NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
NEVŞEHİR BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ

Nevsehir Hacı Bektaş Veli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Nevsehir Journal of Science and Technology

Cilt/Volume : 13

Sayı/Issue : 2

e-ISSN: 2148-4651

Aralık 2024

December 2024

SAHİBİ
Prof. Dr. Semih AKTEKİN - Nevşehir HBV Üniversitesi Rektörü
EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF
Prof. Dr. Cemal ÇARBOĞA - Nevşehir HBV Üniversitesi ccarboga@nevsehir.edu.tr
AKADEMİK EDİTORLER/ACADEMIC EDITORS
Dr. Öğr. Üyesi Engin EYCEYURT- Nevşehir HBV Üniversitesi engineyceyurt@nevsehir.edu.tr Dr. Öğr. Üyesi Sure KÖME- Nevşehir HBV Üniversitesi sure.kome@nevsehir.edu.tr
Dil Editörü Öğr. Gör. Erçin ÖZZADE- Nevşehir HBV Üniversitesi
Yayın Kurulu/ Bölüm Editörleri
Prof. Dr Bülent AKTAŞ – Harran Üniversitesi.
Prof. Dr. Aslıhan KARATEPE - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Bayram DEVİREN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Bilge DEMİR – Karabük Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent BOSTAN- Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ersan KABALCI - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa ACARER – Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Nesimi AKTAŞ - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof. Dr. Süleyman YILMAZ – Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Kubilay KARACİF – Hitit Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi - Ahmet ORHAN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Ömer BİLHAN - Nevşehir HBV Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Serkan DAL - Nevşehir HBV Üniversitesi

Danışma/Bilim Kurulu
Prof. Dr Bülent AKTAŞ – Harran Üniversitesi.
Prof. Dr. Abdullah ALGAN – Pamukkale Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet ARIKAN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Beril AKIN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Gül GÜLPINAR – Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Halil İbrahim OĞUZ – Adıyaman Üniversitesi
Prof. Dr. Murat AYGÜN – Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ – Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Okan KARAHAN – Erciyes Üniversitesi
Prof. Dr. Orhan BAYRAK – Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Salih ATEŞ – Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Şükrü ÇELİK – Sinop Üniversitesi
Prof. Dr. Yüksel ALTUN - Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Zehra Nur YÜKSEKDAĞ - Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Zahide BAYER ÖZTÜRK - Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof.Dr Neslihan DOĞAN – Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi
Prof.Dr. Adnan SÖZER – Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Ali GENCER – Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Ali KAYA – Fırat Üniversitesi
Prof.Dr. Bilal DEMRE – Erciyes Üniversitesi
Prof.Dr. GENÇAĞA PÜRÇEK – Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof.Dr. Metin GÜRÜ – Gazi Üniversitesi
Prof.Dr. Mustafa Hilmi ÇOLAKOĞLU- Nevşehir HBV Üniversitesi
Prof.Dr. Serkan ÖZEL – Bitlis Eren Üniversitesi
Prof.Dr. Serkan TEKİN- Ankara Üniversitesi
Prof.Dr. Sevil ALBAYRAK – Erciyes Üniversitesi
Prof.Dr. Uğur TIRNAKLI – Ege Üniversitesi
Prof.Dr. Hayrettin AHLATÇI – Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Abdullah DİKİCİ – Uşak Üniversitesi
Doç. Dr. Hikmet KATIRCIOĞLU - Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN – Erciyes Üniversitesi

İçindekiler/Contents	Sayfa /Page
Research Article (Araştırma Makalesi) Development of a Method for the Voltammetric Determination of Ascorbic Acid on a Palladium Doped Carbonaceous Electrode Gamze ÇELİK, Zafer ÜSTÜNDAĞ	1-10
Araştırma Makalesi (Research Article) Diyarbakır Kentindeki Parklarda Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesi Esra AYDIN, Canan KOÇ	11-25
Research Article (Araştırma Makalesi) SERS Characterization of Lysozyme Aptasensor Prepared for Latent Fingerprint Visualization on Surfaces Deniz SAATOĞLU, Aybüke A. Isbir TURAN, Zafer ÜSTÜNDAĞ, Mustafa Oğuzhan ÇAĞLAYAN, Işık Perçin DEMİRÇELİK	26-33

Nevsehir Journal of Science and Technology

Research Article (Araştırma Makelesi)

Makale Doi: **10.17100/nevbiltek.1568250**

Date Submitted:16-10-2024 Date Accepted:21-12-2024

Development of a Method for the Voltammetric Determination of Ascorbic Acid on a Palladium Doped Carbonaceous Electrode

Gamze ÇELİK[1*], Zafer ÜSTÜNDAĞ[2]

[1*]*Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Arts and Science, Department of Chemistry, Kütahya*
ORCID ID: 0000-0002-9570-6107

[2]*Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Arts and Science, Department of Chemistry, Kütahya*
ORCID ID: 0000-0002-5550-106X

Abstract

Ascorbic acid (AA) is a vital antioxidant with critical roles in human health, including immune system support and protection against oxidative stress. Accurate and sensitive determination of AA is essential in clinical diagnostics, pharmaceutical analysis, and food quality control. In this study, a novel voltammetric method was developed using a glassy carbon (GC) electrode modified with palladium-doped carbonaceous material for AA detection. A mixture of equal amounts of raw coal tar pitch (r-CTP) and glass fiber (GF) was pyrolyzed in a high-temperature furnace at 1000°C for 1 h, with a heating rate of 10°C/min under a nitrogen atmosphere. The resulting carbonized material was ground using a planetary ball mill (Retsch, PM100), and palladium nanoparticles (PdNPs) were then doped onto the material via the sol-gel method. The obtained material is denoted Pd/CTP-GF. Pd/CTP-GF was characterized using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The glassy carbon (GC) electrode modified with Pd/CTP-GF was characterized by cyclic voltammetry (CV). A method was developed for the determination of ascorbic acid using differential pulse voltammetry (DPV) on the Pd/CTP-GF modified GC electrode. The detection limit (S/N=3) of the developed method was determined to be 5 nM. The intraday and interday precision and accuracy of the method were also evaluated. In addition, the interference of dopamine, uric acid, and certain cations on ascorbic acid was investigated. In real sample applications, the developed method achieved a recovery of over 95% for ascorbic acid in orange juice samples.

Keywords: Ascorbic acid; differential pulse voltammetry; palladium nanoparticle; carbonaceous electrode.

Paladyum Nanoparçacık Katkılı Karbonsu Elektrot Üzerinde Askorbik Asidin Voltametrik Tayini İçin Yöntem Geliştirilmesi

Öz

Askorbik asit (AA), bağışıklık sistemini destekleme ve oksidatif strese karşı koruma gibi insan sağlığında kritik rolleri olan hayati bir antioksidandır. AA'nın doğru ve hassas bir şekilde belirlenmesi, klinik tanı, farmasötik analiz ve gıda kalite kontrolü için önemlidir. Bu çalışmada, AA tespiti için palladyum katkılı karbonlu malzeme ile modifiye edilmiş camsı karbon (GC) elektrot kullanan yeni bir voltametrik yöntem geliştirilmiştir. Eşit miktarda ham kömür katranı (r-CTP) ve cam elyaf (GF) karışımı, azot atmosferi altında 1000°C'de 1 saat boyunca 10°C/dk ısıtma hızıyla yüksek sıcaklık fırınında piroliz edilmiştir. Elde edilen karbonize malzeme, gezegensel bilyeli öğütücüde (Retsch, PM100) öğütülmüş ve daha sonra üzerine paladyum nanoparçacıkları (PdNP'ler) sol-gel yöntemiyle doplanmıştır. Elde edilen malzeme Pd/CTP-GF

olarak adlandırıldı. Pd/CTP-GF, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) yöntemleri ile karakterize edilmiştir. Pd/CTP-GF ile modifiye edilmiş cam karbon (GC) elektrotu
ise dönüşümlü voltametri (CV) ile karakterize edilmiştir. Askorbik asitin tayini için Pd/CTP-GF modifiye edilmiş GC elektrotu üzerinde diferansiyel puls voltametrisi (DPV) kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin tespit limiti (S/N=3) 5 nM olarak belirlendi. Geliştirilen yöntemin gün içi ve günler arası doğruluk ve kesinliği değerlendirilmiştir. Ayrıca, dopamin, ürik asit ve bazı katyonların askorbik asit üzerindeki interferans etkileri araştırılmıştır. Geliştirilen yöntemin gerçek numune uygulamasında, portakal suyu örneklerinde askorbik asit için %95'in üzerinde bir geri kazanım değeri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Askorbik asit; diferansiyel puls voltametrisi; paladyum nanoparçacık; karbonsu elektrot.

This study includes a part of Gamze Çelik's doctoral thesis.

Sorumlu yazar e-mail: gamzekuzu10@gmail.com

1. Introduction

Ascorbic acid (AA) is an antioxidant found in the human body [1]. AA acts as a reducing agent that protects the human body from the side effects of oxidative processes and plays a significant role in various biological activities. These include vascular protection, cellular development, bone-cartilage repair, collagen synthesis, and the healing of burns and wounds [2]. Additionally, ascorbic acid has demonstrated therapeutic effects in the treatment of life-threatening clinical conditions such as cancer [3], Alzheimer's disease [4], lymphoblastic leukemia [5] and tumors [6].

Chromatographic and spectrometric methods used for the determination of AA are expensive, complex, and involve challenging steps. Due to difficulties in sample preparation, the high cost of traditional methods, and other similar factors, there is a growing need for high-efficiency and cost-effective alternative methods for real-time AA detection [7] Electrochemical techniques, owing to their simplicity, lower cost, and ability to operate with minimal materials, have garnered significant interest among researchers. Electrochemical methods for the determination of ascorbic acid (Vitamin C) are widely employed due to their sensitivity, simplicity, and rapid response times [8, 9]. These methods often include potentiometric, voltammetric, and amperometric techniques, which are further enhanced through various sensor modifications to improve performance.

Electrochemical sensing provides numerous benefits, such as quick analysis, reduced sample volume, lower costs, and the removal of pre-concentration procedures. In this context, techniques such as pulse voltammetry (DPV and CV), and chronoamperometry have enabled the development of portable, user-friendly electrodes [10]. Electrochemical methods for AA detection are favored for their low cost, high sensitivity, ease of use, and quick response times. However, many sensing materials have limitations, such as low surface areas, poor chemical design, and difficult modifiability. Thus, designing well-structured, porous materials is key to improving performance. PdNPs-loaded carbon-derivatived electrodes offer selective and sensitive electrochemical detection of ascorbic acid [11]. Electrodes modified with PdNPs, such as Pd/CNFs, PdNPs/GR/CS, and PdNPs-GO, exhibit superior electrochemical activity toward AA and achieve lower oxidation potentials compared to bare electrodes [12].

Designing and modifying electrodes for AA electrochemical oxidation is way to improving reproducibility.. PdNPs-loaded carbon nanofiber-modified electrodes are used for AA determination in literature 13].

In a study [14], an electrochemical sensor for AA was designed utilizing a GC modified with PdNPs supported on graphene oxide (PdNPs-GO). The electrochemical behavior of AA oxidation was evaluated using cyclic voltammetry (CV) and amperometric techniques. Compared to a bare GC or PdNPs-modified electrode, the anodic peak potential for AA on the PdNPs-GO modified electrode shifted to a more negative value of 0.006 V. This shift, along with a notable separation of the anodic peak potentials of 0.172 V between AA and dopamine (DA), was attributed to the synergistic effect of GO and PdNPs. In a study, a highly sensitive and selective electrochemical sensor for ascorbic acid detection was developed, featuring a rapid response, broad linearity, and successful application in Vitamin C tablet analysis. The sensor demonstrated exceptional performance for AA detection [14].

In this study, an equal mixture of raw coal tar pitch (r-CTP) and glass fiber (GF) was pyrolyzed in a high-temperature furnace at 1000°C for 1 hour under a nitrogen atmosphere, with a heating rate of 10°C/min [15]. The resulting carbonized material was ground using a Spex-type mill (Retsch, PM100), followed by the synthesis of palladium nanoparticles (PdNPs) on its surface [7]. The final material was designated as Pd/CTP-GF. The Pd/CTP-GF was characterized using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The glassy carbon (GC) electrode modified with Pd/CTP-GF was characterized by cyclic voltammetry (CV). A method for AA determination in the concentration range of 0.01–1.0 µM was developed using the Pd/CTP-GF-modified GC electrode surface. This method was successfully applied for the determination of Vitamin C in commercial orange juice samples.

In this study, an equal mixture of raw coal tar pitch (r-CTP) and glass fiber (GF) was pyrolyzed in a high-temperature furnace at 1000°C for 1 hour under a nitrogen atmosphere, with a heating rate of 10°C/min [15]. The resulting carbonized material was ground using a Spex-type mill (Retsch, PM100), followed by the synthesis of palladium nanoparticles (PdNPs) on its surface [7]. The final material was designated as Pd/CTP-GF. The Pd/CTP-GF was characterized using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The glassy carbon (GC) electrode modified with Pd/CTP-GF was characterized by cyclic voltammetry (CV). A method for AA determination in the concentration range of 0.01–1.0 µM was developed using the Pd/CTP-GF-modified GC electrode surface. This method was successfully applied for the determination of Vitamin C in commercial orange juice samples.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental

The chemicals used in this study were obtained from local suppliers of Merck, Sigma-Aldrich, and Fluka. The water used for solution preparation was of ultra-pure water (UPW) quality. Electrochemical measurements were conducted at room temperature using an Ivium-CompactStat (Netherlands). The glassy carbon electrode (MF-2012, Basi, USA, with a diameter of 3 mm) was used as a working electrode. A three-electrode system was employed for voltammetric measurements, with the working electrode being a glassy carbon electrode modified with pyrolyzed materials, the reference electrode being Ag/AgCl (saturated), and the auxiliary electrode a platinum wire.

2.2. Electrode Modification

The glassy carbon (GC) electrode was first treated with a 100 nm and then a 50 nm diameter alumina suspension (Baikowski, USA) and subsequently cleaned by sonication in an ultrasonic bath (Bandelin, Germany) for 5 minutes each, using deionized water and a mixture of acetone/isopropyl alcohol. A homogeneous mixture of raw coal tar pitch (r-CTP) and glass fiber (GF) was placed in a high-temperature furnace (Protherm, USA/Turkey) at 1000 °C at (rate of head=10 °C/min) under N2, followed by pyrolysis at this temperature for 1 h. The resulting carbonized product was designated as CTP-GF. This material was then ground into micro- and nano-powder by milling in a Spex-type grinder (Retsch, PM100, Germany) at 400 rpm for 6 hours.

Five grams of CTP-GF were mixed with 100 mL of ultra-pure water (UPW) to form a homogeneous suspension. To this suspension, 525 mg of polyvinylpyrrolidone (PVP, MW = 38,000), 300 mg of L-ascorbic acid, 1500 mg of potassium bromide (KBr), and 200 mg of palladium chloride ($PdCl_2$) were added in 55 mL of water [16]. The solution was heated to 114 °C, and the reaction was allowed to proceed under homogeneous stirring for 3 hours. Subsequently, the solution was cooled to room temperature. The resulting solution was centrifuged at 5000 rpm for 10 minutes. To ensure the complete removal of the reactants, a washing procedure was performed, wherein the material was washed three times with anhydrous ethanol and UPW, followed by centrifugation. The obtained Pd/CTP-GF was dried in a vacuum oven at 55 °C for 6 hours. Two hundred fifty milligrams of Pd/CTP-GF were weighed and mixed in 1.0 mL of acetonitrile to create a homogeneous suspension. From this solution, 10 µL was pipetted and dropped onto the surface of the GC electrode, and the electrode surface was dried using an infrared lamp (75 W).

3. Results and Discusion

3.1. Characterization studies

In order to assess the particle size, homogeneity, and elemental composition of the prepared electrode materials, scanning electron microscopy (SEM) image (Figure 1) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) measurement (Figure 2) were conducted.

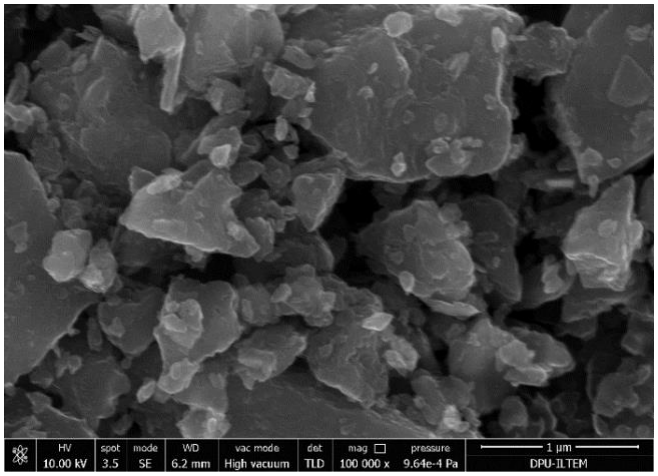
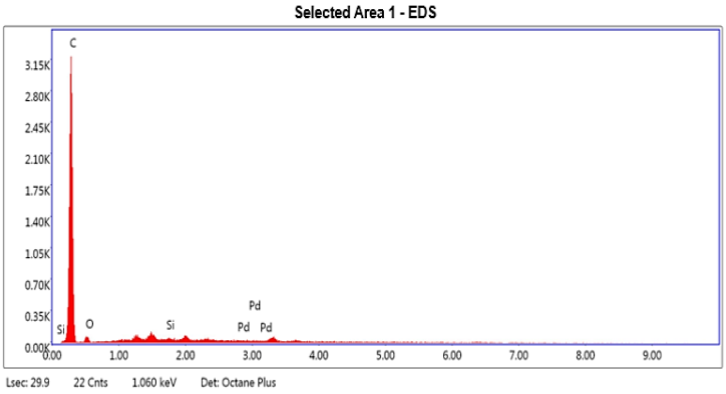


Figure 1. SEM image of Pd/CTP*-GF.



eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %
C K	96.32	98.11
O K	2.16	1.65
SiK	0.21	0.09
PdL	1.32	0.15

Figure 2. EDX spectrum of Pd/CTP-GF.

The SEM images of Pd/CTP-GF indicate that the particle size is below 2 µm and that nanoparticles are also present. The EDX spectrum shows peaks corresponding to Al, Si, C, and O from the glass fiber, as well as C and O from the CTP, along with reduced Pd on the surface. EDX analysis at the selected surface point reveals that the majority of the material is composed of C, while it is evident that Pd is effectively present on the surface.

X-ray diffraction (XRD) measurements (Figure 3) indicate that the material consists of carbon (in the range of 20-30°) and other components[17], with elements such as Pd, Si, and Al exhibiting distinct peaks in a poly crystalline structure [15].

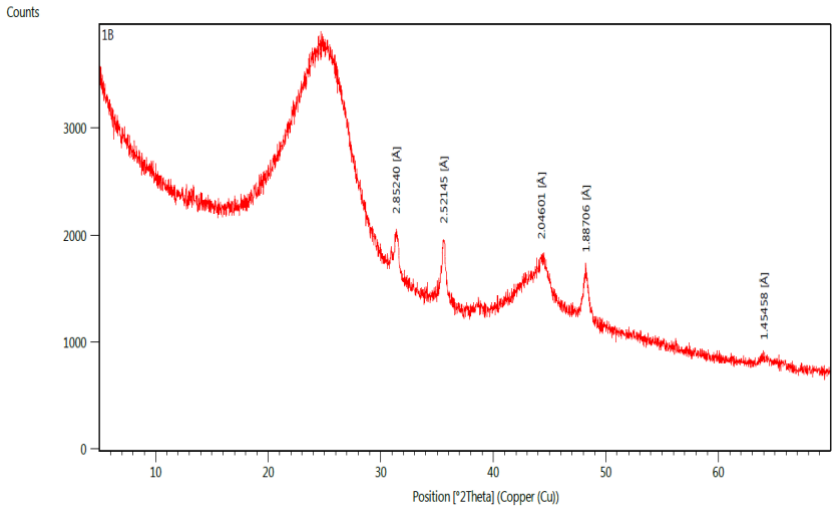


Figure 3. XRD pattern of Pd/CTP-GF.

In order to compare with the palladium-containing electrode, CTP obtained through the pyrolysis of r-CTP and CTP-GF were modified onto GC surface. CV measurements were conducted at a scan rate of 100 mV/s for 0.05 mM ascorbic acid (AA) in a 0.1 M phosphate buffer at pH 7.2, utilizing the CTP, CTF-GF, and Pd/CTP-GF modified GC electrodes (Figure 4).

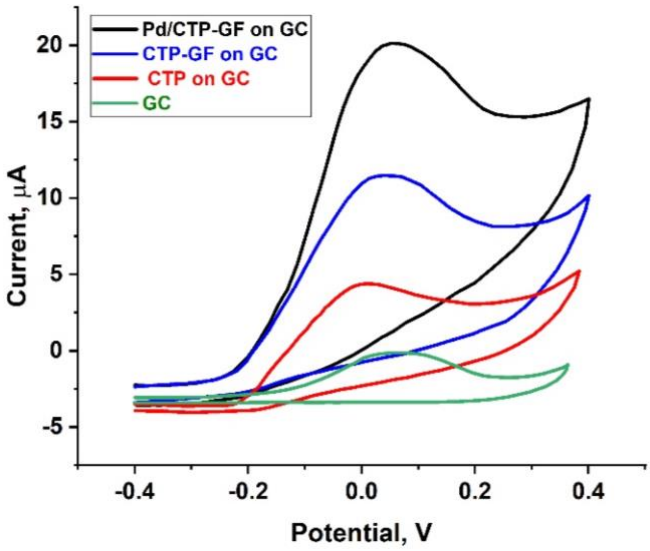


Figure 4. CVs of 0.05 mM AA in 0.1 M PBS on bare GC, CTP, CTP-GF, and Pd/CTP-GF on GC

As shown in Figure 4, the highest peak current for the oxidation of ascorbic acid (AA) was obtained at 13.254 µA on the Pd/CTP-GF modified glassy carbon (GC) electrode. The peak currents for AA were measured at 8.546 µA on the CTP-GF modified GC surface, 3.246 µA on the CTP modified GC surface, and 2.09 µA on the bare GC surface.
In order to enable the voltammetric determination of ascorbic acid (AA), an investigation of peak current as a function of scan rate was conducted during the oxidation scan to evaluate whether the electron transfer process is diffusion-controlled. Cyclic voltammetry measurements of 0.05 M AA were performed on the Pd/CTP-GF modified glassy carbon (GC) electrode across a range of scan rates: 25, 40, 60, 150, and 250 mV/s (Figure 5).

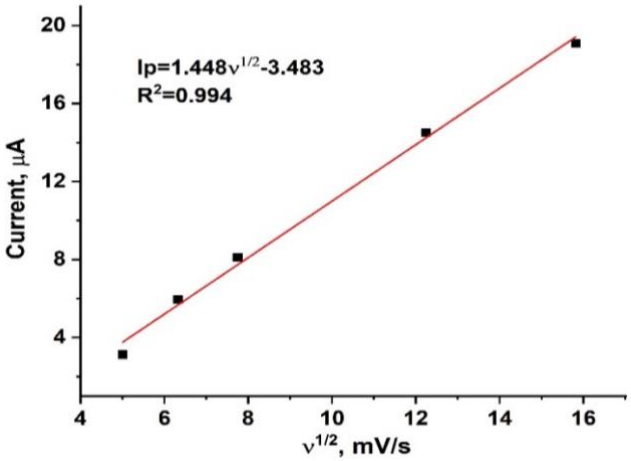


Figure 5. Ip vs. $\nu^{1/2}$ plot for 0.05 mM AA on the Pd/CTP-GF modified GC electrode at various scan rates.

Figure 2 shows a linear plot of Ip and the $\nu^{1/2}$. This suggests that the Randles-Sevcik equation is applicable, implying that the voltammetric studies are diffusion-controlled [18].

3.2. Development of an Analytical Method for AA

DPVs of ascorbic acid (AA) at concentrations of 0.01 -1.0 µM in 100 mM PBS on the surface of the Pd/CTP-GF modified GC are presented in Figure 6. The calibration curve for AA is shown in Figure 7.

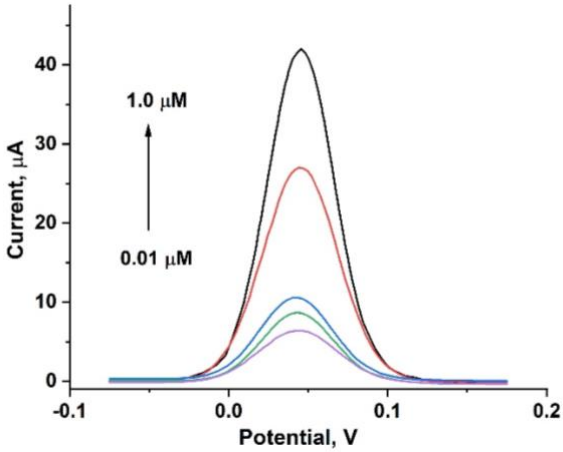


Figure 6. Differential pulse voltammogram of ascorbic acid (AA) in the concentration range of 0.01 to 1.0 µM.

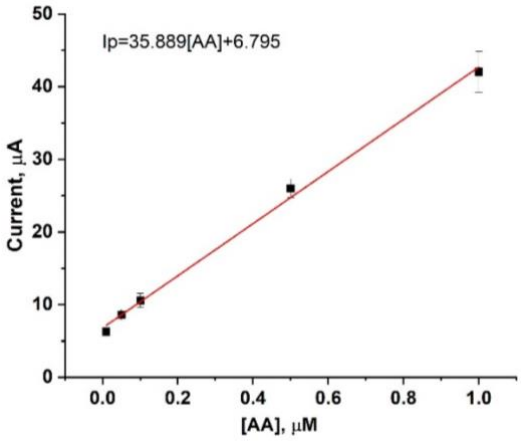


Figure 7. Calibration curve of peak current versus concentration obtained using the DPV technique on the surface of the Pd/CTP-GF modified glassy carbon (GC) electrode in the concentration range of 0.01 to 1.0 µM.

The analytical parameters obtained from the differential pulse voltammetry (DPV) measurements and calibration curve of the developed method are presented in Table 1. As shown in the table, the limit of detection (LOD) for the developed method was found to be 0.005 µM (5 nM).

Table 1. Analytical results of the developed AA determination method on the surface of the Pd/CTP-GF modified glassy carbon (GC) electrode.

Analytical Parameters	**Results**
Linear Concentration Range	0.01–1.0 µM (1.76 ng/mL–176.12 ng/mL)
Linear Equation, Ip (µA), [AA] (µM)	Ip=35.889[AA]+6.795
R^2	0.996
LOD, (S/N=3)	0.005 µM (0.88 ng/mL)

*Molar Mass of AA: 176.12 g/mol

3.3. The Accuracy And Precision

The accuracy and precision values of the method were determined by making intraday and interday measurements for five days. In Table 2, Due to RSD being below 5%, the precision of the method has been assessed as high. Below ± 5% RE, and below 5% RSD results show the precision of the method has been evaluated as high.. (**Table 2**).

Table 2. Precision and accuracy values of the developed method for intra-day and five consecutive days (n = 5 measurements).

Analysis	Added, µM	Found, µM	Precision (RSD), %	Relative Error, %
Inter-day	0.5 µM	0.497±0.012	2.41	-0.6
Intra-day*	0.5 µM	0.493 ±0.022	4.46	-1.4

3.4. Interference Study

In the developed method, the interference effects of potential species such as dopamine (DA), uric acid (UA), and nitrite (NO_2^-), which could affect the accurate determination of ascorbic acid (AA), were investigated. To evaluate this, the effects of 1 µM concentrations of these interferents on the voltammetric response of 1 µM AA were thoroughly examined. The results showed that the impact of 1 µM DA, UA, and NO_2^- on the peak current variation of AA was negligible, with changes remaining below 5%. The peak current variations for AA in differential pulse voltammetry (DPV) measurements are provided in Table 3. These findings indicate that these interferents have little to no significant effect on AA detection, thereby confirming the high selectivity and reliability of the developed method. This level of selectivity is essential for ensuring accurate AA determination, even in complex samples containing common biological and environmental interferents.

Table 3. Effect of 1 µM DA, UA, and NO2- on the DPV peak current of 1 µM AA.

Potential interfering species	Current variation, %
DA	-2.71
UA	1.11
NO_2^-	-0.35

3.5. Real Sample Analysis

The real sample tests were conducted to evaluate the developed method for the determination of ascorbic acid (AA) using a Pd/CTP-GF modified GC electrode, utilizing orange juice samples. The samples were diluted for analysis. Table 4 presents the concentrations of AA in 100 mL of orange juice. It was observed that the recovery values obtained by adding 10 mg of AA per 100 mL sample were quite satisfactory, ranging from 95% to 105%, indicating high recovery efficiency.

Table 4. Determination of AA* in real samples and recovery values.

Numune	Added, mg/100 mL	Found ± SD, mg/100 mL	Recovery, %
Orange juice	0	21.87±0.96	-
	10	32.11±1.12	102.4
Carbonated orange drink	0	10.05±0.27	-
	10	20.17±0.34	101.2

*Molar Mass of AA: 176.12 g/mol

4. Conclusion

A sensor has been developed for the determination of AA, a powerful antioxidant that plays a crucial role in human health. In this study, a Pd/CTP-GF on GC electrode was successfully fabricated and characterized using SEM, EDX, and CV. This electrode enabled the development of a highly sensitive voltammetric method for AA detection, with a broad working range of 0.01 µM to 1.0 µM and an impressive detection limit of 5 nM. Comparative analysis (Table 5) highlights the superior sensitivity of this method, which outperforms many existing DPV-based techniques by offering a detection limit in the nanomolar range. Additionally, the method demonstrated excellent recovery rates for AA in real samples, such as orange juice and carbonated orange drink, confirming its precision and practical applicability. These findings emphasize the potential of this method as a reliable tool for AA analysis in clinical, pharmaceutical, and food quality control applications.

Table 5. Comparison of some AA determination methods developed using the DPV technique in the literature.

Elektrode	Technique	Linear range (µM)	LOD	Reference
CQDs-rGO/GCE	DPV	70–1000 µM	3.33 µM	[14]
GCE/T-rGO	DPV	4.0-100.0 mM	0.61 µM	[19]
PdNPs-GO/GCE	DPV	20 µM to 2.28 mM	23 µM	[12]
Pd/CNF-CPE	DPV	0.05–4 mM	15 µM	[20]
PdNPs/CM/CPE	DPV	3.27–40.51	0.53 µM	[21]
CdO-SPCE	DPV	5-150 µM	53.5 nM	[22]
Pd/CTP-GF	DPV	0.01-1.0 µM	5 nM	This Work

5. Acknowledgments and Author Contributions

In this study, the researcher Gamze Çelik was supported by the YÖK-100/2000 and TUBITAK 2111-A scholarship program.

G.Ç.: Experiments and investigation, Writing, Conceptualization, Writing – original draft

Z.Ü.: Investigation, Methodology, Conceptualization, Writing – original draft, Supervision

6. References

[1] Gegotek A., Skrzydlewska E., "Antioxidative and Anti-Inflammatory Activity of Ascorbic Acid", ***Antioxidants,*** 11, 1993, 2022.

[2] Ahmed J., Faisal M., Algethami J. S., Alsaiari M., Jalalah M., Harraz, F. A., "CeO_2·ZnO@biomass-derived carbon nanocomposite-based electrochemical sensor for efficient detection of ascorbic acid", ***Analytical Biochemistry***, 692, 115574, 2024.

[3] Pires, A. S., Marques, C. R., Encarnacao, J. C., Abrantes, A. M., Mamede A. C., Laranjo M., Botelho M. F., "Ascorbic acid and colon cancer: an oxidative stimulus to cell death depending on cell profile", ***European journal of cell biology***, 95(6-7), 208-218, 2016.

[4] Semwal B., Singh B., Murti Y., Singh S., "Therapeutic potential of ascorbic acid in the treatment of Alzheimer's disease: An update", ***Current Pharmaceutical Biotechnology***, 2023.

[5] Darwiche W., Gomila C., Ouled-Haddou H., Naudot M., Doualle C., Morel P., Nguyen-Khac F., Garçon L., Marolleau J., Ghamlouch H., "Ascorbic acid (vitamin C) synergistically enhances the therapeutic effect of targeted therapy in chronic lymphocytic leukemia", ***Journal of Experimental & Clinical Cancer Research,*** 39, 2020.

[6] Putchala M. C., Ramani P., Sherlin H. J., Premkumar P., Natesan A., "Ascorbic acid and its pro-oxidant activity as a therapy for tumours of oral cavity–A systematic review", ***Archives of Oral Biology***, 58(6), 563-574, 2013.

[7] Tadayon F., Vahed S., Bagheri H., "Au-Pd/reduced graphene oxide composite as a new sensing layer for electrochemical determination of ascorbic acid, acetaminophen, and tyrosine", ***Materials Science and Engineering,*** 68, 805-813, 2016.

[8] Hashemi S. A., Mousavi S. M., Bahrani S., Ramakrishna S., Babapoor A., Chiang W. H., "Coupled graphene oxide with hybrid metallic nanoparticles as potential electrochemical biosensors for precise detection of ascorbic acid within blood", ***Analytica Chimica Acta,*** 1107, 183-192, 2020.

[9] Zhang X., Yu S., He W., Uyama H., Xie Q., Zhang L., Yang F., "Electrochemical sensor based on carbon-supported NiCoO2 nanoparticles for selective detection of ascorbic acid", ***Biosensors and Bioelectronics,*** 55, 446–451, 2014.

[10] Lee C.S., Yu S., Kim T., "One-step electrochemical fabrication of reduced graphene oxide/gold nanoparticles nanocomposite-modified electrode for simultaneous detection of dopamine, ascorbic acid, and uric acid",

Nanomaterials, 8 (17), 1-13, 2018.

[11] Lijun Z., Guiheng W., Wu D., Xiong C., Zheng L., Ding Y., Lu H., Zhang G., Qiu L., "Highly selective and sensitive sensor based on an organic electrochemical transistor for the detection of ascorbic acid", ***Biosensors and Bioelectronics***, 100, 235-241, 2018.

[12] Wang C., Du J., Wang H., Zou C., Jiang F., Yang P., Du Y. "A facile electrochemical sensor based on reduced graphene oxide and Au nanoplates modified glassy carbon electrode for simultaneous detection of ascorbic acid, dopamine and uric acid", ***Sens. Actuat. B: Chem***., 204, 302-309, 2014.

[13] Wei Y., Xu Z., Wang S., Liu Y., Zhang D., Fang Y., "One-step preparation of carbon quantum dots-reduced graphene oxide nanocomposite–modified glass carbon electrode for the simultaneous detection of ascorbic acid, dopamine, and uric acid", ***Ionics,*** 26, 5817–5828, 2020.

[14] Wu G., Wu Y., Liu X., Rong M., Chen X., Chen X., "An electrochemical ascorbic acid sensor based on palladium nanoparticles supported on graphene oxide", ***Analytica Chimica Acta***, 745, 33-7, 2012.

[15] Yeter E. Ç., Şahin S., Çağlayan M. O., Üstündağ Z., "An electrochemical label-free DNA impedimetric sensor with AuNP modified glass fiber/ carbonaceous electrode for the detection of HIV-1 DNA", ***Chemical Papers,*** 75, 77–87, 2021.

[16] Zheng L., Niu X., Zhao J., Liu T., Liu Y., Yang Y., "A Label-Free Immunosensor for CEA Based on Pd-Ir Bimetallic Nanoparticles", ***Journal of Nanoscience And Nanotechnology,*** 16(6), 5984–5990, 2016.

[17] Gao W., Huang H., Shi H., Feng X., Song W., "Nitrogen-rich graphene from small molecules as high performance anode material", ***Nanotechnology,*** 25(41), 415402, 2014.

[18] Aytemur A.E., Üstündağ İ., Kariper İ. A., Çağlayan M. O., Üstündağ Z., "Electrocatalytic Effect of Nanowrinkled Layer Carbonaceous Electrode: Determination of Folic Acid by Differential Pulse Voltammetry", ***Chemical Papers,*** 73, 1369–1376, 2019.

[19] Okutan M., "Termal indirgenmiş grafen oksit ile elektrokimyasal olarak askorbik asit tayini", ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 35(3), 1589-1602, 2020.

[20] Huang J., Liu Y., Hou H., You T., "Simultaneous electrochemical determination of dopamine, uric acid and ascorbic acid using palladium nanoparticle-loaded carbon nanofibers modified electrode", ***Biosensors and Bioelectronics***, 24(4), 632-637, 2008.

[21] Mukdasai S., Crowley U., Pravda M., He X., Nesterenko E. P., Nesterenko P. N., Moore E., "Electrodeposition of palladium nanoparticles on porous graphitized carbon monolith modified carbon paste electrode for simultaneous enhanced determination of ascorbic acid and uric acid", ***Sensors and Actuators*** B: Chemical, 218, 280-288, 2015.

[22] Gopalakrishnan A., Sha R., Vishnu N., Kumar R., Badhulika S., "Disposable, efficient and highly selective electrochemical sensor based on Cadmium oxide nanoparticles decorated screen-printed carbon electrode for ascorbic acid determination in fruit juices", ***Nano-Structures & Nano-Objects,*** 16, 96-103, 2018.

Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makelesi (Research Article)

Makale Doi: **10.17100/nevbiltek.1588997**

Geliş Tarihi:21-11-2024 Kabul Tarihi:21-12-2024

Diyarbakır Kentindeki Parklarda Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesi

Esra AYDIN [1], Canan KOÇ [2]

[1]*Dicle Üniversitesi FBE Mimarlık ABD Sur, Diyarbakır, Türkiye*
ORCID ID:0000-0002-7508-8014

[2]*Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Şehircilik ABD Sur,Diyarbakır, Türkiye*
ORCID ID:0000-0003-0992-2290

Öz

Parklar, kullanıcıların betonlaşan alanlardan kaçmaları için mekânlar oluşturarak toplumun yaşam kalitesinin artmasında önemli rol oynamaktadır. Parkların konumu, erişebilirliği ve sundukları aktiviteler kullanıcı tercihlerini etkilemektedir. Dolayısıyla, parkların kullanıcı talepleri doğrultusunda doğru tasarlanması sağlıklı ve sürdürülebilir kentler için önem arz etmektedir. Parklar, doğa ile insan arasında uyumu sağlamaları, rekreasyon ve eğlenmeye olanak vermeleri açısından kente sayısız katkılar sağlamaktadır. Birçok rekreasyonel faaliyet alanını bir arada bulunduran kent parkları, kentliler için sadece toplanma mekanı olmayıp, eğitim, sağlık, sosyo-kültürel anlamda yararlanılan açık ve yeşil alanlardır. Ancak, uygun tasarım ve düzenlemeler bulunmadığında pasif alanlara dönüşebilmektedir. Çalışmada, Diyarbakır kentinde bulunan 15 Temmuz Şehitler Parkı, Göletli Park ve Park 75 örnekleminde parkların kullanıcı memnuniyeti açısından incelenmesi amaçlanmıştır. Parkların seçiminde konum, büyüklük ve peyzaj öğeleri etkili olmuştur. Parklardaki kullanıcı memnuniyet düzeyini belirlemek için anket uygulanmıştır. Parklarda otoparkların, aydınlatma ve rekreasyon faaliyetlerinin yetersiz olduğu, özellikle Göletli Park ve Park 75'in akşam kullanım için uygun olmadığı belirtilmiştir. Parklarda çeşme ve havuz gibi öğeler bulunmasına rağmen bunların sayısının yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Katılımcıların parklara çeşitli amaçlarla geldikleri görülmüş, 15 Temmuz Şehitler Parkı'na çocuklar için gelen katılımcıların memnuniyetlerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda, kullanıcıların memnuniyet düzeylerinin artırılması için parklarda ağaçlandırmanın yapılması, güvenliğin sağlanması, bakım ve onarımların gerçekleştirilmesi, aydınlatma ve oturma birimleri gibi kent mobilyalarının yeterli sayıda ve uygun yerlerde konumlandırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yaşam kalitesi; parklara erişim; rekreasyon.

Evaluation of User Satisfaction in Parks in Diyarbakir City

Abstract

Parks play an important role in improving the quality of life of society by creating spaces for users to escape from concretized areas. The location, accessibility and activities offered by parks affect user preferences. Therefore, proper design of parks in line with user demands is important for healthy and sustainable cities. Parks provide countless contributions to the city in terms of providing harmony between nature and people, providing recreation and entertainment. Urban parks, which contain many recreational activity areas together, are not only gathering places for

[*] Sorumlu yazar E-mail: canan.koca@dicle.edu.tr

urbanites, but also open and green areas that are used in education, health, socio-cultural. However, it can turn into passive areas when there are no appropriate designs and arrangements. The aim of the study was to examine the parks in terms of user satisfaction in the sample of July 15 Martyrs Park, Göletli Park and Park 75 located in Diyarbakır city. Location, size and landscape elements were influential in the selection of the parks. A survey was conducted to determine the user satisfaction level in the parks. It was stated that parking lots, lighting and recreational activities are insufficient in the parks, and especially Pond Park and Park 75 are not suitable for evening use. Although there are elements such as fountains and pools in the parks, it was concluded that their number is insufficient. It was observed that the participants came to the parks for various purposes, it was concluded that the satisfaction of the participants who came to the July 15 Martyrs Park for children was higher. In this context, it was concluded that in order to increase the satisfaction levels of users, afforestation should be done in parks, security should be ensured, maintenance and repairs should be carried out, and urban furniture such as lighting and seating units should be positioned in sufficient numbers and in suitable places.

Keywords: Quality of life; access to parks; recreation.

1. Giriş

Kamuya açık dinlenme ve eğlence alanlarının yer aldığı parklar insanların doğayla etkileşimde bulunabileceği, spor ve piknik yapabileceği, çocuklar için oyun alanları bulabileceği ve genel olarak rahatlayabileceği alanlardır [1 ve 2]. Yoğun şehir yaşamının stresinden uzaklaşmak için önemli bir kaçış noktası olan parklar, toplumun bir araya gelmesini teşvik edebilmekte ve çeşitli etkinliklerin düzenlendiği sosyal alanlar olarak da hizmet edebilmektedir [3]. Parklarda dolaşmak, egzersiz ve koşu yapmak veya sadece doğayla temas etmek insanların fiziksel ve zihinsel sağlığına katkıda bulunmaktadır. Parklar gibi doğal ortamların stresi azalttığı, ruh halini iyileştirdiği ve genel refahı artırdığı gözlemlenmiştir [4]. Parklar, doğal habitatların korunmasına ve biyoçeşitliliğin desteklenmesine yardımcı olarak [5] kent sakinlerine doğa ile bağlantı kurma fırsatı sunmakta ve çevre duyarlılığını artırmaktadır. Ayrıca parklar, açık hava konserleri, sanat sergileri, doğa yürüyüşleri, eğitim programları gibi çeşitli kültürel ve eğitimsel faaliyetlere ev sahipliği yaparak toplumun kültürel birikimine ve öğrenme deneyimlerine katkı sunmaktadır [6].

Sera gazı emisyonlarını dengelemede önemli bir rol oynayan parklar, iklim değişikliğiyle mücadeleye yardımcı olmaktadır [7]. Parklar, şehirlerde yaşayan yaban hayatı için önemli bir yaşam alanı oluşturarak, yerel ekosistemlerin ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkıda bulunmakta [8], ağaçlar sayesinde gölgelendirme ve su buharı salınımı yoluyla sıcaklığın düşürülmesini sağlamakta, kentsel ısı adalarının oluşmasını engellemekte ve mikro iklimin düzenlenmesinde etkili olmaktadır [9]. Parklardaki bitkiler yağmur suyunu emerek su birikintilerini ve sel riskini azaltmakta, toprağın erozyondan korunmasını sağlayarak su kalitesini artırmaktadır. Parklar, şehirde yaşayanların doğayla temas kurmalarını, fiziksel aktivitelerde bulunmalarını, dinlenmelerini ve etkinliklerine katılmalarını sağlayarak yaşam kalitesini artırmaktadır.

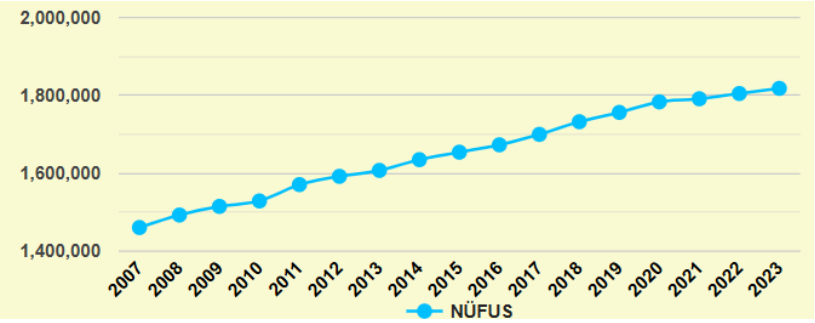
Çok sayıda faydası olmasına karşın, kentsel mekânlarda güncel yaşantının etkisiyle açık ve yeşil alanlar giderek azalmakta, insan ve doğa ilişkileri zarar görmektedir [10]. Ulusal ve uluslararası literatürde konunun önemi vurgulanmakta, yaşam kalitesini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalar çoğunlukla kullanıcı memnuniyetine odaklanmaktadır. Alkan (2019), çalışmasında park ve bahçelerin estetik ve işlevsel yönlerini değerlendirerek, planlama sürecine entegre edilmesinin önemini açıklamaktadır [11]. Bu doğrultuda, Çanakkale şehrindeki Halk Bahçesi, 500 Yıl Parkı ve Özgürlük Parkı kullanıcılarının mevcut ekipman ve olanaklarından memnuniyet düzeyini incelemiştir. Araştırma sonucunda güvenlik, otopark, bakım, spor olanakları, çocuk oyun alanları, erişilebilirlik, aydınlatma, peyzaj düzenlemesi gibi çeşitli faktörlerin memnuniyet düzeyini önemli ölçüde etkilediğini ortaya konmuştur.

Vural (2020), Bingöl kentini ele aldığı çalışmasında 610 kişiye anket uygulayarak, kent merkezinde bulunan yeşil alanların nitelik ve nicelik bakımından yetersiz olduğu, kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayamadığı sonucuna ulaşmıştır [12]. Gürer ve Uğurlar (2017) tarafından yapılan araştırmada kent parklarında kullanıcı memnuniyeti, Ankara Kuğulu Park örneği üzerinden incelenmiş, parkların alan büyüklüğü ve aktivite sayısına kıyasla park alanındaki temizlik, bakım ve sunulan hizmetlerin memnuniyet açısından daha önemli olduğu belirlenmiştir [13]. Dolayısıyla kent merkezlerinde konumlanan parkların alansal büyüklüğünün yanı sıra fonksiyonel olması ve kullanıcıların ihtiyaçlarına yanıt vermesi önemli görülmektedir. Soydan (2020), kent parklarındaki kullanıcı memnuniyetini Niğde örneğinde incelemiş, parklarda sunulan imkânların kentleşmeden kaçan insanlar için doğal ortamlar oluşturduğunu, parkların tasarımı ve faaliyet alanlarının parkın tercih edilme durumunu ve yaşam kalitesini etkilediğini belirtmiştir [14].

Parkların ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel faydalarının bulunmasına karşın, kullanıcı memnuniyeti ya da kullanıcı gereksinimleri dikkate alınmadan düzenlendiğinde aktif olarak kullanımdan uzaklaşmaktadır. Yapılacak yeni tasarımlarda kullanıcı memnuniyetin dikkate alınması, mevcut park alanlarında ise bakım, onarım, düzenleme işlemlerinin bu yönde yapılması önem taşımaktadır. Diyarbakır kentinde de kentlinin tercih ettiği parklar mevcut olup, çeşitli eksikliklere ya da sorunlara sahip oldukları bilinmektedir. Bu bağlamda çalışmada, kentteki üç parkta mevcut duruma yönelik kullanıcı memnuniyetinin ölçülmesi amaçlanmakta, geliştirilecek önerilerin sonraki çalışmalar ya da uygulamalar için örnek olması beklenmektedir. Çeşitli kentlerdeki parklarda kullanıcı memnuniyetini değerlendiren çalışmalar olmasına rağmen, Diyarbakır'ın bu anlamda ele alınmamış olması çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında kullanıcı memnuniyetini ölçmek amacıyla anket çalışması yapılmış ve veriler SPSS programında değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı olarak seçilen Diyarbakır, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan tarihi ve kültürel değerlere sahip şehirlerden biridir. Köklü tarihi geçmişi olan Diyarbakır, birçok medeniyetin izlerini barındırmaktadır. Tarihi Suriçi bölgesinde başlayan yerleşim, zamanla kuzey ve batı yönlerinde gelişerek Yenişehir, Bağlar ve Kayapınar ilçelerine doğru büyümüştür. Hızla büyümeye devam eden Diyarbakır'ın 2007 yılında 1.460.714 kişi olan nüfusu, 2023 yılında 1.818.133 kişi olmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. 2007-2023 yılları arasında Diyarbakır nüfusunun değişimi [15]

Çalışmada nüfus yoğunluğunun fazla olduğu ilçelerde yer alan, toplumun çoğu tarafından bilinen, konumu itibari ile kolaylıkla ulaşılabilen "Göletli Park, 15 Temmuz Şehitler Parkı ve Park 75" olarak adlandırılan üç park değerlendirilmiştir. Araştırmaya dahil edilen parkların belirlenmesinde konum, büyüklük ve peyzaj öğeleri etkili olmuştur. Göletli Park 394.338 kişilik nüfusa sahip Bağlar ilçesinde, 15 Temmuz Şehitler Parkı ve Park 75 ise 425.143 kişilik nüfusa sahip Kayapınar ilçesinde yer almaktadır [15] (Şekil 2).

Şekil 2. Araştırma alanlarının konumu

Google Earth üzerinden yapılan ölçümlere göre Göletli Park 5.75 ha, 15 Temmuz Şehitler Parkı 7.5 ha ve Park 75 ise 13 ha alan kaplamaktadır (Tablo 1).

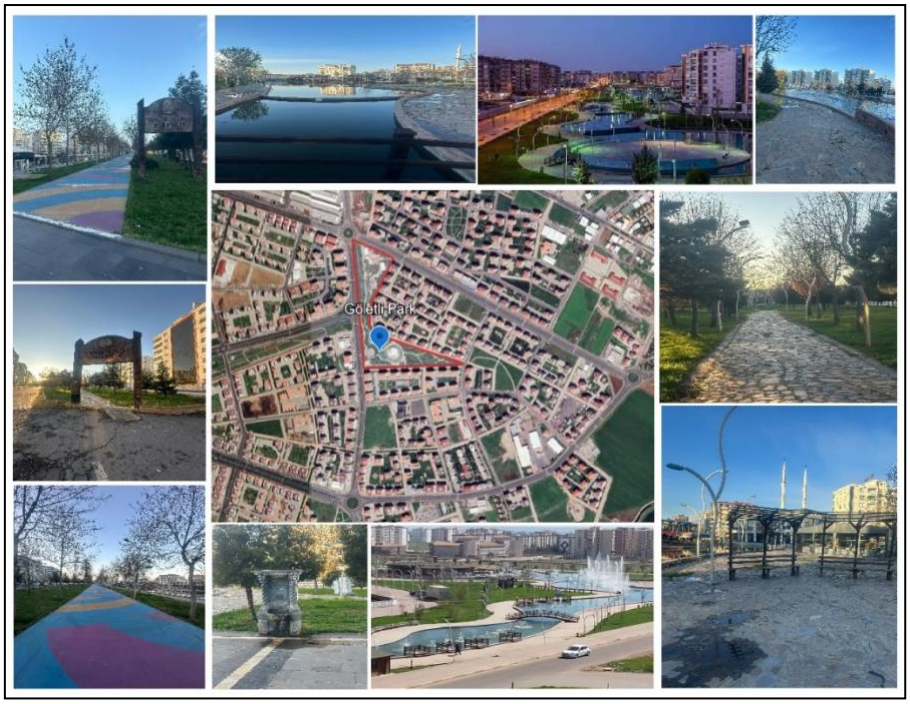
Tablo 1. Araştırma alanlarının genel özellikleri

Park adı	Konum/ ilçe adı	Büyüklük (ha)	Yapım Yılı
15 Temmuz Şehitler Parkı	Kayapınar	7.5	2002
Göletli Park	Bağlar	5.75	2013
Park 75	Kayapınar	13	2019

15 Temmuz Şehitler Parkı: Eski ismi Park Orman olan 15 Temmuz Şehitler Parkı içerisinde kafe, çocuk oyun alanı, yürüyüş yolları, piknik üniteleri bulunmakta olup fotoğrafçılık, spor etkinliği gibi birçok aktiviteye imkân sunmaktadır (Şekil 3).

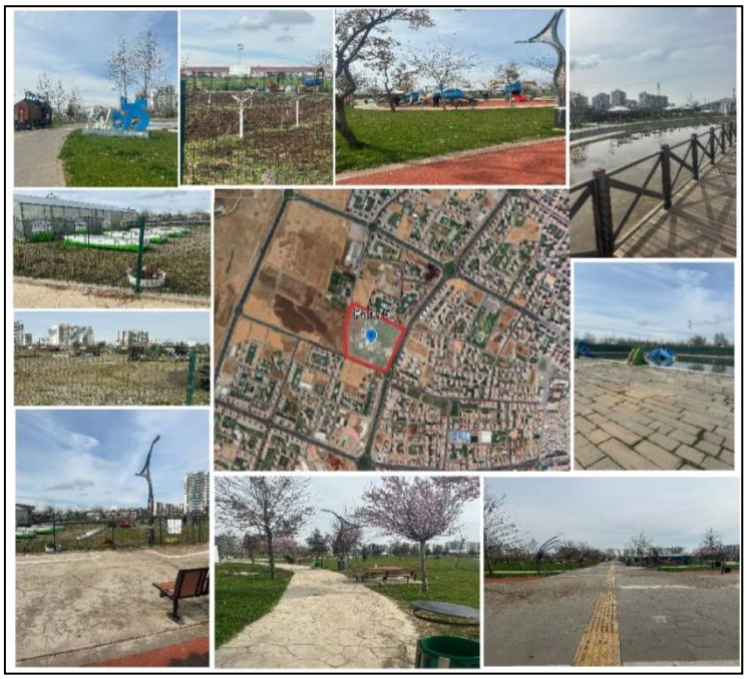
Şekil 3. 15 Temmuz Şehitler Parkı konumu ve aktivite alanları

Göletli Park: 2013 yılında tamamlanan ve yaklaşık 1 hektarı gölet olan Göletli Park, Diyarbakır'ın ilk su parkı olma özelliğine sahiptir. Parkta ada kafeterya, yarımada şeklinde bir amfi tiyatro, 3 ayrı kafeterya, büfe, yürüyüş yolları ve oturma grupları bulunmaktadır. Deniz bisikleti ile gölette gezinti yapılabilmektedir (Şekil 4). Parkta bulunan havuz sistemiyle suların hareketleri, dinamik yapısı ve sesi sayesinde kullanıcıların duygusal ve deneyimsel bağı desteklemektedir. Su öğesi, ortamın iklimine olumlu katkılar sağlamanın yanında görsel açıdan da dikkat çekmektedir. Çim yüzeylerin yoğun olduğu parkın etrafına konumlandırılmış aydınlatma elemanlarının sayısının fazla olması kullanıcıya, korunma ve güvenlik hissi oluşturmaktadır. Alanın sınırında yer alan yürüyüş yolları ve oturma grupları kullanıcının fiziksel aktivitelerini desteklerken eğlenceli vakit geçirmelerini de sağlamaktadır. Yürüyüş yollarının kenarlarında bulunan ağaçlar gölgeli bir alan oluştururken, farklı ve renkli bitkiler estetik görünüme katkı sunmaktadır.



Şekil 4. Göletli Park konumu ve aktivite alanları

Park 75: Park 75'te sentetik buz pisti, aqua park, kaykay pisti, kafe, gölet, midilli alanı, çocuk oyun alanı, müzikli su oyunu, spor alanı, yürüyüş yolları gibi birçok aktivite alanı bulunmaktadır (Şekil 5). Bitki yoğunluğunun fazla olduğu Park 75, çocuk oyun alanları, eğitim atölyeleri, aqua park, gölet gibi su öğeleri olanaklarının değerlendirildiği kapsamlı spor ve dinlenme faaliyetlerinin bulunduğu bir park olarak düzenlenmiştir.



Şekil 5. Park 75 konumu ve aktivite alanları

Parkların kullanım sıklığı ve yoğunluğu kullanıcı memnuniyeti ile doğru orantılı olarak gelişme göstermektedir. Günümüzde birçok sektörün ve çalışma alanının odak noktasında olan "kullanıcı memnuniyeti" kavramı [16] mekâna bağlılıkla ilişkilendirilmekte, bazı çalışmalarda bireylerin çeşitli tepkilerini ve davranışlarını vurgulamak için kullanılmaktadır [14]. Ulusal ve uluslararası literatürde çeşitli kentlerdeki parklarda kullanıcı memnuniyetini belirleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Zamanis, vd., (2024) yeşil alanların çevresindeki kullanıcı profilinin memnuniyetini değerlendirmek amacıyla İzmir ili Karşıyaka ilçesindeki üç parkta 100 kullanıcıya anket uygulamış, park alanlarındaki yeşil alan yoğunluğunun ve niteliğinin kullanıcıların memnuniyet düzeylerini etkilediğini ortaya koymuştur [17]. Bekar ve Gülpınar Sekban, (2018) çalışmalarında, Trabzon ilinde önemli rekreasyon alanlarından biri olan Beşirli kıyı güzergâhında kullanıcı memnuniyeti ve tercihlerini sorgulamak amacıyla 150 kişi ile anket yapmıştır [18]. Çalışmada, Beşirli kıyı güzergâhının mevcut potansiyeline göre hizmet edemediği ve kent halkının gereksinimlerini yeterince karşılayamadığı sonucuna ulaşılmıştır [18]. Benzer bir çalışmada Maltepe-Kartal kıyı bandı kullanıcılarının rekreasyonel memnuniyet düzeylerini belirlemek amacıyla 423 kullanıcıya anket uygulanmıştır. Kıyı bandında taşıma kapasitesinin aşılması, donatı elemanlarının (çöp kutusu, tuvalet, bank, vb.) ve otopark alanlarının yetersizliği gibi sorunlar tespit edilmiştir [19].

Güreşçioğlu ve Demir (2019), Düzce Melensu parkı örnekleminde uzmanların memnuniyetlerini değerlendirmiştir [20]. Uzman kişilerin memnuniyetini etkileyen faktörler arasında parkın sahip olduğu yeşil dokunun niteliği ve yoğunluğu, parkta sunulan hizmetlerin kalitesi, pakın bakımlılığı, temizliği, güvenliği gibi konular yer almaktadır [20]. Koçan ve Metin (2020), kent parkının kullanım işlevlerinin ve kullanıcıların beklentilerinin belirlenmesi amacıyla Üsküdar'da yer alan Fetihpaşa Korusu'nu ele almışlardır [21]. Çalışmada, 384 kişiye 16 sorudan oluşan anket uygulayarak kullanıcı memnuniyeti ölçülmüş, alanın daha etkin kullanımına yönelik öneriler geliştirilmiştir [21]. Ordu kenti, Altınordu ilçesini ele alan çalışmada 173 kişiye ile anket uygulanarak kullanıcıların genellikle hangi parkı kullandıkları, memnuniyet düzeyleri ve parklarda karşılaştıkları olumsuzluklar tespit edilmiştir [22]. Giresun kentinde yer alan 35 adet parkta 400 katılımcı ile gerçekleştirilen anket sonuçlarına göre, parklar kullanıcılar tarafından "kolay ulaşılabilir" olarak nitelendirilmekte, ancak parklardan duyulan memnuniyet düzeyi "orta" olarak değerlendirilmektedir [23].

Koçan ve Metin (2020), İstanbul ili Üsküdar ilçesinde yer alan Küçük Çamlıca Korusu'ndaki peyzaj tasarımları ve alan kullanımlarıyla ilgili görüşleri belirlemek amacıyla 384 kişiyle 16 sorudan oluşan anket uygulayarak kullanıcı memnuniyetini ortaya koymuştur [24]. Kahya ve Yerli (2018), çalışmalarında Adapazarı kentinde yer alan Kent Park'ta 120 kişiye anket uygulayarak kullanıcıların en çok tercih ettiği etkinlikleri, alana gelmeden önceki ve geldikten sonraki beklentilerini değerlendirmiştir [25]. Alkan (2019), çalışmasında Çanakkale kentinde bulunan üç parkta 100 kullanıcıyla anket yaparak mevcut donatı ve olanaklar ile memnuniyet oranları arasındaki ilişkiyi belirlemiştir [26].

Literatürde genellikle "kullanıcı memnuniyeti" ele alınmakta olup, çeşitli alanlarda "kullanım sonrası değerlendirme" yöntemin de kullanıldığı görülmektedir. Kullanım Sonrası Değerlendirme Yöntemi (KSD), kullanıcıların düşünce ve isteklerini ele alarak, alanın tasarım ve uygulama süreçlerini yönlendiren yöntemlerden biridir [27]. Pouya ve Topaloğlu (2021), Zonguldak'ta yer alan Filyos Sahil Parkı'nda kullanıcı memnuniyetinin değerlendirilmesi ve parkın eksiklerinin tespit edilmesi amacı ile KSD metodunu kullanmıştır [27]. Pouya ve Sekman (2020), Malatya'da yer alan üç meydanı KSD yöntemi ile değerlendirerek, meydanların fiziksel, algısal ve işlevsel olarak geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur [28]. Dindar vd., (2023), COVID-19 pandemisi sonrasında parkların kullanıcı memnuniyetinin incelenmesi amacıyla, Bursa ili Nilüfer ilçesinde bulunan 14 parkta 40 sorudan oluşan anket çalışması gerçekleştirerek kullanım sonrası değerlendirme yapmıştır [29].

Uluslararası çalışmalarda da kentsel ölçekte çeşitli alanlarda kullanıcı memnuniyeti ele alınmıştır. Shaaban vd., (2022), kullanıcıların yol ağından memnuniyetini etkileyen faktörleri değerlendirmiş [30], Zhao vd., (2024), Hollanda'da çevrimiçi bir anket aracılığıyla 322 kişiye ulaşarak kent parkı, mahalle açık alanları ve özel bahçelerin bireylerin öznel refahıyla olan ilişkisini ortaya koymuştur [31]. Roberts vd., (2019), çalışmalarında, Birleşik Krallık'ın Bradford kentinde doğan 652 kadına anket uygulayarak, yoksulluk ve etnik nitelikler ile park özellikleri, park memnuniyeti ve park kullanımı arasındaki ilişkileri incelemiştir [32]. Maniruzzaman, vd., (2021), Suudi Arabistan'ın Dammam kentinde üç park örneğinin kullanıcıları olan 192 kişiyle anket yaparak, seçilen öğelerle ilgili memnuniyet düzeylerini değerlendirmiştir [33]. Ojeda-Revah vd., (2017), Latin Amerika'da yer alan iki parkta 16'şar kişi ile görüşerek, kentsel park tasarımına ilişkin yasal çerçevenin kullanıcı memnuniyetini nasıl etkilediğini ortaya koymuştur [34].

Kentlerde bireylerin yaşam alanlarının önemli bir parçası olan parklardaki memnuniyet, aynı zamanda kullanıcıların yaşam kalitesinin de belirleyicisidir [13]. Dolayısıyla, araştırmada kullanıcı tercihi ve memnuniyet düzeyi ortaya konarak sorunlara yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada veri toplama aracı olarak katılımcıların demografik özelliklerini tanımlamaya yardımcı olan ve parklarla ilgili memnuniyet düzeylerini ölçmeyi sağlayan anket formu kullanılmıştır. Anketlerin yüz yüze uygulandığı çalışmada, yerinde gözlem ve fotoğraflama tekniklerinden yararlanılmıştır. Anketin birinci bölümü demografik bilgileri içermekte olup, ikinci bölümünde 3'lü derecelendirme türünden toplam 15 soru bulunmaktadır. Bu kapsamda kullanıcıların sosyo-ekonomik özellikleri, parkı kullanım amaçları, parkların etkinliği, işlevselliği, tasarım özellikleri, topluma ve kente sağladığı faydaları ortaya çıkaran sorular oluşturulmuştur.

Katılımcılardan elde edilen veriler doğrultusunda anketin güvenirlik katsayısı hesaplanmış ve 15 madde ile Cronbach Alpha güvenirlik katsayısı 0.85 olarak bulunmuştur. Güvenirlik katsayısı, nicel araştırmalarda veri toplama araçlarında yer alan ifadelerin birbirleriyle olan tutarlılığını ifade eden, 0-1 aralığında değer alan bir özelliktir. Dolayısıyla bu değer anketin genel olarak tutarlığının sağlandığını göstermektedir.

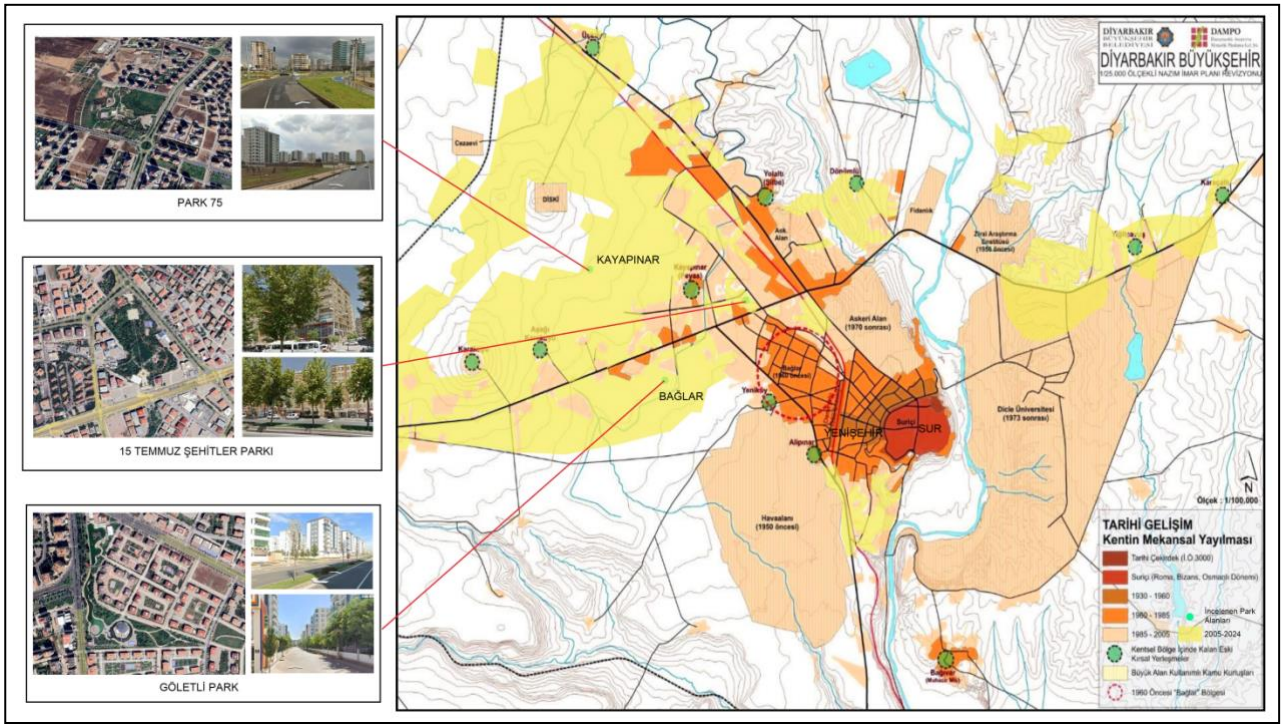
Araştırmada şehirde bulunan üç farklı parka gidilerek buralarda basit seçkisiz örnekleme yöntemi kullanılarak, katılımcılardan veriler toplanmıştır. Bu bağlamda Park 75 alanında 140 katılımcı, Göletle Park'ta 64 ve 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda 84 katılımcıya anket uygulanmıştır. Parklardaki kullanıcı yoğunluğu anket sayısında etkili olmuş, Park 75'i kullanan kişi sayısının fazlalığı anketlerin uygulanması esnasında daha çok kişiye ulaşılmasını sağlamıştır.

Yapılan anketler SPSS24 veri analiz programı ile değerlendirilmiş, parklarla ilgili görüşler, olumlu ve olumsuz yönler ile eksiklikler saptanarak parkların niteliğinin artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Araştırmada katılımcılara uygulanan anketten elde edilen veriler nicel veri analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde değişkenler yüzde ve frekans dağılımları ile açıklanmış, ayrıca anketten elde edilen verilerde her bir park için kullanıcıların memnuniyetleri ayrı ayrı verilmiştir. Yaş, cinsiyet, eğitim durumu, parka geliş amacı, parka ulaşım, parkta geçirilen süre gibi bazı değişkenlerle parklardaki memnuniyet düzeyi arasında ilişki kurulmuştur. Analizlerde katılımcıların parklardan memnuniyet düzeylerinin karşılaştırmasında cinsiyet değişkeni için bağımsız örneklem t testi, parka geliş amacının karşılaştırılması için ANOVA testi kullanılmıştır. T testi ile iki örneklem gurubu arasındaki ortalama farkın olup olmadığı incelenmektedir. ANOVA testi ise 2'den fazla sayıda ortalama değeri birbiriyle karşılaştırarak, bu ortalamalar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir [35].

3. Bulgular

Çalışma alanını oluşturan parklar Bağlar ve Kayapınar ilçesinde yer almaktadır. Özellikle 1980 sonrasında göçle gelenlerin tercih ettiği yerleşim yerlerinden biri olan Bağlar bölgesi gecekondu ve apartkondu yapılarıyla giderek büyümüştür [36]. Bağlar, günümüzde dönüşüme ihtiyacı olan yapı stokunun olduğu alanların yanı sıra, son dönemde hızla gelişen güvenlikli siteleri barındıran ilçe durumundadır (Şekil 6). Kayapınar ise 2000 sonrasında gelişme gösteren, çok katlı yapıların yer aldığı planlı gelişen yerleşim yerlerindendir. Güvenlikli sitelerin ve ticari yapıların varlığı alt

merkez olma özelliği kazandırmıştır. Her iki ilçede de yeşil alan ihtiyacı parklara ek olarak son yıllarda inşa edilen site bahçelerinde karşılanmaya çalışılmaktadır.



Şekil 6. Diyarbakır kentinin mekansal büyümesi ve incelenen parkların konumu ([37] ve [38]'ten geliştirilmiştir)

Demir Kayan ve Biçen (2024), Diyarbakır kent merkezindeki açık ve yeşil alanları değerlendirdikleri çalışmalarında Kayapınar ilçesinde 51 adet, Bağlar ilçesinde ise 41 adet park tespit etmişlerdir [39]. Kayapınar'da incelenen 15 Temmuz Şehitler Parkı ve Park 75 alansal olarak 10,5 ha olup, ilçe merkezideki açık ve yeşil alanların % 10'unu oluşturmaktadır. Bağlar'da yer alan Göletli Park ise 5,75 ha olup, Bağlar ilçesindeki toplam açık ve yeşil alanının % 4,9 unu oluşturmaktadır (Tablo 2). İki ilçe de kişi başına düşen yeşil alan miktarları yetersiz görülmektedir. Çalışma kapsamında incelenen üç park Diyarbakır'da bilinen ve kentte yaşayanlar tarafından tercih edilen parklar olmakla birlikte, çoğunlukla kullanıcı kitlesini yakın çevrede oturanlar oluşturmakta ve mahalle ölçeğinde park olarak değerlendirmektedir.

Tablo 2. Kayapınar ve Bağlar ilçelerindeki aktif yeşil alanların dağılımı [39]

İlçe	**Yerleşim alanı büyüklüğü (ha)**	**Aktif Yeşil Alan Büyüklüğü (m^2)**	**Kişi Başına Düşen Yeşil Alan Miktarı (m^2)**	**Tespit Edilen Park Sayısı**
Kayapınar	5.178,42	1.042.041,89	2,88	51
Bağlar	3.622	1.172.660,90	3,21	41

Çalışmanın bu bölümünde, katılımcıların demografik özellikleri ve yapılan analiz sonucunda verdikleri yanıtlara ilişkin bilgiler tablolar halinde sunulmuş ve açıklanmıştır. Uygulanan anketlerin %48.6'sı Park 75'te ,%22.2'si Göletli Park ve %29.2'si 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda yapılmıştır. Katılımcıların %47.2'si 18-25 yaş,% 25'i 26-35 yaş aralığındadır (Tablo 3). Anket uygulanan kullanıcının %60.4'ü erkek ve %39.6'sı kadındır. Katılımcıların yarısı lise ve altı eğitim seviyesine sahiptir. Üniversite ve lisansüstü eğitim seviyelerine sahip ziyaretçilerin oranları ise sırasıyla %38.2 ve %11.8 olarak belirlenmiştir. Katılımcıların çoğu (%57.6) 20.000 TL'nin altında gelire sahiptir. 2024 yılı brüt asgari ücret 20.002,50 TL ve net asgari ücret 17.002,12 TL [40] olup, parkları kullananların büyük kısmını düşük gelir grubundaki kişiler oluşturmaktadır. Park ziyaretçilerinin büyük bir kısmının öğrenci (%34.7) ve kamu personeli (%27.1) olduğu belirlenmiştir. Diğer meslek grupları daha küçük oranlara sahiptir (Tablo 3).

Tablo 3. Katılımcıların demografik özellikleri

Demografik Özellikler		**N**	**%**
Park	Park 75	140	48.6
	Göletli Park	64	22.2
	15 Temmuz Şehitler Parkı	84	29.2
Yaş	18-25	136	47.2
	26-35	72	25.0
	36-45	38	13.2
	46 ve üzeri	42	14.6
Cinsiyet	Kadın	114	39.6
	Erkek	174	60.4
Eğitim Durumu	Lise ve altı	144	50.0
	Üniversite	110	38.2
	Lisansüstü	34	11.8
Gelir Durumu*	20.000 TL altı	166	57.6
	20-30.000 TL	46	16.0
	30-40.000 TL	32	11.1
	40-50.000 TL	22	7.6
	60.000 TL ve üzeri	22	7.6
Meslek	Kamu Personeli	78	27.1
	Öğrenci	100	34.7
	Özel Sektör Çalışanı	20	6.9
	Serbest Meslek	42	14.6
	Esnaf	14	4.9
	Ev Hanımı	28	9.7
	Çalışmıyor	6	2.1
	Toplam	288	100
*1 Euro=36,74 TL (16.12.2024)			

Katılımcıların çoğu (%58.3) yürüyerek parka ulaşmaktadır. Katılımcıların %31.9'u haftada birkaç kez, %18.8'i her gün parka gelmektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğu (%66.7) 1-5 saat arasında parkta zaman geçirmektedir. Katılımcıların en yaygın parka gelme amacı, arkadaşlarla gezme (%30.6) ve boş zamanını değerlendirme (%29.2) şeklindedir. Ayrıca katılımcıların %43.8'inin parka arkadaşlarıyla, %19.4'ünün aile bireyleriyle, %19.4'ünün tek ve %17.4'ünün çocuklarla geldiği belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Katılımcıların parka erişim durumları

Katılımcıların Parka Erişim Durumları		**N**	**%**
Parka Ulaşım	Yürüyerek	168	58.3
	Özel Araçla	92	31.9
	Toplu Taşıma	28	9.7
Parka Geliş Sıklığı	Her gün	54	18.8
	Haftada birkaç kez	92	31.9
	Haftada bir	50	17.4
	Ayda birkaç kez	28	9.7
	Ayda bir	64	22.2
Parkta Geçirilen Süre	1 saatten az	82	28.5
	1-5 saat	192	66.7
	6-10 saat	14	4.9
Parka Gelme Amacı	Spor	36	12.5
	Çocuklar için	74	25.7
	Piknik	2	0.7
	Arkadaşlarla gezme	88	30.6
	Parkın tasarımı	4	1.4
	Boş zaman	84	29.2
Parka Kimle Geldiği	Aile	56	19.4
	Tek	56	19.4
	Çocuklar	50	17.4

Arkadaş	126	43.8
Toplam	288	100

Katılımcıların anket maddelerine verdikleri yanıtlar Park 75, Göletli Park ve 15 Temmuz Şehitler Parkı için evet, kısmen, hayır seçenekleriyle yüzdelik dilimde sunulmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Katılımcıların anket maddelerine verdikleri yanıtlar

		Evet (%)	Kısmen (%)	Hayır (%)
1. Çevrenizde bulunan parklar sayıca yeterlidir.	Park 75	25.7	25.7	48.6
	Göletli Park	43.8	18.8	37.5
	15 Temmuz Şehitler Parkı	19.0	31.0	50.0
2. Parka ulaşım rahat bir şekilde sağlanmaktadır.	Park 75	67.1	24.3	8.6
	Göletli Park	56.3	12.5	31.3
	15 Temmuz Şehitler Parkı	71.4	16.7	11.9
3. Parkta otopark sayısı yetersizdir.	Park 75	25.7	28.6	45.7
	Göletli Park	34.4	9.4	56.3
	15 Temmuz Şehitler Parkı	16.7	16.7	66.7
4.Park engelli kullanımı açısından uygundur.	Park 75	30.0	40.0	30.0
	Göletli Park	18.8	21.9	59.4
	15 Temmuz Şehitler Parkı	33.3	16.7	50.0
5. Parkta aydınlatma yeterlidir.	Park 75	27.1	31.4	41.4
	Göletli Park	31.3	25.0	43.8
	15 Temmuz Şehitler Parkı	26.2	21.4	52.4
6.Parkta rekreasyonel faaliyetler yeterlidir.	Park 75	25.7	44.3	30.0
	Göletli Park	21.9	31.3	46.9
	15 Temmuz Şehitler Parkı	47.6	33.3	19.0
7.Parkta kullanılan bitkiler uygundur ve göze hoş gelmektedir.	Park 75	40.0	34.3	25.7
	Göletli Park	31.3	9.4	59.4
	15 Temmuz Şehitler Parkı	50.0	21.4	28.6
8. Parkın bakım ve onarımı düzenli olarak yapılmaktadır.	Park 75	35.7	40.0	24.3
	Göletli Park	21.9	28.1	50.0
	15 Temmuz Şehitler Parkı	50.0	23.8	26.2
9. Parkta güvenlik sorunları bulunmaktadır	Park 75	41.4	34.3	24.3
	Göletli Park	68.8	21.9	9.4
	15 Temmuz Şehitler Parkı	66.7	26.2	7.1
10. Park akşam kullanımı için uygundur.	Park 75	20.0	40.0	40.0
	Göletli Park	21.9	34.4	43.8
	15 Temmuz Şehitler Parkı	45.2	33.3	21.4
11. Parkta her yaşta çocuklar için oyun alanları bulunmaktadır.	Park 75	60.0	27.1	12.9
	Göletli Park	12.5	18.8	68.8
	15 Temmuz Şehitler Parkı	42.9	11.9	45.2
12. Parktaki ağaçlar yeterlidir.	Park 75	22.9	31.4	45.7
	Göletli Park	37.5	18.8	43.8
	15 Temmuz Şehitler Parkı	69.0	19.0	11.9
13. Parktaki oturma alanları yeterlidir.	Park 75	20.0	44.3	35.7
	Göletli Park	31.3	18.8	50.0
	15 Temmuz Şehitler Parkı	54.8	26.2	19.0
14.Parkta lavabo gibi imkânlar yeterlidir.	Park 75	10.0	27.1	62.9
	Göletli Park	6.3	6.3	87.5
	15 Temmuz Şehitler Parkı	2.4	4.8	92.9
15. Parkın hijyeni yeterlidir.	Park 75	7.1	35.7	57.1
	Göletli Park	3.1	18.8	78.1
	15 Temmuz Şehitler Parkı	19.0	21.4	59.5

Tablo 5'ten elde edilen sonuçlara göre;

- Park 75 (%48.6) ve 15 Temmuz Şehitler Parkı (%50.0) için katılımcıların yaklaşık yarısı çevrede bulunan parkların sayıca yeterli olmadığını,

- Üç park için katılımcıların büyük bir kısmı parklara ulaşımın rahat bir şekilde sağlandığını, ancak park çevresindeki otoparkların yetersiz olduğunu,
- Katılımcıların büyük bir kısmı parkların engelli kullanımına uygun olmadığını Park 75'in kısmen (%40.0) uygun olduğunu,
- Katılımcıların yaklaşık yarısı parklarda aydınlatmanın yeterli olmadığını,
- Rekreasyonel faaliyetler bakımından katılımcıların çoğu Göletli Park ve Park 75'in yetersiz, 15 Temmuz Şehitler Parkı'nın (%47.6) bu açıdan daha yeterli olduğunu,
- Katılımcıların çoğu 15 Temmuz Şehitler Parkı (%50.0) ve Park 75 (%40.0) için bitkilerin uygun, Göletli Park (%59.4) için bitkilerin uygun olmadığını,
- Katılımcıların büyük bir kısmı Göletli Park'ta (%50.0) bakım ve onarımının yapılmadığını, Park 75'te (%40.0) kısmen yapıldığını, 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda (%50.0) ise düzenli olarak yapıldığını,
- Katılımcıların çoğu üç parkta güvenlik önlemlerinin yeterli olmadığını,
- Katılımcıların büyük bir kısmı Park 75 (%40.0) ve Göletli Park (%43.8) için akşam kullanımın uygun olmadığını, 15 Temmuz Şehitler Parkı (%45.2) için ise akşam kullanım için uygun olduğunu,
- Katılımcıların çoğu çocuk oyun alanlarının Park 75'te (%60.0) uygun olduğu, Göletli Park (%68.8) ve 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda (%45.2) ise uygun olmadığını,
- Park 75 (%45.7) ve Göletli Park'taki (%43.8) ağaçların yeterli olmadığını, 15 Temmuz Şehitler Park'ındaki (%69.0) ağaçların ise yeterli olduğunu,
- Oturma alanlarının 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda(%54.8) yeterli olduğunu, Park 75 (%35.7) ve Göletli Park'ta (%50.0) yetersiz olduğunu,
- Lavabo gibi imkânlar bakımından incelenen bütün parkların genel olarak yetersiz olduğunu,
- Üç parkın hijyen bakımından yüksek düzeyde yetersiz olduğunu,

belirtmişlerdir.

Parklarda yapılan gözlemlere göre, Park 75'teki yürüyüş parkuru, ulaşım bakımından yeterli iken çocuk oyun alanları, oturma birimleri, aydınlatma, güvenlik, otopark, lavabolar, kafe ve ağaçlandırma gibi özellikler bakımından yetersizdir. Göletli Park'ın yürüyüş parkuru ve ulaşım bakımından yeterli, diğer özelliklerin yetersiz olduğu, 15 Temmuz Şehitler Parkı'nın ise yürüyüş parkuru, ulaşım ve ağaçlandırma özellikleri açısından yeterli olduğu ancak diğer özelliklerin yetersiz olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların park alanlarındaki fiziksel aktivitelerinin gözleme dayalı yeterlik özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda Park 75 incelendiğinde lavaboların kirli olduğu ve sayı bakımından yetersiz olduğu görülmektedir. Ayrıca, oturma alanlarında bankların kırık olduğu, yürüyüş alanlarında su birikintilerinin ve yürüyüş güzergahlarının bozuk olduğu belirlenmiştir. Göletli Park için ise yine yağmur yağdığında su birikintilerinin oluştuğu, ağaçlandırmanın yetersiz olduğu, göl suyunun temiz olmadığı ve gölün kıyısında güvenlik halatının olmadığı görülmektedir. 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda ise çeşme sayısı ve lavaboların yetersiz olduğu, oturma alanlarının ve aydınlamanın yetersi olduğu görülmüştür. Araştırmada incelenen bu parklara ilişkin genel olarak bakımsız olma, yetersizlik ve kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayamama gibi sorunların yaşandığı anlaşılmaktadır.

Çalışmada, katılımcıların cinsiyetlerine göre parklardan memnuniyet düzeylerinin karşılaştırması bağımsız örneklem t testi ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda cinsiyet bakımından Park 75 ve Göletli Park alanlarında anlamlı farklılık meydana gelmediği, buna karşılık 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda cinsiyete göre farklılık ($p \leq 0.05$) meydana geldiği belirlenmiştir (Tablo 6). Buna göre erkek katılımcıların 15 Temmuz Şehitler Parkı'ndan memnuniyetlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6. Katılımcıların cinsiyetlerine göre parklardan memnuniyet düzeylerinin karşılaştırması

	Cinsiyet	N	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	t	sd	*p*
Park 75	Kadın	50	39.0800	6.34980	1.332	138	0.185
	Erkek	90	37.7111	5.51860			
Göletli Park	Kadın	18	31.6667	5.63602	-1.478	62	0.145
	Erkek	46	34.9130	8.60446			
15 Temmuz Şehitler Parkı	Kadın	46	35.5652	5.33188	-6.046	82	0.000
	Erkek	38	42.5789	5.24343			

Ek olarak çalışmada katılımcıların parka geliş amacına göre parklardan memnuniyet düzeylerinin karşılaştırması ANOVA test ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda parka geliş amacı bakımından Park 75 ve Göletli Park alanlarında anlamlı farklılık meydana gelmediği, buna karşılık 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda farklılık meydana geldiği ($p \leq 0.05$) belirlenmiştir (Tablo 7). Analizler sonucunda parka çocuklar için gelen katılımcılarda genel olarak parktan memnuniyetin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 7. Katılımcıların parka geliş amacına göre parklardan memnuniyet düzeylerinin karşılaştırması

	Parka Geliş Amacı	N	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma		F	p
Park 75	Spor	18	36.6667	6.56192	4	1.943	0.107
	Çocuklar için	54	39.0370	5.26635			
	Arkadaşlarla gezme	42	39.0000	5.82677			
	Parkın tasarımı	4	39.5000	4.04145			
	Boş zaman	22	35.6364	6.34369			
Göletli Park	Spor	12	39.1667	9.52350	4	1.864	0.129
	Çocuklar için	4	34.5000	8.66025			
	Piknik	2	32.0000	0.00000			
	Arkadaşlarla gezme	18	33.8889	6.04774			
	Boş zaman	28	31.9286	7.96719			
15 Temmuz Şehitler Parkı	Spor	6	35.0000	6.19677	4	6.401	0.001
	Çocuklar için	16	43.0000	6.11010			
	Arkadaşlarla gezme	28	35.8571	5.77167			
	Boş zaman	34	39.7647	5.57624			

4. Tartışma ve Sonuç

Parklar insanların günlük yaşamın stresinden uzaklaştıkları, eğlenceli vakitler geçirdikleri, çocukları oyun amacıyla getirdikleri alanlardır. Literatürde, çeşitli kentlerdeki parklarda kullanıcı memnuniyetinin ölçüldüğü çalışmalarda genellikle, bitkilendirme, mekan kullanımı, kent mobilyalarına ilişkin memnuniyet düzeyinin düşük olduğu görülmektedir. Diyarbakır örnekleminde ele alınan bu çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen parklar özelinde sorunların değerlendirilerek geliştirilen önerilerin uygulanması parkların kullanılabilirliği açısından önemlidir (Tablo 8).

Tablo 8. İncelenen parklardaki sorunlar ve öneriler

	MEVCUT DURUM			**ÖNERİ**
	Park 75	**Göletli Park**	**15 Temmuz Şehitler Parkı**	
Çevredeki park sayısının yeterliliği	Yeterli değildir.	Yeterlidir.	Yeterli değildir.	Park 75 ve 15 Temmuz Şehitler Parkı'nın çevresindeki park sayısı artırılmalı, planlarda yer alan parklar uygulanmalıdır.
Ulaşımın rahatlılığı	Rahat ulaşılmaktadır.	Rahat ulaşılmaktadır.	Rahat ulaşılmaktadır.	Mevcut ulaşım sistemi, farklı mahallelerden gelenler için toplu taşıma ile desteklenmelidir.
Otopark sayısının yeterliliği	Yeterli değildir.	Yeterli değildir.	Yeterli değildir.	Üç parkın çevresindeki otopark sayısı artırılmalıdır.

Engelliye uygunluk	Kısmen uygundur.	Uygun değildir.	Uygun değildir.	Üç park engelli bireylerin rahat kullanımını sağlayacak şekilde standartlara uygun olarak yeniden düzenlenmelidir.
Aydınlatmanın yeterliliği	Yeterli değildir.	Yeterli değildir.	Yeterli değildir.	Üç parkta belirli aralıkla standartlara uygun aydınlatma elemanları yerleştirilmelidir.
Rekreasyonel faaliyetlerin yeterliliği	Kısmen yeterlidir.	Yeterli değildir.	Yeterlidir.	Park 75 ve Göletli Park'ta rekreasyonel faaliyetler çeşitlendirilmelidir.
Bitkilerin uygunluğu	Uygundur.	Uygun değildir.	Uygundur.	Göletli Park'ta iklime ve toprağa uygun, hoş görünen bitkilere yer verilmelidir.
Ağaçların yeterliliği	Yeterli değildir.	Yeterli değildir.	Yeterlidir.	Park 75 ve Göletli Park'ta gölge veren ağaç sayısı artırılmalıdır.
Bakım ve onarımın yapılma durumu	Kısmen yeterlidir	Yeterli değildir.	Yeterlidir.	Park 75 ve Göletli Park'ın bakım ve onarımları yapılmalıdır. Hasar gören yada yıpranan kent mobilyaları yenilenmelidir.
Güvenlik durumu	Güvenlik sorunları vardır.	Güvenlik sorunları vardır.	Güvenlik sorunları vardır.	Üç parkta güvenlik kontrolleri artırılmalı, sorun olan yerlerde peyzaj tasarımları güvenli ortamlar oluşturacak şekilde yeniden düzenlenmelidir.
Akşam kullanımı için uygunluğu	Uygun değildir.	Uygun değildir.	Uygundur.	Park 75 ve Göletli Park'ta aydınlatma elemanları artırılarak akşam kullanımına uygun tasarımlara yer verilmelidir.
Her yaşa göre çocuk oyun alanlarının mevcudiyeti	Bulunmaktadır.	Bulunmamaktadır.	Bulunmamaktadır.	Göletli Park ve 15 Temmuz Şehitler Parkı'nda farklı yaş gruplarına yönelik çocuk oyun alanlarına yer verilmelidir.
Oturma alanlarının yeterliliği	Kısmen yeterlidir.	Yeterlidir.	Yeterli değildir.	Park 75 ve 15 Temmuz Şehitler Parkı'ndaki oturma elamanlarının sayısı artırılmalıdır.
Lavabo gibi imkânlar ve hijyenin yeterliliği	Yeterli değildir.	Yeterli değildir.	Yeterli değildir.	Üç parkta lavabo gibi imkânlar artırılarak, hijyene önem verilmelidir.

Güvenli ve sağlıklı ortamlar oluşturulması, parkların erişilebilirliği ve kent mobilyalarının mevcudiyeti ile yakından ilgilidir. İncelenen parklarda özellikle aydınlatma olanaklarının yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aydınlatma bireylerin park alanlarını akşam saatlerinde kullanmalarına da imkân sağlayan önemli bir özelliktir. Aydınlatmanın olmaması durumunda parkların yeterince kullanılamayacağı ve parkları kullanılmak isteyen bireyler açısından bazı güvenlik sorunlarının ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. Bireylerin geçişine engel olmayacak şekilde uygun konumda ve yeterli sayıda aydınlatma elemanları yerleştirilmelidir. Parklarda genel olarak lavabo ve hijyen gibi özellikler açısından sorunların bulunduğu belirlenmiştir. Parklara gelen bireylerin parklarda uzun süreli ve eğlenceli vakit geçirebilmeleri özellikle lavabo gibi ihtiyaçların karşılanması ile yakından ilgilidir. Dolayısıyla parkların temizliği, hijyeni ve lavabo imkânları geliştirilmelidir.

Katılımcıların memnuniyetleri cinsiyete göre karşılaştırıldığında Park 75 ve Göletli Park'ta farklılık bulunmamış, ancak erkek katılımcıların 15 Temmuz Şehitler Parkı'ndan memnuniyetlerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Katılımcıların parklara çeşitli amaçlarla geldikleri görülmüş, ancak 15 Temmuz Şehitler Parkı'na çocuklar için gelen katılımcıların memnuniyetlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Farklı yaş ve cinsiyetlerin bir arada bulunmasına imkân tanıyan düzenlemeler yapılmalıdır.

Parkların kullanım sıklığı ve kullanıcının memnuniyet düzeyi sunulan olanaklara göre farklılaşmaktadır. Planlama çalışmalarında parkların konumu ve büyüklüğü belirlenirken, yaya ve taşıt yolu ile otopark alanlarının iyi kurgulanması gereklidir. Mevcut parklardaki eksiklikler tespit edilerek, aktif kullanılmalarına yönelik tasarım ve düzenlemeler yapılmalıdır. Yıpranan yerlerin onarımı ve bitkilerin düzenli bakımı gerçekleştirilmeli, uygun konum ve standartlarda kent mobilyalarına yer verilmelidir. Bundan sonra yapılacak olan parklarda bölge insanın beklentileri ve istekleri tespit edilmeli, parkların tasarımları bu doğrultuda planlanmalıdır.

5. Katkı Beyanı

E.A: Çalışmanın dizayn edilmesi, verilerin toplanması, veri analizi ve makale yazımı. C.K: Verilerin değerlendirilmesi, makale yazımı.

6. Kaynaklar

[1] Gürbüz, H., Yılmaz, V., "Eskişehir rekreasyon alanlarından Kentpark'ın kullanım tercihini etkileyen faktörlerin araştırılması" ***Researcher,*** 5(2): 187–200, 2017

[2] Farkas, J. Z., Hoyk, E., De Morais, M. B., Csomós, G., "A systematic review of urban green space research over the last 30 years: A bibliometric analysis" ***Heliyon,*** *9*(2), 2023

[3] Doğan, E. N., Güngör, S., "Ankara Göksu parkının kullanan kişiler tarafından alan yeterliliğinin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi" ***Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology***, 10, 2821-2826, 2022

[4] Reyes-Riveros, R., Altamirano, A., De La Barrera, F., Rozas-Vásquez, D., Vieli, L., Meli, P., "Linking public urban green spaces and human well-being: A systematic review" ***Urban Forestry and Urban Greening,*** 61,127105, 2021

[5] Karadeniz, Z., "Peyzaj Tasarım Kriterleri Açısından Samsun Kent Parklarının İncelenmesi". Ordu Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü.Yüksek Lisans Tezi*, Ordu, 2019

[6] Palliwoda, J., Priess, J. A., "What do people value in urban green? Linking characteristics of urban green spaces to users' perceptions of nature benefits, disturbances, and disservices" ***Ecology and Society,*** 26(1), 2021

[7] Onsekiz, D., Emür, S. H., "Kent parklarında kullanıcı tercihleri ve değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi" ***Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi***, 1(24), 69-105, 2008

[8] Wan, C., Shen, G. Q., Choi, S., "Underlying relationships between public urban green spaces and social cohesion: A systematic literature review" ***City, Culture and Society,*** 24, 100383, 2021

[9] Vargas-Hernández, J. G., Pallagst, K., Zdunek-Wielgołaska, J., "Urban Green Spaces as a Component of an Ecosystem" Cham: Springer International Publishing, *Sustainable Development and Environmental Stewardship: Global Initiatives Towards Engaged Sustainability*, 165-198, 2023

[10] Şengül, S., Ender Altay, E., "Rekreasyon alanlarında peyzaj tasarım önerilerinin geliştirilmesi: Bursa Ayvalı çevresi" ***Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi***, 38(1), 179-202, 2024

[11] Alkan, Y. "Kent parklarının kullanıcı memnuniyeti açısından irdelenmesi: Çanakkale örneği" ***Kent Akademisi,*** 12 (39),519-530, 2019

[12] Vural, H., "Bingöl halkının yeşil alan kullanımı ve kent parkları yeterliliklerinin değerlendirilmesi" ***Bartın Orman Fakültesi Dergisi,*** 22(1), 79-90, 2020

[13] Gürer, N., Uğurlar A., "Kent parklarında kullanıcı memnuniyeti: Ankara Kuğulu Park örneği" ***Megaron,*** 12 (3), 443-459, 2017

[14] Soydan, O., "Kent parklarının kullanıcı memnuniyetinin Niğde örneğinde incelenmesi" ***Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,*** (20), 712-722, 2020

[15] Nüfusune, "Türkiye nüfusu, il, ilçe, mahalle, köy nüfusları" https://www.nufusune.com/diyarbakir-nufusu (Erişim Tarihi: 23.05.2024), 2024

[16] Sıvalıoğlu, P., Berköz, L., "Relationship between place attachment and user satisfaction at some national parks in Turkey" ***ITU J Faculty Arch,*** 13(1), 171-181, 2016

[17] Zamanis, A., Ayhan Selçuk, İ., Karataş, N., "Karşıyaka ilçesi yeşil alanlarının kullanıcı profili ile birlikte değerlendirilmesi" ***Planarch - Design and Planning Research,*** 8(1), 93- 102, 2024

[18] Bekar, M., Gülpınar Sekban, D. Ü., "Kullanıcı memnuniyeti açısından Trabzon sahil kıyısının değerlendirilmesi" ***Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (IBAD***), 3(2), 563-576, 2018

[19] Korkut, C., Gültekin, P., Özdede, S., "İstanbul Maltepe-Kartal kıyı şeridi örneğinde rekreasyonel kullanıcı memnuniyetinin belirlenmesi ve rekreasyon olanaklarının değerlendirilmesi" ***Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi,*** 17(2), 330-350, 2021

[20] Güreşçioğlu, S., Demir, Z., "Düzce Melensu parkının kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirilmesi" ***Safran Kültür Ve Turizm Araştırmaları Dergisi***, 2(1), 38-51, 2019

[21] Koçan, N., Metin, N., "Fetihpaşa Korusu'nun peyzaj tasarımı ve kullanıcı memnuniyeti üzerine bir değerlendirme" ***Nevşehir Bilim Ve Teknoloji Dergisi***, 9(2), 164-174, 2020

[22] Beyli, K. N., Yeşil, M., "Ordu (Altınordu) kenti parklarının kullanıcı memnuniyeti açısından irdelenmesi" ***Akademik Ziraat Dergisi***, 8(2), 243-250, 2019

[23] Atabeyoğlu, Ö., Ayhan, A., "Giresun kenti parklarında kullanıcı memnuniyeti" ***Kent Akademisi,*** 13(2), 305-314, 2020

[24] Koçan, N., Metin, N., "Küçük Çamlıca Korusu'nun peyzaj tasarımı ve kullanıcı memnuniyeti üzerine bir değerlendirme" ***Ordu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi,*** 10(1), 46-56, 2020

[25] Kahya, C.,Yerli, Ö., "Kentsel açık mekanlarda kullanıcı memnuniyeti değerlendirmesi:Adapazarı kent park örneği" ***Duzce University Journal of Science and Technology,*** 6(4), 765-778, 2018

[26] Alkan, Y., "Kent parklarının kullanıcı memnuniyeti açısından irdelenmesi: Çanakkale örneği" ***Kent Akademisi,*** 12(3), 519-530, 2019

[27] Pouya, S., Topaloğlu, B., "Kullanım sonrası değerlendirme metodu, Filyos sahil parkı örneği" ***Kent Akademisi,*** 14(1), 20-28, 2021

[28] Pouya, S., Sekman, B., "Kullanım sürecinde değerlendirilmesi, Malatya kent meydanları örneği" ***Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi***, 17(2), 189-197, 2020

[29] Dindar, D., Yardımcı, Y., Şenkal Sezer, F., "Covid 19 pandemisi sonrası parkların kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirilmesi: Bursa / Nilüfer Örneği" ***KARESI Journal of Architecture***, 2(1),1-16, 2023

[30] Shaaban, K., Shakeel, K., Rashidi,T.H., Kim, I., "Measuring users' satisfaction of the road network using structural equation modeling" ***International Journal of Sustainable Transportation,*** 16 (9), 792-803, 2022

[31] Zhao, Y., Berg. P. E.W. , Ossokina, I.V., Arentze, T.A., "How do urban parks, neighborhood open spaces, and private gardens relate to individuals' subjective well-being: Results of a structural equation model", ***Sustainable Cities and Society,*** 101, 105094, 2024

[32] Roberts, H., Kellar, I., Conner, M., Gidlow, C., Kelly, B., Nieuwenhuijsen, M., McEachan, R., "Associations between park features, park satisfaction and park use in a multi-ethnic deprived urban area" ***Urban Forestry & Urban Greening***, 46, 126485, 2019

[33] Maniruzzaman, K.M., Alqahtany, A., Abou-Korin,A., Al-Shihri, F., "An analysis of residents' satisfaction with attributes of urban parks in Dammam city", Saudi Arabia" ***Ain Shams Engineering Journal***, 12(3), 3365-3374, 2021

[34] Ojeda-Revah, L., Bojorquez, I., Osuna, J.C. "How the legal framework for urban parks design affects user satisfaction in a Latin American city" ***Cities,*** 69,12-19, 2017

[35] SPSS Yardımı İstatistik Merkezi, "ANOVA testi nedir? (varyans analizi)" https://www.spss-yardimi.com/anova-nedir/?ysclid=m4ciqbjtdp339999842 (Erişim Tarihi: 06.12. 2024), 2024

[36] Biçen, A., Vural, S., "Kent ve konut üzerine betimsel analiz: Diyarbakır örneği", ***Kent Akademisi Dergisi,*** 16(3),1639-1665, 2023

[37] Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Arşivi, 2016

[38] Google Earth, https://www.google.com.jm/earth/ (Erişim Tarihi: 12.12. 2024), 2024

[39] Demir Kayan, H., Biçen, A., "Diyarbakır kent merkezinin aktif açık-yeşil alanlarının yeterliliğine yönelik bir değerlendirme" ***GRID - Architecture Planning and Design Journal***, 6(2), 411-441, 2023

[40] Milliyet, "Asgari ücret 2024 - brüt ve net asgari ücret zam sonrası ne kadar oldu? Geçmiş yıllara ait asgari ücret miktarı" https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/asgari-ucret-2024-brut-ve-net-asgari-ucret-zam-sonrasi-ne-kadar-oldu-gecmis-yillara-ait-asgari-ucret-miktari-6702221 (Erişim Tarihi: 16.12.2024),2024

Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

Research Article (Araştırma Makelesi)

Makale Doi: **10.17100/nevbiltek.1597365**

Date Submitted:06-12-2024 Date Accepted:21-12-2024

SERS Characterization of Lysozyme Aptasensor Prepared for Latent Fingerprint Visualization on Surfaces

Deniz Saatoğlu[1], Aybüke A. Isbir Turan[2], Zafer Ustündağ[3], Mustafa Oğuzhan Çağlayan[4], Işık Perçin Demirçelik[5]

[1]Turkish National Police Academy, Institute of Forensic Sciences, Anıttepe, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0002-8739-8500

[2]Turkish National Police Academy, Institute of Forensic Sciences, Anıttepe, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-3650-7810

[3]Kütahya Dumlupınar University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Kütahya, Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-5550-106X

[4]Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Bilecik, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7265-1094

[5]Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Biology, Molecular Biology Section, Ankara, Türkiye. ORCID ID: 0000-0002-9453-4462

Abstract

Fingerprints are crucial evidence in crime scene investigations, playing a key role in identifying victims and perpetrators. This study focuses on enhancing the visualization of hidden fingerprints using nanoparticles and an aptasensor-based biosensor to improve the secure identification of potential suspects. In this research, gold nanoparticles (AuNPs) were synthesized and modified with 5,5'-Dithiobis-2-nitrobenzoic acid (DTNB) and a lysozyme aptamer for fingerprint imaging. After modifying the gold nanoparticle surface, the solution was applied to silicon surfaces containing fingerprints. SERS measurements taken after immobilizing the aptamer-based Raman label on the lysozyme in the fingerprints revealed a peak at 1337 cm^{-1}, attributed to the symmetric stretch of the nitro group in DTNB.

Keywords: Forensic Sciences; Latent Fingerprints; Lysozyme Aptasensor

[1] Corresponding Author E-mail: aybuke.turan@gmail.com

Yüzeylerde Gizli Parmak İzi Görselleştirmesi İçin Hazırlanan Lizozim Aptasensörünün SERS Karakterizasyonu

Öz

Parmak izleri, suç mahalli soruşturmalarında kurbanları ve failleri tespit etmede önemli bir rol oynayan önemli kanıtlardır. Bu çalışma, potansiyel şüphelilerin güvenli bir şekilde tespitini iyileştirmek için nanopartiküller ve aptasensör tabanlı bir biyosensör kullanarak gizli parmak izlerinin görselleştirilmesini geliştirmeye odaklanmaktadır. Bu araştırmada, parmak izi görüntüleme için altın nanopartiküller (AuNP'ler) sentezlenerek ve 5,5'-Dithiobis-2-nitrobenzoik asit (DTNB) ve bir lizozim aptameri ile modifiye edilmiştir. Altın nanopartikül yüzeyi modifiye edildikten sonra, çözelti parmak izi içeren silikon yüzeylere uygulanmıştır. Parmak izlerindeki lizozim üzerindeki aptamer tabanlı Raman etiketinin immobilize edilmesinden sonra alınan SERS ölçümleri, 1337 cm^{-1}'de DTNB'deki nitro grubunun simetrik gerilmesine ait bir pik gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adli Bilimler; Gizli Parmak İzleri; Lizozim Aptasensörü

1. Introduction

This study investigates the application of aptamers, specifically lysozyme aptamers, attached to gold nanoparticles (AuNPs) to develop aptasensors for the improved detection of latent fingerprints. Latent fingerprints are a critical form of evidence in forensic analysis; however, traditional detection methods often face challenges related to low sensitivity and specificity. By incorporating nanotechnology into forensic science, this research aims to address the limitations of conventional techniques. The use of aptamer-based biosensors that target lysozyme—a protein found in fingerprints—provides a more targeted and environmentally friendly alternative to traditional detection methods such as cyanoacrylate fuming and powder dusting. The conjugation of lysozyme aptamers with AuNPs improves the sensor's ability to visualize latent fingerprints on various surfaces. This innovative approach not only advances forensic science but also introduces a novel biosensor, the lysozyme aptasensor, specifically designed for the detection of latent fingerprints.

Nanotechnology plays a crucial role in forensic sciences, with applications ranging from toxicological assessments and DNA typing to fingerprint detection and the analysis of explosive and firearm residues [1] This branch of science involves the synthesis and study of materials at the atomic level, typically within the size range of 1-100 nm [2]. Nanotechnology has a broad range of applications, including drug development, electronics, textiles, and construction [3].

Gold nanoparticles (AuNPs) are known for their small size, biocompatibility, and stability. Their synthesis is simple, producing particles ranging from 1 to 100 nm. The optical property of AuNPs, known as Surface Plasmon Resonance (SPR), involves the absorption and emission of light by gold electrons in response to incident radiation. AuNPs can be synthesized in various shapes, such as nanospheres, nanorods, nanoshells, and nanoprisms [4]. These nanoparticles exhibit selectivity, long-term stability, and sensitivity in latent fingerprint detection, making them effective on both non-porous and porous surfaces. The amine functional groups in AuNPs bind to the fatty acids present in fingerprints, facilitating their attachment to the surface where the fingerprint is located [5].

Identifying the type of surface on which a fingerprint is found is Crucial in forensic research. Each surface has unique characteristics that require different fingerprint detection methods. Surfaces are generally categorized as either porous or non-porous. Fingerprints on non-porous surfaces, such as glass, metal, and plastic, are more prone to damage or degradation [6]. To visualize latent fingerprints, forensic teams must consider the structure, texture, color, and environmental exposure of the surfaces where the fingerprints were found. This analysis helps determine the most appropriate imaging method [7]. Since the 1950s, antibodies—soluble proteins from the glycoprotein family—have been widely used as recognition probes. However, there is an increasing demand for faster, more robust, and cost-effective molecular recognition and detection methods. Aptamers fulfill these requirements and offer several advantages over antibodies. These include precise control during in vitro synthesis, the ability to endure non-physiological conditions such as extreme pH, temperature, and salt concentrations, and enhanced stability due to their phosphodiester backbone. Furthermore, aptamers can be synthesized for targets that do not provoke an immune response in vivo, such as toxic substances [8].

Aptamers interact with their targets by forming specific three-dimensional conformations. Based on the spatial positioning of targets within the complexes formed after binding, they can be categorized into two groups: the embedded group and the external binding group. The embedded group includes small molecules such as ATP (adenosine

triphosphate), cocaine, and K+, while the external binding group comprises larger molecules like thrombin and platelet-derived growth factor-BB (PDGF-BB). There are four main strategies for designing aptamer-based biosensors: (i) the target-induced conformational change (TISS) method, (ii) the sandwich or sandwich-like method, (iii) the target-induced dissociation or displacement (TID) method, and (iv) the competitive displacement method [9].

Lysozyme, also known as muramidase or N-acetylmuramoyl-hydrolase, is an essential protein first identified by Laschtschenko in 1909 and later named by Alexander Fleming in 1922. Often referred to as the body's natural antibiotic, lysozyme plays a vital role in defense mechanisms by breaking down the cell walls of gram-positive bacteria [10].

This enzyme is found in nearly all human body fluids and serves as a biomarker for various pathological conditions, including AIDS and leukemia, where its concentration tends to increase. Furthermore, its antibacterial properties make lysozyme valuable in the food industry [11].

Numerous traditional techniques exist for detecting latent fingerprints, with spectroscopic methods being particularly prominent. Spectroscopic imaging, an advanced technology that integrates digital imaging with molecular spectroscopy, allows for the simultaneous collection of spatial and spectral information. This innovative approach has diverse applications across scientific, industrial, and forensic fields. In forensic science, spectroscopic methods are especially valuable for visualizing latent fingerprints and detecting microscopic particles embedded within them. Williams et al. utilized Fourier transform infrared microspectroscopy to analyze the chemical components of latent fingerprints. As a non-destructive technique, IR enabled the observation of changes in fingerprint composition over time. Their study identified distinct differences between the fingerprint components of adults and children, revealing that the composition of children's fingerprints evolves over time [12].

Ricci and co-workers employed attenuated total reflection Fourier transform infrared spectroscopy for chemical imaging to monitor the effects of temperature and time on fingerprints. Their analysis focused on lipid and amino compounds present in fingerprints collected from various individuals. By examining the spectral data, they identified temperature- and time-dependent changes in the lipid composition, shedding light on the alterations that occur in fingerprints from the moment they are deposited until they are imaged [13].

Raman spectroscopy, a highly sensitive technique widely used in forensic science, involves the scattering of monochromatic, single-wavelength laser beams by molecules [14]. This advanced spectroscopic method enables the observation of molecular vibrations, rotations, and low-frequency modes. Notably, it is non-destructive and requires minimal sample preparation, making it particularly advantageous for forensic applications [15].

Raman spectroscopy, while valuable, is often limited in sensitivity due to its scattering cross-section, making it less suitable for routine applications. To overcome this limitation, Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) was developed. Connatser et al. utilized SERS to image fingerprints that were otherwise undetectable under conventional light and heat exposure. The enhanced sensitivity of SERS enabled the detection of a wider range of substances. Their study focused on imaging fingerprints on porous and granular surfaces that had been subjected to heat [16].

The primary distinction between SERS imaging and techniques like FTIR and other fingerprint imaging methods lies in its focus on amino acids present in fingerprint components, rather than the more commonly analyzed hydrocarbon signals from oils. Both Raman and IR-based spectroscopic methods provide valuable information about the functional groups of the analyzed molecules. However, accurate interpretation of this data requires comprehensive and relevant databases. In the absence of such databases, identification becomes significantly more challenging. Consequently, it has been recommended that additional spectral measurements be conducted to enhance the available data and improve analytical accuracy [17].

Zhou et al. developed a lysozyme aptasensor by modifying SERS probes (Au/pNTP/SiO2) with a lysozyme-specific aptamer. In their study, they applied the modified aptasensor to the surface containing latent fingerprints. After allowing the surface to dry, the fingerprints were lifted using adhesive tape and analyzed with a confocal Raman microscope. This method successfully achieved the three levels of fingerprint recognition [18]. The study aimed to analyze latent fingerprints using sweat, an endogenous substance, and lysozyme, a protein found in sweat. The aptasensor, modified with gold nanoparticles (AuNPs), was designed to target lysozyme in fingerprints. Initially, the binding characterization between the gold nanoparticles and the 5’-end thiolated lysozyme aptamer (LBA) was performed using Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS). A Raman label, 5,5’-Dithiobis(2-nitrobenzoic acid) (DTNB), was employed for imaging.

The DTNB label was first conjugated to the AuNPs, and the LBA was subsequently modified with the DTNB-labeled AuNPs to construct the lysozyme aptasensor.

2. Materials and Methods

The chemicals used in the study were of HPLC grade purity and were sourced from local representatives of chemical suppliers, including Merck, Riedel, and Sigma-Aldrich.

In the initial step, a 2 g PBS tablet was dissolved in 200 ml of distilled water to prepare the stock PBS solution (pH=7.4). Then, 50 µl of Tween-20 was added to this solution. The LBA (5′-SH-C6-ATCAGGGCTAAAGAGTGCAGAGTTACTTAG-3′ (Heliks Biotechnology, Turkey) solution was prepared at a concentration of 0.25 µM in 130.4 ml of PBS buffer. A DTNB solution (50 µM) was prepared by dissolving 19.81 mg of DTNB in 1 ml of ethanol. Additionally, 100 µl of casein blocking agent was mixed with 2 ml of PBS solution. Piranha solution was prepared using a 3:1 ratio of 3 ml of H_2SO_4 and 1 ml of H_2O_2 [19].

Gold nanoparticles (AuNPs) were synthesized using the Turkevich method [20]. Prior to synthesis, 117 mg of tri-sodium citrate was weighed on a precision balance to achieve a 40 mM concentration, as shown in. The tri-sodium citrate was placed in a volumetric flask, and 10 ml of pure water was added. The solution was initially mixed using a vortex device to ensure homogeneous dissolution and then treated in an ultrasonic mixer to ensure complete dissolution of the tri-sodium citrate. Following the dilution processes, AuNP synthesis was carried out according to the Turkevich method. The steps involved in this synthesis method are as follows: 50 ml of pure water was added to a volumetric flask, followed by the addition of 20 µl of auric acid solution. The flask was then placed in an oil bath and heated to 100°C. Once the desired temperature was reached, 5 ml of the prepared 10 ml tri-sodium citrate solution was added. After waiting for 15 minutes, the solution was stirred for an additional 10 minutes without any temperature control and finally stored at 4°C for later use. As a result of these processes, spherical AuNPs were obtained, and the mixture was observed to have a cherry red color, consistent with the Turkevich method.

DTNB was used as a label to obtain a signal for the characterization of AuNP-LBAs by Raman spectroscopy [21]. First, 5 ml of the AuNP solution was placed in a 10 ml tube and centrifuged at 10.000 rpm for 10 minutes. The supernatant was discarded, and 1 ml of pure water was added to the pellet. The solution was centrifuged again at 10.000 rpm for 10 minutes, and the supernatant was discarded. Next, 1 ml of DTNB solution was added to the pellet, and the DTNB-labeled AuNP solution was left overnight. After incubation, the solution was centrifuged at 10.000 rpm for 10 minutes to remove any unbound particles. The supernatant was discarded, and the DTNB-labeled AuNP solution was washed with 1 ml of PBS. This centrifugation and PBS washing process was repeated twice. Finally, the solution was centrifuged again at 10.000 rpm for 10 minutes. After discarding the supernatant, 2 ml of LBA solution was added, and the mixture was incubated overnight at 4°C to allow the LBAs to bind to the AuNPs.

The DTNB-labeled AuNP-modified LBA solution (DTNB-AuNP-LBA) was centrifuged at 10.000 rpm for 10 minutes to remove unbound particles. After discarding the supernatant, 1 ml of casein blocking agent was added to prevent non-specific protein binding to the AuNPs and to ensure homogeneous 3D binding. The resulting solution was incubated at room temperature for 30 minutes and centrifuged at 10.000 rpm for 10 minutes. The supernatant, which contained non-specific proteins and casein, was discarded, and the solution was washed with 1 ml of PBS. The DTNB-AuNP-LBA solution was then centrifuged again at 10.000 rpm for 10 minutes, and the supernatant was discarded. Final solution was resuspended in 1 ml of PBS.

Piranha solution was used to wash the silicon wafers prior to SERS measurement. The wafers were immersed in the prepared Piranha solution for 20 minutes. Afterward, the silicon wafers were transferred to 98% ethanol for 20 minutes to remove any residual Piranha solution. Fingerprints were then applied to the cleaned wafers. Following the fingerprinting process, the silicon wafers were placed in a Petri dish, and 20 µl of the DTNB-labeled AuNP-modified LBA solution was applied onto the wafers.

In the final stage, the Petri dish was surrounded with paraffin and stored in the refrigerator at 4°C for two hours to allow the solution to bind to the surface. After 2 hours, one of the silicon wafers was removed from the Petri dish and washed with PBS solution. This wafer was then placed in a separate Petri dish and stored at room temperature. The second silicon wafer was kept in the refrigerator overnight for the binding time measurement.

Recognizing the DTNB signal is crucial for visualizing the binding on silicon wafers that have been fingerprinted and washed with PBS solution. In fact, the signal from an unwashed silicon wafer without fingerprints and from washed, fingerprinted wafers will be the same if the binding to LBA is successful. If no signal is observed, or if the signal differs, this would suggest the binding of non-specific, unwanted proteins.

To confirm this, the DTNB-AuNP-LBA solution was applied to the silicon wafer without fingerprints, and ten scans were performed on the SERS device to characterize the DTNB signal. Following this, the DTNB-AuNP-LBA solution, which was bound to lysozymes in the fingerprints, was characterized by SERS on the silicon wafers that had been stored in the refrigerator at 4°C for 2 hours and for one day.

During the experiments, the following equipment was used: a Sartorius Entris® precision scale for accurate measurements, a SPECORD® 50 PLUS UV-VIS device for characterizing gold nanoparticles (AuNPs), a Firlabo vortex mixer and a Bandelin (Germany) ultrasonic mixer for thoroughly mixing solutions, a Hermle Z 326 K and an Eppendorf Centrifuge 5418 for separating unbound particles from all solutions, an N-BIOTEK NB-101MC Combination Shaker mixer for mixing solutions during the binding period, a water/oil bath for synthesizing AuNPs, and an ExamineR™ High-Performance Raman Microscope from DeltaNu, equipped with a 785 nm laser source, for characterizing the binding of the lysozyme aptamer.

3. Results and Discussions

To obtain baseline values using the Ultraviolet-Visible Spectroscopy (UV-VIS) device, ultrapure water was first added to the UV-VIS cuvette, and a measurement was recorded. Next, 100 µL of gold nanoparticles (AuNPs) were added to the pure water in the cuvette, mixed thoroughly, and measured. The UV-VIS absorption spectrum of the synthesized AuNPs was then obtained, showing a peak at 524 nm, as illustrated in Figure 1.

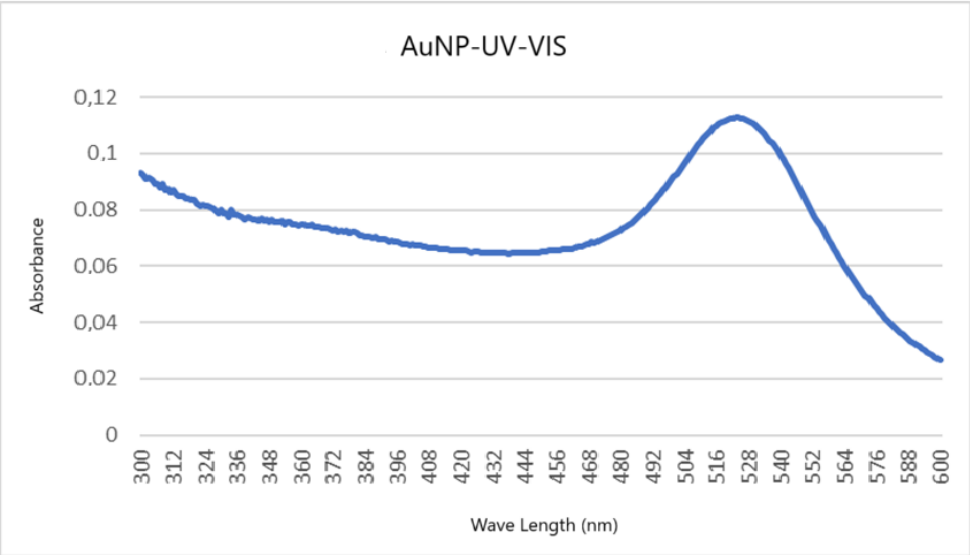


Figure 1. Absorption spectrum of AuNP

The UV-Vis measurement of the AuNP suspension showed a maximum absorbance wavelength of 534 nm. According to the literature, nanoparticles with this absorbance wavelength have an approximate size of 20 nm [22].

The DTNB-AuNP-LBA solution, prepared with a 0.25 µM LBA concentration, was applied to bare silicon wafers, and SERS measurements were performed with ten scans (Figure 2). The results indicated successful binding between DTNB-AuNP and LBA, with a Raman vibration at 1337 cm^{-1}, which was attributed to the symmetric stretch of the nitro group in DTNB [23].

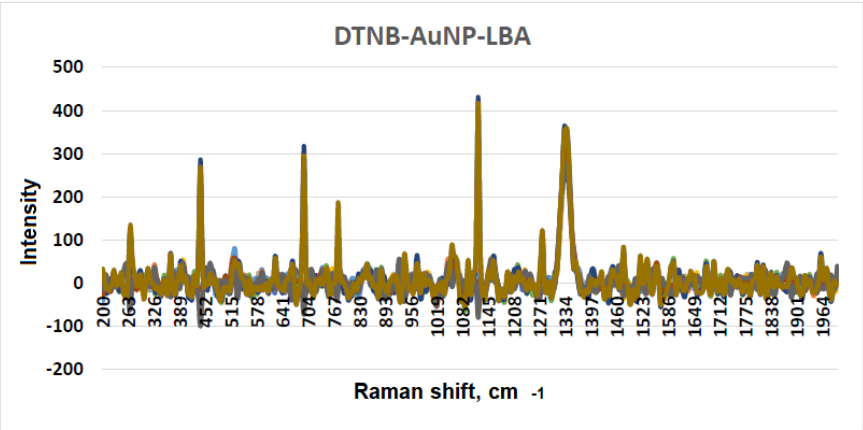


Figure 2. Raman spectra of DTNB-AuNP-LBA solution prepared with 0.25µM LBA Solution

The DTNB-AuNP-LBA (5 µM LBA) solution containing the Raman label was dropped onto fingerprints left on silicon surfaces. After a 2h incubation period, the surfaces were washed, and spectra obtained from SERS scans with ten scans are given in Figure 3. The nitro peak observed at 1337 cm^{-1} indicated the binding of the aptamer-modified Raman label to the fingerprints. SERS measurements were repeated 1 day later, and the same spectra were obtained (Figure 4).

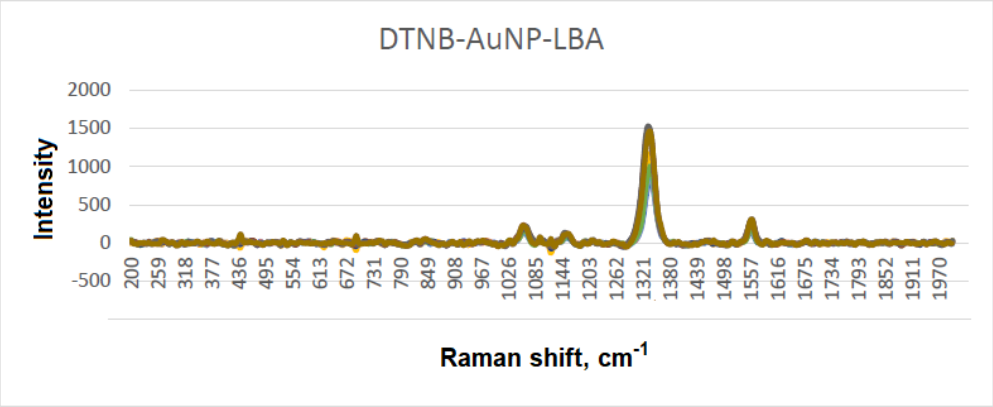


Figure 3. Raman Spectra of the DTNB-AuNP-LBA dropped onto a Silicon Surface Containing a Fingerprint

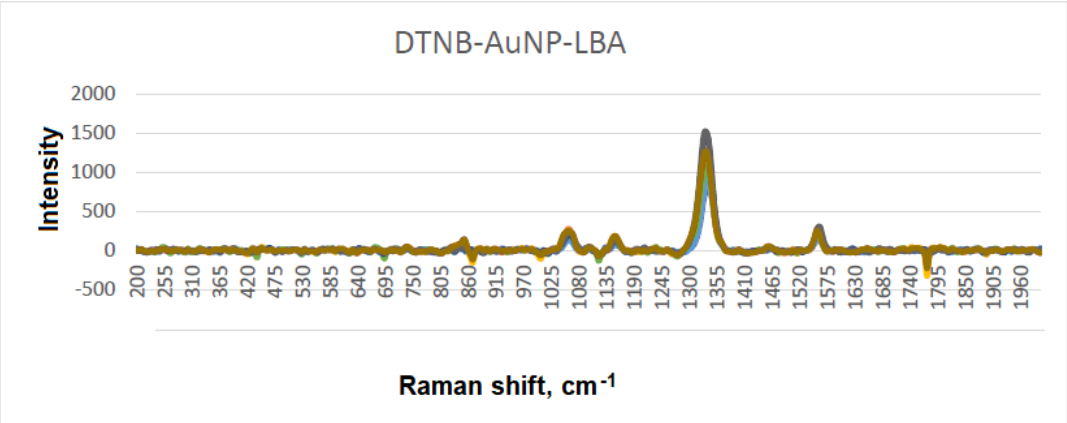


Figure 4. Raman Spectra of the DTNB-AuNP-LBA dropped onto a Silicon Surface Containing a Fingerprint (after 1 day)

4. Conclusion

In this study, the presence of fingerprint residues on surfaces was identified using a lysozyme aptamer-based Raman label. To enhance the SERS intensity, gold nanoparticles were synthesized. The particle size of the AuNPs was found to be approximately 20 nm, as characterized by ultraviolet-visible spectroscopy. After modifying the gold nanoparticle surface with DTNB and LBA, the solution was dropped onto silicon surfaces containing fingerprints. SERS measurements were taken after the immobilization of the aptamer-based Raman label onto the lysozyme in the fingerprints. A peak at 1337 cm^{-1} corresponding to the symmetric stretch of the nitro group in DTNB was observed. The same peaks were observed in the control after one day. After cleaning the fingerprint surface, the nitro peak disappeared from the surface where the aptamer-based Raman label had been applied. As a result of these experiments, it was concluded that fingerprints can be identified through mapping measurements using the SERS technique with an aptamer-based Raman label.

5. Acknowledgments

The authors thank the BAP project numbered 03/2020-L, titled "Imaging Latent Fingerprints with the Help of Aptamer," and the BAP Coordinatorship and Turkish National Police Academy for providing financial support. The authors also thank Prof. Dr. Uğur Tamer, Assoc. Prof. Dr. Hilal Torul, and Merve Çalımcı from the Faculty of Pharmacy, Gazi University, for their technical and theoretical support in their Laboratory.

6. References

6. References

[1] Prabakaran, E., Pillay, K., "Nanomaterials for latent fingerprint detection: a review", Journal of Materials Research and Technology, 12, 1856–1885, 2021.

[2] Chen, Y. F., "Forensic Applications of Nanotechnology", Journal of the Chinese Chemical Society, 58(6), 828–835, 2011.

[3] Prasad, V., Lukose, S., Agarwal, P., Prasad, L., "Role of Nanomaterials for Forensic Investigation and Latent Fingerprinting—A Review", Journal of Forensic Sciences, 65(1), 26–36, 2020.

[4] Demirtaş, H.,Türk, C. Ş., Altın Nanopartiküller ve Kanserde Kullanımları, Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University, 45(1), 70-95, 2021.

[5] Choi, M. J., McDonagh, A. M., Maynard, P. J., & Wuhrer, R., Preparation and evaluation of metal nanopowders for the detection of fingermarks on nonporous surfaces, Journal of Forensic Identification, 56(5), 756, 2006.

[6] Daluz, H. M., ,"Fundamentals of Fingerprint Analysis" , New York: CRC Press, 2019.

[7] Bleay Stephen M., Croxton, R. S., Puit, M. de., "Fingerprint Development Techniques", United Kingdom: Wiley, 2018.

[8] Jayasena, S. D., "Aptamers: An Emerging Class of Molecules That Rival Antibodies in Diagnostics", Clinical Chemistry, 45(9), 1628–1650, 1999.

[9] Han, K., Liang, Z., Zhou, N., "Design Strategies forAptamer-Based Biosensors", Sensors, 10(5), 4541–4557, 2010.

[10] Vasilescu, A., Wang, Q., Li, M., Boukherroub, R., Szunerits, S., "Aptamerbased electrochemical sensing of lysozyme", Chemosensors, 4(2), 1–20, 2016.

[11] Melinte, G., Selvolini, G., Cristea, C., Marrazza, G., "Aptasensors for lysozyme detection: Recent advances", Talanta, 226, 122169, 2021.

[12] Williams, D. K., Schwartz, R. L., & Bartick, E. G., “Analysis of latent fingerprint deposits by infrared microspectroscopy”, Applied Spectroscopy, 58(3), 313-316, 2004.

[13] Ricci, C., Phiriyavityopas, P., Curum, N., Chan, K. L. A., Jickells, S., Kazarian, S. G., "Chemical Imaging of Latent Fingerprint Residues", 2007.

[14] Zeren, C., Açikgöz, G., Hamamci, B., "Tıp ve Adli Bilimlerde Raman Uygulamaları", Medicine and Forensic Science, 24(2), 109–112, 2015.

[15] Kneipp, K., Kneipp, H., Itzkan, I., Dasari, R. R., Feld, M. S., "Ultrasensitive Chemical Analysis by Raman Spectroscopy", Chemical Reviews, 99(10), 2957–2975, 1999.

[16] Connatser, R. M., Prokes, S. M., Glembocki, O. J., Schuler, R. L., Gardner, C. W., Lewis, S. A., Lewis, L. A.,

"Toward Surface-Enhanced Raman Imaging of Latent Fingerprints", Journal of Forensic Sciences, 55(6), 1462–1470, 2010.

[17] Wei, Q., Zhang, M., Ogorevc, B., Zhang, X., "Recent advances in the chemical imaging of human fingermarks (a review)", Analyst, 141(22), 6172– 6189, 2016.

[18] Zhou, Y.-Y., Du, Y.-M., Bian, X.-J., Yan, J., "Preparation of Aptamer-functionalized Au@pNTP@SiO2 Core-Shell Surface-enhanced Raman Scattering Probes for Raman Imaging Study of Adhesive Tape Transferred-Latent Fingerprints", Chinese Journal of Analytical Chemistry, 47, 998-1005, 2019.

[19] Williams, M. "The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals, 15th Edition Edited by M.J. O'Neil, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK ISBN 9781849736701; 2708 pages. April 2013, $150 with 1year free access to The Merck Index Online.". Drug Development Research, 74(5), 339–339, 2013.

[20] Frens, G., "Controlled Nucleatin for the Regulation of the Particle Size in Monodisperse Gold Suspensions", Nature Phsical Science, 20–22, 1973.

[21] Ahi, E. E., Torul, H., Zengin, A., Sucularlı, F., Yıldırım, E., Selbes, Y., Tamer, U., "A capillary driven microfluidic chip for SERS based hCG detection", Biosensors and Bioelectronics, 195, 1-10, 2022.

[22] Jain, P. K., Lee, K. S., El-Sayed, I. H., & El-Sayed, M. A., "Calculated absorption and scattering properties of gold nanoparticles of different size, shape, and composition: applications in biological imaging and biomedicine", The journal of physical chemistry B, 110(14), 7238-7248, 2006.

[23] Yazgan, N. N., Boyaci, I. H., Topcu, A., Tamer, U., "Detection of melamine in milk by surface-enhanced Raman spectroscopy coupled with magnetic and Raman-labeled nanoparticles", Analytical and Bioanalytical Chemistry, 403(7), 2009–2017, 2012.