



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK**

BİYOLOJİK NANOGÖZENEKLERDEN DNA GEÇİŞİNDE SİNYAL OLUŞUMUNUN SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELEK KUNT HACIOĞLU

OCAK-2022



İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK**

BİYOLOJİK NANOGÖZENEKLERDEN DNA GEÇİŞİNDE SİNYAL OLUŞUMUNUN SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELEK KUNT HACIOĞLU

**TEZ DANIŞMANI:
DOÇ. DR. ALİ DİNLER**

OCAK-2022

ONAY

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrencisi olan Melek Kunt Hacıoğlu'nun hazırladığı ve jüri önünde savunduğu “BİYOLOJİK NANOGÖZENEKLERDEN DNA GEÇİŞİNDE SİNYAL OLUŞUMUNUN SİMÜLASYONU” başlıklı tez başarılı kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Ali DİNLER
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

.....

Üyeler:

Prof. Dr. Murat KAZANCI
İstanbul Medeniyet Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Ali DEMİRCİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi:

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde hazırladığım bu Yüksek Lisans tezinin bizzat tarafımdan ve kendi sözcüklerimle yazılmış orijinal bir çalışma olduğunu ve bu tezde;

- 1- Çeşitli yazarların çalışmalarından faydalandığımda bu çalışmaların ilgili bölümlerini doğru ve net biçimde göstererek yazarlara açık biçimde atıfta bulunduğumu;
- 2- Yazdığım metinlerin tamamı ya da sadece bir kısmı, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmışsa bunu da açıkça ifade ederek gösterdiğimi;
- 3- Alıntılanan başkalarına ait tüm verileri (tablo, grafik, şekil vb. de dahil olmak üzere) atıflarla belirttiğimi;
- 4- Başka yazarların kendi kelimeleriyle alıntıladığım metinlerini kaynak göstererek atıfta bulunduğum gibi, yine başka yazarlara ait olup fakat kendi sözcüklerimle ifade ettiğim hususları da istisnasız olarak kaynak göstererek belirttiğimi,

beyan ve bu etik ilkeleri ihlal etmiş olmam halinde bütün sonuçlarına katlanacağımı kabul ederim.

Melek KUNT HACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca ve bu tez çalışmasının planlanması ve yürütülmesi süresinde bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen hocam Doç.Dr. Ali DİNLER'e şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın oluşmasında çok büyük katkıları olan, her soruma sabırla cevap veren ve beni daima motive eden desteğini çok derin hissettiğim sevgili hocam Dürdane YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Süreç boyunca desteklerini daima yanımda hissettiğim sevgili arkadaşlarım Ayşe KIZILIRMAK'a, Güldenur ÖZTEMUR'a, Zeynep Merve TİRYAKİ'ye teşekkür ederim.

Emekleri ödenmeyen, koşulsuz seven ve daima destek olan başta annelerim olmak üzere sevgili aileme herşey için teşekkür ederim.

Her zaman destekleyen, sürecin tamamlanması için en az benim kadar elinden gelen çabayı ortaya koyan sevgili eşim Adem HACIOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Ocak, 2022

Melek KUNT HACIOĞLU

İÇİNDEKİLER

ONAY

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI..... İİ

TEŞEKKÜR..... İİ

KISALTMA LİSTESİ..... V

TABLO LİSTESİ..... Vİ

ŞEKİL LİSTESİ..... Vİİİ

ÖZET..... Xİ

1. GİRİŞ 1

1.1. LİTERATÜR ÖZETİ 3

2. MODELLEME..... 9

2.1. SONLU ELEMANLAR METODU İLE COMSOL SİMÜLASYONLARI 9

2.2. SİMÜLASYONDA NANOGÖZENEKLERİN MODELLENMESİ..... 12

3. SİNYAL OLUŞUMLARI..... 14

3.1. SİNYAL OLUŞUMUNU ETKİLEYEN PARAMETRELER 14

3.2. NANOGÖZENEKLERDE SİNYAL OLUŞUMLARI 15

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 137

KAYNAKÇA..... 140

ÖZGEÇMİŞ 143

KISALTMA LİSTESİ

nm	: nanometre
nA	: nanoamper
kDa	: kilodalton
mV	: milivolt
C/m ²	: Coulomb/metre ²
M	: Molar
DNA	: Deoksribo Nükleik Asit
RNA	: Ribonükleik Asit
MspA	: Mycobacterium smegmatis porin A
CsgG	: Curli production assembly/transport component CsgG
α -HL	: α -Hemolysin
Ael	: Aerolysin
PlyAB	: Pleurotus ostreatus pleurotolysin
Bc	: Baseline current
FEM	: Finite Element Method

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması.....	28
Tablo 2. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması.....	29
Tablo 3. α -HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması	29
Tablo 4. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması	30
Tablo 5. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması	31
Tablo 6. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması.....	31
Tablo 7. α -HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması	32
Tablo 8. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması	32
Tablo 9. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması.....	35
Tablo 10. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması.....	35
Tablo 11. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması.....	36
Tablo 12. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması.....	36
Tablo 13. α -HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması.....	37

Tablo 14. a-HL için yüzey konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması	37
Tablo 15. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması	38
Tablo 16. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması	38
Tablo 17. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması	39
Tablo 18. CsgG için yüzey konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması	40
Tablo 19. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması	40
Tablo 20. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması	41
Tablo 21. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması	41
Tablo 22. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması	42
Tablo 23. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması	42
Tablo 24. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması	43
Tablo 25. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması	45
Tablo 26. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması	45
Tablo 27. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması	46
Tablo 28. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması	46
Tablo 29. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması	47

Tablo 30. a-HL için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması.....	47
Tablo 31. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması.....	48
Tablo 32. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması.....	48
Tablo 33. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	49
Tablo 34. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	50
Tablo 35. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	50
Tablo 36. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	51
Tablo 37. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	51
Tablo 38. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	52
Tablo 39. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	52
Tablo 40. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması.....	53
Tablo 41. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması.....	55
Tablo 42. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması.....	55
Tablo 43. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması.....	56
Tablo 44. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması.....	56
Tablo 45. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması.....	57

Tablo 46. a-HL için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması	57
Tablo 47. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması	58
Tablo 48. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması	58
Tablo 49. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması	59
Tablo 50. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması	59
Tablo 51. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması	60
Tablo 52. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması	60
Tablo 53. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması	61
Tablo 54. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması	61
Tablo 55. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması	62
Tablo 56. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması	62
Tablo 57. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması	64
Tablo 58. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması	65
Tablo 59. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması	65
Tablo 60. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması	66
Tablo 61. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması	66

Tablo 62. a-HL için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması.....	67
Tablo 63. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması.....	67
Tablo 64. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması.....	68
Tablo 65. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	68
Tablo 66. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	69
Tablo 67. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	69
Tablo 68. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	70
Tablo 69. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	70
Tablo 70. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	71
Tablo 71. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	71
Tablo 72. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması.....	71
Tablo 73. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması.....	74
Tablo 74. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması.....	74
Tablo 75. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması.....	75
Tablo 76. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması.....	75
Tablo 77. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması.....	76

Tablo 78. a-HL için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması	76
Tablo 79. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması	77
Tablo 80. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması	77
Tablo 81. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması	78
Tablo 82. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması	79
Tablo 83. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması	79
Tablo 84. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması	80
Tablo 85. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması	80
Tablo 86. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması	80
Tablo 87. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması	81
Tablo 88. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması	81
Tablo 89. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması	83
Tablo 90. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması	84
Tablo 91. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması	84
Tablo 92. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması	85
Tablo 93. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması	86

Tablo 94. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması.....	86
Tablo 95. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması.....	87
Tablo 96. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması.....	87
Tablo 97. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	90
Tablo 98. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	90
Tablo 99. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	91
Tablo 100. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	91
Tablo 101. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	92
Tablo 102. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	92
Tablo 103. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	93
Tablo 104. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması.....	93
Tablo 105. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması.....	94
Tablo 106. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması.....	94
Tablo 107. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması.....	95
Tablo 108. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması.....	95
Tablo 109. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması.....	96

Tablo 110. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması	96
Tablo 111. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması	97
Tablo 112. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması	97
Tablo 113. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması	99
Tablo 114. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması	100
Tablo 115. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması	100
Tablo 116. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması	101
Tablo 117. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması	101
Tablo 118. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması	102
Tablo 119. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması	102
Tablo 120. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması	103
Tablo 121. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması	104
Tablo 122. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması	104
Tablo 123. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması	105
Tablo 124. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması	105
Tablo 125. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması	106

Tablo 126. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması.....	106
Tablo 127. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması.....	107
Tablo 128. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması.....	107
Tablo 129. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	109
Tablo 130. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	110
Tablo 131. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	110
Tablo 132. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	111
Tablo 133. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	111
Tablo 134. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	112
Tablo 135. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	112
Tablo 136. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması.....	113
Tablo 137. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması.....	114
Tablo 138. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması.....	114
Tablo 139. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması.....	115
Tablo 140. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması.....	115
Tablo 141. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması.....	116

Tablo 142. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması	116
Tablo 143. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması	116
Tablo 144. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması	117
Tablo 145. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	119
Tablo 146. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	119
Tablo 147. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	120
Tablo 148. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	120
Tablo 149. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	121
Tablo 150. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	121
Tablo 151. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	122
Tablo 152. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması	122
Tablo 153. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması	123
Tablo 154. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması	123
Tablo 155. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması	124
Tablo 156. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması	124
Tablo 157. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması	125

Tablo 158. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması.....	125
Tablo 159. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması.....	126
Tablo 160. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması.....	126
Tablo 161. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	128
Tablo 162. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	128
Tablo 163. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	129
Tablo 164. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	129
Tablo 165. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	130
Tablo 166. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	130
Tablo 167. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	131
Tablo 168. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması.....	131
Tablo 169. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması.....	132
Tablo 170. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması.....	133
Tablo 171. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması.....	133
Tablo 172. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması.....	134
Tablo 173. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması.....	134

Tablo 174. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması	135
Tablo 175. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması	135
Tablo 176. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması	136

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. α -HL'nin Nanogözenek Yapısı	6
Şekil 2. MspA'in Nanogözenek Yapısı	6
Şekil 3. Aerolysin'in Nanogözenek Yapısı	7
Şekil 4. CsgG'nin Nanogözenek Yapısı	8
Şekil 5. Nanogözeneklerin (MspA, α -HL, CsgG ve Ael) Comsol Simülasyonunda 3 boyutlu Geometrileri	12
Şekil 6. Nanogözeneklerin (MspA, α -HL, CsgG ve Ael) Comsol Simülasyonunda 2 boyutlu Geometrileri	12
Şekil 7. Nanogözeneklerin (MspA, α -HL, CsgG ve Ael) Simülasyon Sistemlerinde Yandan Görünümü (üst paneller) ve Üstten Görünümü (alt paneller)	13
Şekil 8. 0 C/m ² yüzey yükü ve 0,01 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği	15
Şekil 9. 0 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği	17
Şekil 10. 0 C/m ² yüzey yükü ve 0,3 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği	20
Şekil 11. 0 C/m ² yüzey yükü ve 0,5 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği	23
Şekil 12. 0 C/m ² yüzey yükü ve 0,7 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği	24
Şekil 13. 0 C/m ² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği	26
Şekil 14.a. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,01 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	27
Şekil 14.b. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,01 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	28
Şekil 15.a. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	34

Şekil 15.b. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	34
Şekil 16.a. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,3 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	44
Şekil 16.b. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,3 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	44
Şekil 17.a. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,5 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	54
Şekil 17.b. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,5 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	54
Şekil 18.a. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,7 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	63
Şekil 18.b. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,7 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	63
Şekil 19.a. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	73
Şekil 19.b. +0,075 C/m ² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	73
Şekil 20.a. +0,15 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	82
Şekil 20.b. +0,15 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	83
Şekil 21.a. +0,15 C/m ² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	89
Şekil 21.b. +0,15 C/m ² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	89
Şekil 22.a. -0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	98
Şekil 22.b. -0,075 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	98
Şekil 23.a. -0,075 C/m ² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	108
Şekil 23.b. -0,075 C/m ² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği.....	108
Şekil 24.a. -0,15 C/m ² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği	118

Şekil 24.b. $-0,15 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve $0,1 \text{ M}$ konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	118
Şekil 25.a. $-0,15 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda B_c Değerleri Grafiği	127
Şekil 25.b. $-0,15 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği	127

ÖZET

Nanoteknoloji; kullanım dalı sınırlandırması bulunmayan, birçok alana etki eden ve bu bağlamda tıpta da çok sayıda muhtemel uygulamalarıyla yeni ve heyecan verici bir alandır. Tıpta; hastalıkların tanısı, ilaç salınımı, görüntüleme gibi farklı alanlarda rolü vardır. Nanotıptaki araştırmalar; biyosensörler, görüntüleme araçları, hedefe özel moleküler salınım araçları ve diğer faydalı biyolojik araçlar için fonksiyonel nanomateriyallerin kullanımına odaklanılır.

Son yirmi yılda, iyonik akım modülasyonlarını izleyen yeni tekniklerin bulunması ile bir çeşit biyosensör olan biyolojik nanogözenekler, DNA molekülleri içindeki nükleotitleri tek tek çözme kabiliyetini göstermiştir. DNA sekans tanımlaması için biyolojik nanogözenek duyarlılığı ve gürültü seviyelerinde daha fazla iyileştirme gerekmektedir. Bu tez kapsamında Curli production assembly/transport component CsgG (CsgG), α -hemolysin (α -HL), Mycobacterium smegmatis porin A (MspA) ve Aerolysin (Ael) biyolojik nanogözeneklerinden tek sarmal DNA geçişi simülasyonları yapılmış ve gözenek yüzey yükü, iyon konsantrasyonu ve potansiyel farkın sinyaller üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada tek sarmallı DNA silindir şeklinde bir çubuk (nanorod) olarak modellenmiştir.

Bu tez çalışmasında;

- 4 farklı protein yapıda biyolojik nanogözeneklerde sinyal oluşumunun modellenmesi,
- Farklı konsantrasyonlarda sinyal oluşumlarının karşılaştırılması,
- Gözenek yüzey yükünün sinyal oluşumuna etkisi,
- DNA sekanslama işleminde sinyallerin kuvvetinin dört farklı biyolojik nanogözenek için kıyaslanması ve ayırt edici özelliklerin belirlenmesi
- Elektrik potansiyeli etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Tezde, nanogözeneklerde sinyal oluşumu simülasyonlar ile ayrıntılı incelenmiştir. **Sonlu Elemanlar (Finite Element Method (FEM))** yöntemi olarak kullandığımız COMSOL Multiphysics, akışkan hızının belli bir bölgedeki değerini, iyonik konsantrasyon yoğunluğunu, elektrik potansiyeli ve iyon akısının değerini elde edebilmek için kullandığımız Poisson-Nernst-Planck ve Navier-Stokes denklemlerini bir arada çözerek akım sinyalleri ve konsantrasyon dağılımları üzerinde etkili olan parametreleri analiz etmemize olanak sağlamaktadır. Parametreler arasındaki bu ilişkiler COMSOL'un Electrostatics, Transport of Diluted Species ve Creeping Flow modülleri kullanılarak tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanosensörler, Biyolojik nanogözenekler, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Comsol Multifizik, Modelleme

ABSTRACT

Nanotechnology is a new and exciting field which has no limitations, affects many fields and in this context with many possible applications in medicine. In medicine, it has a role in different fields such as diagnosis of diseases, drug release, imaging. Research in nanomedicine focuses on the use of functional nanomaterials for biosensors, imaging tools, targeted molecular release devices, and other useful biological tools.

In the last two decades with the discovery of new techniques that monitor ionic current modulations, biological nanopores, a type of biosensor, have demonstrated the ability to individually dissolve nucleotides within DNA molecules. Further improvements in biological nanopore sensitivity and noise levels are required for DNA sequence identification.

Within the scope of this thesis, single-stranded DNA migration simulations were made from Curli production assembly/transport component CsgG (CsgG), α -hemolysin (α -HL), Mycobacterium smegmatis porin A (MspA) and Aerolysin (Ael) biological nanopores and pore surface charge, ion concentration and the effects of potential difference on the signals were investigated. In the study, single-stranded DNA was modeled as a cylindrical rod (nanorod).

In this thesis it was aimed

- to model the signal formation in biological nanopores in 4 different protein structures
- to compare the signal formations at different concentrations
- to the effect of the pore surface charge on the signal formation
- to compare the strength of the signals for four different biological nanopores in the DNA sequencing process and
- to determine the distinguishing features and to investigate the effects of electric potential.

In the thesis, signal formation in nanopores was investigated in detail with simulations. COMSOL Multiphysics which we use as the Finite Element Method (FEM) method,

solves the Poisson-Nernst-Planck and Navier-Stokes equations, which we use to obtain the value of the fluid velocity in a certain region, the ionic concentration density, the electric potential and the ion flux. It allows us to analyze the parameters that affect the current signals and concentration distributions. These relationships between parameters are defined using COMSOL's Electrostatics, Transport of Diluted Species and Creeping Flow modules.

Keywords: Nanosensors, Biological Nanopores, Finite Element Method, COMSOL Multiphysics, Simulation

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji; kullanım dalı sınırlandırması bulunmayan, birçok alana etki eden ve bu bağlamda tıpta da çok sayıda muhtemel uygulamalarıyla yeni ve heyecan verici bir alandır. Tıpta; hastalıkların tanısı, ilaç salınımı, görüntüleme gibi farklı alanlarda rolü vardır. Metrenin milyarda biri yani ‘*nano*’ ölçeğinde uygulama alanları olan *Nanotıp* ; nano cihazlar ve nano yapılar kullanarak canlıların biyolojik sistemlerini moleküler boyutta izleme, tedavi etme, yeniden yapılandırma olarak açıklanır.

Nanotıptaki araştırmalar; biyosensörler, görüntüleme araçları, hedefe özel moleküler salınım araçları ve diğer faydalı biyolojik araçlar için fonksiyonel nanomateriyallerin kullanımına odaklanılır. Son yıllarda nanotıpın bu araştırmalar için üzerinde yoğunlaştığı en önemli araçlardan birisi de *nanogözenek teknolojisi*dir. Bir çeşit *biyosensör* olan nanogözenekler, *nanopartiküllerin* fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin anlaşılabilmesi için büyük potansiyel taşır.

Birçok disiplinde kullanımı bulunan nanogözeneklerin bu çalışmada ele aldığımız uygulama alanı, biyolojik nanogözenekler kullanarak DNA geçişinde akım sinyalinin okuyarak parçacık algılama prensibine dayanan tekniğidir.

Bu tez kapsamında Curli production assembly/transport component CsgG (CsgG), α -hemolysin (α -HL), Mycobacterium smegmatis porin A (MspA) ve Aerolysin (Ael) biyolojik nanogözeneklerinden tek sarmal DNA geçişi simülasyonları yapılmış ve gözenek yüzey yükü, iyon konsantrasyonu ve potansiyel farkın (voltaj) sinyaller üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bölüm 1’de konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bölüm 2’de bu çalışmada simülasyon programı olarak kullandığımız *Comsol MultiphysicsTM* ticari yazılımından bahsedilmiştir.

Bölüm 3’te çalışmada kullanılan her 4 nanogözenek (MspA, CsgG, α -HL ve Ael) için gözeneklerden parçacık (tek sarmallı DNA) geçişinde sinyal oluşumuna etki eden potansiyelin (voltaj), konsantrasyonun ve gözenek yüzey yükünün etkileri incelenmiştir.

Bölüm 4’te ise sonuçlar tartışılmıştır.

1.1.LİTERATÜR ÖZETİ

Nanogözenekler; tek molekül düzeyinde biyopolimerleri ucuz, hassas ve etkili bir şekilde anlamak için parçacık algılama, protein tespiti ve DNA dizilimi uygulamalarına ilişkin güçlü bir araç sunar.

Protein yapıda nanogözenekler tek moleküllü biyosensörler olarak; DNA, RNA ve polipeptitler gibi biyolojik polimerlerin tespiti ve karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaç için, genellikle farklı algılama yetenekleri sergileyen, farklı geometrilere sahip protein yapıda çeşitli nanogözeneklerden yararlanılmıştır, ancak altta yatan moleküler mekanizma belirsizliğini korumaktadır (Zhou et al. 2020).

Biyolojik nanogözenekler iyon kanallarından gözenek oluşturan toksin topluluklarına kadar uzanır ve biyolojik işlevleri polar moleküllerin, iyonların veya peptitlerin hücre zarlarından geçişini kolaylaştırmak veya düzenlemektir. Sinyal algılama ile ilgili olarak, biyolojik nanogözenekler, algılama hacimleri genellikle atomik hassasiyetle tanımlandığından ve bakteri fermantasyonu veya hücre kültürü ve ardından saflaştırma yoluyla büyük miktarlarda üretilebildiğinden ilgi çekicidir. 4 nm'den daha küçük çaplara sahip gözenek lümenlerindeki son derece küçük algılama hacimleri nedeniyle biyolojik nanogözenekler, 30 kDa'dan küçük proteinlerin yanı sıra tek sarmallı ve çift sarmallı DNA veya RNA dahil olmak üzere özellikle küçük analitleri algılamak için uygundur (Houghtaling et al., 2018).

Nanogözenek algılama alanının dönüm noktası, 1990'larda Kasianowicz ve arkadaşlarının, *Staphylococcus aureus* proteini α -hemolizin (α -HL) kullanarak polinükleotit moleküllerinin yer değiştirmesini tespit etmeyi önerdiği çalışmalara dayanır (Kasianowicz et al. 1996).

Ian ve arkadaşları; nanogözenek olarak MspA kullanarak DNA dizileme ile ilgili yaptığı çalışmalarda; MspA'den geçen iyonik akımın, dört DNA nükleotidinin tümünü ayırt etme ve çift sarmallı DNA, nükleotitleri gözenek daralmasında geçici olarak tuttuğunda tek sarmallı DNA'daki tek nükleotitleri çözme yeteneğine sahip olduğunu

göstermişler ve MspA'nın gelecekte DNA dizileme yönteminde önemini vurgulamışlardır (Derrington et al. n.d.).

Karmaşık geometriler için gerçekleştirilecek olan analizler için analitik formüller kullanmak yerine, sayısal (nümerik) hesaplamalar kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method, FEM) karmaşık geometriler için günümüzde sayısal model oluşturma, alternatif akım kaybı hesabı ve birbirine dik yönde manyetik alan uygulandığı durumda manyetizasyon hesabı gibi birçok alanda kendisine yer bulmuş bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntemdeki temel düşünce, problemi en uygun biçimde daha basit alt problemlere bölmek ve bu problemleri çözerek sonuca ulaşmaktır. Sayısal hesaplamalarda sınır şartları, hesaplama tekniği ve kullanılan parametreler iyi belirlendiğinde çok iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Bazı deneysel ölçümlerin dizayn edilmesi zor ve oldukça pahalı olabilmektedir. Böyle durumlar için deneysel ölçümler yapılmadan sayısal hesaplamalarla öngörüler yapılabilmekte ve teknolojik uygulamalar için daha hızlı ve ucuz bir biçimde temel bilgiler elde edilebilmektedir. Sayısal hesaplamaların bu avantajlarına rağmen deneysel sonuçlarla en iyi şekilde uyumlu olması, dolayısı ile öngörüsünün isabetli olması, mümkün olan en kısa sürede hesaplamanın gerçekleşmesi, yani simülasyonun optimize edilmesi amacıyla son zamanlarda çok sayıda araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmaktadır. Birçok ticari FEM modelleme paket programları geliştirilmiştir ve kısmi diferansiyel denklemlerle betimlenebilen birçok fiziksel süreç için kullanılabilirler. Bu tez çalışmasında simülasyon programı olarak *Comsol Multiphysics™* ticari yazılımı kullanılmış olup, programdan ayrıntılı olarak bölüm 2 de bahsedilmiştir.

Kan shoji ve arkadaşları; Nanoigne-Probu Destekli bir Biyolojik Nanopor (α -HL) kullanarak Mekansal Olarak Çözülmüş Kimyasal Tespit analizi yaptıkları çalışmada mikro kanaldaki konsantrasyon dağılımı ile solüsyonları COMSOL Multiphysics programı ile simüle etmişler ve programdaki sonuçları deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır (Shoji, Kawano, and White 2019).

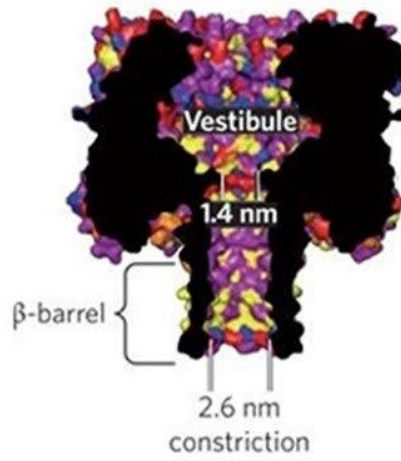
Qi Zhang ve arkadaşları ; Ultra İnce Metal Organik Nanosheetler kullanarak İyon taşıma ile ilgili yaptıkları çalışmada simülasyonlar için *Comsol Multiphysics™* programı kullanmışlardır (Zhang et al. 2020).

Başka bir çalışmada Gang Huang ve arkadaşları; Elektro-Ozmotik Girdapların Katlanmış Proteinlerin PlyAB Nanoporlar Tarafından Yakalanmasını teşvik ettiğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada tasarladıkları nanoporun nanoakışkan özelliklerini *Comsol Multiphysics™* programında yaptıkları simülasyonlarla doğrulamışlardır (Huang et al. 2020).

Yuhong Cao ve arkadaşları; biyolojik makromoleküllerin etkili hücre içi iletimi için toksik olmayan nanogözenekli elektroposyon (NanoEP) geliştirdikleri çalışmada nanogözenekler aracılığıyla elektrik alan dağılımını nicel olarak incelemek için *Comsol Multiphysics™* yazılımının AC/DC modülünü kullanarak elektrik alan yoğunluğunu simüle etmişlerdir (Cao et al. 2019).

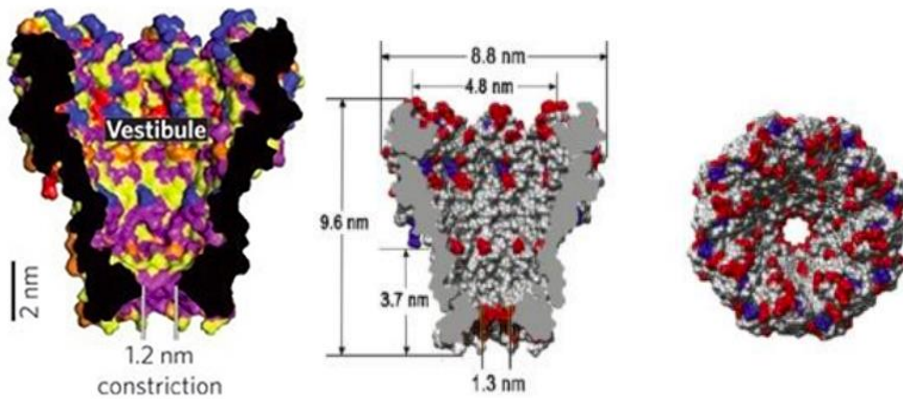
Biz bu tez çalışmasını *Wanqi Zhou ve arkadaşlarının* biyolojik nanogözeneklerden α -HL, MspA, CsgG ve Aerolysin Nanopore Sensörlerinin Belirgin Tespit Özelliklerini inceledikleri çalışmalarından yola çıkarak hazırladık (Zhou et al. 2020). Birbirinden farklı yapılarda ve özelliklerde olan bu biyolojik nanogözeneklerde potansiyelin, konsantrasyonun ve yüzey yükünün sinyal oluşumuna etkisini inceledik.

α -HL, moleküler ağırlığı 232 kDa olan, kendiliğinden oluşan bir heptamerdir. *Staphylococcus aureus*'tan keşfedilmiştir ve içi boş mantar benzeri bir şekle sahiptir. Gözenegin dış boyutları 10×10 nm'dir. “Stem”, “rim” ve “cap” alanlarından oluşmaktadır. Transgözenek β -barrel, stem gövde kısmındadır. Kristal yapıda görüldüğü gibi, merkezi kanalın iç çapı cis girişinde 2.6 nm ve trans tarafta 2.2 nm'dir (Gurnev and Nestorovich 2014; Wang 2016). Girişin en geniş yeri 3.6 nm, en dar kısmı ise 1.4 nm çapındadır [Şekil 1].



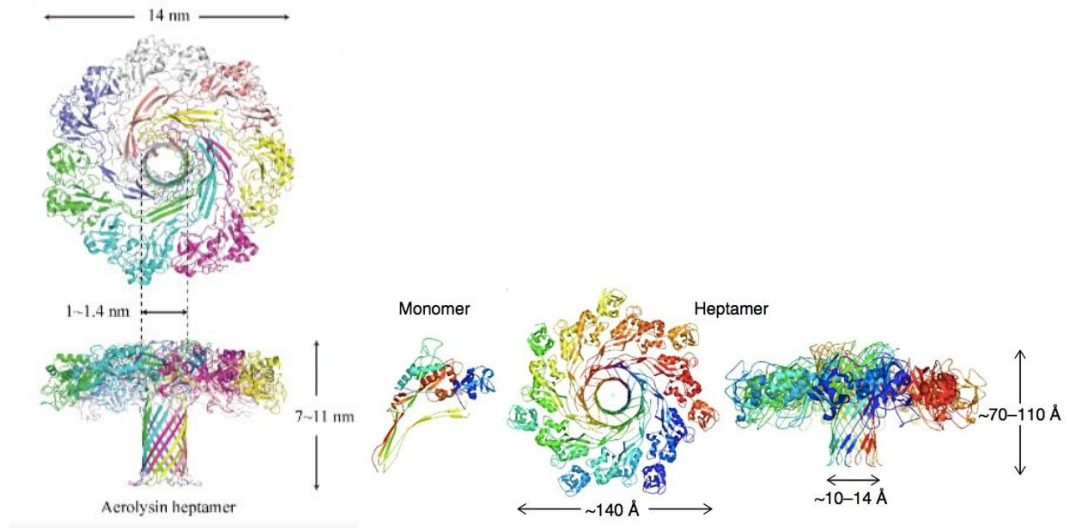
Şekil 1. α -HL'nin Nanogözenek Yapısı (Wang 2016)

MspA, moleküler ağırlığı 160 kDa olan bir oktametik porindir. *Mycobacterium smegmatis*'ten keşfedilmiştir ve huni şeklinde bir yapıya sahiptir. Gözeneğin dış boyutu 8.8×9.6 nm'dir. Kristal yapıda ortaya konduğu gibi, merkezi kanalın iç çapı girişinde 4.8 nm'dir ve önemli ölçüde geniş alana sahip bölgelerle çevrili ~1.2 nm uzunluğunda ve ~0.6 nm genişliğinde bir daralma alanına sahiptir [Şekil 2]. Bu tür fiziksel geometrinin DNA dizilimi için geliştirilmiş uzaysal çözünürlük sağladığı kanıtlanmıştır. Her nükleotid, gözeneğin dar kısmından geçirildiğinden, iyonik akım blokajlarının benzersiz bir parmak izini üretir (Faller, Niederweis, and Schulz 2004; Wang 2016).



Şekil 2. *MspA*'in Nanogözenek Yapısı (Derrington et al. n.d.)

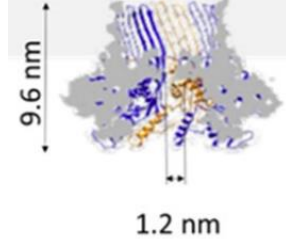
Aerolysin (Ael), moleküler ağırlığı 332 kDa olan bir heptamer gözenektir. *Aeromonas hydrophila* bakterisinden keşfedilmiştir. Tek bir polipeptit zinciri olarak salgılanan bir ekzotoksindir. Henüz bir kristal yapı mevcut olmasa da, yüksek çözünürlüklü bir elektron mikroskobu çalışması, *Ael*'nin en dar kısmının 1–1.7 nm çapında olduğunu göstermiştir [Şekil 3.] Genel olarak, *Aerolysin* negatif yüklüdür ($Z = -52e$), α -HL ise nispeten pozitif net yüke sahiptir ($Z = +7e$). α -HL'den farklı olarak, vestibül alanı *Ael*'de mevcut değildir. Böylece *Ael* daha büyük bir uzunluğa sahiptir, bu da wild tipteki gözeneklerin herhangi bir modifikasyon olmaksızın 2 ila 10 baz uzunluğundaki tek tek kısa oligonükleotitleri çözmesini sağlamaktadır. *Ael* nanoporu, kısa oligonükleotitlerin (≤ 10 nükleotit), poli(etilen glikol) (PEG'ler), peptitlerin ve proteinlerin analizi için uygundur (Cao et al. 2017; Liao et al. 2018; Wang 2016).



Şekil 3. Aerolysin'in Nanogözenek Yapısı (Cao et al. 2017)

CsgG, 244 kDa'lık bir moleküler ağırlığa sahip oktametik veya nanometrik gözenek halinde bulunur. *Escherichia coli*'nin dış zarından keşfedilmiştir. Kristal yapıda ortaya konduğu gibi, gözenek dış boyutu 8.5×12 nm'dir [Şekil 4]. Gözenegin iç çapı 4 nm ve cis ve trans girişinde 3.5 nm'dir. Fonksiyonel ve elektrofizyolojik çalışmalar, *CsgG*'nin seçici olmayan ve kontrolsüz bir protein salgılama kanalı olduğunu göstermiştir (Cao et al. 2014; Wang 2016).

CsgG



Şekil 4. CsgG'nin Nanogözenek Yapısı (Cao et al. 2014)

2.MODELLEME

2.1. SONLU ELEMENLAR METODU İLE COMSOL SİMÜLASYONLARI

COMSOL Multiphysics™; kullanım kolaylığı, düşük hata yüzdesi, tüm fiziksel modüllerin (ısı transferi, akışkanlar mekaniği, yapı mekaniği vs.) aynı programda olması gibi özelliklerinden dolayı yaygın şekilde kullanılan bir simülasyon (modelleme) programıdır. **COMSOL Multiphysics™** programı, nümerik çözüm olarak sonlu elemanlar metodunu (**Finite Element Method (FEM)**) kullanmaktadır. Sonlu elemanlar metodu mühendislik ile ilgili karmaşık problemlerin çözülebilmesine imkân sağlayan nümerik bir metottur. Kainattaki tüm nesneler bulundukları düzlemde sonsuz sayıda nokta içerirler. Sonlu elemanlar metodu ise adından da anlaşılacağı gibi nesneleri sonlu sayıda noktaya (eleman) ayırarak çözüme gitmeye çalışır (Şimşek 2013).

FEM, diferansiyel denklemler için sınır değer problemlerine yaklaşık çözümler bulma tekniğidir. Bu yöntem esas olarak geniş bir alanı alır ve onu sonlu boyuttaki çok sayıda daha küçük elemana böler. Bu alanlar daha sonra orijinal sorunun bir element denklemleri kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanır. Daha sonra her bir unsurun nihai sonucu, soruna bir bütün olarak bir çözüm sağlamak için yeniden birleştirilir.

Nanogözenekler ile direnç sinyali analizi birçok parametreye bağlıdır. Bu tez çalışmasında **FEM** olarak kullandığımız **COMSOL Multiphysics™**, akışkan hızının belli bir bölgedeki değerini, iyonik konsantrasyon yoğunluğunu, elektrik potansiyeli ve iyon akısının değerini elde edebilmek için kullandığımız *Poisson-Nernst-Planck* ve *Navier-Stokes* denklemlerini bir arada çözerek akım sinyalleri ve konsantrasyon dağılımları üzerinde etkili olan parametrelerin analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Parametreler arasındaki bu ilişkiler **COMSOL**'un *Electrostatics*, *Transport of Diluted Species* ve *Creeping Flow* modülleri kullanılarak tanımlanmıştır (Yılmaz 2017; YILMAZ et al. 2021).

Electrostatics modülü iyon dağılımları ile potansiyel arasındaki ilişkiyi açıklayan *Poisson* denklemini belirtilen geometri ve yük için çözer. *Poisson* denklemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$E = -\nabla V$$

$$\nabla(\epsilon_0 \epsilon_r) = \rho_s$$

E elektrik alanı, V potansiyeli, ρ_s yüzey yük yoğunluğunu, ϵ_0 boşluğun dielektrik sabitini, ϵ_r de göreceli geçirgenliği ifade eder.

Transport of Diluted Species modülü ile çözümlenen ve difüzyon dağılımı, taşınım ve yayılımı içererek iyon akısının modellenmesinde kullanılan *Nernst-Planck* denklemi aşağıda tanımlanmıştır;

$$\nabla(D_i \nabla C_i - z_i u_{mj} F c_j \nabla V) + u c_j = 0$$

$$-D_i \nabla C_i - z_i u_{mj} F c_j \nabla V + u c_j = N_i$$

Burada D_i i. iyonun difüzyon katsayısını, C_i i. iyonun çözeltideki konsantrasyonunu, z_i çözeltideki valans yüklerini, F Faraday sabitini, u hız vektörünü, V potansiyeli, u_{mj} mobilitiyi, N_i iyon akı vektörünü ifade eder.

İyon difüzyon katsayısını belirten *Stokes-Einstein* denklemi;

$$D_i = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$

D_i difüzyon sabitini, k_B Boltzmann sabitini, T sıcaklığı, η elektrolit çözeltisinin viskozitesini ve r çözeltide bulunan türlerin hidrodinamik yarıçaplarını ifade eder (K^+Cl^- nin her ikisi için de $r = 1.5 * 10^{-10}$ alınabilir).

Creeping Flow modülü ile basınç ve elektrik alanın oluşturduğu düzgün (*laminar*) akışla oluşan iyon taşınımını tanımlayan *Navier-StokesDenklemi*;

$$\nabla[pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T)] = 0$$

$$\rho \nabla u = 0 \text{ (süreklilik denklemi (kütlenin korunumu))}$$

p basıncı, I birim vektörü, μ dinamik viskoziteyi, $\mathbf{u}$ hız vektörünü, ρ çözelti yoğunluğunu ifade eder.

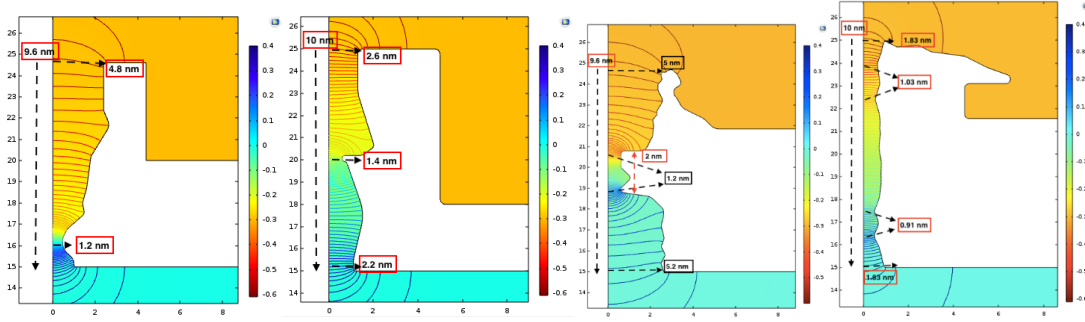
Akışkanın atalet kuvvetleri ile viskozite kuvvetlerine oranını veren *Reynold Sayısı*;

$$Re = \frac{\rho v L}{\eta}$$

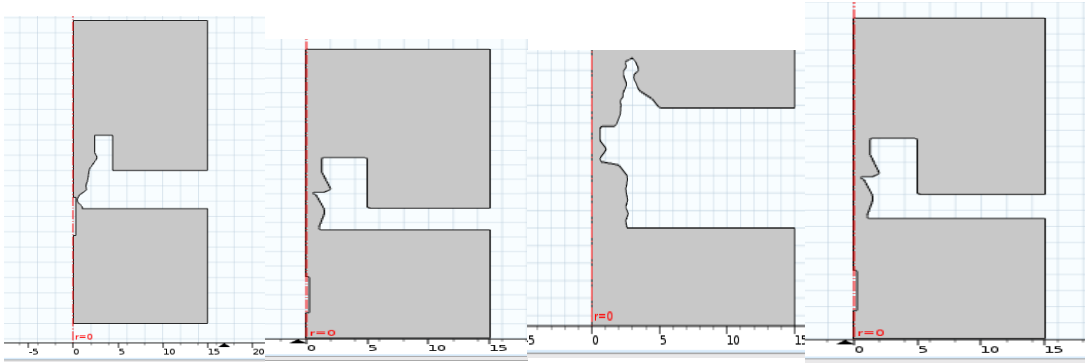
Re , atalet kuvvetleri ile viskozite kuvvetinin belli akış şartları altında birbirlerine olan göreceli önemini gösterir. Re Reynold sayısı, ρ yoğunluk, v ve L akışa ait karakteristik hız ve uzunluk ölçüleridir (YILMAZ et al. 2021).

2.2. SİMÜLASYONDA NANOĞÖZENEKLERİN MODELLENMESİ

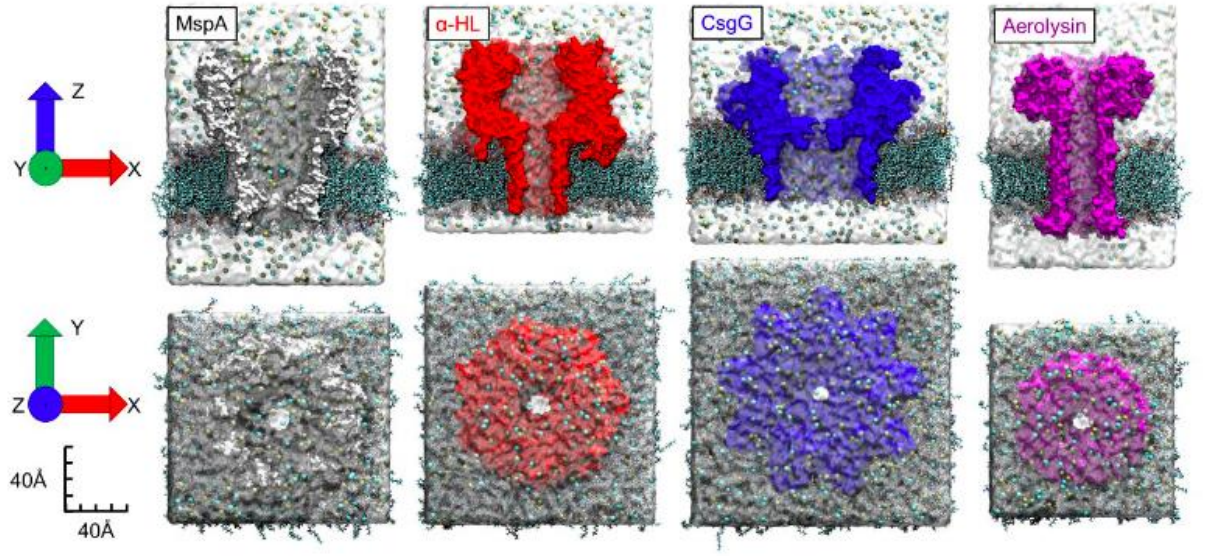
*COMSOL Multiphysics*TM'nin bölüm 2.1 de bahsedilen denklemleri bir arada çözmesiyle oluşturduğumuz sistemin geometrisi, sınır koşulları ve oluşan geometriler Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterildiği gibidir:



Şekil 5. Nanogözeneklerin (MspA, α -HL, CsgG ve Ael) Comsol Simülasyonunda 3 boyutlu Geometrileri



Şekil 6. Nanogözeneklerin (MspA, α -HL, CsgG ve Ael) Comsol Simülasyonunda 2 boyutlu Geometrileri



Şekil 7. Nanogözeneklerin (MspA, α -HL, CsgG ve Ael) Simülasyon Sistemlerinde Yandan Görünümü (üst paneller) ve Üstten Görünümü (alt paneller)(Zhou et al. 2020)

3. SİNYAL OLUŞUMLARI

3.1. SİNYAL OLUŞUMUNU ETKİLEYEN PARAMETRELER

Her 4 nanogözenek (MspA, CsgG, α -HL ve Ael) için de gözeneklerden parçacık (tek sarmallı DNA) geçişinde sinyal oluşumuna etki eden potansiyelin (voltaj), konsantrasyonun ve gözenek yüzey yükünün etkilerini inceledik. B_c , ΔI ve $\Delta I/I_0$ değerlerini tablolara aktardık. Daha sonra bu tablolardan nanogözeneklerin sinyal değerlerini karşılaştırma grafikleri oluşturduk.

B_c : Baseline current; Başlangıç direncini yani ortamda hiçbir engel yokken elde ettiğimiz başlangıç akımı I_0 'ı ifade etmektedir. Birimi nanoamper (nA)dir.

ΔI : Gözenekten parçacık geçişi sırasında oluşan sinyalin büyüklüğünü ifade etmektedir. Birimi nanoamper (nA)dir.

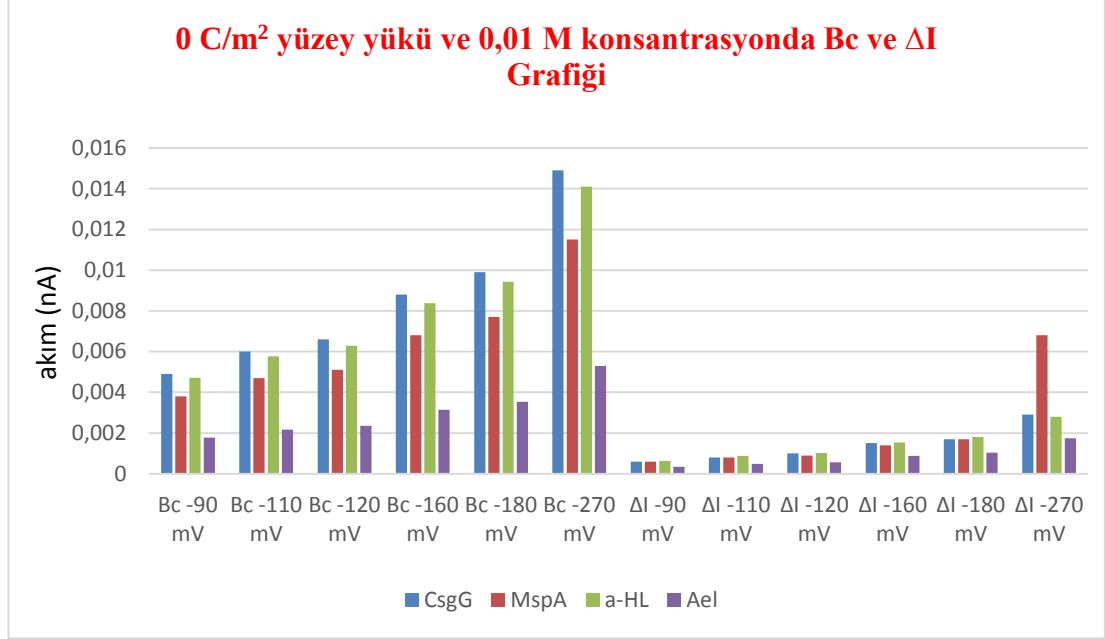
$\Delta I/I_0$: Normalizasyon için; oluşan sinyalin başlangıç akımına oranını ifade etmektedir. Potansiyelin sinyal büyüklüğüne etkisini incelemek için -90 mV, -110 mV, -120 mV, -160 mV, -180 mV ve -270 mV olmak üzere küçükten büyüğe toplam 6 farklı potansiyelde çalıştırdık.

Konsantrasyonun sinyal değerlerine etkisini incelemek için 0,01 M / 0,1 M / 0,3 M / 0,5 M / 0,7 M ve 1 M olmak üzere küçükten büyüğe toplam 6 farklı konsantrasyonda çalıştırdık.

Gözenek yüzey yükünün sinyal değerlerine etkisini incelemek için ise önce yüksüz yani nötr (0 C/m²) yüzey yükünde olmak üzere + 0,075 C/m², + 0,15 C/m² pozitif yüzey yükleri ve - 0,075 C/m², -0,15 C/m² negatif yüzey yüklerinde toplam 5 farklı yüzey yükünde çalıştırdık.

3.2. NANOGÖZENEKLERDE SİNYAL OLUŞUMLARI

Nötr (0 C/m^2) yüzey yükünde $0,01 \text{ M}$ konsantrasyonda;



Şekil 8. 0 C/m^2 yüzey yükü ve $0,01 \text{ M}$ konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 8 'e göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,0049 nA	0,006 nA	0,0066 nA	0,0088 nA	0,0099 nA	0,0149 nA
-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,0038 nA	0,0047 nA	0,0051 nA	0,0068 nA	0,0077 nA	0,0115 nA
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

α -HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,00472 nA	0,00576 nA	0,00629 nA	0,00838 nA	0,00943 nA	0,0141 nA
------------	------------	------------	------------	------------	-----------

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,00177 nA	0,00216 nA	0,00236 nA	0,00314 nA	0,00353 nA	0,0053 nA
------------	------------	------------	------------	------------	-----------

Şekil 8'e göre; Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve en düşük konsantrasyonda ($0,01\text{M}$) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça artış göstermiştir. En yüksek artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) olmuştur. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyledir :

$$\text{CsgG} > \alpha\text{-HL} > \text{MspA} > \text{Ael}$$

Şekil 8'e göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,0006 nA	0,0008 nA	0,001 nA	0,0015 nA	0,0017 nA	0,0029 nA
-----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------

MspA için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,0006 nA	0,0008 nA	0,0009 nA	0,0014 nA	0,0017 nA	0,0068 nA
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

α -HL için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,00063 nA	0,00088 nA	0,00102 nA	0,00154 nA	0,00181 nA	0,0028 nA
------------	------------	------------	------------	------------	-----------

Ael için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,00035 nA	0,00049 nA	0,00057 nA	0,00087 nA	0,00103 nA	0,00175 nA
------------	------------	------------	------------	------------	------------

Şekil 8'e göre; Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve en düşük konsantrasyonda ($0,01\text{M}$) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça artış göstermiştir. En yüksek potansiyel hariç (-270 mV) tüm potansiyellerde CsgG, MspA ve α -HL'nin ΔI değerleri yaklaşık olarak aynıdır. Ael ise aynı durumda her 3 gözenegin yaklaşık olarak yarısı kadar sinyal büyüklüğü sağlamıştır. En yüksek potansiyelde (-270 mV) ise CsgG ve α -HL birbirlerine yakın değerde sinyal büyüklüğü gösterirken, MspA ise

bu 2 gözeneğin yaklaşık 2 katı büyüklüğünde sinyal oluşturmuştur. Ael ise aynı durumda MspA'in yaklaşık olarak 4'te 1'i ve CsgG ve α -HL'nin yaklaşık olarak yarısı kadar sinyal oluşturmuştur.

Nanogözenekler için en yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması α -HL > MspA $\approx$ CsgG > Ael şeklinde iken; en yüksek potansiyelde (-270 mV) ise sıralama şöyle olmuştur:

$$MspA > CsgG > \alpha\text{-HL} > Ael$$

Şekil 8'e göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

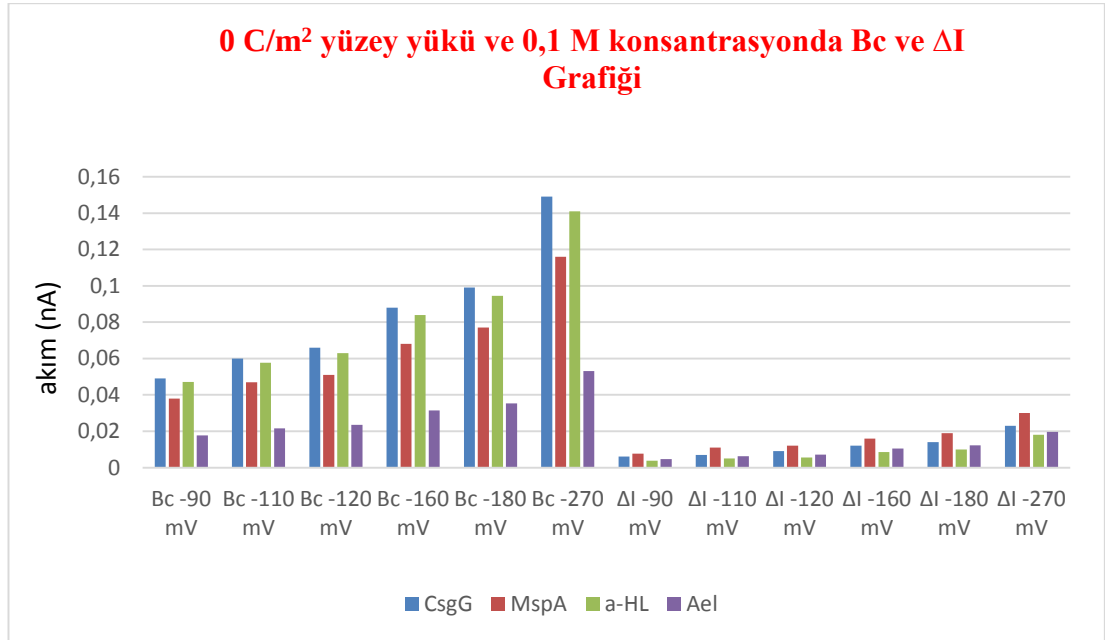
Nötr yüzey yükünde (0 C/m²) ve en düşük konsantrasyonda (0,01M) her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel arttıkça artış göstermiştir.

Nanogözenekler için en yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması Ael > MspA > α -HL > CsgG şeklinde iken;

en yüksek potansiyelde (-270 mV) ise sıralama MspA'in diğer potansiyellere göre yaklaşık 2 katı kadar bir değere ulaşmasıyla birlikte şöyle olmuştur:

$$MspA > Ael > \alpha\text{-HL} > CsgG$$

Nötr (0 C/m²) yüzey yükünde 0,1 M konsantrasyonda;



Şekil 9. 0 C/m² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 9'a göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Şekil 8'deki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 10 katına çıktığı (0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı) Şekil 9 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda 10 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,049 nA	0,06 nA	0,066 nA	0,088 nA	0,099 nA	0,149 nA
----------	---------	----------	----------	----------	----------

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Şekil 8'deki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 10 katına çıktığı (0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı) Şekil 9 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda 10 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,038 nA	0,047 nA	0,051 nA	0,068 nA	0,077 nA	0,116 nA
----------	----------	----------	----------	----------	----------

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Şekil 8'deki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 10 katına çıktığı (0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı) Şekil 9 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda 10 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,0472 nA	0,0577 nA	0,063 nA	0,084 nA	0,0945 nA	0,141 nA
-----------	-----------	----------	----------	-----------	----------

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Şekil 8'deki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 10 katına çıktığı (0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı) Şekil 9 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda 10 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,0177 nA	0,0216 nA	0,0236 nA	0,0315 nA	0,0354 nA	0,0531 nA
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Şekil 9'a göre; nötr yüzey yükünde (0 C/m²) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça lineer artış göstermiştir. En yüksek artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) olmuştur. Her potansiyelde en

yüksek Bc değeri CsgG’de; en düşük Bc değeri ise Ael’de görülmüştür. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyledir :

CsgG>a-HL>MspA>Ael

Şekil 9’a göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,006 nA	0,007 nA	0,009 nA	0,012 nA	0,0014 nA	0,0023 nA
----------	----------	----------	----------	-----------	-----------

MspA için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,0077 nA	0,011 nA	0,012 nA	0,016 nA	0,019 nA	0,03 nA
-----------	----------	----------	----------	----------	---------

a-HL için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,0038 nA	0,005 nA	0,0056 nA	0,0085 nA	0,01 nA	0,018 nA
-----------	----------	-----------	-----------	---------	----------

Ael için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,0047 nA	0,0062 nA	0,0071 nA	0,0105 nA	0,0122 nA	0,0196 nA
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Şekil 9’a göre; nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve düşük konsantrasyonda ($0,1 \text{ M}$) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça lineer artış göstermiştir. Şekil 8’deki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 10 katına çıktığı ($0,01 \text{ M}$ ’dan $0,1 \text{ M}$ ’a artırıldığı) Şekil 9 durumunda her 4 gözenek için de ΔI değerleri konsantrasyon artışına bağlı olarak artmıştır. Her potansiyelde en yüksek sinyal büyüklüğü MspA’de, en düşük sinyal büyüklüğü a-HL’da görülmüştür.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

MspA>CsgG>Ael>a-HL

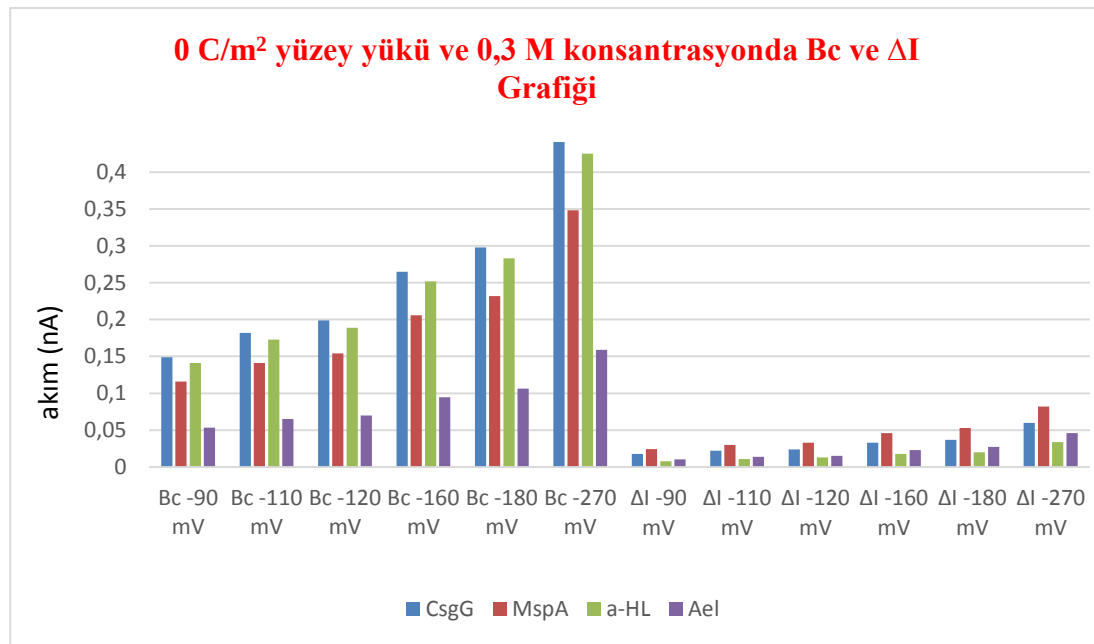
Şekil 9'a göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve düşük konsantrasyonda ($0,1 \text{ M}$), $\Delta I/I_0$ değerleri Ael için potansiyel arttıkça lineer artış gösterirken; diğer 3 gözenek için potansiyelin artışı $\Delta I/I_0$ değerlerinde ciddi etki göstermemiştir.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$Ael > MspA > CsgG > a-HL$$

Nötr (0 C/m^2) yüzey yükünde $0,3 \text{ M}$ konsantrasyonda ;



Şekil 10. 0 C/m^2 yüzey yükü ve $0,3 \text{ M}$ konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 10'a göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Şekil 9'daki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 3 katına çıktığı ($0,1 \text{ M}$ 'dan $0,3 \text{ M}$ 'a artırıldığı) Şekil 10 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda yaklaşık 3 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,149 nA	0,182 nA	0,199 nA	0,265 nA	0,298 nA	0,448 nA
----------	----------	----------	----------	----------	----------

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Şekil 9'daki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 3 katına çıktığı (0,1 M'dan 0,3 M'a artırıldığı) Şekil 10 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda yaklaşık 3 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,1159 nA	0,141 nA	0,154 nA	0,206 nA	0,232 nA	0,348 nA
-----------	----------	----------	----------	----------	----------

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Şekil 9'daki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 3 katına çıktığı (0,1 M'dan 0,3 M'a artırıldığı) Şekil 10 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda yaklaşık 3 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,141 nA	0,173 nA	0,189 nA	0,252 nA	0,283 nA	0,425 nA
----------	----------	----------	----------	----------	----------

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Şekil 9'daki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 3 katına çıktığı (0,1 M'dan 0,3 M'a artırıldığı) Şekil 10 durumunda Bc değerleri de her potansiyelde aynı oranda yaklaşık 3 katı kadar artmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri şöyledir:

0,0532 nA	0,065 nA	0,07 nA	0,0945 nA	0,1064 nA	0,159 nA
-----------	----------	---------	-----------	-----------	----------

Şekil 10'a göre; nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve nispeten düşük konsantrasyonda (0,3M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça artış göstermiştir. En yüksek artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) olmuştur. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyledir :

CsgG>a-HL>MspA>Ael

Şekil 10'a göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,018 nA	0,022 nA	0,024 nA	0,033 nA	0,037 nA	0,06 nA
----------	----------	----------	----------	----------	---------

MspA için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,0241 nA	0,03 nA	0,033 nA	0,046 nA	0,053 nA	0,082 nA
-----------	---------	----------	----------	----------	----------

a-HL için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,008 nA	0,011 nA	0,013 nA	0,018 nA	0,02 nA	0,034 nA
----------	----------	----------	----------	---------	----------

Ael için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri şöyledir:

0,0102 nA	0,014 nA	0,015 nA	0,023 nA	0,0272 nA	0,046 nA
-----------	----------	----------	----------	-----------	----------

Şekil 10'a göre; nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve nispeten düşük konsantrasyonda ($0,3\text{M}$) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça lineer artış göstermiştir. Şekil 9'daki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun 3 katına çıktığı ($0,1 \text{ M}$ 'dan $0,3 \text{ M}$ 'a artırıldığı) Şekil 10 durumunda her 4 gözenek için de ΔI değerleri konsantrasyon artışına bağlı olarak artmıştır. Her potansiyelde en yüksek sinyal büyüklüğü MspA'de, en düşük sinyal büyüklüğü a-HL'da görülmüştür.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

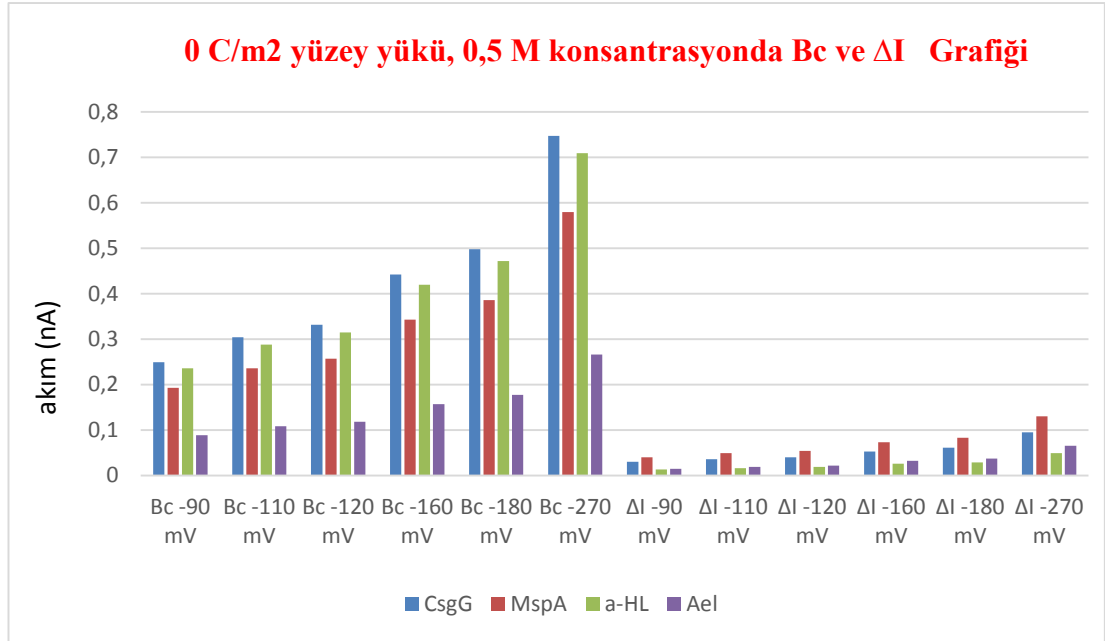
MspA>CsgG>Ael>a-HL

Şekil 10'a göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve nispeten düşük konsantrasyonda ($0,3\text{M}$), $\Delta I/I_0$ değerleri Ael için potansiyel arttıkça lineer artış gösterirken; diğer 3 gözenek için potansiyelin artışı $\Delta I/I_0$ değerlerinde ciddi etki göstermemiştir. En düşük potansiyelde (-90 mV) MspA Ael'den daha büyük $\Delta I/I_0$ değerine sahipken, diğer potansiyellerde Ael MspA'ın önüne geçmiştir. Nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

Ael>MspA>CsgG>a-HL

Nötr (0 C/m²) yüzey yükünde 0,5 M konsantrasyonda ;



Şekil 11. 0 C/m² yüzey yükü ve 0,5 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 11'e göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m²) ve nispeten orta konsantrasyonda (0,5 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi lineer artış göstermiştir. En yüksek artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) olmuştur. Yine beklenildiği gibi konsantrasyon artışına bağlı olarak (0,3 M'dan 0,5 M'a) başlangıç akım değerleri her 4 nanogözenek için de artmıştır. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyledir :

$$CsgG > a-HL > MspA > Ael$$

Şekil 11'e göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m²) ve nispeten orta konsantrasyonda (0,5 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi lineer artış göstermiştir. Şekil 10'daki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun arttığı (0,3 M'dan 0,5 M'a) Şekil 11 durumunda her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri konsantrasyon artışına bağlı olarak beklenildiği gibi artmıştır. Her potansiyelde en yüksek sinyal büyüklüğü MspA'de , en düşük sinyal büyüklüğü a-HL'da görülmüştür.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

$$MspA > CsgG > Ael > a-HL$$

Şekil 11'e göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

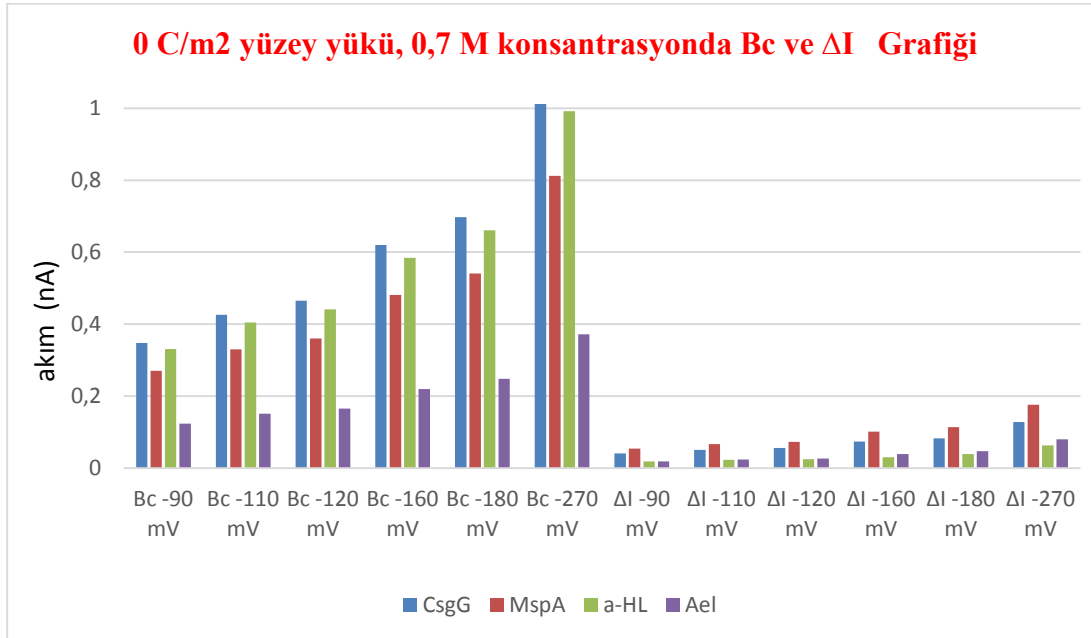
Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve nispeten orta konsantrasyonda ($0,5 \text{ M}$), $\Delta I/I_0$ değerleri Ael için potansiyel arttıkça lineer artış gösterirken; diğer 3 gözenek için potansiyelin artışı $\Delta I/I_0$ değerlerinde ciddi etki göstermemiştir. En yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde MspA, Ael'den daha büyük $\Delta I/I_0$ değerine sahipken, en yüksek potansiyelde Ael, MspA'den daha büyük $\Delta I/I_0$ değerine sahip olmuştur. En yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$MspA > Ael > CsgG > a-HL$$

En yüksek potansiyelde (-270 mV) ise $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$Ael > MspA > CsgG > a-HL$$

Nötr (0 C/m^2) yüzey yükünde $0,7 \text{ M}$ konsantrasyonda ;



Şekil 12. 0 C/m^2 yüzey yükü ve $0,7 \text{ M}$ konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 12'ye göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve yüksek konsantrasyonda ($0,7 \text{ M}$) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi lineer artış göstermiştir. En yüksek artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) olmuştur. Yine beklenildiği gibi konsantrasyon artışına bağlı olarak ($0,5 \text{ M}$ 'dan $0,7 \text{ M}$ 'a) başlangıç akım değerleri her 4 nanogözenek için de artmıştır. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyledir:

$$\text{CsgG} > \text{a-HL} > \text{MspA} > \text{Ael}$$

Şekil 12'ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve yüksek konsantrasyonda ($0,7 \text{ M}$) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi lineer artış göstermiştir. Şekil 11'deki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun arttığı ($0,5 \text{ M}$ 'dan $0,7 \text{ M}$ 'a) Şekil 12 durumunda her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri konsantrasyon artışına bağlı olarak beklenildiği gibi artmıştır. Her potansiyelde en yüksek sinyal büyüklüğü MspA'de , en düşük sinyal büyüklüğü a-HL'da görülmüştür.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

$$\text{MspA} > \text{CsgG} > \text{Ael} > \text{a-HL}$$

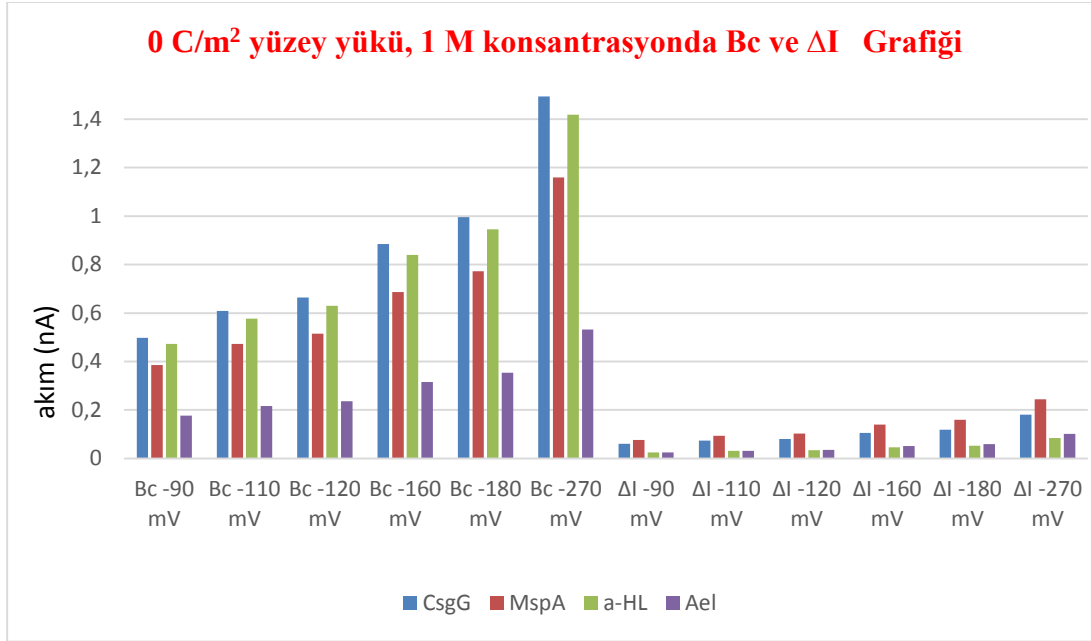
Şekil 12'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve yüksek konsantrasyonda ($0,7 \text{ M}$), $\Delta I/I_0$ değerleri Ael için potansiyel arttıkça lineer artış gösterirken; diğer 3 gözenek için potansiyelin artışı $\Delta I/I_0$ değerlerinde ciddi etki göstermemiştir. En yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde MspA, Ael'den daha büyük $\Delta I/I_0$ değerine sahipken, en yüksek potansiyelde Ael ile MspA'nın $\Delta I/I_0$ değerleri yaklaşık olarak aynı olmuştur. En yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$\text{MspA} > \text{Ael} > \text{CsgG} > \text{a-HL}$$

En yüksek potansiyelde (-270 mV) ise nanogözeneklerin $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur: $\text{Ael} \approx \text{MspA} > \text{CsgG} > \text{a-HL}$

Nötr (0 C/m^2) yüzey yükünde 1 M konsantrasyonda ;



Şekil 13. 0 C/m^2 yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc ve ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 13'e göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi lineer artış göstermiştir. En yüksek artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) olmuştur. Yine beklenildiği gibi konsantrasyon artışına bağlı olarak (0,7 M'dan 1 M'a) başlangıç akım değerleri her 4 nanogözenek için de artmıştır. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyledir :

$$\text{CsgG} > \text{a-HL} > \text{MspA} > \text{Ael}$$

Şekil 13'e göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi lineer artış göstermiştir. Şekil 12'deki aynı koşullarda sadece konsantrasyonun arttığı (0,7 M'dan 1 M'a) Şekil 13 durumunda her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri konsantrasyon artışına bağlı olarak

beklenildiği gibi artmıştır. Her potansiyelde en yüksek sinyal büyüklüğü MspA’de , en düşük sinyal büyüklüğü a-HL’da görülmüştür.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

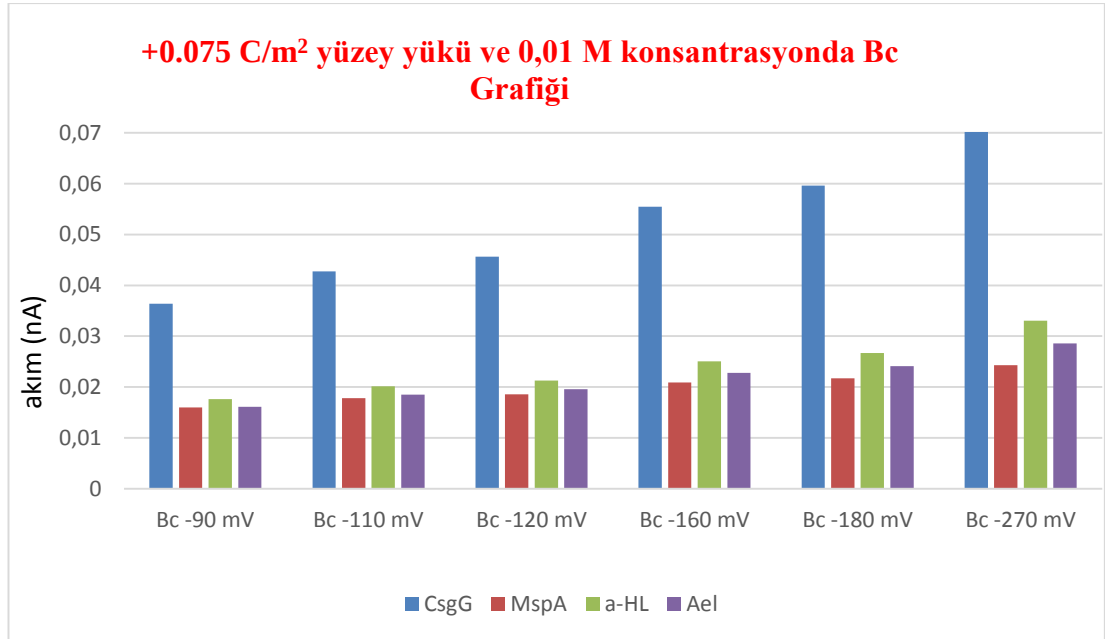
$$MspA > CsgG > Ael > a-HL$$

Şekil 13’e göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

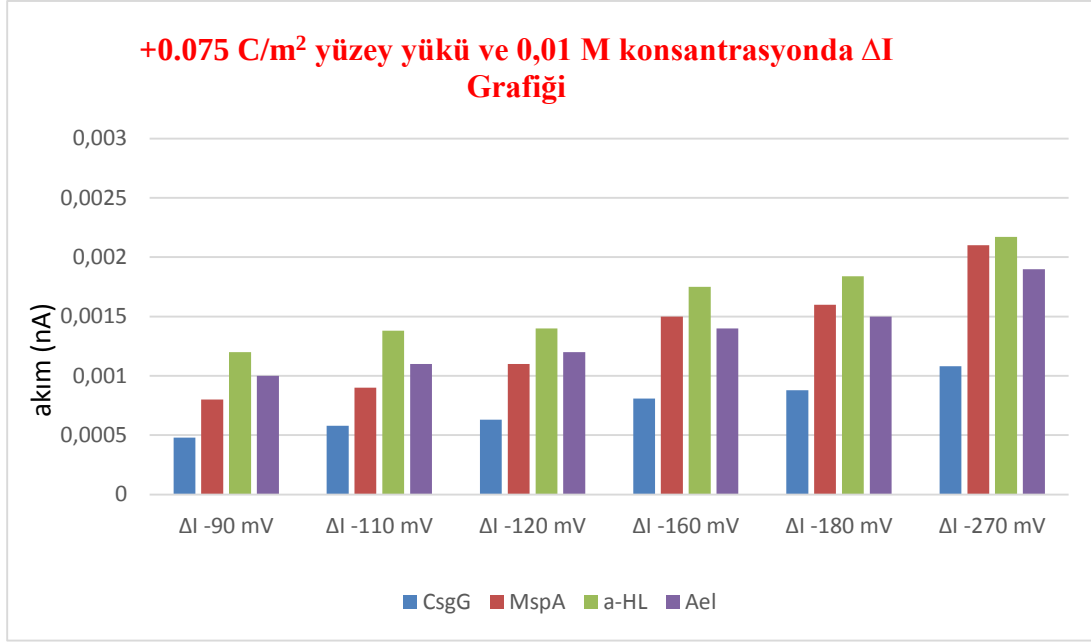
Nötr yüzey yükünde (0 C/m^2) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M), $\Delta I/I_0$ değerleri Ael için potansiyel arttıkça lineer artış gösterirken; diğer 3 gözenek için potansiyelin artışı $\Delta I/I_0$ değerlerinde ciddi etki göstermemiştir. Her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri konsantrasyon arttıkça azalmıştır. $\Delta I/I_0$ oranının payda kısmını ifade eden başlangıç akımı (B_c) arttıkça $\Delta I/I_0$ değerinin azalması aslında beklenen bir durumdur. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$MspA > Ael > CsgG > a-HL$$

Düşük pozitif ($+0,075 \text{ C/m}^2$) yüzey yükünde $0,01 \text{ M}$ konsantrasyonda;



Şekil 14.a. $+0,075 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve $0,01 \text{ M}$ konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 14.b. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,01 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 14.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 5 ile 7 katı oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 1. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8'deki Bc değerleri (nA)	0,0049	0,006	0,0066	0,0088	0,0099	0,0149
Şekil 14.a'daki Bc değerleri (nA)	0,03638	0,04274	0,04563	0,05548	0,05961	0,07482

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 2 ile 4 katı oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 2. MspA için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8’deki Bc değerleri (nA)	0,0038	0,0047	0,0051	0,0068	0,0077	0,0115
Şekil 14.a’daki Bc değerleri (nA)	0,016	0,0178	0,0186	0,0209	0,0217	0,0243

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 3’te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 2 ile 3 katı oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 3. α -HL için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8’deki Bc değerleri (nA)	0,00472	0,00576	0,00629	0,00838	0,00943	0,0141
Şekil 14.a’daki Bc değerleri (nA)	0,01764	0,02017	0,02128	0,02507	0,02669	0,03305

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 5 ile 9 katı oranında artış gösterdiği görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 4. Ael için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8’deki Bc değerleri (nA)	0,00177	0,00216	0,00236	0,00314	0,00353	0,0053
Şekil 14.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0161	0,0185	0,0196	0,0228	0,0241	0,0286

Şekil 14.a’ya göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve en düşük konsantrasyonda (0,01 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça artış göstermiştir. CsgG her 3 nanogözeneğe göre her potansiyelde yaklaşık 2 kat fazla iyonik akım göstermiştir. Yani direnci en düşük nanogözenek olmuştur. En yüksek artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) olmuştur. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG’de; en düşük Bc değeri ise MspA’de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözeneğin de Bc değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı, en fazla artış oranının Ael’de olduğu görülmüştür. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyledir :

CsgG>a-HL>Ael>MspA

Şekil 14.b’ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 5’te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 1 ile 2 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 5. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8'deki ΔI değerleri (nA)	0,0006	0,0008	0,001	0,0015	0,0017	0,0029
Şekil 14.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,00048	0,00058	0,00063	0,00081	0,00088	0,00108

MspA için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde düşük potansiyelerde (-90 mV ile -160 mV arasındaki potansiyeller) 1,3 katına kadar arttığı; yüksek potansiyelerde ise (-180 mV ve -270 mV) azaldığı görülmüştür.

Tablo 6. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8'deki ΔI değerleri (nA)	0,0006	0,0008	0,0009	0,0014	0,0017	0,0068
Şekil 14.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0008	0,0009	0,0011	0,0015	0,0016	0,0021

a-HL için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde düşük potansiyellerde (-90 mV ile -180 mV arasındaki potansiyeller) 1,9 katına kadar arttığı; en yüksek potansiyelde ise (-270 mV) azaldığı görülmüştür.

Tablo 7. a-HL için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8’deki ΔI değerleri (nA)	0,00063	0,00088	0,00102	0,00154	0,00181	0,0028
Şekil 14.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,0012	0,00138	0,0014	0,00175	0,00184	0,00217

Ael için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 8 ile Şekil 14.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 2 katına kadar arttığı görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır. En düşük artış oranı en yüksek potansiyelde (-270 mV) görülmüştür.

Tablo 8. Ael için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 8 ve Şekil 14.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 8’deki ΔI değerleri (nA)	0,00035	0,00049	0,00057	0,00087	0,00103	0,00175
Şekil 14.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,001	0,0011	0,0012	0,0014	0,0015	0,0019

Şekil 14.b'ye göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve en düşük konsantrasyonda (0,01 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi lineer artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek sinyal büyüklüğü değeri *a-HL*'de görülmüştür.

Nanogözenekler için düşük ve yüksek potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması değişmiştir. Düşük potansiyellerde (-90 mV ve -120 mV arasında) ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

$$\mathbf{a-HL > Ael > MspA > CsgG}$$

Yüksek potansiyellerde ise (-160 mV ve -270 mV arasında) ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

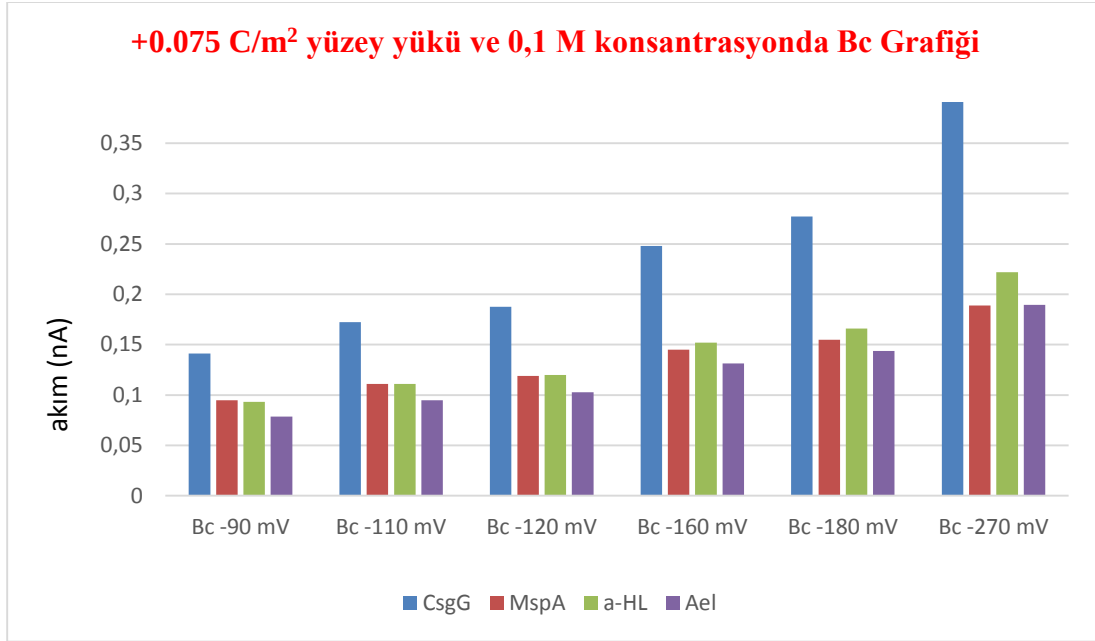
$$\mathbf{a-HL > MspA > Ael > CsgG}$$

Şekil 14.a ve Şekil 14.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

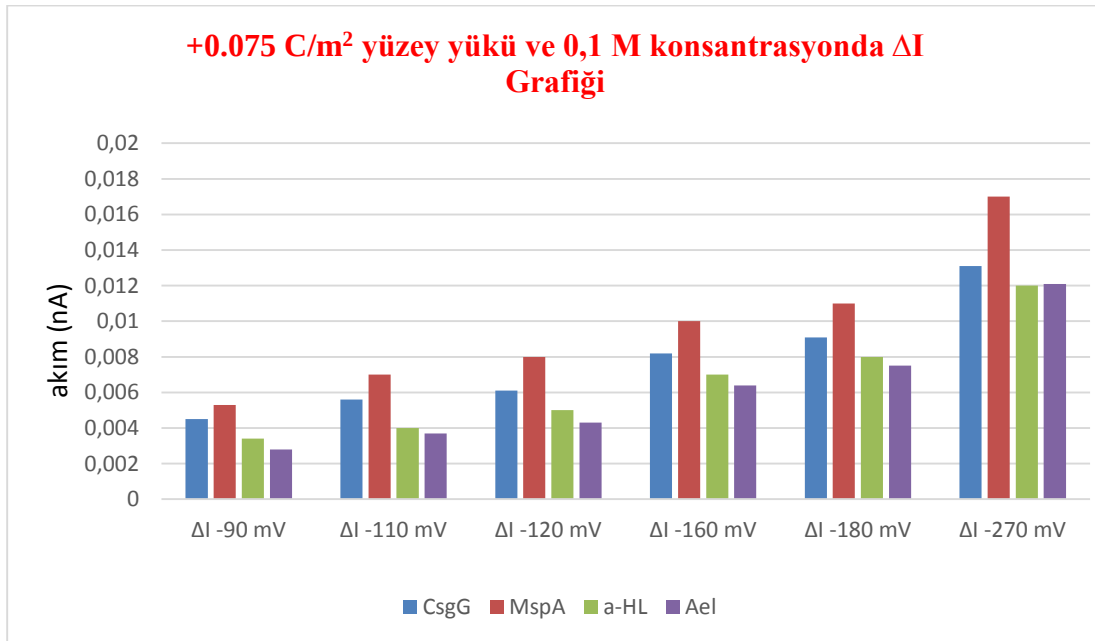
Düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve en düşük konsantrasyonda (0,01 M) *MspA* hariç diğer 3 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışından ciddi etkilenmemiştir. Bu 3 nanogözenek hemen hemen her potansiyelde aynı $\Delta I/I_0$ değerine sahip olmuştur. Ancak *MspA*'de potansiyel arttıkça artan $\Delta I/I_0$ değeri görülmüştür.

Nanogözenekler için düşük potansiyellerde (-90 mV, -110 mV ve -120 mV) $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması *a-HL > Ael > MspA > CsgG* şeklinde iken; orta potansiyellerde (-160 mV ve -180 mV) *MspA > a-HL > Ael > CsgG* ve en yüksek potansiyelde (-270 mV) ise *MspA > Ael > a-HL > CsgG* şeklinde olmuştur.

Düşük pozitif (+0,075 C/m²) yüzey yükünde 0,1 M konsantrasyonda;



Şekil 15.a. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 15.b. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 15.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 9. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki Bc değerleri (nA)	0,049	0,06	0,066	0,088	0,099	0,149
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1413	0,1723	0,1877	0,248	0,2773	0,3997

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.a ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 3 ile 5 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 10. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.a'daki Bc değerleri (nA)	0,03638	0,04274	0,04563	0,05548	0,05961	0,07482
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1413	0,1723	0,1877	0,248	0,2773	0,3997

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde 2 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu artış oranı azalmıştır.

Tablo 11. MspA için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9’daki Bc değerleri (nA)	0,038	0,047	0,051	0,068	0,077	0,116
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0949	0,111	0,119	0,145	0,155	0,189

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.a ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M’dan 0,1 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 5 ile 7 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 12. MspA için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.a’daki Bc değerleri (nA)	0,016	0,0178	0,0186	0,0209	0,0217	0,0243
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0949	0,111	0,119	0,145	0,155	0,189

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 13'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 2 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu artış oranı azalmıştır.

Tablo 13. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki Bc değerleri (nA)	0,0472	0,0577	0,063	0,084	0,0945	0,141
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0933	0,111	0,12	0,152	0,166	0,222

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.a ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 5 ile 7 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 14. a-HL için yüzey konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.a'daki Bc değerleri (nA)	0,01764	0,02017	0,02128	0,02507	0,02669	0,03305
Şekil 15a'daki Bc değerleri (nA)	0,0933	0,111	0,12	0,152	0,166	0,222

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 15’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 4 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu artış oranı azalmıştır.

Tablo 15. Ael için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9’daki Bc değerleri (nA)	0,0177	0,0216	0,0236	0,0315	0,0354	0,0531
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0786	0,0948	0,1026	0,1312	0,1439	0,1896

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.a ile Şekil 15.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M’den 0,1 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 4 ile 6 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 16. Ael için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 14.a ve Şekil 15.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0161	0,0185	0,0196	0,0228	0,0241	0,0286
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0786	0,0948	0,1026	0,1312	0,1439	0,1896

Şekil 15.a’ya göre; düşük pozitif yüzey yükünde (+0,075 C/m²) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. CsgG her 3 nanogözeneğe göre her potansiyelde

yaklaşık 2 kat fazla iyonik akım göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG’de; en düşük Bc değeri ise Ael’de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenegin de Bc değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı, en fazla artış oranının Ael’de olduğu görülmüştür. Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise Bc değerinde en fazla artış oranı MspA’de gözlenmiştir.

Nanogözenekler için düşük potansiyelerde (-90 mV, -110 mV ve -120 mV) Bc değerleri sıralaması **CsgG>MspA ≈a-HL>Ael** şeklinde iken; yüksek potansiyelerde (-160 mV, -180 mV ve -270 mV) Bc değerleri sıralama şöyle olmuştur:

$$\mathbf{CsgG>a-HL>MspA \approx Ael}$$

Şekil 15.b’ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 17’de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 17. CsgG için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9’daki ΔI değerleri (nA)	0,006	0,007	0,009	0,012	0,014	0,023
Şekil 15.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,0045	0,0056	0,0061	0,0082	0,0091	0,0131

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.b ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M’den 0,1 M’a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde

konsantrasyon artışına bağlı olarak 9 ile 12 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 18. CsgG için yüzey konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,00048	0,00058	0,00063	0,00081	0,00088	0,00108
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0045	0,0056	0,0061	0,0082	0,0091	0,0131

MspA için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 19'da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 19. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki ΔI değerleri (nA)	0,0077	0,011	0,012	0,016	0,019	0,03
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0053	0,007	0,008	0,01	0,011	0,017

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.b ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 6 ile 8 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 20. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0008	0,0009	0,0011	0,0015	0,0016	0,0021
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0053	0,007	0,008	0,01	0,011	0,017

a-HL için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 21'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,2 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 21. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki ΔI değerleri (nA)	0,0038	0,005	0,0056	0,0085	0,01	0,018
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0034	0,004	0,005	0,007	0,008	0,012

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.b ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 2 ile 5 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 22. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0012	0,00138	0,0014	0,00175	0,00184	0,00217
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0034	0,004	0,005	0,007	0,008	0,012

Ael için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 23'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 9 ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,6 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 23. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki ΔI değerleri (nA)	0,0047	0,0062	0,0071	0,0105	0,0122	0,0196
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0028	0,0037	0,0043	0,0064	0,0075	0,0121

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 14.b ile Şekil 15.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,01 M'dan 0,1 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 2 ile 6 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 24. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 14.b ve Şekil 15.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 14.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,001	0,0011	0,0012	0,0014	0,0015	0,0019
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0028	0,0037	0,0043	0,0064	0,0075	0,0121

Şekil 15.b'ye göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değeri MspA'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de ΔI değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde azaldığı görülmüştür. Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise ΔI değerinde her 4 nanogözenek için de artış olmuştur ve en fazla artış oranı CsgG'de gözlenmiştir. Nanogözenekler için en yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması **MspA>CsgG>a-HL>Ael** şeklinde iken; en yüksek potansiyelde ise ΔI değerleri sıralama şöyle olmuştur:

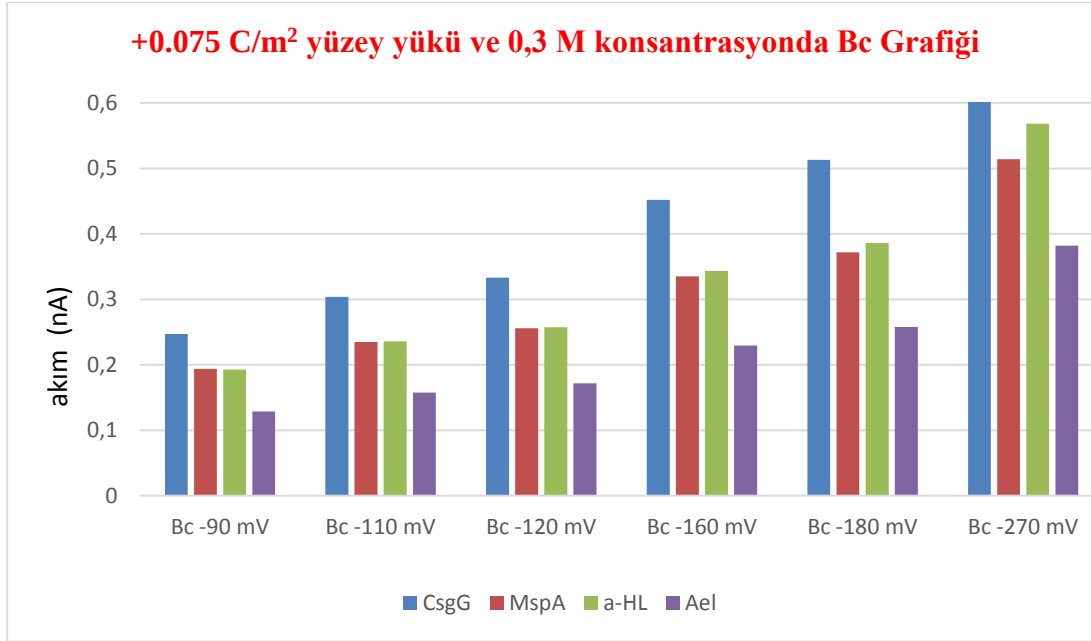
$$\mathbf{MspA>CsgG>Ael>a-HL}$$

Şekil 15.a ve Şekil 15.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

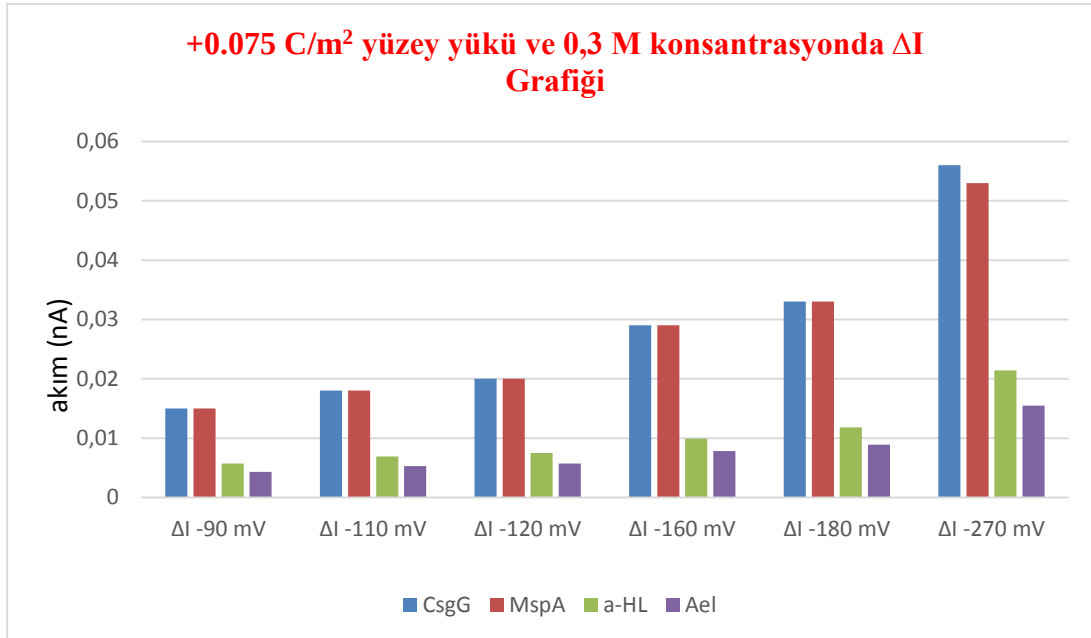
Düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) CsgG hariç diğer 3 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışıyla birlikte lineer olarak artmıştır. CsgG her potansiyelde hemen hemen aynı $\Delta I/I_0$ değerine sahip olmuştur. Yüzey yükünün $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise düşük pozitif yüzey yükünün nötr yüzey yüküne göre her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. En fazla azalış oranı 22 katına kadar azalış oranı ile a-HL'de olmuştur. Konsantrasyonun $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise artan konsantrasyonun MspA ve CsgG'de $\Delta I/I_0$ değerini artırdığı, Ael ve a-HL için ise azalttığı görülmüştür.

Nanogözenekler için en düşük potansiyelde (-90 mV) $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması **MspA>a-HL>Ael>CsgG** şeklinde iken; diğer potansiyellerde **MspA>Ael>a-HL>CsgG** şeklinde olmuştur.

Düşük pozitif (+0,075 C/m²) yüzey yükünde 0,3 M konsantrasyonda;



Şekil 16.a. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,3 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 16.b. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,3 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 16.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 25'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 2 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu oran artmıştır.

Tablo 25. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10'daki Bc değerleri (nA)	0,149	0,182	0,199	0,265	0,298	0,448
Şekil 16.a'daki Bc değerleri (nA)	0,247	0,304	0,333	0,452	0,513	0,798

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.a ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 0,3 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 26. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1413	0,1723	0,1877	0,248	0,2773	0,3997
Şekil 16.a'daki Bc değerleri (nA)	0,247	0,304	0,333	0,452	0,513	0,798

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 27’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu oran azalmıştır.

Tablo 27. MspA için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10’daki Bc değerleri (nA)	0,1159	0,141	0,154	0,206	0,232	0,348
Şekil 16.a’daki Bc değerleri (nA)	0,194	0,235	0,256	0,335	0,372	0,514

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.a ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’dan 0,3 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 28. MspA için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0949	0,111	0,119	0,145	0,155	0,189
Şekil 16.a’daki Bc değerleri (nA)	0,194	0,235	0,256	0,335	0,372	0,514

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 29’da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran potansiyel artışına bağlı olarak değişmemiştir, her potansiyelde aynı oranda olmuştur.

Tablo 29. a-HL için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10’daki Bc değerleri (nA)	0,141	0,173	0,189	0,252	0,283	0,425
Şekil 16.a’daki Bc değerleri (nA)	0,1929	0,236	0,2575	0,3433	0,3857	0,5685

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.a ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’den 0,3 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 30. a-HL için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0933	0,111	0,12	0,152	0,166	0,222
Şekil 16.a’daki Bc değerleri (nA)	0,1929	0,236	0,2575	0,3433	0,3857	0,5685

Ael için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 31’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 2,5 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran potansiyel artışına bağlı olarak değişmemiştir, her potansiyelde aynı oranda olmuştur.

Tablo 31. Ael için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10’daki Bc değerleri (nA)	0,053	0,065	0,07	0,0945	0,1064	0,159
Şekil 16.a’daki Bc değerleri (nA)	0,1285	0,1574	0,1718	0,2294	0,2579	0,3818

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.a ile Şekil 16.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’den 0,3 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 32. Ael için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 16.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0786	0,0948	0,1026	0,1312	0,1439	0,1896
Şekil 16.a’daki Bc değerleri (nA)	0,1285	0,1574	0,1718	0,2294	0,2579	0,3818

Şekil 16.a’ya göre; düşük pozitif yüzey yükünde (+0,075 C/m²) ve orta düşük konsantrasyonda (0,3 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça

beklenildiği gibi artış göstermiştir. CsgG her 3 nanogözeneğe göre her potansiyelde yaklaşık 2 kat fazla iyonik akım göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG’de; en düşük Bc değeri ise Ael’de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözeneğin de Bc değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı, en fazla artış oranının Ael’de olduğu görülmüştür. Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise konsantrasyon artışının tüm nanogözenekler için Bc değerlerini artırdığı ve en fazla artış oranının MspA’de olduğu gözlenmiştir. Nanogözenekler için düşük potansiyellerde (-90 mV, -110 mV ve -120 mV) Bc değerleri sıralaması **CsgG>Msp ≈a-HL>Ael** şeklinde iken; yüksek potansiyellerde (-160 mV, -180 mV ve -270 mV) Bc değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$\mathbf{CsgG>a-HL>MspA>Ael}$$

Şekil 16.b’ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 33’te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,2 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 33. CsgG için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10’daki ΔI değerleri (nA)	0,018	0,022	0,024	0,033	0,037	0,06
Şekil 16.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,029	0,033	0,056

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.b ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’den 0,3 M’a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde

konsantrasyon artışına bağlı olarak 3 ile 4 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça lineer olarak artmıştır.

Tablo 34. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0045	0,0056	0,0061	0,0082	0,0091	0,0131
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,029	0,033	0,056

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Değerler CsgG ile her potansiyelde aynı çıkmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 35'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,6 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 35. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10'daki ΔI değerleri (nA)	0,0241	0,03	0,033	0,046	0,053	0,082
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,029	0,033	0,053

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.b ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 0,3 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak 2 ile 3 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 36. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0053	0,007	0,008	0,01	0,011	0,017
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,029	0,033	0,053

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 37'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 37. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10'daki ΔI değerleri (nA)	0,008	0,011	0,013	0,018	0,02	0,034
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0057	0,0069	0,0075	0,0099	0,0118	0,0214

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.b ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 0,3 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 38. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0034	0,004	0,005	0,007	0,008	0,012
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0057	0,0069	0,0075	0,0099	0,0118	0,0214

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Her potansiyelde en düşük ΔI değerleri Ael'de görülmüştür. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 39'da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 10 ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 3 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 39. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 10 ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 10'daki ΔI değerleri (nA)	0,0102	0,014	0,015	0,023	0,0272	0,046
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,043	0,0053	0,0057	0,0078	0,0089	0,0155

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 15.b ile Şekil 16.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 0,3 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 40. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 16.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0028	0,0037	0,0043	0,0064	0,0075	0,0121
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,043	0,0053	0,0057	0,0078	0,0089	0,0155

Şekil 16.b'ye göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve orta düşük konsantrasyonda (0,3 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değeri CsgG ve MspA'de , en düşük ΔI değeri Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de ΔI değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde azaldığı görülmüştür. En fazla azalış oranı Ael'de görülmüştür. Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise ΔI değerinde her 4 nanogözenek için de artış olmuştur ve en fazla artış oranı CsgG'de gözlenmiştir. Nanogözenekler için en yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması $MspA > CsgG > a-HL > Ael$ şeklinde iken; en yüksek potansiyelde ise ΔI değerleri sıralama şöyle olmuştur:

$$CsgG > MspA > a-HL > Ael$$

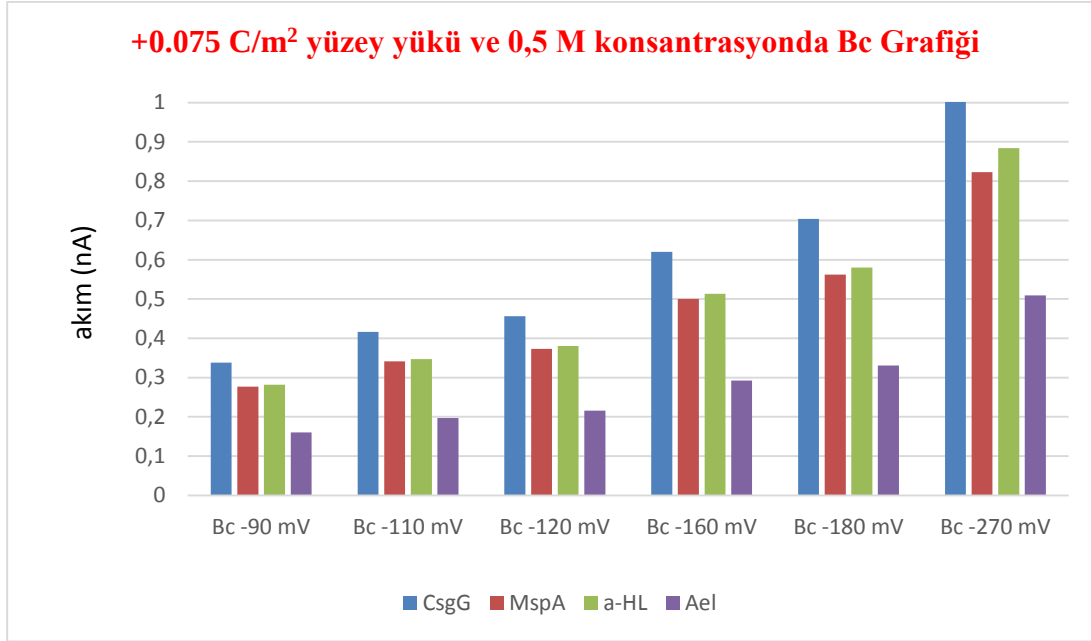
Şekil 16.a ve Şekil 16.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve orta düşük konsantrasyonda (0,3 M) nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir. Her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri düşük potansiyellerde aynı çıkmıştır. Yüksek potansiyellerde ise $\Delta I/I_0$ değerlerinde lineer artış çok az da olsa gözlenmiştir. Yüzey yükünün $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise düşük pozitif yüzey yükünün nötr yüzey yüküne göre her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. En fazla azalış oranı 7 katına kadar azalış oranı ile Ael'de olmuştur. Konsantrasyonun $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise artan konsantrasyonun Ael hariç tüm nanogözeneklerde $\Delta I/I_0$ değerini arttırdığı ve en fazla artış oranının a-HL'de olduğu görülmüştür. Konsantrasyon artışı Ael için $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etki yapmıştır.

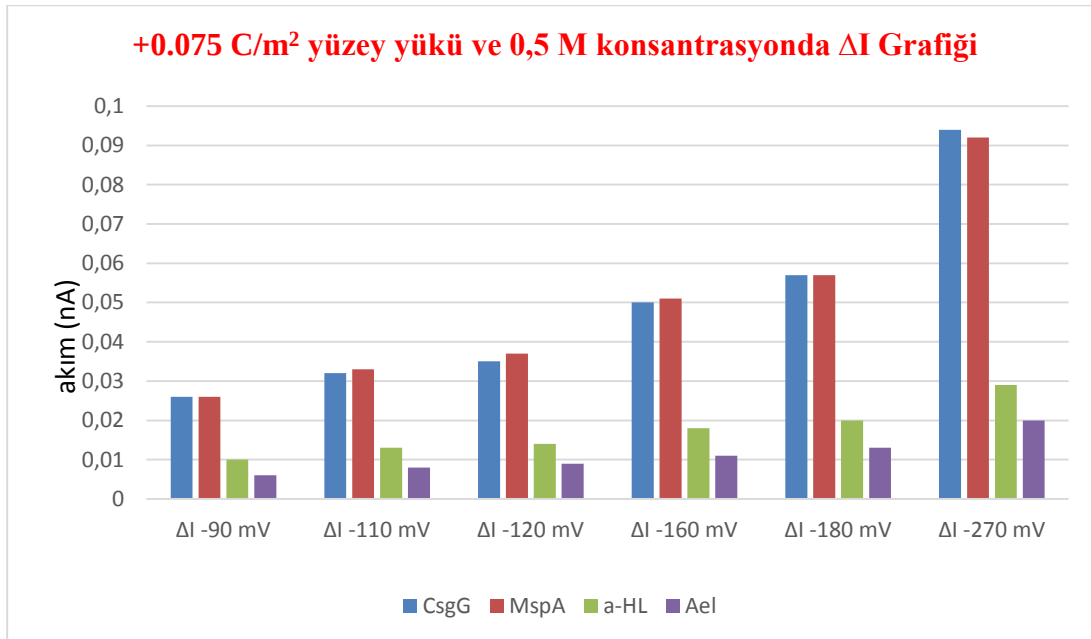
Nanogözenekler için tüm potansiyellerde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

MspA* > *CsgG* > *Ael* > *a-HL

Düşük pozitif (+0,075 C/m²) yüzey yükünde 0,5 M konsantrasyonda;



Şekil 17.a. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,5 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 17.b. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,5 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 17.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 41'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu oran artmıştır.

Tablo 41. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11'deki Bc değerleri (nA)	0,249	0,304	0,332	0,442	0,498	0,58
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,338	0,416	0,456	0,62	0,704	1,099

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.a ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M'dan 0,5 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 42. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.a'daki Bc değerleri (nA)	0,247	0,304	0,333	0,452	0,513	0,798
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,338	0,416	0,456	0,62	0,704	1,099

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 43'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,4 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 43. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11'deki Bc değerleri (nA)	0,193	0,236	0,257	0,343	0,386	0,58
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,277	0,341	0,373	0,5	0,562	0,823

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.a ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M'dan 0,5 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 44. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.a'daki Bc değerleri (nA)	0,194	0,235	0,256	0,335	0,372	0,514
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,277	0,341	0,373	0,5	0,562	0,823

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 45’te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 45. a-HL için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11’deki Bc değerleri (nA)	0,236	0,288	0,315	0,42	0,472	0,709
Şekil 17.a’daki Bc değerleri (nA)	0,282	0,347	0,38	0,513	0,58	0,884

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.a ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M’den 0,5 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 46. a-HL için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.a’daki Bc değerleri (nA)	0,1929	0,236	0,2575	0,3433	0,3857	0,5685
Şekil 17.a’daki Bc değerleri (nA)	0,282	0,347	0,38	0,513	0,58	0,884

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 47’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,8 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 47. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11'deki Bc değerleri (nA)	0,088	0,108	0,118	0,157	0,177	0,266
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,16	0,197	0,216	0,292	0,331	0,509

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.a ile Şekil 17.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M'dan 0,5 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 48. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 16.a ve Şekil 17.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1285	0,1574	0,1718	0,2294	0,2579	0,3818
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,16	0,197	0,216	0,292	0,331	0,509

Şekil 17.a'ya göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve orta konsantrasyonda (0,5M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür. Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise konsantrasyon artışının tüm nanogözenekler için Bc değerlerini artırdığı ve en fazla artış oranının MspA'de olduğu gözlenmiştir.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$CsgG > a-HL > MspA > Ael$$

Şekil 17.b'ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. En yüksek potansiyelde (-270 mV) en yüksek sinyal büyüklüğüne sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 49'da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,1 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 49. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11'deki ΔI değerleri (nA)	0,03	0,036	0,04	0,053	0,061	0,095
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,032	0,035	0,05	0,057	0,094

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.b ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M'dan 0,5 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,7 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 50. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,029	0,033	0,056
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,032	0,035	0,05	0,057	0,094

MspA için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 51’de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 51. MspA için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11’deki ΔI değerleri (nA)	0,04	0,049	0,054	0,073	0,083	0,13
Şekil 17.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,033	0,037	0,051	0,057	0,092

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.b ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M’den 0,5 M’a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,8 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 52. MspA için konsantrasyonun ΔI ’ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,029	0,033	0,053
Şekil 17.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,033	0,037	0,051	0,057	0,092

a-HL için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 53’te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 53. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11'deki ΔI değerleri (nA)	0,013	0,016	0,019	0,026	0,029	0,049
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,01	0,013	0,014	0,018	0,02	0,029

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.b ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M'dan 0,5 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,8 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça azalmıştır.

Tablo 54. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0057	0,0069	0,0075	0,0099	0,0118	0,0214
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,01	0,013	0,014	0,018	0,02	0,029

Ael için de potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 55'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 11 ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin

düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 3 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür. Bu azalış oranı potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 55. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 11 ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 11'deki ΔI değerleri (nA)	0,0146	0,019	0,022	0,032	0,0374	0,065
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,006	0,008	0,009	0,011	0,013	0,02

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 16.b ile Şekil 17.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,3 M'dan 0,5 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 56. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 16.b ve Şekil 17.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 16.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0043	0,0053	0,0057	0,0078	0,0089	0,0155
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,006	0,008	0,009	0,011	0,013	0,02

Şekil 17.b'ye göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve orta konsantrasyonda (0,5 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değerleri CsgG ve MspA'de , en düşük ΔI değeri Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenegin de ΔI değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde azaldığı görülmüştür. En fazla azalış oranı Ael'de görülmüştür. Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise ΔI değerinde her 4 nanogözenek için de artış olmuştur. Nanogözenekler için en yüksek potansiyel (-270 mV) hariç tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması **MspA=CsgG>a-HL>Ael** şeklinde iken; en yüksek potansiyelde ise ΔI değerleri sıralama şöyle olmuştur:

CsgG > MspA > a-HL > Ael

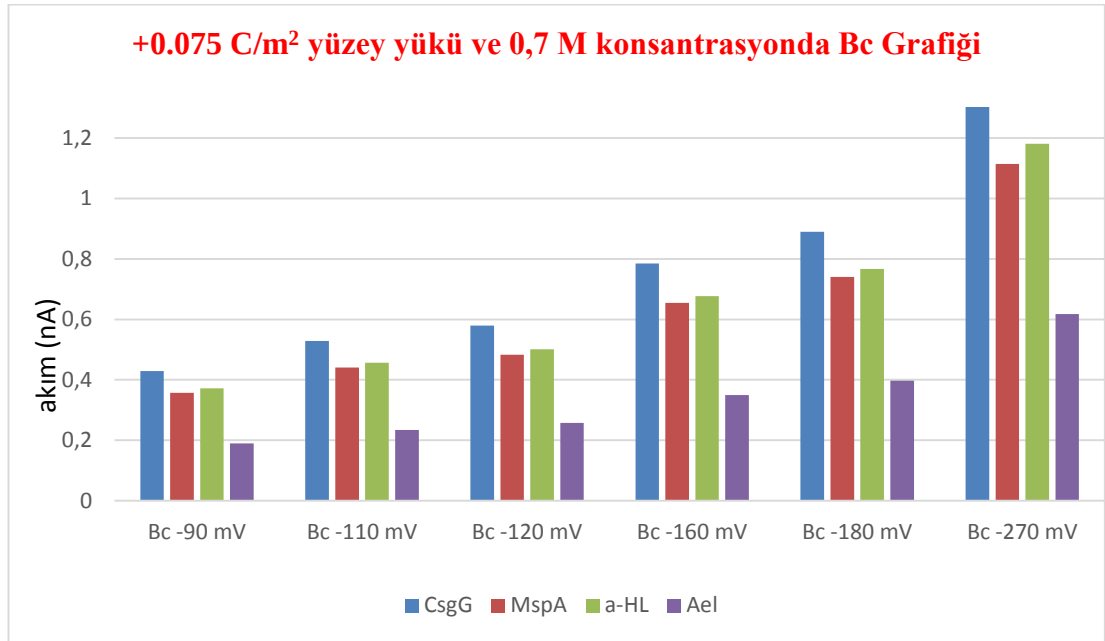
Şekil 17.a ve Şekil 17.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve orta konsantrasyonda (0,5 M) nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir. Her 4 nanogözeneğin de $\Delta I/I_0$ değerleri tüm potansiyellerde aynı çıkmıştır. Yüzey yükünün $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise düşük pozitif yüzey yükünün nötr yüzey yüküne göre her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. En fazla azalış oranı 6 katına kadar azalış oranı ile Ael'de olmuştur. Konsantrasyonun $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise artan konsantrasyonun tüm nanogözeneklerde $\Delta I/I_0$ değerini arttırdığı görülmüştür.

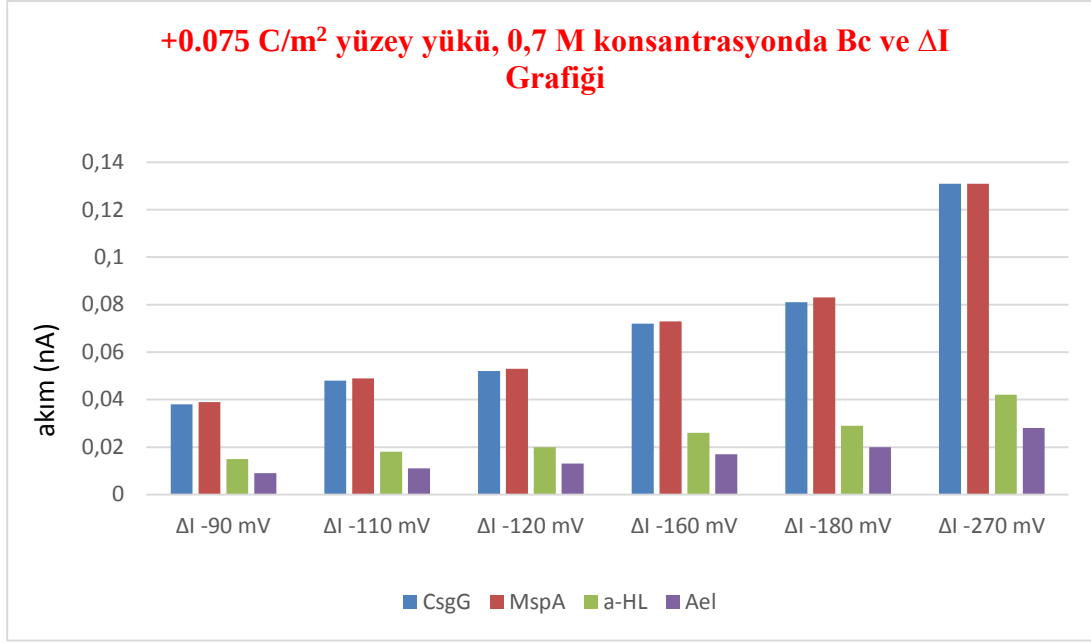
Nanogözenekler için tüm potansiyellerde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

MspA > CsgG > Ael > a-HL

Düşük pozitif ($+0,075 \text{ C/m}^2$) yüzey yükünde 0,7 M konsantrasyonda;



Şekil 18.a. $+0,075 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 0,7 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 18.b. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,7 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 18.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 57'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu oran artmıştır.

Tablo 57. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki Bc değerleri (nA)	0,348	0,426	0,465	0,62	0,697	1,045
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,429	0,529	0,579	0,785	0,89	1,383

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.a ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 58. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,338	0,416	0,456	0,62	0,704	1,099
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,429	0,529	0,579	0,785	0,89	1,383

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 59'da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu oran artmıştır.

Tablo 59. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki Bc değerleri (nA)	0,27	0,33	0,36	0,481	0,541	0,812
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,357	0,441	0,483	0,655	0,74	1,114

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.a ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 60. MspA için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,277	0,341	0,373	0,5	0,562	0,823
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,357	0,441	0,483	0,655	0,74	1,114

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 61'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,1 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 61. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki Bc değerleri (nA)	0,331	0,405	0,441	0,584	0,661	0,992
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,372	0,457	0,501	0,677	0,767	1,181

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.a ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde

konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 62. a-HL için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,282	0,347	0,38	0,513	0,58	0,884
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,372	0,457	0,501	0,677	0,767	1,181

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 63'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 63. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki Bc değerleri (nA)	0,124	0,151	0,165	0,22	0,248	0,372
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,19	0,234	0,257	0,349	0,397	0,618

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.a ile Şekil 18.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel arttıkça artmıştır.

Tablo 64. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 17.a ve Şekil 18.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.a'daki Bc değerleri (nA)	0,16	0,197	0,216	0,292	0,331	0,509
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,19	0,234	0,257	0,349	0,397	0,618

Şekil 18.a'ya göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve yüksek konsantrasyonda (0,7 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür. Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise konsantrasyon artışının tüm nanogözenekler için Bc değerlerini artırdığı ve artış oranlarının birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$\text{CsgG} > \text{a-HL} > \text{MspA} > \text{Ael}$$

Şekil 18.b'ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 65'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde çok az da olsa azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 65. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki ΔI değerleri (nA)	0,041	0,051	0,056	0,074	0,083	0,128
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,038	0,048	0,052	0,072	0,081	0,131

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.b ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,4 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 66. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,032	0,035	0,05	0,057	0,094
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,038	0,048	0,052	0,072	0,081	0,131

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 67'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,3katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 67. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki ΔI değerleri (nA)	0,054	0,067	0,073	0,101	0,114	0,176
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,039	0,049	0,053	0,073	0,083	0,131

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.b ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 68. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,033	0,037	0,051	0,057	0,092
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,039	0,049	0,053	0,073	0,083	0,131

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 69'da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,3 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 69. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki ΔI değerleri (nA)	0,019	0,023	0,025	0,03	0,039	0,063
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,026	0,029	0,042

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.b ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 70. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,01	0,013	0,014	0,018	0,02	0,029
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,026	0,029	0,042

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 71'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 12 ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 2,3 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 71. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 12 ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 12'deki ΔI değerleri (nA)	0,019	0,024	0,027	0,039	0,047	0,08
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,009	0,011	0,013	0,017	0,02	0,028

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 17.b ile Şekil 18.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,5 M'dan 0,7 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 72. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 17.b ve Şekil 18.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 17.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,006	0,008	0,009	0,011	0,013	0,028
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,009	0,011	0,013	0,017	0,02	0,028

Şekil 18.b'e göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve yüksek konsantrasyonda (0,7M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değerleri CsgG ve MspA'de , en düşük ΔI değeri Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenegin de ΔI değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde azaldığı görülmüştür. En fazla azalış oranı Ael'de görülmüştür. Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise ΔI değerinde her 4 nanogözenek için de artış olmuştur.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$MspA = CsgG > a-HL > Ael$$

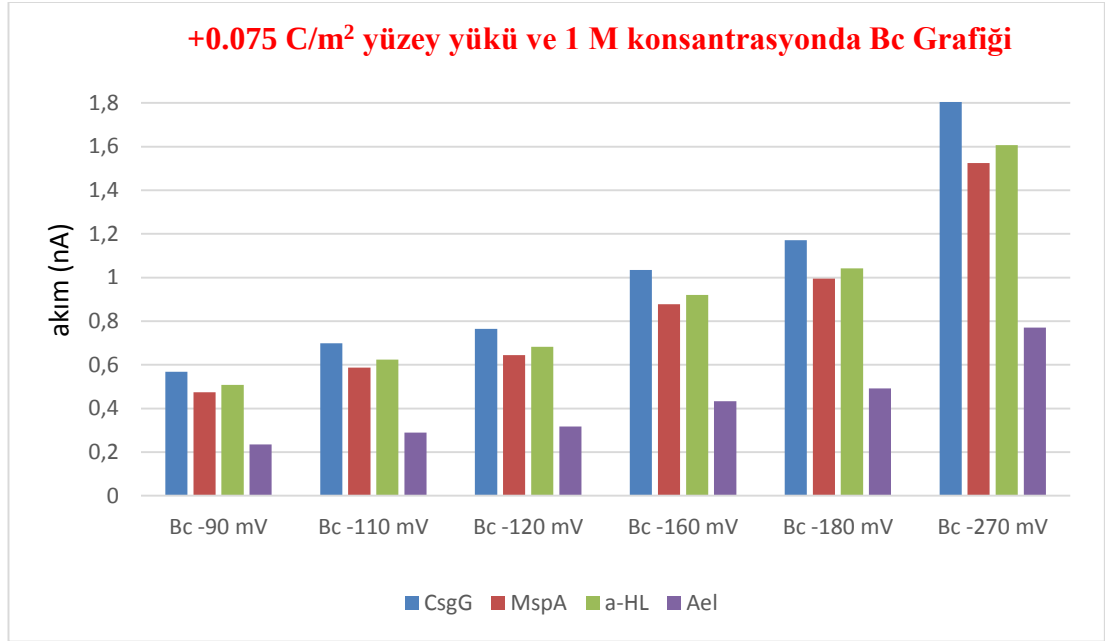
Şekil 18.a ve Şekil 18.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve yüksek konsantrasyonda (0,7M) nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir. Her 4 nanogözenegin de $\Delta I/I_0$ değerleri tüm potansiyellerde aynı çıkmıştır. Yüzey yükünün $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise düşük pozitif yüzey yükünün nötr yüzey yüküne göre her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. En fazla azalış oranı 4 katına kadar azalış oranı ile Ael'de olmuştur. Konsantrasyonun $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise artan konsantrasyonun tüm nanogözeneklerde $\Delta I/I_0$ değerini arttırdığı görülmüştür.

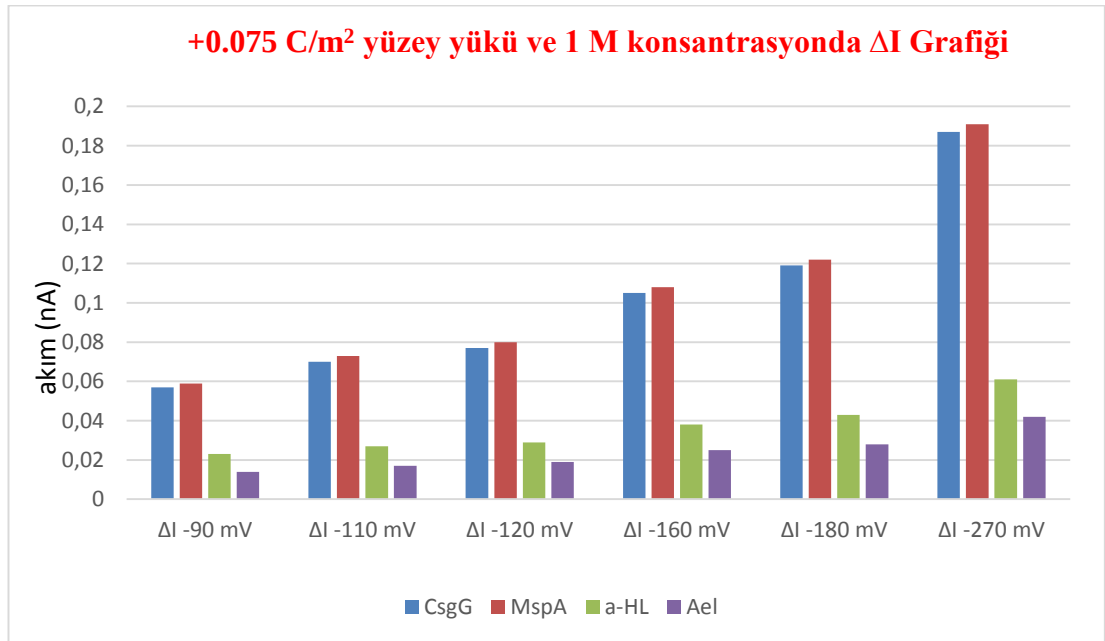
Nanogözenekler için tüm potansiyellerde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$MspA > CsgG > Ael > a-HL$$

Düşük pozitif (+0,075 C/m²) yüzey yükünde 1 M konsantrasyonda;



Şekil 19.a. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 19.b. +0,075 C/m² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 19.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyelerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 73'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,1 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 73. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki Bc değerleri (nA)	0,498	0,609	0,664	0,885	0,996	1,494
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,568	0,699	0,765	1,034	1,171	1,806

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.a ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M'dan 1 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 74. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.a'daki Bc değerleri (nA)	0,429	0,529	0,579	0,785	0,89	1,383
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,568	0,699	0,765	1,034	1,171	1,806

MspA için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 75’te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu oran artmıştır.

Tablo 75. MspA için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13’deki Bc değerleri (nA)	0,386	0,472	0,515	0,687	0,773	1,16
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,474	0,587	0,644	0,877	0,995	1,525

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.a ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M’dan 1 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 76. MspA için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.a’daki Bc değerleri (nA)	0,357	0,441	0,463	0,655	0,74	1,114
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,474	0,587	0,644	0,877	0,995	1,525

a-HL için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 77’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,1 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 77. a-HL için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13’deki Bc değerleri (nA)	0,472	0,577	0,63	0,84	0,945	1,418
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,508	0,624	0,682	0,92	1,042	1,607

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.a ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M’dan 1 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 78. a-HL için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.a’daki Bc değerleri (nA)	0,372	0,457	0,501	0,677	0,767	1,181
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,508	0,624	0,682	0,92	1,042	1,607

Ael için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 79’da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu oran artmıştır.

Tablo 79. Ael için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13’deki Bc değerleri (nA)	0,177	0,216	0,236	0,315	0,354	0,532
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,235	0,29	0,318	0,433	0,492	0,771

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.a ile Şekil 19.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M’dan 1 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir çünkü her potansiyelde aynı oranda gözlenmiştir.

Tablo 80. Ael için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 18.a ve Şekil 19.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.a’daki Bc değerleri (nA)	0,19	0,234	0,257	0,349	0,397	0,618
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,235	0,29	0,318	0,433	0,492	0,771

Şekil 19.a’ya göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça

beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG’de; en düşük Bc değeri ise Ael’de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenegin de Bc değerlerinin pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür. Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise konsantrasyon artışının tüm nanogözenekler için Bc değerlerini artırdığı ve artış oranlarının birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$CsgG > a-HL > MspA > Ael$$

Şekil 19.b’ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 81’de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,03 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 81. CsgG için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13’deki ΔI değerleri (nA)	0,06	0,073	0,08	0,105	0,119	0,18
Şekil 19.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,057	0,07	0,077	0,105	0,119	0,187

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.b ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M’den 1 M’a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 82. CsgG için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,038	0,048	0,052	0,072	0,081	0,131
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,057	0,07	0,077	0,105	0,119	0,187

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 83'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,3 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 83. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki ΔI değerleri (nA)	0,076	0,094	0,103	0,14	0,159	0,244
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,059	0,073	0,08	0,108	0,122	0,191

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.b ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M'dan 1 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 84. MspA için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,039	0,049	0,053	0,073	0,083	0,131
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,059	0,073	0,08	0,108	0,122	0,191

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 85'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü (+0,075 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,2 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 85. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki ΔI değerleri (nA)	0,025	0,031	0,034	0,046	0,053	0,084
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,023	0,027	0,029	0,038	0,043	0,061

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.b ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M'dan 1 M'a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 86. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,018	0,02	0,026	0,029	0,042
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,023	0,027	0,029	0,038	0,043	0,061

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 87’de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 13 ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif yüzey yükü ($+0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 2 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 87. Ael için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13’deki ΔI değerleri (nA)	0,025	0,031	0,035	0,051	0,059	0,101
Şekil 19.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,014	0,017	0,019	0,025	0,028	0,042

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 18.b ile Şekil 19.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,7 M’dan 1 M’a artırıldığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 1,5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 88. Ael için konsantrasyonun ΔI ’ye etkisinde Şekil 18.b ve Şekil 19.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 18.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,009	0,011	0,013	0,017	0,02	0,028
Şekil 19.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,014	0,017	0,019	0,025	0,028	0,042

Şekil 19.b’ye göre; düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değerleri CsgG ve MspA’de , en düşük ΔI değeri Ael’de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de ΔI değerlerinin pozitif yüzey yükü

etkisinde azaldığı görülmüştür. En fazla azalış oranı Ael'de görülmüştür. Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise ΔI değerinde her 4 nanogözenek için de artış olmuştur.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$\geq$

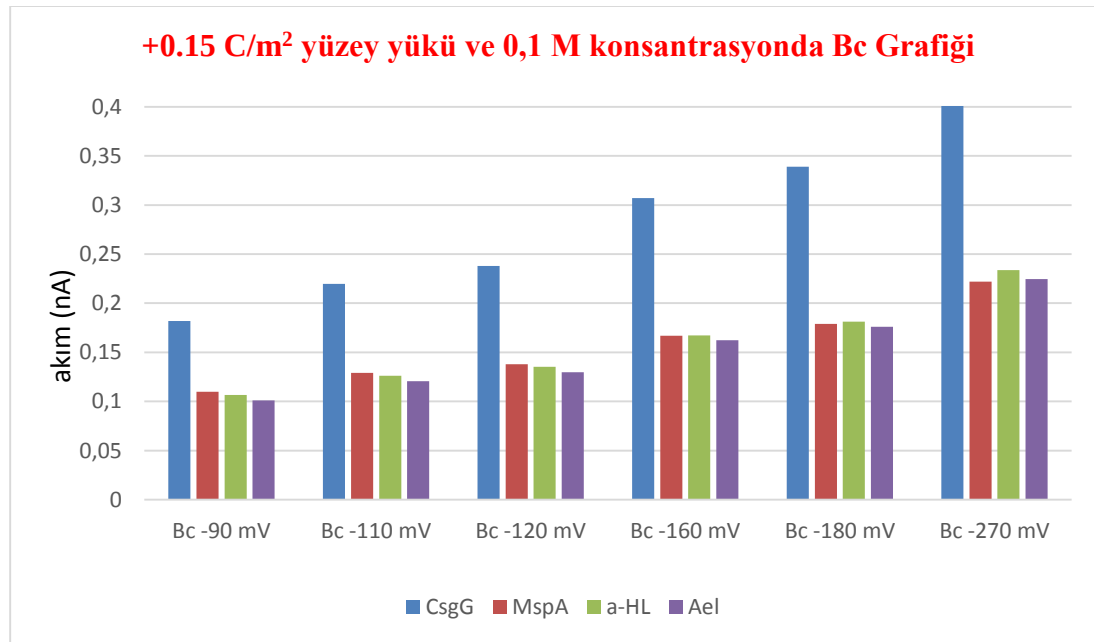
Şekil 19.a ve Şekil 19.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Düşük pozitif yüzey yükünde ($+0,075 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir. Her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri tüm potansiyellerde aynı çıkmıştır. Yüzey yükünün $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise düşük pozitif yüzey yükünün nötr yüzey yüküne göre her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. En fazla azalış oranı 3 katına kadar azalış oranı ile Ael'de olmuştur. Konsantrasyonun $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise artan konsantrasyonun tüm nanogözeneklerde $\Delta I/I_0$ değerini arttırdığı görülmüştür.

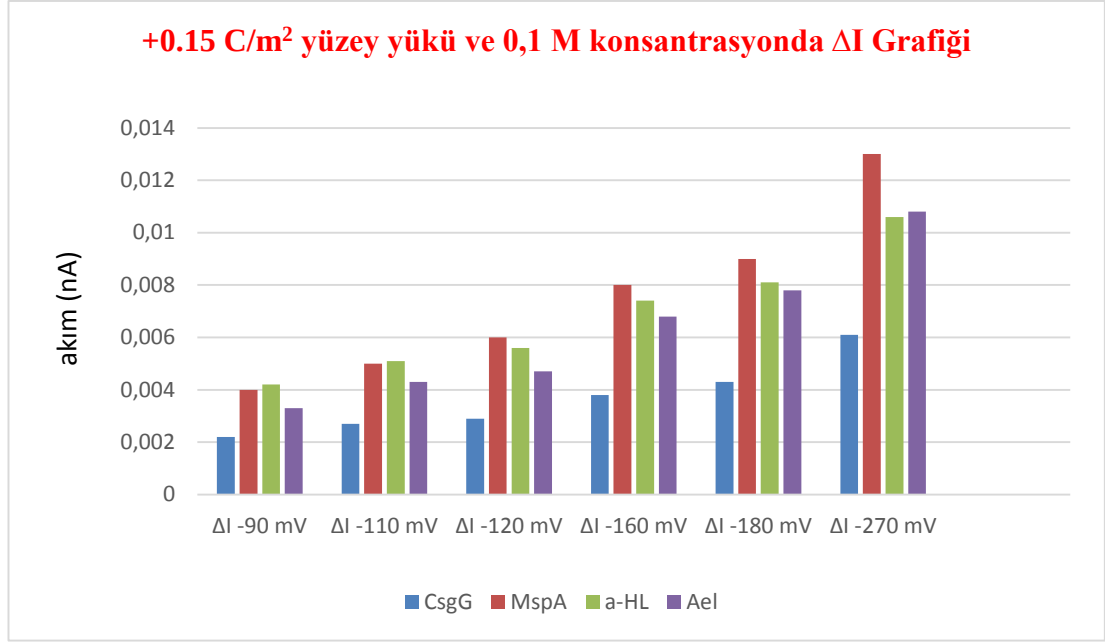
Nanogözenekler için tüm potansiyellerde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

MspA > CsgG > Ael > a-HL

Yüksek pozitif ($+0,15 \text{ C/m}^2$) yüzey yükünde 0,1 M konsantrasyonda;



Şekil 20.a. $+0,15 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 20.b. +0,15 C/m² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 20.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 89'da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.a ile Şekil 20.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 89. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1413	0,1723	0,1877	0,248	0,2773	0,3997
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1819	0,2198	0,2381	0,3072	0,3389	0,4596

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 90'da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.a ile Şekil 20.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,1 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 90. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0949	0,111	0,119	0,145	0,155	0,189
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,11	0,129	0,138	0,167	0,179	0,222

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 91'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.a ile Şekil 20.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,1 katı oranında artış görülmüştür. Potansiyel arttıkça bu artış oranı azalmıştır.

Tablo 91. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0933	0,111	0,12	0,152	0,166	0,222
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1067	0,1261	0,1352	0,1672	0,1811	0,2339

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 92’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.a ile Şekil 20.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 92. Ael için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 20.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a’daki Bc değerleri (nA)	0,0786	0,0948	0,1026	0,1312	0,1439	0,1896
Şekil 20.a’daki Bc değerleri (nA)	0,1011	0,1207	0,1298	0,1622	0,176	0,2246

Şekil 20.a’ya göre; yüksek pozitif yüzey yükünde (+0,15 C/m²) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. CsgG her 3 nanogözeneğe göre her potansiyelde yaklaşık 2 kat fazla iyonik akım göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG’de; en düşük Bc değeri ise Ael’de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözeneğin de Bc değerlerinin yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür.

Nanogözenekler için düşük potansiyelerde (-90 mV, -110 mV ve -120 mV) Bc değerleri sıralaması **CsgG>MspA>a-HL>Ael** şeklinde iken; yüksek potansiyelerde (-160 mV, -180 mV ve -270 mV) Bc değerleri sıralama şöyle olmuştur:

$$\mathbf{CsgG > a-HL > MspA \approx Ael}$$

Şekil 20.b’ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyelerde en düşük ΔI değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük

potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 93'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.b ile Şekil 20.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 2 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 93. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0045	0,0056	0,0061	0,0082	0,0091	0,0131
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0022	0,0027	0,0029	0,0038	0,0043	0,0061

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 94'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.b ile Şekil 20.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde yaklaşık 1,3 katı oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 94. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0053	0,007	0,008	0,01	0,011	0,017
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,004	0,005	0,006	0,008	0,009	0,013

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 95’te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.b ile Şekil 20.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde düşük potansiyelerde yaklaşık 1,2 katı oranında artış gösterdiği, en yüksek potansiyelde ise 1,1 oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 95. a-HL için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,0034	0,004	0,005	0,007	0,008	0,012
Şekil 20.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,0042	0,0051	0,0056	0,0074	0,0081	0,0106

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 96’da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 15.b ile Şekil 20.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinin yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde düşük potansiyelerde yaklaşık 1,1 katı oranında artış gösterdiği, en yüksek potansiyelde ise 1,1 oranında azalış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 96. Ael için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 20.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,0028	0,0037	0,0043	0,0064	0,0075	0,0121
Şekil 20.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,0033	0,0043	0,0047	0,0068	0,0078	0,0108

Şekil 20.b'ye göre; yüksek pozitif yüzey yükünde ($+0,15 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda ($0,1\text{M}$) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en düşük ΔI değeri CsgG'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde MspA ve CsgG için ΔI değerlerinin yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde azaldığı, a-HL ve Ael için ise arttığı görülmüştür.

Nanogözenekler için düşük potansiyellerde (-90 mV ve -110 mV) ΔI değerleri sıralaması ***a-HL>MspA>Ael>CsgG*** şeklinde iken; yüksek potansiyellerde (-110 mV , -120 mV , 160 mV , -180 mV) ΔI değerleri sıralaması ***MspA>a-HL>Ael>CsgG*** ve en yüksek potansiyelde ise (-270 mV) ΔI değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

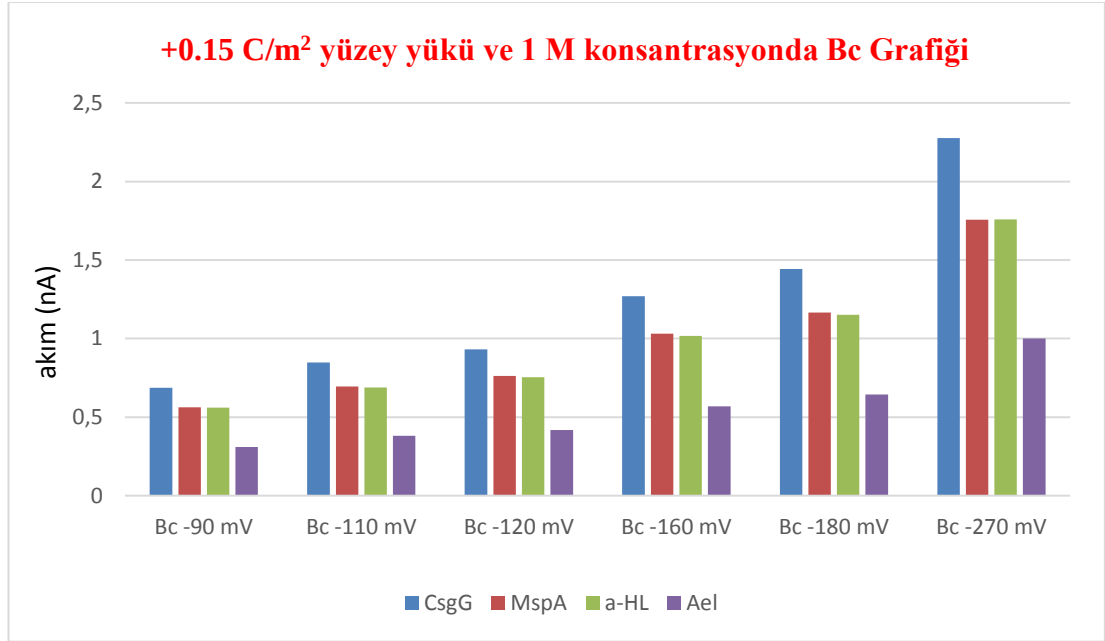
MspA>Ael>a-HL>CsgG

Şekil 20.a ve Şekil 20.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

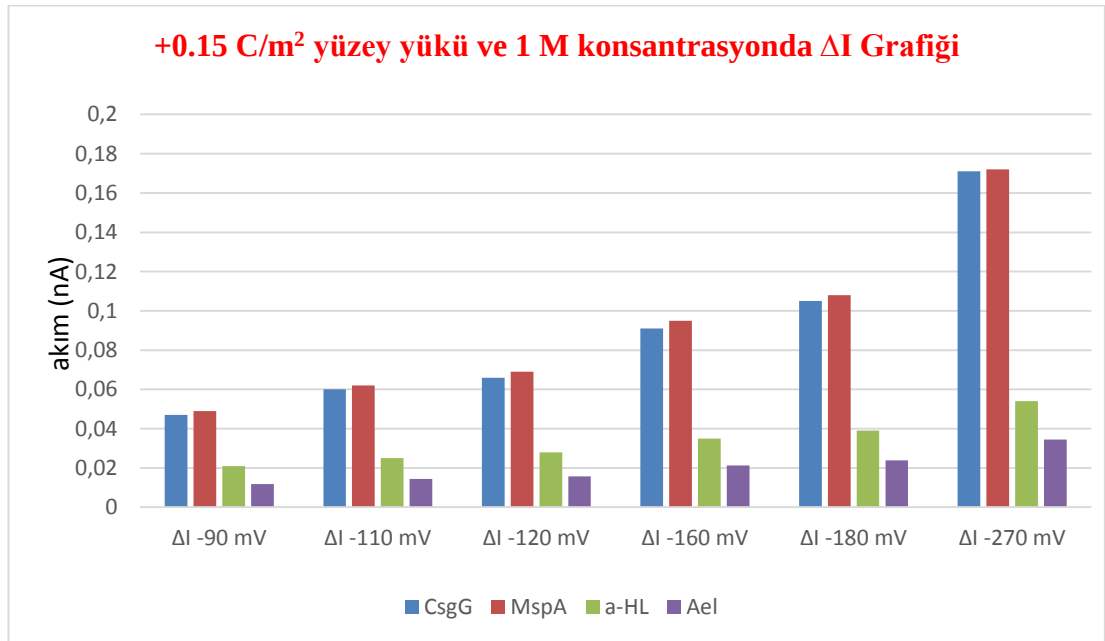
Yüksek pozitif yüzey yükünde ($+0,15 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda ($0,1 \text{ M}$) CsgG $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir. Her potansiyelde en düşük $\Delta I/I_0$ değerine sahip nanogözenek olmuştur. Diğer nanogözeneklerde ise potansiyel artışıyla birlikte $\Delta I/I_0$ değerleri lineer olarak artmıştır. Yüzey yükünün $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise (gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı durumda) yüksek pozitif yüzey yükünün düşük pozitif yüzey yüküne göre her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. En fazla azalış oranı 2,5 katına kadar azalış oranı ile CsgG'de olmuştur.

Nanogözenekler için düşük potansiyellerde (-90 mV ve -110 mV) $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması ***a-HL>MspA>Ael>CsgG*** ; orta potansiyellerde (-120 mV ve -160 mV) ***MspA>a-HL>Ael>CsgG*** ve yüksek potansiyellerde (-180 mV ve -270 mV) ise ***MspA>Ael>a-HL>CsgG*** şeklinde olmuştur.

Yüksek pozitif (+0,15 C/m²) yüzey yükünde 1 M konsantrasyonda;



Şekil 21.a. +0,15 C/m² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 21.b. +0,15 C/m² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 21.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 97'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 97. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,568	0,699	0,765	1,034	1,171	1,806
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,687	0,849	0,931	1,269	1,444	2,276

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 1 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 3 ile 5 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışına bağlı olarak artmıştır.

Tablo 98. CsgG için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1819	0,2198	0,2381	0,3072	0,3389	0,4596
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,687	0,849	0,931	1,269	1,444	2,276

MspA için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 99’da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yaklaşık 1,1 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 99. MspA için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,474	0,587	0,644	0,877	0,995	1,525
Şekil 21.a’daki Bc değerleri (nA)	0,562	0,695	0,762	1,032	1,167	1,757

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’dan 1 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 5 ile 8 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışına bağlı olarak artmıştır.

Tablo 100. MspA için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a’daki Bc değerleri (nA)	0,11	0,129	0,138	0,167	0,179	0,222
Şekil 21.a’daki Bc değerleri (nA)	0,562	0,695	0,762	1,032	1,167	1,757

a-HL için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 101’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yaklaşık 1,1 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 101. a-HL için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a’daki Bc değerleri (nA)	0,508	0,624	0,682	0,92	1,042	1,607
Şekil 21.a’daki Bc değerleri (nA)	0,561	0,69	0,755	1,018	1,152	1,758

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’den 1 M’a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 5 ile 7 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışına bağlı olarak artmıştır.

Tablo 102. MspA için konsantrasyonun Bc’ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a’daki Bc değerleri (nA)	0,1067	0,1261	0,1352	0,1672	0,1811	0,2339
Şekil 21.a’daki Bc değerleri (nA)	0,561	0,69	0,755	1,018	1,152	1,758

Ael için potansiyel arttıkça Bc değerleri beklenildiği gibi lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 103’te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yaklaşık 1,3 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 103. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,235	0,29	0,318	0,433	0,492	0,771
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,3104	0,3824	0,4189	0,5682	0,6447	1,0009

Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.a ile Şekil 21.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 1 M'a artırıldığı durumda) Bc değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 3 ile 4 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışına bağlı olarak artmıştır.

Tablo 104. Ael için konsantrasyonun Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 21.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1011	0,1207	0,1298	0,1622	0,176	0,2246
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,3104	0,3824	0,4189	0,5682	0,6447	1,0009

Şekil 21.a'ya göre; yüksek pozitif yüzey yükünde (+0,15 C/m²) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenegin de Bc değerlerinin artan pozitif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür. Konsantrasyonun Bc değerlerine etkisi incelendiğinde

ise konsantrasyon artışının tüm nanogözenekler için Bc değerlerini artırdığı ve en yüksek artış oranlarının MspA ve a-HL’de olduğu gözlenmiştir.

Nanogözenekler için tüm potansiyelerde Bc değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$CsgG > a-HL \approx MspA > Ael$$

Şekil 21.b’ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 105’te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) ettiğinde) ΔI değerlerinde yaklaşık 1,2 katı oranında azalış görülmüştür.

Tablo 105. CsgG için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,057	0,07	0,077	0,105	0,119	0,187
Şekil 21.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,047	0,06	0,066	0,091	0,105	0,171

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’dan 1 M’a artırıldığı, 10 katına çıktığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 21 ile 28 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışına bağlı olarak artmıştır.

Tablo 106. CsgG için konsantrasyonun ΔI ’ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,0022	0,0027	0,0029	0,0038	0,0043	0,0061
Şekil 21.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,047	0,06	0,066	0,091	0,105	0,171

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 107’de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) ettiğinde) ΔI değerlerinde yaklaşık 1,2 katı oranında azalış görülmüştür.

Tablo 107. MspA için yüzey yükünün ΔI ’ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,059	0,073	0,08	0,108	0,122	0,191
Şekil 21.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,049	0,062	0,069	0,095	0,108	0,172

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M’den 1 M’a artırıldığı, 10 katına çıktığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 12 katı oranında artış görülmüştür. Bu artış oranı potansiyel artışına bağlı olarak artmıştır.

Tablo 108. MspA için konsantrasyonun ΔI ’ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,004	0,005	0,006	0,008	0,009	0,013
Şekil 21.b’deki ΔI değerleri (nA)	0,049	0,062	0,069	0,095	0,108	0,172

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 109’da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) ettiğinde) ΔI değerlerinde yaklaşık 1,1 katı oranında azalış görülmüştür.

Tablo 109. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,023	0,027	0,029	0,038	0,043	0,061
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,021	0,025	0,028	0,035	0,039	0,054

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 1 M'a artırıldığı, 10 katına çıktığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 5 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 110. a-HL için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0042	0,0051	0,0056	0,0074	0,0081	0,0106
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,021	0,025	0,028	0,035	0,039	0,054

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 111'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 19.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı

potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek pozitif yüzey yükü (+0,15 C/m²) ettiğinde) ΔI değerlerinde yaklaşık 1,2 katı oranında azalış görülmüştür.

Tablo 111. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,014	0,017	0,019	0,025	0,028	0,042
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0118	0,0145	0,0158	0,0212	0,0238	0,0344

Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisine bakmak için Şekil 20.b ile Şekil 21.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve aynı yüzey yükünde sadece konsantrasyonun 0,1 M'dan 1 M'a artırıldığı, 10 katına çıktığı durumda) ΔI değerlerinde konsantrasyon artışına bağlı olarak yaklaşık 3 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 112. Ael için konsantrasyonun ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 21.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0033	0,0043	0,0047	0,0068	0,0078	0,0108
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0118	0,0145	0,0158	0,0212	0,0238	0,0344

Şekil 21.b'ye göre; yüksek pozitif yüzey yükünde (+0,15 C/m²) ve en yüksek konsantrasyonda (1M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değeri MspA ve CsgG'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenegin de ΔI değerlerinin yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde azaldığı görülmüştür. Konsantrasyonun ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise ΔI değerinde her 4 nanogözenek için de artış olmuştur ve en fazla artış oranı CsgG'de gözlenmiştir. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralaması sıralama şöyle olmuştur:

$$M_{spA} \approx C_{sgG} > a-HL > Ael$$

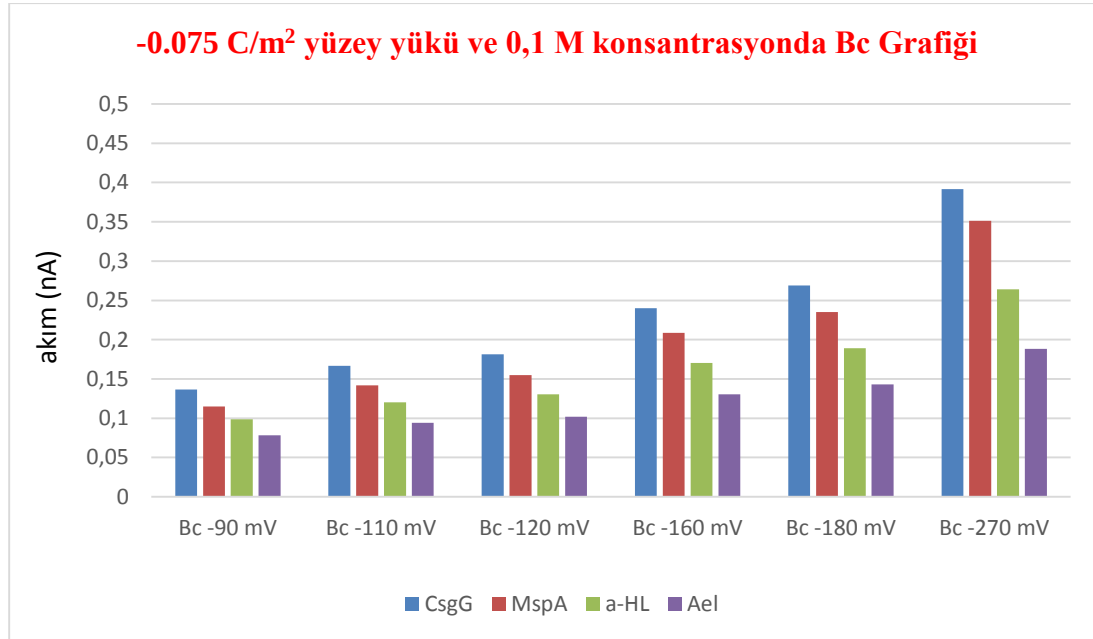
Şekil 21.a ve Şekil 21.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Yüksek pozitif yüzey yükünde ($+0,15 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1M) her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri potansiyel artışından ciddi olarak etkilenmemiştir. Yüzey yükünün $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise yüksek pozitif yüzey yükünün düşük pozitif yüküne göre her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerlerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. Konsantrasyonun $\Delta I/I_0$ değerine etkisi incelendiğinde ise artan konsantrasyonun M_{spA} ve C_{sgG} 'de $\Delta I/I_0$ değerini arttırdığı, Ael ve $a-HL$ için ise azalttığı görülmüştür.

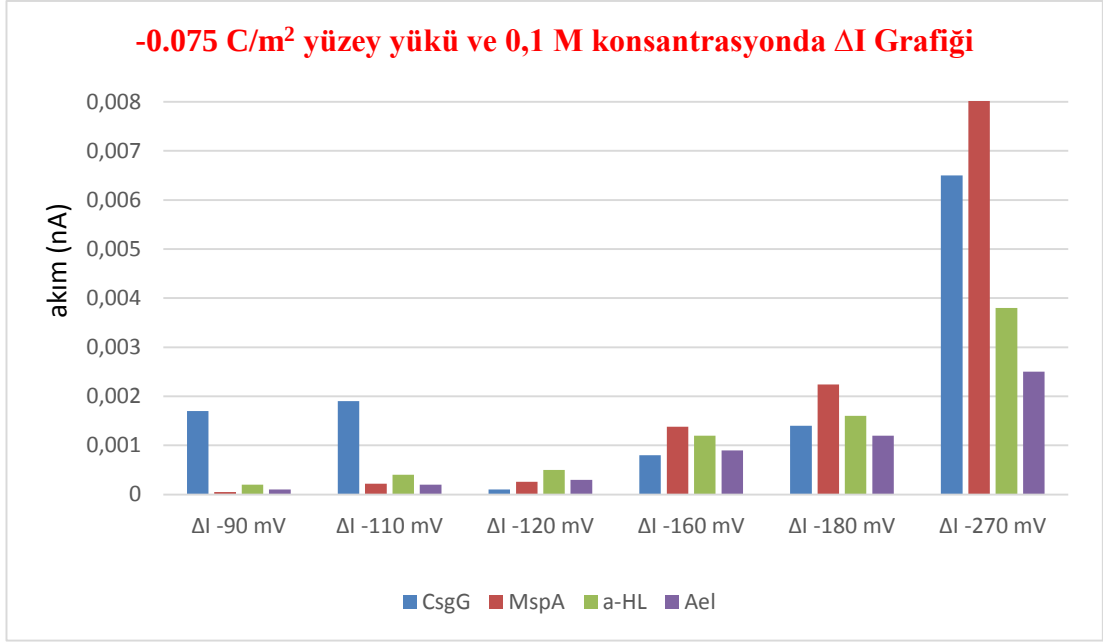
Nanogözenekler için tüm potansiyelde $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$M_{spA} > C_{sgG} > a-HL \approx Ael$$

Düşük negatif ($-0,075 \text{ C/m}^2$) yüzey yükünde 0,1 M konsantrasyonda;



Şekil 22.a. $-0,075 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 22.b. -0,075 C/m² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 22.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 113'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü (-0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde 2,7 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 113. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki Bc değerleri (nA)	0,049	0,06	0,066	0,088	0,099	0,149
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1367	0,1666	0,1815	0,2402	0,2689	0,3915

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.a ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 114. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1367	0,1666	0,1815	0,2402	0,2689	0,3915
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1413	0,1723	0,1877	0,248	0,2773	0,3997

MspA için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 115'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde 3 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 115. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki Bc değerleri (nA)	0,038	0,047	0,051	0,068	0,077	0,116
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,11507	0,14165	0,155	0,20858	0,23527	0,3513

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.a ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil,

düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerlerinin 1,5 katı oranında daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yani yüzey yükünün negatif veya pozitif olması MspA için Bc değerini çok az da olsa etkilemiştir.

Tablo 116. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0949	0,111	0,119	0,145	0,155	0,189
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,11507	0,14165	0,155	0,20858	0,23527	0,3513

a-HL için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 117'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 117. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki Bc değerleri (nA)	0,0472	0,0577	0,063	0,084	0,0945	0,141
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0988	0,1201	0,1305	0,1705	0,1892	0,2641

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.a ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerleri her potansiyelde

çok az farkla fazla olmuştur. İki yüzey yükünde de Bc değerleri hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok ciddi etkilememiştir.

Tablo 118. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0933	0,111	0,12	0,152	0,166	0,222
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0988	0,1201	0,1305	0,1705	0,1892	0,2641

Ael için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 119'da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü (-0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 4 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 119. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki Bc değerleri (nA)	0,0177	0,0216	0,0236	0,0315	0,0354	0,0531
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0784	0,0943	0,1019	0,1303	0,1429	0,1883

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.a ile Şekil 22.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü (-0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 120. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 15.a ve Şekil 22.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0786	0,0948	0,1026	0,1312	0,1439	0,1896
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0784	0,0943	0,1019	0,1303	0,1429	0,1883

Şekil 22.a'ya göre; düşük negatif yüzey yükünde ($-0,075 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinin nötr yüzey yüküne göre düşük negatif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür. Yüzey yükünün negatif veya pozitif olması ise Bc değerlerini her 4 nanogözenek için de çok ciddi etkilememiştir. Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$\text{CsgG} > \text{MspA} > \text{a-HL} > \text{Ael}$$

Şekil 22.b'ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için ΔI değerleri beklenmedik bir şekilde her potansiyelde değişkenlik göstermiştir. Orta potansiyellerde düşük potansiyellere göre daha düşük ΔI değerine sahip olmuştur. Özellikle -120 mV potansiyelinde en düşük ΔI değerinde olmuştur. En yüksek potansiyelde ise en yüksek ΔI değerine ulaşmıştır. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 121'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde ΔI değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde farklı farklı oranlarda azalış görülmüştür. En düşük ve en yüksek potansiyelde 3 katı kadar, orta potansiyellerde 10 ve 15 katı kadar ve -120 mV potansiyelde 90 kat azalış görülmüştür.

Tablo 121. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki ΔI değerleri (nA)	0,006	0,007	0,009	0,012	0,014	0,023
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0017	0,0019	0,0001	0,0008	0,0014	0,0065

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.b ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde ΔI değerleri her potansiyelde her potansiyelde farklı farklı oranlarda azalış görülmüştür. En düşük ve en yüksek potansiyelde 2 katı kadar, orta potansiyelerde 6 ve 10 katı kadar ve -120 mV potansiyelde 61 kat azalış görülmüştür. Yani gözenek yüzeyine uygulanan yükün pozitif veya negatif olmasına göre ΔI değerleri çok ciddi etkilenmiştir.

Tablo 122. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0045	0,0056	0,0061	0,0082	0,0091	0,0131
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0017	0,0019	0,0001	0,0008	0,0014	0,0065

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 123'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde farklı oranlarda azalış göstermiştir. En düşük potansiyelde 154 kat, orta potansiyelerde 50 ile 8 kat en yüksek potansiyelde ise 3 kata kadar azalmıştır.

Tablo 123. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki ΔI değerleri (nA)	0,0077	0,011	0,012	0,016	0,019	0,03
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,00005	0,00022	0,00026	0,00138	0,00224	0,0084

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.b ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerleri her potansiyelde farklı oranlarda azalış göstermiştir. En düşük potansiyelde 106 kat, orta potansiyellerde 30 kat ve en yüksek potansiyelde ise 2 kata kadar azalmıştır.

Tablo 124. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0053	0,007	0,008	0,01	0,011	0,017
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,00005	0,00022	0,00026	0,00138	0,00224	0,0084

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 125'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde farklı oranlarda azalış göstermiştir. En düşük potansiyelde 19 kat, orta potansiyellerde 10 kat en yüksek potansiyelde ise 4 kata kadar azalmıştır.

Tablo 125. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki ΔI değerleri (nA)	0,0038	0,005	0,0056	0,0085	0,01	0,018
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0002	0,0004	0,0005	0,0012	0,0016	0,0038

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.b ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerleri her potansiyelde farklı oranlarda azalış göstermiştir. En düşük potansiyelde 17 kat, orta potansiyellerde 10 kat ve en yüksek potansiyelde ise 3 kata kadar azalmıştır.

Tablo 126. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0034	0,004	0,005	0,007	0,008	0,012
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0002	0,0004	0,0005	0,0012	0,0016	0,0038

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 127'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 9 ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde farklı oranlarda azalış göstermiştir. En düşük potansiyelde 47 kat, orta potansiyellerde 25 kat en yüksek potansiyelde ise 7 kata kadar azalmıştır.

Tablo 127. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 9 ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 9'daki ΔI değerleri (nA)	0,0047	0,0062	0,0071	0,0105	0,0122	0,0196
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0001	0,0002	0,0003	0,0009	0,0012	0,0025

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 15.b ile Şekil 22.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerleri her potansiyelde farklı oranlarda azalış göstermiştir. En düşük potansiyelde 28 kat, orta potansiyellerde 15 kat ve en yüksek potansiyelde ise 4 kata kadar azalmıştır.

Tablo 128. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 15.b ve Şekil 22.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 15.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0028	0,0037	0,0043	0,0064	0,0075	0,0121
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0001	0,0002	0,0003	0,0009	0,0012	0,0025

Şekil 22.b'ye göre; düşük negatif yüzey yükünde ($-0,075 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) CsgG hariç diğer 3 nanogözenek için ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. CsgG'de beklenmedik şekilde en düşük iki potansiyelde resistif dirençler oluşmuştur. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde her 4 nanogözenek için de ΔI değerlerinin nötr yüzey yüküne göre düşük negatif yüzey yükü etkisinde ciddi oranlarda azaldığı görülmüştür. Ayrıca her 4 nanogözenek için de yüzey yükünün negatif veya pozitif olması da çok ciddi oranlarda değişikliklere neden olmuştur. Nanogözenekler için her potansiyelde ΔI değerleri sıralaması değişmiştir.

En düşük potansiyelde (-90 mV) sıralama; ***CsgG > a-HL > Ael > MspA***

-110 mV potansiyelde sıralama; ***CsgG > a-HL > MspA ≈ Ael***

-120 mV potansiyelde sıralama; ***a-HL > Ael > MspA > CsgG***

-160 mV potansiyelde sıralama; ***MspA>a-HL>Ael>CsgG***

-180 mV potansiyelde sıralama; ***MspA>a-HL>CsgG>Ael***

en yüksek potansiyelde (-270 mV) ise sıralama; ***MspA>CsgG>a-HL>Ael*** şeklinde olmuştur.

Şekil 22.a ve Şekil 22.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Düşük negatif yüzey yükünde ($-0,075 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda (0,1M) her 4 nanogözenek için de $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması her potansiyelde değişiklik göstermiştir.

Düşük potansiyellerde (-90 mV ve -110 mV) sıralama; ***CsgG>a-HL>Ael>MspA***

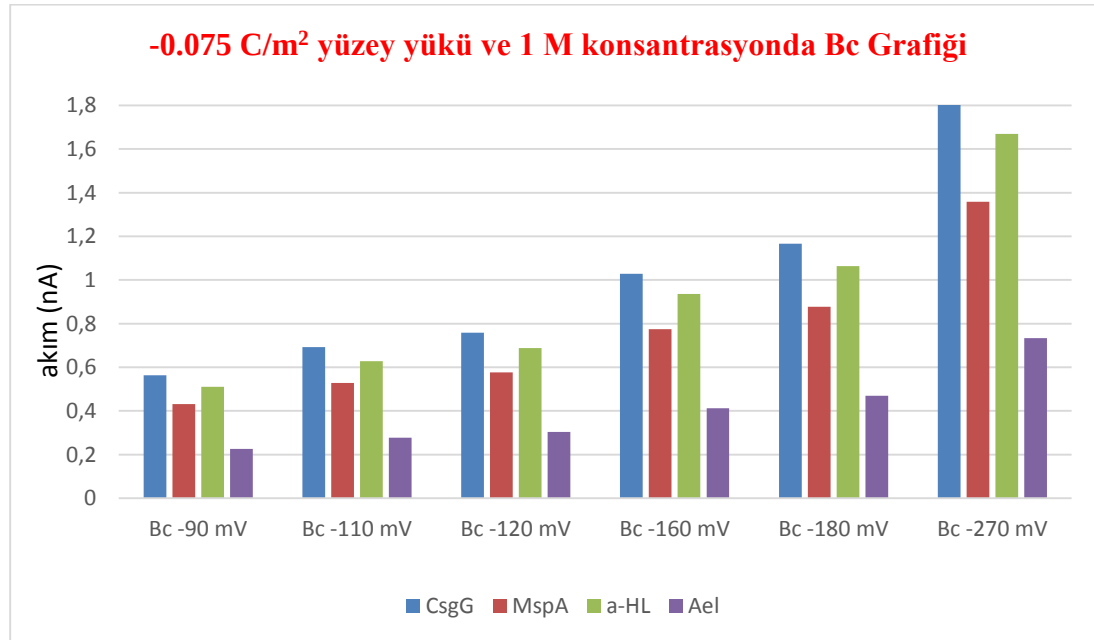
-120 mV potansiyelde sıralama; ***a-HL>Ael>MspA>CsgG***

-160 mV potansiyelde sıralama; ***a-HL>Ael>MspA>CsgG***

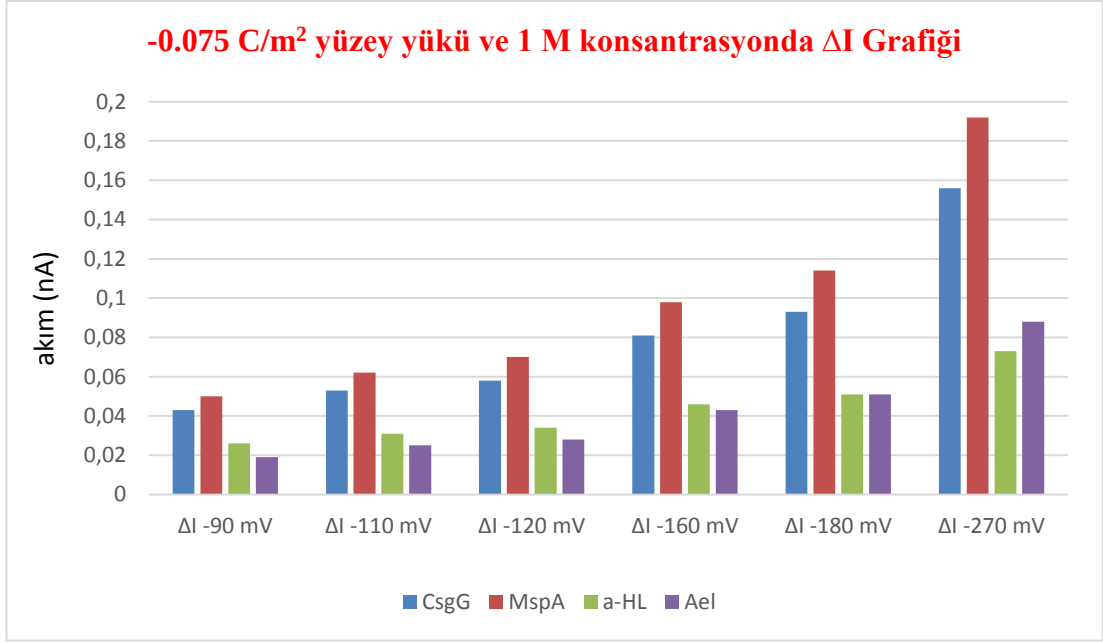
-180 mV potansiyelde sıralama; ***MspA>a-HL>Ael>CsgG***

en yüksek potansiyelde (-270 mV) ise sıralama; ***MspA>CsgG>a-HL>Ael*** şeklinde olmuştur.

Düşük negatif ($-0,075 \text{ C/m}^2$) yüzey yükünde 1 M konsantrasyonda;



Şekil 23.a. $-0,075 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 23.b. -0,075 C/m² yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 23.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 129'da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü (-0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 129. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki Bc değerleri (nA)	0,498	0,609	0,664	0,885	0,996	1,494
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,563	0,693	0,759	1,028	1,166	1,807

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.a ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 130. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,568	0,699	0,765	1,034	1,171	1,806
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,563	0,693	0,759	1,028	1,166	1,807

MspA için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 131'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde 1,1 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 131. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki Bc değerleri (nA)	0,386	0,472	0,515	0,687	0,773	1,16
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,432	0,528	0,577	0,775	0,877	1,359

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.a ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil,

düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 132. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,474	0,587	0,644	0,877	0,995	1,525
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,432	0,528	0,577	0,775	0,877	1,359

a-HL için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 133'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde 1,1 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran düşük potansiyellerde çok daha azdır.

Tablo 133. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki Bc değerleri (nA)	0,472	0,577	0,63	0,84	0,945	1,418
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,51	0,628	0,688	0,936	1,064	1,67

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.a ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerleri her potansiyelde

iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 134. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,508	0,624	0,682	0,92	1,042	1,607
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,51	0,628	0,688	0,936	1,064	1,67

Ael için Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 135'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü (-0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde düşük negatif yüzey yükü etkisinde 1,1 katı oranında artış görülmüştür. Bu oran düşük potansiyelerde çok daha azdır.

Tablo 135. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki Bc değerleri (nA)	0,177	0,216	0,236	0,315	0,354	0,532
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,226	0,278	0,304	0,413	0,469	0,733

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.a ile Şekil 23.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü (-0,075 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 136. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 19.a ve Şekil 23.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.a'daki Bc değerleri (nA)	0,235	0,29	0,318	0,433	0,492	0,771
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,226	0,278	0,304	0,413	0,469	0,733

Şekil 23.a'ya göre; düşük negatif yüzey yükünde ($-0,075 \text{ C/m}^2$) ve yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinin nötr yüzey yüküne göre düşük negatif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür. Yüzey yükünün negatif veya pozitif olması ise Bc değerlerini her 4 nanogözenek için de çok ciddi etkilememiştir. Konsantrasyon artışının etkisi incelendiğinde ise Şekil 22.a daki Bc değerleriyle karşılaştırıldığında her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinin artış gösterdiği görülmüştür. Bu artış oranı CsgG'de 4 kat, MspA'de 3 kat, a-HL'de 6 kat ve Ael'de 3 kat oranında olmuştur.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralaması şöyle olmuştur:

$$CsgG > a-HL > MspA > Ael$$

Şekil 23.b'ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 137'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde 1,2 kat oranında azalış görülmüştür.

Tablo 137. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki ΔI değerleri (nA)	0,06	0,073	0,08	0,105	0,119	0,18
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,043	0,053	0,058	0,081	0,093	0,156

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.b ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde 1,3 kat oranında azalış görülmüştür. Yani yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerlerini etkilemiştir.

Tablo 138. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,057	0,07	0,077	0,105	0,119	0,187
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,043	0,053	0,058	0,081	0,093	0,156

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek ΔI değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 139'da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde 1,4 kat oranında azalış görülmüştür.

Tablo 139. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki ΔI değerleri (nA)	0,076	0,094	0,103	0,14	0,159	0,244
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,05	0,062	0,07	0,098	0,114	0,192

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.b ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde çok az azalış görülmüştür. Yani yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerlerini çok ciddi etkilememiştir.

Tablo 140. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,059	0,073	0,08	0,108	0,122	0,191
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,05	0,062	0,07	0,098	0,114	0,192

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 141'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde çok ciddi değişim gözlenmemiştir. 2 yüzey yükünde de değerler her potansiyelde hemen hemen aynı olmuştur.

Tablo 141. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki ΔI değerleri (nA)	0,025	0,031	0,034	0,046	0,053	0,084
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,031	0,034	0,046	0,051	0,073

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.b ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde çok az artış görülmüştür. Yani yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerlerini çok ciddi etkilememiştir.

Tablo 142. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,023	0,027	0,029	0,038	0,043	0,061
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,031	0,034	0,046	0,051	0,073

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 143'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için hem nötr yüzey yüküne göre hem de düşük pozitif yüzey yüküne göre karşılaştırması yapılmıştır. Nötr yüzey yüküne göre Şekil 13 ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde 1,2 kat oranında azalış görülmüştür.

Tablo 143. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 13 ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 13'deki ΔI değerleri (nA)	0,025	0,031	0,035	0,051	0,059	0,101
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,019	0,025	0,028	0,043	0,051	0,088

Düşük pozitif yüküne göre Şekil 19.b ile Şekil 23.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama düşük pozitif değil, düşük negatif yüzey yükü ($-0,075 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde 2 katı oranında artış görülmüştür. Yani yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerlerini etkilemiştir.

Tablo 144. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 19.b ve Şekil 23.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 19.b'daki ΔI değerleri (nA)	0,014	0,017	0,019	0,025	0,028	0,042
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,019	0,025	0,028	0,043	0,051	0,088

Şekil 23.b'ye göre; düşük negatif yüzey yükünde ($-0,075 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değerleri MspA ve CsgG'de , en düşük ΔI değerleri ise a-HL ve Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde a-HL hariç diğer 3 nanogözenek için de ΔI değerlerinin nötr yüzey yüküne göre düşük negatif yüzey yükü etkisinde azaldığı görülmüştür. a-HL'de değişim gözlenmemiştir. Yüzey yükünün negatif veya pozitif olması ise a-HL ve MspA'de çok ciddi değişikliklere neden olmamıştır. Ancak negatif yüzey yükü pozitif yüzey yüküne göre CsgG'de 1,3 kat oranında azalmaya, Ael'de ise 2 kat oranında artışa neden olmuştur. Konsantrasyon artışının ΔI değerlerine etkisi Şekil 22.b değerleriyle karşılaştırılarak incelendiğinde ise her 4 nanogözenegin de konsantrasyon artışına bağlı olarak ΔI değerlerinde artış görülmüştür. Konsantrasyonun 10 katına çıktığı durumda bu artış oranı CsgG'de 24 kat,MspA'de 22 kat, a-HL'de 19 kat ve Ael'de 35 kat fazla ΔI değeri oluşturmuştur.

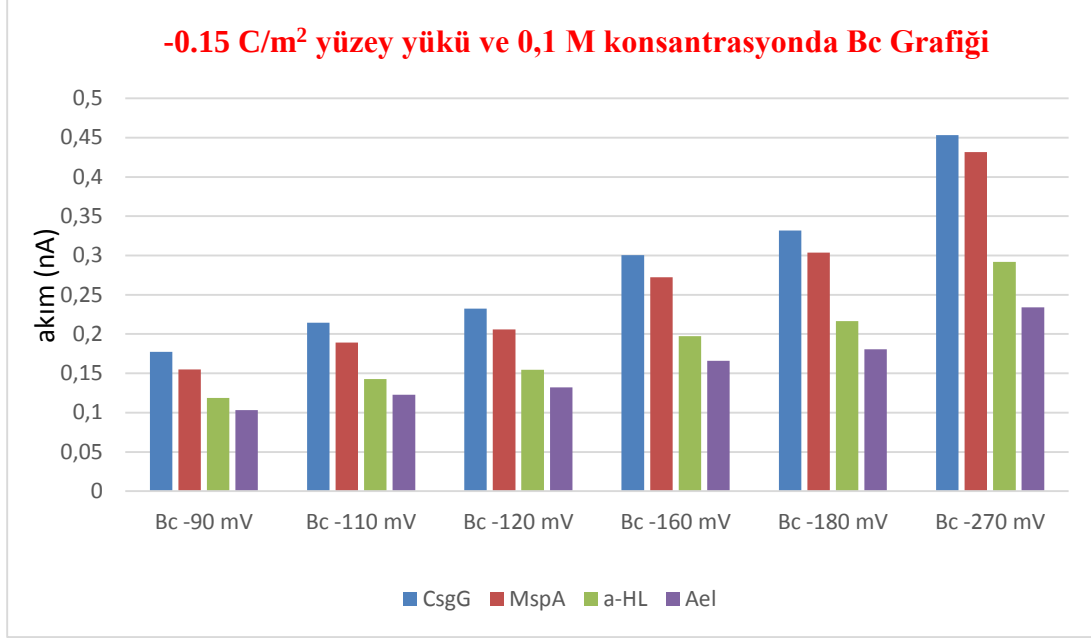
Nanogözenekler için düşük ve orta potansiyellerde (-90 mV ve -160 mV arası) ΔI değerleri sıralaması **MspA>CsgG>a-HL>Ael** şeklinde iken yüksek potansiyellerde (-180 mV ve -270 mV) **MspA>CsgG>Ael>a-HL** şeklinde olmuştur.

Şekil 23.a ve Şekil 23.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

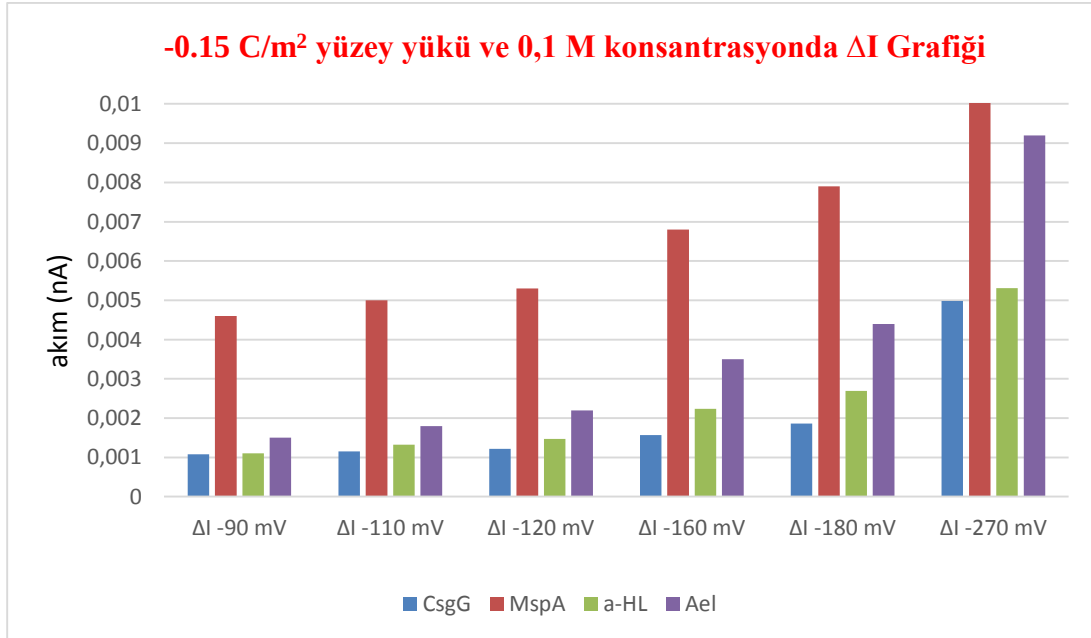
Düşük negatif yüzey yükünde ($-0,075 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1M) nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması her potansiyelde şöyle olmuştur:

MspA>Ael>CsgG>a-HL

Yüksek negatif (-0,15 C/m²) yüzey yükünde 0,1 M konsantrasyonda;



Şekil 24.a. -0,15 C/m² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 24.b. -0,15 C/m² yüzey yükü ve 0,1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 24.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 145'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 145. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1367	0,1666	0,1815	0,2402	0,2689	0,3915
Şekil 24.a'daki Bc değerleri (nA)	0,17742	0,21435	0,23233	0,30031	0,33179	0,45337

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 146. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1819	0,2198	0,2381	0,3072	0,3389	0,4596
Şekil 24.a'daki Bc değerleri (nA)	0,17742	0,21435	0,23233	0,30031	0,33179	0,45337

MspA için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 147’de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 147. MspA için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.a’daki Bc değerleri (nA)	0,11507	0,14165	0,155	0,20858	0,23527	0,3513
Şekil 24.a’daki Bc değerleri (nA)	0,155	0,189	0,2059	0,2721	0,3038	0,4317

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yaklaşık 2 katı oranında artış olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini etkilemiştir.

Tablo 148. MspA için yüzey yükünün Bc’ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a’daki Bc değerleri (nA)	0,11	0,129	0,138	0,167	0,179	0,222
Şekil 24.a’daki Bc değerleri (nA)	0,155	0,189	0,2059	0,2721	0,3038	0,4317

a-HL için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 149’da verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 149. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0988	0,1201	0,1305	0,1705	0,1892	0,2641
Şekil 24.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1188	0,1429	0,15447	0,1973	0,2166	0,29168

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde çok az artış olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini az da olsa etkilemiştir.

Tablo 150. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1067	0,1261	0,1352	0,1672	0,1811	0,2339
Şekil 24.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1188	0,1429	0,15447	0,1973	0,2166	0,29168

Ael için de potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 151'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-

0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek pozitif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde yaklaşık 1,2 katı oranında artış görülmüştür.

Tablo 151. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 22.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.a'daki Bc değerleri (nA)	0,0784	0,0943	0,1019	0,1303	0,1429	0,1883
Şekil 24.a'daki Bc değerleri (nA)	0,103	0,1128	0,1322	0,1658	0,1805	0,2342

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.a ile Şekil 24.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 152. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 20.a ve Şekil 24.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.a'daki Bc değerleri (nA)	0,1011	0,1207	0,1298	0,1622	0,176	0,2246
Şekil 24.a'daki Bc değerleri (nA)	0,103	0,1128	0,1322	0,1658	0,1805	0,2342

Şekil 24.a'ya göre; yüksek negatif yüzey yükünde (-0,15 C/m²) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. CsgG her 3 nanogözeneğe göre her potansiyelde yaklaşık 2 kat fazla iyonik akım göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinin yüksek negatif yüzey yükü etkisinde arttığı görülmüştür. Gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olmasının ise MspA hariç diğer 3 nanogözenek için çok ciddi etkisi olmamıştır.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralama şöyle olmuştur:

$$CsgG > MspA > a-HL > Ael$$

Şekil 24.b'ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 153'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde her potansiyelde yaklaşık 1,4 katı oranında azalış görülmüştür.

Tablo 153. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0017	0,0019	0,0001	0,0008	0,0014	0,0065
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,00108	0,00115	0,00122	0,00157	0,00186	0,00498

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde ΔI değerlerinde azalış olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini etkilemiştir.

Tablo 154. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0022	0,0027	0,0029	0,0038	0,0043	0,0061
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,00108	0,00115	0,00122	0,00157	0,00186	0,00498

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 155'te verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde her potansiyelde değişiklik gösteren artış oranları görülmüştür.

Tablo 155. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,00005	0,00022	0,00026	0,00138	0,00224	0,0084
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0046	0,005	0,0053	0,0068	0,0079	0,0143

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerleri değişmemiş, hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini çok etkilememiştir.

Tablo 156. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,004	0,005	0,006	0,008	0,009	0,013
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0046	0,005	0,0053	0,0068	0,0079	0,0143

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 157'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde her potansiyelde değişiklik gösteren artış oranları görülmüştür.

Tablo 157. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0002	0,0004	0,0005	0,0012	0,0016	0,0038
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0011	0,00132	0,00147	0,00224	0,00269	0,00531

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde ΔI değerlerinde her potansiyelde değişen oranlarda azalış olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini etkilemiştir.

Tablo 158. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0042	0,0051	0,0056	0,0074	0,0081	0,0106
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0011	0,00132	0,00147	0,00224	0,00269	0,00531

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar sinyal büyüklüğü değerleri Tablo 159'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 22.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde her potansiyelde değişiklik gösteren artış oranları görülmüştür.

Tablo 159. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 22.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 22.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0001	0,0002	0,0003	0,0009	0,0012	0,0025
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0015	0,0018	0,0022	0,0035	0,0044	0,0092

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 20.b ile Şekil 24.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde her potansiyelde değişen oranlarda azalış olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini etkilemiştir.

Tablo 160. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 20.b ve Şekil 24.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 20.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0033	0,0043	0,0047	0,0068	0,0078	0,0108
Şekil 24.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0015	0,0018	0,0022	0,0035	0,0044	0,0092

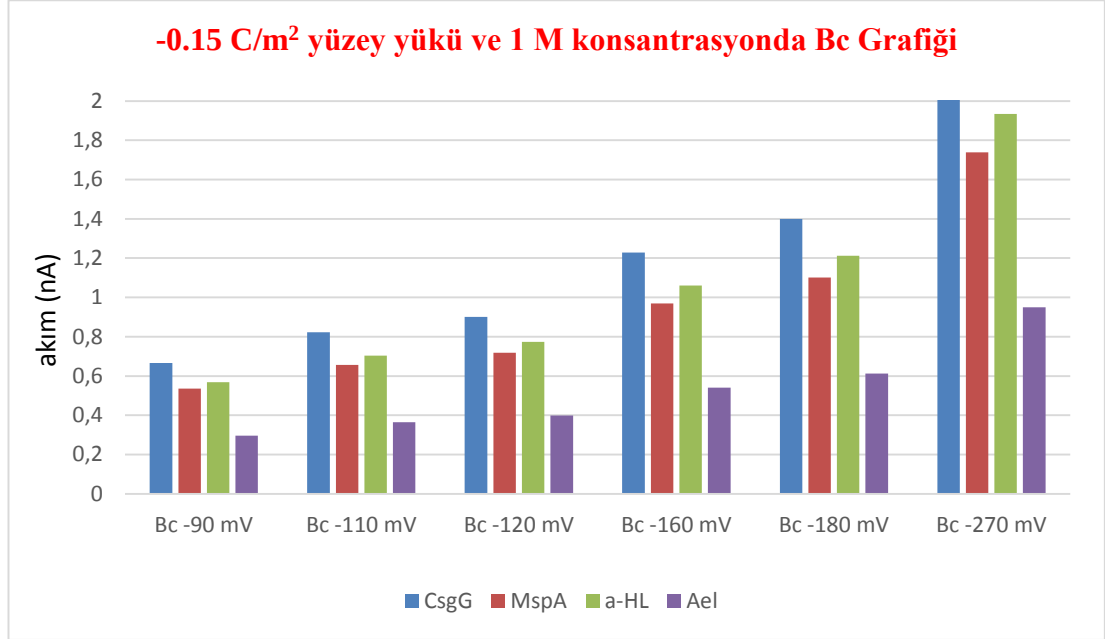
Şekil 24.b'ye göre; yüksek negatif yüzey yükünde ($-0,15 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda (0,1 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değeri MspA'de , en düşük ΔI değeri ise CsgG'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde gözenek yüzey yükünün 2 katına çıkmasının her 4 nanogözenek için de ΔI değerlerine etki ettiği; bu etkinin CsgG'de azalış diğer 3 nanogözenekte ise artış yönünde olduğu görülmüştür. Ayrıca gözenek yüzey yükünün negatif veya pozitif olmasının ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde MspA'de çok ciddi değişikliğe neden olmadığı ancak diğer 3 nanogözenekte azalış yönünde değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Nanogözenekler için her potansiyelde ΔI değerleri sıralaması şöyledir:

MspA>Ael>a-HL>CsgG

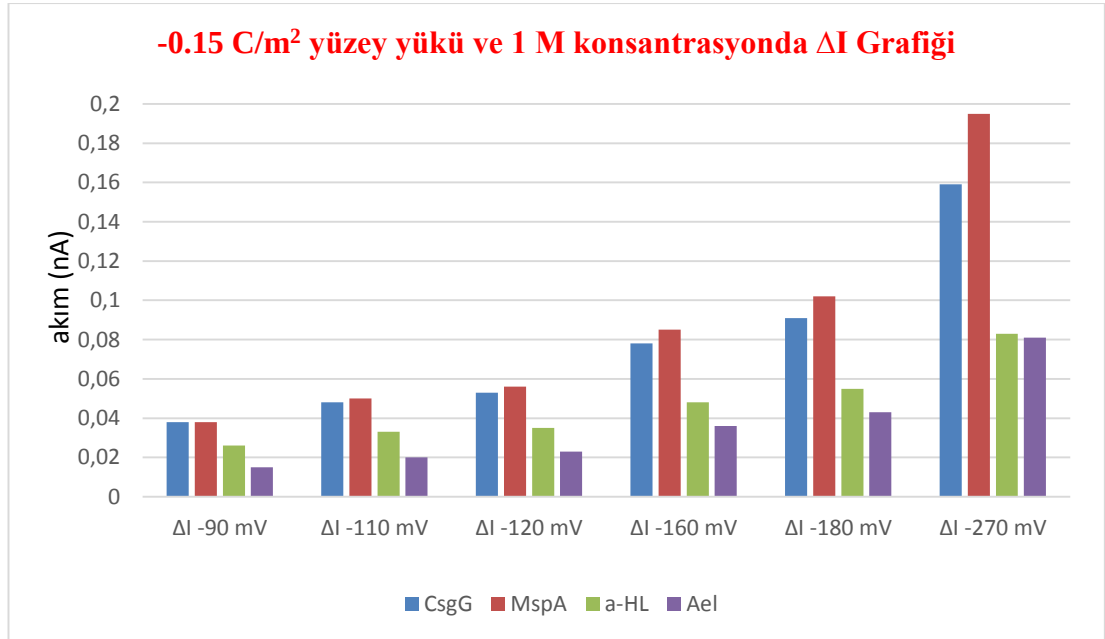
Şekil 24.a ve Şekil 24.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Yüksek negatif yüzey yükünde ($-0,15 \text{ C/m}^2$) ve düşük konsantrasyonda ($0,1 \text{ M}$) nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması en yüksek potansiyel (-270 mV) hariç diğer potansiyellerde $MspA > Ael > \alpha\text{-HL} > CsgG$ şeklinde iken , en yüksek potansiyelde $Ael > MspA > \alpha\text{-HL} > CsgG$ şeklinde olmuştur.

Yüksek negatif ($-0,15 \text{ C/m}^2$) yüzey yükünde 1 M konsantrasyonda;



Şekil 25.a. $-0,15 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda Bc Değerleri Grafiği



Şekil 25.b. $-0,15 \text{ C/m}^2$ yüzey yükü ve 1 M konsantrasyonda ΔI Değerleri Grafiği

Şekil 25.a'ya göre başlangıç akımı (Bc) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Tüm potansiyellerde en yüksek Bc değerine sahip nanogözenek olmuştur. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 161'de verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde çok düşük oranda artış görülmüştür.

Tablo 161. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,563	0,693	0,759	1,028	1,166	1,807
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,666	0,822	0,901	1,229	1,4	2,222

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü ($-0,15 \text{ C/m}^2$) etki ettiğinde) Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini çok etkilememiştir.

Tablo 162. CsgG için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,687	0,849	0,931	1,269	1,444	2,276
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,666	0,822	0,901	1,229	1,4	2,222

MspA için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 163'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde çok düşük oranda artış görülmüştür.

Tablo 163. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,432	0,528	0,577	0,775	0,877	1,359
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,536	0,657	0,718	0,97	1,102	1,738

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini etkilememiştir.

Tablo 164. MspA için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,562	0,695	0,762	1,032	1,167	1,757
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,536	0,657	0,718	0,97	1,102	1,738

a-HL için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 165'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde çok düşük oranda artış görülmüştür.

Tablo 165. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,51	0,628	0,688	0,936	1,064	1,67
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,568	0,704	0,773	1,061	1,212	1,935

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini etkilememiştir.

Tablo 166. a-HL için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,561	0,69	0,755	1,018	1,152	1,758
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,568	0,704	0,773	1,061	1,212	1,935

Ael için potansiyel arttıkça Bc değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar başlangıç akım değerleri Tablo 167'te verilmiştir.

Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) Bc değerlerinde yüksek negatif yüzey yükü etkisinde her potansiyelde çok düşük oranda artış görülmüştür.

Tablo 167. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 23.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.a'daki Bc değerleri (nA)	0,226	0,278	0,304	0,413	0,469	0,733
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,296	0,364	0,399	0,54	0,612	0,95

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.a ile Şekil 25.a Bc değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde Bc değerleri her potansiyelde iki yüzey yükünde de hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması Bc değerini etkilememiştir.

Tablo 168. Ael için yüzey yükünün Bc'ye etkisinde Şekil 21.a ve Şekil 25.a karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.a'daki Bc değerleri (nA)	0,3104	0,3824	0,4189	0,5682	0,6447	1,0009
Şekil 25.a'daki Bc değerleri (nA)	0,296	0,364	0,399	0,54	0,612	0,95

Şekil 25.a'ya göre; yüksek negatif yüzey yükünde (-0,15 C/m²) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de Bc değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek Bc değeri CsgG'de; en düşük Bc değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün Bc değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinin yüksek negatif yüzey yükü etkisinde çok az da olsa arttığı görülmüştür. Gözenek yüzey yükünün pozitif veya

negatif olmasının ise her 4 nanogözenek için çok ciddi etkisi olmamıştır. Konsantrasyon artışının Bc değerlerine etkisi için Şekil 24.a ile karşılaştırıldığında 10 katına çıkan konsantrasyon her 4 nanogözenek için de Bc değerlerinde artışa sebep olmuştur.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde Bc değerleri sıralama şöyle olmuştur:

$$CsgG > a-HL > MspA > Ael$$

Şekil 25.b'ye göre Sinyal Büyüklüğü (ΔI) değerleri;

CsgG için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri Tablo 169'da verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde çok ciddi değişiklik görülmemiştir.

Tablo 169. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,043	0,053	0,058	0,081	0,093	0,156
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,038	0,048	0,053	0,078	0,091	0,159

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde ΔI değerleri her potansiyelde düşük oranda azalış göstermiştir. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini çok az da olsa etkilemiştir.

Tablo 170. CsgG için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,047	0,06	0,066	0,091	0,105	0,171
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,038	0,048	0,053	0,078	0,091	0,159

MspA için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri Tablo 171'de verilmiştir.

Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerlerinde çok ciddi değişiklik görülmemiştir.

Tablo 171. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,05	0,062	0,07	0,098	0,114	0,192
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,038	0,05	0,056	0,085	0,102	0,195

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerleri her potansiyelde düşük oranda azalış göstermiştir. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini çok az da olsa etkilemiştir.

Tablo 172. MspA için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,049	0,062	0,069	0,095	0,108	0,172
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,038	0,05	0,056	0,085	0,102	0,195

a-HL için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri Tablo 173'te verilmiştir. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerleri her 2 yüzey yükünde de her potansiyelde hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün 2 katına çıkması ΔI değerlerini etkilememiştir.

Tablo 173. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,031	0,034	0,046	0,051	0,073
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,033	0,035	0,048	0,055	0,083

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerleri her potansiyelde düşük oranda artış göstermiştir. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini çok az da olsa etkilemiştir.

Tablo 174. a-HL için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,021	0,025	0,028	0,035	0,039	0,054
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,026	0,033	0,035	0,048	0,055	0,083

Ael için potansiyel arttıkça ΔI değerleri lineer artış eğilimi göstermiştir. Sırasıyla en düşük potansiyelden en yüksek potansiyele kadar ΔI değerleri Tablo 175'te verilmiştir. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisine bakmak için gözenek yüzey yükünün 2 katına çıktığı Şekil 23.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama daha yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerleri her 2 yüzey yükünde de her potansiyelde hemen hemen aynı değerde olmuştur. Yani gözenek yüzey yükünün 2 katına çıkması ΔI değerlerini çok etkilememiştir.

Tablo 175. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 23.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 23.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,019	0,025	0,028	0,043	0,051	0,088
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,02	0,023	0,036	0,043	0,081

Yüksek pozitif yüzey yüküne göre Şekil 21.b ile Şekil 25.b ΔI değerlerinin karşılaştırması yapıldığında (aynı potansiyelde ve konsantrasyonda sadece ortama yüksek pozitif değil, yüksek negatif yüzey yükü (-0,15 C/m²) etki ettiğinde) ΔI değerleri her potansiyelde düşük oranda artış göstermiştir. Yani gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olması ΔI değerini çok az da olsa etkilemiştir.

Tablo 176. Ael için yüzey yükünün ΔI 'ye etkisinde Şekil 21.b ve Şekil 25.b karşılaştırması

	-90 mV	-110 mV	-120 mV	-160 mV	-180 mV	-270 mV
Şekil 21.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,0118	0,0145	0,0158	0,0212	0,0238	0,0344
Şekil 25.b'deki ΔI değerleri (nA)	0,015	0,02	0,023	0,036	0,043	0,081

Şekil 25.b'ye göre; yüksek negatif yüzey yükünde ($-0,15 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1 M) her 4 nanogözenek için de ΔI değerleri potansiyel arttıkça beklenildiği gibi artış göstermiştir. Her potansiyelde en yüksek ΔI değeri CsgG'de; en düşük ΔI değeri ise Ael'de görülmüştür. Yüzey yükünün ΔI değerlerine etkisi incelendiğinde ise her 4 nanogözenegın de ΔI değerlerinin gözenek yüzey yükünün 2 katına çıkmasından çok ciddi etkilenmediği görülmüştür. Gözenek yüzey yükünün pozitif veya negatif olmasının ise her 4 nanogözenek için çok ciddi etkisi olmamıştır. Konsantrasyon artışının ΔI değerlerine etkisi için Şekil 24.b ile karşılaştırıldığında 10 katına çıkan konsantrasyon her 4 nanogözenek için de ΔI değerlerinde artışa sebep olmuştur.

Nanogözenekler için tüm potansiyellerde ΔI değerleri sıralama şöyle olmuştur:

$$MspA > CsgG > \alpha\text{-HL} > Ael$$

Şekil 25.a ve Şekil 25.b'ye göre $\Delta I/I_0$ değerleri;

Yüksek negatif yüzey yükünde ($-0,15 \text{ C/m}^2$) ve en yüksek konsantrasyonda (1M) nanogözenekler için $\Delta I/I_0$ değerleri sıralaması düşük potansiyellerde (-90 mV, -110 mV ve -120 mV) $MspA > CsgG > Ael > \alpha\text{-HL}$ şeklinde iken , yüksek potansiyellerde (-160 mV, -180 mV ve -270 mV) $MspA > Ael > CsgG > \alpha\text{-HL}$ şeklinde olmuştur.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada protein yapıda biyolojik nanogözeneklerden tek sarmallı DNA parçacığı geçişi sırasında oluşan sinyalin büyüklüğüne etki eden parametreleri inceledik. MspA, α -HL, CsgG ve Ael literatürde yer alan, parçacık analizinde yaygın olarak kullanılan protein yapıda biyolojik nanogözeneklerdir. Ancak bu nanogözeneklerin simülasyon çalışmaları nadirdir. Çalışmamız bu nanogözeneklerin sonlu elemanlar yöntemine dayanan Comsol Multiphysics™ programında modellenmesi ve sinyal oluşumlarının incelenmesi yönünden yenidir.

Çalışmamızda öncelikle MspA, α -HL, CsgG ve Ael nanogözeneklerini Comsol programında modelledik. Her 4 nanogözenek için de gözeneklerden 5 nm uzunluğunda silindir bir çubuk (nanorod) şeklinde tasarlanan tek sarmallı DNA parçacığının geçişinde sinyal oluşumuna etki ettiği bilinen potansiyelin (voltaj), konsantrasyonun ve gözenek yüzey yükünün etkilerini inceledik. Başlangıç akımlarını (I_0), Sinyal Büyüklüğünü (ΔI) ve sinyal büyüklüğünün başlangıç akımına oranı ($\Delta I/I_0$) değerlerini tablolara aktardık. Daha sonra bu tablolardan nanogözeneklerin sinyal değerleri analizini yani parçacık algılama duyarlılık ve hassasiyetlerini karşılaştırdık.

Potansiyelin sinyal büyüklüğüne etkisini incelemek için -90 mV , -110 mV , -120 mV, -160 mV , -180 mV ve -270 mV olmak üzere küçükten büyüğe toplam 6 farklı potansiyelde simüle ettik.

Konsantrasyonun sinyal değerlerine etkisini incelemek için 0,01 M / 0,1 M / 0,3 M / 0,5 M / 0,7 M ve 1 M olmak üzere küçükten büyüğe toplam 6 farklı konsantrasyonda simüle ettik.

Gözenek yüzey yükünün sinyal değerlerine etkisini incelemek için ise önce yüksüz yani nötr (0 C/m^2) yüzey yükünde olmak üzere + 0,075 C/m^2 , + 0,15 C/m^2 pozitif yüzey yükleri ve - 0,075 C/m^2 , -0,15 C/m^2 negatif yüzey yüklerinde toplam 5 farklı yüzey yükünde simüle ettik.

Potansiyelin etkisine bakmak için yaptığımız simülasyonlardan elde ettiğimiz sonuçlarda, her 4 nanogözenek için de tüm yüzey yüklerinde ve tüm konsantrasyonlarda (her durumda) potansiyel artışına bağlı olarak hem başlangıç akımında hem de sinyal büyüklüğünde artış olduğunu gözlemledik. Yüksek potansiyellerde gözeneklerin parçacık algılama hassasiyetlerinin arttığını söyleyebiliriz.

Konsantrasyonun etkisine bakmak için yaptığımız simülasyonlardan elde ettiğimiz sonuçlarda, her 4 nanogözenek için de tüm yüzey yüklerinde ve potansiyellerde (her durumda) konsantrasyon artışına bağlı olarak hem başlangıç akımında hem de sinyal büyüklüğünde artış olduğunu gözlemledik. Yüksek konsantrasyonda da gözeneklerin parçacık algılama hassasiyetlerinin arttığını söyleyebiliriz.

Gözenek yüzey yükünün etkisine bakmak için yaptığımız simülasyonlardan elde ettiğimiz sonuçlarda, nötr yüzey yüküne göre pozitif veya negatif yüzey yükü etkisinde sinyal büyüklüğü değerlerinde her 4 nanogözenekte de azalış görülmüştür. Yani gözenekdeki yüzey yükleri her 4 nanogözenek için de parçacık algılama hassasiyetini düşürmüştür. Gözenek yüzey yükünün pozitif ya da negatif olması ise her 4 nanogözenek için de parçacık algılama hassasiyeti çok ciddi etkilememekle birlikte pozitif yüzey yüklerinde hassasiyetleri nispeten daha yüksek olmuştur. Yine uygulanan yüzey yükünün (hem pozitif hem negatif) 2 katına çıkması her 4 nanogözenek için de parçacık algılama hassasiyetini çok ciddi etkilememiştir.

Çıkan sonuçlara göre gözeneklerin duyarlılıkları karşılaştırıldığında ise MspA ve CsgG genel olarak tüm durumlarda en fazla parçacık algılama hassasiyetine sahip nanogözenekler olmuştur. a-HL'nin ise bu 2 nanogözeneğe göre nispeten daha düşük parçacık algılama hassasiyetine sahip olduğu görülmüştür. Ael'nin ise en düşük parçacık algılama hassasiyetine sahip olduğu görülmüştür.

Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlara göre; parçacık algılama için en uygun şartların yüksek potansiyel, yüksek konsantrasyon ve yüksüz ya da en azından düşük gözenek yüzey yüklü ortamda olduğunu düşünüyoruz.

Çalışmamız, yüksek performanslı nanogözeneklerin araştırılmasına, protein nanogözeneklerinin mühendisliğine ve biyo-temelli nanogözeneklerin tasarımına yeni bir yaklaşım sunmuştur.

Modelleme programları günümüzdeki bilimsel ilerlemeler ve nanoteknolojideki baş döndürücü gelişmelerin sonucu olarak imalat aşamasında çok gerekli ve faydalı olacaktır. Tasarım ve imalat safhalarında bize istediğimiz kadar deneme yapma şansı sunarak maliyet, işçilik ve zaman tasarrufu yapılmasını sağlayacaktır. Ülkemizde ve dünyada sonlu elemanlar yöntemi ve uygulayıcı bilgisayar programlarını konu alan çalışmalar artacaktır.

Öngörücü düzeye ulaşmak için matematiksel modellerin deneysel veri toplama ve yöntem geliştirme ile bütünleşen gelişim göstermesi gerekmektedir. Biyoloji ve yazılım bilgileri yüksek araştırmacılara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte biyo-temelli süreçlerin öneminin artacak olması nedeniyle bu yaklaşımları ilerletmek önemlidir.

Sonlu elemanlar yöntemine dayanan Comsol Multiphysics™ ticari yazılımını kullanarak oluşturduğumuz biyolojik nanogözeneklerin bir tür modellemesini yaptığımız çalışmamızın bir nebze olsun bu konudaki farkındalığı arttıracak ve yeni eserlerin ortaya çıkmasında bir katkı sağlayacağını umuyoruz.

KAYNAKÇA

- Cao, Baohua, Yan Zhao, Yongjun Kou, Dongchun Ni, Xuejun Cai Zhang, and Yihua Huang. 2014. "Structure of the Nonameric Bacterial Amyloid Secretion Channel." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(50):E5439–44. doi: 10.1073/pnas.1411942111.
- Cao, Chan, Dong Fang Liao, Jie Yu, He Tian, and Yi Tao Long. 2017. "Construction of an Aerolysin Nanopore in a Lipid Bilayer for Single-Oligonucleotide Analysis." *Nature Protocols* 2017 12:9 12(9):1901–11. doi: 10.1038/nprot.2017.077.
- Cao, Yuhong, Enbo Ma, Stefano Cestellos-Blanco, Bei Zhang, Ruoyi Qiu, Yude Su, Jennifer A. Doudna, and Peidong Yang. 2019. "Nontoxic Nanopore Electroporation for Effective Intracellular Delivery of Biological Macromolecules." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116(16):7899–7904. doi: 10.1073/PNAS.1818553116/-/DCSUPPLEMENTAL.
- Derrington, Ian M., Tom Z. Butler, Marcus D. Collins, Elizabeth Manrao, Mikhail Pavlenok, Michael Niederweis, and Jens H. Gundlach. n.d. "Nanopore DNA Sequencing with MspA." doi: 10.1073/pnas.1001831107/-/DCSupplemental.
- Faller, Michael, Michael Niederweis, and Georg E. Schulz. 2004. "The Structure of a Mycobacterial Outer-Gözeneke Channel." *Science* 303(5661):1189–92. doi: 10.1126/science.1094114.

- Gurnev, Philip A., and Ekaterina M. Nestorovich. 2014. "Channel-Forming Bacterial Toxins in Biosensing and Macromolecule Delivery." *Toxins* 2014, Vol. 6, Pages 2483-2540 6(8):2483–2540. doi: 10.3390/TOXINS6082483.
- Huang, Gang, Kherim Willems, Mart Bartelds, Pol van Dorpe, Misha Soskine, and Giovanni Maglia. 2020. "Electro-Osmotic Vortices Promote the Capture of Folded Proteins by Plyab Nanopores." *Nano Letters* 20(5):3819–27. doi: 10.1021/ACS.NANOLETT.0C00877/SUPPL_FILE/NL0C00877_SI_001.PDF.
- Kasianowicz, John J., Eric Brandin, Daniel Branton, and David W. Deamer. 1996. "Characterization of Individual Polynucleotide Molecules Using a Gözeke Channel." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93(24):13770–73. doi: 10.1073/PNAS.93.24.13770.
- Liao, Dong Fang, Chan Cao, Yi Lun Ying, and Yi Tao Long. 2018. "A General Strategy of Aerolysin Nanopore Detection for Oligonucleotides with the Secondary Structure." *Small* 14(18):1704520. doi: 10.1002/SMLL.201704520.
- Shoji, Kan, Ryuji Kawano, and Ryan J. White. 2019. "Spatially Resolved Chemical Detection with a Nanoneedle-Probe-Supported Biological Nanopore." *ACS Nano*. doi: 10.1021/acsnano.8b09667.
- Şimşek, Fatih Emre. 2013. "Finite Element Method Based Simulations of Low Frequency Magnetic Field in Seawater."
- Wang, Shaoying. 2016. "Development of New Biological Nanopores and Their Application for Biosensing and Disease Detection." *Theses and Dissertations--Pharmacy*. doi: <https://doi.org/10.13023/ETD.2016.428>.
- Yılmaz, Durdane. 2017. "Konik ve Çift-Konik Geometrilili Nanogözeneklerde Parçacık Duyarlılığı Simülasyonu."
- YILMAZ, Dürdane, Dila KAYA, Kaan KEÇECİ, and Ali DİNLER. 2021. "Effects of Asymmetric Nanopore Geometries on Nanoparticle Sensing Using Track-Etched Nanopore Gözenekes." *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry* 49(3):207–17. doi: 10.15671/HJBC.667462.
- Zhang, Qi, Pei Sheng Cao, Yue Cheng, Shi Shu Yang, Yun Dong Yin, Tian Yi Lv, and Zhi Yuan Gu. 2020. "Nonlinear Ion Transport through Ultrathin Metal–Organic Framework Nanosheet." *Advanced Functional Materials* 30(42):2004854. doi: 10.1002/ADFM.202004854.

Zhou, Wanqi, Hu Qiu, Yufeng Guo, and Wanlin Guo. 2020. “Molecular Insights into Distinct Detection Properties of α -Hemolysin, MspA, CsgG, and Aerolysin Nanopore Sensors.” *Journal of Physical Chemistry B* 124(9):1611–18. doi: 10.1021/ACS.JPCB.9B10702.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Melek KUNT HACIOĞLU

Uyruğu: Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Tarihi ve Yeri: 7 Ekim 1992, Üsküdar

Elektronik Posta: melekunt@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lise	Üsküdar Çağrıbey Anadolu Lisesi	2010
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü	2015
Yüksek Lisans	İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Nanobilim ve Nanomühendislik	2022

YABANCI DİLLER

İleri düzeyde İngilizce

İŞ TECRÜBELERİ

Teknoloji Transfer Uzmanı / Birgi Mefar İlaç	(2020-2021)
Patent Uzmanı / Sağlık Bilimleri Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi	(2019-2020)
Arge Mühendisi / Teknopark İstanbul-Dermoskin Matilek A.Ş	(2017-2019)
Klinik Araştırma Koordinatörü / Quadro CRO	(2016-2017)

SERTİFİKALAR

Patent Vekilliği (2022) - TÜRK PATENT VE MARKA KURUMU

