
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİNDE İLERİ ARAŞTIRMALAR

Editör: Doç. Dr. Murat TOREN

Elektrik-Elektronik ve Haberleşme Mühendisliğinde İleri Araştırmalar

Editör

Doç. Dr. Murat TOREN

yaz
yayınları

2024

**Elektrik-Elektronik ve Haberleşme
Mühendisliğinde İleri Araştırmalar**

Editör: Doç. Dr. Murat TOREN

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-6171-54-1

Aralık 2024 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Monocrystalline vs. Polycrystalline: A Case for Optimal Solar Power Design in Turkey	1
<i>Murat TOREN, Hakkı MOLLAHASANOĞLU, Cenk Batur GUZEL</i>	
Labview Based Data Measurement and Logging Application	22
<i>Batın DEMİRCAN</i>	
Maglev ve Hyperloop Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi: Geleceğin Yüksek Hızlı Taşımacılık Çözümleri	36
<i>Hakkı MOLLAHASANOĞLU, Ufuk Kemal OZTÜRK, Murat ABDİOĞLU</i>	
Görüntü İşleme ile Araç Yoğunluğuna Bağlı Trafik Sinyalizasyonu	56
<i>Çağatay ERSİN, Müslüm GÜR</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

MONOCRYSTALLİNE VS. POLYCRYSTALLİNE: A CASE FOR OPTİMAL SOLAR POWER DESIGN İN TURKEY

Murat TOREN¹

Hakki MOLLAHASANOGLU²

Cenk Batur GUZEL³

1. GİRİŞ

The global shift to renewable energy is essential for combating climate change, reducing greenhouse gas emissions, and achieving sustainable energy security. Among renewable sources, solar energy stands out due to its abundance and sustainability. Photovoltaic (PV) systems have seen increased adoption across various applications, driven by technological advancements and cost reductions (Khare, Chaturvedi, ve Mishra 2023; Mohanty vd. 2016). Studies evaluating PV systems have highlighted the importance of performance indices such as energy generation capacity and performance ratios (PR). For instance, a 2.07 kWp system in Norway achieved a PR of 83.03%, while another in Slovenia recorded 68.84%, emphasizing the role of module orientation and tilt angle (Marwan, Suhono, ve Subekti 2024; Abdul-Ganiyu vd. 2021; Seme vd. 2019). Turkey, with its significant solar potential (1,500–2,200 kWh/m² annual-

¹ Asst. Prof. Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical and Electronics Engineering, murat.toren@erdogan.edu.tr, ORCID: 0000- 0002-7012-7088.

² Res. Asst. Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical and Electronics Engineering, hakki.mollahasanoglu@erdogan.edu.tr, ORCID: 0000- 0001-6233-9198.

³ Std. Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical and Electronics Engineering, cenkbatur_guzel17@erdogan.edu.tr, ORCID: 0000- 0002-2953-8117.

ly), has implemented incentives like feed-in tariffs and tax immunity to promote solar energy, achieving over 13,000 operational solar plants by 2024. Despite this progress, the country still heavily relies on fossil fuels. Regions such as Artvin, with moderate solar resources and challenging climatic conditions, benefit from innovations like monocrystalline and polycrystalline PV technologies and optimized panel configurations, which enhance energy output even in less favorable climates (Benli ve Gürtürk 2021; Fezzani vd. 2023; Sharma vd. 2022). Economic factors, including the levelized cost of electricity (LCOE) and payback periods, are critical for assessing PV projects' viability. Monocrystalline panels are preferred for their superior efficiency, while polycrystalline panels are cost-effective in constrained scenarios (Martinez ve Iglesias 2024; Ali ve Najafi 2022; Çinici ve Acir 2023). This study focuses on a 2 MW solar plant design in Artvin, comparing monocrystalline and polycrystalline panels using PV*SOL software. The analysis addresses system optimization based on local climatic data and evaluates economic impacts, such as payback periods and financial viability (Benli ve Gürtürk 2021). Technologies like electrostatic cleaning and optimized cooling methods have shown potential in mitigating losses. For example, water-based cooling systems outperform air-cooled or hybrid methods (Kabeel, Abdelgaied, ve Sathyamurthy 2019; Alsharif vd. 2023). Innovative tools such as PVGIS and PVSyst aid in system design and performance evaluation, as evidenced by studies demonstrating their accuracy in simulating 1 MWp PV systems (Yadav vd. 2024).

This research aims to guide policymakers and investors in optimizing solar energy projects, particularly in regions with moderate solar potential like Artvin. The insights contribute to advancing renewable energy adoption, ensuring a sustainable transition to clean energy sources.

2. MATERIAL AND METHOT

This section details the methodological framework employed in designing and analyzing the 2 MW solar power plant located in Ardanuç, Turkey (Latitude: 41.1231°N, Longitude: 42.0556°E, Altitude: 580 m). The study combines site-specific geographical and meteorological data, component selection, system sizing, and performance simulations to identify the optimal photovoltaic technology for the region.

Table 1 offers a detailed comparison of the physical and electrical characteristics of the polycrystalline and monocrystalline panels employed in this study. Polycrystalline panels were particularly chosen for their affordability and higher efficiency under moderate environmental conditions.

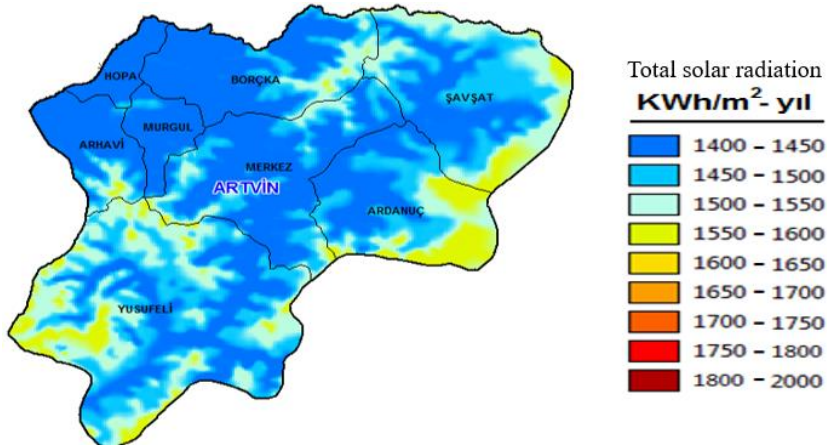


Figure 1. Annual Solar Radiation of Artvin City [18]

Solar irradiation levels and sunshine durations were analyzed using historical data to estimate energy potential. The 2 MW solar power plant was designed based on three different PV technologies: monocrystalline and polycrystalline panels. Each

technology was evaluated for its energy production efficiency, spatial requirements, and financial feasibility. Key design parameters, including module specifications and inverter configurations, were selected to optimize performance while meeting grid connection standards. Table 1 compares the electrical and physical characteristics of the polycrystalline and monocrystalline panels utilized in this study. Notably, polycrystalline panels were selected for their cost-effectiveness and superior efficiency under moderate operating conditions.

Table 1. Main Features of the Modules used in the study

Features	Polycrystalline Module	Monocrystalline Module
Model	HiKu5 CS3Y435-460P	JAM72S20-450/MR
Country	Kanada	Çin
Type	Polycrystalline	Monocrystalline
Price	57 Euros	52 Euros
Product Guarantee	12 Years	12 Years
Maximum Power	450 Wp	450 Wp
Voltage at Maximum Power	42.4 V	41,52V
Current at Maximum Power	10.62 A	10.84A
Open Circuit Voltage	51.6 V	49,7 V
Short Circuit Current	11.28 A	11.36 A
Panel Efficiency	19,10 %	20,30 %

As part of the selection process for a suitable inverter, a comprehensive analysis of Turkey's grid requirements and the inverter market was conducted. Based on this analysis, the Huawei SUN-2000-100KTL-M1 100 kW Three-Phase Inverter, manufactured by the German company Huawei Technologies, was selected. This inverter is distinguished by its high power density, intelligent design, efficiency, and robust safety features. It delivers high performance at low costs and is engineered to function reliably under challenging climatic conditions. The selection was based on its adherence to Turkey's grid code requirements and its exceptional efficiency.

For a complete system, additional components such as cables, junction boxes, wires, and other essential elements must be included during assembly. To estimate these costs, local companies in Turkey were consulted. The costs encompass operation and maintenance, calculated at 0.02 Euro/Wp, with cables, junction boxes, wires, and electrical components comprising 1% of the total system cost. Table 2 provides an overview of the estimated costs for various PV system types.

Table 2. Cost of PV System Installation and Electrical Components

System Type	Cost per PV Nominal Power
Polycrystalline	0.125 Euro/Wp
Monocrystalline	0.115 Euro/Wp

The sizing of the PV system was conducted using a step-by-step approach, incorporating various calculations to ensure accurate design and efficient operation. The AC active power to be delivered under optimal conditions was calculated based on the planned output power (3 MW), power factor, inverter apparent power, and grid voltage. AC active power was determined

using Equation 1, and its dependency on the power factor was illustrated in Figure 2.

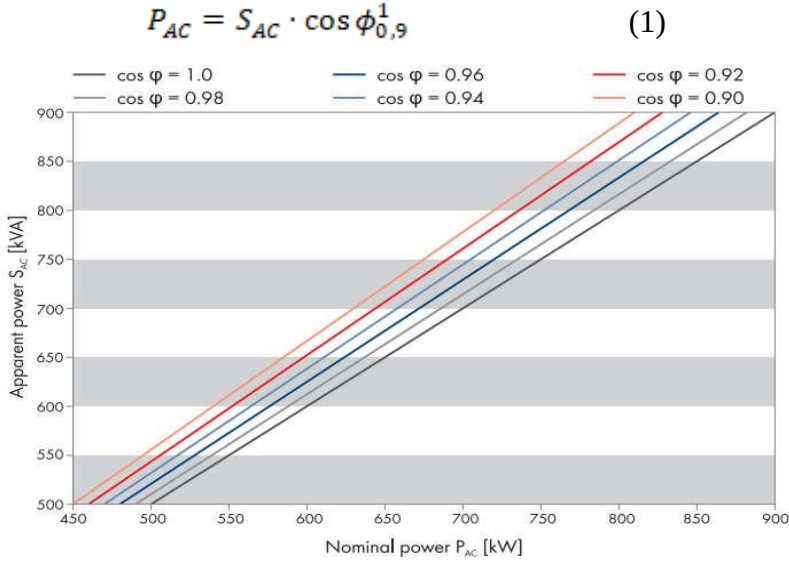


Figure 2. AC Active Power Depending on Power Factor

The DC input power required by the inverter to achieve the desired AC output power was calculated by taking into account the inverter's efficiency. This calculation, performed using Equation 2, yielded a result of 1016 kW.

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta} \quad (2)$$

In this equation, P_{DC} represents the DC power of the inverter, P_{AC} is the AC active power of the inverter, and η denotes the efficiency of the inverter. The PV array was aligned with the inverter's power characteristics to establish the nominal power ratio (NPR). Using Equation 3, the NPR was calculated to be approximately 96.76%.

$$NPR = \frac{P_{DC}}{P_{DC,GEN}} \quad (3)$$

In this equation, P_{DC} is the DC power of the inverter and $P_{DC,GEN}$ is the PV array power.

Voltage sizing was conducted at both the module and array levels. For module-level calculations, the maximum open-circuit voltage ($V_{max,oc}$) and minimum operating voltage ($V_{min,oc}$) were computed using Equations 4 and 5, considering ambient temperature variations and module-specific coefficients.

$$V_{max,oc} = V_{oc} \cdot \left(1 + \frac{(T_{Low,a} - 25^{\circ}\text{C})\beta_{Voc}}{100} \right) \quad (4)$$

$$V_{min,oc} = V_{MPP} \cdot \left(1 + \frac{(T_{max,a} - 25^{\circ}\text{C})\beta_{VMPP}}{100} \right) \quad (5)$$

Where, V_{oc} is the open circuit voltage of the module, T is the expected temperature, β is the temperature coefficient of the module, V_{MPP} is the voltage of the PV module at maximum power. The results for different panel types are presented in Table 3.

Table 3. Max. and Min. Output Voltage of All Modules

Maximum Output Voltage	Type	V_{oc}	β_{Voc}	$T_{Low,a}$	$V_{max,oc}$
	Polycrystalline	51.6 V	-0.28 °C	15 °C	53.04 V
	Monocrystal	49.7 V	-0.272 °C	15 °C	51.09 V
Minimum Output Voltage	Type	V_{MPP}	β_{VMPP}	$T_{max,a}$	$V_{min,oc}$
	Polycrystalline	42,4 V	-0.36 °C	50°C	38.58 V
	Monocrystal	41,52 V	-0.35 °C	50 °C	37.89 V

The maximum DC current ($I_{max,DC}$) for PV modules under maximum operating temperature was calculated using Equation 6, with the results summarized in Table 4.

$$I_{max,DC} = I_{SC} \cdot \left(1 + \frac{(T_{max,a} - 25^{\circ}\text{C})\alpha}{100} \right) \quad (6)$$

In this equation, I_{SC} is the short circuit current of the PV module, $T_{max,a}$ is the maximum expected temperature, α is the temperature coefficient of the module.

Table 4. Maximum PV Module Current of Modules

Type	I_{SC}	α	$T_{max,a}$	$I_{max,DC}$
Polycrystalline	11.28 A	0.05 °C	50°C	11.42 A
Monocrystal	11.36 A	0.044°C	50 °C	11.48 A

At the array level, the maximum and minimum numbers of PV modules per string were computed using Equations 7 and 8, ensuring compliance with the inverter's voltage operating limits, with results presented in Tables 5.

$$N_{max,string} \leq \frac{V_{DC,max,inv}}{V_{max,oc}} \quad (7)$$

$$N_{min,string} \geq \frac{V_{DC,MPP,min,inv}}{V_{min,oc}} \quad (8)$$

In this equation, N_{string} represents the number of PV modules per string, $V_{DC,max,inv}$ denotes the minimum MPP voltage of the inverter, and V_{oc} refers to the voltage of the PV module.

Table 5. Number of PV Modules per Array

Type	$V_{DC,max,inv}$	$V_{max,oc}$	$N_{max,string}$
------	------------------	--------------	------------------

Polycrystalline	53.04 V	1500V	28
Monocrystal	51.09 V	1500V	29
Type	$V_{DC,MPP}$	$V_{min,oc}$	$N_{min,string}$
Polycrystalline	596 V	38.58 V	15
Monocrystal	596 V	37.19 V	16

The inverter configuration was established according to the system requirements. The calculations were performed using Equations 9 and 10 to determine the minimum and maximum string numbers per inverter, and the findings are presented in Table 6.

$$n_{min,string} \geq \frac{P_{DC,GEN}}{P_{max,module} N_{string}} \quad (9)$$

$$n_{max,string} \leq \frac{I_{DC,max,inv}}{I_{DC,max,string}} \quad (10)$$

In this equation, n_{string} is the number of strings, $P_{DC,GEN}$ is the power of the string, $P_{max,module}$ is the max. power of the PV module, N_{string} is the optimum number of PV modules per string. $P_{DC,GEN}$ is 1050 kW $I_{DC,max,inv}$ is the maximum input current of the inverter, $I_{DC,max,string}$ is the max. current of the string. $I_{DC,max,string}$ is 1635 A.

Table 6. Number of Arrays per Inverter

Type	$P_{DC,GEN}$	$P_{max,mod}$	N_{string}	$n_{min,string}$
Polycrystalline	1050 kW	450 W	27	86
Monocrystal	1050 kW	450 W	28	83
Type	$I_{DC,max,string}$	$I_{DC,max,inv}$	$n_{max,string}$	-
Polycrystalline	11.42 A	1635 A	143	-
Monocrystal	11.48 A	1635 A	142	-

An evaluation of the values presented in Table 6 reveals that the minimum number of strings per inverter, as determined by string current, is comparable for both Monocrystalline and Polycrystalline systems. The optimal number of strings per inverter is calculated using Equation 11.

$$n_{min,string} \leq n_{string} \leq n_{max,string} \quad (11)$$

In this equation, $n_{max,string}$ is the maximum number of strings, $n_{min,string}$ is the minimum number of strings and n_{string} is the optimum number of strings. Table 7 shows the optimum number of strings per inverter.

Table 7. Optimum Number of Arrays per Inverter

Type	$n_{min,string}$	$n_{max,string}$	n_{string}
Polycrystalline	86	143	101
Monocrystal	83	142	95

An examination of the values in Table 7 indicates that the optimum number of strings per inverter is the smallest for Monocrystalline PV modules.

Based on a planned system power of 2000 kW and an inverter capacity of 1050 kW, two inverters were determined to be required. The total number of modules for the system was calculated using Equation 12.

$$N_{module} = N_{string} \cdot n_{string} \cdot N_{inverter} \quad (12)$$

The total number of modules is lowest in monocrystalline systems and highest in polycrystalline systems across all system types.

Finally, (E_{DC}) and the AC energy delivered to the grid (E_{AC}) were computed using Equations 13 and 14, respectively.

$$E_{DC} = \frac{E_{yearly} \cdot P_{DC,GEN} \cdot N_{inv}}{1 \frac{kW}{m^2}} \quad (13)$$

$$E_{AC} = E_{DC} \cdot n_{inv} \quad (14)$$

In these equations, E_{DC} is the annual PV array energy production, E_{yearly} is the annual irradiation, $P_{DC,GEN}$ is the PV array power, N_{inv} is the number of inverters, E_{AC} is the annual PV array AC energy production. $P_{DC,GEN}$ equals 1050 kW, E_{yearly} equals 1015 kW/m².

Using a PV array capacity of 1050 kW and an annual solar irradiation of 1015 kW/m², the system was estimated to produce 3,197,250 kWh annually at the DC side and 3,146,094 kWh at the AC side. These calculations provided comprehensive details on the system's module and inverter requirements, optimal configurations, and total energy output, enabling the assessment of the system's investment costs and spatial requirements.

3. SIMULATION STUDIES AND RESULTS

This study used PV*SOL software for simulating and optimizing a 2 MW grid-connected solar power plant in Ardauç, Artvin. The software, developed by Valentin Software GmbH, enables detailed analysis of PV systems, including shading effects, financial modeling, and performance evaluation.

The project involved two module areas using monocrystalline and polycrystalline PV panels. The first area housed 2,426 panels (450 W each) on 6,185.6 m² with a 25° tilt and 180° azimuth, using 10 inverters. The second area included 2,868 panels on 6,683.2 m² with 9 inverters. Both systems were optimized to minimize shading losses and maximize energy production.

Monocrystalline panels outperformed polycrystalline ones in specific yield, energy output, and performance ratios, with PR values 4%–4.4% higher. They also exhibited lower shading losses (3.6% vs. 6.9%) and reduced CO₂ emissions, reinforcing their environmental and operational advantages.

Tablo 8. Gain and Loss values of the system

	Monocrystalline	Polycrystalline
Loss of gain due to shadowing	3,60%	6,90%
CO ₂ emissions avoided	1.538.483 kg/year	1.456.413 kg/year
Internal Yield Rate	44,53%	40,53%
Consumption at Standby	444 kWh/Year	455 kWh/Year

The installation of a solar power plant requires an investment of 1,370,000 Euros. Financial analysis indicates that the cost of electricity generation per kWh is lower for monocrystalline systems (0.021 Euros/kWh) compared to polycrystal-

line systems (0.022 Euros/kWh). Monocrystalline systems achieved payback within 3.9 years, while polycrystalline systems required 6.4 years. Annual savings and other financial metrics are presented in Table 9.

Tablo 9 Financial Analysis and Profit

	Monocrystalline	Polycrystalline
Energy Price	0.076 Euro/kWh	0.076 Euro/kWh
Charging for excess energy	0.056 Euro/kWh	0.056 Euro/kWh
Energy Price Inflation Rate	25%	25%
Depreciation Period (Year)	3,9	6,4
Cost of electricity generation	0.021 Euro/kWh	0.022 Euro/kWh
Annual Savings	250.000 Euro	220.000 Euro

Figure 3 presents the energy flow diagram based on the simulation results of the polycrystalline PV panel system. The system achieves an annual energy production of 3,099,205 kWh, whereas the 19 inverters in standby mode consume 455 kWh of electricity from the grid.

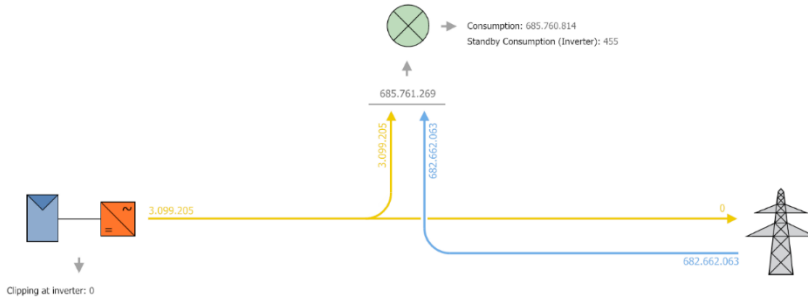


Figure 3. Energy Flow Diagram for the Polycrystalline PV Panel System

Similarly, the energy flow diagram for the monocrystalline PV panel system is presented in Figure 4. The annual energy output for this system is 3,273,812 kWh, with a total grid consumption of 444 kWh by the 19 inverters in standby mode.

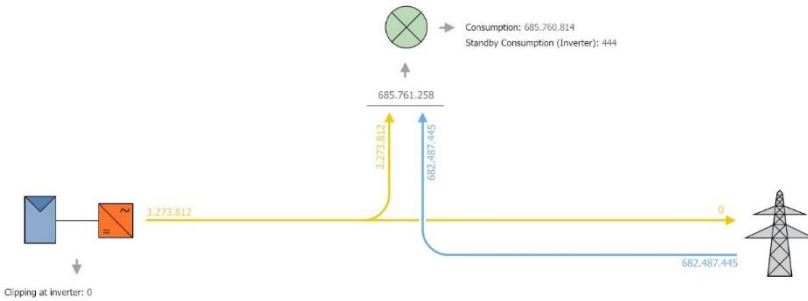


Figure 4. Energy Flow Diagram for the Monocrystalline PV Panel System

The monthly distribution of the annual energy production for the monocrystalline PV panel system is shown in Figure 5. The data indicate that the highest energy production occurs in May, June, July, and August, while the lowest production is observed in November and December.

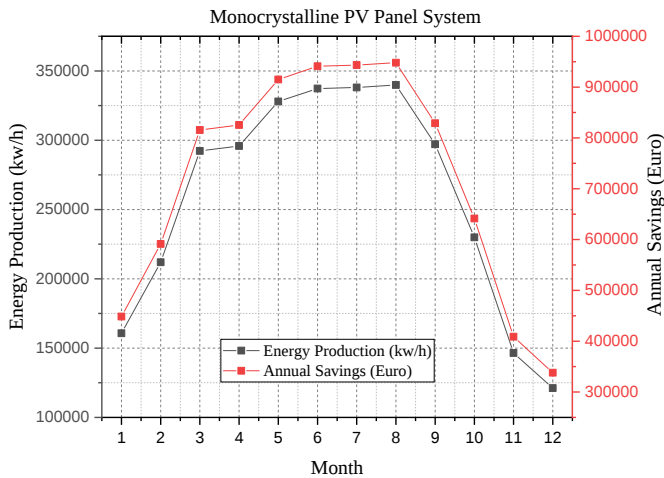


Figure 5. Monthly Energy Production and Savings for the Monocrystalline PV Panel System

The monthly distribution of the annual energy production for the polycrystalline PV panel system is displayed in Figure 6. Similar to the monocrystalline system, the highest energy production is achieved in May, June, July, and August, whereas November and December have the lowest output.

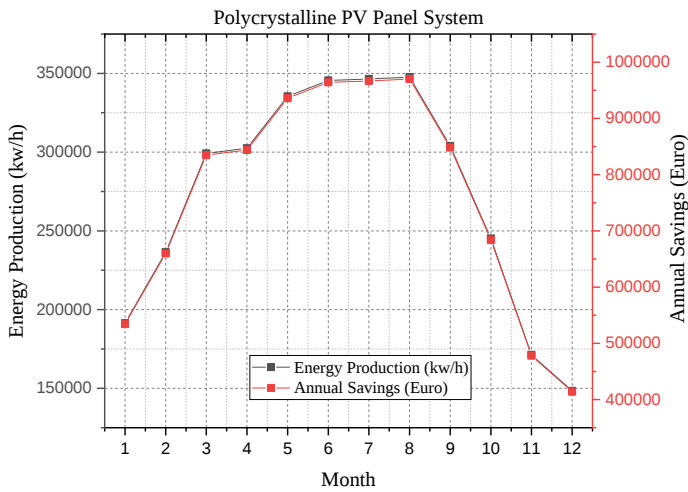


Figure 6. Monthly Energy Production and Savings for the Polycrystalline PV Panel System

An analysis of the cumulative cash flow balance reveals that the solar power plant using monocrystalline PV panels achieves a return on investment (ROI) of 1.370.000 Euro within 3.9 years. In contrast, the polycrystalline PV panel system achieves the same ROI in 6.4 years, highlighting the financial advantage of monocrystalline panels in this setup. In summary, the simulation results obtained using PV*SOL software for the proposed solar power plant (SPP) in Artvin demonstrate that, considering 3.5% shading and other system losses, an annual energy production of 3,273,369 kWh and annual savings of 9,250.000 Euro can be achieved using monocrystalline PV panels.

The initial application for the SPP project was submitted on January 28, 2022. Following the completion of administrative processes, permit approvals, and zoning plans, the total project cost was estimated at 1.371.015 Euro as of March 25, 2024. The construction was split into two phases due to budgetary limitations. The first phase involves the installation of a 1 MW system on a 6,683.2 m² area within the second module site. The

estimated cost for this phase is 685.000 Euro. The system is planned for completion by August 17, 2025, marking a significant milestone in the utilization of solar energy in the region.

4. CONCLUSION

This study evaluates a 2 MW solar power plant in Ardauç, Artvin, using monocrystalline, polycrystalline, and thin-film PV technologies. Simulations show monocrystalline panels outperform others, with annual energy production of 3,273,369 kWh, cost savings of 250,000 Euros, and a payback period of 3.8 years. In comparison, polycrystalline panels generate 3,098,751 kWh annually, saving 237,000 Euros with a 6.4-year payback period. Monocrystalline panels also reduce shading losses (3.6% vs. 6.9%) and prevent higher CO₂ emissions (1,538,483 kg vs. 1,456,413 kg annually).

The project will be implemented in two phases, with the initial phase, comprising 1 MW, projected to cost 685,000 Euros and expected to be completed by August 2025. The findings highlight the importance of choosing efficient PV technologies tailored to local conditions, supporting monocrystalline panels for their efficiency, financial benefits, and environmental sustainability. This contributes to Turkey's renewable energy transition and offers guidance for optimizing solar projects in moderate solar potential regions.

KAYNAKÇA

- Abdul-Ganiyu, Saeed, David A. Quansah, Emmanuel W. Ramde, Razak Seidu, ve Muyiwa S. Adaramola. 2021. “Techno-economic analysis of solar photovoltaic (PV) and solar photovoltaic thermal (PVT) systems using exergy analysis”. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 47:101520. doi: 10.1016/j.seta.2021.101520.
- Ali, Abdalftah Hamed, ve Atabak Najafi. 2022. “Optimization and Performance Improvement of Grid-Connected PV Plant Based on ANN-PSO and P&O Algorithms”. *International Transactions on Electrical Energy Systems* 2022(1):1278492. doi: 10.1155/2022/1278492.
- Alsharif, Abdulgader H., Abdussalam A. Ahmed, Yasser F. Nassar, Mohamed M. Khaleel, Hala J. El-Khozondar, Taha E. Alhoudier, ve Esmail M. Esmail. 2023. “Mitigation of Dust Impact on Solar Photovoltaics Performance Considering Libyan Climate Zone: A Review”. *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences* 1(1):22-27.
- Anonim. t.y. “GEPA2024”. Geliş tarihi 04 Aralık 2024 (<https://gepa.enerji.gov.tr/pages/8.aspx>).
- Benli, Hüseyin, ve Mert Gürtürk. 2021. “Investigation of The Effect of Pv Panel Efficiency Parameter on Investment Payback Period”. *International Journal of Innovative Engineering Applications* 5(2):88-92. doi: 10.46460/ijiea.928012.

- Çinici, Oğuz Kaan, ve Adem Acır. 2023. "Optimization of Array Design in Photovoltaic Power Plants Using the Taguchi and ANOVA Analysis". *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 11(4):1195-1208. doi: 10.29109/gujsc.1400053.
- Fezzani, Amor, Mawloud Guermoui, Abdellah Kouzou, Ahmed Hafaifa, Layachi Zaghba, Said Drid, Jose Rodriguez, ve Mohamed Abdelrahem. 2023. "Performances Analysis of Three Grid-Tied Large-Scale Solar PV Plants in Varied Climatic Conditions: A Case Study in Algeria". *Sustainability* 15(19):14282. doi: 10.3390/su151914282.
- Kabeel, A. E., Mohamed Abdelgaied, ve Ravishankar Sathya-murthy. 2019. "A comprehensive investigation of the optimization cooling technique for improving the performance of PV module with reflectors under Egyptian conditions". *Solar Energy* 186:257-63. doi: 10.1016/j.solener.2019.05.019.
- Kassem, Youssef, Hüseyin Çamur, ve Salman Mohammed Awadh Alhuoti. 2020. "Solar Energy Technology for Northern Cyprus: Assessment, Statistical Analysis, and Feasibility Study". *Energies* 13(4):940. doi: 10.3390/en13040940.
- Khare, Vikas, Pradyumn Chaturvedi, ve Manoj Mishra. 2023. "Solar energy system concept change from trending technology: A comprehensive review". *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 4:100183. doi: 10.1016/j.prime.2023.100183.
- Martinez, A., ve G. Iglesias. 2024. "Levelized cost of energy to evaluate the economic viability of floating offshore wind in the European Atlantic and Mediterranean". *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 8:100562. doi: 10.1016/j.prime.2024.100562.

- Marwan, Muhammad Dihyah, Suhono Suhono, ve Lukman Subekti. 2024. "The potential of shading to optimize the performance ratio of a solar power system". *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 10:100768. doi: 10.1016/j.prime.2024.100768.
- Mohanty, Parimita, K. Rahul Sharma, Mukesh Gujar, Mohan Kolhe, ve Aimie Nazmin Azmi. 2016. "PV System Design for Off-Grid Applications". Ss. 49-83 içinde *Solar Photovoltaic System Applications: A Guidebook for Off-Grid Electrification*, editör P. Mohanty, T. Muneer, ve M. Kolhe. Cham: Springer International Publishing.
- Seme, Sebastijan, Klemen Sredenšek, Bojan Štumberger, ve Miralem Hadžiselimović. 2019. "Analysis of the performance of photovoltaic systems in Slovenia". *Solar Energy* 180:550-58. doi: 10.1016/j.solener.2019.01.062.
- Sharma, Gori Shankar, Om Prakash Mahela, Mohamed G. Husien, Baseem Khan, Sanjeevikumar Padmanaban, Muhammed B. Shafik, ve Zakaria M. Salem Elbarbary. 2022. "Performance Evaluation of a MW-Size Grid-Connected Solar Photovoltaic Plant Considering the Impact of Tilt Angle". *Sustainability* 14(3):1444. doi: 10.3390/su14031444.
- de Souza Silva, João Lucas, Tatiane Silva Costa, Karen Barbosa de Melo, Elson Yoiti Sakô, Hugo Soeiro Moreira, ve Marcelo Gradella Villalva. 2020. "A Comparative Performance of PV Power Simulation Software with an Installed PV Plant". Ss. 531-35 içinde *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*.

- Yadav, Bharosh Kumar, Ramhit Yadav, Mehdi Jahangiri, S. Shanmuga Priya, Tri Ratna Bajracharya, ve K. Sudhakar. 2024. “Decarbonizing airport using solar and wind farm: A case of Biratnagar, Nepal”. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 8:100583. doi: 10.1016/j.prime.2024.100583.
- Yassin Alsadi, Samer, ve Yasser Fathi Nassar. 2019. “A general expression for the shadow geometry for fixed mode horizontal, step-like structure and inclined solar fields”. *Solar Energy* 181:53-69. doi: 10.1016/j.solener.2019.01.090.
- Zhaksylyk, Assel, Haaris Rasool, Ekaterina Abramushkina, Sajib Chakraborty, Thomas Geury, Mohamed El Baghdadi, ve Omar Hegazy. 2023. “Review of Active Front-End Rectifiers in EV DC Charging Applications”. *Batteries* 9(3):150. doi: 10.3390/batteries9030150.

LABVIEW BASED DATA MEASUREMENT AND LOGGING APPLICATION

Batın DEMİRCAN¹

1. INTRODUCTION

Carbon monoxide (CO) measurement is increasingly recognized as a critical component in the broader strategy to reduce greenhouse gas emissions and mitigate climate change. Although carbon monoxide is not a direct greenhouse gas, it plays an indirect role in climate dynamics by influencing the atmospheric lifetimes of more potent greenhouse gases, such as methane (CH₄) and halocarbons. Specifically, CO reacts with hydroxyl radicals (OH), which are responsible for the oxidation of these gases, thereby prolonging their atmospheric lifetimes and enhancing their warming potentials (Xu et al., 2023). This highlights the importance of accurately measuring CO emissions as part of greenhouse gas monitoring efforts. Furthermore, the food industry, among other sectors, produces significant greenhouse gas emissions, making it essential to understand the carbon footprint of various technologies to implement effective mitigation strategies. For example, evaluating the carbon footprint of food processing technologies can help identify areas for improvement and thereby reduce overall emissions (Wróbel-Jędrzejewska et al., 2016).

This aligns with the broader goal of transitioning to low-carbon economies, where precise measurements of all greenhouse gases, including CO, are vital for developing targeted policies and technologies aimed at emission reduction. Addi-

¹ Lect., Balıkesir University, Balıkesir Vocational School, Department of Electronics and Automation, batindemircan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0765-458X.

tionally, advancements in sensor technology enable the simultaneous monitoring of CO and CO₂ emissions, providing critical data that can enhance combustion efficiency and reduce pollutant outputs from various sources, including vehicles and industrial processes (Thurmond et al., 2016). Carbon monoxide measurement is essential not only for understanding its role in atmospheric chemistry and climate change but also for informing strategies to reduce greenhouse gas emissions across different sectors. Accurate monitoring and management of CO emissions can lead to significant improvements in environmental quality and public health while emphasizing the need for comprehensive emission reduction frameworks (Tang et al., 2014). Moreover, measuring and recording CO levels is of critical importance for various purposes, such as public health, environmental monitoring, and industrial safety. The development of low-cost and accurate sensors is particularly important for their widespread adoption in smart cities, where air quality monitoring can significantly impact public health outcomes (Paruchuri & Rajesh, 2018).

CO measurement in industrial environments is equally important. Industries such as steel plants and coke production facilities, which produce CO as a by-product, must implement stringent monitoring protocols to protect workers from exposure (Abid & Shams, 2014; Jadoon et al., 2022a). Regular measurements can assist in detecting leaks or unsafe conditions, enabling timely interventions that may prevent health crises among workers (Jadoon et al., 2022b).

The integration of Arduino technology for carbon monoxide (CO) measurement has garnered significant attention across various applications, ranging from environmental monitoring to automotive safety. Numerous studies demonstrate the methodologies and implementations of CO measurement systems utilizing Arduino platforms. For instance, a smart smoking

area system was developed using MQ-2 and MQ-7 gas sensors to detect CO levels produced by cigarette combustion (Iswanto et al., 2019).

The integration of Arduino and LabVIEW has attracted significant attention across various fields, including education, automation, and experimental research. Its compatibility with LabVIEW, a graphical programming environment, enhances its capabilities by enabling users to create sophisticated user interfaces and data visualization tools. For instance, Foresto et al. highlight the use of LabVIEW's graphical programming capabilities to facilitate serial communication with Arduino, which is essential for applications in data acquisition systems (Severo Foresto et al., 2023).

In this study, real-time measurement data from the carbon monoxide sensor were transmitted to the Arduino Uno board. Using the MQ-7 sensor for carbon monoxide measurement, the visualization of measurements for the user in a computer environment was achieved through the student version and trial edition of LabVIEW software within specified time periods.

2. HARDWARE AND SOFTWARE ARCHITECTURE

The study employed primarily two hardware and software components. The first hardware component utilized is the MQ-7 sensor for measuring CO in the environment. Figure 1 illustrates the MQ-7 sensor module (Hanwei Electronics Co, 2024), featuring an analog output for measurements and a potentiometer circuit to obtain digital output at the desired measurement point.



Figure 1 : MQ-7 Sensor Module (Ozdisan Elektronik, 2024).

Analog measurements from the data obtained by the MQ-7 sensor and their transfer to the computer environment were carried out using the Arduino Uno R3 control board (Arduino, 2024). The Arduino operates at a frequency of 16 MHz and contains an ATmega328 processor. Figure 3 shows the pin diagram of the Arduino Uno.

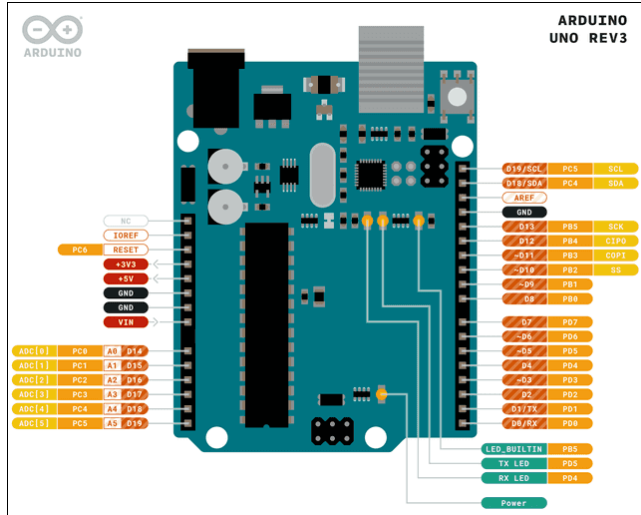


Figure 2 : Arduino Uno R3 Pinout.

In the connection established between the MQ-7 sensor and Arduino, the A0 input of the Arduino board was used as the analog measurement input. Figure 3 shows the hardware components used in the study.

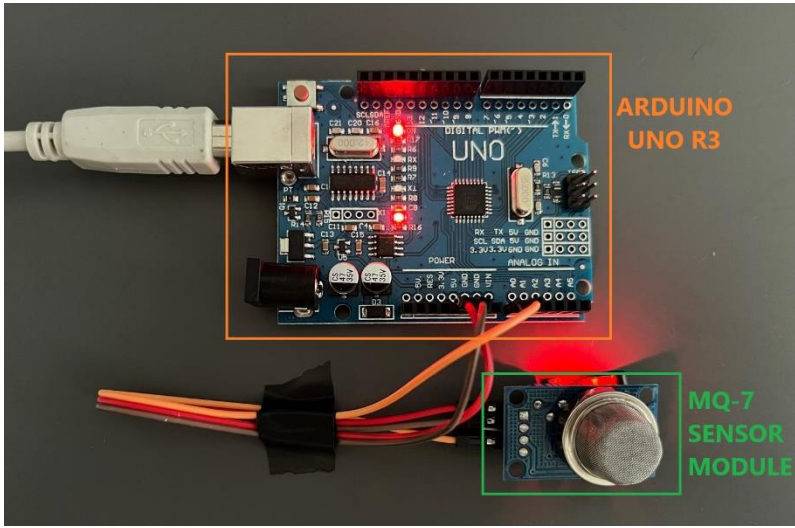


Figure 3 : Hardware Implementation.

The program block prepared in the Arduino IDE software, which is freely available, for communication between the Arduino Uno board and the computer via the serial port is shown in Figure 4.

```
const int Ai_pin=A0;
int ppm;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  ppm= analogRead(Ai_pin);
  Serial.print(ppm);
  delay(500);
}
```

Figure 4 : Arduino Uno Program.

Following the hardware components, the software part utilized LabVIEW and its components. A screenshot showing the download of the student license and the duration of use for the LabVIEW software is provided in Figure 5 (National Instruments Corp., 2024).

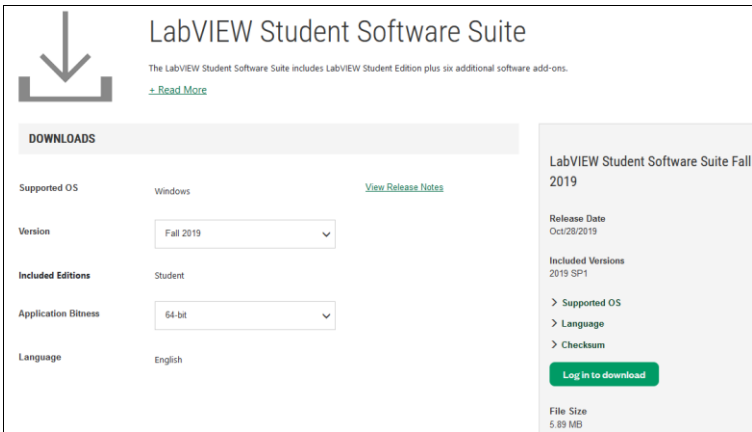


Figure 5 : Labview Software Download Screen.

LabVIEW NXG was used as the main application software installed on the computer. To install the NXG module, it is necessary to use the NI Package Manager software found on the computer. After the installation process, a new ‘VI’ (Virtual Instrument) was created in the NXG software as shown in Figure 6.



Figure 6 : NXG, New Project Creation.

In LabVIEW NXG, visual programming is employed, and the software loop operates on this graphical interface. The software consists of the ‘Diagram’ and ‘Panel’ sections, where programmatic connections are made. Fundamentally, the software creation takes place in the ‘Diagram’ section. The ‘While

Loop’ structure, shown in Figure 7, should be selected under the ‘Program Flow’ palette.

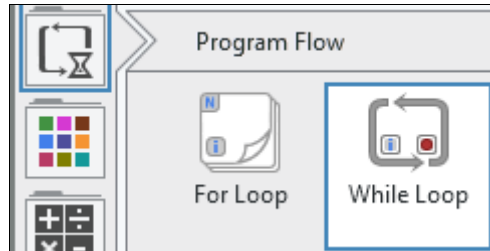


Figure 7 : NXG, While Loop.

It was requested that the infinite loop in the software operates with a delay of 1000 milliseconds intervals. A visual representation of the delay block used is shown in Figure 8.



Figure 7 : NXG, Wait Menu.

All software blocks to be implemented in the NXG software are contained within the selected ‘While Loop’ structure. After selecting the program blocks, they were placed sequentially as explained to create the graphical programming structure. To establish the software connection between NXG and Arduino, a hardware-based serial communication setup was utilized. For serial communication, the ‘VISA’ palette blocks—‘session in,’ ‘configure serial port,’ ‘read,’ ‘close,’ and ‘instrument’—should be selected as shown in Figure 8. With these selections, the ‘Comport’ number through which the Arduino

hardware connects to the computer is chosen to read data sequentially.

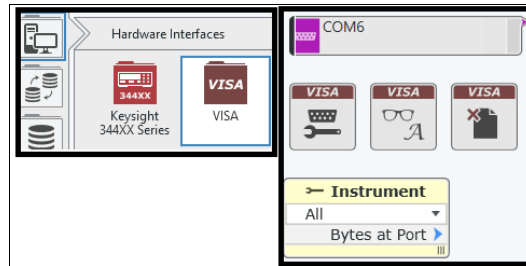


Figure 8 : NXG, Hardware Interfaces Menu.

A program structure for reading data over the serial port and recording it to the computer environment has been created, as shown in Figure 9.

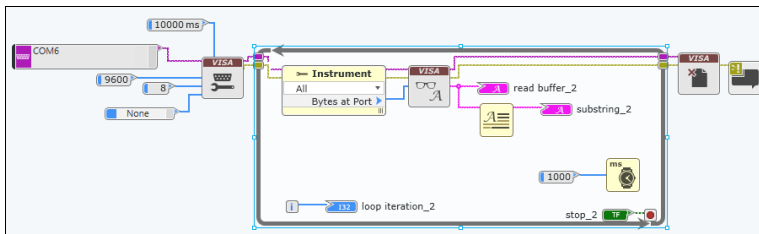


Figure 9 : NXG, Serial port communication program.

To record data received from the serial port into the computer environment in NXG software, the following blocks from the 'Storage' palette should be selected: 'open/create/replace file', 'write to text file', 'set file position', and 'close file'. These selections are shown in Figure 10.

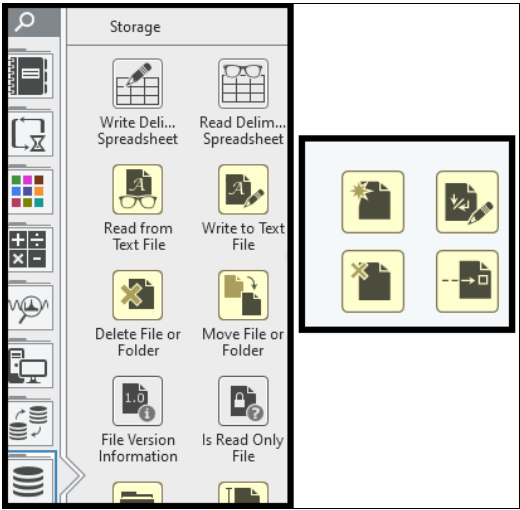


Figure 10 : NXG, Storage Menu.

The images of the program flow created for data recording are shown in Figure 11, arranged sequentially. The blocks outside the loop are located at the top, while the main loop blocks are at the bottom.

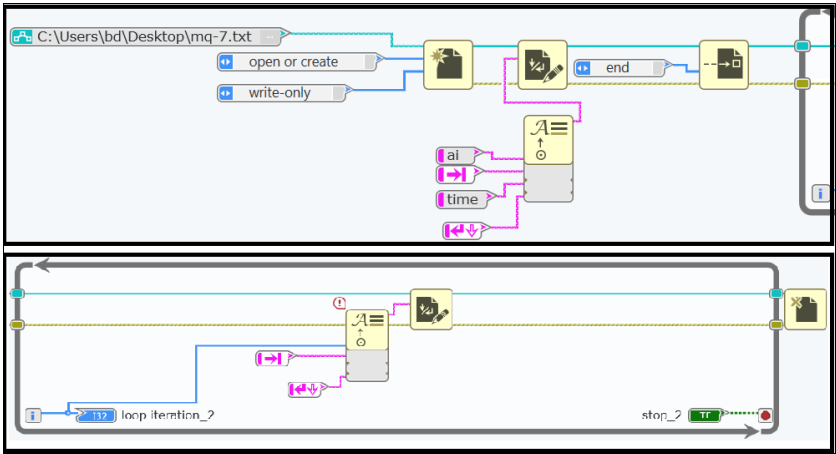


Figure 11 : NXG, Storage Program.

3. RESULTS

In the study, carbon monoxide measurements (in ppm) were recorded for one hour at 1000-millisecond intervals. A screenshot of the software operation is provided in Figure 14.

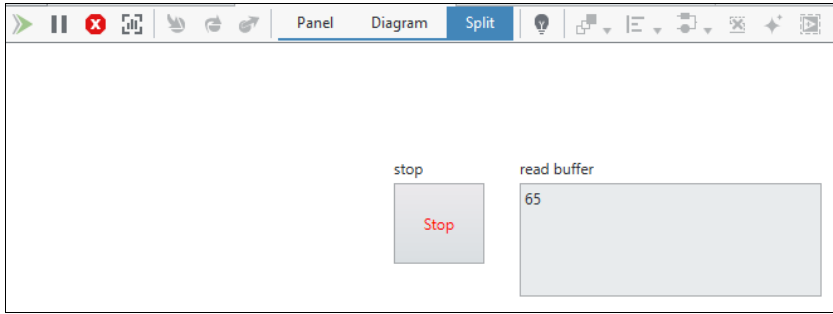


Figure 12 : NXG, Panel Dashboard.

The measurement record file was saved as a '.txt' file, and a graph of all measurement results is provided in Figure 15. In general measurements, the CO level in the environment was approximately 100 ppm. However, when the sensor was stimulated by an external gas source, instantaneous spikes around 900 ppm were observed.

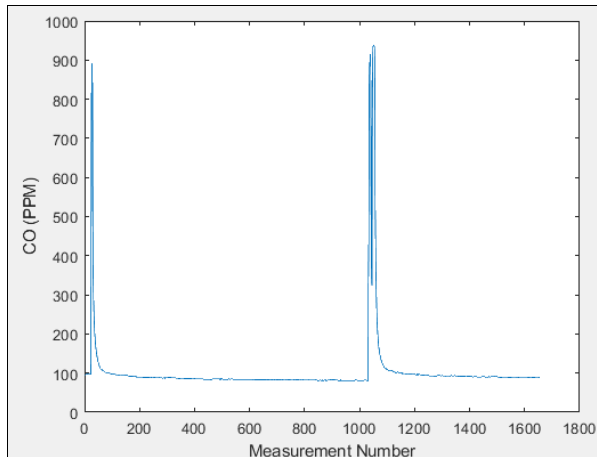


Figure 13 : CO Measurements.

4. CONCLUSIONS

In this study, real-time CO level measurement was achieved using the Arduino Uno hardware and computer components for general-purpose applications. Additionally, real-time data transfer and recording to the computer environment were implemented. Serial communication was utilized for the interaction between the computer and the Arduino. LabVIEW NXG software was employed for both visualizing and recording the data in the computer environment.

REFERENCES

- Abid, K., & Shams, Z. I. (2014). Employees' Exposure to Carbon Monoxide in Pakistan Steel Mills. *International Journal of Environment*, 3(4), 44–56. <https://doi.org/10.3126/IJE.V3I4.11730>
- Arduino. (2024). *UNO R3*. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>
- Hanwei Electronics Co. (2024). *MQ7 datasheet, sensor equivalent*, Hanwei. <https://www.datasheet4u.com/datasheet-pdf/Hanwei/MQ7/pdf.php?id=694312>
- Henan Hanwei Electronics Co. (n.d.). *MQ-7*. 2024.
- Iswanto, Purwanto, K., Hastuti, W., Prabowo, A., & Mustar, M. Y. (2019). Smart Smoking Area based on Fuzzy Decision Tree Algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(6), 500–504. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100665>
- Jadoon, S., Nawazish, S., Mahmood, Q., Rafique, A., Sohail, S., & Zaidi, A. (2022a). Exploring Health Impacts of Occupational Exposure to Carbon Monoxide in the Labour Community of Hattar Industrial Estate. *Atmosphere* 2022, Vol. 13, Page 406, 13(3), 406. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13030406>
- Jadoon, S., Nawazish, S., Mahmood, Q., Rafique, A., Sohail, S., & Zaidi, A. (2022b). Exploring Health Impacts of Occupational Exposure to Carbon Monoxide in the Labour Community of Hattar Industrial Estate. *Atmosphere* 2022, Vol. 13, Page 406, 13(3), 406. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13030406>

- National Instruments Corp. (2024). *LabVIEW Student Software Suite*.
https://www.ni.com/en/support/downloads/software-products/download.labview-student-software-suite.html?srsId=AfmBOopsUqVBsoC2QPyYmpGRM7D2T-C5_VnFbhaPIfgHncEF0zuEvDzr#352823
- Ozdisan Elektronik. (2024). *MQ-7 GAS SENSOR*.
<https://ozdisan.com/Product/Detail/536962/MQ-7-GAS-SENSOR-MODULE>
- Paruchuri, V. L., & Rajesh, P. (2018). IoT for monitoring carbon monoxide (CO) emissions using wireless sensor networks in smart cities. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.7), 1045–1050.
<https://doi.org/10.14419/IJET.V7I2.7.12226>
- Severo Foresto, J. P., Martins, W. S., do Lago, T. G. S., & da Silva Marques, A. (2023). Development of a low-cost data acquisition system for a vapor compression refrigeration experimental workbench. *Https://Doi.Org/10.1177/03064190231161274*, 51(3), 194–208. <https://doi.org/10.1177/03064190231161274>
- Tang, H., Yang, X., & Zhang, Y. (2014). Effort at Constructing Big Data Sensor Networks for Monitoring Greenhouse Gas Emission. *Http://Dx.Doi.Org/10.1155/2014/619608*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/619608>
- Thurmond, K., Loparo, Z., Partridge, W., & Vasu, S. S. (2016). A Light-Emitting Diode- (LED-) Based Absorption Sensor for Simultaneous Detection of Carbon Monoxide and Carbon Dioxide. *Https://Doi.Org/10.1177/0003702816641261*, 70(6), 962–971. <https://doi.org/10.1177/0003702816641261>

- Wróbel-Jędrzejewska, M., Stęplewska, U., Kuleta, P., Przybysz, Ł., & Polak, E. (2016). Carbon Footprint of Fruit Paste Technology. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(1), 341–349. <https://doi.org/10.15244/PJOES/60244>
- Xu, G. Bin, Xu, F., Ji, X., Zhang, J., Yan, S. B., Mao, S. H., & Yang, G. P. (2023). Carbon Monoxide Cycling in the Eastern Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128(5), e2022JC019411. <https://doi.org/10.1029/2022JC019411>

MAGLEV VE HYPERLOOP SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ GELECEĞİN YÜKSEK HIZLI TAŞIMACILIK ÇÖZÜMLERİ

Hakkı MOLLAHASANOĞLU¹

Ufuk Kemal OZTÜRK²

Murat ABDİOĞLU³

1. GİRİŞ

Ulaşım, hız ve verimliliği artırma konusundaki sürekli çabalarla insanoğlunun gelişiminde her zaman temel bir unsur olmuştur. Geleneksel ulaşım modlarının neden olduğu trafik yoğunluğu, uzayan seyahat süreleri, hava kirliliği ve gürültü gibi çevresel etkiler, tüm dünyada ulaşım politikalarında değişiklik yapılmasını gerektirmiştir (Nøland, 2024). Bu durumun bir sonucu olarak, yüksek hızlı kara ulaşım sistemleri bu sorunları hafifletmek için potansiyel bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır (Liu ve Deng, 2004). Bu sistemler arasında, Maglev ve Hyperloop teknolojileri, geleneksel sistemlere alternatif sunan yenilikçi çözümler olarak dikkat çekmektedir (Yavuz ve Öztürk, 2021).

Yüksek hızlı ulaşım sistemleri, altyapılarına dayalı olarak üç temel kategoriye ayrılabilir: Geleneksel yüksek hızlı demiryolları, Maglev ve Hyperloop sistemleri. Geleneksel yüksek hızlı demiryolları, çelik tekerlek ve çelik ray teknolojisini kullanarak yeni inşa edilen hatlarda 250 km/s'nin, iyileştirilmiş hat-

¹ Arş. Gör. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, hakkimollahasanoglu@erdogan.edu.tr, ORCID: 0000- 0001-6233-9198.

² Prof. Dr. Karadeniz Technical Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, kozturk@ktu.edu.tr, ORCID: 0000- 0002-8847-1880.

³ Doç. Dr. Bayburt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, mabdioglu@bayburt.edu.tr, ORCID: 0000- 0002- 5497-0817.

larda ise 200 km/s'nin üzerinde hızlara ulaşmaktadır (UIC High Speed Report, 2020). Bu sistemler, Japonya, Çin ve çeşitli Avrupa ülkeleri gibi yerlerde başarısını kanıtlamış olsa da geleneksel mekanik temas bağılıkları hız ve verimliliklerini sınırlamaktadır (de Rus Mendoza, 2012).

Maglev, yani "manyetik kaldırma," aracın kılavuz hat ile fiziksel temasını ortadan kaldırarak ulaşımında bir paradigma değişikliği sunmaktadır. Manyetik kuvvetler yardımıyla kaldırma, itme ve yanal yönlendirme işlevlerini yerine getiren Maglev trenleri, eşsiz bir konfor ve enerji verimliliği sağlar (Lukić ve Zlatanović, 2020). Maglev sistemleri, geleneksel raylı sistemlere göre daha yüksek hızlar, daha düşük enerji tüketimi, daha az gürültü ve titreşim ve gelişmiş güvenlik gibi çeşitli avantajlara sahiptir (Gou, 2018). Maglev sistemlerinin temel bileşenlerinden biri, kaldırma ve yönlendirme için güçlü manyetik alanlar oluşturabilen yüksek sıcaklıkta süper iletken (HTS) malzemelerin kullanılmasıdır (Öztürk vd., 2023). HTS Maglev sistemleri Çin, Almanya, Brezilya ve Türkiye dahil olmak üzere çeşitli ülkelerde geliştirilmiş ve test edilmiştir (Abdioglu vd., 2021; Werfel vd., 2011). Çin'de, 2014 yılında Southwest Jiaotong Üniversitesi'nde "yüksek sıcaklıkta süper iletken maglev tahliye borulu taşıma (HTS Maglev-ETT) test sistemi" prototipi inşa edilmiştir (Nick ve Sato, 2020). Bu sistem, Elon Musk tarafından önerilen Hyperloop konseptine benzer şekilde, vakuma yakın bir ortamda transonik hızlarda çalışmak üzere tasarlanmıştır (Mirza ve Ali, 2022). Şanghay Maglev Treni, ticari olarak işletilen en hızlı tren olarak 431 km/s hıza ulaşmış ve bu alandaki potansiyeli gözler önüne sermiştir (Huang vd., 2024). Japonya, Almanya ve Çin gibi ülkelerdeki araştırma ve geliştirme çalışmaları, Maglev sistemlerinin gelecekteki ulaşım için önemini artırmıştır (Bansal ve Kumar, 2019).

Ayrıca Çin, ulaşım altyapısı planlarının bir parçası olarak hem yüksek hızlı (600 km/s) hem de orta hızlı (200 km/s) Mag-

lev sistemlerini aktif olarak geliştirmektedir (Lin ve Sheng, 2018). Bu sistemler Changsha ve Pekin gibi çeşitli şehirlerde test edilmiş ve uygulanmıştır (Ou vd., 2022). Maglev teknolojinin gelişimi, manyetik kaldırma kontrol sistemleri (Yi ve Liu, 2018; Li vd., 2020), aerodinamik (Mirza ve Ali, 2022; Wang vd., 2023) ve elektrikli bileşenler (Prasad vd., 2019) gibi diğer alanlardaki ilerlemeleri de içermektedir. Araştırmacılar Maglev sistemlerinin performansını, verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak için sürekli olarak çalışmaktadır (Ding vd., 2023).

2013 yılında Elon Musk tarafından tanıtılan Hyperloop, daha da yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir. Robert Goddard'ın "vakum tren" konseptinden esinlenen Hyperloop, düşük basınçlı tünellerde manyetik itme ve hava direnci azaltımı kullanılarak yolcu kapsüllerini hareket ettirmeyi hedefler (goerverden vd. 2018, Gieras, 2020). Hyperloop, yolcuları ve yükleri 1.200 km/saate varan hızlarda taşımayı amaçlayan, önerilen bir yüksek hızlı kara taşımacılığı sistemidir (Chaidez vd., 2019; Tesla, 2020). Konsept, kapsüllerin veya "kapsüllerin" havaya kaldırma, itme ve yönlendirme teknolojilerinin bir kombinasyonu kullanılarak kapalı, düşük basınçlı bir tüp aracılığıyla taşınmasını içermektedir (Saraf vd., 2020; Hedhly vd., 2021).

Hyperloop sistemleri için çeşitli temel etkileştirici teknolojiler araştırılmış ve prototipleri oluşturulmuştur. Bunlar arasında manyetik kaldırma (Guo vd., 2019; Zhang vd., 2019), tahrik için lineer motorlar (Bhuiya vd., 2022) ve gelişmiş iletişim ve kontrol sistemleri (Hedhly vd., 2021; Abdelrahman ve Sa-yeed, 2018) yer almaktadır. Araştırmacılar ayrıca aerodinamiği optimize etmek ve boşaltılmış tüp ortamındaki sürüklenmeyi azaltmak için yöntemler araştırmışlardır (Prabhakar vd., 2022; Opgenoord ve Caplan, 2017). Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'daki çeşitli prototipler ve test hatları, bu teknolojinin uygulanabilirliğini göstermeyi amaçlamaktadır. Virgin Hyperloop'un 2020'de 160 km/s hıza ulaşan iki kişilik bir kapsülü ba-

şarıyla test etmesi önemli gelişmelerden biridir. (Stryhunivska vd., 2020). Diğer araştırma grupları da kritik olayları incelemek ve bileşen tasarımlarını optimize etmek için küçültülmüş hiper döngü modelleri inşa etmiş ve test etmiştir (Tudor vd., 2022; Kirschen ve Burnell, 2021).

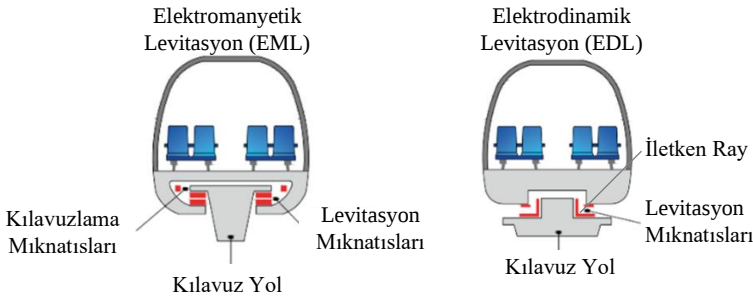
Maglev ve Hyperloop sistemleri, modern ulaşım teknolojilerinin iki yenilikçi örneği olarak dikkat çekmektedir. Literatürde, bu iki sistemi hem kendi aralarında hem de konvansiyonel yüksek hızlı demiryolu sistemleriyle karşılaştıran çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, teknolojik, ekonomik, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi farklı açılardan incelemeler sunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mevcut ulaşım ağlarını iyileştirmek için yapılan bir yüksek lisans tezinde (Ziemke, 2010), Maglev'in konvansiyonel yüksek hızlı demiryolu sistemine göre daha olumlu yanları olduğu tespit edilmiştir. Bir diğer yüksek lisans tezinde (Riviera, 2017), üç sistem enerji tüketimi ve sürdürülebilirlik açısından analiz edilmiş ve Hyperloop'un bu konularda en iyi sonuçları verdiği gösterilmiştir. Janić, Moskova-St. Petersburg koridorunda yaptığı değerlendirmede, Hyperloop'un Transrapid Maglev ve konvansiyonel yüksek hızlı demiryoluna alternatif olabileceğini belirtmiştir (Milan, 2018) Armağan'ın çalışması ise Hyperloop'un güvenlik, hava koşullarına dayanıklılık ve deprem güvenliği gibi avantajlarını vurgulamış, ancak yüksek maliyetinin bir dezavantaj olduğunu ifade etmiştir (Armagan, 2020).

Bu çalışmada, Maglev ve Hyperloop sistemleri, teknolojik özellikleri, enerji verimlilikleri, çevresel etkileri, maliyet avantajları ve uygulanabilirlikleri açısından karşılaştırılmıştır. Literatür incelemesi ve mevcut veriler ışığında bu iki yenilikçi ulaşım sistemi, hız, güvenlik ve sürdürülebilirlik gibi kriterler çerçevesinde detaylı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, bu sistemlerin gelecekteki benimsenme potansiyellerine dair öngörüler sunulurken, farklı coğrafi ve ekonomik koşullarda uygulanabilirlikleri tartışılmıştır.

2. MAGLEV TEKNOLOJISI

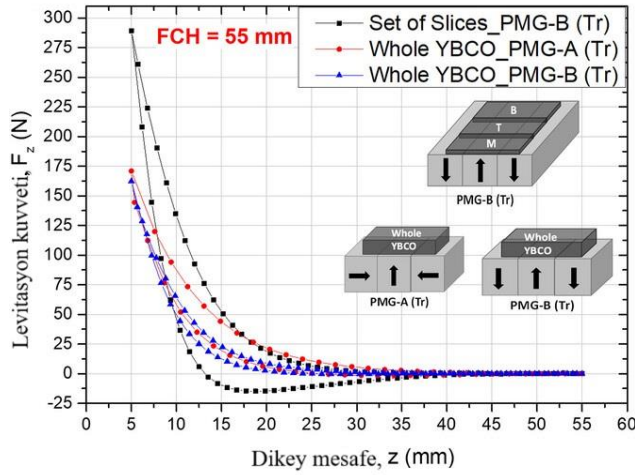
Maglev, "magnetic levitation" (manyetik kaldırma) kavramının kısaltması olup, manyetik kuvvetlerle kaldırılan ve itilen bir taşıma sistemidir. Bu sistemde, tren ile kılavuz arasında fiziksel temas yoktur. Çalışma prensibi, aynı kutuplu mıknatısların birbirini itmesi ve zıt kutupların birbirini çekmesi esasına dayanır. Elektromıknatıslar tarafından oluşturulan kuvvet, tren ile kılavuz arasındaki yaklaşık 1 cm'lik mesafeyi korur ve bu mesafe hassas bir şekilde kontrol edilir. Yanal yönlendirme, trenin dengesini ve stabilitesini sağlarken, hareket ve frenleme, elektrik motorlarındaki stator-rotor benzeri bir düzeneyle gerçekleştirilir. Motor sargılarındaki alternatif akım, treni hareket ettiren manyetik alanı oluşturur. Hız, uygulanan alternatif akımın frekansı ile ayarlanabilir; frenleme ise ters yönde manyetik bir kuvvet oluşturularak sağlanır.

Maglev teknolojisinin iki temel türü vardır: Elektromanyetik Levitasyon (EML) ve Elektrodinamik Levitasyon (EDL). EML, manyetik çekim kuvvetini kullanırken, EDL manyetik itme kuvvetinden faydalanır. EML sisteminde tren ile kılavuz arasındaki hava boşluğu yaklaşık 15 mm iken, EDL'de bu boşluk 15 cm'ye kadar çıkabilir. EML daha hassas kontrol sistemleri gerektirirken, EDL daha az hassas kontrol ile çalışabilir ve deprem etkilerine daha dayanıklıdır (Şekil 1).



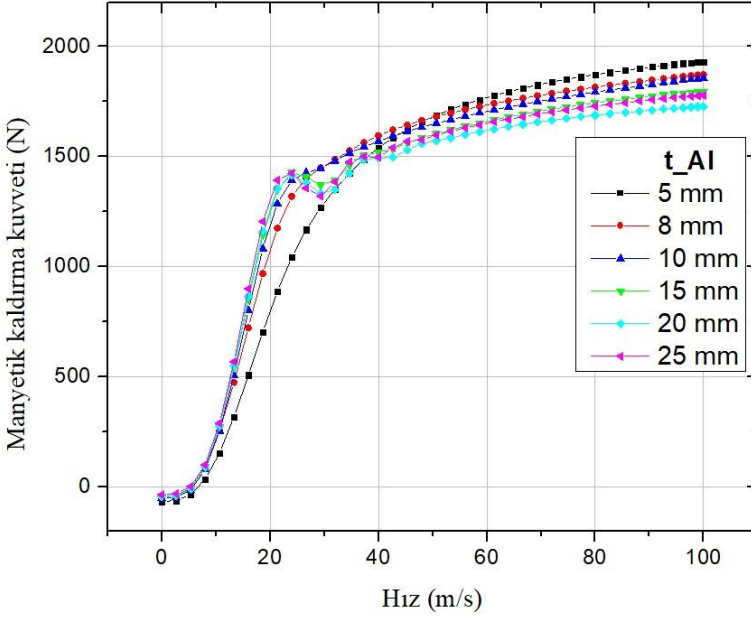
Şekil 1. EML ve EDL Sistemlerinin karşılaştırılması

EML ve EDL sistemleri üzerine yapılan çalışmalar, özellikle Maglev ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi amacıyla yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. EML sistemi için yapılan bir çalışmada, toplam ağırlığı arttırmadan Maglev sistemlerinin manyetik kuvvet verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Şekil 2’de gösterildiği gibi, kalıcı mıknatıs ve süper iletken malzemeden oluşan bir EML sisteminde, tüm Süperiletken malzeme (YBCO) ve dilim setinin enine yatar moddaki kaldırma kuvveti verilmektedir (Abdioğlu vd., 2023).



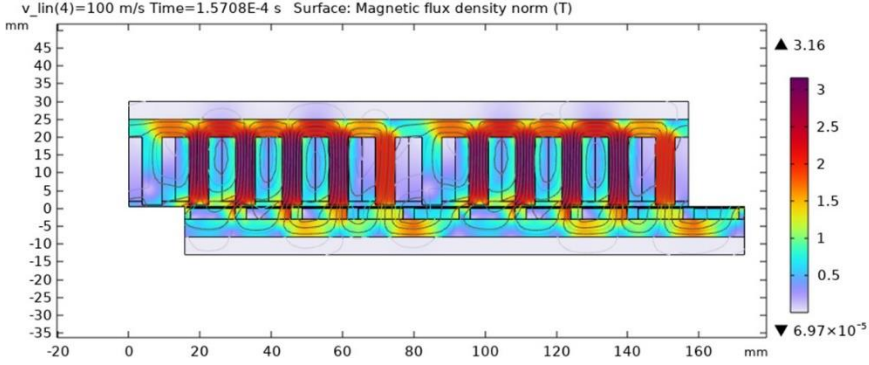
Şekil 2. Tüm YBCO ve dilim kümesinin enine yatma modunda kaldırma kuvveti

Özellikle iletken ray içeren EDL sistemleri üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, özellikle altta iletken ray üstte ise, manyetik alan kaynağı olacak şekilde, hıza bağlı olarak kaldırma kuvvet ölçümleri yapılmaktadır. Örnek bir ölçüm sonucu Şekil 3’te verilmektedir. Burada alttaki alüminyum iletken rayın hızına göre farklı kalınlıktaki alüminyum rayların kaldırma kuvvetleri görülmektedir.



Şekil 3. EDL sistemlerde hıza bağlı kuvvet ölçümleri

Ayrıca Maglev sistemlerin gelişimine katkı sağlamak amacıyla, farklı benzetim programlarında simülasyon çalışmaları da yapılmaktadır. COMSOL programında yapılan bir çalışmada (Öztürk vd., 2023), yüksek hızlı EML Maglev sisteminin manyetik akı ve manyetik kuvvet özelliklerini incelemek için manyetik alan ve hareketli ağ özelliklerine dayalı bir lineer senkron motorun 2 boyutlu sayısal modeli genişletilmiştir. Şekil 4'te genişletilen modelin $v = 100$ m/s doğrusal hız için Maglev aracında lineer senkron motorun manyetik akı yoğunluğu dağılımı verilmektedir.



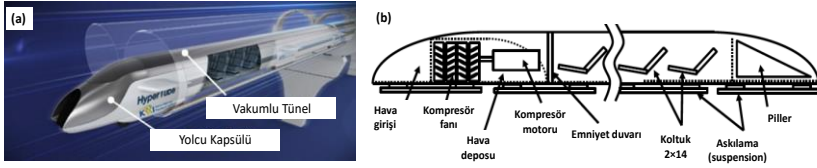
Şekil 4. $v = 100$ m/s doğrusal hız için Maglev aracında lineer senkron motorun manyetik akı yoğunluğu dağılımı

Maglev teknolojisinin tarihi, 1934 yılında Hermann Kemper'in patent başvurusuna dayanır. İlk ticari Maglev hattı, yıllar süren çalışmalar sonucunda 2004 yılında Şanghay'da hizmete açılmıştır. Bu teknoloji, yüksek hız, enerji verimliliği ve düşük bakım maliyetleri gibi avantajlar sunarken, yüksek inşaat maliyeti ve mevcut altyapılarla uyumsuzluk gibi dezavantajlara sahiptir.

3. HYPERLOOP TEKNOLOJISI

Hyperloop, modern ulaşım teknolojileri arasında yenilikçi bir yaklaşım olarak dikkat çekmektedir. Elon Musk tarafından 2013 yılında tanıtılan bu sistem hem yolcu hem de yük taşımacılığı için hızlı, verimli ve çevre dostu bir çözüm olarak tasarlanmıştır. Hyperloop'un temel konsepti, düşük basınçlı tüpler içinde manyetik itme kuvveti ile hareket eden kapsüller üzerine kuruludur. Bu yapı, hava direncini ve sürtünmeyi minimuma indirerek ulaşım hızını önemli ölçüde artırmayı hedefler. Teorik olarak, bu teknoloji 1.200 km/s gibi oldukça yüksek hızlara ulaşabilir. Hyperloop'un bu potansiyeli, özellikle uzun mesafeli taşımacılıkta, havayolu ve demiryolu taşımacılığına güçlü bir alternatif oluşturma yeteneğini vurgulamaktadır.

Hyperloop'un çalışma prensibi, birbirini tamamlayan birkaç temel bileşene dayanır. Öncelikle, tüp sistemindeki düşük basınç ortamı, kapsülün hareketini kolaylaştıran bir vakum etkisi yaratır. Bu durum, hava direncini neredeyse tamamen ortadan kaldırır. Ayrıca, kapsüller manyetik kaldırma ve itme sistemi ile hareket ettirilir. Manyetik kaldırma teknolojisi sayesinde, kapsül ile tüp yüzeyi arasında fiziksel temas olmaz, bu da sürtünmeyi sıfıra indirir ve enerji verimliliğini artırır. Manyetik itme sistemleri, kapsülleri hızlandırmak ve frenlemek için kullanılır. Böylelikle hem yüksek hızlara ulaşmak hem de güvenli bir şekilde durmak mümkün hale gelir. Şekil 5'te ABD merkezli Hyperloop Transportation Technologies (HyperloopTT) firmasının geliştirdiği kapsül görülmektedir.



Şekil 5. (a) Vakumlu tünel içerisinde hareket eden hyperloop konsept çizimi (Lim vd., 2020), (b) yolcu taşıma kapsülünün şematik çizimi (Musk, 2013).

Bu teknoloji aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da dikkat çekicidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına uygun olarak tasarlanan sistem, karbon ayak izini en aza indirmeyi amaçlar. Bu durum, Hyperloop'un geleceğin yeşil ulaşım çözümleri arasında önemli bir yer edinmesini sağlamaktadır. Çevresel etkilerinin yanı sıra, Hyperloop'un maliyet avantajları da öne çıkmaktadır. Geleneksel yüksek hızlı demiryolu veya Maglev sistemleriyle karşılaştırıldığında, Hyperloop'un daha düşük altyapı ve işletim maliyetleri sunduğu gö-

rülmektedir. Bu özellikleri, Hyperloop'u hem ekonomik hem de çevre dostu bir ulaşım alternatifi olarak öne çıkarmaktadır.

Sonuç olarak, Hyperloop teknolojisi, hız, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından ulaşım sektöründe devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Geliştirilmekte olan bu sistem, gelecekteki taşımacılık ihtiyaçlarını karşılamak için güçlü bir adaydır ve mevcut sistemlere kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Hyperloop'un yüksek hızlara ulaşmasını sağlayan düşük basınçlı tüp yapısı ve manyetik itme mekanizması, bu sistemin temelini oluşturarak geleceğin ulaşımını yeniden tanımlamaktadır.

4. KARŞILAŞTIRMA: MAGLEV VE HYPERLOOP

Maglev ve Hyperloop teknolojileri, yüksek hızlı ulaşım sistemleri arasında geleceğin en dikkat çekici çözümleri olarak değerlendirilmektedir. Bu iki sistem, hız, verimlilik, maliyet, çevresel etki, güvenlik ve uygulanabilirlik gibi çeşitli kriterlerde farklı avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır. Bu bölümde, Maglev ve Hyperloop teknolojileri arasında yapılan kapsamlı bir karşılaştırma verilmektedir.

Maglev ve Hyperloop ulaşım sistemlerinin karşılaştırılması, gelecekteki ulaşım çözümleri için kritik faktörler olan hız, güvenilirlik, maliyet, verimlilik ve karbon ayak izi açısından önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Manyetik kaldırma kuvveti kullanan Maglev sistemleri, 430 km/s'yi aşan hızlara ulaşabilirken, mekanik sürtünmenin azalması ve daha az hareketli parça sayesinde yüksek güvenilirlik ve düşük bakım maliyetleri sağlayabilmektedir (Han, 2024; Li vd., 2020; Lin ve Sheng, 2018). Maglev trenlerinin operasyonel verimliliği, virajları ve eğimleri etkili bir şekilde müzakere etme kabiliyetleri sayesinde artmakta, bu da geleneksel raylı sistemlere kıyasla daha yumuşak bir sürüş ve daha düşük enerji tüketimi ile sonuçlanmaktadır (Han, 2024; Yavuz ve Öztürk, 2021). Buna karşılık, Hyperloop

konsepti, düşük basınçlı tüplerdeki basınçlı kapsüller aracılığıyla 1.200 km/saate kadar hız önermekte ve yüksek verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım modu hedeflemektedir (Balabel, ve Almujiyah, 2022; Gkoumas ve Christou, 2020). Bununla birlikte, Hyperloop'un altyapısı ve teknolojisi hala büyük ölçüde teoriktir ve güvenlik, enerji tüketimi ve finansal fizibilite ile ilgili önemli zorluklar henüz tam olarak ele alınmamıştır (Gkoumas ve Christou, 2020; Mitropoulos vd., 2021).

Maliyet açısından bakıldığında, Maglev sistemleri, 2003 yılından bu yana %99,8-99,9 dakiklik oranıyla güvenilir bir şekilde çalışan Şangay Maglev gibi başarılı uygulamalarla uygulanabilirliklerini kanıtlamıştır (Lin ve Sheng, 2018). Hyperloop, enerji tasarruflu tasarımı sayesinde daha düşük işletme maliyetleri vaat etse de ilk yatırım ve altyapı geliştirme maliyetleri konusunda hala belirsizliklerle karşı karşıyadır (Gkoumas ve Christou, 2020; Mitropoulos vd., 2021). Her iki sistem de karbon ayak izlerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır; Maglev trenleri düşük emisyonları ve enerji tasarruflu çalışmalarıyla tanınırken, Hyperloop teknolojisi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak üzere tasarlanmıştır (Balabel, ve Almujiyah, 2022; Gkoumas ve Christou, 2020). Sonuç olarak hem Maglev hem de Hyperloop yüksek hızlı ulaşım için yenilikçi çözümler sunarken, pratik uygulamaları, ekonomik etkileri ve çevresel etkileri, gelecekteki transit sistemlerindeki rollerini belirlemek için daha fazla araştırma ve geliştirme gerektirmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, gelecekte yüksek hızlı ulaşım alanında büyük yenilikler sunma potansiyeline sahip iki ileri teknoloji, Maglev ve Hyperloop sistemlerini kapsamlı bir şekilde karşılaştırmıştır. Elde edilen bulgular, bu sistemlerin farklı güçlü yönlerini ve zayıflıklarını analiz ederek, belirli ulaşım ihtiyaçlarına göre uygulanabilirliklerini değerlendirmeye olanak tanımıştır.

Maglev teknolojisi, sağlam altyapısı ve güvenilir çalışma prensibi ile özellikle kentsel alanlarda öne çıkmaktadır. 600 km/sa hız kapasitesine sahip olan Maglev sistemleri, kilometre başına 1,2 kWh enerji tüketimi ile dikkat çekici bir enerji verimliliği sunmaktadır. Bunun yanında, düşük gürültü ve titreşim seviyeleriyle çevre dostu bir seçenek oluşturan bu teknoloji, 50 kg/km CO₂ emisyon oranıyla çevresel sürdürülebilirlik açısından olumlu bir profil sergilemektedir. Ancak, kilometre başına 50 milyon doları bulan yüksek altyapı maliyetleri, bu sistemin en önemli dezavantajlarından biridir.

Hyperloop sistemi ise henüz geliştirme aşamasında olmasına rağmen, ekonomik ve çevresel avantajlarıyla umut vaat etmektedir. 1.200 km/sa'i aşan hız kapasitesi ile Hyperloop, kilometre başına sadece 0,8 kWh enerji tüketmekte ve 20 kg/km CO₂ emisyonuyla çevresel etkileri asgari düzeye indirmektedir. 35 milyon dolar olarak tahmin edilen kilometre başına altyapı maliyeti ve basit işletim süreçleri, Hyperloop'un ekonomik olarak uygulanabilirliğini artırmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojinin deneysel yapısı ve vakum tüpü bakımındaki teknik zorluklar, ilerleyen süreçte daha fazla araştırma ve geliştirme ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Çalışma ayrıca, bu teknolojilerin gelecekteki kullanım oranlarına dair projeksiyonlar sunmaktadır. Tahminlere göre, 2040 yılına kadar Maglev sistemlerinin mevcut altyapı ile uyumundan faydalanarak kentsel bölgelerde %70 benimsenme ora-

nına ulaşması beklenmektedir. Öte yandan, kırsal bölgelerde Hyperloop'un uyarlanabilir tasarımı ve düşük maliyet avantajıyla %40 benimsenme oranına erişebileceği öngörülmektedir.

Genel olarak, Maglev ve Hyperloop, yüksek hızlı ulaşım sistemleri için farklı ancak tamamlayıcı çözümler sunmaktadır. Maglev, kentsel bağlantılar için güvenilir bir seçenek olarak öne çıkarken; Hyperloop, uzun mesafeli taşımacılıkta hızı ve çevresel sürdürülebilirliğiyle vizyoner bir alternatif sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, bu sistemlerin teknik ve ekonomik zorluklarını aşmayı hedefleyerek, farklı coğrafi ve sosyo-ekonomik koşullara uygun bir şekilde optimize edilmesine odaklanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abdelrahman, A. and Sayeed, J. (2018). Hyperloop transportation system: analysis, design, control, and implementation. *Ieee Transactions on Industrial Electronics*, 65(9), 7427-7436. <https://doi.org/10.1109/tie.2017.2777412>
- Abdioglu, M., Ozturk, K., Ekici, M., Savaskan, B., Celik, S., & Cansiz, A. (2021). Design and experimental studies on superconducting maglev systems with multisurface HTS-PMG arrangements. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 31(6), 1-7.
- Abdioglu, M., Ozturk, U. K., Guner, S. B., Ozturk, M., Mollahasanoglu, H., & Yanmaz, E. (2023). Enhancing magnetic levitation and guidance force and weight efficiency of high-temperature superconducting maglev systems by using sliced bulk YBCO. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 20(6), 3766-3774.
- Armağan, K. (2020). The fifth mode of transportation: Hyperloop. *Journal of innovative transportation*, 1(1), 1105.
- Balabel, A. E., & Almujiabah, H. R. (2022). Towards sustainable transportation: The development of hyperloop technology in Saudi Arabia. *World Journal of Engineering and Technology Research*, 2(1), 001-011.
- Bansal, H., & Kumar, P. (2019). A Review on Hyperloop Transportation System. *Int. J. Trend Sci. Res. Dev*, 3, 447-451.
- Bhuiya, M., Aziz, M., Mursheda, F., Lum, R., Brar, N., & Youssef, M. (2022). A new hyperloop transportation system: design and practical integration. *Robotics*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.3390/robotics11010023>

- Chaidez, E., Bhattacharyya, S., & Karpetis, A. (2019). Levitation methods for use in the hyperloop high-speed transportation system. *Energies*, 12(21), 4190. <https://doi.org/10.3390/en12214190>
- de Rus Mendoza, G. (2012). Economic analysis of high speed rail in Europe. Fundacion BBVA.
- Ding, S., Eberhard, P., Schneider, G., Schmid, P., Kargl, A., Cui, Y., ... & Zheng, Q. (2023). Development of new electromagnetic suspension-based high-speed maglev vehicles in china: historical and recent progress in the field of dynamical simulation. *International Journal of Mechanical System Dynamics*, 3(2), 97-118. <https://doi.org/10.1002/msd2.12069>
- Gieras, J. F. (2020). Ultra high-speed ground transportation systems: Current Status and a vision for the future. *Organ*, 9, 20.
- Gkoumas, K. and Christou, M. (2020). A triple-helix approach for the assessment of hyperloop potential in europe. *Sustainability*, 12(19), 7868. <https://doi.org/10.3390/su12197868>
- Gou, J. (2018). Development status and global competition trends analysis of maglev transportation technology based on patent data. *Urban Rail Transit*, 4(3), 117-129. <https://doi.org/10.1007/s40864-018-0087-3>
- Guo, Z., Li, J., & Zhou, D. (2019). Study of a null-flux coil electrodynamic suspension structure for evacuated tube transportation. *Symmetry*, 11(10), 1239. <https://doi.org/10.3390/sym11101239>
- Guerrieri, M. (2023). High-Speed Railways, Maglev and Hyperloop Systems. In *Fundamentals of Railway Design* (pp. 217-227). Cham: Springer Nature Switzerland.

- Han, Z., Zeng, G., & Ye, F. (2024). Research on environmental vibration induced by high-speed maglev transportation. *Applied Sciences*, 14(1), 413. <https://doi.org/10.3390/app14010413>
- Hedhly, W., Amin, O., Shihada, B., & Alouini, M. (2021). Hyperloop communications: challenges, advances, and approaches. *Ieee Open Journal of the Communications Society*, 2, 2413-2435. <https://doi.org/10.1109/ojcoms.2021.3121313>
- Huang, H., Li, H., Sun, Y., & Hu, X. (2024). Development and Challenges of Maglev Transportation.
- Kirschen, P. and Burnell, E. (2021). Hyperloop system optimization.. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2104.03907>
- Li, Y., Zhou, D., & Li, J. (2020). Vertical dynamic response prediction of the electromagnetic levitation systems. *Applied Sciences*, 10(7), 2580. <https://doi.org/10.3390/app10072580>
- Lin, G. and Sheng, X. (2018). Application and further development of maglev transportation in china. *Transportation Systems and Technology*, 4(3), 36-43. <https://doi.org/10.17816/transsyst20184336-43>
- Liu, R., & Deng, Y. (2004). Comparing operating characteristics of high-speed rail and maglev systems: case study of Beijing-Shanghai corridor. *Transportation research record*, 1863(1), 19-27.
- Lukić, D. C. and Zlatanović, E. (2020). High-speed trains – maglev trains. *Савремена Теорија И Пракса У Градитељству*, 14(1). <https://doi.org/10.7251/stp2014375l>

- Milan, J. (2018). Multicriteria evaluation of the high speed rail, transrapid maglev and hyperloop systems. *Инновационные транспортные системы и технологии*, 4(4), 5-31.
- Mirza, M. and Ali, Z. (2022). Numerical analysis of aerodynamic characteristics of multi-pod hyperloop system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part G Journal of Aerospace Engineering*, 237(8), 1727-1750. <https://doi.org/10.1177/09544100221137483>
- Mitropoulos, L., Kortsari, A., Koliatos, A., & Aifadopoulou, G. (2021). The hyperloop system and stakeholders: a review and future directions. *Sustainability*, 13(15), 8430. <https://doi.org/10.3390/su13158430>
- Nick, N. and Sato, Y. (2020). Computational fluid dynamics simulation of hyperloop pod predicting laminar–turbulent transition. *Railway Engineering Science*, 28(1), 97-111. <https://doi.org/10.1007/s40534-020-00204-z>
- Nøland, J. K. (2024). A Reality Check on Maglev Technology for the Hyperloop Transportation System: Status Update After a Decade of Development. *IEEE Access*.
- Opgenoord, M. and Caplan, P. (2017). On the aerodynamic design of the hyperloop concept.. <https://doi.org/10.2514/6.2017-3740>
- Ou, F., Liao, X., Yi, C., Chen, Z., & Lin, J. (2022). Field experimental tests and analyses of suspension frame vibration of low-medium speed maglev train. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 42(2), 496-508. <https://doi.org/10.1177/14613484221117961>

- Ozturk, U. K., Abdioglu, M., & Mollahasanoglu, H. (2023). Magnetic force performance of hybrid multisurface HTS maglev system with auxiliary onboard PMs. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 33(3), 1-6.
- Ozturk, U. K., Abdioglu, M., Ozkat, E. C., & Mollahasanoglu, H. (2023). Extended 2-D magnetic field modeling of linear motor to investigate the magnetic force parameters of high-speed superconducting maglev. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 33(4), 1-8.
- Prabhakar, A., Shekhar, A., Jain, B., Zunaid, M., & Ansari, N. (2022). Numerical analysis of aerodynamic drag for the hyperloop system.. <https://doi.org/10.3233/atde220733>
- Prasad, N., Jain, S., & Gupta, S. (2019). Electrical components of maglev systems: emerging trends. *Urban Rail Transit*, 5(2), 67-79. <https://doi.org/10.1007/s40864-019-0104-1>
- Riviera, M. (2018). High-speed trains comparison to Hyperloop: energy, sustainability and safety analysis Hyperloop integrations to reach the NOAH concept (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
- Saraf, P., Singh, N., Kattamuri, P., Karhade, J., & Bhattacharya, I. (2020). On-board electrical, electronics and pose estimation system for hyperloop pod design.. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.13345376.v1>
- Stryhunivska, O., Gdowska, K., & Rumin, R. (2020). Key points of the management system for the safety of passengers travelling with low-pressure trains. *New Trends in Production Engineering*, 3(1), 462-471. <https://doi.org/10.2478/ntpe-2020-0039>
- Tesla, Hyperloop Alpha Report. [cited 2020 20 July];

Availablefrom:

https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf

Tudor, D., Govoni, T., Leipold, M., & Paolone, M. (2022). Design of a hyperloop system mockup., 1055-1062. <https://doi.org/10.1109/itsc55140.2022.9921742>

UIC High Speed Rail Report.[cited 2020 6 July]; Available from:https://uic.org/IMG/pdf/uic_high_speed_2018_ph08_web.pdf.

van Goeverden, K., Milakis, D., Janic, M., & Konings, R. (2018). Analysis and modelling of performances of the HL (Hyperloop) transport system. European Transport Research Review, 10(2), 1-17.

Wang, X., Zheng, J., Rao, Y., Yong, Z., Deng, Z., & Xiao, H. (2023). Aerodynamic load analyses of less-emission hts maglev train in evacuated tube transport system. Frontiers in Energy Research, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1218137>

Werfel, F., Floegel-Delor, U., Rothfeld, R., Riedel, T., Goebel, B., Wippich, D., ... & Schirrmeister, P. (2011). Superconductor bearings, flywheels and transportation. Superconductor Science and Technology, 25(1), 014007. <https://doi.org/10.1088/0953-2048/25/1/014007>

Yavuz, M. N., & Öztürk, Z. (2021). Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems. International Advanced Researches and Engineering Journal, 5(1), 113-122.

Yi, J. and liu, X. (2018). Modeling and analysis of medium speed maglev vehicle network based on cpn. MATEC Web of Conferences, 176, 01016. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201817601016>

- Zhang, W., Deng, Z., Zhang, Y., Wang, H., Zheng, J., Shi, Y., ... & Cardwell, D. (2019). Magnetic levitation and guidance performance of y-ba-cu-o and gd-ba-cu-o bulk superconductors under low ambient pressure. *Journal of Physics D Applied Physics*, 52(36), 365001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab2b80>
- Ziemke, D. (2010). Comparison of high-speed rail systems for the United States (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ARAÇ YOĞUNLUĞUNA BAĞLI TRAFİK SİNYALİZASYONU

Öğr. Gör. Dr. Çağatay ERSİN¹

Öğr. Gör. Müslüm GÜR²

1. INTRODUCTION

Görüntü işleme, görsel verilerin işlenmesi, özelliklerinin belirlenmesi ve bilginin çıkarımı gibi birçok teknolojik alanda kullanılmaktadır (Gonzalez, 2009). Görüntü işleme uygulamaları ilk olarak askeri ve uzaktan algılama sistemlerinde başlamış ancak günümüzde tıp, güvenlik, otomotiv endüstrisi gibi birçok alana uygulanmaktadır (Pratt, 1991). Geleneksel görüntü işleme yöntemlerinde kenar belirleme, histogram eşitleme, bölütleme (segmentasyon, özellik çıkarıma ve kontrast artırımı gibi temel işlemler ele alınmıştır (Abdullah-Al-Wadud, Kabir, Dewan, & Chae, 2007; Canny, 1986; Haralick & Shapiro, 1985; Pizer et al., 1987). Fakat son zamanlarda makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımların artması ile beraber görüntü işlemede yeni bir çığır açılmıştır. Özellikle Evrişimli Sinir Ağları (CNN), İleri Beslemeli Sinir Ağları (FFNN), Yinelemeli Sinir Ağları, Uzun-Kısa Süreli Bellek ve Kapı Yinelemeli Birimler gibi derin öğrenme modelleri görüntü işlemede çok fazla tercih edilmektedir (Mosavi, Ardabili, & Varkonyi-Koczy, 2019). Derin öğrenme modelleri, nesne algılama, yüz tanıma, tıbbi görüntü analizi, mimari alanlarda ve tarımsal alanlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Dixit, Tiwari, Pathak, & Astya, 2018; He, Zhang, Ren, & Sun, 2016; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018; Litjens et al., 2017; Parkhi, Vedaldi, & Zisserman, 2015). Büyük

^{1,2} Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Çankırı/Türkiye
ORCID: ¹0000-0001-5018-9313, ²0000-0002-4842-5345

şehirlerin problemlerinden birisi de trafik yoğunluklarının artmasıyla beraberinde sorunları da getirmesidir(Salcedo-Sanz, Cuadra, Alexandre-Cortizo, Jiménez-Fernández, & Portilla-Figueras, 2014). Yolların ve sokakların yetersizliği, yollardaki dinamik değişikliklerin olması ve kullanıcıların bilinçsiz olmalarından dolayı karayollarının araç yoğunluğu çok fazla olmaktadır (Yusupbekov, Marakhimov, Igamberdiev, & Umarov, 2016). Kavşaklar, araç sayısına ve trafik sinyalizasyonuna bağlı olarak trafik akışında önemli bir rol oynarlar. Kavşaklar, boyutuna, kullanım amacına ve şerit sayısına göre kategorize edilebilir (Gallelli, Vaiana, & Iuele, 2014). Literatürde farklı ülkeler ve farklı şehirler için trafik sinyalizasyonları üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Fernandes, Coelho, & Roupail, 2017; Olayode, Tartibu, Okwu, & Uchechi, 2020; Oskarbski, Guminska, Miszewski, & Oskarbska, 2016; Schad, 1935; Uludamar & Tüccar, 2018).

Bu çalışmada, Çankırı ilinin dört yönlü bir trafik kavşağındaki trafik lambalarının sinyalizasyon sistemi dört yönden aynı zamanlı görüntüler alınarak araç yoğunluğuna bağlı olarak trafik ışıklarının yanma sürelerinin değişimi incelenmiştir. Trafik ışıklarının yanma sürelerinin, araç sayısı ve kuyruk uzunluğuna paralel olarak değişmesi önerilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı araçları minimum sürede bekletmek, trafik yoğunluğunu azaltmak, kavşaklardaki güvenli seyahati sağlamak, yol kapasitesini düzenlemek, CO₂ salınımını azaltarak ekolojik sistemin zarar görmesini engellemek ve araçların yakıt sarfiyatlarını en aza indirmektedir.

2. MATERYAL VE METHOD

Görüntü işleme, dijital görüntüleri analiz etmek ve onlardan anlamlı bilgi çıkarmak amacıyla kullanılan bir tekniktir. Bu alandaki çalışmalar, görüntülerin sayısal olarak işlenmesi, iyileştirilmesi ve nesnelerin tespiti gibi çeşitli uygulamaları kapsamaktadır. Görüntü işleme, askeri, tıbbi, güvenlik ve otomotiv gibi birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesi bulmaktadır (Gonzalez, 2009). İlk olarak 1960'larda başlayan görüntü işleme çalışmaları, zamanla gelişerek bugünkü yüksek çözünürlüklü ve gerçek zamanlı sistemlere dönüşmüştür (Pratt, 1991). Başlangıçta, temel görüntü işleme yöntemleri arasında kenar algılama, histogram eşitleme ve segmentasyon gibi işlemler yer alırken, son yıllarda **makine öğrenmesi** ve **derin öğrenme** tabanlı yaklaşımlar ön plana çıkmıştır (Canny, 1986; Haralick & Shapiro, 1985). Görüntü işleme teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, **Evrişimli Sinir Ağları (CNN)** gibi derin öğrenme algoritmaları, nesne tanıma, yüz tanıma ve görüntü iyileştirme alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (LeCun, Bottou, Bengio, & Haffner, 1998). Görüntü işleme uygulamaları, tıbbi görüntüleme, güvenlik ve endüstriyel otomasyon gibi alanlarda da önemli bir yer tutmaktadır. Tıbbi alanda, **medikal görüntü işleme**, hastalıkların teşhis edilmesinde, özellikle **x-ray, MRI ve CT taramaları** gibi görsellerin analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılır (Litjens et al., 2017). Ayrıca, **güvenlik kameraları** ve **yüz tanıma sistemleri** gibi uygulamalar, güvenlik alanında görüntü işleme teknolojilerinin pratik kullanım örneklerini sunmaktadır (Parkhi et al., 2015).

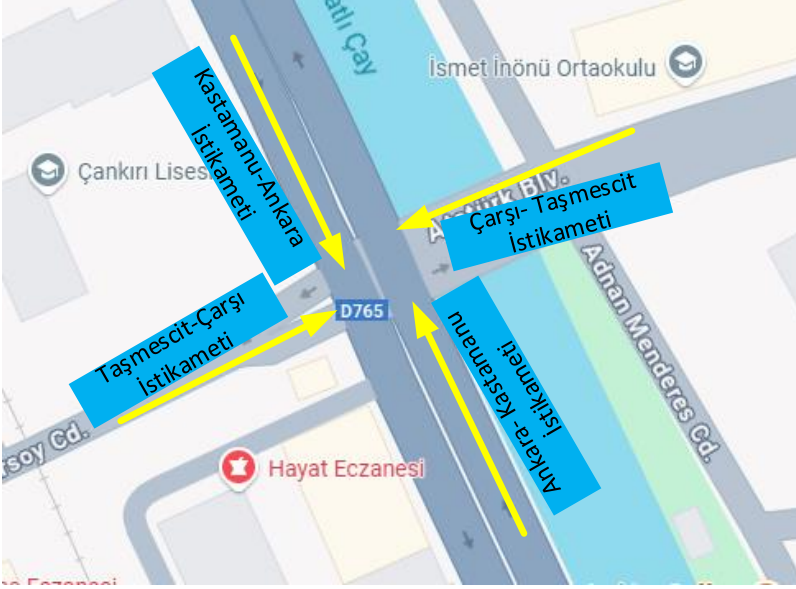
Makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı yöntemler, geleneksel yöntemlere göre daha yüksek doğruluk oranları sağlamakta ve daha karmaşık görevleri çözebilmektedir. **Evrişimli Sinir Ağları (CNN)**, özellikle görüntüdeki nesneleri tanımlama ve sınıflandırma görevlerinde çok başarılıdır. Bu model, özellikle **Yolo (You Only Look Once)** ve **Faster R-CNN**

gibi gelişmiş ağlarla nesne tespiti konusunda önemli ilerlemeler kaydetmiştir (J Redmon, 2016). Derin öğrenme modelleri, görüntü işleme alanındaki birçok problemi çözmek için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Trafik analizi ve izleme gibi uygulamalarda da görüntü işleme önemli bir yere sahiptir. **Görüntüdeki araçların sayılması ve trafik yoğunluğunun analiz edilmesi**, kavşak yönetimi ve trafik sinyalizasyonu için etkili çözümler sunmaktadır. Özellikle, **YOLO** gibi nesne tespiti algoritmaları, video akışlarında araç sayımını gerçek zamanlı olarak yapabilmektedir. (Joseph Redmon, 2018). Bunun dışında, **Optik akış** ve **hareket algılama** gibi yöntemler, araçların hareketini izlemek ve trafik akışını analiz etmek için kullanılır (Barron, Fleet, & Beauchemin, 1994). Görüntü işleme alanı, zaman içinde çok geniş bir yelpazeye yayılmıştır ve **derin öğrenme** ve **makine öğrenmesi** gibi modern yöntemlerle sürekli olarak gelişmektedir. Bu gelişmeler, daha doğru, hızlı ve verimli görüntü işleme uygulamalarının ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Çankırı ilindeki en işlek dört yönlü kavşakta, her bir yönden eş zamanlı olarak alınan kameralarla trafik yoğunluğu verisi toplanmıştır. Toplanan bu veriler, Python dilinde Spyder programında Opencv kullanılarak gerçekleştirilmiş videolar işlenmiş ve araç sayımı yapılmıştır. Bu sayım sonuçlarına göre, trafik ışıklarının yanma sürelerinin araç sayısına göre belirlenmesi önerilmiştir.

2.1 Veri Kaynağı ve Görüntü Toplama

Çalışmada kullanılan görseller, Şekil 1'de gösterilen Çankırı ilindeki dört yönlü en işlek kavşaktan elde edilmiştir. Kavşak, dört ayrı geçiş yoluna sahip olup, her bir yol için bir kamera kurulmuştur. Her bir kameradan alınan görüntüler, yüksek çözünürlükte ve 30 saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Kameraların yerleşimleri, kavşakların her dört yönünü kapsayacak şekilde stratejik olarak belirlenmiştir. Kameralar, trafik ışıkları ve araç yoğunluğunun net bir şekilde izlenebilmesini sağlayacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 1. Trafik sinyalizasyon çalışmasının yapıldığı Çankırı ili kavşağı.

2.2 Görüntü İşleme Araçları

Görüntülerin işlenmesi için Python programlama dili ve OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır. Python dili, geniş kütüphane desteği, açık kaynak kodlu olması ve kullanım kolaylığı sayesinde görüntü işleme projelerinde sıkça tercih edilen bir programlama dili olarak kullanılmaktadır. OpenCV kütüphanesi, Python dili ile uyumlu çalışarak, çeşitli görüntü işleme algoritmalarının hızlı ve verimli bir şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, OpenCV kütüphanesi araç tespiti, yoğunluk analizi, hareket algılama ve trafik ışığı sürelerinin dinamik kontrolü gibi temel işlemler için güçlü fonksiyonları kullanılmıştır. Özellikle Haar Cascade sınıflandırıcıları, araçları tespit etmek için kullanılarak, her bir karede araç sayımı yapılabilmektedir. Ayrıca, Canny Kenar Algılama gibi filtreler ile görüntüdeki nesnelerin sınırları belirlenmiş ve araçlar net bir şekilde tespit edilebilmektedir. OpenCV, ayrıca video akışını gerçek

zamanlı işleyebilme yeteneğiyle, kavşaklardaki anlık trafik yoğunluğunu izlememize imkan tanımaktadır. Görüntülerin toplanmasında, HD kamera gibi güvenilir ve yüksek çözünürlüklü kameralar tercih edilmiştir. Bu kameralar, yüksek kaliteli görüntüler elde etmek ve düşük ışık koşullarında bile doğru veri toplamak için seçilmiştir.

3. ÇALIŞMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu araştırma, görüntü işleme ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlarla trafik ışıklarının yanma sürelerini dinamik olarak optimize etmeyi amaçlamaktadır. Araç sayısına ve kavşaklardaki trafik yoğunluğuna bağlı olarak, trafik ışıklarının sürelerinin belirlenmesi önerilmiştir.

3.1 Veri Toplama ve Ön İşleme:

- **Görüntülerin Alınması:** Kavşağın her bir yönü için, farklı açılardan görüntü kaydedilmiştir.
- **Görüntü Ön İşleme:** Toplanan görüntüler, ön işleme adımlarına tabi tutulmuştur. Bu adımlar görüntü çözünürlüğüne göre her bir video için ayrı ayarlanmıştır. Videoların işlenmesinde sensör adı verilen kırmızı bir çizgi eklenmiş ve araçlar kırmızı çizgiyi geçtiklerinde araç sayımını gerçekleştirmektedir. Ayrıca araçların videodaki boyutlarına göre görüntüler yazılım ile ayarlanmıştır.

3.2 Araç Tespiti ve Sayımı:

- **Hareket Algılama:** Görüntülerdeki hareketi algılamak için hareket algılama yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, araçların hareketini izlemek ve araç geçişlerini belirlemek için kullanılır.
- **Araç Sayımı:** Kameradan elde edilen her karede, tespit edilen araçların sayısı hesaplanmıştır. Bu sayım, her bir yön için ayrı ayrı yapılmış ve her yönde aracın yoğunluğu belirlenmiştir.

3.3 Python cvlib Kütüphanesi

Python'da cvlib kütüphanesi, nesne tespiti, yüz tanıma, araç sayımı ve diğer bilgisayarla görme uygulamaları için güçlü bir araçtır. Bu kütüphane, özellikle hızlı ve doğru nesne tanıma işlemleri gerçekleştirmek için kullanılır. Çeşitli derin öğrenme modelleri ve önceden eğitilmiş sınıflandırıcılarla çalışarak, nesnelerin doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlar. cvlib, nesne tespiti için YOLO (You Only Look Once) gibi popüler derin öğrenme tabanlı yöntemleri entegre bir şekilde kullanır. Bu yöntem, görüntü üzerinde bulunan tüm nesneleri, sınıf etiketleri ve güven skorlarıyla birlikte tespit eder. YOLO, nesneleri aynı anda tespit edebilme özelliğiyle yüksek verimlilik sunar ve özellikle gerçek zamanlı uygulamalar için uygundur. cvlib kütüphanesinin bir başka avantajı, TensorFlow ve Keras gibi derin öğrenme kütüphanelerine entegre olabilmesidir. Bu sayede, kullanıcılar kendi özelleştirilmiş modellerini eğiterek daha spesifik nesneleri tespit edebilirler. Nesne tespiti sürecinde, görüntü verisi, model tarafından analiz edilerek nesnelerin koordinatları, sınıflandırmaları ve güven skorları hesaplanır. Nesnelerin sayımı, görüntü üzerinde belirli bir nesne türünün (örneğin, araçlar) sayısını belirlemek için bu koordinatlar kullanılarak yapılır.

Araç sayımı için kullanılan cvlib, özellikle trafik yönetimi ve güvenlik sistemlerinde faydalı bir araçtır. Görüntü işleme sürecinde, araçlar kamera görüntülerinde tanımlanarak her bir araç için bir etiket belirlenir. Bu etiketler sayesinde, aracın varlığı sayılır ve belirli bir alandaki araç yoğunluğu tespit edilir. cvlib ile yapılan araç sayımı, yüksek doğruluk oranı ve hızlı işlem süresi sunar, böylece gerçek zamanlı trafik izleme ve analiz yapılabilir.

Ayrıca, cvlib kütüphanesi, daha hassas sonuçlar elde edebilmek için modelin eğitiminde kullanılan verilerin çeşitliliğine dikkat eder. Eğitim veri setindeki nesneler doğru bir şekilde

etiketlenmiş olmalı ve modelin doğruluğunu artırmak için farklı çevresel koşullar ve ışıklandırmalar göz önünde bulundurulmalıdır. cvlib ayrıca, video akışları üzerinde işlem yapabilme yeteneği sunarak, hareketli görüntülerde de nesne tespiti yapılmasını sağlar. Bu özellik, özellikle trafik izleme sistemleri ve güvenlik kameralarındaki araç sayımını optimize etmek için idealdir.

Sonuç olarak, cvlib kütüphanesi, Python ile bilgisayarla görme görevlerini hızlı ve etkili bir şekilde çözmek için önemli bir araçtır. Nesne tespiti ve sayımı için kullanılan bu yöntemler, yüksek verimlilik ve doğruluk sağlar. Ayrıca, derin öğrenme yöntemlerinin entegrasyonu ile özelleştirilebilir ve geliştirilebilir, bu da farklı uygulama alanlarında geniş bir kullanım yelpazesi sunar.

3.4. Araç Sayısının Görüntü İşleme İle Tespiti

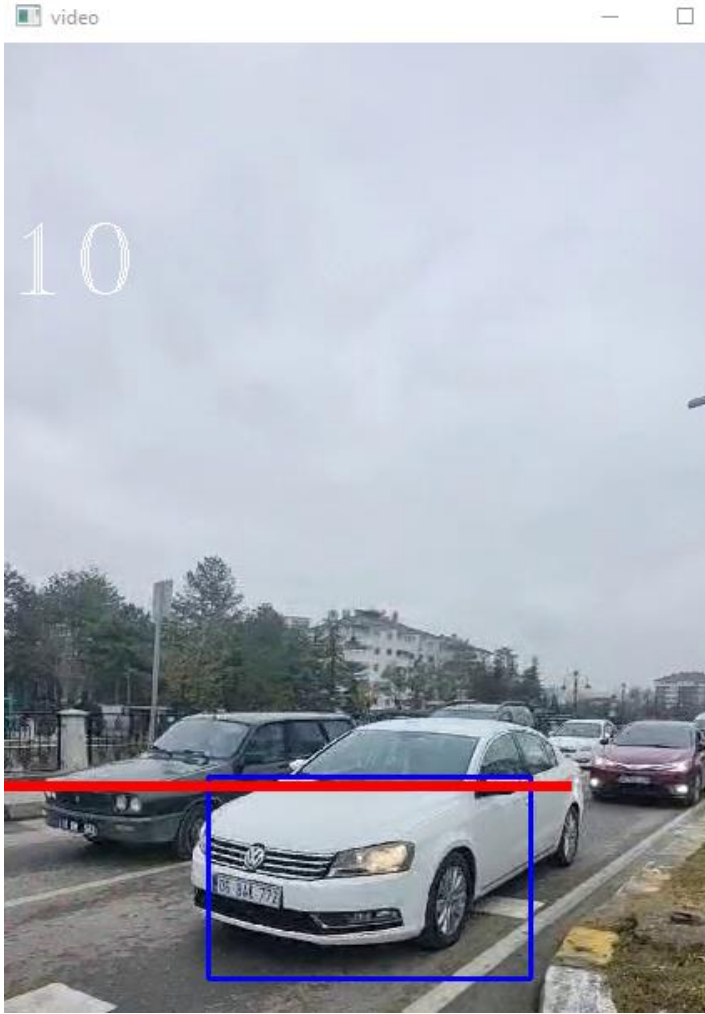
Bu çalışmada, Çankırı ilindeki dört yönlü bir trafik kavşağında trafik ışıklarının sinyalizasyon sisteminin araç yoğunluğuna bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir. Araç sayısı ve kuyruk uzunluğuna bağlı olarak trafik ışıklarının yanma sürelerinin değişimi gözlemlenmiştir. Çalışmanın amacı, araçları minimum sürede bekletmek, trafik yoğunluğunu azaltmak, kavşaklarda güvenli seyahati sağlamak ve yol kapasitesini düzenlemektir. Ayrıca, bu sistemin CO₂ salınımını azaltarak çevresel etkiyi en aza indirmesi ve araçların yakıt tüketimini düşürmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, kavşakların dört yönünden aynı anda video görüntüleri alınarak trafik yoğunluğu analiz edilmiştir. Görüntü işleme tekniklerinden yararlanılarak, bu videolardan araç sayıları tespit edilmiştir. Python dilinde yazılmış olan OpenCV kütüphanesi, araçların sayısını doğru bir şekilde hesaplamak için kullanılmıştır. Video görüntülerinin analiz edilmesi sırasında araçların her birini tespit etmek ve saymak için görüntü işleme algoritmaları uygulanmıştır. Kastamonu istikametinden Ankara istikametine doğru ilerleyen araçların trafik ışıklarındaki sayısı

Şekil 2’de gösterilmiştir. Görüntüler yeşil ışığın yandığı süre boyunca kaydedilmiş ve görüntü işleme teknikleri ile araç sayısı hesaplanmıştır. 4 farklı kavşaktan alınan veriler doğrultusunda en yoğun Kastamonu Anlara istikameti en az yoğunluk oluşturan ise Taşmescit bölgesinden gelen araçlar olduğu görülmektedir.



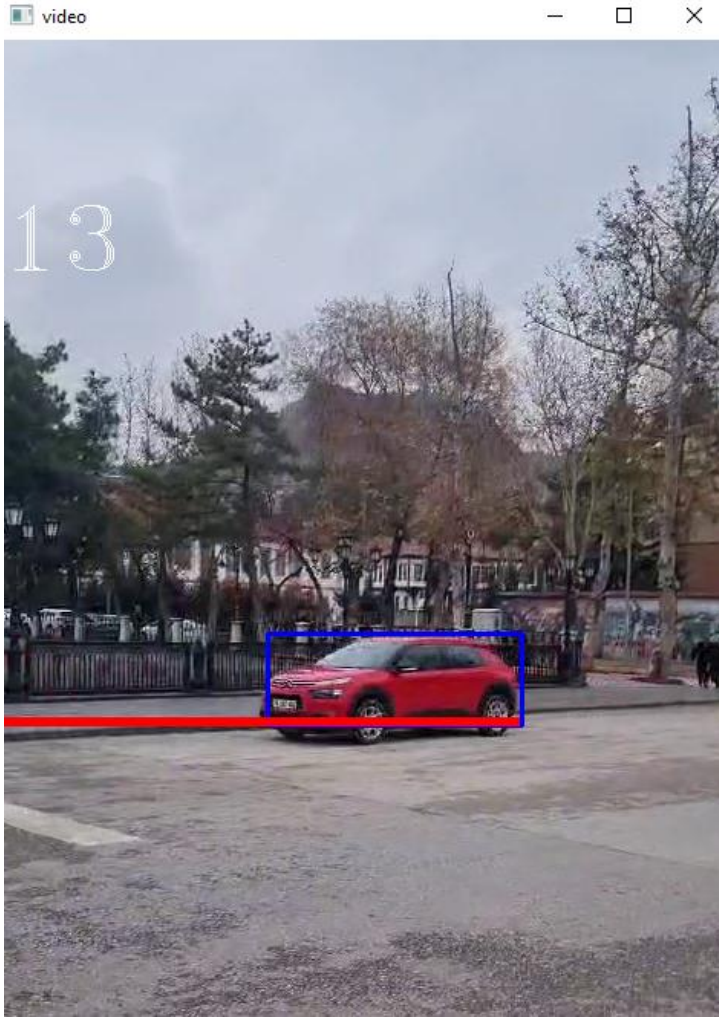
Şekil 2. Kastamonu istikametinden Ankara istikametine doğru giden araçların sayısı

Yeşil ışığın yanma süresi boyunca trafik ışıklarından toplamda 17 araç geçiş yapmıştır. Ankara istikametinden Kastamonu istikametine doğru hareket eden araçların trafik ışıkları sırasındaki sayısı Şekil 3’te detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Bu veri, trafik akışının düzenlenmesi ve ışık sürelerinin optimizasyonu açısından kullanılabilecektir. Aynı zamanda, ölçümler, trafik yoğunluğunun analiz edilmesinde ve gelecekteki ulaşım planlamalarının daha etkin bir şekilde yapılmasında kullanılabilir. Araçların sayısındaki değişimler, trafik yoğunluğu ve sinyalizasyon sisteminin etkinliği arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Ankara istikametinden Kastamonu istikametine doğru giden araçların sayısı

Kastamonu istikametine doğru giden araçlardan yeşil ışık süresi boyunca 10 araç geçtiği görüntü işleme tekniği ile tespit edilmiştir. Çarşı istikametinden Taşmescit istikametine doğru ilerleyen araçların trafik ışıklarındaki sayısı Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Çarşı istikametinden Taşmescid istikametine doğru giden araçların sayısı

Çarşı bölgesinden geçen araç sayısı yeşil ışık süresi boyunca 13 olarak belirlenmiştir. Taşmescid istikametinden çarşı istikametine doğru ilerleyen araçların trafik ışıklarındaki sayısı Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Taşmescid istikametinden çarşı istikametine doğru giden araçların sayısı

Taşmescid bölgesinden geçen araç sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sayesinde, kavşaktaki trafik ışıklarının yönetimi için gerekli veriler elde edilmiştir. Anaconda yazılım ortamı altında python dilinde geliştirilen bu sistem, görüntülerden elde edilen verileri işleyerek trafik ışıklarının sürelerini optimize etmeye yönelik bir temel oluşturmuştur. Çalışma, kavşağın trafik yoğunluğuna göre dinamik bir şekilde ışık sürelerinin ayarlanabileceği bir modelin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen veriler, daha verimli trafik yönetimi ve çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

3.5 Trafik Işığı Sürelerinin Optimizasyonu

- **Trafik Yoğunluğu ve Kuyruk Uzunluğu:** Araç sayısına ve kuyruk uzunluğuna göre trafik ışıklarının yanma süreleri önerilmiştir. Eğer bir yöndeki araç sayısı belirli bir eşiği aşarsa, o yöndeki trafik ışığının yeşil ışık süresi uzatılacaktır. Diğer yandan, araç sayısı az ise, yeşil ışık süresi kısaltılacaktır.

- **Zamanlayıcılar ve Dinamik Kontrol:** Trafik ışığı süresi, araç sayısı ve kuyruk uzunluğu göz önünde bulundurularak dinamik bir şekilde ayarlanmıştır. Bu dinamik kontrol, gerçek zamanlı veri işleme ile gerçekleştirilmiştir.

4. SONUÇLAR

Çalışmada kullanılan kameralar, görüntü işleme ve araç sayımı işlemlerini doğru ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilmek için yüksek çözünürlükte seçilmiştir. Kameralar, dört yönlü bir kavşağın her bir noktasına stratejik olarak yerleştirilmiştir ve her bir yön için farklı açılardan birçok görüntü elde edilmiştir. Toplanan verilerden yola çıkarak, araç sayısı python dilinde opencv kütüphanesi kullanılarak belirlenmiş, her bir yön için trafik ışıklarının süreleri ve geçen araç sayısı tespit edilmiştir. Trafik ışıklarının yanma sürelerini değiştirmek için araç sayısının arttığı yönlerde yeşil ışık süresi daha uzun olacak şekilde, daha az yoğunluktaki yönlerde ise yeşil ışık süresinin kısaltılması önerilmiştir. Trafik ışığı sürelerinin belirli sürelerle yanması değil araç yoğunluğunun görüntü işleme teknikleri ile tespiti sonucuna göre değişmesi gerekmektedir. Bu sayede Çankırı ilinin en işlek kavşağında ki trafik yoğunluğu ve CO₂ salınımı en aza indirgenmesi sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdullah-Al-Wadud, M., Kabir, M. H., Dewan, M. A. A., & Chae, O. (2007). A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement. *IEEE transactions on consumer electronics*, 53(2), 593-600.
- Barron, J. L., Fleet, D. J., & Beauchemin, S. S. (1994). Performance of optical flow techniques. *International journal of computer vision*, 12, 43-77.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*(6), 679-698.
- Dixit, M., Tiwari, A., Pathak, H., & Astya, R. (2018). *An overview of deep learning architectures, libraries and its applications areas*. Paper presented at the 2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN).
- Fernandes, P., Coelho, M., & Roupail, N. (2017). Assessing the impact of closely-spaced intersections on traffic operations and pollutant emissions on a corridor level. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 304-320.
- Gallelli, V., Vaiana, R., & Iuele, T. (2014). Comparison between simulated and experimental crossing speed profiles on roundabout with different geometric features. *Procedia-social and behavioral sciences*, 111, 117-126.
- Gonzalez, R. C. (2009). *Digital image processing*: Pearson education india.
- Haralick, R. M., & Shapiro, L. G. (1985). Image segmentation techniques. *Computer vision, graphics, and image processing*, 29(1), 100-132.

- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). *Deep residual learning for image recognition*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and electronics in agriculture*, 147, 70-90.
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., . . . Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical image analysis*, 42, 60-88.
- Mosavi, A., Ardabili, S., & Varkonyi-Koczy, A. R. (2019). *List of deep learning models*. Paper presented at the International conference on global research and education.
- Olayode, I., Tartibu, L., Okwu, M., & Uchechi, d. U. (2020). Intelligent transportation systems, un-signalized road intersections and traffic congestion in Johannesburg: A systematic review. *Procedia CIRP*, 91, 844-850.
- Oskarbski, J., Guminska, L., Miszewski, M., & Oskarbska, I. (2016). Analysis of signalized intersections in the context of pedestrian traffic. *Transportation research procedia*, 14, 2138-2147.
- Parkhi, O., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2015). *Deep face recognition*. Paper presented at the BMVC 2015- Proceedings of the British Machine Vision Conference 2015.

- Pizer, S. M., Amburn, E. P., Austin, J. D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., . . . Zuiderveld, K. (1987). Adaptive histogram equalization and its variations. *Computer vision, graphics, and image processing*, 39(3), 355-368.
- Pratt, W. K. (1991). *Digital image processing* John Wiley & sons. Inc., New York.
- Redmon, J. (2016). *You only look once: Unified, real-time object detection*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.
- Redmon, J. (2018). Yolov3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- Salcedo-Sanz, S., Cuadra, L., Alexandre-Cortizo, E., Jiménez-Fernández, S., & Portilla-Figueras, A. (2014). Soft-Computing: An innovative technological solution for urban traffic-related problems in modern cities. *Technological Forecasting and Social Change*, 89, 236-244.
- Schad, B. T. (1935). *Traffic control at signalized street intersections*. Retrieved from
- Uludamar, E., & Tüccar, G. (2018). DÖNER KAVŞAKLARDA FARKLI SİNYALİZASYON ZAMANLAMASINDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN KARŞILAŞTIRILMASI. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 217-223.
- Yusupbekov, N., Marakhimov, A., Igamberdiev, H., & Umarov, S. X. (2016). Application of soft-computing technologies to the traffic control system design problems. *Procedia Computer Science*, 102, 540-546.

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE HABERLEŞME
MÜHENDİSLİĞİNDE İLERİ ARAŞTIRMALAR**

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com