

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAL KATKILI ORGANİK KOMPLEKSLE MODİFİYE EDİLMİŞ
ELEKTRODUN ENZİMSİZ GLİKOZ TAYİNİ AMACIYLA KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS

Emine Sümeyye SAYİM

Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ergun EKİNCİ

NİSAN 2025

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL KATKILI ORGANİK KOMPLEKSLE MODİFİYE EDİLMİŞ
ELEKTRODUN ENZİMSİZ GLİKOZ TAYİNİ AMACIYLA KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS

Emine Sümeyye SAYIM
36213613005

Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ergun EKİNCİ

NİSAN 2025

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ergun EKİNCİ'ye,

Deneysel çalışmalarında bana destek olan Sayın hocalarım, Prof. Dr. Süleyman KÖYTEPE, Arş. Grv. F. Bilge EMRE ve Doç. Dr. Mert Olgun KARATAŞ'a

Desteklerini her daim hissettiğim, hayatımın her anında koşulsuz yanımda olan biricik annem Nursel SAYİM ve babam Murat SAYİM'e, desteğini hiç bir zaman esirgemeyen abim Ahmet Tuğrul ve eşi Gönül'e, sevgili yeğenim Alperen Enes'e,

Kıymetli anneannem Sultan GÜLTEKİN'e, canım dedem Osman GÜLTEKİN'e, sevgili teyzelerime, değerli dayılarım Nüsret GÜLTEKİN, İzzet GÜLTEKİN ve sevgili eşi Fadime GÜLTEKİN'e,

Manevi desteklerini hep hissettiğim, tez aşamasında da desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım; Emine METE, Tuğba ACI YAŞAR, Dilek KAZICI ve Sinem KAZICI'ya

teşekkür ederim



Canum Annem'e

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Metal Katkılı Organik Kompleksle Modifiye Edilmiş Elektrodun Enzimsiz Glikoz Tayini Amacıyla Kullanımı” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Emine Sümeyye SAYİM



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1 Elektrokimya.....	2
2.1.1 Elektrokimyasal teknikler.....	2
2.1.1.1 Çevrimli voltametri (CV)	3
2.1.1.2 Diferansiyel puls voltametri (DPV).....	5
2.2. Modifiye Elektrotlar	7
2.2.1 Elektrokimyasal hücre ve elektrotlar	7
2.2.1.1 Ag/AgCl elektrot	7
2.2.1.2 Karşıt elektrot	8
2.2.1.3 Çalışma elektrodu	9
2.3 Glikoz	10
2.3.1 Glikozun elektrooksidasyonu ve sensör teknolojisi	11
2.3.1.1 Birinci nesil glikoz sensörleri	12
2.3.1.2 İkinci nesil glikoz sensörleri.....	12
2.3.1.3 Üçüncü nesil glikoz sensörleri.....	13
2.4 Glikoz Sensör Karakteristikleri	14
2.4.1 Doğrusallık	14
2.4.2 Duyarlılık.....	14
2.4.3 Seçicilik	14
2.4.4 Kararlılık.....	14
2.4.5 Yanıt süresi	15
2.5 Nanomateryaller	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1 Deneylerde Kullanılan Reaktifler	16
3.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar	16
3.3 Deneylerde Kullanılan Elektrotlar	17
3.3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan elektrotların temizlenmesi	18
3.4 Kloro-bis (1-bütül-3-((7,8-dimetil-2H-kromen-2-on-4-il)metil- η^2 -3,4-C) imidazol-2-iliden) rodyum(I) Sentezi.....	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	19
4.1 Destek Elektrolit Çözeltisinin Optimizasyonu	19
4.2 Farklı Derişimlerde Hazırlanan Filmin Optimizasyonu	22
4.3 Film Kalınlığının Optimizasyonu	24
4.4 Elektrot Optimizasyonu	26
4.5 Glikoz Yanıtı Üzerine Nanomateryal (TiO ₂) Etkisi	27
4.6 Çıplak ve Modifiye Elektrotların NaOH Ortamındaki DPV Yanıtları	29
4.7 Çıplak ve Modifiye Elektrotların NaOH Ortamında Glikoz Yanıtları	31
4.8 Çıplak ve Modifiye Elektrotların Artan Glikoz Derişimine Verdiği DPV Yanıtları.	32
4.9 Optimize Film-TiO ₂ Modifiye Elektrodun Tekrarlanabilirliği	34
4.10 Optimize Film-TiO ₂ Modifiye Elektrodun Seçiciliği	35

4.11 Elektrotların CV Yanıtları	36
4.12 Elektrotların Artan Glikoza Verdiği Time Base Yanıtları.....	37
4.13 Optimize Film-TiO ₂ Modifiye Elektrodun Glikoz İçin Kalibrasyon Grafiği.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	40
6. KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ	45



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Zamana bağlı potansiyel değişimi.	4
Şekil 2.2: Potansiyel-zaman değişimi (A), Tersinir elektroaktif maddenin akım-potansiyel değişimi (B).	4
Şekil 2.3: Gerilim-zaman grafiği.	6
Şekil 2.4: Akım-gerilim grafiği.	6
Şekil 2.5: Elektrokimyasal hücre ve bileşenleri.	7
Şekil 2.6: Ag/AgCl referans elektrodu.	8
Şekil 2.7: Yardımcı elektrot türleri.	9
Şekil 2.8: Katı çalışma elektrotları.	10
Şekil 2.9: Glikozun yapısındaki α - β formlar.	10
Şekil 2.10: Glikoz oksidasyonuna ait reaksiyonlar.	11
Şekil 2.11: Glikoza ait reaksiyon mekanizması.	12
Şekil 2.12: İkinci nesil (ara maddeli) biyosensörler.	13
Şekil 3.1: BAS 100W cihazı.	17
Şekil 3.2: Referans, yardımcı ve çalışma elektrodu.	18
Şekil 3.3: Sentez tepkimesi.	18
Şekil 4.1: 0,1 M PBS (A), 0,1 M KCl (B) ve 0,1 M NaOH (C) ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtları.	19
Şekil 4.2: 0,1 M KCl, 0,1 M PBS ve 0,1 M NaOH ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtlarının karşılaştırmalı hâli.	20
Şekil 4.3: 0,1 M PBS (A), 0,1 M KCl (B) ve 0,1 M NaOH (C) ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtları.	21
Şekil 4.4: 0,1 M PBS, 0,1 M KCl ve 0,1 M NaOH ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtlarının karşılaştırmalı hâli.	22
Şekil 4.5: 0,0025 M (A), 0,005 M (B), 0,01 M (C) ve 0,015 M (D) derişimlerinde hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların 0,1 M NaOH ortamındaki DPV yanıtları. .	23
Şekil 4.6: 0,0025 M (A), 0,005 M (B), 0,01 M (C) ve 0,015 M (D) derişimlerinde hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların 0,1 M NaOH ortamındaki karşılaştırmalı DPV yanıtları.	24
Şekil 4.7: 3 μ L (A), 5 μ L (B), 7 μ L (C), 10 μ L (D) çözeltileri ile hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtları.	25
Şekil 4.8: 3 μ L (A), 5 μ L (B), 7 μ L (C), 10 μ L (D) çözeltileri ile hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği karşılaştırmalı yanıtları.	26
Şekil 4.9: Pt (A), Au (B) ve GCE (C) Film modifiye elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtları.	27
Şekil 4.10: %25 (A), %50 (B), %75 (C) ve %100 (D) TiO ₂ kütle oranlarına sahip Film-TiO ₂ modifiye Pt elektrotların 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtları.	28
Şekil 4.11: %25 (A), %50 (B), %75 (C) ve %100 (D) TiO ₂ kütle oranlarına sahip Film-TiO ₂ modifiye Pt elektrotların 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği karşılaştırmalı DPV yanıtları.	29
Şekil 4.12: Çıplak Pt elektrot (A), Film modifiye elektrot (B) Optimize Film-TiO ₂ modifiye Pt elektrotların 0,1 M NaOH çözeltisindeki DPV yanıtları	30
Şekil 4.13: Çıplak Pt elektrot (A), Film modifiye elektrot (B) Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrotların (C) 0,1 M NaOH ortamında 80 μ L glikoz çözeltisindeki DPV yanıtları.	31

Şekil 4.14: Çıplak Pt elektrot, Film modifiye elektrot ve Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 µL glikoz çözeltisine verdiği karşılaştırmalı DPV yanıtları.	32
Şekil 4.15: Çıplak Pt elektrodun 0,1 M NaOH ortamında artan glikoz enjeksiyonlarına verdiği DPV yanıtları.	33
Şekil 4.16: Film modifiye elektrodun 0,1 M NaOH ortamında artan glikoz enjeksiyonlarına verdiği DPV yanıtları.	33
Şekil 4.17: Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrodun 0,1 M NaOH ortamında artan glikoz enjeksiyonlarına verdiği DPV yanıtları.	34
Şekil 4.18: Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrodun 0,1 M NaOH ortamında sabit derişimli glikoz çözeltisine verdiği ardıl (on adet) DPV yanıtları.	35
Şekil 4.19: Film modifiye elektrot (A), Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrot (B). İçin Seçicilik	36
Şekil 4.20: Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 µL glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtları.	37
Şekil 4.21: 0,1 M NaOH ortamında; Çıplak Pt elektrot (A), Film modifiye elektrot (B) ve Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrotların (C) glikoz enjeksiyonlarına verdiği yanıtlar. (Her üç elektrot için 120. sn'den başlayarak her 100 sn'de bir 100 µL glikoz enjeksiyonları yapılmıştır).	38
Şekil 4.22: Optimize Film-TiO ₂ modifiye elektrodun glikoz için kalibrasyon grafiğı.	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Kullanılan kimyasalların isim ve markaları.....	16
---	----



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

CV	: Çevrimli voltametri
DPV	: Diferansiyel puls voltametri
A	: Elektrot yüzey alanı
E	: Elektrot potansiyeli
F	: Faraday sabiti
I	: Akım
I_p	: Pik akımı
PBS	: Fosfat tampon çözeltisi
μA	: Akım (mikroamper)
nA	: Akım (nanoamper)
mV	: Milivolt
E_p	: Pik potansiyeli
CME	: Kimyasal olarak modifiye edilmiş elektrot
NaOH	: Sodyum Hidroksit
TiO₂	: Titanyum Dioksit
Time Base	: Zaman esaslı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

METAL KATKILI ORGANİK KOMPLEKSLE MODİFİYE EDİLMİŞ ELEKTRODUN ENZİMSİZ GLİKOZ TAYİNİ AMACIYLA KULLANIMI

Emine Sümeyye SAYIM

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

45+XI sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Ergun EKİNCİ

Bu çalışmada alkali ortamdaki glikozun doğrudan tayini amacıyla, organik kompleks modifiye elektrot ve TiO_2 takviyeli organik kompleks modifiye elektrot hazırlanmıştır. Hazırlanan modifiye elektrotların sensör performansı üzerine, elektrolit tipi, modifiye bileşik derişimi, film kalınlığı, elektrot tipi ve nanomateryal bileşimi gibi parametrelerin etkisi sistematik olarak irdelenmiş ve herbir parametre optimize edilmiştir.

Film modifiye elektrot ile optimize edilmiş Film- TiO_2 modifiye elektrodun glikoza karşı duyarlı olduğu ve özellikle Optimize Film- TiO_2 modifiye elektrodun amperometrik yanıt karakteristiklerinin oldukça tatminkâr olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca; Optimize Film- TiO_2 modifiye elektrodun (sensör), elektroaktif ve elektroinaktif interferantlar varlığında glikoza karşı oldukça seçici olduğu, kısa yanıt süresine, yüksek tekrarlanabilirliğe ve tatminkâr bir doğrusallığa sahip olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Glikoz, metal katkılı organik kompleks, elektrot

ABSTRACT

Master Thesis

USE OF ELECTRODE MODIFIED WITH METAL-ADDED ORGANIC COMPLEX FOR ENZYME - FREE GLUCOSE DETERMINATION

Emine Sümeyye SAYİM

İnönü University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Chemistry

45+XI sayfa

2025

Supervisor: Prof. Dr. Ergun EKİNCİ

In this work, organic complex-modified electrode and TiO₂ reinforced organic complex- modified electrode have been prepared for the direct determination of glucose in alkaline medium. The effect of parameters such as electrolyte type, concentration of modified compound, film thickness, electrode type and nanomaterial composition on the sensor performance of the prepared modified electrodes has been systematically examined and each parameter optimized.

It has been observed that the film modified electrode and the optimized Film-TiO₂ modified electrode were sensitive to glucose, and especially the amperometric response characteristics of the optimized Film-TiO₂ modified electrode were quite satisfactory.

Moreover, it has been found that the optimized Film-TiO₂ modified electrode (sensor) was highly selective against glucose in the presence of electroactive and electroinactive interferents, had a short response time, high reproducibility and satisfactory linearity.

Keywords: Glucose, metal doped organic complex, electrode

1. GİRİŞ

Gelişmekte ve değişmekte olan dünyamızda sedatif yaşamın baskın olmasından dolayı, diyabet ve kanser hastalıklarının sayısı her geçen gün artmaktadır. Dünya sağlık örgütüne (WHO) göre şeker hastalığında bu oran oldukça yüksektir.

Şeker hastalarının sayısının hızla artması, bireysel ölçüme olanak sağlayan şeker ölçüm cihazlarına olan ilgiyi de arttırmıştır. Günümüzde kandaki glikoz düzeyinin ölçümü amacıyla glikoz oksidaz/glikoz dehidrogenaz içeren enzimatik biyosensörler kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle elektrokimyasal reaksiyon ve enzimin denatürasyonu ile ilgili dezavantajlarından dolayı enzimsiz (enzyme free) çalışmalara olan ilgi artmıştır (Wang ve Zhuang, 2017). Uygun maliyetli, kararlı, tekrarlanabilirliği yüksek, saklama koşulları uygun enzimatik olmayan elektrokimyasal sensör tasarlamak amacıyla nanomateriyal destekli metal ve metal oksitleri büyük ölçüde araştırılmaktadır (Niu ve diğ, 2016). Bu sebeple, metal katkılı organik kompleks kaplamaların elektrokatalitik materyaller olarak kullanımının araştırılması oldukça önemlidir. Metal katkılı organik kompleks kaplamalarının anılan avantajları ve kompleksteki metalin yüksek yüzey alanı/hacim katkısı sebebiyle elektrokatalizi artıracığı düşüncesiyle, hazırlanacak bu tip materyallerin sensör amaçlı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, düşük glikoz derişimlerine karşı duyarlı, düşük maliyetli, uzun raf ömrüne sahip, kararlı ve interferantlardan etkilenmeyecek enzimsiz glikoz sensörlerin tasarlanması amaçlanmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Elektrokimya

Elektriksel değişkenlerin kimyasal reaksiyonlar üzerindeki etkileriyle ilgilenen elektrokimya, elektrot adı verilen iletken ve elektrolit adı verilen iyon halindeki bir iletken arayüzeyde meydana gelen elektrokimyasal tepkimeleri inceleyen bilim dalıdır. İndirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarıyla elektron transferinin gerçekleştiği redoks tepkimeleri, elektrokimyasal hücre olarak adlandırılan sistemler içerisinde meydana gelmektedir. Bu sistemler, analit çözeltisi ve elektrotlar arasında akım meydana getiren bir dış devreden oluşmaktadır. Elektrokimyasal yöntemler genellikle kimyasal, termodinamik ve kinetik ilişkiler hakkında bilgiler veren güçlü ve çok yönlü araçlar olup, direnç, voltaj, akım veya yük gibi bir elektriksel parametre ile kimyasal bağ enerjisi veya belirli bir elektronik konfigürasyon gibi kimyasal bileşiklerin karakteristik özellikleri arasındaki iyi tanımlanmış nicel ilişkilere dayanmaktadır. Ölçülen elektriksel parametreyle numunedeki hedef türlerin derişimi arasındaki doğrusal ilişki, bunların analitik olarak tayinine olanak vermektedir (Serbest, 2022).

2.1.1 Elektrokimyasal teknikler

Elektrokimyasal tekniklerin temeli elektrik yükü içeren kimyasal reaksiyonlara dayanır. Bu teknik, iletken olmayan bir membran ile ayrılmış ve aralarında akım uygulanan iki elektrotdan oluşur (Martinez ve diğ, 2023). Elektrokimyada yaygın olarak kullanılan teknikler; voltametri, amperometri, potansiyometri, kondüktometri ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) şeklinde sayılabilir. Amperometrik yöntemlerde, üretilen akımla indirgenme-yükseltgenme reaksiyonları ölçümün prensibidir. Voltametri, farklı potansiyellerin uygulanması sonucunda elde edilen akımın ölçülmesiyle sinyalin alınmasıdır (Ronkainen ve diğ, 2010).

Voltametrik yöntemler arasında çevrimli voltametri, doğrusal tarama voltametri, kare dalga voltametri, diferansiyel puls voltametri, sıyırma voltametri, alternatif voltametrisi ve polarografi gibi birçok tür vardır (Bard ve diğ, 2022). Polarografinin keşfi ile analizlerde voltametrik teknikler kullanıma başlamıştır. Kantitatif analizlerde Ilkovic denklemi kullanılmaktadır (Kolthoff ve Lingane, 1939, Zoski, 2006).

$$i_d = 607 n D^{1/2} m^{2/3} t^{1/6} C$$

i_d : Akım (μA)

607: Damla geometrisi ve Faraday sabitini içeren sabit sayı

n : Elektron sayısı

D : Çözünmüş maddeye ait difüzyon katsayısı (cm^2/s)

m : Cıva özgül ağırlığı (mg/s)

t : Cıvanın damlama süresi (s)

C : Çözünmüş madde derişimi (mM)

Elektrokimyasal reaksiyonlar; $Ox + ne^- \leftrightarrow Red$ şeklinde gerçekleşir.

Burada Ox, elektrot hücresindeki elektroaktif maddenin oksidasyonunu, Red ise redüksiyonunu ifade eder. Termodinamik olarak tersinir şekilde gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlarda Nernst eşitliği kullanılır (Privett ve diğ, 2010, Keyes ve diğ, 2007).

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{c(Ox)_{x=0}}{c(red)_{x=0}} \approx E = E^0 + 2,303 \frac{RT}{nF} \log \frac{c(Ox)_{x=0}}{c(red)_{x=0}}$$

R ; Gaz sabiti (8.3144 J/mol K)

T ; Mutlak sıcaklık (K)

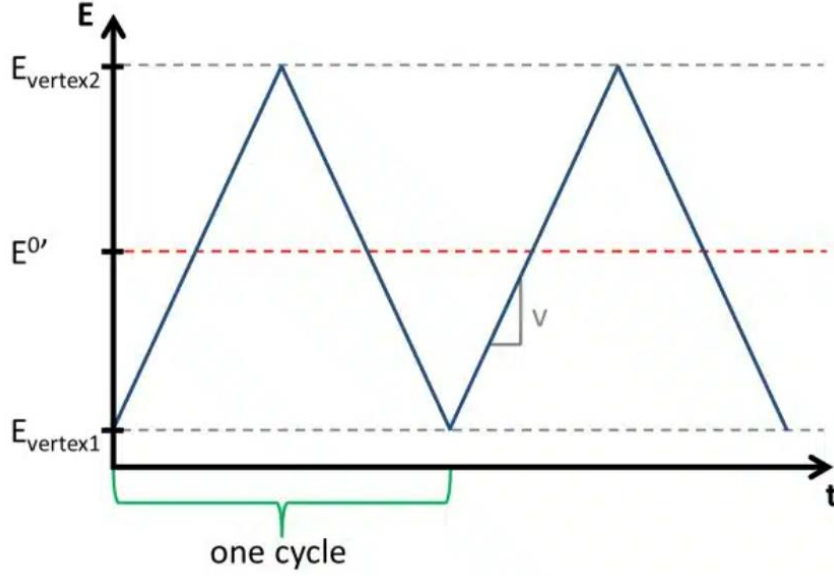
n ; Elektron sayısı

F ; Faraday sabiti (96,485C/mol)

E^0 ; Ox/Red çiftinin standart redox potansiyeli

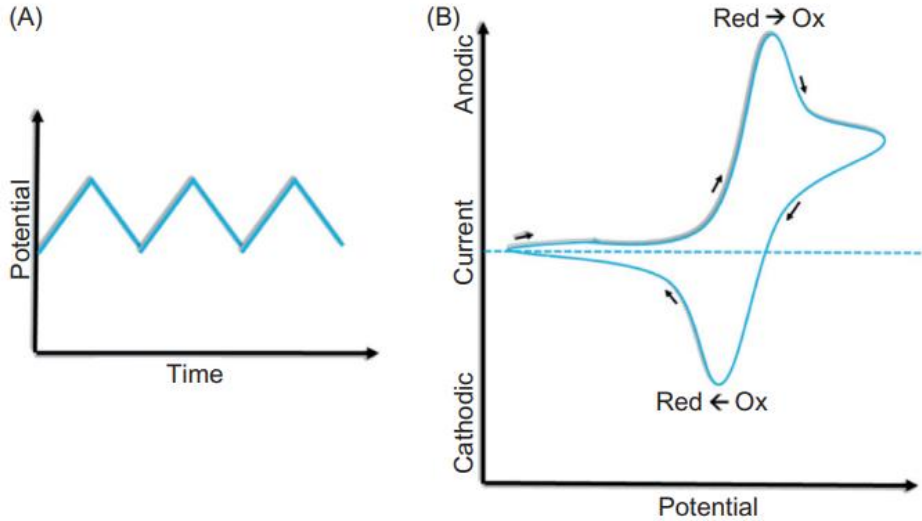
2.1.1.1 Çevrimli voltametri (CV)

Bu yöntemin esaslı çalışma elektrodunun referans elektroda kıyasla belli bir potansiyel programıyla uyumlu şekilde değişmesine dayanır. Bu yöntemde potansiyel zamana bağlı olarak doğrusal bir şekilde değişir. Zamana bağlı potansiyel değişimi Şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1: Zamana bağlı potansiyel değişimi.

Yukarıdaki şekilde verilen grafik incelendiğinde potansiyel taramasının önce E_1 'den E_2 'ye sonra da tam tersine yapıldığı görülmektedir. Bu nedenle yönteme dönüşümlü voltametri de denir. Ters tarama sırasında potansiyel E_1 'de durabileceği gibi farklı bir potansiyelde de sonuçlanabilir. İleri yönde yapılan potansiyel taramaları esnasında çalışma ve referans elektrotlardan geçen akım kaydedilerek pikler oluşturulabilir. Akım-potansiyel eğrisine örnek Şekil 2.2'de verilmiştir (Taherpour ve Mousavi, 2018).



Şekil 2.2: Potansiyel-zaman değişimi (A), Tersinir elektroaktif maddenin akım-potansiyel değişimi (B).

Oluşan voltamogramlar için farklı parametrelerin karakterizasyonunun yapılmasında Randles-Sevcik denklemi kullanılır.

$$i_p = (2,69 \times 10^5) n^{3/2} A C D^{1/2} v^{1/2}$$

Denklemden;

i_p : Akım yoğunluğu,

n : Elektron sayısı,

A : Elektrot alanı (m^2),

C : Konsantrasyon (M),

D : Difüzyon katsayısı (cm^2/s),

v : Tarama hızı (V/s).

Elektron tek olduğu durumda işlemin ΔE 'sinin yaklaşık 59 mV olması gerekir. Pik potansiyelleri deneyde kullanılan tarama hızına bağlı değildir (Bard ve diğ, 2012).

$$\Delta E = \frac{0,059 V}{n}$$

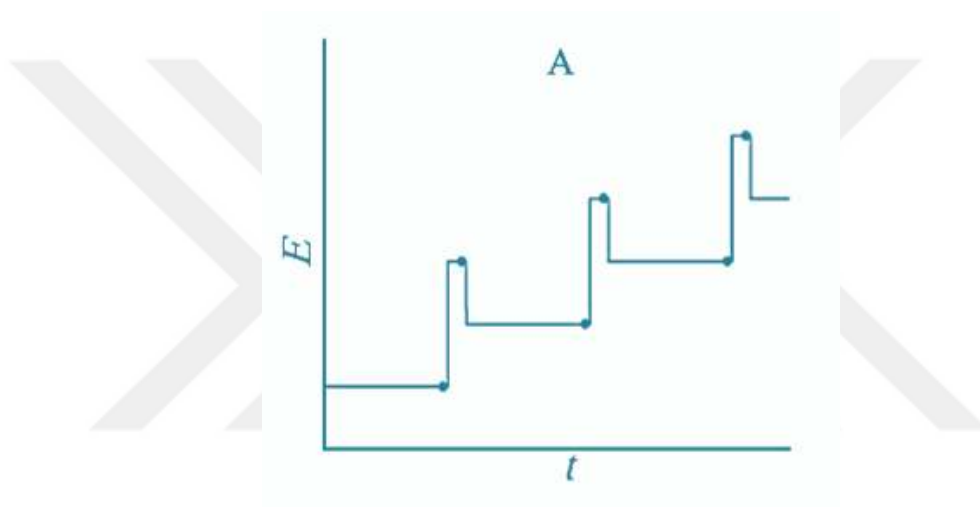
İleri yöndeki pik çözelti içerisindeki elektroaktif madde yükseltgenmesine ait iken; tersine yapılan potansiyel taramasında oluşan pik daha önce yükseltgenmiş elektroaktif maddenin indirgenmesine aittir. Art arda potansiyel uygulandığında üst üste döngülü voltamogram elde edilmektedir. Çözelti içerisinde bulunan elektroda potansiyel hızlı bir şekilde uygulandığında, var olan potansiyel standart indirgenme potansiyeline yaklaştığında madde de indirgenir. Potansiyel değeri negatif oldukça elektrodun yüzeyinde bulunan maddenin indirgenme hızı artacağından akım da artar. İndirgenme hızı yeteri kadar olduğunda ortamdaki akımı, elektrodun yüzeyindeki madde miktarı kontrol eder. Buna bağlı olarak zamanla difüze olmuş tabaka kalınlaştığından difüzyon hızı ve akım azalır. Dönüşümlü voltametri grafiklerinde elde edilecek olan akımının büyüklüğü; elektroaktif maddenin derişimine ve elektrodun yüzey alanına bağlıdır. (Skoog ve diğ, 1998).

2.1.1.2 Diferansiyel puls voltametri (DPV)

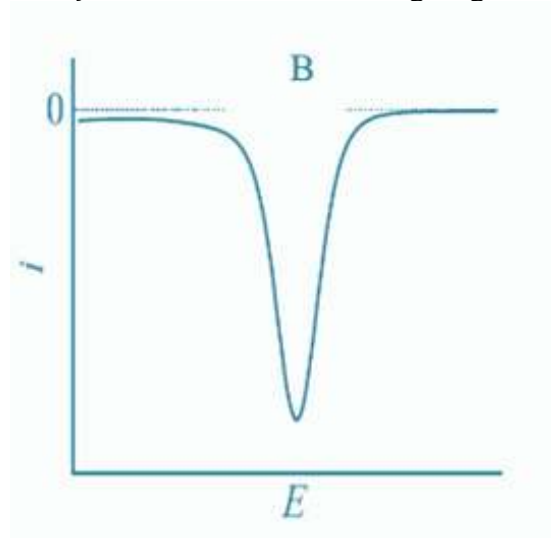
Doğrusal taramalı voltametri yöntemleri 1960'lı yıllardan sonra önemini kaybetmiş bunun yerini puls metotları almıştır. Doğrusal voltametri yönteminin yavaşlığı, düşük dedeksiyon limiti ve maliyetli parçalar gerektirmesi gibi dezavantajları sebebiyle puls metotları önem kazanmıştır. Organik ve inorganik türlerin düşük seviyelerde tespit

edilebilmesi için diferansiyel puls voltametrisinin kullanımı anlam kazanmaktadır (Vergilio ve diğ, 2013).

Düşük derişimdeki elektroaktif türlerin tayininde diferansiyel puls yöntemleri etkin kullanılır. Puls yöntemleri arasında en yaygın kullanılan metot diferansiyel puls voltametrisidir. Bu yöntemlerin tayin sınırı genellikle 10^{-7} - 10^{-8} M arasındadır. Akım ölçümleri puls uygulanmadan önce başlar ve uygulama sonrasında devam eder (Simões ve Xavier, 2017). Örnek bir voltamogram Şekil 2.3'te verilmiştir. Uygulanan akımlar arasında oluşan fark (ΔE) potansiyele karşı grafiğe geçirildiğinde pik şeklinde voltamogramlar oluşmaktadır. Bir voltamogram örneği Şekil 2.4'te verilmiştir (Zoski, 2006).



Şekil 2.3: Gerilim-zaman grafiği.



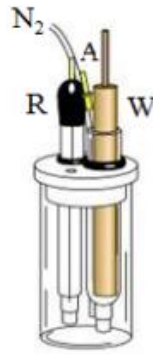
Şekil 2.4: Akım-gerilim grafiği.

2.2. Modifiye Elektrotlar

Modifiye elektrotlar; farklı inorganik veya organik malzemenin uygun bir metotla elektrot yüzeyine sabitlenmesi ve böylece analizi yapılacak çözelti ile elektrot arasında elektron transferini sağlaması temeline dayanır. Hazırlanan modifiye elektrodun; mekanik ve kimyasal olarak kararlı, tekrarlanabilirlik özelliğine ve hızlı yanıt süresine sahip olması arzu edilir. Modifiye edilmiş bir elektrodun elektrokatalitik etki göstermesi bu elektroda önemli uygulama alanları kazandırır (Kurşun Ayazlı, 2016).

2.2.1 Elektrokimyasal hücre ve elektrotlar

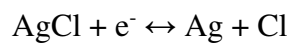
Voltametri yöntemindeki elektroanalitik hücrelerde çalışma elektrodu, referans elektrot ve karşıt elektrot olmak üzere üç elektrot kullanılmaktadır. Böyle bir sistem Şekil 2.5’de verilmiştir (Kurşun Ayazlı, 2016). Hücreler için genellikle materyal olarak pyrex, cam ve kuvars kullanılmaktadır. Hücre tasarlanırken boyut, sıcaklık kontrolü, şekil ve hücrelerin bölme sayısına dikkat edilir. Çevrimli voltametri uygulamalarında özel olarak tasarlanmış hücreler kullanılır. Hücre kapağının örnek ile etkileşime girmemesi ve bu nedenle teflon, Kel-F ya da uygun malzemeden yapılmış olması gerekir. Kullanılan gaz inert olmalı ve ihtiyaç anında manyetik karıştırıcı sisteme katılabilmelidir (Taşkın, 2020).



Şekil 2.5: Elektrokimyasal hücre ve bileşenleri.

2.2.1.1 Ag/AgCl elektrot

Ag/AgCl referans elektrotlar için gerçekleşen redoks tepkimesi aşağıda verilmiştir.



Ag/AgCl referans elektrodu, klorür iyonlarının bulunduğu çözelti içerisine daldırılan ve AgCl ile kaplanmış bir gümüş tel içerir. Referans elektrodu, içerisinde 3 M NaCl sulu

çözeltisi bulundurmalıdır. Elektrot içerisindeki bu çözelti, elektrot ile örnek çözelti arasındaki bağlantıyı oluşturmaktadır.

Elektrot potansiyeli (E), elektroda ait standart potansiyel (E^0) ile redoks tepkimesindeki bileşenlerin aktiviteleri arasındaki ilişkiyi birbirine bağlayan Nernst denklemiyle belirlenmektedir. Ag/AgCl klorür elektrot için Nernst denklemi aşağıda verilmiştir.

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{1}{a_{Cl^-}}$$

Aktivitelerin yerine derişimlerin dikkate alınması genellikle daha doğrudur ($a_{Cl^-} = \gamma_{Cl^-}[Cl^-]$) ve Nernst denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{1}{\gamma_{Cl^-}}$$

E^0 ; formal potansiyel ile standart potansiyel aşağıdaki eşitlik ile ilişkilidir.

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{1}{\gamma_{Cl^-}}$$

Yukarıdaki verilen eşitlikler, elektrotta klorür iyon derişimlerindeki derişimlerinin redoks potansiyeli derişimine sebep olduğunu göstermektedir. Yani, referans elektrodun cam porozü boyunca klorür konsantrasyonu derişmektedir (Kuyumcu Savan, 2016). Ag/AgCl referans elektroda ait görsel Şekil 2.6’da verilmiştir (Taşkın, 2020).

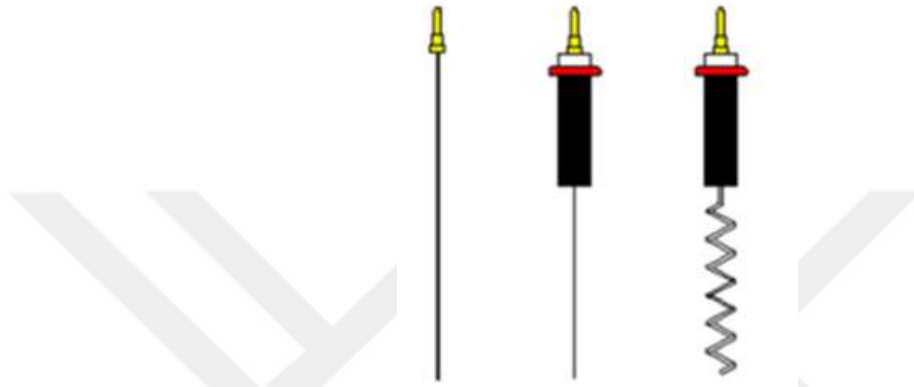


Şekil 2.6: Ag/AgCl referans elektrodu.

2.2.1.2 Karşıt elektrot

Genellikle inert malzemeler olan platin ve grafitten yapılan karşıt elektrotlar akımın taşınması amacıyla kullanılır. Yardımcı elektrot olarak da bilinen karşıt elektrotlar; çalışma

elektrodunun potansiyelini, elektrot üzerinden geçen akımı, elektrot yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonları etkilememelidir. Fazla gerilime sebep olmaması ama aynı zamanda akımı sınırlamaması gerekir. Akımı sınırlamaması için de yardımcı elektrotların yüzey alanının çalışma elektrotlarının yüzey alanından büyük olması ve aynı zamanda çalışma elektrodu ile arasında oluşan elektrik alanının düzgün ve doğrusal olmasına olanak sağlamalıdır. (Ji-Young ve diğ, 2011, Baytak ve Aslanoğlu, 2017). Karşıt elektrot türleri Şekil 2.7’de verilmiştir (Taşkın, 2020).



Şekil 2.7: Yardımcı elektrot türleri.

2.2.1.3 Çalışma elektrodu

Analizi yapılan maddenin derişimine bağılı olarak potansiyeli değışebilen elektrotlardır. Üçlü elektrot sistemlerinde çalışma elektrodu için iletkenlik, inertlik ve negatif potansiyel değıerinin yüksek olmasının yanında işlenebilir olması da istenen özellikler arasındadır. Analiz edilen türler karşısında elektriksel yükü değışebilen çalışma elektrotlarının şekilleri ve bileşimleri yöntemin seçiciliğı ve duyarlılığı bakımından farklı olabilmektedir. Voltametri yöntemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan çalışma elektrotları platin, altın ve camısı karbon elektrotlardır (Icardo ve diğ, 2003, Ji-Young ve diğ, 2011).

Çalışma elektrotlarının sahip olması gereken özellikler aşağıda verilmiştir:

- Analizi yapılacak maddeye karşı seçici, tekrarlanabilir ve hızlı yanıt süreli olmalı,
- Uygun boyutlu, kolay hazırlanabilir ve etkin yüzey alanına sahip olmalı,
- Yüksek sinyal gürültü oranına ve geniş potansiyel aralığına sahip olmalı, polarizasyona neden olmamalıdır (Aksoy ve diğ, 2016, Guimard ve diğ, 2007).

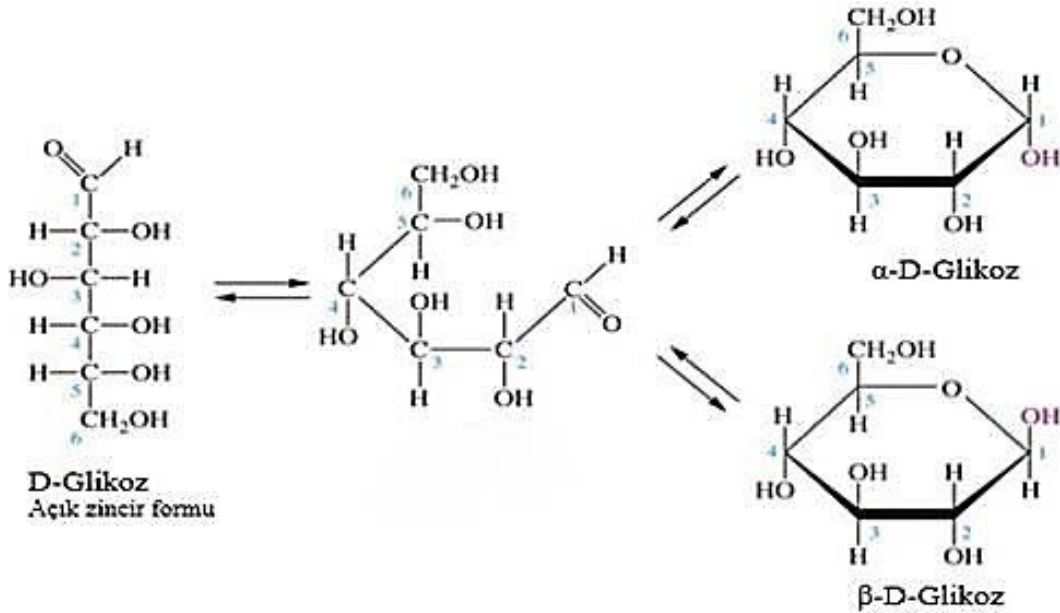
Katı çalışma elektrodu Şekil 2.8’de verilmiştir (Dündar, 2019).



Şekil 2.8: Katı çalışma elektrotları.

2.3 Glikoz

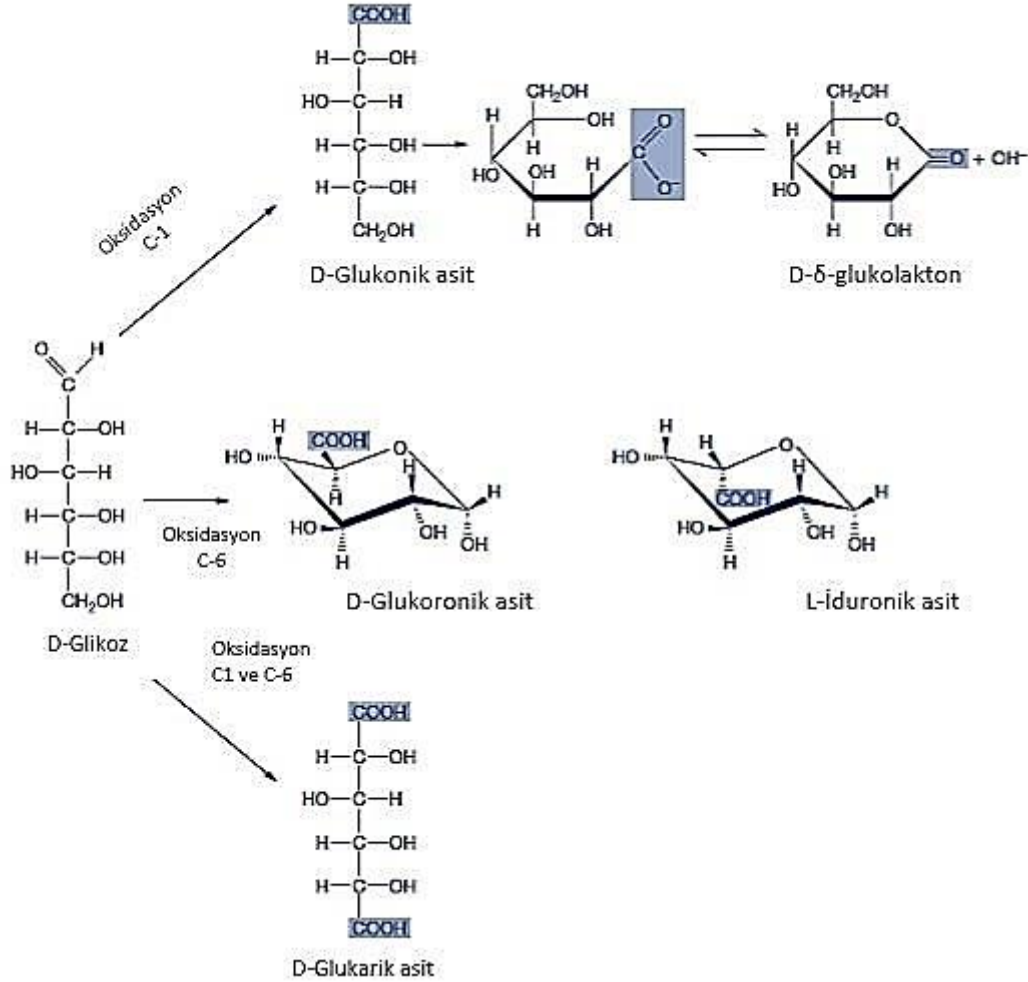
Canlılar için oldukça önemli olan glikoz ($C_6H_{12}O_6$) yapısındaki aldehitten ötürü aldoheksoz olarakta adlandırılır. D- ve L- şeklinde iki farklı forma sahip olan glikoz, D-formundaki yapısı α - β şeklinde karışım halinde olduğundan, sulu çözelti içerisinde birbirine dönüşebilmektedir (Yaşar, 2020). Glikozun α - β formları Şekil 2.9’da verilmiştir (Hasan, 2019).



Şekil 2.9: Glikozun yapısındaki α - β formlar.

Sulu çözelti içerisinde çözünmüş glikozun %37’si α -D-glikoz iken %63’ü β -D-glikozdur. Karbonhidratlarda bulunan glikoz farklı şartlarda oksidasyona uğradığında

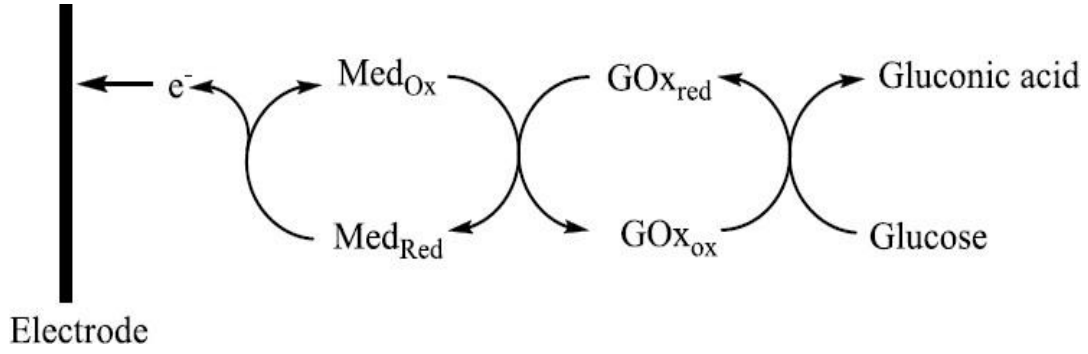
hidroksil grupları ile reaksiyon verebilir. Glikoz oksidasyonuna ait reaksiyonlar Şekil 2.10'da verilmiştir (Shendurse ve Khedkar, 2016).



Şekil 2.10: Glikoz oksidasyonuna ait reaksiyonlar.

2.3.1 Glikozun elektrooksidasyonu ve sensör teknolojisi

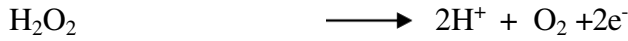
Uyarılara yanıt verebilen sistemler olan sensörler, canlıların yapısında bulunan elektrokimyasal iyon hareketliliğine yanıt vermek suretiyle organlar arasında iletişim kurulmasına imkân tanır. Yapay olarak oluşturulmuş sensörler sistem içerisindeki oluşumlarla aynı dili konuşabilmelidir (Heller, 2008). Doğrudan elektrik sinyali üreten elektrokimyasal sensörler elektrik ile kimya arasında bir ilişki kurulmasını sağlar. Aşağıdaki şekil, glikozun elektrot yüzeyindeki reaksiyon mekanizmasını göstermektedir (Yaşar, 2020).



Şekil 2.11: Glikoza ait reaksiyon mekanizması.

2.3.1.1 Birinci nesil glikoz sensörleri

Bu sensörler kandaki glikoz miktarının belirlenmesi için prototip olarak Clark ve Lyons tarafından geliştirilen ilk sensörlerdir. Polietilen diyaliz membranların yarı geçirgen özellikleri kullanılarak, glikozun glikoz oksidaz ile enzimatik oksidasyon tepkimesi sonucunda ortaya çıkan oksijen miktarı ile kandaki glikoz seviyesi belirlenmiştir (Clark ve diğ, 1962).

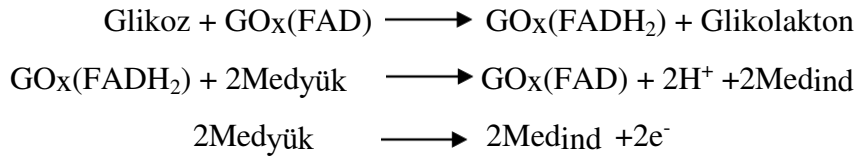


H_2O_2 platin anotda oksidasyona uğrarken transfer edilen elektronların sayısı kanda bulunan glikoz molekül sayısı ile doğru orantılı olmaktadır (Guilbault ve diğ, 1973).

2.3.1.2 İkinci nesil glikoz sensörleri

Birinci nesil glikoz sensörlerinde O_2 konsantrasyonuna karşı duyarlılık, askorbat, ürat varlığından etkilenmektedir. Bu sebeple son yıllarda, elektronlara aracı olabilen yeni glikoz sensörleri geliştirilmiştir. Flavin adenin dinükleotit (FAD) redoks merkezinde proteinden oluşan kalın tabaka sebebiyle glikoz oksidaza ait elektronların engelsiz bir şekilde elektroda ulaşması zor olmaktadır. Protein tabakası elektronların transferi için bariyer oluşturmaktadır. Önemli bir sorun haline gelen bu durum için farklı stratejiler geliştirilmeye çalışılmıştır. Elektron transferinin doğrudan olması amacıyla biyosensörlere aracı moleküller eklemek stratejiler arasında yer almaktadır. Arabulucular (medyator), glikoz oksidazın redoks merkezi ve elektronların yüzeyleri arasında elektron tabakaları

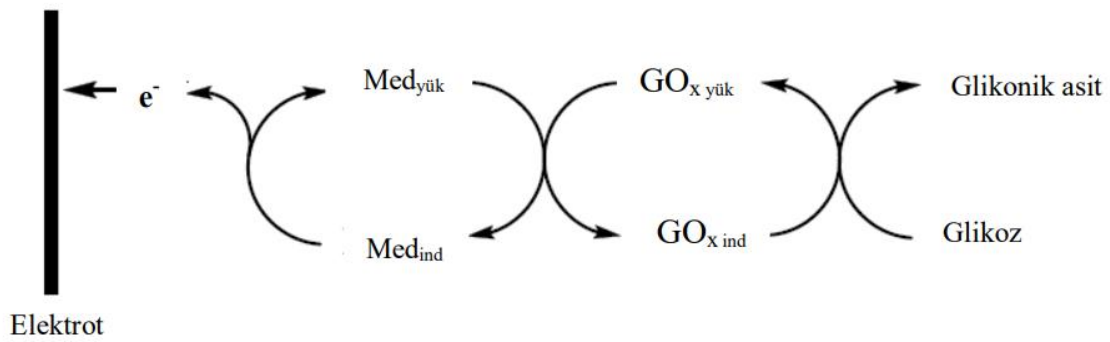
oluşturmak amacıyla kullanılabilen redoks potansiyeli düşük küçük boyutlu moleküllerdir. Reaksiyon mekanizması aşağıda gösterilmiştir.



Medyök : yükseltgenmiş medyatör formu

Medind : indirgenmiş medyatör formu

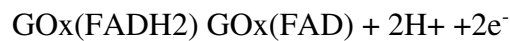
İndirgenmiş formlar elektrot yüzeyinde tekrardan oksitlenmektedir. Ara madde oksitlenirken glikoz konsantrasyonu ile doğru orantılı olacak şekilde akım sinyali oluşturur. Yükseltgenme-indirgenme döngüsü Şekil 2.12'deki gibidir (Yaşar, 2020).



Şekil 2.12: İkinci nesil (ara maddeli) biyosensörler.

2.3.1.3 Üçüncü nesil glikoz sensörleri

Son zamanlarda ara maddenin ortadan kaldırılması ve biyosensörlerin uzun süreli kararlı kalması amacıyla çalışma potansiyeli düşük reaktifsiz glikoz sensörleri tasarlanmaya başlanmıştır. Bu sistemde elektronların enzimlerin aktif bölgeleri üzerinden doğrudan glikozdan elektrotlara geçişi sağlanmaktadır. Ara maddenin olmayışı bu nesil sensörler için avantajlı bir durum olup, çalışma potansiyelinin düşük olması sebebiyle yüksek seçicilik kazandırılmaktadır (Cano ve diğ, 2008, Deng ve diğ, 2009).



2.4 Glikoz Sensör Karakteristikleri

Glikoz tayini amacıyla kullanılan sensörlerin amperometrik sensör karakteristikleri genel olarak doğrusallık, duyarlılık, seçicilik, kararlılık ve yanıt süresi gibi başlıklar altında toplanabilir.

2.4.1 Doğrusallık

Maddenin derişimine bağı olarak sensör tarafından oluşan yanıtların doğrusal çizgiye yaklaşabilme ölçüsüdür. Elektrokimyasal olarak oluşan yanıt ve maddenin derişimi arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek amacıyla lineer regrasyon yöntemi kullanılmaktadır. Lineer regrasyon yöntemi doğrusallık ve kantitatif tayin sınırı gibi kavramları içinde bulundurmaktadır (Glasstone, 2011).

2.4.2 Duyarlılık

Tayin edilecek analitin sabit derişimi için elde edilecek olan yanıtın büyüklüğü olarak ifade edilebilir. Yanıt/derişim oranı ne kadar büyükse sensör o kadar duyarlı demektir. Yani, sensörün küçük analit derişimlerine yanıt verdiği anlamına gelir.

2.4.3 Seçicilik

Seçicilik kavramı; ilgili sensörün çözelti içerisinde bulunan diğer bileşenlere karşı sinyal vermeyip, sadece ölçümü amaçlanan analite karşı yanıt vermesidir. Bu kavram, glikoz sensörü için değerlendirildiğinde, sensörün glikoza yanıt verirken ortamdaki elektroaktif/elektroinaktif türlerden kaynaklanan amperometrik yanıtların engellenmesi veya en azından minimize edilmesi anlaşılmalıdır. Diğer bir deyişle elde edilecek yanıtın tümüyle glikoza ait olması arzu edilmektedir.

2.4.4 Kararlılık

Kararlılık, en önemli parametrelerden biri olup, zamana bağı olarak sensörün tekrarlanabilir yanıtlar verme performansını gösterir. Diğer bir deyişle, hazırlanan sensör ile zamana bağı olarak veya aynı gün yapılan tekrar ölçümlerde, ilgili analite karşı aynı veya çok yakın sinyallerin alınması sensörün söz konusu analite karşı kararlı olduğunu gösterir. Özellikle, enzimatik biyosensörlerde enzimin doğasından kaynaklanan dezavantajlar, biyosensörün kararlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Çalışmamızda hazırlanan enzimsiz glikoz sensörlerin, enzim vb. biyolojik bileşen içeren biyosensörlere göre en önemli avantajlarından biri, onun kararlılığıdır.

2.4.5 Yanıt süresi

Yanıt süresi; sensörün, örnek ile etkileştirildiği andan itibaren yanıtın alınmasına kadar geçen süreyi ifade eder. Genel olarak yanıt süresinin, çözeltinin karıştırılıp karıştırılmamasına, analitin bulk çözeltiden elektrot materyaline ulaşmasına (difüzyon) ve analitin ilgili elektrot materyali içerisindeki mobilitesine bağlı olarak değişebileceği düşünülmektedir. Bu durumda; elektrot yüzeyindeki inorganik/organik kaplama materyalinin morfolojisi ve kalınlığı yanıt süresini etkileyebilecek faktörler olarak öne çıkmaktadır.

2.5 Nanomateryaller

Son zamanlarda kimyasal ve biyolojik analizlerde nanomateryallerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu malzemeler; boyut ve şekilleri değiştirildiğinde kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ayarlanabilir olması gibi avantajları sebebiyle yoğun ilgi görmektedir. Nanomateryaller yüzey kimyaları, termal ve elektriksel özellikleriyle birim kütle başına geniş yüzey alanlarına sahiptirler. Bu sebeple nanomateryal içeren sensörlerin daha duyarlı ve yanıt sürelerinin de daha kısa olacağı beklenmektedir. Sensör üretiminde kullanılan nanomateryaller arasında metaller, metal oksitler, karbon nanmalzemeler ve silika yer almaktadır. Nanopartiküller, nanomalzeme olarak yaygın kullanılan malzemeler arasında yer alır. Altın (AuNP'ler), gümüş (AgNP'ler) ve demir oksit ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$) nanopartiküller gibi metal ve metal oksit nanopartiküller, birçok sensör ve biyoanalitik cihaz üretimlerinde kullanılmaktadır (Aktaş ve diğ, 2025).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Deneylerde Kullanılan Reaktifler

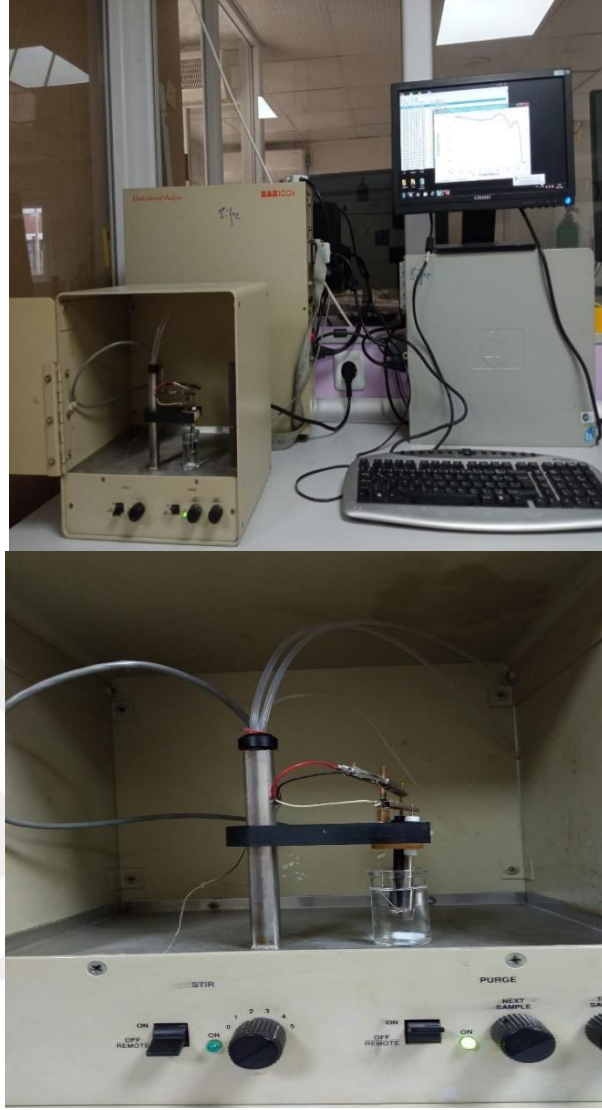
Kimyasallar ve markaları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Kimyasal	Marka
$C_{38}H_{44}N_4O_4RhCl$	(Sentez) (Karataş M.O. 2017)
D- (+) Glikoz	Sigma-Aldrich
Laktoz	Merck
Sukroz	Merck
Üre	Merck
Ürik asit	Merck
Okzalik asit	Fluka
L-Askorbik asit (% 98)	Merck
Potasyum klorür (KCl %99)	Sigma
PBS	Sigma-Aldrich
Toluen	Sigma-Aldrich
Sodyum Hidroksit (NaOH %98)	Sigma-Aldrich
Titanyum Dioksit (TiO ₂)	Sigma-Aldrich
Asetonitril	Carlo Erba
Kloroform	Sigma-Aldrich
Diklorometan	Sigma-Aldrich

Çizelge 3.1: Kullanılan kimyasalların isim ve markaları.

3.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışmalarda; 28 farklı elektrokimyasal yöntemin uygulanabildiği ve elektrokimyasal hücrenin Cell Stand içine yerleştirildiği bilgisayar destekli BAS 100W (Bioanalytical systems) cihaz kullanılmış olup, ilgili cihaza ait resim Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: BAS 100W cihazı.

3.3 Deneylerde Kullanılan Elektrotlar

Yardımcı elektrot olarak platin tel (MW-1032), referans elektrot olarak 3 M KCl içerisindeki Ag/AgCl (MF-2063) ve çalışma elektrodu olarak ise camısı karbon (GCE, MF-2012) kullanılmış olup, Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



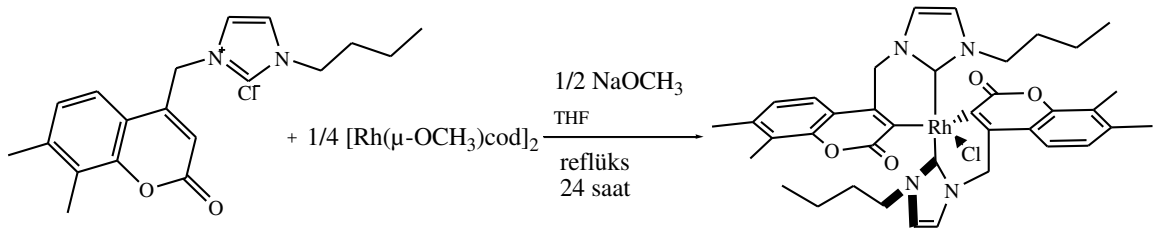
Şekil 3.2: Referans, yardımcı ve çalışma elektrodu.

3.3.1 Deneyisel çalışmalarda kullanılan elektrotların temizlenmesi

Pt elektrotların temizliğinde; önce zımpara disk ıslatılıp, üzerine 8 çizilerek birkaç dakika hareket ettirilmiştir. Sonra elektrot 90° döndürölüp aynı işlem tekrar edilmiştir. Yapılan işlemlerin aynısı naylon disk üzerinde gittikçe azalan derişimlerde (15 mm, 3 mm, 1 mm) alümina damlatılarak yapılmış ve distile su ile yıkanmıştır. Referans elektrotlar distile suyla yıkanmış olup kullanılmadığı zaman 3 M KCl içinde saklanmıştır (Kurşun S. 2010).

3.4 Kloro-bis (1-bütöl-3-((7,8-dimetöl-2*H*-kromen-2-on-4-il)metöl- η^2 -3,4-C)imidazol-2-iliden) rodyum(I) Sentezi

Bileşğin genel sentez tepkimesi, yöntem ve karakterizasyon detayları ilgili tezde sunulmuştur (Karataş M.O. 2017).

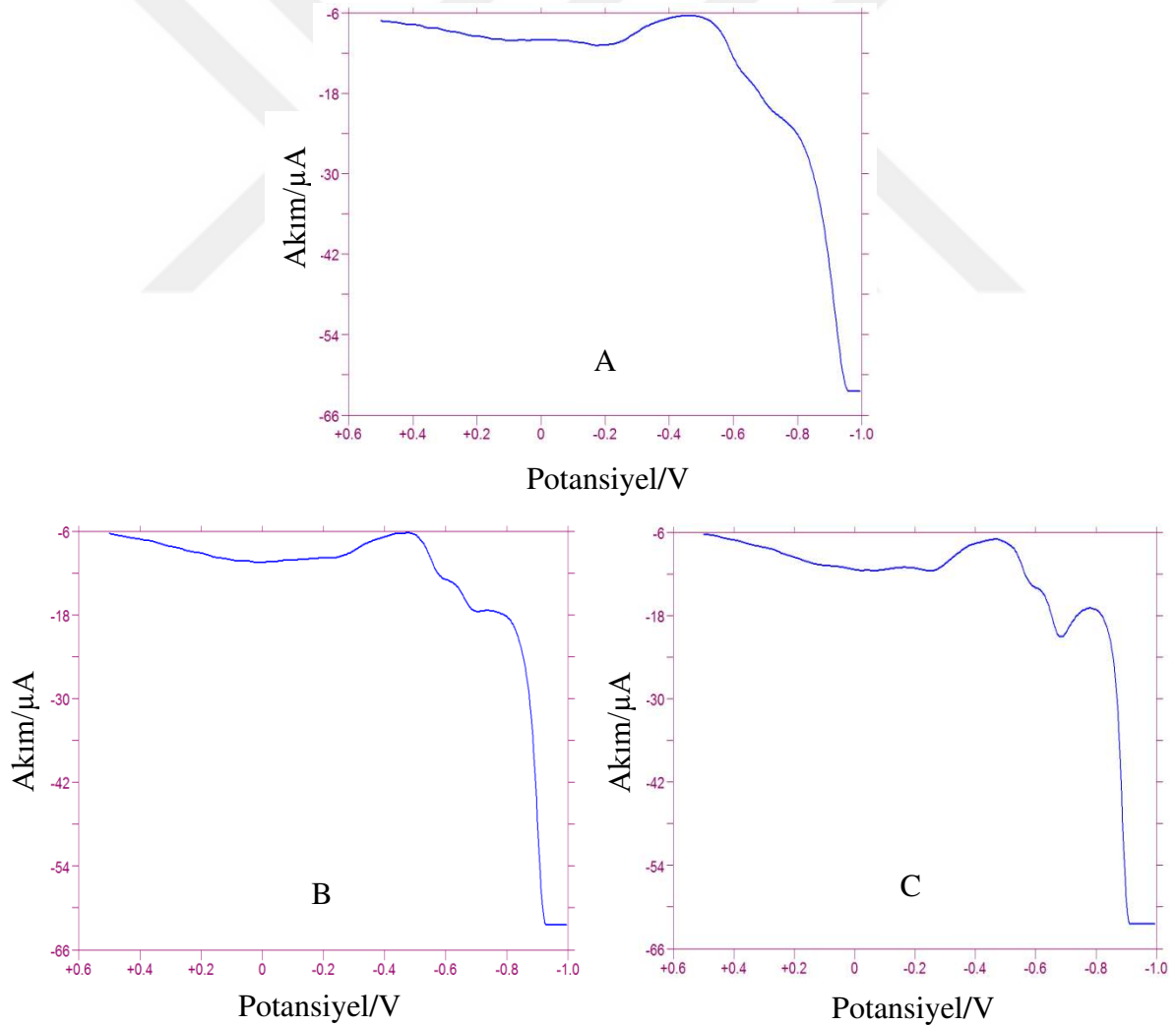


Şekil 3.3: Sentez tepkimesi.

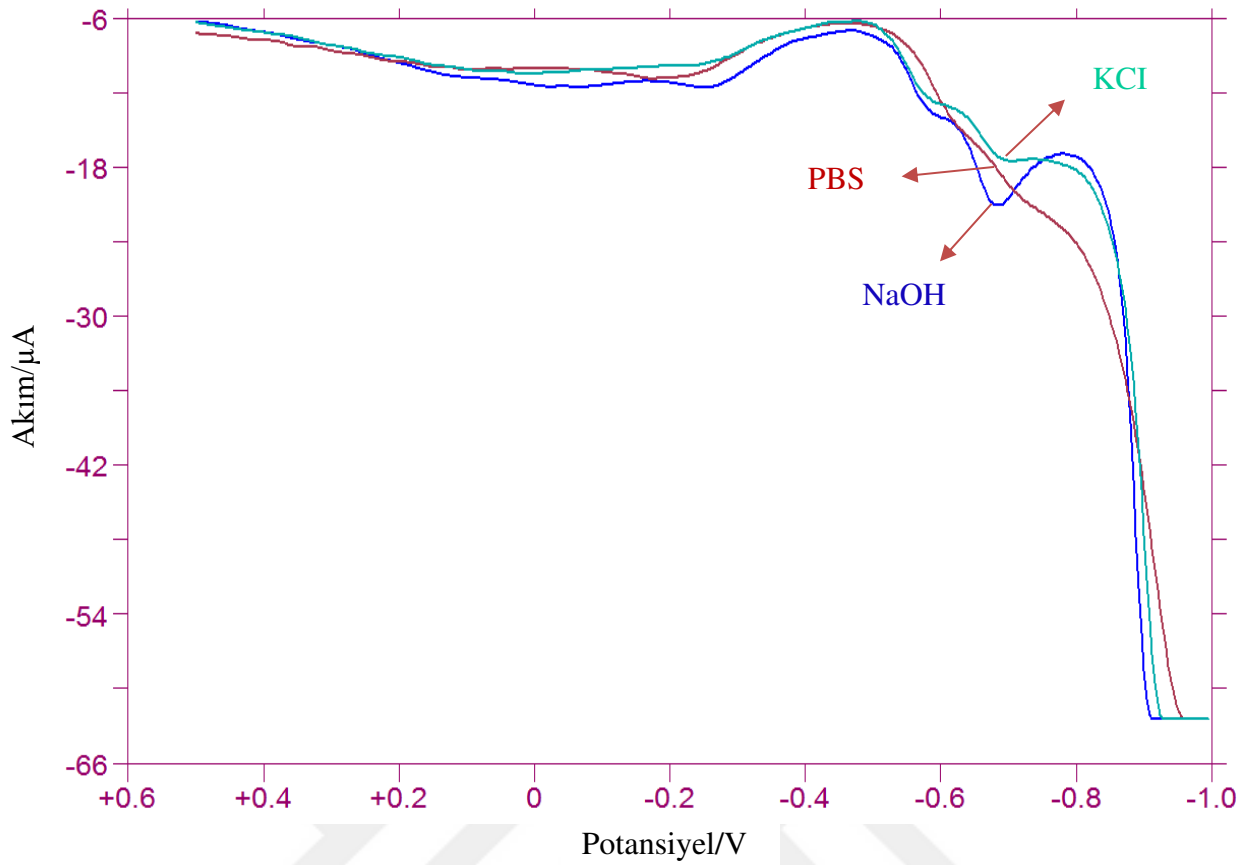
4.ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Destek Elektrolit Çözeltisinin Optimizasyonu

Asetonitril içerisinde $C_{38}H_{44}N_4O_4RhCl$ 'un çözünmesiyle hazırlanan 0,01 M'lık çözeltiden alınan 5 μL çözelti, Pt elektrot yüzeyine damlatılmış ve normal atmosferde kurutulmak suretiyle çalışma elektrodu (Film modifiye Pt elektrot) hazırlanmıştır. Uygun destek elektrolitine karar verilebilmesi amacıyla; derişimleri 0,1 M olan PBS, KCl ve NaOH elektrolit sistemleri kullanılmıştır. Anılan destek elektrolit ortamlarında çalışma elektrodunun glikoza verdiği amperometrik yanıtları incelendiğinde, PBS ortamında düzenli pikin oluşmadığı, KCl ortamı ile kıyaslandığında ise en iyi pikin NaOH ortamında elde edildiği (Şekil 4.1 ve 4.2) görülmüştür.

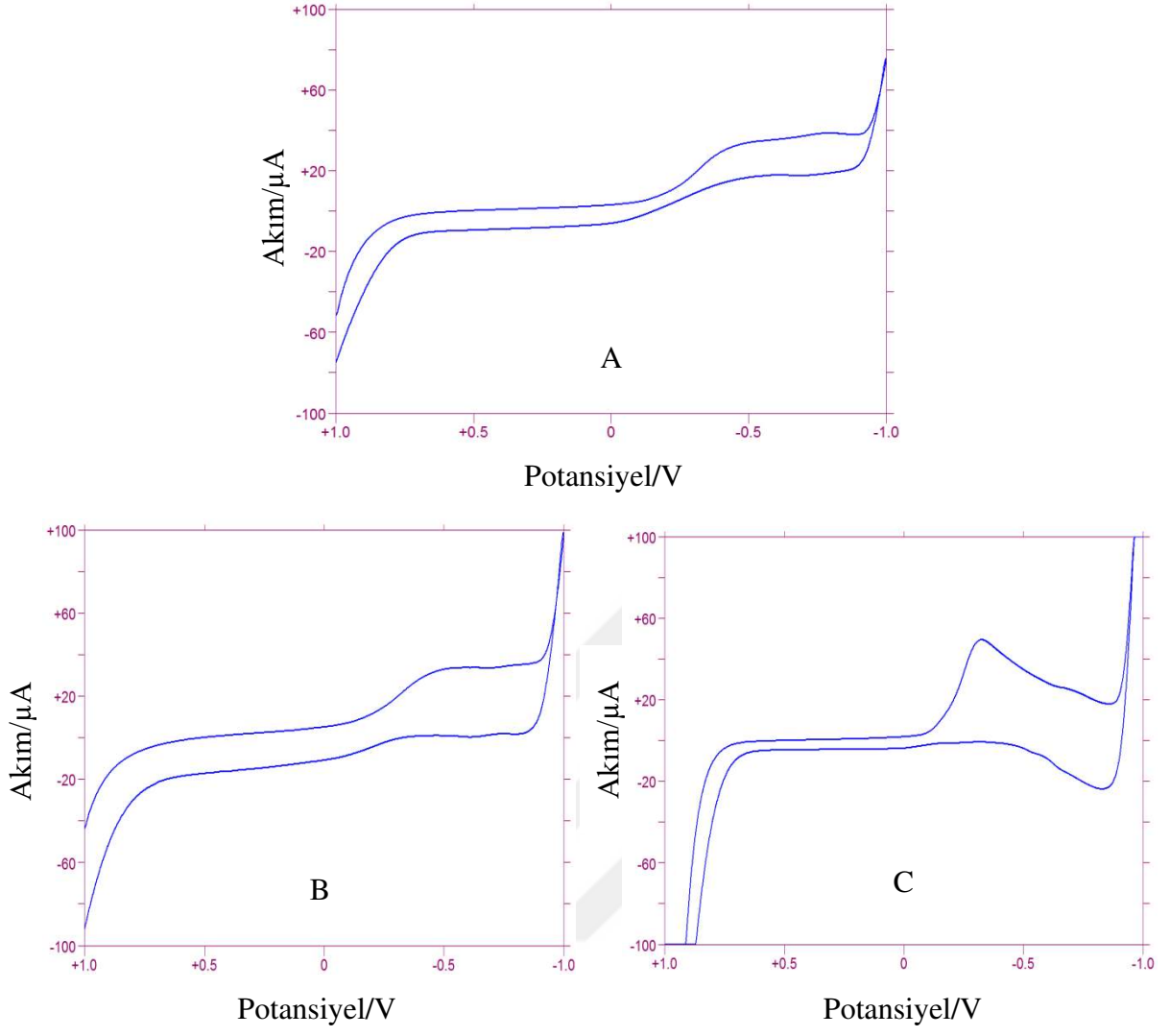


Şekil 4.1: 0,1 M PBS (A), 0,1 M KCl (B) ve 0,1 M NaOH (C) ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μL glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtları.

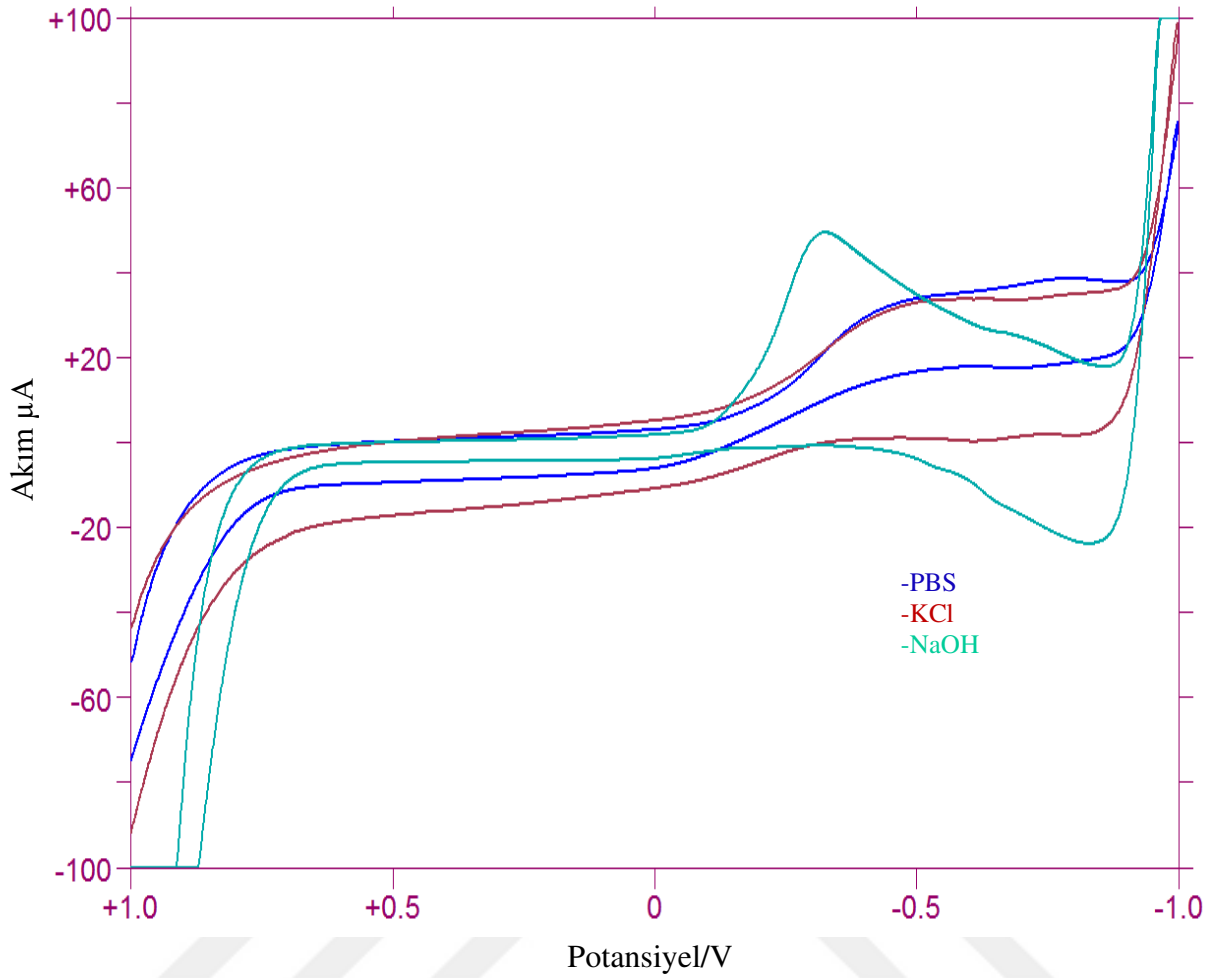


Şekil 4.2: 0,1 M KCl, 0,1 M PBS ve 0,1 M NaOH ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtlarının karşılaştırmalı hâli.

Yukarıda DPV ile yapılan çalışmalar farklı bir teknik olan çevrimli voltametri (CV) ile tekrarlanmış, elde edilen voltamogramlar Şekil 4.3 ve 4.4'te sunulmuştur. Voltamogramlardan da açıkça görülebileceği gibi DPV bulgularına paralel olarak CV sonuçlarından da, en uygun destek elektrolit ortamının NaOH olduğu teyit edilmiştir. Hem DPV ve hem de CV teknikleriyle elde edilmiş olan paralel sonuçlardan, sonraki tüm çalışmalarda destek elektroliti olarak 0,1 M NaOH çözeltisinin kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.



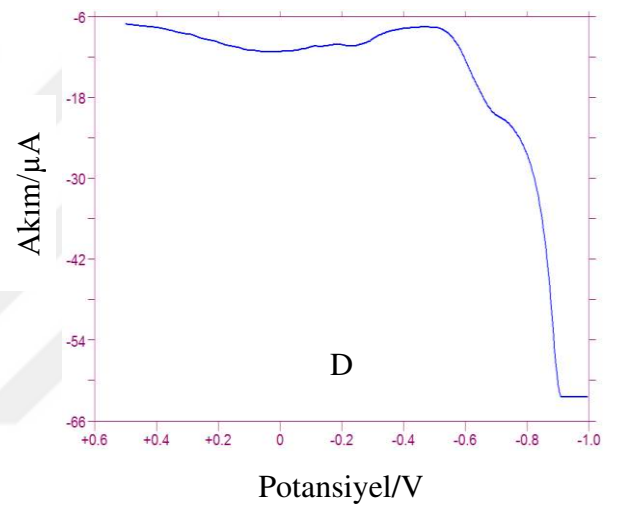
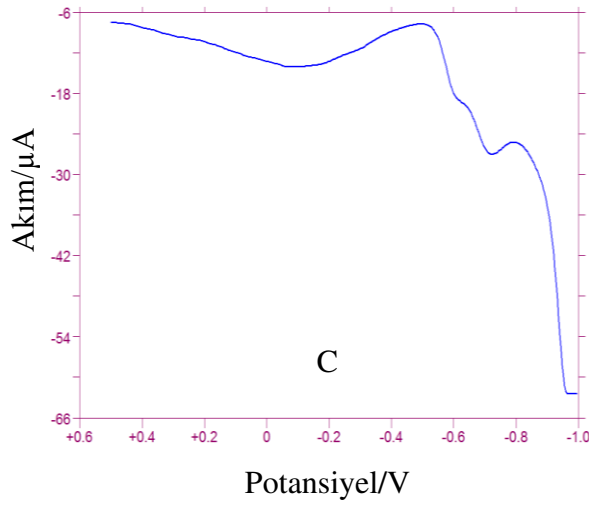
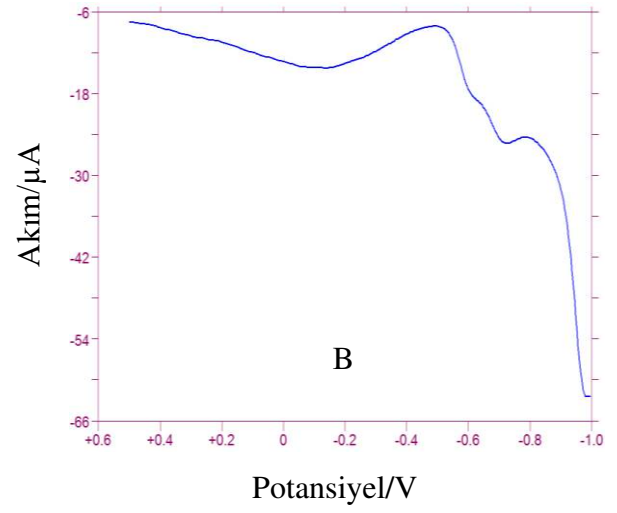
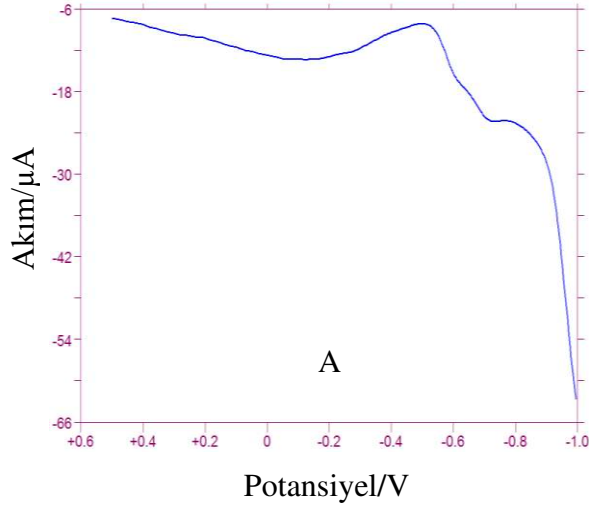
Şekil 4.3: 0,1 M PBS (A), 0,1 M KCl (B) ve 0,1 M NaOH (C) ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μL glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtları.



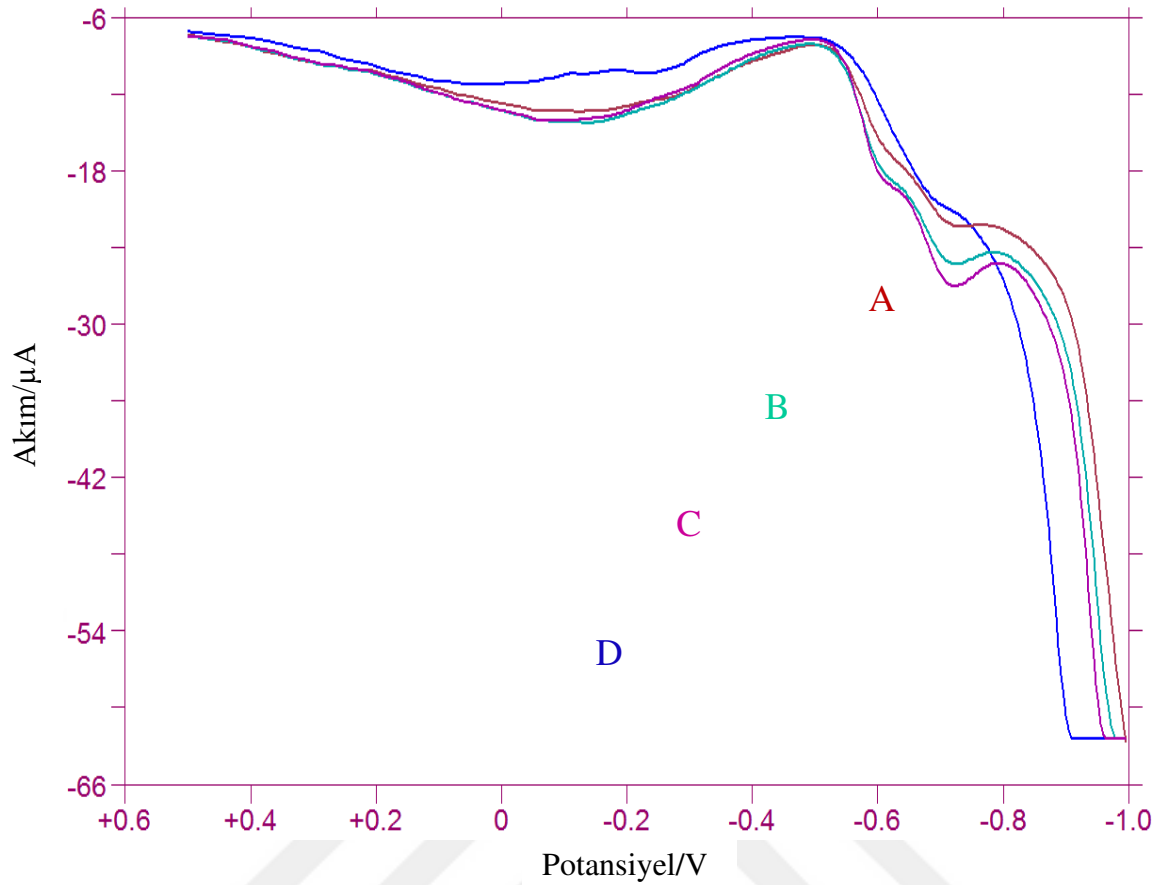
Şekil 4.4: 0,1 M PBS, 0,1 M KCl ve 0,1 M NaOH ortamında Film modifiye Pt elektrodun 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtlarının karşılaştırmalı hâli.

4.2 Farklı Derişimlerde Hazırlanan Filmin Optimizasyonu

Glikoza amperometrik yanıtlar üzerine film çözeltisinin (Asetonitril- $C_{38}H_{44}N_4O_4RhCl$) derişiminin etkisini incelemek amacıyla, farklı derişimler (0,0025- 0,005- 0,01-0,015 M) kullanılarak hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların DPV yanıtları Şekil 4.5 ve 4.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.5: 0,0025 M (A), 0,005 M (B), 0,01 M (C) ve 0,015 M (D) derişimlerinde hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların 0.1 M NaOH ortamındaki DPV yanıtları.

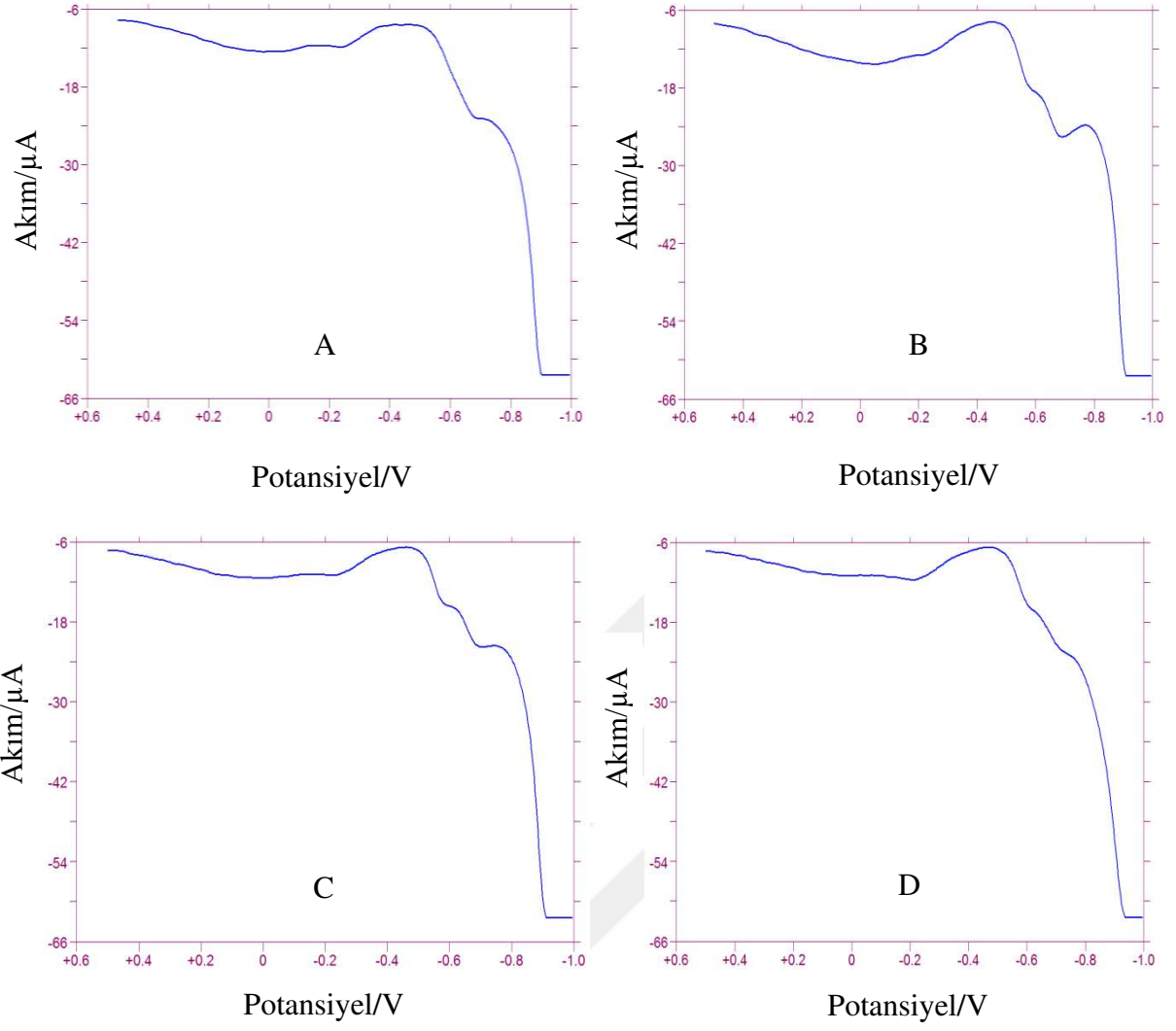


Şekil 4.6: 0,0025 M (A), 0,005 M (B), 0,01 M (C) ve 0,015 M (D) derişimlerinde hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların 0.1 M NaOH ortamındaki karşılaştırmalı DPV yanıtları.

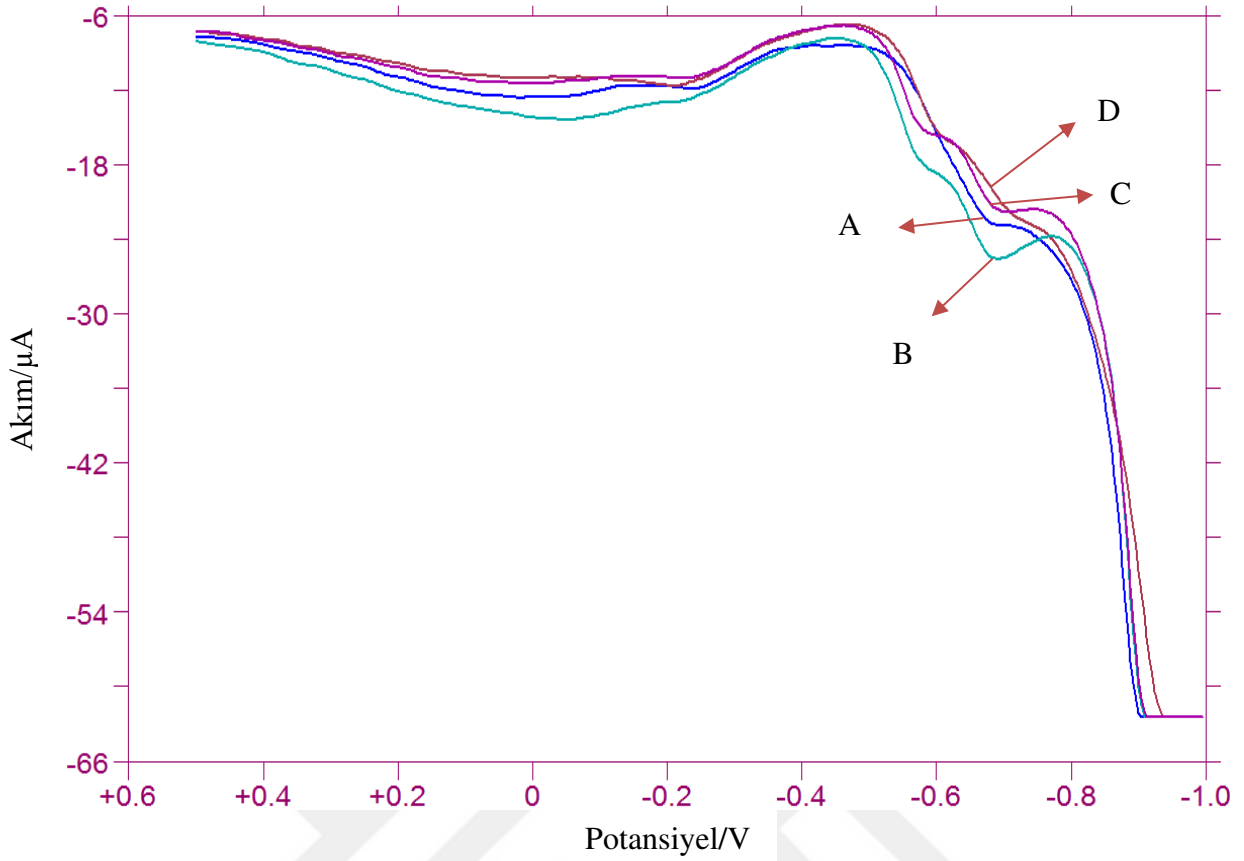
Alınan yanıtlar incelendiğinde, 0,01 M derişime kadar yanıtların arttığı, 0,01 M derişimde maksimuma ulaştığı sonraki derişimde ise azaldığı gözlenmiştir. Tatminkâr amperometrik akım 0,01 M derişimde alındığından, sonraki çalışmalarda bu derişimin kullanılmasına karar verilmiştir.

4.3 Film Kalınlığının Optimizasyonu

Glikoza amperomerik yanıt üzerine film kalınlığının etkisinin incelenebilmesi amacıyla, farklı miktarlardaki (3, 5, 7 ve 10 μL) 0,01 M Asetonitril- $\text{C}_{38}\text{H}_{44}\text{N}_4\text{O}_4\text{RhCl}$ çözeltilerinden hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların, 0,1 M NaOH destek elektrolit içerisindeki 80 μL glikoza karşı verdiği yanıtlar DPV tekniği kullanılarak incelenmiştir (Şekil 4.7 ve 4.8).



Şekil 4.7: 3 μL (A), 5 μL (B), 7 μL (C), 10 μL (D) Pt elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 μL glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtları.

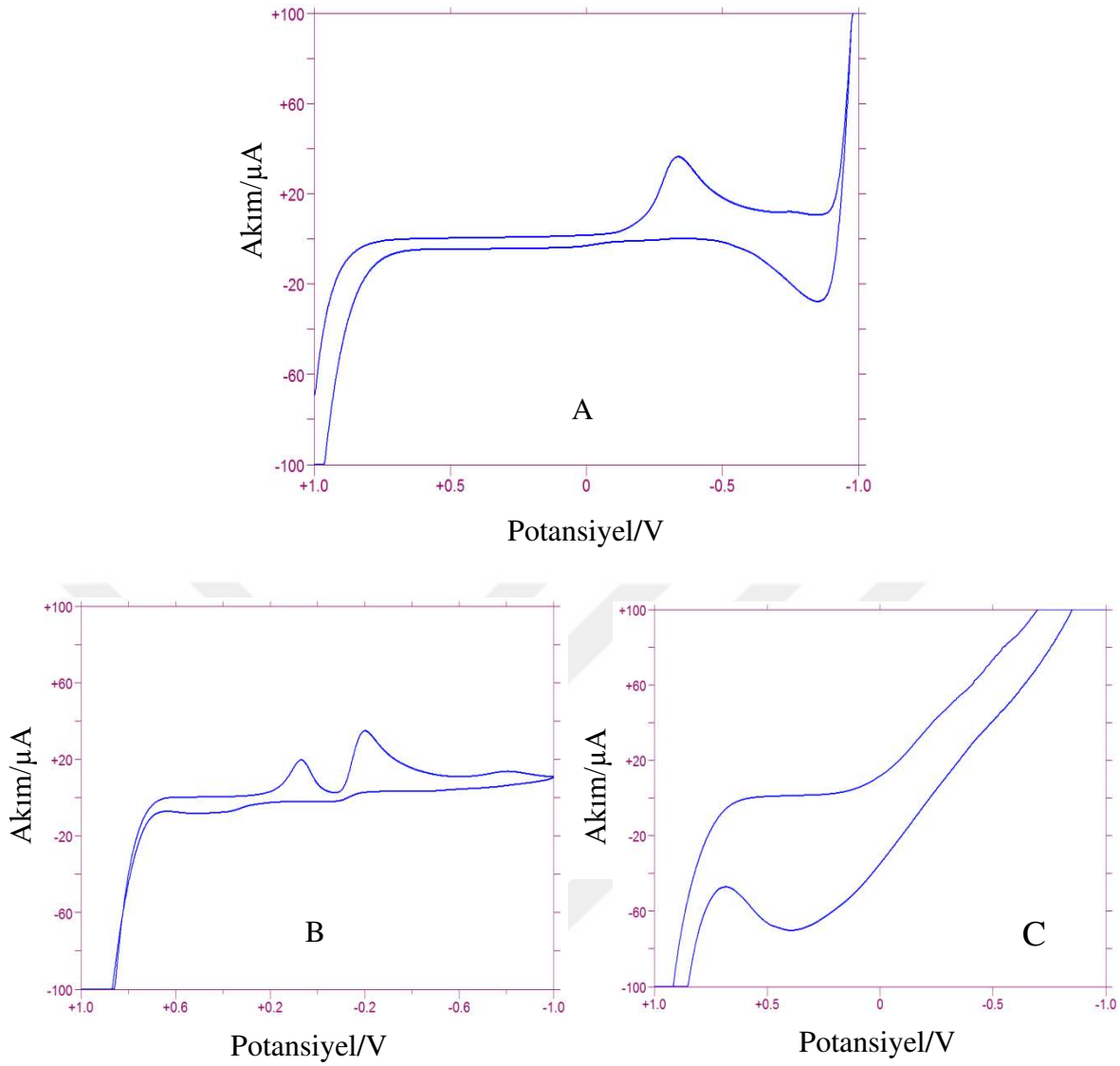


Şekil 4.8: 3 μL (A), 5 μL (B), 7 μL (C), 10 μL (D) çözeltileri ile hazırlanan Film modifiye Pt elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 μL glikoz çözeltisine verdiği karşılaştırmalı yanıtları.

Şekil 4.7 ve 4.8 incelendiğinde en iyi akım yanıtının 5 μL film kalınlığına sahip Film modifiye Pt elektroduna ait olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, sonraki çalışmalarda optimum kalınlık olan 5 μL film kalınlığına sahip Film modifiye Pt elektrot kullanılacaktır.

4.4 Elektrot Optimizasyonu

Optimal glikoz yanıtına sahip substratın belirlenebilmesi için, üç farklı elektrodun (Pt, Au, ve GCE) glikoz yanıtları çevrimli voltametri yöntemiyle incelenmiş ve elde edilen voltamogramlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

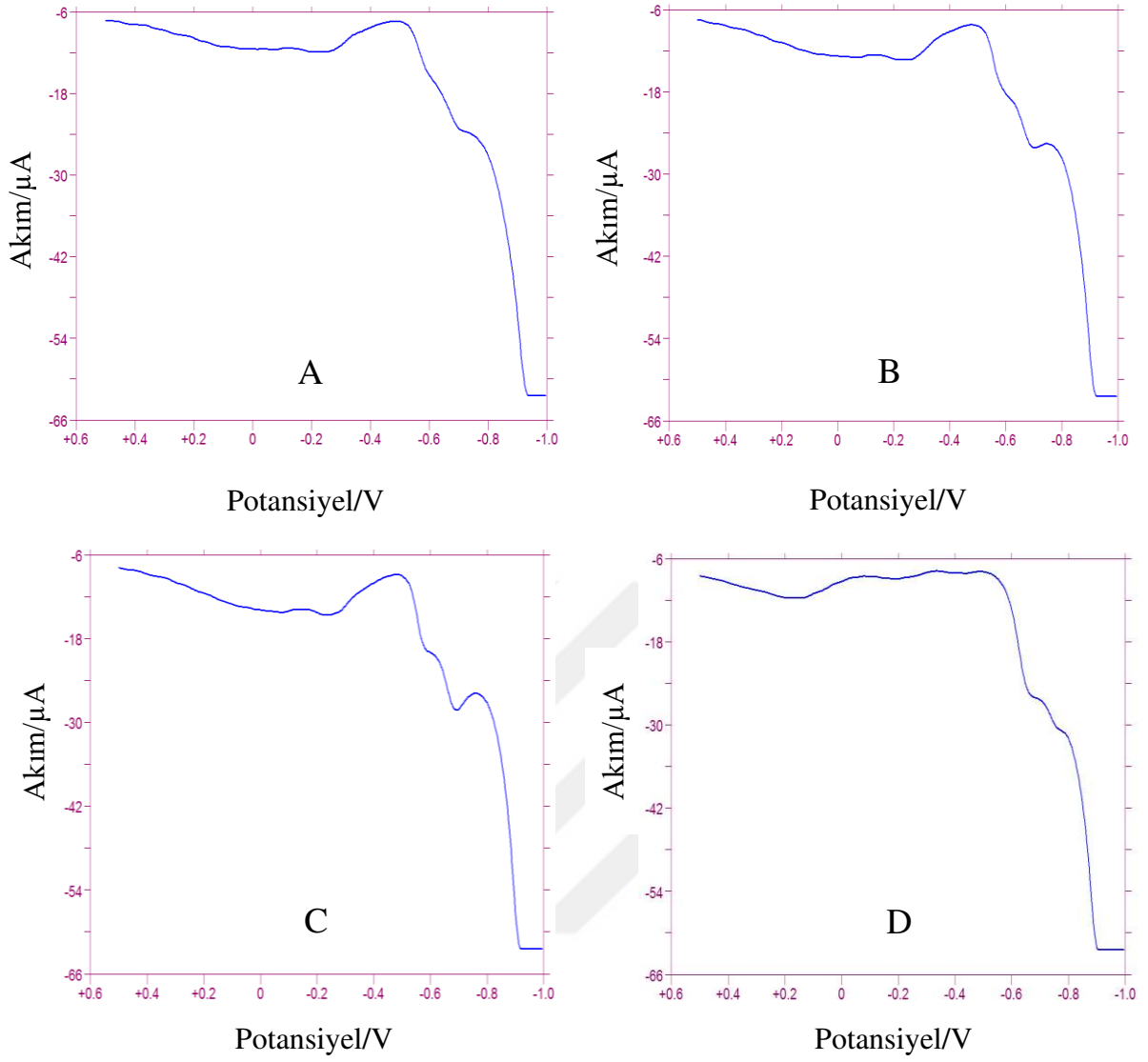


Şekil 4.9: Pt (A), Au (B) ve GCE (C) Film modifiye elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 µL glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtları.

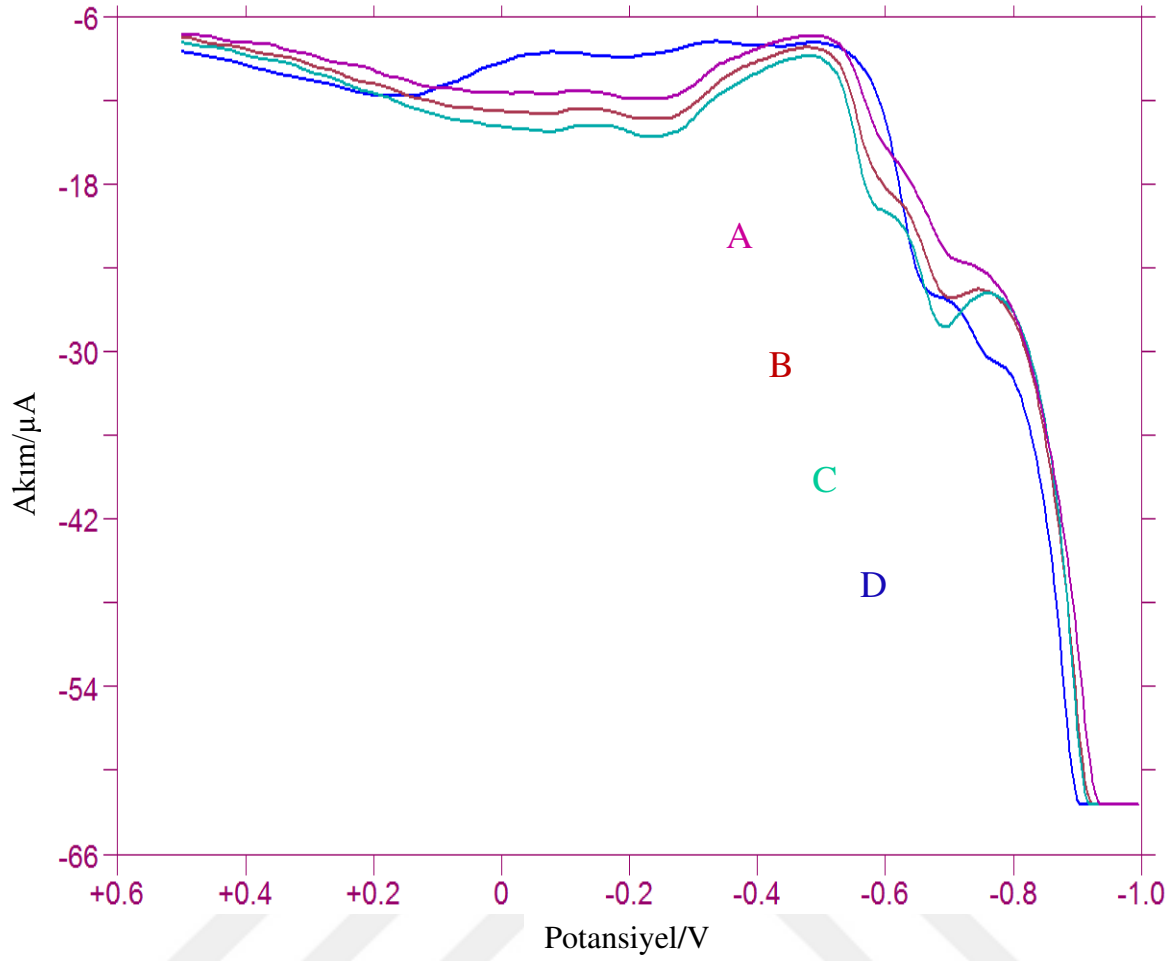
Şekil 4.9 incelendiğinde, glikoz için en iyi akımın Pt çalışma elektrodunun kullanıldığı Film modifiye Pt elektrotla elde edildiği gözlenmiştir. Böylece, bundan sonraki tüm çalışmalarda çalışma elektrodu olarak Pt elektrot kullanılmıştır.

4.5 Glikoz Yanıtı Üzerine Nanomateryal (TiO₂) Etkisi

Glikoz yanıtı üzerine nanomateryal (TiO₂) etkisinin irdelenmesi amacıyla; organik film miktarı esas alınarak kütlece %25, %50, %75 ve %100 TiO₂ içeren Film-TiO₂ modifiye elektrotları hazırlanmış ve bu modifiye elektrotların glikoz yanıtları DPV ile incelenmiştir. Aşağıda dört farklı nanomateryal bileşimine sahip Film-TiO₂ modifiye Pt elektrotların DPV'leri (Şekil 4.10 ve 4.11) karşılaştırıldığında; kütlece %75 TiO₂ içerikli Film-TiO₂ modifiye elektrodun en iyi yanıt karakteristiğine sahip olduğu anlaşılmaktadır.



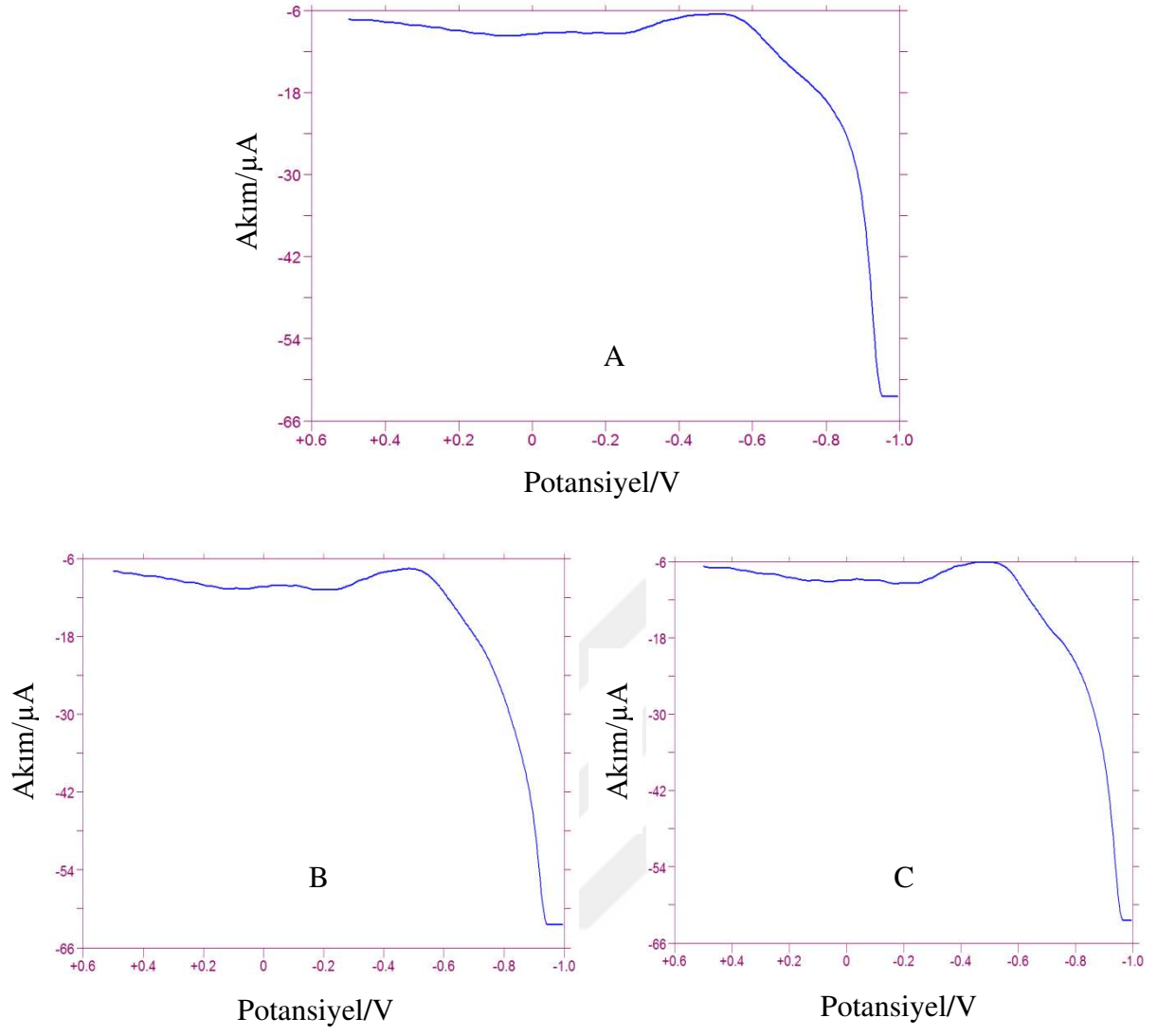
Şekil 4.10: %25 (A), %50 (B), %75 (C) ve %100 (D) TiO₂ kütle oranlarına sahip Film-TiO₂ modifiye Pt elektrotların 80 µL glikoz çözeltisine verdiği DPV yanıtları.



Şekil 4.11: %25 (A), %50 (B), %75 (C) ve %100 (D) TiO_2 kütle oranlarına sahip Film- TiO_2 modifiye Pt elektrotların 80 μL glikoz çözeltisine verdiği karşılaştırmalı DPV yanıtları.

4.6 Çıplak ve Modifiye Elektrotların NaOH Ortamındaki DPV Yanıtları

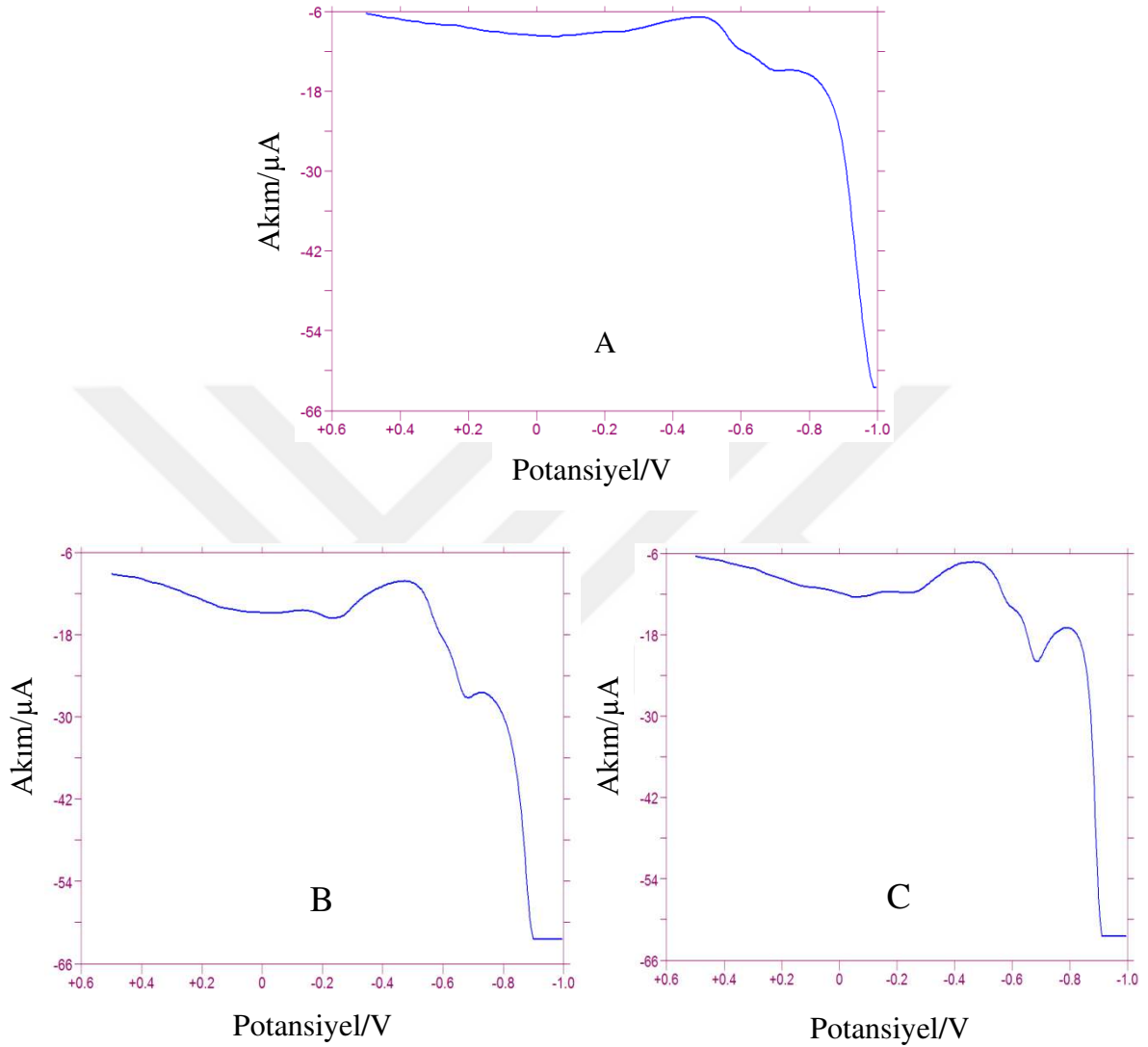
Destek elektrolit ortamında elektrotların elektroaktiviteye sahip olup olmadığını test etmek amacıyla, 0,1 M NaOH ortamında Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film- TiO_2 modifiye elektrotların DPV'leri alınmış (Şekil 4.12) ve elde edilen deneysel bulgulardan, söz konusu çıplak ve modifiye elektrotların bazik ortamda herhangi bir elektroaktivite göstermedikleri gözlenmiştir.



Şekil 4.12: Çıplak Pt elektrot (A), Film modifiye elektrot (B) Optimize Film-TiO₂ modifiye Pt elektrotların 0,1 M NaOH çözeltisindeki DPV yanıtları

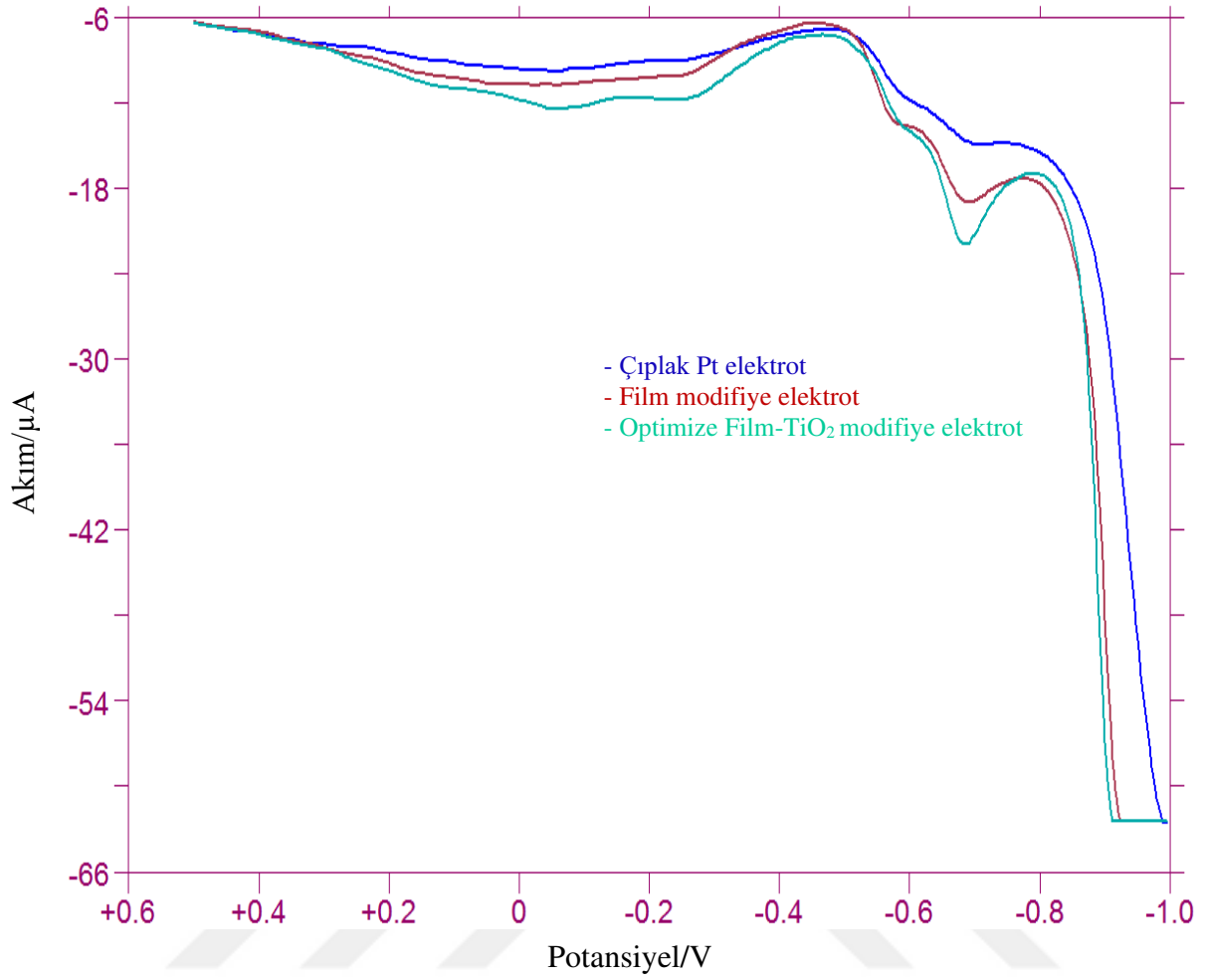
4.7 Çıplak ve Modifiye Elektrotların NaOH Ortamında Glikoz Yanıtları

0.1 M NaOH ortamında Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların 80 µL glikoz çözeltisine yanıtları incelenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Çıplak Pt elektrot (A), Film modifiye elektrot (B) Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların (C) 0,1 M NaOH ortamında 80 µL glikoz çözeltisindeki DPV yanıtları.

Şekil 4.13 incelendiğinde Çıplak Pt ve modifiye elektrotların glikoz çözeltisine karşı duyarlı olduğu görülmüştür.

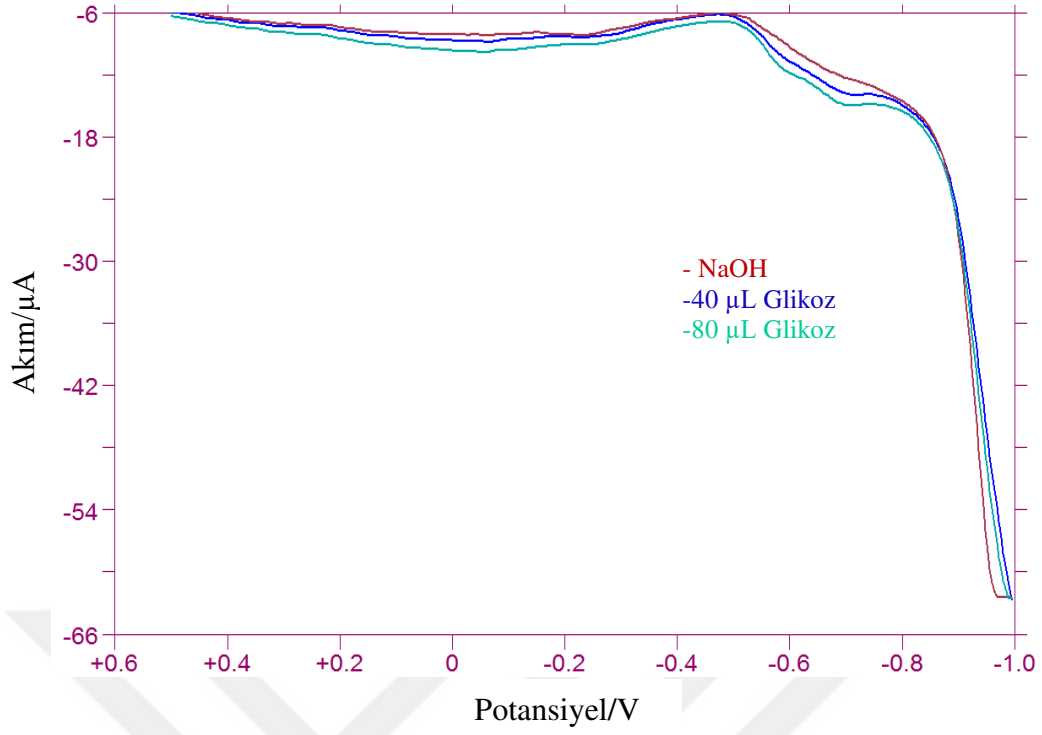


Şekil 4.14: Çıplak Pt elektrot, Film modifiye elektrot ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 μ L glikoz çözeltisine verdiği karşılaştırmalı DPV yanıtları.

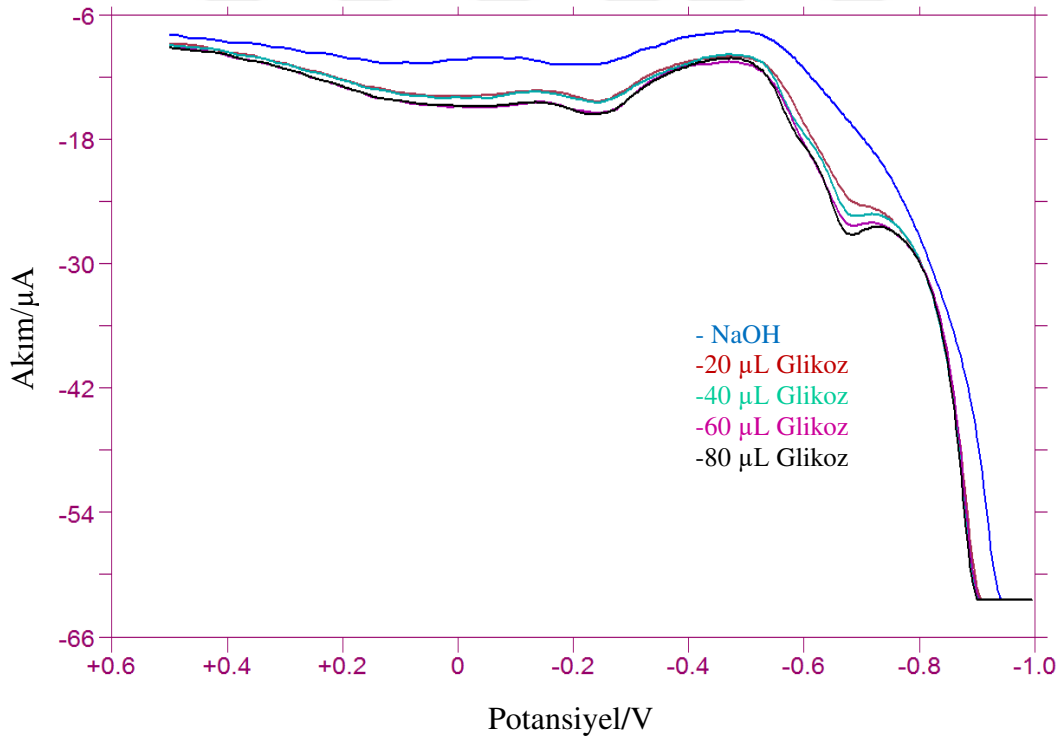
Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere, nanomateryal karakteri sebebiyle TiO₂ içeren modifiye elektrodun glikoza karşı alınan akım yanıtını dramatik bir şekilde artırdığı gözlenmiştir.

4.8 Çıplak ve Modifiye Elektrotların Artan Glikoz Derişimine Verdiği DPV Yanıtları

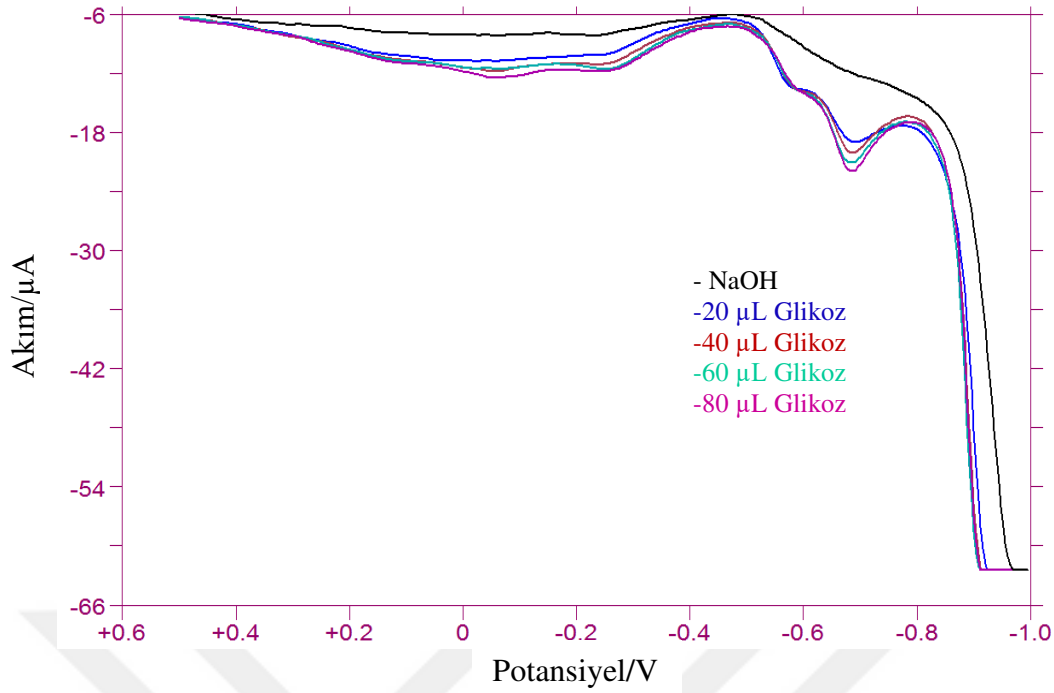
Aşağıda Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların artan glikoz enjeksiyonlarına karşı verdiği amperometrik yanıtlar gösterilmektedir.



Şekil 4.15: Çıplak Pt elektrodun 0,1 M NaOH ortamında artan glikoz enjeksiyonlarına verdiği DPV yanıtları.



Şekil 4.16: Film modifiye elektrodun 0,1 M NaOH ortamında artan glikoz enjeksiyonlarına verdiği DPV yanıtları.

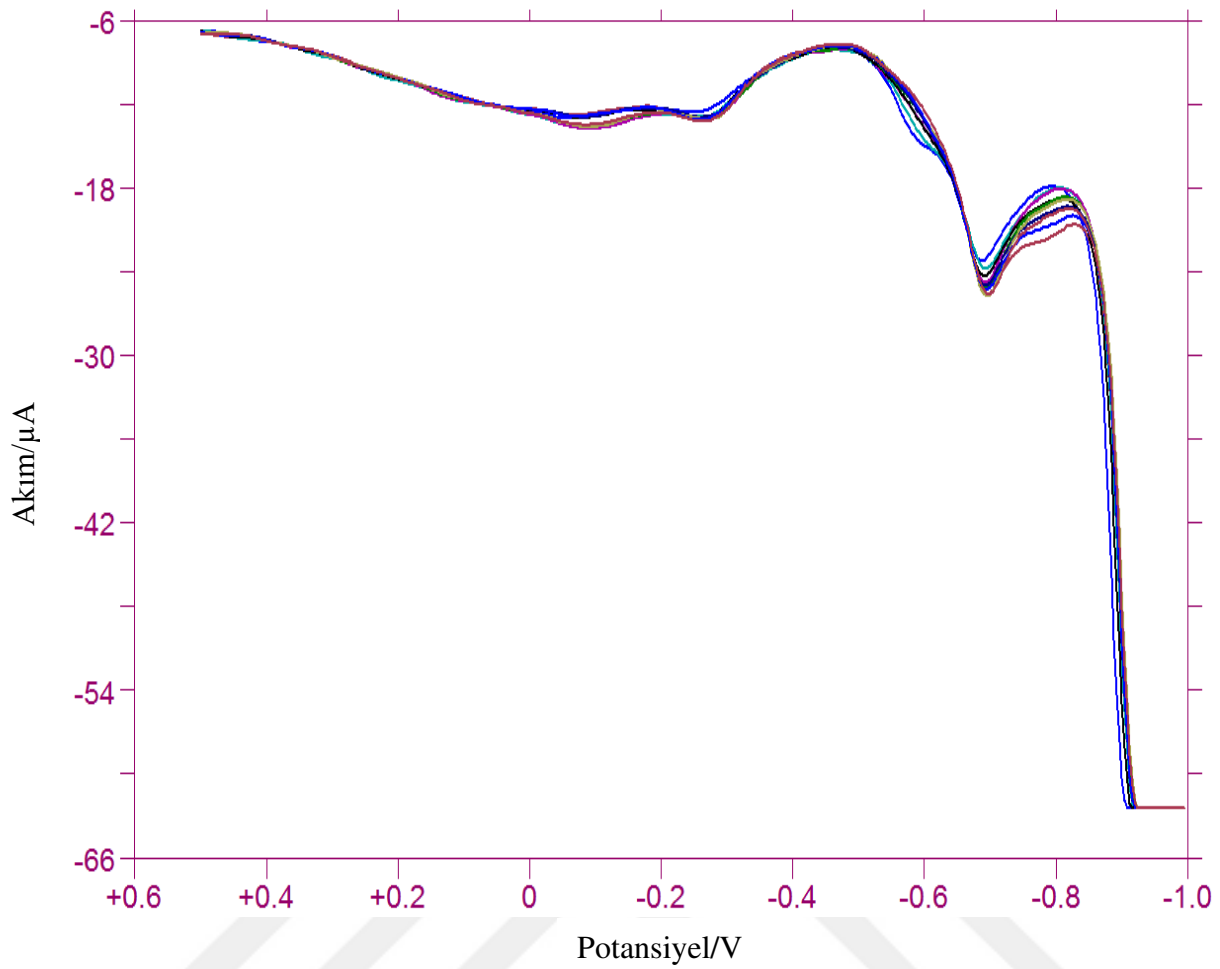


Şekil 4.17: Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun 0,1 M NaOH ortamında artan glikoz enjeksiyonlarına verdiği DPV yanıtları.

Çıplak ve modifiye elektrotların ardıl glikoz enjeksiyonlarına verdikleri yanıtlar incelendiğinde, Çıplak Pt elektrodun küçük ve oldukça geniş yanıtlar verdiği, Film modifiye Pt elektrodun yanıtlarının Çıplak Pt elektroda göre daha belirgin olmakla birlikte geniş olduğu, Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotla elde edilen yanıtların ise hem Film modifiye elektroda hem de doğal olarak Çıplak Pt elektroda kıyasla daha belirgin ve keskin olduğu görülmektedir.

4.9 Optimize Film-TiO₂ Modifiye Elektrodun Tekrarlanabilirliği

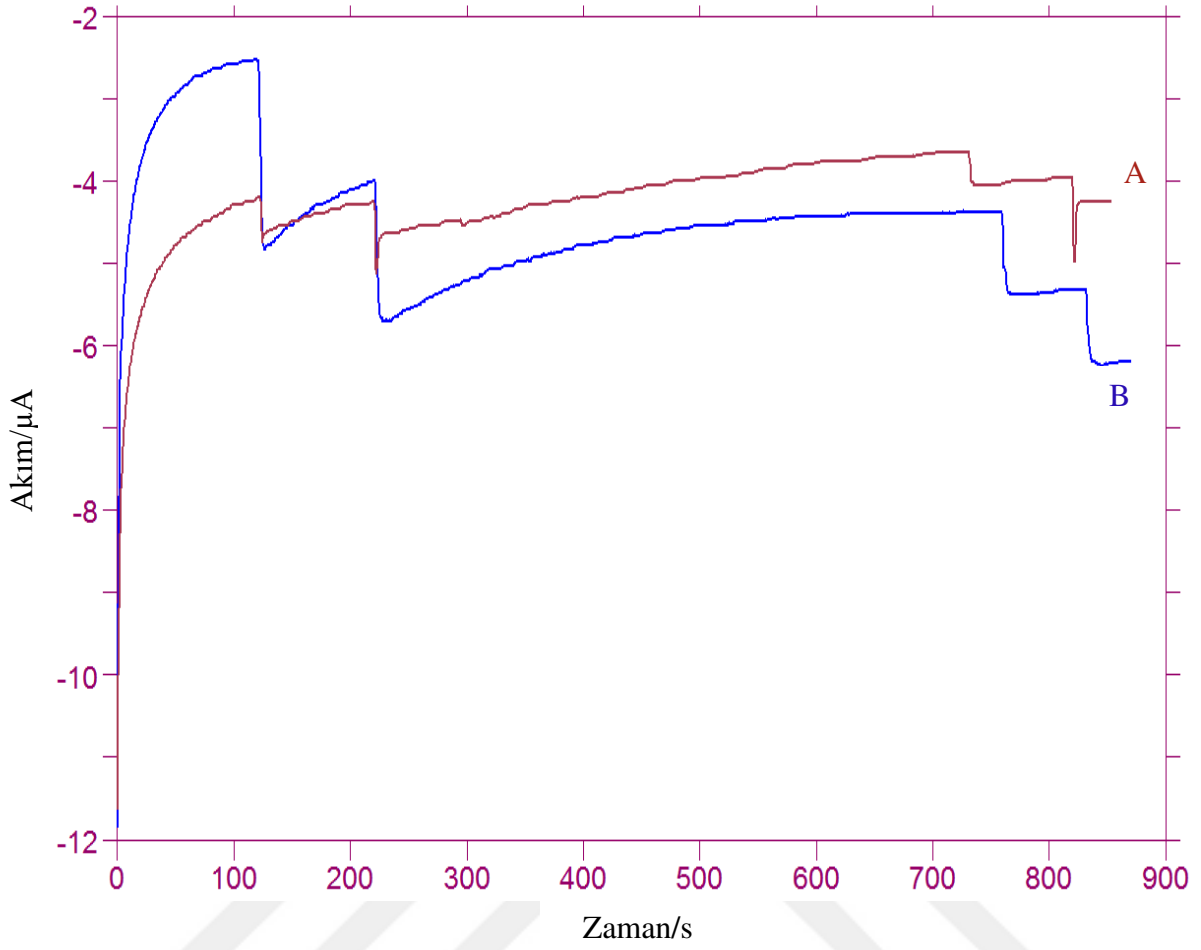
Optimal koşullarda (Elektrot türü: Pt, Organik madde derişimi: 0,01 M, Elektrolit: 0,1 M NaOH, TiO₂ içeriğı: (%75), Film kalınlığı: 5 µL) hazırlanan Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun tekrarlanabilirliğini test etmek için, glikoz derişiminin sabit olduğu ortamda ardıl (on adet) testler yapılmış ve şekil 4.18’de görülen yanıtlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun tatminkâr bir tekrarlanabilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.18: Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun 0,1 M NaOH ortamında sabit derişimli glikoz çözeltisine verdiği ardıl (on adet) DPV yanıtları.

4.10 Optimize Film-TiO₂ Modifiye Elektrodun Seçiciliğı

Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun glikoz seçiciliğinin incelenmesi amacıyla; 0,1 M NaOH ortamında ardıl bir şekilde iki adet glikoz enjeksiyonu, sonrasında elektroaktif (ürik asit, askorbik asit ve okzalik asit) ve elektroinaktif (laktoz, sukroz ve üre) interferant enjeksiyonları ve ardından yine iki adet glikoz enjeksiyonları yapılmış ve 0,8 V sabit potansiyelde elde edilen Time Base yanıtları aşağıdaki şekilde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

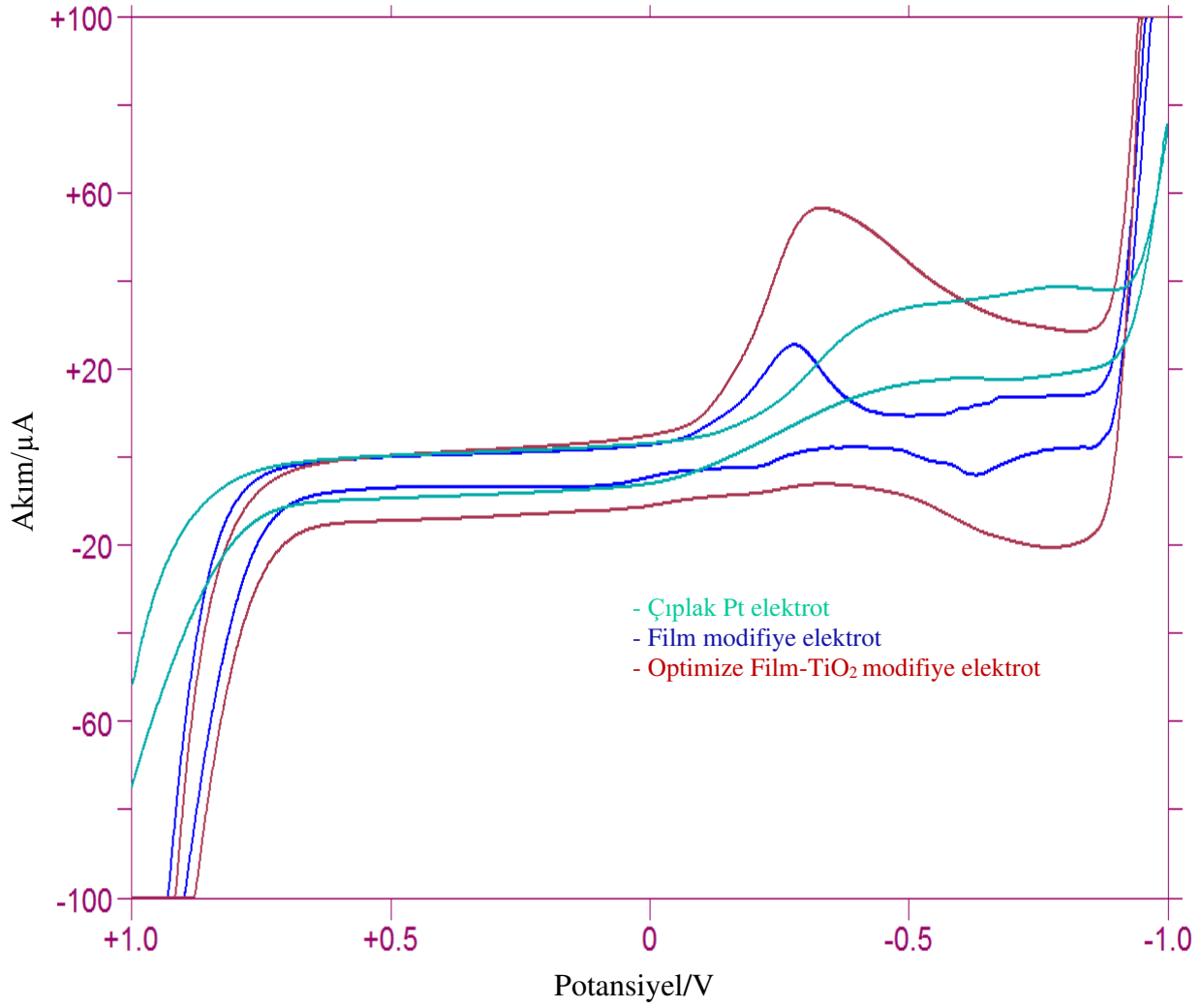


Şekil 4.19: Film modifiye elektrot (A), Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrot (B). İçin Seçicilik

Her iki elektrot için; ilk iki ve son iki enjeksiyon glikoza ait olup, aradaki enjeksiyonlar ise sırasıyla ürik asit, okzalik asit, askorbik asit, laktoz, sukroz ve üreye aittir. Çözelti konsantrasyonları: Glikoz; 0.1 M, Ürik asit; 1×10^{-4} M, Okzalik asit; 4.89×10^{-5} M, Askorbik asit; 2.5×10^{-5} M. Laktoz, Sukroz ve Üre (0.001 M) olup tüm enjeksiyonlar 100 μ L dir.

4.11 Elektrotların CV Yanıtları

Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların 0.1 M NaOH içerisindeki CV yanıtları aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 4.20).

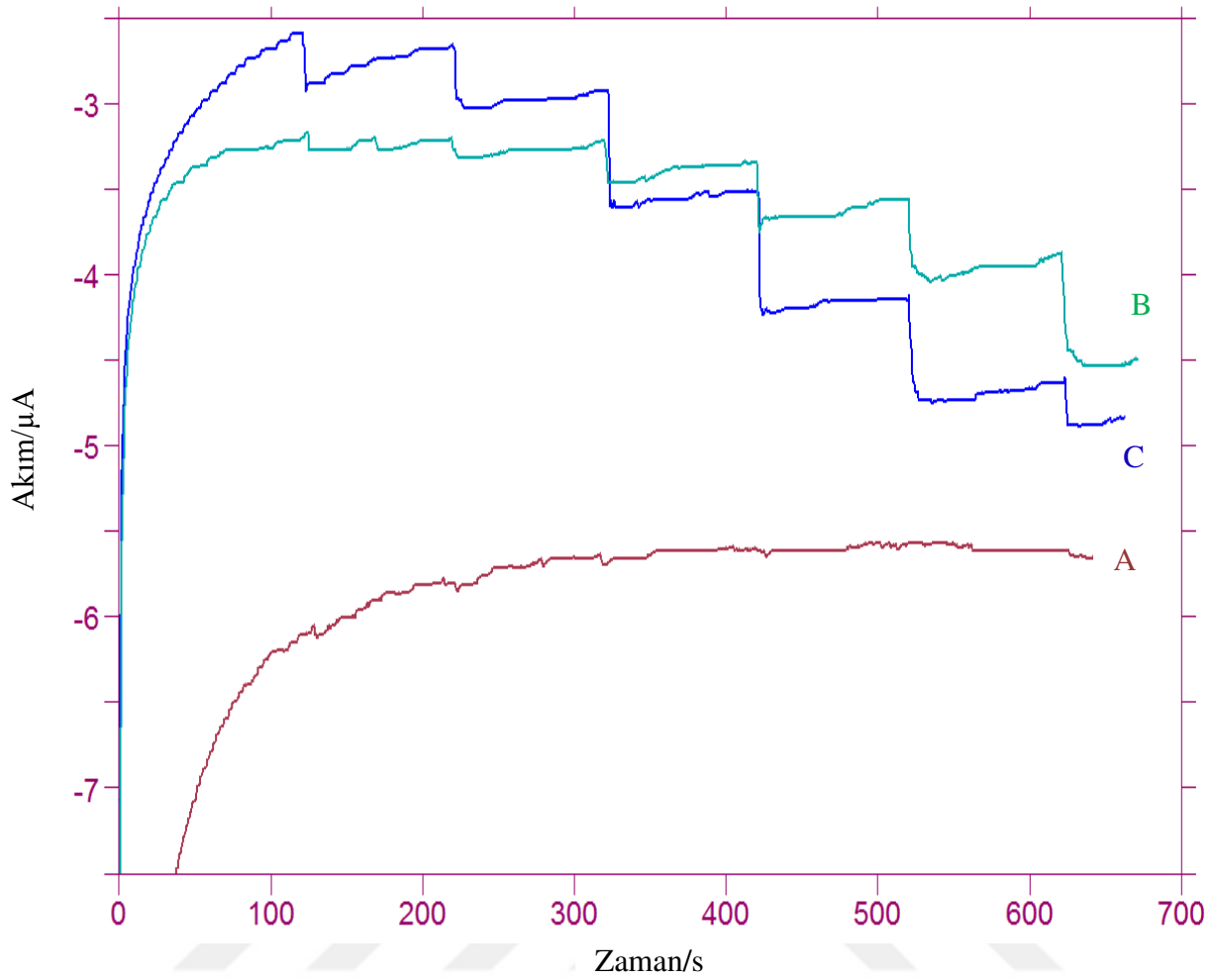


Şekil 4.20: Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların 0,1 M NaOH ortamında 80 µL glikoz çözeltisine verdiği CV yanıtları.

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere, Çıplak Pt elektrotla belirgin yanıt alınamadığı, Film modifiye Pt elektrotla kıyaslandığında, Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun yanıtının oldukça tatminkâr olduğu gözlenmiştir.

4.12 Elektrotların Artan Glikoza Verdiği Time Base Yanıtları

0.1 M NaOH içerisinde Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların 0,8 V sabit potansiyelde artan glikoz derişimlerine verdiği yanıtlar Time Base tekniğiyle incelenmiş ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.21).

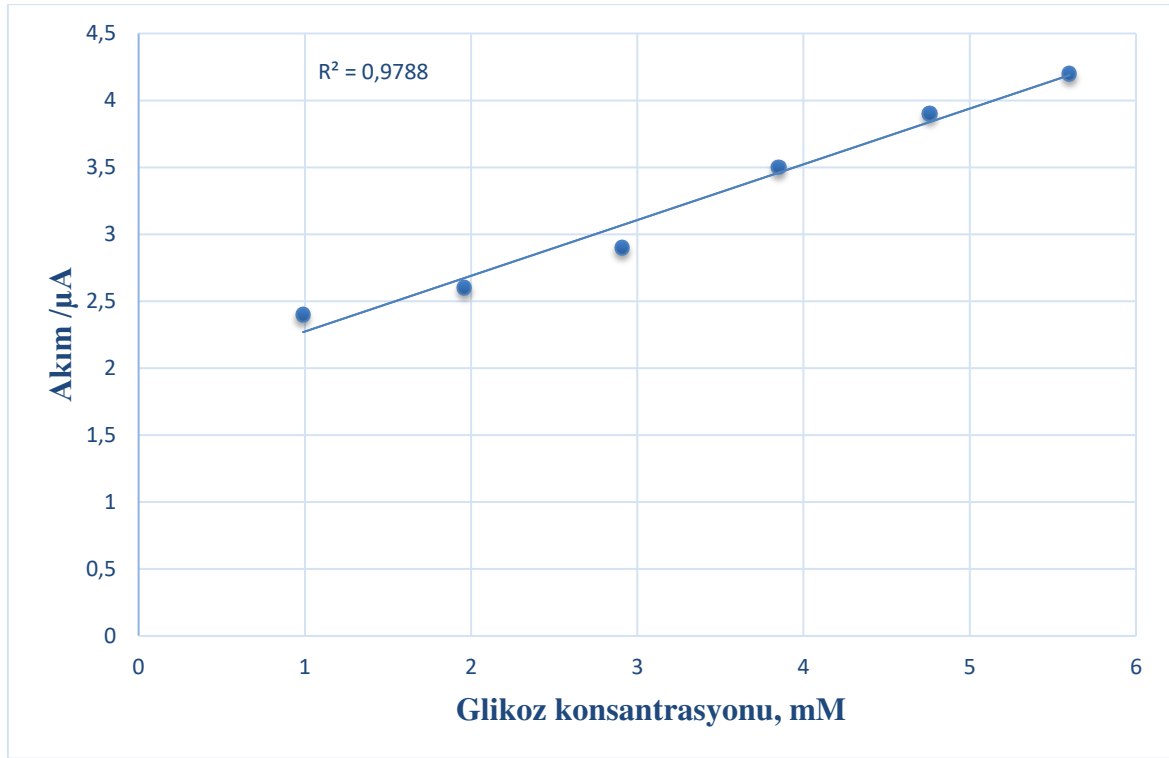


Şekil 4.21: 0,1 M NaOH ortamında; Çıplak Pt elektrot (A), Film modifiye elektrot (B) ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların (C) glikoz enjeksiyonlarına verdiği yanıtlar. (Her üç elektrot için 120. sn'den başlayarak her 100 sn'de bir 100 μ L glikoz enjeksiyonları yapılmıştır).

Elde edilen sonuçlardan, Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun ardıl glikoz enjeksiyonlarına verdiği amperometrik akımların Film modifiye elektroda göre çok daha büyük ve keskin olduğu görülmektedir.

4.13 Optimize Film-TiO₂ Modifiye Elektrodun Glikoz İçin Kalibrasyon Grafiği

Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun artan glikoz derişimine karşı verdiği yanıtlardan elde edilen kalibrasyon grafiğinden (Şekil 4.22) görüleceği üzere, söz konusu elektrodun yaklaşık 1-6 mM glikoz derişimi aralığında doğrusal bir yanıt karakteristiğine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22: Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun glikoz için kalibrasyon grafiği.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde glikoz tayini genellikle bir oksido-redüktaz enzimi olan glikoz oksidaz aracılığıyla yapılmaktadır. Maliyet, izolasyon, denatürasyon, pH ve sıcaklığa karşı duyarlılık, matriks içerisinde çözelti ortamına difüzyon gibi dezavantajlar, enzimlerin bu amaçla kullanımını sınırlayan önemli faktörlerdir.

Enzimlerin bu dezavantajlarının yenilmesi amacıyla son zamanlarda modifiye elektrotların alkali ortamdaki glikozun doğrudan (enzimsiz) tayinine yönelik kullanımı ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada; elektrot yüzeyinin modifikasyonu amacıyla metal katkılı organik kompleks olan Kloro-bis (1-bütül-3-((7,8-dimetil-2H-kromen-2-on-4-il)metil- η^2 -3,4-C)imidazol-2-iliden) rodyum(I) bileşiği kullanılmıştır. Sensör tasarımında; elde edilecek olan sensörün yanıt karakteristiklerini etkileyebilecek faktörlerden; elektrolit tipi, modifiye bileşiğin derişimi, film kalınlığı, ve nanomateriyal bileşimi sistematik bir yaklaşımla incelenmek suretiyle her bir parametre optimize edilmiştir. Optimizasyon sonucunda, incelenen KCl, PBS ve NaOH destek elektrolitlerinden en uygun olan elektrolitin literatürle uyumlu olarak NaOH olduğu, metal katkılı organik kompleks derişiminin 0,01 M, film kalınlığının 5 μ L, kullanılan platin, altın ve camısı karbon elektrotlardan en tatminkâr yanıtın platin elektrotla elde edildiği ve nanomateriyal bileşiminin ise % 75 olduğu tespit edilmiştir. Sözü edilen bu optimal şartlar altında hazırlanan optimize glikoz sensörün; seçicilik, tekrarlanabilirlik, doğrusallık ve yanıt süresi gibi sensör karakteristikleri irdelenmiştir. Çalışmalar genel olarak; Çıplak Pt, Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotlar kullanılarak yapılmış ve bu üç elektrot için elde edilen deneysel bulgular birbirleriyle karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur.

Sonuç olarak; bazik ortamda glikozun doğrudan elektrooksidasyonunda elektrot olarak Çıplak Pt elektrodun kullanılamayacağı, Film modifiye elektrot kullanıldığında glikoza karşı düzenli yanıtlar alınmış olsa da, Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun glikoza karşı yanıt karakteristiklerinin çok daha iyi olduğu saptanmıştır. Buradan, film matriksi içerisinde kullanılan TiO₂ nanomateriyalinin elektroaktif yüzey alanı sebebiyle organik kompleksin elektroaktivitesine katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Ayrıca optimize sensörün, elektroaktif (ürik asit, okzalik asit ve askorbik asit) ve elektroainaktif (laktoz, sukroz ve üre) interferantlar varlığında glikoza yanıt vermesi, duyarlılığının yüksek ve yanıt süresinin kısa (<3 sn) olması önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Bulgular bir bütün olarak ele alındığında, Film modifiye ve Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrotların her ikisinin de glikoza karşı duyarlı modifiye elektrotlar olduğu, özellikle Optimize Film-TiO₂ modifiye elektrodun enzimsiz (non-enzymatic) glikoz sensör tasarımında kullanılabilecek potansiyele sahip olduğu söylenebilir.



6. KAYNAKLAR

Aksoy, B., Köytepe, S., Ateş, B., & Seçkin, T. (2016). Biyosensörlerin Hazırlanmasında Poliüretan Membranlar. *Putech & Composites*, 8(30), 12-18.

Aktaş, U., Özel, A. D., Kaftanoğlu, S. İ., & Duran, S. T. (2024). Potansiyometrik Tiyosiyanat Tayini için Hazırlanan Yeni Bir Katı-Temaslı Nanokompozit Elektrot. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 386-399.

Bard, A. J., Faulkner, L. R., & White, H. S. (2022). *Electrochemical methods: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.

Bard, A. J., Inzelt, G., & Scholz, F. (Eds.). (2012). *Electrochemical dictionary*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Baytak, A. K., & Aslanoğlu, M. (2017). Sensitive determination of capsaicin in pepper samples using a voltammetric platform based on carbon nanotubes and ruthenium nanoparticles. *Food chemistry*, 228, 152-157.

Cano, M., Luis Ávila, J., Mayén, M., Mena, M. L., Pingarrón, J. ve Rodríguez-Amaro, R. (2008). A new, third generation, PVC/TTF-TCNQ composite amperometric biosensor for glucose determination. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 615(1), 69–74.

Clark, L. C. ve Lyons, C. (1962). Electrode systems for continuous monitoring in cardiovascular surgery. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 102(1), 29–45.

Deng, S., Jian, G., Lei, J., Hu, Z. ve Ju, H. (2009). A glucose biosensor based on direct electrochemistry of glucose oxidase immobilized on nitrogen-doped carbon nanotubes. *Biosensors and Bioelectronics*.

Dündar, E. (2019). Nörotransmitterlerin tayini için GC, CPE ve PGE elektrotların sensör elektrotlar olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi. (Doktora tezi), Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

Glasstone, S. (2011). *An introduction to electrochemistry*. Read Books Ltd.

Guilbault, G. G. ve Lubrano, G. J. (1973). An enzyme electrode for the amperometric determination of glucose. *Analytica Chimica Acta*, 64(3), 439–455.

Guimard, N. K., Gomez, N., & Schmidt, C. E. (2007). Conducting polymers in biomedical engineering. *Progress in polymer science*, 32(8-9), 876-921.

Hasan, D. A. (2019). Error Estimation In Glucose Testing Among Private And Public Medical Laboratories In Kalar District. *Journal of Garmian University*, 6(SCAPAS Conference), 84-88.

Heller, A., & Feldman, B. (2008). Electrochemical glucose sensors and their applications in diabetes management. *Chemical reviews*, 108(7), 2482-2505.

<https://www.palmsens.com/knowledgebase-article/cyclic-voltammetry-what-is-a-cyclic-voltammogram/>

Icardo, M. C., Misiewicz, M., Ciucu, A., Mateo, J. G., & Calatayud, J. M. (2003). FI-on line photochemical reaction for direct chemiluminescence determination of photodegraded chloramphenicol. *Talanta*, 60(2-3), 405-414.

Ji-Young, S., Soo-Jung, H., Joo, H. J., Mi-Ok, K., Joung-Boon, H., Yoon-Jung, H., ... & Dae-Hyun, C. (2011). Determination of penicillins residues in livestock and marine products by LC/MS/MS. *World academy of science, engineering and technology*, 57, 809-811.

Karataş, M. O. (2017). Yeni kumarin bileşiklerinin sentezi, karakterizasyonu ve özelliklerinin incelenmesi. (Doktora tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya

Keyes, T. E., & Forster, R. J. (2007). Handbook of Electrochemistry. Handbook of Electrochemistry.

Kolthoff, I. M., & Lingane, J. J. (1939). The Fundamental Principles and Applications of Electrolysis with the Dropping Mercury Electrode and Heyrovský's Polarographic Method of Chemical Analysis. *Chemical Reviews*, 24(1), 1-94.

Kurşun Ayazlı, S. (2016). Bazı iletken polimerik nanokompozit modifiye elektrotların hazırlanması ve DNA baz tayininde kullanılabilirliğinin incelenmesi. (Doktora tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya

Kurşun, S. (2010). *Bazı fenol türevli elektropolimerik filmlerin ürik asit seçiciliğinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya

Kuyumcu Savan, E. (2016). Bazı iletken polimer elektrotlar ile yeni elektrokimyasal sensörlerin hazırlanması ve ilaç etken maddelerine uygulanması. . (Doktora tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Malatya

Martinez, M. G., Elsaddik, M., & Nzihou, A. (2023). Monitoring, analysis, and quantification of hydrogen from biomass and biowaste: A review.

Niu, X., Li, X., Pan, J., He, Y., Qiu, F., Yan, Y., (2016). *RSC Adv.* 6, 84893–84905.

Privett, B. J., Shin, J. H., & Schoenfisch, M. H. (2010). Electrochemical sensors. *Analytical Chemistry*, 82(12), 4723-4741.

Ronkainen, N. J., Halsall, H. B., & Heineman, W. R. (2010). Electrochemical biosensors. *Chemical Society Reviews*, 39(5), 1747-1763.

Serbest, Z (2022). İrozın ve serotonin tayini için grafen esaslı elektrokimyasal sensör geliştirilmesi (Yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Shendurse, A. M., & Khedkar, C. D. (2016). Glucose: properties and analysis. *Encyclopedia of food and health*, 3, 239-247.

Simões, F. R., & Xavier, M. G. (2017). Electrochemical sensors. *Nanoscience and its Applications*, 1, 155-178.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, A. T. (1998). "Principles of instrumental analysis",--, saunders Collegepublishing.

Taherpour, A. A., & Mousavi, F. (2018). Carbon nanomaterials for electroanalysis in pharmaceutical applications. In *Fullerens, graphenes and nanotubes* (pp. 169-225). William Andrew Publishing.

Taşkin, İ. (2020). *Florfenikol antibiyotiğinin tayini için voltametrik sensörlerin geliştirilmesi ve analitik uygulamaları*. (Yüksek lisans tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya

Vergilio, C. S., Moreira, R. V., Carvalho, C. E. V., & Melo, E. J. T. (2013). Histopathological effects of mercury on male gonad and sperm of tropical fish *Gymnotus carapo* in vitro. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 1, p. 12004). EDP Sciences.

Wang, K.F., Zhuang, R.R., (2017). *Inorg. Chim. Acta* 461, 1–7.

Yaşar, F. (2020) Glikoz elektrooksidasyonu için farklı kaplamaların kullanımı. (Yüksek lisans tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya

Zoski, C. G. (Ed.). (2006). *Handbook of electrochemistry*. Elsevier.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyadı: Emine Sümeyye SAYİM

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü
- **Yüksek Lisans** : Devam ediyor, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizikokimya Kimya Anabilim Dalı

GÖREV ALDIĞI PROJELER

- Dış Cephe Kaplamada Kullanılabilir Uzun Ömürlü, Mermer Tozu Katkılı, Kompozit Plaka Üretimi, Üniversite-Sanayi İş birliği TÜBİTAK TEYDEP PROJESİ, Yürütücü ERDEMOĞLU Sema, Bursiyer SAYİM Sümeyye Emine, 01/05 /2023-30 /10/2024

TEZLER VE SEMİNERLER

- Polianilin ve Kullanım Alanları