

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CANLI ORTAMDA BLOKLAMADA TRİPOLAR ELEKTRODLARIN  
POLARİTESİNİN ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra ŞAHİN**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Rohat MELİK**

**ARALIK 2018**

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylıyorum.

.....  
**Doç. Dr. Tolga GİRİCİ**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 151211044 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Büşra ŞAHİN**'in ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**CANLI ORTAMDA BLOKLAMADA TRİPOLAR ELEKTRODLARIN POLARİTESİNİN ETKİSİ**" başlıklı tezi **11 Aralık 2018** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Yrd. Doç. Dr. Rohat MELİK** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Hamza KURT (Başkan)** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Çağlar ELBÜKEN** .....  
Bilkent Üniversitesi

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.



Büşra Şahin

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### CANLI ORTAMDA BLOKLAMADA TRİPOLAR ELEKTRODLARIN POLARİTESİNİN ETKİSİ

Büşra Şahin

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Rohat Melik

Tarih: Aralık 2018

Elektriksel bloklama, diğer bloklama yöntemlerine göre birçok avantaja sahip; akut ve kronik ağrı, kas spastisitesi ile ilişkili durumlar ve kalp yetmezliği gibi birçok tıbbi sorun için yeni tedavi olanakları vaat eden yeni bir tekniktir. DC akım uygulaması, voltaj kapılı sodyum kapılarını kapatıp inaktive eden bir bloklama yöntemidir. Fakat DC akımı sinir ve elektrotta hasara neden olabilir. Bu hasarı engellemek için mümkün olan en düşük akımı kullanmak önemlidir. Bu amaçla, daha geniş temas yüzey alanı elde etmemizi sağlayan tripolar elektrotlar kullandık ve en etkin polarizasyon kombinasyonunu araştırdık.

Canlı ortamda bloklamayı incelemek için kurbağa siyatik sinirini ve gastroknemius kasını kullandık. Öncelikle AC akımı uygulayarak siniri uyardık ve force transducer yardımıyla gastroknemius kasının kasılmalarını kaydettik. Daha sonra, kasın hareketinin durduğu nokta olan full bloklamaya ulaşınca kadar artırarak DC akım uyguladık. En etkili polarizasyon kombinasyonunu belirleyebilmek için; farklı polarizasyon kombinasyonlarında aynı prosedürü tekrar ettik. Proksimalden siyatik sinirin distaline kadar uzanan (- + +) polarizasyonunun, aksiyon potansiyeli iletimini en etkin şekilde blokladığını gözlemledik. (- - +), (- + -), (+ - +), (+ - -), (+ + -)

kombinasyonları sırasıyla sonraki verimli sonuçları verdi. Bu bulgular DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönüyle açıklanabilir. Akım pozitif kutuptan negatife doğru hareket ettikçe, (- + +) kombinasyonunda bloklama akımı aksiyon potansiyeli akımına terstir. Bu durum, sodyum kanallarının inaktivasyonu ile birlikte bloklamayı teşvik eder. (+ + -) kombinasyonunda, bloklama akımının yönü aksiyon potansiyeliyle aynıdır; bu da bloklamayı zorlaştırır.

Sonuç olarak (- + +) kombinasyonunun DC akım ile elektriksel bloklama için en etkili üçlü kombinasyon olduğunu görüyoruz. Bu teknik bloklama ile ilgili gelecekteki çalışmalarda kullanılabilir, çünkü bloklama akımını ve dolayısıyla sinir hasarını en aza indirir.

**Anahtar Kelimeler:** DC akım, Elektriksel bloklama, Polarizasyon, Üçlü elektrot.

## ABSTRACT

Master of Science

EFFECT OF THE POLARIZATION OF TRIPOLAR ELECTRODES ON *IN-VIVO*

ELECTRICAL NERVE BLOCK

Büşra ŞAHİN

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Electrical and Electronics Engineering Programme

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Rohat MELİK

Date: December 2018

Electrical nerve block is an emerging technique that has many potential advantages over other blocking methods and promise novel treatment opportunities for several medical problems such as acute and chronic pain, conditions associated with muscle spasticity, and heart failure. Applying DC current is one approach to produce nerve block through closing the inactivation gates of voltage gated sodium ion channels. However, DC current can cause damage both to the nerve and electrode, therefore it is crucial to use the lowest current possible for blocking. For this purpose, we used tripolar electrodes as it enables us to obtain larger contact surface area and we investigated the most effective combination of polarization.

We used frog sciatic nerve/gastrocnemius preparation to examine nerve conduction block *in-vivo*. First we stimulated the nerve by applying AC current and recorded the contractions of the gastrocnemius muscle with the help of the force transducer. Then we applied incrementing DC current until reaching full blocking, the point where the muscle contractions stop. We, then, repeated the same procedure in different

polarization combinations in order to determine the most effective configuration. Using this method, we observed (- + +) polarization, from proximal side to distal side of the sciatic nerve, enables us to block the action potential conduction most efficiently. (- - +), (- + -), (+ - +), (+ - -), (+ + -) configurations respectively give the subsequent efficient results. These findings can be explained by the direction of the blocking DC current created by the electrode. In (- + +) case, as current goes from positive to negative pole, the blocking current opposes the action potential current. This condition promotes the conduction blocking along with the inactivation of the sodium channels. In (+ + -) state, however; the direction of blocking current is same with the action potential, which makes it harder to achieve full blocking since blocking only depends on closure of inactivation gates.

In conclusion, we find the (- + +) polarization is the most effective tripolar configuration for electrical nerve block with DC current. This technique can be used in future studies on nerve conduction blocking because it minimizes the blocking current, hence; nerve damage.

**Keywords:** Direct current, Electrical nerve block, Polarization, Tripolar electrode.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Rohat Melik'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, büyük fedakarlıklar göstererek deney arkadaşım ve her anlamda en büyük destekçim olan eőim Hasan Şahin'e, grup arkadaşlarım Betül Erol, Zafer Soybaş, Sefa Şimşek ve Esra Nur Şimşek'e, çalıőmalarımızı destekleyen TUBİTAK'a ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

Burs sağladığı için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi' ne ayrıca teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESİM LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	2
1.2.1 Sinir sistemi mekanizması .....	2
1.2.1.1 İstirahat membran potansiyeli ve oluşumu .....	3
1.2.1.2 Aksiyon potansiyeli ve oluşumu .....	3
1.2.2 Fonksiyonel elektriksel stimülasyon ve önemi .....	4
1.2.3 Bloklama ve önemi .....	5
<b>2. METOTLAR</b> .....	<b>7</b>
2.1 Anestezik İlacın Hazırlanması .....	7
2.2 Deney Hayvanının Hazırlanması .....	7
2.3 Deney Düzenegi.....	7
<b>3. DENEYSEL SONUÇLAR</b> .....	<b>9</b>
3.1 (- + +) kombinasyonu ile (+ - -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	10
3.2 (- + +) kombinasyonu ile (+ - +) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	13
3.3 (- + +) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	15
3.4 (- - +) kombinasyonu ile (+ - -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	19
3.5 (- - +) kombinasyonu ile (+ - +) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	21
3.6 (- - +) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	24
3.7 (- + -) kombinasyonu ile (+ - -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	28
3.8 (- + -) kombinasyonu ile (+ - +) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	31
3.9 (- + -) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	33
3.10 (+ - +) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	37
3.11 (+ - +) kombinasyonu ile (+ - -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	40
3.12 (+ - -) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	42
3.13 (- + +) kombinasyonu ile (- + -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	45
3.14 (- + +) kombinasyonu ile (- - +) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	47
3.15 (- - +) kombinasyonu ile (- + -) kombinasyonunun karşılaştırılması .....	50
<b>4. SONUÇ</b> .....	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>57</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>61</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Hücre zarının (membran) yapısı .....	2
Şekil 1.2: Aksiyon potansiyeli evreleri .....	3
Şekil 1.3: Bloklama mekanizması .....	4
Şekil 1.4: Bloklamanın olmadığı durum (a) ve bloklamanın olduğu durum (b) .....	6
Şekil 2.1: Deney düzeneği.....	8
Şekil 3.1: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	11
Şekil 3.2: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	11
Şekil 3.3: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	12
Şekil 3.4: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	12
Şekil 3.5: (- + +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	13
Şekil 3.6: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	13
Şekil 3.7: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklı yönü ve değeri.....	14
Şekil 3.8: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	14
Şekil 3.9: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	15
Şekil 3.10: (- + +) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	15
Şekil 3.11: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu.....	16
Şekil 3.12: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	16
Şekil 3.13: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu.....	17
Şekil 3.14: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	17
Şekil 3.15: (- + +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	18
Şekil 3.16: (- + +) kombinasyonu ile (+ - -), (+ - +), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması .....	18
Şekil 3.17: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	19
Şekil 3.18: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	19
Şekil 3.19: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	20
Şekil 3.20: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	20
Şekil 3.21: (- - +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	21
Şekil 3.22: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	22
Şekil 3.23: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	22
Şekil 3.24: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu.....	23
Şekil 3.25: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	23
Şekil 3.26: (- - +) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	24
Şekil 3.27: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	25
Şekil 3.28: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	25
Şekil 3.29: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu.....	26
Şekil 3.30: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	26
Şekil 3.31: (- - +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	27

Şekil 3.32: (- - +) kombinasyonu ile (+ - -), (+ - +), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması.....	28
Şekil 3.33: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	29
Şekil 3.34: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	29
Şekil 3.35: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	30
Şekil 3.36: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	30
Şekil 3.37: (- + -) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği.....	31
Şekil 3.38: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	31
Şekil 3.39: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	32
Şekil 3.40: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	32
Şekil 3.41: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	33
Şekil 3.42: (- + -) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği.....	33
Şekil 3.43: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	34
Şekil 3.44: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	34
Şekil 3.45: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	35
Şekil 3.46: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	35
Şekil 3.47: (- + -) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği.....	36
Şekil 3.48: (- + -) kombinasyonu ile (+ - -), (+ - +), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması.....	36
Şekil 3.49: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	37
Şekil 3.50: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	38
Şekil 3.51: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	38
Şekil 3.52: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	39
Şekil 3.53: (+ - +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği.....	39
Şekil 3.54: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	40
Şekil 3.55: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	40
Şekil 3.56: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	41
Şekil 3.57: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	41
Şekil 3.58: (+ - +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği.....	42
Şekil 3.59: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	42
Şekil 3.60: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	43
Şekil 3.61: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	43
Şekil 3.62: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	44
Şekil 3.63: (+ - -) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği.....	44
Şekil 3.64: (+ - +), (+ - -), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması.....	45
Şekil 3.65: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	45
Şekil 3.66: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	46
Şekil 3.67: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	46
Şekil 3.68: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	47
Şekil 3.69: (- + +) ve (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği.....	47
Şekil 3.70: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	48
Şekil 3.71: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri .....	48
Şekil 3.72: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	49

Şekil 3.73: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	49
Şekil 3.74: (- + +) ve (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	50
Şekil 3.75: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	51
Şekil 3.76: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	51
Şekil 3.77: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu .....	52
Şekil 3.78: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri.....	52
Şekil 3.79: (- - +) ve (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği .....	53
Şekil 3.80: (- + +), (- - +), (- + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması .....	53
Şekil 4.1: Tüm üçlü polarite kombinasyonlarının karşılaştırılması .....	55



## KISALTMALAR

- FES** : Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon  
**HFAC** : Yüksek Frekanslı Alternatif Akım  
**AP** : Aksiyon Potansiyeli  
**AC** : Alternatif Akım  
**DC** : Doğru Akım  
**V<sub>m</sub>** : Membran Potansiyeli



## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

$\text{Na}^+$

Sodyum

$\text{K}^+$

Potasyum

$\text{Ca}^{2+}$

Kalsiyum

$V_s$

Uyarım Voltajı

$f$

Frekans

$n$

Deney tekrar sayısı

$t_p$

Dürtü zamanı

## RESİM LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Resim 1.1: Fonksiyonel elektriksel stimülasyon uygulaması .....	5
Resim 3.1: Elektrodların konumu .....	9
Resim 3.2: Elektriksel bloklamada neden düşük akım olmalı .....	10







## 1. GİRİŞ

Sinir sistemi hastalıkları çok sayıda insanın yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Motor korteksten sinir-kas kavşağına uzanan yolakların herhangi bir noktasında meydana gelen bozukluk, istemli kas hareketinin kaybıyla sonuçlanan felç durumuna yol açmaktadır. Fonksiyonel Elektrik Stimülasyonu (FES), felçli hastalarda motor nöron aktivasyonu üzerinden kas uyarılmasını sağlamak ve hareket elde etmek için uzun süredir geliştirilmekte olan/kullanılan bir yöntemdir [1]. Fakat FES ile sinir aktivasyonu kesin olarak lokalize edilemediğinden çevredeki nosiseptif afferent liflerde istenmeyen uyarımlar meydana getirerek ağrı hissine neden olabilmektedir. Bu istenmeyen uyarımlar bloklama yöntemiyle engellenebilir. Ayrıca kas spazmları, spastisite, kore gibi bazı sinirsel rahatsızlıkların tedavisinde de bloklama yöntemi kullanılabilir. Basınç değişimi [2], lokal sıcaklık düşmesi [3] ve farmakolojik yöntemler [4] bloklamada kullanılabilir olmasına rağmen, bu yöntemlerin hiçbiri elektriksel bloklama kadar hızlı ve anında tersine çevrilebilir değildir [5]. Elektriksel bloklama anında durdurulup tekrar bloklanabilirken, diğer bloklama yöntemlerinde bu geçiş zaman almaktadır. Elektriksel bloklamada yüksek frekanslı alternatif akım (HFAC) ve doğru akım (DC) kullanılabilir. HFAC ile bloklamanın dezavantajı başlangıcında sinirde yoğun bir ateşleme patlamasından oluşan başlangıç tepkisi oluşturmaktır ve bu durum HFAC ile bloklamanın klinik uygulamasında önemli bir engeldir [6]. Bununla birlikte DC akımın bloklama için uzun süre uygulanması sinir dokusunda hasara neden olmaktadır. Geniş yüzey alanlı elektrotlar; sinir dokusunda hasara yol açmadan, DC akım ile bloklama için umut vermektedir [1]. Ayrıca DC akımın düşük seviyede olması sinir dokusuna hasarı yok etmektedir.

### 1.1 Tezin Amacı

DC akım ile bloklama yapılırken, yüksek değerdeki akım sinir dokusuna zarar verir. Bloklama akımı elektrottaki polarite değişimi, elektrot metaryeli, elektrot yüzey alanı[1] gibi fiziki etmenlerden etkilenmektedir. Biz çalışmamızda DC akımı

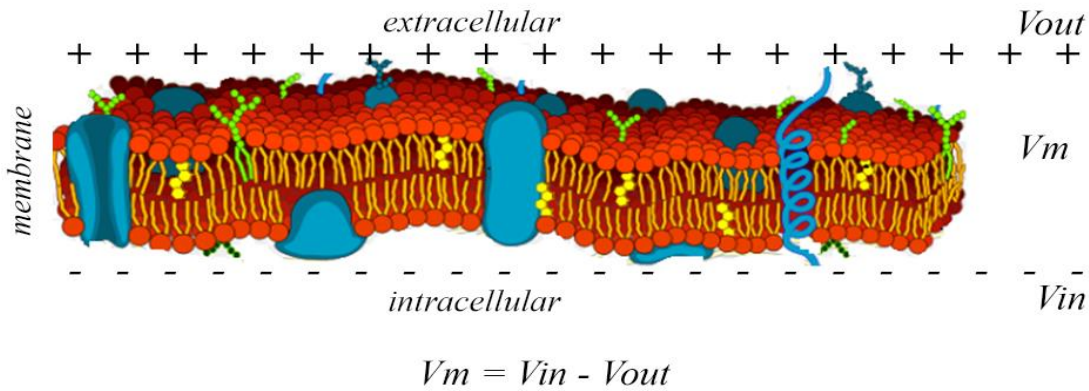
minimalize edebilmek için elektrot yüzey alanı geniş olan tripolar elektrot kullanıp, tripolar elektrotta en ideal polarite kombinasyonunu bulmayı amaçladık.

## 1.2 Literatür Araştırması

FES uygulaması 40 yıldan uzun süredir felçli hastalara kayıp fonksiyonlarını geri kazandırmak için kullanılmaktadır. 1744 tarihinde Kruger parmaklardaki kontraktürleri açmak için elektrik akımı uygulamış, 1790 tarihinde Galvani kurbağa deneyi ile kasın elektriksel uyarımla kasıldığını bulmuş, 1961 tarihinde Liberson taşınabilir elektrik stimülatörü ile hemiplejik hastalarda yürüme sırasında fonksiyonel olarak ayak dorsifleksiyonu sağlamış ve 1962’de buna ‘fonksiyonel elektriksel stimülasyon’ adı verilmiştir [7]. 1970’lerden sonra elektrik ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte daha kompleks FES sistemleri geliştirilmiştir. Günümüzde elektrik stimülasyonu kas kuvvetinde artış sağlamada [8,9], kas atrofisi ve dejenerasyonun önlenmesinde [9-10], eklem açıklığının korunması veya artırılmasında [11], spastisite tedavisinde [12], motor fasilitasyon ve re-educasyonunda [13], ortotik substitüsyonlarda [14] sıkça kullanılmaktadır.

### 1.2.1 Sinir sistemi mekanizması

Vücudun bütün hücrelerinde olduğu gibi sinir hücrelerinde de membranın iki tarafı arasında potansiyel fark bulunur. Sinir ve kas hücreleri gibi bazı hücreler “uyarılabilir” yani membranlarından elektrokimyasal uyarımlar oluşturabilir. Bu impulslar membran boyunca sinyallerin iletilmesinde kullanılır.



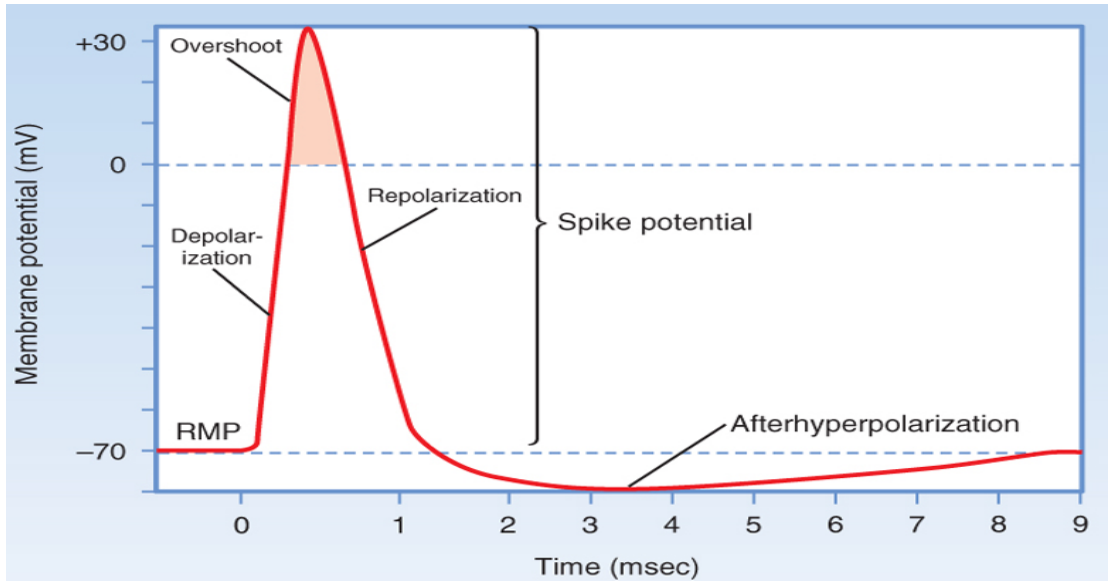
Şekil 1.1: Hücre zarının (membran) yapısı

### 1.2.1.1 İstirahat membran potansiyeli ve oluşumu

İstirahat membran potansiyelinin oluşmasındaki önemli faktörler  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  sızma kanalları ve  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATP-az pompasıdır. Potasyum ( $\text{K}^+$ ) iyonu hücre içinde, Sodyum ( $\text{Na}^+$ ) iyonu hücre dışında daha fazla bulunur. Bu sebeple  $\text{Na}^+$  iyonu hücre içine girme,  $\text{K}^+$  iyonu hücre dışına çıkma eğilimindedir. Ancak istirahat durumunda membranın  $\text{K}^+$  iyonlarına geçirgenliği  $\text{Na}^+$  iyonlarına geçirgenliğinden 50-100 kat fazladır. Ayrıca  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ATP az pompasından 3  $\text{Na}^+$  iyonu dışarı, 2  $\text{K}^+$  iyonu içeri girme eğilimindedir. Bu durumda hücre içi negatif değerlikte olur. Bu da istirahat membran potansiyelini ( $V_m$ ) belirtir.

### 1.2.1.2 Aksiyon potansiyeli ve oluşumu

Aksiyon potansiyeli (AP), uyarılabilen sinir hücrelerinin  $V_m$  eşik değerini aşıp; hücre için pozitif değere gelerek, kısa bir süre içinde hücre için tekrar negatif değere, istirahat dönemine dönmesidir. Yeterli sayıda  $\text{Na}^+$  iyonunun membrandan hücre içine difüzyonunu sağlayan kimyasal, mekanik veya elektriksel bir etki AP oluşturmak için kullanılabilir. Çalışmamızda aksiyon potansiyeli oluşumu için elektriksel etki kullanıldı. Aksiyon potansiyelinin Şekil 1.2'de gösterildiği gibi dört dönemi bulunur.



Şekil 1.2: Aksiyon potansiyeli evreleri

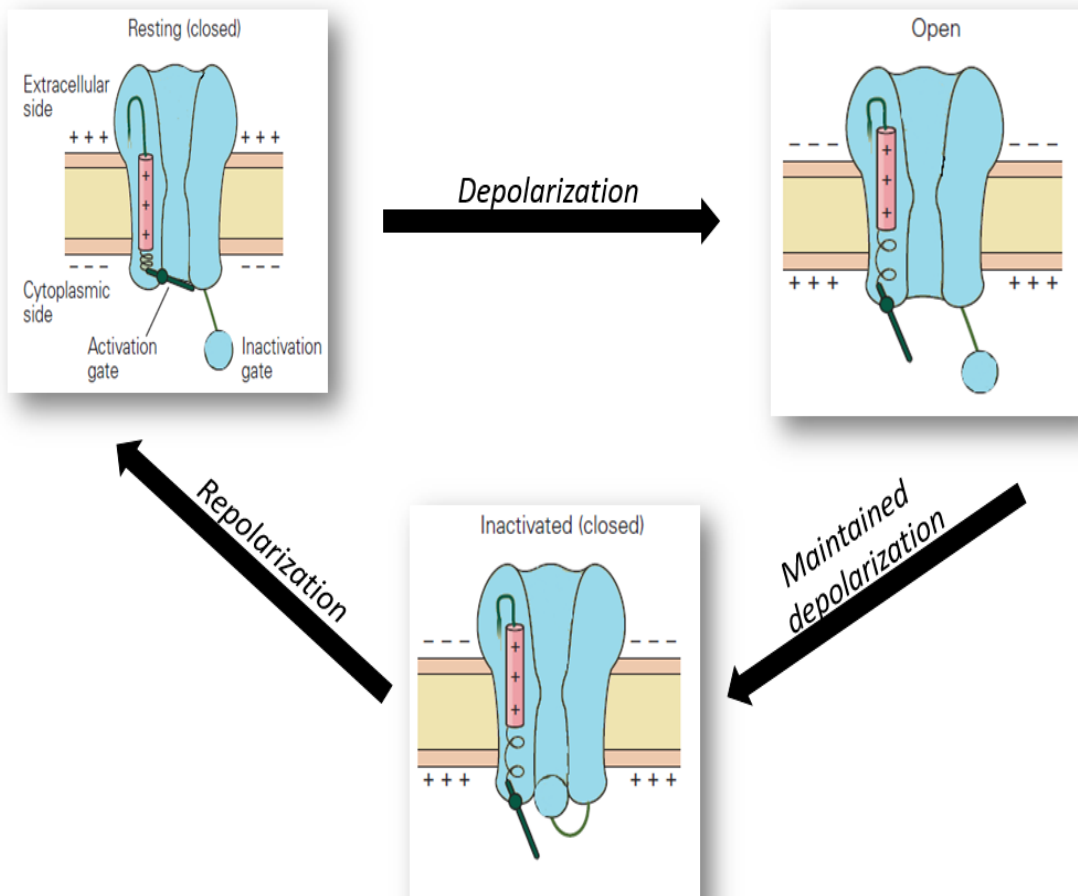
**İstirahat dönemi;** aksiyon potansiyeli oluşmadan önceki dönemi belirtir. Voltaj kapılı sodyum kanalları kapalıdır.

**Depolarizasyon dönemi;** membran potansiyeli threshold değerine ulaştığında voltaj kapılı sodyum kanalları açılır, hücre içine  $\text{Na}^+$ iyonu geçer hücre içi pozitif yönde değişir, membran potansiyeli hızla artarak maksimum değere ulaşır [15].

**Repolarizasyon dönemi;** membran potansiyeli maksimum değere ulaştıktan sonra, voltaj kapılı sodyum kanalları kapanıp voltaj kapılı potasyum kanalları açılır ve hücre dışına  $\text{K}^+$  iyonu çıkışı olur. Hücre tekrardan istirahat membran potansiyeline döner. Böylece aksiyon potansiyeli döngüsü tamamlanmış olur.

**Hiperpolarizasyon;** voltaj kapılı potasyum kanalları yavaş açılıp yavaş kapandığı için hücre dışına fazla miktarda  $\text{K}^+$  iyonu çıkışı olur. Bu durumda membran potansiyeli daha fazla negatif yönde değişir.

Şekil 1.3'te görüldüğü gibi depolarizasyon evresinde voltaj-kapılı sodyum kanalları uzun süre açık tutulursa voltaj kapılı sodyum kanalları kendini otomatik olarak kapatır ve döngü tamamlanamaz. Bu durumda bloklama yapılmış olur [16].



Şekil 1.3: Bloklama mekanizması

### 1.2.2 Fonksiyonel elektriksel stimülasyon ve önemi

Resim 1.1'de de görüldüğü gibi Fonksiyonel elektriksel stimülasyon (FES); felçli bireylerde kaybolan motor fonksiyonun yerine konması amacıyla, elektrik akımının belli bir amaca yönelik kas kontraksiyonu üretmek için kullanılmasıdır [13].



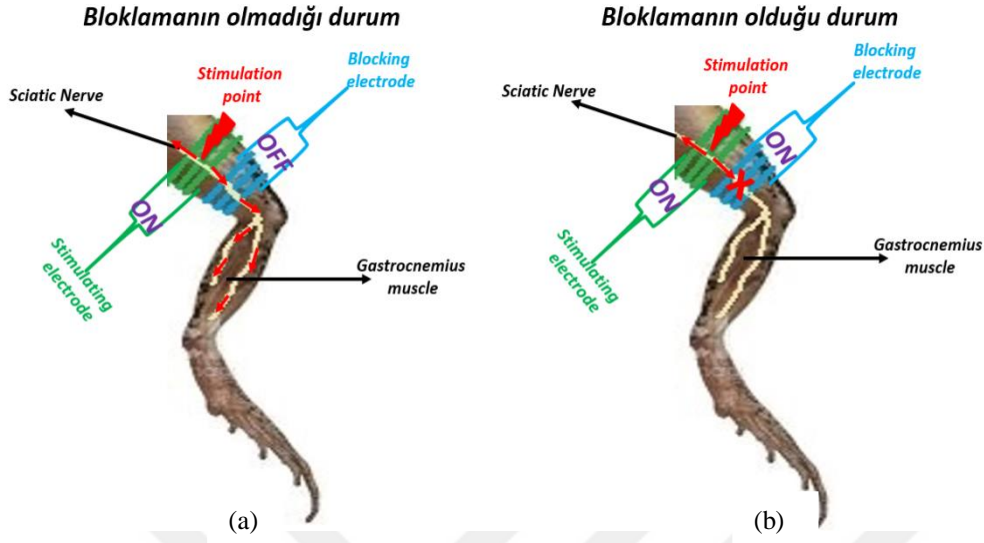
Resim 1.1:Fonksiyonel elektriksel stimülasyon uygulaması

Kas ve sinirlerin uyarımında kullanılan elektrik akımları bu fonksiyonu hücre zarlarının elektriksel potansiyelinde değişiklik oluşturarak yaparlar [17,18]. Bu amaçla elektrotlar, sensörler, dönüştürücüler geliştirilmiştir; bunlar çeşitli fonksiyon kayıpları yaşamış olan bireylerde kullanılmış ve FES uygulamasının klinik başarısı kanıtlanmıştır. FES sistemleri üst ekstremitte, alt ekstremitte, mesane, bağırsak ve solunum sistemlerindeki fonksiyonların iyileştirilmesi için geliştirilmiştir [19]. Ayrıca, nöral yolların elektriksel aktivasyonunu sağlayan FES uygulaması, omurilik yaralanmasına bağlı olarak fonksiyon kayıpları yaşayan bireyler için kaybolan fonksiyonun geri kazanılmasında önemli rol oynar.

### 1.2.3 Bloklama ve önemi

Sinir sistemi rahatsızlıklarının tedavisi için kullanılan FES metodunda istenmeyen uyarımlar oluşup, bu istenmeyen uyarımlar duyu sensörlerini uyardığında acı meydana gelmektedir. Bu duruma ek olarak vücutta istenmeyen uyarımların sebep olduğu epilepsi [20], parkinson [21], kas spazmı gibi hastalıkların tedavisi de bu uyarımların bastırılmasıyla mümkündür [10]. Aşağıdaki Şekil 1.4'te bloklama olmadığı durumda, FES metodu ile uyarılmış bir kasın komşu sinirleri de uyarıp istenmeyen uyarımlara sebep olduğu; DC akım uygulanarak bloklama yapıldığı

durumda istenmeyen uyarıların yok edildiği, tam olarak istenilen bölgenin uyarılabildiği görülmektedir.



Şekil 1.4: Bloklamanın olmadığı durum (a) ve bloklamanın olduğu durum (b)

İstenmeyen uyarımlar hücre dışı sıvıdaki yüksek kalsiyum ( $Ca^{+}$ ) iyon konsantrasyonu; klinikte lokal anestetik olarak kullanılan prokain, tetrakain gibi birçok madde tarafından bastırılabilirdiği [22] gibi elektriksel olarak DC akımı veya HFAC ile uyarım akımı engellenerek veya membran potansiyeli değiştirilerek bastırılır. Bu duruma blokama adı verilir. Elektrik akımı ile bloklanan sinir iletim bloğunun biyofiziğini anlamak, farklı klinik koşullar altında periferik sinirleri bloke etmek için yeni yöntemler geliştirmede çok önemlidir [23]. Periferik sinirlerin bloklanması periferik orjinli kronik ağrıların tedavisinde [24] veya kas spazmları, spastisite, tikler ve kore gibi istenmeyen durumları durdurmak için kullanılabilir [12]. İdrar çıkarma sırasında pudental sinir iletimini bloklamak, üretral basıncı azaltıp omurilik zedelenmesi olan kişilerde idrar çıkarabilme etkinliğini artırabilir [25].

## 2. METOTLAR

Deneyleyler ‘‘Deney Hayvanları Kullanım Sertifikası’’ almış olan araştırmacılar tarafından etik kurallar çerçevesinde, *in-vivo* ortamda yapılmıştır.

### 2.1 Anestezik İlacın Hazırlanması

1 gram Ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate [26] 0,5 litre su ile karıştırılır. pH metre ile sürekli ölçülerek, pH değeri 7 – 7.5 oluncaya kadar NaOH ilave edilerek tampon çözelti oluşturulur.

### 2.2 Deney Hayvanının Hazırlanması

Kurbağahazırlamış olduğumuz ağzı kapalı kaptaki anestezik ilaç içine atılır. 5-10 dk beklendikten sonra uyutulan kurbağa anestezik ilaç içinden çıkarılır. Bacaktaki siyatik siniri kas dokusundan ayrılır. Gastroknemius kası da ayak tendonundan kesilerek force transducera bağlanır.

### 2.3 Deney Düzenegi

şekil 2.1'de gösterildiği gibi deney düzenegiinde 2 adet elektrot kullanılır. Birinci elektrot Function Generator aracılığıyla verilen AC akım ile uyarım sağlar ve uyarım elektrodu olarak adlandırılır. Uyarım elektrodunun polarizasyonu sabit olup (+ - +)'dır. İkinci elektrot Source Meter aracılığıyla verilen DC akım ile bloklamayı sağlar ve bloklama elektrodu olarak adlandırılır. Bloklama elektrodu siyatik sinire tam temas edecek şekilde gastroknemius kası yakınına, uyarım elektrodu siyatik sinire tam temas edecek şekilde kurbağa vücuduna yakın bölgeye yerleştirilir. Function Generator aracılığıyla AC akım gönderilen kas uyarıldığında kasılmalar Force Transducer'ı hareket ettirir; Source Meter aracılığıyla DC akım gönderildiğinde akım bloklamaya yetecek kadar büyük ise kasın hareketi durur, yani kas bloklanmış olur. Bu hareketler Data Recorder tarafından bilgisayar ekranına yansıtılır. Böylece uyarım ve bloklama net bir şekilde bilgisayar ekranında



görülebilmektedir. Bloklama akımını minimum değere çeken, ideal polaritedeki tripolar elektrodu bulabilmek için değişik üçlü kombinasyonlar denenmiştir.

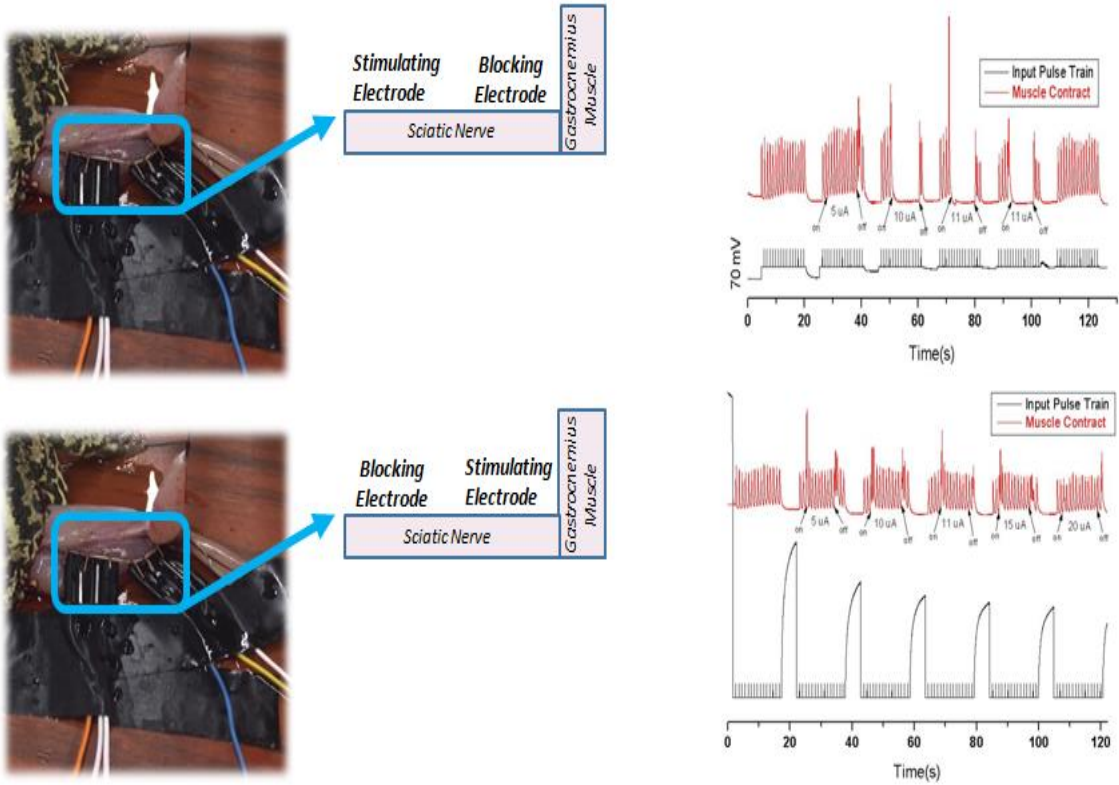


Şekil 2.1: Deney düzeneği



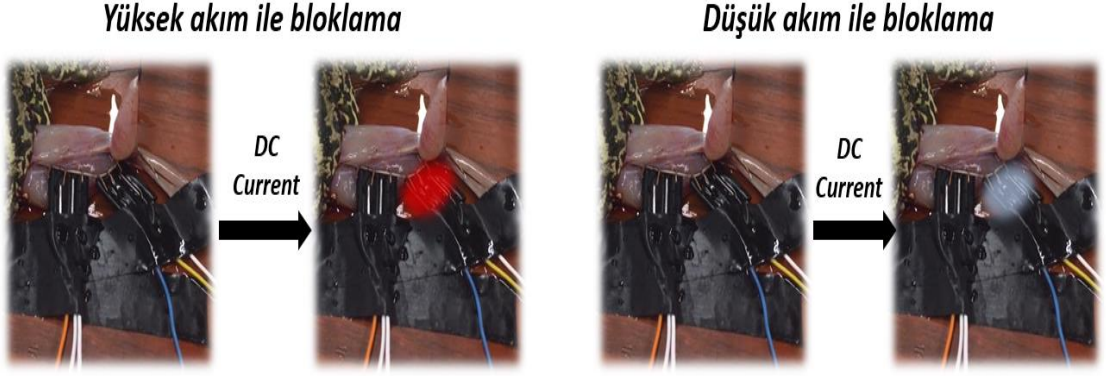
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Öncelikle elektrotların konumu için kontrol deneyleri gerçekleştirildi. Kontrol deneyleri aşağıdaki Resim 3.1'de görülmektedir. Aşağıdaki Resim 3.1'de siyah çizgiler AC kaynağından gönderilen uyarıları, kırmızı çizgiler kas hareketini, kas hareketinin yok olduğu çukurlar bloklamanın gerçekleştiğini belirtmektedir. Kurbağa vücuduna yakın tarafa uyarım elektrodu, kasa yakın tarafa blokla elektrodu yerleştirildiğinde bloklamanın gerçekleştiği; elektrotlar yer değiştirilip kurbağa vücuduna yakın tarafa blokla elektrodu, kasa yakın tarafa uyarım elektrodu yerleştirildiğinde bloklamanın gerçekleşmediği görülmüştür.



Resim 3.1: Elektrotların konumu

İstenmeyen uyarımlar DC akım ile blokla elektrodu aracılığıyla bastırılırken, yüksek akım sinir dokusunda ve elektrotta deformasyon oluşturmaktadır. Resim 3.2'de deformasyon sembolik olarak gösterilmiştir.



Resim 3.2: Elektriksel bloklamada neden düşük akım olmalı

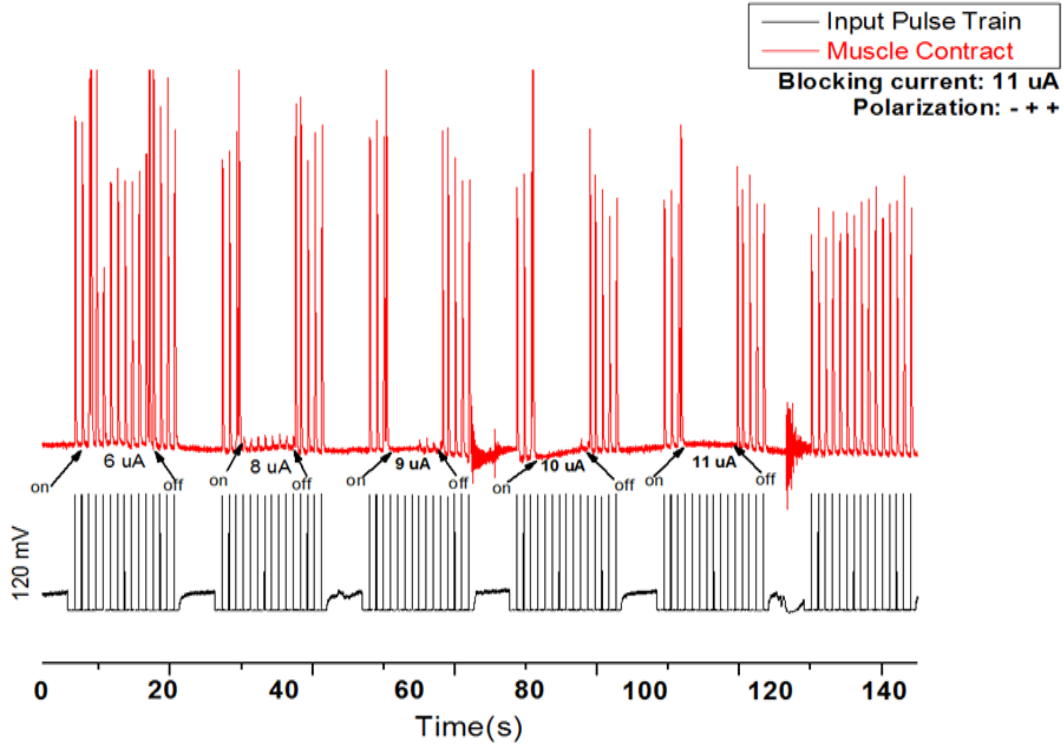
Elektriksel bloklamada uygulanacak akım değerini; kullanılan elektrodun polaritesi, elektrodun konumu, uyarım elektroduyla bloklama elektrodu arası uzaklık, elektrodun sinire temas ettiği yüzey etkilemektedir. Deneylerde diğer parametreler sabit tutularak, kullanılan bloklama elektrodunun polaritesi için farklı kombinasyonlar denenmiş, tripolar bloklama elektrodu için en düşük akımla bloklama gerçekleştirilebilen polarite bulunmuştur.

İlk olarak daha düşük akım değerinde bloklama gerçekleştirebilen polarite " - " ile mi başlamalı " + " ile mi başlamalı düşünülmüş olup;(- + +) polariteye sahip bloklama elektrodu sırasıyla " + " ile başlayan tüm üçlü kombinasyonlar ile ((+ - -), (+ - +), (+ + -)) karşılaştırıldı.

### 3.1 (- + +) kombinasyonu ile (+ - -) kombinasyonunun karşılaştırılması

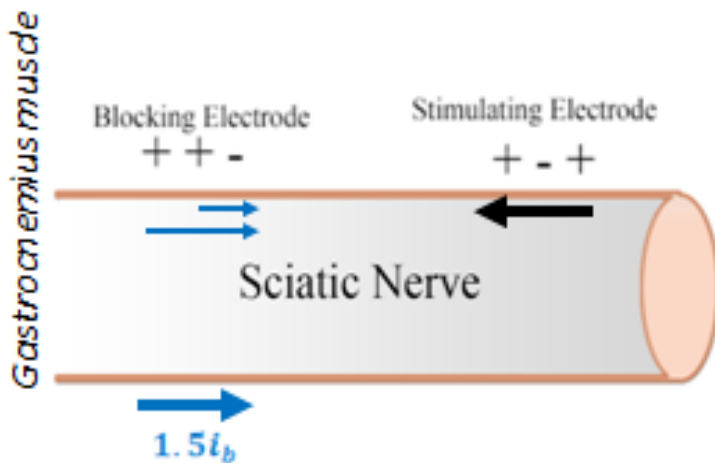
Aşağıdaki Şekil 3.1'de siyah çizgiler AC kaynağından gönderilen uyarıların, kırmızı çizgiler kas hareketini, on ifadesi bloklama akımının sinire verildiği anı, off ifadesi bloklama akımının kesildiği anı belirtmektedir. AC kaynağından 120 mV uyarılar gönderilmiş olup; AC sinyal uyarılarını bloklaması için DC kaynaktan çeşitli değerlerde akımlar gönderilmiştir ve 11  $\mu$ A akım değerinde kası full blokladığı görülmüştür.

Bloklama elektroduna (- + +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 11  $\mu$ A akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (+ - -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 43  $\mu$ A akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.1'de (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



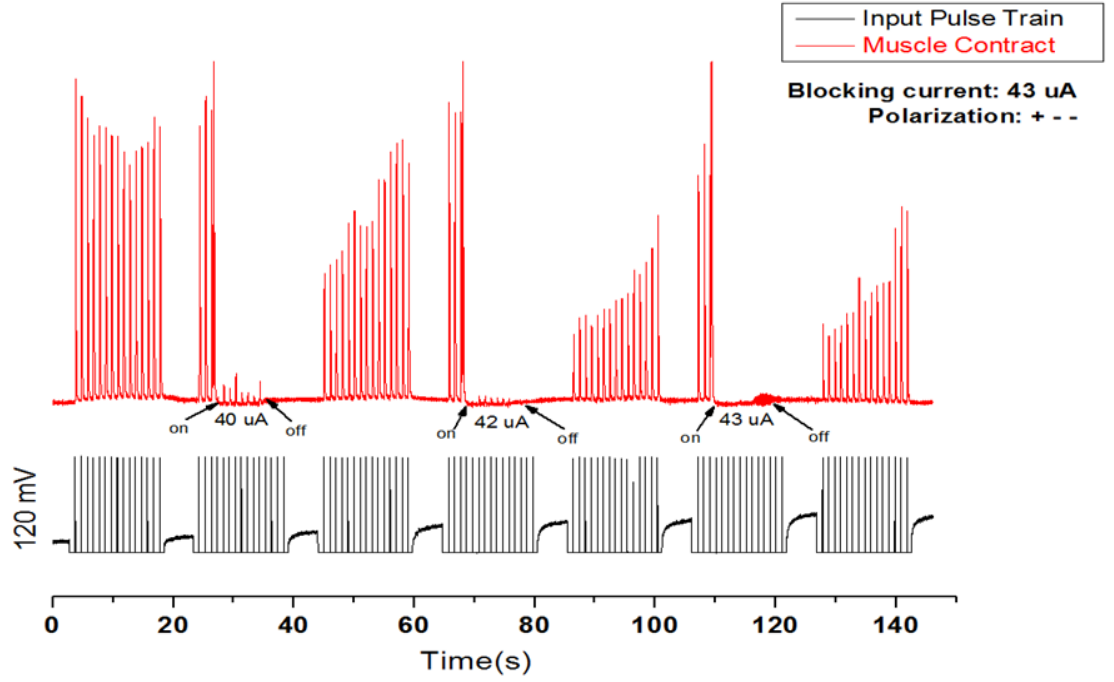
Şekil 3.1: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

Akım pozitif kutuptan negatif kutuba doğru hareket eder. (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.2'de gösterilmiştir. (- + +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $1.5 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



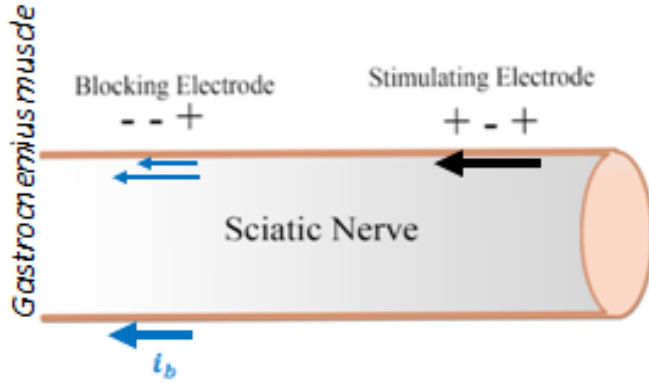
Şekil 3.2: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.3'de (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



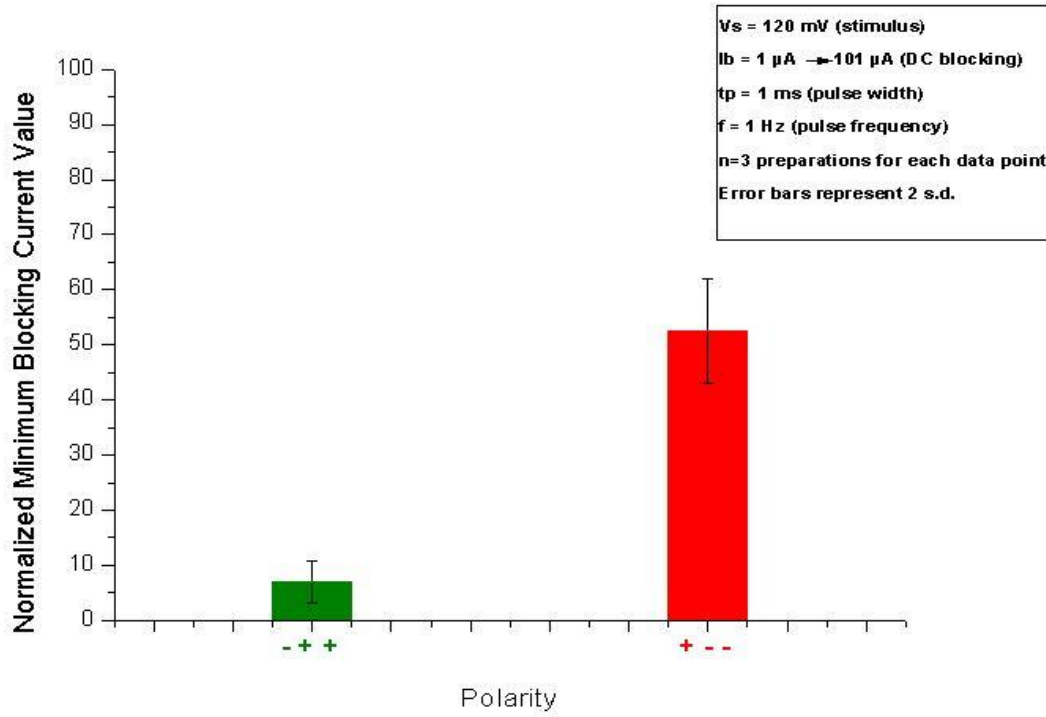
Şekil 3.3: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.4'te gösterilmiştir. (+ - -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımıyla aynı yöndedir ve değeri  $1 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.4: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

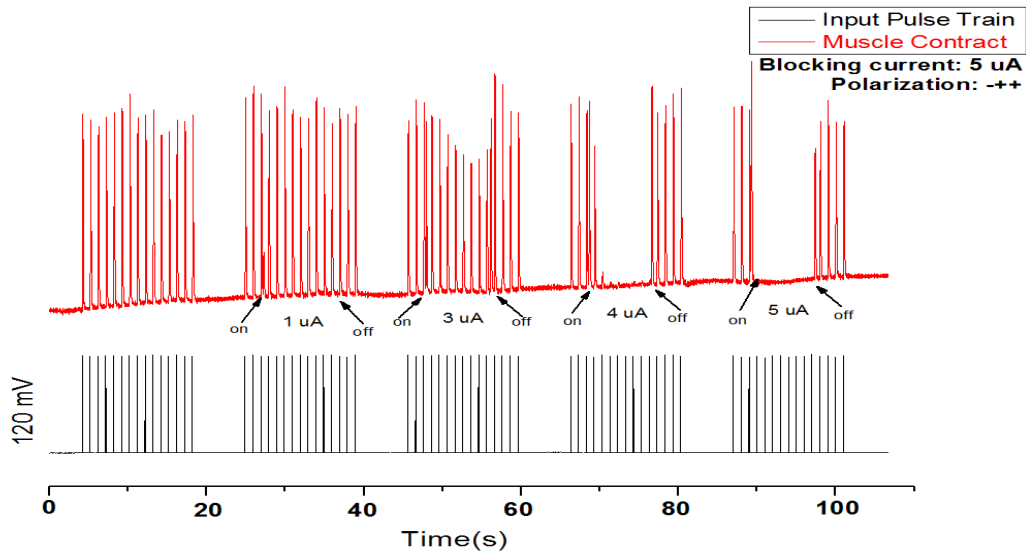
Aşağıdaki Şekil 3.5'te  $V_s$ , AC kaynaktan verilen uyarım voltajını;  $i_b$ , bloklama akımını;  $t_p$ , dürtü zamanını;  $f$ , frekansı;  $n$ , deney tekrar sayısını belirtmektedir. Şekil 3.5'te(---) ve (+--) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği verilmiştir. (- + +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ - -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.5: (- + +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

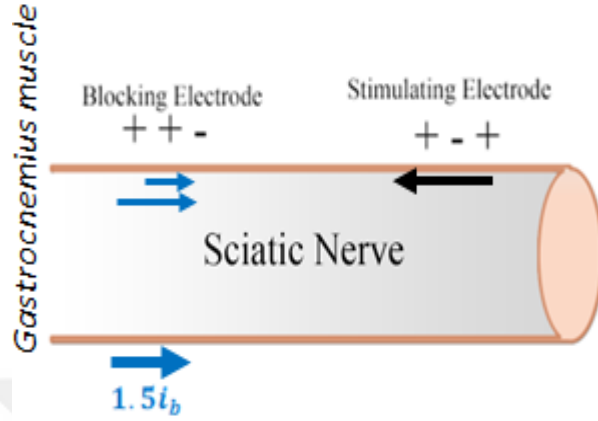
### 3.2 (- + +) kombinasyonu ile (+ - +) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (- + +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında,  $5 \text{ } \mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (+ - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında,  $78 \text{ } \mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.6'da (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



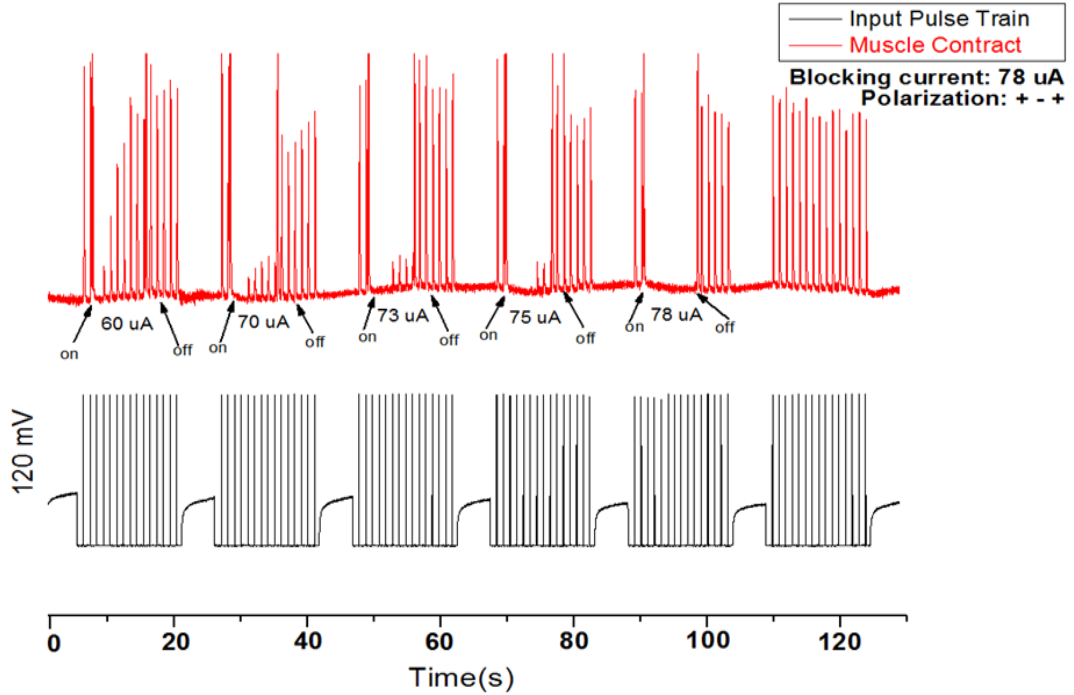
Şekil 3.6: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.7'de gösterilmiştir. (- + +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $1.5 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



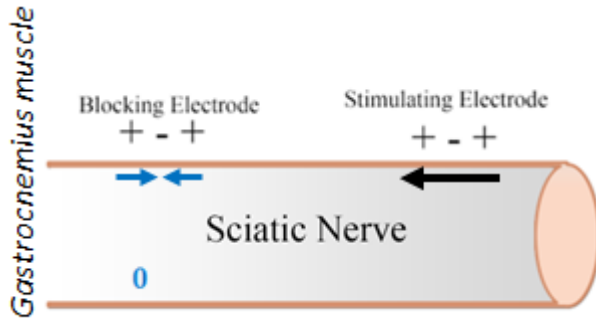
Şekil 3.7: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklı yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.8'de (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



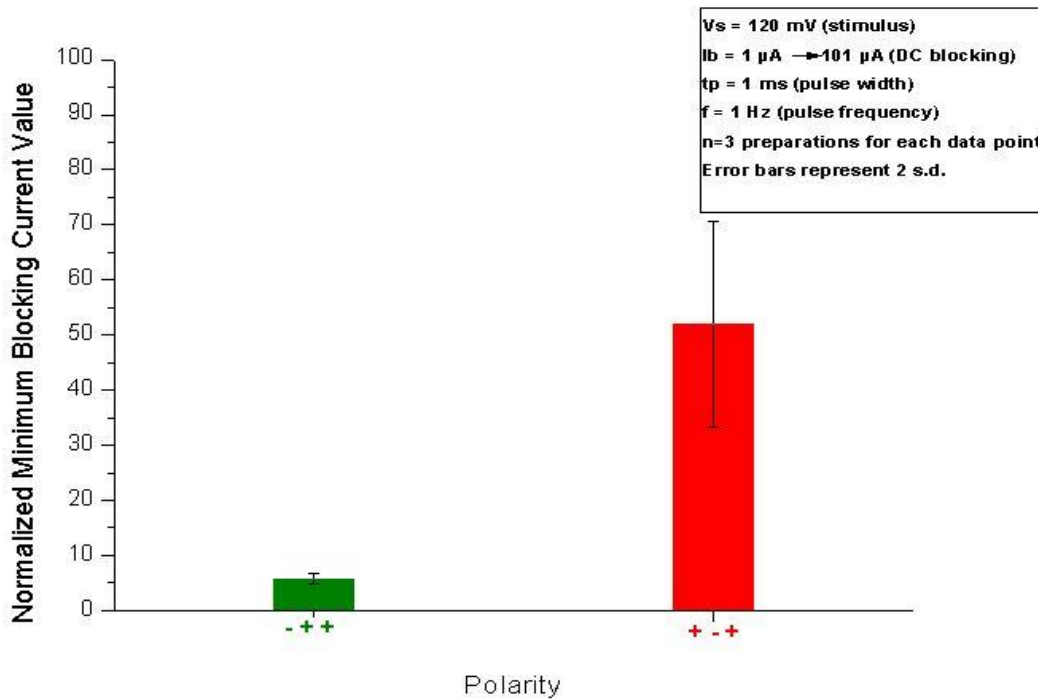
Şekil 3.8: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.9'da gösterilmiştir. (+ - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı  $0$ 'dır.



Şekil 3.9: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

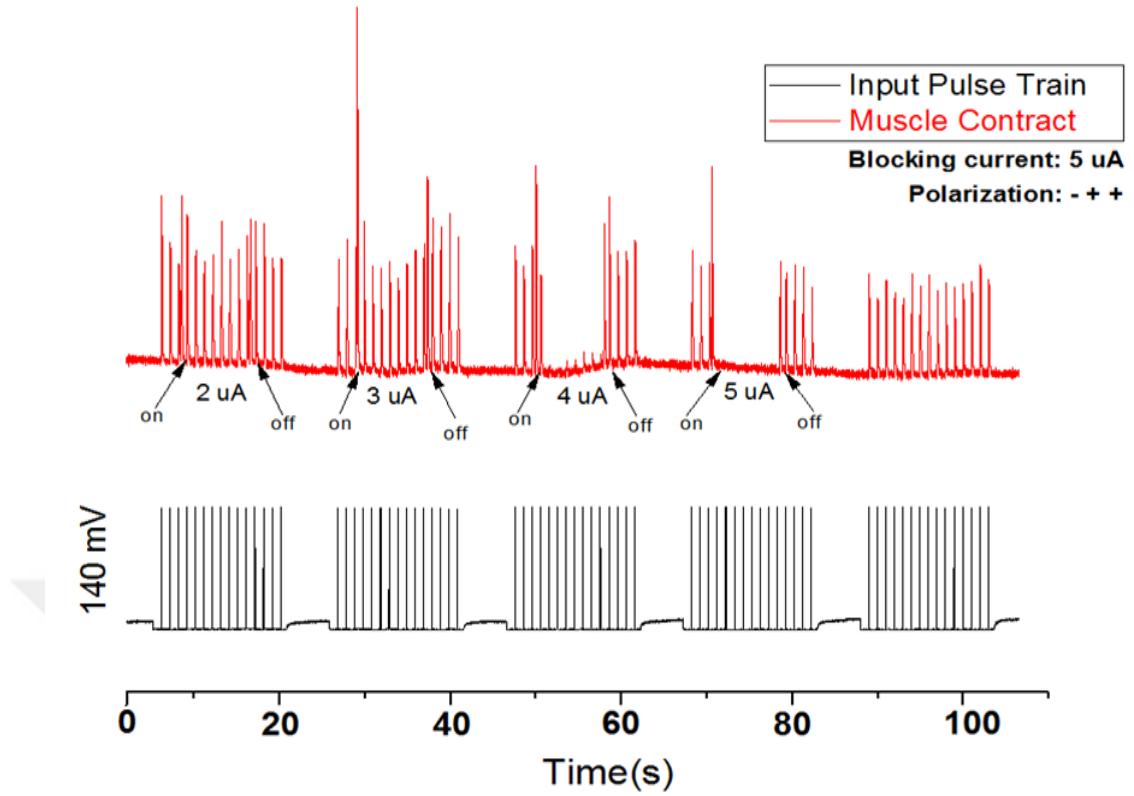
Aşağıdaki Şekil 3.10'da (- + +) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- + +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ - +) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.10: (- + +) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

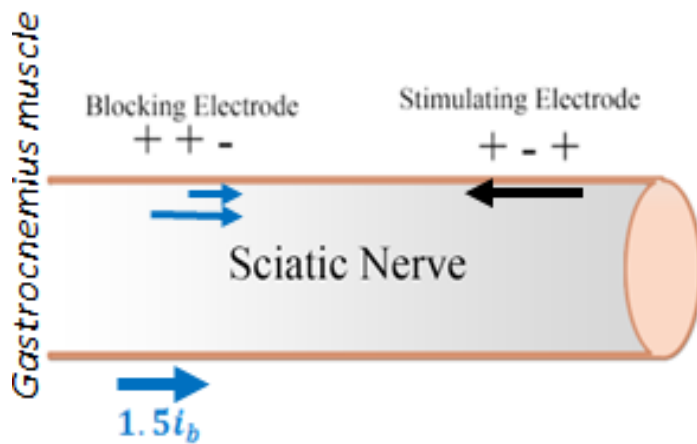
### 3.3 (- + +) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (- + +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 5 µA akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (+ + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 30 µA akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.11'de (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



Şekil 3.11: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

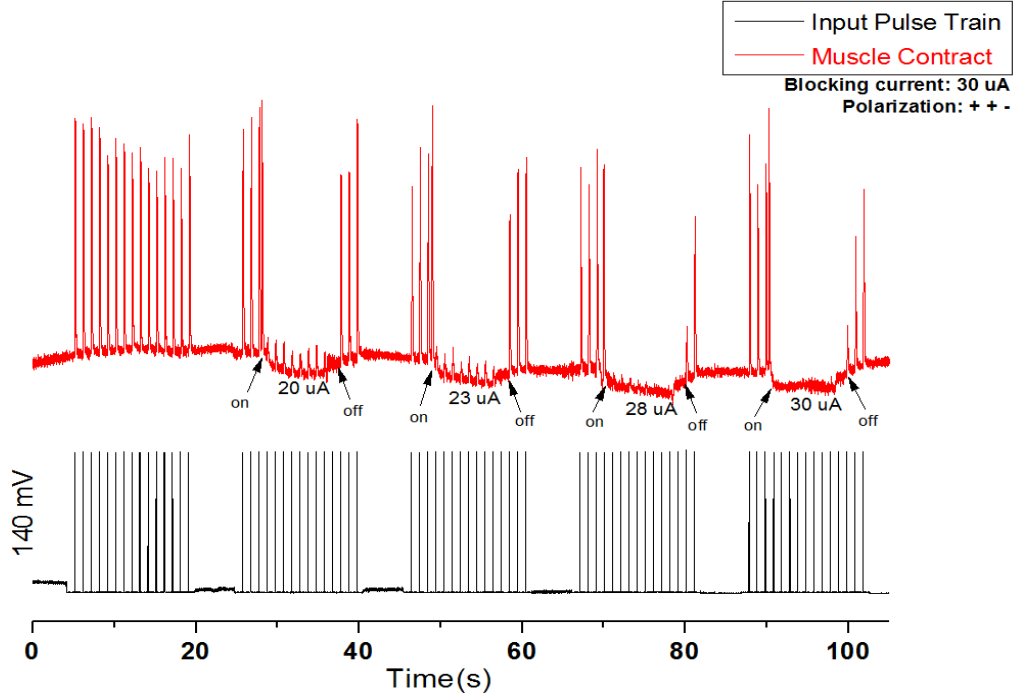
(- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.12'de gösterilmiştir. (- + +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $1.5 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



Şekil 3.12: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

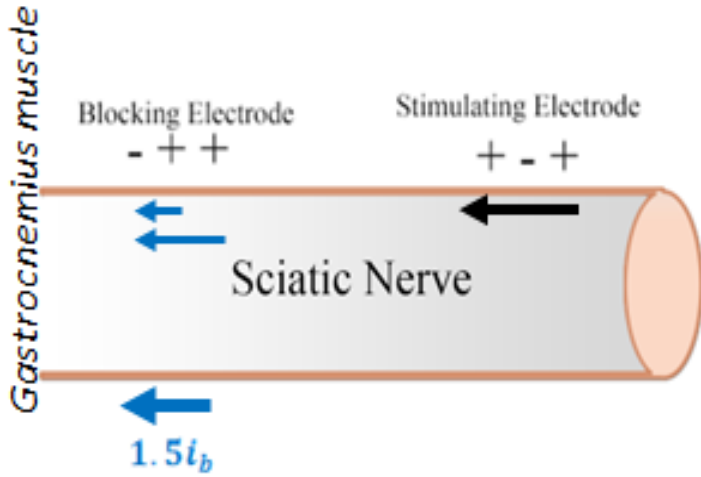
Aşağıdaki Şekil 3.13'de (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.





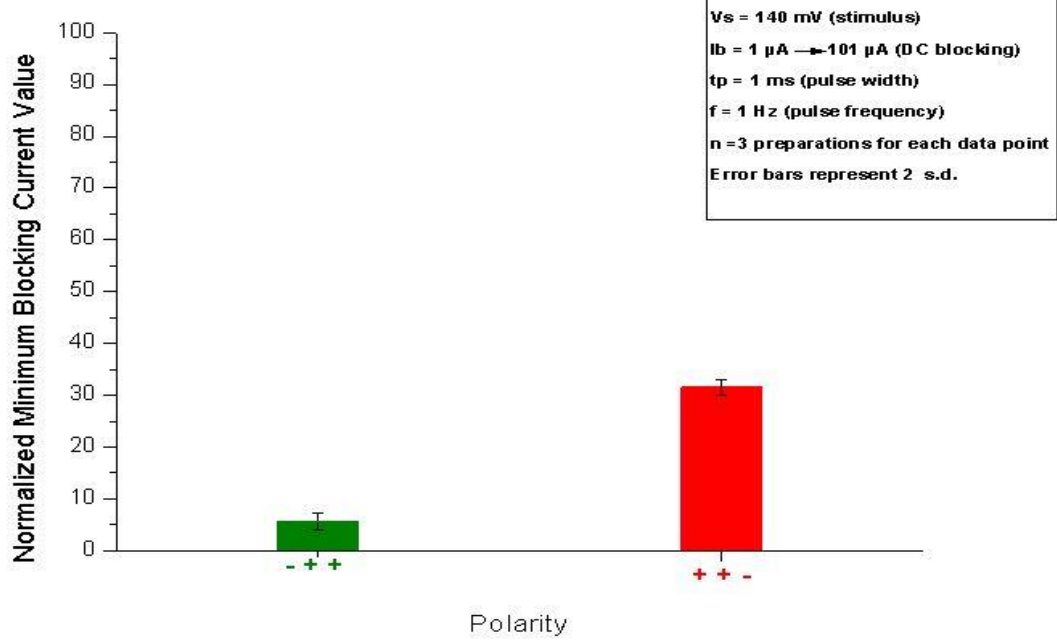
Şekil 3.13: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.14'te gösterilmiştir. (+ + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1.5 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.14: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.15' te (- + +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- + +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ + -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.15: (- + +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

Yapılan deneyler sonucunda; (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun (+ - -), (+ - +), (+ + -) polaritelere sahip bloklama elektrotlarına göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.16'da (- + +), (+ - -), (+ - +), (+ + -) polaritelere sahip bloklama elektrotlarında bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönleri, değerleri gösterilmiştir.

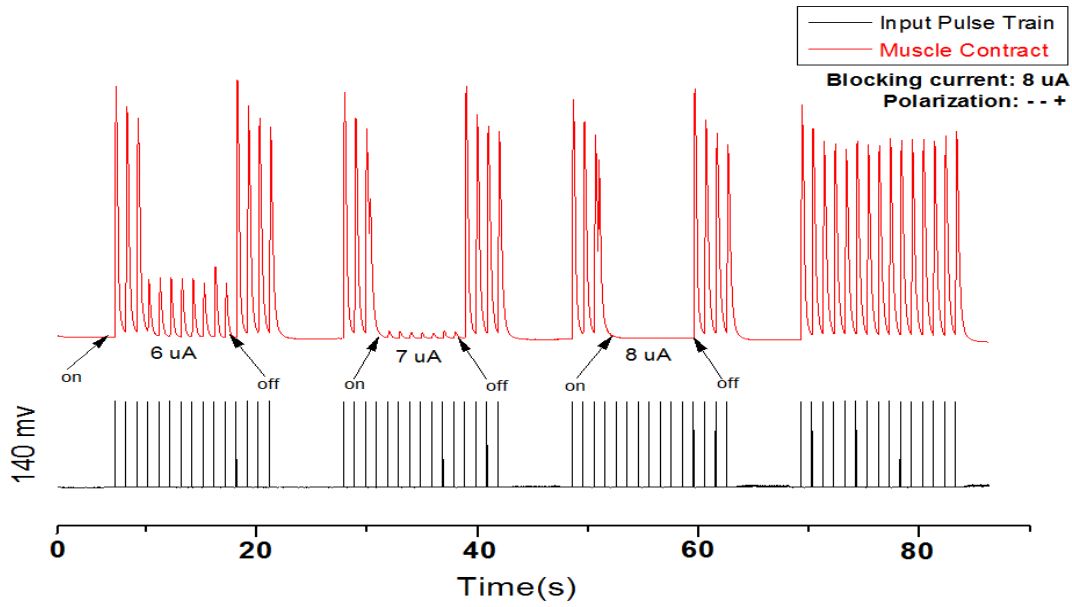


Şekil 3.16: (- + +) kombinasyonu ile (+ - -), (+ - +), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması

Diğer bir " - " ile başlayan kombinasyon olan ( - - + ) polariteye sahip bloklama elektrodu ile sırasıyla ( + - - ), ( + - + ), ( + + - ) kombinasyonları karşılaştırıldı.

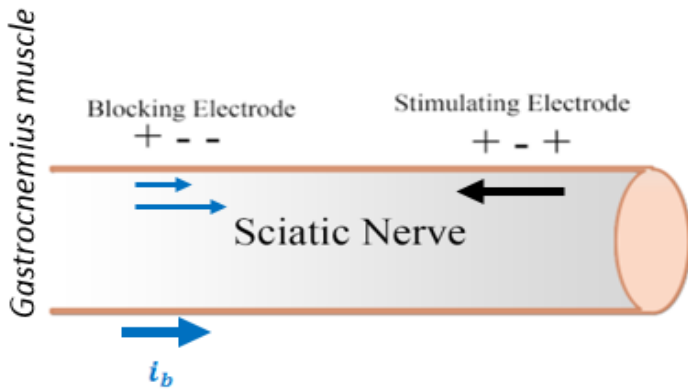
### 3.4 ( - - + ) kombinasyonu ile ( + - - ) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna ( - - + ) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında,  $8 \mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna ( + - - ) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında,  $28 \mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.17'de ( - - + ) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



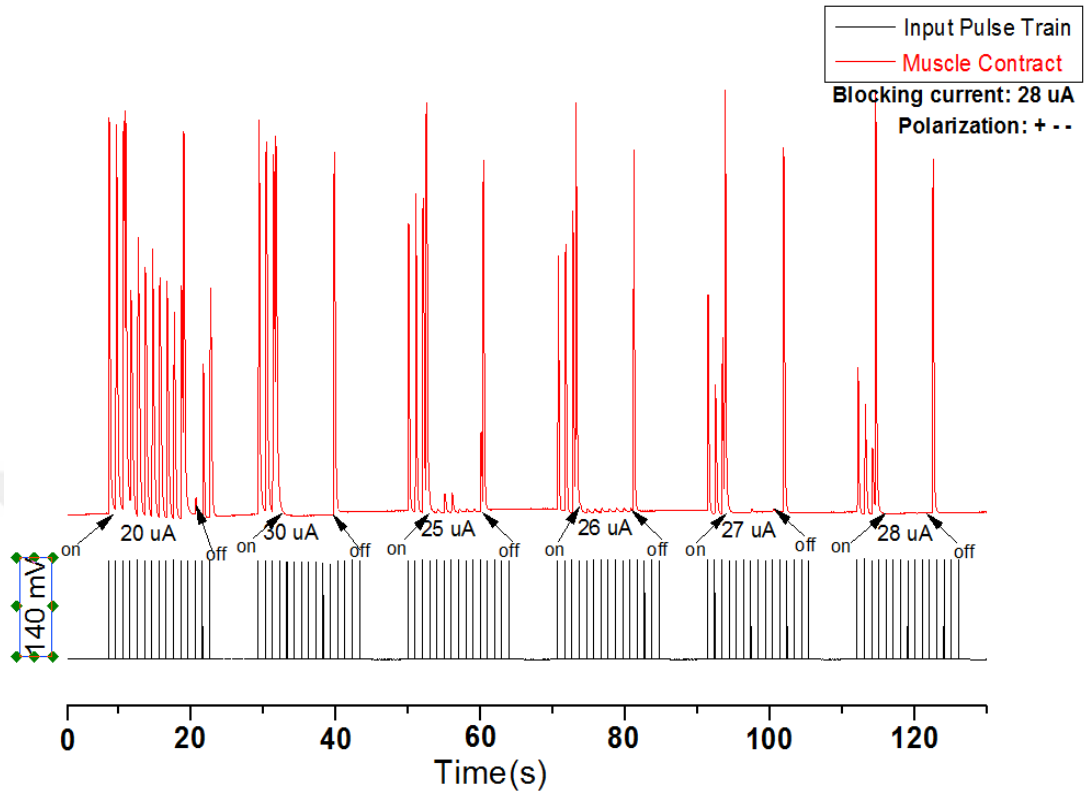
Şekil 3.17: ( - - + ) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

( - - + ) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.18'de gösterilmiştir. ( - - + ) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $1 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



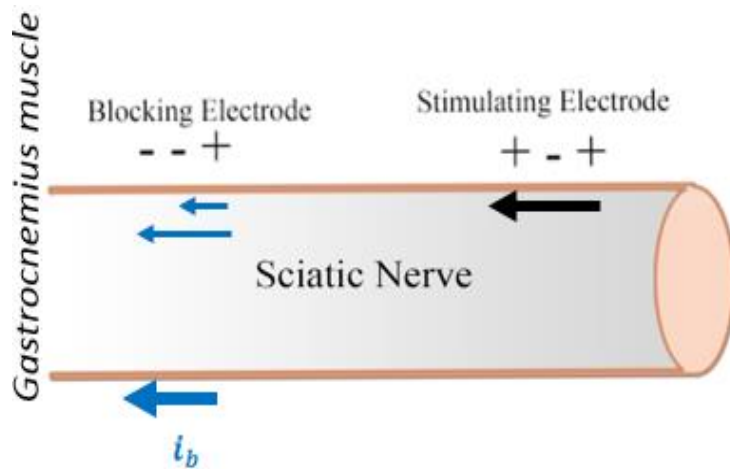
Şekil 3.18: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.19'da (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



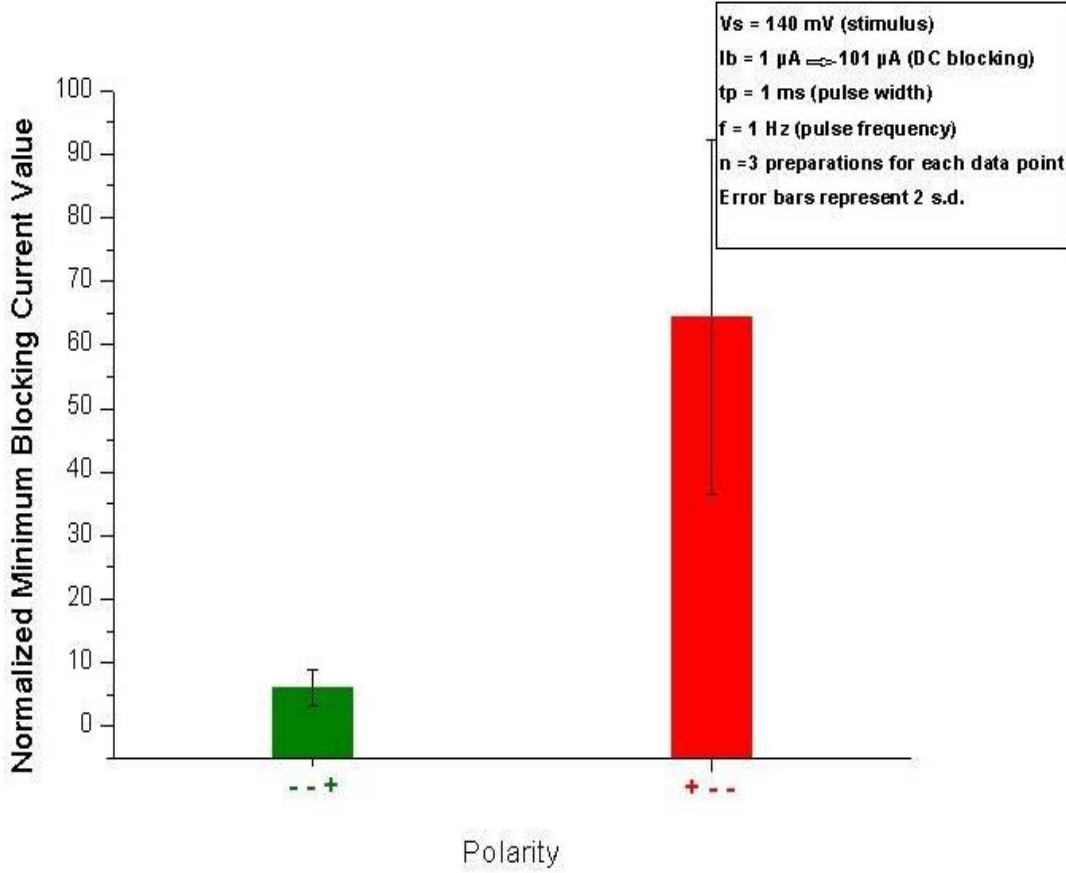
Şekil 3.19: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.20' de gösterilmiştir. (+ - -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.20: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.21'de (- - +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun istatistiksel grafiği görülmektedir. (- - +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ - -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.

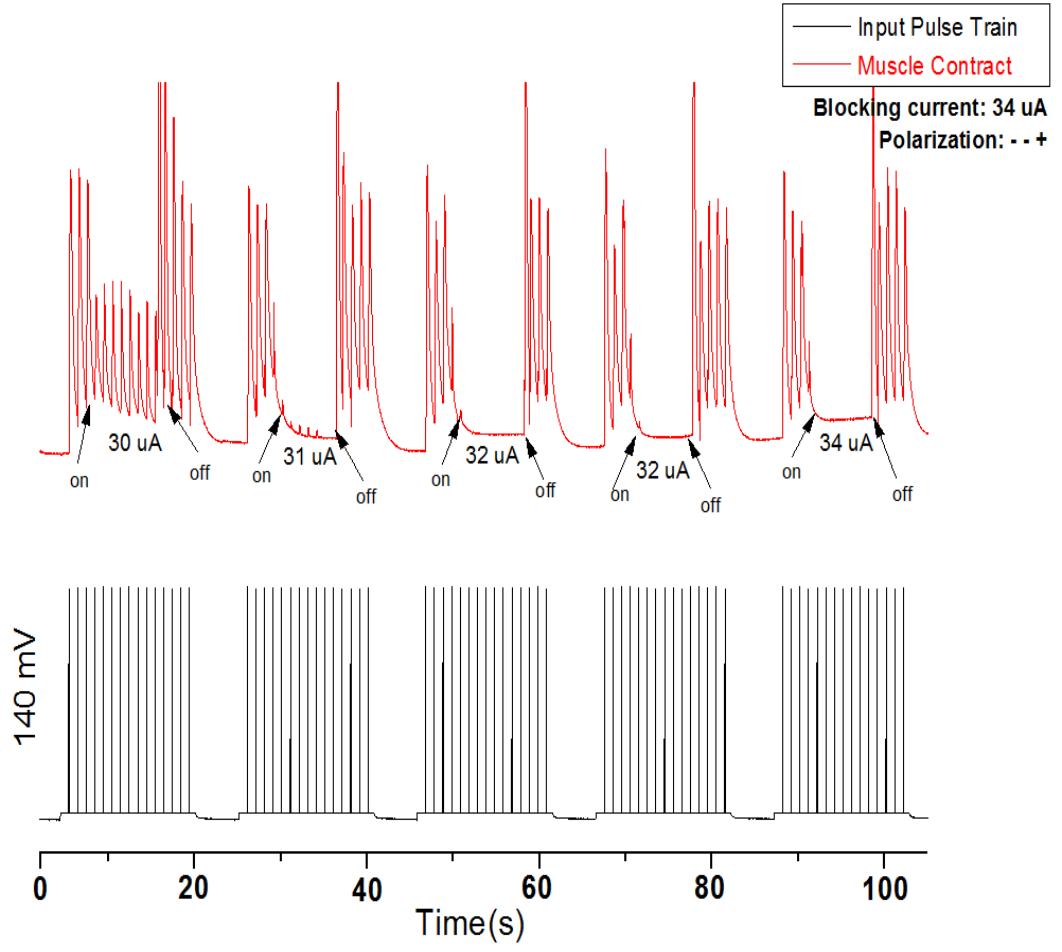


Şekil 3.21: (- - +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

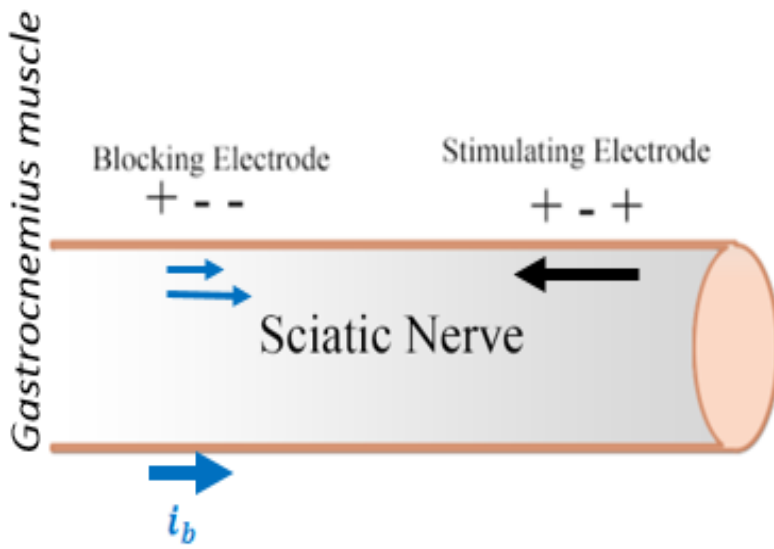
### 3.5 (- - +) kombinasyonu ile (+ - +) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (- - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında,  $34 \text{ } \mu\text{A}$  akım değerinde kasi blokladığı; bloklama elektroduna (+ - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, bloklama olmadığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.22'de (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.

(- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.23'te gösterilmiştir. (- - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $1 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.

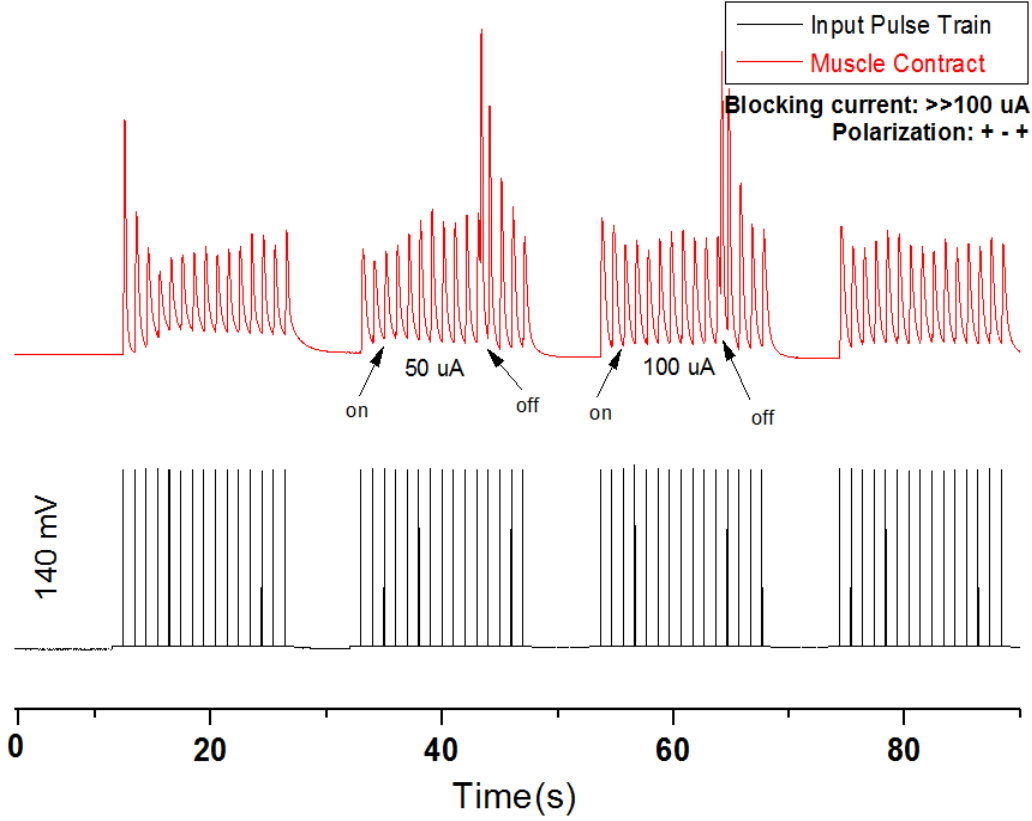


Şekil 3.22: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu



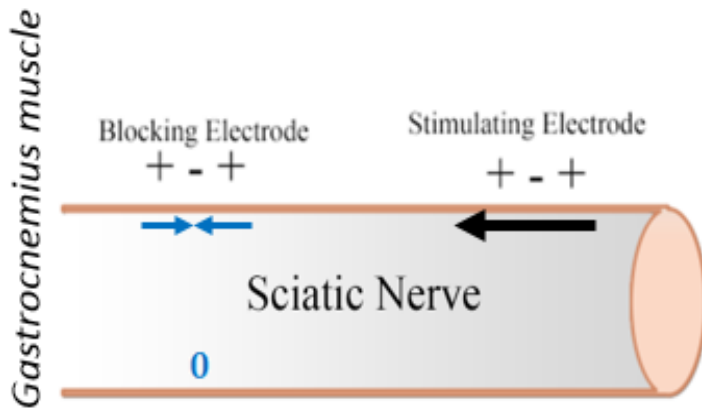
Şekil 3.23: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.24'te (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



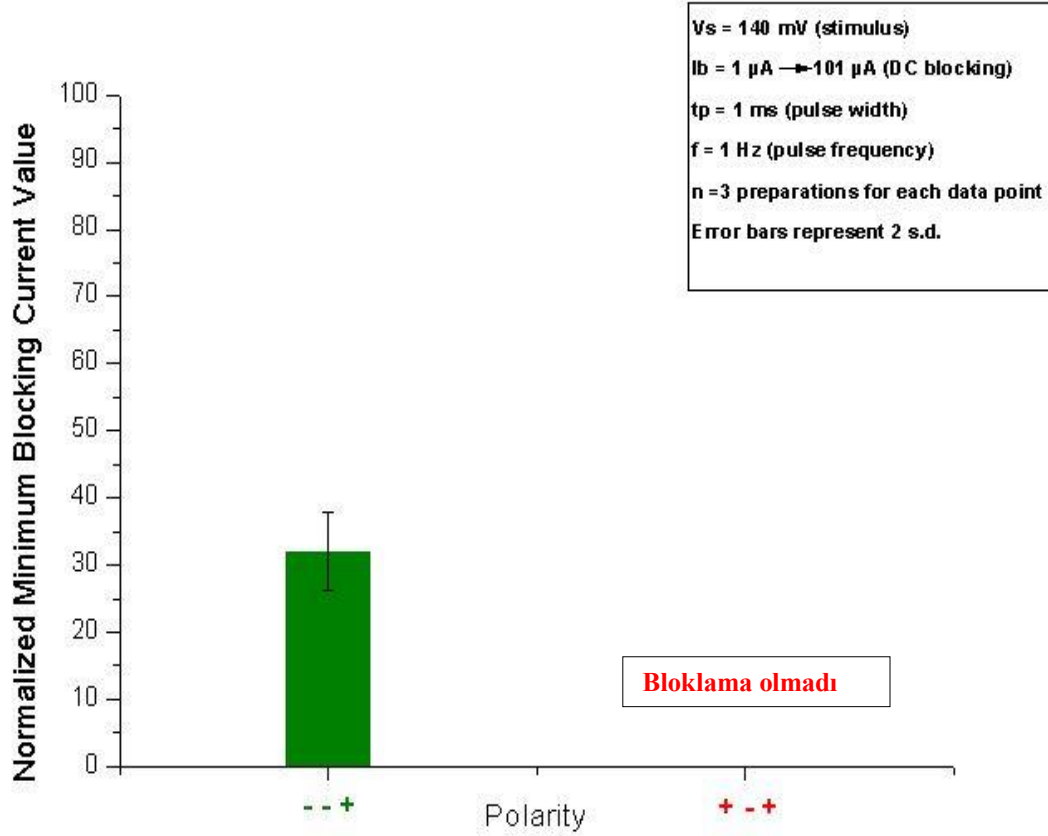
Şekil 3.24: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.25 te gösterilmiştir. (+ - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı 0'dır.



Şekil 3.25: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.26'da (- - +) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- - +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun daha iyi blokladığı, (+ - +) kombinasyonuna sahip elektrodun 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde dahi bloklayamadığı görülmektedir.



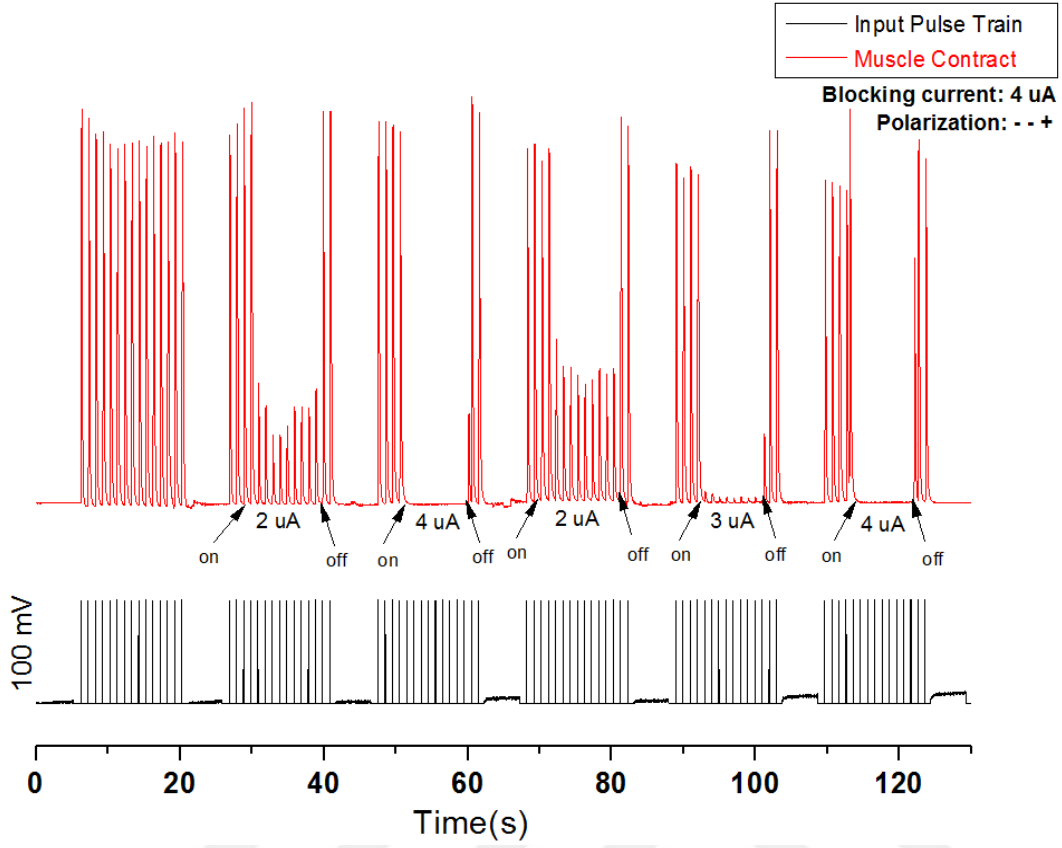
Şekil 3.26: (- - +) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

### 3.6 (- - +) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması

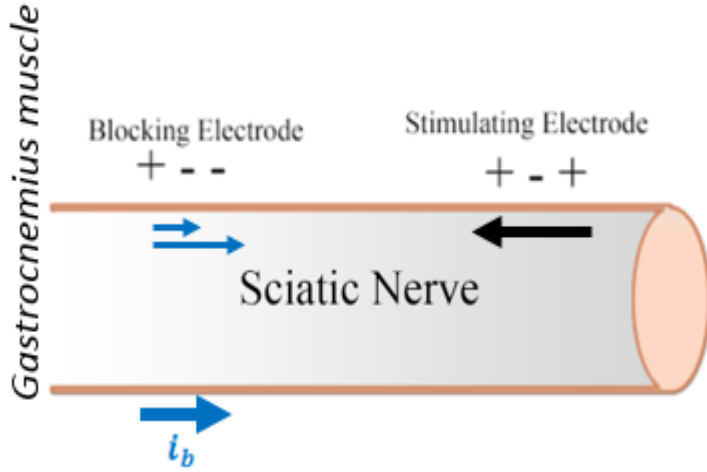
Bloklama elektroduna (- - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 4  $\mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (+ + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 41  $\mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.27'de (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.

(- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.28'de gösterilmiştir. (- - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri 1  $i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



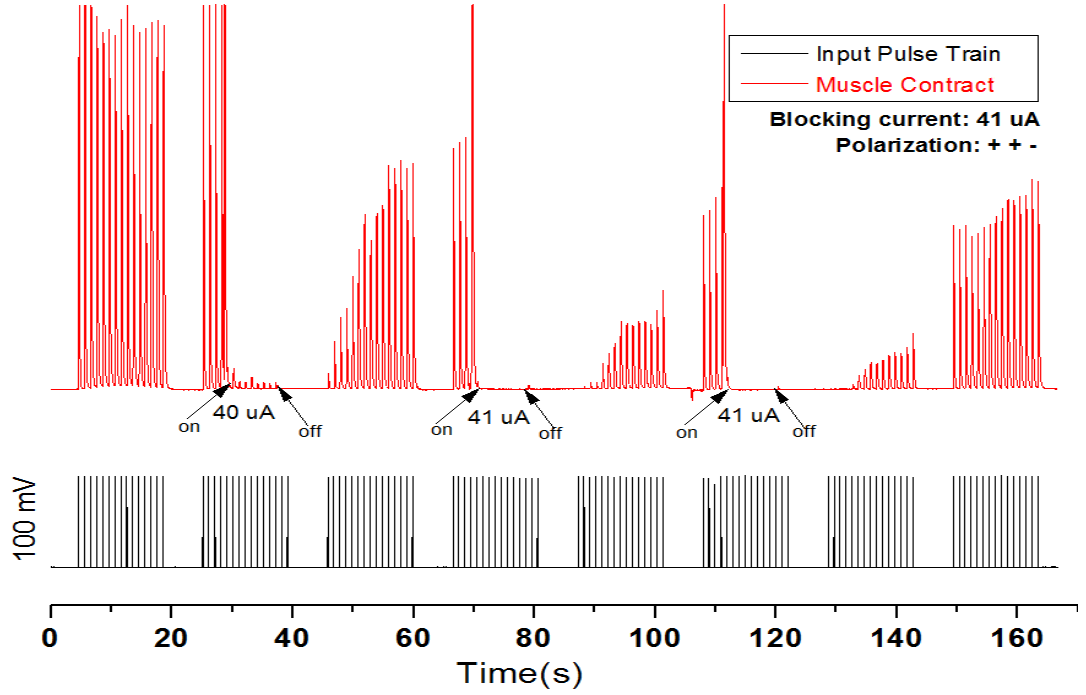


Şekil 3.27: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu



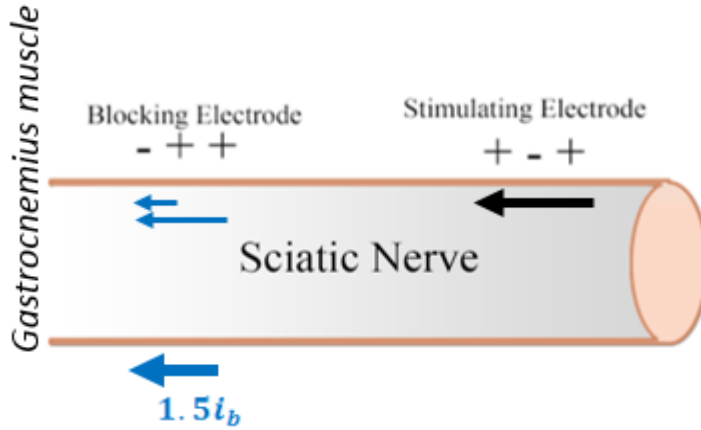
Şekil 3.28: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.29'da (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



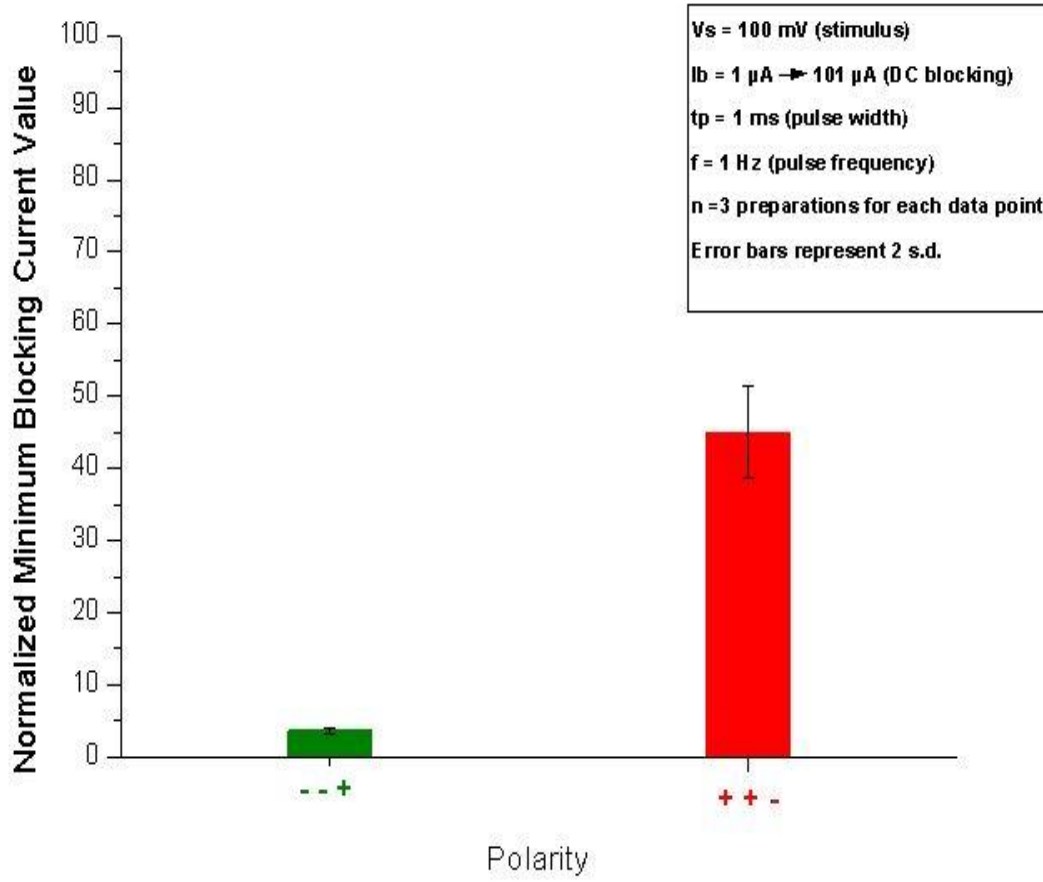
Şekil 3.29: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.30'da gösterilmiştir. (+ + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1.5i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.30: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

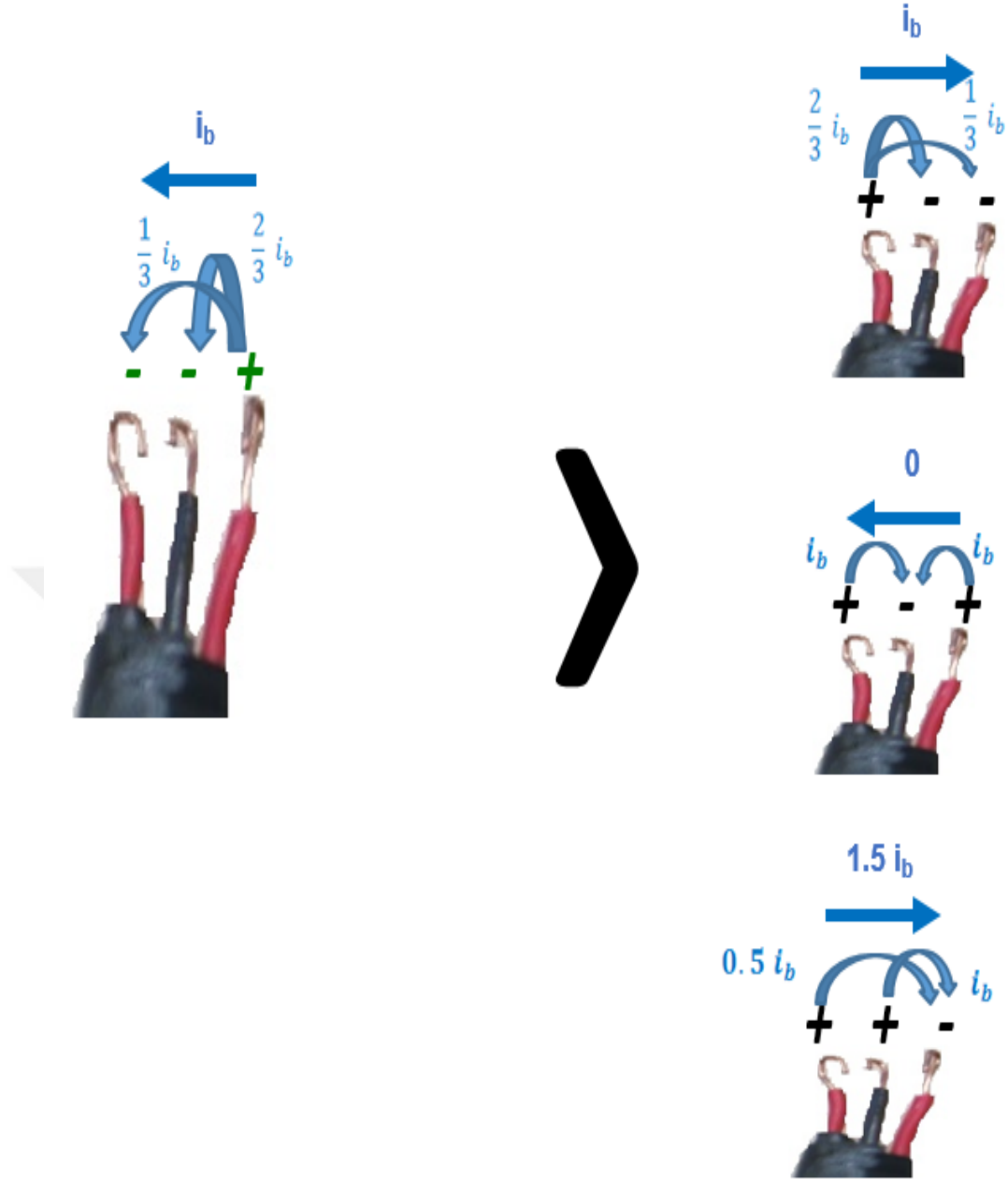
Aşağıdaki Şekil 3.31'de (- - +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- - +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ + -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.31: (- - +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

Yapılan deneyler sonucunda; (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun (+ - -), (+ - +), (+ + -) polaritelerine sahip bloklama elektrotlarına göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmüştür.

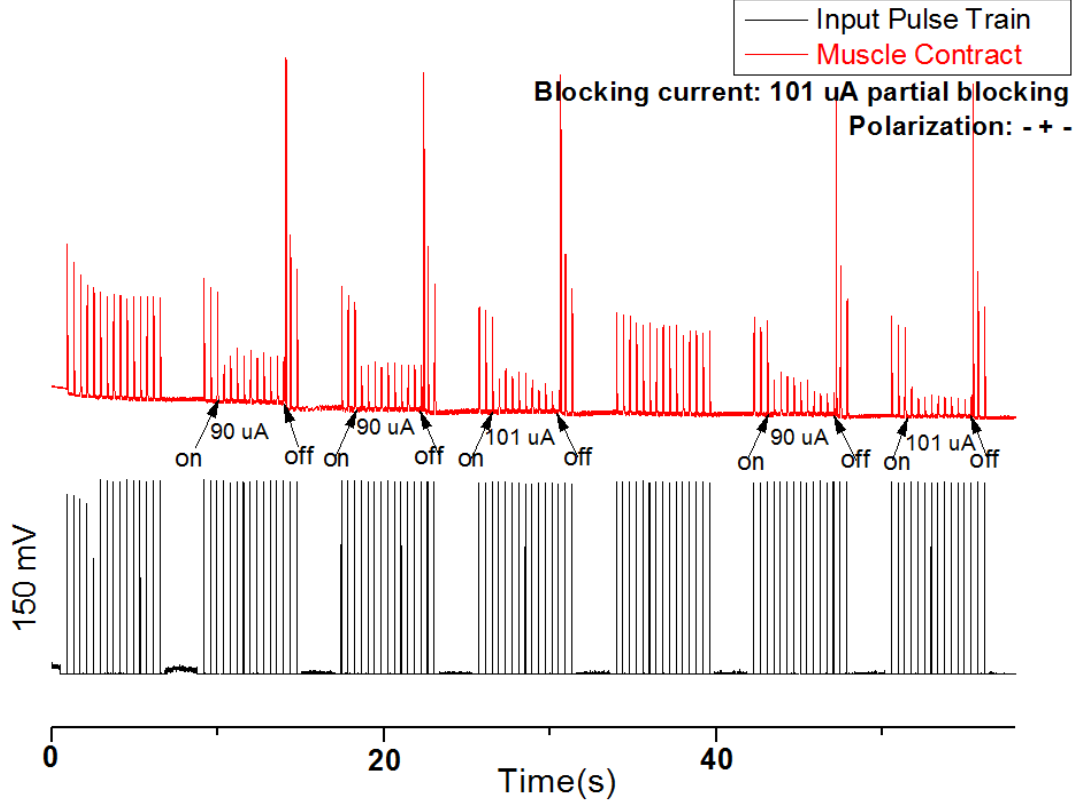
Aşağıdaki Şekil 3.32'de (- - +), (+ - -), (+ - +), (+ + -) polaritelerine sahip bloklama elektrotlarında bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönleri ve değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.32: (- - +) kombinasyonu ile (+ - -), (+ - +), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması

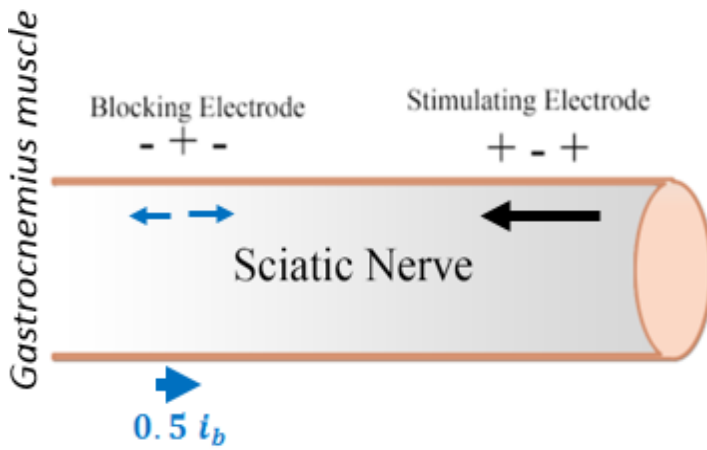
### 3.7 (- + -) kombinasyonu ile (+ - -) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (- + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 101  $\mu$ A akım değerinde kasi kısmi olarak blokladığı; bloklama elektroduna (+ - -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, bloklama olmadığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.33'te (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



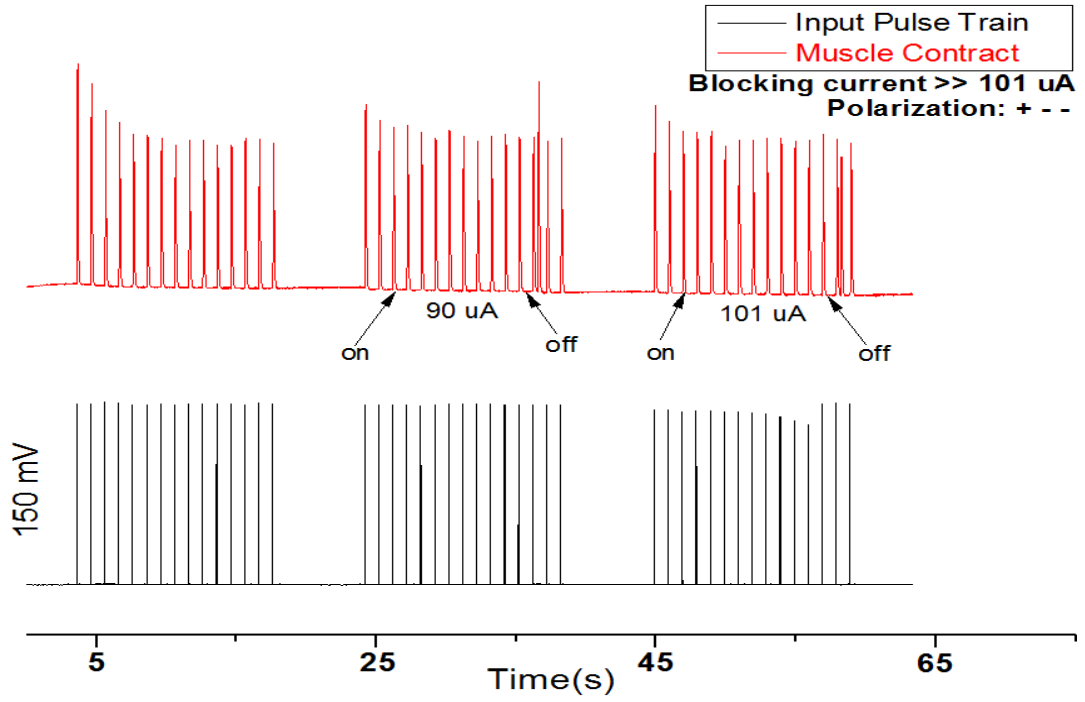
Şekil 3.33: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.34'te gösterilmiştir. (- + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $0.5i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



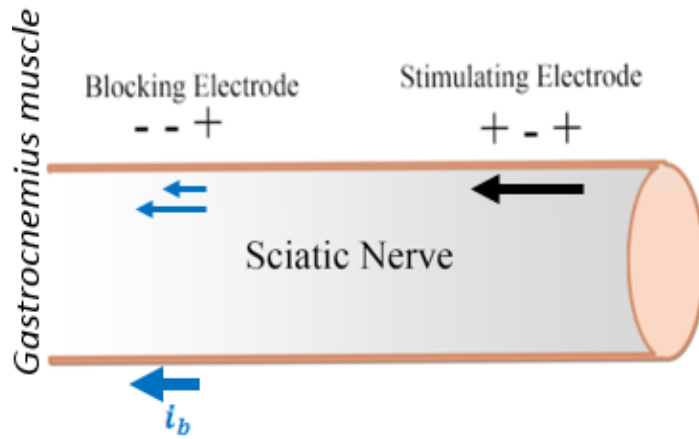
Şekil 3.34: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.35'te (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



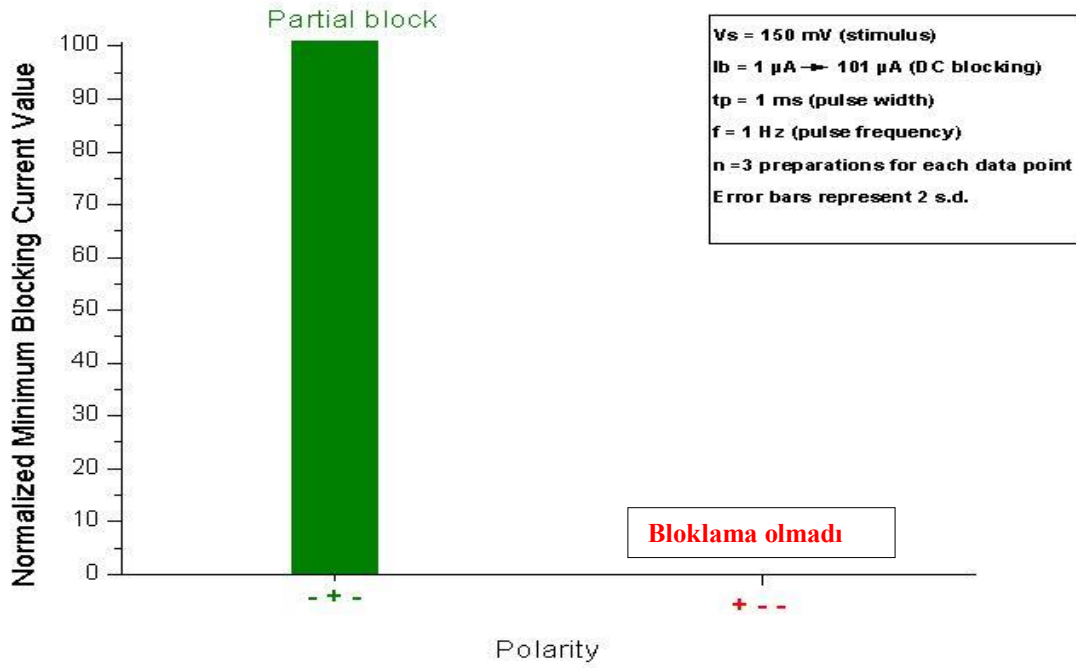
Şekil 3.35: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.36'da gösterilmiştir. (+ - -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.36: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

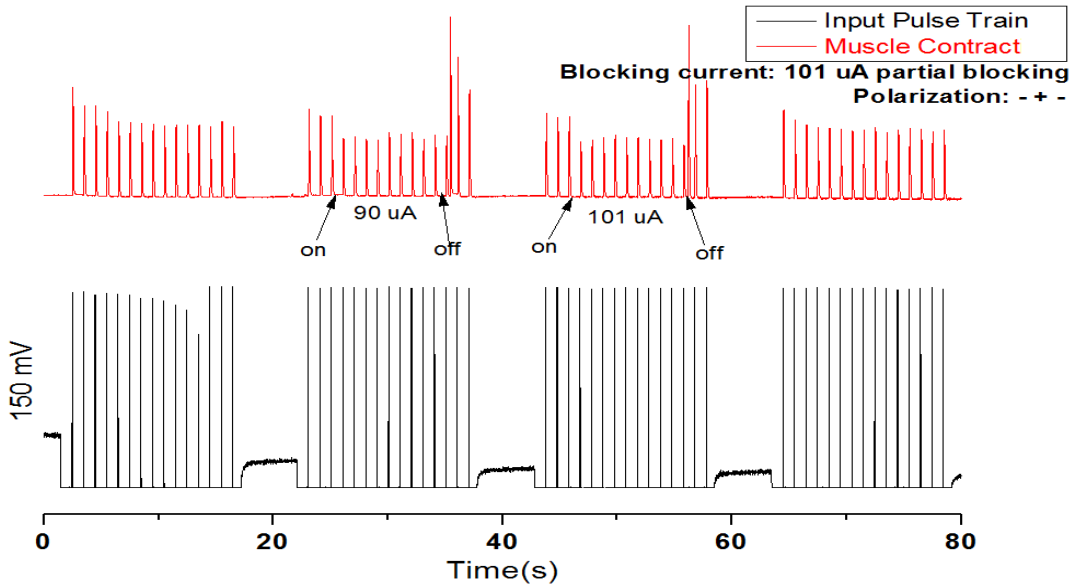
Aşağıdaki Şekil 3.37'de (- + -) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir.(- + -) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun daha iyi blokladığı, (+ - -) kombinasyonuna sahip elektrodun  $101 \mu A$  akım değerinde dahi bloklayamadığı görülmektedir.



Şekil 3.37: (- + -) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

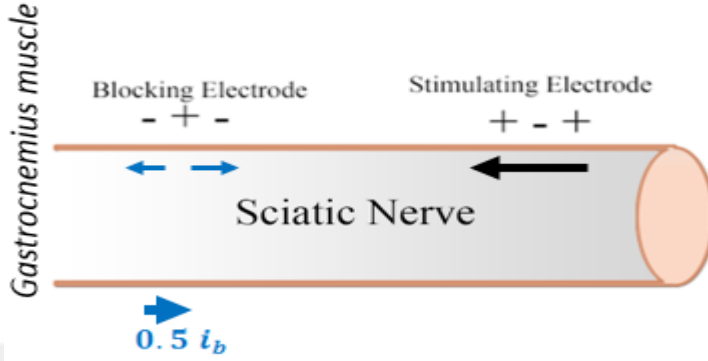
### 3.8 (- + -) kombinasyonu ile (+ - +) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (- + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde kasi kısmi olarak blokladığı; bloklama elektroduna (+ - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, bloklama olmadığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.38’de (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



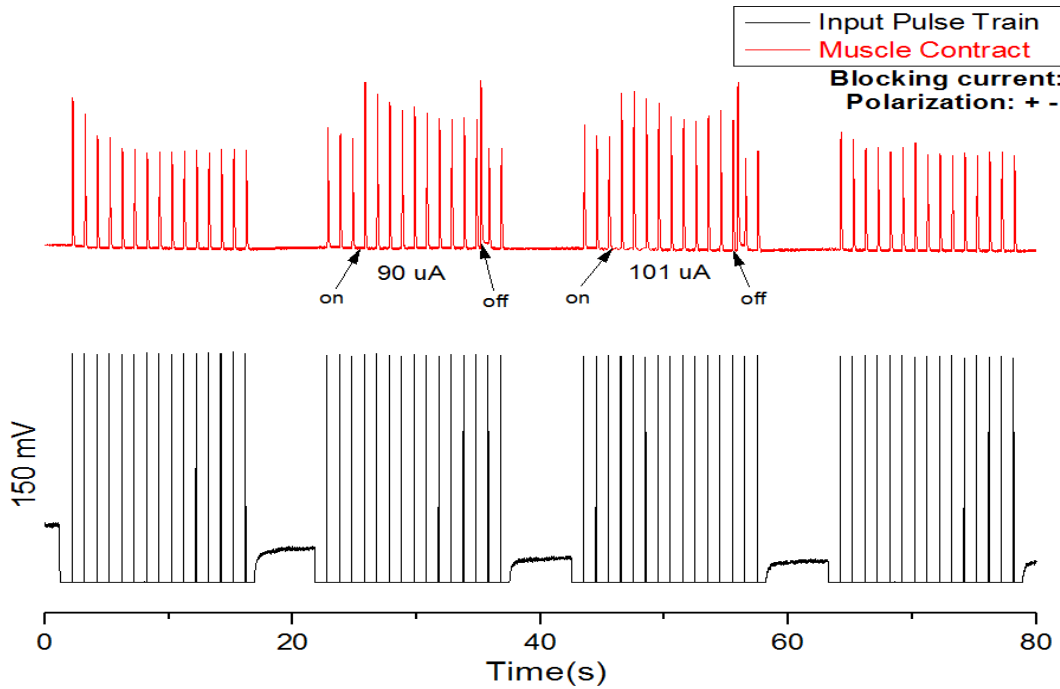
Şekil 3.38: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.39'da gösterilmiştir. (- + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $0.5 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



Şekil 3.39: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

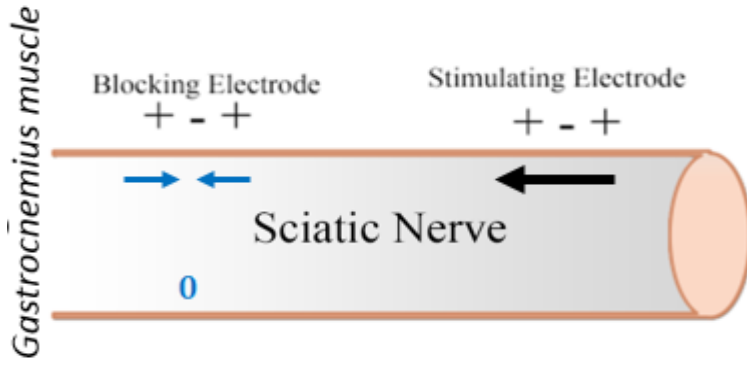
Aşağıdaki Şekil 3.40'ta (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



Şekil 3.40: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

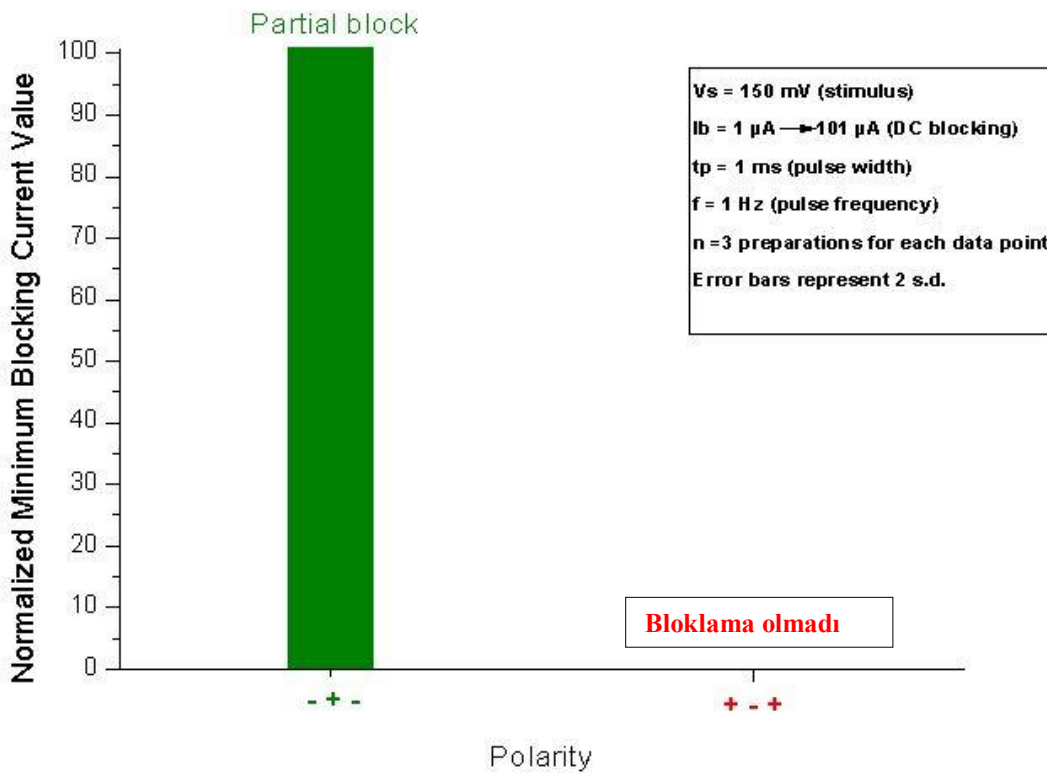
(+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.41' de gösterilmiştir. (+ - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı 0'dır.





Şekil 3.41: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.42'de (- + -) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- + -) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun daha iyi blokladığı, (+ - +) kombinasyonuna sahip elektrodun 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde dahi bloklayamadığı görülmektedir.

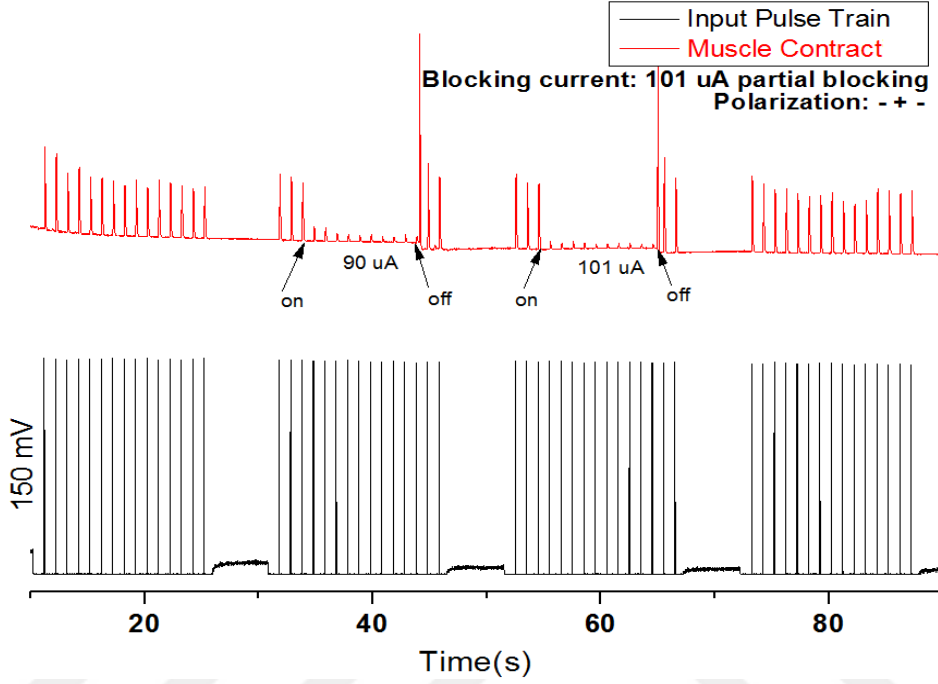


Şekil 3.42: (- + -) ve (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

### 3.9 (- + -) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması

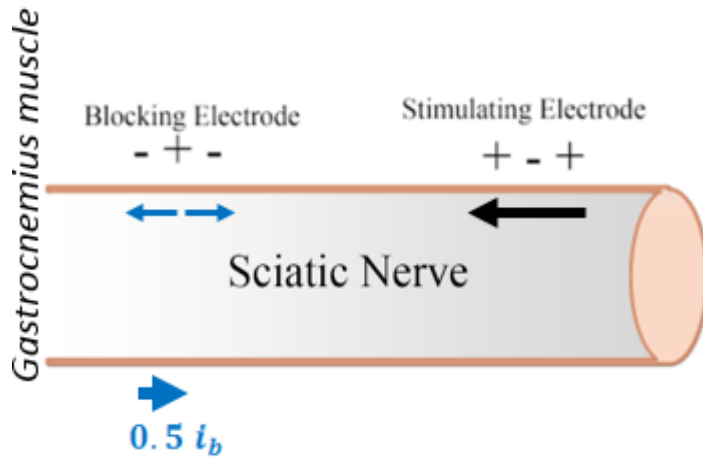
Bloklama elektroduna (- + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde kısmi olarak blokladığı; bloklama elektroduna (+ + -)

kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, kası kısmi olarak blokladığı görülmüştür. Aşağıda gösterilen deney sonuçları incelendiğinde 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde (- + -) kombinasyonunun daha iyi bloklandığı açıktır. Aşağıdaki Şekil 3.43' te (- + -) polariteye sahip blokla elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



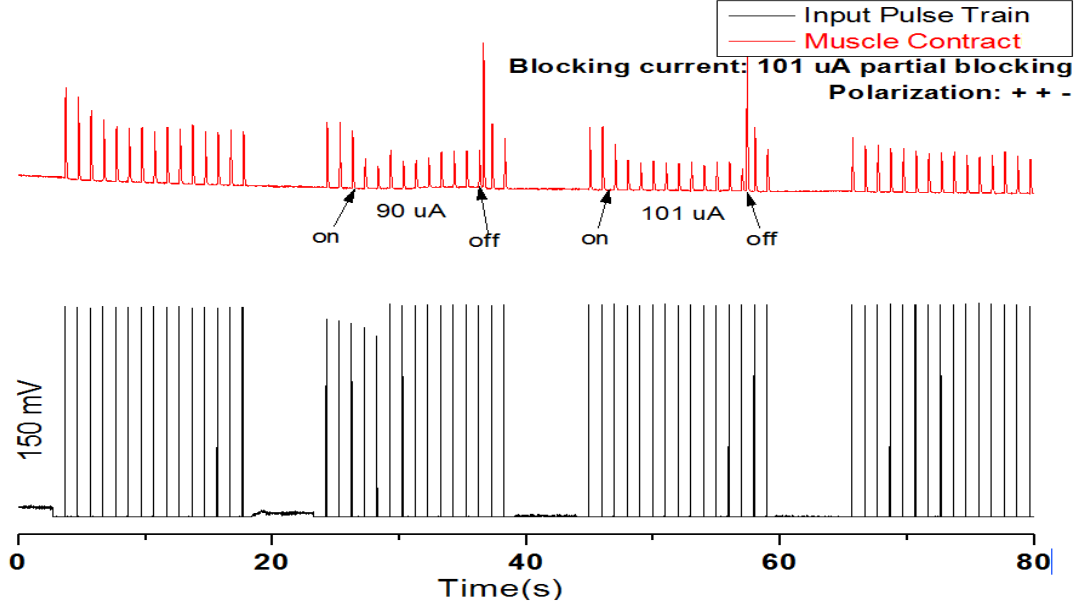
Şekil 3.43: (- + -) polariteye sahip blokla elektrodunun deney sonucu

(- + -) polariteye sahip blokla elektrodunda oluşan DC blokla akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.44' te gösterilmiştir. (- + -) kombinasyonunda oluşan blokla akımı, uyarım akımına ters yöndedir ve değeri  $0.5 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



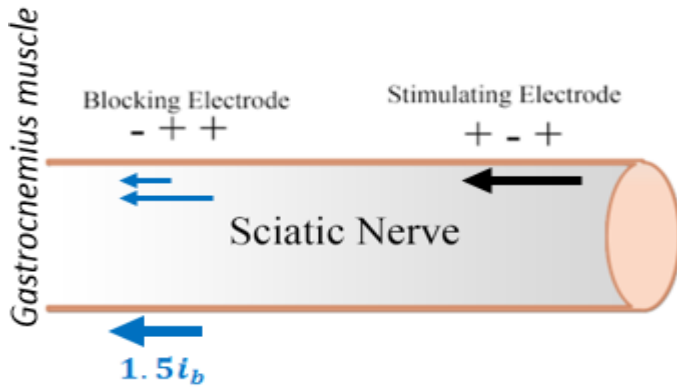
Şekil 3.44: DC blokla akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.45' te (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



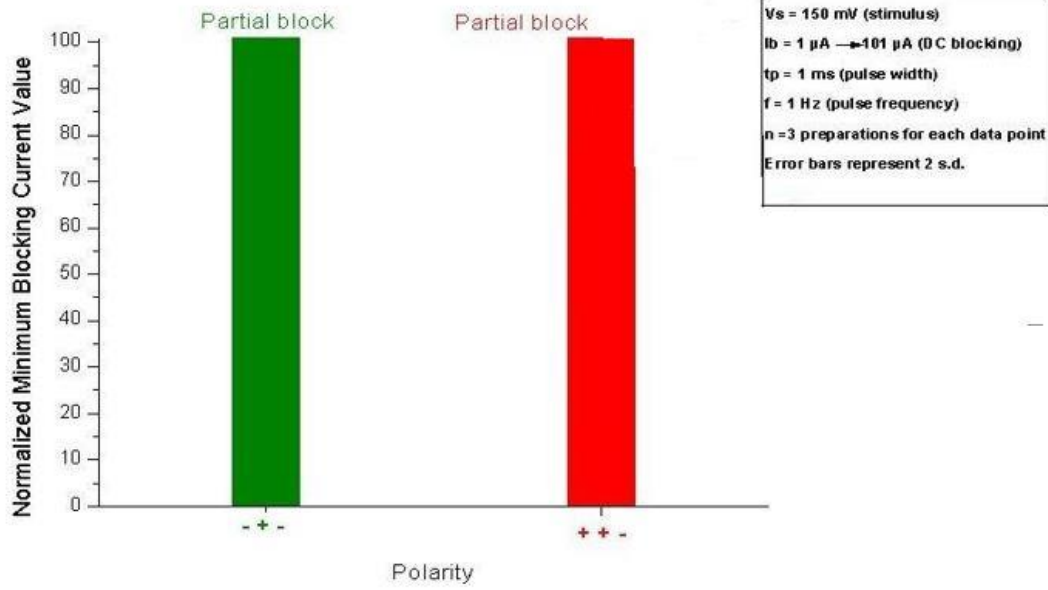
Şekil 3.45: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.46' da gösterilmiştir. (+ + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1.5 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



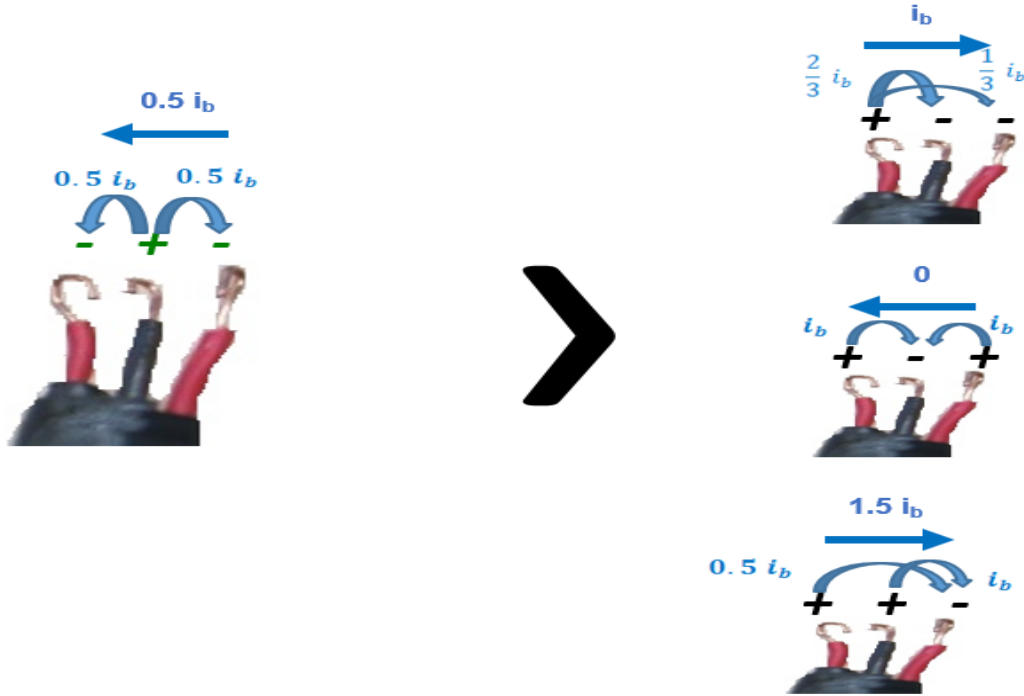
Şekil 3.46: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.47'de (- + -) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- + -) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ + -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.47: (- + -) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

Yapılan deneyler sonucunda; (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun (+ - -), (+ - +), (+ + -) polaritelere sahip bloklama elektrotlarına göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.48' de (- + -), (+ - -), (+ - +), (+ + -) polaritelere sahip bloklama elektrotlarında bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönleri ve değerleri gösterilmiştir.

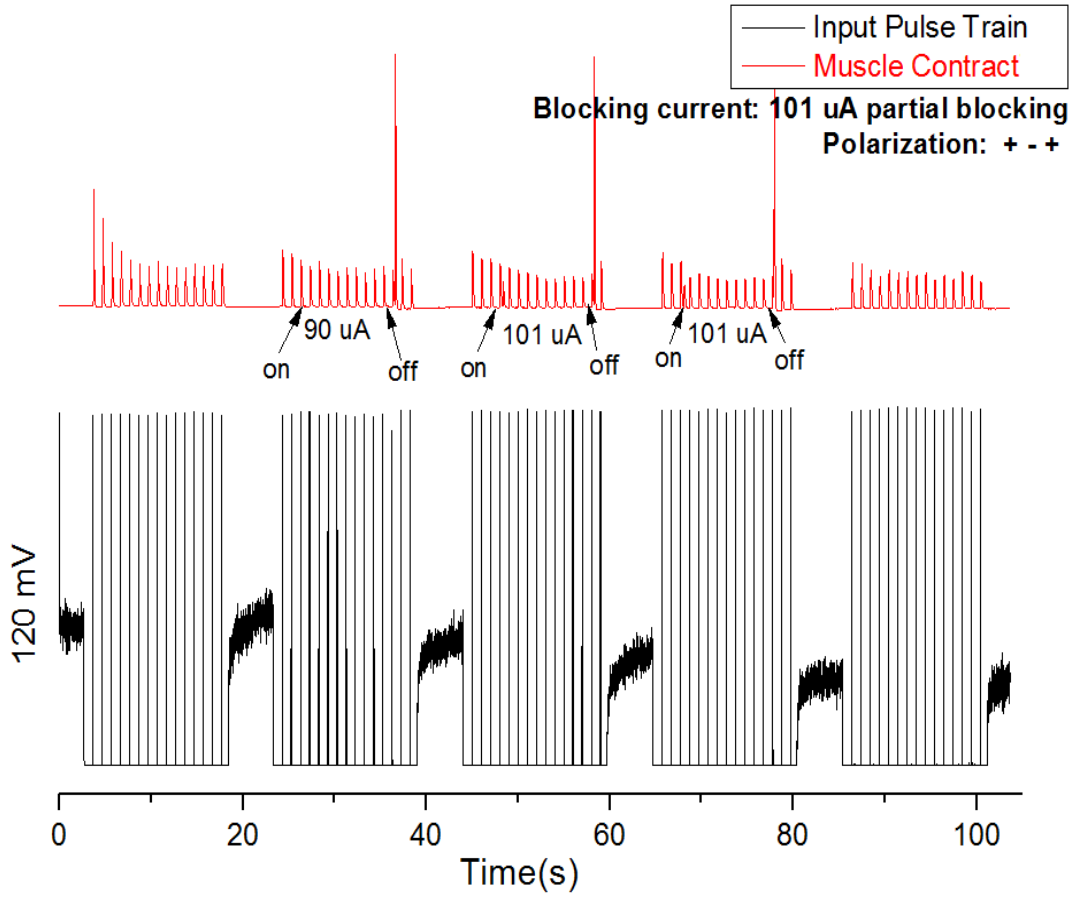


Şekil 3.48: (- + -) kombinasyonu ile (+ - -), (+ - +), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda " - " ile başlayan kombinasyonların " + " ile başlayan kombinasyonlara göre daha düşük akım değerlerinde bloklayabildiği görülmüş olup, deneylerin devamında " + " ile başlayan kombinasyonlar karşılaştırılmıştır.

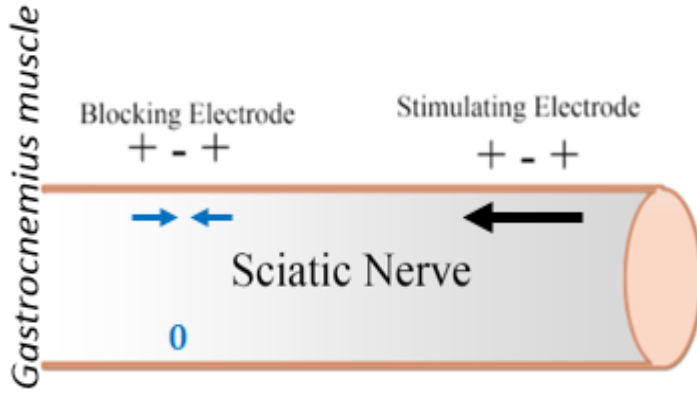
### 3.10 (+ - +) kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (+ - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde kası kısmi olarak blokladığı; bloklama elektroduna (+ + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, bloklama olmadığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.49'da (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



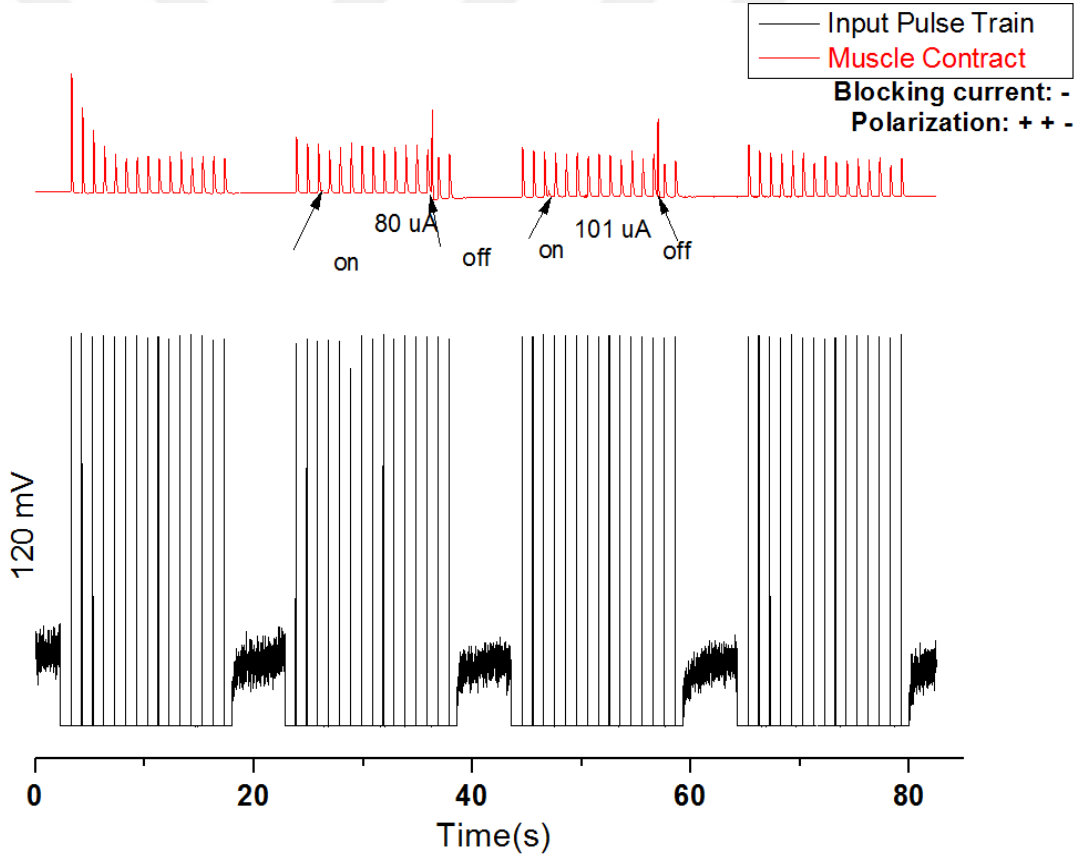
Şekil 3.49: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.50' de gösterilmiştir. (+ - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı 0'dır.



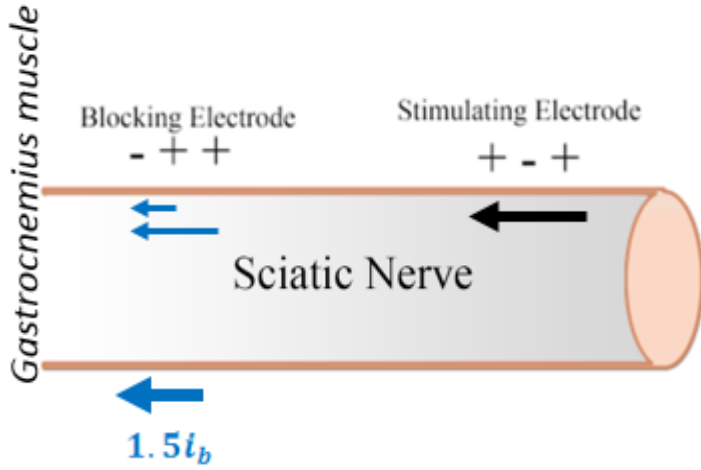
Şekil 3.50: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.51’de (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



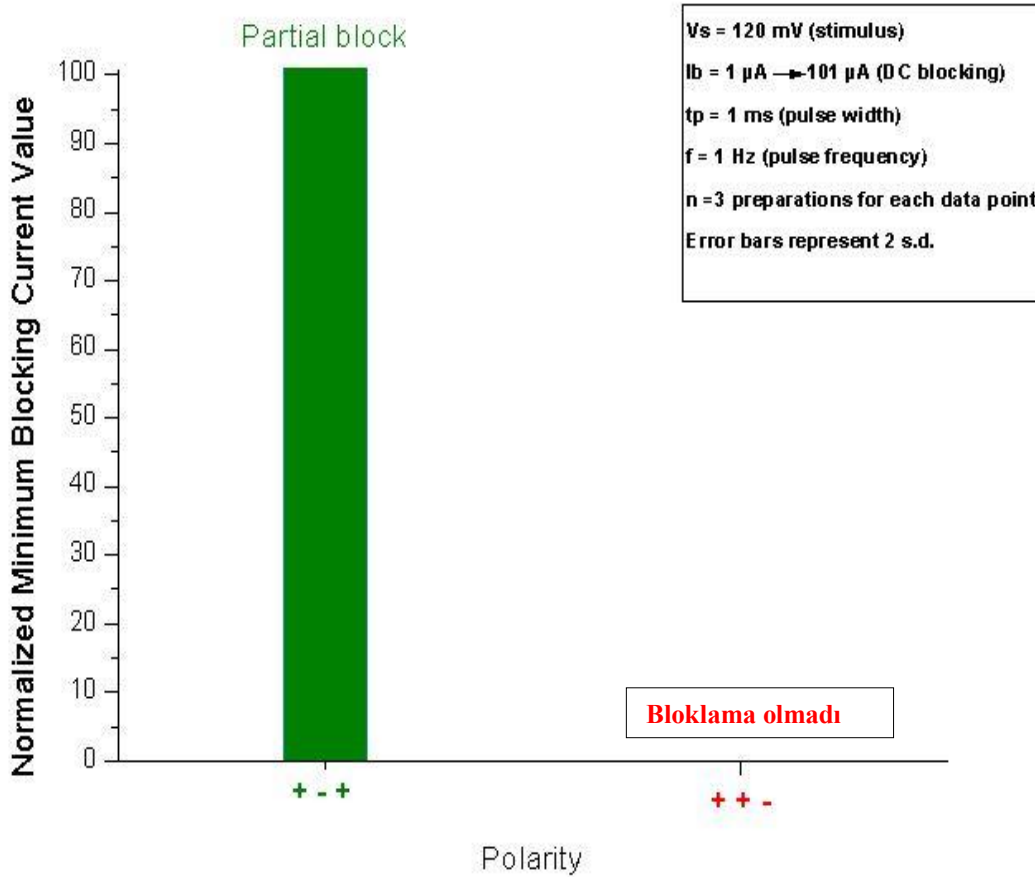
Şekil 3.51: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.52’ de gösterilmiştir. (+ + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1.5 i_b$ ’dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.52: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

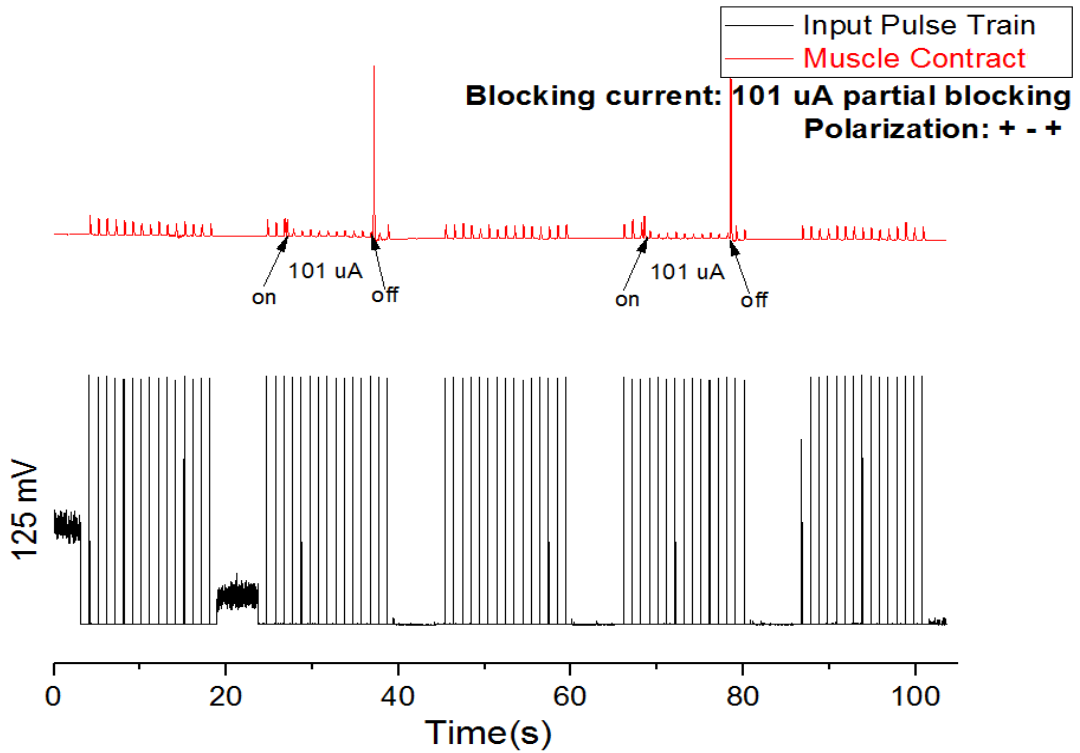
Aşağıdaki Şekil 3.53'te (+ - +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (+ - +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun daha iyi blokladığı, (+ + -) kombinasyonuna sahip elektrodun 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde dahi bloklamadığı görülmektedir.



Şekil 3.53: (+ - +) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

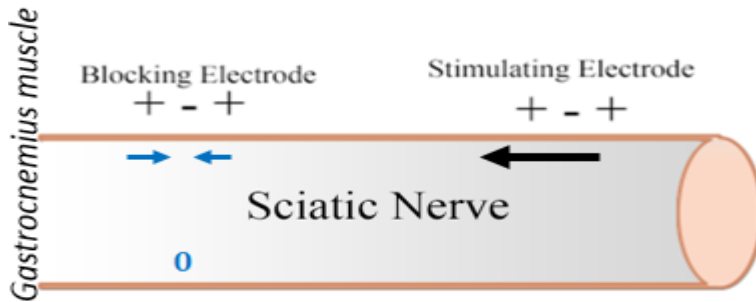
### 3.11 (+ - +) kombinasyonu ile (+ - -) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (+ - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde kası kısmi olarak blokladığı; bloklama elektroduna (+ - -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, kası kısmi olarak blokladığı görülmüştür. Aşağıda gösterilen deney sonuçları incelendiğinde 101  $\mu\text{A}$  akım değerinde (+ - +) kombinasyonunun daha iyi bloklandığı açıktır. Aşağıdaki Şekil 3.54'te (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



Şekil 3.54: (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

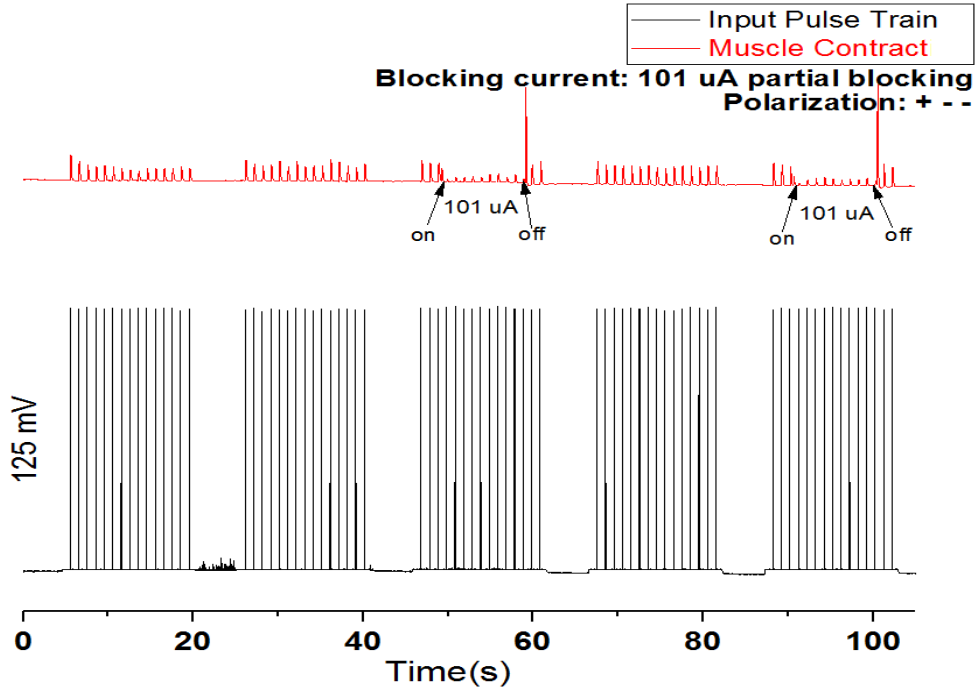
(+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.55'te gösterilmiştir. (+ - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı 0'dır.



Şekil 3.55: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

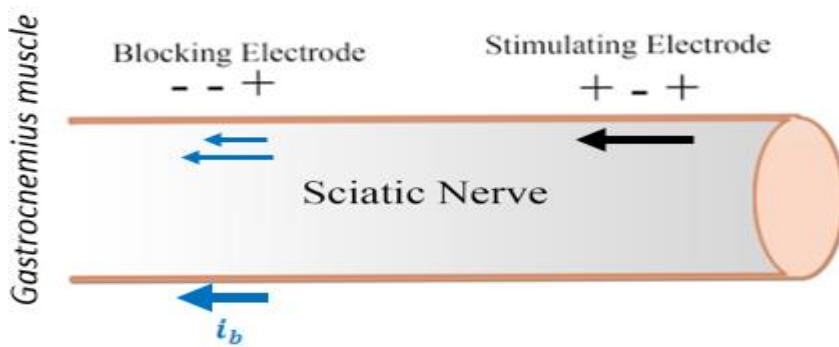


Aşağıdaki Şekil 3.56'da (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



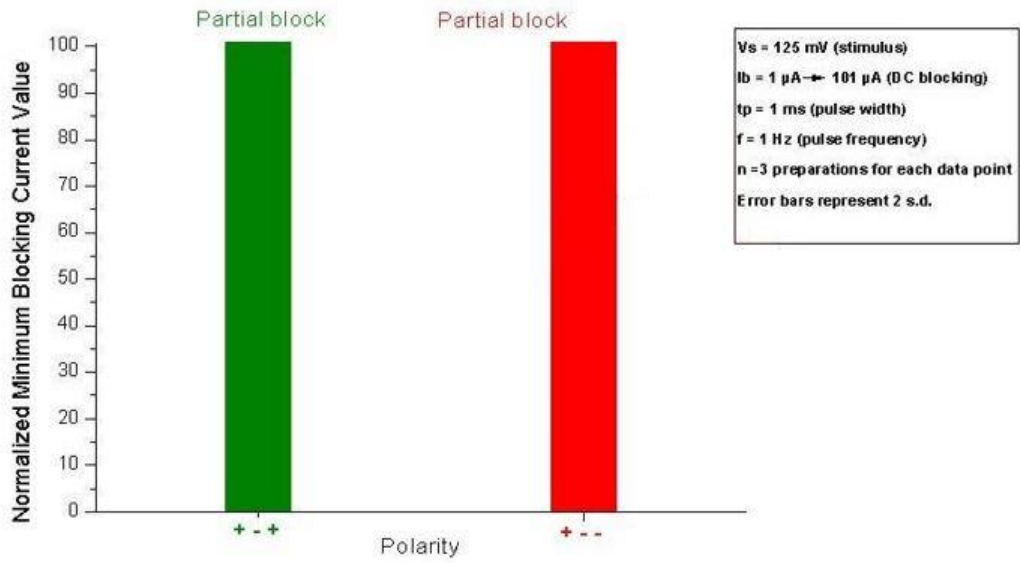
Şekil 3.56: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.57'de gösterilmiştir. (+ - -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.57: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

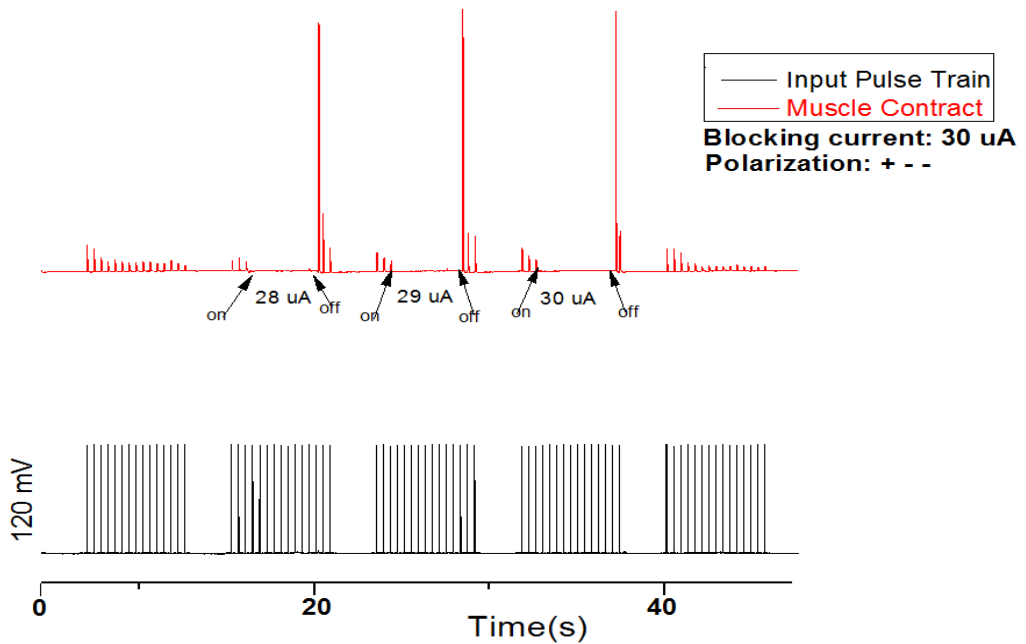
Aşağıdaki Şekil 3.58'de (+ - +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodularının istatistiksel grafiği görülmektedir. (+ - +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ - -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.58: (+ - +) ve (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

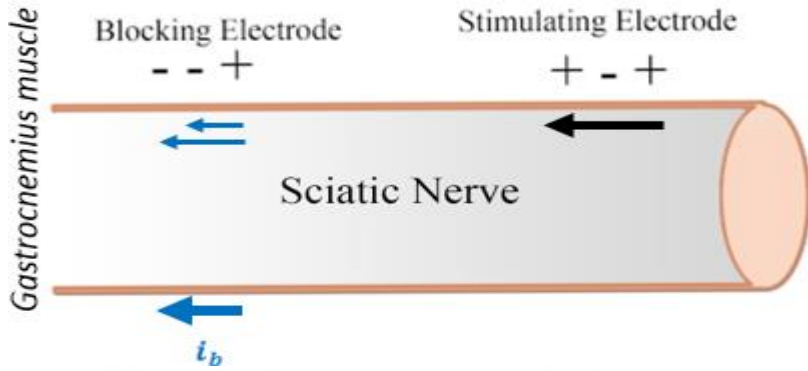
### 3.12 (+ - -)kombinasyonu ile (+ + -) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (+ - -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 30  $\mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (+ + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 34  $\mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.59'da (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



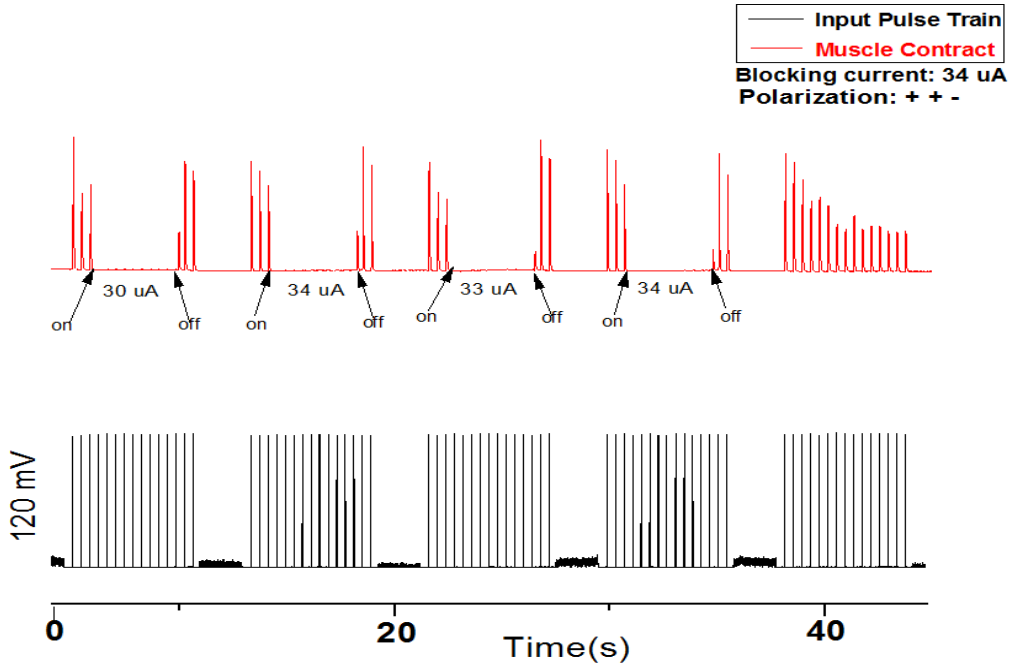
Şekil 3.59: (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.60' da gösterilmiştir. (+ - -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1 i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



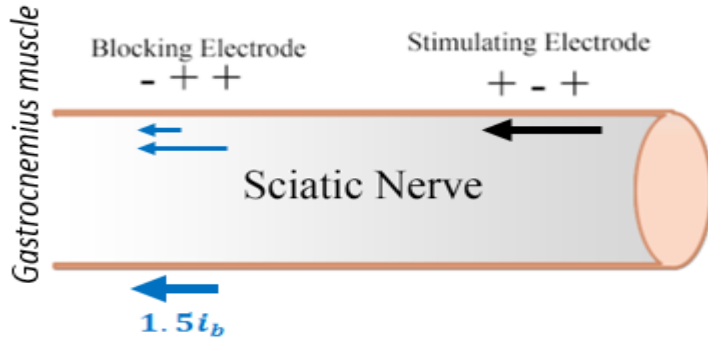
Şekil 3.60: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.61'de (++-) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



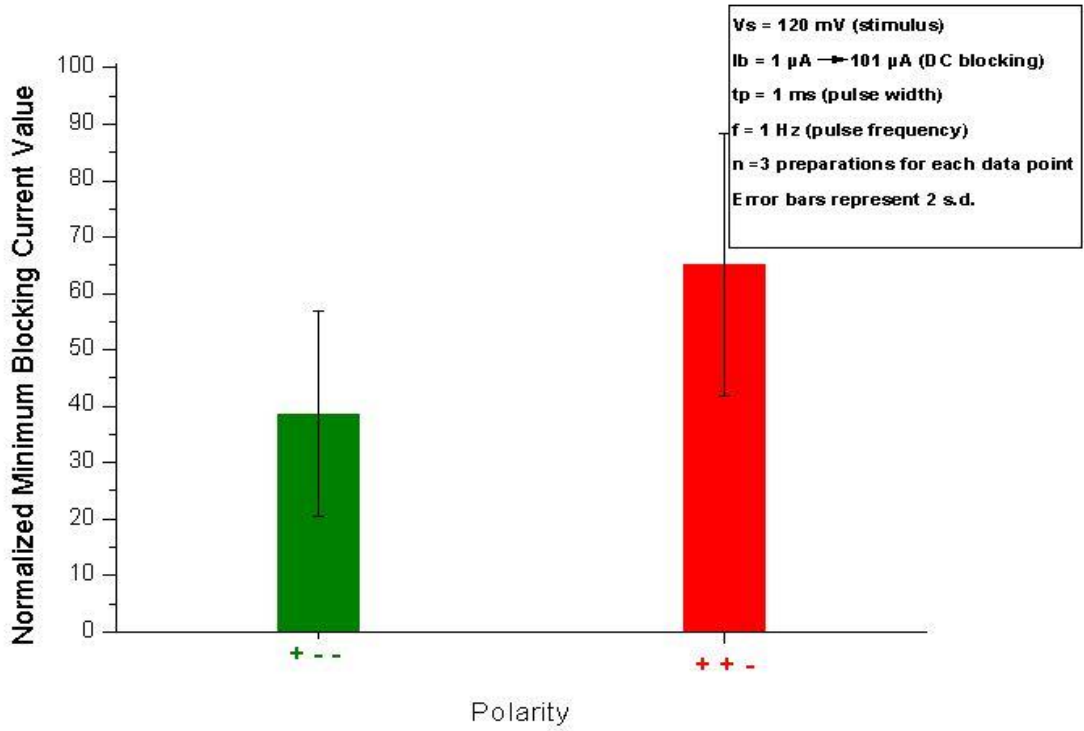
Şekil 3.61: (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.62' de gösterilmiştir. (+ + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımı ile aynı yöndedir ve değeri  $1.5i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı zorlaştırır.



Şekil 3.62: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

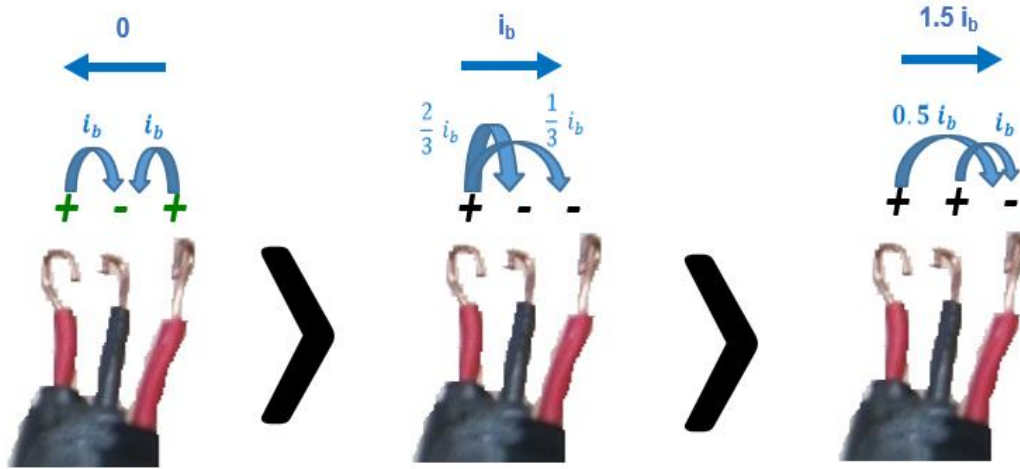
Aşağıdaki Şekil 3.63'te (+ - -) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (+ - -) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (+ + -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.63: (+ - -) ve (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

Yapılan deneyler sonucunda; (+ - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodundan, (+ - -) polariteye sahip bloklama elektrodunun da (+ + -) polariteye sahip bloklama elektrodundan daha düşük akım değerinde blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.64' te (+ - +), (+ - -), (+ + -)

polaritelerine sahip bloklama elektrotlarında bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönleri ve değerleri gösterilmiştir.

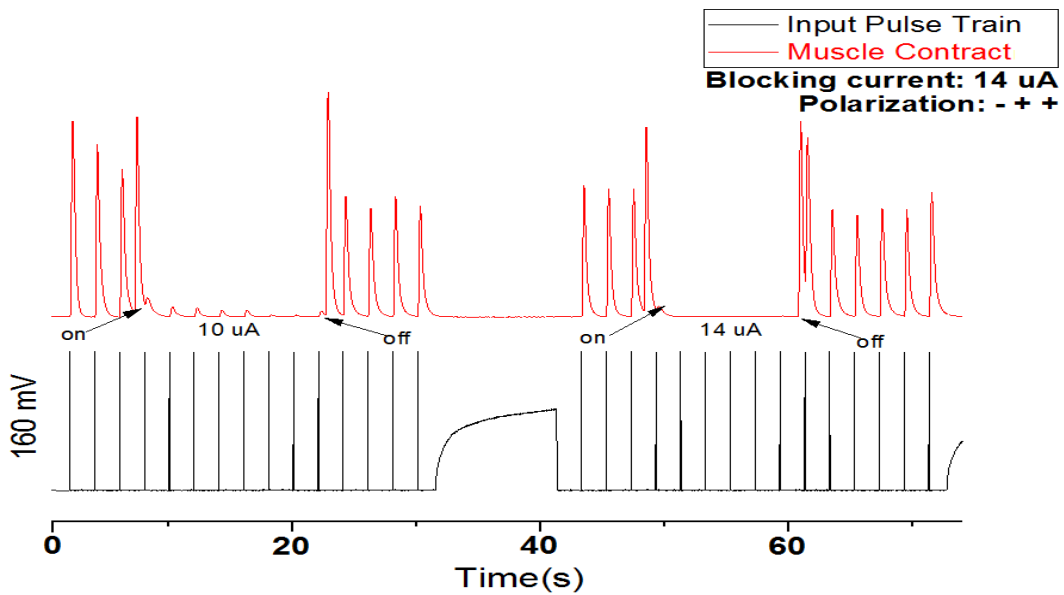


Şekil 3.64: (+ - +), (+ - -), (+ + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması

" - " ile başlayan üçlü kombinasyonlarda kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

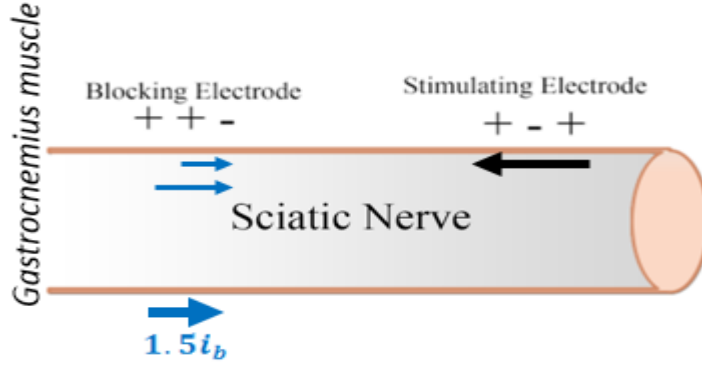
### 3.13 (- + +) kombinasyonu ile (- + -) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (- + +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 14  $\mu$ A akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (- + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 90  $\mu$ A akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.65'te (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



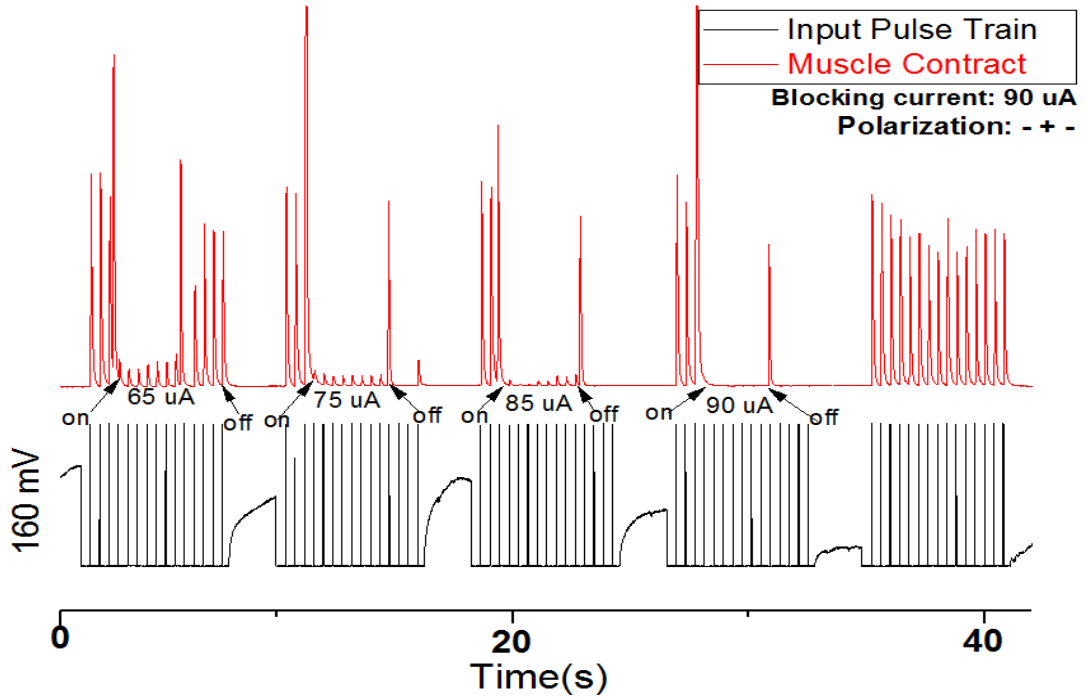
Şekil 3.65: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.66' da gösterilmiştir. (- + +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına zıt yöndedir ve değeri  $1.5i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



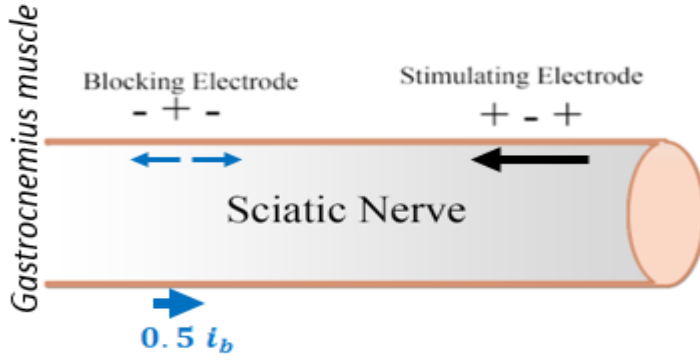
Şekil 3.66: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.67'de (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



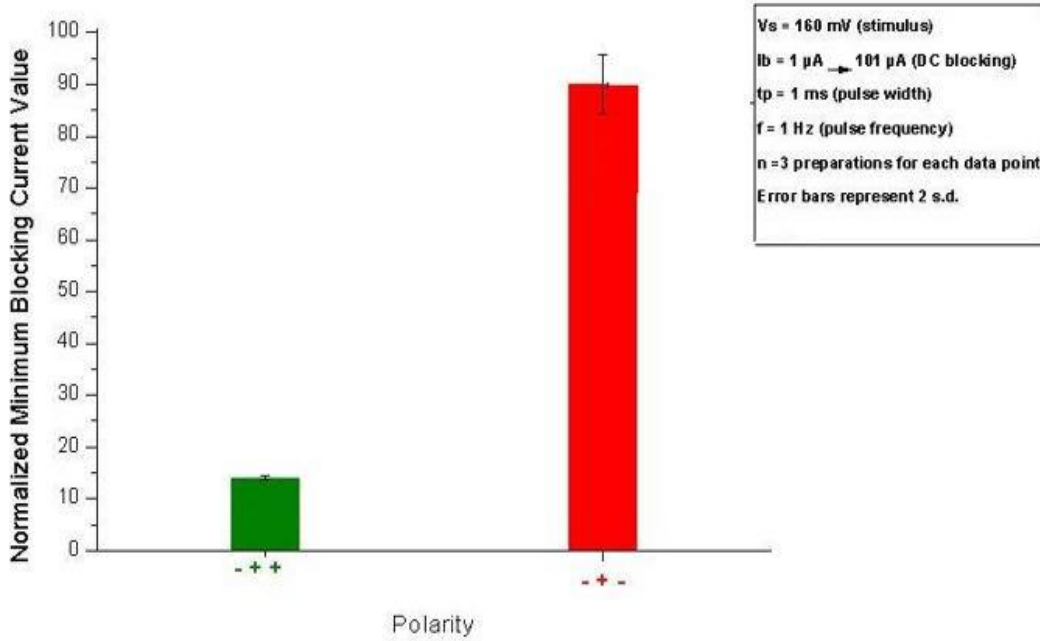
Şekil 3.67: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.68'de gösterilmiştir. (- + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına zıt yöndedir ve değeri  $0.5i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



Şekil 3.68: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.69'da (- + +) ve (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- + +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (- + -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.

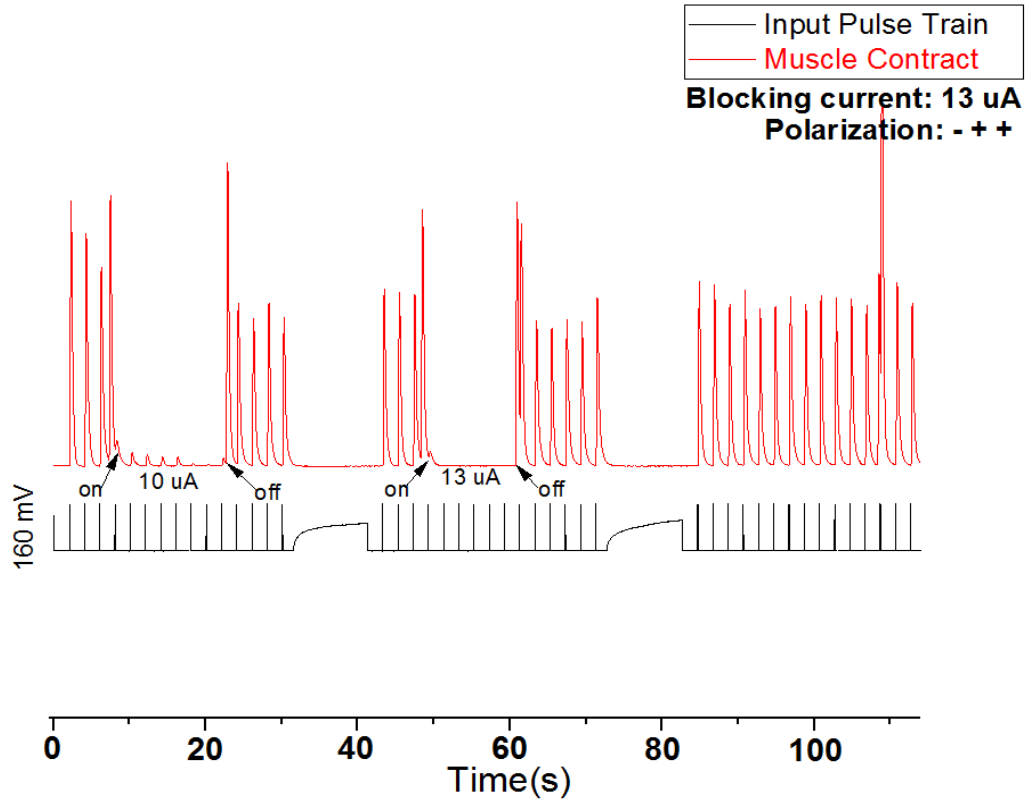


Şekil 3.69: (- + +) ve (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

### 3.14 (- + +) kombinasyonu ile (- - +) kombinasyonunun karşılaştırılması

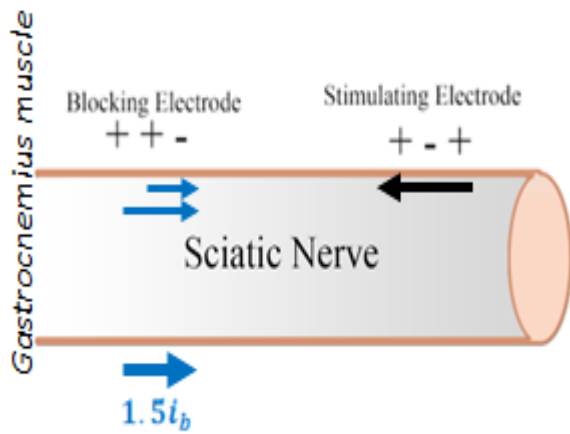
Bloklama elektroduna (- + +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 13 µA akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (- - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında, 19 µA akım değerinde kası blokladığı görülmüştür.

Aşağıdaki Şekil 3.70'de (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



Şekil 3.70: (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

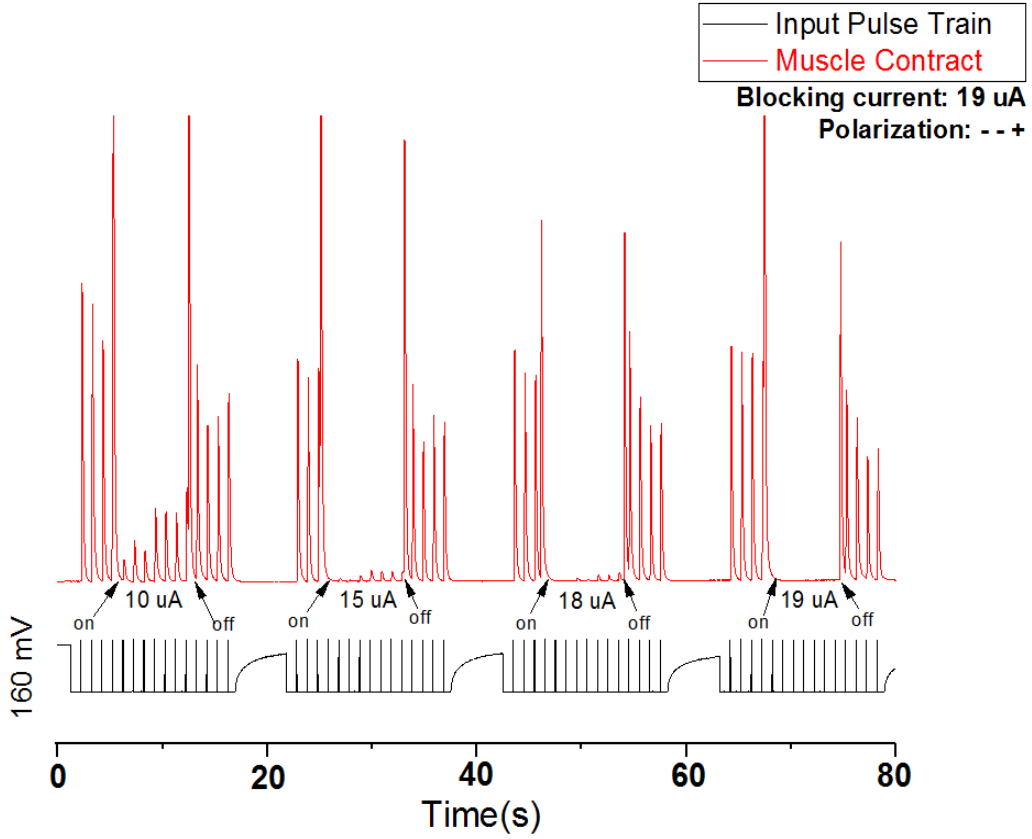
(- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.71'de gösterilmiştir. (- + +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına zıt yöndedir ve değeri  $1.5i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



Şekil 3.71: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

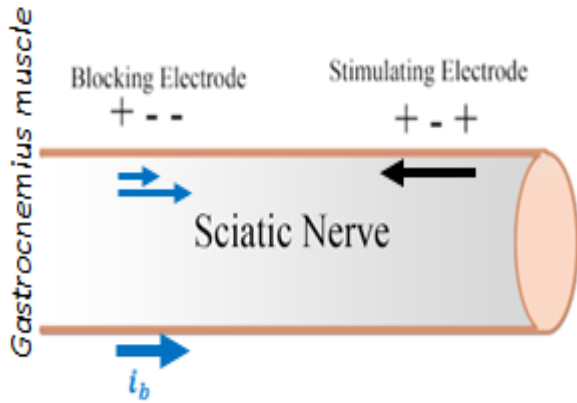


Aşağıdaki Şekil 3.72’de (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



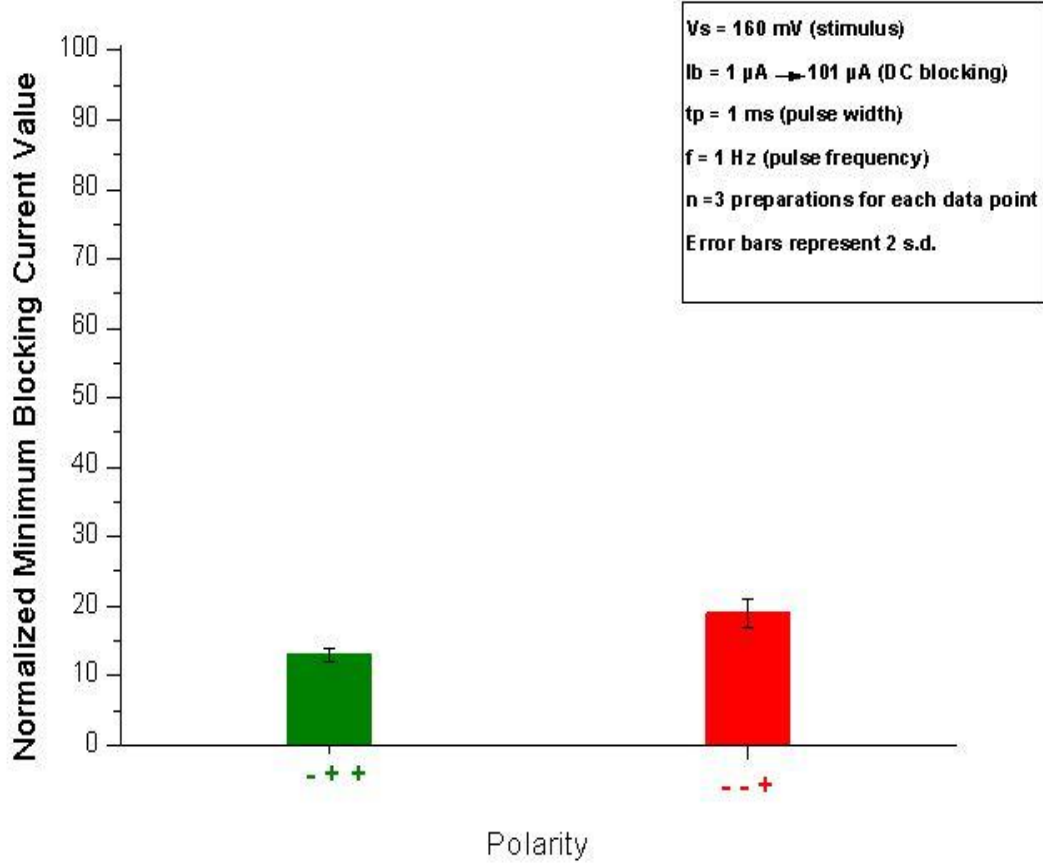
Şekil 3.72: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.73'te gösterilmiştir. (- - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına zıt yöndedir ve değeri  $i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



Şekil 3.73: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

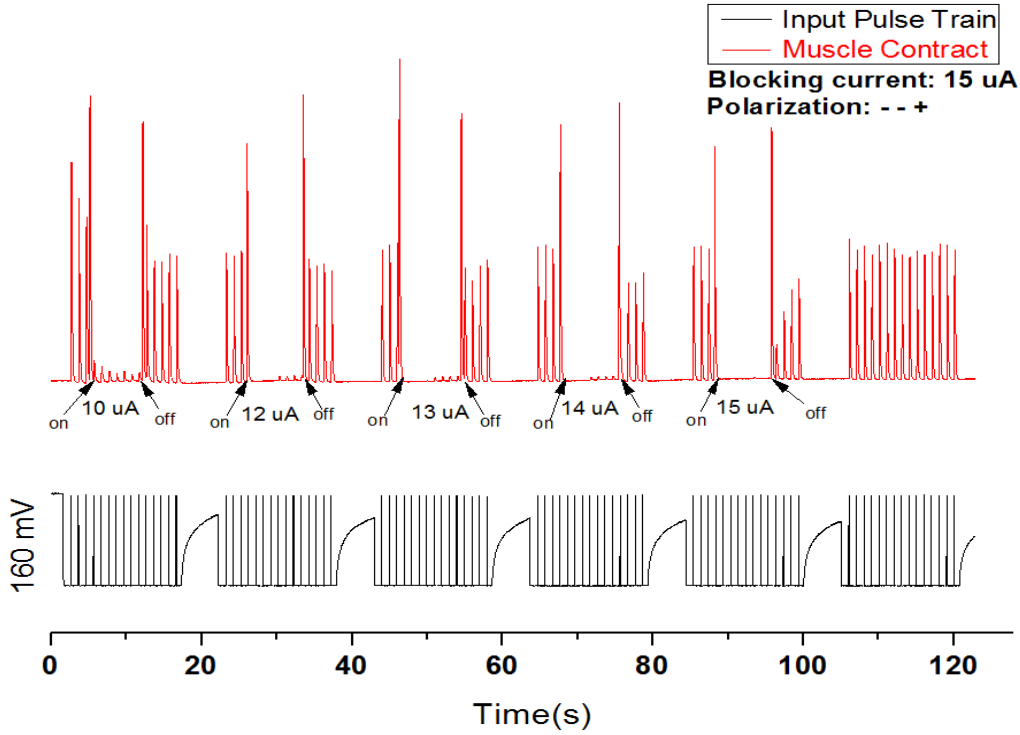
Aşağıdaki Şekil 3.74'te (- + +) ve (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir.(- + +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (- - +) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.74: (- + +) ve (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodlarının deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

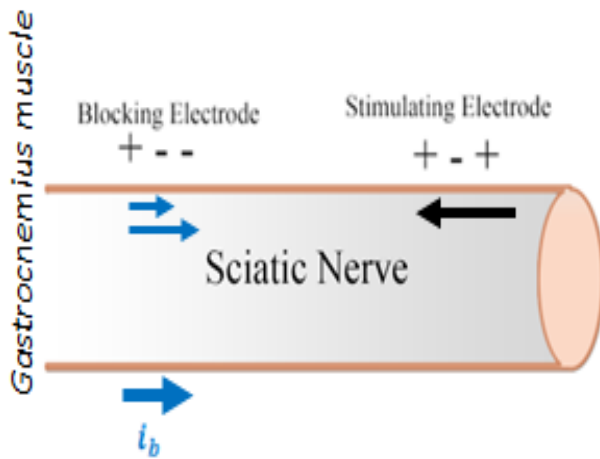
### 3.15 (- - +) kombinasyonu ile (- + -) kombinasyonunun karşılaştırılması

Bloklama elektroduna (- - +) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında,  $15 \text{ } \mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı; bloklama elektroduna (- + -) kombinasyonu ve DC akım uygulandığında,  $90 \text{ } \mu\text{A}$  akım değerinde kası blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.75'te (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



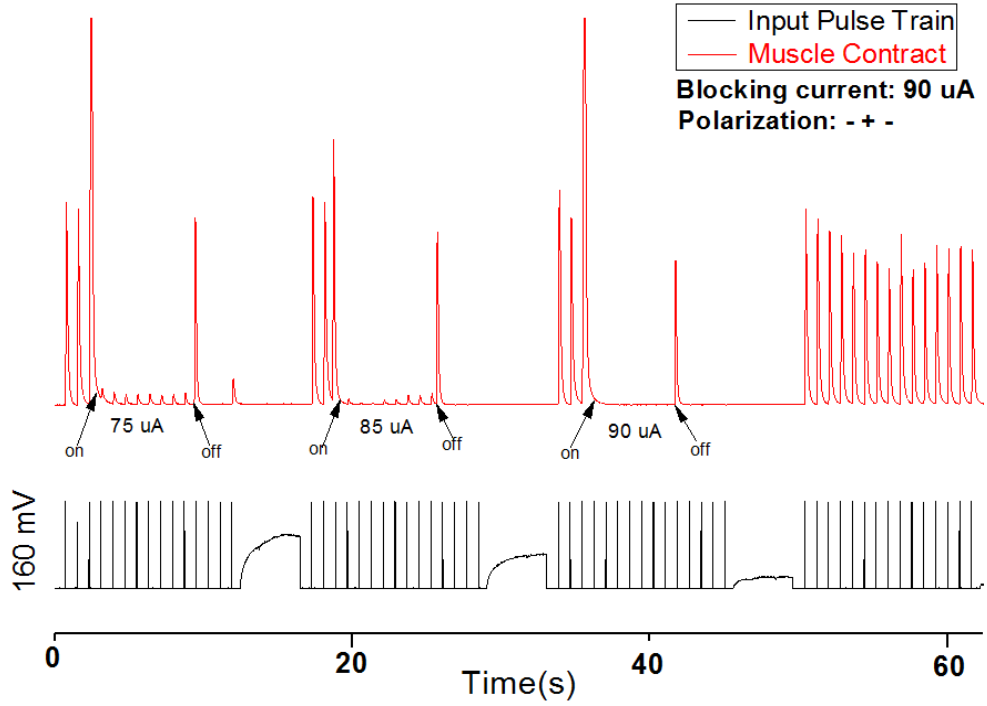
Şekil 3.75: (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.76'da gösterilmiştir. (- - +) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına zıt yöndedir ve değeri  $i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



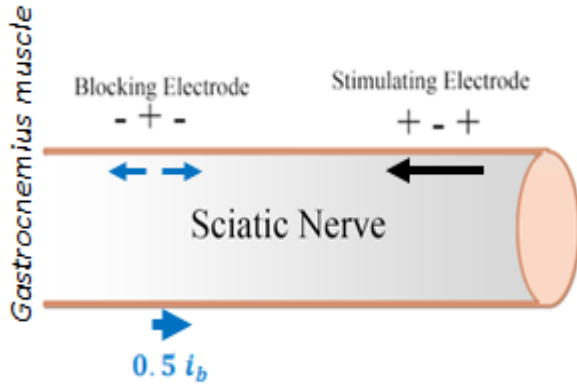
Şekil 3.76: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.77'de (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu görülmektedir.



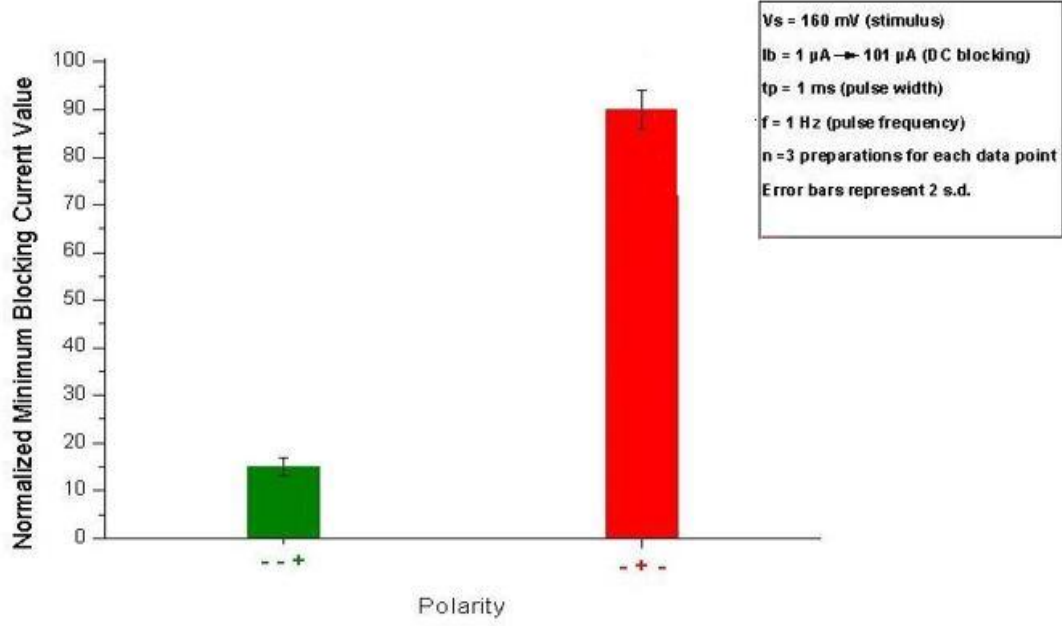
Şekil 3.77: (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonucu

(- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunda oluşan DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri aşağıdaki Şekil 3.78'de gösterilmiştir. (- + -) kombinasyonunda oluşan bloklama akımı, uyarım akımına zıt yöndedir ve değeri  $0.5i_b$ 'dir. Bu durum bloklamayı teşvik eder.



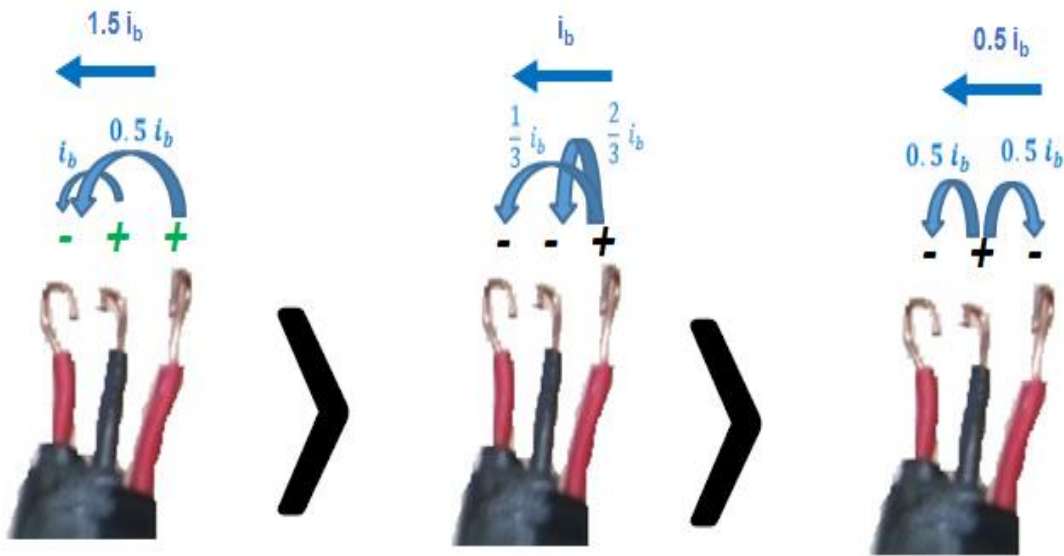
Şekil 3.78: DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönü ve değeri

Aşağıdaki Şekil 3.79'da (- - +) ve (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodlarının istatistiksel grafiği görülmektedir. (- - +) kombinasyonuna sahip bloklama elektrodunun, (- + -) kombinasyonuna sahip elektroda göre daha düşük akım değerinde blokladığı görülmektedir.



Şekil 3.79: (- - +) ve (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodunun deney sonuçlarının istatistiksel grafiği

Yapılan deneyler sonucunda; (- + +) polariteye sahip bloklama elektrodunun (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodundan, (- - +) polariteye sahip bloklama elektrodunun da (- + -) polariteye sahip bloklama elektrodundan daha düşük akım değerinde blokladığı görülmüştür. Aşağıdaki Şekil 3.80'de (- + +), (- - +), (- + -) polaritelerine sahip bloklama elektrotlarında bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönleri ve değerleri gösterilmiştir.

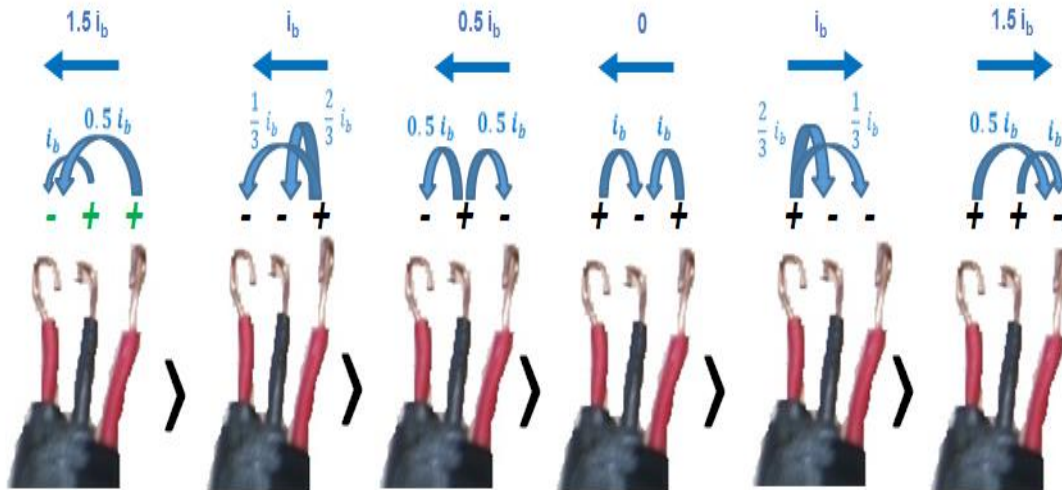


Şekil 3.80: (- + +), (- - +), (- + -) kombinasyonlarının karşılaştırılması



#### 4. SONUÇ

Çalışmamızda uyarım akımını minimum değerde DC akım uygulayarak engellemek amacıyla farklı polaritelerde tripolar bloklama elektrodu kullanılarak bloklama deneyleri gerçekleştirildi. Yapılan deneyler sonucunda proksimalden siyatik sinirin distaline kadar uzanan (- + +) polarizasyonunun, aksiyon potansiyeli iletimini en etkin şekilde blokladığı gözlemlendi. (- - +), (- + -), (+ - +), (+ - -), (+ + -) kombinasyonları sırasıyla sonraki verimli sonuçları verdi. Bu bulgular DC bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönüyle açıklanabilir. Akım pozitif kutuptan negatife doğru hareket ettikçe, (- + +) kombinasyonunda bloklama akımı aksiyon potansiyeli akımına terstir. Bu durum, sodyum kanallarının inaktivasyonu ile birlikte bloklamayı teşvik eder. (+ + -) kombinasyonunda, bloklama akımının yönü aksiyon potansiyeliyle aynıdır; bu da bloklamayı zorlaştırır. Aşağıdaki Şekil 3.81'de tüm üçlü kombinasyonlarda bloklama akımının elektrottan kaynaklanan yönleri ve değerleri gösterilmiştir; bloklama akımı değeri düşük olan polariteden bloklama akım değeri yüksek olan polariteye doğru sıralanmıştır.



Şekil 4.1: Tüm üçlü polarite kombinasyonlarının karşılaştırılması

Sonuç olarak (- + +) kombinasyonunun DC akım ile elektriksel bloklama için en etkili üçlü kombinasyon olduğu sonucuna ulaşıldı. Bu teknik bloklama ile ilgili gelecekteki çalışmalarda kullanılabilir; böylece bloklama akımı değeri küçülecek ve bu teknik kullanımıyla sinir dokusuna hasara sebebiyet yok olacaktır.





## KAYNAKLAR

- [1] **Vrabec, T., Wainright, J., Bhadra, N., Bhadra, N., & Kilgore, K.** (2013). Use of high surface area electrodes for safe delivery of direct current for nerve conduction block. *ECS Transactions*, 50(28), 31-37.
- [2] **Kuffler, S. W., & Gerard, R. W.** (1947). The small-nerve motor system to skeletal muscle. *Journal of neurophysiology*, 10(6), 383-394.
- [3] **Paintal, A. S.** (1965). Block of conduction in mammalian myelinated nerve fibres by low temperatures. *The Journal of physiology*, 180(1), 1-19.
- [4] **Whitwam, J. G., & Kidd, C.** (1975). The use of direct current to cause selective block of large fibres in peripheral nerves. *British journal of anaesthesia*, 47(11), 1123-1132.
- [5] **Bhadra, N., & Kilgore, K. L.** (2004). Direct current electrical conduction block of peripheral nerve. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 12(3), 313-324.
- [6] **Kilgore, K. L., Foldes, E. A., Ackermann, D. M., & Bhadra, N.** (2009, September). Combined direct current and high frequency nerve block for elimination of the onset response. In *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE* (pp. 197-199). IEEE.
- [7] **Özdemir, F., & Kabayel, D. D.** (2007). İnmeli Hastalarda Nöromüsküler Elektriksel Stimülasyon ve Fonksiyonel Elektriksel Stimülasyon Uygulamaları. *Turkish Journal of Physical Medicine & Rehabilitation/Turkiye Fiziksel Tip ve Rehabilitasyon Dergisi*, 53.
- [8] **Mysiw WJ, Jackson RD.** Electrical stimulation. In: Braddom RL. *Physical Medicine and Rehabilitation*. WB Saunders Co Philadelphia, 1996: 464-491
- [9] **Gibson JNA, Smith K, Rennie MJ.** Prevention of disuse muscle atrophy by means of electrical stimulation: maintenance of protein synthesis. *The Lancet* 1998; 767-769
- [10] **Gould N, Donnermeyer D, Gammon GG, Pope M, Ashikaga T.** Transcutaneous muscle stimulation to retard disuse atrophy after open meniscectomy. *Clinical Orthopedics and Related Research* 1983;178:190-197
- [11] **Nelson RM, Currier DP.** In: *Clinical Electrotherapy*. Appleton-Lange Connecticut. 1991

- [12] **Kilgore, K. L., & Bhadra, N.** (2004). Nerve conduction block utilising high-frequency alternating current. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 42(3), 394-406.
- [13] **Başoğlu YÖ.** Hemiplejik el rehabilitasyonunda nöromusküler elektrik stimülasyonun (NMES) uygulama tekniklerinin etkinliklerinin karşılaştırılması. (Tez). Edirne: Trakya Ü Tıp Fak; 2005.
- [14] **Julie De Vahl.** NMES in rehabilitation. In: Meryl Roth Gers, ed. *Electrotherapy in Rehabilitation*. F. A. Davis Company, Philadelphia. 1992:233-251
- [15] **URL-1** <https://global.britannica.com/science/action-potential> Alındığı tarih: 29.06.2017.
- [16] **Weiss, T. F.** (1996). *Cellular biophysics* (Vol. 1). Cambridge, Mass.: MIT press.
- [17] **Levendoğlu F.** Elektrofizyolojik temel bilgiler. In: Tuna N, ed. *Elektroterapi*. Nobel Tıp Kitapevi, İstanbul, 1989: 35-47
- [18] **Sengir O.** Elektrofizyoloji, elektrodiagnoz. *Fizik Tedavi Kitabı*. 2. baskı. Bayrak Matbaacılık, İstanbul, 1989: 147-200
- [19] **Peckham, P. H., & Knutson, J. S.** (2005). Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 7, 327-360.
- [20] **Haut, S. R., Bigal, M. E., & Lipton, R. B.** (2006). Chronic disorders with episodic manifestations: focus on epilepsy and migraine. *The Lancet Neurology*, 5(2), 148-157.
- [21] **Aarsland, D., Zaccari, J., & Brayne, C.** (2005). A systematic review of prevalence studies of dementia in Parkinson's disease. *Movement disorders*, 20(10), 1255-1263.
- [22] **Hall, J. E.** (2015). *Guyton and Hall textbook of medical physiology e-Book*. Elsevier Health Sciences.
- [23] **Zhang, X., Roppolo, J. R., De Groat, W. C., & Tai, C.** (2006). Mechanism of nerve conduction block induced by high-frequency biphasic electrical currents. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53(12), 2445-2454.
- [24] **Nashold, J. B., Goldner, J. L., Mullen, J. B., & Bright, D. S.** (1982). Long-term pain control by direct peripheral-nerve stimulation. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 64(1), 1-10.
- [25] **Tai, C., Roppolo, J. R., & de GROAT, W. C.** (2004). Block of external urethral sphincter contraction by high frequency electrical stimulation of pudendal nerve. *The Journal of urology*, 172(5), 2069-2072.

[26] **URL-2** [https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/e10521?lang=en&region=TR&gclid=CjwKCAjw7vraBRBbEiwA4WBO6eWTzkgp-TLBHwrTM4rJPH2YBJi3gkTDfMT0Xjdjlm4HVuzLOGk4VBoCdHwQAvD\\_BwE](https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/e10521?lang=en&region=TR&gclid=CjwKCAjw7vraBRBbEiwA4WBO6eWTzkgp-TLBHwrTM4rJPH2YBJi3gkTDfMT0Xjdjlm4HVuzLOGk4VBoCdHwQAvD_BwE), alındığı tarih: 30.07.2018.

[27] **Bhadra, N., Vrabec, T. L., Bhadra, N., & Kilgore, K. L.** (2018). Reversible conduction block in peripheral nerve using electrical waveforms. *Bioelectronics in medicine*, 1(1), 39-54.





## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Büşra Şahin  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 19.03.1992 Ankara  
**E-posta** : 92busrakorkmaz@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, TOBB ETÜ, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2017-...	TEDAŞ A.Ş.	Elektrik- Elektronik Mühendisi
2015-2018	TOBB ETÜ	Y.Lisans Öğrencisi

**YABANCI DİL: İngilizce**

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **B. Şahin\***, F. M. Betül Erol, Zafer Soybaş, Sefa Şimşek, and R. Melik, (2018) “ Effect of the Polarization of Tripolar Electrodes on Electrical Nerve Block In-Vivo ”, The International conference on innovative research in Science Engineering & Technology (IRSET), Belgrade, Serbia.

