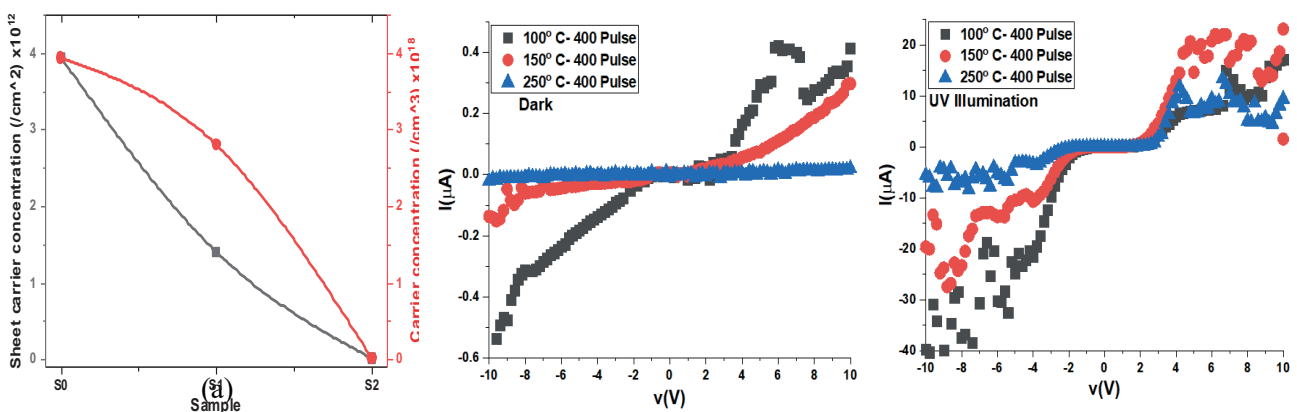
Hall Effect Measurements

A Hall Effect measurement system is used to determine the semiconducting nature and electrical characteristics. The Hall Effect describes what happens to the current running through a conducting material, such as a metal or a semiconductor, when it is exposed to a magnetic field B . The charge carriers in a current-carrying conductor that is in a magnetic field experience a force that is perpendicular to the directions of the current and magnetic field. The Hall Effect, which results in the separation of the charges, generates a measurable Hall voltage. This relates to both the Hall coefficient and the strength of the magnetic field. The Hall coefficient and its sign are determined by the charge carrier density and type. The measurements were made using a four-probe measurement setup with a magnetic field B of 7210 G applied at room temperature (300 K). Table 3 presents the findings for S0, S1, and S2 thin films. MoO₃ films generally behave as p-type semiconductors because their ultrathin, few nanometer-thick films are placed on thick p-type silicon substrates. For the S0 to S1 thin films, we can see that the sheet carrier

concentrations are very similar, however, for the S2 thin film, a larger divergence is seen. These findings can be compared to the final optical performances. The bandgap calculations and Hall Effect measurements in Figure 5 demonstrate that the S0 thin film has the best conductivity (a). Similar relationships exist between the sheet carrier concentration and carrier concentration, both of which decrease as the deposition temperature rises; S0 to S2 thin films.

Table 3: shows the surface resistance and electrical Hall Effect measurements of S0, S1, and S2 thin films. We note that when Hall voltage shows a positive (negative) value, the majority carrier of the sample is the p (n) type. R_s (sheet resistance), R_{ho} (resistivity), V_H (Hall voltage), R_H (Hall coefficient), N_s/P_s (sheet carrier concentration), N/P (carrier concentration), and Mob (mobility).

Sample	Sheet resistance (Ω/sq)	Resistivity ($\Omega\text{-cm}$)	Hall voltage (V)	Hall coefficient (m^3/C)	Type	Sheet carrier concentration ($/\text{cm}^2$)	Carrier concentration ($/\text{cm}^3$)	Mobility (cm^2/V)
S0	1.62E+5	1.62E-1	2.28E-4	1.58E-6	P	3.94E+12	3.94E+18	9.80E+0
S1	4.40E+4	2.20E-2	3.21E-3	2.23E-6	P	1.40E+12	2.80E+18	1.01E+2
S2	1.62E+7	1.62E+1	1.83E-2	5.09E-4	P	1.23E+10	1.23E+16	3.13E+1



Figutr 5 :(a) and (b) show the carrier concentrations and current-voltage characteristic curves, respectively.

Electrical and Optoelectronic Properties

The I-V curves provide light on the characteristics of carrier transport by using particle to particle and particle to electrode contact types. Figure 5(b) reports the electrical characteristic behavior of the current-voltage (I-V) system. The electrical characteristics were tested in the

air with both dark and light illumination, and the results are shown in Figure 5. (b). -4 to +4 V is the measurement range. As can be seen, the dark current is significantly less than the photocurrent in this area. The samples are from systems that use Schottky contact photodetection. It appears that the current was modest around 0 voltage and began to rise as the voltage rose.

Additionally, we see that S2 thin films suddenly increase at the beginning of the current, followed by S2 and subsequently S0 thin films. There is a sizable positive and negative photocurrent in every sample. The fact that the samples did not exhibit a significant dark current is very intriguing and contributes to their appeal as photodetector application materials. Additionally, S1 thin film had the maximum observed positive photocurrent of 12.6 μA at 4V, which was followed by S1 thin film. The largest negative photocurrent, 22.5 μA at 4V, is provided by the S2 thin film. The bandgap and Hall Effect calculations mentioned above can serve as confirmation for these findings. Therefore, S1 thin film is related to the best electrical and optoelectronic film.

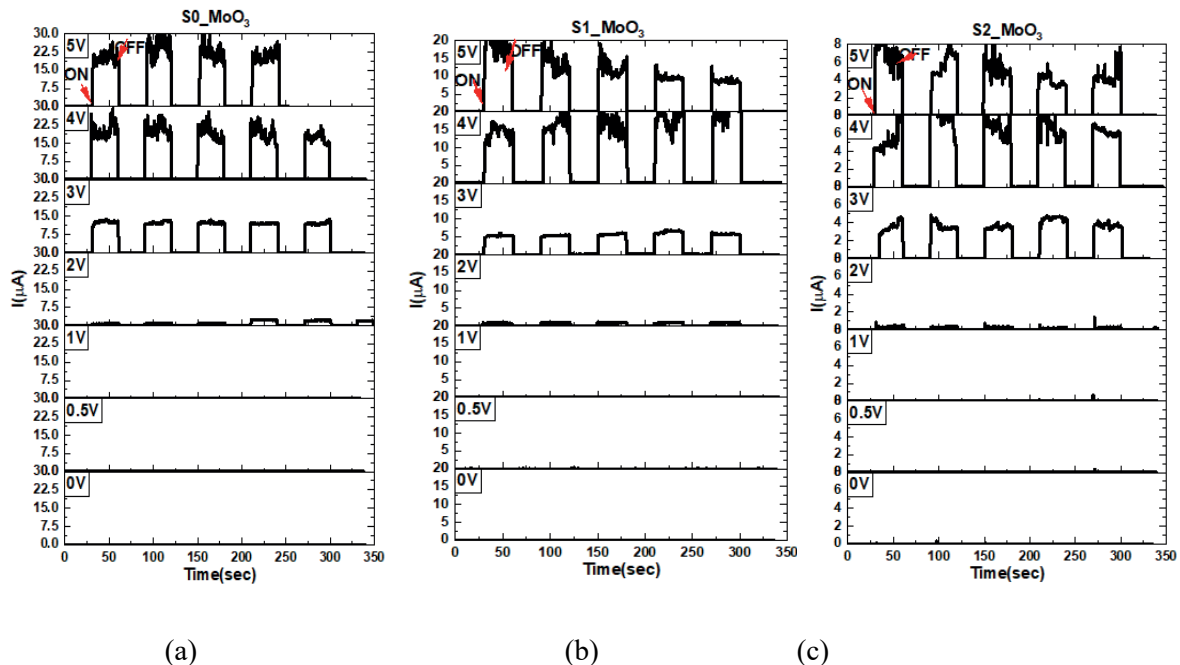


Figure 6: (a-c) shows the On-Off photocurrent response of S0, S1, and S2 thin films under different biases of 2, 3, 4, and 5V for both dark and light illuminations.

Additionally, as shown in Figure 6 (a-c), optoelectronically test the general performance of the

S0, S1, and S2 thin films. Through the On-Off mode, we applied various biases of 0, 0.5, 1, 2, 3, and 5V and monitored the dark and photogenerated currents over time. To apply long-range measuring techniques, we need to know how well the thin films' photodetectors function. The light source was always a fixed distance from the samples during the measurements. We observe that low bias voltages of 0, 0.5, 1, and 2 V are insufficient for the electrons to escape for conduction roles in the S0 thin film. The film exhibits greater photocurrent ranges at higher biases of 3, 4, and 5V, but good stability with rising and falling values. However, as seen in Figure 6 (b), S1 thin-film demonstrated improved results. S1 thin films have highly steady performances at low bias voltages of 3V, both in the dark and with a light on. Additionally, the best stability over extended distances was recorded at 3V. Similar to what was mentioned in the I-V sections, this observation makes the S1 thin-film highly appealing for electrical and optoelectronic applications. The film becomes less stable at larger biases, and the photocurrent starts to decrease at 5V. It is encouraging to see that S1 thin films formed at 150 °C can function for low voltage devices with low bias voltages. Compared to S0 and S1 thin films, the S2 thin film had lower film stability.

Conclusions

In this study, we used Bis(tbutylimido)bis(dimethylamino)molybdenum (VI) as a Molybdenum (Mo) source to prepare ultra-thin Molybdenum oxide (MoO₃) utilizing an atomic layer deposition (ALD) technique. We prepared the films at temperatures of 100, 150, and 250 °C to better understand the impact of depositing temperatures. The results show that these thin films can be experimentally demonstrated for photonic and optoelectronic applications.

References

- [1] A. R. Mouat, A. U. Mane, J. W. Elam, M. Delferro, T. J. Marks, and P. C. Stair, "Volatile Hexavalent Oxo-amidinate Complexes: Molybdenum and Tungsten Precursors for Atomic Layer Deposition," *Chem. Mater.*, vol. 28, no. 6, pp. 1907–1919, Mar. 2016, doi: 10.1021/ACS.CHEMMATER.6B00248.
- [2] P. C. Chen, G. Shen, Y. Shi, H. Chen, and C. Zhou, "Preparation and characterization of flexible asymmetric supercapacitors based on transition-metal-oxide nanowire/single-walled

carbon nanotube hybrid thin-film electrodes,” *ACS Nano*, vol. 4, no. 8, pp. 4403–4411, Aug. 2010, doi: 10.1021/nn100856y.

[3] W. Wang, J. Qin, Z. Yin, and M. Cao, “Achieving Fully Reversible Conversion in MoO_3 for Lithium Ion Batteries by Rational Introduction of CoMoO_4 ,” *ACS Nano*, vol. 10, no. 11, pp. 10106–10116, Nov. 2016, doi: 10.1021/acsnano.6b05150.

[4] Y. C. Tseng, A. U. Mane, J. W. Elam, and S. B. Darling, “Ultrathin molybdenum oxide anode buffer layer for organic photovoltaic cells formed using atomic layer deposition,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 99, pp. 235–239, 2012, doi: 10.1016/j.solmat.2011.12.004.

[5] H. Schmidt, H. Flügge, T. Winkler, T. Bülow, T. Riedl, and W. Kowalsky, “Efficient semitransparent inverted organic solar cells with indium tin oxide top electrode,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, no. 24, p. 243302, Jun. 2009, doi: 10.1063/1.3154556.

[6] Irfan, H. Ding, Y. Gao, D. Y. Kim, J. Subbiah, and F. So, “The effect of molybdenum trioxide inter-layer between indium tin oxide (ITO) and organic semiconductor on the energy level alignment,” in *Materials Research Society Symposium Proceedings*, Aug. 2010, vol. 1212, no. 1, pp. 65–70, doi: 10.1557/proc-1212-s08-05.

[7] S. Y. Lin, C. M. Wang, K. S. Kao, Y. C. Chen, and C. C. Liu, “Electrochromic properties of MoO_3 thin films derived by a sol-gel process,” *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 51–58, Jan. 2010, doi: 10.1007/s10971-009-2055-6.

[8] C. Zollfrank, K. Gutbrod, P. Wechsler, and J. P. Guggenbichler, “Antimicrobial activity of transition metal acid MoO_3 prevents microbial growth on material surfaces,” *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 32, no. 1, pp. 47–54, 2012, doi: 10.1016/j.msec.2011.09.010.

[9] K. A. Gesheva, T. M. Ivanova, and G. Bodurov, “Transition metal oxide films: Technology and ‘smart Windows’ electrochromic device performance,” in *Progress in Organic Coatings*, 2012, vol. 74, no. 4, pp. 635–639, doi: 10.1016/j.porgcoat.2011.07.016.

[10] M. Diskus, O. Nilsen, and H. Fjellvåg, “Growth of thin films of molybdenum oxide by atomic layer deposition,” *J. Mater. Chem.*, vol. 21, no. 3, pp. 705–710, 2011, doi: 10.1039/c0jm01099e.

[11] A. Guerfi, R. W. Paynter, and L. H. Dao, “Characterization and Stability of Electrochromic MoO_3 Thin Films Prepared by Electrodeposition,” *J. Electrochem. Soc.*, vol.

142, no. 10, pp. 3457–3464, Oct. 1995, doi: 10.1149/1.2050004.

[12] Z. Wei et al., “Atomic layer deposition-developed two-dimensional A-MoO₃ windows excellent hydrogen peroxide electrochemical sensing capabilities,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 262, pp. 334–344, 2018, doi: 10.1016/j.snb.2018.01.243.

[13] J. P. Lee, Y. J. Jang, and M. M. Sung, “Atomic Layer Deposition of TiO₂ Thin Films on Mixed Self-Assembled Monolayers Studied as a Function of Surface Free Energy,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 13, no. 11, pp. 873–876, Nov. 2003, doi: 10.1002/adfm.200304445.

[14] T. Babeva, K. Lazarova, M. Vasileva, B. Gospodinov, and J. Dikova, “Fabrication and characterization of high refractive index optical coatings by sol-gel method for photonic applications,” *Bulg. Chem. Commun.*, vol. 45, no. SPEC. ISSUE B, pp. 28–32, 2013.

[15] C. W. Wang, S. F. Chen, and G. T. Chen, “Gamma-ray-irradiation effects on the leakage current and reliability of sputtered TiO₂ gate oxide in metal-oxide-semiconductor capacitors,” *J. Appl. Phys.*, vol. 91, no. 11, pp. 9198–9203, Jun. 2002, doi: 10.1063/1.1473668.

[16] S. Boyadjiev, V. Georgieva, L. Vergov, Z. Baji, F. Gáber, and I. M. Szilágyi, “Gas sensing properties of very thin TiO₂ films prepared by atomic layer deposition (ALD),” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2014, vol. 559, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/559/1/012013.

[17] L. Avril, S. Reymond-Laruinaz, ... J. D.-A. surface, and U. 2014, “TiO₂ anatase films obtained by direct liquid injection atomic layer deposition at low temperature,” Elsevier.

[18] I. Levchuk, C. Guillard, F. Dappozze, S. Parola, D. Leonard, and M. Sillanpää, “Photocatalytic activity of TiO₂ films immobilized on aluminum foam by atomic layer deposition technique,” *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 328, pp. 16–23, 2016, doi: 10.1016/j.jphotochem.2016.03.034.

[19] A. Strobel, H.-D. Schnabel, U. Reinhold, S. Rauer, and A. Neidhardt, “Room temperature plasma enhanced atomic layer deposition for TiO₂ and WO₃ films,” *J. Vac. Sci. Technol. A Vacuum, Surfaces, Film.*, vol. 34, no. 1, p. 01A118, Jan. 2016, doi: 10.1116/1.4935356.

[20] W. Chiappim et al., “Relationships among growth mechanism, structure and morphology of PEALD TiO₂ films: The influence of O₂ plasma power, precursor chemistry

and plasma exposure mode,” *Nanotechnology*, vol. 27, no. 30, 2016, doi: 10.1088/0957-4484/27/30/305701.

[21] H. Xu et al., “Ultra-thin MoO₃ film goes wafer-scaled nano-architectonics by atomic layer deposition,” *Mater. Des.*, vol. 149, pp. 135–144, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.matdes.2018.04.007.

[22] J. G. Song et al., “Layer-controlled, wafer-scale, and conformal synthesis of tungsten disulfide nanosheets using atomic layer deposition,” *ACS Nano*, vol. 7, no. 12, pp. 11333–11340, Dec. 2013, doi: 10.1021/nn405194e.

[23] H. Liu, R. Bin Yang, W. Yang, Y. Jin, and C. J. J. Lee, “Atomic layer deposition and post-growth thermal annealing of ultrathin MoO₃ layers on silicon substrates: Formation of surface nanostructures,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 439, pp. 583–588, 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2018.01.082.

[24] A. Bertuch, G. Sundaram, M. Saly, D. Moser, and R. Kanjolia, “Atomic layer deposition of molybdenum oxide using bis(tert-butylimido)bis(dimethylamido) molybdenum,” *J. Vac. Sci. Technol. A Vacuum, Surfaces, Film.*, vol. 32, no. 1, p. 01A119, Jan. 2014, doi: 10.1116/1.4843595.

[25] V. Miikkulainen, M. Suvanto, and T. A. Pakkanen, “Atomic layer deposition of molybdenum nitride from bis(tert-butylimido)- bis(dimethylamido)molybdenum and ammonia onto several types of substrate materials with equal growth per cycle,” *Chem. Mater.*, vol. 19, no. 2, pp. 263–269, Jan. 2007, doi: 10.1021/cm0620279.

[26] “Bis(t-butylimido)bis(dimethylamino)molybdenum(VI) | (tBuN)₂(NMe₂)₂Mo | C₁₂H₃₀N₄Mo – Ereztech.” <https://ereztech.com/bis-tert-butylimidobisdimethylaminomolybdenumvi-cas-923956-62-1/> (accessed Mar. 17, 2022).

[27] A. E. Görmez, M. A. Basyooni, S. E. Zaki, Y. R. Eker, E. Sönmez, and M. Yılmaz, “Effect of in-/ex-situ annealing temperature on the optical, structural and gas sensing dynamics of CdS nanostructured thin films,” *Superlattices Microstruct.*, vol. 142, p. 106536, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.spmi.2020.106536.

A Review: Non-Newtonian Fluids, their Behavior, and Application in Technical Textiles

Md Safuan Islam¹

Abstract

Non-Newtonian fluids were studied and generated great interest since their discovery in various fields of application because of their special characteristics. Newton's law is applied to any kind of fluid or liquid material but is not acceptable for a non-Newtonian fluid to determine its viscosity or behavior. Non-Newtonian fluid follows more or less Hooke's law in daily life. Normally non-Newtonian fluids change their behaviors under the force applied and change into the form of solid or liquid. It absorbed the applied force and change its shape according to the surrounding condition. Technical textiles are those products that are used for functional purposes rather than decorative purposes. Nowadays, for comfort, protection, and easy to use, numerous materials are used in the textile sector. Non-Newtonian fluids are one of them added recently. It draws more attention because of its unique properties like absorbing hits, releasing the temperature, and changing shape for producing liquid body armor, sports equipment, and personal protection equipment. Those are some of the areas, Non-Newtonian fluids are applied to produce textile equipment for protection and daily life usage. In this review paper author is trying to show non-Newtonian fluid's behavior and their applications in technical textiles now and future time.

Keywords: Non-Newtonian fluids, Characteristics, Applications, Technical textiles.

Introduction

As the days go on, the rapid development of technology needs to evaluate the needs of new products with the combination of comfort and protection. For this reason, according to their features and uses protective clothing which is part of technical textile has taken an important place in the textile sector. Since technical textiles emphasize technical features, they keep user-friendly features like comfort during production. For this reason, studies in this field are increasing with the increasing demand for protective cloth with comfort without sacrificing

¹ Department of Textile Engineering, Süleyman Demirel University, Isparta, Türkiye.

Email: te.safuan@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-8711-6297

their protective properties.

Newton's law is not applied to a non-Newtonian fluid for its viscosity and other properties. Normally non-Newtonian fluids change their behaviors under the force in the form of a solid or liquid state [1]. Researchers are trying to develop new goods by using those polymers which contain such kinds of features combined with textile matrix or composite for use in protective clothing. In this review, the main goal was to find out what work has been done on non-Newtonian fluids and their applications in technical textiles.

Non-Newtonian Fluids

In the case of Newtonian fluids, shear stress (σ) is proportional to the rate of shear (γ) and the constant of proportionality of viscosity (η) and abides by the Newton law (see figure 1) [2]. In normal cases, liquids viscosity increases with pressure and decreases with temperature [3]. If the viscosity is high, the resistance will be high for the flow of the fluids [4]. If any fluid does not follow those Newtonian laws then those fluids would be known as non-Newtonian fluids.

Hooke's law [5], describes solid behavior as all solids were considered to be elastic.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

Here σ is extensional stress, E is Young's modulus and ε is strain. If any force is applied to an elastic solid, it will change its shape all of a sudden but if we remove that force it will return its own position again if that solid follows Hooke's law. In case of fading memory of the viscoelastic material, the material will strain linearly and once the stress is removed from the material, it will return to its original state over time (Brinson and Brinson (2008)).

Non-Newtonian Fluids' Nature

In 1835 Weber observed that silk threads behaved neither perfectly elastic nor perfectly viscous (Weber (1835)). It behaves like viscoelastic material and follows Hooke's law hence viscoelasticity is followed by the time effect and is known as non-Newtonian fluid [5], [6].

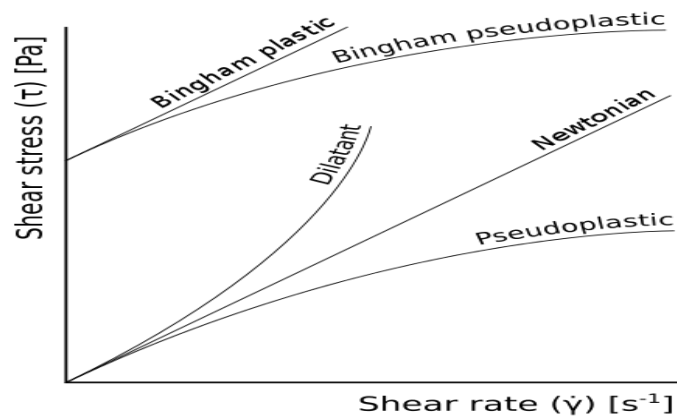


Figure 1: Diagram curves of Newtonian and non-Newtonian fluids behavior [7].

In the case of a non-Newtonian fluid, its viscosity will raise with the raising shear rate or the viscosity will reduce by reducing the shear rate. Those are called shear thickening or shear thinning fluids [7]. Shear stress will change the viscosity of a non-Newtonian fluid. But it will not affect Newtonian fluid's viscosity [8].

In general Non-Newtonian fluids are found in polymer form. Repeated units of monomers are unified together as a long chain-like macromolecular structure to form a polymer structure.

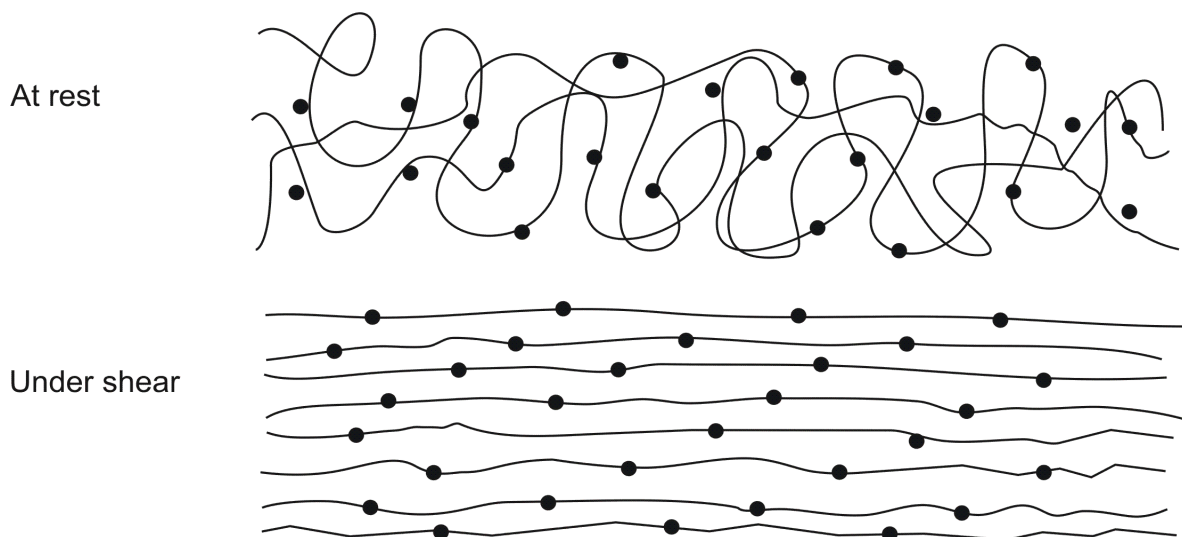


Figure 2: Schematic diagram of a Non-Newtonian polymer under shear before and after [8].

In the last 3 decades, scientists found that there were many materials that did not follow Newtonian law in many cases. Indeed non-Newtonian fluid behavior is far more exceptional than Newtonian fluid [4], [9].

A shear thickening fluid will behave like non-Newtonian material when its shear rate reaches a

pick point because of increasing viscosity but it will behave like a lubricant and flows easily during a low shear rate. The hydrodynamic forces repulsive inter particles and form hydro clusters at a high share rate. At that time liquid will not be able to fill those inner gaps between the particles. As a result, friction will increase rapidly which will also increase the viscosity of the fluid [10].

Polymers with Non-Newtonian Properties

In general, non-Newtonian behavior is shown by natural and synthetic fluids [4]. In our regular life cement paste, chocolate, greases, lubricating oils, molten polymer solutions, cosmetics, and products like shampoos, shaving foams, and toothpaste are also shown non-Newtonian behavior [11]. However, existing non-Newtonian fluids are nanoparticle-based (cornstarch) suspensions or polymer-colloid composites (polyethylene oxide (PEO)/SiO₂) [12]. Plastics, rubber, and fabrics like polyester and spandex are the most common synthetic polymers including natural polymers like DNA, proteins, and starch that have properties like non-Newtonian fluid [13]. Poly-vinyl chloride (PVC) is a perfect example of a non-Newtonian fluid [14]. In a thin linear channel viscous fingers form which shows non-Newtonian nature [15]. The viscosity of road bitumen varies, the harder the bitumen, the greater it will show non-Newtonian behavior at 60°C [16]. Now an advanced class of non-Newtonian fluid has been discovered to have switchable rheological properties being intermediate between carbon dioxide (CO₂) and nitrogen (N₂) [12].

Non -Newtonian Fluid's Effect on End-Use Properties

Non-Newtonian fluid is used to understand the liquefaction process during the earthquake because an earthquake puts stress on certain types of solid clay which may turn into a runny liquid. To move easily, body armor behaves like a liquid but it turns into a solid under the force applied that could be useful for producing protective equipment for police or military personnel [17]. Now, researchers have succeeded to create the first 3-D computer model by using Oobleck that may forecast the mystic nature of the substances [18]. The non-Newtonian fluid is used for QCM measurement response to monitoring mass changes due to adsorption on a surface such as DNA, proteins, microorganisms, endothelial cells, polymers, and polyelectrolyte multilayers [19]. Properties like heating and cooling of non-Newtonian fluids are used to operate the chemical reactors, heat exchangers, distillers, extractors, thinners, and decanters [20].

Nowadays a non-Newtonian fluid is applied to reduce the neck injuries effect [21]. The moving rigid surface being coated with non-Newtonian fluids show effective slip effects causing the phenomenon of stress-caused diffusion resulting in the flow of liquid structured [22]. To produce a new generation of composite systems using non-Newtonian silica-based fluids that may be able to absorb a huge amount of energy at the time of impact without causing any major damage is the key point of developing those composites including a carbon fibers reinforced polymer laminate [23].

Non-Newtonian Fluid Affects the Production Process

The viscosity of a non-Newtonian fluid will alter because of its mechanical pressure, shaking, stirring, or squeezing known as shear stress. Newtonian fluid viscosity will not be affected by shear stress. By using non-Newtonian fluids to produce several products, we need to be careful about the adjustment of the fluids with the body parts of the product. If non-Newtonian fluids do not attach in the proper direction or proper angle, the shear stress will be very during its uses and it may cause harm to the users. That's why if we use non-Newtonian fluids as a composite-like sandwich structure, we may overcome this problem. There is another possibility to use the non-Newtonian fluid as a small packet structure inside the composite structure. This packet structure will be more stable than a normal sandwich structure. As the flow of non-Newtonian fluids is different from normal fluids, the production time to produce the products will be a little longer than normal fluids. Another problem may be if for any reason shear stress very, it may cause damage of the product during productions.

Applications on Technical Textiles

Nowadays scientists had tried to develop various products by using non-Newtonian fluids for many industrial applications. Researchers developed fabrics used in expandable spacecraft which is able to withstand the penetration of hypervelocity particles in space. On the other hand, 10% of NNF in the silicone emulsion is used in the pads for producing sports equipment: such as mouth guards to protect against dental damage, and gloves to protect the hands. It is also used in automobiles, airplanes, and trains for protection in case of any kind of accident occurs [24], [25].

Today non-Newtonian fluids are applied in major three fields including devices with damping and stiffness, smart structure, and body armor [26].

Devices Provide Damping and Stiffness

A device is filled up with functional fluids including non-Newtonian fluid for gaining stiffness and damping of that device. Developing a viscoelastic damper using NNF to maintain the vibration of a tank, a pipe, or a structural member [27], [28].

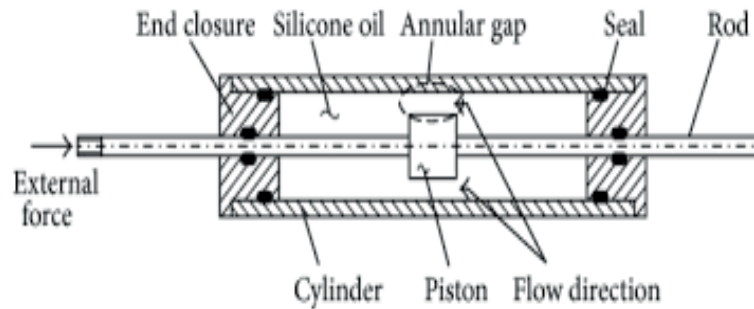


Figure 3: Diagram of a viscoelastic damper [29].

An earthquake or wind may cause those types of vibrations. During that time minimum reaction force will be produced by the damper to protect the tank, the pipe, or the structural member [30].

Smart Structures

Researchers develop a way to minimize the damage to downhole equipment by using non-Newtonian fluid as tamping in the controlled pulse fracturing process.



Figure 4: Smart bra [32].

Researchers also developed composite structures by using NNF where two components belong to the same structure and move to each other having their applications in sports equipment, aeronautics, aerospace, and consumer good [25], [31].



Figure 5: Smart helmet [33].

To produce a body limb movement limiter, shear thickening non-Newtonian fluid is used which may help to limit the movement of a person's joints like the shoulder, knee, elbow, and ankle to prevent the patient from further damage to the affected area from sudden force developed [34], [35].

Body Armor

Nowadays most prominent application of non-Newtonian fluids (NNF) is in military fields for producing liquid body armors by absorbing a fibrous substrate or a porous media in an NNF [36]. Recently to improve the volume and viscosity of ballistic impact of KEVLAR® fibers, dry powders exhibiting dilatant properties were used [37].

Researchers also investigate on composite material to develop a ballistic fabric saturated with shear thickening fluid that has a greater ballistic performance rather than traditional ballistic fabric-based materials of same thickness [38].



Figure 6: Liquid body armor [39].

Another important requirement for body armor is high permeability to air and moisture. Those body armors have to be flexible as well as comfortable during wear with enough protection against any kind of hurt. Research is ongoing to improve NNF-based liquid body armor across the world [40], [41], [42].

Current Developments

Researchers have found that the properties of shear thickening (NNF) can be changed by alternating properties like hydrophilic or hydrophobic, shapes of the particles, and measuring conditions which help to develop new smart suspensions containing electro or magneto rheological behavior [43].

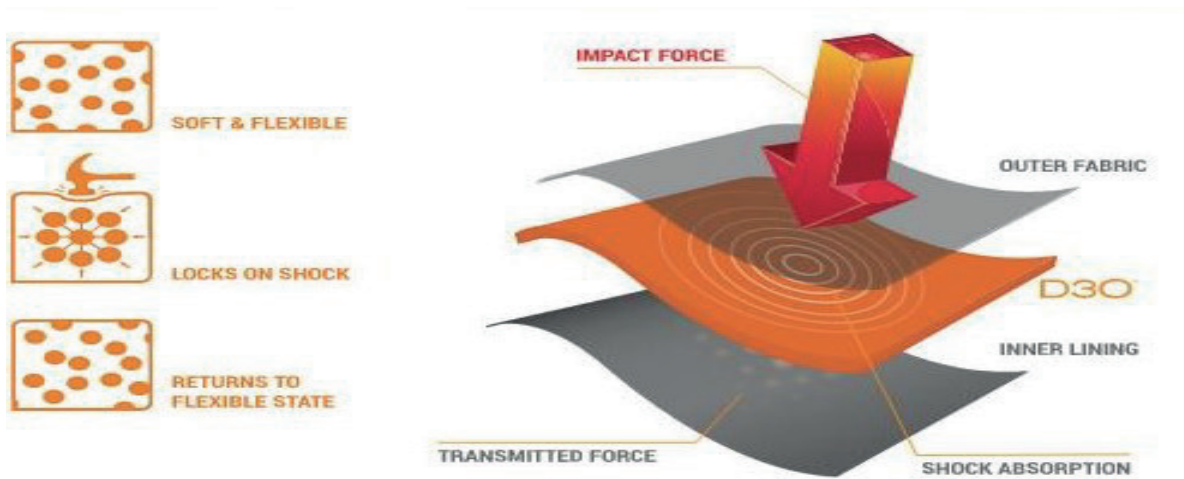


Figure 7: Working principle of D3O [44].

Very recently, a new kind of non-Newtonian fluid based special gel deeth-reeoh (d3o) has been developed by UK company D3O [45]. This product is able to absorb impact energy easily which may use in very cold to very hot temperatures, very dry to very wet humidity or any kind of excessive conditions. Those excellent features give them grate advantages for using them as the alternative choice of a fluid for the future applications in nanoscience [46].

Conclusions

Non-Newtonian fluids are special case among the fluid classes. They have several phenomena and so far no general methodology could be applied for non-Newtonian fluid. Normally application of non-Newtonian fluids (polymer) are protective fields. The shock impact absorbing performance of non-Newtonian fluid (polymer) give positive feedback because after

treated with non-Newtonian fluid (polymer), fabric's flexibility has not been altered. But till now there is not enough work have done against comfort to measure the comfortability of the product developed by using non-Newtonian fluids. Till now in body armor systems, fabrics like Twaron®, Kevlar® and Dyneema® have most important role. Factors that domain non-Newtonian fluid properties are its component size, shape and distribution. Modification of fabrics by using non-Newtonian fluid with shock absorbing properties had not been studied enough. Since the features such as the inability to preserve the shape of non-Newtonian materials are a problem in the production of those products, the development of textile-supported layers like composite will prevent the problems shown during the production. In the future, people can work to develop fabric modification by using non-Newtonian fluid as well as the comfort of the final products.

References

- [1] "Wikipedia, the free encyclopedia," [Online]. Available: Non-Newtonian%20fluid%20-%20Wikiwand.html . [Accessed 21 7 2022].
- [2] R. I. Tanner and K. Walters, "Rheology: an historical perspective," *Elsevier.*, 1998.
- [3] R. C. Reid, J. M. Prausnitz and T. K. Sherwood, "The Properties of Liquids and Gases," (*Stichworte Teil 2*). *McGraw-Hill*, 1977.
- [4] . R. P. Chhabra and . J. F. Richardson, *Non-Newtonian flow and applied rheology: engineering applications.*, Butterworth-Heinemann., 2011.
- [5] M. Dejam, "Dispersion in non-Newtonian fluid flows in a conduit with porous walls," *Chemical Engineering Science*, 189, pp. 296-310, 2018.
- [6] . T. Sochi, "Flow of non-Newtonian fluids in porous media.," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* 48, vol. 23, pp. 2437-2767, 2010.
- [7] "e-education.psu.edu," [Online]. Available: <https://www.e-education.psu.edu/matse202/node/716>. [Accessed 21 7 2022].
- [8] R. P. Chhabra, "Non-Newtonian fluids: an introduction." *Rheology of complex fluids.*, *Springer, New York, NY.*, pp. 3-34, 2010.
- [9] . R. P. Chhabra, *Bubbles, drops, and particles in non-Newtonian fluids.*, CRC press, 2006.

- [10] . C. Fischer, S. A. Braun, P. E. Bourban, . V. Michaud, C. J. G. Plummer and J. E. Månson, "Dynamic properties of sandwich structures with integrated shear-thickening fluids," *Smart materials and structures*, 15, vol. 5, p. 1467, 2006.
- [11] R. Darby, "Take the mystery out of non-newtonian fluids," *Chemical Engineering*, vol. 3, no. 108, pp. 66-66., 2001.
- [12] X. Hao, Z. Leng, H. Wang, F. Peng and Q. Yan, "CO2-switchable non-Newtonian fluids," *Green Chemistry*, no. 22, pp. 3784-3790, 2020.
- [13] B. Rohrig, "No-Hit Wonder! D3O," [Online]. Available: <https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/2016-2017/february-2017/no-hit-wonder-d3o.html>. [Accessed 22 7 2022].
- [14] T. A. Savvas, N. C. Markatos and C. D. Papaspyrides, "On the flow of non-Newtonian polymer solutions," *Applied mathematical modelling*, vol. 1, no. 18, pp. 14-22., 1994.
- [15] A. Lindner, D. Bonn, . E. C. Poiré , M. B. Amar and J. Meunier, "Viscous fingering in non-Newtonian fluids.," *Journal of Fluid Mechanics*, no. 469, pp. 237-256., 2002.
- [16] D. Sybilski, "Non-Newtonian viscosity of polymer-modified bitumens," *Materials and Structures*, vol. 1, no. 26, pp. 15-23., 1993.
- [17] "sciencelearn.org.nz," [Online]. Available: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1502-non-newtonian-fluids>. [Accessed 22 7 2022].
- [18] S. Pappas, "livescience.com," [Online]. Available: <https://www.livescience.com/oobleck-mysteries-solved.html>. [Accessed 22 7 2022].
- [19] J. H. Choi, K. K. Kanazawa and N. J. Cho, "Effect of a Non-Newtonian Load on Signature S2 for Quartz Crystal Microbalance Measurements.," *Journal of Sensors*, p. 8, 2014.
- [20] V. da Silva Rosa and D. de Moraes Júnior, "Review Heat Transfer of Non-Newtonian Fluids in Agitated Tanks," *In Heat and Mass Transfer-Advances in Science and Technology Applications. IntechOpen.*, 2019.
- [21] . J. Herrera, M. Anik, A. Elzawawy and Y. Budhoo, "Application of shear thickening non-Newtonian fluid to minimize head and neck injury," in *In 11th LACCEI Latin American and Caribbean Conf. for Engineering and Technology*, 2013.
- [22] A. Dutta and . R. A. Mashelkar, "On slip effect in free coating of non-Newtonian fluids.," *Rheologica Acta*, vol. 1, no. 21, pp. 52-61, 1982.
- [23] F. Pinto and M. Meo, "Design and manufacturing of a novel shear thickening fluid

- composite (STFC) with enhanced out-of-plane properties and damage suppression," *Applied Composite Materials*, vol. 3, no. 24, pp. 643-660., 2017.
- [24] J. Ding, P. J. Tracey, W. Li, G. Peng, P. G. Whitten and . G. G. Wallace, "Review on shear thickening fluids and applications.," *Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST)*, p. 161, 2013.
- [25] M. Zarei and J. Aalaie, "Application of shear thickening fluids in material development," *Journal of Materials Research and Technology*, pp. 10411-10433, 2020.
- [26] T. Tian, . M. Nakano and W. Li, "Applications of shear thickening fluids: a review," *International Journal of Hydromechanics*, pp. 238-257, 2018.
- [27] A. Guzek, I. Shufrin, E. Pasternak and A. V. Dyskin, "Influence of drilling mud rheology on the reduction of vertical vibrations in deep rotary drilling," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, pp. 375-383, 2015.
- [28] . A. Bouzidane and M. Thomas, "An electrorheological hydrostatic journal bearing for controlling rotor vibration," *Computers & structures*, pp. 463-472, 2008.
- [29] J. Sun, S. Jiao, . X. Huang and H. Hua, "Investigation into the impact and buffering characteristics of a non-Newtonian fluid damper: Experiment and simulation," *Shock and Vibration 2014*, 2014.
- [30] . F. Golzar, . J. G. Chase and G. Rodgers, "Experimental testing of a re-centring viscous damper with non-Newtonian damping fluid," in *2019 Pacific Conference on Earthquake Engineering and Annual NZSEE Conference*, 2019.
- [31] . A. Rittweger, . J. Albus, E. Hornung, . H. Öry and P. Mourey, "Passive damping devices for aerospace structures," *Acta Astronautica*, pp. 597-608, 2002.
- [32] "materialdistrict.com," 8 2018. [Online]. Available: <https://materialdistrict.com/article/sports-bra-non-newtonian-material/>. [Accessed 22 07 2022].
- [33] C. Ben, "newatlas.com," 12 2018. [Online]. Available: <https://newatlas.com/anti-ordinarily-a1-ski-helmet/57592/>. [Accessed 22 07 2022].
- [34] J. Ding, W. Li and S. Z Shen, "Research and applications of shear thickening fluids," *Recent Patents on Materials Science*, pp. 43-49, 2011.
- [35] "materialsampleshop.com," [Online]. Available: <https://www.materialsampleshop.com/products/dilatant-impact-protection-material>. [Accessed 22 07 2022].

- [36] M. C. KUŞHAN, S. GÜRGEN, . T. ÜNALIR and S. ÇEVİK, "A novel approach for armor applications of shear thickening fluids in aviation and defense industry," *INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE*, p. 165, 2014.
- [37] R. G. Egres Jr and &. others, "Stab resistance of shear thickening fluid (STF)–Kevlar composites for body armor applications," *In Transformational Science And Technology For The Current And Future Force: (With CD-ROM)*, pp. 264-271, 2006.
- [38] L. C. Alil, S. M. Badea and F. Ilie, "CONSIDERATIONS REGARDING THE NEXT GENERATION OF BALLISTIC PROTECTIVE EQUIPMENT SUCH AS" LIQUID BODY ARMOR", *Scientific Bulletin-Nicolae Balcescu Land Forces Academy*, p. 97, 2014.
- [39] "mpelembe.net," 4 2015. [Online]. Available: <https://mpelembe.net/technology/innovation/liquid-body-armor-tested-in-poland/>. [Accessed 22 07 2022].
- [40] R. Nayak and &. others, "Body armor for stab and spike protection, Part 1: Scientific literature review," *Textile Research Journal*, pp. 812-832, 2018.
- [41] O. Çolpankan, Development of Liquid Body Armor Systems, Izmir: (Doctoral dissertation, İzmir Institute of Technology, İzmir), 2013.
- [42] . D. Pacek and R. Gieleta, "The fluid-based structure for human body impact protection," *In Journal of Physics: Conference Series*, p. 032016, 2020.
- [43] A. Saha and F. Avett, "Designing Shock Absorbing Composites by Impregnating Woven Fabrics with Shear Thickening Fluids," *Journal of Student Research*, vol. 10(2), 2021.
- [44] "https://www.devittinsurance.com/," 6 2016. [Online]. Available: <https://www.devittinsurance.com/blog/everything-you-need-to-know-about-d30/>. [Accessed 22 07 2022].
- [45] "https://www.d3o.com/," UK company, D3O, [Online]. Available: <https://www.d3o.com/>. [Accessed 22 07 2022].
- [46] A. A. Shargawi, Mechanical testing and evaluation of D3O® material for adequacy of an ergonomic intervention for vibration transmission reduction in aircraft manufacturing, Kansas, United States: Doctoral dissertation, Wichita State University), 2020.

Bilinmeyen Kapalı Bir Ortamda Otonom Hareket Edebilen İnsansız Hava Aracı

Ulanbek Toktogulov¹

Özet

İnsansız Hava Araçları (İHA) takip, gözetleme, denetim, taşımacılık, zirai ilaçlama, yangın söndürme ve savunma gibi çeşitli sektörlerde verimli hizmet verebilmektedir. Günümüzde terör ile mücadelede polis, jandarma ve asker gibi farklı güvenlik birimleri kapalı ve bilinmeyen ortamlarda görev yaparken istenmedik durumlarla karşılaşılabilir. Bu tür beklenmedik durumlar yaralanma ve hayatını kaybetme gibi olumsuz sonuçlara sebep olabilmektedir. Bu ölümcül kazaları en aza indirgeyebilmek için insansız hava araçları farklı ortamlarda otonom olarak dizayn edilmekte ve olumsuzlukların önüne geçilebilmektedir. Kapalı alanda operasyon sırasında düşmanları tespit edebilmek amacıyla İHA'yı otonom hareket ettirmek avantaj sağlayabilmektedir. Bu makale kapsamında, İHA türü araçlarla bilinmeyen kapalı ortamların çevresi hakkında bilgi edinmesi ve en iyi araç rotasına karar verebilmesi için uzaktaki operatöre bilgi sağlayan sensörler ve kameralar kullanılmaya üzere araştırma edilecektir. Makalede nesne tespiti için YOLO tabanlı gerçek zamanlı sistem kullanılacaktır. Hedefe ulaşıldığında çizilen dönüş yolu takip edilerek sistem otomatik dönüş için onay sağlanacaktır. Böylece baştaki koordinasyona geri dönülür ve iniş yapılır. Bu otonom hareket sonucunda bilinmeyen kapalı ortam keşfedilir ve çevre hakkında bilgi içeren harita oluşturulmuş olur. Bu çalışmada sadece savunma alanında değil; aynı zamanda çeşitli sektörlerde bilinmeyen ortamların haritasının çıkartılmasında, araç rotalanmasında, yangın/afet durum tespitinde, taşımacılık ve benzeri gerçek problemlerde kullanılabilecek kapasiteye sahip olacaktır.

Anahtar kelimeler: Otonom Navigasyon, YOLO, İHA, Haritalama, Yapay Zekâ

Disiplin: Havacılık ve Yapay Zeka

¹ Lisans, Gazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği.

Giriş

Günümüzde İnsansız Hava Aracı (İHA) teknolojisi gözetleme, keşif, taşımacılık, kamera çekimi ve zirai ilaçlama alanlarında faaliyet göstermektedir. Savunma alanında Döner Kanatlı İHA Türkiye’de ve diğer ülkelerde etkin şekilde kullanılsa da hala birtakım geliştirmelere ihtiyaç duymaktadır. Özellikle otonom hareket konusunda çalışmalar dikkat çekmektedir. Türkiye yapımı ‘Kargu-2’ [1] isminde Döner Kanatlı İHA [2] yapay zekâ teknolojisi sayesinde canlı hedefleri komut almadan tespit edip vurduğuna yer verildi. Terör ile mücadele eden polis, jandarma ve askerlerimiz bilinmeyen kapalı alanda görev yaparken istenmedik zararlara uğramaktadır. Bu beklenmeyen durumları ve çatışmaları en aza indirebilmek için güvenli bir yerde otonom kontrol edebilir. Bilinmeyen kapalı bir ortamda hareket edebilen Döner Kanatlı İHA otonom sürüşü önerilmektedir [3].

Global Konumlandırma Sistemi (GPS) [4] açık havada otonom navigasyon için aktif olarak hizmet vermektedir. Bununla birlikte GPS’in aktif olmadığı ya da kapalı mekanlarda GPS bilgilerinin alınmadığı durumlarda İHA’ların kontrol edilemediği dezavantajlarla karşılaşabilmektedir. Bu nedenle otonom araçlarda navigasyon konusu birçok zorluğu beraberinde getirmektedir.

Son yıllarda kapalı ortamlarda otonom navigasyon için birçok çözüm yolu ortaya konulmuştur. Bu çözümlerden biri bilinmeyen bir ortamın üç boyutlu haritasını ortaya çıkarmaktır. Bunun için mesafe tanımlama (LİDAR) [5], RGB-D sensörler ve Stereo Vision cihazın hangi konumda olduğuna yardımcı olur [6]. Bu süreç yaygın olarak literatürde Eşzamanlı Yerleştirme ve Haritalama olarak bilinir (SLAM) [7]. Ancak, bu işlem hesaplama açısından maliyetli bir süreçtir ve gerçek zamanlı senaryoların çoğunda başarısız olabilmektedir. Bu araştırma makalesinde, Döner Kanatlı İHA’nın kapalı bir ortamda çok fazla hesaplama yükü olmadan otonom hareket edebilen bir sistem tanımlamaktayız. Makale kapsamı aracın otonom modu olduğundan dolayı monoküler kamera [8] ve sensörler gibi birtakım donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kapalı bir ortamda İHA tamamen otonom modunda ise sadece kamera kullanılmaktadır. Bu tür bir modda aracın, yapay zekanın bir alt dalı olan Derin Öğrenme algoritmalarını kullanarak otonom hareket etmesi sağlanacaktır. Bu aşamada rotada güvenli ilerleme ve nesne tespiti için Evrişimli Sinir Ağı (CNN) mimarisi olan DenseNet-161 [9] ve YOLO [10] gibi gerçek zamanlı tanımlama algoritmaları kullanılacaktır.

Amaç ve Hedef

Döner kanatlı İHA bilinmeyen kapalı bir ortamda otonom hareket edebilir ve savunma, itfaiye ya da taşımacılık gibi alanlarda rahatlıkla kullanılabilir. Makale kapsamı; yapay zekâ, makine öğrenmesi ve görüntü işleme tabanlı kontrol-kumanda uygulamaları içerecektir. Bu kapsamda planlamaya yönelik çalışmalar yapılacaktır. Böylelikle ülkemizin AI-Robotics sektöründe dünyada öncelikli hale gelebileceğini düşünülmektedir.

Bu araştırma kapsamı Döner Kanatlı İHA bilinmeyen kapalı bir ortamda otonom hareket edebilen, görüntü işlemede nesne tespiti ve gerçek zamanlı algılama teknolojisi özgünlüğü içermektedir. Deprem sırasında yıkılmış binalarda, mağara içerisinde veya belirsiz kapalı alanlarda bulunan kişiler bu projenin çıktısından yararlanabilecek ve navigasyona erişilemediği yerlerde otonom işleviyle süreç tamamlanabilecektir.

Makale çıktısındaki aracın diğerlerinden temel farkı tamamen derin öğrenme algoritmaları içermesi, otonom hareket etmesi ve tarım, taşımacılık, afet yönetimi, yangın söndürme gibi farklı alanlarda kullanılacak özellikte tasarlanmasıdır. Görüntü işlemede ve nesne tespitinde derin öğrenme algoritmaları üzerinde geliştirmeler ve testler gerçekleştirilecektir.

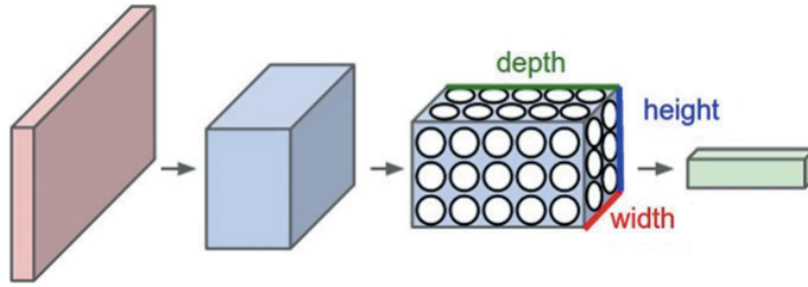
Yöntem

Sistemimizin amacı Döner Kanatlı İHA bilinmeyen kapalı bir ortamda özerk olarak gezinmesini sağlamaktır. Bu araç otonom şekilde çalışacağından dolayı otonom kısmında bir insan pilotun makul gerçek zamanlı kararlar alma yeteneklerini taklit etmektedir. Görüntüler, İHA'ya bağlı öne bakan bir kamera tarafından oluşturulur. Eğitimli sınıflandırıcı ve güvenli navigasyon için gerçek zamanlı bir uçuş kontrolü araç tarafından otonom sağlanacaktır. Sınıflandırıcı, uzman pilot eylem seçimi ile eğitilir. Eğitim sürecimiz, sınıflandırıcının minimum hata olasılığı ile çalışması ve navigasyonu kontrol etmek için en etkili stratejiyi öğrenmesini sağlar. Modelin eğitimi için son teknoloji bir CNN modeli olan DenseNet-161 kullanılabilir [11]. Modelin eğitimi denetimli öğrenme yaklaşımı ile yapılabilir. Bu araç fiziksel bir labirent tarzı kapalı ortamda test edilmeden önce bir simülasyonda yazılımsal olarak test edilecektir. Model parametreleri, sentetik veri seti ile ince ayarlarla belirlenecektir. Eğitilen modele girişler, İHA'nın önünde bulunan kameradan alınan gerçek zamanlı bir görüntüleri içerecektir. Bu modelin çıktısı; ileri git, sağa kaydır, sola kaydır ve dur gibi farklı sınıf etiketlerinin olasılığını kapsayacaktır. Derin öğrenme sisteminde çıktının güven değeri düşükse

eğitime devam etmek için model tekrar bir sonraki kareye bakacaktır. Aksi takdirde İHA'ya geçerli bir uçuş komutu ile geri döndürülecektir.

Nesne Tespit Sistemi

Bilgisayarlı görü (*computer vision*), bilgisayarların dijital görüntülerden veya videolardan nasıl bir anlam kazanabileceğiyle ilgilenen disiplinler arası bilimsel bir alandır. Kısacası hedef tanıma yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde bilgisayar renklerin farklılığını algılar, pikseli adlandırır ve görüntünün tüm boyutunu sunan bir sensor haline getirir. Gri tonlamalı görüntü Şekil 1'de yansımakta, her bir piksel rengin yoğunluğuna göre orantılı olarak değişen sayılarda bir değere sahiptir. Sayısal Görüntünün tespiti yazılım programı ile yapılır. Sayısal değerlerin tanımlanması, piksel cinsinden bir görüntünün tespiti için programlanmış bir yazılım aracılığıyla yapılır [12, 13].



Şekil 1. ConvNet, nöronları katmanlardan birinde görselleştirildiği gibi üç boyutta (genişlik, yükseklik, derinlik) düzenler. ConvNet'in her katmanı, 3B giriş hacmini nöronal aktivasyonların 3B çıkış hacmine dönüştürür.

Pikselden oluşan görüntü özellikleri, bilgisayarlı görü ile başlayan ilk fonksiyondur. Bu fonksiyona karakteristik özellikler denir. Burada farklı soyutlama seviyeleri renkler, açılar ve bir görüntünün nesnelere ya da bir kişinin özelliklerini tanımlamaktadır [14]. Bu Özelliklerin işlevi, görüntüleri sınıflandırmak için sığ odak veya denetimsiz öğrenme gibi araçları kullanır. Geliştirilen hedeflerin tespitinin ana odak noktası, Birlikte Evrimsel Sinir Ağları (CNN) destekli bir öğrenme algoritması aracılığıyla çalışan denetimsiz bir yaklaşıma dayanmaktadır [15].

YOLO

YOLO (You Only Look Once), canlandırıcı bir şekilde basittir. YOLO tam görüntülerle çalışarak doğrudan algılama performansını optimize eder. Bu birleşik model, geleneksel nesne algılama yöntemlerine göre birçok faydaya sahiptir. İlk olarak, YOLO son derece hızlıdır. Algılamayı bir regresyon problemi olarak çerçevelediğimizden, karmaşık bir boru hattına ihtiyaç duymamaktadır. Algılamayı tahmin etmek için sinir ağını, test zamanında yeni bir görüntü üzerinde çalıştırmaktadır [16].

RetinaNet, iki aşamalı dedektörlerin (Hızlı-RCNN gibi) performansına sahip tek aşamalı bir nesne detektörüdür (SSD ve YOLO gibi).

Mimarisi

YOLOv3 özellik çıkarma işlemini gerçekleştirmek için yeni bir ağ kullanmaktadır. Yeni ağları, YOLOv2, Darknet-19'da kullanılan ağ ile bu yeni ağa bağlanmıştır [17]. Artık ağ öğeleri arasındaki karma bir yaklaşım bulunmaktadır. Ağı art arda 3×3 ve 1×1 evrişimli katmanlar kullanmaktadır, ancak bazı kısa yol bağlantıları da bulunmaktadır ve önemli ölçüde daha büyüktür. Bu mimari 53 tane evrişimsel katmandan oluşmaktadır. YOLOv3 ün mimarisi Şekil 2'de görülmektedir.

	Tip	Filtre Boyutu	Çıktı
	Evrişimsel	32 3×3	256 x 256
	Evrişimsel	64 $3 \times 3 / 2$	128 x 128
1x	Evrişimsel	32 1×1	
	Evrişimsel	64 3×3	
	Kalıntı		128 x 128
2x	Evrişimsel	128 $3 \times 3 / 2$	64 x 64
	Evrişimsel	64 1×1	
	Evrişimsel	128 3×3	
8x	Kalıntı		64 x 64
	Evrişimsel	256 $3 \times 3 / 2$	32 x 32
	Evrişimsel	128 1×1	
8x	Evrişimsel	256 3×3	
	Kalıntı		32 x 32
	Evrişimsel	512 $3 \times 3 / 2$	16 x 16
8x	Evrişimsel	256 1×1	
	Evrişimsel	512 3×3	
	Kalıntı		16 x 16
4x	Evrişimsel	1024 $3 \times 3 / 2$	8 x 8
	Evrişimsel	512 1×1	
	Evrişimsel	1024 3×3	
	Kalıntı		8 x 8
	OrtHavuz Bağlı Softmax	Küresel	1000

Şekil 2. YOLOv3 mimarisi

SSD

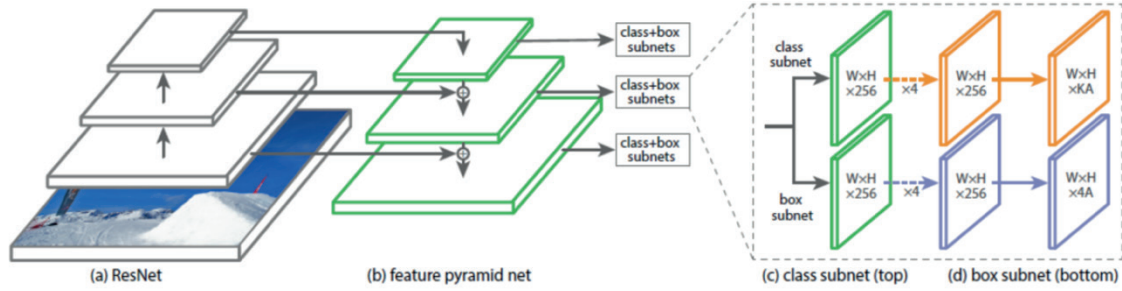
Single Shot MultiBox Detector (SSD), hem algılama doğruluğu hem de algılama hızında yüksek performansa sahiptir. Ana fikri, görüntünün farklı yerlerinde yoğun ve eşit bir şekilde

örnekleme. SSD, Faster R-CNN'deki çapa kavramından yararlanır [18]. Örnekleme sırasında, nesne sınırlayıcı kutu, farklı ölçek ve en boy oranlarına sahip önsel kutular tarafından tahmin edilir, ardından öznitelik CNN tarafından çıkarılır ve ardından doğrudan sınıflandırılır ve geri çekilir. Tüm süreç sadece bir adıma ihtiyaç duyar.

RetinaNet

Günümüzde kullanılan son teknoloji ürünü nesne algılama dedektörleri Faster R- CNN modelinin popüler hale getirdiği iki aşamalı modellerdir. Bu teknolojiye ilk aşama seyrek bir aday nesne konumlar kümesi oluşturur ve ikinci aşama ise bu aday konumları ön plan sınıflarından ya da evrimsel sinir ağı kullanarak arka plan olarak sınıflandırır. Bu modellerin doğruluk oranı yüksek olmakla birlikte tek aşamalı dedektörlere göre oldukça yavaştır. RetinaNet ile yeni bir kayıp işlevi ekleyerek Faster R-CNN ya da Mask R-CNN nüshası taşıyan yeni bir dedektör oluşturulmuştur. Burada tek aşamalı dedektörlerin yaşadığı ana sorun olan eğitim aşamasındaki sınıf dengesizliği iki aşamalı dedektörlerde aday bölge önerisiyle giderilmektedir. İki aşamalı nesne algılama dedektörleri belirli sayıda aday bölge ile ilgilenirken tek aşamalı dedektörler binlerce aday nesne konumunu işlemelidir. YOLO ve SSD gibi tek aşamalı dedektörlerde görüntü başına ortalama 104-105 sınıf aday konumu değerlendirilirken yalnızca birkaç tanesi nesne içermektedir. Bu durum hem eğitimin verimsiz olmasına hem de modelin üretken olmamasına neden olur. RetinaNet modeli ile doğru sınıfa olan güven arttıkça ölçeklendirme faktörünün sıfıra düştüğü dinamik olarak ölçeklenmiş bir çapraz entropi kaybı önerilmiştir. Bu öneriye göre ölçeklendirme faktörüne kolay örneklerin katkısı azaltılırken eğitim zor örneklerin üzerine yoğunlaşmaktadır. ResNet-101-FPN omurgasına inşa edilen RetinaNet modeli MS COCO test setinde 39.1 doğruluk elde ederek önceki tüm tek aşamalı ve iki aşamalı detektörlerden daha iyi performans göstermiştir [19].

Şekil 3'de tek aşamalı nesne tespit dedektörlerinden olan RetinaNet modelinin yapısı gösterilmektedir. RetinaNet bir omurga iki alt ağdan oluşmaktadır. Omurga giriş görüntüsünün tamamı üzerinde bir evrimsel özellik haritası hesaplamaktan sorumludur. Birinci alt ağ omurganın çıktısı üzerinde evrimsel nesne sınıflandırması gerçekleştirir. İkinci alt ağ ise evrimsel sınırlayıcı kutu regresyonu gerçekleştirir.



Şekil 3. RetinaNet modelinin mimarisi [19].

Diğer modellerle son performans değerlendirmesine göre RetinaNet modeli, %39,1 ortalama başarı oranı elde ederken DSSD513 tek aşamalı nesne tespit dedektörü %33,2 ve Faster R-CNN iki aşamalı nesne tespit dedektörü %36,8 ortalama başarı oranı elde etmiştir [19].

Veri Seti

YOLOv3 veri seti olarak COCO veri kümesini kullanmaktadır. COCO, İçerikte Ortak Nesnelere (Common Objects in Context) temsil etmektedir. Adından da anlaşıldığı üzere, COCO veri kümesindeki görüntüler günlük sahnelerden alınmaktadır ve bu sayede sahnelerde yakalanan nesnelere “bağlam” eklenebilmektedir [20]. Bunu açıklamak için bir benzetme yapılabilmektedir. Bir görüntüdeki bir kişi nesnesinin tespit edilmek istendiği varsayılmıştır. Bağlamsal olmayan, yalıtılmış bir görüntü, bir kişinin yakın bir fotoğrafı olmaktadır. Fotoğrafa bakıldığında, bunun sadece bir kişinin imajı olduğu söylenebilmektedir. Bununla birlikte, sadece kişinin değil, aynı zamanda stüdyonun veya çevredeki sahneyi de çeken başka tamamlayıcı görüntüler olmadan fotoğrafın çekildiği ortamı tanımlamak zor olmaktadır [21].

Lidar Sistemi

Günümüzde maliyet oldukça önemli bir husus olarak karşımıza çıkmakta ve en uygun maliyetli İHA ve görüntü algılayıcılar tercih edilmektedir. Otonom sistemleri ile donatılmış teknolojik olarak gelişmiş tam otomatik (otonom) İHA türlerinden ziyade daha basit ve temel ihtiyaçları karşılayan yarı-otomatik kontrollü araçlar da fotogrametrik veriler sağlamaktadır. Söz konusu İnsansız Hava Araçların kapalı alan çalışmalarında kullanımı da hızla artmaktadır [22]. Bu artışı hızlandıran, LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) benzeri 3B nokta bulutlarının üretiminde kullanılan “Structure-from-Motion” (SfM) tekniğinin etkisi büyüktür. Hassas ölçüm

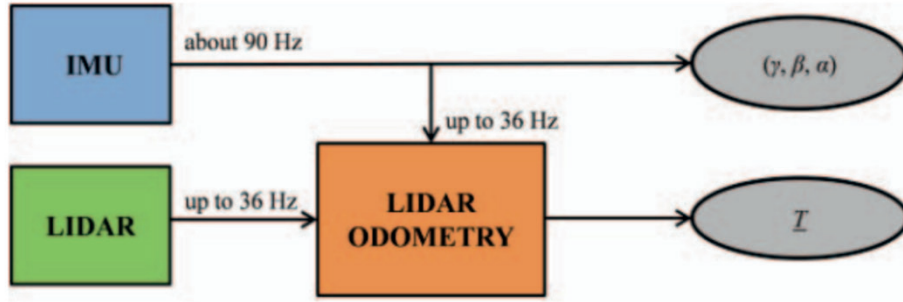
sonuçlarının elde edildiği LiDAR benzeri 3B nokta bulutu üretilebilmekte olup farklı çalışmalarda (orman, jeoloji, arkeoloji, tarım gibi) sayısal veriler üretilmektedir.

İHA destekli SfM ile gerçekleştirilen çalışmalardan üretilen verilere ait doğruluklar farklı olabilmektedir. SfM algoritması ile çalışan birçok ticari ve açık kaynak kodlu yazılımın ortaya koyduğu sonuçlara ait hassasiyet ve performans çok büyük farklılıklar göstermemektedir [23]. Ancak kullanılan hava platformu, sensör ve uçuş planının oluşturulması farklı doğrulukta veri üretimine neden olmaktadır. Çalışma hassasiyetinde etkili olan taşıyıcı platformun özelliğine ek olarak uçuş yüksekliği, fotoğraf bindirme oranı ve çevresel faktörlerde etkili olmaktadır. Genel hatları ile veri üretim aşamaları bilinen bir uygulama olan İHA destekli SfM çalışmalarının belirli bir standartta olması gerekmektedir.

Tarama Eşleştirme İle Yerelleştirme

Lokalizasyon, hibrit bir LIDAR/Atalet Odometri algoritması (L/I-O) ile gerçekleştirilir. Bu, uçan araç pozunun, bir 2D LIDAR tarafından sağlanan iki ardışık taramanın bir tarama eşleştirme yaklaşımı vasıtasıyla tekrar tekrar kaydedilmesiyle elde edilen konum bilgisi ile bir IMU'dan gelen durum bilgisinin entegre edilmesiyle izlendiği anlamına gelir. Tabii ki, odometri kavramıyla uyumlu olması için MAV'nin ilk pozunun yörüngenin başlangıcında tam olarak bilinmesi gerekir [24]. Genel olarak konuşursak, 2B tarama eşleştirme, poz arama alanında en uygun döndürme ve çeviri, yani en iyi hizalamayı sağlayanlar için bakarak iki 2B veri setini (yani bir referans tarama ve bir geçerli tarama) kaydetme sorunudur. Bilerek tanımlanmış bir hata fonksiyonunu en aza indirerek [25]. Tipik olarak, referans taraması aracın hareket ettiği ortamı temsil eder ve önceden oluşturulmuş bir harita veya önceki bir tarama olabilir, mevcut tarama ise ilgili zamanda mevcut menzil sensörü tarafından sağlanan ölçüm veri setidir.

L/I-O algoritması, konumu doğrudan bir IMU'dan yüksek frekansta (yaklaşık 90 Hz) çıkarırken, konum, noktadan noktaya tarama eşleştirmesine dayalı bir LIDAR odometri tekniği kullanılarak daha düşük frekansta (36 Hz'e kadar) algoritma tahmin edilir. Bu sistem mimarisini tanımlayan bir blok diyagram Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Yerelleştirme için sistem mimarisini açıklayan blok diyagramı.

Tarama eşleştirme algoritması aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. t_k ve t_{k+1} , iki LIDAR taramasının elde edildiği iki ardışık zaman anı olsun ve $PLRF(t_k)$ ve $PLRF(t_{k+1})$ LRF'de karşılık gelen nokta bulutları olsun. İlk olarak, bu nokta bulutlarını LRF'den, MAV'nin mevcut konumunda orijini ile ENU'ya hizalanmış (ve dolayısıyla LRF orijini ile çakışık) yeni bir çerçeve olan Araç Referans Çerçevesine (VRF) dönüştürmek için bir koordinat dönüşümü uygulanır. Bu (1)'de gösterildiği gibi yapılır.

$$\begin{aligned} \underline{\underline{P}}^{VRF}(t_k) &= \underline{\underline{R}}_{VRFtoLRF}(\gamma_k, \beta_k, \alpha_k)^T \underline{\underline{P}}^{LRF}(t_k) \\ \underline{\underline{P}}^{VRF}(t_{k+1}) &= \underline{\underline{R}}_{VRFtoLRF}(\gamma_{k+1}, \beta_{k+1}, \alpha_{k+1})^T \underline{\underline{P}}^{LRF}(t_{k+1}) \end{aligned} \quad (1)$$

Burada $R_{VRFtoLRF}$, VRF'ye göre LRF'nin tutumunu temsil eden rotasyon matrisidir. İkinci olarak, $P_{VRF}(t_{k+1})$, yani mevcut taramayı $P_{VRF}(t_k)$, yani referans taramaya hizalamak için gerekli döndürme ve çevirmenin en iyi tahminini bulmak için ICP algoritmasının özelleştirilmiş bir versiyonu uygulanır. Spesifik olarak, algoritma, çıktıda, t_k 'den t_{k+1} 'e kadar olan zaman aralığında meydana gelen iki VRF arasındaki Euler açılarının (a,b,c) ve konum vektörünün (T) varyasyonunun bir tahminini sağlar.

Sonuç

Kapalı alanda otonom hareket edebilen İHA'da LİDAR sistemi ve Görüntü işleme algoritmaları kullanılacaktır. Bina içerisinde çıkış yolu komut almadan bulabilmektedir aksi takdirde ilk koordinasyona geri dönebilmektedir. Bu yöntem için YOLO kütüphanesinde gerçek zamanlı nesne tespiti yapılmaktadır. Detaylı bilgiler yöntemler kısmında verilmiştir. Bu araştırma kapalı alanda GPS kullanmaksızın tamamen otonom hareket edebilen ve nesneyi tespit edebilen İnsansız Hava Aracı diğer çalışmalardan farklılaştıran özgün değere sahiptir. Bu çalışmanın

çıktılarının bilimsel değerlerinin olması için bilimsel konferanslara gönderilmesi ve sözlü sunumlarının yapılması planlanmaktadır. Ayrıca sonuçlar beklenen başarıyı verdiği takdirde çalışmanın alanında iyi bilimsel dergilere değerlendirilmek üzere gönderilmesi planlanmaktadır.

Bu makale kapsamında yeni teknoloji uygulamaları kullanılmaktadır. Bilişim çağında İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanım alanları geniş bir sektör haline gelmektedir. Bugünlerde İHA doğal afet, tarım, yangın söndürme sektörlerinde faaliyet göstermektedir. Bu ürünler kapalı alanda GPS navigasyonu bulunmadığı yerde otonom hareket edebilmektedir. Deprem sonrası arama/keşif alanında da bu ürün kullanılabilir. Derin Öğrenme algoritmaları kullanılarak hata oranının en düşük hale getirilmesi sağlanabilmektedir. Böylece nesne tespitinde doğruluk oranı yaklaşık olarak %97,65 gibi yüksek bir orana ulaşabilmektedir. Modelin sınıflandırılmasına göre doğruluk oranı daha fazla yükselebilmektedir. Buna ek olarak yangın söndürme sektöründe bu ürün iyi bir rol oynamaktadır. Mal/eşya/ürün taşıma, hayvan ve insan kaynaklarının arama kurtarma faaliyetlerinde de İHA'lar önemli roller oynamaktadır. Kapalı alanlarda polis ve askerler görev başındayken karşılaşılabilecek zararların minimize edilebilmesi için bu ürünler kullanılmaktadır.

Bu araştırma ilgili alanda bir potansiyel başlangıç adımı oluşturacaktır. Sadece bilimsel araştırmalarla kalmayıp projenin prototip çıktısının da elde edilmesi sağlanacaktır. Kapalı alanda yapılan bu proje süreci aynı şekilde açık alanlar içinde bir domino etkisi yapabilecektir. Bunun yanında lisans eğitimi sonrası lisansüstü eğitim içinde bir motivasyon sağlanacaktır.

Kaynakça

1. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.sabah.com.tr/dunya/2021/05/31/dunya-kargu-2-ihalarini-konusuyor-tarihte-bir-ilke-imza-atti?paging=3>. [Erişildi: 20 06 2022].
2. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.stm.com.tr/tr/cozumlerimiz/otonom-sistemler/kargu>. [Erişildi: 20 06 2022].
3. A. R. e. al., «Developments and Advances in Defense and Security,» *Smart Innovation, Systems and Technologies*, cilt 181.

4. Abbott, E., Powell, D., «Land-vehicle navigation using gps.,» *Proceedings of the IEEE*, no. 87, p. 145–162, 1999.
5. Ramasamy, S., Sabatini, R., Gardi, A., Liu, J., «LIDAR obstacle warning and avoidance system for unmanned aerial vehicle sense-and-avoid.,» *Aerospace Science and Technology*, no. 55, p. 344–358, 2016.
6. McGuire, K., de Croon, G., De Wagter, C., Tuyls, K., Kappen, H., «Efficient optical flow and stereo vision for velocity estimation and obstacle avoidance on an autonomous pocket drone.,» *IEEE Robotics and Automation Letters*, no. 2, p. 1070–1076, 2017.
7. Engel, J., Schops, T., Cremers, D., «Lsd-slam: Large-scale direct monocular slam.,» *European Conference on Computer Vision*, p. 834–849, 2014.
8. Bloesch, M., Weiss, S., Scaramuzza, D., Siegwart, R., «Vision based mav navigation in unknown and unstructured environments.,» *2010 IEEE international conference on, IEEE*, p. 21–28., 2010.
9. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G.E., «Imagenet classification with deep convolutional neural networks.,» *Advances in neural information processing systems*, p. 1097–1105, 2012.
10. Qi, C.; Nyalala, I.; Chen, K., «Detecting the Early Flowering Stage of Tea Chrysanthemum Using the F-YOLO Model.,» *Agronomy*, cilt 834, no. 11, 2021.
11. Huang, G., Liu, Z., Weinberger, K.Q., van der Maaten, L., «Densely connected convolutional networks.,» *roceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, p. 3, 2017.
12. Aguilar, W.G., Salcedo, V.S., Sandoval, D.S., Cobeña, B., «Developing of a video-based model for UAV autonomous navigation.,» *Latin American Workshop on Computational Neuroscience*, p. 94–105 , 2017.
13. Aguilar, W.G., Manosalvas, J.F., Guillén, J.A., Collaguazo, B., «Robust motion estimation based on multiple monocular camera for indoor autonomous navigation of

- micro aerial vehicle,» *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, p. 547–561, 2018.
14. Pusiol, P.D., «Redes Convolucionales en Comprension de Escenas,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/ar/> . [Erişildi: 12 01 2020].
15. Aguilar, W.G., Luna, M.A., Ruiz, H., Moya, J.F., Luna, M.P., Abad, V., Parra, H., «Statistical abnormal crowd behavior detection and simulation for real-time applications,» *International Conference on Intelligent Robotics and Applications*, p. 671–682, 2017.
16. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi A. , «You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,» *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2-8, 2017.
17. Redmon, J. and Farhadi, A., «YOLOv3: An Incremental Improvement,» *University of Washington*, pp. 1-5, 2017.
18. Wei Liu and Alexander C. Berg,, «SSD: Single Shot MultiBox Detector,» *Google Inc.*, 2016.
19. T.-Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He ve P. Dollar,, «Focal Loss for Dense Object Detection,» *Facebook AI Research (FAIR)*, 2017.
20. Caesar, H., Uijlings, J. and Ferrari V. , «COCO-Stuff: Thing and Stuff Classes in Context.,» *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3-6.
21. Caesar, H., Uijlings, J., Maire, M., Lin, T.-Y., Dollar, P. and Ferrari, V., «The COCO 2017 Stuff Challenge.,» *ICCV17*, pp. 15-17, 2017.
22. Yurtseven, H., Akgul, M., Coban, S., & Gulci, S., «Determination and accuracy analysis of individual tree crown parameters using UAV based imagery and OBIA techniques.,» *Measurement*, no. 145, pp. 651-664, 2019.
23. Akgul, M., Yurtseven, H., Gulci, S., & Akay, A.E., «Evaluation of UAV-and GNSS based DEMs for earthwork volume,» *Arabian Journal for Science and Engineering*, no.

43, pp. 1893-1909, 2018.

24. D. Scaramuzza, and F. Fraundorfer, , «Visual odometry [tutorial],» *IEEE Robotics & Automation Magazine*,, cilt 18, pp. 80-92,, 2011.

25. A. Censi, L. locchi, and G. Grisetti,, «Scan matching in the Hough domain,» *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'05)*, pp. 2739-2744,, 2005.



ULUSLARARASI
ÖĞRENCİ
SEMPOZYUMU
International Student Symposium

23-25 | 20
EYLÜL | 22

KAHRAMANMARAŞ
SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ