

# TEK VE ÇİFT KARE KUYU TELLERİNDE ELEKTRİK ALAN VE MANYETİK ALAN'IN ELEKTRONİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Mustafa ULAŞ<sup>1\*</sup>, Abbas GÜMÜŞ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Kırklareli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 39100 KIRKLARELİ

<sup>2</sup>Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

## Öz

Tek ve çift kare kuyu tel sistemine dışarıdan uygulanan elektrik ve manyetik alan etkisi altında elektronun bağlanma enerjisi hesaplandı. Bağlanma enerjisinin, tel sayısına ve dışarıdan uygulanan alan etkilerine bağlılığı gösterildi. Kare kuyu tel yapısı GaAs ve Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As yarıiletken malzemeden oluşturuldu. Tel yapıya elektrik alan artı x doğrultusunda ve manyetik alan ise eksi z doğrultusunda olacak şekilde seçildi. Hesaplama sonlu farklar yöntemi kullanıldı. Bağlanma enerjisinin farklı alanlar altında tel sayısına bağlılığı gösterildi. Ayrıca dışarıdan uygulanan alanların, elektronun gördüğü potansiyele ve elektronun bulunma olasılığına etkisi gösterilmiştir. Bu tür yapıların detaylı incelenmesi, hem yapının elektronik özelliklerinin teorik olarak anlaşılmasını sağlayacak, hem de teknolojik cihaz üretiminde daha ekonomik bir yol gösterecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Kare kuantum kuyu teli, bağlanma enerjisi, elektrik alan, manyetik alan.

## THE EFFECT ON ELECTRONIC PROPERTIES OF ELECTRIC FIELD AND MAGNETIC FIELD IN SINGLE AND DOUBLE SQUARE QUANTUM WELL WIRES

### Abstract

Hydrogenic foreign atom binding energy was calculated under the effect of electric and magnetic field applied externally to the single and double square well wire system. The dependence of the binding energy was shown on the number of wires and the effects externally applied field. The square well wire structure was formed from GaAs and Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As semiconductor material. The wire structure was selected so that the electric field was in the plus x direction and the magnetic field was in the minus z direction. The finite difference method was used in the calculation. The dependence of the binding energy on the number of wires under different fields was shown. In addition, the effect of externally applied fields on the potential seen by the electron and the probability of finding the electron has been shown. A detailed study of such structures will allow both to theoretically understand the electronic properties of the structure, and to show a more economical way of manufacturing technological devices.

**Keywords:** Square quantum well wire, binding energy, electric field, magnetic field

\*Sorumlu Yazar: Mustafa ULAŞ, mustafa.ulas@klu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

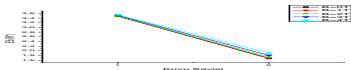
Düşük boyutlu yapılardaki teknolojik gelişmeler, ileri düzey çok katmanlı düşük boyutlu yapıların kolaylıkla yapılabilmesine imkân sağlamıştır. Günümüzün teknolojik cihazlarının üretilmesinde ve geliştirilmesinde düşük boyutlu yapı tekniği önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle düşük boyutlu yarıiletken yapıların fiziksel ve optik özelliklerinin anlaşılması son yıllarda birçok bilim insanı tarafından çalışılan popüler bir alan haline gelmiştir. Bu alanda yapılan önemli çalışmalardan bazılarında hidrojenimsi yabancı atom durumları ve bağlanma enerjisi teorik olarak hesaplanmış, bağlanma enerjisinin tel kalınlığı ile değişimi gösterilmiştir [1,2]. Dışarıdan uygulanan alanların bağlanma enerjisi ve tel geometrisi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir [3-12].

Son yılların popüler çalışmaları ise eşit potansiyel engelli simetrik ve asimetric kuantum yapılarında elektron geçişleri, lazer alan altında incelenmiş, potansiyel profilleri ve geçiş katsayısının lazer giydirme parametresine bağlılığı gösterilmiştir [13,14].

Bu çalışmada tekli ve çift kare kesitli kuantum kuyu tellerinde bulunan bir elektronun, sonradan bu yapıya katılan yabancı bir atoma bağlanma enerjisi, tel sayısına, dışarıdan uygulanan elektrik ve manyetik alan şiddetine bağlılığı, sonlu farklar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

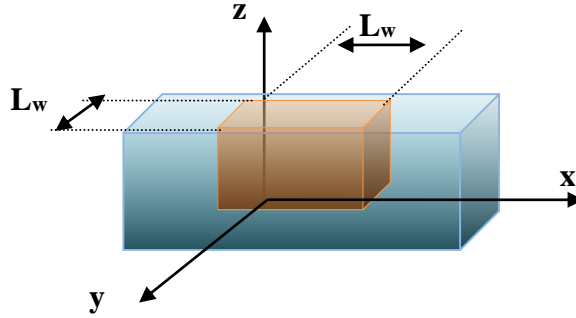
## 2.TEORİ

Kare kesitli GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As kuantum teli içindeki bir elektronun, etkin kütle yaklaşımı altında Hamiltonyen'i



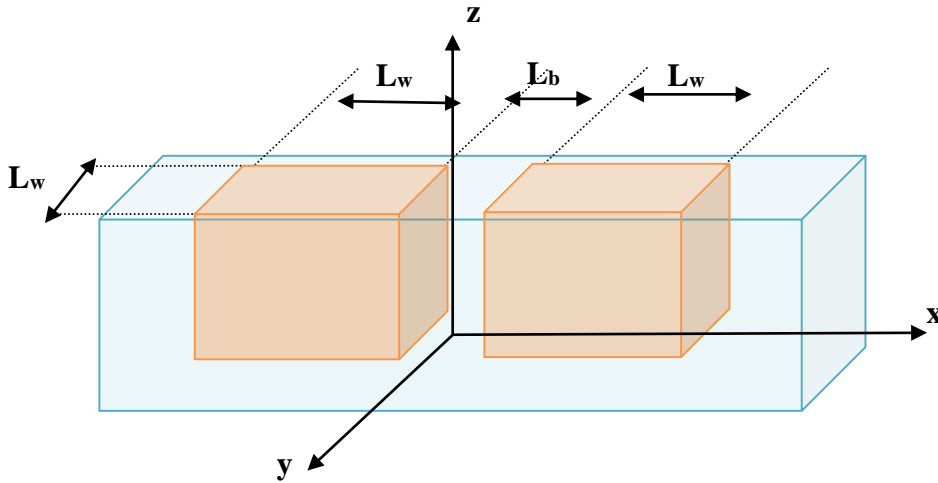
(1)

Burada  $V(x,y)$ , elektronun yapı içerisinde (x ve y yönünde) hareket ederken gördüğü potansiyeldir. Bu da sırasıyla tek ve çift kare kuantum kuyu teli için



Şekil 1.a: Tek kare kuantum kuyu telinin şematik gösterimi.

$$V(x,y) = \begin{cases} 0 & |x| \leq \frac{L_w}{2} \text{ ve } |y| \leq \frac{L_w}{2} \\ V_0 & \text{Diğeryerlerde} \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 1.b: Çift kare kuantum kuyu telinin şematik gösterimi.

$$V(x,y) = \begin{cases} 0 & \frac{L_B}{2} \leq |x| \leq \frac{L_B}{2} + L_w \text{ ve } |y| \leq \frac{L_w}{2} \\ V_0 & \text{Diğeryerlerde} \end{cases} \quad (3)$$

ile verilir. Kuantum tel yapısına artı x yönünde elektrik alanı ve eksi z doğrultusunda düzgün manyetik alan uygulandığında Hamiltonyen denklemi, etkin Rydberg  $R^* = (m^* e^4 / 2\epsilon_0^2 \hbar^2)$  ve etkin Bohryarıçapı  $a^* = (\epsilon_0 \hbar^2 / m^* e^2)$  boyutunda aşağıdaki gibi olur.

$$H = - \left[ \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] + \frac{\gamma^2}{4} (x^2 + y^2) + \eta x \quad (4)$$

Burada  $\eta = |e|a^*F\left(\frac{kV}{cm}\right)R^*$  ile verilir. Burada dışarıdan üniform şekilde uygulanan manyetik alandan dolayı potansiyele gelen katkı terimindeki ve manyetik alan şiddetini betimleyen  $\gamma = (e h B(Tesla))/(2m^*cR^*)$  ile verilir.

Elektronun taban durumu enerjisi  $[E]$  değerini ve dalga fonksiyonunu  $[\psi(x,y)]$  bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$H\psi(x,y) = E\psi(x,y) \quad (5)$$

Bu iki boyutlu diferansiyel denklemden, sonlu farklar nümerik yöntemi kullanılarak, taban durum enerji özdeğeri ve öz vektörü bulunur.

Bu yapıya yabancı atom katıldığında, elektron ile yabancı atom etkileşmesini içeren Hamiltonyen denklemini aşağıdaki gibi dir.

$$H_{imp} = H - \frac{2}{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+z^2}} \quad (6)$$

Denklemdaki  $x_i$  ve  $y_i$  ise hidrojenimsi yabancı atomun sistemdeki koordinatıdır. Bu çalışmada  $x_i$  ve  $y_i$  sistemin merkezinde alınmıştır ( $x_i = 0$  ve  $y_i = 0$ ). Bu diferansiyel denklemin çözümü için aşağıdaki gibi varyasyonel deneme dalga fonksiyonu kullanılmıştır. Bu dalga fonksiyonu

$$\psi_{imp}(x,y,z) = N_{imp}\psi(x,y)e^{-\frac{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+z^2}}{\lambda}} \quad (7)$$

ile verilir. Buradaki  $N_{imp}$ . Deneme dalga fonksiyonunun normalizasyon sabiti,  $\lambda$  deneme dalga fonksiyonunun varyasyonel parametresidir. Yapının içinde bulunan elektronun yabancı atom enerjisi

$$E_{imp} = \left\{ \frac{\langle \psi_{imp}(x,y,z) | H_{imp} | \psi_{imp}(x,y,z) \rangle}{\langle \psi_{imp}(x,y,z) | \psi_{imp}(x,y,z) \rangle} \right\}_{\lambda_{minimum}} \quad (8)$$

ile verilir. Sistem içindeki bir elektronun yabancı atoma bağlanma enerjisi ise

$$E_b = E - E_{imp}$$

$$\cong -\frac{1}{\lambda^2} + \frac{2A}{B}$$

$$A = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\psi^2(x, y) K_0(2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}/\lambda)) dx dy$$

$$B = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (\psi^2(x, y) \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} K_1(2\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}/\lambda)) dx dy \quad (9)$$

ile hesaplanır. Burada sırası ile  $K_0$  ve  $K_1$  sıfıncı ve birinci dereceden düzeltilmiş Bessel fonksiyonlarıdır.

### 3. SONUÇ ve TARTIŞMA

GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As tek ve çift kuantum kuyu tellerinde sabitleri,  $a^* \cong 100 \text{ \AA}$  ve  $R^* \cong 5.7 \text{ meV}$ , Al konsantrasyonu  $x=0.3$  olarak alındı. Bu değerler dikkate alındığında potansiyel bariyeri yaklaşık  $V_0=224 \text{ meV}$  değerine karşılık gelir.

Şekil 2a' da farklı manyetik alan şiddetlerine göre tellerdeki elektronun yabancı atoma ( $x_i=0, y_i=0$ ) bağlanma enerjisi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ( $B=0, 1, 2, 3, 4$  Tesla) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin tel sayısına göre değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi bağlanma enerjisi, bir telli yapıda artarken, iki telli yapıda azalmaktadır. İki telli yapıda, teller simetrik olduklarından iki tel arasında kalan elektron daha zayıf bağlanma görmektedir. Şekil 2b de farklı elektrik alan şiddetlerine göre tellerdeki elektronun yabancı atoma ( $x_i=0, y_i=0$ ) bağlanma enerjisi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı elektrik alan ( $F=0, 10, 20, 30, 40 \text{ kV/cm}$ ) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin kuyu sayısına göre değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere, dışarıdan uygulanan artı x doğrultusundaki elektrik alan, elektronun bağlanma enerjisini beklendiği gibi düşürmüştür. Çünkü elektrik alanın, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirmesi ile elektronun merkezden yabancı atomdan) uzaklaştırarak (uygulanan alanın tersi yönde) bağlanma enerjisinin azalmasına neden olmuştur.

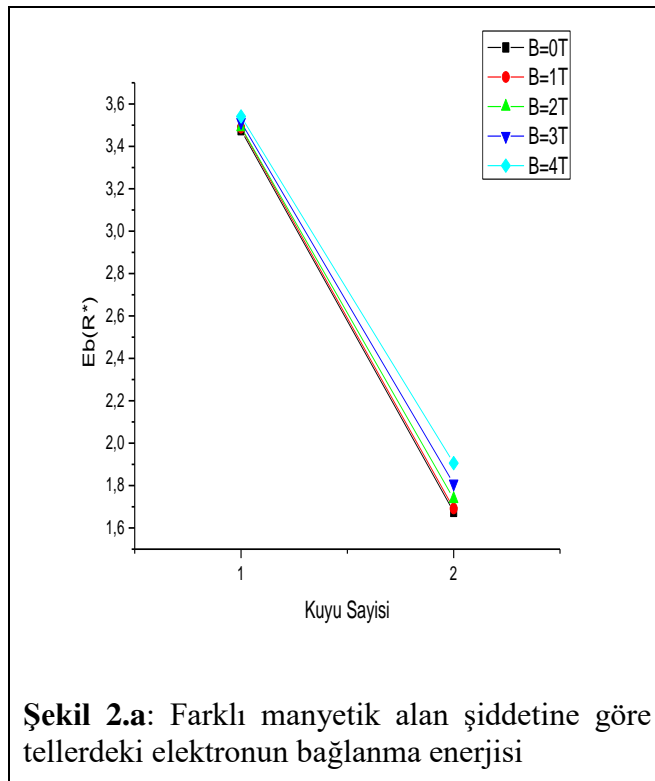
Şekil 3a' da bir tel için farklı manyetik alan şiddetlerine ( $B=0, 1$  Tesla) göre bir teldeki elektronun, yabancı atoma ( $x_i=0, y_i=0$ ) bağlanma enerjisinin, elektrik alan ile değişimi gösterilmiştir. Bu

grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ( $B=0, 1$  Tesla) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi bağlanma enerjisi, manyetik alan sıfırken, düşük elektrik alanlarda fazla bir değişiklik göstermezken, elektrik alan 30 kV/cm den sonra ani bir azalma göstermiştir. Bu ise yukarıda belirttiğimiz sebebin sonucudur. Ancak manyetik alan sıfırdan farklı ( $B=1$  T) olduğunda, bağlanma enerjisinin arttığını ve belli bir değerden sonra hızlı bir düşüş yaparak elektrik alanla benzer etki gösterdiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise elektrik alan elektronu merkezden uzaklaştırırken (elektronun gördüğü potansiyel profilini değiştirdiğinden.) manyetik alan ise tam tersi etki yapmasındandır. Elektrik alanın büyük olduğu durumda ise bağlanma azalmaktadır. Buda beklenen bir durumdur. Şekil 3b' de bir kuyu için farklı elektrik alan şiddetlerine ( $F=0, 40$ kV/cm) göre bir kuyudaki elektronun, yabancı atoma ( $x_i=0, y_i=0$ ) bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı elektrik alan ( $F=0, 40$ kV/cm) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi manyetik alan, elektronu yabancı atoma doğru iterek bağlanma enerjisini artırırken, elektrik alan ( $F=40$ kV/cm) tam tersine elektronu yukarıda ifade ettiğimiz gibi elektronu merkez dışına iterek bağlanma enerjisini düşürmüştür.

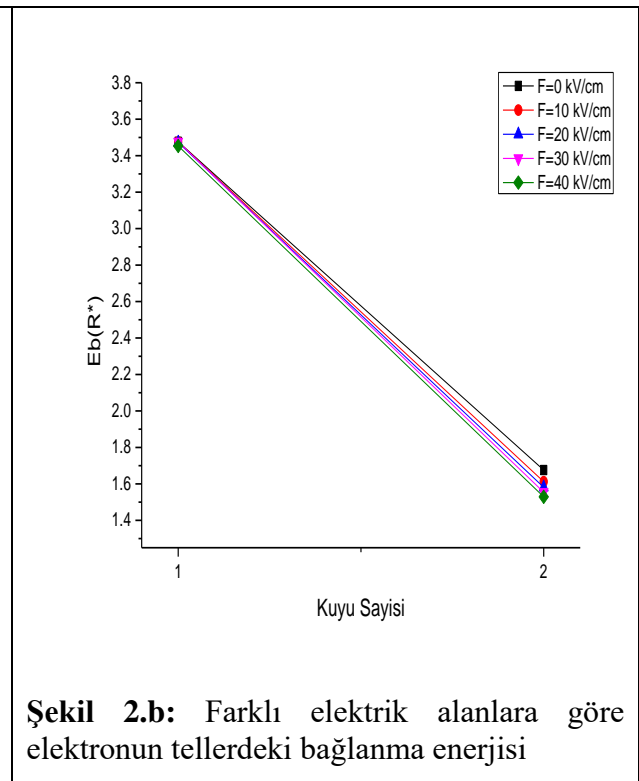
Şekil 4a'da çift tel için farklı manyetik alan şiddetlerine ( $B=0, 1$ T) göre yapıdaki elektronun, yabancı atoma ( $x_i=0, y_i=0$ ) bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte sadece dışarıdan farklı manyetik alan ( $B=0, 1$ T) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi incelenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi tel sayısını birden ikiye çıkarmak bağlanma enerjisinin yaklaşık yarıya düşmesine neden olmuştur. Aynı şekilde manyetik alan bağlanmayı artırırken, elektrik alan azaltıcı yönde etki etmektedir. Şekil 4b'de çift tel için farklı elektrik alan şiddetlerine ( $F=0, 40$ kV/cm) göre yapıdaki elektronun, yabancı atoma ( $x_i=0, y_i=0$ ) bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte de sadece dışarıdan farklı elektrik alan ( $F=0, 40$ kV/cm) uygulanmış ve bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi incelenmiştir. Burada da tel sayısının birden ikiye çıkarılması bağlanma enerjisinin yaklaşık yarıya düşmesine neden olmuştur. Aynı şekilde manyetik alan ve elektrik alan, bağlanma enerjisine yukarıda bahsedildiği gibi etki etmiştir. Buda beklenen sonuçtur.

Şekil 5a'da ikili tel yapıya dışarıdan bir etki olmadığında elektronun gördüğü potansiyel profili, Şekil 5b' de ise aynı şartlarda elektronun bulunma olasılığı. Şekil 5c'de ikili tel yapıya dışarıdan

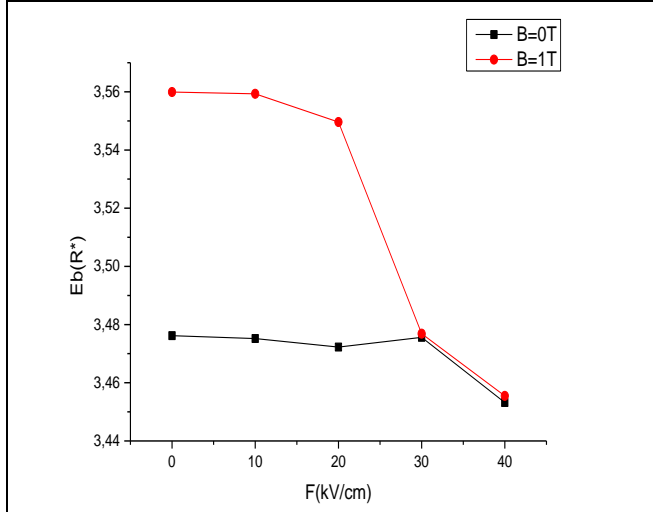
uygulanan artı x doğrultusundaki elektrik alan, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirmiştir. Bu ise merkez de yoğunlaşan elektronu sol tarafa doğru (eksi x doğrultusunda) çekerek yabancı atomdan uzaklaştırmıştır. Şekil 3a ve şekil 4a’da net olarak görülen bağlanma enerjisini azaltma bundan dolayıdır. Şekil 5d ikili tel için  $F=40$  kV/cm altında elektronun bulunma olasılığıdır. Şekil 5e’de dışarıdan uygulanan eksi z doğrultusunda 1 T değerindeki manyetik alan, elektronun gördüğü potansiyeli değiştirerek daha önce merkezden uzaklaşan elektronu, merkeze doğru çekerek yabancı atoma yaklaştırmış ve bağlanma enerjisini artmıştır. Bu da şekil 3b ve şekil 4b’de görülebilir.



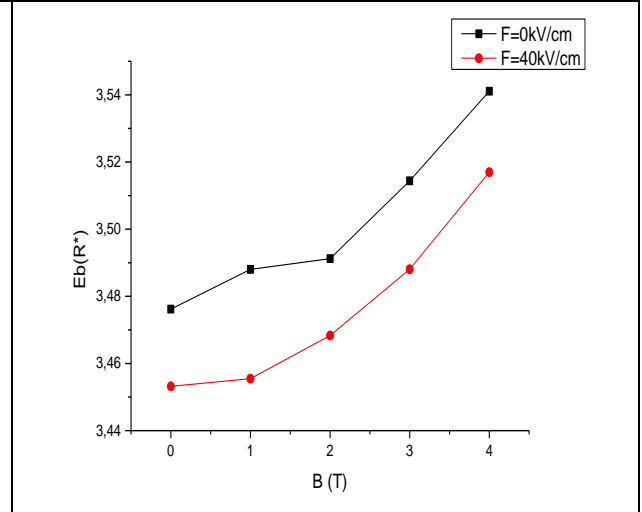
Şekil 2.a: Farklı manyetik alan şiddetine göre tellerdeki elektronun bağlanma enerjisi



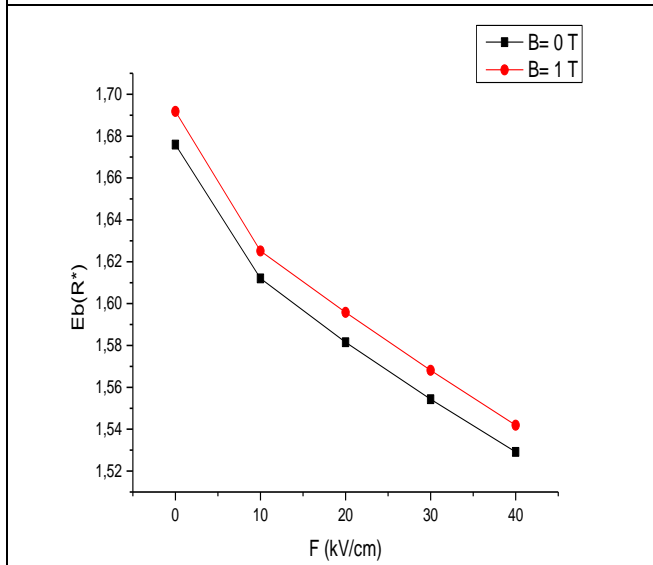
Şekil 2.b: Farklı elektrik alanlara göre elektronun tellerdeki bağlanma enerjisi



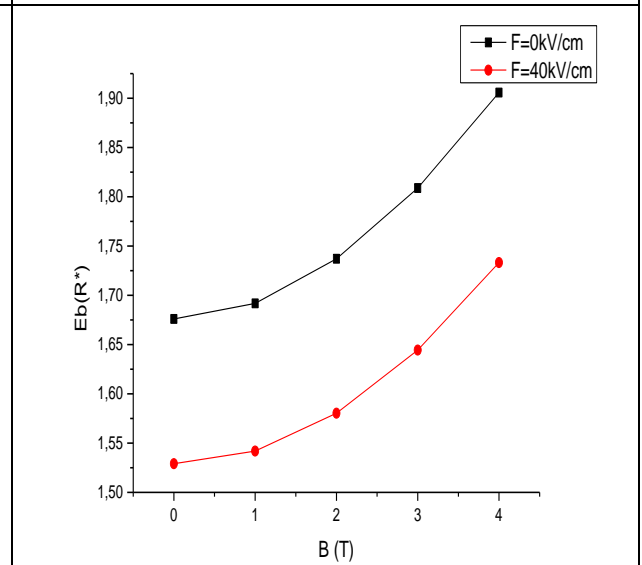
**Şekil 3.a:** Tek kuyu teli için farklı manyetik alanlar altında ( $B= 0,1$  T) bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi.



**Şekil 3.b:** Tek kuyu teli için farklı elektrik alanlar altında ( $F= 0, 40$  kV/cm) elektronun bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi.

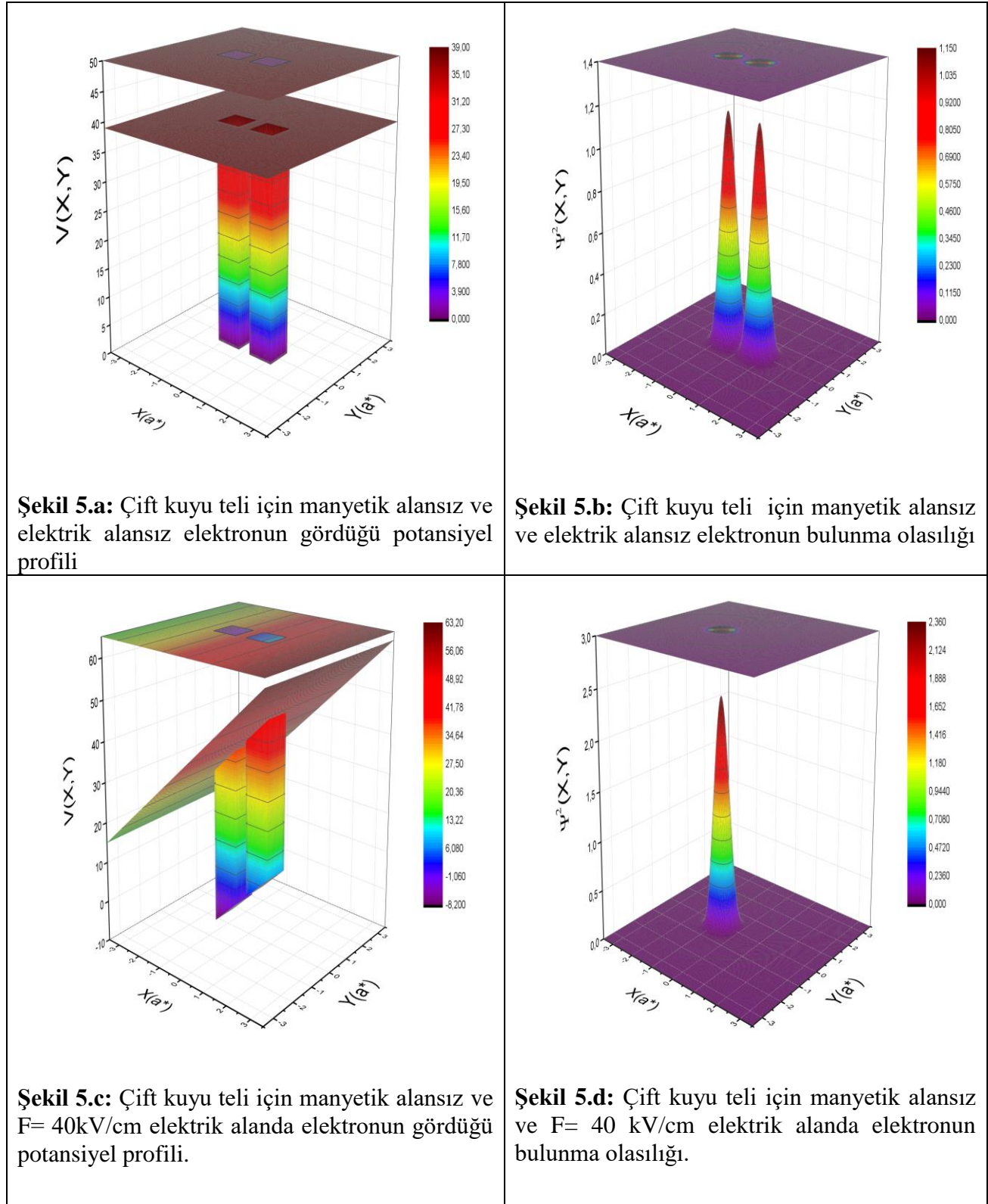


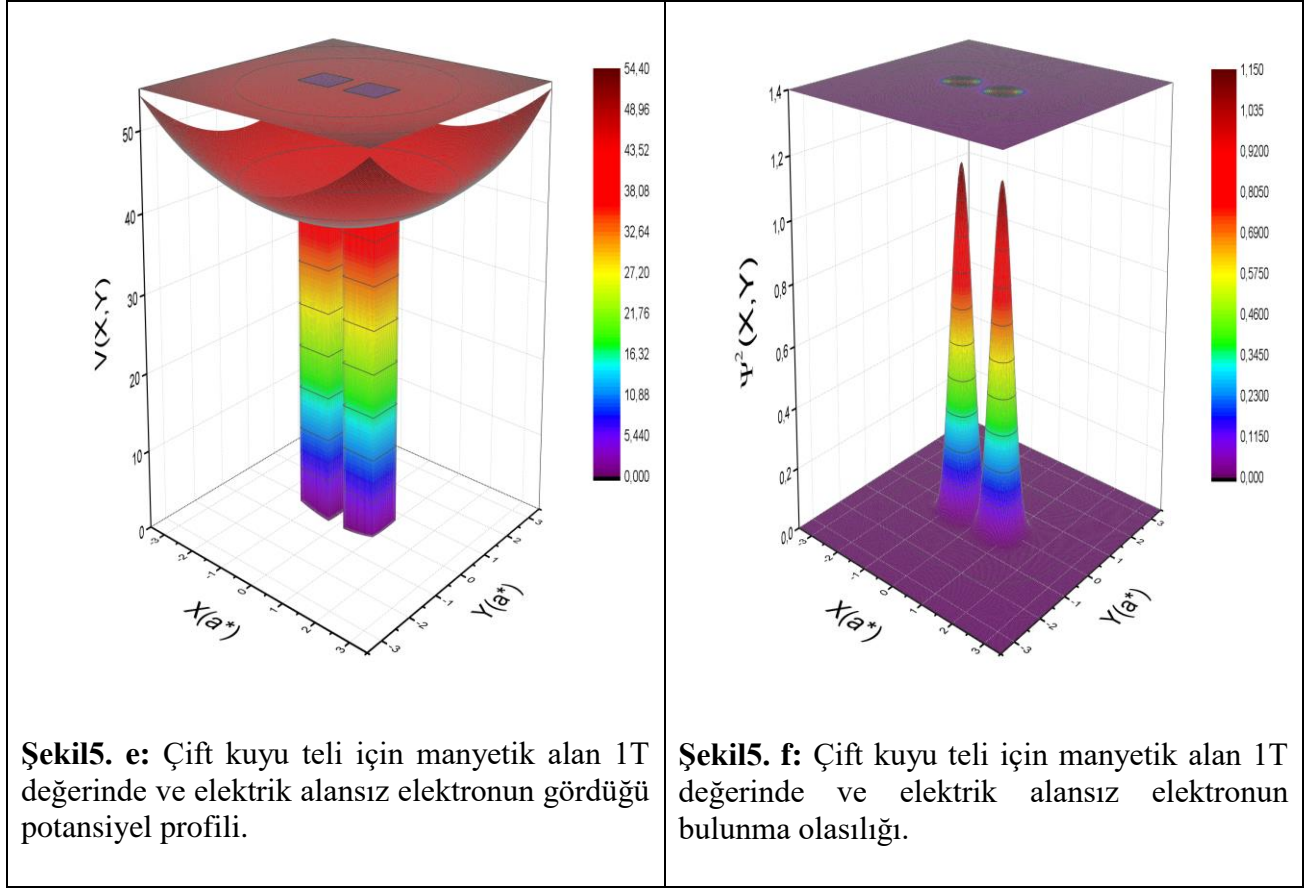
**Şekil 4.a:** Çift kuyu teli için farklı manyetik alanlar altında ( $B=0,1$  T) bağlanma enerjisinin elektrik alanla değişimi.



**Şekil 4.b:** Çift kuyu teli için farklı elektrik alanlar altında ( $F=0,40$  kV/cm) elektronun bağlanma enerjisinin manyetik alanla değişimi.







### SEMBOLLER

**E:** Elektronun enerjisi

**F:** Elektrik alan şiddeti

**B:** Manyetik alan şiddeti

**H:** Hamiltonien

**K:** Düzeltilmiş Bessel fonksiyonu

**L<sub>B</sub>:** Engel genişliği

**L<sub>W</sub>:** Kuyu genişliği

**V:** Elektronun gördüğü potansiyel

$\lambda$  : Varyasyon parametresi

$\Psi$  : Dalga fonksiyonu

## KAYNAKLAR

- [1] CHUU, D.S., HSIAO, C. M., MEI, W.N., Hydrogenic Impurity States Inquantum Dots Andquanyum Wires, Physical Review B, 46, 3898-3905, 1992.
- [2] BOUHASSOUNE, M., CHARROUR, R., FLİYOU, M., BRİA, D., NOUGAOUI, A., Binding energy of shallow impurities in polar quanyum well wire. Physica B, 304, 389-397, 2001.
- [3] M. ULAŞ (a), H. AKBAS (a), and M. TOMAK (b) ShallowDonors in a QuantumWellWire: ElectricFieldandGeometricalEffects, Tr. J. of Physics 22, 369 (1998).
- [4] CHAO, H.T., TRANTHOAI, D.B., Effect of the Electric Field On a Hydrogenic Impurity in a Quantum Wires. Physica B, 205, 273-278, 1995.
- [5] ULAS, M., AKBAS, H., TOMAK, M., Shallow donors in a quantum well wire: Electric field and geometrical affects. Phys. Stat. Sol., 200, 67-73, 1997.
- [6] MONTES, A., DUQUE, C. A, PORRAS-MONTENEGRO, N. Densityof Shallow Donor Impurity States in Rectangular Cross Section GaAs Quantum Well Wires Under Applied Electric Field, J. Phyc. Condens. Matter, 11, 5351-5358, 1998.
- [7] OKAN, S. E., AKBAS, H., TOMAK, M., Binding energies of Helium-Like Impurities in Parabolik Quantum Wells Under an Applied Electric Field. Superlattice and Microstructures, 28, 171-176, 2000.
- [8] AKTAS, S., OKAN, S. E., AKBAS, H., Electric Field Effect On the Binding Energy of a Hidrogenic Impurity in A Coaxial GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub> as Quantum Well Wires. Superlattice and Microstructures, 30, 129-134, 2001.
- [9] AKTAS, S., Boz, F., The Binding Energy of a Hidrogenic Impurity in Triple GaAl/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub> Quantum Well Wires Under Applied Electric Field. Trakya Univ. J.Sci., 5(2), 159-165, 2004.
- [10] Ulas, M., ERDOĞAN, I., ÇİÇEK, E., SENTURK DALGIC, S. Self polarization in GaAs-(Ga, Al)As quantum well wires: electric field and geometrical effects. Physica E, 25, 515-520, 2005
- [11] ULAŞ, M. ve UYAR, H. Üçlü Kuantum Telinde Elektrik Alan Ve Lazer Alan'nın Elektronik Özelliklere Etkisi, Kırklareli Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (1), 2020
- [12] ULAŞ M. ve DÖNMEZER, I. Üçlü Kuantum Telinde Manyetik Alan Ve Lazer Alan'nın Elektronik Özelliklere Etkisi, Kırklareli Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (1), 2020
- [13] AKTAS, S., BİLEKKAYA, A., BOZ, F. K. OKAN, S. E., Electron Transmission in Symmetric and Asymmetric Double-Barrier Structure Controlled by Laser Field, Superlattices and Microstructures, 85, 266-273, 2015.
- [14] AKTAS, S., KES, H., BOZ, F.K., OKAN, S. E., Control of a resonant tunneling structure by intense laser field. Superlattices and Microstructures, 98, 220-227, 2016.